

**Professur für Architektur
und Konstruktion Annette Gigon
ETH Zürich Mike Guyer**

HIL E 15
Stefano-Franschi-Platz 5
CH 8093 Zürich
Tel +41 44 633 06 14

DURABILITY AND/OR CHANGE?

READER Master's Thesis HS22/FS23

Revision 10.05.2022

**Professur für Architektur
und Konstruktion** Annette **Gigon**
ETH Zürich Mike **Guyer**

HIL E 15
Stefan-Franscini Platz 5
CH 8093 Zürich
Tel +41 44 633 20 09

HS 22/FS23

DURABILITY AND/OR CHANGE?

Themenplattform zur Master's Thesis

Vorbereitung:
Annette **Gigon**
gigon@arch.ethz.ch

Reader:
Stefan **Jos**
jos@arch.ethz.ch
Arend **Kölsch**

«Vademecum»:
Arend **Kölsch**
kontakt@aka-energie.de

READER

Revision 10.05.2022

INHALT

04 VORWORT

06 TEXTE

- 08 «Die Grenzen des Wachstums», Dennis Meadows u. A.
 14 «Ein Buch bewegt die Welt», Claudia Mäder (NZZ)
 17 «Es ist ein Irrtum, zu glauben, dass Wohlstand zu mehr Wohlbefinden führt»,
 Sandrine Dixon-Declève im Gespräch mit Pauline Voss (NZZ)
 18 «Selbstdenken – Eine Anleitung zum Widerstand», Harald Welzer
 24 «Nachruf auf mich selbst – die Kultur des Aufhörens»
 36 «Null Öl. Null Gas. Null Kohle», Marcel Hänggi
- 40 KLIMA
- 42 Tabellen und Daten, Bundesamt für Umwelt
 48 «Hitzesommer und nur noch halb so viel Schnee in der Schweiz – so trifft uns der
 Klimawandel», Sven Titz u. A. (NZZ)
 62 «Tipping points» could exacerbate climate crisis, scientists fear», Fiona Harvey (Guardian)
 64 «Die grosse Überforderung», Urs Bruderer (Republik)
 76 «Concept of net zero is a dangerous trap», James Dyke u. A. (The Conversation)
 88 «Herr Knutti, sind wir noch zu retten? (Wenn sich alle so verhalten wie Sie, erreichen wir die
 Klimaziele nicht.)», Reto Knutti im Interview mit Daniel Ryser (Republik)

98 ENERGIE

- 100 «Eine kleine Energiegeschichte», Simon Schmid (Republik)
 105 Energieverbrauch pro Kopf 2015, Weltbank
 106 Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019, Bundesamt für Energie
 111 Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019, Bundesamt für Energie
 112 Merkblatt SIA 2040 Effizienzpfad Energie, Primärenergie- und Treibhausgasbilanz
 114 Prognosen für Reichweiten von Energieressourcen, Manfred Hegger u. A.
 114 Kartierung der Kohlekraftwerke weltweit 2000 / 2019 / künftig, carbonbrief.org
 116 Treibhausgasemissionen in der Stromproduktion, Christian Bauer und Stefan Hirschberg

118 MATERIAL- UND ENERGIEFLÜSSE

- 120 «Unsere Klimabilanz, zerlegt in Einzelteile», Daniel Bütler (Republik)
 126 «Material- und Energieflüsse der schweizerischen Volkswirtschaft», EMPA

128 GRAUE ENERGIE

- 130 Merkblatt SIA 2032 Graue Energie, Bilanzierungsgrundsätze
 134 «Graue Energie von Neubauten und Umbauten», EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie

140 WERKSTOFFE

- 142 «Klima bauen», Andres Herzog
 146 «Zement», Werner Sobek
 154 «Beton ist unersetzlich», Karen Scrivener im Interview mit Andres Herzog (Hochparterre)
 162 Betonsortenrechner, treeze
 163 Karbonatisierter Recyclingbeton
 164 «Stahl», Werner Sobek
 170 Wald und im Holz, Verband WaldSchweiz
 174 «Holz», Werner Sobek
 186 Weitere CO₂-speichernde Materialien
 188 Eine Diät für fossil erzeugte Gebäude, Guillaume Habert (tec21)

- 192 «Treibhausgasemissionen sind kein Kavaliersdelikt», Rolf Frischknecht im Interview mit Paul
 Knüsel (tec21)
 198 «Klimapositives Bauen: Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad», EnergieSchweiz u. A.

202 GEBÄUDETECHNIK

- 204 Photovoltaik und Solarthermie
 206 «Solare Architektur», Bundesamt für Energie
 208 «Bauteilgestaltung mit PV», Professur Arno Schlüter, ETHZ
 210 «Made in China. Oder wo sonst?», Paul Knüsel (tec21)
 214 Wärmepumpen
 220 Kombinierte Technologien
 222 «Von der Sonne zur Erde und wieder zurück», Hansjürg Leibundgut (tec21)

228 ENERGIELABELS UND STANDARDS

- 230 Minergie
 234 2000-Watt-Gesellschaft
 236 «Aktivhaus – Das Grundlagenwerk», Manfred Hegger u. A.
 238 «Mit dem SIA-Effizienzpfad Energie in Richtung (Netto-Null)», Heinrich Gugerli und Katrin
 Pfäffli (espazium.ch)
 242 «Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude – Machbarkeitsstudie», Franziska Wyss u. A.

258 ANHANG 1 – ALTERNATIVE VORGEHENSWEISEN

- 260 «Wer betreibt die urbanen Minen der Zukunft?» Anders Lendager im Interview mit Jakob
 Schoof (Detail)
 265 «Eigentlich sind wir ein Störfaktor», Barbara Buser und Kerstin Müller im Interview mit Paul
 Knüsel (espazium.ch)

268 ANHANG 2 – STAND NEUER TECHNOLOGIEN

- 270 «Die Schweizer Firma Climeworks will auf Island jährlich 4000 Tonnen CO₂ versteinern»,
 Christian Speicher (NZZ)
 274 «Wir sollten jetzt Milliarden in negative Emissionen stecken», Felix Creutzig im Gespräch mit
 Sven Titz (NZZ)
 275 «Der Einfang von CO₂ ist eine Sache für Idealisten – noch», Christian Speicher (NZZ)
 276 «Warum das Recycling von CO₂ so schwierig ist», Joachim Laukenmann (Tages-Anzeiger)
 278 «Aus Luft und Licht kann CO₂-neutraler Treibstoff erzeugt werden», Sven Titz (NZZ)
 282 «Schlüsseltechnologie der Energiewende», Stefan Hotz (NZZ)
 284 «Ist Wasserstoff Lösung oder Irrweg für die Energierevolution?», Volker Quaschnig u. A.
 292 «Heisse Luft um Wasserstoff», Martin Läubli (Tages-Anzeiger)

296 ANHANG 3 – WAS ZÄHLT NOCH?

- 298 «How Bad Are Bananas? The Carbon Footprint of Everything», Mike Berners-Lee, (div. Auszüge)

318 BEGRIFFSDEFINITIONEN

340 BIBLIOGRAPHIE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

342 IMPRESSUM UND DANK

VORWORT

Anknüpfend an die Themensetzung «DURABILITY» der beiden vorangegangenen Semester von Prof. Dr. Elli Mosayebi für die Masterarbeiten am Departement Architektur fügen wir «... AND/OR CHANGE» hinzu und enden mit einem Fragezeichen:

DURABILITY AND/OR CHANGE?

Während wir die Welt weiterhin durch die Linse der Architektur betrachten, erforschen, begreifen – unsere eigentliche Leidenschaft! –, haben wir in den letzten drei Jahren begonnen, auch aus anderer Warte auf unser Fachgebiet, die Architektur zurückzublicken.

Zunächst haben wir versucht, durch die Linse CO₂ zu schauen: Kohlendioxid – unsichtbar, geruchlos, ungiftig, ein Spurengas (nur 0.042 Prozent der Atmosphäre) – dennoch die wichtigste Ursache für den Klimawandel.

Dabei haben wir begonnen, Architektur auch durch die Linse des Energieverbrauchs wahrzunehmen – fossile Energie ist die wichtigste Ursache für CO₂-Emissionen. Nicht nur auf die Quantität und Qualität der Betriebsenergie haben wir den Fokus gerichtet, sondern auch auf die graue Energie – und dazu auf die entsprechenden Treibhausgasemissionen.

Und natürlich sind diese Perspektiven nicht die Kernkompetenzen von uns Architekt:innen und Gestalter:innen!

Es herrscht heute weitgehend Konsens über die Notwendigkeit, mehr über diese Themen zu wissen, über die Notwendigkeit einer gewissen «Alphabetisierung» auf diesem Gebiet («carbon literacy») und über die Notwendigkeit, zu handeln. Als Architekt:innen tragen wir Verantwortung – wir können mehr tun und mehr bewirken – im Guten wie im Schlechten.

Aber zwischen der «richtigen» Überzeugung und den Skills, dem Know-how in der Anwendung klaffen noch Lücken.

Und ja, je genauer man hinschaut, desto mehr begreift man die Komplexität dieses Felds, und umso mühsamer erscheint es, sich ein klareres Bild oder gar eine Übersicht zu verschaffen. Für einen unparteiischen Blick sind wir aufgefordert, neben Argumenten auch Daten, Zahlen, Kennwerte zu konsultieren.

Und nein – ein umfassendes, einfaches, intelligentes Tool, das uns diese Arbeit abnimmt, ist nicht verfügbar.

Was wir als erweitertes Thema für die Masterarbeit anbieten, verstehen wir weniger als einen Rahmen, sondern eher als eine Plattform – eine Plattform der «carbon awareness», des Wissens, der verschiedenen Ansätze und Perspektiven, der Daten – vieles davon ist in dynamischer Entwicklung begriffen, weil sich das Problembewusstsein derzeit mehr und mehr verbreitet.

Die zur Verfügung gestellten Unterlagen – ein Reader und ein ergänzendes «Vademecum» mit Tabellen und Grafiken* – bilden einen Ausgangspunkt für die verschiedenen Aufgabenstellungen der Professuren und eine Diskussionsgrundlage.

Dazu ist zu bemerken, dass bei Reader und «Vademecum» zunächst nicht wissenschaftliche Präzision im Vordergrund steht, sondern es geht darum, die Größenordnungen zu verstehen, Schlussfolgerungen zu ziehen und auch anzuwenden.

Und obwohl die Unterlagen recht umfangreich sind, ist unsere Auswahl alles andere als vollständig. Wir zählen auf die beteiligten Professuren, die in verschiedenen Bereichen weiter vordringen – mit ihren eigenen Interessen, Ideen und Expertisen! Und die Student:innen werden noch weiter gehen – während und nach der Master's Thesis.

*Lebenszyklusbetrachtungen, Material- und Umweltkennwerte, vornehmlich auf Basis der KBOB Ökobilanzdaten im Baubereich (aktualisierter Stand vom 29.03.2022)





TEXTE

Dennis Meadows u.A., «Die Grenzen des Wachstums», New York 1972, S. 45-66

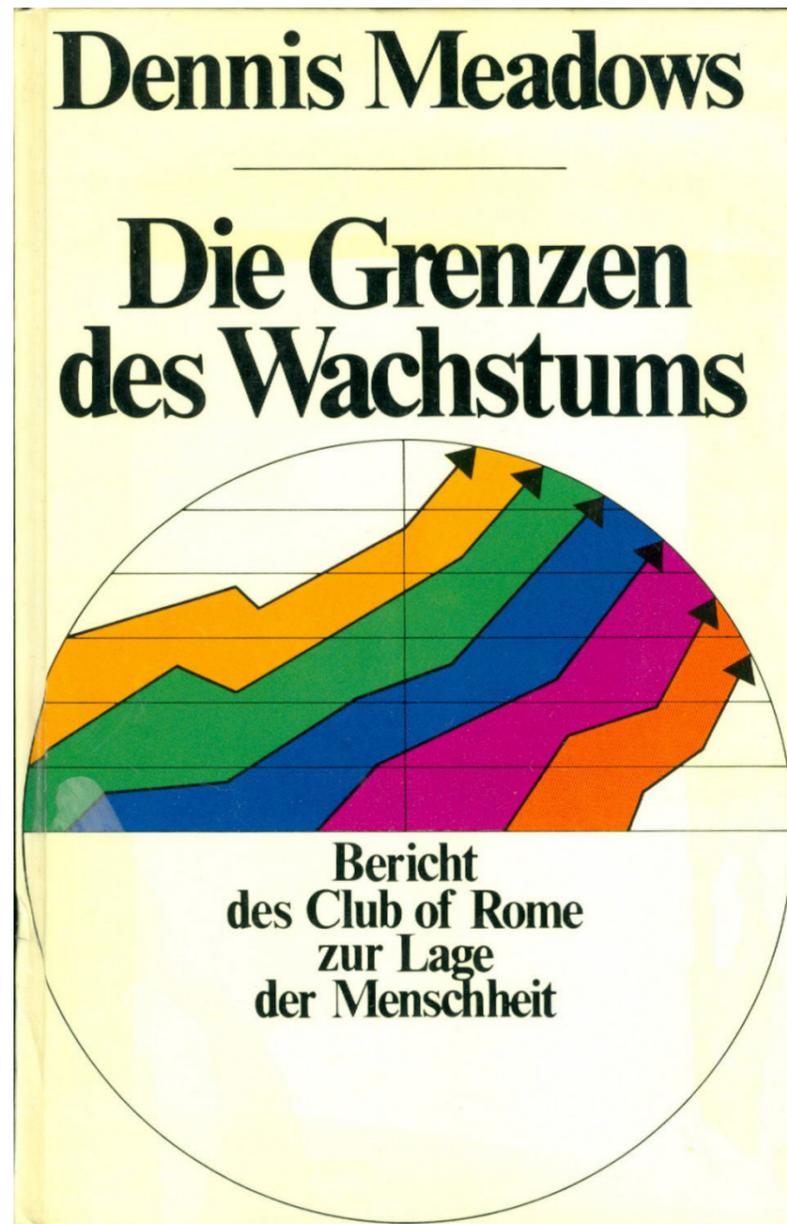


Bild: <http://culturmag.de/crimemag/hazel-rosenstrauch-ueber-ambiguitaet/120027/attachment/donella-meadows-dennis-meadowsdie-grenzen-des-wachstums-bericht-des-club-of-rome-zur-lage-der> [10.03.22]

Sich nicht regenerierende Rohstoffe

[...]

Die Antwort auf die Frage, ob es genug Rohstoffe für die sieben Milliarden Menschen im Jahr 2000 bei einem erträglichen Lebensstandard geben wird, kann wiederum nur bedingt gegeben werden. Sie hängt davon ab, auf welche Weise die Verbrauchernationen einige wichtige Entscheidungen treffen werden. Sie könnten weiterhin ihren Rohstoffverbrauch wie bisher steigern oder aber dazu übergehen, wichtige Rohstoffe aus Abfallmaterial zurückzugewinnen und neu zu gebrauchen. Sie könnten neue Techniken anwenden, um die Lebensdauer von Produkten aus knappen Rohstoffen zu verlängern. Sie könnten soziale und wirtschaftliche Verhaltensweisen fördern, die dazu anreizen, den persönlichen Bedarf an den unersetzlichen Stoffen zu verringern, statt ihn ständig zu vergrößern.

Diese möglichen Entwicklungslinien erfordern Entscheidungen, die in diesem Fall besonders schwierig sind, da man zwischen gegenwärtigem und zukünftigem Wohlergehen zu entscheiden hat. Um auch für die Zukunft noch ausreichende Rohstoffvorräte zu sichern, müssen Maßnahmen erfolgen, die heute schon den Rohstoffverbrauch senken. In den meisten Fällen hat das steigende Rohstoffkosten zur Folge. Wiederverwendung von Rohstoffen und dauerhaftere Produkte sind kostspielig, meist betrachtet man sie heute als *unwirtschaftlich*. Aber selbst wenn sie angewendet werden sollten, wird bei anhaltendem Bevölkerungswachstum und wirtschaftlichem Zuwachs das Gesamtsystem gegen seine Grenze getrieben – die Erschöpfung der nicht regenerierbaren Rohstoffvorräte.

Im rein physikalischen Sinn gehen die verbrannten Rohstoffe und die verbrauchten Metalle nicht verloren. Ihre Atome werden lediglich umgruppiert und in verdünnter, für den Menschen aber nicht nutzbarer Form in die Luft, über den Boden und im Wasser unseres Planeten verteilt. Das natürliche ökologische System ist in der Lage, viele solche Abfallstoffe menschlicher Lebenstätigkeit zu absorbieren und sie in chemischen Prozessen in Substanzen umzuwandeln, die für andere Organisationsformen des Lebens nutzbar oder wenigstens nicht schädlich sind. Wenn jedoch ein Abfallstoff in sehr großen Mengen freigesetzt wird, kann er den natürlichen Mechanismus der Absorption übersättigen und blockieren. Die Abfälle menschlicher Zivilisation häufen sich in seiner Umwelt an, werden erkennbar, wirken störend und schließlich auch schädigend. Der Quecksilbergehalt von Meeresfischen, Bleipartikeln in der städtischen Luft, Berge von Schutt und Abfällen sind die Endergebnisse des ständig zunehmenden Stroms von Rohstoffen in und aus den Händen des Menschen. Die Umweltverschmutzung stellt eine weitere exponentiell stark zunehmende Größe im Weltsystem dar.

Exponentiell zunehmende Umweltverschmutzung

Praktisch jeder Schadstoff, dessen Konzentration über eine gewisse Zeit gemessen wurde, scheint exponentiell zuzunehmen. Die Zunahmeraten der später angeführten Beispiele sind zwar sehr unterschiedlich, wachsen aber meist rascher an als die Bevölkerungszahl. Einige Schadstoffe stehen in direktem Zusammenhang

mit dem Bevölkerungswachstum oder der Wachstumsrate in der Landwirtschaft, die wiederum mit der Bevölkerungszunahme verknüpft ist. Bei anderen zeigt sich ein Zusammenhang mit dem industriellen Wachstum und dem technischen Fortschritt. In irgendeiner Weise sind die meisten Schadstoffe in diesem komplizierten Weltsystem sowohl mit dem Bevölkerungswachstum wie mit dem industriellen Wachstum verknüpft.

Wir beginnen mit denjenigen Schadstoffen, die mit der zunehmenden Energiefreisetzung durch den Menschen in Zusammenhang stehen. Wirtschaftliche Entwicklung ist im Grunde nichts anderes als die nutzbringende Anwendung von mehr Energie zur Steigerung der Produktivität menschlicher Arbeit. Eines der verlässlichsten Merkmale des Reichtums einer Bevölkerungsgruppe ist der Grad der Energienutzung pro Person (siehe Abbildung 14). Die Energienutzung pro Kopf der Weltbevölkerung wächst jährlich um 1,3 Prozent.¹⁰ Das entspricht einer absoluten Zunahme um 3,4 Prozent.

Gegenwärtig stammen 97 Prozent der vom Menschen industriell genutzten Energie aus natürlichen Brennstoffen, besonders der Kohle, aus Öl und Erdgasen. Bei der Verbrennung dieser Stoffe entsteht unter anderem Kohlendioxid (CO₂), das in die Atmosphäre abgegeben wird, insgesamt gegenwärtig rund 20 Milliarden

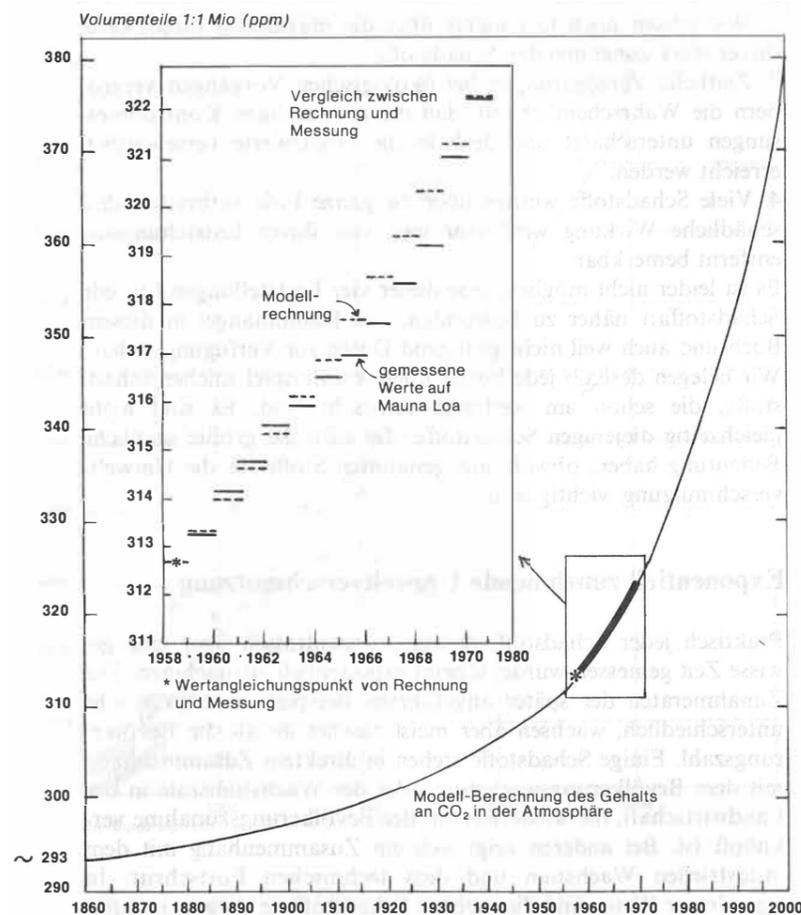


Abb. 15: Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre

Seit 1958 wird auf dem Mauna Loa, Hawaii, ein ständig steigender Gehalt der Atmosphäre an Kohlendioxid registriert. Gegenwärtig steigt er jährlich um etwa 1,5 ppm. Berechnungen, die den CO₂-Austausch zwischen Atmosphäre, Biosphäre und den Ozeanen berücksichtigen, lassen im Jahr 2000 einen Gehalt von 380 ppm erwarten, dreißig Prozent mehr als 1860. Das zusätzliche Kohlendioxid stammt in erster Linie aus den Verbrennungsprozessen mit natürlichen Brennstoffen.

Tonnen jährlich.¹¹ Deshalb steigt auch der Kohlendioxidgehalt der Luft gegenwärtig exponentiell um etwa 0,2 Prozent jährlich an, wie Abbildung 15 zeigt. Aber nur etwa die Hälfte der Kohlendioxidmengen, die durch Verbrennung natürlicher Brennstoffe entstanden sein müssen, sind entsprechend solchen Messungen tatsächlich in der Atmosphäre festgestellt worden. Die andere Hälfte wurde offensichtlich hauptsächlich vom Wasser der Ozeane absorbiert.¹² Kohlendioxid löst sich sehr leicht in Wasser.

Wenn der Gebrauch natürlicher Brennstoffe eines Tages durch die Freisetzung von genügend Kernenergie ersetzt werden sollte, hört auch die Freisetzung von Kohlendioxid auf, vielleicht, wie man hofft, ehe es meßbare ökologische und klimatologische Wirkungen hinterlassen hat.

Aber bei der Energiefreisetzung tritt noch ein Nebeneffekt, völlig unabhängig von der Art des verwendeten Brennstoffes, auf. Nach den Gesetzen der Thermodynamik wird alle vom Menschen freigesetzte und genutzte Energie schließlich in Wärme umgewandelt. Wenn die Energiequelle nicht die Sonnenstrahlung ist, sondern Brennstoffe irgendwelcher Art, einschließlich von Kernbrennstoffen, erwärmt diese freigesetzte Wärme im Endeffekt die Atmosphäre direkt oder indirekt, zum Beispiel über das bei Kühlvorgängen erwärmte Wasser. Örtlich kann eine solche Abwärme oder »thermale Umweltverschmutzung«¹³ in Flüssen das Gleichgewicht des Lebens im Wasser sehr ungünstig beeinflussen. Atmosphärische Abwärme kann um und über Städten Wärmeglocken bilden, in denen viele anomale meteorologische Erscheinungen beobachtet werden. Wenn die thermale Verschmutzung einen nennenswerten Bruchteil der von der Erde absorbierten

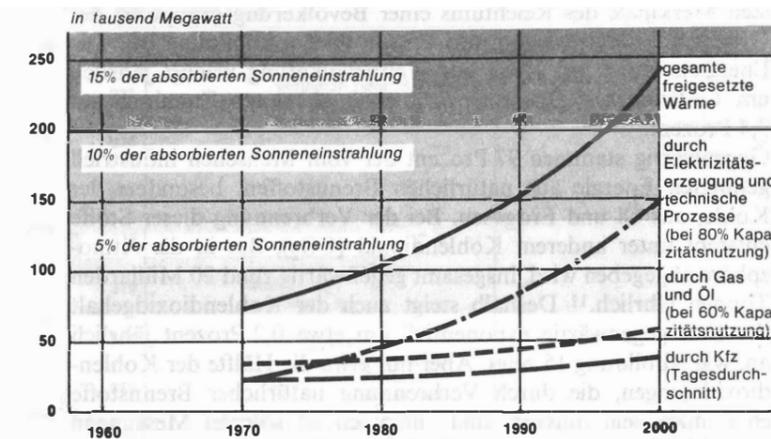


Abb. 16: Freigesetzte Wärme über dem Gebiet von Los Angeles

Die freigesetzte Wärmemenge beträgt in dem rund 12000 Quadratkilometer großen Gebiet von Los Angeles gegenwärtig etwa fünf Prozent der absorbierten Sonneneinstrahlung und beeinflusst damit bereits das örtliche Klima. Bei der gegenwärtigen Wachstumsrate wird sie im Jahr 2000 18 Prozent der eingestrahnten Sonnenenergie betragen.

Sonnenenergie erreicht, kann sie zu schwerwiegenden klimatischen Störungen führen.¹⁴ Auf Abbildung 16 sind die Werte der Abwärme einer Großstadt in Prozenten der absorbierten Sonnenenergie eingetragen.

Bei der Freisetzung von Kernenergie entsteht radioaktiver Abfall als Schadstoff. Da die Kernenergie heute erst einen unwesentlichen Teil der vom Menschen genutzten Energie ausmacht, kann die Umweltbelastung durch Kernreaktoren in der Zukunft nur geschätzt werden. Hinweise geben die tatsächlichen und erwarteten Mengen entstehender radioaktiver Isotope durch die heute schon bestehenden oder geplanten Kernkraftwerke. Auf der unvollständigen Liste eines gegenwärtig im Aufbau befindlichen Kernkraftwerks für 1,6 Millionen Kilowatt in den USA über jährlich der Umwelt zufließende Mengen finden sich 42 800 Curie in Form radioaktiven Kryptons mit Halbwertszeiten von einigen Stunden bis zu 9,5 Jahren, je nach Art der Isotope in den Abgasen, die gespeichert werden, und 2910 Curie in Form von Tritium mit einer Halbwertszeit von 12,5 Jahren in den Abwässern. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß 1 Curie die Strahlung von 1 Gramm Radium darstellt und eine so große Strahlungsmenge ist, daß radioaktive Strahlungen in der Umwelt normalerweise in Mikro-Curie (Millionstel eines Curie) angegeben werden. Wie die Kapazität an Kernenergie in den USA bis zum Jahr 2000 ansteigen soll, zeigt Abbildung 17. Sie enthält auch die Kurven für die geschätz-

ten Mengen an angegebenen radioaktiven Stoffen und die der radioaktiven Abfälle wie radioaktive Reaktorteile, die strahlungssicher verwahrt werden müssen.

Kohlendioxid, Abwärme und radioaktive Abfälle sind nur drei der vielerlei Störfaktoren, mit denen der Mensch in exponentiell zunehmendem Maße seine Umwelt belastet.

[...]

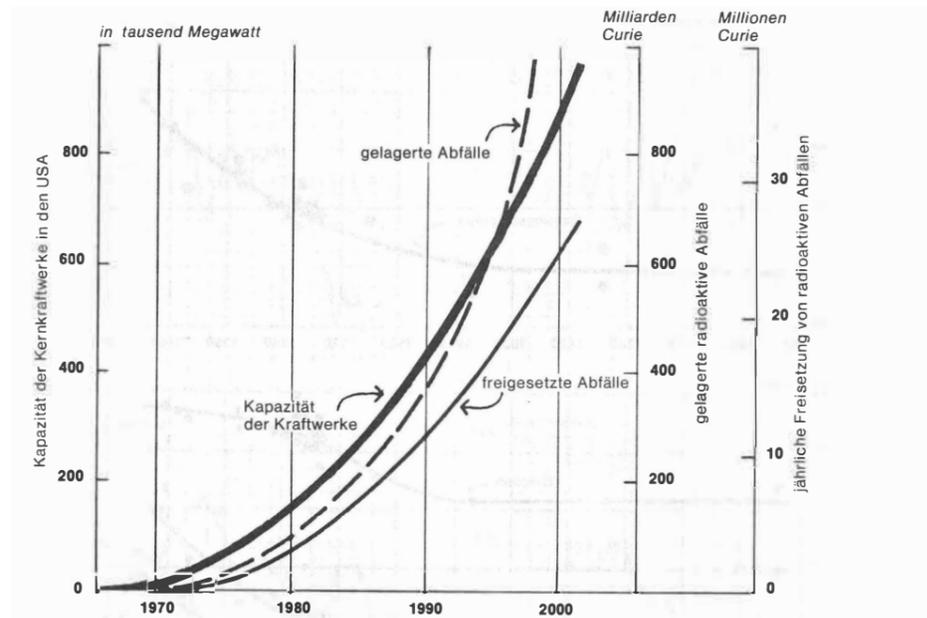


Abb. 17: Energie radioaktiver Abfälle

Die Kapazität zur Freisetzung von Kernenergie wird in den USA von 11000 Megawatt (MW) 1970 bis zum Jahr 2000 auf 900000 MW steigen. Die Radioaktivität der Abfälle wird dann rund 1000 Milliarden Curie betragen. 25 Millionen Curie werden dann besonders in Form von Krypton und Tritium freigesetzt.

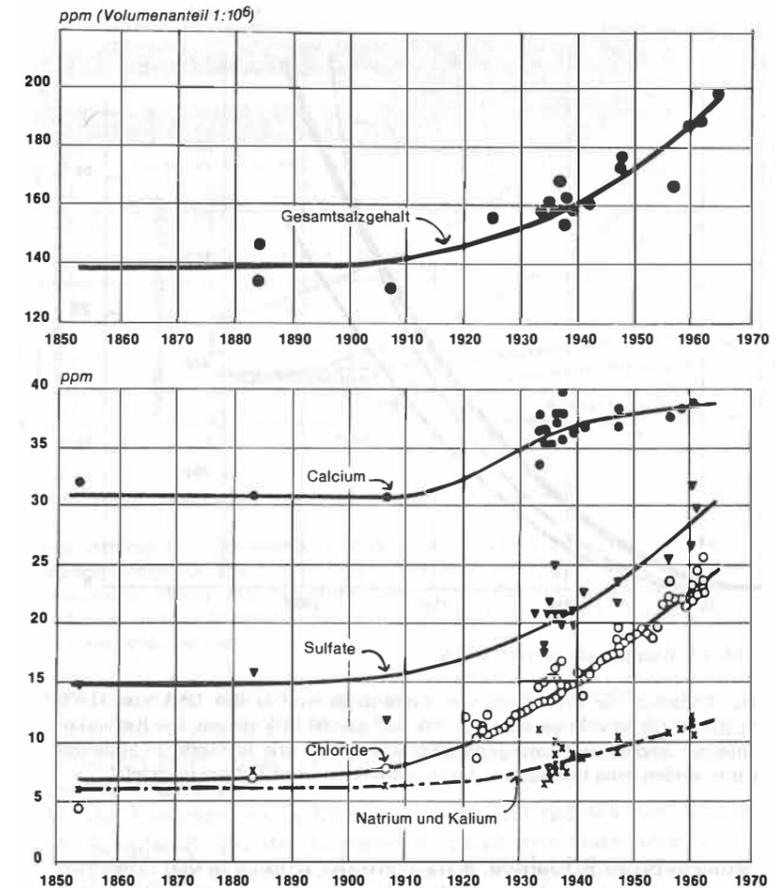
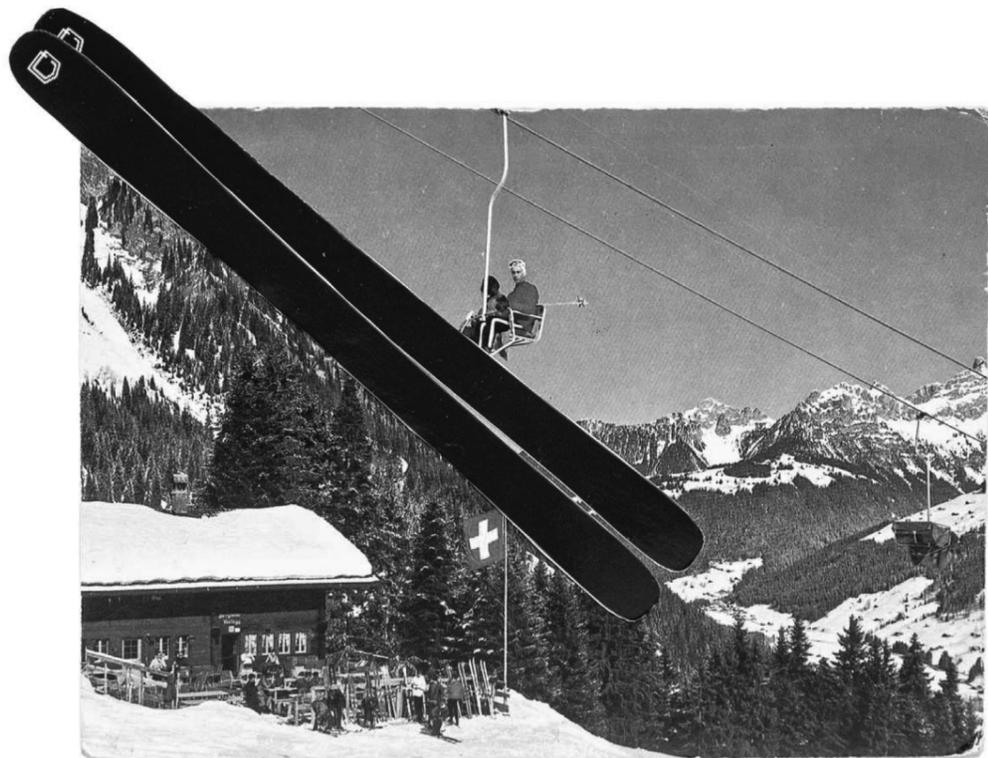


Abb. 18: Gehalt an Chemikalien und Fischfangergebnisse im Ontario-See

Infolge der Ableitung großer Schmutzmengen aus Städten, Industrien und landwirtschaftlichen Betrieben in den Ontario-See ist der Gehalt des Wassers an verschiedenartigen Salzen exponentiell angestiegen. Dies hatte einen starken Rückgang der Fischfangergebnisse zur Folge. Die Fangergebnisse der einzelnen Fischarten sind auf 1/100 bis auf 1/1000 der früheren Werte gesunken.

* CO2 Konzentration Atmosphäre 2020 -417 ppm. (Messstation: Mauna Loa, Hawaii), siehe S. 145

Ein Buch bewegt die Welt, Claudia Mäder (Text) und Simon Tanner (Collagen), in: Neue Zürcher Zeitung, 26. Februar 2022, S. 42-45



Ein Buch bewegt die Welt

Geht die Menschheit zugrunde, wenn sie die Grenzen des Wachstums überschreitet? Darüber wird seit 50 Jahren gestritten. Wie auch immer man dazu steht: Das Buch, das diese These verbreitete, hat die Umweltdiskussion auf eine neue Ebene gehoben und Biografien geprägt. VON CLAUDIA MÄDER (TEXT) UND SIMON TANNER (COLLAGEN)

Die Bibel blieb unerreichbar. Mit geschätzten drei Milliarden verkauften Exemplaren belegt sie seit ewigen Zeiten den Spitzenplatz in allen Bestsellerlisten. In den mittleren Rängen der Langzeitlisten aber hat sich das Buch, das in diesen Tagen sein Jubiläum feiert, einen fixen Platz gesichert: «Die Grenzen des Wachstums» sind weltweit mehr als 12 Millionen Mal über den Ladentisch gegangen. In den Jahren 1972 und 1973 war das Werk nicht aus den Top Ten zu verdrängen. 15 Monate lang hielt es sich im «Spiegel»-Ranking.

Und ein bisschen wurde das Buch in dieser Zeit eben doch zur Bibel. Seine Ergebnisse wurden «wie eine neue Religion aufgenommen und vertreten», stellte der Ökonom Bruno S. Frey kritisch fest; andere wollten im Gefolge der Publikation gar eine neue «Naturreligion» aufziehen sehen.

Sicher ist, dass sich die Geister an den «Grenzen des Wachstums» genauso scharf schieden wie an den biblischen Geschichten. Ein Friedensforscher etwa verdammt den 200-seitigen Band als «eines der reaktionärsten Bücher des Jahrhunderts». Der «Guardian» ging derweil davon aus, dass in dem Buch die Zukunft liege: Es handle sich bei den «Grenzen des Wachstums» um eines der wenigen Bücher, die «den Lauf der Menschheit verändern könnten», schrieb ein Rezensent am 6. März 1972.

Ein halbes Jahrhundert ist seither vergangen. Genügend Zeit, um zu er-messen, wie das Buch gewirkt hat auf die Menschheit: auf den Lauf ihrer Geschichte, ihrer Diskussionen und auf einzelne Personen, die diese Dinge letztlich gestalten. So viel sei hier vorweggenommen: Manche – Diskussionen und Menschen – würden heute an einem anderen Punkt stehen, wenn nicht im März 1972 dieses eine Buch erschienen wäre.

Allerdings passieren grosse Veränderungen nie von heute auf morgen, und auch «Die Grenzen des Wachstums» sind 1972 nicht einfach als «Bombe im Taschenbuchformat» vom Himmel gefallen, wie damals die «Zeit» formulierte. Die Vorgeschichte des Buches reicht in die späten 1960er Jahre zurück. Der Glaube an die gute Zukunft, der seit der Hochkonjunktur der Nachkriegsjahre geherrscht hatte, wurde in dieser

Phase von ersten Zweifeln überschattet. Allenthalben wurden Probleme manifest. In Europa gaben Gewässer- und Luftverschmutzungen zu reden, Gifte bedrohten die Gesundheit, in Indien wüteten Hungersnöte.

Der Italiener Aurelio Pececi, ein promovierter Ökonom, der für Fiat und Olivetti gearbeitet und lange in Südamerika gelebt hatte, war der Meinung, dass die globalen Probleme wissenschaftlich analysiert werden müssten. So sollte eine rationale Planung der Zukunft möglich werden – auch dies, die technokratische Planung, war ein Trend der 1960er Jahre. Pececi, bestens vernetzt in renommierten Kreisen, tat sich mit Gleichgesinnten zusammen und gründete 1968 mit ranghohen Vertretern der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und zahlreichen Wissenschaftlern den Club of Rome. Bald entschied das Gremium, eine solide Studie erstellen zu lassen: Forscher des Massachusetts Institute of Technology (MIT) erhielten 1970 vom Club of Rome den Auftrag, die Lage der Menschheit zu untersuchen; finanziert wurde das Projekt von der Volkswagenstiftung.

Der Kollaps kommt

In Boston machte sich eine junge, interdisziplinäre Forschungsgruppe ans Werk. Unter der Leitung des Ökonomen Dennis Meadows, der in der damals avantgardistischen «Systemdynamik» geschult war, konstruierten die Forscher ein computerbasiertes «Weltmodell». Dieses berücksichtigte fünf zentrale Bereiche: Bevölkerungswachstum, Industrieproduktion, Nahrungsmittelproduktion, Rohstoffvorräte, Umweltverschmutzung. Zu allen Themenfeldern wurden die Computer mit Daten ab 1900 gefüttert. Auf dieser Basis sollten die Maschinen zukünftige Entwicklungen berechnen.

Die einzelnen Grössen wurden dabei miteinander in Verbindung gebracht: Welche Auswirkungen hat anhaltendes Bevölkerungswachstum auf den Bestand der Ressourcen und den Grad der Verschmutzung? Was bedeutet fortschreitende Industrialisierung für die Nahrungsmittelproduktion?

In zahlreichen Rechendurchläufen wurden verschiedene Szenarien simuliert, die Resultate waren durchgehend alarmierend. Auf die eine oder andere Weise lief das System bei anhaltendem exponentiellem Wachstum immer in den Kollaps: Die Sterberaten der Menschen erhöhten sich stark, die Bevölkerungszahl brach «rasch und nicht aufhaltbar» zusammen – sei es, weil die Ressourcen ausgingen, sei es, weil die Umweltverschmutzung zu gross wurde.

Eingängige Sprachbilder

Nach rund anderthalb Jahren Forschung lagen diese Ergebnisse in Buchform vor. Am 2. März 1972 präsentierte der Club of Rome «The Limits to Growth» in Washington und sorgte mit seinen Kontakten für eine rasche weltweite Verbreitung der Schrift. Bereits im Verlauf des Jahres war das Buch in zwölf verschiedenen Sprachen erhältlich. Dass die wissenschaftliche Studie auch bei Laien grossen Anklang fand, ist auf ihre Machart zurückzuführen: Zwar ist das Buch gespickt mit Tabellen und Grafiken. Immer wieder aber hielten die Autoren wichtige Aussagen in eingängiger, bildhafter Sprache fest.

Und so liess auch ihr Schlüssel an Klarheit nichts zu wünschen übrig: Sollte sich das Verhalten der Menschen nicht ändern, würden «die absoluten Wachstumsgrenzen der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht». Um den drohenden Untergang der Menschheit zu verhindern, galt es gemäss den Autoren einen «Gleichgewichtszustand» herbeizuführen. In diesem sollten namentlich die Grössen «Kapital» und «Bevölkerung» konstant bleiben, sprich: ohne weitere Zunahme auskommen. Denn in einem endlichen System, wie die Erde eines ist, war laut den Forschern unendliches materielles Wachstum schlicht nicht möglich.

Dieser letztere Gedanke war weder völlig neu noch sonderlich kompliziert – einen Grossrechner hätte man dafür nicht gebraucht, spotteten zahlreiche Kommentatoren. Trotzdem verlied das Buch den schon länger schwebenden Umweltfragen sofort eine neue Brisanz. Bis dahin waren Umweltprobleme auf lokaler Ebene betrachtet und

von Experten behandelt worden: Heimische Gewässer wurden gesäubert, rauchende Schloten mit Partikelfiltern ausgestattet. Am MIT dagegen wurden die Probleme vernetzt.

Das veränderte die Perspektive dramatisch: Was man vor der eigenen Haustüre sah, erschien plötzlich als Teil einer grosseren, vom allgemeinen Lebenswandel verursachten Störung. Somit standen keine einzelnen Sachfragen mehr zur Disposition, sondern die Verhaltensweisen ganzer Gesellschaften – innert weniger Monate wandelte sich die Umweltdiskussion zu einer kontrovers geführten Wachstumsdebatte, schreibt der Historiker Kai F. Hüsemörder.

Warnung oder Unsinn?

Die grosse Diskussion lief rund um den Globus. Und mit den Zusammenhängen zwischen Wachstum, Wohlstand und Umwelt berührte sie Fragen, die derart grundlegend waren, dass sich auch alle Welt betroffen fühlte: Jedes politische Lager, jede gesellschaftliche Strömung und jedes Medium sah sich genötigt, die Debatte aufzugreifen und Stellung zu beziehen. Dabei können die frühesten Positionen aus heutiger Sicht durchaus erstaunlich anmuten.

Die NZZ zum Beispiel lobte «Die Grenzen des Wachstums» in einer ausführlichen Rezension als «ernste Warnung». Es sei, hielt die Zeitung im Mai 1972 fest, «sicher kaum zu früh, die globalen Probleme, welche die künftige Existenz der Menschheit direkt betreffen, ernsthaft zu studieren». Auch vom «Fetisch», den man in den letzten Jahrzehnten um die Wachstumsraten betrieben habe, war in den Spalten der liberalen Zeitung zu lesen.

Andererseits schlug der Studie weniger Sympathie entgegen: Verschiedene namhafte Ökonomen verwarfen das «dreiste und schamlose Stück Unsinn» in Bausch und Bogen. Weder sei die Datenbasis der Studie verlässlich, noch stelle sie das kreative Potenzial, die immer wieder bewiesene Problemlösungsfähigkeit der Menschen in Rechnung.

Auch bei linken Ideologen fand das Buch zunächst wenig Freunde. Als der Club of Rome 1973 den Friedenspreis des Deutschen Buchhandels erhielt, kam es zu kleinen Protestaktionen. Vor allem für marxistische Linke war der «bourgeois» Club ein verlängerter Arm des Groszkapitals: Die «kapitalistischen Ideologiefabriken», schrieb ein Rezensent 1973, hätten den «Unsinn vom Wachstumsstopp» erstanden. Dies, um Arbeiter und Arme klein zu halten und die Dritte Welt auf neokoloniale Weise an der weiteren Entwicklung zu hindern. Es blieb in den 1970er Jahren nicht bei medialen Debatten unter Intellektuellen und internationalen Experten. Die Gedanken der «Grenzen des Wachstums» sicherten ins Bewusstsein der Allgemeinheit. An ganz konkreten Orten ist das Buch von ganz unterschiedlichen Menschen aufgenommen worden: Es hat Biografien geprägt und so auch den Gang der lokalen Politik beeinflusst.

Der Grüne

In der Schweiz zum Beispiel haben sich die Positionen zu Umweltfragen im Verlauf der 1970er und 1980er Jahre merklich verschoben, und dies sei mindestens zu Teilen auf den Bericht des Club of Rome zurückzuführen, erinnert sich Lukas Fierz.

Der Mitgründer der Grünen Partei war 1972 noch in der FDP engagiert. Für ökologische Belange hat er sich zunächst vor allem im Zusammenhang mit dem Strassenbau interessiert – die vielen Verkehrstoten, die damals zu beklagen waren, haben den Neurologen beschäftigt. Kurz nach Erscheinen der «Grenzen des Wachstums» hat er das Buch gelesen: «Das war ein Weckruf. Es hat einen Sturm ausgelöst.» Sein Privatleben, sagt Fierz heute, hätte er womöglich anders gestaltet, wenn das Buch früher gekommen wäre: «Wir hatten 1972 schon zwei Kinder. In Kenntnis der Studie hätten wir wahrscheinlich eine Einkindfamilie gegründet.»

Im politischen Bereich schien derweil noch sehr viel möglich. «Gemeinsam mit Kollegen probierte ich in den 1970er Jahren, die ökologischen Themen in der Partei zu stärken», sagt der heute 80-Jährige. 1983



«Keine Prognose hat sich auch nur annähernd bewahrheitet. Man hat uns mit apokalyptischen Bildern an der Nase herumgeführt.»

Filippo Leutenegger
Zürcher FDP-Stadtrat,
einmal ein Kopf der Anti-AKW-Bewegung

setzte sich Fierz dafür ein, dass die freisinnige Leni Robert, die sich stark mit Umweltfragen befasste, für den Nationalrat portiert werde. Wegen parteiinterner Querelen wurde Robert nicht nominiert, zusammen mit Gleichgesinnten trat sie aus der FDP aus. Noch 1983 entstand so die ökologisch ausgerichtete Freie Liste: eine Keimzelle der Grünen Partei Schweiz, in der sich Mitte der 1980er Jahre verschiedene Gruppierungen versammelten, die sich ausserhalb des klassischen Links-rechts-Schemas positionierten.

Die Fusion mit dem linksgerichteten Grünen Bündnis Schweiz veränderte ab 1991 den Kurs der Partei – von der sich später wiederum die Grünliberalen abspalteten. Ungeachtet aller Mutationen haben sich die Grünen aber als wichtige Kraft in der Politik etabliert. Und dass es diese Kraft gibt, hat laut Fierz eben auch mit dem «Weckruf» von 1972 zu tun: «Auf mittlere Sicht hat der Bericht des Club of Rome zur Gründung der Grünen Partei geführt.»

Das grosse Erdölproblem

Die Studie hat freilich auch kurzfristig auf das politische Leben eingewirkt. Von den «Grenzen des Wachstums» war ab 1972 in jeder erdenklichen Debatte und an jedem Ort der Schweiz die Rede.

Der Winterthurer Stadtrat beriet in einer zweitägigen Klausur darüber, wie die Stadtplanung mit dem «die Welt beschaffenden und bereits zum Schlagwort gewordenen Problem der «Grenzen des Wachstums» in Einklang zu bringen wäre. In Zürich war ein SVP-Politiker der Meinung, dass die damals geplante U-Bahn «die Grenzen des Wachstums der Agglomeration durchstossen» würde. Und auch in Bern führten ethische Parlamentarier das neue Wort im Mund: Ob es darum ging, einen bezahlten Bildungsurlaub für Arbeitnehmer zu fordern, die kommerzielle Schifffahrt zu beschränken oder die ansteigenden Staatsausgaben zu erklären – immer wieder wurde mit den «Grenzen des Wachstums» argumentiert.

Am stärksten aber prägen die Gedanken der «Grenzen» damals die Ener-

giediskussionen. Als die arabischen Länder 1973 im Gefolge des Jom-Kippur-Krieges die Erdölförderung drosselten und damit die Preise steigen liessen, wurde die Abhängigkeit von dem Rohstoff zum grossen Thema.

Dabei interpretierte selbst der Bundesrat die Krise als Hinweis auf die grundsätzliche Problematik der schwindenden Ressourcen. Durch das Embargo sei der «mengenmässige Aspekt des Erdölproblems», auf den zuvor schon die Studie des Club of Rome aufmerksam gemacht habe, «schlagartig ins Licht gerückt». Man könne deswegen nicht von einer vorübergehenden Erscheinung sprechen, sondern müsse sich fundamentale Fragen zu künftigen Wachstum und damit verbundenem Wohlstand stellen, hiess es im September 1974.

Um den Wohlstand zu sichern und das Land in der Zeit des ausgehenden Erdöls ausreichend mit Energie zu versorgen, galten Kernkraftwerke als beste Lösung. Doch diese stiessen in der Bevölkerung auf zunehmenden Widerstand – und zwar just auch aufgrund der «Auseinandersetzung über die Probleme und Grenzen des Wachstums», wie die NZZ schon 1973 bemerkte.

Der AKW-Gegner

Tatsächlich hat das Buch hierzulande wesentlich zur Formierung der Anti-AKW-Bewegung beigetragen. Seine konkrete Wirkung sieht man zum Beispiel bei Filippo Leutenegger. Der heutige Zürcher FDP-Stadtrat hat das Buch kurz nach der Matura gelesen. «Die Lektüre hat mich sehr beeindruckt, sie hat mich damals geprägt und auch politisiert», sagt er im Rückblick. Um 1975 wurde Leutenegger zu einem führenden Kopf im Lager der AKW-Gegner, bei der Besetzung des Geländes des geplanten Kraftwerks in Kaiseraugst war er genauso dabei wie bei den Demonstrationen gegen das AKW Gösigen.

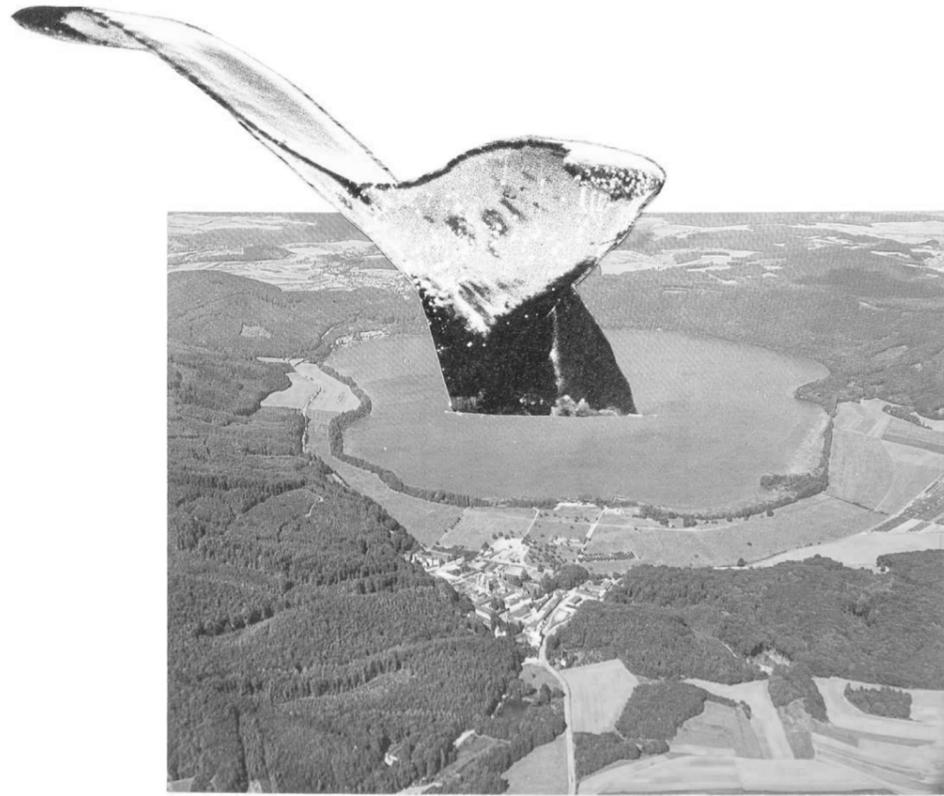
«Die Grenzen des Wachstums» sagten zwar nur wenig Konkretes zur Atomkraft. Doch für die Aktivisten war evident, dass diese Anlagen das Weiterwachsen befähigen würden, und Leutenegger war vor allem über die radioaktiven Abfälle besorgt: «Die

langfristige Bedrohung der Menschheit hat mich aufgebracht.» So oder so sei das Buch für die Bewegung ein «wichtiges Werk» gewesen.

Den Bau neuer AKW sieht Leutenegger bis heute kritisch, solange die Abfallfrage nicht gelöst ist. Und das Buch, sagt er, habe ihn zu dem Grünen gemacht, der er innerlich noch immer sei. Mit den Thesen der «Grenzen» kann der studierte Ökonom jedoch nicht mehr viel anfangen: «Das Konzept des Nullwachstums habe ich sehr rasch verabschiedet: Wachsen muss ja nicht zwingend bedeuten, mehr Ressourcen verbrauchen.» Zudem habe der weitere Verlauf der Dinge dem Buch seine Glaubwürdigkeit genommen: «Keine der Prognosen hat sich auch nur annähernd bewahrheitet. Viele Rohstoffe sind zwar immer noch stark gefährdet, aber nicht ausgegangen. Da hat man uns mit apokalyptischen Bildern an der Nase herumgeführt.»

Inwiefern das Buch «richtig» lag, wird heute weltweit genauso kontrovers diskutiert wie die Qualität der Studie bei ihrem Erscheinen. Manche sehen «Die Grenzen des Wachstums» als Paradebeispiel für falsche Öko-Alarme und -Hysterien. Die Erdölvorräte zum Beispiel hätten sich als erheblich grösser erwiesen als damals angenommen: neue Formen der Energiegewinnung wie das Fracking seien dazugekommen, die Verschmutzungen und Umweltbelastungen durch technologische Fortschritte in vielen Bereichen zurückgegangen. Andere betonen dagegen, dass die Autoren nie konkrete Prognosen gemacht hätten, sondern mögliche Tendenzen zeigten wollten.

Zumindest eine der diversen Modellierungen habe mit Blick auf den weiteren Verlauf der Umweltdiskussion eine «durchaus prophetische Qualität» gehabt, schreibt der Historiker Patrick Küpper. In einer ihrer Simulationen gingen die MIT-Forscher nämlich davon aus, dass die weltweiten Ressourcen noch doppelt so gross wie gemeinhin angenommen seien. In diesem «optimistischen» Modell erwies sich nicht die Knappheit der Rohstoffe, aber die anhaltende Umweltschmutzung als Problem für das



Gesamtsystem – und tatsächlich ist der Ausstoss von Schadstoffen im Zusammenhang mit dem Klimawandel ab den 1990er Jahren zum Zentrum der Umweltdiskussionen geworden. In den Jahrzehnten nach 1972 hat sich damit, wie Kupper sagt, ein «deutlicher Prioritätenwechsel» vollzogen: «weg von der Problematik begrenzter Ressourcen hin zu jener der Schadstoffemissionen durch den bereits getätigten und den für die Zukunft prognostizierten Verbrauch ebendieser Ressourcen».

Streit auf unserer Erde

Verändert hat sich die Prioritätensetzung im Verlauf der Zeit auch in der Wachstumsdebatte. Zwar ist die Grundsatfrage – stürzt weiteres Wachstum die Menschheit in den Abgrund? – seit 1972 nie mehr aus der Welt verschwunden, und bis heute wird sie von manchen linken Intellektuellen und Aktivisten überzeugt bejaht. Doch längst sind neue, weniger extreme Kategorien entstanden, die Umweltschutz und Wirtschaftswachstum verbinden wollen: «Nachhaltigkeit» lautet das Rezept. Schon im Sommer 1972 waren erste Schritte in diese Richtung zu sehen. Vom 5. bis zum 16. Juni fand in Stockholm der erste Uno-Umweltgipfel statt. Das Treffen war bereits 1968 einberufen worden, auf Initiative der Schweden. Sie hatten ihre Sorge über Schäden, die durch sauren Regen entstanden, in die Uno getragen; diese entschied, eine Konferenz über die menschliche Umwelt anzusetzen. Durch die kurz vor dem Gipfel veröffentlichte Club-of-Rome-Studie wurde die Frage des Wachstums auch in Stockholm zum Thema.

Der Sonderbeauftragte Maurice Strong liess dort verlauten, das Ziel liege in einer «Versöhnung»: zwischen den «legitimen sofortigen Ansprüchen der Menschen (...), dem Respekt vor den natürlichen Lebensgrundlagen und den Rechten der Generationen, die nach uns kommen». Passend dazu war das Motto des Gipfels gewählt: «Only One Earth». Nur würde in Stockholm deutlich, dass auf dieser einen Erde sehr unterschiedliche «legitime Ansprüche» bestanden.

Für die Vertreter der Drittweltländer war Umweltschutz ein Luxusproblem

des Nordens. Sie wollten wachsen können, um der Armut zu entkommen, und trugen eine dezidierte Stellungnahme vor: «Wir lehnen Modelle der Stagnation, wie sie von gewissen alarmierten westlichen Ökologen, Ökonomen, Industriellen und Computer-Fans vorgeschlagen werden, auf das Entscheidende ab.»

Der Geograf

Das war ein heftiger Seitenhieb gegen die Arbeit der MIT-Forscher. Deren «Weltmodell» hatte keinerlei soziale Faktoren einbezogen: für den Grosscomputer war die Erde ein Ort, an dem überall identische Verhältnisse herrschten. Doch gerade die Mängel des Modells regten neue Ideen an. Wie sie entstanden, kann man zum Beispiel im Leben von Urs Wiesmann verfolgen.

Der Geograf hat bis zu seiner Emeritierung das Zentrum für nachhaltige Entwicklung und Umwelt (CDE) an der Universität Bern mitgeleitet. Als wir miteinander telefonieren, ist er gerade in Kenya, an einem Workshop über das Management natürlicher Ressourcen durch die lokale Bevölkerung. Ob er ohne die «Grenzen des Wachstums» je dort gelandet wäre? «Das Buch stand am Anfang meiner ganzen Karriere», sagt Wiesmann. Nach der Lektüre habe er, damals gerade 20-jährig, ein Studienfach gesucht, in dem sich Mensch, Umwelt und Wirtschaft zusammendenken liessen. So sei er zur Geografie gekommen.

«Wie überall war dort die Faszination für systemdynamische Modelle enorm, sie galten in jenen Jahren als höchster Standard.» Doch bald habe er in seinen eigenen Arbeiten gemerkt, dass reine Rechnereien nirgends hinführten. Im Rahmen des Unesco-Programms «Man and Biosphere» versuchte er die Belastungsgrenzen des Tourismus in Grindelwald zu erörtern. Das erwies sich als unmöglich, denn: «Die Natur sagt uns nicht, wo ihre Belastungsgrenze liegt. Man kann das an keinem Modell ablesen. Wir, die Gesellschaft, müssen eine Wertung vornehmen und entscheiden, welche Aspekte wir ins Zen-

trum rücken wollen: Geht es uns in Grindelwald um den Erhalt des Landschaftsbildes? Um den Schutz vor Lawinen? Um die Produktivität der Landwirtschaft? Um Biodiversität? Die zahlenbasierten Modelle, so Wiesmanns Schluss, mussten um gesellschaftlich ausgehandelte Ziele ergänzt werden. Und um solche Ziele wirklich erreichen zu können, brauchte es nach seinen ersten Erfahrungen noch etwas Weiteres: «Die Modellsysteme sagen nichts über die Akteure, über deren Werte und Strategien aus. Solche Dinge muss man aber verstehen, wenn man irgend etwas ändern will an einem System und einem spezifischen Kontext.»

Ein neues Wachstumskonzept

Mit diesen Ansätzen hat Wiesmann in den letzten Jahrzehnten gearbeitet und sich dabei um den globalen Süden für Projekte der nachhaltigen Entwicklung engagiert. Auch auf der Ebene der internationalen Organisationen hat sich in dieser Zeit die Einsicht durchgesetzt, dass unterschiedliche Weltregionen unterschiedliche Bedürfnisse haben.

1983 gründete die Uno eine Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. An deren Spitze stand die Norwegerin Gro Harlem Brundtland, die 1987 den Bericht «Our Common Future» vorlegte. Darin war festgehalten, dass Wirtschaftswachstum in den Ländern der Dritten Welt eine notwendige Bedingung für die Überwindung der Armut darstelle. Dort, in den Entwicklungsländern, hatte Wachstum laut dem Bericht denn auch primär stattzufinden; für die industrialisierten Länder waren Wachstumsraten vorgesehene, die tiefer als jene Asiens, Afrikas oder Lateinamerikas lagen.

Zugleich machte Brundtland die «Nachhaltigkeit» zum Dreh- und Angelpunkt ihres Berichts. Die anvisierten Entwicklungen sollten «sustainable» sein, sprich: «die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation decken, ohne die Fähigkeit zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu decken.»

In gewisser Weise ist damit eine Mittelposition entstanden zwischen der Wachstumseuphorie der 1950er und

«Die Natur sagt uns nicht, wo ihre Belastungsgrenze liegt. Wir müssen entscheiden, welche Aspekte wir ins Zentrum rücken wollen.»

Urs Wiesmann
Ex-Leiter des Zentrums für nachhaltige Entwicklung und Umwelt an der Uni Bern

1960er Jahre auf der einen und dem radikalen Postulat einer absoluten Wachstumsgrenze auf der anderen Seite. Wachstumsstopp und Nullwachstum, wie der Bericht des Club of Rome sie nahegelegt hatte, wichen im Uno-Rapport dem Konzept eines begrenzten, eben «nachhaltigen» Wachstums.

In Brundtlands Gremium waren zwar keine Mitglieder des Club of Rome vertreten. Trotzdem, meint der Umweltwissenschaftler Peter Moll, haben «Die Grenzen des Wachstums» eine Rolle gespielt in der Genese des Nachhaltigkeitskonzepts: Das Buch hat einen Gedanken lanciert, den die Weltgemeinschaft aufgreifen, verwerfen und doch weiterentwickeln konnte. Dieser Prozess ist bis heute in Gang. Denn darüber, was Nachhaltigkeit genau bedeutet oder wie sie zu erreichen wäre, ist man sich auf der Erde noch längst nicht einig.

Und sonst? Hat die Schrift ihre Halbwertszeit inzwischen definitiv erreicht? Man könnte es meinen, denn zu dem Umweltproblem, das die Welt seit 30 Jahren überwiegend beschäftigt, hat der Bericht von 1972 so gut wie nichts zu sagen. Die Erderwärmung wird zwar in einer Passage des Buches als Problem erwähnt, das sich aus der Freisetzung von Kohlendioxid ergeben könnte. Konkret behandelt aber wird der Klimawandel nicht.

Der Architekt

Doch dieses Manko tut der heutigen Wirkung der «Grenzen des Wachstums» keinen Abbruch. Es gibt auch im 21. Jahrhundert noch Menschen, die das Buch zur Hand nehmen und nach der Lektüre neue Wege einschlagen. Daniel Studer zum Beispiel. Der Architekt und ETH-Dozent ist 1962 zur Welt gekommen. Irgendwann hat ihm sein Vater, ein Ingenieur, «Die Grenzen des Wachstums» geschenkt. Aber erst als er das Buch nach Jahren wieder aus dem Schrank holte, packte ihn die Lektüre: «2009 wurde ich gebeten, an der ETH einen Vortrag über nachhaltiges Bauen zu halten. Zur Vorbereitung habe ich das Buch gelesen – das hat mich wachgerüttelt.»

Einerseits habe ihn das Buch erschreckt, weil es ihm deutlich gemacht habe, dass er über seine Verhältnisse lebe. Andererseits habe er auch sofort neue Möglichkeiten gesehen: «Ich kann etwas verändern. Im Kern geht es ja darum, dass wir unsere Rohstoffe in einen Kreislauf bringen müssen. Und dazu kann ich als Architekt einen Beitrag leisten.»

Zunächst hat Studer sein eigenes Haus umgerüstet, auf eine Wärmepumpe folgte bald eine Photovoltaikanlage. Und auf den Solarbereich hat er später auch beruflich den Fokus gerichtet: 2017 hielt Studer an der Hochschule ein Solarsemester ab; daraus ist unter anderem die Solar-datenbank der ETH hervorgegangen. Die angehenden Architekten zeigen laut dem Dozenten ein zunehmendes Interesse am nachhaltigen Bauen – und er selber feiert mit seinen Ideen internationale Erfolge. 2019 ist ein von Studer renoviertes Gebäude mit dem europäischen Solarpreis ausgezeichnet worden: Die katholische Kirche in Ebmatingen vermag seit Studers Rundumsanierung ihre Energie vollständig selber zu produzieren.

Auch wenn wir nun fast im Himmel enden: Nein, der Bericht des Club of Rome wird die Bibel niemals einholen. Aber das Buch hat eine globale Debatte angestoßen, die unseren Blick auf die Umwelt bis heute bestimmt. Seine Gedanken haben Spuren in Lebensläufen hinterlassen, sie haben sich in Köpfen festgesetzt und in die Politik ausgegriffen. Die Erzählung der MIT-Forscher mag stimmen, halbwegs sein oder auch ganz danebenliegen: Auf jeder Ebene, vom gesamten Planeten bis in den eigenen Garten, haben «Die Grenzen des Wachstums» Geschichte geschrieben.

Literatur zum Thema (Auswahl): Ulrich Gröber: Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Verlag Antje Kunstmann 2010 / Peter Moll: From Scarcity to Sustainability. Verlag Peter Lang 1992 / Joachim Radkau: Die Ära der Ökologie. Eine Weltgeschichte. Verlag C. H. Beck 2011 / Frank Uekötter, Jens Hohensee (Hrsg.): Wind. Kasandra Heiser: Die Geschichte falscher Ökonomie. Verlag Franz Steiner 2004.

Frau Dixon-Declevé, der Bericht «Die Grenzen des Wachstums» beginnt mit einem Zitat von U Thant, einem ehemaligen Uno-Generalsekretär. Er mahnte 1969, dass nur noch zehn Jahre blieben, um das Weitersteigen zu stoppen, die Bevölkerungsexplosion einzudämmen und den menschlichen Lebensraum zu schützen. Auch heute haben wir laut dem Club of Rome nur noch ein Jahrzehnt, um das Überschreiten irreversibler Kippunkte zu verhindern. Lieben die Menschen Untergangsszenarien? Das würde ich nicht sagen. Wenn die Menschen Untergangsszenarien liebten, hätten sie damals vielleicht auf den Bericht gehört. Es gab seither viele Weckrufe: den Verlust an Biodiversität, den Klimawandel und jetzt die Pandemie, die verursacht wurde, weil die Menschen immer weiter in den natürlichen Lebensraum vordringen. Wenn wir in den nächsten zehn Jahren nicht handeln, werden wir immer mehr Kippunkte überschreiten.

Die Ursache der Pandemie ist wissenschaftlich umstritten. Aber abgesehen davon: Wenn damals gesagt wurde, dass nur noch zehn Jahre zum Handeln blieben, und fünfzig Jahre später genau dasselbe gesagt wird, muss doch mindestens eine der beiden Aussagen falsch sein. Nein, denn viele der Vorhersagen aus «Die Grenzen des Wachstums» sind von der systemtheoretischen Ebene aus gesehen eingetreten. Die im Bericht entworfenen Szenarien haben die jetzige Situation exakt vorausgesagt. Damals hätten wir die Möglichkeit gehabt, diese Entwicklung vollständig zu verhindern. Jetzt ist das nicht mehr möglich, wir sehen uns mit Kippunkten konfrontiert. Es geht nun darum, die Konsequenzen zu mildern.

Der Bericht warnte damals vor einer Verknappung der Ressourcen. Kritiker widersprechen: Die Rohstoffpreise seien seither nicht in einem Masse angestiegen, das eine solche Verknappung belegen würde. Das Problem sei im Gegenteil ein Übermass an Ressourcen: Die andauernde Verbrennung von Öl und Gas verursache den Klimawandel. Da widerspreche ich zu einhundert Prozent, die meisten Wissenschaftler und Ökonomen sehen das übrigens genauso. Ich habe in der Öl- und Gasindustrie gearbeitet. Wir haben den sogenannten «peak oil», das historische Maximum der Ölförderung, in vielen Fällen bereits erreicht. Wir dürfen nicht warten, bis unsere Ressourcen überstrapaziert sind. Um den Bedarf der wachsenden Weltbevölkerung decken zu können, müssen wir beim Verbrauch der Ressourcen auch an künftige Generationen denken. Und unser Konsumverhalten ändern, um den ökologischen Fussabdruck zu verringern. Der globale Norden ist heute weitestgehend mit preiswerten Rohstoffen versorgt, die in armen Ländern des globalen Südens gewonnen werden. Dies geschieht auf Grundlage alter Kolonial- und Handelsbeziehungen, die den Menschen im globalen Süden nicht wirklich zugutekommen. Es ist also auch eine Frage von Armut und Ungleichheit.

Sie sagen, eines der Hauptprobleme sei, dass Regierungen und Teile der Bevölkerung Wohlstand über Wohlfinden stellen. Ist Wohlstand nicht die Voraussetzung für Wohlfinden? Vermögen in den Taschen einiger weniger ist definitiv das Gegenteil von Wohlfinden und Wohlstand für die Mehrheit. Untersuchungen haben gezeigt, dass mehr Geld oder materielle Güter Individuen nicht notwendigerweise glücklicher machen. Es ist ein Irrtum, zu glauben, dass Wohlstand zu mehr Wohlfinden führt. Bei Menschen in Armut ist es natürlich wichtig, die Kaufkraft zu steigern und sicherzustellen, dass sie genug zum Leben haben. Aber ab einem mittleren Einkommen steigt das Wohlfinden nicht mehr mit steigendem Einkommen.

Sie plädieren für Degrowth, also das gezielte Schrumpfen der Wirtschaftskraft? Ich kann mir die Diskussion um Wachstum und Degrowth nichts anfangen. Genau diese Diskussion ist nämlich der Grund, warum «Die Grenzen des Wachstums» missverstanden wurde. Wir haben nicht gesagt, dass gesundes Wachstum gestoppt werden sollte.



Aber wir brauchen neue Indikatoren für Wachstum, die den Schutz unserer Lebensgrundlagen berücksichtigen. Das neoliberale Verständnis von Wachstum gründet jedoch einzig auf dem Bruttoinlandsprodukt.

Im Bericht von 1972 geht es aber gerade nicht um gesundes Wachstum, sondern um die Beschränkung des Wachstums. Dennoch sind Sie davon überzeugt, dass sich alte Annahmen von damals als richtig herausgestellt haben? Es ist interessant, dass Sie diese ganzen Fragen stellen, um «Die Grenzen des Wachstums» zu diskreditieren. Natürlich handelt es sich um fünfzig Jahre alte Modellierungen mithilfe von riesigen Computern, die heute völlig veraltet wären. Aber die modellierten Szenarien haben die heutige Situation in Bezug auf die Kippunkte exakt vorausgesagt. Ich finde das faszinierend, selbst wenn ein-



Sandrine Dixon-Declevé
Präsidentin des Club of Rome

zelne Aspekte sich anders entwickelt haben als damals in den Modellierungen angenommen – insgesamt gesehen lag man genau richtig.

Ich frage deshalb so genau nach, weil ein herausstechendes Merkmal des Berichts damals die wissenschaftliche Herangehensweise war. Inzwischen, so haben Sie und Ihre Co-Präsidentin Mamphele Ramphela betont, reiche eine rein wissenschaftliche Argumentation nicht mehr aus. Sie wollen die Debatte emotionalisieren. Was versprechen Sie sich davon? Die Präsidentschaft von Donald Trump und der Einfluss der sozialen Netzwerke auf die Einstellungen der Bevölkerung haben gezeigt, dass auch wir mehr als bloss Daten liefern müssen, um die existenzielle Bedrohung der Menschheit aufzuzeigen. Die Corona-Pandemie bietet hierzu eine Möglichkeit: Vielen Menschen ist klargeworden, dass ihnen Gesundheitsversorgung, Zugang zu Nahrung und Wasser und die Sicherheit ihrer Familie wichtiger sind als materielle Güter. An diesem Punkt können wir in das Bewusstsein der Menschen eindringen und nach dem wirklich Wertvollen fragen: Haben sich die Herzen geöffnet? Verstehen die Menschen jetzt, dass der Besitz mehrerer Autos und grosser Häuser nicht notwendigerweise glücklich macht? Am wichtigsten sind schließlich das Überleben und die Gemeinschaft mit der Familie.

Der Club of Rome

ino. · 1972 veröffentlichte der Club of Rome den Bericht «Die Grenzen des Wachstums», der die Debatte um Wachstum und Umwelt weltweit prägte. Auch heute noch setzt sich die Organisation für diese Themen ein. Die über 140 ehrenamtlichen Mitglieder stammen aus der ganzen Welt. Es handelt sich um Wissenschaftler, Unternehmer, hohe Beamte und ehemalige Staatschefs. Die Organisation wird von unterschiedlichen Stiftungen getragen.

Zum Jubiläum 2022 sind zwei Publikationen geplant, die auf die letzten fünfzig Jahre zurückschauen und Möglichkeiten für eine nachhaltige Zukunft aufzeigen sollen. Seit 2018 leiten erstmals zwei Frauen den Club of Rome: die belgische Expertin für Energiepolitik und Nachhaltigkeit Sandrine Dixon-Declevé und die südafrikanische Ärztin und ehemalige Politikerin Mamphele Ramphela. Dixon-Declevé hat den Vorsitz der Expertengruppe der EU-Kommission für wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen von Forschung und Innovation (Estir) inne. Zudem ist sie Mitglied zahlreicher Beiräte von Unternehmen und Universitäten. Zuvor arbeitete sie als Beraterin von Mitgliedern des EU-Parlaments und Präsidenten der EU-Kommission sowie internationaler Regierungen, Unternehmen und Organisationen wie der OECD und der Opec.

«Es ist ein Irrtum, zu glauben, dass Wohlstand zu mehr Wohlbefinden führt»

Die Präsidentin des Club of Rome Sandrine Dixon-Declevé will die Debatte über den Klimawandel emotionalisieren, wie sie im Gespräch mit Pauline Voss sagt. Kritikern des Berichts von 1972 stellt sie sich vehement entgegen.

Harald Welzer, «Selbstdenken - Eine Anleitung zum Widerstand», Frankfurt am Main 2014, S. 23-30

WOHNST DU NOCH, ODER ZERSTÖRST DU SCHON?

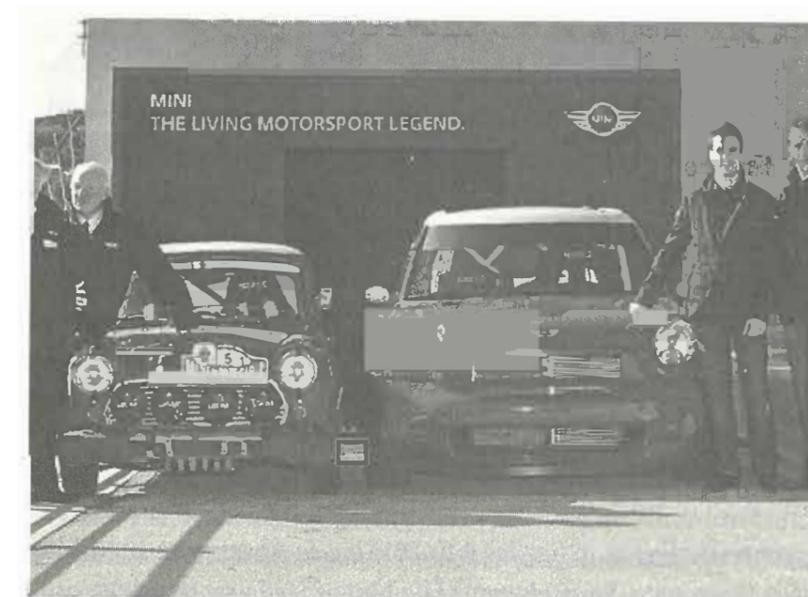
Stellen Sie sich vor: Ein älteres Ehepaar geht zu IKEA, bleibt lange vor dem Schrank »Bjursta« stehen, öffnet und schließt die Türen, zieht und schiebt die Schubladen, prüft das Holz, streicht über die Oberflächen, geht um das Stück herum, überlegt, sinniert. Schließlich sagt die Frau zu ihrem Mann: »Den nehmen wir. Der ist schön und solide, von dem wird unser Enkelchen noch etwas haben!«

Wenn ich diese fiktive kleine Episode in Vorträgen erzähle, gibt das verlässlich einen Lacher. Warum? Weil heute die Vorstellung völlig absurd scheint, dass man ein Möbelstück *vererben* könnte, ja dass man es in der Perspektive anschaffen könnte, es wäre nicht spätestens in fünf, sechs Jahren aus der Mode und würde ersetzt werden. Tatsächlich kauft man Möbel heute für den Sperrmüll, auf dem sie über kurz oder lang landen werden. Sie sind in Relation zu den verfügbaren Einkommen extrem billig, weshalb es nichts macht, sie wegzuschmeißen und à la mode zu ersetzen. Was IKEA und andere Billigmöbelhäuser geschafft haben, ist die Verwandlung von langlebigen in kurzlebige Konsumgüter. Während Durchschnittsfamilien früher lange sparten, um sich einen neuen Schrank leisten zu können, und sie ihn sich dann anfertigen ließen oder im Möbelhaus kauften, handelt es sich heute um Mitnahme- und Wegwerfartikel. Ökologisch betrachtet sind diese kurzlebigen Pseudomöbel nicht nur deswegen eine Katastrophe, weil sie nach kurzem Gebrauch entsorgt werden: In ihre Produktion geht auch wesentlich mehr Energie-, Material- und Transportaufwand ein als in jeden getischlerten Schrank. Die Ikeaisierung der Welt sieht in Zahlen so aus, dass der Konsum an Möbeln in den westlichen Gesellschaften alle zehn Jahre um 150 Prozent wächst.¹¹ Und IKEA ist inzwischen überall. Mit seinem ekelhaften Geduze, das den Kunden in genau dem infantilen Zustand anspricht, in den es ihn zu versetzen beabsichtigt.

Allein im 20. Jahrhundert wurde mehr Energie verbraucht als während der kompletten Menschheitsgeschichte davor. Im selben Zeitraum ist die Wirtschaft um das Vierzehnfache, die industrielle Produktion um das Vierzigfache angewachsen.¹² Die Menge an gekaufter Kleidung verdoppelt sich in den USA jahr-

zehntweise.¹³ Aber wir verzeichnen nicht nur ein exorbitantes Mengenwachstum; viele Produkte fordern selbst immer mehr Material. Autos zum Beispiel verzeichnen über die letzten Jahrzehnte ein spektakuläres Wachstum. Ein VW Golf hat im Lauf seiner Bauzeit von 750 Kilogramm Gewicht auf 1,2 Tonnen zugelegt. Noch extremer ist der Mini. War der vor 40 Jahren tatsächlich klein und transportierte mit 34 PS und 617 Kilogramm Gewicht immerhin vier Personen, gibt es ihn heute als Limousine, Cabrio, Kombi, Coupé, Roadster und SUV, mit bis zu 211 PS und 1380 Kilogramm Gewicht.

Die Größe des heutigen Mini übertrifft lässig die des einstigen Inbegriffs des Oberklasse-Sportwagens Porsche 911. Der wiederum ist in seiner aktuellen Ausbaustufe so breit wie 1960 der legendäre Mercedes 300, der »Adenauer-Mercedes«. Für solches hypertrophes Wachstum, das von den surrealen »Stadtgeländewagen« Audi Q7, BMW X5, Porsche Cayenne und so



Hypertrophie: Mini.

weiter noch locker übertroffen wird, sind die Straßen, die Parkbuchten und die Autobahnen mittlerweile zu klein geworden. Folgerichtig fordert die größte und mächtigste NGO Deutschlands, der ADAC, eine Verbreiterung der Überholspuren in Autobahnbaustellen (die sich natürlich vervielfachen würden, wenn diese Forderung umgesetzt würde).

Und derlei Monsterautos, die in der Regel nach wie vor nur eine einzige Person transportieren, gibt es heute pro Haushalt

nicht mehr nur einmal, sondern gleich zwei- bis dreifach, und in denselben Haushalten finden sich sechs Flatscreens, eine Klimaanlage, ein amerikanischer Kühlschrank mit Eiswürfelbereiter (falls mal Dean Martin vorbeikommt) und überhaupt eine sogenannte Landhausküche, mit deren technischer Ausrüstung man zwei vollbelegte Jugendherbergen mühelos versorgen könnte.

In mehr als 70 Prozent der amerikanischen Haushalte findet sich eine Bohrmaschine. Deren Nutzungsdauer beläuft sich auf durchschnittlich 13 Minuten, insgesamt.¹⁴ In Deutschland



Sehr grün: Ökostromlabel, Auswahl.

prognostiziert man für das Jahr 2012 einen Absatz von 10 Millionen Flatscreen-Fernsehern.¹⁵ Die Nutzungsdauer bei elektronischen Geräten verkürzt sich, den unermüdlichen Ingenieuren sei Dank, rasant, und mittlerweile werden in den USA 40 Prozent und in Europa 30 Prozent der Nahrungsmittel als Dreck entsorgt, weil sie nur noch gekauft, aber nicht mehr konsumiert werden.

Unermüdlich produziert die Nachhaltigkeitsindustrie Berechnungen und Labels zu Carbon footprints, ökologischen Rucksäcken, virtuellem Wasser und übersieht dabei völlig, dass alles dieses längst in Produkte eingeht, die erstens niemand braucht und die zweitens gar nicht mehr konsumiert, sondern nur noch gekauft und weggeschmissen werden. Oder so funktionieren wie die Abfallerzeugungsmaschinen vom Typ »Nespresso«. Erst setzt sich die Strategie am Markt durch, pro Tasse Kaffee eine aufwendige Kunststoffkapsel mit zu verkaufen, um so das Produkt mit einem exorbitanten Preis und einem noch grandioseren Müllfaktor versehen zu können. In den bis zu 43 Cent teuren Kapseln sind je nach Hersteller zwischen sieben

und sechzehn Gramm Kaffee enthalten; das Pfund Kaffee kommt da auf 30 Euro. Die Kaffeemaschinen sind dagegen vergleichsweise günstig, weshalb allein in Deutschland im Jahr 2011 mehr als eine Million Kapselkaffeemaschinen verkauft wurden.¹⁶ Für die Umweltkosten der Kapseln liegen mir keine Berechnungen vor, aber es war natürlich nur eine Frage der Zeit, bis jemandem auffiel, dass hier eine veritable Öko-Schweinerei vorliegt. Folgerichtig begann man, Ökokaffee kapseln für die Kapselkaffeemaschinen herzustellen. Schwupps konnte ein Produkt als »umweltfreundlich« gelten, das es vor kurzem noch gar nicht gab und das ausschließlich aufgrund seiner Inexistenz umweltfreundlich war. Die nächste Stufe hat Nestlé bereits eingeläutet (siehe unten).

Wahrscheinlich haben Sie beim Lesen der letzten Seiten das Gefühl gehabt, dass Sie längst etwas tun, was Sie freiwillig und bewusst nie beabsichtigt haben: Sie verzichten auf Ihre Freiheit, Ihr Leben nach Ihren eigenen Entscheidungen einzurichten. So wie Sie sich Ihren Lebensraum mit Produkten vollstellen, von denen Sie bis vor kurzem gar nicht wussten, dass Sie sie jemals haben wollen würden, so wenden Sie immer mehr Zeit dafür auf, sich in diesem Konsumuniversum für oder gegen irgendetwas zu entscheiden: Sie lesen Tests und Erfahrungsberichte,



BabyNes: Es handelt sich bei der abgebildeten Person nicht um eine Ministerin.

arbeiten sich durch Bedienungsanleitungen und Updates, rufen Preisvergleiche ab, schließen Verträge aller Art ab – weshalb Sie immer mehr kaufen, aber immer weniger konsumieren, was Sie gekauft haben (vgl. S. 80).

Sie befriedigen also in Wahrheit nicht *Ihre* Bedürfnisse, sondern die eines Marktes, den es ohne Sie gar nicht gäbe. Sie sind wie der Mieter eines 20-Quadratmeter-Apartments, der auf den Balkon gehen muss, um den »Tatort« auf seinem Fernseher mit 60-Zoll-Bildschirmdiagonale verzerrungsfrei sehen zu können. Sie schränken Ihre Freiheit ein, um Platz für Produkte zu machen. Oder um Wochenendtrips mit dem Billigflieger und Flughafentransfers und Sicherheitskontrollen zu absolvieren, anstatt zu Hause zu bleiben und sich von der Arbeitswoche zu erholen – hat Ihnen das jemand befohlen? Wer?

Ein Marketing-Mann von Harley-Davidson hat einmal gesagt: »Bei Harley kaufen sie ein Lebensgefühl und bekommen noch kostenlos ein Motorrad dazu.« Als Kunde von Lifestyle-Anbietern sind Sie längst Teil der Benutzeroberfläche von Unternehmensstrategien geworden, die Sie als ihr eigentliches Produkt erfunden haben: als unablässiger Neu-Bedürfnis-Haber, dem man in immer kürzeren Zeitabständen immer mehr Neues andreht. Zum Beispiel ist Apple kaum daran interessiert, welche Krankheiten die Arbeiter bekommen, die bei Foxconn die Displays imprägnieren, über die Ihre Finger dann so geschmeidig gleiten können, dafür umso mehr daran, wie sich die Produktion von immer mehr Geräten für immer absurdere Zwecke in Ihrer Innenwelt einrichtet. In der haben sich die Prioritäten, die Aufmerksamkeiten und die Wahrnehmungen bereits so verändert, dass Sie längst schon ein digitaler Junkie geworden sind, der Entzugserscheinungen bekommt, wenn das iPhone weg ist. Selbst auf Musikfestivals bilden sich die längsten Schlangen vor den Aufladestationen für Handys; nicht auszudenken, wenn man nicht online gehen kann. Der Anblick der szenigen jungen Paare, die in szenigen Berliner Bars nebeneinandersitzen und auf die Bildschirme ihrer MacBooks starren und von Zeit zu Zeit irgendwelche Tasten auf ihren Tastaturen drücken, hat für mich etwas zutiefst Deprimierendes.

Mich verstört der leichtherzige Verzicht auf Freiheit und das freimütige Eintauschen von Autonomie gegen Produkte auch deswegen, weil hier ohne Not preisgegeben wird, was der wirkliche historische Gewinn des Aufstiegs der frühindustrialisierten Gesellschaften war. Das ist nicht primär der Wohlstand, der ja hinsichtlich seines Mehrwerts an Glück ab einem bestimmten Niveau ziemlich begrenzt ist, sondern eben das: bürgerliche Rechte, Demokratie, Rechtsstaatlichkeit, Bildungs- und Gesundheitsversorgung. Denn die kapitalistischen Gesellschaften produzieren ja beides zugleich: die Erfahrung von Freiheit und Teil-

habe *und* Ungleichheit und Ungerechtigkeit. Die Steigerung des individuellen Glücks *und* die Zerstörung der Welt. Aufklärung *und* Selbstentmündigung.

Deshalb greift alle grüne Kritik an der ressourcenübernutzenden Kultur und jede Forderung nach mehr Nachhaltigkeit in der Wachstumswirtschaft gleich zweimal daneben: Erstens geht es heute nicht mehr um Korrekturen, sondern um eine Umkehr, und zweitens nicht um die Frage, was es zu vermeiden, sondern was es zu erhalten gilt. Denn eines ist ja klar: Gesellschaften unseres Typs werden in den kommenden Jahren und Jahrzehnten mehr und mehr unter Stress geraten, unter Ressourcenstress, Schuldenstress, Migrationsstress usw. Unter Bedingungen von erhöhtem Stress schrumpft der Raum zum Handeln: Man beginnt dann nur noch zu reagieren und hört auf zu gestalten – so wie es die europäischen Regierungen unter dem Druck der Finanzindustrie heute schon tun. Weshalb man vor einer einfachen Wahl steht: Da sich unsere Welt radikal verändern wird, stehen wir nicht vor der Frage, ob alles bleiben soll, wie es ist, oder nicht. Wir stehen nur vor der Frage, ob sich diese Veränderung durch Gestaltung oder Zerfall vollziehen wird – ob man sehenden Auges die sukzessive Verkleinerung des noch bestehenden Handlungsspielraums geschehen und damit Freiheit, Demokratie, Recht und Wohlstand über die Klinge springen lässt. Oder ob man seinen Handlungsspielraum nutzt, um Freiheit zu erhalten, also auch die Freiheit, die Dinge besser zu machen. Warum bevorzugen Sie die erste Variante?

Harald Welzer, «Nachruf auf mich selbst – die Kultur des Aufhörens», Frankfurt a.M. 2021, S. 11–28 und 102–120

die menschengemachte Masse immer schneller an. So berichten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom israelischen Weizmann-Institut.¹

Man hat versucht, diesen Vorgang dadurch zu veranschaulichen, dass jede Woche für jeden Menschen auf der Welt Produkte geschaffen werden, die seinem Körpergewicht entsprechen. 52 Mal im Jahr kommt das Äquivalent von einem selbst zur toten Masse dazu. Das ist ziemlich gruselig, scheint mir, wobei betont werden muss, dass diese 52-mal-ich-Produktmenge aus Substanzen besteht, die den lebendigen Böden, den Wäldern, den Meeren und Flüssen entnommen werden – woanders können sie ja nicht herkommen. Mit anderen Worten: Die Welt wird in immer noch wachsender Geschwindigkeit von einer natürlichen in eine künstliche oder besser: von einer lebendigen in eine tote umgewandelt. Hergestelltes schlägt Biomasse. Totes schlägt Lebendiges.

Am 23. März 2021 geschah etwas, was die Sache mit der toten Masse live und in Farbe illustrierte: Das 400 Meter lange und fast 60 Meter breite Containerschiff »Ever given« blieb im 1869 eröffneten und für diese bombastische Größe nicht ausgelegten Suezkanal buchstäblich hängen und blockierte auf diese Weise einen erheblichen Teil des globalen Güterverkehrs. Schon nach kurzer Zeit stauten sich 150 weitere Frachter zu beiden Seiten des Kanals, also im Mittelmeer und im Roten Meer. Die durch einen solchen Stau entstehenden Kosten sind gigantisch, weil das ganze Zeug in den Containern und Tanks ja nun nicht pünktlich dort ankommt, wo es nach der auf knappe Umschlagszeiten gezielten globalen Logistik ankommen soll – und Chemie-, Auto- und Elektronikproduzenten warteten entsprechend händeringend darauf, dass das Monsterschiff bitte sofort freikommen möge. Kam es aber nicht. Denn zu seinem Eigengewicht von 220 000 Tonnen trug es noch einmal mehr

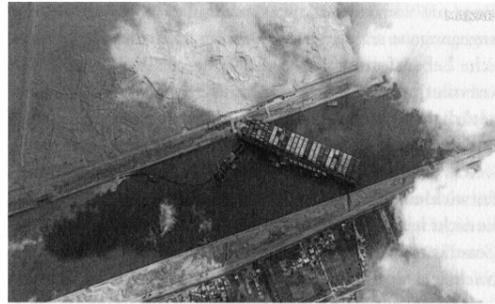


Abb. 1: Ever given, leider eingeklemmt

als 20 000 Container, und wenn eine solche Masse erst einmal auf Grund gelaufen ist, hebt sie so schnell keiner raus.

Wie um die Absurdität unserer Lebens- und Wirtschaftsform auf den Punkt zu bringen, trägt dieses Schiff auch noch den Namen »Ever given – ewig gegeben«, und so wie das Ding da hilflos eingeklemmt war, so scheint die Fortsetzung unseres Kulturmodells genauso hilflos eingeklemmt zwischen Vergangenheit und Zukunft.

Die radikalisierte Stoffumwandlung verarbeitet ihre eigenen Voraussetzungen – irgendwann geht es einfach nicht mehr weiter mit diesem »Ever Given«. Ich habe gerade bei dem Anthropologen Michael Tomasello gelesen, dass die menschliche Kultur zu dem faszinierenden koevolutionären Prinzip der kulturellen Vererbung geführt hat. Neue Menschenkinder wachsen immer in eine Welt hinein, in der sie an den jeweiligen Errungenschaften der kulturellen Evolution der vorangegangenen Generationen anknüpfen können. Tomasello nennt das den »Wagenhebereffekt« der menschlichen Lebensform: Die jeweils neue Generation

12

13

I Weg von hier

Ich befahl mein Pferd aus dem Stall zu holen. Der Diener verstand mich nicht. Ich ging selbst in den Stall, sattelte mein Pferd und bestieg es. In der Ferne hörte ich eine Trompete blasen, ich fragte ihn, was das bedeute. Er wußte nichts und hatte nichts gehört. Beim Tore hielt er mich auf und fragte: »Wohin reitest du, Herr?« »Ich weiß es nicht«, sagte ich, »nur weg von hier, nur weg von hier. Immerfort weg von hier, nur so kann ich mein Ziel erreichen.« »Du kennst also dein Ziel?« fragte er. »Ja«, antwortete ich, »ich sagte es doch: »Weg-von-hier«, das ist mein Ziel.« Franz Kafka, Der Aufbruch.

Die tote Masse und das Leben

Die Masse der von Menschen hergestellten Objekte hat sich seit 1900 etwa alle 20 Jahre verdoppelt. Damals betrug sie etwa drei Prozent der Biomasse, drei Prozent also alles dessen, was lebt. Im Jahr 2020 hat die tote Masse – also Häuser, Asphalt, Maschinen, Autos, Plastik, Computer usw. usf. – die Biomasse erstmals übertroffen. Die Biomasse aller Wildtiere ist in den letzten 50 Jahren dagegen um mehr als vier Fünftel geschrumpft. Ein atemberaubender Vorgang: Während die Biomasse durch Entwaldung und Zerstörung von Böden und Meeren und Artensterben weiter sinkt, wächst

11

fängt nie von vorn an, sondern immer dort, wo die vorangegangene angelangt ist. Das unterscheidet die menschliche Lebensform von der aller anderen Lebewesen. Sie ist koevolutionär – Menschen existieren nicht nur in einer natürlichen Umwelt, sondern immer auch in einer selbst erschaffenen. Die nennen wir Kultur.

Was Tomasello sich nicht fragt: Was, wenn die kulturelle Entwicklung eine falsche Richtung eingeschlagen hat, wenn sie nicht lebensdienlich war? Dann geht das Ganze ein paar Generationen so weiter, und da die Welt, in die die jeweils Nächsten hineingeboren werden, »ihre« Welt ist, die einfach so ist, wie sie sie kennenlernen, bleibt natürlich lange Zeit unerkennbar, wenn die Entwicklungsrichtung ohne Zukunft ist. Denn die Kultur, in die man hineinwächst, ist nichts Äußerliches – sie sitzt nicht nur in unseren Infrastrukturen und Institutionen, in unserem Grundgesetz, unseren Lehrplänen und Verkehrsregeln, sondern in unseren Gewohnheiten, in unseren Wahrnehmungen und Deutungen, in unserer Psyche, unserem Selbst. Wir sind ja nicht nur Gestalterinnen und Gestalter dieser Lebensform, sondern gleichzeitig von ihr gestaltet, und diese Gestaltung erfolgt nicht bewusst und absichtsvoll, sondern durch die Praxis.

Zum Beispiel durch die, dass man in modernen Hyperkonsumgesellschaften alles immer und immer alles haben kann. Das scheint uns ganz selbstverständlich, und nur wenn es durch eine Havarie wie der im Suezkanal zu »Engpässen« kommt, wird einem gelegentlich klar, dass all das Zeug in den Einkaufszentren nicht einfach »da«, sondern irgendwo hergekommen ist. Unser Kulturmodell blendet die Frage, wo das alles herkommt, systematisch aus. Das ist das kulturell Unbewusste, und daher sind wir alle, als Mitglieder dieser Kultur, gut durchtrainierte Vergessenskünstler – denn wenn wir so ein schönes neues iPhone in Händen halten, interessiert uns die Frage nach seiner höchst vielfältigen und komplexen Herkunft durchaus nicht. Wir kommen nicht mal drauf, uns für diese Frage zu interessieren, so selbstverständlich ist Verfügbarkeit für uns.

Oder: Wie sich wirtschaftlicher Erfolg quantitativ bemisst und in Börsenkursen und im Bruttoinlandsprodukt seinen Ausdruck findet, so hat sich das Messen in fast jede Facette unserer Leben eingeschrieben – von den Schulnoten und *credit points* bis hin zur Zahl der absolvierten Dates oder der Schritte, die man am Tag zurückgelegt hat. Besonders für die Kontrolle des Körpers mittels iPhone, Apple-Watch und Peloton-Heimtrainings gilt, dass Zahlen sich ganz selbstverständlich in die Darstellung, aber auch in die Wahrnehmung des eigenen Selbst eingefügt haben. Auch diese Einwanderung von Quantitäten in das eigene Selbst und seinen mentalen Haushalt macht klar, dass eine Kultur nie etwas Äußerliches ist, was um die Menschen herum existiert wie eine möblierte Umwelt, sondern sich immer auch in die Innenwelten, in die Psyche und in den wahrgenommenen Selbstwert übersetzt. Und weil sich die Kultur wandelt, sind wir immer schon andere als unsere Vorgängerinnen und Vorgänger, bis in unsere Sinneswahrnehmungen, unsere Gefühle und unsere Selbstbilder hinein.

Deswegen ist es so schwer, sich vorzustellen, dass die Kultur, der man angehört, eine »falsche« Richtung eingeschlagen haben könnte. Diese Kultur ist ja für jeden von uns immer schon »da«, eine Selbstverständlichkeit, so wie für einen Fisch das Wasser. Aber vielleicht kann man so viel sagen: Eine Kultur, die wie unsere ihre eigenen Voraussetzungen konsumiert, muss im Irrtum sein. Das wäre auch menschengeschichtlich gar nichts Neues. Wir haben massenmörderische Kulturen gesehen, wahnhaftige und solche, die ihr kulturelles Gepäck in Lebensräume getragen haben, wo es nicht hinpasste. Oder die einen Weg eingeschlagen haben, der ins Desaster und in die Selbstabschaffung führte.

14

15

Jared Diamond hat über untergegangene Kulturen das wichtige Buch »Kollaps« geschrieben, wobei das, was in der historischen Rekonstruktion als Irrtum erscheint, in der Wahrnehmung der Zeitgenossen keiner ist, sondern – einfach das, was man immer schon so gemacht hat. Entwaldung, Bodenerosion, Versalzung, Überjagung und Überfischung, Bevölkerungszunahme und wachsender Wohlstand² haben ja in der individuellen Wahrnehmung keinen Zeitindex. Unsere Wahrnehmung verändert sich mit der sich verändernden Umwelt, und allenfalls wird in der Rückschau mit Erschrecken registriert, dass man den falschen Pfad eingeschlagen hatte. Im Normalfall aber surfen wir gewissermaßen mit den sich verändernden Verhältnissen mit – und dann fehlen uns die Referenzpunkte, an denen man festmachen könnte, was sich verändert hat und ab welchem Punkt eine Sache aus dem Ruder gelaufen ist. Solche »shifting baselines«³ verstellen die Einsicht in einen sich abspulenden Niedergang oder gar einen Untergang regelmäßig, weshalb zum Beispiel so ein epochales Ereignis wie der Untergang des kompletten Ostblocksystems inklusive der DDR 1989 nicht einmal von den zuständigen Wissenschaften – Geschichte, Politologie, Soziologie, Ökonomie – vorhergesehen wurde, sondern scheinbar einfach so und ziemlich plötzlich geschah. Ups.

Wenn man also Fragen stellt wie: »Was hat der Mann gedacht, der die letzte Palme auf der Osterinsel gefällt hat?«, »Was dachten die grönländischen Wikinger, als sie unter höchstem Ressourcenaufwand unter arktischen Bedingungen Viehwirtschaft zu treiben versuchten?«, »Was hatten Ingenieure im Sinn, die in Zeiten des Klimawandels tonnenschwere Geländewagen für Stadtbewohner entwickelten?«, dann lautet die Antwort jedes Mal: gar nichts. Denn alles dieses basiert ja auf Entwicklungen, die sich über lange Zeit hinweg vollzogen und als kulturelle Praxis eingeschrieben haben. Und in deren Fließen die neu Dazukommenden, also die Kinder, gleichsam eingefügt werden – wie heute jedes Kind in eine Welt voller Autos und Bildschirme. Heißt: Tomasellos Wagenhebereffekt vollzieht sich unabhängig davon, ob die jeweils sich entwickelnde Kultur langfristig lebensdienlich ist oder nicht. Wo man immer Bäume gefällt hat, fällt man Bäume.

Kulturelle Praxis ist gelebte Praxis, keine diskursive, reflektierte, gedachte Angelegenheit, wo man einfach sagen kann: Moment, hier stimmt was nicht! Deshalb wird eine solche Praxis manchmal auch um die Gefahr der Selbstaufgabe nicht verlassen. Auf unsere heutige Form von Wirtschaft übertragen: Wo man immer mehr produziert hat, produziert man immer mehr – ein Rückgang des Bruttoinlandsprodukts gilt als um jeden Preis zu vermeidende Katastrophe. Als die Coronakrise ausbrach, war die Zunft der Ökonomen zwar komplett unfähig, auch nur eine einzige Idee zur Krisenbewältigung vorzulegen, konnte aber flugs ausrechnen, dass die Wirtschaft im vierten Quartal um soundsoviel Prozent wachsen würde, mit Kommastelle. Und 2021 um soundsoviel Prozent. Das war zwar falsch, wie meistens, was aber komischerweise nichts macht. Die Standardökonomie betrachtet sich als Wissenschaft und wird auch von der Gesellschaft als solche betrachtet, ist aber nichts anderes als Priestertum. Sie hat Rituale der Verkündigung (des Ratschlusses der »Wirtschaftsweisen«), Wallfahrten (zum World Economic Forum in Davos) und magische Erklärungen für die Einrichtung der Welt (der Markt hat ...), nicht anders als die Priesterschaft der Osterinsel. Ihr Gott heißt Wachstum.

Es könnte sein, dass das Prinzip des Wachstumskapitalismus zur Kategorie der irrümlichen Kulturmodelle zählt. Und das ist insbesondere deshalb sehr schwer zu begreifen, weil der Kapitalismus ja so konkrete Verbesserungen von

16

17

Bildung, Gesundheit, Recht, Freiheit mit sich gebracht hat, wie man sie sich zuvor kaum hätte vorstellen können. Die Menschen in den reichen Gesellschaften leben heute allesamt besser als Ludwig der XIV., keine schlechte Bilanz für den Kapitalismus. Aber seine Geschichte ist, gemessen an den 200 000 Jahren Geschichte des Homo sapiens, sehr kurz, schlappe 200 Jahre; seine globale Verbreitung zählt erst ein paar Jahrzehnte.

Die meisten untergegangenen Kulturen haben länger durchgehalten, 800, 900 oder auch ein paar tausend Jahre. Das vermag den Eindruck einer Nachhaltigkeit unseres Kulturmodells nochmals zu relativieren. Vielleicht ist ja der Anfang von seinem Ende genau damit markiert, dass die tote Masse größer geworden ist als die lebendige. Vielleicht ist das ein *tipping point*, einer jener Punkte, von dem aus man nicht mehr zurück in den vorherigen Zustand kommen kann, ab dem etwas unkorrigierbar wird. Aber vielleicht gibt es in der Geschichte der Menschen solche Punkte gar nicht, weil ihre Lebensform, wie gesagt, ohnehin in permanenter Veränderung und Anpassung besteht.

Und in Techniken der Vorausschau. Was den nieder- und untergegangenen Gesellschaften gefehlt hat, war die Möglichkeit, sich wie in einem Gedankenexperiment von außen zu betrachten – so, wie ich mir manchmal vorstelle, wie Historikerinnen und Historiker in 300 oder 500 Jahren versuchen, unsere zuweilen seltsame Welt im ersten Viertel des 21. Jahrhunderts zu verstehen. Ein solcher Verfremdungseffekt wäre aufschlussreich und hilfreich dafür, Pfade zu finden, die von falschen Richtungen hinwegführen. Eigentlich müssten moderne Gesellschaften Nachrufe auf sich selbst schreiben, in denen sie entwerfen, wie sie sich entwickelt haben werden wollen. Das hört sich grammatisch schwierig an, aber so eine Rückschau aus einer imaginierten Zukunft bricht die Diktatur der Gegenwart, in der zu viele Entscheidungen aus dem kulturellen Unbewussten heraus getroffen werden. Und es bricht den horizontlosen Katastrophismus, in dem wir uns kulturell eingerichtet haben, weil wir fürchten, dass die Zukunft auf jeden Fall eines sein wird: schlechter als die Gegenwart. Wir müssen Zukunft wieder als Gestaltungsaufgabe sehen lernen, nicht als etwas, was man am liebsten vermeiden möchte, weil so vieles – Erderhitzung, Artensterben, Konjunktur der Diktatoren – so düster aus einer kommenden Zeit heraufscheint.

Aber es gibt kein Ende der Geschichte. Die Geschichte ist nur dann zu Ende, wenn die Menschen sich abgeschafft haben. Werden. Die Geschichte wird dann zu Ende gewesen sein, wenn die Menschen sich abgeschafft haben werden. Das ist ein sinnloser Satz. Denn wenn das der Fall ist, gibt es ja niemanden mehr, der das zur Kenntnis nehmen könnte. Jeder sinnvolle Satz setzt eine zukünftige Welt voraus.⁴ Solange wir miteinander sprechen, ist die Geschichte nicht zu Ende.

Die Zeit davor

Es wäre also ziemlich blöd, ein Buch für die Zeit danach zu schreiben. Was wir brauchen, sind Bücher für die Zeit davor. Also nicht noch eins zum Verhängnis der Welt, zur Klimakatastrophe, zum Artensterben, zur Plastikflut, zum Untergang. Letztlich sind das ja Bücher für die Zeit danach, wenn es niemanden mehr gibt, der sie lesen könnte.

Freundinnen und Freunde: Lasst uns uns besser um *die Zeit davor* kümmern! Lasst uns aufhören, Abgesänge auf die Zukunft zu schreiben. Die sind nur rituelle Beschwörungen dessen, dass es das Ende der Geschichte nicht geben kann, weil es das nicht geben darf. Aber alle diese Beschwörungen – es ist noch nicht zu spät, wir haben gerade

noch Zeit, es ist ganz kurz vor zwölf (wie lange eigentlich schon?) – lenken permanent von dem einfachen Sachverhalt ab, dass das Leben *vor* dem Tod spielt. Deshalb sollten wir, individuell wie gesellschaftlich, das Leben vor dem Tod nach der Maßgabe dessen gestalten, wer und wie wir gewesen sein wollen.

Ich war selten melancholischer als in den Tagen nach dem Tod von Frank Schirrmacher. Kaum jemand hat jemals so viele Nachrufe bekommen wie er, der Mitherausgeber der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung* und ihr Feuilletonchef. Sein Wirken war so eindrucksvoll und wichtig, dass man sich nach seinem »viel zu frühen« Tod kaum genug daran tun konnte, alles aufzuzählen, was er Wichtiges und Bedeutendes gesagt und getan hatte. Und wie groß der Verlust sei.

Undsowweiterundsowweiter. Was mich so melancholisch machte, war der Umstand, dass es nur einen einzigen Menschen gab, der alle diese Verdienste nicht zur Kenntnis nehmen, nicht in all den Nachrufen nachlesen konnte. Dieser Mensch war ausgerechnet Frank Schirrmacher selbst, den seine Nachrufe nicht mehr erreichen konnten, denn er war ja nun mal tot. Wie gesagt: Jeder sinnvolle Satz setzt eine zukünftige Welt voraus. Insofern wären Nachrufe nur dann sinnvoll, wenn sie für das Leben davor geschrieben würden, nicht für das danach, das es ja nicht gibt.

Deshalb sollte jede und jeder einen Nachruf über sich selbst schreiben, darüber, wie sie oder er gelebt zu haben hofft, wenn er noch lebt. Danach schreiben die Nachrufe andere, und dann ist es einem zwangsläufig nicht nur egal, was da drinsteht, man hat auch keinen Einfluss darauf. Ich habe den Verdacht, dass die Aufgabe, einen Nachruf auf sich selbst zu schreiben, eine sehr produktive Sache wäre, denn in gewisser Weise würde man sich ja selbst verpflichten, so werden zu sollen, wie man gewesen zu sein gehofft hatte. Dabei kommt natürlich viel mehr heraus, als wenn man nur so vor sich hinlebt und gelebt wird, und dann kriegt man einen Nachruf. Wenn es hoch kommt. Die meisten kriegen ja keinen. Den Nachruf auf mich selbst können Sie ab S. 207 lesen, erst möchte ich Ihnen aber noch ein paar Geschichten erzählen.

Der große Refraktor

Eine der zahllosen Tagungen zum Klimawandel und zur notwendigen Klimapolitik fand im Großen Refraktor auf dem Telegraphenberg in Potsdam statt, keine Ahnung, wann genau das war. Sagen wir, vor zehn Jahren, im Grunde ist es auch egal. Der Große Refraktor ist so etwas wie das Teleskop an sich, 1899 von Kaiser Wilhelm eingeweiht, ein Monument des wissenschaftlich-technischen Zeitalters, noch heute das viertgrößte Teleskop der Welt, tolle Sache.

Ich erinnere mich an diese Konferenz nicht nur wegen des wahrlich eindrucksvollen Ortes, sondern auch deswegen, weil sie als *open space* organisiert war, also ausnahmsweise kein festgelegtes Programm – Vortrag, Diskussion, Vortrag, Diskussion usw. – hatte, sondern die Teilnehmerinnen und Teilnehmer selbst Themen für Sessions vorschlagen konnten, deren Ergebnisse dann wiederum vorgestellt und debattiert wurden. Es gab eine Menge Themen – CO₂-Bepreisung, bessere Kommunikation der Klimaproblematik, Strategien der Einwerbung von Forschungsgeldern –, die gut angenommen und bearbeitet wurden. Ich hatte das Thema »What if we fail?« vorgeschlagen. Es schien mir sinnvoll, dieses *open space* einmal dafür zu nutzen, ganz »open« die Möglichkeit zu besprechen, dass nach Lage der Dinge alle Anstrengungen, das damals noch postulierte

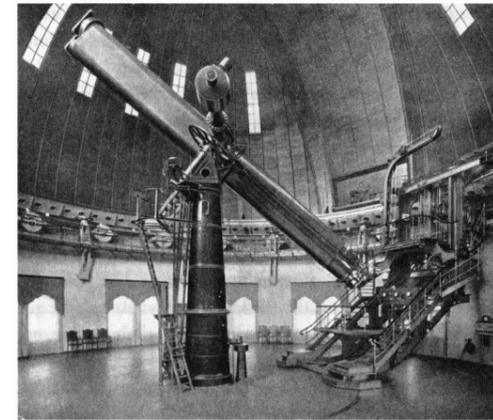


Abb. 2: Schöner ist es immer draußen: Großer Refraktor

2-Grad-Ziel zu erreichen, ebendieses Ziel verfehlen könnten, dass man mithin den Klimawandel *nicht* einbremsen würde – was dann?

Auch heute noch, mindestens ein Jahrzehnt später, bin ich der Auffassung, dass die Möglichkeit, Zukunft zu gestalten, davon abhängt, die Bedingungen dafür realistisch zu betrachten, also nicht nur von dem Wunsch getrieben, dass das doch bitte irgendwie gutgehen möge, trotz aller Daten, die dagegensprechen. Und ein solcher Realismus muss das Scheitern einkalkulieren, sonst weiß man gar nicht, welche Maßnahmen und Forderungen entwickelt werden müssen, um das Scheitern zu verhindern oder dessen Folgen zu vermindern. Es ist ja erheblich wahrscheinlicher, dass es nicht gelingen wird, die Klimaerwärmung bei 2 Grad plus einzubremsen, als dass es gelingen wird⁵ – was aber dann? Ist dann die Welt zu Ende? Oder nur die Klimapolitik? Macht es dann keinen Sinn mehr, menschliches Handeln so zu modernisieren, dass die große Zerstörung der Lebensgrundlagen aufhört oder wenigstens zurückgefahren wird? Und dass wir ruinierte Wälder, Gewässer, Moore, Böden wieder restaurieren?

Also schien mir die Frage »What if we fail?« gerade für eine Konferenz zum Klimawandel höchst naheliegend zu sein, und im Übrigen interessierte mich die Antwort auf diese Frage selbst brennend. Schließlich ist sie als Überlebensfrage alles andere als trivial, besonders wenn sie unbeantwortet bleibt. Aber außer mir gab es nur einen einzigen anderen Teilnehmer, der dieses Thema interessant fand, also plauderten wir ein bisschen, verpassten alles andere und hatten zum abschließenden Plenum nicht ernsthaft etwas beizutragen. Die Abstimmung mit den Füßen hatte ja die Relevanz der Frage nach dem Scheitern empirisch schon hinreichend demontiert. »What if we fail?« war als Thema abgewählt worden.

Inzwischen ist bekanntlich das 2-Grad-Ziel auf das 1,5-Grad-Ziel erhöht worden, ganz unbeschadet der Tatsache, dass die Emissionen zwischenzeitlich in einem Ausmaß weiter angewachsen sind, dass bereits die 2 Grad noch unrealistischer geworden sind als zum Zeitpunkt ihres ersten Ausrufens. Aber solche sozialen Tatsachen stören eine naturwissenschaftliche Vernunft nicht, die auf der Grundlage höchst komplexer Mess- und Berechnungsverfahren einfach die Notwendigkeit einer solchen Begrenzung festlegt.⁶ Wenn es 1,5 Grad sein müssen, müssen es 1,5 Grad sein, fertig. Leider jedoch nimmt das Klimasystem eine solche wissenschaftlich unbestechliche Festlegung nicht zur Kenntnis, sondern verarbeitet die ganz ungebrochen wachsende Emissionsmenge von Treibhausgasen, indem es sich munter weiter erwärmt.

Dass das Ganze noch an einem historischen Ort der Huldigung der modernen Wissenschaft stattfand, erschien mir durchaus symbolisch. Denn der riesige Raum, in dem der große Refraktor stand, war ja ausschließlich dafür geschaffen, aus ihm hinauszublicken, in die unendlichen Weiten des Universums. Um in sich und in das eigene Tun hineinzublicken, dafür war er nicht gedacht. Deshalb heißt er ja auch Refraktor und nicht Reflektor.

Seit diesem Erlebnis denke ich darüber nach, was es bedeutet, dass es innerhalb der wissenschaftlichen Vernunft nicht möglich zu sein scheint, für denkbar zu halten, dass die ganze Sache schlecht ausgehen könnte. Einfacher gesagt: Innerhalb dieser an die Geschichte der Aufklärung gebundenen Vernunft gibt es einfach keine Kategorie der Endlichkeit und keine Strategie des Aufhörens mit irgendetwas, das man mal begonnen hat. Soweit ich sehe, gibt es auch keine wissenschaftliche Disziplin, die sich mit der Endlichkeit menschlicher Bemühungen befasst. Zwar gibt es Regalmeter apokalyptischer Schriften, nicht nur aus der esoterischen Abteilung, sondern vor allem aus der öko- und klimatologischen, aber die enden dann alle nicht mit einem »Lasst fahren dahin«, sondern mit dem unvermeidlichen »Es ist noch nicht zu spät.« Und dann folgen ebenso unvermeidlich »die gemütlichen kleinen Gesten des Fahrradfahrens, Energiesparlampen-Benutzens, Kurzduschens und Elektrogeräte-Reparierens«, wie Eva Horn angemessen wütend formuliert.⁷

Das Ende und die Endlichkeit kommen nur unwissenschaftlich vor, in der Lebenserfahrung, in der Literatur oder in der Kunst. Und, natürlich, in der Religion und damit in der Apokalypse. In der wissenschaftlich-technischen Welt gibt es dafür keinen Platz, was ungünstig für den Fall ist, in dem man es tatsächlich mit einem Endlichkeitsproblem zu tun hat. Und damit zurück zum Refraktor: In dem blickt man nach draußen, weil man entdecken möchte, was es außerhalb der Welt gibt. Außerhalb der Welt gibt es erfreulicherweise die Unendlichkeit, das Universum, und damit nichts, was eine Grenze bilden würde. Und tatsächlich ist ja die Unbegrenztheit des Fortschritts, das Überschreiten von Grenzen des für möglich Gehaltene, die mythische Voraussetzung der modernen Wissenschaft – mit Nobelpreisen ausgezeichnet wird ja niemand, der festgestellt hat, dass etwas nicht geht. Nobelpreise bekommt man, wenn man es geschafft hat, eine Grenze der Erkenntnis oder des für machbar Gehaltene zu überschreiten. Nicht zufällig datiert man ja den Beginn der modernen Wissenschaft auf die Dezentrierung des Weltbildes, die mit Kopernikus die Erde aus dem Zentrum des Sonnensystems rückte und zu der Galilei das Teleskop lieferte. Seit wir nicht mehr das Zentrum sind, schauen wir lieber nach draußen. Dafür steht der Große Refraktor: für den grenzenlosen Blick.

Würde man dagegen nach innen blicken, also auf sich selbst und das eigene Tun, Hoffen und Streben, käme man am Sichten zumindest einer Grenze definitiv nicht vorbei. Denn man würde unausweichlich mit einer simplen Tatsache konfrontiert werden: dass es auf jeden Fall *eine* Sache gibt, die endlich ist, und das ist leider ausgerechnet das eigene Leben. Wir alle wissen, dass wir sterblich sind, und das ist eine höchst unangenehme Tatsache. Der Tod passt nicht ins Leben, weil er sein Gegenteil ist, und ich werde noch ausführen, weshalb er besonders in der Moderne nicht ins Leben passt und gerade hier, in unserer Epoche, als so ausgesprochen fehl am Platze, furchterregend und als Antithese zu allem, was man versucht, empfunden wird. Aber ja, das Leben ist endlich, und die grotesken Ideen, dass man es verewigen könne, indem man seinen Geist, oder was man dafür hält, auf eine Festplatte lädt, sprechen ja nur Bände darüber, wie furchterregend der Tod gerade

für diejenigen ist, die ihn technisch zu überwinden hoffen und sich notfalls dafür zu Lebzeiten kryokonservieren lassen möchten, um wieder aufgetaut zu werden, wenn die Wissenschaft dann schon mal ein Stückchen weiter ist.

Bevor in unserem Kulturmodell eine Endlichkeitskrise auch nur in Sicht kommt, werden technische Phantasien mobilisiert: Die Digitalisierung wird ein Wunder der Energieeinsparung vollbringen, Wasserstoff wird die Rettung sein, das E-Auto wird den Klimawandel abwenden, und so wird es grüner Treibstoff für die Flugzeuge tun. Statt es für möglich zu halten, dass in Zukunft weniger Energie erzeugt und verbraucht wird, weil es zum Beispiel keine Autos und Flugzeuge mehr gibt, werden um zwei Generationen zu spät gekommene Techno-Helden wie Elon Musk glühend verehrt, hofiert und mit Geld zugeschissen, obwohl sie nichts anderes zu bieten haben als die Mobilitätsutopien der 1950er Jahre: Raketen, Autos und Hyperloops, alles Dinge, mit deren Hilfe man rasend schnell irgendwo hinkommen soll, ohne dass auch nur einmal die Frage gestellt wurde, was man da denn soll. Diese Zukunft ist höchst antiquiert und erzählt eigentlich nur eine Geschichte vom Verlust der sozialen und moralischen Intelligenz im 21. Jahrhundert.

Denn die wesentlichen Fortschritte im Zivilisationsprozess basierten auf der Verbesserung der Verhältnisse zwischen den Menschen, und die Technik kam dabei nur dann zur Hilfe, wenn man wusste, wie man sie zu dieser Verbesserung einsetzen konnte. Dass es in modernen Gesellschaften so viel weniger Gewaltopfer als im Mittelalter gibt, liegt nicht an besserer Waffentechnik oder an Überwachungskameras, sondern am Gewaltmonopol des Staates, und das ist das Ergebnis sozialer Intelligenz, nicht wissenschaftlicher. Solche Intelligenz muss sich immer auf einen normativen Zweck hin begründen, was dann herauskommt, ist nicht Innovation, sondern Fortschritt.

26 Dass gegenwärtig der Begriff der Innovation den des Fortschritts ersetzt zu haben scheint, ist kein Zufall: denn die Innovation braucht keine normative Referenz, sie ist ja schon erreicht, wenn etwas neuer ist als etwas anderes, unabhängig von der Frage, ob es überhaupt der Erneuerung bedurfte. Die Verkehrsunfallstatistiken führen vermehrt Unfälle auf, die dadurch entstehen, dass Autofahrer heute etwa die Einstellung des Scheibenwischers auf eine andere Intervallgeschwindigkeit in Untermenüs auf Touchscreens suchen müssen und dabei dann leider nicht auf die Strafe gucken und irgendwo dagegensammeln. Einen klassischen Hebel am Lenkrad kann man einstellen, ohne hinzusehen. Seine Bedienfunktion auf einen Bildschirm zu verlagern ist zwar innovativ, aber idiotisch. Fortschritt entscheidet sich demgegenüber an der Frage, ob eine Erneuerung etwas zu einem normativ begründeten Zweck beisteuert. Wenn nicht, kann man ihn auch sein lassen. Genauso wie man sinnlos oder obsolet gewordene Entwicklungen abbrechen und sein lassen könnte.

Aber wir haben leider keine Methodik des Aufhörens, weil es dem magischen Denken unserer gegenwärtigen Sinnwelt nach ja immer weitergeht und Endlichkeitsprobleme systematisch nicht existieren. Weg-von-hier, das ist das Ziel. Weil wir keine Methodik des Aufhörens haben, hören wir auch nicht auf.

27 Auf das Problem der Erderhitzung bezogen: Um das zu bewältigen, müsste man mit vielem aufhören, dem Bergen von immer mehr Rohstoffen zur Erzeugung von immer mehr Produkten und Dienstleistungen zum Beispiel. Man müsste aufhören, den Umfang unseres wirtschaftlichen Stoffwechsels zu vergrößern, und damit beginnen, ihn zu verringern. Man müsste Endlichkeit methodisch übersetzen, und das bedeutet eben nichts anderes als lernen aufzuhören. Man müsste anzuerkennen lernen, dass Leben

Sterben bedeutet, unausweichlich. Als Individuum kommt man um dieses Lernen nicht herum, auch wenn man sich noch so sehr dagegen sträubt. Als Gesellschaft verfügen wir über eine riesige, ausgebaute und höchst komplexe Apparatur, um dieses Lernen um jeden Preis zu vermeiden. Wir sind in diesem Sinn keine »Wissensgesellschaft«, sondern eine »Wissensvermeidungsgesellschaft«. Als Kultur haben wir kein Konzept unserer eigenen Endlichkeit; der Tod ist keine kulturelle Kategorie, gesellschaftlich gibt es ihn gar nicht.

Media in vita

Als kleines Zwischenspiel zwei Strophen aus dem Gedicht »Media in vita« von Theobald Tiger (Kurt Tucholsky) 1931:

Jeden Morgen, wenn ich mich rasiere,
denk ich in dem Glanz des Lampenscheins,
während ich mich voller Seife schmiere:
jetzt sinds nur noch x-mal minus eins.
Und da steh ich voller Schaum und Frömmigkeit,
und ich tu mir außerordentlich leid.
Da, wo sich die Parallelen
schneiden, fliege ich dann hin.
Ach, ich werde mir doch mächtig fehlen,
wenn ich einst gestorben bin,
Andern auch –? Wer seine Augen aufmacht, sieht:
Sterben ist, wie wenn man einen Löffel aus dem
Kleister zieht.

28



Abb. 11: Mitunter geht es aber nicht weiter

Der entgrenzte Mensch

102 Schon mehrfach war bis jetzt die Rede davon, dass Kultur nichts Äußerliches ist, sondern sich auch in die Mentalitäten, die Psyche, die Selbstbilder einprägt. Wie also sind diese Vorstellungen von Grenzenlosigkeit und Unendlichkeit des Lebens und seines Stoffwechsels entstanden, wie vormoderne Menschen sie ganz sicher nicht hatten? Es war eine historische Konstellation aus früher Industrialisierung, philosophischer Aufklärung, protestantischer Rechenschaftskultur und Buchhaltung, die im Lauf von etwa zwei Jahrhunderten jene Mentalitäten und Identitätsformationen ausgebildet haben, die unsere Selbst- und Weltwahrnehmung, unsere Deutungsmuster und Lebensziele auch heute in der Tiefe prägen.³⁴

Das wichtigste Stichwort hier ist Individualisierung – dass man sein eigenes Leben gestalten kann und sollte. Der Bildungsroman, der um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert entsteht – Goethes »Wilhelm Meister« (1796) und Karl Philipp Moritz' »Anton Reiser« (1790) – legt Zeugnis davon ab, dass das Leben nicht einfach ist, wie es ist, sondern als Entwicklungsaufgabe zu verstehen ist. Das aber bedeutet – wie schon gesagt – nicht nur eine Befreiung aus äußeren Zwängen, diese Freiheit ging auch einher mit ganz neuen, zuvor unbekanntem Orientierungsnotwendigkeiten und Belastungen: Kategorien wie Selbstverantwortung, Disziplin, Wille werden in dem Augenblick für heranwachsende Individuen bedeutsam, wo man in einer Kultur lebt, in der man nicht nur etwas aus sich machen kann, sondern wo man das eben auch muss. Davon erzählt der Bildungsroman.

103 Und wie der Lohnarbeiter frei ist, sich jenseits feudaler Zwänge dort zu verdingen, wo es für ihn am günstigsten ist, so ist er, wie es bei Marx heißt, zugleich frei, »seine Haut zu Markte zu tragen« – also auch den Sicherheiten der unfreien Existenz entbunden. »Der historische Prozess der Individualisierung bedeutet in dieser Perspektive, dass die Person sich nicht mehr über die Zugehörigkeit zu einer sozialen Position bzw. die Mitgliedschaft in einem sozialen Aggregat konstituiert, sondern über ein eigenständiges Lebensprogramm.«³⁵ Hier liegt eigentlich der Beginn dessen, was wir unter einer Lebensgeschichte, einem Lebenslauf, einer Autobiographie verstehen.

Vormodern war der Lebensweg eine wenig gestaltbare Zeitspanne, markiert vielleicht durch Kommunion, Hochzeit, Tod von Angehörigen. Mit der Freiheit der Gestaltung des eigenen Lebenswegs ergab sich aber eben auch der Zwang, »ein Lebenswerk auf Erden« vorweisen zu müssen.³⁶ Und mit diesem Zwang entstand auch ein permanenter Bedarf nach Orientierung und Selbstvergewisserung. Wilhelm von Humboldt formulierte das als Notwendigkeit, »in sich selbst so viel Welt als möglich zu ergreifen« – das ist die Geburtsstunde der Norm, die eigene Weltreichweite permanent zu vergrößern. Genau diese Norm rief aber einen immer weiter anwachsenden Druck hervor, ökonomisch auch mit sich selbst und seinem Leben umzugehen.

Das kann in der Moderne nunmehr erfolgreich oder weniger erfolgreich »geführt« werden, und solche Lebensführung erfordert Kontrolle, Maß und Selbstbeobachtung. »So viel Welt als möglich« – in dieser emphatischen Formulierung scheint der bürgerlich-kapitalistische Werthorizont des unendlichen »Besser, weiter, mehr«, des »Weg-von-hier« schon auf, und zwar nach innen gewendet: Nun wird das Selbst zu einer kontinuierlichen Entwicklungsaufgabe mit festgelegten Stufen und Zielen – der biographische Erfolg, ja, die Bilanz des Lebens selbst wird messbar.

Dieser »ökonomische Mensch« (Joseph Vogl), wie wir ihn heute kennen, zeichnet sich dadurch aus, dass er in einem genau und immer fester gefügten Universum von Prüfungen, Bilanzierungen und Rechenschaftsfragen seine eigenen Entwicklungsfortschritte zu dokumentieren und nach innen wie nach außen zu rechtfertigen hat. Der ökonomische Mensch mit seiner permanenten Selbstbeobachtung bildet sich zunächst – wie schon Max Weber in seiner berühmten Studie »Die protestantische Ethik und der Geist des Kapitalismus« dargelegt hat – am Typus des bürgerlichen Unternehmers und »Berufsmenschen« heraus, der jede Bewegung in seinen Geschäftsgängen akribisch erfasst und beständig auf der Suche nach Optimierungen seiner Abläufe und Verfahren ist: »Mit den Geschäftsbüchern wird ein geschäftliches Tagebuch geführt, das den Geschäftsverkehr am Leitfaden aller eintreffenden Begebenheiten kontrolliert und sehr bald als schriftliche Disziplin der kontinuierlichen Selbstüberprüfung fortgesetzt wird – nicht von ungefähr hat man im Rechnungswesen eine der Quellen des modernen Tagebuchführens erkennen wollen. Jeder Tag ist gewissermaßen Bilanz- und Gerichtstag und wird gemustert nach seinem Ertrag.«³⁷

104 Joseph Vogl beschreibt das Buchhalten als Praxis, die eine ständige Beobachtung und Kontrolle wechselnder Ereignisse ermöglicht. Die Buchhaltung verwaltet Ereignisse, indem sie diese selektiv in verschiedenen Registern – Memorial, Journal, Hauptbuch – aufschreibt und nach Gewinn und Verlust sortiert. Aufgezeichnet werden die Ereignisse auf der Achse der Zeit und innerhalb von bestimmten, für alle Ereignisse gleichermaßen gültigen Zeiteinheiten. Eine solche Notation sichert Kontinuität und eine Anmutung von Endlosigkeit.

Für den Kaufmann bedeutet die Einführung der Buchhaltung, dass er gewissermaßen schlaflos wird, stets unruhig und wachsam, »ein Subjekt der kontinuierlichen Selbstkontrolle und der Jahresabrechnungen, ein Subjekt, das sich damit einen innerweltlichen Lebenslauf verpasst.«³⁸ Keine Zeiteinheit darf vergeudet und keine Handlung unergiebig sein, und da der geschäftliche Erfolg identisch mit dem biographischen ist, gelten dieselben protokollierbaren Erfolgsmaße für das Geschäft wie für das Leben.

In der modernen Industriearbeit vollzieht sich zugleich ein weiterer Vorgang der Ökonomisierung. Vormodern fertigte ein Handwerker einen spezifischen Gegenstand, zum Beispiel einen Schrank, so, wie er von einem Auftraggeber

104

105

gewünscht und gebraucht wurde. Die Arbeit war mit der Fertigstellung des Schanks beendet und wurde auch exakt dafür entgolten – fand also ihren Zweck im finalen Produkt. In der industriellen Produktion geht es dagegen keineswegs mehr um die Herstellung des einzelnen Produkts als eines Zweckes an sich und um die Arbeit als Mittel zur Erreichung dieses Zwecks, sondern um ein System, in dem nun unablässig gearbeitet wird, um eine prinzipiell unendliche Reihe von Produkten zur Gewinnung von Mehrwert zu generieren – also von investivem Kapitel, das sofort wieder in die Verbesserung der Produktion oder Erweiterung der Produktpalette gesteckt wird. So entsteht eine Entgrenzung in die Unendlichkeit der Produktion: Nichts ist jemals fertig, die Arbeit hört niemals auf.

In diesem Modell liegt nicht nur eine Verkehrung der Mittel und Zwecke – Arbeit und Geld werden zum Zweck, die Produkte und ihre Herstellung bloße Mittel –, sondern auch die prinzipielle »Unabschließbarkeit des Tuns« und eine grundsätzliche »Vergeblichkeit von Produktion«. Hier liegt, wie man sieht, nicht nur eine Wurzel der Vorstellung vom grenzenlosen Wachstum, sondern auch der moderne Grund für die Mentalität eines niemals fertigen, nie an ein Ende kommenden Menschen.

Parallel zu dieser Entwicklung der Unabschließbarkeit des Tuns und zum niemals abgeschlossenen Wachstum vollziehen sich Veränderungen der Zeitwahrnehmung: nicht nur die der industriellen Arbeitszeit, die nicht individuell, sondern getaktet und synchronisiert sein muss, sondern auch die ungeheure Beschleunigung der Bewegung im Raum, wie sie mit dampf- und später benzingetriebenen Fortbewegungsmitteln im 19. Jahrhundert einsetzt – die »Industrialisierung von Raum und Zeit«, wie Wolfgang Schivelbusch das in seiner »Geschichte der Eisenbahnreise« genannt hat.⁴⁰ Diese Industrialisierung auch der Zeit- und Raumwahrnehmungen hat zu einer sich beständig steigernden Form von Mobilität geführt, in der Minutengewinne auf Strecken von Hunderten von Kilometern gigantische Investitionen wert scheinen. Die damit gewonnene Vorstellung an »Zeitgewinn« korrespondiert mit dem häufig übersehenen Aspekt, dass die Moderne auch noch einen anderen eklatanten Gewinn an Zeit verzeichnet: nämlich die gestiegene Lebenserwartung, die ich anfangs schon erwähnt habe. Erst der Anstieg der Lebenserwartung lässt so etwas wie eine persönliche Zukunft in den Vorstellungshorizont treten und damit ein Leben im Vorausentwurf denkbar werden, wie es uns heute ganz selbstverständlich ist.

Zugleich unterstützt der nicht nur wohlfahrtsstaatlich, sondern auch medizinisch immer weiter hinausgeschobene Horizont der Lebenszeit die Vorstellung, auch diese bestehe in einem Prozess beständigen Anwachsens. Und noch etwas: Der ökonomische Mensch, der über einen individuellen Lebenslauf verfügt und seiner Lebenszeit das Maximale abgewinnen muss, sieht sich nicht mehr in einen übertemporalen Generationszusammenhang eingebunden, in dem die eigene Lebenszeit nur eine Episode in aufeinanderfolgenden und aneinander gebundenen Leben ist, sondern eben nur an das eigene Leben gebunden.⁴¹ Auch darum gilt es, möglichst viel aus der verfügbaren Lebenszeit zu machen, möglichst viel Zeit zu sparen, zu nutzen, zu akkumulieren.

Noch etwas geschieht in derselben Entwicklung: Die Kategorie der Energie wird wichtig – insbesondere mit der Nutzung fossiler Rohstoffe: Der Wechsel des Energie-regimes in den frühindustrialisierten Ländern – England, Frankreich, Deutschland – von Biomasse auf Kohle und Öl prägte nicht nur eine folgenreiche Unterschiedlichkeit zwischen den westlichen und allen übrigen Ländern der Erde aus,⁴² sondern führte auch zu einer rasanten Aufwertung der Kategorie des »Energetischen«, wie sie in anderen

Weltteilen nicht anzutreffen war: »Der energiereiche und sich selbst als »energisch« entwerfende Westen trat der übrigen Welt auch so entgegen. Die Kulturheroen der Epoche waren nicht kontemplative Müßiggänger, religiöse Asketen oder stille Gelehrte, sondern Praktiker einer energiegeladenen *vita activa*: nimmermüde Eroberer, unerschrockene Reisende, ruhelose Forscher, imperatorische Wirtschaftskapitäne. Überall, wo sie hinkamen, beeindruckten, erschreckten oder blufften okzidentale Kraftnaturen mit ihrer persönlichen Dynamik, in der sich der Energieüberschuss ihrer Heimatgesellschaften widerspiegeln sollte.«⁴³

Damit verknüpft ist natürlich auch die bis heute folgenreiche Überlegenheitsvorstellung des westlichen (weißen) Menschen, denn die zeitlich parallel aufkommende Rassenlehre ordnete die »Rassen« ja keineswegs nur nach körperlichen Merkmalen, sondern auch nach ihrer vermeintlichen Leistungsfähigkeit und Energie.

Auch die entstehende Psychologie ist durchsetzt mit den Energiebegriffen des Industriezeitalters: Fast vergessen ist heute, dass eine historische Leistung der Psychologie des 19. Jahrhunderts darin lag, dass Nervenaktivität gemessen werden konnte, weil man entdeckte, dass sie auf elektrischer Energie beruhte; der Physiologe Hermann von Helmholtz konnte nachweisen, dass ihre Leitung eine bestimmte Zeit erforderte. Die frühe experimentelle Psychologie beschäftigte sich mit der Messung von Reizintensitäten und dafür aufgewendeter Energie; die aufkommende Psychophysik erwarb sich große Verdienste bei der optimalen Anpassung des Bedienpersonals an die Anforderungen technischer Apparaturen. Aber es wäre völlig verkehrt, die energetischen Vorstellungen vom Mentalen allein auf der naturwissenschaftlichen Seite der Psychologie zu verorten; das komplette Werk Sigmund Freuds etwa ist durchzogen von der Mechanik, Hydraulik und Energetik des Industriezeitalters: Der Begriff der (freien und gebundenen) »Energie« spielt in der Psychoanalyse eine genauso große Rolle wie der »Trieb« und seine »Dynamik«. Andere prominente Begriffe sind die »Verdrängung«, die »Stauung«, die »Verdichtung«, übrigens auch die »Ökonomie« des Seelenlebens. Noch im berühmten »Vokabular der Psychoanalyse« heißt es ganz ingenieurhaft, »dass die psychischen Vorgänge im Umlauf und in der Verteilung einer messbaren Energie (Triebenergie) bestehen, die erhöht oder verringert werden und anderen Energien äquivalent sein kann.«⁴⁴

Die Psyche stellt man sich also nach dem Prinzip der Dampfmaschine vor. Kein Wunder, dass die nun entstehende Pädagogik vor allem auch die Beherrschung und Steuerung sexueller Energien zum Ziel hat, wie Michael Hagner nachgezeichnet hat.⁴⁵

Die Erfindung der Schule als Erziehungs- und Bildungsinstitution für alle Mitglieder einer Gesellschaft ist ebenfalls an die Entwicklung der frühindustrialisierten Länder gebunden, wobei neben der Vermittlung von Wissen vor allem ihre erzieherische und disziplinierende Funktion im Vordergrund stand. Im schulischen Regime wurden jene Tugenden eingeübt, die – wie Pünktlichkeit, Reinlichkeit, Sorgfalt, Ordnung etc. – ein Industriesystem braucht. Denn Arbeitsteilung funktioniert nur, wenn Arbeitszeit synchronisiert ist – die Arbeiter also zeitgleich und genau getaktet ihre Arbeitsgänge durchführen. Unser Sozialcharakter ergibt sich aus den Synchronisierungserfordernissen der hoch arbeitsteiligen Industriegesellschaft. Auch die Einübung von Konkurrenz und Wettbewerb sowie die Messung der individuellen Leistungen über Notensysteme gehört in diesen Formenkreis. Dieser Prozess der Verschulung hält noch heute an: Nicht nur, dass die Einschulungsquoten und Alphabetisierungsraten immer noch als zentrale Kennzeichen von »Entwicklung« gelten,⁴⁶ auch die Durchstrukturierung

aller Aspekte von Lernen und Bildung durch *messbare* Leistungskriterien hält unvermindert an. Heute können sich Schülerinnen, Schüler und Studierende kaum vorstellen, dass es zweck- und verwertungsfreie Inhalte von Bildung und Lebensläufe jenseits von Wettbewerb und Leistungsnachweisen geben könnte. Was Lernen ist, erscheint als bloße Akkumulation, als Aneignung und Speicherung von »mehr« Wissen und Information ohne Ende.

Die Tiefenwirkung solcher Prägungen, die ich als »mentale Infrastrukturen« bezeichne,⁴⁷ konnte man in der Coronakrise dort sehen, wo eine grotesk unterbelichtete Gruppe von Kultusministerinnen und -ministern beständig und gegen alle medizinische Vernunft auf der Bedeutung und Durchsetzung von »Präsenzunterricht« beharrte – so, als sei das wilhelminische Zeitalter lange noch nicht vergangen. Jedenfalls zeigt eine solche kurze historische Rekonstruktion, wie die Vorstellung von Energie, Fleiß, Disziplin, Leistungsmessung und eben Unendlichkeit der Steigerung von allem und jedem in den Sozialcharakter der modernen Menschen kam. Und sicher auch bei Ihnen, liebe Lesende, ganz schön tief sitzt.

Die entgrenzte Aufklärung

There is a crack in everything,
that's how the light gets in.

Leonhard Cohen

»Seit je hat Aufklärung im umfassendsten Sinn fortschreitenden Denkens das Ziel verfolgt, von den Menschen die Furcht zu nehmen und sie als Herren einzusetzen. Aber die vollends aufgeklärte Erde strahlt im Zeichen triumphalen Unheils. Das Programm der Aufklärung war die Entzauberung der Welt.«⁴⁸ So beginnt nach der Vorrede das berühmte Buch »Dialektik der Aufklärung« von Max Horkheimer und Theodor W. Adorno. Nein, eigentlich ist es kein Buch. Es ist eine Abfolge von Fragmenten, die Autoren hatten 1944 aufgehört, daraus jenes große, geschlossene theoretische Werk zur kritischen Theorie der Gesellschaft ihrer Zeit zu machen, das ihnen in der US-amerikanischen Emigration vorgeschwebt hatte. Diese Sammlung ist unfertig, ihre Teile passen nicht einmal zueinander, und doch gilt es als eines der wichtigsten Werke der Philosophiegeschichte. Warum? Weil es unfertig und bruchstückhaft ist.

Wie Umberto Eco in seinem wunderbaren Buch »Lector in fabula« herausgearbeitet hat, funktioniert jedes Lesen im Modus der aktiven Ergänzung des Gelesenen: Ich füge als Leser genau jene Stücke in die Erzählung ein, die der Autor nicht eigens beschreibt, weil dann die Geschichte endlos, langweilig und redundant wäre. Wenn etwa zu lesen ist »Er stieg in den Bus«, brauchen wir nicht die Erklärung, dass dies ein Verkehrsmittel ist, das ... Wir fügen dieses Wissen implizit dem Text hinzu, nur so funktioniert er. Wir können uns vorstellen, welchen Mantel die Protagonistin trägt oder wie kalt eine mittelalterliche Burg im Winter ist, und fügen diese Vorstellungen beständig in den laufenden Text ein. Das heißt, ich bin als Leser Teil und Mitverfertiger des Textes – Leser nicht *der*, sondern *in der* Geschichte, lector in fabula. Die Lücken des Textes sind es also, die durch das aktive, ergänzende, teilnehmende Lesen gefüllt werden, und genau darin bildet sich Erkenntnis.

So entfaltet die »Dialektik der Aufklärung« in den Lücken einen Erkenntnisprozess. Die einzelnen Fragmente sind gar nicht gleich gut, aber die Bruchstückhaftigkeit hat die seltsame Wirkung, dass manche Teile, hat man sie ein-

mal gelesen, einen nicht mehr loslassen. Und darin, dass sie sehr klar einen Punkt herausarbeiten, um den sich die Moderne, je mehr sie voranschreitet, desto mehr herumdrückt.

»Aufklärung ist totalitär.« So heißt es auf Seite 12, relativ unvermittelt und schlicht inmitten von komplizierten und schwer verständlichen Satzgefügen. Aber ich habe gerade diesen Satz lange nicht verstanden. Ich dachte, Moment, Aufklärung ist die Voraussetzung meiner Autonomie und Freiheit, wie kann sie totalitär sein? Totalitär sind geschlossene Systeme, Gedankengebäude oder Staaten, die in perfekter Hermetik keine Impulse hereinlassen und keine Gedanken benötigen, sondern nur das folgsame Lernen von Vorgegebenem. Wieso also soll Aufklärung totalitär sein?

Die Antwort von Horkheimer und Adorno ist: »Die Menschen bezahlen die Vermehrung ihrer Macht mit der Entfremdung von dem, worüber sie die Macht ausüben. Die Aufklärung verhält sich zu den Dingen wie der Diktator zu den Menschen. Er kennt sie, insofern er sie manipulieren kann. Der Mann der Wissenschaft kennt die Dinge, insofern er sie machen kann. Dadurch wird ihr An sich Für ihn.«⁴⁹ Das beschreibt unser Naturverhältnis sehr genau. Die Welt ist ein riesiges Arsenal von Mitteln zur Erreichung von definierten Zwecken, nichts »an sich«, sondern nur »für etwas«. A storehouse of matter, ein Materiallager, so hat es Francis Bacon genannt, einer der Begründer unseres modernen Wissenschaftsverständnisses. Das Totalitäre der Aufklärung liegt in der Begründung dieses Naturverhältnisses, das ja nicht nur jeden Eigenwert eines Tieres, einer Pflanze, eines Steins zugunsten seines Wertes »für mich« verneint, sondern auch von der Tatsache absieht, dass wir selbst Natur sind.

Das ist ganz und gar nicht esoterisch gemeint; wir haben als biologische Organismen keinen ontologisch herausgehobenen Status gegenüber anderen Tieren. Wir werden mit einer genetischen Ausstattung geboren, die sich je nach Umwelterfahrung so oder so entfaltet, haben eine Existenz, die von der sicheren Aufrechterhaltung des Stoffwechsels und einer definierten Körpertemperatur abhängig ist, pflanzen uns fort und sterben irgendwann, durch Organversagen, Krankheit oder Gewalt.

In dieser Gestalt, als Auch-Tiere, sind wir Natur, und die Aufklärung hat uns diese ungeheuren Fortschritte gebracht, gerade, indem wir systematisch davon absehen konnten, Natur oder Tier zu sein. Oder anders gesagt: Gerade indem wir systematisch davon absehen konnten, Natur zu sein, konnten wir Natur als etwas betrachten, was nicht wir selbst sind, sondern was uns in unterschiedlichen Verhältnissen gegenübersteht: freundlich, feindlich, besitzbar, nutzbar usw. Eva von Redecker schreibt: »Vielleicht beginnt der Fehler schon damit, die Natur für den Hintergrund zu halten. Als sei uns Menschen eine unverrückbare Bühne gebaut worden, als seien wir gar nicht aus demselben Holz.«⁵⁰

Ein Gruppenfoto unser aller Selbst vor dem Hintergrundbild der Natur – so muss man sich die mentale Voraussetzung vorstellen, die jene unglaublichen Fortschritte in der Naturbeherrschung und -ausbeutung möglich machte und die zu jenen Steigerungen im Lebensalter, in der Gesundheit, im Wohlstand, in der Freiheitlichkeit und in der Weltreichweite führte, dessen größte Nutznießer die Bewohnerinnen und Bewohner der reichen Gesellschaften sind. Die Moderne ist eine soziotechnische Figuration, die die Welt verwandelt hat. Und damit auch die Vorstellungen darüber, was Entwicklung, Fortschritt, Wachstum, Bildung etc. eigentlich sind. Die Unendlichkeitsvorstellung in Verkopplung mit immerwährendem Wachstum konnte erst mit der scheinbaren Befreiung der Wirtschaft von den biologischen Grenzen der Wertschöpfung in die Welt kommen.

Und da sind wir wieder: Alle zivilisatorischen Errungenschaften der Moderne sind auf die grenzenlose Ausbeutung von natürlichen Ressourcen gebaut. Die Linken haben leider immer nur den halben Marx zur Kenntnis genommen – und die GRÜNEN nur die andere Hälfte: »Jeder Fortschritt in der Steigerung der Fruchtbarkeit des Bodens für eine gegebene Zeitfrist ist zugleich ein Fortschritt im Ruin der dauernden Quellen dieser Fruchtbarkeit. Je mehr ein Land (...) von der großen Industrie als dem Hintergrund seiner Entwicklung ausgeht, desto rascher dieser Zerstörungsprozess. Die kapitalistische Produktion entwickelt daher nur die Technik und die Kombination des gesellschaftlichen Produktionsprozesses, indem sie zugleich die Springquellen allen Reichtums untergräbt: die Erde und den Arbeiter.«⁵¹

Wenn man sich vor Augen führt, wie im Jahr 2021 zwei Regierungen, in denen GRÜNE und Sozialdemokraten sitzen, nämlich Berlin und Brandenburg, das komplett anachronistische Projekt einer Autofabrik feiern, die von einem Milliardär aus der Digitalwirtschaft mit Hilfe von Milliarden Euro Steuergeldern in den märkischen Sand bzw. einen zuvor zu rodenden Wald gesetzt wird, kommen alle denkbaren Abstraktionen von den Springquellen des Reichtums von Elon Musk wie unter dem Brennglas zusammen – geradezu irre, wenn man sich überlegt, dass dieses in ökologischer, politischer und volkswirtschaftlicher Hinsicht völlig antiquierte und falsche Signale setzende Gigaprojekt nach einem halben Jahrhundert Umweltbewegung euphorisch begrüßt wird. Wo Karl Marx noch drei Quellen der Wertschöpfung benannt hatte – Kapital, Arbeit und Natur –, bleibt heute nur noch der geradezu dämmliche Blick auf »erwartbare Ergebnisse« übrig. Irgendwer findet Elektroautos fortschrittlich, jemand anderes Arbeitsplätze, aber dass ein solches Projekt in jeder Hinsicht zerstörerisch ist,



Abb. 12: Tesla Gigafactory: Das Auto ist aus dem 21. Jahrhundert gar nicht wegzudenken

stört erstaunlicherweise niemanden. Der NABU achtet darauf, dass die Blindschleiche umgesiedelt wird, und so hat jeder seine Rolle.

Betrachtet man solche Miniaturen, muss man Bruno Latour zustimmen: Nein, wir sind nie modern gewesen. Bevor wir das hätten sein können, haben wir schon »Natur« und »Mensch« getrennt und als Gegensätze konzipiert und damit jede Form der Begrenztheit einfach aus der Optik entfernt. Die Arbeit ist als Potenzial unerschöpflich, solange es Menschen gibt, die Natur aber nicht. Und das ist das Problem des Erfolgsmodells Moderne, in dem sie jetzt steckt.

Allein im 20. Jahrhundert ist die Wirtschaft global um das Vierzehnfache gewachsen, der Energieverbrauch hat sich versechzehnfacht, die Produktion ist um das Vierzigfache gestiegen. In nur hundert Jahren wurde mehr Energie verbraucht als während der kompletten 200 000 Jahre Menschheitsgeschichte davor. Und zehnmal so viel wie in den 1000 Jahren vor dem 20. Jahrhundert. Und das ging

weitgehend nur auf das Konto von Europa und Nordamerika. Inzwischen hat sich das Prinzip der Wachstumswirtschaft über den ganzen Globus verbreitet, und es ist so ein attraktives Prinzip, weil mit ihm die Lebensverhältnisse der Menschen sicht- und fühlbar schnell verbessert werden. Der Historiker Dipesh Chakrabarty hat darauf hingewiesen, dass die »große Beschleunigung« der Konsumraten und des Ressourcenverbrauchs, die sich dem modernen Naturverhältnis verdanken, für die Gesellschaften, die diesen Prozess durchliefen bzw. immer noch durchlaufen, eine Phase der Emanzipation und der Erweiterung von individuellen Handlungsspielräumen war bzw. ist.

Das Wirtschafts- und Gesellschaftsmodell, das jetzt an seine Grenzen gerät, war aber *nicht allein materiell* historisch einzigartig erfolgreich: Es brachte den Angehörigen frühindustrialisierter Gesellschaften Demokratie, Rechtsstaatlichkeit und den Schutz vor körperlicher Gewalt sowie Wohlstand, Gesundheit, Bildung und soziale Fürsorge auf einem bislang historisch unerreichten Niveau. Gerade dieser Erfolg zieht das Projekt menschliche Zivilisation in eine böse Falle, denn jetzt, mit dem Klimawandel und dem Artensterben (und mit vielem anderen), zeigt sich, dass das zivilisatorische Projekt der Moderne nur so wunderbar funktionieren konnte, weil man von den Naturverhältnissen konsequent abgesehen hat.

Man könnte sagen, seit es den Wachstumskapitalismus gibt, befinden wir uns in einem langen Disput mit den Naturverhältnissen, aber der war 200 Jahre lang einseitig. Nur wir haben gesprochen. Seit einem halben Jahrhundert bekommen wir erstmals Antworten, und sie fallen desto lauter und deutlicher aus, je länger wir uns weigern zuzuhören.

Und damit kann man zurück zur Dialektik der Aufklärung kommen: Was Horkheimer & Adorno herausarbeiten, ist, dass die mit der Aufklärung einhergehenden, immer besseren Technologien der Naturbeherrschung und der Beherrschung des Selbst den Umstand ignorierbar gemacht haben, dass Natur erstens nicht beherrschbar ist und zweitens dort, wo dieser Versuch unternommen wird, die Subjektivität beschädigt wird – also gerade das, was die Menschen über den Status reiner Naturwesen heraushebt. »Kein Sein ist in der Welt, das Wissenschaft nicht durchdringen könnte, aber was von Wissenschaft durchdrungen werden kann, ist nicht das Sein.«⁵² Damit ist das moderne Drama auf den Punkt gebracht: Das Projekt einer totalen Naturbeherrschung löscht auch genau die Identität und Freiheit des Individuums aus, die die Aufklärung gerade erkämpfen wollte. Das Sein ist nicht restlos aufklärbar, so wenig wie die Natur restlos beherrschbar ist. Aufklärung schlägt in dieser Sicht genau in das zurück, was sie ablösen wollte: in den Mythos.

»Die Menschen hatten immer zu wählen zwischen ihrer Unterwerfung unter Natur oder der Natur unter das Selbst.«⁵³ Damit ist ein unaufhebbares Spannungsverhältnis der menschlichen Lebensform bezeichnet – und da es unaufhebbar ist, bleibt nichts anderes übrig, als es anzuerkennen. Wir können nicht gegen die Tatsache andeuten und anhandeln, dass Menschen Naturwesen sind und dass alle zivilisatorischen Erfolge der Moderne auf der Fiktion der Unendlichkeit basieren, die wiederum die natürlichen Voraussetzungen des Lebens ignorieren *muss*, damit sie aufrechterhalten werden kann. Der Tag, an dem die tote Masse die lebendige übertrifft, ist gewissermaßen der Tag, an dem die Dialektik der Aufklärung den arkanen, heute würde man sagen: nicht systemrelevanten Bereich der Philosophie verlassen hat und handfeste Wirklichkeit geworden ist. Diese totalitär und mythisch gewordene Aufklärung verzehrt alles.

Es braucht für das 21. Jahrhundert eine andere, nächste Aufklärung, die die Grenzen der Naturbeherrschung und der Beherrschung des Selbst anerkennt und ein anderes Naturverhältnis entwickelt.

Man kann mit der Natur nicht verhandeln

So wie es eine Verwechslung war, Natur als den Hintergrund für das universale Selfie des Homo sapiens zu betrachten, so erweist sich die Idee, man könne eine Natur, die per Klimawandel und Artensterben tagtäglich rückmeldet, dass es mit der vollständigen Naturbeherrschung leider nix ist, durch immer noch bessere Technologie schließlich *doch noch* in den Griff kriegen, als Illusion. Im Zuge der Coronapandemie gab es die wichtige Einsicht, dass man mit einem Virus nicht verhandeln, nicht dealen kann. Das kann man mit den naturalen Voraussetzungen der menschlichen Lebensform ganz generell nicht – die Aufrechterhaltung einer lebensermöglichenden Durchschnittstemperatur und einer intakten Biosphäre sind nicht verhandelbar.

Deshalb sind die ganzen Anstrengungen, zunächst unendlich mühsam internationale Klimaverträge auszuhandeln, über deren Umsetzung dann jeweils national verhandelt wird, indem versucht wird, wirtschaftliche, politische, soziale Interessen mit den ökologischen zum Ausgleich zu bringen, irrational, in gewisser Weise kindisch. Weil man mit den Interessengruppen aus Wirtschaft, Verbänden und Politik nicht anders als verhandeln kann, kommt paradoxerweise als Handlungsergebnis eine Verhandlung mit der Natur heraus. Okay, Klima, machen wir es so: Bis 2050 kannst du noch 580 Gigatonnen CO₂ aufnehmen, also machst du das bitte. Wir versprechen dir dafür, dass wir eine bis dahin immer noch wachsende Wirtschaft »dekarbonisieren« und kein CO₂ mehr emittieren. Abgemacht?

Man sieht sofort, eine solche Klimapolitik ist nichts anderes als ein Anthropomorphismus, der sich für Politik hält. Kinderkacke. Nach einem halben Jahrhundert Ökologiebewegung ist es Zeit, erwachsen zu werden, sich von der Idee des Dealens zu verabschieden und das Feedback von Erd- und Klimasystem zur Kenntnis zu nehmen, das wir unablässig mitgeteilt bekommen. Die Fiktion des immerwährenden Fortschritts durch immerwährendes Weitermachen muss aufgeklärt werden durch eine Kultur, die das Aufhören lernt. Erwachsenwerden ist der Prozess, in dem man lernt, dass man nicht alles haben kann, von dem man mal geglaubt hat, es haben zu können.

Nach meinem Herzinfarkt habe ich ja meine kleine Welt anders gesehen als vorher, eine Perspektivänderung erlebt. Ich will das nicht romantisieren, aber seither haben sich meine Werte neu sortiert; die Welt ist noch dieselbe, aber ich sehe sie anders. Und das ist der entscheidende Punkt. Der Verlust meiner Unsterblichkeitsillusion ist ja nichts Trauriges, sondern ein neuer Ausgangspunkt. Von jetzt an kann ich eine andere Geschichte über mich selbst erzählen. Was übrigens auch die Wirkungsweise jeder erfolgreichen Psychoanalyse ist: Die Patienten lernen, eine andere Geschichte über sich selbst zu erzählen, weil sie sich selbst aus einer anderen Perspektive zu sehen gelernt haben. Die Einnahme eines anderen Betrachterstandpunkts oder die Anwendung eines anderen Begriffs- oder Beschreibungssystems sind das Entscheidende – denn dann zeigt sich dieselbe Wirklichkeit anders und erlaubt auch andere Zugänge zu ihr.

Ich habe schon Wittgensteins Diktum zitiert, dass die Lösung des Rätsels des Lebens in Raum und Zeit außerhalb von Raum und Zeit liegt. Nur wenn man akzeptiert, dass es

einen unaufklärbaren Rest der menschlichen Existenz gibt, kann man sich von der Hybris der vollständigen Naturbeherrschung verabschieden und beginnen, die Welt anders zu betrachten als zuvor. Mich hat immer Wittgensteins Bild von der Weltbeschreibung fasziniert, das er im »Tractatus logico philosophicus« entwirft: »Denken wir uns eine weiße Fläche, auf der unregelmäßige schwarze Flecken wären. Wir sagen nun: Was für ein Bild immer hierdurch entsteht, immer kann ich seiner Beschreibung beliebig nahe kommen, indem ich die Fläche mit einem entsprechend feinen quadratischen Netzwerk bedecke und nun von jedem Quadrat sage, dass es weiß oder schwarz ist. Ich werde auf diese Weise die Beschreibung der Fläche auf eine einheitliche Form gebracht haben. Diese Form ist beliebig, denn ich hätte mit dem gleichen Erfolge ein Netz aus dreieckigen oder sechseckigen Maschen verwenden können. Es kann sein, dass die Beschreibung mit Hilfe eines Dreiecks-Netztes einfacher geworden wäre; das heißt, dass wir die Fläche mit einem größeren Dreiecks-Netz genauer beschreiben könnten als mit einem feineren quadratischen (oder umgekehrt) usw. Den verschiedenen Netzen entsprechen verschiedene Systeme der Weltbeschreibung.«⁵⁴

Die Voraussetzung, es existierten *verschiedene* Systeme der Weltbeschreibung, ist etwas völlig anderes als die Voraussetzung, dass alles grundsätzlich im Rahmen eines einzigen Systems vollständig beschrieben werden könnte, nur leider bislang »noch nicht« vollständig beschrieben ist. Diese Voraussetzung begrenzt das Spektrum der menschlichen Möglichkeiten, paradoxerweise indem sie verbissen die Idee der Grenzenlosigkeit verfolgt. Umgekehrt paradox müssen wir dazu kommen, unser Möglichkeitsspektrum zu erweitern, indem wir von den Grenzen ausgehen.

Der Raum unserer Möglichkeiten ist innen, nicht außen.

Zwölf Merksätze

zur Beantwortung der Frage:

Wer will ich gewesen sein?

Das Leben hat mich gewagt.

Der Raum der Veränderung ist innerhalb, nicht außerhalb unserer Grenzen.

Die Zeit der Veränderung ist die Gegenwart, nicht die Zukunft.

Ziele sind keine Handlungen.

Aufhören braucht einen Grund, aber aufhören zu können, braucht Können.

Aufhören sichert das Erreichte, weitermachen banalisiert es.

Mit Glaubenssätzen kommt man nicht weiter.

Mit Konjunktionen auch nicht.

Das Wort »eigentlich« ist zu vermeiden.

Die Bedeutung eines Lebens hängt nicht von seiner Dauer ab.

Der Schluss muss vor dem Ende gedacht werden.

Es gibt ein Leben vor dem Tod. Und nur da.

Anmerkungen

1 Weg von hier

- 1 Frankfurter Allgemeine Zeitung, 11.12.2020, S. 6.
- 2 Diamond, Jared: Kollaps. Warum Gesellschaften überleben oder untergehen. Frankfurt/M.: Fischer 2005.
- 3 Welzer, Harald: Klimakriege. Wofür im 21. Jahrhundert getötet wird. Frankfurt/M.: Fischer 2008.
- 4 Dieser Gedanke taucht im Roman »Die Straße« von Cormack McCarthy auf.
- 5 Wichtig für die Begründung des 2- bzw. 1,5-Grad-Zieles ist die Möglichkeit, dass bei Überschreiten dieser Werte unkorrigierbare Dynamiken entstehen, deren Folgen sich wechselseitig verstärken – so etwa besonders prägnant dazu Lenton, T.M. et al. (2019), deren Titel »Climate tipping points – too risky to bet against«, schon die Richtung vorgibt: »We argue that the intervention time left to prevent tipping could already have shrunk towards zero, whereas the reaction time to achieve net zero emissions is 30 years at best. Hence we might already have lost control of whether tipping happens.«
- 6 So sagt einer der wichtigsten Klimaforscher, Stefan Rahmstorf, in einem Interview: »Bereits bei 1,7 oder 1,8 Grad werden wir weltweit den Großteil der Korallenriffe verlieren, bei zwei Grad werden wir alle verlieren. Das Great Barrier Reef in Australien ist in den vergangenen Jahren zur Hälfte ausgebleicht. Diese Naturwunder sterben bereits. Ein weiteres Problem ist der Verlust der großen Eisschilde, wie etwa auf Grönland. Es gibt einen Kipppunkt, an dem das Schmelzen des Grönland-Eises unaufhaltsam wird. Wir wissen aber nicht, wo er genau liegt. Mit jedem Zehntelgrad über 1,5 Grad hinaus steigt das Risiko, dass wir ihn überschreiten und Inselstaaten und Küstenstädte später aufgeben müssen. Bei einer Erwärmung über 1,5 Grad wird die Welt nicht mit einem großen Knall untergehen – diese Vorstellung mancher Aktivistinnen und Aktivisten ist unbegründet. Aber wir laufen in ständig größere Risiken hinein und werden immer mehr verlieren, an Biodiversität, Ökosystemen, Ernährungssicherheit – mit jedem Zehntelgrad, das wir über die 1,5 Grad hinausgehen.« (<https://www.rnd.de/politik/klimaforscher-rahmstorf-wir-muessen-mehr-ueber-losungen-diskutieren-7K3YKDQF4FEBZMTVUSJSCZNPIE.html>)
- 7 Horn, Eva: Zukunft als Katastrophe. Frankfurt/M.: Fischer 2014.
- 34 Die folgenden Überlegungen sind eine überarbeitete Fassung von Auszügen aus Welzer, Harald: Mentale Infrastrukturen. Wie das Wachstum in den Geist und in die Seele kam. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung, 2011.
- 35 Kohli, Martin: »Normalbiographie und Individualität: Zur institutionellen Dynamik des gegenwärtigen Lebenslaufregimes«, in: Hanns-Georg Brose und Bruno Hildenbrand (Hg.), Vom Ende des Individuums zur Individualität ohne Ende. Opladen: Westdeutscher Verlag 1988, S. 35.
- 36 Brose, Hanns-Georg & Hildenbrand, Bruno (Hg.): Vom Ende des Individuums zur Individualität ohne Ende. Opladen: Westdeutscher Verlag, S. 13.
- 37 Vogl, Joseph: Kalkül und Leidenschaft. Poetik des ökonomischen Menschen. Zürich: diaphanes 2009.
- 38 Ebd.
- 39 Vogl (wie Anm. 37), S. 336.
- 40 Schivelbusch, Wolfgang: Geschichte der Eisenbahnreise. Zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert. Frankfurt/M.: Fischer 1977.
- 41 Ullrich, Wolfgang: Habenwollen. Wie funktioniert die Konsumkultur. Frankfurt/M.: Fischer 2006.
- 42 Osterhammel, Jürgen: Die Verwandlung der Welt. Eine Geschichte des 19. Jahrhunderts. München: Beck 2010, S. 936.
- 43 Ebd., S. 937.
- 44 Laplanche, Jean & Pontalis, Jean Bertrand: Das Vokabular der Psychoanalyse. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1973, S. 357.
- 45 Hagner, Michael: Der Hauslehrer. Die Geschichte eines Kriminalfalls. Frankfurt/M.: Suhrkamp 2010.
- 46 Osterhammel (wie Anm. 42), S. 1131.
- 47 Welzer, Mentale Infrastrukturen (wie Anm. 34).
- 48 Horkheimer & Adorno (wie Anm. 18), S. 10.
- 49 Ebd., S. 15.
- 50 Redecker, Eva von: Revolution für das Leben. Philosophie der neuen Protestformen. Frankfurt/M.: Fischer 2020, S. 115.
- 51 Marx, Karl: Das Kapital Bd. 1, Berlin: Dietz 1962, S. 529 ff.
- 52 Horkheimer & Adorno (wie Anm. 18), S. 32.
- 53 Ebd., S. 38.
- 54 Wittgenstein, Ludwig: Tractatus logico-philosophicus. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1980, S. 105 ff.

Marcel Hänggi, «Null Öl. Null Gas. Null Kohle - Wie Klimapolitik funktioniert. Ein Vorschlag», Zürich 2018, S.121-128 & S.143-145

REDUZIEREN

Es gibt Umweltprobleme, die haben sich in den letzten Jahrzehnten wenigstens in Teilen der Welt entschärft. Die Luft ist in Europa und Nordamerika sauberer geworden. Vorschriften und Grenzwerte wurden erlassen, Verbrennungsprozesse optimiert, Abgase werden mit Filtern und Katalysatoren gereinigt und die Reinheit der Brennstoffe erhöht. Mit besserer Technik kann man mehr verbrennen und trotzdem weniger verdrecken.

Die Klimakrise ist nicht analog zur Luftverschmutzung lösbar. CO₂ ist kein Nebenprodukt der Verbrennung wie Ruß oder Schwefeldioxid, sondern ihr Hauptprodukt: Energie wird beim Verbrennen fossiler Brennstoffe frei, weil Kohlenstoff zu CO₂ (und Wasserstoff zu Wasser) verbrennt. Man kann den Kohlenstoff nicht vorgängig aus den Brennstoffen entfernen. Man kann CO₂ nur unter großem Aufwand aus den Abgasen entfernen, denn die Abgase bestehen zu einem großen Teil aus ebendiesem CO₂. Und man kann das CO₂ in den Abgasen auch nicht mit einem Katalysator in eine harmlose Substanz verwandeln. Nein: Die CO₂-Emissionen gehen nur zurück, wenn der Verbrauch fossilen Kohlenstoffs zurückgeht. So einfach das ist: Doch leicht ist es nicht, dahin zu kommen.

Es gibt drei mögliche Strategien, weniger von einer Ressource zu verbrauchen: Man kann das selbe mit weniger Ressourcen tun – das ist der Weg der Effizienz. Man kann das selbe mit anderen (umweltverträglichen) Ressourcen tun – das ist der Weg der Substitution.* Und man kann, ganz einfach, weniger tun – das nennt man Suffizienz (Genügsamkeit). Eine Lösung für die Klimakrise wird nur eine Kombination dieser drei Strategien bringen. Dabei ist einzig die Substitution in der Lage, den Verbrauch auf null zu senken; Effizienz und Suffizienz können aber dazu beitragen, dass weniger substituiert werden muss.

Die politische Debatte hat klare Präferenzen: Die Effizienz zu steigern ist immer gut; Effizienz fügt sich bestens in die kapitalistische Produktionslogik ein. Substitution erfährt schon mehr Gegenwind, wenn es darum geht, die Substitute durch geeignete politische Maßnahmen zu fördern (statt einfach darauf zu warten, dass sie sich von allein durchsetzen). Ihr steht sowohl eine Ideologie entgegen, der zufolge nur wert ist, zu überleben, was sich auf dem freien Markt durchsetzt, wie auch die enorme Beharrungskraft der alten Energien und der mit ihnen verbundenen Interessen. Aber der Weg der Substitution eröffnet immerhin neue Geschäftsfelder und bietet neue Gewinnchancen und hat deshalb auch seine Lobby. Sehr wenig Unterstützung erfährt jedoch der dritte Weg, die Suffizienz. Sie ist mit der Logik einer Wirtschaft unter Wachstumszwang nicht verträglich, man verdient mit ihr kein Geld und auf sie zu setzen, gilt weit herum als *paiv*. So nennt etwa das *UK's Committee on Climate Change*, das die britische Regierung in der Klimapoli-

tik berät, auf seiner Website zwei Wege, die CO₂-Emissionen zu senken: Effizienzsteigerung und die Dekarbonisierung der Energieversorgung (also Substitution). Die Suffizienz fehlt.⁹⁹

Bevor ich mich den drei Wegen zuwende, mache ich einen Schritt zurück und frage, welche Rolle Energie in einer Gesellschaft überhaupt spielt.¹⁰⁰

* Statt von »Substitution« spr man auch von »Konsistenz«, bevorzuge den ersten Begriff, d mir klarer erscheint.

ENERGIE

Im 17. und 18. Jahrhundert ereignete sich in den abgelegenen Prärien Nordamerikas eine Energierevolution. Damals begannen Indianerstämme, die am Rande der unbewohnten Great Plains lebten, das Pferd zu nutzen, das sie von den spanischen Siedlern übernommen hatten. Das Pferd ist ein Energiekonverter: Es wandelt die Energie, die in der Biomasse des Grases steckt, in kinetische Energie um. Diese Energie wiederum nutzten die Indianer, um zu jagen – und hochwertige Nahrungsenergie zu gewinnen. Es war eine Energierevolution, wie sie sich heutige »Energierevolutionäre« erträumen: Die neue Energiequelle, das Gras der Prärien, war im Überfluss vorhanden, seine Nutzung setzte keine Schadstoffe frei, und weil das Gras bisher von den Menschen nicht genutzt worden war, konkurrierte seine Nutzung auch keine andere Tätigkeit. Auch dass nun viel mehr Bisons gejagt werden konnten, war unproblematisch: Es gab so viele, dass die Jagd sie nicht in Bedrängnis brachte. (Dass sie im 19. Jahrhundert fast ausstarben, war Folge einer gezielten Ausrottungskampagne. Die weißen Siedler wollten damit den Indianern die Lebensgrundlage entziehen.)

Aber diese Energierevolution war auch ein großes soziales Experiment, und dessen Resultate waren nicht unbedingt erbaulich. Vor der Ankunft der Europäer hatten die Prärieindianer sesshaft gelebt und weder Zug- noch Reittiere gekannt. Sie betrieben Gartenbau, jagten kleinere Tiere und gelegentlich einen Bison. Kriegerische Auseinandersetzungen gab es kaum, die Hierarchien waren flach. Zwischen den Geschlechtern bestand eine Arbeitsteilung, aber kein ausgeprägtes Machtgefälle.

Nun aber wurde das Jagen viel leichter. War die Bisonjagd zuvor ein Gemeinschaftsunternehmen gewesen (man kreiste einen Bison ein und trieb ihn über eine Felsklippe), konnte nun ein einziger Jäger mehrere Bisons auf einem Jagdzug erbeuten. Das Pferd wurde zu einem Machtsymbol; wer das schnellste Pferd besaß, war den anderen überlegen. Die Hierarchien wurden steiler, Pferderaub wurde zu einem prestigeträchtigen Unternehmen. Das Verhältnis zwischen den Geschlechtern änderte sich dramatisch: Das Pferd erleichterte das Jagen, eine Männersache, enorm, aber die Frauen hatten nun viel mehr Arbeit: Ihnen oblag die Verarbeitung der Jagdbeute. Erfolgreiche Jäger brauchten nun zur Verarbeitung ihrer Beute mehrere Frauen: Polygamie (für die erfolgreichen Männer) und Frauenraub kamen auf. Die kriegerischen Indianerkulturen, die man aus den Wildwestfilmen kennt, sind ein Ergebnis dieser Energierevolution.

Wie Energie eine Gesellschaft verändert, und dass mehr Energie, selbst wenn sie ökologisch unproblematisch bereitge-

stellt wird, nachteilige Folgen haben kann: Davon ist in der ganzen Energiedebatte unserer Tage kaum je die Rede. Die politische Debatte zur Energieversorgung dreht sich um technische Machbarkeiten und um die ökologischen und ökonomischen Kosten der Energiebereitstellung, seltener auch um die sozialen Kosten (wie Unfälle in Kohlebergwerken beispielsweise oder Umsiedlungen für den Bau von Stauseen). Ökonomische Kosten-Nutzen-Rechnungen führen die (monetären, ökologischen und sozialen) Kosten der Energiebereitstellung als Aufwand, die Energie selber als Ertrag. Gelingt es, mehr Energie mit weniger Kosten bereit zu stellen, ist das in dieser Sichtweise immer gut.

Ich will mich hier nicht auf Studien, Zahlen und den Streit um (künftige) Potenziale bestimmter Energietechniken einlassen. Aber ich will hier die Prämisse hinterfragen, wonach Energie, wenn man sie einmal hat, stets etwas Gutes sei und es lediglich gelte, die Kosten ihrer Bereitstellung zu minimieren.

Zu wenig, genug, zu viel

Energie verändert eine Gesellschaft: Das ist trivial. Eine Gesellschaft, die mehr Energie verbraucht, ist eine andere als eine, die wenig verbraucht. Eine Gesellschaft, die ihre Energie auf andere Weise bereitstellt und Energieträger mit anderen Eigenschaften verwendet, ist ebenfalls eine andere Gesellschaft. Eine zentralisierte Energieversorgung zentralisiert Macht, dezentrale Energiestrukturen verteilen Macht.

Energie transportiert Materialien: Das ist ökologisch relevant. Energie transportiert Menschen: Das ist sozial relevant. Energie beschleunigt sozialen Wandel. Energie verändert Gewohnheiten, befreit von Zwängen und schafft neue. Energie prägt, wie wir unsere Umwelt wahrnehmen und wie wir uns in Raum und Zeit bewegen. Energie prägt die Arbeitswelt, die Produktions-, Allokations- und Distributionssysteme. Energie verleiht Menschen Macht über andere Menschen und über ihre Umwelt.

Eine große Zahl von Menschen leidet darunter, dass sie zu wenig Energie oder zu schlechte Formen von Energie zur Verfügung hat. Eine bessere Energieversorgung könnte ihre Lebensqualität, ihre Gesundheit und ihre Chancen auf Bildung und auf ökonomischen Erfolg enorm steigern. Aber das gilt nicht mehr, wenn einmal ein gewisser Versorgungsgrad erreicht ist. Der Philosoph Ivan Illich postulierte in den 1970er-Jahren, es gebe eine »Schwelle«, jenseits derer zusätzlicher Energiekonsum keine zusätzliche Wohlfahrt mehr schaffe, ja sogar Wohlfahrt vernichte – selbst wenn dieser zusätzliche Energiekonsum vollkommen aus ökologisch und sozial unproblematischen Quellen gedeckt würde.¹⁰¹

[...]

EFFIZIENZ

Die erste Reduktionsstrategie, die Effizienzsteigerung, ist leicht zu definieren: Effizienz ist das Verhältnis von Ertrag zu Aufwand. Dass bei näherer Betrachtung oft nicht so klar ist, was man unter Aufwand und was unter Ertrag verstehen will: darauf komme ich zurück.

Effizienz heißt ein großes Versprechen: Probleme lösen und gleichzeitig Geld sparen. »Faktor Vier. Doppelter Wohlstand – halbiertes Naturverbrauch« hieß der Bericht an den Club of Rome aus dem Jahr 1995.¹⁰² »Energieeffizienz ist die Energiequelle, die jedes Land im Überfluss besitzt«, schreibt die Internationale Energieagentur auf ihrer Website.¹⁰³ Effizienz ist ein Fetisch der Energiepolitik.

Das theoretische Einsparpotenzial von Effizienzsteigerung ist zwar begrenzt – die Gesetze der Thermodynamik setzen ihm unverrückbare Grenzen –, aber dennoch enorm, weil Energie heute in vielen Bereichen sehr verschwenderisch eingesetzt wird.* Aber wie viel von dem theoretischen Potenzial wird in der Praxis realisiert?

Ein Blick in die Geschichte der Energienutzung zeigt ein äußerst ernüchterndes Bild, das, nähme man es ernst, jeden Glauben an die Energieeffizienz als Sparstrategie entmutigen müsste. Während nämlich die Techniken der Energienutzung dank technischer Fortschritte stets effizienter wurden und werden, nahm gleichzeitig auch der Verbrauch immer mehr zu. Man kann also auch immer effizienter immer mehr verbrauchen.

Das scheinbare Paradox des effizienten Mehrverbrauchs findet klassischerweise zwei Erklärungen: Erstens: Der Energieverbrauch nimmt wegen des steigenden Wohlstands zu. Hätte es keine Effizienzsteigerungen gegeben, hätte der Verbrauch noch viel

mehr zugenommen. Die Effizienz hat also tatsächlich Energie gespart – gemessen an einem Vergleichsszenario ohne Effizienzsteigerung.

* Man findet in der Fachliteratur Schätzungen zum Potenzial von Effizienzsteigerungen. Solche Zahlen bringen aber wenig, solange nicht geklärt ist, welches Verhältnis von Ertrag zu Aufwand mit Effizienz gemeint sei.

Rebound

Etwas kritischer ist die zweite Erklärung: Es werden immer mehr Energiedienstleistungen in Anspruch genommen, gerade weil sie effizienter bereitgestellt werden. Als beispielsweise im frühen 20. Jahrhundert Glühbirnen mit Wolfram-Leuchtfäden auf den Markt kamen, die viermal so energieeffizient waren wie die bis dahin üblichen Kohlefaser-Glühbirnen, fürchteten sich einige Elektrizitätswerke um Umsatzeinbußen. Andere dagegen sahen den Massenmarkt kommen und stellten sich darauf ein. Sie bekamen recht: War elektrisches Licht bis dahin ein teurer Luxus gewesen, konnten es sich nun plötzlich viele leisten. Der Stromverbrauch explodierte regelrecht – nicht trotz, sondern wegen der effizienteren Technik.¹⁰⁵

Die Energieökonomie nennt solche Effekte heute *Rebound*. Rebound sorgt dafür, dass das Sparpotenzial von Effizienzsteigerungen nur teilweise ausgeschöpft wird oder, wie im Glühbirnenbeispiel, dass statt einer Einsparung sogar ein Mehrverbrauch resultiert. Ist letzteres der Fall, spricht man von einem

Rebound von mehr als 100 Prozent oder von *Backfire*.

Rebound wirkt auf verschiedenen Ebenen. Von *direktem Rebound* spricht man, wenn die gesteigerte Energieeffizienz eine Energiedienstleistung billiger macht und diese deshalb mehr nachgefragt wird. *Indirekter Rebound* tritt auf, wenn man das dank der besseren Effizienz gesparte Geld für etwas anderes ausgibt, das ebenfalls Energie verbraucht. Die dritte Form von Rebound sind die marktweiten *General equilibrium effects*: Gesparte Energie wirkt auf dem Markt wie ein zusätzliches Angebot. Sie senkt den Preis, wodurch sich die Nachfrage erhöht. Salopper ausgedrückt: Was ich spare, verbraucht ein anderer. Und schließlich gibt es die *transformational effects*: Technische Effizienzsteigerungen verändern Konsummuster. Das beschriebene Glühbirnenbeispiel hat neben direktem Rebound auch solche *transformational effects* ausgelöst und soziale Normen, welche Helligkeit als angemessen gilt, verschoben.

[...]

SUFFIZIENZ

Suffizienz wird meistens mit »Genügsamkeit« übersetzt und häufig synonym mit »Verzicht« verwendet. Und der ist unpopulär: »Niemand will verzichten«, heißt es, oder auch: »Natürlich wäre Suffizienz eine gute Sache, aber sie lässt sich nicht verordnen.«

Das sind zwei gewichtige Einwände: Müssen »wir«, um die Umweltprobleme zu lösen, »verzichten«? Und: Lässt sich Suffizienz – oder Verzicht – in einem liberal-demokratischen Gemeinwesen verordnen?

Zum ersten Punkt zwei Antworten. Erste Antwort: Wenn es denn so wäre, dass Verzicht auf gewisse Dinge, die uns lieb sind, unabdingbar wäre, um das Überleben der Menschheit zu garantieren und einen katastrophalen Klimawandel (und andere katastrophale Umweltveränderungen) abzuwehren, so müsste es eben sein: Eine Güterabwägung gäbe eine sehr klare Antwort. Und auch angesichts der extremen Ungleichheit zwischen Arm und Reich auf diesem Planeten sollten wir uns vor Verzichtleistungen nicht allzu sehr drücken, wenn mit »wir« durchschnittliche Bewohnerinnen und Bewohner der reichen Länder der Welt gemeint sind.

Zweite Antwort: Die Frage, ob »wir« verzichten müssen, ist falsch gestellt. Jede gesellschaftliche Veränderung bringt Gewinne hier und Verluste da, nötigt einigen Verzichte ab und bringt anderen Vorteile. Die sinnvolle Frage lautet nicht »Müssen wir verzichten?«, sondern »Worauf müssen wir verzichten – und was gibt es dabei zu gewinnen?« Die Wahrnehmung dessen, was Verzicht sei, ist aber einseitig und hat viel mit Gewohnheit zu tun, denn worauf zu verzichten man sich gewöhnt ist, das erlebt man nicht mehr als Verzicht. Eine Straße für den Motorverkehr zu sperren, gilt vielen als Verzichtszumutung; dass der Motorverkehr auf der Straße die Menschen daran hindert, sie ohne Fahrzeug zu benutzen, ist »normal« und wird kaum als Verzicht beklagt. Aus diesem Grund »wird Veränderung umstandslos mit Verzicht gleichgesetzt, wodurch in dem Augenblick, in dem

man »Verzicht« sagt, der Status quo als ein Optimum erscheint, an dem um Gottes willen nicht herumgeschraubt werden darf«, schreiben Claus Leggewie und Harald Welzer.¹³ Die Feststellung, niemand wolle verzichten, ist immer konservativ.

Suffizienz einfordern?

Das waren zwei Antworten auf die erste Frage. Die zweite Frage ist schwieriger zu beantworten: Darf man Suffizienz – und damit den Verzicht auf gewisse Dinge – verordnen? Oder muss Suffizienz die Leistung einzelner sein, die auf das tägliche Stück Fleisch oder den Urlaubsflug verzichten, um die Umwelt möglichst wenig zu belasten?

Freiheiten zu beschränken, wenn dadurch die Freiheiten anderer geschützt werden, ist zweifelsohne legitim (vgl. Kapitel »Verbieten«). Aber wie lässt sich Suffizienz einfordern?

Ein möglicher Weg führt über das Portemonnaie. Müssten Konsumenten für die externen Kosten aufkommen, die ihr Konsum verursacht, verteuerten sich viele Produkte und Dienstleistungen – Fleisch beispielsweise oder der Verkehr. Die Nachfrage ginge zurück (vgl. Kapitel »Preise«). Der Verzicht würde aber vor allem jenen auferlegt, die sich die höheren Kosten nicht leisten können. Das ist nicht grundsätzlich ein Problem: Es ist nun mal so, dass sich Reiche mehr leisten können als Arme, und dafür, dass sich die Schere zwischen Arm und Reich nicht zu sehr öffnet, müsste die Sozialpolitik sorgen. Aber es wird dann zum Problem, wenn die höheren Kosten jemanden daran hindern, am Leben in der Gesellschaft teilzunehmen: Wenn jemand wegen zu hoher Energiepreise seine Wohnung nicht mehr heizen kann. Oder wenn wegen zu hoher Verkehrspreise die Mobilität unerschwinglich wird.

Damit bin ich wieder beim Unterschied zwischen Mobilität und Verkehr. Eine Verteuerung des Verkehrs kann für einzelne zu einem Mobilitätsproblem werden, wenn es vieler Kilometer bedarf, seine Mobilitätsbedürfnisse zu befriedigen. Eine ungünstige Raumstruktur mit langen Wegen schafft einen gewissen Zwang, viel unterwegs zu sein: Sie schafft einen Zwang zu nicht-suffizientem Verhalten. Wer in einem solchen Umfeld suffizient leben will, zahlt dafür einen hohen Preis. Aber den Preis zahlen auch alle anderen. Am Beispiel der Schweiz erläutert: Laut dem Bundesamt für Statistik machten Verkehrsausgaben 1912 durchschnittlich 1,9 Prozent der Gesamtausgaben eines Haushalts aus. Vor fünfzig Jahren waren es 4,6 Prozent, 2016 11 Prozent. Dabei sind die Kosten des Aufbaus der Verkehrsinfrastruktur nicht eingerechnet, ebensowenig die externen Kosten des Verkehrs.

Eine intelligente Suffizienz-Politik versucht deshalb nicht in erster Linie, Suffizienz zu erzwingen, sondern Suffizienz zu ermöglichen. Sie schafft nicht Zwänge, sondern baut Zwänge ab, die bestrafen, wer suffizient lebt. Eine Stadt, die die Verkehrsgeschwindigkeit auf ihrem Territorium reduziert, sorgt dafür, dass Quartierläden höhere Überlebenschancen haben, dass die Wege kürzer werden, dass ihre Einwohnerinnen und Einwohner mit weniger Verkehr mobiler sind.

[...]



KLIMA

TABELLEN UND DATEN

Der Treibhausgasausstoss in der Schweiz hat zwischen 1990 und 2019 um 14 % abgenommen. Das Ziel, diesen bis 2020 um 20 % zu senken, wird voraussichtlich nicht erreicht. Zudem verursacht die Schweiz nicht nur im Inland Emissionen, sondern – durch den Import von Gütern – noch höhere im Ausland. Der Klimawandel äussert sich in der Schweiz überdurchschnittlich: Die mittlere Jahrestemperatur ist hierzulande seit Messbeginn 1864 um 2 °C gestiegen, gut doppelt so stark wie im globalen Mittel.

Mobilität, Wohnen, Ernährung, Import von Gütern (Ursachen)

Der Mensch verändert durch die Emission von Treibhausgasen zunehmend die Zusammensetzung der Atmosphäre.

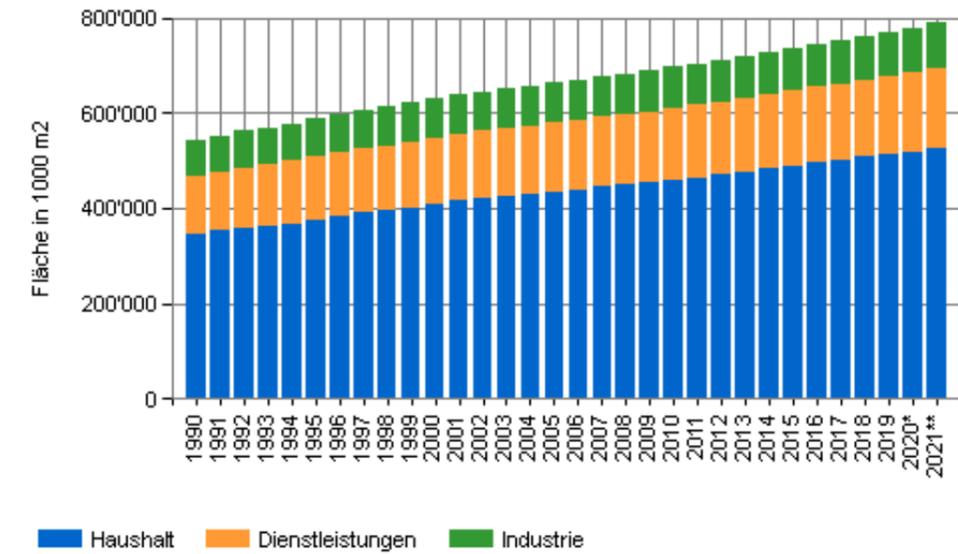
Der wachsende Güter- und Personenverkehr, insbesondere auch der Flugverkehr, und das Heizen von Gebäuden führen zu einem grossen Verbrauch an fossilen Energieträgern. Bei der Verbrennung von Treibstoffen wie Benzin, Diesel oder Kerosin und von Brennstoffen wie Heizöl, Erdgas und Kohle wird CO₂ ausgestossen, das über Jahrhunderte den natürlichen Treibhauseffekt verstärkt und zu einer Erwärmung der Erde führt.

Auch Landnutzungsänderungen wie die Abholzung von Wäldern und die Landwirtschaft tragen zur Anreicherung von Treibhausgasen wie CO₂, Methan und Lachgas in der Atmosphäre bei.

Weiter fallen auch Treibhausgasemissionen im Industriesektor an sowie zu einem kleineren Teil in der Abfallwirtschaft. Der Konsum von importierten Gütern führt zu erheblichen Emissionen im Ausland, welche ebenfalls zur Erderwärmung beitragen.

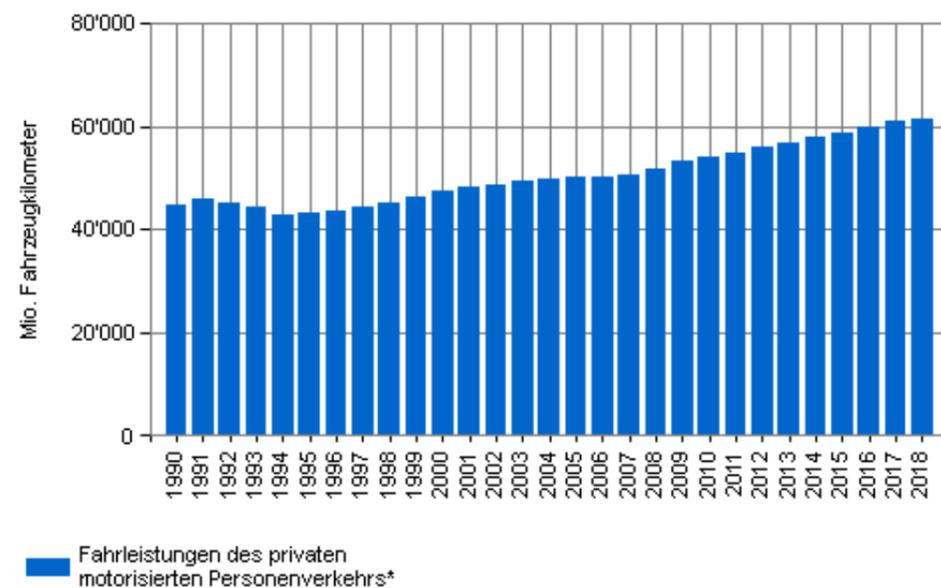
Auch Finanzierungs- und Investitionsentscheide auf den Finanzmärkten beeinflussen die Umwelt und das Klima. So entscheiden heutige Investitionen z.B. in die Energieversorgung, wie viel Treibhausgase zukünftig ausgestossen werden.

Indikator Energiebezugsfläche



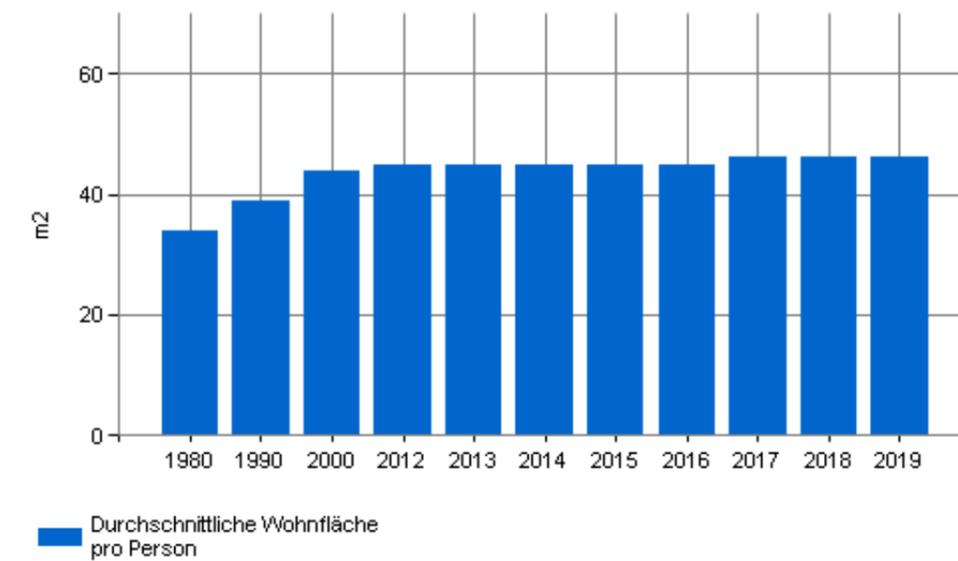
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

Indikator Personenverkehr Strasse



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

Indikator Wohnfläche



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

Ausstoss von Treibhausgasen (Belastungen)

Die Treibhausgasemissionen auf Schweizer Territorium sind seit 1990 um 14 % gesunken. Die innerhalb der Schweiz 2019 in die Atmosphäre ausgestossene Menge an Treibhausgasen entspricht 46.2 Mio. t CO₂-Äquivalenten (nicht eingerechnet ist der internationale Flug- und Schiffsverkehr). Dies entspricht einem Treibhausgasausstoss von 5.5 t CO₂-Äquivalente pro Kopf (davon CO₂: 4.4 t pro Kopf).

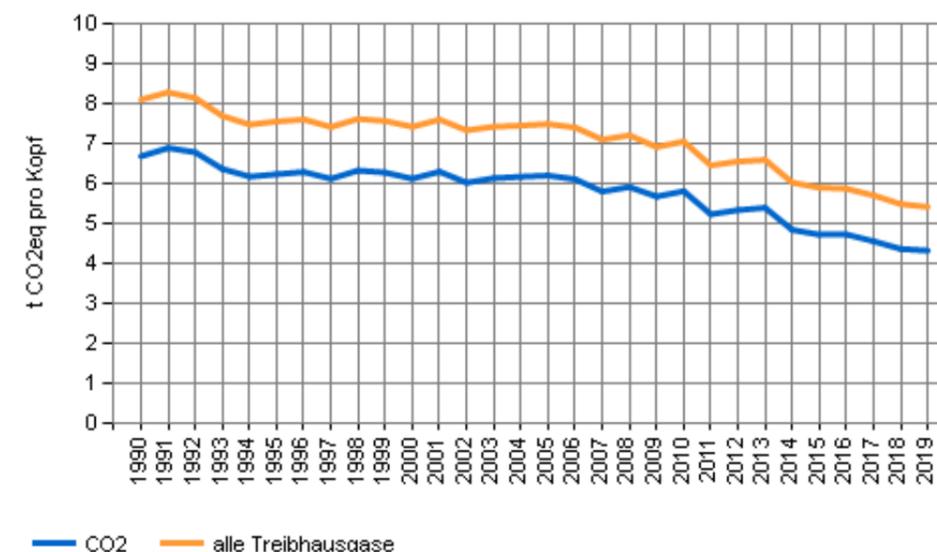
Addiert man allerdings die durch Importgüter im Ausland verursachten Emissionen hinzu, beläuft sich das Total der jährlichen Pro-Kopf-Emissionen auf mehr als das Doppelte (14 t CO₂-Äquivalente pro Kopf im Jahr 2015). Damit liegt der sogenannte Treibhausgas-Fussabdruck der Schweiz deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von knapp 6 t CO₂-Äquivalente pro Kopf. Den von der planetaren Belastbarkeitsgrenze ableitbaren Schwellenwert von höchstens 0.6 t CO₂-Äquivalente pro Kopf für das Jahr 2015 übersteigt er sogar um das Mehrfache.

Von den gesamten Treibhausgasemissionen in der Schweiz werden verursacht:

- 32 % durch den Verkehr (ohne internationaler Flug- und Schiffsverkehr)
- 24 % durch Gebäude
- 24 % durch die Industrie
- 19 % durch die Landwirtschaft und Abfallbehandlung sowie den Ausstoss von synthetischen Gasen.

Die Entwicklung in der Schweiz läuft nicht in allen Sektoren gleich. Die Emissionen aus dem Verkehr gehen erst seit wenigen Jahren leicht zurück. Sie liegen 2019 immer noch 1 % über dem Niveau von 1990. Hingegen konnten die Emissionen in den Sektoren Gebäude und Industrie um 34 beziehungsweise 14 % gegenüber 1990 gesenkt werden.

Indikator Treibhausgasemissionen pro Kopf



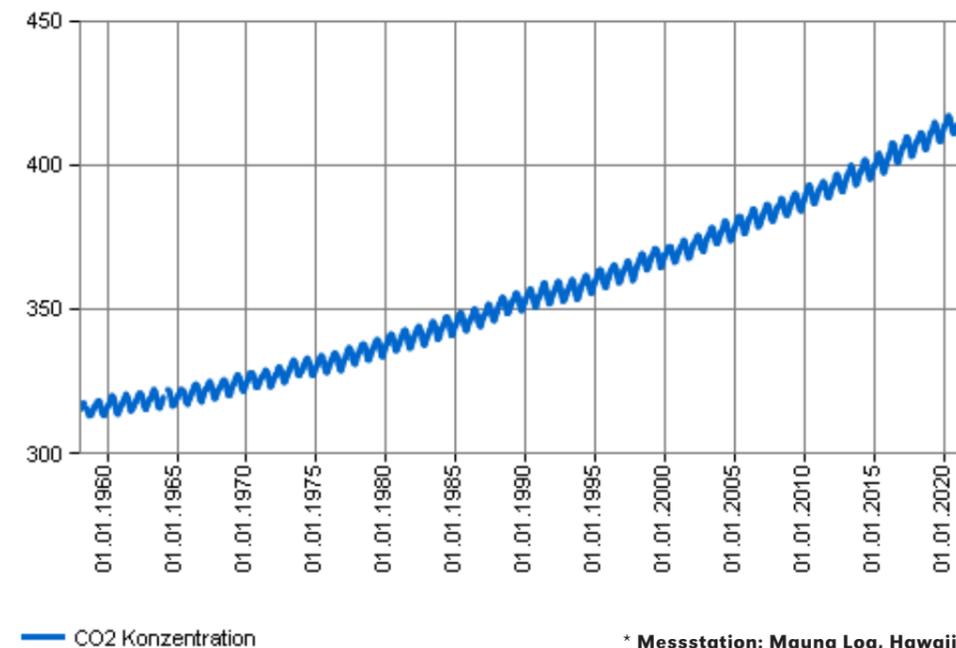
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

Indikator Treibhausgasemissionen



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

Indikator Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

* Messstation: Mauna Loa, Hawaii

Klimaänderungen (Zustand)

Die durchschnittliche Temperatur in der Schweiz hat seit Messbeginn (1864) um 2 °C zugenommen. Der Anstieg in der Schweiz ist damit doppelt so hoch wie im globalen Mittel. Die steigenden Temperaturen lassen sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts nicht mehr mit natürlichen Faktoren (z.B. Schwankungen der Sonnenstrahlung) erklären. Neun der zehn wärmsten je gemessenen Jahre in der Schweiz wurden im 21. Jahrhundert registriert.

Die Sommertage mit Maximaltemperaturen über 25 °C haben zugenommen, während Frosttage mit Minimaltemperaturen unter 0 °C abgenommen haben.

Weil die Niederschläge in Form von Schnee zurückgehen und die Sommer immer trockener und heisser werden, verlieren die Alpengletscher seit Mitte der 1970er-Jahre im Schnitt Jahr für Jahr 1 % ihres Volumens. Setzt sich dieser Trend fort, drohen 50–90 % der Alpengletscher bis 2050 ganz zu verschwinden.

Die Vegetationsperiode hat sich seit den 1960er Jahren um etwa zwei bis vier Wochen verlängert.

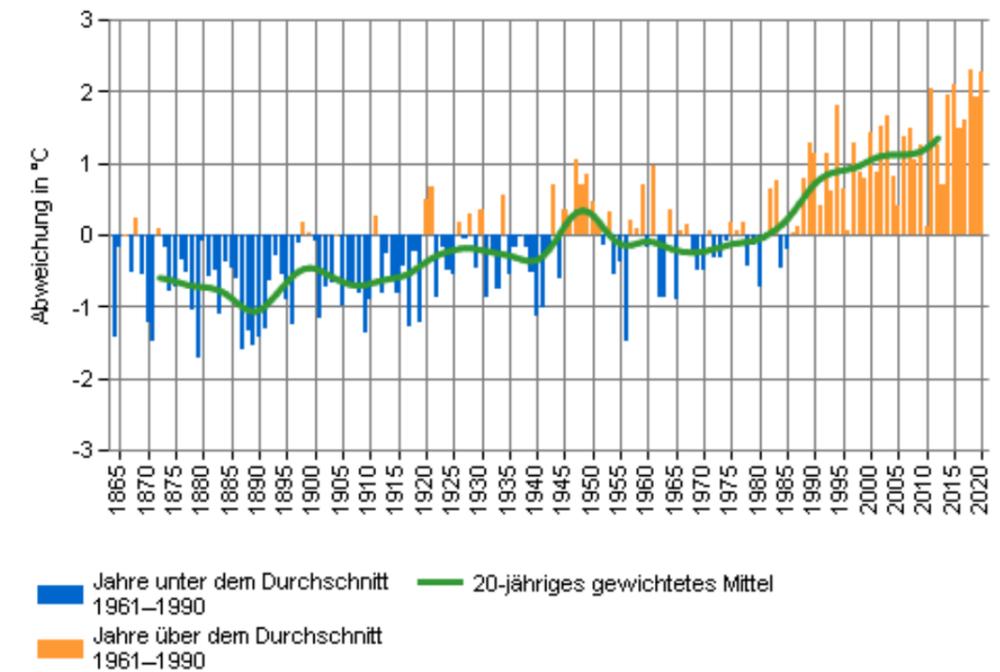
Die Niederschläge im Winterhalbjahr nahmen im Laufe des 20. Jahrhunderts im nördlichen und westlichen Alpenraum um 20–30 % zu.

Es gibt auch erste Anzeichen, dass sich extreme Ereignisse häufen. So haben seit 1901 sowohl die Häufigkeit als auch die Intensität von Starkniederschlägen an über 90 % der Messstationen zugenommen.

Wenn die weltweiten Treibhausgasemissionen weiterhin ungebremst ansteigen, dürften bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts laut Klimaszenarien die jahreszeitlichen Mitteltemperaturen in der Schweiz um etwa 2–3.3 °C zunehmen (gegenüber der Periode 1981–2010) und bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um etwa 3.3–5.4 °C. Unter Szenarien mit einer drastischen Verminderung der Emissionen (bei denen schliesslich auch CO₂ aus der Atmosphäre entfernt wird), könnte sich die Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts bei 0.6–1.9 °C stabilisieren.

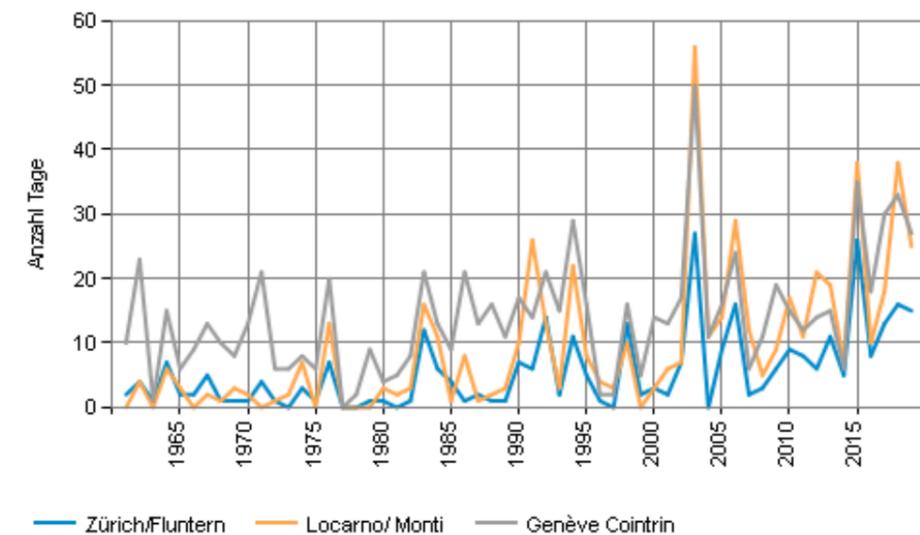
Die Sommer werden gemäss Modellrechnungen trockener und die Abflussregimes dürften sich verändern. Zudem muss die Schweiz mit fortschreitenden Veränderungen der Wetterextrema rechnen, beispielsweise mit mehr Hitzewellen und Starkniederschlagsereignissen und weniger Kälteperioden. [...]

Indikator Jahresmitteltemperatur



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

Indikator Hitzetage



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

Sven Titz (Text), Alexandra Kohler und Balz Rittmeyer (Grafiken), «Hitzesommer und nur noch halb so viel Schnee in der Schweiz – so trifft uns der Klimawandel», in: NZZ vom 13. August 2019, Zürich.

Hitzesommer und nur noch halb so viel Schnee in der Schweiz – so trifft uns der Klimawandel

Weltweit finden Klimastreiks statt. Zur Einordnung haben wir die wichtigsten Fakten zum Klimawandel und zu den Klimazielen zusammengestellt.

Neueste Entwicklungen

8. August 2019: In einem Sonderbericht macht der Uno-Klimarat auf die Bedeutung der Landoberfläche aufmerksam. Nützlich im Kampf gegen den Klimawandel sind demnach ein stärkerer Schutz der Wälder, gebietsweise Aufforstung, eine nachhaltige Art der Landwirtschaft und eine fleischarme Ernährung.

12. Juni 2019: Grossbritannien will als erstes Land der G7-Gruppe den Ausstoss von Treibhausgasen nahezu auf null senken. Die Regierung kündigt ein entsprechendes Gesetz an. Das Ziel «netto null» soll im Jahr 2050 erreicht sein.

17. April 2019: Demonstranten der Bewegung «Extinction Rebellion» besetzen Plätze und Strassen in der Londoner Innenstadt. Die Polizei nimmt mehr als 400 Personen fest.

15. März 2019: In 25 Schweizer Städten finden Klimastreiks statt. Sie sind Teil einer weltweiten Aktion, bei der Schüler, Studenten und andere für einen besseren Klimaschutz auf die Strasse gehen. Laut der Bewegung Klimastreik Schweiz sind über 1300 Veranstaltungen in 98 Ländern geplant.

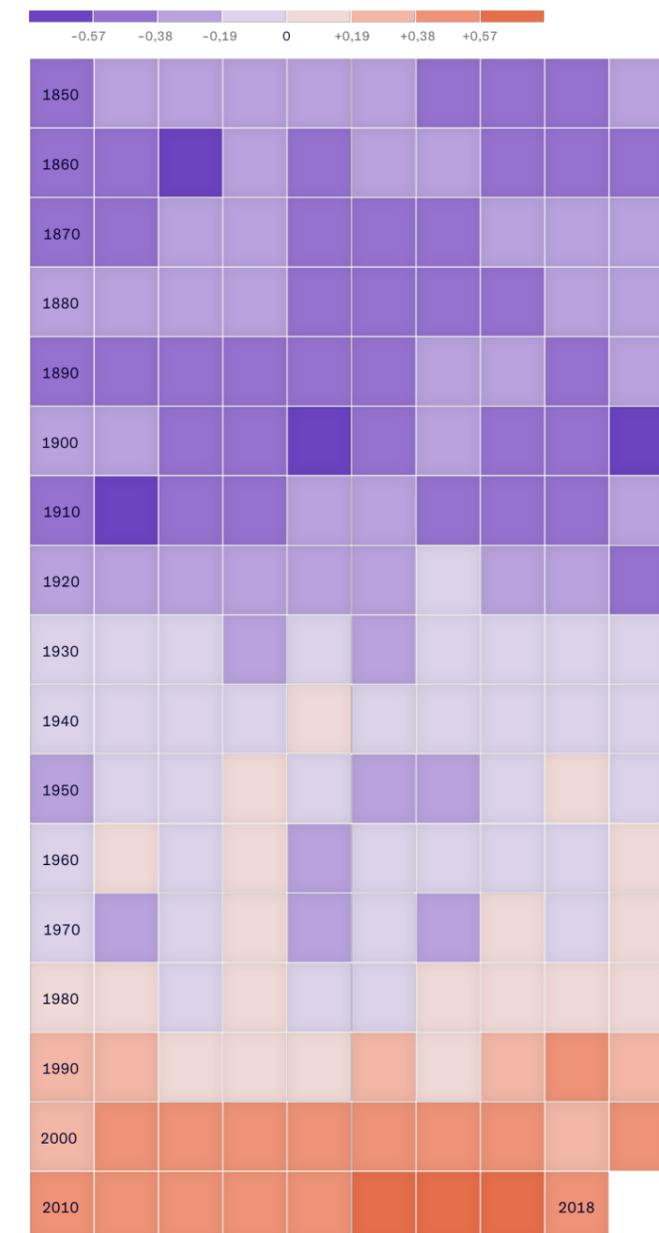
13. März 2019: An der vierten Uno-Umweltversammlung in Nairobi warnen Forscher in einem Bericht vor der Umweltverschmutzung und dem Klimawandel. Durch Feinstaub würden ohne ausreichende Massnahmen Millionen von Menschen vorzeitig sterben, heisst es in dem Bericht. Viele Küstenstädte und kleine Inseln seien vom steigenden Meeresspiegel bedroht.

Worum geht es?

Mit dem Klima ist immer irgendetwas: Ein riesiger Eisberg bricht ab. Politiker streiten am Umweltgipfel. Oder es werden gegenwärtige Unwetter in der Schweiz mit der Erderwärmung in Verbindung gebracht. An dem Thema Klimawandel, das als eines der drängendsten unserer Zeit gilt, kommt man kaum mehr vorbei. Doch wie ist der Stand des Wissens zum Klimawandel wirklich? Wer stösst die meisten Treibhausgase aus? Welche Optionen gibt es, um die Veränderung in Grenzen zu halten? Bei den vielen Nachrichten zu Erwärmung und Emissionen verliert man leicht den Überblick. Den wollen wir hier schaffen.

Vergleichsweise leicht ist zu erkennen, wie stark sich seit der industriellen Revolution die Erdatmosphäre erwärmt hat. Wissenschaftler vom Met Office Hadley Centre in England haben aus den weltweiten Temperaturmessungen für jedes Jahr den globalen Mittelwert errechnet.

Abweichungen von der mittleren Temperatur des Zeitraums 1961-1990 (weltweit) in Grad Celsius



Wir haben die vorliegenden Daten in gleich grosse Intervalle eingeteilt. Nur das unterste Intervall ist kleiner, denn der grösste Wert ist 0,762, der kleinste -0,597. - Quelle: [Met Office Hadley Centre](#) - Grafik: brt.

Der Klimawandel im Detail

- 1 Was ist das überhaupt, das Klima?
- 2 Was ist der Treibhauseffekt?
- 3 Wie stark hat sich die Erde in verschiedenen Regionen erwärmt?
- 4 Wo kommt das CO₂ her, und was sind CO₂-Senken?
- 5 Wie stark tragen wir in der Schweiz zur Erderwärmung bei?
- 6 Wie stark ist die Schweiz vom Klimawandel betroffen?
- 7 Was bedeutet der menschengemachte Klimawandel konkret?
- 8 Sind wir auf Kurs? Ein Überblick über die Klimaziele
- 9 Wie der menschengemachte Klimawandel entdeckt wurde

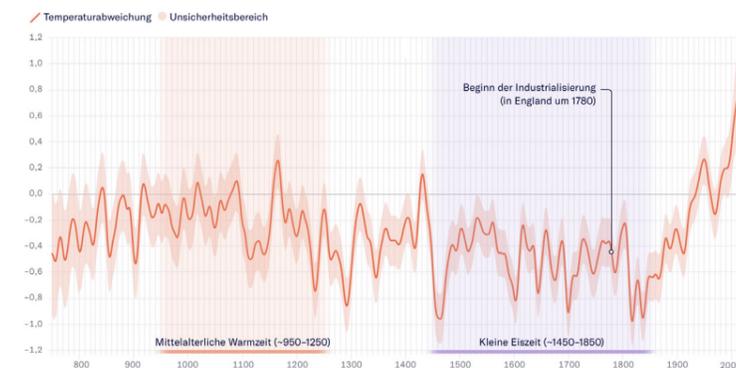
1 Was ist das überhaupt, das Klima?

Wetter sei eine Laune, Klima die Persönlichkeit. So erklärt der amerikanische Klimaforscher Marshall Shepherd den Unterschied zwischen Wetter und Klima. In der Tat bezeichnet man als Wetter den gegenwärtigen Zustand der Atmosphäre. Demgegenüber ist das Klima eine Bestandsaufnahme des Wetters über einen längeren Zeitraum. In der Regel betrachten Wissenschaftler mindestens 30 Jahre.

Zum Klima gehört nicht nur der Mittelwert, vielmehr wird die gesamte Bandbreite des Wetters in statistischen Grössen erfasst. Zum Klimasystem zählen Wissenschaftler nicht nur die Atmosphäre, sondern auch das Meer, die Eisschilde auf dem Land, die Gletscher und die schwimmenden Eisschollen. Je nach Definition gehören auch Flora und Fauna dazu. Als Klimawandel werden alle Veränderungen bezeichnet, die sich auf Zeitskalen abspielen, die mehr als 30 Jahre umfassen.

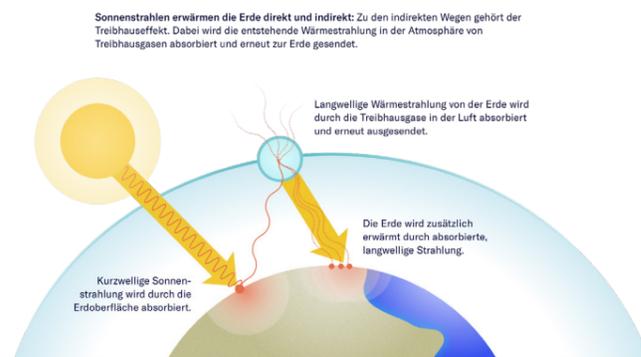
Im vergangenen Jahrhundert ist die Temperatur auf der Nordhalbkugel rasant gestiegen

Temperaturabweichungen* im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 bis 1990, in Grad Celsius



* Basierend auf einer Rekonstruktion der Sommertemperaturen (Mai bis August) auf der Nordhalbkugel von 750 bis 2011 - Quelle: [Rob Wilson et al. / Science Direct](#) - Grafik: brt.

Es ist hilfreich, die globale Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung mit dem Klimawandel in der Vergangenheit zu vergleichen. Wissenschaftler rekonstruieren die Temperaturen zum Beispiel mithilfe von Baumringen. Die Dicke der Baumringe verrät, wie warm es einst im Sommer war. In der gezeigten Rekonstruktion für die Nordhalbkugel erkennt man viele Schwankungen der Temperatur, die natürliche Ursachen haben. Man sieht aber auch den deutlichen Anstieg seit dem 19. Jahrhundert. Die Freisetzung von Treibhausgasen durch den Menschen führt zu einer globalen Erwärmung. Dieser menschengemachte Klimawandel besitzt zahlreiche Facetten.



Grafik: brt.

2 Was ist der Treibhauseffekt?

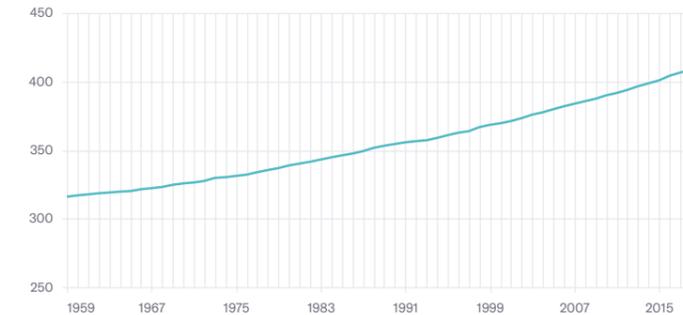
Der Treibhauseffekt gehört zur Natur der Atmosphäre. Ohne ihn wäre es auf der Erde gut 30 Grad Celsius kälter.

Die Sonne wärmt die Erde mit ihren kurzwelligen Strahlen. Von der Reflexion einmal abgesehen, werden sie von der Oberfläche aufgenommen (absorbiert). Die Erde sendet daraufhin langwellige Strahlen aus, die man auch als Wärmestrahlung bezeichnet. Ein Teil der Wärmestrahlung wird auf verschiedene Art und Weise aufgehalten, nicht nur durch Wolken. Natürliche Treibhausgase in der Luft, vor allem Wasserdampf und Kohlendioxid, absorbieren die Wärmestrahlung bei bestimmten Wellenlängen und senden sie wieder aus. Ein Teil dieser Strahlung geht Richtung Erde. Das hat einen wärmenden Effekt. Zu den natürlichen Treibhausgasen zählen neben Wasserdampf und Kohlendioxid (CO₂) auch Methan (CH₄), Ozon (O₃) und Lachgas (N₂O).

Der Mensch verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt, indem er zusätzliche Mengen an Treibhausgasen freisetzt, vor allem seit Beginn der Industrialisierung. Zu diesen Gasen gehört neben Kohlendioxid (dem wichtigsten menschengemachten Treibhausgas), Methan und Lachgas auch bodennahes Ozon. Ihre Konzentration ist stark gestiegen, und das lässt den Treibhauseffekt immer grösser werden. Auch einzelne vom Menschen produzierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) sind Treibhausgase. Ihr Rückgang wurde in Abkommen zum Schutz der Ozonschicht geregelt, ist aber noch nicht durchweg zu beobachten.

Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre steigt und steigt

CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf Hawaii, in ppm (parts per million)*



* Dies ist die längste Messreihe von atmosphärischer CO₂-Konzentration weltweit. - Quelle: [Earth System Research Laboratory / NOAA](#) - Grafik: koa.

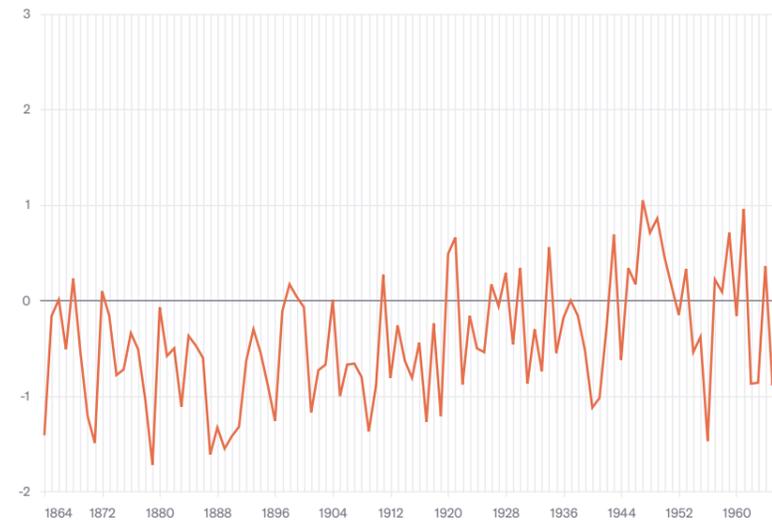
Durch die Verstärkung des Treibhauseffekts verändert sich auch die thermische Schichtung der Atmosphäre: In der Troposphäre (0–15 km Höhe) wird es wärmer, in der Stratosphäre (15–50 km Höhe) wird es kälter. Die Grenze zwischen Troposphäre und Stratosphäre hebt sich langsam.

3 Wie stark hat sich die Erde in verschiedenen Regionen erwärmt?

Das Klima verändert sich nicht gleichmässig. Je nach Region hat sich die Erdatmosphäre unterschiedlich stark erwärmt. Das Temperaturmittel der Schweiz zum Beispiel ist um ungefähr 2 Grad Celsius gestiegen, mehr als doppelt so viel wie im globalen Durchschnitt. Im Jahr 2017 war es zuletzt 1,6 Grad wärmer, als es im Mittel 1961 bis 1990 war.

Die Jahresmitteltemperatur in der Schweiz steigt

Temperaturabweichungen im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961-1990 in Grad Celsius

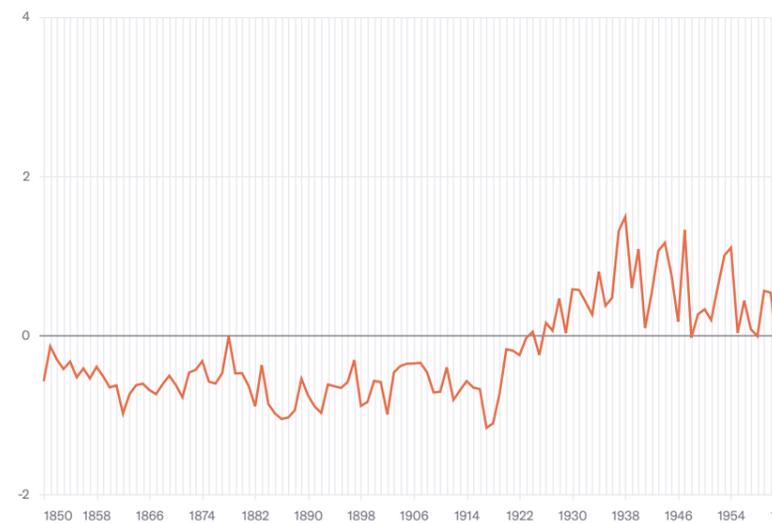


Das Schweizer Temperaturmittel beschreibt die im Mittel über die gesamte Fläche und die verschiedenen Höhenlagen der Schweiz gemessene Temperatur. - Quelle: [Meteo Schweiz / eigene Berechnung](#) - Grafik: koa.

Den grössten Temperaturanstieg verzeichnet man aber in der Arktis. Vor allem im Winter hat sich die Luft dort erheblich erwärmt. Wissenschaftler bezeichnen die Tatsache, dass sich die Arktis rascher als jede andere Region wandelt, als «arktische Verstärkung». Die wichtigste Ursache für die arktische Verstärkung ist das Schrumpfen des Meereises: Ohne die reflektierenden Eisschollen nimmt der Ozean mehr Sonnenlicht auf, und im Winter gibt das Wasser ohne isolierende Eisschicht mehr Wärme an die Atmosphäre ab.

In der Arktis ist der Temperaturanstieg am grössten

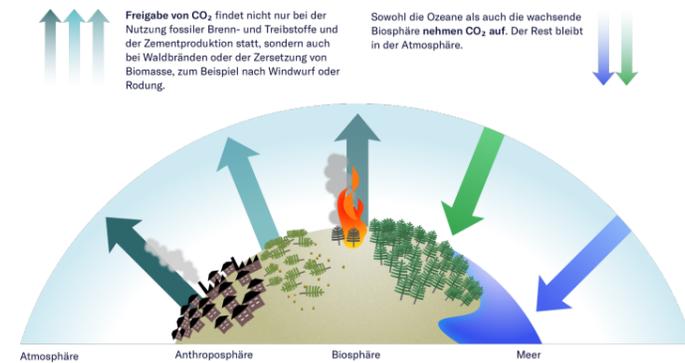
Temperaturabweichungen im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961-1990 in Grad Celsius*



* Es handelt sich um die Durchschnittstemperatur zwischen 70 und 90 Grad nördlicher Breite. - Quelle: [Met Office Hadley Centre for Climate Science and Services](#) - Grafik: koa.

4 Wo kommt das CO2 her, und was sind CO2-Senken?

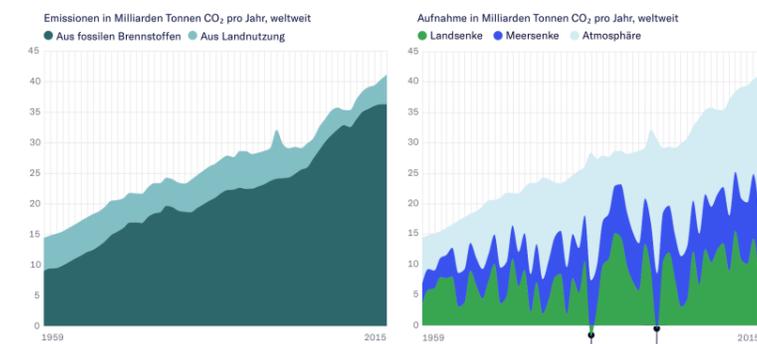
Der Löwenanteil der anthropogenen CO2-Emissionen stammt von der Nutzung fossiler Brenn- und Treibstoffe. Ausserdem setzt die Produktion von Zement das Klimagas frei. Darüber hinaus entsteht Kohlendioxid bei der Zersetzung von Biomasse und bei Waldbränden. Wenn Pflanzen wachsen, nehmen sie allerdings CO2 für die Fotosynthese auf und stellen somit eine CO2-Senke dar. Auch der Ozean ist eine wichtige Senke. Doch je mehr er sich erwärmt, desto weniger CO2 kann er speichern.



Grafik: brt.

Weltweit sind die Emissionen stark angestiegen. Der wichtigste Sektor, in dem weltweit CO2 freigesetzt wird, ist die Erzeugung von Strom und Heizungswärme, vor allem für Haushalte und Industrie. Bedeutsam ist aber auch der Anteil des Verkehrs. In vielen industriellen Prozessen werden ebenfalls grosse Mengen an CO2 produziert. Auch eine veränderte Landnutzung kann eine Quelle für CO2 sein. Ein Beispiel dafür ist die Rodung von Wald zur Bereitstellung von Acker- oder Weideland. Die Trockenlegung von Feuchtgebieten mit dem Ziel, dort Landwirtschaft zu betreiben, kann zusätzlich zur Freisetzung von CO2 führen.

Kohlenstoffdioxid-Emissionen aus fossilen Brennstoffen steigen deutlich an, und Atmosphäre, Pflanzen und Meere müssen immer mehr CO2 aufnehmen



In den El-Niño-Jahren 1987 und 1998 ist die CO₂-Landsenke negativ. El Niño (die gelegentliche Erwärmung des tropischen Pazifiks) löst in Südostasien Trockenheit aus. Dadurch nimmt die Vegetation dort weniger CO₂ auf. Global betrachtet wurden in der Folge die Landflächen 1987 und 1998 zu einer schwachen CO₂-Quelle.

Die wachsenden Emissionen von CO2 führen dazu, dass die Atmosphäre, die Meere und die Biosphäre immer mehr von dem Treibhausgas aufnehmen. Der jeweilige Anteil schwankt von Jahr zu Jahr stark. Das liegt unter anderem am Auf und Ab der Meerestemperaturen, denn kaltes Wasser kann mehr CO2 aufnehmen als warmes. Auch bei der Biosphäre gibt es Schwankungen: Sie nimmt in Dürre Jahren weniger und in feuchten Jahren mehr CO2 auf.

China ist in absoluten Zahlen der grösste CO₂-Produzent

Emissionen aus Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Zementproduktion und Verbrennung von Gasen, in Millionen Tonnen CO₂, 2014



Quelle: Weltbank - Grafik: brt.

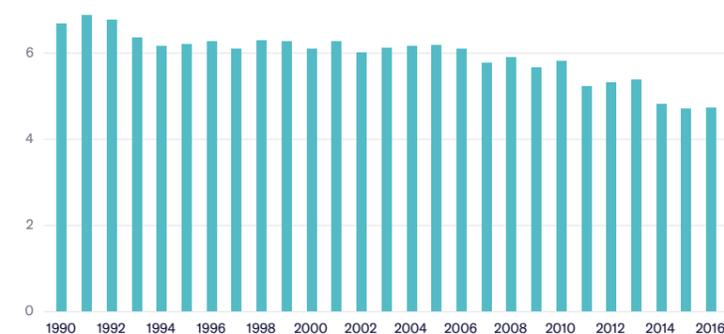
Vor wenigen Jahren löste China die USA als grösster CO₂-Emittent ab. Indien holt immer mehr auf. Die Höhe des künftigen globalen CO₂-Ausstosses wird vor allem vom Wachstum in asiatischen und afrikanischen Ländern abhängen. Historisch betrachtet gehen die grössten Mengen aber noch auf das Konto früher Industrieländer.

5 Wie stark tragen wir in der Schweiz zur Erderwärmung bei?

Im Vergleich zu anderen Ländern der Erde ist der Anteil der Schweiz am weltweiten Ausstoss von Treibhausgasen gewiss klein. Doch die Vorbildfunktion eines hochentwickelten Industrielands ist nicht zu unterschätzen. Im Jahr 2015 setzten die Schweizer innerhalb der Landesgrenzen pro Kopf 4,7 Tonnen CO₂ frei. Seit 1990 ist der Ausstoss leicht zurückgegangen. Nicht berücksichtigt sind allerdings die Emissionen, die im Ausland bei der Produktion von Importgütern hervorgerufen wurden.

Der CO₂-Ausstoss pro Kopf ist in der Schweiz leicht zurückgegangen

CO₂-Emissionen in der Schweiz pro Kopf in Tonnen

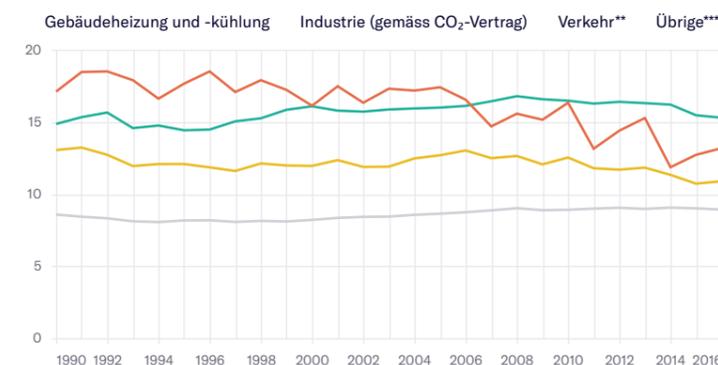


Quelle: Bafu - Grafik: koa.

Den grössten Anteil am Ausstoss von Treibhausgasen hat in der Schweiz der Verkehr, und er blieb ab 1990 auch konstant. Die Emission durch das Heizen von Gebäuden ist deutlich zurückgegangen. Gering war die Reduktion in der Industrie.

Durch Gebäudeheizung und -kühlung produzierte Treibhausgase nehmen langsam ab

Treibhausgasemissionen in der Schweiz, in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten*



* Verschiedene Treibhausgase wärmen die Atmosphäre unterschiedlich stark. Um ihre Wirkung vergleichen zu können, spricht man von «CO₂-Äquivalenten». Dazu werden die Mengen anderer Treibhausgase (wie Methan oder Lachgas) in diejenige Menge CO₂ umgerechnet, welche die gleiche erwärmende Wirkung hat. / ** Ohne internationalen Flug- und Luftverkehr / *** Landwirtschaft, Abfallbehandlung und synthetische Gase. - Quelle: Bundesamt für Umwelt: Treibhausgasinventar - Grafik: koa.

Auch der Einzelne kann bei der Reduktion der CO₂-Emissionen mithelfen, zum Beispiel durch die Wahl der Nahrungs- und Verkehrsmittel. Beim Fliegen wird es besonders deutlich: Wer pro Jahr eine Langstrecke (hin und zurück) absolviert, hat schon einen grossen Teil des durchschnittlichen Pro-Kopf-Ausstosses in der Schweiz erreicht. Beim Autofahren ist die Emission deutlich kleiner. Doch am schonendsten für das Klima ist das Zugfahren. Allerdings hängen die Emissionen bei der Eisenbahn stark davon ab, wie viel CO₂ bei der Produktion des Stroms entsteht, mit dem die Züge betrieben werden.

120-mal Paris mit dem Zug oder einmal nach Tokio mit dem Flugzeug

CO₂-Emissionen im Vergleich, in CO₂-Äquivalenten

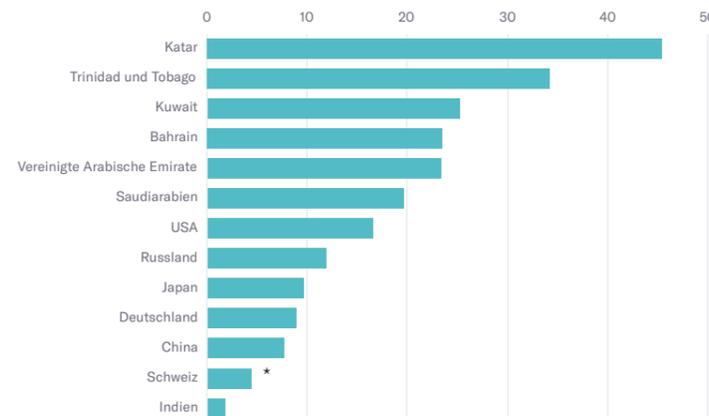


* Flug in der Economy Class / ** Treibstoff: Benzin - Quelle: ZHAW / mobitool / KBOB Ökobilanz - Grafik: koa.

Im internationalen Vergleich ist der CO₂-Ausstoss pro Kopf in der Schweiz relativ niedrig. Katar führt die Rangliste der höchsten Emissionen pro Einwohner an: Im Jahr 2014 waren es dort 45,4 Tonnen, etwa zehnmal so viel wie hierzulande. Auch in den anderen Staaten rund um den Persischen Golf, in Kuwait, Bahrain und den Vereinigten Arabischen Emiraten zum Beispiel, wird pro Kopf vergleichsweise sehr viel CO₂ ausgestossen. China – der total mit Abstand grösste CO₂-Emittent – rangiert noch hinter den USA, Deutschland oder Russland. Die Emissionen pro Kopf haben sich in China seit 1990 aber mehr als verdreifacht.

In der Schweiz sind die Pro-Kopf-Emissionen vergleichsweise tief

Durchschnittliche CO₂-Emissionen in Tonnen pro Kopf im Jahr 2014*



* Die Schweiz im Vergleich mit den fünf grössten Pro-Kopf-Emittenten und einigen der absolut grössten Emittenten (Saudi Arabien, USA, Russland, China, Deutschland, Indien) – Quelle: Weltbank – Grafik: koa.

*(Bemerkung: CH ohne Importe)

6 Wie stark ist die Schweiz vom Klimawandel betroffen?

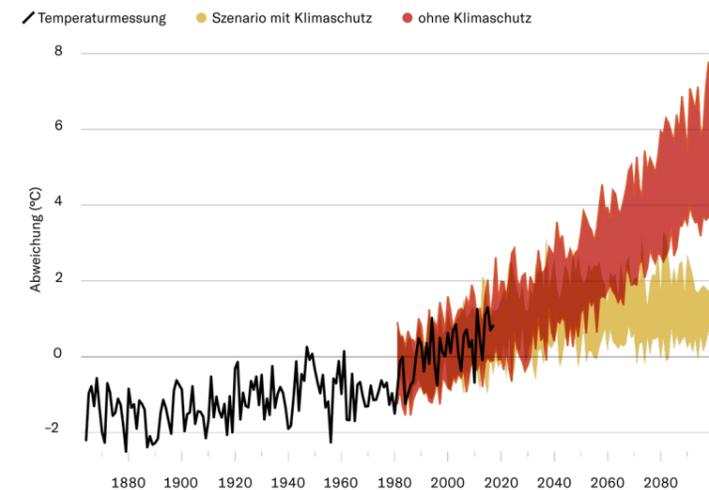
Die Schweiz ist überdurchschnittlich stark vom Klimawandel betroffen. Sie wird trockener, heisser und schneeärmer werden und die Niederschläge werden zunehmen. Das ist das Ergebnis einer Auswertung von Klimadaten von Meteoschweiz und der ETH Zürich, der Universität Bern unter der Mitwirkung von ProClim.

Worauf sich die Schweiz einzustellen hat, hängt vor allem davon ab, wie sich die Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten entwickeln werden. Geht man vom ungünstigsten Fall aus, nämlich von einer ungebremsten Zunahme der Emissionen, muss man laut dem Bericht bis zum Jahr 2060 mit einer Erwärmung von 2 bis 3,3 Grad gegenüber dem Vergleichszeitraum von 1981 bis 2010 rechnen.

In den Sommermonaten wäre es noch schlimmer: Die Temperaturen würden um bis zu 4,5 Grad ansteigen.

Wie sich die Schweiz erwärmt, hängt stark vom Klimaschutz ab

Schweizer Jahresmitteltemperatur (Abweichung von der Normperiode 1981-2010)



Quelle: Center for Climate Systems Modeling (C2SM). – Grafik: cke.

Sogar mit Klimaschutz steigt die Sommertemperatur um mindestens 1 Grad

Anstieg der mittleren Sommertemperatur bis 2060, in Grad Celsius



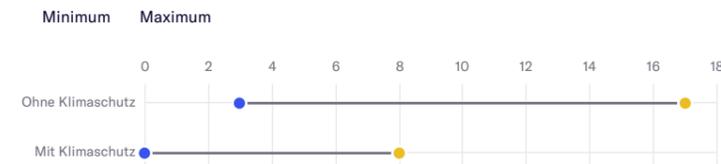
Möglicher Bereich der Veränderungen gegenüber der Periode 1981-2010. Schweizweit typische 30-Jahre-Mittelwerte. Temperaturänderungen sind auf 0,5 Grad genau. – Quelle: Meteo Schweiz, ETH Zürich, Center for Climate Systems Modeling (C2SM) – Grafik: koa.

Die Klimaszenarien 2018 zeigen, dass es bis 2060 vier Hauptveränderungen geben wird.

- **Trockenere Sommer:** Es wird weniger regnen, während die Verdunstung mit steigender Temperatur zunimmt. Die Böden werden somit trockener.
- **Mehr Hitzetage:** Was zunehmen wird, sind vor allem die Höchsttemperaturen. An den heissesten Tagen im Sommer wird es 2 bis 5,5 Grad wärmer sein als heute, Hitzesommer könnten zur Normalität werden.

Anzahl der sehr heissen Tage* wird ansteigen

Zunahme der sehr heissen Tage bis 2060



*Sehr heisser Tag: 1 Prozent der heissesten Tage von 1981 bis 2019. / Möglicher Bereich der Veränderungen gegenüber der Periode 1981-2010. Schweizweit typische 30-Jahre-Mittelwerte. Niederschlagsänderungen sind auf 5 Prozent genau angegeben. – Quelle: Meteoschweiz, ETH Zürich, Center for Climate Systems Modeling (C2SM) – Grafik: koa.

- **Heftige Niederschläge:** Es wird häufiger und stärker regnen als heute. Der stärkste Niederschlagstag des Jahres wird durchschnittlich etwa 10 Prozent mehr Regen bringen.

Die Menge des Sommerniederschlags ist sehr variabel

Zu- und Abnahme des Sommerniederschlags bis 2060, in Millimetern



Möglicher Bereich der Veränderungen gegenüber der Periode 1981-2010. Schweizweit typische 30-Jahre-Mittelwerte. Niederschlagsänderungen sind auf 5 Prozent genau angegeben. – Quelle: Meteoschweiz, ETH Zürich, Center for Climate Systems Modeling (C2SM) – Grafik: koa.

- **Schneearme Winter:** Im Winter wird es wärmer sein, deshalb wird Niederschlag häufiger in Form von Regen und nicht in Form von Schnee fallen. Schnee wird also seltener, und die erwartete Schneebedeckung im Flachland wird nur noch etwa halb so gross sein wie heute.

7 Was bedeutet der menschengemachte Klimawandel konkret?

- Weltweit schwinden die Gletscher. Massnahmen zum Schutz helfen nur wenig. Das Schmelzwasser von Gletschern und Eisschilden trägt zum Anstieg des Meeresspiegel bei.
- Im Zuge des menschengemachten Klimawandels steigen die Temperaturen auch in Sibirien. Die Grenze zwischen der baumlosen Tundra und den Nadelwäldern der Taiga verschiebt sich dadurch nach Norden.
- Vielerorts tauen die Permafrostböden auf. In der Tundra kann aus ehemaligen Permafrostböden das Treibhausgas Methan entweichen, was den Klimawandel noch beschleunigt.
- Die Arktis erwärmt sich besonders stark. Die Fläche des Meereises geht vor allem im Sommer immer weiter zurück. Auch an der Ostküste Grönlands gibt es weniger Eisschollen zu sehen als früher. Mitte des Jahrhunderts könnte der Arktische Ozean erstmals im Sommer eisfrei werden.
- Die Wirkung des Klimawandels auf die Landwirtschaft ist komplex, weil sie von Veränderungen der Temperatur, des Niederschlags und vielen weiteren Faktoren abhängt. Fachleute rechnen damit, dass die Maisernte in etlichen Ländern zurückgehen wird.
- Bis Ende des 21. Jahrhunderts steigt der mittlere Meeresspiegel voraussichtlich um 30 bis 60 Zentimeter, vielleicht sogar noch mehr, und das ist erst der Anfang. Hervorgerufen wird der Anstieg durch die Erwärmung des Meerwassers und das Schrumpfen von Eisschilden und Gletschern.
- Für Staaten wie z.B. die Malediven, die sich nur wenige Meter über Normalnull erheben, wächst durch den Anstieg des Meeresspiegels die Gefahr von Überflutungen, vor allem bei Stürmen.
- Bienenfresser reagieren sehr empfindlich auf die Wintertemperaturen. Mit der globalen Erwärmung dürfte sich die Vogelart weiter Richtung Norden ausbreiten. Auch in der Schweiz sind die Tiere schon zu entdecken.
- Überschreitet die Wassertemperatur eine Schwelle, beginnen Korallen zu erbleichen. Langfristig können sie absterben. Durch die globale Erwärmung besteht diese Gefahr in vielen Regionen der Welt.
- Steigende Wassertemperaturen beeinflussen das Leben vieler Fischarten. Manche verlagern ihren Lebensraum in höhere Breiten, andere verändern ihr reproduktives Verhalten.

8 Sind wir auf Kurs? Ein Überblick über die Klimaziele

William Nordhaus ist einer der ersten Wissenschaftler, die darüber nachgedacht haben, wie viel Erwärmung noch zu tolerieren wäre. Im Jahr 1977 schrieb er: Es sei vernünftig, so zu argumentieren, dass die Klimawirkung von Kohlendioxid im Rahmen der normalen Spanne langfristiger Klimaschwankungen gehalten werden solle. Als Limit schlug er provisorisch eine maximale Erwärmung um 2 Grad Celsius vor. Nordhaus wurde am 8. Oktober der Wirtschaftsnobelpreis für seine Arbeit im Feld der Wachstumstheorie verliehen.

Nordhaus ist nicht der einzige Initiator bei der Festlegung dieser Temperaturmarke. Später wurde sie mit anderen Argumenten begründet. Beispielsweise rechnen Forscher mit gravierenden und teilweise unumkehrbaren Folgen, sollte die Temperatur um mehr als 2 Grad über das vorindustrielle Niveau steigen.

2015 wurde das 2-Grad-Limit sogar auf höchster Ebene der Vereinten Nationen vereinbart: im Pariser Klimaabkommen. Im Dezember 2018 einigten sich die Mitgliedstaaten der Klimakonvention nach jahrelanger Vorarbeit auf ein Regelwerk zur Umsetzung des Abkommens. Vor allem jene Länder, die vom Anstieg des Meeresspiegels bedroht sind, müssen allerdings schon bei einer Erwärmung um 1,5 Grad mit ernststen Folgen rechnen. Das ist einer der Gründe, weshalb in den letzten Jahren über eine Verschärfung der Zielvorgabe diskutiert wurde. Auch im Pariser Abkommen ist zu lesen, dass die Bestrebungen des Klimaschutzes in Richtung 1,5 Grad gehen sollen.

Nicht immer werden Klimaziele in Form von Temperaturmarken formuliert. Gebräuchlich ist auch die Vorgabe einer maximal erlaubten Konzentration von CO₂-Äquivalenten wie zum Beispiel 350 ppm. Darüber hinaus haben Wissenschaftler in den letzten Jahren auszurechnen versucht, wie gross die Menge an Treibhausgasen ist, die die Menschheit noch ausstossen darf, ohne bestimmte Temperaturmarken zu überschreiten. Allerdings ist die Ungewissheit bei diesem Budgetansatz riesig. Daher sind Zweifel am Nutzen dieses Konzepts für die Politik aufgekommen.

In jedem Fall gilt: Alle gegenwärtigen Szenarien laufen darauf hinaus, dass der Ausstoss an Treibhausgasen rasant sinken muss, wenn man eine Erwärmung um 1,5 oder 2,0 Grad Celsius vermeiden möchte. In den meisten Szenarien wäre sogar eine Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre nötig (siehe Grafik). Fachleute sprechen bei dieser Massnahme von «negativen Emissionen».

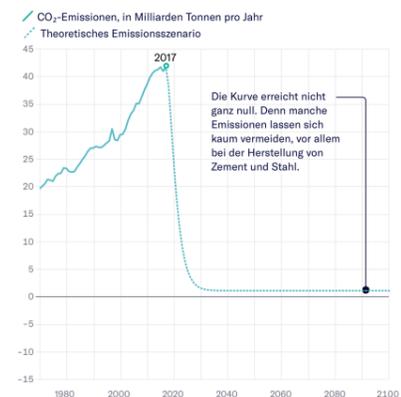
Für die Erzielung negativer Emissionen gibt es viele technische Möglichkeiten: Man kann zum Beispiel CO₂ aus der Luft filtern und im Untergrund speichern. Eine andere Möglichkeit bietet der Anbau geeigneter Pflanzen, die CO₂ aufnehmen. Das bei der anschliessenden Verbrennung entstehende CO₂ muss ebenfalls weggesperrt werden. Bis jetzt existieren für derartige Techniken aber erst wenige Testanlagen.

Insofern lautet das oberste Klimaziel, auf das sich alle verständigen können: schnellstmögliche «Dekarbonisierung» der Weltwirtschaft. Darunter versteht man in diesem Kontext die Verringerung des CO₂-Ausstosses bei ökonomischen Aktivitäten. Sich auf die Einrichtung unzähliger technischer Anlagen zur Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre zu verlassen, käme einer höchst riskanten Wette gleich, argumentieren Fachleute.

Durch negative Emissionen können wir Zeit gewinnen bei der CO₂-Reduktion

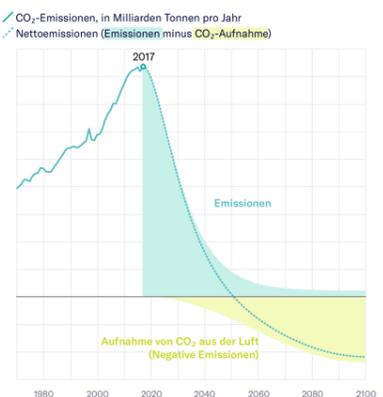
Ohne negative Emissionen ...

... müssen die CO₂-Emissionen theoretisch rasch auf null reduziert werden, damit sich die Erde bis zum Ende des Jahrhunderts um nicht mehr als 1,5 Grad erwärmt.



Mit negativen Emissionen ...

... muss die Emissionsreduktion nicht ganz so rasch erfolgen, um das Ziel zu erreichen. Fachleute halten es allerdings für unrealistisch, in so kurzer Zeit so viele Anlagen zur CO₂-Aufnahme aus der Luft zu schaffen.



Die Zahlen zu diesen Szenarien stammen aus einem einzelnen Modell. Sie sind mit einer grossen Ungewissheit behaftet. –
Quelle: G. Peters / CICERO – Grafik: brt.

9 Wie der menschengemachte Klimawandel entdeckt wurde

1859

John Tyndall weist nach, dass die Erdatmosphäre einem Treibhauseffekt unterliegt. An diesem Effekt ist, wie er bemerkt, neben dem Wasserdampf auch Kohlendioxid beteiligt.

1908

Der Schwede Svante Arrhenius sagt wegen des Ausstosses von Kohlendioxid durch die Zivilisation eine globale Erwärmung voraus.

1938

Der englische Ingenieur Guy Callendar stellt aufgrund von Temperaturmessungen eine globale Erwärmung fest, die er mit dem menschengemachten Treibhauseffekt in Verbindung bringt.

1957

Der Amerikaner Roger Revelle und der gebürtige Österreicher Hans Suess weisen nach, dass sich ein Teil des Kohlendioxids aus der Nutzung fossiler Brennstoffe in der Atmosphäre anreichert, weil der Ozean nicht alles aufnehmen kann.

1967

Der Japaner Syukuro Manabe und der Amerikaner Richard Wetherald berechnen mit einem der ersten Klimamodelle, wie stark sich die Atmosphäre durch die Verdopplung von Kohlendioxid erwärmt. Sie kommen auf 2,3 Grad Celsius.

1967

Der Japaner Syukuro Manabe und der Amerikaner Richard Wetherald berechnen mit einem der ersten Klimamodelle, wie stark sich die Atmosphäre durch die Verdopplung von Kohlendioxid erwärmt. Sie kommen auf 2,3 Grad Celsius.

1971

Erstmals verfasst eine internationale Forschergruppe einen Bericht über die Gefahr einer weltweiten Klimaveränderung. Das Werk trägt den Titel «Inadvertent Climate Modification: Report of the Study of Man's Impact on Climate».

1979

In Genf findet die erste Weltklimakonferenz statt. Dabei wird das [Weltklimaprogramm](#) zur Erforschung des Klimawandels initiiert.

1985

Nach einer Konferenz von Klimaforschern in Villach zur Wirkung von Treibhausgasen erreichen die Warnungen vor einem menschengemachten globalen Klimawandel endgültig die breite Öffentlichkeit.

1988

Das [Intergovernmental Panel on Climate Change](#) (IPCC) wird gegründet, also der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen. In seinem Auftrag erstellen Wissenschaftler in der Folge regelmässig umfassende Berichte zum Klimawandel.

1995

Im zweiten grossen Bericht des IPCC konstatieren die wissenschaftlichen Autoren erstmals, dass der Mensch inzwischen einen erkennbaren Einfluss auf das Klima ausübt.

Weiterführende Literatur: Die wichtigsten Bücher zum Thema

[Spektrum Spezial – Klimawandel: Strategien gegen die weltweite Bedrohung](#). Spezialheft von Spektrum der Wissenschaft, März 2018.

Dieter Helm: *Burn Out: Der Klimawandel und das Endspiel der fossilen Brennstoffe*. 352 S., Langen/Müller-Verlag 2018.

Heinz Wanner: *Klima und Mensch. Eine 12 000-jährige Geschichte*. 276 S. Haupt-Verlag, Bern 2016.

IPCC: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genf, 2014.

Fiona Harvey (Text), «*Tipping points*» could exacerbate climate crisis, scientists fear», in: The Guardian online vom 09. Oktober 2018.

«*Tipping points*» could exacerbate climate crisis, scientists fear»

IPCC report underestimates potential of these key dangers to send Earth into spiral of runaway climate change



The north-east coastline of Greenland, one of the world's two great ice sheets.

Key dangers largely left out of the IPCC special report on 1.5C of warming are raising alarm among some scientists who fear we may have underestimated the impacts of humans on the Earth's climate.

The IPCC report sets out the world's current knowledge of the impacts of 1.5C of warming and clearly shows the dangers of breaching such a limit. However, many scientists are increasingly worried about factors about which we know much less.

These "known unknowns" of climate change are tipping points, or feedback mechanisms within the climate system – thresholds that, if passed, could send the Earth into a spiral of runaway climate change. Tipping points merit only a few mentions in the IPCC report. Durwood Zaelke, founder of the Institute for Governance and Sustainable Development, said: "The IPCC report fails to focus on the weakest link in the climate chain: the self-reinforcing feedbacks which, if allowed to continue, will accelerate warming and risk cascading climate tipping points and runaway warming."

He pointed to water vapour in the air, which traps heat in the atmosphere, as well as the loss of polar ice, the collapse of permafrost, and the migration of tropical clouds towards the poles.

Ice melting at the poles is known to be of particular danger. The Earth's ice caps act as reflectors, sending some of the sun's rays back into space and cooling the planet. When sea ice melts, it reveals dark water underneath, which absorbs more heat and in turn triggers greater warming, in a constant feedback loop.

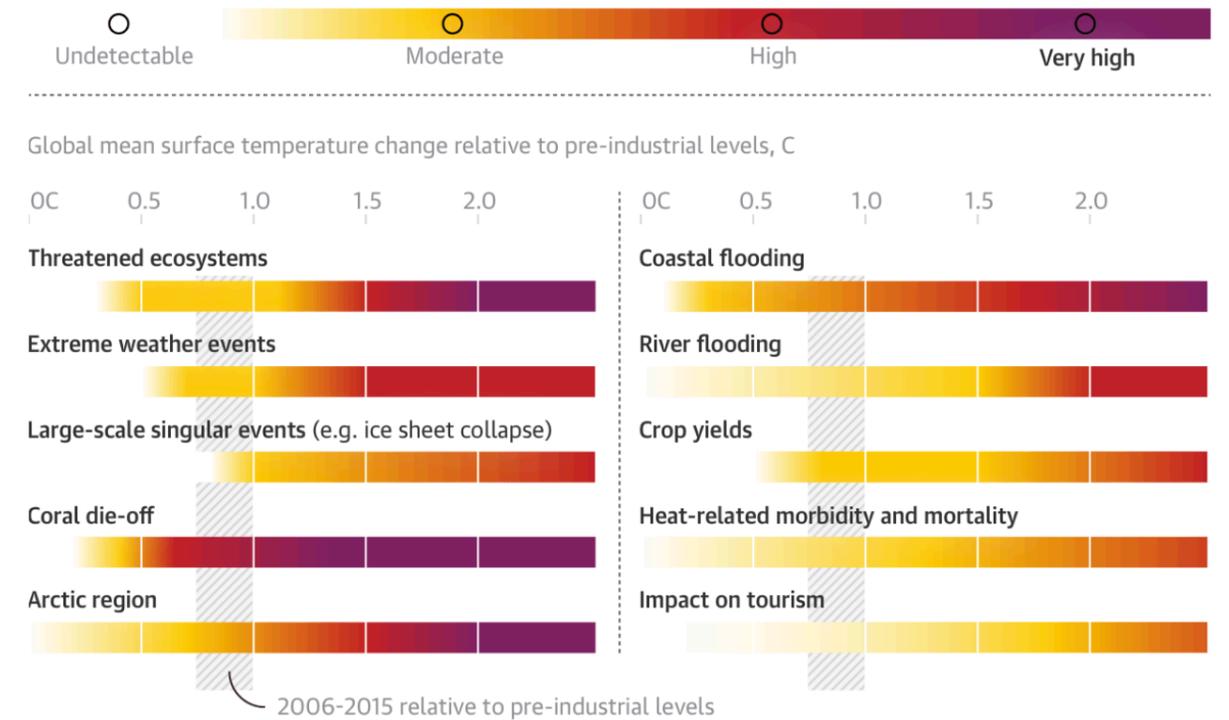
Ice on land, such as in Greenland and under much of the Antarctic, may contain yet another feedback loop; when the ice melts, water percolates to the land below where it lubricates the slide of ice over rock and could accelerate the collapse of glaciers into the surrounding sea.

Bob Ward, of the Grantham Institute, said: "The IPCC summary for policymakers only mentions the west Antarctica and Greenland tipping points, which we may already have reached."

The full report of the IPCC reflects our lack of knowledge of the full potential of tipping points, he said: "The underlying report suggests that the other tipping points are too poorly understood, or not likely to be triggered until higher amounts of warming – but given their consequences, one would expect a more risk-based approach. That is, you don't ignore them until you know them to be impossible."

Rising temperatures, rising risks

Key to impacts and risks



Guardian graphic. Source: IPCC Special Report on Global Warming of 1.5C

One of the problems with tipping point thresholds is that we may not know when they are reached. Robert Larter, of the British Antarctic Survey, called polar ice sheets "sleeping giants", which if they pass a tipping point will cause devastation.

"As ice sheets melted after the last glacial period, there were times when sea level rose at a rate of more than three metres per century, an order of magnitude faster than the current rate," he said. "This implies that there are situations in which ice sheets can melt much more rapidly than they have over the period we have been observing them. We should be very cautious about disturbing these sleeping giants."

Another issue with melting ice is that it uncovers and destabilises permafrost. This layer is known to contain vast quantities of methane, a powerful greenhouse gas with a warming effect many times that of carbon dioxide. Melting permafrost will release that gas into the atmosphere, with unpredictable consequences.

Further unknowns include the effects of climate change on carbon sinks, such as soils and forests: higher temperatures could dry out some soils, causing them to release stored carbon into the air. But increased rainfall – a symptom of climate change in some regions – could in other areas be making it harder for forest soils to trap greenhouse gases such as methane.

Mario Molina, who shared the Nobel prize in chemistry in 1995 for his work on depletion of the ozone layer, said: "The IPCC report demonstrates that it is still possible to keep the climate relatively safe, provided we muster an unprecedented level of cooperation, extraordinary speed and heroic scale of action. But even with its description of the increasing impacts that lie ahead, the IPCC understates a key risk: that self-reinforcing feedback loops could push the climate system into chaos before we have time to tame our energy system, and the other sources of climate pollution."

Urs Bruderer, «Die grosse Überforderung», Republik 2019
republik.ch/2019/08/24/die-grosse-ueberforderung



Apokalypse: Hochwasser umschliesst eine Kirche in Bulacan auf den Philippinen. Jes Aznar/Getty Images

Die grosse Überforderung

Keine kommende Katastrophe wurde je so gründlich untersucht wie die Klimaerwärmung. Und keine wurde so gründlich ignoriert. Was war los? Und was muss passieren?

Ein Essay von Urs Bruderer, 24.08.2019

Ich habe die Klimakatastrophe viele Jahre kaum beachtet. Und hielt das für die klügste Entscheidung.

Seit Menschen denken können, warnen sie vor ihrem Ende. In den alten Schriften mit der Wucht der Bilder, in esoterischen Zirkeln mit der Wucht des Wahnsinns, in wissenschaftlichen Studien mit unwiderlegbaren Daten. Nur eines verbindet alle Nachrichten vom Ende der Menschheit: Sie waren allesamt Enten.

Ob der Atomkrieg, das Waldsterben oder das Auslaufen des Maya-Kalenders im Dezember 2012, ob im Cern produzierte schwarze Löcher, Millenniumsbug oder Vogelgrippe – im Rückblick bewies jedes Weltuntergangs-

szenario nur, dass wir eine Lust an der Angst vor dem Ende haben. Und nie hielt eines sein Versprechen.

Darum fuhr man mit Gelassenheit nie schlecht, wenn wieder einmal jemand sieben Engel sieben Siegel öffnen sah.

Diesmal ist es anders.

Die lange Geschichte der warmen Winter

Schier unglaublich ist, wie lange ich das schon ahne. Mitte der 90er-Jahre gab ich eine Party. Die Einladung zeigte einen Eisbären und kündete eine «Polar-Bar» an. Es war Januar, ich kochte Glühwein und öffnete die Fenster meines kleinen, ungeheizten WG-Zimmers. Es war eng, und dass man ins Schwitzen kam, war kein Wunder. Aber nicht so: Das Thermometer zeigte eine Aussentemperatur von fast 20 Grad über null.

Wir sprachen schon damals, vor einem Vierteljahrhundert, über die immer wärmeren Winter. Uns lag auch schon viel mehr vor als anekdotische Evidenz für den Klimawandel.

Den Begriff der globalen Erwärmung führte ein Wissenschaftler 1975 ein. Bereits ein Jahr zuvor hatte der Ökonom und spätere Nobelpreisträger William Nordhaus berechnet, dass das CO₂ in der Atmosphäre sich bis in 60 Jahren jenem Wert bedrohlich nähert, von dem man schon damals annahm, dass er eine katastrophale Schmelze der Polkappen auslösen würde. (Nordhaus lag nur knapp daneben: Wir erreichen den von ihm errechneten Wert wohl schon 2030 und nicht erst 2034.)

Der Weltklimarat der Uno (IPCC) wurde 1988 geschaffen. 1990 legte er seinen ersten Bericht vor. Er liest sich auch nach dreissig Jahren noch wie eine Zusammenfassung der heutigen Schlagzeilen. Von einer Häufung von Hitzerekorden ist die Rede und vom menschengemachten Treibhauseffekt. Als Hauptursache werden die CO₂-Emissionen genannt. Der Bericht warnt vor Ernterückgängen und Waldverlusten, dem Auftauen des Permafrosts und dem Verschwinden der Gletscher, vor Flutkatastrophen und Feuersbrünsten, vor dem Untergang von Inselstaaten und davor, dass Millionen von Küstenbewohnern ihre Heimat verlassen müssen. 1990.

Einziges Unterschied zu heute: Die Modelle der Forscherinnen waren noch nicht so exakt, ihre Unsicherheit noch grösser. Aber, schlossen sie: «Die möglicherweise schwerwiegenden Folgen des Klimawandels sind Grund genug, um mit der Einführung von Antwortstrategien anzufangen, die sich trotz bedeutender Unsicherheiten sofort rechtfertigen lassen.»

Eigentlich eine Selbstverständlichkeit: Wenn so viel auf dem Spiel steht, sollten vernünftige Wesen aus schierer Vorsicht heraus aktiv werden. *Better safe than sorry* – Vorsicht ist besser als Nachsicht – sagen wir uns bei jeder noch so unwahrscheinlichen Gefahr.

Nur für die grösste globale Gefahr, die das Potenzial hat, weite Teile der Erde in einen unbewohnbaren Ofen zu verwandeln, scheint dieser Grundsatz nicht zu gelten.

Denn was geschah seither? Vieles. Aber auch dies: Die weltweiten CO₂-Emissionen stiegen immer weiter und erreichten letztes Jahr einen neuen Rekord.

Apokalyptische Hintergrundmusik

Der Weltklimarat hat inzwischen unzählige Berichte und Sonderberichte veröffentlicht. Die Warnungen wurden immer genauer und bedrohlicher. Und ich wurde immer besser darin, sie zu überhören.

Und leider nicht nur ich. Die Erderwärmung ist die grösste und am gründlichsten untersuchte drohende Katastrophe, die es je gab. Warum wurde sie von weiten Teilen der Öffentlichkeit so lange ignoriert? Warum blieben Politiker an der Macht, die den Klimaschutz mehr fürchteten als den Klimawandel?

Die Gleichgültigkeit angesichts des Versagens, den globalen CO₂-Ausstoss zu drosseln, zeigt: Wir haben uns an die Dauernachrichten vom Klimawandel gewöhnt. Sie sind für uns nicht mehr als Hintergrundmusik zu einem angenehmen Leben.

Wer dafür nur die sogenannten Klimaskeptiker verantwortlich macht, macht es sich zu einfach. Wahrscheinlich haben die Zweifel, die sie säten, auch meine Zuversicht genährt, dass irgendwie schon alles nicht so dick kommen würde. Aber möglich war das nur, weil ich mich kaum informiert hatte – und es mich nicht kümmerte, was hier für ein Spiel gespielt wurde: Die meisten und die besten Wissenschaftler wurden von einer Handvoll Abweichler, die von der Erdölindustrie kräftig unterstützt wurden, in einen sinnlosen Streit verwickelt.

Die klimapolitische Gleichgültigkeit wäre sogar unerklärlich gewesen, wenn man die Abweichler hätte ernst nehmen können: Denn nie würden wir in ein Flugzeug steigen, wenn 19 von 20 Experten behaupten würden, dass es wohl abstürzt. Und nur einer nicht.

Warum dieses verrückte Verhalten?



Weltuntergang als Filmhit: «The Day After» von 1983. Walt Disney Television/Getty Images

Atombombe und Ozonloch

Unsere Gesellschaft hat gute Erfahrungen im Umgang mit kollektiven Ängsten.

Als kleiner Junge ging ich Anfang der 80er-Jahre gelegentlich mit der Angst vor einem Atomkrieg zu Bett. Die Erwachsenen diskutierten damals «The Day After» – einen Filmhit, der das langsame Sterben nach einem Nuklearschlag zeigte. Das Kinoplatat mit dem leuchtenden Atompilz in einer stauigen Welt aus Rot und Schwarz habe ich bis heute nicht vergessen.

Mitbekommen habe ich auch, dass Millionen Menschen auf der ganzen Welt für Abrüstung auf die Strasse gingen und die USA und die Sowjetunion etwas später Tausende Atomraketen verschrotteten.

Darauf folgte das Ozonloch. Wieder ging die Angst um: diesmal vor viel zu starken UV-Strahlen, Erblindung, Hautkrebs und Missernten. Eine Greenpeace-Expertin sprach vom «letzten Akt für das Leben auf diesem Planeten». Doch die wichtigsten Industriestaaten konnten sich sehr schnell auf ein Verbot des hauptverantwortlichen Treibgases einigen: der vor allem als Kühlmittel gebrauchten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW); ein Verbot, dem sich inzwischen die ganze Welt angeschlossen hat – es ist das wichtigste weltweite Umweltabkommen überhaupt. (Und das Ozonloch schliesst sich allmählich wieder.)

Hinter den weltweiten Demonstrationen gegen die atomare Aufrüstung stand Angst. Ein Erfolg der Angst ist auch das FCKW-Verbot. Angst ist ein gesundes Gefühl und kann erstaunliche Kräfte freisetzen. Aber leider sind diese beiden Erfolge kein Grund zur Hoffnung, dass es uns gelingen wird, den Klimakollaps abzuwenden.

Denn die Verantwortung für die Atombomben lag in der Hand weniger Politiker. Die konnte man mit Demonstrationen unter Druck setzen. Das Ozonloch war auf der Haut zu spüren, FCKW waren relativ leicht zu ersetzen, und es ging nur um Spraydosen, Kühlschränke und Klimaanlage.

Beim Klimawandel ist das anders. Egal, wo wir sind, was wir tun und was wir kaufen: Fast immer sind fossile Brennstoffe im Spiel. Auf sie zu verzichten hiesse, auf den Stoff zu verzichten, der das Leben seit der Mitte des 19. Jahrhunderts unendlich verbessert hat. Ein Stoff, dessen brutale Nebenwirkung erst mit riesiger Verspätung eintritt: Selbst wenn die Menschheit ab sofort kein Gramm CO₂ mehr in die Atmosphäre bliese, würde es noch 40 Jahre dauern, bis die Erde nicht mehr heisser würde.

Fossile Brennstoffe sind wie eine Droge, deren Kater erst nach Jahrzehnten kommt. Kein Wunder, haben wir den Erdball mit Milliarden kleiner und grosser Benzinmotoren, Kohlekraftwerke und Ölheizungen überzogen.

Darum ist auch die Verantwortung für den Verbrauch fossiler Brennstoffe über die komplette Menschheit verteilt. (Wenn auch sehr ungleich: Die reichsten 10 Prozent der Weltbevölkerung, zu denen Sie gehören, wenn Sie die Republik lesen, produzieren die Hälfte alles CO₂; ein Umstand, der das Problem leider nur in der Theorie vereinfacht.) Kein Mensch, keine Branche, kein Staat kann die CO₂-Emissionen im Alleingang genug drosseln.

Der Atomkrieg und das Ozonloch waren Gefahren. Der Klimawandel ist mehr als eine Gefahr. Die Ahnung macht sich breit, dass er eine Überforderung sein könnte. Und darum vielleicht für unabsehbar vieles auf der Erde ein Todesurteil.

Die fünf Phasen der Trauer

Es gibt typische Reaktionsmuster bei Menschen, die es mit einer Gefahr zu tun bekommen, die ihre Kräfte übersteigt. Die Sterbeforscherin Elisabeth Kübler-Ross hat sie beschrieben für die grösste Überforderung überhaupt: den eigenen Tod.

Nachdem bei einem Menschen eine tödliche Krankheit diagnostiziert worden ist, durchläuft er laut Kübler-Ross fünf Stadien, wobei deren Reihenfolge variieren kann. Die Stadien sind:

- Nicht-wahrhaben-Wollen
- Zorn
- Verhandeln
- Depression
- Akzeptanz

Es ist verblüffend, wie gut dieses Schema auf unseren Umgang mit der Klimakatastrophe passt: Wir verhalten uns derzeit so, als ob wir von den Klimawissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern eine tödliche Diagnose erhalten hätten. Nur durchläuft eine Gesellschaft die fünf Stadien nicht nacheinander, sondern sie lassen sich alle zugleich beobachten.

Nicht-wahrhaben-Wollen: Die Phase der Klimaskeptiker und derjenigen, die das Thema immer noch verdrängen und den wissenschaftlich gesicherten Informationen ausweichen. In dieser Phase stecken immer noch die meisten Menschen. Wäre es anders, hätten klimafreundliche Parteien in letzter Zeit nicht nur zugelegt, sondern wären längst an der Macht.

Zorn: Viele jugendliche Mitglieder der Klimabewegung sind wütend auf die Generation ihrer Eltern und Grosseltern, die das Klima mit ihrem CO₂-Ausstoss aus den Fugen gebracht haben und jetzt viel zu wenig unternehmen, um das Schlimmste zu verhindern. (Die Wut ist begründet: Drei Viertel der CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen wurden in den Jahren von 1968 bis heute in die Atmosphäre geblasen.)

Verhandeln: Bei Kübler-Ross ist das die Phase, wo man sich auf geheime Deals mit Gott einlässt und Therapien begrüsst in der Hoffnung, einige Monate herauszuholen oder ein schönes Ereignis noch erleben zu dürfen. In der Klimakrise sind all jene am Verhandeln, die zum Beispiel aufs Fliegen verzichten oder ihren eigenen CO₂-Ausstoss anderswie senken. Und auch die, die daran herumdenken, wie die Erderwärmung unter 1,5 oder 2 Grad gehalten werden könnte. Sie hoffen auf mehr als ein paar Monate oder Jahre. Sie wollen das Schlimmste abwenden.

Depression: In der HBO-Serie «Big Little Lies» klappt ein Mädchen in der Schule zusammen nach einer Lektion über den Klimawandel. Die Begriffe «Klimawandelangst» oder «Ökoangst» haben sich in den USA seit einigen Jahren etabliert. Der amerikanische psychologische Verband hat eine 58-seitige Broschüre herausgegeben mit dem Titel «Psychische Gesundheit und unser sich wandelndes Klima – Auswirkungen, Folgen und Beratung». Als Symptome für die ökologische Angst gelten tiefe Verlust-, Hilflosigkeits- und Schuldgefühle. Bei Kindern seien prätraumatische Stresssymptome zu beobachten (eine Variante des posttraumatischen Stresssymptoms, das sich nach einer Katastrophe einstellen kann). Betroffenen sei zu helfen, indem man ihren Optimismus fördere, sie zu kleinen klima-

freundlichen Schritten im Alltag animiere und ihnen rate, sich politisch zu engagieren.

Akzeptanz: Die Phase mancher Prepper. Sie ziehen sich in abgelegene Gegenden zurück, stellen auf Selbstversorgung um und bereiten sich darauf vor, ihren Hof notfalls auch mit der Waffe zu verteidigen, wenn die Zivilisation in durstige, hungrige, marodierende Verbände zerfällt. Akzeptanz versteckt sich aber auch in apokalyptischen Bemerkungen im Alltag. Etwa, als ich einem Bekannten von der Arbeit an diesem Artikel erzähle. «Schreib, dass wir verloren sind», sagte er, «das Klima, die Negativzinsen, alles ist aus dem Gleichgewicht. Der grosse Knall kommt. Vielleicht in Form von herzigen Käfern.» Oder die Akzeptanz kommt auf den Dialogseiten der Republik. Hier schrieb eine Verlegerin kürzlich: «Gut möglich, dass es bis zu einer klimaneutralen Grossbank einen Generationenwechsel braucht. Gut möglich, dass ichs nicht mehr erleben werde. Gut möglich, dass die Menschheit dabei längerfristig draufgeht. Gut möglich, dass das dem Planeten schnurz ist und dann die Rückeroberung beginnt.» Das klingt wie eine Einübung ins Unabänderliche.

Die Klimakatastrophe ist keine tödliche Krankheit. Aber wir reagieren so darauf. Womöglich ist der Klimawandel nicht zuletzt auch ein massenpsychologisches Problem.

Weltuntergangsangst, Weltuntergangslust

Der Psychoanalytiker und Kolumnist Peter Schneider hält es für abwegig, dass wir den Klimawandel verdrängen würden. Er sitzt auf der Terrasse eines Zürcher Cafés, zündet sich eine Zigarre an und sagt: «Das zu behaupten, scheint mir wie zu sagen, dass Sex immer noch ein Tabu ist, über das wir nur ungern reden. Der Klimawandel ist in aller Munde. Besser als mit Freuds Verdrängung versteht man die Klimadiskurse vielleicht mit der kognitiven Dissonanz von Leon Festinger.»

Wie beim Rauchen.

Ja. Ich weiss, dass es mir nicht guttut, aber ich habe Lust darauf, es ist eine feste Angewohnheit in meinem Leben. Um die kognitive Dissonanz zu lösen, muss ich nun aber auch noch sagen, dass mir diese Antiraucher-Hysterie auf den Wecker geht, ich viele Raucher kenne, die fast hundert geworden sind, und dass Raucher die lustigeren Gespräche draussen vor der Beiz haben. Nur ist die kognitive Dissonanz beim Klima viel vertrackter, weil es lauter Mikrodissonanzen gibt.

Fliegen ist nicht gut, der Zug ist teurer, auf Fleisch soll ich verzichten, vegane Ernährung ist kompliziert, das Auto muss ich stehen lassen, aber ich wohne auf dem Land ...

Und so wird ein globales, transnationales Problem ins Private gewendet. CO₂ wird dabei zu einer Art Universalwährung. Ein Flug nach London ver-

ursacht soviel CO₂ wie 16,5 Stunden Pornostreamen oder 3000 Raschelsäckchen. Und der Wechselkurs schwappt ständig hin und her. Streamen ist gar nicht so schlimm wie gedacht, aber gerade die vegane Avocado ist der schlimmste Klimakiller, und am schlimmsten sind die Batterien der Elektromobile. Das Entdecken immer neuer Umweltsünden ist ein Spiel ohne Ende.

Sollten wir weniger über die Auswirkungen unseres individuellen Verhaltens reden?

Wenn wir realistisch über die Auswirkungen unseres individuellen Verhaltens sprächen, müssten wir sagen: Sie sind statistisch völlig vernachlässigbar. Auswirkungen auf das Klima hat etwas nur dann und deshalb, weil es eben nicht individuell ist. Greta Thunberg hat einerseits das Verdienst, die Klimaproblematik ganz vorne auf die politische Agenda zu bringen; gleichzeitig ist ihre – oder die auf sie projizierte – Verkörperung einer absoluten Kongruenz von Politik und Privatem fatal.

Weil ihr gelingt, was den meisten von uns nicht gelingen kann.

Ich glaube, wir fahren besser, wenn wir uns kognitive Dissonanzen zugestehen und nicht so tun, als ob es nur eine planetenschonende, gute Lebensform gäbe. Diese monokulturelle Auffassung multipliziert die Zahl der gegenseitigen Vorwürfe. Die heuchlerische Jugend, die doch fliegt; die subventionierten Bauern und ihre Methan furzenden Kühe – keiner, der kein Arschloch ist. Das führt zu einer Explosion der entpolitisierten Mikroklassenkämpfe. Jeder gegen jeden im Namen von uns allen. Die Leute entsolidarisieren sich, dabei müssten sie solidarisch werden, um politische Massnahmen für das Klima zu beschliessen.

Sie denken an grosse systemische Lösungen durch die Politik. Doch dafür fehlt es an einer Weltregierung, die diese Lösungen beschliessen könnte.

Da haben wir wieder ein dickes Brett zu bohren. Ich bin für Pragmatismus, der auch die Suche nach technischen Lösungen umfasst. Aber ich wette mit Ihnen, sobald die globale Kerosinsteuer kommt, werden auch die Artikel erscheinen, dass die gar nichts bringt. Es gibt auch eine gefährliche Unzufriedenheit gegenüber pragmatischen Lösungen.

Woher kommt diese Unzufriedenheit?

Radikal ist immer schicker. Es gibt eine Sehnsucht nach einem völligen Neuanfang. Weltuntergangsansturm mischt sich immer mit Weltuntergangslust.

Die einzig vernünftige Lösung wäre demnach also kollektiver Selbstmord.

Nach Ihnen.

Aussterbe-Porno

Peter Schneider hat sicher recht: Noch nie wurde die Welt verbessert, indem man das schlechte Gewissen förderte.

Positive Botschaften aussenden, die die Menschen dazu ermutigen, zu handeln – an diese Doktrin hielten sich auch lange die Klimawissenschaftlerinnen. Sie überbrachten die üble Botschaft von der globalen Erwärmung stets mit dem freundlichen Dreh: Das Problem ist lösbar.

Auch das war einer der Gründe, warum ich den Klimawandel lange ignorierte. Denn der Dreh beruhigte mich. Um Details sollten sich andere kümmern. Und auch um den Nachsatz der Klimaforscher. Er lautet seit dreissig Jahren: Aber wir müssen jetzt handeln. Und wenn ich den Nachsatz doch einmal hörte, fühlte ich mich nicht angesprochen. Wir, das waren für mich die Politikerinnen und Politiker.

Einer der ersten Journalisten, die gegen den konstruktiven Dreh versties, war David Wallace-Wells. Im «New York Magazine» beschrieb er vor zwei Jahren, wie die Welt in nicht allzu ferner Zukunft aussieht, wenn wir so weitermachen wie bisher und keine drastischen Massnahmen ergreifen, um die CO₂-Emissionen schnell und massiv zu senken.

«Ich verspreche Ihnen, es ist schlimmer, als Sie denken», so fängt Wallace-Wells an. Was folgt, ist keine freundliche Lektüre, das verraten schon die Zwischentitel: Hitzetod – Das Ende der Nahrungsmittel – Klimaseuchen – Unatembare Luft – Ewiger Krieg – Ökonomischer Dauerkollaps – Giftige Ozeane. Die Wüste macht sich breit, wo heute Korn wächst. In Frankreich sterben Menschen an Malaria. Und in New York wäre es tödlich heiss, wenn die Stadt nicht schon längst unter Wasser läge, weil der Meeresspiegel um mehrere Meter gestiegen ist. Am Ende des Artikels sind 97 Prozent alles irdischen Lebens ausgelöscht.

Wallace-Wells wurde von Wissenschaftlern scharf kritisiert. Er habe Fehler gemacht, hiess es. (Ihm unterliefen zwei kleine Irrtümer, die er in den Anmerkungen zu seinem Artikel einräumt.) Er habe einen Aussterbe-Porno geschrieben, warf man ihm vor, er verliere kein Wort über die Fortschritte im Kampf ums Klima – und vor allem: Sein Artikel sei nicht nützlich. Weil er die Leute deprimiere und dadurch zur Untätigkeit verleite.

Dabei hat Wallace-Wells nur etwas eigentlich völlig Selbstverständliches getan: Er hat sich gefragt, was geschieht, wenn wir das Problem ignorieren. Und die Welt sich um 6 Grad und mehr erwärmt.

Er hat eine klar verständliche Antwort gegeben, und die wurde gehört. David Wallace-Wells hat nicht nur mich aufgerüttelt. Sein Artikel stiess auf enormes Interesse. Inzwischen hat er ihn zu einem Buch ausgebaut.

Ungemütlich

Dieser Artikel markiert den Anfang einer neuen Dringlichkeit in der Klimadebatte. Wallace-Wells beschrieb als Erster den unwahrscheinlichen Worst Case.

Die Klimaforscher und -forscherinnen aber beschäftigen sich nach wie vor mit einer anderen Welt: dem *best-case*-Szenario. Nur tun sie das seit etwa zwei Jahren ohne den Dreh, die Botschaft jedes Mal am Ende ins Positive zu drehen. Und seither ist es wirklich unheimlich geworden.

Denn auch der bestmögliche Fall weist inzwischen deutliche Züge eines Albtraums auf. Der Weltklimarat hat letzten Herbst einen Bericht herausgegeben über den Unterschied einer Erderwärmung von 1,5 Grad oder 2-Grad gegenüber vorindustriellen Zeiten. Hier einige Ergebnisse:

- Reis und Weizen verlieren an Nährwert. Und die Getreideernten gehen fast überall zurück. Bei 2 Grad deutlich stärker als bei 1,5 Grad.
- Bei 2 Grad verlieren doppelt bis dreimal so viele Tiere und Pflanzen ihren Lebensraum.
- Es tauen 1,5 bis 2,5 Millionen Quadratkilometer mehr Permafrostboden auf – viermal die Fläche von Frankreich.
- Was enorme Einbussen für die Meeresfischerei bedeutet. Bei 2 Grad sind sie doppelt so gross wie bei 1,5 Grad.

- Und: Wenn der grönländische oder der westantarktische Eisschild wegschmilzt, könnte der Meeresspiegel um mehrere Meter – mehrere Meter – ansteigen. Es ist wahrscheinlich, dass dies irgendwo zwischen 1,5 und 2 Grad Erderwärmung geschieht.

Unsicher

Bei 1,5 Grad wird es also ziemlich ungemütlich. Bei 2 Grad ist so gut wie sicher schon die Hölle los. Und leider ist der *best case* inzwischen nicht nur ungemütlich, sondern zunehmend unwahrscheinlich.

Denn neue Forschungsergebnisse, die der Weltklimarat in seinen Berichten nur zum Teil berücksichtigt, deuten darauf hin, dass die Erderwärmung sich Kippmomenten nähert, die den Klimawandel ausser Rand und Band geraten lassen könnten.

Ein solcher Kippmoment droht bei der Schmelze der Polkappen. Die grossen weissen Eisflächen reflektieren viel Sonnenstrahlung zurück ins All. Wo das Eis schmilzt, tritt dunkles Meerwasser hervor, das mehr Strahlung schluckt und sich stärker erwärmt. Was wiederum die Eisschmelze beschleunigt. Die Frage ist, wann der Moment kommt, wo diese Spirale nicht mehr zu stoppen ist.

Ein weiterer Kippmoment droht, wenn die Permafrostböden auftauen. Und dadurch Unmengen Methan freisetzen – ein noch viel stärkeres Treibhausgas als CO₂. Was genau geschieht, wenn der Permafrost taut, ist noch nicht klar berechenbar. Aber auch hier droht vielleicht eine Spirale: Es wird wärmer, die Böden tauen auf, die Gase werden frei und heizen die Erwärmung weiter an.

Weitere Kippmomente werden vermutet. Die Wissenschaft ist hier noch unsicher. Aber mit Sicherheit beunruhigend: Sogar Uno-Generalsekretär António Guterres warnte vor der Gefahr der Kippmomente. Und dass der Klimawandel unaufhaltbar werden könnte.

Unerreichbar

Und das ist längst nicht das Ende der schlechten Nachrichten. Der *best case*, eine Erderwärmung von deutlich weniger als 2 Grad, scheint inzwischen beinahe unerreichbar.

Für das 1,5-Grad-Ziel braucht es nicht einen Systemwandel, sondern viele, schreibt der Weltklimarat in seinem Bericht, und zwar ausnahmslos solche von einer Grösse, wie man sie in der Geschichte noch nie gesehen hat.

Er skizziert vier Wege zu diesem Ziel. Bei allen sinken die CO₂-Emissionen bis ins Jahr 2050 auf nahe null. Doch selbst das würde nicht reichen: Drei der vier Szenarien operieren mit einem Joker: Sie gehen davon aus, dass in den nächsten Jahren eine Methode entwickelt wird, CO₂ im grossen Stil aus der Atmosphäre zu ziehen. Ob das überhaupt machbar ist, weiss niemand. Die Technologie dazu besteht heute nur aus Prototypen. Der Weltklimarat plant also mit einer Technik, die es noch nicht gibt.

Und der vierte Weg? Setzt auf mehr Atomkraft (zwei andere übrigens auch). Und darauf, dass die Menschen im Jahr 2050 ein Drittel weniger Energie verbrauchen als heute. Was fast noch fantastischer ist: Denn der weltweite Energiebedarf steigt seit 200 Jahren immer steiler an.

Wenn die Erderwärmung also deutlich unter 2 Grad bleiben soll, braucht es, kurz gesagt, mehrere Revolutionen:

- eine radikale Umwälzung im Energiebereich – von den Fossilen hin zu Erneuerbaren;
- eine weitgehende Neuausrichtung der Land- und Forstwirtschaft zur Senkung der CO₂-Emissionen;
- eine komplett neue Technologie zum Absaugen von CO₂.

Zu diesem Ergebnis kommen sechs Klimawissenschaftler in einem Beitrag für die renommierte Zeitschrift «Science» (hier gibt es eine gute Zusammenfassung).

Drei Revolutionen in 30 Jahren. Wie zum Teufel soll das gehen?

Radikaler Realismus

Noch weiss das niemand. Auch nicht Regula Rytz, die Präsidentin der Grünen. Es beschleiche sie manchmal «ein Gefühl der Ohnmacht, vor allem angesichts des Tempos der Veränderung». Sie sitzt unter der Bundeshauskuppel im Büro ihrer Partei und lässt keinen Zweifel daran, dass sie die Debatten über Kippmomente und CO₂-Ausstiegsszenarien gut kennt.

In ihrer Jugend demonstrierte die Politikerin gegen Atombomben. Und heute geben ihr die weltweiten Klimaproteste der Jugendlichen Hoffnung. «Aber die nukleare Aufrüstung konnte mit einem Regierungsentscheid gestoppt werden. Beim Klimawandel hat die Menschheit jedoch globale Naturprozesse verändert. Das ist viel gefährlicher.»

Zwar hat die Grüne Partei gute Chancen auf Gewinne bei den Wahlen. Nur bedeutet das noch nicht viel. Denn in der Politik hätten es radikale Forderungen schwer, sagt selbst die Präsidentin der am radikalsten dem Umweltschutz verpflichteten Partei. Als Beweis kann sie auf die klimapolitischen Initiativen ihrer Partei verweisen – alles klare Misserfolge. Die Fair-Food-Initiative zum Beispiel: Sie hätte die regionale, ökologische Landwirtschaft gefördert und den Import von unökologisch produzierten Lebensmitteln verboten. Eine nationale Massnahme mit internationaler klimapolitischer Wirkung. Sie scheiterte klar mit 62 Prozent Nein.

In Sachen Klima wird im Schweizer Parlament endlos über Bagatellen gestritten: etwa über eine Flugticketabgabe von 12 Franken und über einen Benzinaufschlag von 8 Rappen. Die Präsidentin der Grünen hat das akzeptiert. Schritt für Schritt wolle sie ändern, was den ökologischen Prioritäten im Wege stehe, sagt sie. Das Wort Verzicht meiden auch sie und ihre Partei wie ein Klimaleugner die Fakten.

Kippmomente hin, Kippmomente her. Man nennt das Realpolitik: Das Tempo bestimmt nicht die Realität, sondern die Politik.

Unsere Hoffnung

Erleben wir nun, nach Tausenden falschen Untergangsprophezeiungen, also tatsächlich den Anfang vom Ende? Die jahrzehntelange Unfähigkeit politischer Institutionen, notwendige, aber radikale Massnahmen einzuleiten, lässt es zumindest vermuten. Doch die Politik war schon immer langsamer als die gesellschaftliche Veränderung.

Und die Gesellschaft ist der Politik beim Klimawandel in den letzten Monaten davongeeilt. Für mich war das eine doppelte Überraschung. Erstens, weil sie mich mitgenommen hat – und ich meine gelassene Ignoranz für das Thema aufgeben musste. Und zweitens, weil ich eine meiner tiefsten Überzeugungen revidieren musste.

Für die grossen Probleme braucht es grosse Lösungen, dachte ich stets. Nicht moralischer Druck bringt uns weiter, sondern gesetzlicher Zwang. Es bringt nichts, dass Leute aus freien Stücken weniger Fleisch essen oder weniger Kleider kaufen. Nein, die Politik muss die Rahmenbedingungen so verändern, dass alle sich so verhalten *müssen*.

Das war eine so souveräne wie bequeme Haltung: Ich wäre ja dafür, dass das Fliegen entscheidend teurer wird – aber das ist kein Grund, dass ich zuvor darauf verzichtete. Heute denke ich etwas anders. Am Ende führt kein Weg daran vorbei, dass die Politik die Lösungen finden muss, ja. Aber die Politik muss auch wissen, was wir erwarten und wozu wir bereit sind.

Ich habe meine freundliche Verachtung für Leute abgelegt, die glauben, sie könnten die Welt verändern, indem sie kein Fleisch essen. Die Debatte um Flugscham hielt ich anfangs für lächerlich. Heute glaube ich, dass sie uns weiterbringt. Weil sie der Politik signalisiert, dass eine Flugticketabgabe gesellschaftlich akzeptiert ist.

Ich freue mich heute über jedes Zeichen dafür, dass Menschen ihre deprimierend geringe Verantwortung für den Klimawandel wahrnehmen. Nicht nur, indem sie klimafreundliche Parteien wählen. Sondern auch im Alltag, indem sie ihren CO₂-Ausstoss verringern.

Sogar wer nur darüber redet, trägt die Entwicklung ein wenig weiter.

Geht es schnell genug? Keine Ahnung. Liest man die aktuellen Papiere der Klimaforschung, ist ein Erfolg alles andere als sicher. Und eine politische Lösung für das Problem, wie das bisschen CO₂, das wir noch ausstossen dürfen, weltweit gerecht zugeteilt wird, ist nirgends zu erkennen.

Nur, denke ich, ist der Klimawandel keine tödliche Diagnose. Kippt das allgemeine Denken, sind schnelle, grosse Veränderungen möglich. Ausserdem macht es keinen Sinn, vom Nicht-wahrhaben-Wollen direkt in Depression oder Akzeptanz zu verfallen.

Wir müssen beim Verhandeln bleiben. Denn anders als bei einer tödlichen Krankheit verhandeln wir bei der Klimakatastrophe nicht mit dem lieben Gott. Sondern unter uns. Und das ist unsere Hoffnung.

Climate scientists: concept of net zero is a dangerous trap, James Dyke, Robert Watson und Wolfgang Knorr, in: The Conversation, 22.04.2021



Thijs Stoop/Unsplash, FAL

Climate scientists: concept of net zero is a dangerous trap

Sometimes realisation comes in a blinding flash. Blurred outlines snap into shape and suddenly it all makes sense. Underneath such revelations is typically a much slower-dawning process. Doubts at the back of the mind grow. The sense of confusion that things cannot be made to fit together increases until something clicks. Or perhaps snaps.

Collectively we three authors of this article must have spent more than 80 years thinking about climate change. Why has it taken us so long to speak out about the obvious dangers of the concept of net zero? In our defence, the premise of net zero is deceptively simple – and we admit that it deceived us.

The threats of climate change are the direct result of there being too much carbon dioxide in the atmosphere. So it follows that we must stop emitting more and even remove some of it. This idea is central to the world's current plan to avoid catastrophe. In fact, there are many suggestions as to how to actually do this, from mass tree planting, to high tech direct air capture devices that suck out carbon dioxide from the air.

The current consensus is that if we deploy these and other so-called “carbon dioxide removal” techniques at the same time as reducing our burning of fossil fuels, we can more rapidly halt global warming. Hopefully around the middle of this century we will achieve “net zero”. This is the point at which any residual emissions of greenhouse gases are balanced by technologies removing them from the atmosphere.

<https://theconversation.com/climate-scientists-concept-of-net-zero-is-a-dangerous-trap-157368> [21.03.22]



A facility for capturing carbon dioxide from air on the roof of a waste incinerating plant in Hinwil, Switzerland July 18, 2017. This is one of the handful of demonstrator projects currently in operation. REUTERS/Arnd Wiegmann

This is a great idea, in principle. Unfortunately, in practice it helps perpetuate a belief in technological salvation and diminishes the sense of urgency surrounding the need to curb emissions now.

We have arrived at the painful realisation that the idea of net zero has licensed a recklessly cavalier “burn now, pay later” approach which has seen carbon emissions continue to soar. It has also hastened the destruction of the natural world by increasing deforestation today, and greatly increases the risk of further devastation in the future.

To understand how this has happened, how humanity has gambled its civilisation on no more than promises of future solutions, we must return to the late 1980s, when climate change broke out onto the international stage.



Over the years doubt has developed into dread. This gnawing sense that we have made a terrible mistake. There are now times when I freely admit to a sense of panic. How did we get this so wrong? What are our children supposed to think about how we have acted?

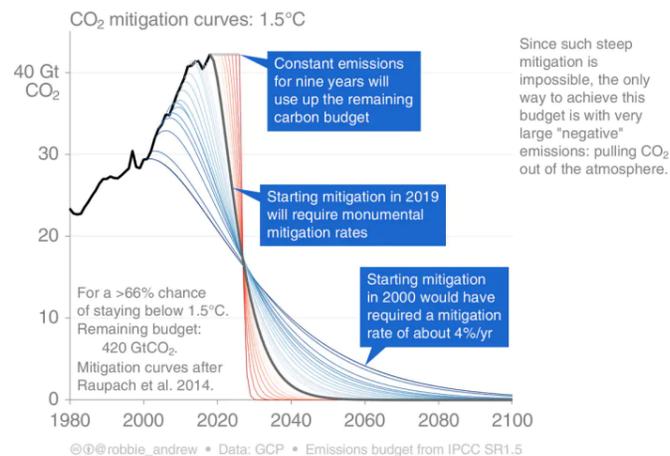
James Dyke
Senior Lecturer in Global Systems, University of Exeter

Steps towards net zero

On June 22 1988, James Hansen was the administrator of Nasa's Goddard Institute for Space Studies, a prestigious appointment but someone largely unknown outside of academia.

By the afternoon of the 23rd he was well on the way to becoming the world's most famous climate scientist. This was as a direct result of his testimony to the US congress, when he forensically presented the evidence that the Earth's climate was warming and that humans were the primary cause: "The greenhouse effect has been detected, and it is changing our climate now."

If we had acted on Hansen's testimony at the time, we would have been able to decarbonise our societies at a rate of around 2% a year in order to give us about a two-in-three chance of limiting warming to no more than 1.5°C. It would have been a huge challenge, but the main task at that time would have been to simply stop the accelerating use of fossil fuels while fairly sharing out future emissions.



Graph demonstrating how fast mitigation has to happen to keep to 1.5°C. © Robbie Andrew, CC BY

Four years later, there were glimmers of hope that this would be possible. During the 1992 Earth Summit in Rio, all nations agreed to stabilise concentrations of greenhouse gases to ensure that they did not produce dangerous interference with the climate. The 1997 Kyoto Summit attempted to start to put that goal into practice. But as the years passed, the initial task of keeping us safe became increasingly harder given the continual increase in fossil fuel use.

It was around that time that the first computer models linking greenhouse gas emissions to impacts on different sectors of the economy were developed. These hybrid climate-economic models are known as Integrated Assessment Models. They allowed modellers to link economic activity to the climate by, for example, exploring how changes in investments and technology could lead to changes in greenhouse gas emissions.

They seemed like a miracle: you could try out policies on a computer screen before implementing them, saving humanity costly experimentation. They rapidly emerged to become key guidance for climate policy. A primacy they maintain to this day.

Unfortunately, they also removed the need for deep critical thinking. Such models represent society as a web of idealised, emotionless buyers and sellers and thus ignore complex social and political realities, or even the impacts of climate change itself. Their implicit promise is that market-based approaches will always work. This meant that discussions about policies were limited to those most convenient to politicians: incremental changes to legislation and taxes.

Around the time they were first developed, efforts were being made to secure US action on the climate by allowing it to count carbon sinks of the country's forests. The US argued that if it managed its forests well, it would be able to store a large amount of carbon in trees and soil which should be subtracted from its obligations to limit the burning of coal, oil and gas. In the end, the US largely got its way. Ironically, the concessions were all in vain, since the US senate never ratified the agreement.



Forests such as this one in Maine, US, were suddenly counted in the carbon budget as an incentive for the US to join the Kyoto Agreement. Inbound Horizons/Shutterstock

Postulating a future with more trees could in effect offset the burning of coal, oil and gas now. As models could easily churn out numbers that saw atmospheric carbon dioxide go as low as one wanted, ever more sophisticated scenarios could be explored which reduced the perceived urgency to reduce fossil fuel use. By including carbon sinks in climate-economic models, a Pandora's box had been opened.

It's here we find the genesis of today's net zero policies.



It came to me as a real shock that I must have contributed personally to the net zero trap. In 2008 the G8 countries declared a voluntary target of reducing carbon dioxide emissions by 50% by 2050.

Back then, I responded by publishing computations I had performed specifically to show the need for net zero in the long run, stating that any remaining carbon dioxide emissions by human activities would have to be 'balanced by an artificial sink'.

But since none of our study's co-authors was an expert, we did not consider how much of that artificial sink would be needed to sustain our economic system, or if it was even technically possible to create.

Wolfgang Knorr
Senior Research Scientist, Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University

That said, most attention in the mid-1990s was focused on increasing energy efficiency and energy switching (such as the UK's move from coal to gas) and the potential of nuclear energy to deliver large amounts of carbon-free electricity. The hope was that such innovations would quickly reverse increases in fossil fuel emissions.

But by around the turn of the new millennium it was clear that such hopes were unfounded. Given their core assumption of incremental change, it was becoming more and more difficult for economic-climate models to find viable pathways to avoid dangerous climate change. In response, the models began to include more and more examples of carbon capture and storage, a technology that could remove the carbon dioxide from coal-fired power stations and then store the captured carbon deep underground indefinitely.



The Tomakomai carbon, capture and storage test site, Hokkaido, Japan, March 2018. Over its three-year lifetime, it's hoped that this demonstrator project will capture an amount of carbon approximately 1/100,000 of current global annual emissions. The captured carbon will be piped into geological deposits deep under the sea bed where it will need to remain for centuries. REUTERS/Aaron Sheldrick

This had been shown to be possible in principle: compressed carbon dioxide had been separated from fossil gas and then injected underground in a number of projects since the 1970s. These Enhanced Oil Recovery schemes were designed to force gases into oil wells in order to push oil towards drilling rigs and so allow more to be recovered – oil that would later be burnt, releasing even more carbon dioxide into the atmosphere.

Carbon capture and storage offered the twist that instead of using the carbon dioxide to extract more oil, the gas would instead be left underground and removed from the atmosphere. This promised breakthrough technology would allow climate friendly coal and so the continued use of this fossil fuel. But long before the world would witness any such schemes, the hypothetical process had been included in climate-economic models. In the end, the mere prospect of carbon capture and storage gave policy makers a way out of making the much needed cuts to greenhouse gas emissions.

The rise of net zero

When the international climate change community convened in Copenhagen in 2009 it was clear that carbon capture and storage was not going to be sufficient for two reasons.

First, it still did not exist. There were no carbon capture and storage facilities in operation on any coal fired power station and no prospect the technology was going to have any impact on rising emissions from increased coal use in the foreseeable future.

The biggest barrier to implementation was essentially cost. The motivation to burn vast amounts of coal is to generate relatively cheap electricity. Retrofitting carbon scrubbers on existing power stations, building the infrastructure to pipe captured carbon, and developing suitable geological storage sites required huge sums of money. Consequently the only application of carbon capture in actual operation then – and now – is to use the trapped gas in enhanced oil recovery schemes. Beyond a single demonstrator, there has never been any capture of carbon dioxide from a coal fired power station chimney with that captured carbon then being stored underground.

Just as important, by 2009 it was becoming increasingly clear that it would not be possible to make even the gradual reductions that policy makers demanded. That was the case even if carbon capture and storage was up and running. The amount of carbon dioxide that was being pumped into the air each year meant humanity was rapidly running out of time.

With hopes for a solution to the climate crisis fading again, another magic bullet was required. A technology was needed not only to slow down the increasing concentrations of carbon dioxide in the atmosphere, but actually reverse it. In response, the climate-economic modelling community – already able to include plant-based carbon sinks and geological carbon storage in their models – increasingly adopted the “solution” of combining the two.

So it was that Bioenergy Carbon Capture and Storage, or BECCS, rapidly emerged as the new saviour technology. By burning “replaceable” biomass such as wood, crops, and agricultural waste instead of coal in power stations, and then capturing the carbon dioxide from the power station chimney and storing it underground, BECCS could produce electricity at the same time as removing carbon dioxide from the atmosphere. That's because as biomass such as trees grow, they suck in carbon dioxide from the atmosphere. By planting trees and other bioenergy crops and storing carbon dioxide released when they are burnt, more carbon could be removed from the atmosphere.

With this new solution in hand the international community regrouped from repeated failures to mount another attempt at reining in our dangerous interference with the climate. The scene was set for the crucial 2015 climate conference in Paris.

A Parisian false dawn

As its general secretary brought the 21st United Nations conference on climate change to an end, a great roar issued from the crowd. People leaped to their feet, strangers embraced, tears welled up in eyes bloodshot from lack of sleep.

The emotions on display on December 13, 2015 were not just for the cameras. After weeks of gruelling high-level negotiations in Paris a breakthrough had finally been achieved. Against all expectations, after decades of false starts and failures, the international community had finally agreed to do what it took to limit global warming to well below 2°C, preferably to 1.5°C, compared to pre-industrial levels.

The Paris Agreement was a stunning victory for those most at risk from climate change. Rich industrialised nations will be increasingly impacted as global temperatures rise. But it's the low lying island states such as the Maldives and the Marshall Islands that are at imminent existential risk. As a later UN special report made clear, if the Paris Agreement was unable to limit global warming to 1.5°C, the number of lives lost to more intense storms, fires, heatwaves, famines and floods would significantly increase.

But dig a little deeper and you could find another emotion lurking within delegates on December 13. Doubt. We struggle to name any climate scientist who at that time thought the Paris Agreement was feasible. We have since been told by some scientists that the Paris Agreement was “of course important for climate justice but unworkable” and “a complete shock, no one thought limiting to 1.5°C was possible”. Rather than being able to limit warming to 1.5°C, a senior academic involved in the IPCC concluded we were heading beyond 3°C by the end of this century.

Instead of confront our doubts, we scientists decided to construct ever more elaborate fantasy worlds in which we would be safe. The price to pay for our cowardice: having to keep our mouths shut about the ever growing absurdity of the required planetary-scale carbon dioxide removal.



Relying on untested carbon dioxide removal mechanisms to achieve the Paris targets when we have the technologies to transition away from fossil fuels today is plain wrong and foolhardy. Why are we willing to gamble the lives and livelihoods of millions of people, the beautiful life all around us, and the futures of our children?

Robert Watson
Emeritus Professor in Environmental Sciences, University of
East Anglia

Taking centre stage was BECCS because at the time this was the only way climate-economic models could find scenarios that would be consistent with the Paris Agreement. Rather than stabilise, global emissions of carbon dioxide had increased some 60% since 1992.

Alas, BECCS, just like all the previous solutions, was too good to be true.

Across the scenarios produced by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) with a 66% or better chance of limiting temperature increase to 1.5°C, BECCS would need to remove 12 billion tonnes of carbon dioxide each year. BECCS at this scale would require massive planting schemes for trees and bioenergy crops.

The Earth certainly needs more trees. Humanity has cut down some three trillion since we first started farming some 13,000 years ago. But rather than allow ecosystems to recover from human impacts and forests to regrow, BECCS generally refers to dedicated industrial-scale plantations regularly harvested for bioenergy rather than carbon stored away in forest trunks, roots and soils.

Currently, the two most efficient biofuels are sugarcane for bioethanol and palm oil for biodiesel – both grown in the tropics. Endless rows of such fast growing monoculture trees or other bioenergy crops harvested at frequent intervals devastate biodiversity.

It has been estimated that BECCS would demand between 0.4 and 1.2 billion hectares of land. That's 25% to 80% of all the land currently under cultivation. How will that be achieved at the same time as feeding 8-10 billion people around the middle of the century or without destroying native vegetation and biodiversity?

Growing billions of trees would consume vast amounts of water – in some places where people are already thirsty. Increasing forest cover in higher latitudes can have an overall warming effect because replacing grassland or fields with forests means the land surface becomes darker. This darker land absorbs more energy from the Sun and so temperatures rise. Focusing on developing vast plantations in poorer tropical nations comes with real risks of people being driven off their lands.

And it is often forgotten that trees and the land in general already soak up and store away vast amounts of carbon through what is called the natural terrestrial carbon sink. Interfering with it could both disrupt the sink and lead to double accounting.



The predecessor to net zero was and still is called 'offsetting'. Once I was full of hope that carbon offsetting schemes could do the trick and save intact forest ecosystems from almost certain destruction by economic development. Now I know this was just a dream.

The massive amount of offsetting needed for staying within safe climate limits cannot be met by leaving nature alone. It demands fast growing, mostly alien species that are cut down often and regularly, with devastating consequences for biodiversity. We are already seeing the beginning of it in European forests. I am scared almost more by the consequences of net zero, than by those of climate warming.

Wolfgang Knorr

Senior Research Scientist, Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University

As these impacts are becoming better understood, the sense of optimism around BECCS has diminished.

Pipe dreams

Given the dawning realisation of how difficult Paris would be in the light of ever rising emissions and limited potential of BECCS, a new buzzword emerged in policy circles: the “overshoot scenario”. Temperatures would be allowed to go beyond 1.5°C in the near term, but then be brought down with a range of carbon dioxide removal by the end of the century. This means that net zero actually means carbon negative. Within a few decades, we will need to transform our civilisation from one that currently pumps out 40 billion tons of carbon dioxide into the atmosphere each year, to one that produces a net removal of tens of billions.

Mass tree planting, for bioenergy or as an attempt at offsetting, had been the latest attempt to stall cuts in fossil fuel use. But the ever-increasing need for carbon removal was calling for more. This is why the idea of direct air capture, now being touted by some as the most promising technology out there, has taken hold. It is generally more benign to ecosystems because it requires significantly less land to operate than BECCS, including the land needed to power them using wind or solar panels.

Unfortunately, it is widely believed that direct air capture, because of its exorbitant costs and energy demand, if it ever becomes feasible to be deployed at scale, will not be able to compete with BECCS with its voracious appetite for prime agricultural land.



The Climeworks Gebr. Meier Greenhouse in Hinwil, Zurich. CO2 increases crop yield from direct air capture. Such projects demonstrate exciting possible applications for captured carbon, but there is no prospect they will have any measurable impact on reducing global warming. Orjan Ellingvag/Alamy

It should now be getting clear where the journey is heading. As the mirage of each magical technical solution disappears, another equally unworkable alternative pops up to take its place. The next is already on the horizon – and it's even more ghastly. Once we realise net zero will not happen in time or even at all, geoengineering – the deliberate and large scale intervention in the Earth's climate system – will probably be invoked as the solution to limit temperature increases.

One of the most researched geoengineering ideas is solar radiation management – the injection of millions of tons of sulphuric acid into the stratosphere that will reflect some of the Sun's energy away from the Earth. It is a wild idea, but some academics and politicians are deadly serious, despite significant risks. The US National Academies of Sciences, for example, has recommended allocating up to US\$200 million over the next five years to explore how geoengineering could be deployed and regulated. Funding and research in this area is sure to significantly increase.



It's astonishing how the continual absence of any credible carbon removal technology seems to never affect net zero policies. Whatever is thrown at it, net zero carries on without a dent in the fender.

For some time I assumed I was merely ill-informed or over-cautious. I've now realised that we have all been subject to a form of gaslighting. Whether it's BECCS, afforestation, direct air capture or carbon absorbing unicorns, the assumption is that net zero will work because it has to work. But beyond fine words and glossy brochures there is nothing there. The emperor has no clothes.

James Dyke

Senior Lecturer in Global Systems, University of Exeter

Difficult truths

In principle there is nothing wrong or dangerous about carbon dioxide removal proposals. In fact developing ways of reducing concentrations of carbon dioxide can feel tremendously exciting. You are using science and engineering to save humanity from disaster. What you are doing is important. There is also the realisation that carbon removal will be needed to mop up some of the emissions from sectors such as aviation and cement production. So there will be some small role for a number of different carbon dioxide removal approaches.

The problems come when it is assumed that these can be deployed at vast scale. This effectively serves as a blank cheque for the continued burning of fossil fuels and the acceleration of habitat destruction.

Carbon reduction technologies and geoengineering should be seen as a sort of ejector seat that could propel humanity away from rapid and catastrophic environmental change. Just like an ejector seat in a jet aircraft, it should only be used as the very last resort. However, policymakers and businesses appear to be entirely serious about deploying highly speculative technologies as a way to land our civilisation at a sustainable destination. In fact, these are no more than fairy tales.



'There is no Planet B': children in Birmingham, UK, protest against the climate crisis. Callum Shaw/Unsplash, FAL

The only way to keep humanity safe is the immediate and sustained radical cuts to greenhouse gas emissions in a socially just way.

Academics typically see themselves as servants to society. Indeed, many are employed as civil servants. Those working at the climate science and policy interface desperately wrestle with an increasingly difficult problem. Similarly, those that champion net zero as a way of breaking through barriers holding back effective action on the climate also work with the very best of intentions.

The tragedy is that their collective efforts were never able to mount an effective challenge to a climate policy process that would only allow a narrow range of scenarios to be explored.

Most academics feel distinctly uncomfortable stepping over the invisible line that separates their day job from wider social and political concerns. There are genuine fears that being seen as advocates for or against particular issues could threaten their perceived independence. Scientists are one of the most trusted professions. Trust is very hard to build and easy to destroy.



The youth of today and future generations will look back in horror that our generation gambled with catastrophic changes in climate and biodiversity for the sake of cheap fossil fuel energy when cost effective and socially acceptable alternatives were available.

We have the knowledge needed to act – the IPCC and IPBES assessments, which I have co-chaired, demonstrate that these issues are interconnected and must be addressed together and now. The most recent assessments clearly show we are failing to meet any of the agreed targets for limiting climate change or loss of biodiversity. I'm ashamed of our repeated failures.

Robert Watson
Emeritus Professor in Environmental Sciences, University of East Anglia

But there is another invisible line, the one that separates maintaining academic integrity and self-censorship. As scientists, we are taught to be sceptical, to subject hypotheses to rigorous tests and interrogation. But when it comes to perhaps the greatest challenge humanity faces, we often show a dangerous lack of critical analysis.

In private, scientists express significant scepticism about the Paris Agreement, BECCS, offsetting, geoengineering and net zero. Apart from some notable exceptions, in public we quietly go about our work, apply for funding, publish papers and teach. The path to disastrous climate change is paved with feasibility studies and impact assessments.

Rather than acknowledge the seriousness of our situation, we instead continue to participate in the fantasy of net zero. What will we do when reality bites? What will we say to our friends and loved ones about our failure to speak out now?

The time has come to voice our fears and be honest with wider society. Current net zero policies will not keep warming to within 1.5°C because they were never intended to. They were and still are driven by a need to protect business as usual, not the climate. If we want to keep people safe then large and sustained cuts to carbon emissions need to happen now. That is the very simple acid test that must be applied to all climate policies. The time for wishful thinking is over.

Herr Knutti, sind wir noch zu retten? «Wenn sich alle so verhalten wie Sie, erreichen wir die Klimaziele nicht.» Interview mit Daniel Ryser, Republik, 23.11.2019

Herr Knutti, sind wir noch zu retten? – «Wenn sich alle so verhalten wie Sie, erreichen wir die Klimaziele nicht»

Bevor in Madrid der Weltklimagipfel beginnt, im Parlament das CO₂-Gesetz verhandelt wird und das Klima kollabiert: ein Treffen mit ETH-Klimaforscher Reto Knutti, um ein paar grundsätzliche Fragen zu klären.

Von Daniel Ryser (Text) und Yves Bachmann (Bilder), 23.11.2019

Bild

«Beim Klimawandel empfinde ich es so: Wir springen im Dunkeln von einem Dach, ohne zu wissen, wie hoch es ist»: Reto Knutti, Klimaforscher an der ETH Zürich.

Darf ich in Zukunft noch fliegen?

Ein bisschen Fleisch essen?

Sind die bereits angerichteten Schäden reparabel?

Was heisst «null CO₂» eigentlich?

Wie kamen bisherige Umweltregulierungsmassnahmen wie der Katalysator oder Kläranlagen zustande?

Durch staatliche Verbote oder den freien Markt?

Wie beweist man, dass der Klimawandel vom Menschen gemacht ist?

Was bringt die Revision des CO₂-Gesetzes?

Warum glauben Linke an den Klimawandel und Rechte nicht?

Was hat das überhaupt mit Politik zu tun?

Sind wir noch zu retten?

Die Antwort auf diese letzte Frage in Kurzform: Es sieht nicht gut aus.

Die etwas ausführlichere Antwort: Wenn nicht viel mehr getan wird als das, was wir im Moment zögerlich anpeilen, wird diese Erde in Teilen bald

unbewohnbar sein. Das ist mein Fazit zweier Treffen mit Reto Knutti, der mehrere Uno-Weltklimaberichte mitverfasst hat. Das Bild, das die angeblich so radikale Klimajugend von unserer künftigen Welt zeichnet, ist quasi sommerliche Blumenwiese gegen das, was der ETH-Professor beschreibt. Mit den Fakten und den Kapazitäten, die einem der renommiertesten Klimaforscher der Welt halt so zur Verfügung stehen.

In seinem Büro mit herrlichem Blick auf den Zürichsee und die Alpen erzählt Reto Knutti in nüchternem Ton mit angenehmem Berner Oberländer Dialekt, immer auf Zahlen und Studien verweisend, vom Kollaps, der uns wohl ereilen wird.

Die Liste der blinden Flecken

Hundert Fragen. Ganz banale. Etwa: Was heisst das eigentlich konkret, «null CO₂»?

Knutti präsentiert zuerst einmal eine Liste mit «blinden Flecken», die in den aktuellen Debatten ständig vergessen gingen, wie er sagt.

Wenig überraschend: nicht gerade ermunternde Dinge.

Der Permafrost etwa, der gerade dabei ist, aufzutauen und auch CO₂ freizusetzen. Nicht in den Berechnungen zum Klimawandel enthalten, weil man nicht so genau weiss, was, wann und vor allem: wie viel.

Es geht weiter. Knuttis Liste mit den blinden Flecken ist ziemlich lang.

Und ganz ehrlich: Bei Punkt fünf schon starre ich irgendwann leicht apathisch aus dem Fenster und will es gar nicht mehr so genau wissen, weil, nun ... *whatever*.

Immerhin sei ich mit diesem seltsamen Verhalten alles andere als allein, wird der Klimaforscher später sagen.

«Beim Thema Klima agiert der Mensch komplett irrational», sagt er. «Er will es nicht wissen. Wenn ich Ihnen sagen würde: Das Flugzeug, in dem Sie sitzen, wird mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit abstürzen, würden Sie fliegen? Würden Sie nicht. Aber wenn ich Ihnen sage, dass wir mit 95-prozentiger Sicherheit sagen können, dass der Mensch beim Klimawandel der dominante Faktor ist, schliessen Sie die Augen und machen einfach weiter wie bisher in der Hoffnung, es wird irgendwie verschwinden. Aber es wird nicht verschwinden.»

Die Liste.

«Wir reden bei unseren Klimaprognosen immer davon, was bis im Jahr 2100 passiert sein wird. Was die Leute dabei vergessen: 2100 ist nicht fertig. Wenn wir davon reden, dass sich bis dann die Durchschnittstemperatur in der Schweiz um 4 bis 7 Grad erhöht haben wird, bedeutet das gleichzeitig, dass wir dann mitten in der Steigung sind und die Temperatur dann noch steigt, wenn wir nichts tun.»

Oder dies: «Der grösste Teil der Folgen des Klimawandels kann nicht rückgängig gemacht werden. Eine höhere Durchschnittstemperatur geht nicht einfach zurück, selbst wenn wir die Emissionen auf null bringen. Was kaputt ist, ist kaputt. Wenn die Meere einmal über die Ufer getreten sind, bleibt das so.»

Oder: «Die Zunahme der Schäden verläuft nicht linear. Eine Erhöhung von 1 auf 1,5 Grad ist womöglich kein Problem. Aber ein halbes Grad mehr kann katastrophale Folgen haben. Gewisse Systeme kippen irgendwann einfach. Von einem Grad mehr kann die Landwirtschaft vielleicht sogar profitieren. Es wächst mehr. Aber dann, bei bloss einem halben Grad mehr und einem trockenen Sommer wie 2018, wächst nichts mehr. Dann ist fertig. Nichts gedeiht mehr. Es ist wie bei Erdbeben: Bei einem kleinen wackelt es nur leicht, bei einem grossen ist die Stadt flach. So verhält es sich auch mit den Kosten der Schäden: Bei kleinen Erwärmungen passiert nicht viel. Und dann schnellen die Kosten plötzlich exponentiell nach oben, und es geht in die Hunderte Millionen oder Milliarden. Wie es eine meiner Kolleginnen beschrieben hat: Sie springen von einem Dach einen Meter hinunter. Ihnen wird nichts passieren. Bei zwei Metern verstauchen Sie sich vielleicht den Fuss. Bei drei Metern brechen Sie sich vielleicht ein Bein. Aber bei fünf oder sechs Metern haben sie nicht ein paar Verstauchungen mehr. Sie sind dann einfach tot. Fertig. Beim Klimawandel empfinde ich es so: Wir springen im Dunkeln von einem Dach, ohne zu wissen, wie hoch es ist.»

Die Sonne scheint, die winterliche Stadt schlummert und qualmt vor sich hin, wir trinken den zweiten Kaffee, und ich frage Knutti, ob die Lage, unwissenschaftlich gesprochen, eigentlich nicht einfach ultraverschissen sei.

Bild

«Dann sind Dutzende, wenn nicht Hunderte von Städten auf der Welt weg. Es gibt sie dann einfach nicht mehr.»

«Naturwissenschaftlich gesprochen: Viele Systeme reagieren nicht graduell. Sie reagieren irgendwann sehr heftig. Wenn man ein Weinglas abtrocknet und ein wenig Druck gibt, passiert nichts. Wenn man zu viel Druck gibt, ist das Glas irgendwann kaputt. Und zwar unwiderruflich kaputt. Viele Systeme haben Kippunkte, wo die Auswirkungen massiv und irreparabel werden. Sie als Journalist können es «ultraverschissen» nennen. Ich als Naturwissenschaftler nenne es die Charakteristik des Systems.»

Knutti sagt, aus der Sicht eines älteren Schweizers, der sich nur für sich selbst interessiere, gebe es kein Problem. «Der Klimawandel wird uns in der Schweiz in den nächsten zwanzig Jahren nicht massiv treffen. Es wird ab und zu etwas kosten. Starke Niederschläge, Überschwemmungen. Hin und wieder wird es sehr heiss, dann kostet es für die Landwirtschaft ein paar Milliarden. Für meine kleine Tochter sieht es anders aus.»

Eine durchschnittliche Erhöhung von weltweit 5 Grad, wie es bis zum Ende des Jahrhunderts prognostiziert werde, bedeute massivste Veränderungen. «5 Grad in die andere Richtung, als Vergleich, das war die letzte Eiszeit. Etwa zwei Drittel der Schweiz waren damals von Eis bedeckt. Die Gletscher sind über das Aaretal und den Thunersee bis nach Bern gekommen. Der Uetliberg hat knapp aus dem Eis hervorgeschaut. Das ist der Massstab der Veränderungen, wenn wir von 5 Grad sprechen.»

Das Gegenteil der Eiszeit: Grönland schmilzt.

Anstieg des Meeresspiegels: bis zu 6 Meter.

Teile der Antarktis schmelzen.

Anstieg des Meeresspiegels: theoretisch bis zu 60 Meter.

Immerhin: Letzteres dauert ein paar hundert bis tausend Jahre.

«Ist das schlimm? Ist das nicht schlimm? Reden wir von uns? Von unseren Enkeln? Wenn uns nur unser eigenes Leben in den nächsten zehn, zwanzig Jahren interessiert, dann sage ich klar: Vergesst den Klimawandel. Dann spielt er keine Rolle. Wenn die einzige Perspektive die ist, mit der Aktie, die ich kaufe, im nächsten Quartal Geld zu verdienen, oder wenn es mir in der Politik nur darum geht, in den nächsten vier Jahren wiedergewählt zu werden, dann ist die kurzfristige Perspektive selbstverständlich eine Option. Es ist keine moralische Haltung, die ich teilen würde, aber man kann sie haben. Es ist aber auch ein Fakt, dass Teile von Grönland und der Antarktis dann schmelzen werden. Dann sind Dutzende, wenn nicht Hunderte von Städten auf der Welt weg. Es gibt sie dann einfach nicht mehr.»

Meine Reisen: Bin ich das Problem, Herr Knutti?

Während Knutti spricht, Kreise zeichnet, Statistiken zitiert, Berichte weiterleitet, denke ich an vergangene und kommende Termine in meiner Agenda.

Den Urlaub in Mexiko von letztem Jahr.

Oder den runden Geburtstag einer Freundin Ende 2020, den wir alle zusammen in New York feiern wollen.

«Da muss ich unbedingt hin», sage ich.

Dass ich nach wie vor ziemlich regelmässig Fleisch esse, das sage ich auch.

«Wenn sich alle so verhalten wie Sie, werden wir die Klimaziele verfehlen», sagt Knutti. «Es geht mir nicht darum, zu moralisieren. Wir befinden uns alle in diesen Widersprüchen. Wenn ich in der Wissenschaft auf dieser Ebene arbeiten will, ist es unumgänglich, dass ich hin und wieder zu Kongressen fliege. Aber dennoch: Was bis 2050 gefordert ist, ist null CO₂. Das heisst nicht: ein bisschen sparen. Null bedeutet null. Den Verbrennungsmotor gibt es dann nicht mehr. Fliegen gibt es nicht mehr, ausser es gelingt uns, synthetisches Kerosin als Alternative auf den Markt zu bringen oder CO₂ zu sequestrieren. Eine Ölheizung gibt es nicht mehr. Wir werden unser Leben umstellen müssen.»

Aber wie sollen wir das tun? Wer wird das richten?

Der Markt? Der Staat? Karl Marx?

Kürzlich, auf einer längeren Wahlkampfrecherche für die Republik, fiel mir auf, wie wenig man eigentlich vom Thema weiss, der durchschnittliche Journalist einerseits; andererseits aber auch und vor allem die durchschnittliche Nationalratskandidatin von links bis rechts, die betreffend Klima im Wahlkampf ziemlich grosse Töne anschlug und im Parlament nun die entsprechenden Gesetze beraten und absegnen soll: Wie war das nochmals damals mit dem Katalysator? Wer hat den eingeführt?

Ja, blöde Frage irgendwie. Klingt sehr unvorbereitet.

Blöd aber auch, dass sie spontan niemand beantworten konnte.

Man sass da, die Journalisten, die Politikerinnen – und mutmasste, wie das damals gewesen sein könnte.

«Man hat kein einziges der Umweltprobleme durch Eigenverantwortung gelöst, durch den freien Markt, durch spontane Innovation», sagt Knutti jetzt.

«Nennen Sie irgendwas», sagt er.

«Den Katalysator?», sage ich.

«Es ist egal, welches Beispiel Sie wählen: Katalysator, Partikelfilter, Kläranlagen, FCKW: Veränderungen gab es nur, wenn der Staat Regeln aufgestellt hat. Früher hat man den Abfall in den Wald geworfen, die Munition in den See und den Atommüll ins Meer. Heute muss der Abfall gesammelt, verbrannt oder recycelt werden. Früher liess man das Abwasser einfach in unsere Seen fließen. Heute braucht jedes Haus Abwasserleitungen. Wer würde Kläranlagen infrage stellen? Gegen die schlechte Luftqualität, das Waldsterben, den sauren Regen wurden Partikelfilter und Katalysatoren eingeführt. Es gibt Luftreinhalteverordnungen, Schadstofftests für Autos. Man kann nicht mehr einfach einen grossen Kamin aufstellen und Rauch rauslassen. Man hat FCKW verboten wegen des Ozonlochs, und Atomkraftwerke dürfen die Wassertemperatur des Flusses, den sie zum Kühlen brauchen, nicht über einen Grenzwert erwärmen, weil sonst die Fische sterben. Man kann argumentieren: Es kann ja auch nicht jeder bauen, wie er will. Oder es kann auch nicht jeder fahren, wie er will. Für die Gesellschaft ergeben diese Regeln durchaus Sinn: Freiheit, solange nicht andere dadurch zu Schaden kommen. Wie man das jetzt immer bewerten will, eine Sache ist mit Blick in die Vergangenheit klar: Ohne Anreize oder Zwang ist im Umweltbereich selten etwas passiert. Wenn die Fossilien wenig kosten, die Schäden vom Steuerzahler übernommen werden und der Staat nicht lenkend eingreift, gehen die Emissionen rauf, rauf, rauf.»

Was tun?

2019 sei ein komplett verrücktes Jahr gewesen, sagt der ETH-Professor: Die Zahl der Anfragen von Medien, für Vorträge und aus der Öffentlichkeit habe sich verfünffacht. Dabei seien die Fakten seit zwanzig Jahren bekannt: «Es ist nicht so, dass die Klimaforschung plötzlich sagt: Jetzt ist Weltuntergang, und deshalb braucht es jetzt Veränderungen. Aus irgendeinem Grund aber, den niemand so ganz genau versteht, hat sich die Wahrnehmung in der Gesellschaft verändert. Die Streikbewegungen waren entscheidend. Und in der Schweiz hat sicher der Hitzesommer 2018 vielen Leuten vor Augen geführt, dass der Klimawandel nicht irgendein Zukunftshirngespinnst ist.»

Die «Weltwoche» wiederum nannte den prominent auftretenden Forscher:

«Klima-Apokalyptiker»,
«Seher»,
«Druiden»,
«Propheten»,
«Papst»,
«modernen Klima-Schamanen»,
«Klima-Alarmisten».

Und die Klimaforschung als solche eine «Intensiv-Mode».

Und das ist ja schon ein interessanter Punkt: Warum eigentlich, Reto Knutti, ist dieses Kollektivproblem Klima zu einer derartigen Links-rechts-Geschichte geworden? Was antwortet er Menschen, die der Meinung sind, wir in der kleinen Schweiz könnten gegen diesen globalen Klimawandel sowieso nichts unternehmen, drum quasi weitermachen?

«Sie sprechen zwei verschiedene Dinge an», sagt Knutti. «Das müssen wir auseinandernehmen.»

Kein Problem. Wir haben Zeit.

Also, erstens.

Klimapolitik sei nicht wegen der wissenschaftlichen Fakten zu einer derartigen Links-rechts-Geschichte geworden, «sondern weil sich die vorgeschlagenen Massnahmen umgehend politisch einreihen. Auf der einen Seite steht ein gesamtgesellschaftliches Handeln mit Regulierungen, welches das Wohl der Gesellschaft als Ganzes und zukünftiger Generationen in den Vordergrund stellt. Es passt in das Narrativ der Linken. Auf der anderen Seite passen die vorgeschlagenen Lösungen überhaupt nicht zu den neoliberalen Strömungen, die auf maximale Freiheit und minimalen Staat setzen, auf Individualisierung und Profitmaximierung. Viele der vorgeschlagenen Lösungen erfordern zwingend, dass man Regeln setzt. Dass es eben schon heute kostet und nicht erst für meine Kinder, und für die dann vermutlich doppelt so viel. Dass es einen Preis hat. Dass quasi bestraft wird, wer verschmutzt. Das ist letztlich eine hochpolitische Unterteilung.»

Bild

«Wenn uns nur unser eigenes Leben in den nächsten zehn, zwanzig Jahren interessiert, dann sage ich klar: Vergesst den Klimawandel.»

Daten aus den USA zeigten, wie die Frage des Klimawandels dort kaum noch eine Frage wissenschaftsbasierter Fakten sei, sondern mehrheitlich eine Ideologiefrage. «Wissenschaft ist zu einer Art Religion geworden: Die Demokraten glauben immer mehr daran, die Republikaner immer weniger», sagt Knutti.

Zweitens.

Der Punkt, dass wir kleinen Schweizer in der grossen Welt sowieso keinen Unterschied machen.

«Die Uno kennt das Prinzip der gemeinsamen, aber differenzierten Verantwortung», sagt Knutti. «Jeder muss einen Beitrag leisten. Und jene, die mehr verursachen, sollen mehr beitragen. Es kann keine Trittbrettfahrer geben. Das Prinzip der Steuerprogression: Jene, die mehr können, sollen mehr beitragen. Die Schweiz verfügt über mehr Intelligenz, mehr Technologie und mehr Geld pro Kopf als vermutlich alle anderen Staaten, also könnte man es auch umdrehen: Wenn wir es nicht machen, wer sonst? Drittens gibt es nicht nur die Emissionsreduktionen und die Anpassungen. Der dritte Pfeiler des Pariser Abkommens ist der Finanzausgleich für die Entwicklungsländer, damit diese ihre Risiken vermindern und jene Fehler vermeiden, die wir begangen haben, und von Anfang an auf saubere Technologien setzen. Hundert Milliarden pro Jahr sind dafür nötig. Hier könnte die reiche Schweiz einen wichtigen Beitrag leisten. Das Netzwerk Alliance Sud hat eine Zahl genannt: Eine Milliarde pro Jahr, meint sie, wäre ein angemessener und realistischer Beitrag.»

Die kleine Schweiz, sagt Knutti, könne natürlich nicht im Alleingang die Welt verändern. «Wir müssen uns keine Illusionen machen», sagt er. «Aber bloss weil wir klein sind zu sagen, es interessiert uns nicht, wäre ein problematisches Signal. Die Schäden im Ausland werden sowieso auf unseren Wirtschaftsstandort zurückfallen. Und wir, der Westen, haben das Problem letztlich verursacht. Also stehen wir auch in der Verantwortung.»

«Die CO₂-Gesetzesrevision ist ungenügend»

Okay, nächste Frage, bevor wir den Experten zum anstehenden CO₂-Gesetz befragen. Und jetzt wird das Niveau womöglich wirklich unterste Schublade, aber trotzdem noch einmal, weil das Thema ja überall so präsent ist, auch gerade und immer wieder in der Republik, und deshalb gewisse Dinge vorausgesetzt sind, obwohl dann am Schluss auch gar niemand so genau Bescheid weiss über die Grundlagen: Wie macht man das eigentlich fest, dass der Klimawandel vom Menschen gemacht ist?

Sobald man sich nämlich journalistisch mit dem Thema befasst, wird man belagert von engagierten Zeitgenossen mit offensichtlichen Google-Alerts, die einen mit seltsamen Youtube-Videos bombardieren, in denen es heisst, dass es den Klimawandel nicht gibt und die Mondlandung im Übrigen auch nicht, und die Kondensstreifen am Himmel würden uns alle vergiften.

«Wir wissen seit über hundert Jahren, dass mehr CO₂ in der Luft zu wärmeren Temperaturen führt. Das ist Grundlagenphysik», sagt Knutti. «Damals, 1896, hat noch niemand vom Klimawandel geredet. Wir wissen heute, dass der Mensch dieses CO₂ durch die Verbrennung von Öl, Gas und Kohle ausstösst. Das kann man messen. Nach dem Ausschlussprinzip wissen wir, dass es keine andere Erklärung für die Erwärmung gibt: Das Problem liegt weder bei der Sonne noch bei den Vulkanen. Und anders als beim Muster der Sonnenaktivität, wo es oben und unten in der Atmosphäre wärmer würde, verhält sich das beim CO₂ anders: wärmer unten, kälter oben. Das CO₂ hat einen Fingerabdruck, den man zuordnen kann.»

Die Studien des Weltklimarats belegen, dass der Mensch zu folgendem Prozentsatz der dominante Faktor beim Klimawandel ist:

95 Prozent.

Die Schweiz steht in Sachen CO₂-Fussabdruck pro Person in der Welt auf:

Platz 14.

Was nun, Herr Knutti?

Der Bundesrat will bis 2050 eine klimaneutrale Schweiz. «Bis spätestens dann müssen wir wegkommen von allen fossilen Brenn- und Treibstoffen. Das heisst: Das erste Etappenziel, bis 2020 eine Reduktion um 20 Prozent CO₂-Ausstoss gegenüber 1990, werden wir vermutlich knapp verfehlen. Wir werden Zertifikate zukaufen müssen.»

Okay, sorry. Stopp.

Zertifikate für Klimakompensation? Ist das nicht komplett verlogen, quasi Ablasshandel?

«Die Idee hinter den Kompensationen ist, dass es dem Klima egal ist, ob ich eine Tonne CO₂ hier vermeide oder in Indien. Wenn es zehnmal mehr kostet, eine Tonne in der Schweiz zu sparen, als in Indien, ist es dann nicht sinnvoller, sie dort zu vermeiden, weil man mit demselben Geld viel mehr erreichen kann? In Indien wird zum Teil noch über dem offenen Feuer gekocht, während man in der Schweiz inzwischen schon sehr effizient ist. In anderen Ländern kann man mit wenig Geld mehr Zertifikate zur Kompensation kaufen. Das ist die Argumentation hinter den Kompensationen und die Sichtweise des rechten Teils des Parlaments, während die linke Seite unter anderem argumentiert, Kompensationen würden das Problem nur aufschieben. Und tatsächlich ist es ja auch so: Wenn wir 2050 welt-

weit auf null sein müssen, sind Auslandkompensationen nicht mehr möglich. Deshalb ist es tatsächlich gefährlich, darauf zu setzen. Man könnte in der Tat sagen, dass wir unsere Verantwortung nicht wirklich wahrnehmen, wenn wir einerseits jedes Jahr Milliarden für fossile Brennstoffe nach Saudiarabien schiessen und gleichzeitig Milliarden für Kompensationen nach Indien.»

Nächste Etappe auf dem Weg in eine klimaneutrale Schweiz: In der Frühlingssession steht die (eigentlich ursprünglich für die Wintersession geplante) Revision des CO₂-Gesetzes an. Der Ständerat hat vorgeschlagen, den Ausstoss bis 2030 zu halbieren, sodass man 2050 sauber auf null ist. Einfache Rechnung. Kein Problem?

«Die Revision, die auf dem Tisch liegt, ist ungenügend», sagt der Klimafachmann.

«Warum?»

«Weil bei einer genauen Betrachtung die Rechnung nicht aufgeht. Von den 50 Prozent Reduktion passieren nur zwei Drittel in der Schweiz. Dann sind wir letztlich bloss bei 30 Prozent effektiver Inlandreduktion, oder einem Prozent ab 2030 pro Jahr. Der Rest ist Auslandkompensation. Wenn die Kompensation wegfällt, heisst das: 70 Prozent Inlandreduktion in den verbleibenden zwanzig Jahren ab 2030, also 3,5 Prozent pro Jahr. Wir verlagern das Problem auf die nächste Generation.»

Offensichtlich nur Probleme, Probleme, Probleme.

Zu wenig Konsequenz. Zu wenig Wille. Oder auch die Frage der sozialen Verträglichkeit: Kaufen sich die Reichen einfach frei? Was rettet uns? Zum Beispiel verdreifachte Flugpreise? Aber ist das politisch mehrheitsfähig? Oder eben Alternativen durch Innovation? Bei der Fliegerei zum Beispiel die Umstellung auf synthetisches Kerosin, für das es irgendwann dringend einen Markt geben muss, weil wir ansonsten, wenn man die Uno-Ziele ernst nimmt, 2050 ein komplettes Grounding erleben?

Nie mehr shoppen in New York.

«Wenn die Airlines jetzt anfangen, in alternative Treibstoffe zu investieren, dann wird das nicht passieren. Aber sie müssen es halt wirklich wollen oder dazu gezwungen werden.»

Und wo sind eigentlich all die Nachtzüge hin?

Und wie beeinflusst das eine Politik, wenn der Präsident der grössten Schweizer Partei gleichzeitig Präsident der Dachorganisation der Schweizer Brennstoffhändler ist?

«Es ist schon so», sagt Knutti dann. «Das neue CO₂-Gesetz mit gewissen Preisaufschlägen hier und Lenkungsabgaben dort ist aus wissenschaftlicher Sicht ungenügend. Denn damit werden wir die Klimaziele nicht erreichen. Aber es ist aus politischer Sicht womöglich das Beste, was heute realisierbar und potenziell mehrheitsfähig ist. Deshalb ist es trotzdem begrüssenswert, weil die meisten angerichteten Schäden eben nicht rückgängig zu machen sind. Lieber anfangen und nachbessern, als gar nichts tun.»

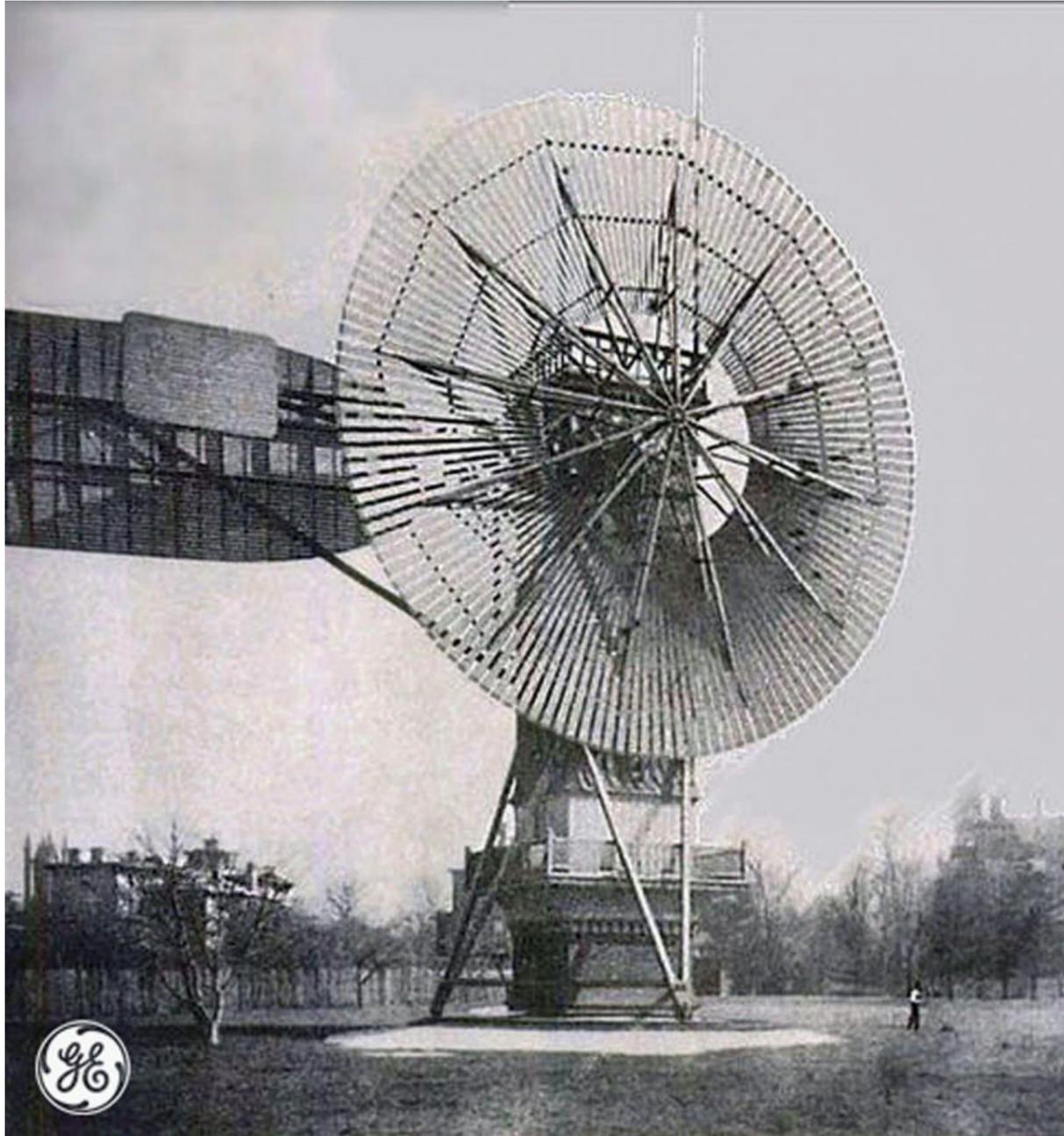
Einerseits müsse man sich trotz der Wahlen keine Illusionen machen, weil die realpolitische Ebene eine andere sei als die wissenschaftliche Realität. Andererseits gebe es viele Möglichkeiten, einen Anfang zu machen. «Wir

wussten noch nie so viel über das anstehende Problem», sagt Knutti. «Und wir hatten noch nie so viele Möglichkeiten, es anzugehen.»

Letztlich sei es für ihn als Wissenschaftler nicht die Aufgabe, Politik zu machen. «Aber es ist unsere Aufgabe, zu kommunizieren, was Sache ist. Nicht einfach Zahlen zu liefern, welche die Leute ratlos zurücklassen. Sondern die Zahlen auch zu erklären. Wenn das nicht mehr stattfinden kann, kann man sich fragen, wozu es uns gibt. Wenn wir der Meinung sind, dass es eine potenzielle Gefahr gibt, sollte es nicht nur erlaubt sein, die Gesellschaft darauf hinzuweisen. Wir sollten dazu verpflichtet sein.»

Und dann erzählt der ETH-Klimaforscher von Italien.

Am frühen Morgen des 6. April 2009 bebte im italienischen L'Aquila die Erde. Das Städtchen wurde zerstört. 308 Menschen starben. Der Staat stellte daraufhin mehrere Seismologen vor Gericht. Sie hätten die Bevölkerung nicht genügend vor den Gefahren gewarnt. «Das will ich mir nicht vorwerfen lassen müssen», sagt Knutti.



ENERGIE

General Electric, Charles F. Brush, erste stromerzeugende Windturbine, 1888

Simon Schmid, «Auf lange Sicht - Eine kleine Energiegeschichte», in: Digitales Magazin Republik vom 1. Juli 2019, Zürich 2019

Auf lange Sicht

Eine kleine Energiegeschichte

Wie die Schweiz in nur 100 Jahren zum Vielverbraucher fossiler Treibstoffe wurde – und wie sich der Energiehaushalt des Landes in den nächsten Jahrzehnten verändern muss.

Von Simon Schmid, 01.07.2019

Staubsauger, Sportwagen, Stereoanlagen und auf Sommertemperaturen geheizte Wohnungen – im tiefsten Winter: Das 20. Jahrhundert hat den Lebensstandard in Industrieländern auf unglaubliche Weise angehoben.

Wenig bringt dies so deutlich zum Ausdruck wie der Energieverbrauch, der hinter den vielen Errungenschaften in diesem Jahrhundert steht und der die Explosion der Konsummöglichkeiten und Annehmlichkeiten ermöglicht hat.

Zum Beispiel in der Schweiz. 1910, also vor etwas über 100 Jahren, lag der Energieverbrauch bei rund 100 Petajoule. Zur Erklärung: Ein Joule ist die Energiemenge, die nötig ist, um eine Schokoladentafel einen Meter zu heben, und ein Petajoule ist ein Joule mit 15 Nullen hintendran. Also ziemlich viel.

Wenn diese Zahl bereits 1910 ziemlich gross erscheint, dann ist sie für 2017 exorbitant. Der Energieverbrauch beträgt heute über 800 Petajoule. Zum Vergleich: Mit dieser Energiemenge könnte man das gesamte Wasser im Bodensee 1,7 Kilometer weit über die Nordostschweiz hochheben.

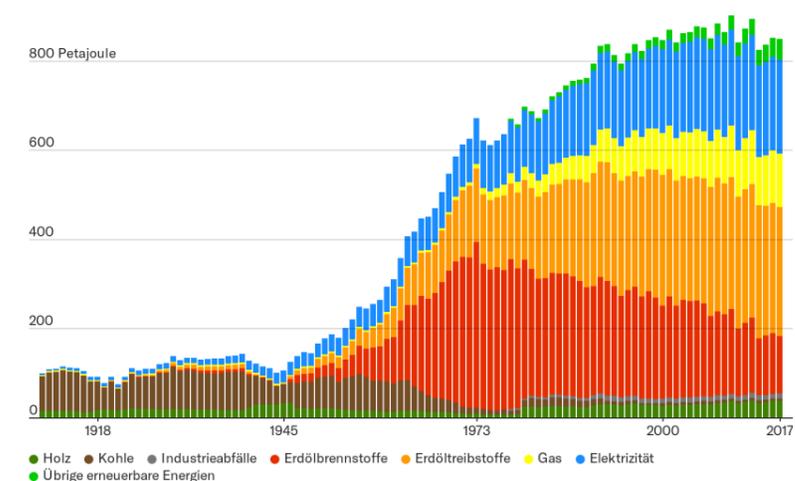
Mix der Vergangenheit

Bereits bei einem kleinen Land wie der Schweiz sprechen wir also über gewaltige Grössen. Woher all diese Energie kommt, darüber gibt die folgende Grafik Aufschluss. Sie stammt aus der [Gesamtenergiestatistik des Bundes](#) und zeigt den Energiemix der Schweiz im historischen Verlauf.

Fossile Energien wie Kohle, Erdöl und Erdgas sind darauf in Braun-, Rot- und Gelbtönen dargestellt, erneuerbare Energien in Grün. Die Elektrizität (primär aus Wasser- oder Kernkraftwerken) ist blau abgebildet. Man sieht, wie über die Zeit immer mehr Energieträger zum Verbrauchsmix hinzugekommen sind.

Aufgefächert

Energieendverbrauch in der Schweiz



Quelle: BFE. Ohne Flugverkehr. Umstellung der Messmethode um 1980. Der Endverbrauch ist die Energiemenge, welche die Energielieferanten an die Energiekonsumenten liefern oder die Energiekonsumenten direkt der Natur für ihren Eigenbedarf entnehmen oder aus ihr erzeugen.

Was lernen wir aus der Grafik? Im Rückblick lässt sich die Energiegeschichte der Schweiz über die letzten gut 100 Jahre in drei Phasen einteilen:

1. Das Kohlezeitalter

Der Anbruch dieser Phase reicht über den linken Horizont der obigen Grafik hinaus und liegt im ausgehenden 18. Jahrhundert, also an der Schwelle zur Industrialisierung.

Zuvor hatte die Gesellschaft ihren Energiebedarf vorwiegend mit Holz (zum Heizen), Wasser und Wind (in Mühlen) und Tieren (als Antriebskräfte) gedeckt, also letztlich mit Biomasse und erneuerbaren Energien (wobei die Abholzung bereits ein ernsthaftes Nachschubproblem verursachte).

Mit der Industrialisierung begann die Schweiz, grosse Mengen an Steinkohle zu importieren. Diese lieferte Energie für zahlreiche neue Industriezweige: Blechnereien, Bierbrauereien, Baustoffherstellung, Metallverarbeitung. Die Eisenbahn, eine der bedeutendsten Neuerungen im 19. Jahrhundert, transportierte die Kohle und wurde zugleich durch sie angetrieben.

Als es im Ersten Weltkrieg erstmals zu Lieferengpässen kam (und in der Folge auch der Energieverbrauch einbrach), begann die Schweiz mit dem Bau von Staudämmen zur Stromproduktion. Das erste Wasserwirtschaftsgesetz stammt aus dieser Zeit. Danach wurde die Elektrifizierung der Eisenbahn angegangen, womit sich der Energiemix etwas diversifizierte.

Ein Ende fand das Kohlezeitalter allerdings erst mit dem Zweiten Weltkrieg.

2. Der Ölboom

Bis zu diesem Zeitpunkt war der Energieverbrauch trotz rasanter technischer Entwicklung nicht wesentlich gestiegen – 1939 wurde nur 40 Prozent mehr Energie verbraucht als 1910. Nach 1945 explodierte die Energiewirtschaft jedoch regelrecht. Verantwortlich dafür war ein einziger Rohstoff: Erdöl.

In den Haushalten löste das Erdöl die Kohle als primären Brennstoff ab. Die Zentralheizung wurde zum Standard. Zugleich kam das Automobil auf. Das Land wurde mit Strassen zugepflastert, 1955 wurde bei Luzern das erste Autobahnstück eröffnet. Innerhalb von knapp drei Jahrzehnten stieg der Energieverbrauch massiv – um den Faktor sechs, auf über 600 Petajoule.

Auch die Wasserkraft wurde in dieser Zeit ausgebaut. 1965 entstand in Grande Dixence die nach wie vor höchste Staumauer der Schweiz. Angesichts des Ölbooms blieb der Anteil der Elektrizität am Energiemix jedoch relativ klein. 1973 machte sie erst ein Sechstel des Gesamtverbrauchs aus.

1973 war auch das Jahr, in dem es zur Ölkrise kam. Das Datum markiert eine Zäsur und beschliesst die zweite Phase in der Schweizer Energiegeschichte.

3. Die Umschichtung

Öl ist knapp und kann teuer werden – diese Lehre zog man in vielen Ländern, als die arabischen Opec-Staaten 1973 ein erstes Mal den Hahn zudrehten. Das Ereignis wirkte sich auch auf die Energiewirtschaft in der Schweiz aus.

Erstens begann ab diesem Jahr der Verbrauch von Öl als Brennstoff zu sinken. Die Effizienz von Heizungen und die Isolierung von Häusern wurde erstmals zum Thema. Der Bund begann mit der Erarbeitung einer Gesamtenergiekonzeption mit Schwerpunkten auf Sparen, Forschen und Diversifizieren. Man schaute sich nach Alternativen zum Erdöl um – und fand diese im Erdgas, dessen Verbrauch über die nächsten Jahrzehnte stetig hochging.

Zweitens wurde die Stromproduktion noch intensiver vorangetrieben. Beinahe, das erste Atomkraftwerk, war bereits 1969 ans Netz gegangen. Bis 1984 folgten weitere Kernkraftwerke in Mühleberg, Gösgen und Leibstadt. So wuchs der Anteil der Elektrizität am hiesigen Energiemix weiter.

Allerdings deckt die Schweiz auch ein halbes Jahrhundert nach der ersten Ölkrise noch immer nur ein Viertel ihres Energiebedarfs mit Strom ab. Der Grund dafür ist, dass die energetische Umschichtung in einem wesentlichen Sektor nicht stattfand: beim Verkehr. Pro Person wurden immer mehr Kilometer gefahren. Benzinmotoren wurden zwar etwas effizienter, doch die Automotoren wurden kräftiger. Benzin blieb das Antriebsmittel der Wahl.

Bis heute ist deshalb der Anteil der Erdöltreibstoffe am Energiemix der Schweiz steigend. Und dies, obwohl der Gesamtenergiebedarf des Landes sich ab der Jahrtausendwende auf einem stabilen Niveau eingependelt hat: bei gut 800 Petajoule, der erwähnten Bodensee-Weltall-Beförderungs- menge.

Mix der Zukunft

Die Jahrzehnte seit dem Ölschock lassen sich im Rückblick somit als Phase begreifen, in denen ein zaghafter Umbau des Energiesystems begonnen hat. Das erste Element dieses Umbaus ist: ein grösserer Fokus auf Effizienz.

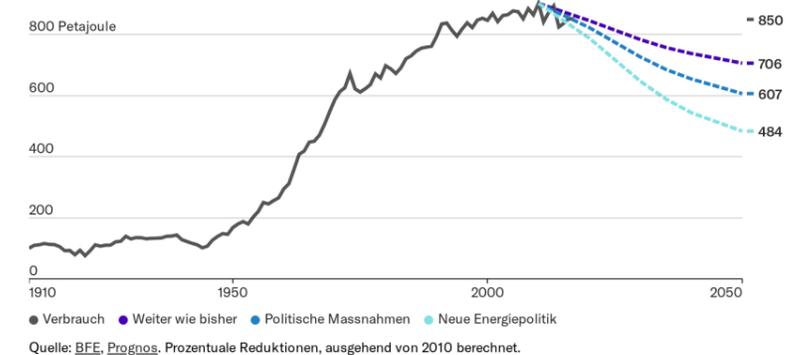
Trotz steigender Einwohnerzahlen und wachsender Wirtschaft verbraucht die Schweiz seit der Jahrtausendwende nicht mehr Energie (zumindest auf dem Boden: Der Flugverkehr ist in dieser Bilanz nicht inbegriffen). Diese Entkopplung dürfte sich in den kommenden Jahrzehnten akzentuieren.

Das wird deutlich, wenn man sich die Energieperspektiven 2050 des Bundes ansieht – eine bereits leicht in die Jahre gekommene Prognose aus dem Jahr 2012, die in ihren Grössenordnungen aber nach wie vor aussagekräftig ist.

In dieser Publikation wurden drei politische Szenarien durchgerechnet: «Weiter wie bisher», «Politische Massnahmen», «Neue Energiepolitik». Die drei Szenarien gehen bis im Jahr 2050 davon aus, dass sich der gesamte Energieverbrauch jeweils um gut 20, gut 30 und knapp 50 Prozent gegenüber dem Höhepunkt von 2010 reduziert. Zu diesem Rückgang sollen einerseits der technische Fortschritt und andererseits die Energiepolitik beitragen.

Schubumkehr

Energieverbrauch bis 2050



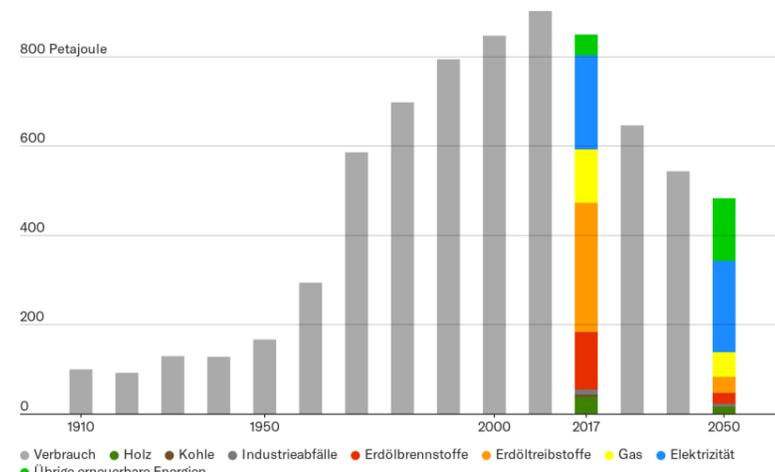
Ebenso wie im 19. und 20. Jahrhundert eine Vielzahl von neuen Industrien den Energieverbrauch in die Höhe schnellen liessen, dürften also im 21.-Jahrhundert diverse Effizienzverbesserungen den Verbrauch senken.

Angesprochen sind etwa neue Materialien im Wohnungsbau und energieoptimierte Heiz- und Kühlsysteme, effiziente Leuchtmittel, der Verzicht auf Elektroheizungen oder Prozessoptimierungen in der Industrie. Auch der Umstieg auf die Elektromobilität bringt grosse Energieersparnisse.

Fürs Klima relevant ist jedoch, ob dieses erste Element des Energieumbaus – der sinkende Gesamtverbrauch – am Ende wirklich auch mit dem zweiten Element einhergeht: dem Ausstieg aus fossilen Energien. Hier stellen die letzten Energieperspektiven den Zustand des 2012 politisch denkbaren, nicht aber des für die Zukunft Wünschbaren dar. Selbst im besten Szenario machen Erdöl und Gas noch immer knapp 25 Prozent des Verbrauchs aus.

Umschichtung

Energiemix heute und in Zukunft



Quelle: BFE, Prognos. 2050 = Szenario Neue Energiepolitik.

Was es braucht, damit der fossile Anteil nicht auf ein Viertel fällt, sondern gegen null geht, werden wir im Verlauf des Sommers noch ausleuchten.

In der Zwischenzeit bleibt der historische Blick zurück – und das Fazit, dass es bei der Energie in relativ kurzer Zeit enorme Umwälzungen geben kann. Der Stoffwechsel der Zivilisation verändert sich fortwährend, getrieben durch technische Entwicklungen, aber auch durch bewusste Entscheidungen der Politik. Die Gewinnung von Energie und der Umgang damit waren schon immer Angelegenheiten, die die Allgemeinheit betrafen – nicht nur das Individuum.

Wir müssen davon ausgehen, dass dies auch in Zukunft so sein wird.

In einer früheren Version des Artikels wurde der Anhub des Bodensees mit 1700 statt 1,7 Kilometer angegeben. Wir entschuldigen uns für den Umrechnungsfehler.

Die Daten

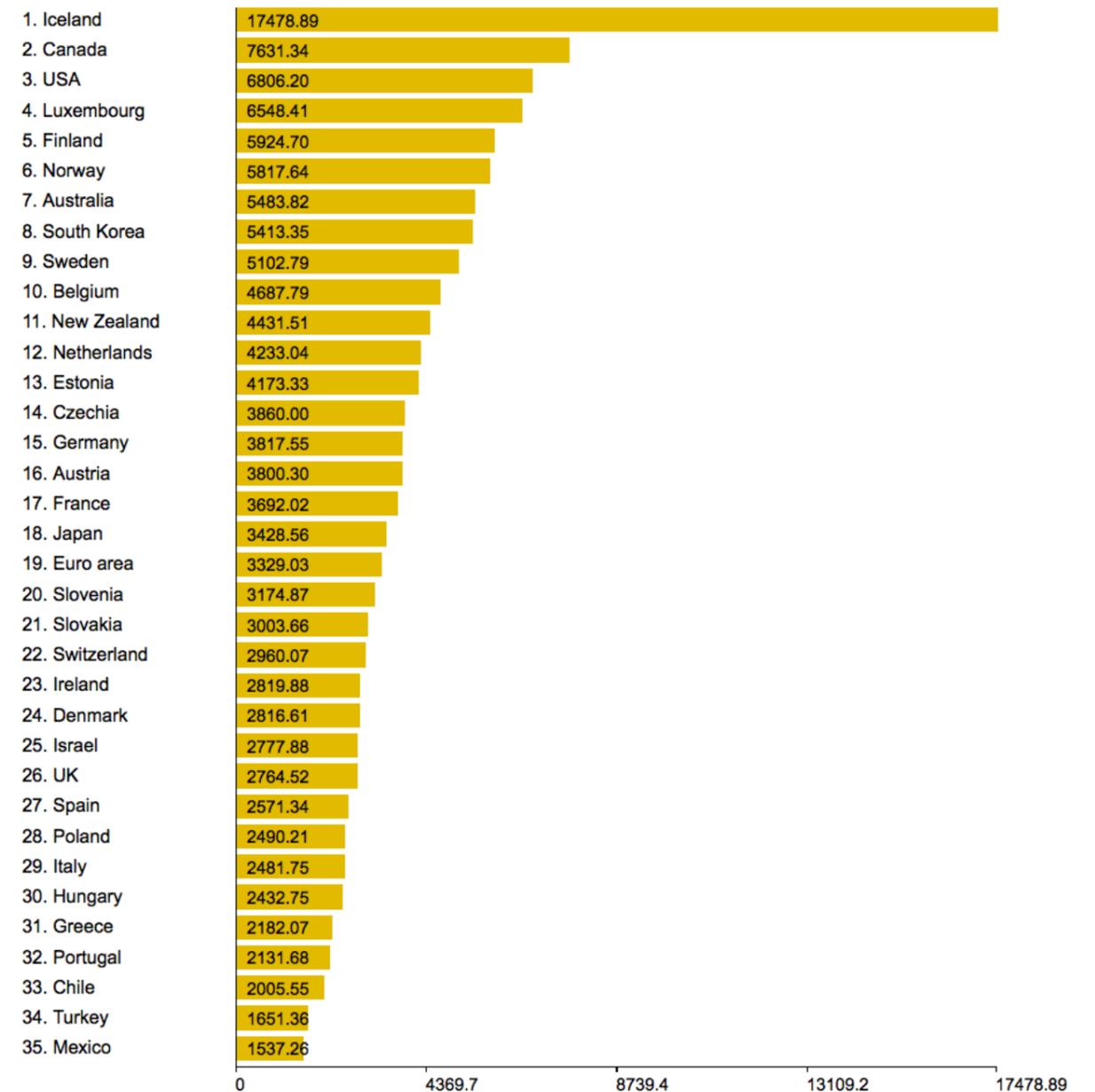
Sie stammen einerseits aus der Gesamtenergiestatistik des Bundes und andererseits aus den Energieperspektiven 2050, die das Büro Prognos 2012 im Auftrag des Bundesamts für Energie erstellt hat. Ein Update soll 2020 publiziert werden. Eine hervorragende Abhandlung zur Energiegeschichte der Schweiz findet sich im Historischen Lexikon der Schweiz.

Was verändert sich auf die lange Sicht?

Haben Sie Anregungen zu unseren Datenbeiträgen? Wünschen Sie sich bestimmte Themen? Diskutieren Sie im Forum der Rubrik «Auf lange Sicht».

ENERGIEVERBRAUCH PRO KOPF, 2015

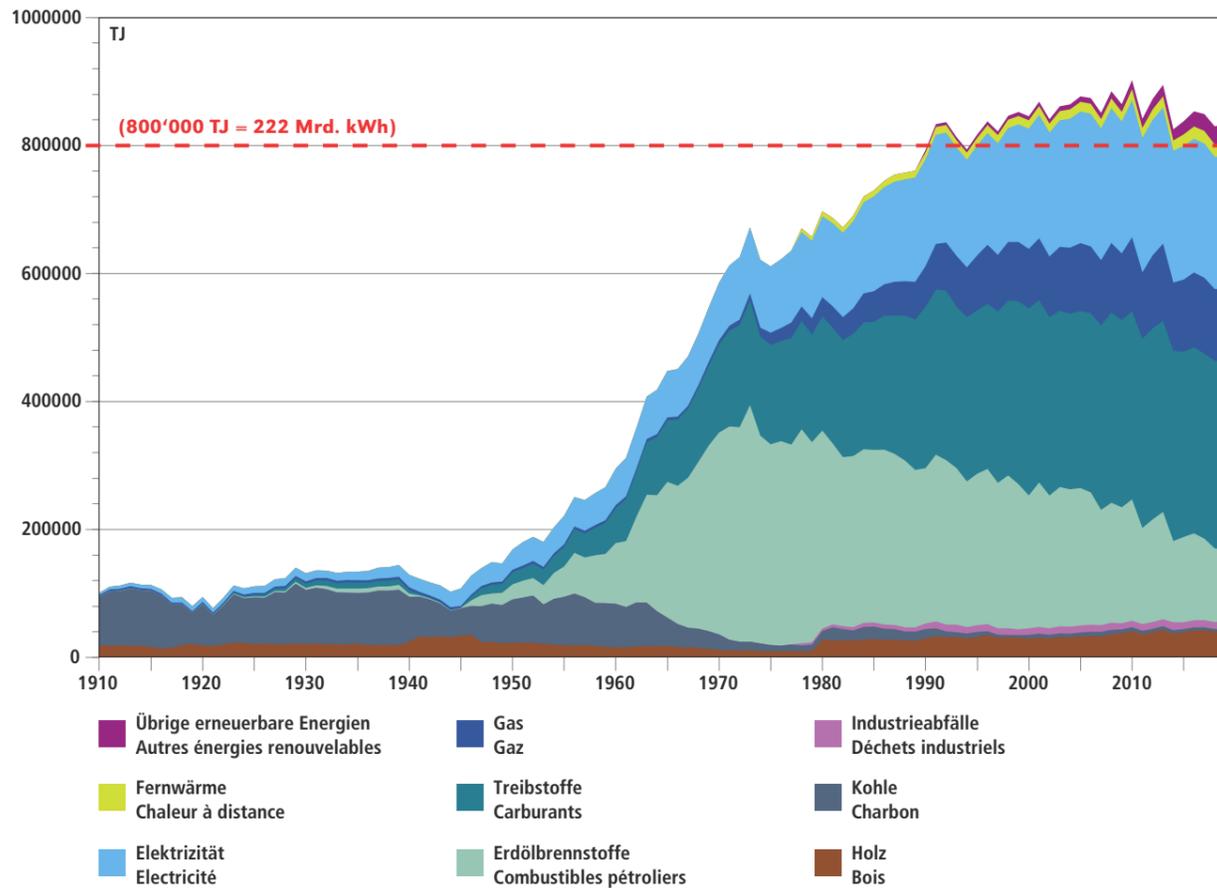
Kilogramme Öläquivalent, Quelle: Die Weltbank, TheGlobalEconomy.com)



Bemerkung: 1kg Öl ≈ 41,868 MJ
 ≈ 11,63 kWh
 ≈ 10'000 kcal

Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019

Fig. 1 Endenergieverbrauch 1910–2019 nach Energieträgern
Consommation finale 1910–2019 selon les agents énergétiques



BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig. 1)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig. 1)

Tab. 2 Aufteilung des Endverbrauchs nach Verbraucherguppen
Répartition de la consommation finale selon les groupes de consommateurs

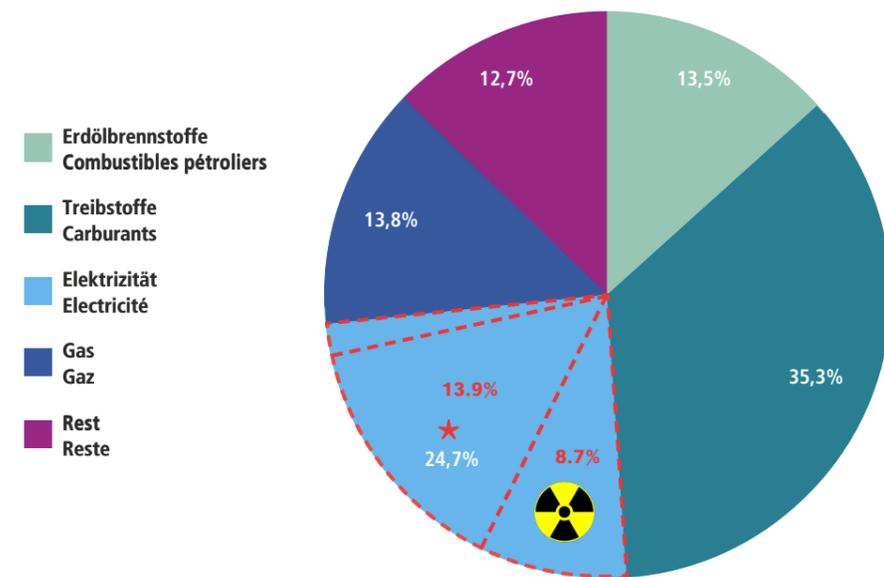
Verbraucherguppe	Endverbrauch in TJ Consommation finale en TJ			Veränderung in % Variation en %		Anteil in % Part en %			Catégorie de consommateurs
	2017	2018	2019	2018	2019	2017	2018	2019	
Haushalte	236 850	224 070	226 870	-5,4	1,2	27,8	27,0	27,2	Ménages
Industrie ¹	156 100	150 720	150 320	-3,4	-0,3	18,4	18,1	18,0	Industrie ¹
Dienstleistungen ¹	140 020	133 840	134 400	-4,4	0,4	16,5	16,1	16,1	Services ¹
Verkehr ²	308 000	314 020	314 290	2,0	0,1	36,2	37,8	37,7	Transport ²
Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft ¹	9 610	8 770	8 330	-	-	-	-	-	Différence statistique, y c. l'agriculture ¹
Total	850 580	831 420	834 210	-2,3	0,3	100	100	100	Total

¹ exklusive interner Werkverkehr ² transports sur terrain ou route privés exclus
² inklusive interner Werkverkehr ² transports sur terrain ou route privés compris

(834'210 TJ = 232 Mrd. kWh)

BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Tab. 2)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (tabl. 2)

Fig. 2 Aufteilung des Endverbrauchs nach Energieträgern (2019)
Répartition de la consommation finale selon les agents énergétiques (2019)



100% (Alle) = 232 Mrd. kWh
24,7% (Elektrizität) = 57 Mrd. kWh

BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig. 2)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig. 2)

*Anteil Elektrizität 24,7%
aber nur 13,9% wird aus Wasserkraft erzeugt.
(Kernkraft 8,7%, Sonstiges 2,1%)

Tab. 3 Energiewirtschaftliche Kennziffern
Chiffres-clés en rapport avec l'énergie

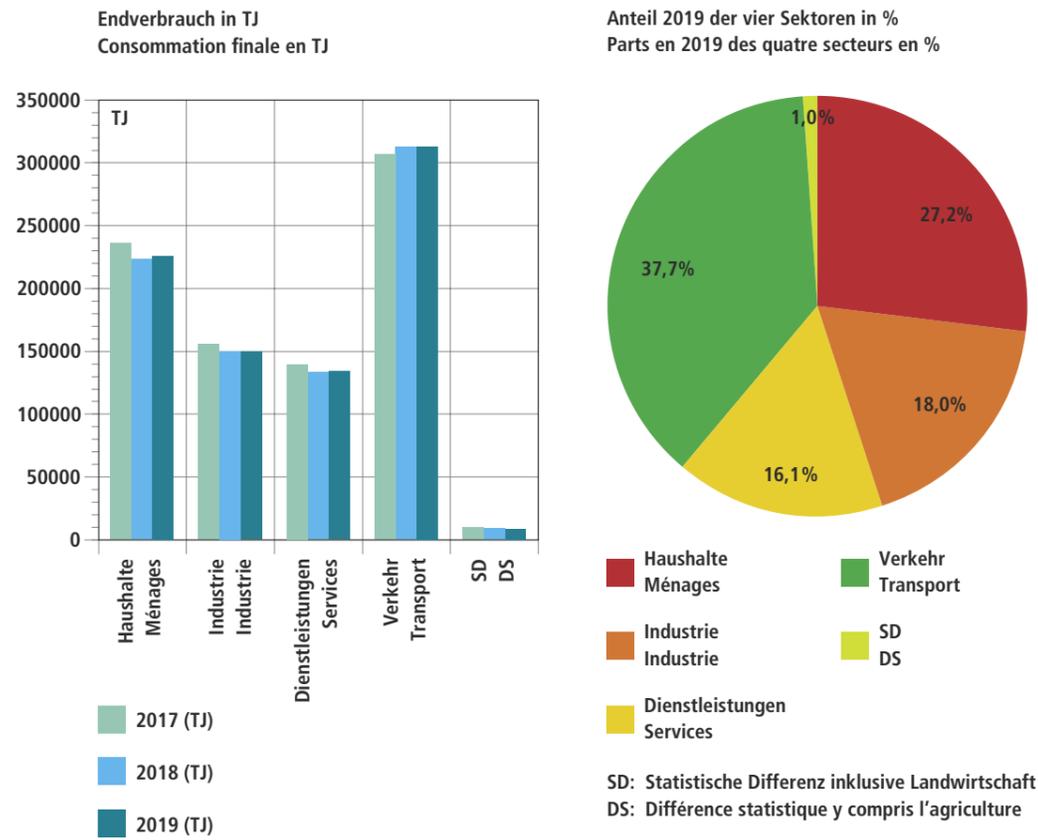
	2018	2019	
Endverbraucher Ausgaben für Energie ¹			Dépenses des consommateurs finaux d'énergie ¹
Mio. Fr.	28 770	28 170³	millions de fr.
% des BIP (nominal)	4,2 %	4,0 %	% du produit intérieur brut (nominal)
Saldo Energie-Aussenhandel ²			Solde commerce extérieur en matière d'énergie ²
Mio. Fr.	-6 563	-6 470	millions de fr.
Auslandabhängigkeit in %	75,0 %	74,6 %	Dépendance vis-à-vis de l'étranger en %
Index der Konsumentenpreise (2010 = 100), real			Indice des prix à la consommation (2010 = 100), réel
Heizöl	111,7	105,7	Huile de chauffage
Benzin	100,8	98,3	Essence
Gas	117,1	121,5	Gaz
Elektrizität	102,2	103,9	Electricité
Endverbrauch pro Kopf (2010 = 100)	84,5	84,2³	Consommation finale/tête (2010 = 100)
Industrielle Produktion (Index 2010 = 100)	113,5	117,5	Production industrielle (indice 2010 = 100)

¹ Schätzung
² -: Einfuhrüberschuss, +: Ausfuhrüberschuss
³ provisorisch

¹ estimation
² -: excédent d'importation, +: excédent d'exportation
³ provisoire

BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Tab. 3)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (tabl. 3)

Fig. 3 Aufteilung des Energie-Endverbrauchs nach Verbrauchergruppen
Répartition de la consommation finale d'énergie selon les groupes de consommateurs

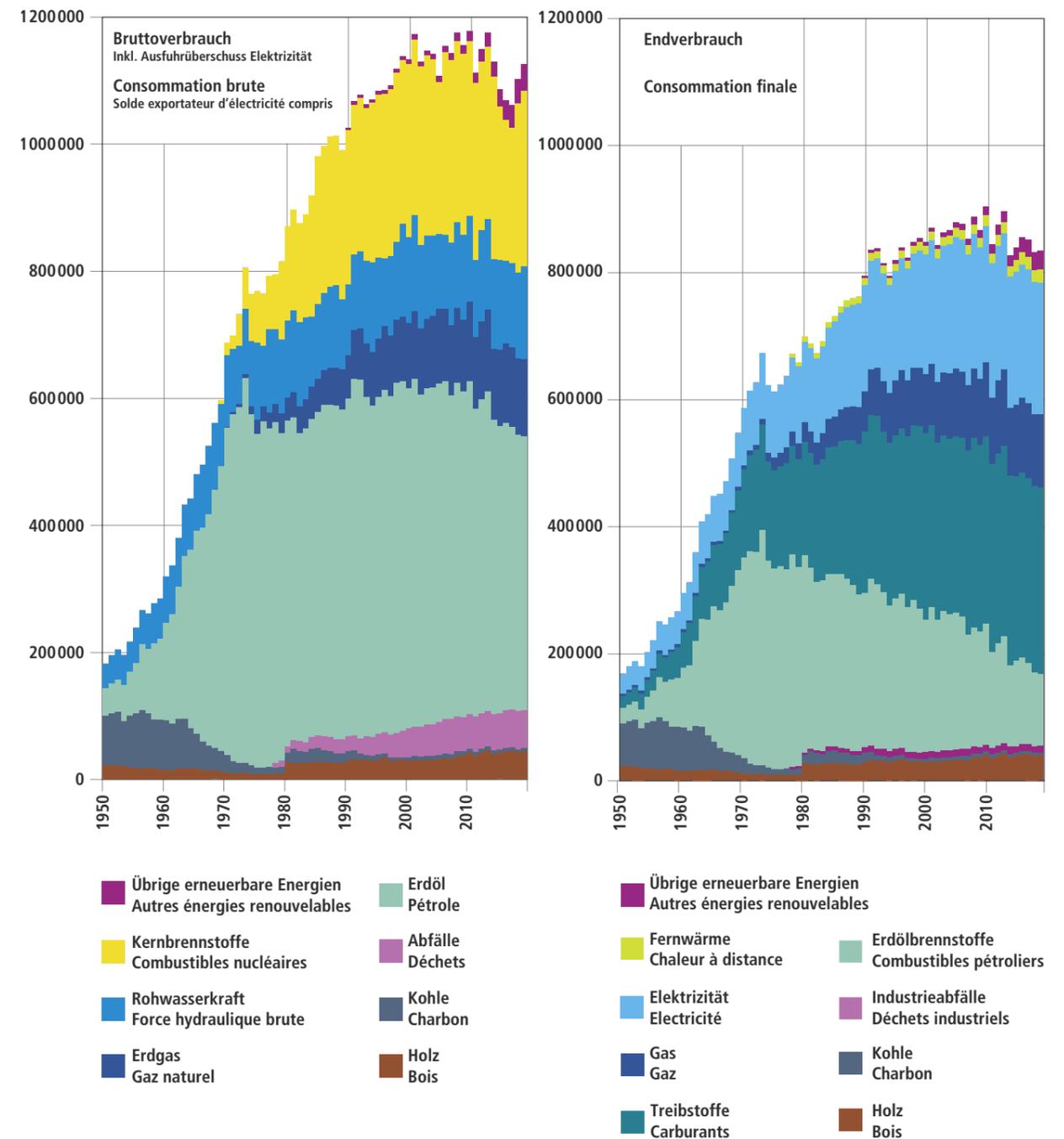


BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig. 3)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig. 3)

Der Verbrauch der biogenen Treibstoffe nahm gegenüber dem Vorjahr wiederum zu (+3,7%) und deren Anteil am gesamten Absatz von Benzin und Diesel lag 2019 bei 3,7%. Neben der Befreiung der biogenen Treibstoffe von der Mineralölsteuer wirkt sich auch deren Anrechnung als CO₂-Kompensationsmassnahme verbrauchssteigernd aus.

La consommation de biocarburants a affiché une nouvelle hausse par rapport à l'année précédente (+3,7%). En 2019, les biocarburants représentaient 3,7% des ventes globales d'essence et de diesel. L'augmentation constatée s'explique par le fait que les carburants biogènes sont exonérés de l'impôt sur les huiles minérales et qu'ils peuvent être utilisés comme mesures de compensation du CO₂.

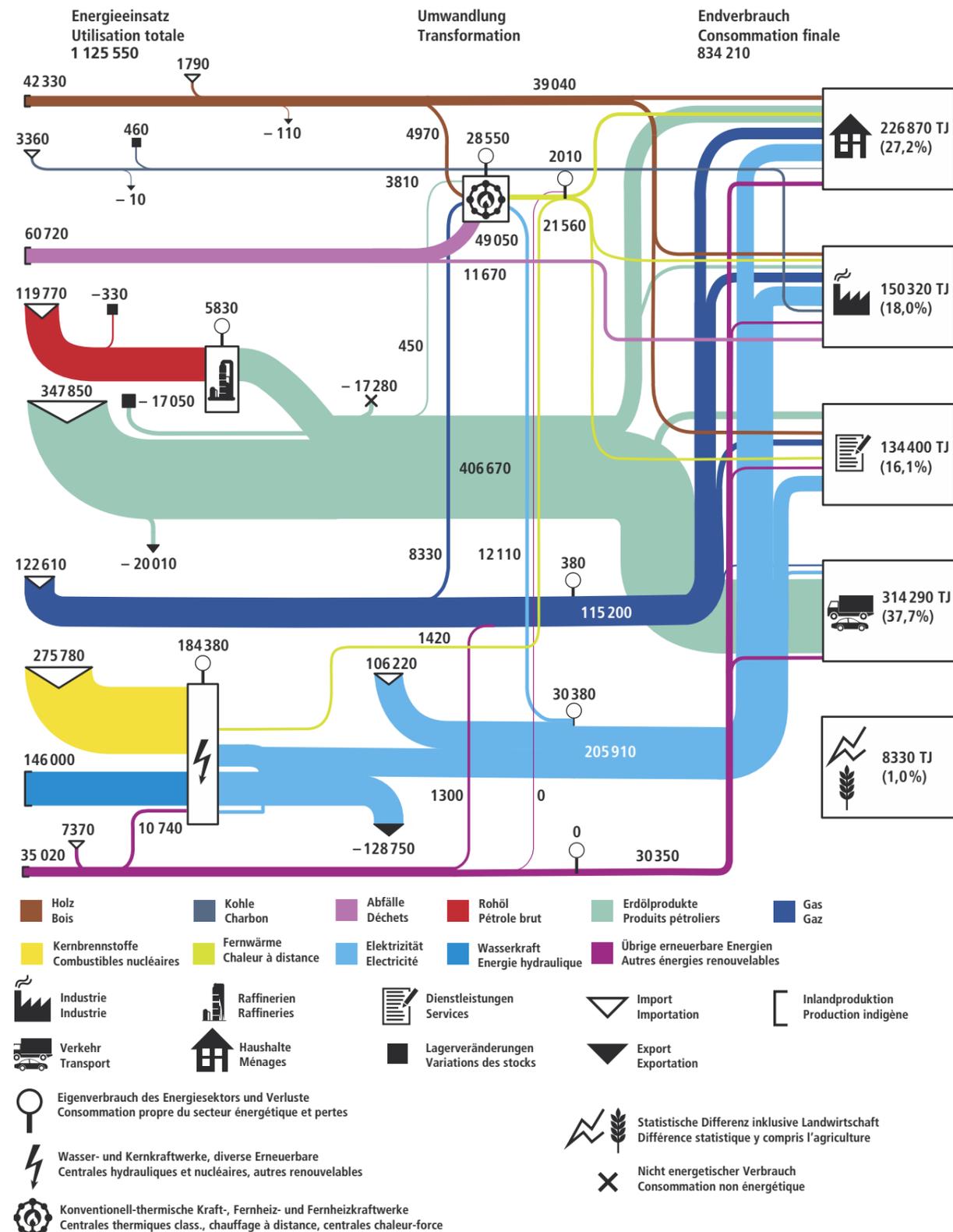
Fig. 4 Energieverbrauch 1950–2019 in TJ
Consommation d'énergie 1950–2019 en TJ



BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig. 4)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig. 4)

Fig. 5 Detailliertes Energieflussdiagramm der Schweiz 2019 (in TJ)
Flux énergétique détaillé de la Suisse en 2019 (en TJ)

BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig. 5)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig. 5)



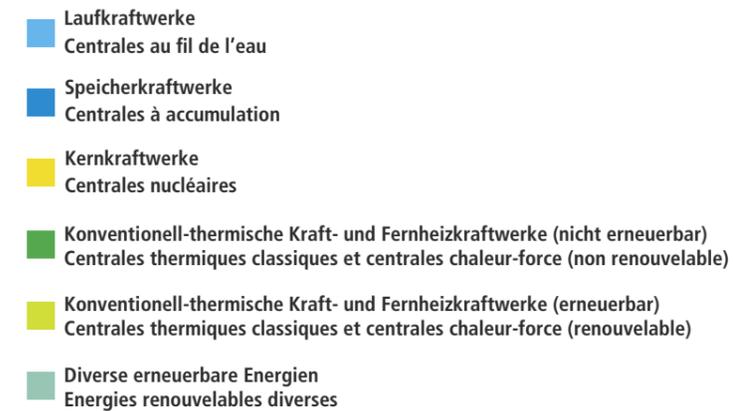
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>
[Quellenzugriff: 22.06.21]

Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019

An der gesamten Elektrizitätsproduktion waren die Wasserkraftwerke zu 56,4% (davon Laufkraftwerke 24,6%, Speicherkraftwerke 31,8%), die Kernkraftwerke zu 35,2% sowie die konventionell-thermischen und erneuerbaren Anlagen zu 8,4% beteiligt.

Les centrales hydroélectriques ont fourni 56,4% de la production totale d'électricité (centrales au fil de l'eau: 24,6%, centrales à accumulation: 31,8%), les centrales nucléaires 35,2%, les centrales thermiques conventionnelles et les installations renouvelables 8,4%.

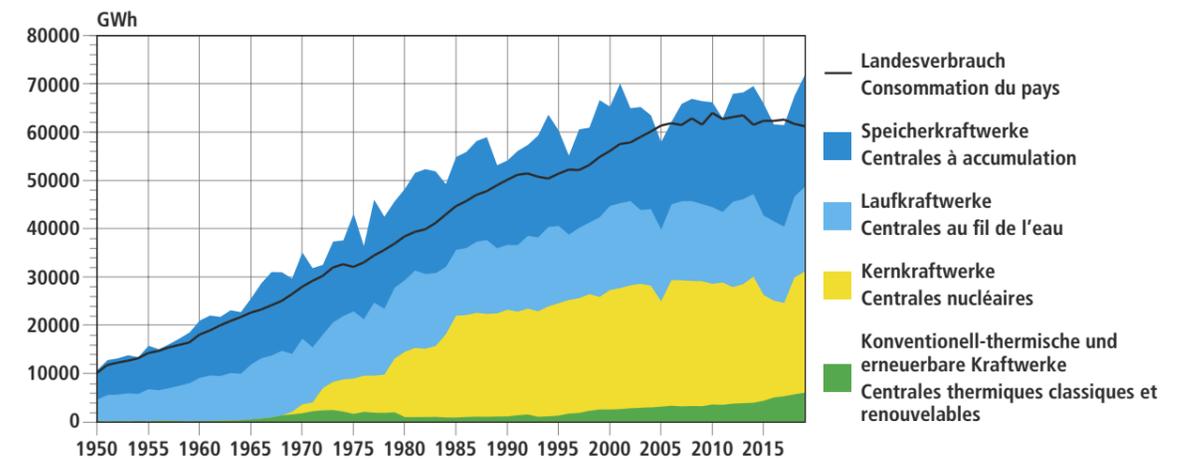
Fig. 1 Stromproduktion 2019 nach Kraftwerk-kategorien
Production d'électricité en 2019 par catégories de centrales



BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019 (Fig. 1)
OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2019 (fig. 1)

*Kernkraft ca. 20 Mrd. kWh
= ca. 9% vom gesamten Energieverbrauch

Fig. 9 Entwicklung der einzelnen Erzeugerkategorien seit 1950
Evolution des différentes catégories de production depuis 1950



BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019 (Fig. 9)
OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2019 (fig. 9)

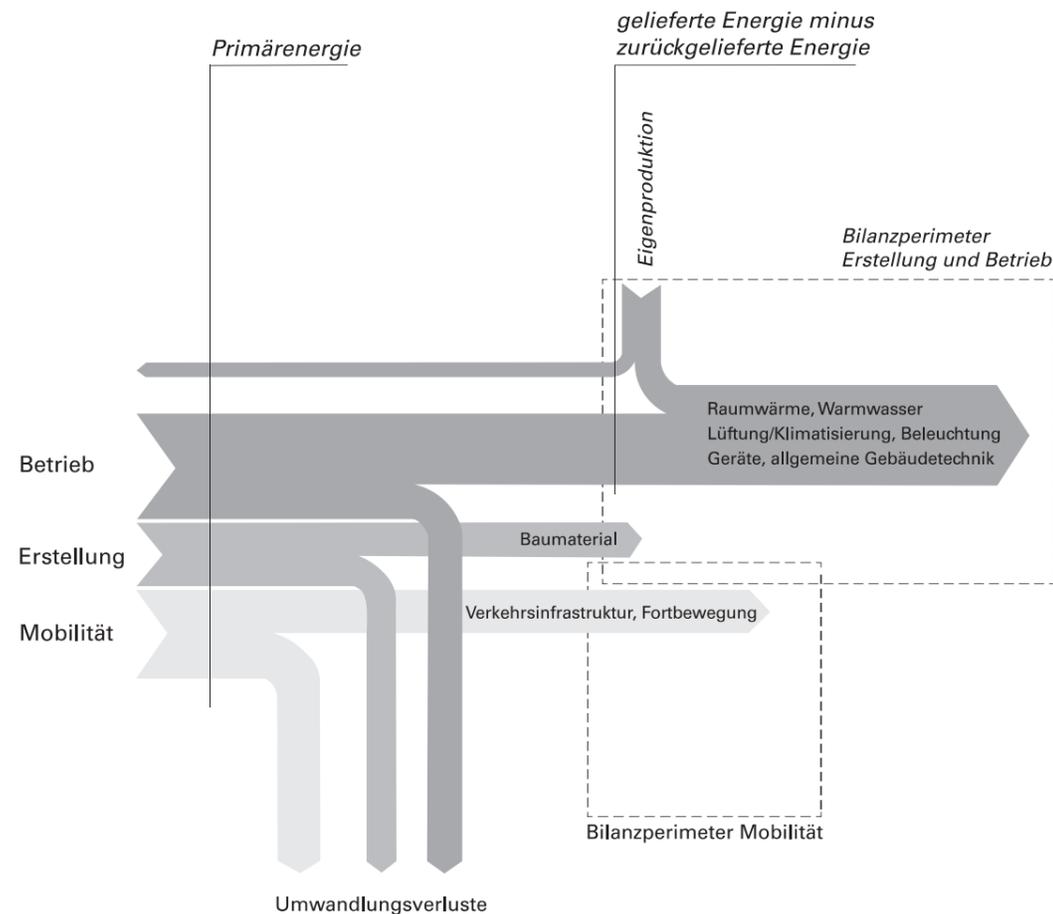
Anmerkungen (rot) Professur Gigon/Guyer

<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/elektrizitaetsstatistik.html>
[Quellenzugriff: 14.03.22]

PRIMÄRENERGIE- UND TREIBHAUSGASBILANZ

Im Zentrum dieses Merkblatts stehen die Bilanz für die nicht erneuerbare Primärenergie und die entsprechende Bilanz der Treibhausgasemissionen eines Gebäudes und der Mobilität über den ganzen Lebenszyklus. Die Energieflüsse sind in Figur 1 vereinfacht dargestellt. Die Berechnung erfolgt, entgegen dem Energiefluss, von rechts nach links.

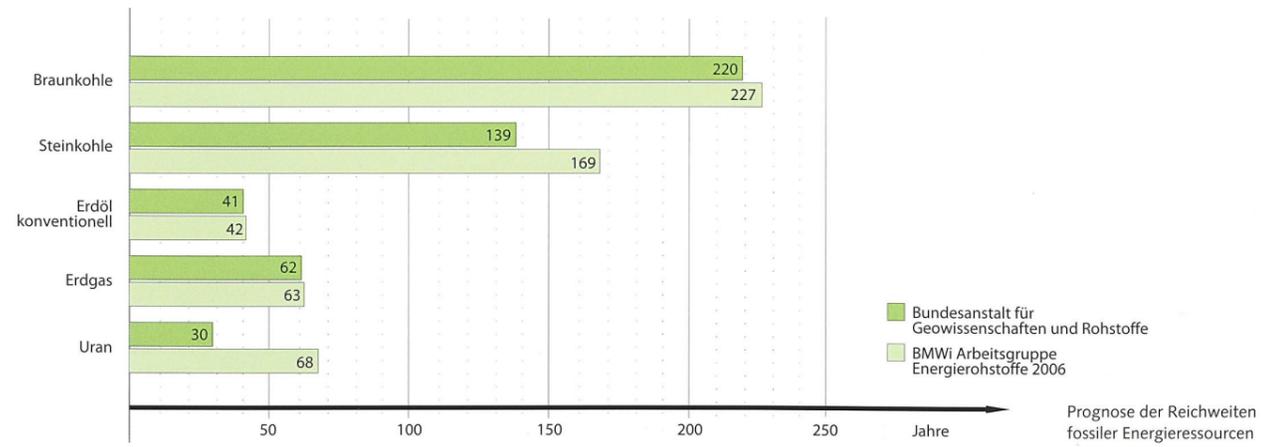
Figur 1 Energiefluss von der Primärenergie bis zum Nutzen



- 1.1.2 Der Bereich **Erstellung** umfasst die Erstellung, allfällige Ersatzinvestitionen und die Entsorgung eines Gebäudes. Die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen der Bauteile und der gebäudetechnischen Anlagen werden aufgrund ihrer Amortisationszeit in Werte pro Jahr umgerechnet. Damit ist der Energiebedarf für die Erstellung direkt vergleichbar mit dem Energiebedarf für den Betrieb und die Mobilität.
- 1.1.3 Der Bereich **Betrieb** wird unterteilt in die Verwendungszwecke Wärme, Lüftung/Klimatisierung, Beleuchtung, Geräte und die allgemeine Gebäudetechnik.
- 1.1.3.1 Der Verwendungszweck **Wärme** umfasst die Energie für Raumheizung und Warmwasser, inkl. der elektrischen Hilfsenergien. Der Wärmebedarf wird auf der Stufe Nutzenergie berechnet und mittels Nutzungsgrad, der die Umwandlungs-, Speicher- und Verteilverluste berücksichtigt, auf Endenergie umgerechnet. Der Nutzenergiebedarf kann ganz oder teilweise durch Eigenproduktion erneuerbarer Energie (Solarthermie, Umweltwärmenutzung) innerhalb der Bilanzgrenzen gedeckt werden.
- 1.1.3.2 Der Verwendungszweck **Lüftung/Klimatisierung** umfasst die Energie für Lüftung, Kühlung, Entfeuchtung und Befeuchtung. Der Klimakältebedarf wird auf Stufe Nutzenergie berechnet und mittels Nutzungsgrad, der die Umwandlungs-, Speicher- und Verteilverluste berücksichtigt, auf Endenergie umgerechnet.
- 1.1.3.3 Der Verwendungszweck **Beleuchtung** umfasst die elektrische Energie für Beleuchtung von Innen- und Aussenräumen. Diese Energie ist Endenergie.
- 1.1.3.4 Der Verwendungszweck **Geräte** umfasst die elektrische Energie für Geräte, welche der Nutzung der Räume dienen. Bei den Gebäudekategorien Lebensmittelgeschäft und Restaurant sind unter Geräte auch die gewerbliche Kälte für Kühlmöbel und Kühlräume sowie die Küchengeräte enthalten. Bei der Gebäudekategorie Verwaltung sind unter Geräte auch Serveranlagen enthalten, welche ausschliesslich der Nutzung im Gebäude dienen.
- 1.1.3.5 Der Verwendungszweck **allgemeine Gebäudetechnik** umfasst die elektrische Energie für Anlagen, welche dem ganzen Gebäude und nicht der Nutzung einzelner Räume dienen (Waren- und Personenaufzüge, Transformatoren, Schliessanlagen, Brandschutzanlagen, Storenantriebe usw.).
- 1.1.4 Der Bereich **Mobilität** umfasst die Energie für die standortabhängige Alltagsmobilität und die zugehörige Infrastruktur (Fahrzeuge, Strassen und Gleisanlagen). Die Alltagsmobilität umfasst alle Ortsveränderungen in Zusammenhang mit alltäglichen Aktivitäten bis zu einer Unterwegszeit von 3 Stunden innerhalb der gewohnten Umgebung.¹ Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie für die Mobilität und die entsprechenden Treibhausgasemissionen werden personenbezogen berechnet und mittels Standardpersonenflächen auf flächenbezogene Werte umgerechnet.
- 1.1.5 Der gesamte Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie bzw. die Treibhausgasemissionen werden dann verglichen mit den Zielwerten des SIA-Effizienzpfads Energie, die ebenfalls in diesen Grössen ausgedrückt sind.

¹ Die nicht alltägliche Mobilität (beispielsweise ein Tagesausflug oder eine Reise mit Übernachtung) ist weitgehend unabhängig vom Gebäudestandort und wird im SIA-Effizienzpfad Energie deshalb nicht berücksichtigt. Der Anteil der nicht alltäglichen Mobilität an der Gesamtmobilität ist aber nicht zu unterschätzen: Würde auch sie eingerechnet, würden sich die Werte für die Gesamtmobilität um rund 30 % erhöhen (abhängig von der Gebäudekategorie, vgl. dazu SIA 2039).

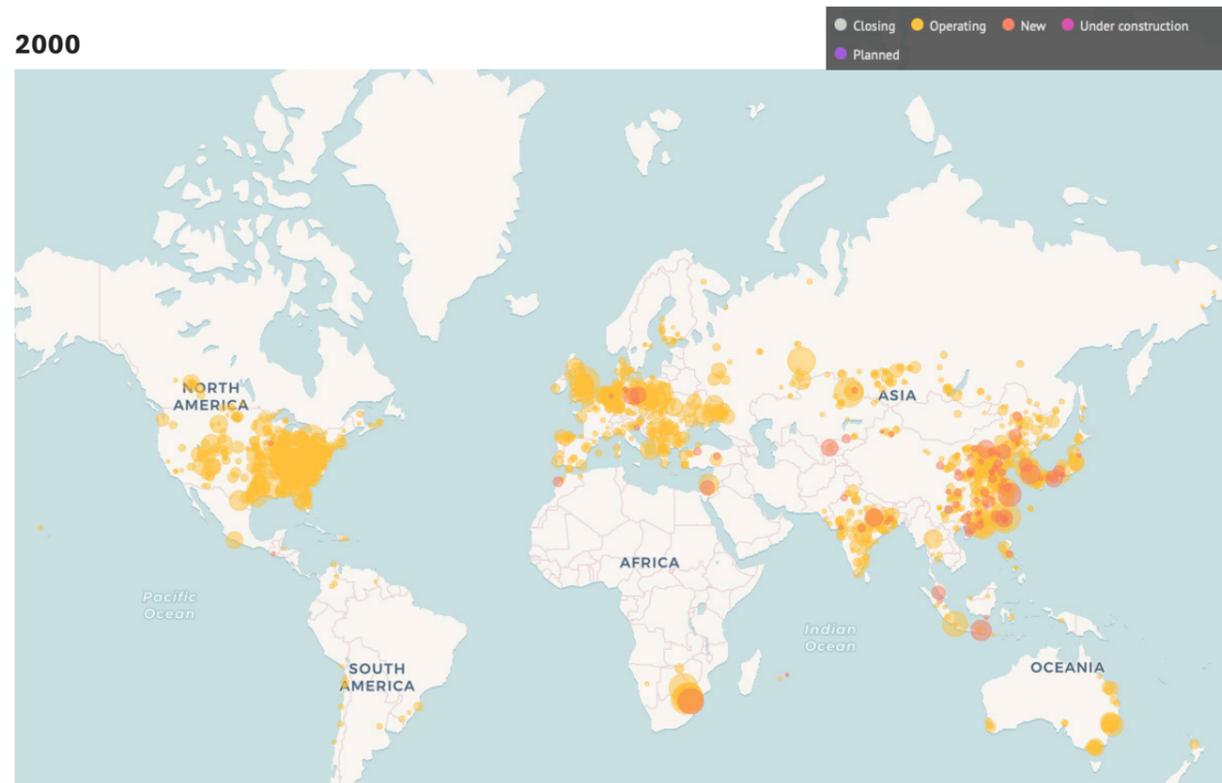
Prognosen für Reichweiten von Energieressourcen



Manfred Hegger, Caroline Fafflok, Johannes Hegger, Isabell Passig, Aktivhaus - Das Grundlagenwerk, München 2013, S.61

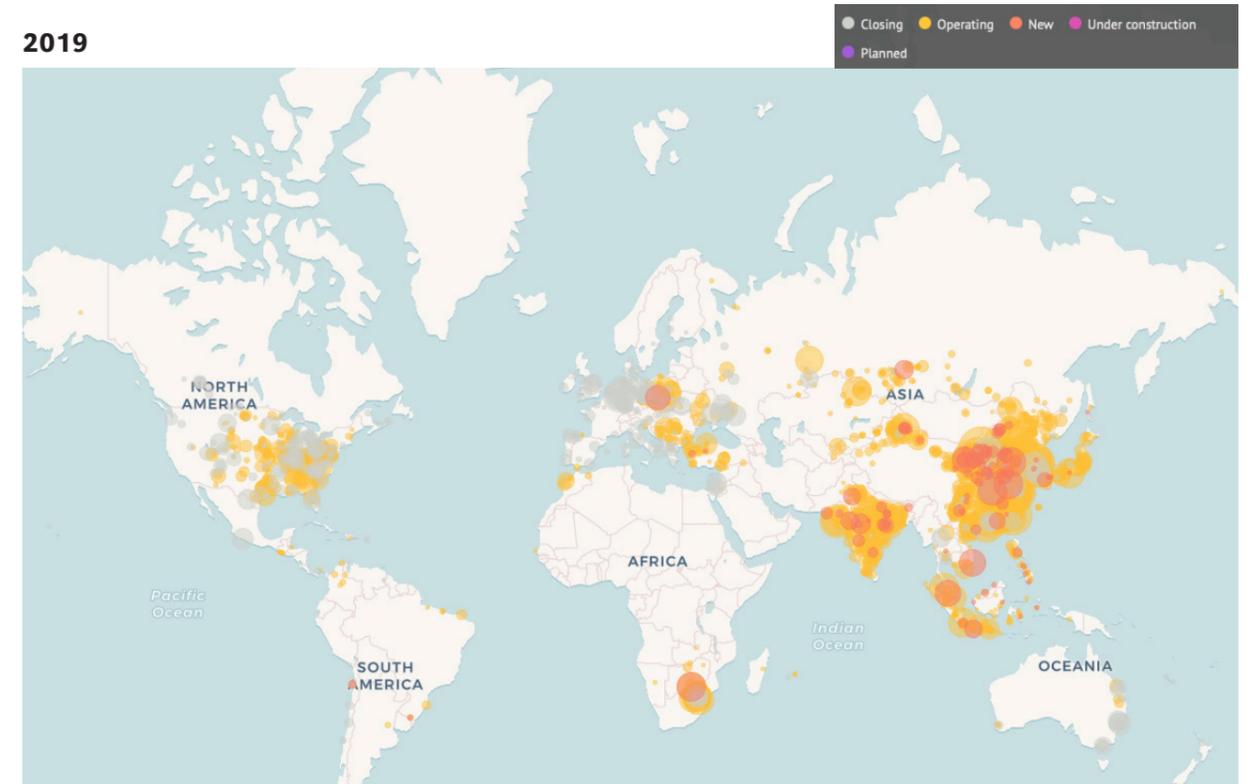
Mapped: The world's coal power plants

2000

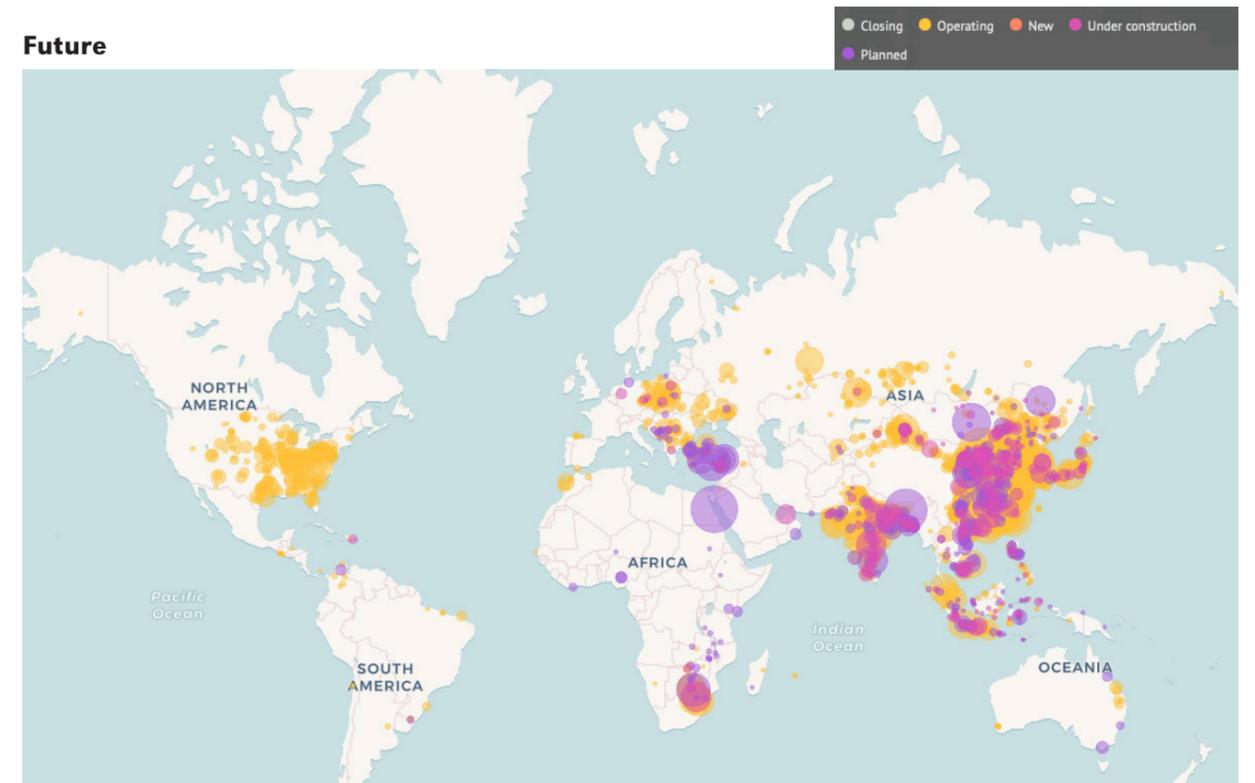


<https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants> [10.03.22]

2019



Future



<https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants> [10.03.22]

**Greenhouse gas emissions due to electricity generation with different technologies
(in g CO₂eq/kWh), (Christian Bauer, Stefan Hirschberg) 2017)**

Technology	New plant (g CO ₂ eq/kWh)	
	Today	2050
Hydro – Run of river	5 - 10	5 - 10
Hydro – Storage dam	5 -15	5 - 15
Small hydro	5 - 10	5 - 10
Wind – Switzerland	8 - 27	5 - 30
Wind - Offshore	8 - 16	5 - 20
Photovoltaic: Multi-crystalline	39 - 69	7 - 45
Monocrystalline	62 - 109	11 - 71
Thin film	25 - 43	8 - 30
Wood combustion & gasification	10 - 120	10 - 100
Agricultural biogas plants	150 - 450	Not available
Deep geothermal	Not available	27 - 84
Nuclear energy	10 - 20	5 -40
Gas combined cycle (GCC)	387 - 400	346 - 363
GCC with CO ₂ sequestration	Not available	70 -100
Gas cogeneration: 10 kW _{el}	583 - 633	546 - 601
1000 kW _{el}	459 - 500	423 - 468
Fuel cells: 1 kW _{el}	560 - 780	440 – 570
300 kW _{el}	370 - 650	340 - 450
Coal plants (foreign)	823 – 1022	734 - 850
Coal plants with CO ₂ sequestration	Not available	34 - 214



MATERIAL- UND ENERGIEFLÜSSE



«Unsere Klimabilanz, zerlegt in Einzelteile», Daniel Bütler (Republik)

Auf lange Sicht

Unsere Klimabilanz, zerlegt in Einzelteile

Die Ernährung ist ein Problem, Textilien sind ein Schlammassel – und der Bauboom belastet die Umwelt. Der Schweizer Klima-Fussabdruck wird grösser, wenn man genauer rechnet.

Von Daniel Bütler, 22.02.2021

Viele Schweizer glauben, sie leben in einem Klima-Musterland. Bei klimaschädlichen Emissionen denken sie an die rauchenden Kaminschlote im Ruhrpott oder den Smog von Delhi – aber nicht an ihr trautes Zuhause.

Doch diese Erzählung ist höchstens zur Hälfte wahr. Sie blendet die Treibhausgasemissionen im Ausland aus, die wir durch die Konsumgüter und Rohstoffe, die wir importieren, mitverursachen. Tatsache ist: Diese Auslandemissionen übersteigen die Emissionen im Inland deutlich.

Das ganze Bild

Um Emissionen genau zu quantifizieren, müssen wir die Bilanz aller Materialien anschauen, die wir verbrauchen. Und zwar vom Rohstoff bis zum Endprodukt: vom Ölfeld in Saudiarabien bis zum Auspuff eines Offroaders am Zürichberg, vom Sojafeld in Brasilien bis auf den Teller der Betriebskantine in Liestal und von der Mine im Kongo bis zum Recyclingwerk im Berner Oberland.

Genau dies hat die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) in einer Studie gemacht. Die Ergebnisse zeigen: Unser Treibhausgas-Fussabdruck entlang der gesamten Materialkette ist mehr als doppelt so hoch wie die Inlandemissionen, die wir gemäss Klimakonvention ausweisen.

Die tatsächliche Belastung ist höher

Jährliche Emissionen, pro Kopf

Bundesamt für Umwelt

5,4 Tonnen
im Inland, gemäss Pariser Konvention

Studie der Empa

11,6 Tonnen
konsumbedingt, entlang der Kette

Daten für 2018, Angaben in CO₂-Äquivalenten. Quelle: Empa, Bafu.

Zur Studie

Die Studie «[Match Synthese](#)» ist die bisher detaillierteste Berechnung des Treibhausgas-Fussabdrucks. Sie wurde im Auftrag des Bundesamts für Umwelt erstellt und liegt der Republik exklusiv vor. Das Papier analysiert anhand von 18 Kategorien die Material- und Energieflüsse der schweizerischen Volkswirtschaft und berechnet den Treibhausgasausstoss sowie die gesamte Umweltbelastung.

So weit, so gut – dass die Schweiz Emissionen gewissermassen ins Ausland auslagert, ist nicht neu. Auch die Dimensionen sind bereits weitgehend bekannt. Das besondere an der Studie ist: Sie schlüsselt erstmals im Detail auf, welches Material wie viel zum Treibhausgas-Fussabdruck beiträgt.

1. Benzin, Diesel, Kerosin

Klimakiller Nummer eins sind die Emissionen aus den Treibstoffen, die unsere Motoren verbrennen. Sie sind seit 30 Jahren kaum gesunken. Mehr als die Hälfte davon geht aufs Konto der Personenwagen (in denen im Schnitt nur 1,6 Personen sitzen); fast ein Fünftel stammt aus der Luftfahrt.

Mobilität ist der grösste Posten

Jährliche Emissionen, pro Kopf

● Treibstoff ● Rest

2,9
Tonnen

Quelle: Empa.

Treibstoffemissionen sind auch [im inländischen Inventar](#) ein grosser Posten. Doch dort wird, so wie in der Klimakonvention üblich, der internationale Flugverkehr nicht mit einberechnet. In der Empa-Studie, die den ganzen Effekt des Schweizer Konsums berücksichtigt, sind sie deshalb noch grösser.

2. Heizöl und Erdgas

Dicht hinter den Treibstoffen folgen Öl und Gas. Sie werden im Wesentlichen zum Heizen eingesetzt. Rund zwei Drittel der Gebäude werden mit Erdöl oder Erdgas beheizt – das ist Europarekord. Immerhin: Bei Neubauten kommen inzwischen kaum noch fossile Heizungen zum Zug.

Fossile Brennstoffe für Heizungen

Jährliche Emissionen, pro Kopf

● Brennstoff ● Rest

2,2
Tonnen

Quelle: Empa.

Fast die Hälfte unseres gesamten Fussabdrucks entfällt damit auf die direkte Verbrennung fossiler Energieträger. Davon wegzukommen ist die dringlichste Aufgabe. Konzentrieren wir uns also auf die grossen Baustellen:

weg von Benzin- und Dieselaautos, weg von Öl- und Gasheizungen. Und die Flugbranche sollte nach dem Ende der Pandemie idealerweise auf dem Boden bleiben.

3. Ernährung

Auch die Ernährung macht einiges aus. Sie verursacht knapp einen Fünftel der Treibhausgasemissionen, die eine Schweizer Konsumentin im Durchschnitt verantwortet (eingerechnet ist dabei auch die Nahrung für Tiere). Das ergibt fast gleich viele Emissionen wie durch fossile Brennstoffe.

Fleisch belastet das Klima

Jährliche Emissionen, pro Kopf



Quelle: Empa.

Vor allem die Fleischproduktion schadet dem Klima. Mehr als 50 Kilo pro Jahr essen Schweizer pro Kopf im Jahresdurchschnitt, Tendenz langsam abnehmend. Doch ausgerechnet hier hält sich der Staat vornehm zurück. Verbindliche Vorschriften zur Treibhausgasreduktion fehlen für die Landwirtschaft und die Lebensmittelbranche.

Zusammengezählt haben wir damit schon 60 Prozent des Fussabdrucks zusammen. Die restlichen 40 Prozent teilen sich auf viele verschiedene Materialien auf.

4. Metalle

Primär geht es hier um Stahl und Eisen, daneben um Aluminium und andere Metalle wie Kupfer, Zink, Chrom, Silber. Sie werden in Minen aufwendig abgebaut und mit hohem Energieaufwand geschmolzen und transportiert. Die Treibhausgasemissionen fallen dabei vorwiegend im Ausland an.

Energieintensive Metallherstellung

Jährliche Emissionen, pro Kopf



Beitrag einzelner Metalle



Quelle: Empa.

Metalle stecken etwa als tragende Strukturen in Bauwerken. Sie werden für die Herstellung von Auto- und Nutzfahrzeugkarosserien benötigt und sind auch in vielen Geräten enthalten, die wir im Haushalt oder im Garten verwenden. Der grösste Teil davon ist importiert – es geht hier also um graue Emissionen.

5. Baustoffe

Auch andere Materialien, die wir im Hoch- und Tiefbau benötigen – also für den Bau von Häusern und Strassen – sind CO₂-intensiv. Die Zementherstellung alleine trägt rund 3 Prozent zum Treibhausgas-Fussabdruck bei. Der grösste Teil davon fällt in den sechs Zementwerken der Schweiz an.

Materialisierte Emissionen

Jährliche Emissionen, pro Kopf



Der Ausstoss nach Werkstoff

Beitrag einzelner Baustoffe



Quelle: Empa.

Hinzu kommen Materialien wie Kies, Sand, Asphalt, Glas, Holz: Auch hier verursachen Herstellung und Bereitstellung schädliche Emissionen. Um das Klima zu schonen, muss die Baubranche umdenken: Statt Beton sollten vermehrt klimaschonende Materialien zum Zug kommen, und statt Gebäude plattzuwalzen, müsste mehr umgebaut werden. Denn insgesamt verursacht die Baubranche rund 10 Prozent der Treibhausgasemissionen.

6. Weitere Materialien

Selbst für Klimaexpertinnen bietet die Empa-Studie Überraschungen. Auf den weiteren Rängen tauchen nämlich Materialien auf, die noch kaum auf dem Radar sind.

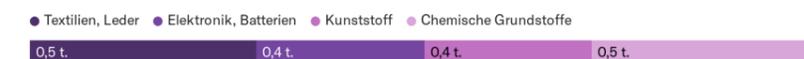
Zum Beispiel Textilien: Sie sind für fast 5 Prozent unseres Fussabdrucks verantwortlich. Mehr als 30 Kilo Kleider und Schuhe kauft der Durchschnittsschweizer pro Jahr (ein Fünftel davon landet in der Kleidersammlung). Das Verarbeiten und Färben von Shirts und Hosen verschlingt enorme Energie. Denken Sie daran, wenn Sie beim Onlineshop Ihre Frühlingsgarnitur bestellen.

Konsum verursacht Emissionen

Jährliche Emissionen, pro Kopf



Beitrag einzelner Materialien



Quelle: Empa.

Einen überproportionalen Klima-Fussabdruck hinterlassen elektronische Geräte – Computer, Tablets, Handys und Konsolen. Trotz geringem Gewicht sind sie mit gut 3 Prozent für dieselbe Menge Treibhausgase verantwortlich wie die viel geschmähten Kunststoffe. Das liegt vor allem an den Akkus, deren Herstellung enorm viel Energie benötigt. Und schliesslich stehen auch noch diverse industrielle Basischemikalien in der Klimabilanz.

Für all diese Materialien gilt: Jeder Franken, der in der Schweiz für ein Konsumgut ausgegeben wird, belastet irgendwo auf der Welt das Klima.

7. Strom

Last, but not least: die Elektrizität. Sie trägt fast 6 Prozent zum Fussabdruck bei. Schuld daran ist in erster Linie der Stromimport. Zwar verursacht die Produktion im Inland relativ wenige CO₂-Emissionen. Doch aus unseren Steckdosen fliesst auch ausländischer Kohlestrom, der die Bilanz vermiest.

Keine ganz saubere Sache

Jährliche Emissionen, pro Kopf



Quelle: Empa.

Das Beispiel Strom verdeutlicht: Nicht alles liegt in unserer Hand.

- Gemäss der Empa-Studie sind wir für rund die Hälfte unserer Emissionen direkt verantwortlich – über die Wahl von Lebensmitteln, Transportmitteln und generell unseren Konsum.
- Auf die andere Hälfte haben wir nur einen indirekten Einfluss: Als Mieterinnen haben wir die Gasheizung im Keller nicht zu verantworten, und dass der Kanton Strassen baut, kann ich alleine nicht ändern.

«Indirekte» Verantwortung ist aber nicht gleich keine Verantwortung. Als Bürger haben wir Möglichkeiten, mitzubestimmen, wie die Rahmenbedingungen und Regeln in unserer Gesellschaft definiert werden.

Die Schweiz im Vergleich

Dass wir diese Verantwortung vermehrt wahrnehmen müssen, zeigt sich im Vergleich – über die Zeit und international.

- Zahlen zur Klimabilanz gibt es seit den 1990er-Jahren. Seit damals haben sich die inländischen Emissionen leicht reduziert: Ab 2010 begann der Treibhausgasausstoss zu sinken, unter anderem, weil die industrielle Produktion ausgelagert wurde.
- Gleichzeitig nahmen die konsumbedingten Emissionen zu. Deshalb blieb der gesamte Treibhausgas-Fussabdruck pro Person mehr oder weniger konstant.

Die Schweiz liegt dabei weltweit auf Rang vier. Das liegt nicht daran, dass bei uns die Umweltnormen lasch wären, sondern am Reichtum: Schweizerinnen kaufen pro Kopf deutlich mehr ein als andere Nationen, besetzen Spitzenplätze beim Fliegen, und errichten auf Teufel komm raus Neubauten.

Schweizer sind Klimasünder

Konsumbedingte Treibhausgasemissionen pro Person



Der Fussabdruck weicht in dieser Studie leicht von der Empa-Studie ab. Quelle: [Bafu](#).

Aber wo ist beispielsweise China, das doch eine so schmutzige Wirtschaft haben soll? Nun: Die Grafik zeigt nur jene Emissionen, welche die Bewohner eines Landes durch Güter verantworten, die sie selbst verbrauchen. Und da China den Grossteil seiner Industrieerzeugnisse exportiert, werden diese Emissionen nicht in China angerechnet. Sondern – zum Beispiel – in der Schweiz.

Letztlich ist die Diskussion, wer der grössere Verschmutzer ist, aber müssig. Die Welt als Ganzes muss ihren Treibhausgasausstoss drastisch reduzieren.

Doch während die Schweiz im Inland Reduktionsziele kennt, werden die konsumbedingten Emissionen im Ausland in der Politik weitgehend ausgeblendet. Im neuen CO₂-Gesetz etwa (das noch vors Volk kommt) werden sie lediglich in einem schwammig formulierten Paragraphen angesprochen.

Klar ist: Wir können diese Emissionen durchaus beeinflussen. Jede Einzelne über ihren Konsum – und Unternehmen über ihre Beschaffungspolitik. Letztlich rührt unser Fussabdruck aber auch im Ausland zu einem beträchtlichen Teil aus der Verbrennung von Öl, Kohle und Gas. Gerade in aussereuropäischen Ländern sind sie oft die Basis der Energieerzeugung.

Darum gilt global dasselbe wie für die Schweiz: weg von fossilen Energien.

Zum Autor

Daniel Bütler ist [freier Journalist und Texter in Zürich](#). Er hat Germanistik und Wirtschaftsgeschichte studiert und schreibt regelmässig über Umweltthemen, unter anderem für den Beobachter.

Material- und Energieflüsse der schweizerischen Volkswirtschaft

Übersicht Umweltauswirkungen durch den Material- und Energiekonsum

Die Massenflüsse wurden mit einer vereinfachten Ökobilanz auf ihre Umweltrelevanz hin beurteilt. Betrachtet man nicht nur Massenflüsse, sondern auch die damit verbundenen ökologischen Wirkungen, wird deutlich, dass die Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen sowie der Konsum von Nahrungsmitteln in den drei untersuchten Indikatoren der Umweltbelastung (Treibhauseffekt, nicht-erneuerbarer gesamter Energiebedarf, Gesamt-Umweltbelastung) die grössten Auswirkungen verursachen (Tabelle A). Beim Treibhauseffekt verursacht der Energiekonsum allein die Hälfte der Emissionen. Bei der Gesamtumweltbelastung sind die Anteile zwischen Energie, Nahrung und den anderen Materialien ähnlich aufgeteilt (jeweils etwa ein Drittel, Abbildung H).

Kategorie	Total Konsum (DMC) 2018		Konsum (DMC)		Treibhauseffekt		Gesamter Energiebedarf *		Gesamt-Umweltbelastung	
	Tonnen/Jahr	Prozentsatz	Tonnen CO ₂ -eq/Jahr	Prozentsatz	TJ/Jahr	Prozentsatz	Mio. UBP/Jahr	Prozentsatz	Mio. UBP/Jahr	Prozentsatz
Elektrizität (toe)	1 770 936	2.0%	5 578 447	5.6%	370 777	23.3%	15 018 632	9.2%		
Treibstoff	6 320 882	7.3%	24 650 940	24.9%	371 154	23.3%	22 197 080	13.6%		
Brennstoff	6 720 347	7.7%	19 235 131	19.5%	307 648	19.3%	13 799 483	8.4%		
Nahrung für Menschen	8 664 244	10.0%	18 098 675	18.3%	106 647	6.7%	46 931 095	28.7%		
Tierfutter, Tiere	637 417	0.7%	200 872	0.2%	1 330	0.1%	807 599	0.5%		
Kies, Sand	6 660 240	7.7%	202 330	0.2%	2 818	0.2%	703 845	0.4%		
Asphalt	1 313 207	1.5%	380 569	0.4%	8 470	0.5%	446 130	0.3%		
Beton	39 797 658	45.8%	3 149 360	3.2%	22 352	1.4%	3 672 898	2.2%		
Mauerwerk	2 899 754	3.3%	887 779	0.9%	7 589	0.5%	809 784	0.5%		
Glas, Keramik	3 357 841	3.9%	1 624 580	1.6%	20 013	1.3%	1 995 526	1.2%		
Stahl	2 268 593	2.6%	4 755 441	4.8%	53 424	3.4%	10 543 785	6.4%		
Aluminium	162 110	0.2%	2 196 032	2.2%	20 591	1.3%	3 236 756	2.0%		
Anderer Metalle	113 586	0.1%	986 106	1.0%	11 827	0.7%	13 486 578	8.2%		
Kunststoff	1 170 962	1.3%	3 284 073	3.3%	80 481	5.1%	3 087 145	1.9%		
Textilien, Leder	264 685	0.3%	4 459 994	4.5%	58 283	3.7%	6 992 232	4.3%		
Holz, Papier	2 469 479	2.8%	1 505 996	1.5%	22 321	1.4%	2 540 512	1.6%		
Elektronik, Batterien	126 962	0.1%	3 268 733	3.3%	43 272	2.7%	11 065 236	6.8%		
Chemische Grundstoffe	2 136 112	2.5%	4 414 836	4.5%	82 566	5.2%	6 426 447	3.9%		
Total Energie	14 812 164	17.1%	49 464 519	50.0%	1 049 580	65.9%	51 015 195	31.2%		
Total Nahrung	9 301 662	10.7%	18 299 547	18.5%	107 977	6.8%	47 738 694	29.2%		
Total übrige Materialien	62 741 189	72.2%	31 115 829	31.5%	434 006	27.3%	65 006 873	39.7%		
Total	86 855 014	100.0%	98 879 895	100.0%	1 591 564	100.0%	163 760 762	100.0%		

* Nicht erneuerbar

Tabelle A: Gesamter jährlicher Konsum (DMC) an Materialien und Energie in der Schweiz mit damit verbundenen Umweltauswirkungen (toe: Tonnen Öl-Äquivalente).

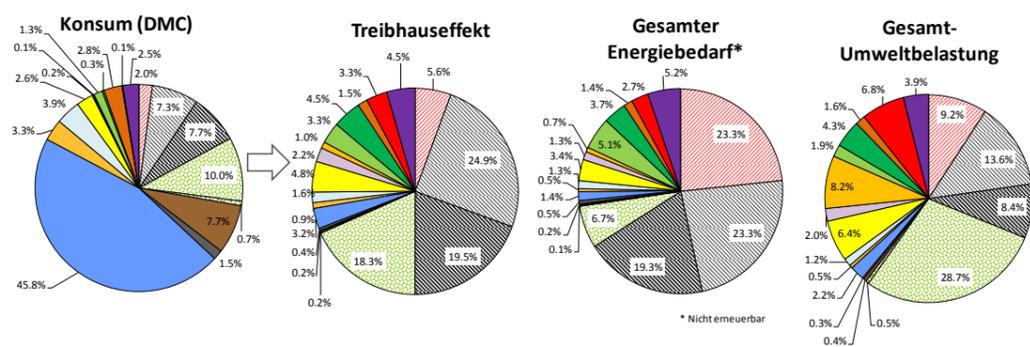


Abbildung H: Anteile verschiedener Materialien am Material- und Energiefluss (Konsum, links) bzw. den daraus entstehenden Umweltauswirkungen in der Schweiz 2018 in drei Kategorien. Farblegende siehe Tabelle A: Gestreift = Energie, gepunktet = Nahrung, volle Farben = Materialien.

Obwohl in der vorliegenden Studie eine vereinfachte Ökobilanz angewandt wurde, stimmen die Grössenordnungen mit der Studie von (Frischknecht et al. 2018) überein. Die höheren Werte von Frischknecht et al. stammen zum grossen Teil aus zusätzlichen Erwärmungseffekten der stratosphärischen Emissionen von Flugzeugen.

Konsum, Verantwortung und Verhalten eines Individuums

Abbildung I zeigt den jährlichen Konsum einer Person als Masse (erste und zweite Säule links) und den Treibhauseffekt, welcher durch diesen Konsum ausgelöst wird. Der Treibhauseffekt ist in der dritten und vierten Säule nach Materialien und nach Konsumbereichen dargestellt. In der fünften Säule ist die direkte vs. indirekte Verantwortung abgebildet. Bei den letzten beiden Säulen wird sichtbar, welches die (tendenziell) direkten und indirekten Verantwortungsanteile sind bei einem Verhalten wie die 'besten' 20% der Bevölkerung sowie bei einem Verhalten wie die 20% der Bevölkerung mit den höchsten Treibhausgas-Emissionen.

Der indirekte Anteil ist die in der Schweiz bereitgestellte Basis-Infrastruktur wie Strassen und Gesundheitswesen. Er dient allen Individuen und ist deshalb gleich hoch. Der direkte Anteil hängt ab vom persönlichen Verhalten und ist deshalb beeinflussbar. In der Summe beträgt die Variation zwischen eher ökologischem und eher unökologischem Verhalten knapp 20% im Vergleich zum Durchschnitt.

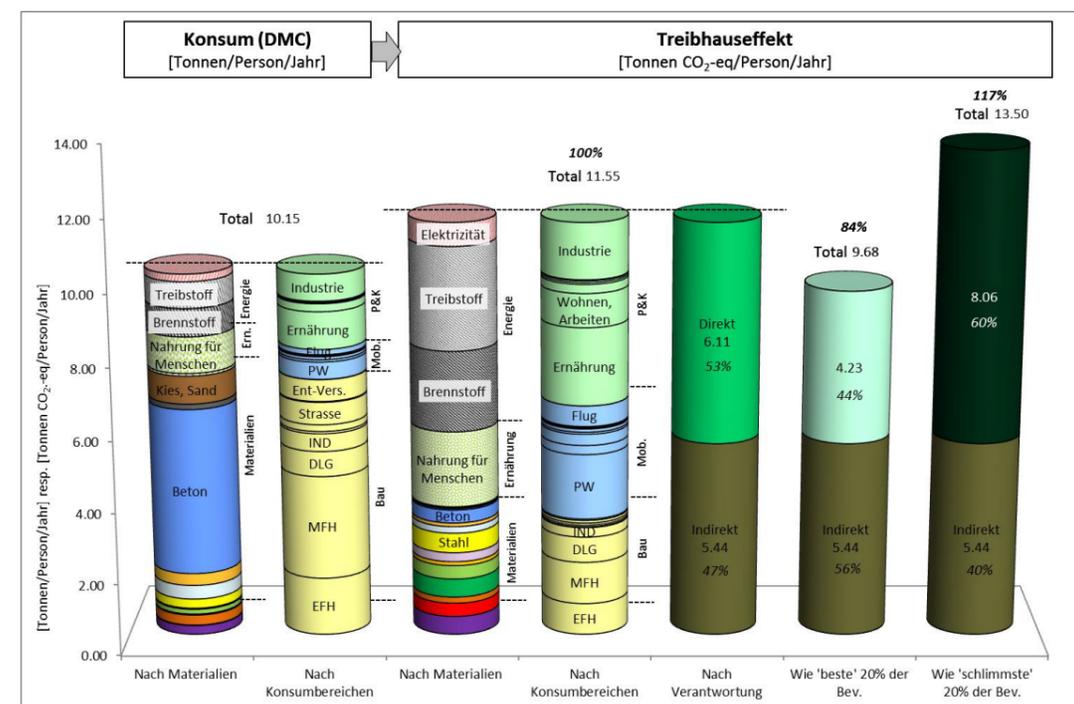


Abbildung I: Konsum und Treibhauseffekt durch ein Individuum, differenziert nach Materialien, Konsumbereichen, Verantwortung und Verhalten. P&K: Produktion & Konsum.

GRAUE ENERGIE

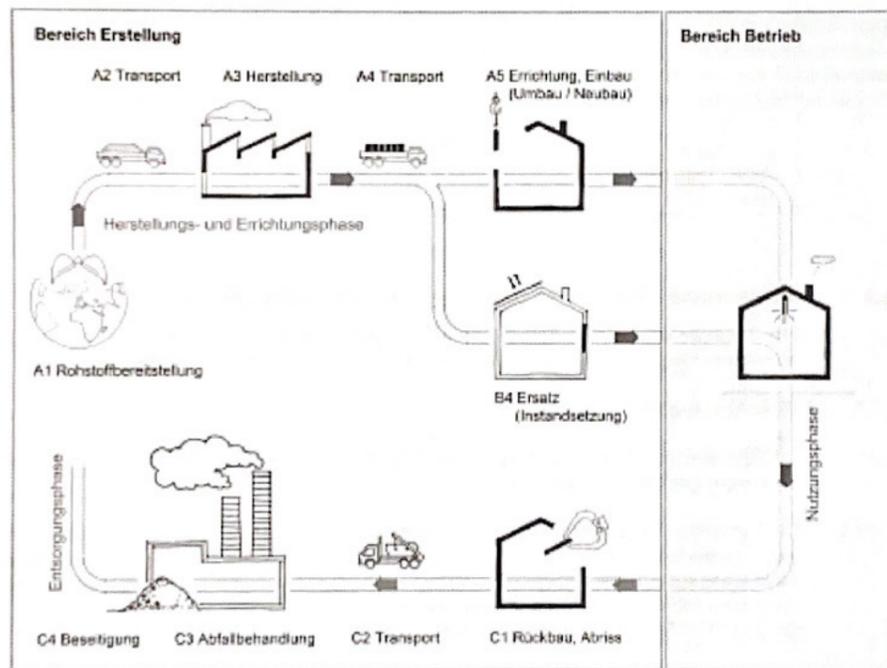
SIA 2032:2020 Bauwesen, «Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden, Bilanzierungsgrundsätze», 2020, S. 11

2 BILANZIERUNGSGRUNDSATZE

2.1 Lebenszyklusbetrachtung

- 2.1.1 Im Zentrum dieses Merkblatts stehen die nicht erneuerbare Primärenergie und die Treibhausgasemissionen im Bereich Erstellung.
- 2.1.2 Der Bereich Erstellung ist Teil eines «Lebenswegansatzes» gemäss SIA 2040. Figur 1 zeigt, wie zusammen mit dem Bereich Betrieb der ganze Lebenszyklus eines Gebäudes beschrieben wird.

Figur 1 Lebenszyklusbetrachtung eines Gebäudes



SIA 2032:2020 Bauwesen, «Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden», 2020, S. 22 - 23

B.2 Die wichtigsten Strategien

- B.2.1 Die Optimierung der nicht erneuerbaren Primärenergie und der Treibhausgasemissionen für die Erstellung hat immer mit Blick auf die Auswirkungen im Betrieb zu erfolgen.
- B.2.2 Die drei wichtigsten Strategien für die Minimierung der nicht erneuerbaren Primärenergie und der Treibhausgasemissionen im Bereich Erstellung erschliessen sich aus folgender Formel:

$$\text{Ökobilanz pro Jahr} = \frac{\text{Menge eines Materials} \times \text{Ökobilanz pro Menge}}{\text{Nutzungsdauer}}$$

Durch eine Reduktion der Menge, die ressourcenschonende Materialisierung und eine lange Nutzungsdauer lässt sich die Ökobilanz eines Gebäudes beeinflussen.

B.2.3 Weniger Menge

B.2.3.1 Je weniger gebaut wird, desto weniger Graue Energie und Treibhausgasemissionen werden investiert. Die Strategie **Suffizienz** als grösste Stellschraube wird ganz am Anfang eines Bauprojekts bei der Bestellung wirksam: Durch eine Konzentration auf das Wesentliche und Notwendige etwa im Raumprogramm einer Projektentwicklung wird wirksam Einfluss auf die Ökobilanz genommen. Auch durch **flächeneffiziente Konzepte** im Entwurf können die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen deutlich reduziert werden. Der Effekt dieser wichtigen Stellschraube wird allerdings nicht sichtbar, wenn die Ökobilanz bezogen auf einen Quadratmeter Energiebezugsfläche ausgedrückt wird. Bei Vergleichen von Projektvarianten kann deshalb die Kontrolle über eine andere Bezugsgrösse – z. B. pro Gebäude, pro Kopf, pro Klassenzimmer – aufschlussreich sein.

B.2.3.2 Die **Grösse** und die **Kompaktheit** von Baukörpern sind die wichtigsten Einflussgrössen im Bereich Erstellung. Grosse und kompakte Baukörper zeichnen sich durch eine niedrige Kompaktheitszahl aus. Sie haben ein günstiges Verhältnis zwischen der materialintensiven Gebäudehülle und der von dieser umschlossenen Fläche.

B.2.3.3 **Bauteile unter Terrain** sind meist ressourcenintensiv. Sie sollen deshalb auf das notwendige Mass reduziert werden. Unbeheizte gebaute Räume unter Terrain belasten die Bilanz überproportional, wenn als Bezugsgrösse die Energiebezugsfläche gewählt wird. Wenn dadurch kein aufwendiger Systemwechsel im Tragwerk provoziert wird, sind Unterterrainbauten wenn möglich unter den Gebäuden zu platzieren, um aufwendige Fundamente und Dachflächen zu vermeiden. Zusätzlich verbessert sich dadurch die Kompaktheitszahl.

B.2.3.4 **Einfache Tragwerkssysteme** mit geradliniger Lastabtragung reduzieren die Materialmenge: Durch eine Optimierung von Spannweiten, allenfalls vorgespannten Deckensystemen und einfachen Lastabtragungen, lässt sich die Ökobilanz auf einfache Weise entlasten.

B.2.4 Weniger Graue Energie und Treibhausgasemissionen pro Menge

B.2.4.1 Von einer gewissen Bedeutung ist auch die **Bauweise**. Mit dem Entscheid für einen Massivbau, eine Mischbauweise oder eine Leichtbauweise lässt sich insbesondere die Bilanz bei den Treibhausgasemissionen beeinflussen.

B.2.4.2 Die **Materialwahl** soll hinsichtlich Ressourcen- und Klimaschutz optimiert werden. Materialien, die in der Herstellung energieintensiv sind (z. B. Glas, Kunststoff, Metalle) sollen dort eingesetzt werden, wo ihre Eigenschaften einen sinnvollen Zusatznutzen generieren.

B.2.5 Beständigkeit und Langlebigkeit

B.2.5.1 Wie lange ein Gebäude oder ein Bauteil effektiv im Einsatz steht, ist von vielen Faktoren abhängig. Dies wird durch die Amortisationszeiten nur pauschal berücksichtigt.

- B.2.5.2 **Systemtrennung:** Bauteile, welche eine längere Lebens- oder Nutzungsdauer haben als andere Bauteile, sollen von diesen einfach trennbar sein. So können Bauteile der Sekundär- oder Tertiärkonstruktion (Elementgruppen D, E, F und G gemäss elementbasiertem Baukostenplan Hochbau eBKP-H) ausgewechselt, ersetzt oder erneuert werden, ohne die Bauteile der Primärkonstruktion (Elementgruppe C gemäss eBKP-H) anfassen zu müssen. Die Systemtrennung ist eine Voraussetzung für die Umbaufähigkeit von Gebäuden und verlängert die Nutzungsdauer eines Gebäudes entscheidend.
- B.2.5.3 Die **Beständigkeit** eines Bauteils ist abhängig vom Material, von der Konstruktion und vom Unterhalt. Eine systematische und regelmässige Instandhaltung und Instandsetzung verlängert die Nutzungsdauer von Bauteilen. Dasselbe gilt für den konstruktiv geschickten Einbau von Bauteilen, beispielsweise durch einen baulichen Witterungsschutz.
- B.2.5.4 **Anpassbarkeit:** Wenn Gebäude so konstruiert und konzipiert sind, dass sie ohne tiefgreifenden baulichen Eingriff angepasst und einer neuen Nutzungsweise zugeführt werden können, wird sich ein Umbau als Variante zum Ersatzneubau nicht nur aufgrund der besseren Ökobilanz durchsetzen. Nutzungsflexibilität oder auch Nutzungsneutralität sind typische Strategien, um Gebäude länger im Lebenszyklus halten zu können.
- B.2.5.5 Je nach Gebäudekategorie zeichnet die **Gebäudetechnik** für 20 % bis 30 % der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen eines Gebäudes verantwortlich. Die Gebäudetechnik hat – ähnlich wie der Innenausbau – vergleichsweise kurze Amortisations- bzw. Nutzungszeiten. Ein zurückhaltender Einsatz von gebäudetechnischen Elementen ist deshalb im Bereich Erstellung zielführend. Architektonische Lösungen führen in der Regel über den ganzen Lebenszyklus betrachtet zu einer besseren Ökobilanz als technische Lösungen.

GRAUE ENERGIE VON NEUBAUTEN

Auszug

WAS IST GRAUE ENERGIE?

Die graue Energie steht für die gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Die graue Energie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet. Die Masseinheit der grauen Energie ist Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr ($\text{kWh/m}^2 \text{ a}$). Die enthaltene Energie wird damit auf eine Fläche und eine Zeitspanne bezogen, um sie mit der Betriebsenergie vergleichbar zu machen. Als Bezugsgrösse werden in diesem Ratgeber die Energiebezugsfläche (A_e , SIA 380) und die Amortisationszeit (SIA 2032, Anhang C) verwendet.



*Systemgrenze graue Energie
Summe Primärenergie nicht erneuerbar für alle Bauteile – das Gleiche gilt für den Rückbau.*

ANTEIL DER GRAUEN ENERGIE

In heutigen Neubauten macht die graue Energie bis zu einem Viertel der gesamten Primärenergie für Erstellung, Betrieb und Mobilität aus. Mit 40 bis 50 kWh/m^2 ist dies, verglichen mit dem Bedarf an Energie für Raumwärme und Warmwasser, ein grosser Anteil in der Energiebilanz. In der nachstehenden Grafik ist ein Mehrfamilienhaus nach dem im SIA-Effizienzpfad Energie geforderten Zielwert für die 2000-Watt-Gesellschaft abgebildet. Die Grafik zeigt auf, dass neben der vom Gebäude induzierten Mobilität und dem Energieverbrauch für den Betrieb die graue Energie selbst nach erfolgten Optimierungsmaßnahmen einen gewichtigen Anteil aufweist. In grauenenergetisch nicht optimierten Gebäuden kann der Bedarf an grauer Energie deutlich höher liegen.

WEITERE BEWERTUNGSSYSTEME

Die graue Energie ist nur ein Teilbereich der möglichen Analyse in der Ökobilanzierung. Im SIA-Merkblatt 2040, SIA-Effizienzpfad Energie, 2011, sind neben der Primärenergie auch die Treibhausgasemissionen und deren Berechnung dargelegt. Oft kommt in Publikationen auch der Begriff Umweltbelastungspunkte (UBP) vor. Nicht nur verschiedene Berechnungsnachweise sind vorhanden, sondern auch verschiedene Datengrundlagen. So gibt es länderspezifische Datenbanken, die ihre Daten nach eigenen Kriterien und Regeln erhoben haben. In der Schweiz gelten folgende Datengrundlagen: Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2014 KBOB, eco-bau, IPB (KBOB: Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes, ecobau: Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau, IPB: Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren). Betrachtet man von einem Produkt sowohl die graue Energie, die Treibhausgase und die Umweltbelastungspunkte, so kann man feststellen, dass die daraus resultierenden Ergebnisse nicht zwingend deckungsgleich sein müssen. Da diesen drei Indikatoren unterschiedliche Betrachtungsweisen zugrunde liegen, können Produkte, die wenig graue Energie enthalten, trotzdem einen hohen Umweltbelastungswert ausweisen oder eine grosse Treibhausgasemission verursachen.

EINFLUSSGRÖSSEN

Mit den nachfolgenden Grundkriterien ist eine erste Einschätzung der grauen Energie möglich. Dies hilft, sich für die passende Materialgruppe zu entscheiden.

PRODUKTIONSPROZESS

Da die graue Energie neben der Energie für die Entsorgung vor allem die Energie für die Produktion umfasst, ist deren Anteil massgebend. Je energieintensiver die Herstellung eines Materials ist, desto mehr graue Energie steckt in ihm.

Drei Faktoren bestimmen den Gehalt von grauer Energie:

- Materialgewinnung
- Recyclinganteil
- Anzahl und Art der Bearbeitungsschritte

So sind Baumaterialien aus Rohstoffen, die einfach zu gewinnen sind, tendenziell besser als solche, deren Rohstoffgewinnung sehr energieintensiv ist. Hochveredelte Produkte, die viele Produktionsschritte benötigen, welche zudem noch energieintensiv sind, enthalten mehr graue Energie als einfachere Produkte. Schmelz-, Brenn- und Trocknungsprozesse und damit die thermische Energie sind vielfach für erhöhte Werte an grauer Energie verantwortlich.

Ein Anteil an Recyclingmaterial als Ersatz von Rohstoffen kann die graue Energie ebenfalls reduzieren, sofern die Aufbereitung dieses Materials nicht selbst schon als energieintensiv einzustufen ist. Altpapier, das beispielsweise zu Zellstoffdämmmaterial verarbeitet wird, kann vom bereits vorgängig produzierten Papier profitieren, indem es einfach weiterverarbeitet werden kann (erneute Zerfaserung). Recyclingbeton hingegen enthält in etwa gleich viel graue Energie wie konventioneller Beton, da er einen höheren Bedarf an Zement aufweist. Das Verwenden von Recyclingbeton jedoch ist aus Sicht der Ressourcenschonung sinnvoll.

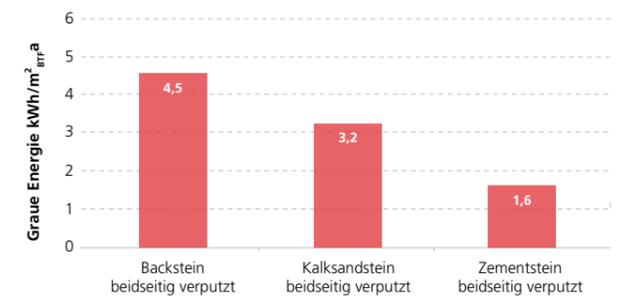
MAUERWERK

Mauerwerke für Aussen- und Innenwände dienen als Tragschicht oder Trennwand. Bei Trennwänden gewährleisten Mauerwerke durch ihre Masse den nötigen Schallschutz und bieten oft eine bessere Ausgangslage bezüglich grauer Energie als Gipsständerkonstruktionen.

In der folgenden Grafik sind drei Beispielkonstruktionen von massiven Innenwänden aufgeführt. Alle Wände haben eine Stärke von 15 cm und sind beidseitig verputzt.

Der Backstein enthält mehr graue Energie als der Kalksand- und der Zementstein. Hier wirkt sich also der Herstellungsprozess, das Backen, bemerkbar aus. Die beiden anderen Materialien, die im Gegensatz zum Backstein nur abbinden müssen, enthalten weniger graue Energie.

MAUERWERKE NICHT TRAGEND D = 15 CM



DÄMMSTOFFE

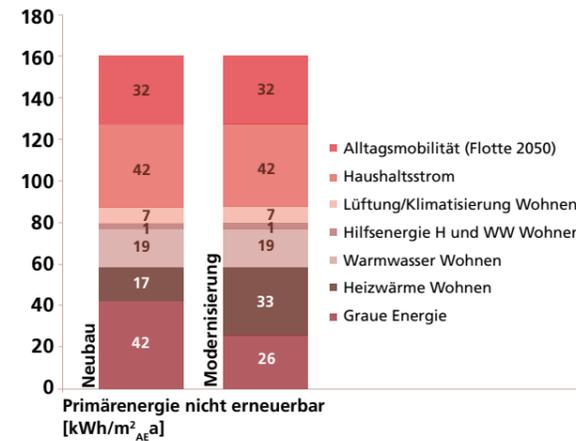
Ein Baumaterial, das die Energie in zweifacher Weise beeinflusst, ist der Dämmstoff. Einerseits hilft er, den Heizwärmebedarf gering zu halten, auf der anderen Seite trägt er aber mit zunehmender Dämmstärke zum Anstieg der grauen Energie bei. Mit der Reduktion des Heizwärmebedarfs kann daher eine Erhöhung der grauen Energie einhergehen.

GRAUE ENERGIE VON UMBAUTEN

Auszug

ANTEIL DER GRAUEN ENERGIE

Bei heutigen Neubauten macht die graue Energie bis zu einem Viertel der Primärenergie für Erstellung, Betrieb und Mobilität aus. In der nachstehenden Grafik ist ein Neubau eines Mehrfamilienhauses und zum Vergleich eine Modernisierung nach Minergie abgebildet.



In der Grafik fällt auf, dass Unterschiede einzig im Wärmebedarf Wohnen und bei der grauen Energie bestehen. Bei der Modernisierung ist die graue Energie kleiner als beim Neubau. Die Begründung: Bei der Modernisierung wird nur die zusätzliche graue Energie gerechnet. Beispielsweise ist die gesamte Tragstruktur des Gebäudes bestehend und wird daher als bereits amortisiert eingesetzt (Seite 7). Demgegenüber ist der Bedarf an Heizwärme Wohnen bei einer Modernisierung grösser als beim Neubau. Gründe dafür sind vor allem Kompromisse in der Gebäudehüllendämmung.

EINFLUSSGRÖSSEN

Mit den nachfolgenden Leitgedanken ist eine Einschätzung der grauen Energie möglich. Die angegebenen Werte in den Grafiken sind produkteneutral und helfen, sich für die passende Materialgruppe zu entscheiden.

PRODUKTIONSPROZESS

Da die graue Energie neben der Energie für die Entsorgung vor allem die Energie für die Produktion umfasst, ist deren Anteil massgebend. Je energieintensiver die Herstellung eines Materials ist, desto mehr graue Energie steckt in ihm.

Drei Faktoren bestimmen den Gehalt von grauer Energie:

- Materialgewinnung
- Recyclinganteil
- Anzahl und Art der Bearbeitungsschritte

So sind Baumaterialien aus Rohstoffen, die einfach zu gewinnen sind, tendenziell besser als solche, deren Rohstoffgewinnung sehr energieintensiv ist. Hochveredelte Produkte, die viele Produktionsschritte benötigen, welche zudem noch energieintensiv sind, enthalten mehr graue Energie als einfachere Produkte. Schmelz-, Brenn- und Trocknungsprozesse und damit die thermische Energie sind vielfach für erhöhte Werte an grauer Energie verantwortlich.

Ein Anteil an Recyclingmaterial als Ersatz von Rohstoffen kann die graue Energie ebenfalls reduzieren, sofern die Aufbereitung dieses Materials nicht selbst schon als energieintensiv einzustufen ist. Altpapier, das beispielsweise zu Zellstoffdämmmaterial verarbeitet wird, kann vom bereits vorgängig produzierten Papier profitieren, indem es einfach weiterverarbeitet werden kann (erneute Zerfaserung). Recyclingbeton hingegen enthält in etwa gleich viel graue Energie wie konventioneller Beton, da er einen höheren Bedarf an Zement aufweist. Das Verwenden von Recyclingbeton jedoch ist aus Sicht der Ressourcenschonung sinnvoll.

AUSSENHÜLLE

Im Umbau fällt der Dämmung von Aussenwänden eine besondere Bedeutung zu. Denn eine energetisch optimierte Gebäudehülle senkt auch den Bedarf an Betriebsenergie. Die Vielfalt von Konstruktionen und Dämmstoffen ist dabei gross. Mineralwollprodukte wie Stein- oder Glaswolle stehen ebenso zur Auswahl wie Produkte auf Erdölbasis (PIR, XPS, EPS mit und ohne Zuschlagstoffe), um einige Beispiele zu nennen.

KOMPAKTFASSADE

In der folgenden Grafik ist eine Auswahl von möglichen Dämmstoffen für Kompaktfassaden dargestellt. Alle sind jeweils mit Materialbezeichnung und Dichte gekennzeichnet und auf denselben Wärmedurchgangskoeffizienten (U -Wert von $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) bezogen. Je nach Materialeigenschaft ändert damit die Dicke der aufgetragenen Schicht, zudem ändert je nach Dichte der Inhalt grauer Energie, welche bekanntlich auf die Masse bezogen ist. Aus dieser Wechselwirkung ergibt sich, dass keine pauschale Aussage wie «schwere Dämmstoffe sind bezogen auf die graue Energie ungünstig» getroffen werden kann. Vielmehr sind drei Faktoren entscheidend: Materialstärke, Materialdichte, aber massgeblich ist auch die graue Energie je Material.

DÄMMUNG KOMPAKTFASSADE U-WERT 0,20 W/m²K



HINTERLÜFTETE FASSADE

Hinterlüftete Fassadensysteme unterscheiden sich von Kompaktfassaden in zwei wichtigen Punkten: Einerseits beträgt die Amortisationszeit 40 Jahre anstatt 30 Jahre, andererseits können andere und leichtere Dämmungen eingesetzt werden. Damit verändert sich die Rangierung der einzelnen Dämmstoffe. Besonders gut schneiden – wie bei der Dämmung zwischen den Sparren – leichte Dämmungen ab. Zellulose mit seinem hohen Recyclinganteil und Schafwolle als natürlicher Dämmstoff führen das Feld an. Die mineralischen Dämmungen Stein- und Glaswolle liegen gleichauf. Ihr Raumgewicht beträgt hier, verglichen mit einer Putzträgerfunktion bei Kompaktfassaden, nur noch etwa ein Viertel. Entsprechend reduziert sich die graue Energie.

DÄMMUNG FÜR HINTERLÜFTETE FASSADE MIT BEFESTIGUNGSSYSTEM



UNTERKONSTRUKTION

Unterkonstruktionen werden typischerweise in Holz oder Metall ausgeführt. Die Materialstärke der Unterkonstruktion hängt stets von den daran befestigten Elementen ab: je schwerer die Elemente, desto massiver die Unterkonstruktion. Das gilt unabhängig davon, ob die Unterkonstruktion – wie im folgenden Beispiel – für eine äussere Wandbekleidungen, für Innenwandkonstruktionen, Vorsatzschalen oder abgehängte Decken verwendet wird. Obwohl Unterkonstruktionen in Metall deutlich schlanker ausgeführt werden können als jene in Holz, führen die hohe Materialdichte und der intensive Herstellungsprozess zu einem wesentlich grösseren Eintrag an grauer Energie.

ÄUSSERE WANDBEKLEIDUNG

Ähnlich wie bei der Dämmung von Aussenwänden stehen für Aussenwandbekleidungen verschiedene Materialien zur Wahl. Zusammen mit der Unterkonstruktion können sich, vor allem bei schweren Bekleidungen und grosser Dämmstärke, sehr ungünstige Materialkombinationen ergeben. In der folgenden Grafik sind beispielhaft verschiedene dieser Kombinationen einander gegenübergestellt.

BEKLEIDUNG HINTERLÜFTET, MIT UNTERKONSTRUKTION



Glas ist nur in Kombination mit einer Unterkonstruktion aus Metall sinnvoll und schneidet am schlechtesten ab. Eine Holzschalung wird dagegen immer auf einer Unterkonstruktion aus Holz befestigt. Zwischen diesen beiden Fassadenkonstruktionen liegt ein Faktor von etwa 15! Das zeigt die grosse Bedeutung einer bewussten Materialwahl. Ferner lässt sich die Differenz der Unterkonstruktionsarten direkt an den zwei Beispielen mit Faserzementplatten ablesen und beträgt 0,8 kWh/m²_{BTf}a.

FENSTER

Oftmals drängt sich der Ersatz der Fenster noch vor einer Erneuerung der Aussenwand auf. Beim Fensterersatz stellt sich stets die Frage nach der Wahl des Rahmenmaterials und der Verglasung. In der folgenden Grafik wurden für das Referenzfenster von 1,15 · 1,55 Metern das Rahmenmaterial und die Verglasungsart variiert. Die Rahmenbreite verändert sich je nach Rahmenmaterial – hier dient daher die absolute Grösse und nicht der Wärmedurchgangskoeffizient als Referenz.

RAHMENMATERIAL UND VERGLASUNG



Wieder zeigt sich, dass jene Materialien mit einem hochveredelnden Herstellungsprozess am meisten graue Energie enthalten. Metall- und Kunststoff-Rahmenprofile sind gegenüber jenen aus Holz deutlich benachteiligt. Die graue Energie der Verglasung bleibt praktisch konstant und ist nahezu unabhängig vom Rahmenmaterial.

Die Zweifachverglasung (2-IV) schneidet besser ab als das Sicherheitsverbundglas (2-VSG), und die Dreifachverglasung (3-IV) verursacht den höchsten Eintrag an grauer Energie. In dieser Betrachtung ist die Betriebsenergie selbstverständlich nicht eingerechnet, und die Resultate sind ausschliesslich auf die graue Energie bezogen.

Während die Wahl der Verglasung voraussichtlich eher auf der Basis von betriebsenergetischen Überlegungen erfolgt, kann das Rahmenmaterial oftmals freier ausgesucht werden. Die Spanne bei

Neben der Wahl des Rahmenmaterials und der Verglasung spielt auch der Rahmenanteil eine nicht zu unterschätzende Rolle. Steigt der Rahmenanteil aufgrund von mehreren Flügeln, Ziersprossen oder aufgrund kleiner Fenstergrösse, so schlägt sich dies deutlich im Resultat nieder. Da die absoluten Fenstergrössen im Umbau meist nur sehr eingeschränkt beeinflusst werden können, lohnen sich Überlegungen immer, ob beispielsweise die Anzahl der Flügel reduziert werden kann oder ob Ziersprossen als gestalterisches Element notwendig sind.

RAHMENANTEIL HOLZFENSTER, VERGLASUNG 3-IV



Diese Grafik zeigt typische Rahmenanteile von sehr grossen bis hin zu eher kleinen Fenstern auf der Basis eines Holzrahmens. Die Differenzen akzentuieren sich bei den anderen Rahmenmaterialien, da der Rahmen gegenüber der Verglasung einen viel höheren Eintrag grauer Energie verursacht.



WERKSTOFFE

Andres Herzog [Hrsg.], Klima Bauen. Ein Lexikon zu Architektur, Landschaftsarchitektur und Raumplanung unterwegs zu Netto-Null, Zürich 2021, Auszug

Die grosse Entwöhnung

Text: Andres Herzog

Niemand ist für die Klimaerwärmung, und alle sind überzeugt, ihren Beitrag zu ihrer Bekämpfung zu leisten. Doch wir können die Klimakrise nicht mit unseren veränderten Konsumgewohnheiten allein lösen. Zudem zeigte das Nein der Schweizer Stimmberechtigten zum CO₂-Gesetz im Juni 2021, dass wir nicht auf die Politik warten können, obschon es unbedingt einen besseren gesetzlichen Rahmen braucht. Fokussieren wir unsere Energie also auf jene Bereiche, in denen wir jetzt handeln können und die besonders ins Gewicht fallen. Und da ist die gebaute Umwelt zentral: Gebäude zu erstellen und zu betreiben, verursacht 40 Prozent des weltweiten CO₂-Ausstosses, den der Mensch verantwortet. In der Schweiz liegt der Anteil bei einem Drittel. Eine Sanierung des Eigenheims anzupacken, ist deshalb der wichtigste Entscheid, wenn es um den persönlichen Klimafussabdruck geht. Auch Mieterinnen können einen Beitrag leisten, je nachdem, wie und wo sie wohnen und arbeiten.

Damit es vorwärtsgeht, sollten wir uns weniger auf die moralischen Werte und mehr auf die blanken CO₂-Zahlen konzentrieren. Wer Baukultur mit Arithmetik begreifen will, wird scheitern: zu viele Variablen, zu viele Unbekannte, zu viel Geschichte. Und doch kommt die Disziplin nicht um harte Werte herum, will sie ihren Beitrag zum Klimaschutz ernst nehmen. Wie viele Kilogramm Treibhausgase ein Projekt verursacht, ist die Gretchenfrage des Bauens im 21. Jahrhundert. Eine Architektur, die darauf keine Antwort hat, ist nicht mehr relevant.

Netto-Null ist ein rigoroses Unterfangen. Es fordert den Willen der Auftraggeber, das Können der Planerinnen und die Lösungen der Hersteller. Denn klimaneutrales Bauen ist heute nicht möglich: Weder Beton noch Glas können ohne Emissionen erzeugt werden, und ein Fundament und ein Fenster braucht jedes Haus. Eine Hauptrolle bei der CO₂-Entwöhnung spielen die Architekten, weil sie bei den oftmals widersprüchlichen Entscheidungen den Überblick behalten. Klimagerecht bauen heisst: Es geht nicht um Energie, obwohl diese oft im Vordergrund steht, sondern um Treibhausgase. Und diese fallen bei einem vorbildlichen Neubau zu mehr als 70 Prozent und bei einem Umbau zu 50 Prozent in der Erstellung an. Das ist die Domäne der Architektur. Die Klimakrise muss Vorrang haben. Sie ist dringlicher und weitreichender als die anderen Themen beim nachhaltigen Bauen.

Für viele ökologische und gesellschaftliche Belange gibt es Gesetze, Normen und Standards. Für das CO₂-Problem aber existieren bis heute keine griffigen Mechanismen zu dessen Lösung, weder politisch noch ökonomisch. Der Betrieb eines Gebäudes ist zwar gesetzlich geregelt, wie viel graue Treibhausgase seine Erstellung verpufft, überlässt der Staat jedoch dem Markt.

Die Ökobilanzierung ist keine exakte Wissenschaft. Entscheidend sind aber nicht die Stellen hinter dem Komma, sondern die grossen Hebel. Dieses Buch zeigt, wo diese in der Planung liegen und wie man sie bedienen kann. Setzen die Architekten auf allen Ebenen der Konstruktion an, können sie die Treibhausgase um rund einen Drittel reduzieren. Bauen sie weniger als üblich, sparen sie noch mehr.

Weil ökologisches Bauen komplex genug ist, fokussiert das Buch vor allem auf den Aspekt des Klimaschutzes und der Klimaanpassung. Die Architektin oder der Raumplaner muss jeden der Klimagründe abwägen, denn manche Massnahmen ziehen anderswo Nachteile nach sich. Die gute Nachricht: Ausschlusskriterien gibt es wenige, der klimagerechten Kreativität sind keine engen Grenzen gesetzt. Allerdings gibt es klare Prioritäten. Die mit Abstand grössten Hebel liegen in der Raumplanung, denn wo und wie wir wohnen, arbeiten und unsere Freizeit verbringen, wirkt sich gleich mehrfach auf unsere CO₂-Bilanz aus. In der Landschaftsarchitektur wiederum geht es oft um die Klimaanpassung, also darum, die Vegetation so auszuwählen, dass sie höheren Temperaturen und stärkeren Niederschlägen standhalten kann. Auf Gebäudeebene kommt am weitesten, wer an vielen Stellschrauben ansetzt. CO₂ reduzieren ist wie abnehmen, nur dass man Kohlenstoff statt Kalorien zählt: Man kann weniger essen oder sich mehr bewegen. Am besten tut man beides.

Die Tipps zeigen auch: Wer emissionsfrei entwerfen will, muss seine Gewohnheiten hinterfragen. Die postfossile Stadt sieht anders aus – vom Fundament bis zum Photovoltaikdach, vom Park bis zum Mobilitätskonzept. Architekten und Landschaftsarchitektinnen sollten diese Chance für einen kräftigen, zeitgemässen Ausdruck mit Lust anpacken. Zuletzt ist ein sachlicher Blick nötig. Es geht nicht darum, Materialien gegeneinander auszuspielen oder eine Konstruktion zur einzig möglichen Lösung hochzustilisieren. Am Ende zählen die nackten Zahlen zu den Treibhausgasen, egal, wie man Letztere loswurde.

B - Beton

Beton hat ein Klimaproblem. So wenig wie nötig, lautet die Devise. Für viele Konstruktionen ist Stahlbeton unverzichtbar, etwa im Tiefbau – Tiefbau. Wo besonders hohe Kräfte wirken, ist Beton das Material der Wahl – auch aus Klimasicht. Andere Baustoffe stossen pro Tonne Lastabtrag in der Regel mehr CO₂ aus. Mit einer effizienten Tragstruktur und dem Verzicht auf mehrere Untergeschosse lässt sich der Anteil reduzieren – Tragstruktur. Doch Beton hat einen weiteren Vorteil: Er ist so gut wie überall auf der Welt verfügbar. Weil das Material omnipräsent ist, wirkt sein Klimahebel entsprechend stark.

Wer betoniert, sollte gut überlegen, womit. Ins Gewicht fällt – neben der Armierung – vor allem der Zement, dessen Herstellung rund acht Prozent der globalen Treibhausgasemissionen verursacht, die der Mensch verantwortet. Bauingenieure sollten den Zementanteil minimieren, unter anderem, indem sie die Kräfte in der Tragstruktur reduzieren und bei der Mischung der Zuschlagstoffe auf unterschiedliche Korngrössen achten. Und sie sollten CO₂-armen Beton wählen, dessen Zement mit weniger Klinker gebrannt wird. Die Variante «CEM III/B» reduziert die CO₂-Emissionen um bis zu 25 Prozent, «LC3»-Zement verspricht sogar eine Einsparung von 30 bis 40 Prozent. Auch Karbonbeton kann helfen; er enthält zwar mehr CO₂ pro Tonne, kann aber bis zu viermal schlanker ausgeführt werden. Zentral für den Erhalt der Landschaft und der Ressourcen ist zudem Recyclingbeton, der neuerdings auch Klimavorteile mit sich bringen kann – Recyclingbeton.

Mittlerweile bieten die meisten Zementhersteller klimaoptimierte Produkte an. Deren CO₂-Reduktion liegt allerdings in der Regel bei maximal zehn Prozent. Netto-Null erreicht der Zement nur dank Kompensation der Emissionen. Marketingnamen sollten nicht in die Irre führen: Einen tatsächlich klimaneutralen Beton gibt es bisher nicht. Darum bleibt der Blick fürs Ganze wichtig: Laut einer Studie der Eidgenössischen Technischen Hochschulen könnte die Betonindustrie die CO₂-Emissionen bis 2050 um bis zu 80 Prozent verringern (im Vergleich mit 1990), wenn überall angesetzt würde, von der Zementwahl bis zur Tragstruktur. Und dies, ohne dass die Normen angepasst werden müssen.

D - Dämmung

Ab einer Stärke von etwa zwanzig Zentimetern kommt die Wärmedämmung an die Grenzen der Physik und der Klimarechnung, sofern nicht fossil geheizt wird. Mit jedem weiteren Zentimeter stehen Materialaufwand und Isolationsertrag in einem schlechteren Verhältnis. Dies zeigt ein Bericht des Eidgenössischen Bundesamts für Energie. Die Dämmung kann je nach Fassadenaufbau bis zur Hälfte der grauen Treibhausgase einer Aussenwand ausmachen – Fassade.

Bei energetischen Sanierungen fällt die Isolation deutlich stärker ins Gesamtgewicht. Dichte Dämmstoffe enthalten mehr graue Energie, und sie dämmen oft schlechter als leichte. Unabhängig vom Material ist deshalb der Fassadenaufbau entscheidend: Steinwolle in einer Ständerkonstruktion enthält fast viermal weniger graue Energie, als wenn sie als Putzträger an der Fassade verbaut wird. Die durch eine Isolation verursachten Treibhausgase müssen in Bezug zu ihrer Dämmwirkung gesetzt werden, was Vergleiche erschwert. Das Buch «Nachhaltig konstruieren» aus dem Detail-Verlag empfiehlt nachwachsende Dämmstoffe, die CO₂ binden, zum Beispiel Hanf, Flachs, Kork, Zellulose, Schafwolle oder Holzfaserdämmplatten. Relativ gut schneidet auch Mineralwolle ab, obwohl sie bereits doppelt so viel graue Energie pro Quadratmeter enthält wie Zelluloseflocken. Manche Fachleute wehren sich generell gegen kunststoffbasierte Dämmungen, eine der verbreitetsten Isolationen, die für manche Details unabdingbar sind. Eine postfossile Architektur dürfe kein Erdöl enthalten, so das Argument. Das geschäumte Öl könnte in dreissig Jahren zum klimatechnischen Sondermüll werden, wenn es im Netto-Null-Jahr 2050 oder später entsorgt wird.

H - Holz

Holz leistet einen zentralen Beitrag zu den Klimazielen. Das Material reduziert die CO₂-Bilanz bei den meisten Konstruktionen entscheidend, allerdings variieren die Zahlen auf Gebäudeebene stark, und wir begeben uns auf ein ideologisches Minenfeld. Eine Studie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich spricht von einer 25 Prozent geringeren Klimabelastung als bei einem Massivbau. Die Organisation «Energie Schweiz» rechnet nur mit rund fünf Prozent weniger grauer Energie. Die Differenzen entstehen, weil Bauweisen erstens nur schwer vergleichbar sind und zweitens nur ein Viertel der grauen Energie eines Hauses davon abhängt. Unbestritten sind die Vorteile des geschlossenen Kreislaufs des nachwachsenden Materials. Baue also wenn möglich mit Holz, wenn der Baustoff regional verfügbar und nachhaltig angebaut wird. Das ist jedoch nicht überall auf der Welt der Fall. Zudem wachsen schlicht nicht genug Bäume, um den Materialhunger der Welt zu stillen.

Und Holz ist nicht gleich Holz. Massivholz schneidet am besten ab, weil es nicht aufwendig verarbeitet wird und keine zusätzlichen Stoffe zum Einsatz kommen. Bindemittel wie Leim können bei Holzwerkstoffen bis zu sechzig Prozent der grauen Energie ausmachen. Als Faustregel gilt: Je stärker zerkleinert, desto mehr Bindemittel ist nötig → Zusatzstoffe. Die graue Energie von sägerohem, luftgetrocknetem Schnittholz ist zehnmal niedriger als zum Beispiel von MDF-Platten. Auch der Transport ist wichtig: In Holzprodukten aus fernen Ländern wie Kanada oder Russland steckt bis zu einem Drittel mehr graue Energie.

Ein Holzbau ist nicht einfach klimaneutral. Zum einen besteht er nicht nur aus Holz, zum anderen verursacht dessen Verarbeitung je nach Energiequelle Treibhausgase. Betrachtet man hingegen nur den Holzkreislauf, wirkt Bauen temporär CO₂-negativ, weil das Material dem natürlichen Zyklus besonders lange entzogen ist und uns so Zeit verschafft. Die meisten Ökobilanzdaten berücksichtigen diesen Effekt nicht, weil das Klimagas beim Abbruch wieder freigesetzt wird. Doch die Zukunft ist ungewiss, der Beitrag heute hingegen real messbar: Laut einer Studie des Bundesamts für Umwelt könnte Bauholz in der Schweiz pro Jahr bis zu 2,5 Millionen Tonnen CO₂ binden, was rund fünf Prozent der nationalen Treibhausgasemissionen entspricht → Kohlenstoffsенке.

L - Lehm

Stampflehm ist in aller Munde, wenn es um klimagerechtes Bauen geht. Das Material ist vor Ort verfügbar und wird nicht gebrannt, ergo ist es so gut wie klimaneutral. Seine Stärken kann Lehm ausspielen, wo die Kräfte gering sind, zum Beispiel für nicht tragende Mauern oder als thermische Masse in Holzbauten → Thermische Masse, → Holz. Lehm kann zudem das Raumklima regulieren und so helfen, die Haustechnik zu minimieren → Haustechnik.

Allerdings gibt es einige Fallstricke zu beachten. Weil Lehm nicht wasserfest ist, wird er oft mit Zement stabilisiert, was die Treibhausgasbilanz erheblich verschlechtert und die Wiederverwendung erschwert. Wer mit Lehm baut, muss den Zementanteil deshalb möglichst auf null reduzieren. Weil die Mauern dick werden, kommt das Material für die Primärstruktur bei mehrgeschossigen Bauten an seine Grenzen. Lehm ist zudem arbeitsintensiv, weshalb er in der Schweiz als Baustoff bisher ein Nischenprodukt blieb. Neue Verarbeitungstechniken wie jene der Start-ups Oxara (Lehmbeton) oder Terrabloc (Erdziegel) könnten dies ändern. Das Potenzial von Lehm ist noch lange nicht ausgeschöpft und könnte insbesondere im globalen Süden einen wesentlichen Beitrag leisten.

79

M - Mauerwerk

Eine Backsteinwand ist die klimafreundlichere Alternative zu einer Betonmauer → Beton, wenn die Statik, der Brand- und der Schallschutz keine hohen Anforderungen stellen. Der Leichtbau – vor allem aus Holz – schneidet allerdings nochmals deutlich besser ab → Holz.

Doch auch bei den Mauersteinen gibt es Unterschiede. Die Organisation «Energie Schweiz» empfiehlt im Ratgeber «Graue Energie von Neubauten», statt Backstein besser Kalksandstein oder Zementsteine zu verwenden, weil darin bis zu dreimal weniger Energie steckt. Beim Zementstein wird nur der Zement gebrannt, Kalksandstein wird bei 200 Grad getrocknet. Beim Backstein braucht der Brennvorgang rund 1000 Grad. Mehr Masse und mehr Hitze heisst mehr CO₂.

Zweischalige Mauerwerke sind nicht die erste Wahl. Die höhere Wertigkeit bedeutet auch mehr graue Emissionen. Generell gilt das Gebot der kurzen Distanzen: Verwende keinen Backstein aus Dänemark oder Norddeutschland. Sie bereichern zwar das Projekt, verschlechtern aber auch die Klimabilanz. Die Wiederverwertung ist bei Backstein etwas eingeschränkt. Anders als früher die Vollsteine können die meisten Backsteine heute nicht mehr als Ganzes wiederverwendet werden, weil sie schnell kaputt gehen oder die Bearbeitung zu aufwendig ist. Und Granulat aus Mischabbruch hat nicht dieselbe Qualität wie solches aus rezykliertem Beton → Beton. Wer hingegen hochwertige Steine verbaut und sie möglichst nicht vermörtelt oder verklebt, erhöht die Chancen für ihre Wiederverwendung → Wiederverwenden.

83

N - Naturstein

Sandstein, Quarzit oder Granit haben eine gute Klimabilanz, vorausgesetzt, sie stammen nicht vom anderen Ende der Welt, denn der Transport macht bis zur Hälfte des ökologischen Fussabdrucks aus. Die Energie für die Herstellung lieferte die Natur über Jahrmillionen – ganz ohne Treibhausgasemissionen. Doch die Anwendungen für Naturstein sind wegen der hohen Kosten limitiert, abgesehen von privaten Luxusfreuden. Als Belag für Plätze ist heller Naturstein eine gute Alternative, auch weil er die Sonneneinstrahlung reflektiert und angenehm warm, aber nie heiss wird → Stadthitze. Randsteine und Böschungsmauern aus China sind aber tabu. Der vermeintlich tiefe Preis, den internationale Submissionsregeln drücken, verursacht hohe Klimakosten. Auch für Verkleidungen für den Sockel kommt Naturstein infrage. Vorgehängte Steinplatten an einer ganzen Fassade setzen allerdings eine aufwendige Unterkonstruktion voraus, weil sie schwer und relativ dick sind → Fassade. Das verschlechtert ihre Treibhausgasbilanz.

90

R - Recyclingbeton

Mit Recyclingbeton lässt sich die Weste nicht reinwaschen. Das Material schont die Ressourcen und die Landschaft, hilft aber nicht gegen die Klimakrise. Recyclingkiessand und Granulat aus Beton oder Mischabbruch aufzubereiten, braucht etwa gleich viel Energie wie das Primärmaterial. Und da rezyklierte Zuschlagstoffe nicht ganz so rein sind, benötigen sie teilweise sogar mehr Zement. Mit neuer Technik könnte sich dies ändern. Verschiedene Hersteller arbeiten zudem an Verfahren, um im Recyclingbeton CO₂ einzuspeichern → Kohlenstoffsенке. Ausser dort, wo sehr hohe Festigkeiten gefragt sind, sollte man also auf klimaoptimierten Recyclingbeton setzen, solange er aus einem Umkreis von maximal 50 Kilometern kommt.

Werner Sobek, «non nobis – über das Bauen in der Zukunft, Band 1: Ausgehen muss man von dem, was ist», Stuttgart 2022, S. 44–52

9 EJ steht für Exajoule.
1 EJ = 10¹⁸ J

Prozessbedingte Emissionen
sind alle nicht energiebedingten Emissionen, also beispielsweise solche, die durch chemische Reaktionen und dabei freigesetzte Treibhausgase während der Produktion von Baustoffen entstehen.

Energiebedingte Emissionen
Emissionen, die bei der Bereitstellung von Elektrizität, Wärme und Kälte entstehen. Energiebedingte Emissionen werden in direkte und indirekte energiebedingte Emissionen unterschieden.

10 Weltweite anthropogene CO₂-Emissionen: ca. 40 Gt a⁻¹; weltweite anthropogene klimaschädliche Emissionen aus CO₂, CH₄ und N₂O: ca. 52 Gt CO₂-Äq. a⁻¹ (Emissionen aus AFOLU und NON-AFOLU, siehe Glossar)

Sekundärfeuerung
Begriff aus der Zementherstellung. Die Sekundärfeuerung erfolgt vor oder beim Eintritt des zu brennenden Materials in den Drehrohrofen. Zeitlich gesehen findet sie also vor der Primärfeuerung statt. Die Sekundärfeuerung erfolgt typischerweise durch Verbrennen von Abfällen wie Altreifen, Altölen etc. Sie ist in Bezug auf die bei ihr frei werdenden Emissionen entsprechend kritisch zu bewerten. Siehe auch: Primärfeuerung.

Primärfeuerung
Seite 46

Zement

Die weltweite Zementproduktion belief sich im Jahr 2019 auf etwa 4,1 Gt [17]. Die zur Herstellung erforderliche Energiemenge beläuft sich auf etwa 10,6 EJ 9. Damit steht die Zementindustrie mit einem Anteil von 7% auf Platz 3 der Liste der weltweit größten Energieabnehmer. Die bei der Zementherstellung entstehenden CO₂-Emissionen belaufen sich weltweit auf etwa 2,3 Gt CO₂ a⁻¹. Circa 55% davon, also 1,2 Gt sind prozessbedingte t, die übrigen 1,1 Gt sind energiebedingte t Emissionen. In der deutschen Zementproduktion liegen diese Werte bei 60% prozessbedingten und 40% energiebedingten Emissionen [20]. Die bei der Zementproduktion entstehenden Emissionen stellen einen Anteil von ca. 6% der weltweiten CO₂-Emissionen dar 10.

Zur Herstellung von Zement werden im Wesentlichen Kalkstein sowie, in untergeordneter Menge, weitere Zusatzstoffe verwendet. Das Material wird im Vorwärmer (Sekundärfeuerung t) auf Temperaturen zwischen 850 und 1.100 °C gebracht, bevor es anschließend in den Drehrohrofen (Primärfeuerung t) eingebracht und dort bei Prozesstemperaturen von rund 1.450 °C gebrannt wird (Klinkerbrand).

Die Bereitstellung der bei der Zementherstellung erforderlichen Prozesswärme ist mit hohen Energiekosten verbunden. Um diese zu senken, werden häufig Abfälle wie Altöl, Altreifen, Abfälle aus der Textilindustrie o. Ä. mitverbrannt [20]. Welche Abfälle bzw. „alternativen Brennstoffe“ bei der Zementherstellung in welchem Umfang verwendet werden, ist exemplarisch in Abbildung 10 dargestellt. Je nach Heizwert und Brenntemperatur können die Abfälle teilweise nur am Einlauf des Drehrohrofens eingegeben werden oder sie werden zum Erhitzen des Kalkgesteins und anderer Zusätze vor deren Einführung in den Drehrohrofen benutzt. Obwohl der letztgenannte Vorgang zeitlich vor dem eigentlichen Klinkerbrand („Hauptfeuerung oder Primärfeuerung“) im Drehrohrofen stattfindet, spricht man bei dieser (erstmaligen) Erhitzung des Zugabematerials, die in den Zyklonbatterien und/oder im Calzinator stattfindet, von einer Sekundärfeuerung oder Sekundärverbrennung. Das Zugabematerial wird in der Sekundärfeuerung auf Temperaturen zwischen 850 und 1.100 °C erhitzt. Da die Sekundärfeuerung nahezu ausschließlich über die Verbrennung von Altöl, Reifen, Lackresten und

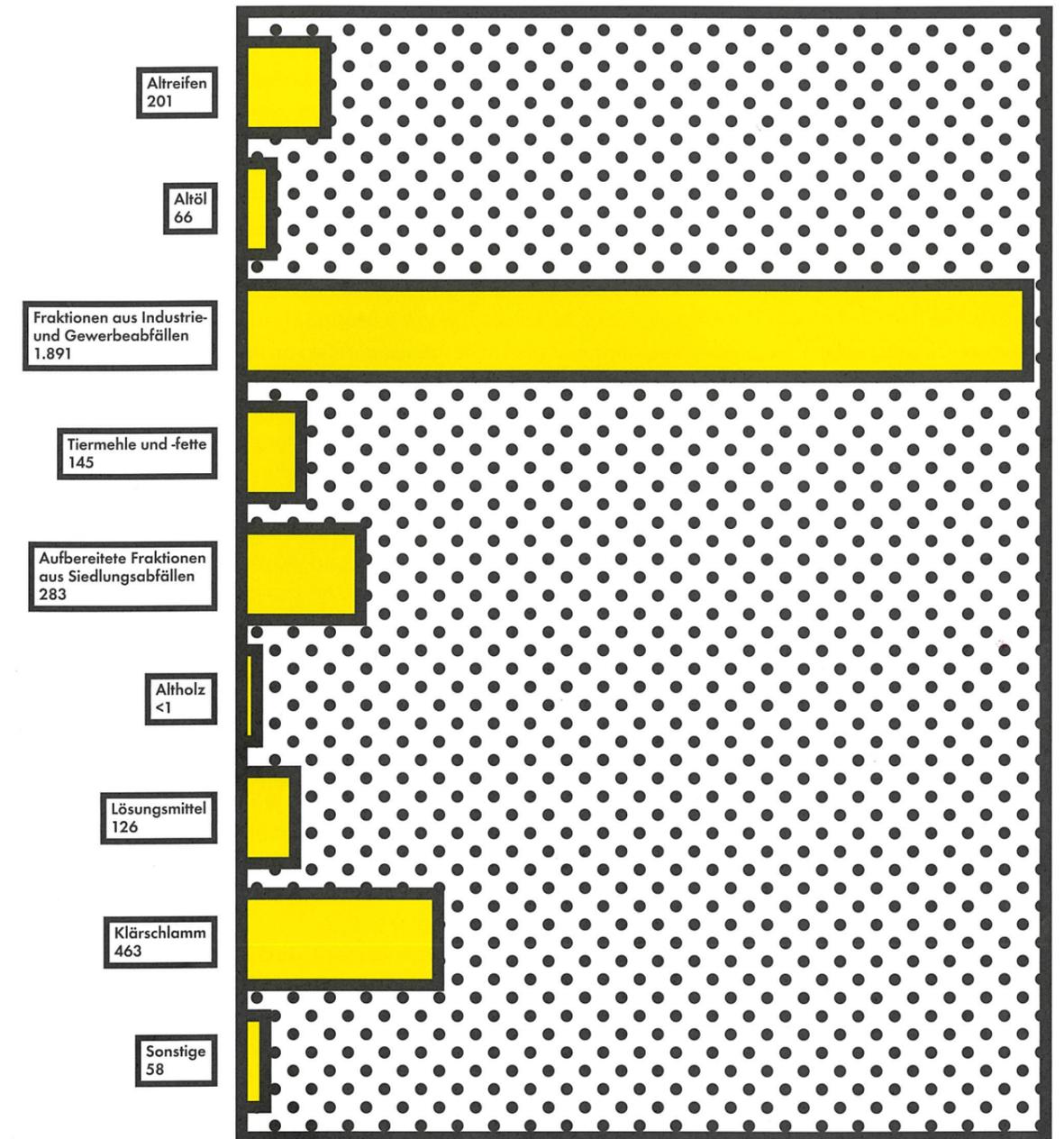


Abb. 10 rechte Seite: Art und Menge der in Deutschland im Jahr 2016 bei der Sekundärfeuerung der Zementherstellung eingesetzten alternativen Brennstoffe in Tsd. t. Nach [23].

Primärfeuerung
Begriff aus der Zementherstellung. Unter der Primärfeuerung versteht man die am unteren Ende des Drehrohrofens angebrachte Befeu-
rungsanlage, mittels derer der Klinkerbrand durchgeführt wird, was Temperaturen zwischen ca. 1.450 und 1.550 °C erfordert. Die Sekundärfeuerung erfolgt vor oder beim Eintritt des zu brennenden Materials in den Drehrohrofen. Zeitlich gesehen findet sie also vor der Primärfeuerung statt.

ähnlichen Abfällen und nicht immer unter optimalen Prozessbedingungen stattfindet, entstehen dort enorme Mengen an Abgasen wie Kohlenstoffmonoxid, flüchtige Kohlenwasserstoffe etc. Des Weiteren werden (insbesondere bei einer Sekundärfeuerung) im Calzinator neben den genannten Substanzen auch Thallium, Quecksilber, Ammonium und andere [21] freigesetzt, die bei Fehlen eines geeigneten Filtersystems in die Umwelt abgegeben werden. Überall dort, wo eine verantwortungsvolle Prozessführung und eine dementsprechende technische Ausstattung sowie eine geeignete Fremdüberwachung fehlen, ist daher mit der Emission von teilweise toxischen, teilweise umweltschädigenden Gasen und Stäuben zu rechnen [22]. Da die genannten erforderlichen Maßnahmen in einigen Fällen technisch nicht einfach und zudem mit Mehrkosten verbunden sind, kann davon ausgegangen werden, dass in vielen Ländern bei der Herstellung von Zement neben den bekannten energie- und prozessbedingten CO₂-Emissionen auch erhebliche Mengen an weiteren Emissionen getätigt werden.

Interessant ist die weitverbreitete Argumentation, dass es sich bei der Verbrennung von Altöl und Altreifen um die Verbrennung von biogenen \uparrow Stoffen handelt. Die damit erzeugte Konnotation, dass die Verbrennung dieser Stoffe nichts anderes sei als deren Wiedereinbringen in die biologischen Kreisläufe der Erde, ist abwegig. Die entstehenden Aschen sind mitunter hochtoxisch und können keinesfalls in der Land- oder Forstwirtschaft oder sonstwo ausgebracht werden.

Würde man bei der Zementherstellung auf Energie, die durch Verbrennungsprozesse bereitgestellt wird, komplett verzichten, könnte man den energiebedingten Anteil der klimaschädlichen Emissionen auf null drücken. Werden die Vereinbarungen zum Klimaschutzabkommen von Paris eingehalten, dann ist dies spätestens im Jahr 2050 der Fall.

Bei der Herstellung von Zement wird das in Form von gebrochenem Kalkstein eingebrachte Calciumcarbonat (CaCO₃) in Calciumoxid (CaO) und CO₂ überführt. Die dabei freigesetzten prozessbedingten CO₂-Emissionen stellen mit 55% (Deutschland: 60%) den Hauptanteil der klimaschädlichen Emissionen der Zementindustrie dar. Angesichts der zunehmenden Kritik an der Zementherstellung als solcher und damit auch am Baustoff Beton sowie anstei-

gender Preise für CO₂-Zertifikate, bspw. in Europa, ist die Zementindustrie gezwungen, „neue“ und prozessbedingt CO₂-ärmere Zemente zu entwickeln.

Eine Reduktion der bei der Zementerzeugung entstehenden prozessbedingten CO₂-Emissionen kann über einen vermehrten Ersatz von Zementklinker durch abfallbasierte Rohstoffe wie Flugasche, Porenbetongranulat oder auch durch Zugabe getemperter Puzzolane, gebranntem Schiefer, Silikatstäuben und anderen erreicht werden. Je nach Beimischungszusammensetzung und Beimischungsmenge erhält man so unterschiedliche Zementarten, die gegenüber einem Portlandzement, reduzierte CO₂-Emissionen aufweisen. In Tabelle 2 lässt sich ablesen, dass beispielsweise durch Verwendung von Zementen der Zementart CEM III/A (CEM III/B) bis zu 30% (61%) der CO₂-Emissionen gegenüber einem Zement des Typs CEM I, also reinem Portlandzement, eingespart werden können. Bei der Auswahl eines Zements ist zu beachten, dass die unterschiedlichen Zementarten unterschiedliche Eigenschaften wie z. B. ein unterschiedliches Abbindeverhalten haben und dass nicht jede Zementart für alle Einsatzzwecke geeignet ist.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass bei den in Tabelle 2 angegebenen Werten die vorgelagerten Emissionen, wie sie beispielsweise durch die Bildung von Hochofenschlacke in der Stahlindustrie entstehen, nicht berücksichtigt sind. Die günstigen CO₂-Werte der Qualitäten CEM III/A und CEM III/B entstehen also auch dadurch, dass die bei der Bildung von Hochofenschlacke entstehenden CO₂-Emissionen der Stahlindustrie zugerechnet werden, von der die Hochofenschlacke bezogen wird (und nicht dem Endprodukt Zement, in dem diese enthalten ist). Derartige „Verschiebebahnhöfe“ innerhalb von Prozess- und Lieferketten sind häufig zu beobachten. Sie führen immer wieder dazu, dass einem Baustoff eine Qualität zugesprochen wird, die dieser nicht besitzt.

Es ist möglich, dass nicht alle Substitute in hinreichend großen Mengen zur Verfügung stehen, um die gesamte Zementproduktion entsprechend umzustellen. Hütten- oder Schlackensand beispielsweise entsteht durch Granulation von flüssiger Hochofenschlacke mit Wasser und/oder Luft. Er ist ein feinkörniges, glasiges Nebenprodukt der Roheisenherstellung im Hochofen. Seine Verfügbarkeit für die Zementindustrie ist somit an die Menge der Roheisenher-

Biogen
Von Lebewesen stammend. Siehe auch: Biogene Emissionen, technogen, geogen, anthropogen.

stellung und an die dabei angewandten Produktionsverfahren gebunden, siehe auch Abbildung 12.

Die Reduktion der mit der Zementproduktion verbundenen Emissionen ist für die Zementforschung eine sehr schwierige Aufgabe. Neben den bereits geschilderten Maßnahmen geht man deshalb immer mehr dazu über, die Forschung auf das Gesamtsystem Beton dahingehend auszudehnen, dass man im ersten Schritt, also bei der Zementherstellung, die Emissionen möglichst weit reduziert und im zweiten Schritt, der Betonherstellung, den mit diesem Zement hergestellten Beton und/oder seine Zuschläge zur Aufnahme von CO₂ zwingt. Ein vielversprechender Ansatz besteht dabei in der Behandlung von Schotter, Splitt und Sand aus Recyclingbeton dadurch, dass diese Zuschlagsstoffe ca. zwei Stunden in flüssigem CO₂ eingelagert werden. In dieser Zeitspanne werden im Zuschlagsmaterial ca. 10 kg CO₂ m⁻³ chemisch gebunden [24]. In [25] wird berichtet, dass es in Japan sogar gelungen ist, einen CO₂-negativen Beton herzustellen. Dabei wird einerseits Hochofenschlacke verwendet, was, wie von den Zementarten CEM III/A und CEM III/B bereits bekannt, zu reduzierten Emissionen bei der Zementherstellung führt. Zusätzlich war der Versuch, bei der Weiterverarbeitung zu Beton weitere 70 bis 170 kg CO₂ m⁻³ durch Bildung von Calciumcarbonat zu fixieren, erfolgreich. Auf diese Weise wird es möglich, einen Beton (nicht einen Zement!) mit negativen Emissionen in der Größenordnung von ca. -55 kg CO₂ m⁻³ herzustellen.

Abgesehen von Sonderanwendungen mit vernachlässigbarer Tonnage ist das Bauwesen der alleinige Abnehmer der gesamten Zementproduktion. Das Gros des Zements geht in die Herstellung von Beton, nur in untergeordnetem Umfang wird Zement zur Stabilisierung von Böden o. Ä. verwendet.

Abbildung 11 zeigt, dass sich die weltweite Zementproduktion in den vergangenen 15 Jahren verdoppelt hat. Bereits im Jahr 2008 war der Zementverbrauch in China größer als der im Rest der Welt. Zwar scheint das hohe Verbrauchsniveau in China nicht noch weiter anzusteigen, es ist jedoch davon auszugehen, dass jetzt andere, bisher weniger intensiv bebaute Kontinente oder Regionen wie Afrika und Südamerika einen steigenden Bedarf aufweisen werden. Siehe hierzu insbesondere auch das zweite Buch der Trilogie.

Zementart	Code	PZK	S	P	V	T	LL	CO ₂ -Red. Min.	CO ₂ -Red. Max. bei 95% PK	CO ₂ -Red. Max. bei 100% PK
Portlandzement	CEM I	95-100						-	-	-
Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80-94	6-20					-1%	-15%	-20%
Portlandhüttenzement	CEM II/B-S	65-79	21-35					-16%	-30%	-35%
Portlandpuzzolanzement	CEM II/A-P	80-94		6-20				-1%	-15%	-20%
Portlandpuzzolanzement	CEM II/B-P	65-79		21-35				-16%	-30%	-35%
Portlandflugaschezement	CEM II/A-V	80-94			6-20			-1%	-15%	-20%
Portlandflugschieferzement	CEM II/A-T	80-94				6-20		-1%	-15%	-20%
Portlandflugschieferzement	CEM II/B-T	65-79				21-35		-16%	-30%	-35%
Portlandflugkalksteinzement	CEM II/A-LL	80-94					6-20	-1%	-15%	-20%
Hochofenzement	CEM III/A	35-64	36-65					-31%	-60%	-65%
Hochofenzement	CEM III/B	20-34	66-80					-61%	-75%	-80%

Tab. 2 rechte Seite: CO₂-Reduktion bei der Herstellung von Zement durch partiellen Einsatz von Klinkersubstituten. Nach [20].

Abb. 11 linke Seite oben: Entwicklung der Zementproduktion. Weltweit, China und „Rest der Welt“ (d.h. weltweit ohne China). Stand 2017. In Gt. Nach [26].

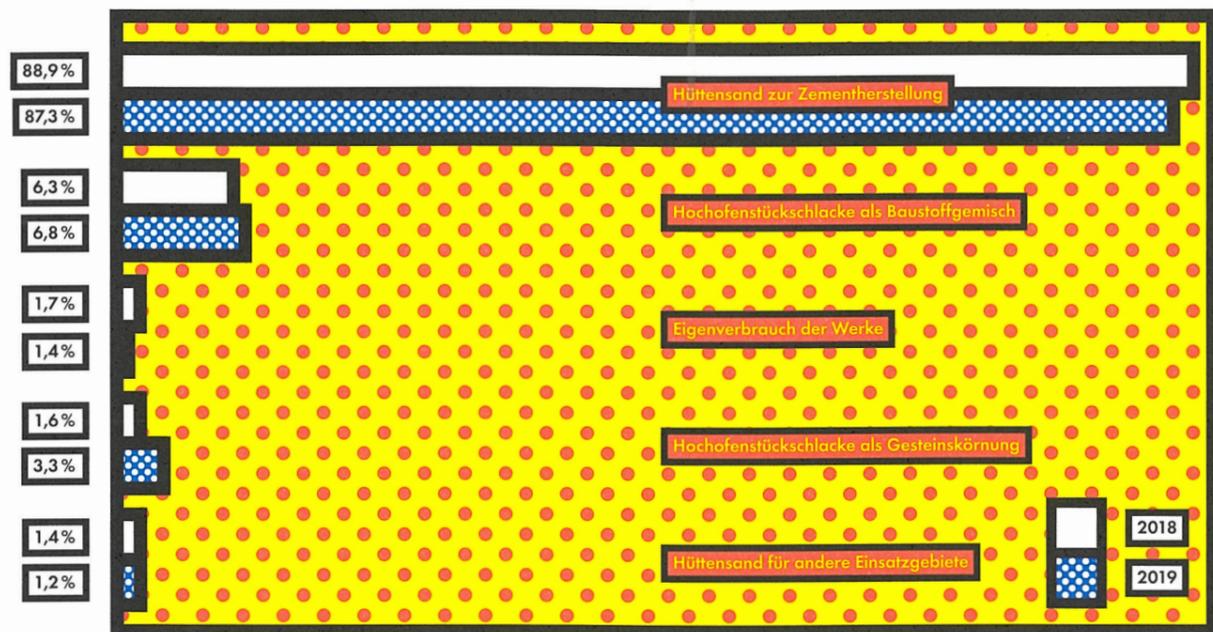
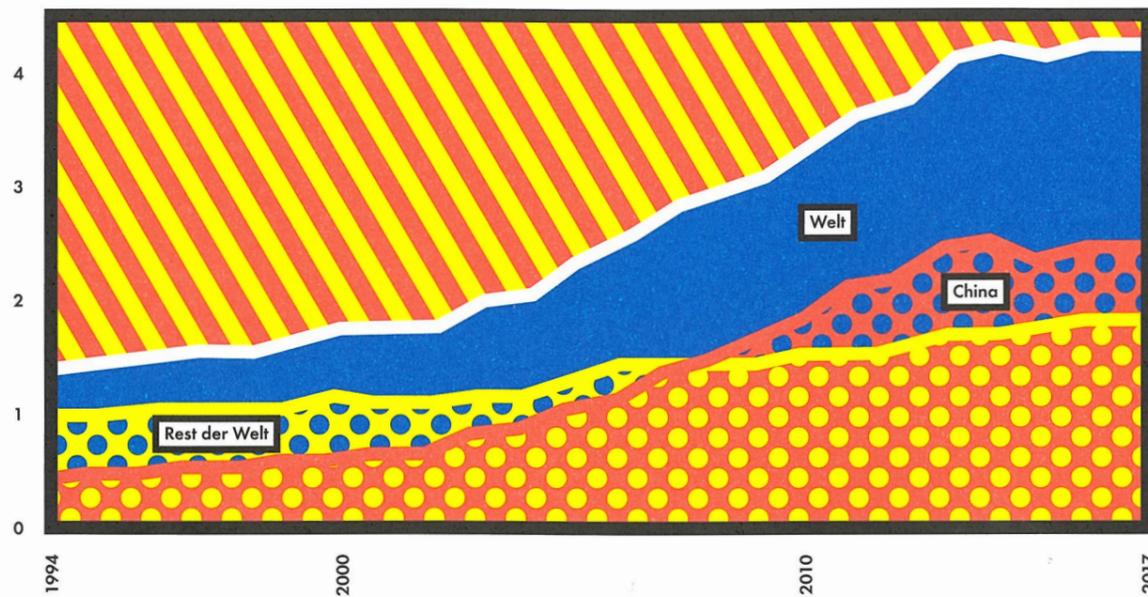


Abb. 12 linke Seite unten: Verwendung von Hochofenschlacke in Deutschland. Nach [27].

In Deutschland verteilte sich die Zementproduktion im Jahr 2018 folgendermaßen auf die einzelnen Sparten: Wohnungsbau: 32 %, Nichtwohnungsbau: 33,5 %, Tiefbau: 34,5 % [28], somit also zu ca. 2/3 auf den Bereich der Gebäude und zu ca. 1/3 auf die Infrastrukturbauten.

Der vielfach schon vor der allgemeinen Bewusstwerdung des Beitrags der Zementproduktion zur Erderwärmung aufgrund seiner Farbe und seiner Oberflächenqualitäten immer wieder ungeliebte Baustoff Beton ist in den vergangenen Jahren massiv in die Kritik geraten. Diese Kritik ist berechtigt, darf aber nicht dazu führen, dass der Baustoff nicht mehr verwendet werden darf. Er ist für das Bauschaffen insgesamt zu wichtig, sei es wegen seiner niedrigen Kosten, seiner Robustheit, seiner Wasserdichtigkeit, seinem Schalldämmvermögen, seiner Feuerbeständigkeit und vielen anderen Eigenschaften mehr. Zudem ist er weder kurz- noch mittelfristig auf einfache Weise zu ersetzen, da geeignete Substitute eigenschaftsmäßig und/oder mengenmäßig nicht vorhanden sind. Es muss also darum gehen, den Baustoff Beton einschließlich seines Bindemittels Zement zukunftsfähig zu machen. Hierauf wird im zweiten Buch näher eingegangen.

Literaturverzeichnis

- [18] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Konzeptionelle Recherche Baustoffe und Stoffkreisläufe: internes Gutachten im Auftrag der Bundesstiftung Baukultur, Wuppertal, 2017.
- [19] P. Peduzzi, Sand, rarer than one thinks, UNEP Global Environmental Alert Service, 2014.
- [20] Abfallmitverbrennung in Zementwerken: Sachverständigenutachten, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020.
- [21] H. Schönberger, State of the art of the co-incineration of waste-derived fuels and raw materials in clinker/cement plants, Habilitationsschrift, Universität Stuttgart, 2021.
- [22] J. Waltisberg, Die neuen Vorschriften über die organischen Emissionen in der Schweizer Luftreinhalteverordnung (Version 2016), 2018.
- [23] Prognos AG, Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2018. Düsseldorf, 2018.
- [24] <https://www.neustark.com/>, aufgerufen am 15.02.2021.
- [25] https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2014/140909_3940.html, aufgerufen am 20.07.2020.
- [26] Sand and sustainability: finding new solutions for environmental governance of global sand resources, UNEP, Geneva, 2019.
- [27] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/242117/umfrage/verwendung-von-hochofenschlacke-in-deutschland/>, aufgerufen am 12.08.2020.
- [28] <https://www.vdz-online.de/>, aufgerufen am 20.07.2020.

«Beton ist unersetzlich», Karen Scrivener im Interview mit Andres Herzog, Hochparterre 10/2019, S. 10–16

«Beton ist unersetzlich»

Karen Scrivener forscht an der EPFL, wie wir weniger und klimafreundlicher betonieren können. Ein Gespräch über CO₂-armen Zement, Wüstensand und 3-D-Drucker.



Bauen heisst betonieren. Jedes Jahr werden weltweit 4000 Millionen Tonnen Zement produziert. Die Welt ist betonsüchtig.

Karen Scrivener: Nach Wasser ist Beton das meistverwendete Material der Menschheit. Weltweit produzieren und verbrauchen wir mehr Beton als Nahrungsmittel. Das zeigt die immense Bedeutung von Beton.

China verbaute in den letzten drei Jahren mehr Beton als die USA im ganzen 20. Jahrhundert.

In China hat sich der Verbrauch inzwischen mehr oder weniger stabilisiert. Doch das Land hat eine unglaubliche Entwicklung hinter sich. Seit den Siebzigerjahren hat sich dort die Betonproduktion rund verundertfacht. Beton wurde

für Wohnbauten, für Bürohäuser und für Infrastrukturbauten verwendet. Man muss sich bewusst sein: Beton spielt eine zentrale Rolle, um die Welt zu modernisieren und Menschen aus der Armut herauszuholen.

Sind Wohlstand und Beton also fundamental verknüpft?

Absolut. Es gibt keine Alternativen. Andere Materialien bedeuten immer höhere Kosten und mehr CO₂. Die einzige Alternative wäre zurück in die Lehmhütten. Doch das ist angesichts der hohen Zahl der Weltbevölkerung nicht praktikabel.

In welchen Bereichen der Bauwirtschaft wird Beton vor allem verwendet?

Das Material ist überall, auch wenn wir es nicht immer sehen. Selbst wenn wir von Glastürmen sprechen: Die Struktur hinter der Fassade ist aus Beton. Sogar ein Holzgebäude hat ein betoniertes Fundament. Und noch eine überraschende Zahl: Nur rund die Hälfte des Zements wird für Beton selbst verwendet. Die andere Hälfte braucht es für Mörtel, Putz und so weiter.

Warum ist Beton so elementar fürs Bauen?

Zuallererst, weil das Material so günstig ist. Selbst Backstein ist heutzutage teurer, denn die Steine müssen einzeln geformt, gebrannt und transportiert werden. Zweitens ist Beton einfach herzustellen und extrem flexibel. Jeder kann einen Sack Zement kaufen, diesen mit Wasser bei Raumtemperatur mischen und in eine beliebige Form giessen. Und drittens kann man Beton fast überall auf der Welt produzieren, die Rohmaterialien dafür gehören zu den häufigsten auf diesem Planeten.

Kann da kein anderes Material mithalten?

Nein. Kein anderes Material kann die immense globale Nachfrage ersetzen. Holz gibt es schlicht und einfach nicht genügend, um auf globaler Ebene einen substanziellen Beitrag fürs Bauen zu leisten.

Doch Beton hat zwei grosse Probleme: den CO₂-Ausstoss und den Ressourcenverschleiss.

Diese Herausforderungen sind real, aber wir müssen sie im Kontext betrachten. Die Situation wird nicht besser, wenn wir Beton durch Stahl,

Backstein oder eben auch Holz ersetzen. Der CO₂-Ausstoss würde sogar steigen.

Tatsächlich? Selbst bei Holz?

Ja, denn wir müssen die gesamte Energie mitrechnen, auch jene fürs Fällen, den Transport und das Kleben von Brettschichtholz. Und wir müssen das Verhältnis beachten zwischen dem Holz, das verwendet wird, und jenem, das gefällt wird, verrottet und das CO₂ wieder emittiert. Selbst in Ländern mit viel Wald ist nicht klar, ob Holz tatsächlich klimafreundlicher wäre.

Sogar in der Schweiz?

In Vergleichen von verschiedenen Gebäuden variiert der CO₂-Ausstoss pro Quadratmeter um etwa den Faktor zwei, egal ob das Haus aus Holz oder Beton gebaut ist. Das Resultat hängt von der Auswahl der Beispiele ab. Wenn man den besten Holzbau mit dem schlechtesten Betonhaus vergleicht, schneidet Holz besser ab. Doch übers Ganze gesehen sind die beiden Materialien bei den CO₂-Emissionen etwa gleich.

In den letzten Jahren war viel von Stampflehm die Rede. Ist das keine Alternative?

Stampflehm ist an sich ein wunderbares Baumaterial, doch er ist nicht wasserfest. Früher haben die Menschen darauf reagiert und zum Beispiel Vordächer erstellt. Heute fügt man dem Lehm meist Zement zu. Das führt dazu, dass die Stampflehm-Konstruktion schlechter abschneidet als purer Beton.

Das müssen Sie erklären.

(Scrivener zeigt eine Grafik, die die CO₂-Intensität von Baumaterialien ins Verhältnis zum Lastabtrag setzt.)

Wenn Sie ein stark belastbares Material haben, brauchen Sie weniger davon. Verschiedene Betonmischungen variieren diesbezüglich beträchtlich, Stampflehm aber tanzt aus der Reihe. Das Material ist vier Mal weniger CO₂-effizient als Beton. Zudem braucht das Bauen enorme Mengen an Material. Denken Sie an die Megacities rund um den Globus. Woher soll der Lehm für all diese Bauten kommen? Stampflehm funktioniert nur in einer sehr kleinen und wohlhabenden Nische, wie zum Beispiel in der Schweiz.

An Beton scheint kein Weg vorbeizuführen. Doch der Welt geht der Sand aus.

Darüber liest man in den Medien. Es stimmt, dass der einfach verfügbare Sand etwa in Flüssen ausgeht. Doch es gibt andere Möglichkeiten. Sie können zum Beispiel Gestein zerkleinern, um Sand herzustellen. Das wird in ganz Europa schon länger gemacht, wo die natürlichen Sandquellen bereits vor einiger Zeit versiegt sind. Fabrizierter Sand kostet lediglich etwas mehr, und man muss die Prozesse anpassen.

Man liest auch, Wüstensand könne man nicht für die Betonproduktion verwenden.

Doch, das kann man. In Wüstensand sind die Partikel jedoch alle ähnlich gross. Das ist nicht gut für Beton. Es braucht grössere und kleinere Steine, und je besser die Streuung der Korngrösse ist, desto enger kann man sie zusammenpacken. Man könnte aber auch Wüstensand zermahlen und so eine gute Partikelverteilung erreichen. Das bedeutet einfach etwas mehr Arbeit.

Die Ressourcenknappheit ist also kein Problem?

Nicht wirklich. Letztendlich braucht man für Bauwerke immer eine bestimmte Menge Material, das irgendwoher kommen muss. Es gibt keine magische Lösung. Deshalb ist die Effizienz des Materials die entscheidende Grösse. Beton ist diesbezüglich sehr sparsam im Verhältnis zu anderen Materialien.

Welchen Beitrag kann Recyclingbeton leisten?

Bei Recyclingbeton wird in der Regel Beton zermahlen, und die Zuschlagstoffe werden wiederverwendet. (Scrivener stellt einen Behälter mit Betonkieseln auf den Tisch.) Diese vom Zement zu lösen und zu reinigen, ist sehr schwierig. Weil die Oberflächen nicht sauber sind, braucht Recyclingbeton mehr Zement, und damit erhöht sich die graue Energie. Recycling ist sehr wichtig, um Ressourcen zu sparen und die Natur zu schonen. Fürs Klima ist Betonrecycling momentan noch kein wesentlicher Beitrag, aber das ändert sich hoffentlich in Zukunft. Es wird viel geforscht an Technologien, um die Zuschlagstoffe besser zu säubern.

Sprechen wir über Zement, das schlimmste Material im Beton, was CO2 angeht.

90 bis 95 Prozent der CO2-Emissionen von Beton stammen aus der Zementherstellung. Das liegt unter anderem an den hohen Brenntemperaturen und an den dafür benötigten Brennstoffen. In Europa stammt achtzig Prozent der Energie aus alternativen Energiequellen, aus Plastikabfällen oder Reststoffen wie zum Beispiel alten Autoreifen. Mehr als sechzig Prozent des CO2-Ausstosses von Zement ist aber das Resultat der chemischen Reaktion. Hauptbestandteil von Zement ist Kalkstein, also Kalziumkarbonat. Durch die hohe Hitze zerfällt es in Kalziumoxid und Kohlenstoffdioxid. Daran lässt sich nichts ändern, auch nicht mit klimafreundlicheren Energiequellen.

Braucht es also einen anderen Ansatz, etwa den LC3-Zement, an dem Sie seit Langem forschen?

Herkömmlicher Portlandzement besteht zu 95 Prozent aus Klinker, der bei rund 1450 Grad Celsius gebrannt wird. (Sie stellt ein Glas mit Klinkerstückchen auf den Tisch.) Entscheidend für die CO2-Bilanz ist also, möglichst viel des Klinkers durch andere Materialien zu substituieren. Beim LC3-Zement ersetzen wir rund die Hälfte des Klinkers durch gebrannten Ton und rohen Kalkstein. Beide Materialien sind weltweit reichlich vorhanden und ergänzen einander positiv. Mit LC3-Zement erreichen wir gleiche oder sogar bessere Eigenschaften als mit herkömmlichem Portlandzement und reduzieren die CO2-Emissionen um dreissig bis vierzig Prozent.

Ist dieser Zement bereits erhältlich?

Er wird noch in diesem Jahr in mehreren Ländern auf den Markt kommen. In Europa zeigen grosse Hersteller wie Lafarge Holcim oder Heidelberg Interesse. In Südamerika sind erste Firmen kurz vor der Einführung. In einigen Ländern in Afrika werden Fabriken gebaut. Wir gewinnen also an Fahrt. Allerdings gibt es Tausende Zementfabriken und Hunderte Zementfirmen auf der Welt. Wir haben also in den nächsten fünf bis zehn Jahren noch viel Arbeit vor uns.

Was sind die grössten Hürden?

Zement ist ein Massenartikel, das bedeutet: grosse Mengen, tiefe Margen. In einem solchen Um-

feld ist jede Veränderung schwierig. Die Trägheit der Industrie ist das grösste Problem.

Lohnt sich die Umstellung für die Firmen finanziell?

Die Produktion von LC3 ist bis zu 25 Prozent günstiger als die von herkömmlichem Zement, weil sie Energie und Rohmaterial spart. Im Moment gibt es jedoch für die Produzenten noch sehr wenige Anreize, den Prozess zu ändern – obwohl alle über CO2 sprechen.

Würde eine CO2-Steuer den Druck erhöhen?

Grundsätzlich ja. Es braucht aber eine globale Lösung. 95 Prozent der Produktion geschieht ausserhalb Europas. Eine nur europäische CO2-Steuer würde auf den globalen Zementsektor wenig Auswirkung haben.

Welche anderen Ansätze gibt es, Beton klimafreundlicher zu machen?

Wir müssen die ganze Wertschöpfungskette betrachten, vom Klinker über den Zement bis zum Beton und weiter zur Statik und zum Gebäude. Über die Zementproduktion haben wir gerade gesprochen. Beim Beton müssen wir den Zementanteil minimieren, zum Beispiel, indem wir die Zusammensetzung von Sand, Kiesel und Steinen optimieren. Zuschlagstoffe mit unterschiedlicher Korngrösse brauchen weniger Zement. Die Technologien sind bekannt, das Problem ist die Umsetzung. Sind die Materialien verfügbar? Gibt es genug Platz auf der Baustelle, um verschiedene Zuschlagstoffe zu lagern? Und nicht zuletzt hat die Tragstruktur grosses Potenzial zur CO2-Einsparung. Die Menge an Beton pro Nutzfläche variiert um den Faktor drei – je nach statischem Konzept. Schliesslich geht es auch darum, ob ich ein Gebäude abreisse und dort neu baue. Mit jedem Abriss verschwende ich das CO2, das bei der Erstellung verursacht wurde.

Untersuchungen zeigen, dass sich bis zur Hälfte des Materials einsparen liesse, wenn effizienter konstruiert, die Statik weniger konservativ gerechnet und keine Baufehler vorkommen würden.

Absolut. Wir haben in einer Studie zusammen mit der ETH Zürich verschiedene Szenarien berechnet. Wenn wir auf allen Ebenen ansetzen, können wir den CO2-Ausstoss der Betonkons-

truktionen um fast achtzig Prozent reduzieren, verglichen mit 1990.

Müssen wir also die Baunormen ändern?

Unsere Berechnungen beruhen auf den bestehenden Normen. Wir können rasch unglaublich viel erreichen, ohne die Rahmenbedingungen anzupassen. Der Klimawandel lässt uns keine Zeit.

Die ETH Zürich forscht viel am sogenannten digitalen Beton, der unter anderem mit Schalenkonstruktionen den Materialverschleiss reduziert. Was halten Sie davon?

Solche Bemühungen sind zwar technologisch interessant, jedoch oft sehr teuer und schwierig zu implementieren. Neunzig Prozent der Zementproduktion für Beton fällt in nicht hochentwickelten Ländern an. Dort sind derartige Technologien nicht verfügbar.

Und 3-D-Druck?

Von der Idee des 3-D-gedruckten Betons bin ich nicht überzeugt. Die 3-D-Drucker schichten Ebenen aufeinander, die schwach miteinander verbunden sind. Unklar ist auch, wie die Armierung in den Beton gelangen soll.

Was können Architekten tun, um sorgfältiger mit Beton umzugehen?

Architekten müssen sich besser über Material und graue Energie informieren. Ausserdem gilt es, die Zusammenhänge zwischen der Tragstruktur und dem CO2-Ausstoss zu verstehen. Nehmen Sie das Rolex Learning Center der EPFL. Das Gebäude gefällt mir sehr. Aber es hat sehr viel Beton verbraucht, um diese aussergewöhnliche Form zu erreichen. Architekten sollten sich weniger an ikonischen Bauten und mehr an durchschnittlichen Gebäuden orientieren, um die Energieeffizienz zu erhöhen.

Die Schweiz ist ein Betonland. Was können wir hier zur Lösung beitragen?

Wir müssen über den Tellerrand hinausschauen. An meinem Lehrstuhl arbeiten wir mit Universitäten in China, Indien und Kuba zusammen. Mit LC3-Beton können wir weltweit zehn Mal so viel CO2 einsparen, wie die Schweiz jährlich freisetzt. Den CO2-Ausstoss in der Schweiz auf null zu senken, würde ungeheuer viel kosten. Im

Vergleich dazu ist der Aufwand für unsere Forschung ein Schnäppchen, und sie kann eine viel grössere Wirkung erzielen.

Müssen wir unsere Prioritäten überdenken?

Ja, denn eine Frage ist extrem wichtig – für alle Industrieländer. Nämlich die nach dem grössten Impact. Acht Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen stammen aus der Zementproduktion. In Industrieländern entfallen aber achtzig Prozent auf die Energieproduktion, also Strom, Autos, Flugzeuge. Wir sollten hierzulande unseren Fokus darauf richten. Bei Zement ist es genau umgekehrt: Die grossen Verbraucher sind jene Länder, die ihre Infrastruktur erst bauen, wie China vor ein paar Dekaden. In diesen Ländern können wir viel günstiger und schneller CO₂ einsparen.

Betonforscherin

Die Engländerin Karen Scrivener (61) ist Professorin an der EPFL und leitet dort seit 2001 das Laboratoire des matériaux de construction. Die Materialwissenschaftlerin forscht seit Jahrzehnten zum Thema Zement und Beton. 2004 gründete sie das Konsortium Nanocem, das Partner aus Forschung und Industrie vernetzt, um die Grundlagenforschung rund um Zement und Beton zu stärken. Seit 2013 arbeitet sie an ihrem Lehrstuhl an LC3-Zement, um den Beton klimaverträglicher zu machen.

Weniger dreckiger Zement

Es gibt verschiedene Ansätze, um den CO₂-Ausstoss von Beton zu verringern. Einer davon ist LC3-Zement. Die Bezeichnung steht für Limestone Calcined Clay Cement. Die EPFL hat das Material zusammen mit Universitäten in Kuba und in Indien entwickelt. Die Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit unterstützt das Projekt mit Bundesgeldern. Die Wissenschaftlerinnen haben den Klinkeranteil im Zement von 95 auf 50 Prozent reduziert und durch Ton und Kalkstein ersetzt, zwei Materialien, die weltweit in grossen Mengen verfügbar sind. Damit können sie die CO₂-Emissionen um 30 bis 40 Prozent reduzieren, ohne die Belastbarkeit des Betons zu verändern. LC3-Zement soll noch in diesem Jahr auf den Markt kommen.

LC3 Beton

History of LC3

The pursuit of sustainable alternatives to replace Clinker with Supplementary Cementitious Materials

In 2004, Prof Karen Scrivener from EPFL in Switzerland and Prof Fernando Martirena from UCLV in Cuba discussed for the first time about the use of calcined clays for pozzolans.

A year after in 2005, Scrivener and Martirena launched together the first research project on this topic supported by the Swiss National Science Foundation (SNSF) and the Swiss Agency of Development and Cooperation (SDC). This project lasted from 2005 to 2008.

In 2009, a second SNSF- and SDC-supported project on material research started focusing on ternary blend cement with calcined clay and limestone. During this project from 2009 until 2012 the enormous global potentials of Limestone Calcined Clay were fully detected.

In 2013, the year after, the SDC financed a preliminary short phase for EPFL to form a global project on Limestone Calcined Clay Cement. In addition to Fernando Martirena's lab in Cuba, the second focus region was decided to be India due to its significantly growing numbers for construction materials.

In 2014, the first three-year phase of the LC3-project began with EPFL as the head of the project and with the regional experts at UCLV in Cuba and in India at TARA, IIT Delhi and IIT Madras. This first phase was supported by the SDC and the main goal was the technical verification of the LC3-technology. It involved the financing of numerous PhD-positions within the LC3-Project's institutions but also included to grow an academic network for the research on LC3-cements. In result, it could be proven that LC3 achieves OPC - CEM I quality and suitable for a global rollout.

From 2017 until 2020, the SDC financed another three-year phase with the same team of academic partners in Switzerland, Cuba and India. Within this phase, the LC3-Project mainly worked on verifying the economic attractiveness of the material and increasing the awareness in industrial and policy circles. Several LC3-applications were built in different parts of the world that are exposed to different environmental conditions. In the course of the phase academic, industrial and policy circles widely acknowledged LC3 as one of the technologies with the highest potential to lower CO₂-emissions in the cement sector. Also, the first permanent large-scale production of LC3 started within the second project phase in Colombia.

Since September 2020 the LC3-Project is supported for another two years by the SDC to scale the technology globally. Several new LC3-productions are on the way. The project has received high attention for example by Bloomberg and TED-talks.

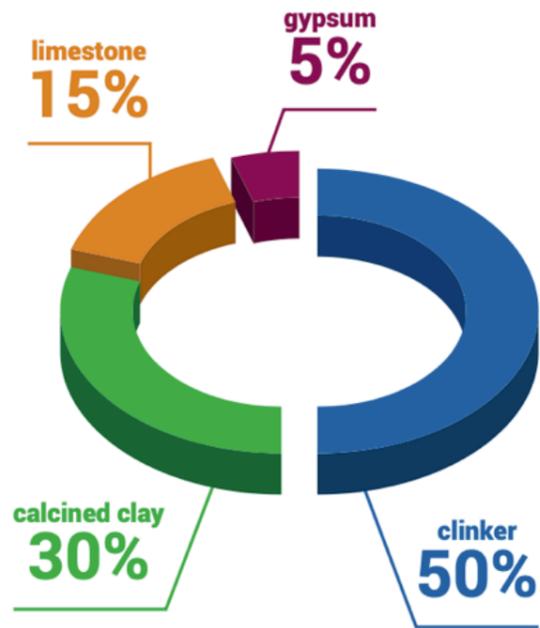
What is LC3?

LC³ is a new type of cement that is based on a blend of limestone and calcined clay. LC³ can reduce CO₂ emissions by up to 40%, is made using limestone and low-grade clays which are available in abundant quantities, is cost effective and does not require capital intensive modifications to existing cement plants.

The objective of the LC³-Project is, through research and testing, to make LC³ a standard and mainstream general-use cement in the global cement market.

The main research activities focus not only on specific thematic areas of cement research but also on production, environmental sustainability and cost effectiveness of this new cement.

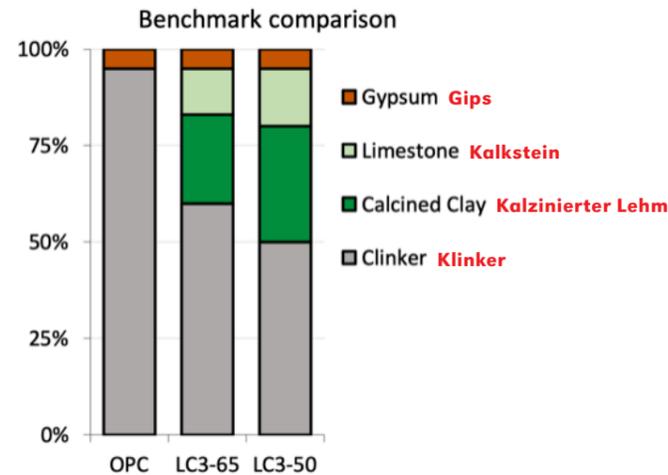
With funding from the Swiss Agency for Development and Cooperation through its Global Programme in Climate Change, the has been able to bring the idea of the LC3-technology from the lab in Switzerland to all parts of the world.



Difference between LC3 and conventional Portland cement

Traditional Portland cement consists of 95% clinker. The production of it is energy-intensive and responsible for most of the CO₂ within the cement. By reducing the clinker-content with so called Supplementary Cementitious Materials (SCMs), large CO₂-savings can be achieved.

LC3 is a new blend of two materials which have a synergetic effect. can reduce half of the clinker content and thereby cut up to 40% of the CO₂-emissions. Furthermore, LC3 uses industrial waste materials which thereby increase the resource efficiency and reduce the utilization of the scarce raw materials that are necessary for producing clinker.



How to produce LC3?

To produce LC3, existing equipment can be used. The production line has to be adjusted since Limestone and Calcined Clay are added. The LC3-blend consists of the following materials:

Clinker that needs to be burnt at very high temperatures between 1400 and 1500°C.

Calcined clays are burnt at approximately 800°C.

Limestone is added without processing

Gypsum for workability

Anmerkungen (rot) Professur Gigon/Guyer

<https://lc3.ch> [14.03.22]

LC3 in use: Applications

LC3-has been used in many different regions and different scales. Overall, more than 25 applications were already built with LC3.

In India, the most prominent project is the model Jhansi, India. This house is made 98% out of LC3 and it used 26.6 t of industrial waste (192 kg/sqm) and Saved 15.5 t of CO₂ (114 kg/sqm). These CO₂-savings are similar to the emissions of 10 passengers traveling by plane from Switzerland to South Africa.



Model house in Jhansi

But there are also numerous other projects in India. For example, the offices of the Swiss Agency for Development and Cooperation in the compound of the Swiss Embassy in Delhi were built with LC3-prefab materials. Furthermore, some roads, a check damn and pavements were built. You find a selection of these applications on the photos.



Swiss Embassy building in Delhi



Check dam in Orchha



Sample of LC3-prefab materials

In Latin America, several applications have been built. They are mainly in Cuba but also in other countries. Among those applications are a LC3-house, testing sites in the sea, art sculptures and pavements.

Also for Latin America, you find a selection of the construction of the applications on the photos below.



Model house in Santa Clara



LC3-pavements at UCLV



LC3 in use



LC3 for Biennale

Nachhaltiger Bauen, Die Zauberformel für Öko-Beton kommt aus Lausanne, aus Einstein vom 04.11.2021, SRF

Link zum Video:

<https://www.srf.ch/wissen/nachhaltigkeit/nachhaltiger-bauen-die-zauberformel-fuer-oeko-beton-kommt-aus-lausanne>

<https://lc3.ch> [14.03.22]

Betonsortenrechner von Treeze

Berechnen
Zurücksetzen
Drucken



Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics
Conferenza di coordinamento degli organi della costruzione e degli immobili dei committenti pubblici
Coordination Group for Construction and Property Services



Stadt Zürich
Amt für Hochbauten

Betonsortenrechner für Planende

Beton Anwendungsbereich: Hochbaubeton, NPK B

Zusammensetzung Betonsorte

Zementtyp: CEM I

Zusammensetzung Zuschlagstoffe: 100.00%

Anteil natürliche Gesteinskörnung R_n: 100%

Anteil Betongranulat R_b: 0%

Anteil Mischgranulat R_m: 0%

Betonbezeichnung: Beton aus Primärrohstoffen

Beton Anwendungsbereich: Hochbaubeton, NPK B

Zusammensetzung Betonsorte

Zementtyp: CEM III-B/LL

Zusammensetzung Zuschlagstoffe: 100.00%

Anteil natürliche Gesteinskörnung R_n: 50%

Anteil Betongranulat R_b: 50%

Anteil Mischgranulat R_m: 0%

Betonbezeichnung: Recyclingbeton RC-C

Beton Anwendungsbereich: Hochbaubeton, NPK B

Zusammensetzung Betonsorte

Zementtyp: CEM III/B

Zusammensetzung Zuschlagstoffe: 100.00%

Anteil natürliche Gesteinskörnung R_n: 50%

Anteil Betongranulat R_b: 50%

Anteil Mischgranulat R_m: 0%

Betonbezeichnung: Recyclingbeton RC-C

Umweltindikator	
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	
Rohdichte	2240 kg/m ³
Herstellung	348 kWh Öl-eq/m ³
Zement	296 kWh Öl-eq/m ³
Gesteinskörnung	27 kWh Öl-eq/m ³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	56 kWh Öl-eq/m ³
Entsorgung	120 kWh Öl-eq/m ³
Total	467 kWh Öl-eq/m³

Umweltindikator	
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	
Rohdichte	2190 kg/m ³
Herstellung	287 kWh Öl-eq/m ³
Zement	210 kWh Öl-eq/m ³
Gesteinskörnung	22 kWh Öl-eq/m ³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	54 kWh Öl-eq/m ³
Entsorgung	117 kWh Öl-eq/m ³
Total	404 kWh Öl-eq/m³

Umweltindikator	
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	
Rohdichte	2190 kg/m ³
Herstellung	317 kWh Öl-eq/m ³
Zement	241 kWh Öl-eq/m ³
Gesteinskörnung	22 kWh Öl-eq/m ³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	54 kWh Öl-eq/m ³
Entsorgung	117 kWh Öl-eq/m ³
Total	434 kWh Öl-eq/m³

Berechnen
Zurücksetzen
Drucken



Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics
Conferenza di coordinamento degli organi della costruzione e degli immobili dei committenti pubblici
Coordination Group for Construction and Property Services



Stadt Zürich
Amt für Hochbauten

Betonsortenrechner für Planende

Beton Anwendungsbereich: Hochbaubeton, NPK B

Zusammensetzung Betonsorte

Zementtyp: CEM I

Zusammensetzung Zuschlagstoffe: 100.00%

Anteil natürliche Gesteinskörnung R_n: 100%

Anteil Betongranulat R_b: 0%

Anteil Mischgranulat R_m: 0%

Betonbezeichnung: Beton aus Primärrohstoffen

Beton Anwendungsbereich: Hochbaubeton, NPK B

Zusammensetzung Betonsorte

Zementtyp: CEM III-B/LL

Zusammensetzung Zuschlagstoffe: 100.00%

Anteil natürliche Gesteinskörnung R_n: 50%

Anteil Betongranulat R_b: 50%

Anteil Mischgranulat R_m: 0%

Betonbezeichnung: Recyclingbeton RC-C

Beton Anwendungsbereich: Hochbaubeton, NPK B

Zusammensetzung Betonsorte

Zementtyp: CEM III/B

Zusammensetzung Zuschlagstoffe: 100.00%

Anteil natürliche Gesteinskörnung R_n: 50%

Anteil Betongranulat R_b: 50%

Anteil Mischgranulat R_m: 0%

Betonbezeichnung: Recyclingbeton RC-C

Umweltindikator	
Treibhausgasemissionen (THG-E)	
Rohdichte	2240 kg/m ³
Herstellung	225 kg CO ₂ -eq/m ³
Zement	212 kg CO ₂ -eq/m ³
Gesteinskörnung	4 kg CO ₂ -eq/m ³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	9 kg CO ₂ -eq/m ³
Entsorgung	23 kg CO ₂ -eq/m ³
Total	249 kg CO₂-eq/m³

Umweltindikator	
Treibhausgasemissionen (THG-E)	
Rohdichte	2190 kg/m ³
Herstellung	179 kg CO ₂ -eq/m ³
Zement	167 kg CO ₂ -eq/m ³
Gesteinskörnung	3 kg CO ₂ -eq/m ³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	9 kg CO ₂ -eq/m ³
Entsorgung	23 kg CO ₂ -eq/m ³
Total	202 kg CO₂-eq/m³

Umweltindikator	
Treibhausgasemissionen (THG-E)	
Rohdichte	2190 kg/m ³
Herstellung	162 kg CO ₂ -eq/m ³
Zement	89 kg CO ₂ -eq/m ³
Gesteinskörnung	3 kg CO ₂ -eq/m ³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	9 kg CO ₂ -eq/m ³
Entsorgung	23 kg CO ₂ -eq/m ³
Total	124 kg CO₂-eq/m³

Version: 2.3, Juni 2020

Mit dem Betonsortenrechner können Sie die Umweltwirkungen von einem m³ Beton ihrer Wahl berechnen. Legen Sie den Anwendungsbereich, den Betontyp sowie den Zementtyp fest und geben Sie die Anteile an natürlicher Gesteinskörnung, Beton- und Mischgranulat ein. Für die Quantifizierung der Umweltwirkungen wählen Sie den gewünschten Umweltindikator aus. Weiche Betonsorten in der Schweiz gemäss Norm SN EN 206:2013 freigegeben sind, entnehmen Sie bitte dem SIA Register der frei gegebenen Zemente und Kombinationen von Zementen und Zusatzstoffen. Die Bezeichnungen der Zusammensetzung beziehen sich auf das SIA Merkblatt 2030 Ausgabe 2010 Recyclingbeton (v.a. Tabellen 1 und 2).

Der Betonsortenrechner wurde dessen zugrundeliegenden Annahmen werden im "Hintergrundbericht Betonrechner" beschrieben.

Die dem Rechner zugrunde liegenden Ökobilanzen wurden mit dem KBOB Ökobilanzdatenbestand v2.2.2016 (basierend auf dem ecoinvent Datenbestand v2.2) berechnet. Die Sachbilanzen zur Herstellung von Recycling-Gesteinskörnung sowie von CEM I, CEM III/A, CEM III/B-CH-Mix, CEM III-B/LL, CEM III/A, CEM III/B und CEM ZND Zementen sind in der Studie "Ökobilanz ausgewählter Betonsorten" von Tschumperlin et al. (2020) dokumentiert.

[SIA 202 - Register der freigegebenen Zemente und Kombinationen von Zementen und Zusatzstoffen](#)

["Hintergrundbericht Betonrechner" herunterladen](#)

[Studie "Ökobilanz ausgewählter Betonsorten" heruntergeladen](#)

[zurück zur Treeze Website](#)

Link zum Betonrechner:
https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/Betonsortenrechner_Planer_DE/Betonsortenrechner_Planer.htm
https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/Betonsortenrechner_Planer_DE/Betonsortenrechner_Planer.htm [14.03.22]

Karbonatisierter Recyclingbeton



Sehen Sie auf einen Blick Ihre ökologischen Vorteile mit zirkulit® Beton im Vergleich zum Bauen mit Primärbeton. Einfach die Betonmenge in m³ für Ihr Gebäude eintippen.

Ihre Betonmenge in m³

	Primär	Zirkulär
Primärrohstoffe (inkl. Zement)	2'350 t	600 t
Sekundärrohstoffe	0 t	1'750 t
Zirkularität	0 %	75 %
CO ₂ -Speicherung	0 t	-10 t
Beitrag zu SDG Zielen	0	6



Anmerkungen Professor Gigon/Guyer:
 Der Vorteil des Verfahrens ist die permanente Bindung und Entfernung des Kohlenstoffs aus der Atmosphäre. Zum Gesamtbild gehören jedoch auch die CO₂-Emissionen bei der Zementproduktion. Allein durch die chemischen Prozesse der Klinkerherstellung entstehen für die 600 kg Zement des Beispiels bis zu 180 kg CO₂, hinzu kommen energiebedingte Emissionen in ähnlicher Grössenordnung. Letztere können durch Einsatz erneuerbarer Energien gesenkt werden, die ersteren durch emissionsärmere Zementsorten wie CEM III/B oder LC3. Die Verfügbarkeit und die Kosten sind hier derzeit die limitierenden Faktoren. Im Vergleich zu den Treibhausgasemissionen durchschnittlichen heutigen Betons wird durch die Karbonatisierung der CO₂-Fussabdruck im einstelligen Prozentbereich verbessert.

<https://www.zirkulit.ch> [10.08.21]
<https://eberhard.ch/news/inhalt/eberhard-lanciert-den-ersten-zirkulaeren-beton-der-schweiz/> [10.08.21]
 vgl. auch „Neustark“, <https://de.neustark.com>

Werner Sobek, «non nobis – über das Bauen in der Zukunft, Band 1: Ausgehen muss man von dem, was ist», Stuttgart 2022, S. 60–65

Stahl

Die weltweite Produktion von Rohstahl betrug im Jahr 2019 etwa 1,9 Gt [32], was eine Steigerung um 160 % gegenüber dem Jahr 1980 darstellt. Neben seiner quasi-Alleinstellung als Abnehmer von Zement und Zementprodukten ist das Bauwesen mit einem Anteil von 51,2 % an der gesamten Stahlerzeugung auch der weltweit größte Abnehmer von Stahlerzeugnissen.

Rohstahl wird in der sogenannten Hochofenroute über die Verfahrensschritte Sinterproduktion oder Kokerei, Hochofen und Konverter erzeugt. Im Hochofen reagiert das eingebrachte Eisenoxid (Fe_2O_3) mit dem aus der Verbrennung von Koks entstehenden Kohlenmonoxid: Aus Fe_2O_3 und 3CO wird 2Fe und 3CO_2 . Diese prozessbedingten Emissionen liegen bei ca. $0,4 \text{ t CO}_2$ pro Tonne Eisen. Hinzu kommen energiebedingte Emissionen von insgesamt ca. 2 t CO_2 pro Tonne Eisen. Während sich die energiebedingten Emissionen durch den Umstieg auf Energie, die nicht auf der Basis von Verbrennungsprozessen bereitgestellt wird, vollständig eliminieren lassen, stellen die prozessbedingten Emissionen nach wie vor ein noch nicht gelöstes Problem dar. Durch Umgehung der Hochofentechnik lassen sich die prozessbedingten Emissionen durch eine sog. Direktreduktion im Elektrostahlwerk, wobei Erdgas als Reduktionsmittel eingesetzt wird, nahezu halbieren. Durch eine Reduktion mit Wasserstoff, was allerdings enorme Umbauarbeiten in den Produktionsanlagen erfordern würde, lassen sich die prozessbedingten Emissionen vollständig vermeiden: Aus Fe_2O_3 und 3H_2 wird 2Fe und $3\text{H}_2\text{O}$.

Weltweit wurden im Jahr 2019 etwa 1,33 Gt Rohstahl erzeugt. Von dem durch einen wesentlich niedrigeren Energieverbrauch und geringeren Emissionen gekennzeichneten Elektrostahl, bei dem Stahl weitestgehend aus Stahlschrott erzeugt wird, wurden im selben Jahr ca. 0,57 Gt hergestellt. Bemerkenswert ist, dass der Anteil des Elektrostahls an der gesamten Stahlerzeugung trotz seiner energetischen wie seiner emissionstechnischen Vorteile seit Jahren leicht sinkt. Die Eisen- und Stahlindustrie ist mit einem Anteil von 23 % entsprechend 35,6 EJ der zweitgrößte Energieabnehmer weltweit. Sie ist zudem mit einem Anteil von 28 % entsprechend $2,3 \text{ Gt CO}_2 \text{ a}^{-1}$ der Emissionen des Industriesektors bzw. 8 % der weltweiten Emissionen einer der weltgrößten CO_2 -Emittenten. Abb. 16 und Tab. 4

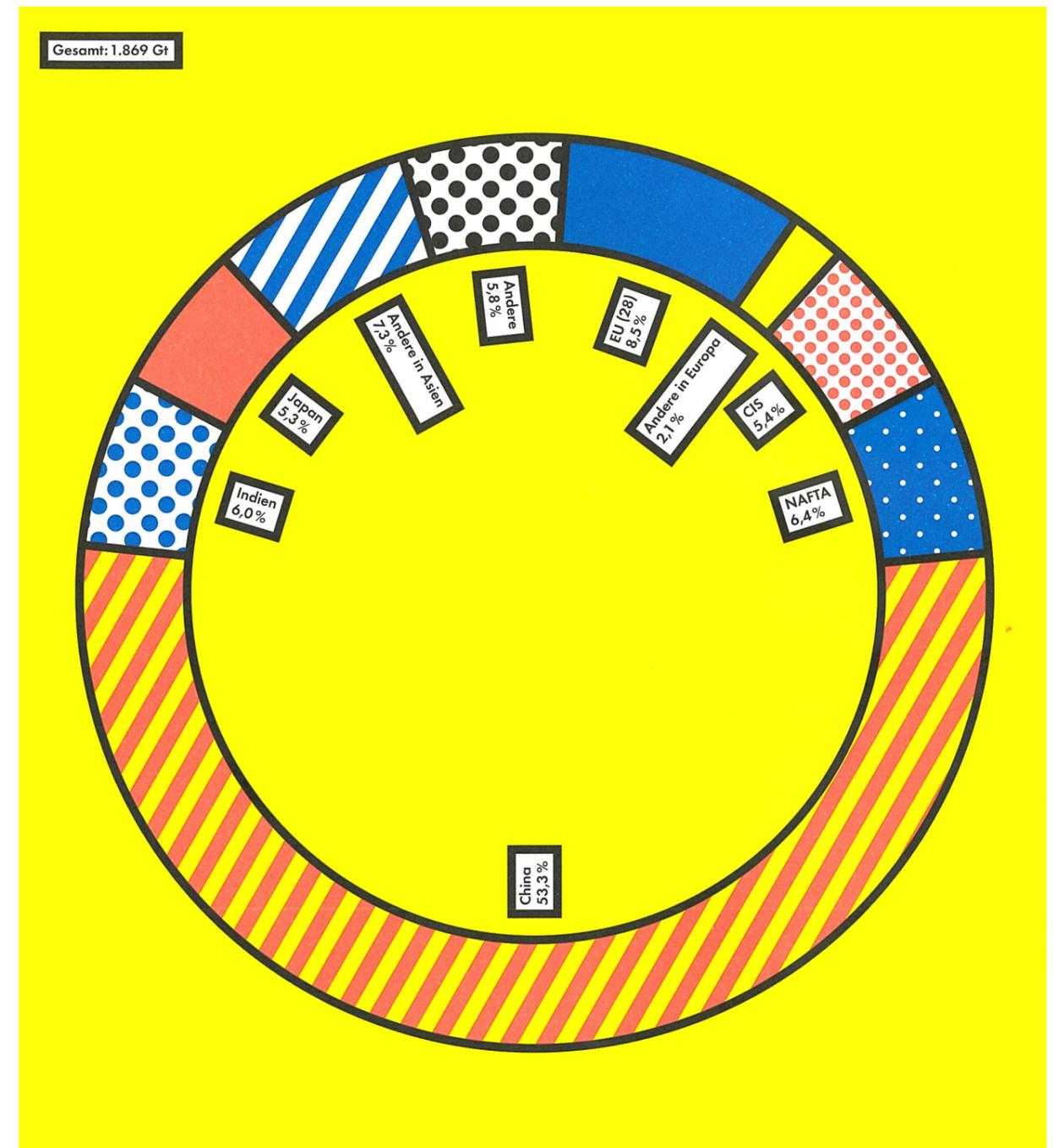


Abb. 15 rechte Seite: Rohstahlherstellung in 2019, weltweit. Nach [33].

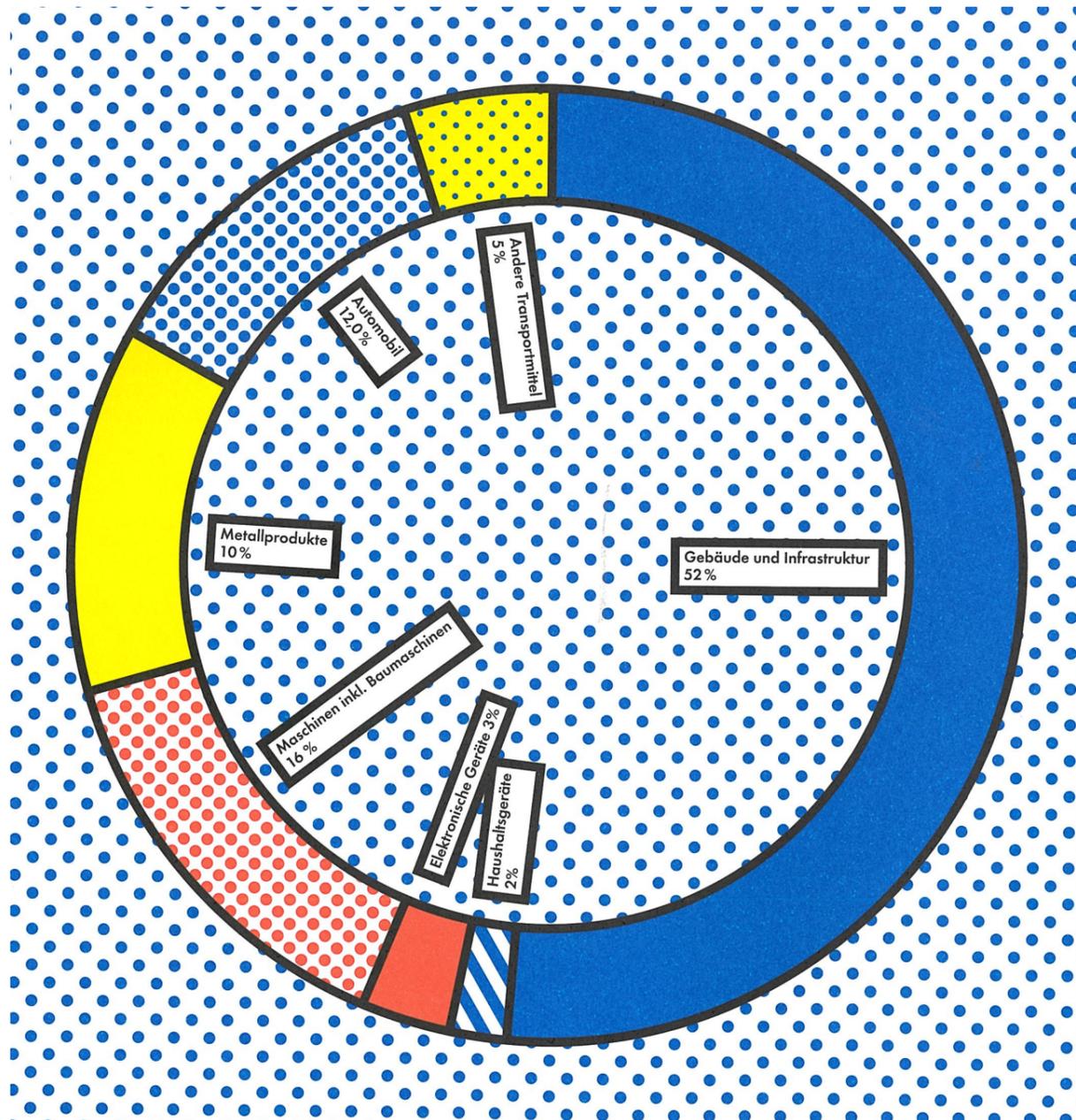


Abb. 16 linke Seite: Stahlverbrauch, weltweit, nach Branchen gegliedert. Aus [34]. Die Angaben beziehen sich auf das Jahr 2019.

Elastizitätsmodul
Begriff aus der Mechanik elastischer Körper. Der Elastizitätsmodul (E-Modul, im englischsprachigen Raum auch: Youngs Modulus) bezeichnet den Quotienten aus (mechanischer) Spannung und zugehöriger Dehnung eines Materials. Ein hoher E-Modul zeigt an, dass sich ein Material bei Beanspruchung nur wenig dehnt.

Stahl ist nahezu beliebig oft und, bei richtiger Prozessführung, ohne Qualitätsverlust einschmelzbar und wiederverwendbar. Im Recyclingprozess ist aber insbesondere darauf zu achten, dass der Kupfergehalt, der durch Beimengungen im Stahlschrott in die Schmelze entstehen kann, bestimmte Grenzwerte nicht überschreitet. Ein gewisser Kupfergehalt ist dabei nicht zwingend schädlich; so erhöht ein Kupfergehalt von 0,2–0,35 % die Witterungsbeständigkeit von Baustählen. Seine Rezyklieigenschaften machen Stahl, zusammen mit seinen technischen Eigenschaften wie einer hohen Festigkeit und einem hohen Elastizitätsmodul ϵ , zu einem idealen Baustoff für das Bauwesen. Die bei einem Recycling mit dem Lichtbogenverfahren (Elektrostahl) zu Sekundärstahl gegenüber der Hochofenroute (Primärstahlerzeugung) deutlich niedrigeren Emissionen sowie der niedrigere Energieaufwand machen ein Recycling und damit den Baustoff zusätzlich attraktiv.

Von den im Jahr 2019 in Deutschland insgesamt erzeugten 39,6 Mio. t Stahl gingen 13,9 Mio. t in das Bauschaffen [35]. Das entspricht einer Quote von 35 %.

Bewehrungsstahl wird in Deutschland zu 100 % im Elektrostahlverfahren aus Stahlschrott erzeugt.

Das Sankey-Diagramm in der Abbildung 17 beschreibt die Stoffströme bei Eisen und Stahl im Jahr 2015 in Deutschland. Der Anteil an Endprodukten von 13,4 Mt, der dem Bauwesen zugebucht wird, muss eigentlich noch um die der Rubrik Rohre zugeschriebene Menge von 4,3 Mt ergänzt werden, da Stahlrohre zum größten Teil in Bauten für die Infrastruktur verwendet werden und somit auch dem Bauwesen zuzuordnen sind. Zu erkennen ist zudem, dass der Einsatz von Alt- und Neuschrott in der Größenordnung des Roheiseneinsatzes liegt. Die dem Stahlrecycling aus dem Bauwesen zugeführten Schrotte sind im Wesentlichen Altschrotte, die noch Reste an Verzinkungen und Beschichtungen oder (bei Bewehrungsstählen) Reste an anhaftendem Zement bzw. Beton aufweisen.

Unter Altschrott versteht man Stahlschrotte aus verschiedenen Einsatzbereichen, also beispielsweise aus Fahrzeugen, Maschinen oder Haushaltsgeräten. Sie werden von Verwertungsbetrieben erfasst und recycelt. Altschrotte sind häufig mit anderen Materialien beschichtet, vermischt oder verbunden. Die Stähle, die den

Altschrott ausmachen, wurden teilweise schon vor Jahrzehnten hergestellt. Sie weisen unterschiedliche Eigenschaften und insbesondere unterschiedliche chemische Zusammensetzungen auf.

Neuschrott bezeichnet Schrottabfälle aus der stahlverarbeitenden Industrie, z. B. Stanzabfälle im Automobilbau. Dieser Schrott liegt zumeist sortenrein vor, die chemische Zusammensetzung ist in aller Regel bekannt.

Eigenschrott schließlich ist derjenige Stahlschrott, der direkt in den Stahlwerken anfällt. Bei diesem sind die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften bekannt. Er kann direkt wieder in die Herstellung von Stählen ähnlicher Güte zurückgeführt werden.

Die dem Altschrottaufkommen in Deutschland aus dem Bauwesen zugeführten Eisen- und Stahlschrottmengen stiegen zwischen 2007 und 2017 von 5,8 auf 7,1 Mio. t a⁻¹ an [36].

	Jahresproduktion weltweit in Gt	Anteil Bauwesen	Energieverbrauch in MWh	Energiebedingte Emissionen in t	Prozessbedingte Emissionen in t
Hochfeneroute	1,33	*)	6,3	1,7 zzgl. 0,3 aus Sintern bzw. Kokerei	0,4
Elektrostahl	0,57	*)	2,0	0,36	*)
in summa	1,90	52 %	8,3	2,36	-

Tab. 4 rechte Seite oben: Weltweite Stahlproduktion im Jahr 2018 und zugehöriger Energieverbrauch bzw. zugehörige Emissionen. Die Angaben zu Energieverbrauch und Emissionen beziehen sich jeweils auf die Herstellung von einer Tonne Stahl. Nach [33]. *) Es liegt hierzu keine hinreichend verlässliche Datenbasis vor.

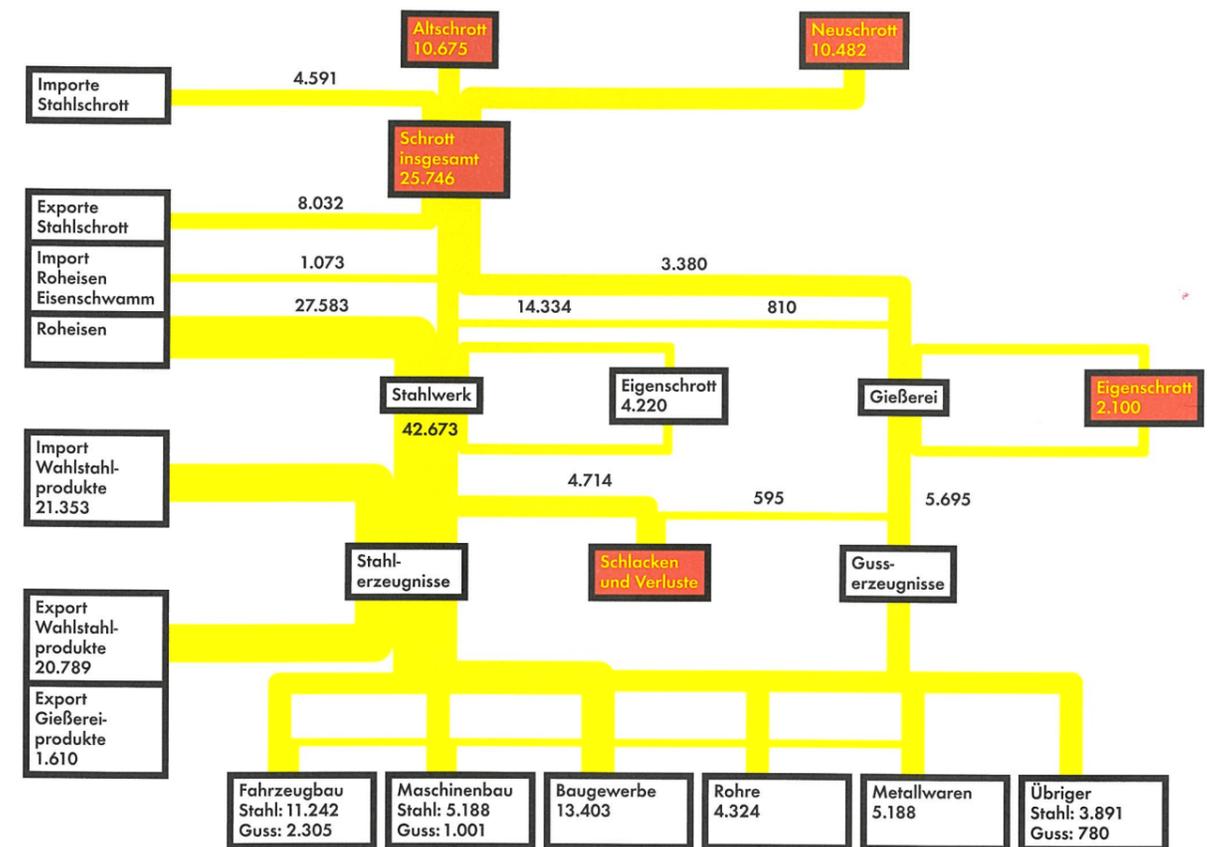


Abb. 17 rechte Seite unten: Stoffströme bei Eisen und Stahl in Deutschland im Jahr 2015. In Tsd. Tonnen. Nach [36].

Literaturverzeichnis

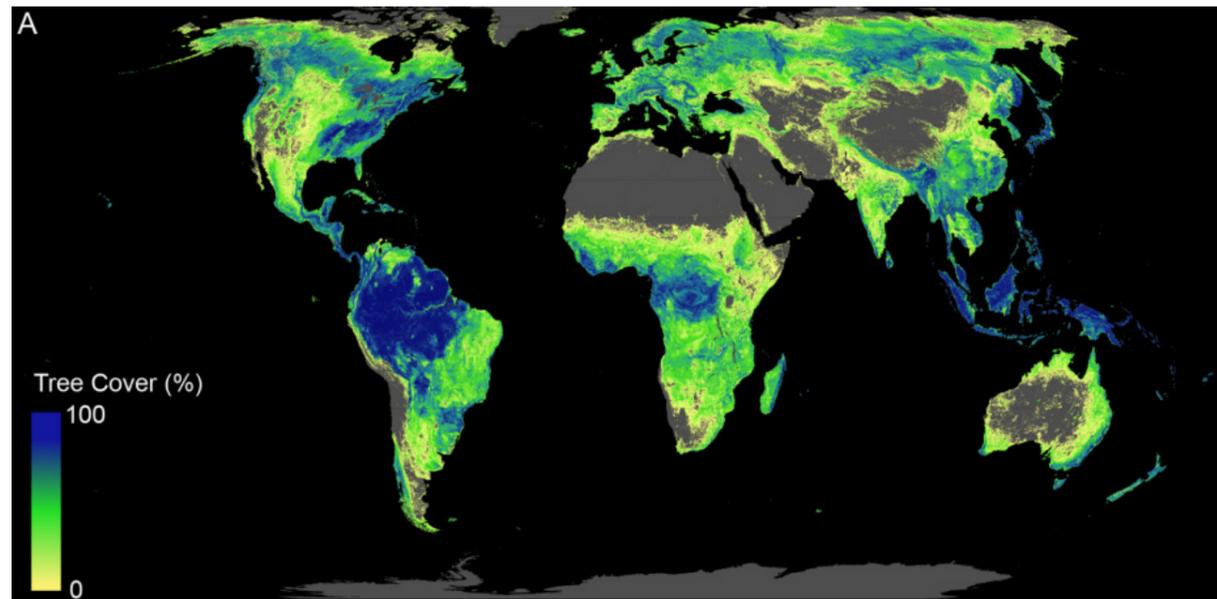
- [32] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/311503/umfrage/wichtigste-laender-nach-rohstahlproduktion/>, aufgerufen am 12.11.2020.
- [33] World Steel Association, World steel in figures 2020, Brussels, 2020.
- [34] <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/sustainable-steel.html>, aufgerufen am 22.12.2020.
- [35] Wirtschaftsvereinigung Stahl, Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2020, Düsseldorf, 2020.
- [36] <https://www.umweltbundesamt.de/eisenstahl#hinweise-zum-recycling>, aufgerufen am 08.03.2021.

CO₂-Speicherung im Wald = Waldspeicher

Bäume entziehen der Atmosphäre bei der Photosynthese CO₂ und lagern es in Form von Kohlenstoff (C) im Pflanzenkörper ein. Das gebundene CO₂ im Holz bleibt solange im System Wald gespeichert, bis das Holz vermodert oder geerntet wird. Der Schweizer Wald bindet jährlich rund 10 Millionen Tonnen CO₂ alleine beim Holzwachstum. Wie viel CO₂ im Wald gespeichert wird, hängt von der Holznutzung ab und kann durch die Waldbewirtschaftung beeinflusst werden.

CO₂-Speicherung in Holz = Holzproduktespeicher

Wird Holz genutzt und z.B. in Gebäuden verbaut oder in Holzprodukten verarbeitet, bleibt das darin gebundene CO₂ auf Jahrzehnte gespeichert. Erst wenn das Material ausgedient hat und verbrannt wird, setzt sich das CO₂ wieder frei. Wie viel CO₂ in Holzprodukten gespeichert wird, hängt von der Verarbeitung durch die Holzindustrie respektive von der Nachfrage der Endverbraucher ab. Je mehr Holz dauerhaft eingesetzt wird, desto grösser ist die CO₂-Einlagerung.



Globale Bedeckung der Erdoberfläche mit Wäldern

Mittelfristig – über die nächsten Jahrzehnte – sollen sowohl die biologischen CO₂-Speicher im Wald wie auch die materiellen CO₂-Speicher des verarbeiteten Holzes weiter gefüllt werden. Wald und Holz sollen helfen, die international vereinbarten Klimaziele zeitgerecht zu erreichen.

WaldSchweiz – Verband der Waldeigentümer

Zahlen und Fakten

Allgemein

Ein Drittel der Landesfläche ist mit Wald bedeckt.

Diese Fläche wird von ca. 117'000 km Waldrand umschlossen.

Das ergibt rund 1,28 Mio. Hektaren Wald oder knapp 1'520 m² je Einwohner/in.

Die Waldfläche nimmt zu – jährlich um ca. die Fläche des Thunersees.

Der Gesamtvorrat an Holz, der im Schweizer Wald steht, beträgt ca. 427 Mio. m³.

Jedes Jahr wachsen in der Schweiz 10 Mio. m³ Holz nach.

Ohne den Wald zu übernutzen, könnten jährlich 7 bis 8 Mio. m³ Holz geerntet werden.

Der jährliche Holzverbrauch der Schweiz liegt mitsamt Importholz bei fast 11 Mio. m³.

Bäume

Ca. 535 Mio. Bäume stehen im Schweizer Wald.

Pro Einwohner/in ergibt das 66 Waldbäume.

Die drei häufigsten Bäume sind Fichte (Rottanne), Tanne und Buche.

Es gibt über 130 Baum- und Straucharten, die im Wald heimisch sind.

77% des Holzvorrates werden durch die drei häufigsten Baumarten abgedeckt.

Nadelhölzer machen des Holzvorrates aus; Laubbäume .

[...]

Arbeiten im Wald

[...]

Die gesamte Wald- und Holzwirtschaft bietet mehr als 100'000 Arbeitsstellen.

Die Arbeit im Wald ist gefährlich. Fast 1'500 Arbeitsunfälle ereignen sich pro Jahr.

Rund 4.5 Mio. m³ Holz im Wert von mehr als CHF 380 Mio. werden jährlich geerntet.

Davon sind ca. zwei Drittel Nadel- und ein Drittel Laubholz.

Etwa die Hälfte des Holzes wird als «Stammholz» verkauft, rund ein Drittel ist «Energieholz».

Die Bruttowertschöpfung der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft liegt bei CHF 4.5 Mrd./Jahr.

Ca. 30'500 km Waldstrassen ermöglichen die Waldpflege und die Bewirtschaftung.

Waldleistungen

[...]

Rund 40% des Trinkwassers stammen aus dem Wald.

Etwa die Hälfte aller Grundwasserschutzzonen der Schweiz liegt im Wald.

[...]

In unserem Wald sind fast 150 Mio. t Kohlenstoff gespeichert (≈ 550 Mio. t CO₂).

[...]

Rohstoff Holz

Der Wald liefert den natürlich nachwachsenden Rohstoff Holz. Dieses wird als Baumaterial und zum Schreinern verwendet, für ganze Häuser, Dachstühle oder etwa in der Möbelherstellung. Ein wachsender Anteil des in der Schweiz geernteten Holzes ersetzt fossile Brennstoffe und wird in Holzfeuerungen zu Wärme umgewandelt.

Holzverbrauch Schweiz

Der Schweizer Holzverbrauch liegt durchschnittlich pro Jahr bei rund 10,5 Mio. m³. Er wird gedeckt durch:

- die Holzernte im Schweizer Wald
- die Differenz zwischen Holzimport und -export
- Flurholz und Holzkohle
- recyceltes Altholz und Altpapier

Rund die Hälfte des Holzes wird für die energetische Nutzung verwendet; je ein Viertel entfällt auf Massivholzprodukte/Holzwerkstoffe und Papier/Karton.

Holz speichert und spart Kohlendioxid

Wald und Holz sind bedeutende CO₂-Speicher: Das CO₂ wird von den Bäumen in grossen Mengen im Holz gebunden und in dieser Form dem Wald entnommen, verarbeitet und z. T. über Jahrhunderte gespeichert. Dazu kommt der sogenannte Substitutionseffekt des Holzes: Überall, wo Holz verwendet wird, kann eine andere (CO₂-intensivere) Ressource gespart werden, etwa Beton/Stahl im Bau oder Erdöl/Erdgas bei der Wärmeengewinnung.

Bei optimalen Prozessen kann das Holz mehrfach wiederverwendet und schliesslich der energetischen Nutzung zugeführt werden (Kaskadennutzung). Dadurch vervielfacht sich der CO₂-relevante Spareffekt des Holzes, weil mit jeder Einheit Holz an verschiedenen Stellen ein anderer Rohstoff ersetzt oder eingespart werden kann. Sind ausserdem die Transportwege kurz (wenig graue Energie), gibt es kaum etwas Klimafreundlicheres als Schweizer Holz!

CO₂-Speicher und Luft

[...]

Wald und Kohlenstoff

Das Ökosystem Wald ist ein enormer CO₂-Speicher; langfristig gesehen aber weder eine CO₂-Senke noch eine -Quelle. Wald setzt über verschiedene Prozesse (Holzvermoderung, Waldbrände etc.) immer so viel Kohlenstoff frei, wie in den vorangegangenen Jahren bzw. Jahrzehnten/Jahrhunderten durch die sogenannte Photosynthese im Holz der Bäume (und im Boden) gespeichert worden ist.

Ob ein Wald eine Quelle oder Senke ist, hängt vom Betrachtungszeitpunkt bzw. -horizont ab: In den Monaten nach dem Sturm Lothar war der Schweizer Wald eine erhebliche CO₂-Quelle; in den darauffolgenden Jahren führte der Vorratsaufbau auf den Sturmflächen dazu, dass der Wald zur CO₂-Senke wurde. Eine effektive Erhöhung der CO₂-Speicherleistung des Waldes könnte nur über einen langfristigen Vorratsaufbau je Hektare oder eine Waldflächenzunahme erfolgen. Beide Entwicklungen werden in der Schweiz weder von der Branche noch von der Politik angestrebt (Stichwort Überalterung der Wälder bzw. Vergandung der Alpweiden).

CO₂-relevante Leistungen Wald und Holz

- CO₂-Speicherung im Wald (Vegetation und Boden)
- CO₂-Speicherung in der «Zivilisation» (Holz in Gebäuden etc.)
- Substitution von fossilen Energieträgern (Holz statt Erdöl, Erdgas etc.)
- Substitution von CO₂-intensiven Werkstoffen Einsparung grauer Energie (z.B. Herstellung Stahl/Beton; lange Transportwege)

[...]

Werner Sobek, «non nobis – über das Bauen in der Zukunft, Band 1: Ausgehen muss man von dem, was ist», Stuttgart 2022, S. 76–88

[...]
 Die vorangehend dargestellten Zusammenhänge lassen folgende Überlegung zu, mit der die Sinnhaftigkeit der Auslagerung von Kohlenstoff aus den Wäldern in die gebaute Umwelt abgeschätzt werden kann: Unter den Annahmen, dass

1. nach dem Fällen eines Baumes mit 100 Einheiten Gewicht in seinem oberirdischen Teil alle Äste und Zweige sowie die Rinde und damit etwa 30 % der (oberirdischen) Masse des Baumes selbst auf nährstoffreichen Böden vor Ort belassen werden¹⁶ und
2. die Wurzelmasse ungefähr 20 % der oberirdischen Masse des Baumes beträgt, werden nach dem Fällen und dem Abtransport des Stammes, der jetzt noch 70 Gewichtseinheiten hat, 30 % + 20 % oder 50 Gewichtseinheiten vor Ort belassen. Diese fallen jetzt über viele Jahre hin einer Zersetzung anheim, bei welcher der im Material enthaltene Kohlenstoff teilweise durch Organismen im Boden gebunden wird, teilweise in Form von CO₂ ausgast und in die Atmosphäre entweicht. Würde man den Baum nicht fällen, sondern möglichst lange stehen lassen, dann würde der Baum weiter CO₂ aus der Atmosphäre binden. Man könnte die nach dem Fällen aus dem verrottenden Material stammenden Freisetzungen von CO₂ also vermeiden und hinauszögern bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Baum von allein abstirbt. Erst dann wird der gesamte in seinen oberirdischen und unterirdischen Bestandteilen vorhandene Kohlenstoff, wiederum zeitverzögert, zu CO₂ umgebaut und freigesetzt. Abb. 25.

Abbildung 25 stellt die beschriebenen Zusammenhänge in einer für das prinzipielle Verständnis ausreichenden schematischen Weise dar. CO₂-Freisetzungs- und Bindungsverläufe werden linearisiert dargestellt. Der Betrachtung zugrunde gelegt wird ein 50 Jahre alter Baum mit einer für eine Holzstütze in einem Gebäude nutz-

¹⁶ Bei nährstoffarmen Böden sollen mehr als 30 % der oberirdischen Masse eines Baumes vor Ort belassen werden [59].

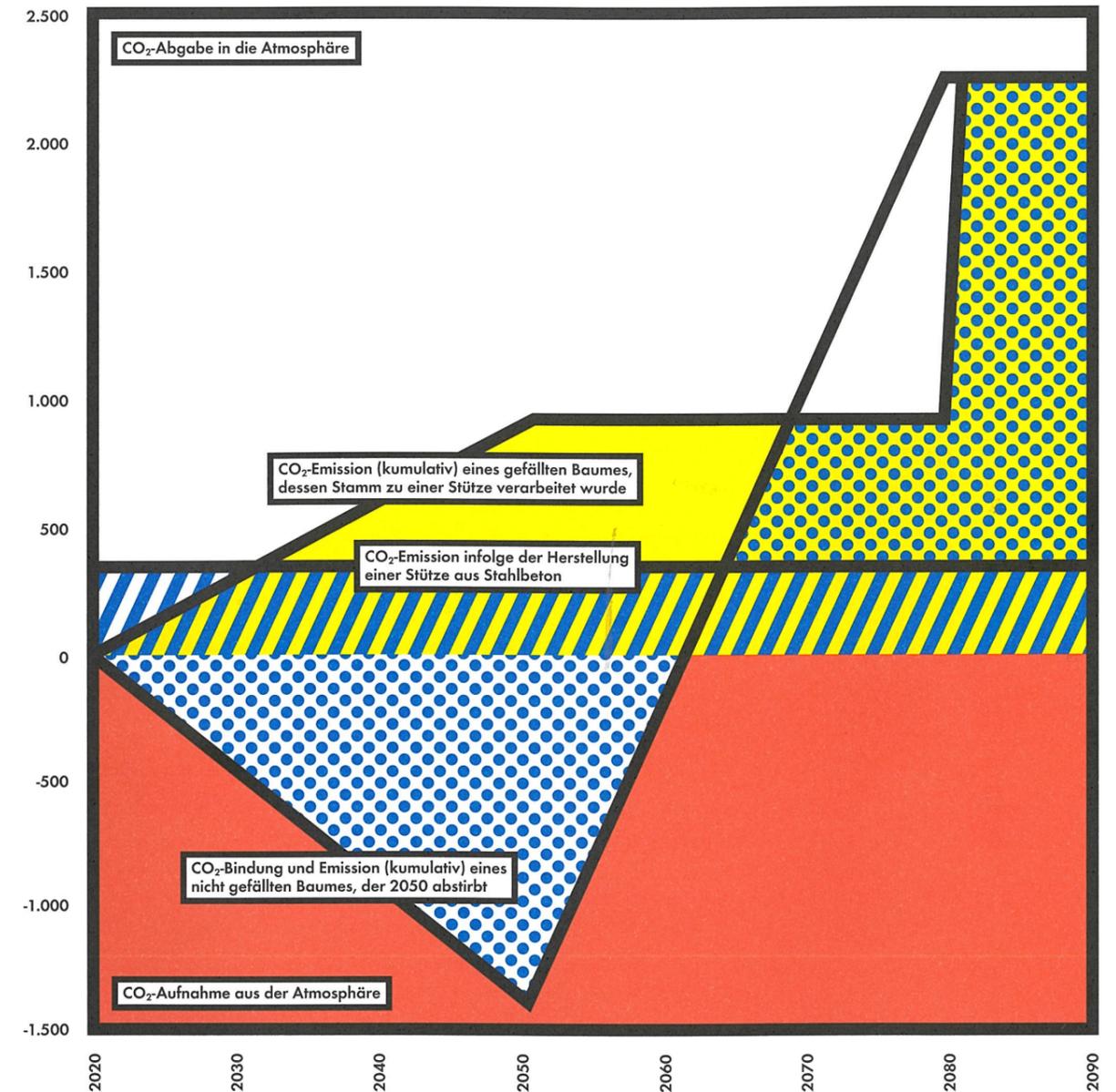


Abb. 25 linke Seite: Beispielhafte Darstellung des zeitlichen Verlaufs der CO₂-Emissionsbilanz in kg CO₂,Äq. (vertikale Achse) bei einer Stütze aus Holz vs. einer Stütze aus Stahlbeton.

baren Stammhöhe von 15 m und einem durchschnittlichen Stammdurchmesser von 30 cm sowie eine Stütze aus Stahlbeton mit gleichen Abmessungen.

In dem der Abbildung 25 zugrunde liegenden Beispiel hat der Baum in seinem oberirdischen (unterirdischen) Teil durch Aufnahme von 1.825 (365) kg CO₂ insgesamt 498 (99) kg Kohlenstoff gebunden. Wenn man den Baum fällt und den Stamm zur Verwendung als Stütze abtransportiert, dann verrotten Nadeln oder Blätter, Zweige und das Wurzelwerk in den kommenden 30 Jahren vor Ort. Siehe hierzu auch Abbildung 24. Die Freisetzung von CO₂ durch Verrottung soll hier, der Einfachheit halber, bei dem im Jahr 2020 gefällten Baum im Jahr 2050 enden. Weitere durch den gefällten Baum bedingte Emissionen entstehen erst dann, wenn der temporär in einem Bauwerk verbaute Stamm nach einer hier mit 60 Jahren angenommenen Nutzungszeit rückgebaut und danach verbrannt¹⁷ wird. Nach diesem Verbrennungsvorgang ist der gesamte von diesem Baum in 50 Jahren, also von 1970 bis 2020 gebundene Kohlenstoff in Form von CO₂ wieder in die Atmosphäre abgegeben. Würde man den Baum nicht fällen, sondern ihn weiterhin C binden lassen, dann würde er bis zu seinem natürlichen Ende, das hier, ebenfalls der einfacheren Vergleichbarkeit wegen, mit 2050 angenommen wird, weiter CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen und in Form von Kohlenstoff binden. Nach dem Jahr 2050 würde der bereits bis zum Jahr 2020 sowie der von 2020 bis 2050 aufgenommene Kohlenstoff langsam in Form von CO₂ wieder in die Atmosphäre abgegeben werden. Die Verrottungszeit bis hin zur vollständigen Rückführung des Kohlenstoffs in Form von CO₂ in die Atmosphäre wird hierbei wiederum mit 30 Jahren angesetzt. Von 2080 aus gesehen wäre es nun in Bezug auf die dann in der Atmosphäre befindliche Menge an CO₂ irrelevant, ob der Baum im Jahr 2020 gefällt wurde oder nicht. Wenn man allerdings die durch den nicht gefällten Baum bewirkte „Verschiebung“ der klimaschädlichen CO₂-Emissionen auf spätere Zeitspannen berücksichtigt, so kommt man zu einer anderen Wertung: Den Baum nicht zu fällen, ihn also nicht als Bauholz zu nutzen, erweist sich in Bezug auf die Schädigungsakkumulation als die weitaus sinnvollere Lösung.

Man kann jetzt ins Feld führen, dass durch das Fällen und „Verwerten“ des Baumes die Substitution eines Bauteils „Gebäudestütze

aus Stahlbeton“ und damit ein Vermeiden der mit der Herstellung dieser Stahlbetonstütze einhergehenden CO₂-Emissionen möglich wird. Legt man hierfür einen Wert an grauen Emissionen von 330 kg CO₂ m⁻³ zugrunde, dann errechnet man eine durch die Herstellung dieser Stahlbetonstütze bedingte CO₂-Emission von 350 kg. Diese Menge kann von dem nicht gefällten Baum bei einer CO₂-Bindungsleistung von 80 gr t⁻¹ innerhalb von etwa 12 Jahren gebunden werden. Ein nach dem Fällen des Baumes gepflanzter Setzling ist nicht in der Lage, eine auch nur annähernd so schnelle Kompensation zu bewirken.

Aus dem vorstehend Gesagten folgt, dass es bei einer ausschließlich auf die Emissionsbilanz bezogenen Betrachtung keinen Sinn macht, einen Baum, der noch eine Lebenserwartung von, cum grano salis¹⁸, mehr als 12 Jahren hat, zu fällen und seinen Stamm als Substitut für eine Stahlbetonstütze oder ein vergleichbares Bauteil aus Stahlbeton zu verwenden.

Natürlich unterliegen die tatsächlichen Zeitspannen und CO₂-Aufnahmen wie auch -Abgaben einer größeren Streubreite als hier dargestellt. Die relevanten Prozesse verlaufen zudem nicht linear. Phänomenologisch ändert dies aber nichts an der hier gemachten Feststellung. Eine Substitutionsstrategie, die Holz als Substitut für Stahlbeton vorsieht, ist nur dann sinnvoll, wenn man, erstens, eine Reduktion der CO₂-Aufnahme aus der Atmosphäre durch Bäume akzeptieren kann oder wenn, zweitens, der verwendete Baum so oder so zu fällen gewesen wäre oder wenn, drittens, für den genannten Zweck bereits ein zusätzlicher Baum mit einem zeitlichen Vorlauf von mindestens einem Jahrzehnt gepflanzt worden ist.

Die derzeit weltweit aus den Wäldern und Holzplantagen entnommenen Holzmengen lassen sich anhand der in [60] gemachten Angaben, siehe Tabelle 5, folgendermaßen abschätzen: Von der gesamten, circa 3.971 Mio. m³ umfassenden Holzernte werden ungefähr 49 % als Brennholz (hauptsächlich in Afrika, Asien und Ozeanien [42]) und zur Herstellung von Treibstoffen verwendet. 838 Mio. t werden für die Herstellung von Cellulosefasern, Papier und Kartonagen eingesetzt. Lediglich 901 Mio. m³ und damit lediglich etwa 23 % der gesamten Holzproduktion betreffen das Bauwesen.

Der derzeit, siehe Tabelle 5, jährlich für das Bauwesen zur Ver-

¹⁷ Dieser Vorgang wird auch als „thermische Verwertung“ bezeichnet. Eine Kompostierung kommt aufgrund der in der deutschen Altholzverordnung festgelegten Regeln [61] typischerweise nicht in Frage.

¹⁸ Cum grano salis („mit einem Korn Salz“) ist die erste Zeile eines römischen Rezepts gegen Schlangengift. Das Zitat wird als Aufforderung verwendet, eine präzise klingende Aussage nicht wörtlich zu verstehen, sondern sie „mit sachgemäß kritischer Einschränkung“ zu verstehen.

	Produkt	Einheit	Produktion	Export
1	Rundholz	Mio. m ³	3.971	143
Davon:				
2	Treibstoff/Brennstoff	Mio. m ³	1.943	8
3	Industrie-Rundholz	Mio. m ³	2.028	135
Zeile 3 unterteilt in:				
4	Holzpellets	Mio. t	37	24
5	Schnittholz/ Sägeholz	Mio. m ³	493	158
6	Plattenbaustoffe	Mio. m ³	408	92
6a	Sperrholz	Mio. m ³	163	31
6b	Spanplatten, OSB etc.	Mio. m ³	245	60
7	Zellstoff (Holzpulpe)	Mio. t	188	66
8	Kurz- und lang- faseriger Zellstoff	Mio. t	12	0,4
9	Recycling-Papier	Mio. t	229	57
10	Papier und Kartone	Mio. t	409	117
	Bauwesen: Summe 5–6	Mio. m ³	901	
	Papier etc.: Summe 9–10	Mio. t	638	

Tab. 5 rechte Seite:
Weltweite Produktion
von Holz und Holzwerk-
stoffen im Jahr 2018.
Nach [60]. Die genann-
ten Zahlen beinhalten
keine im Wald verblie-
benen Komponenten
wie Baumstümpfe,
Wurzeln und Astwerk.
Sie beinhalten auch
keine Rinden.

fügung stehende Anteil an der Holzernte in Höhe von 901 Mio. m³ ist zu niedrig, um das Bauen mit Holz signifikant auszudehnen. Damit stellt sich die Frage, wie viel Holz aus den heutigen Wäldern überhaupt gewonnen und für das Bauwesen verwendet werden könnte.

Eine grobe Abschätzung der aus den Wäldern der Erde gewinnbaren Menge an Holz kann folgendermaßen erfolgen: Unter der Voraussetzung, dass man auch die schwer zugänglichen Waldflächen Sibiriens und Nordkanadas als vollständig bewirtschaftbar ansieht, verbleiben nach Abzug der einer Bewirtschaftung vorzuhaltenden Tropenwälder etwa 2,7 Mrd. ha Wald zur Bewirtschaftung für Bauholz übrig. Geht man nun davon aus, dass alle diese Wälder nach den Prinzipien der bayerischen Forstwirtschaft bewirtschaftet werden, so lassen sich pro Jahr und Hektar ungefähr 8.600 kg lufttrockenes Hartholz (Laubholz) oder 5.700 kg lufttrockenes Weichholz (Nadelholz) gewinnen. Aufgrund der Aststruktur, der Astform und der Astlänge können bei Buchen rund 45%, bei Fichten rund 80% des geernteten Holzes einer stofflichen Nutzung zugeführt werden [62]. Abb. 26 Nimmt man in einer groben Näherung eine hälftige Verteilung von Nadel- und Laubholz in den weltweiten Wäldern an, so ergibt sich daraus eine maximale Menge von $M = 4,2 \text{ t ha}^{-1}$ 19, die einer stofflichen Nutzung zugeführt werden können 20. Die gesamte jährlich aus den weltweiten Wäldern zu erntende Menge kann somit zu $G = 11,34 \text{ Gt a}^{-1}$ 21 abgeschätzt werden.

$$19 \quad M = 0,5 \times (8.600 \times 0,45 + 5.700 \times 0,8) \times 10^{-3} = 4,2 \text{ t ha}^{-1}$$

20 Balsampappeln erreichen in Kurzumtriebsplantagen einen Trockenzuwachs von $10\text{--}15 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ [64].

$$21 \quad G = 2,7 \text{ Mrd. ha} \times 4,2 \text{ t ha}^{-1} = 11,34 \text{ Gt a}^{-1}$$

Für die Herstellung von Bauholz und Holzwerkstoffen werden die an die Sägewerke angelieferten Stämme mit einer Reihe unterschiedlicher Technologien in Schnittholz und/oder Furniere überführt. Eine bestmögliche Ausnutzung der angelieferten Rundholzquerschnitte ist dabei schon aus wirtschaftlichen Gründen unerlässlich. Optimierungsverfahren und vollständig numerisch gesteuerte Prozesse minimieren die Menge an Neben- und Koppelprodukten wie Hackgut, Sägespänen, Rindenresten, Anschälern, Restrollen und so weiter.

Die von den Sägewerken gelieferten Produkte werden bei der Weiterverarbeitung zu Bauprodukten einer Reihe weiterer Prozessschritte unterzogen. Abbildung 27 zeigt exemplarisch, dass bei der Herstellung von Brettschichtholz BSH nur circa 38% des ursprüng-

lich an die Sägewerke angelieferten Rohmaterials die Produktionsstätten in Form von BSH verlassen. Bei der Herstellung von Brettsperrholz BSP liegt die Ausbeute mit rund 40 % ähnlich hoch bzw. ähnlich niedrig. Bei der Herstellung von Furnierschicht und Furniersperrhölzern liegt die Ausbeute bei ungefähr 70 % [63].

Die in den Sägewerken und in den Produktionsanlagen für Holzwerkstoffe anfallenden Nebenprodukte werden an die Papier- und Zellstoffindustrie verkauft. Sägespäne werden häufig auch zu Pellets, Holzbriketts oder Palettenklötzen weiterverarbeitet. Die nicht verwerteten Nebenprodukte werden „thermisch verwertet“. Nebenprodukte bei der Herstellung von BSH und BSP bzw. Furnierschicht und Furniersperrhölzern weisen häufig Klebstoffreste auf. Diese Nebenprodukte müssen ebenfalls thermisch verwertet werden [63].

Das vorstehend Gesagte erlaubt folgende Abschätzung: Zieht man von der jährlich zur Ernte zur Verfügung stehenden Menge von $G = 11,34 \text{ Gt a}^{-1}$ die heute für Brennholz und für Treibstoffe laut Tabelle 5 benötigte Summe von 1.943 Mio. m^3 oder, abgeschätzt 22, 1.166 Mio. t ab und unterstellt man gleichzeitig, dass die gesamte Menge des zur Herstellung von Cellulosefasern, Papier etc. benötigten Holzes in Höhe von 838 Mio. t aus den Nebenprodukten der Sägewerke stammt, dann erhält man jährlich eine Menge von $G_{\text{Bau}} = (11,34 - 1,166) \times (0,4 + 0,8) \times 0,5 = 6,1 \text{ Gt a}^{-1}$ abschätzen. Dies ist ungefähr das 6- bis 7-Fache der derzeit in das Bauwesen fließenden Holzmenge. Das Bauen mit Holz könnte demnach erheblich ausgedehnt werden. Allerdings beträgt der jährliche Bedarf an Baustoffen derzeit, je nach zugrunde gelegtem Szenario, weit mehr als 60 Gt a^{-1} . Das Bauen mit Holz wird also auf absehbare Zeit eine wichtige, aber keine dominierende Rolle im Bauschaffen spielen.

Die vorstehend angegebenen Werte für den maximalen Anteil des Bauwesens an der jährlichen weltweiten Holzernte sind obere Grenzwerte. Eine Mehrernte an Bäumen würde eine inakzeptable Reduzierung der CO_2 -Bindungskapazität der Wälder zur Folge haben. Einem „Verschieben“ der zu verteilenden Mengen steht entgegen, dass nach Schätzungen der Vereinten Nationen derzeit etwa 2,4 Mrd. Menschen mit Holz heizen und kochen [41]. Obwohl hierbei enorme Mengen an CO_2 freigesetzt werden, können diese lebensnotwendigen Prozesse nicht abrupt gestoppt werden.

22 Es wird für diese überschlägige Berechnung vereinfachend für alle Holzarten ein Gewicht von 600 kg m^{-3} angesetzt.

Abb. 26 linke Seite oben: Exemplarische Erläuterung der nutzbaren Stammholzanteile von Fichte und Buche. Während bei Fichten ungefähr 80 % des geernteten Holzes verwertet werden können, sind es bei Buchen nur etwa 45%. Nach [62].

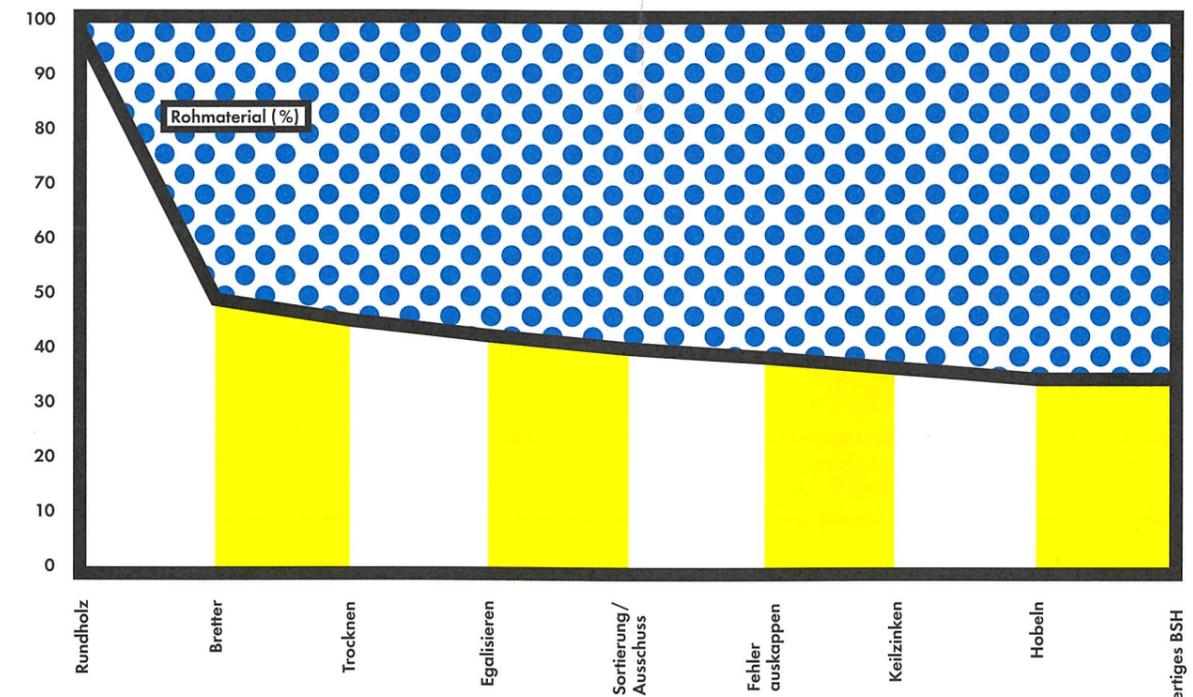
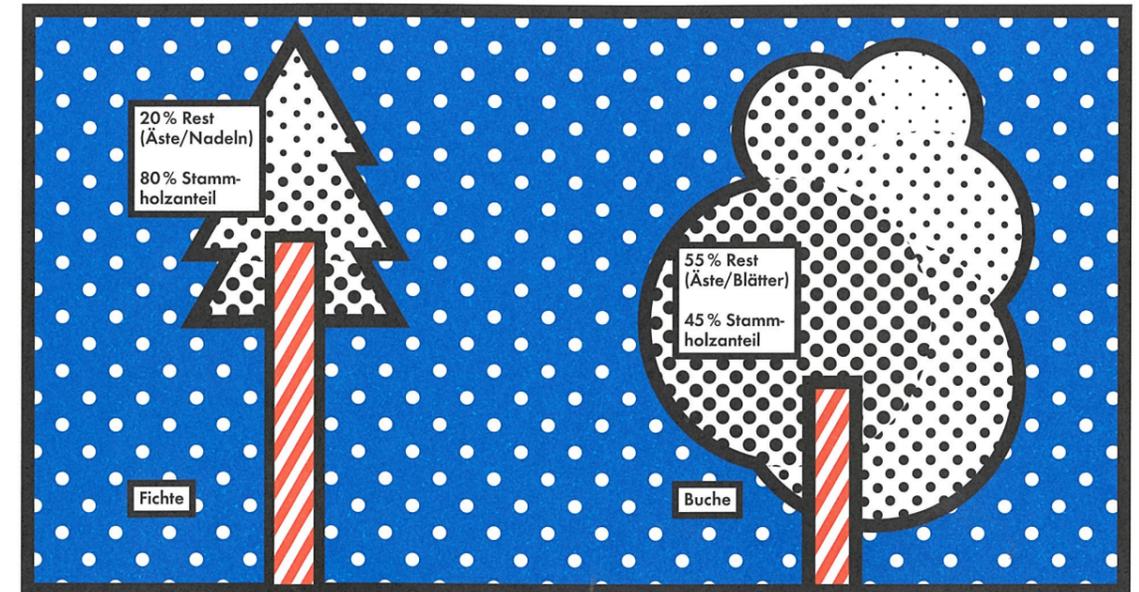


Abb. 27 linke Seite unten: Ausbeutungsgrad (vertikale Achse, in %) der im Sägewerk angelieferten Holzstämme bei der Herstellung von Brettsperrholz. Prinzipdarstellung. Nach [63].

Auch die Herstellung von Cellulosefasern, Papier, Kartonagen etc. lässt sich nicht abrupt beenden.

Wie bereits erwähnt würde eine Intensivierung des Holzeinschlages zu einer temporären Senkung der CO₂-Bindungskapazität der Wälder führen, was, bei gleichbleibenden anthropogenen Emissionen, zu einem Anstieg des in der Atmosphäre vorhandenen CO₂ und damit zu einem weiteren Anstieg der Erderwärmung führen würde. Jedwede verantwortbare Erhöhung der Holzernten setzt also eine vorher stattfindende massive Aufforstung voraus, wobei schnellwachsende Bäume mit niedrigen Umtriebszeiten und gleichzeitig hinreichend guten Qualitäten als Bauholz aus heutiger Sicht als besonders geeignet erscheinen. Es ist aber zu beachten, dass ein Setzling bis zum Erreichen einer nennenswerten CO₂-Bindkapazität mehrere Jahre benötigt. Man kann also erst dann mit einer Steigerung des Holzeinschlages beginnen, wenn der Neuaufwuchs eine CO₂-Bindekapazität aufweist, die derjenigen entspricht, die man aktuell einzuschlagen gedenkt. Je nach Baumart und Expositionsbedingungen benötigt der Neuaufwuchs schätzungsweise zwischen 10 und 15 Jahre, bevor er eine nennenswerte CO₂-Bindungskapazität aufweist. Vorher ist eine vermehrte Holzentnahme nicht vertretbar. Abbildung 28 zeigt diese Zusammenhänge nochmals deutlich auf.

In Abbildung 28 lässt sich am Beispiel eines aus 100 Buchen bestehenden (hypothetischen) Waldes mit einer Grundfläche von 0,6 ha sehr gut erkennen, wie die laufende CO₂-Bindung infolge eines hier beispielhaft mit 30 Jahren angesetzten Erntezyklus gegenüber einem nicht bewirtschafteten Bestand periodisch einbricht. Obwohl im Sinne einer vorbildlich nachhaltigen Forstwirtschaft nach dem Ernten des Bestandes jeweils eine vollständige Neupflanzung mit Setzlingen zugrunde gelegt wird, führt die zunächst niedrige Bindungskapazität der Setzlinge in Überlagerung mit den durch das Verrotten der zurückbleibenden Rinden, Wurzeln etc. stattfindenden CO₂-Emissionen zu dem deutlich erkennbaren „sägezahnartigen Verlauf“ der CO₂-Bindung, der zudem durch 8-10-jährige Emissionsphasen gekennzeichnet ist. Über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet beträgt die akkumulierte CO₂-Bindung bei einer Bewirtschaftung im 30-Jahre Zyklus gegenüber dem unberührten Wald nur noch circa 50%. Würde man die Erntezyk-

Abb. 28 linke Seite oben: Beispielhafte Darstellung der CO₂-Bindung am Beispiel eines (hypothetischen) Buchenwaldes, bestehend aus 100 Buchen, stehend auf 0,6 ha. Die Differenz zwischen dem CO₂-Bindungsverhalten des unbewirtschafteten Waldes („unberührt“) mit dem im vorliegenden Fall alle 30 Jahre geernteten Waldes wird als CO₂-Bindungslücke (in der Abbildung schraffiert) bezeichnet. Y-Achse links: Werte in t CO₂ a⁻¹. Y-Achse rechts: Akkumulierte Werte in t CO₂. X-Achse: Waldalter in Jahren.

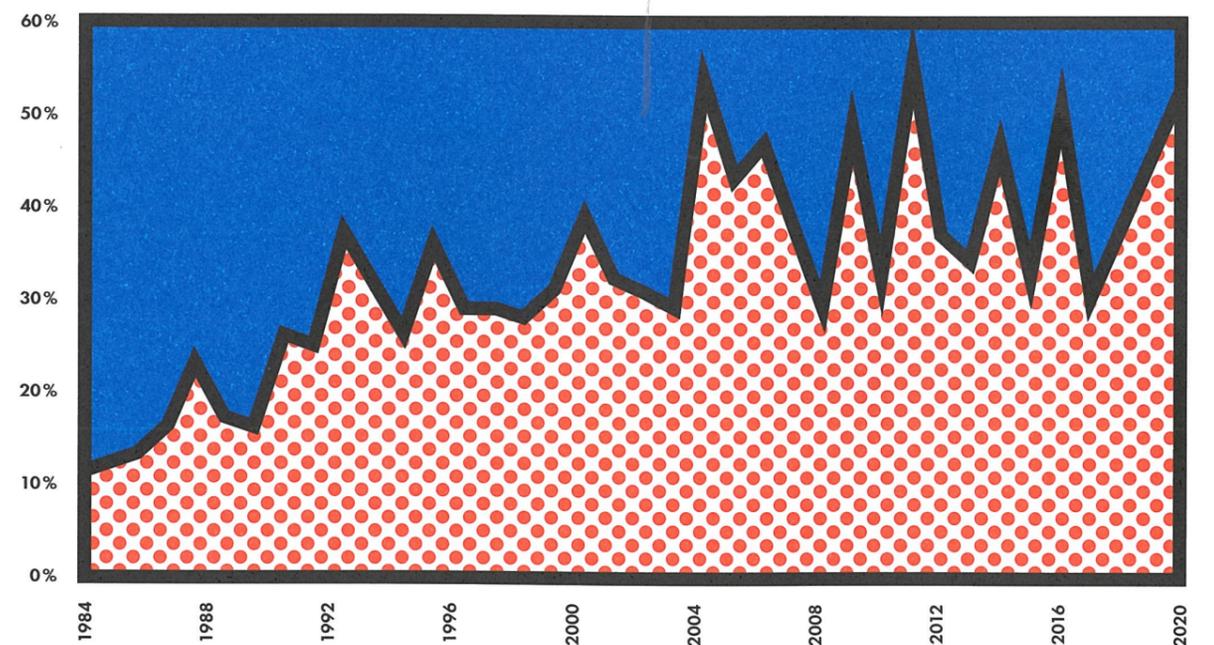
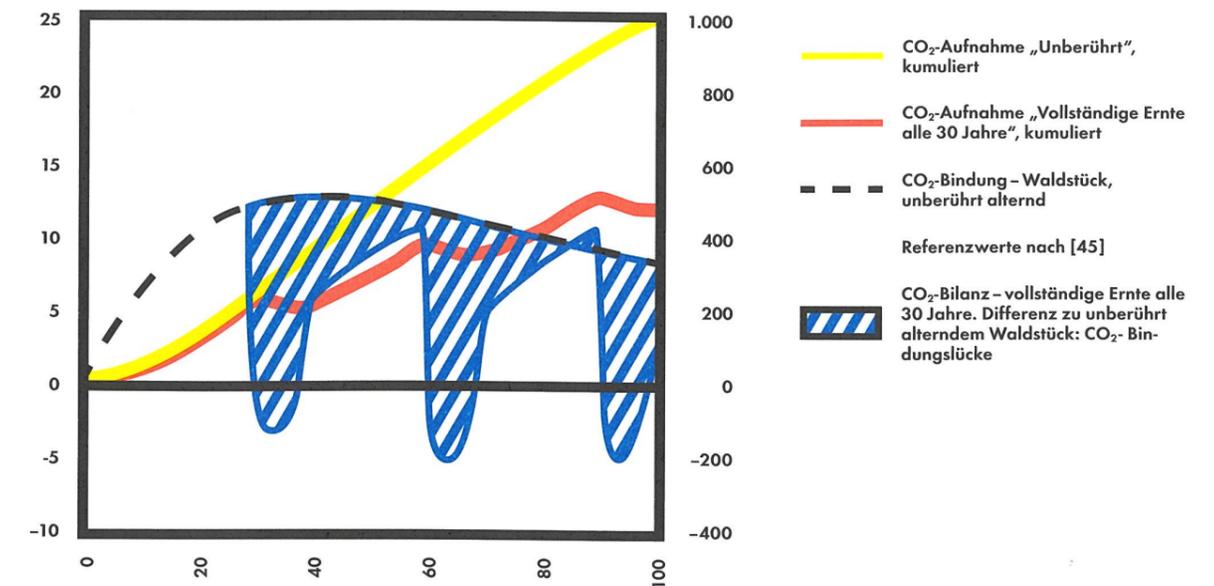


Abb. 29 linke Seite unten: Waldzustandserhebung 2020 in Deutschland: Zeitliche Entwicklung der Zunahme der Kronenverlichtung in%. Nach [65].

len des hier betrachteten Modellwaldes auf 50 Jahre erhöhen, dann betrüge dieser Abfall noch 25 %. Das Beispiel zeigt auch, dass die Bewirtschaftung eines Waldes mit konstanter Grundfläche ohne Reduktion seiner CO₂-Bindekapazität aufgrund der Verrottungsvorgänge der nach der Ernte zurückbleibenden Rinden, Wurzeln etc. nicht möglich ist, solange die gewählten Erntezyklen kürzer sind als die natürliche Lebensdauer des unbewirtschafteten Waldes.

In Europa beobachtet man seit längerem, dass immer mehr Baumarten infolge der durch die Klimaerwärmung veränderten Wachstumsbedingungen entweder nicht mehr richtig gedeihen oder gar nicht mehr überleben können. So wird in der Waldzustandserhebung 2020 für Deutschland [65] berichtet, dass im Jahr 2019 mehr als ein Drittel aller Bäume deutliche Kronenverlichtungen ↑ aufwiesen und dass bei weiteren knapp 40 % aller Bäume eine entsprechende Warnstufe angezeigt ist. Abb. 29 Die beobachteten Schädigungen des Baumbestandes sind so erheblich, dass mit einem massiven Baumsterben zu rechnen ist. Insbesondere längere Phasen mit hoher Temperatur und geringen Niederschlagsmengen, wie sie in Deutschland in den vergangenen Jahren immer häufiger zu beobachten waren, führen dazu, dass die Bäume ihre Wasserabgabe über die auf den Blattunterseiten befindlichen Spaltöffnungen zum Schutz vor Austrocknung reduzieren. Da aber CO₂ über dieselben Spaltöffnungen aufgenommen wird, führt die Schutzmaßnahme vor Austrocknung auch zu einer reduzierten CO₂-Aufnahme und damit zu einem reduzierten Wachstum. Die insgesamt „zu trockenen“ Bäume können einem Insektenbefall, wie er durch den Borkenkäfer in den vergangenen Jahren stattfand, aufgrund ihrer reduzierten Fähigkeit zur Harzbildung wenig entgegensetzen.

Es ist in den vergangenen drei Jahrzehnten gelungen, das durch große Mengen in die Atmosphäre emittierter FCKW entstandene Ozonloch durch einen radikalen Schwenk weg von der Verwendung dieser Gase zu reduzieren. Außerdem ist es gelungen, die durch sauren Regen entstandenen Schäden in den Wäldern durch Einbau von Entschwefelungsanlagen in die Kraftwerke in den Griff zu bekommen. Es erscheint jedoch fraglich, ob es gelingen kann, die Gefährdung unserer Wälder durch lange, mit extrem niedrigen Niederschlagsmengen einhergehenden Hochtemperaturphasen zu vermeiden.

Kronenverlichtung
Sie beschreibt den Nadel- bzw. Blattverlust einer Baumkrone. Der Blattverlust erfolgt typischerweise von innen nach außen, seltener von außen nach innen. Die Kronenverlichtung wird in sogenannte Verlichtungsstufen unterteilt.

23 Distickstoffmonoxid wird auch als Lachgas bezeichnet.

Die in immer mehr Ländern Europas zunehmend kritischer werdende Situation der Wälder (es sei hier insbesondere auf die Arbeiten des von Thünen-Instituts für Waldwirtschaft hingewiesen) führt dazu, dass bei Neuanpflanzungen vermehrt andere Baumarten als bisher üblich sowie ein anderer „Baummix“ gepflanzt werden. Insgesamt versucht man, Bäume mit einer besseren Resilienz gegen lange Trockenphasen bei gleichzeitig hohen Temperaturen zu pflanzen. Ob dies aber die gewünschte Wirkung zeigen wird, weiß man erst in einigen Jahren, also dann, wenn die Setzlinge sich – hoffentlich – zu großen und robusten Bäumen entwickelt haben. Bis dahin aber bleibt das Risiko, dass die Anpflanzungen nicht das erhoffte Ergebnis zeigen, was natürlich für die dadurch verloren gehende CO₂-Bindungswirkung der Wälder wie auch für die Produktion des Baustoffs Holz eine Katastrophe wäre.

Eine Intensivierung des Holzeinschlages durch Verkürzung des Umtriebsalters führt zu einer beschleunigten Degradation der Böden. Die daraus resultierenden Effekte können verheerend sein, wie im Kapitel „Boden“ erläutert wird. Eine Düngung der Wälder, die den Verlust an Nährstoffen und Mineralien im Boden kompensieren soll, der mit einer allzu intensiven Bewirtschaftung einhergeht, ist kritisch zu sehen. Einerseits können die Düngemittel die im Boden befindlichen Mikroorganismen in ihrer Funktion beeinträchtigen. Andererseits kann durch die im Boden befindlichen Mikroben der übermäßig zugeführte Stickstoff zusammen mit Luftsauerstoff in Distickstoffmonoxid ²³ überführt werden, dessen Treibhauspotenzial nahezu 300-mal größer ist als das von CO₂. Sinnvoll erscheint deshalb lediglich das bereits beschriebene Zurücklassen der Nadeln, Blätter, Zweige, Äste und des Wurzelwerks sowie eine möglichst niedrige Einschlagfrequenz.
[...]

Literaturverzeichnis

[59] C. Kölling und U. Stetter, Holz-Abfall oder Rohstoff? Wege zu einer sinnvollen Verwertung, LWF aktuell, Bd. 15, Nr. 63, S. 54–56, 2008.
[60] <http://www.fao.org/forestry/statistics/80570/en>, aufgerufen am 15.01.2021.
[61] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV) vom 15.08.2002.
[62] A. Isopp, R. Binder, H. Jöbstl, C. Kulterer, M. Pfeifer und R. Stralz. Welches Potenzial lieat in der Produktion?, Zuschnitt – Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Bd. 19, Nr. 75, S. 20–21, 2019.

[63] U. M. Knaus, Ressourceneffizienz in der Holzwirtschaft: Analyse ausgewählter Prozessketten, Masterarbeit, Institut für Holztechnologie und nachwachsende Rohstoffe, Universität für Bodenkultur Wien, 2019.
[64] Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, Pappelsorten für den Kurzumtrieb, Teisendorf, 2017.
[65] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020, Berlin, 2021.



weitere CO₂-speichernde Materialien

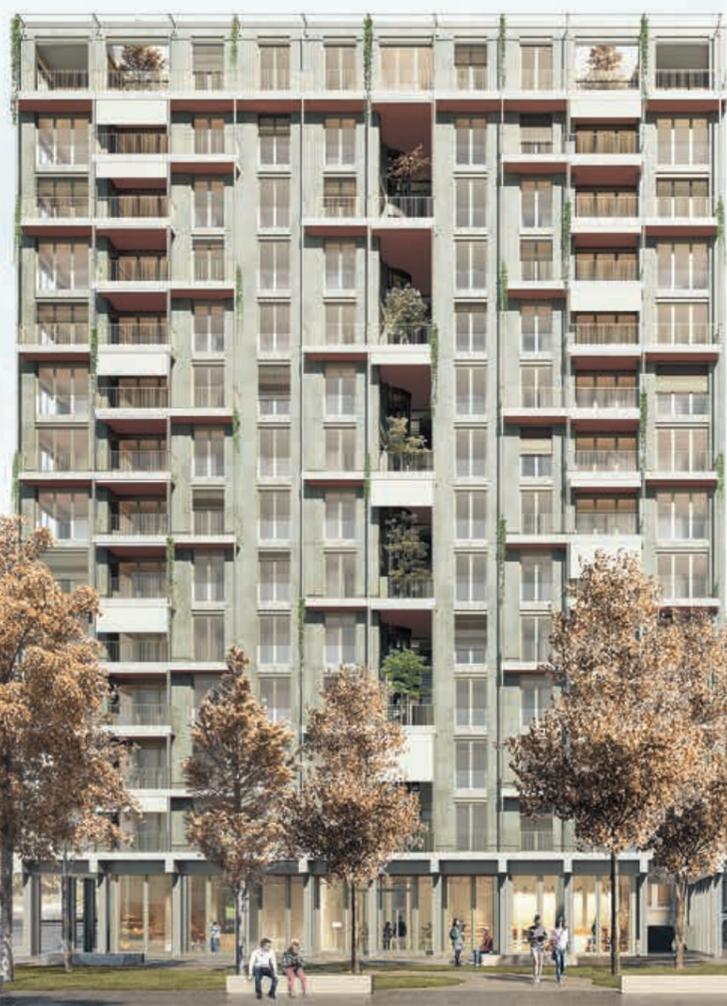
Biogene Werkstoffe, wie Holz, Kork, Hanf, Stroh, Schafwolle können in Gebäuden als temporäre Kohlenstoff-Speicher wirken und zumindest für die Lebensdauer der Bauten CO₂ der Atmosphäre entzogen halten

Eine Diät für fossil erzeugte Gebäude, Guillaume Habert, in: tec21 : Schweizerische Bauzeitung. Zürich: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine, 2000. Print., 11/2022, S. 24-27

Eine Diät für fossil erzeugte Gebäude

Guillaume Habert ist Professor für Nachhaltiges Bauen und erklärt hier die Rezeptur für das klimaneutrale Bauen. Bei der Wahl der Zutaten gelte auseinanderzuhalten, ob Nullenergie- oder Nullemissionskonzepte umgesetzt werden sollen.

Text: Guillaume Habert



Geplant als höchstes Wohnhaus aus Holz in der Schweiz: Visualisierung des Hochhauses auf dem ehemaligen Areal der Papierfabrik Cham ZG, das in hybrider Holzbauweise und 2000-Watt-kompatibel ausgeführt werden soll (vgl. «CO₂-Reduktion in der Erstellung», S. 25).

Der Gebäudesektor ist für 40% der vom Menschen verursachten jährlichen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Die Hälfte davon entfällt auf Betrieb und Nutzung; die andere Hälfte ist mit der Erstellung und der Fabrikation der Baustoffe verbunden. Die Emissionen aus dem Betrieb von Gebäuden sind in den letzten 50 Jahren erheblich gesunken. In ihrer Klimawirkung haben sich die Lieferketten jedoch nicht ebenso grundlegend verbessert. Deshalb sind die Treibhausgasemissionen, die aus der Bautätigkeit und der Produktion von Baumaterialien stammen, radikal zu senken.

Der wissenschaftliche Weltklimarat IPCC skizziert mehrere Szenarien, wie die mittlere Erderwärmung auf 1.5°C begrenzt werden kann. Die zuverlässigste Variante ist: Die fossilen Treibhausgasemissionen sind bis 2030 um 50% zu senken und bis 2040 runter auf die schwarze Null. Jede Verzögerung bedeutet, dass die künftige Generation mehr CO₂ nachträglich wieder aus der Atmosphäre entfernen muss.

Ab Mitte bis Ende dieses Jahrhunderts gilt es, sämtliche Treibhausgase zurückzupumpen, was wir ab jetzt weder reduzieren noch vermeiden wollen. Ab 2050 funktioniert Netto-Null nicht mehr; die nächsten Generationen werden Netto-Negativ leben und wirtschaften müssen. Deshalb plädiere ich für den ehrlichsten und fairsten Weg, den Klimawandel einzugrenzen: Die CO₂-Emissionen sind bis 2040 auf null zu senken.

Emissionen im Ausland freigesetzt

Die Schweiz will bis 2050 klimaneutral sein; das ist an sich ambitioniert. Trotzdem wird der nationale Nullemissionspfad das 1.5-Grad-Ziel verfehlen. Und zudem konzentriert er sich nur auf den Ausstoss, der direkt im Inland verursacht wird. Dass dies nur ein Minderheitsanteil ist, hat sich noch nicht überall herumgesprochen. Mehr als 50% der Emissionen, die der Gebäudesektor verantwortet, setzen Bau und Betrieb nicht in der Schweiz, sondern im Ausland frei. Was bedeutet das für ein Gebäude, das gemäss inländischer Klimastrategie bis 2050 den Netto-Null-Standard einhalten soll? Die Antwort: Das Gebäude muss eine lokale bis nationale Emissionsbilanz von Netto-Null erreichen. Alle kohlenstoffintensiven Emissionen erfolgen im Ausland und werden so indirekt importiert. Stimmen Sie als Leserin oder Leser zu? Diese Strategie ist weder nachhaltig noch gerecht.

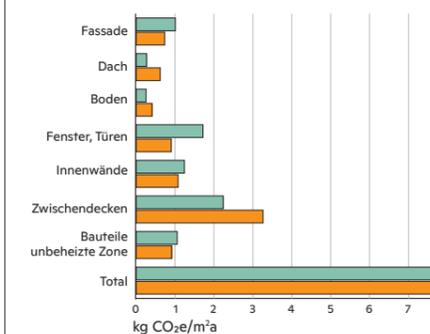
Das aktuelle Problem besteht auch darin, dass sich die Mehrheit in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft über das Ziel einig ist, Netto-Null-Emission zu erreichen. Aber allein dem Bausektor fehlt ein gemeinsames Verständnis, bis wann dies geschehen soll – bis 2040 oder 2050? Ebenso unklar ist, auf welchen räumlichen Rahmen sich die Erfolgsbilanz beziehen soll. Sind nur die nationalen Grenzen relevant? Oder sind vor- und nachgelagerte Emissionen mitzuzählen, die beim Bau und im Lebenszyklus eines Gebäudes entstehen?

Fallstudie «CO₂-Reduktion in der Erstellung»

Effiziente und suffiziente Konstruktionskonzepte halten die graue Energie eines Gebäudes knapp, lautet die Theorie. In der Praxis richtet sich der Fokus zunehmend auf eine klimafreundliche Materialisierung. Das ist ein Hauptmotiv für den vermehrten Einsatz des Baustoffs Holz. Doch gesichertes Wissen ist rar, wie sehr ein Holzbau den CO₂-Fussabdruck im Vergleich zur Massivbauweise reduziert. Deshalb lohnt sich ein Blick auf das Areal der ehemaligen Papierfabrik Cham ZG, das nach den Regeln der 2000-Watt-Gesellschaft überbaut und zertifiziert wird. Die Bewertung der nicht erneuerbaren, grauen Energie ist ein relevantes Kriterium, zum Beispiel für den Bau von unter anderem drei Hochhäusern, zwei in massiver Bauweise, eines als Holz-Beton-Hybrid. Letzteres wird 2024 fertiggestellt, als eines der noch seltenen Wohnhochhäuser aus Holz in der Schweiz. Der Skelettbau des 14-Geschossers setzt sich aus Holz-Beton-Verbunddecken und Zwillingsträgern aus Buchenholz zusammen. Gemäss aktuellem Planungsstand werden für die Erstellung (inklusive massiven Untergeschosses und Haustechnik) weniger als 600 kg CO₂/m² verbucht.

Erstellungsbilanz mit gutem Endergebnis

Wird die Bilanz mit der Fallstudie in Amsterdam (vgl. S. 22–23) verglichen, hat das Hochhaus am Zugersee einen fast identischen Wert für die Emission von grauen Treibhausgasen. Interessant ist der arealinterne Vergleich in Cham: Das Holzhochhaus weist gemäss SIA-Effizienzpfad Energie einen um wenige Prozent geringeren CO₂-Fussabdruck für die Erstellung auf als die mineralischen Nachbartürme. Der grösste Reduktionseffekt zeigt sich bei den Zwischendecken: Holzverbundsysteme sind 30% CO₂-ärmer als ein massives Bauteil. Der Fensteranteil am Holzhochhaus ist aber weit grösser als beim massiven Hochhaus. Entsprechend hoch ist der Anteil an den «grauen Emissionen» in der Gebäudebilanz. • (pk)



Treibhausgasemissionen im Vergleich: Werte für Holzhochhaus in grün; orange für massive Betonbauweise.

Arealüberbauung Papier, Cham

Bauherrschaft	Holzbau	Typ
Cham Group	Synaxis, Holzbaubüro Reusser	61 Wohnungen, Gewerbe im Erdgeschoss
Architektur	2000-Watt-Bilanzierung	Ausführung
HBF Huggenbergerfries Architekten	Amstein+Walthert	2021–2024

Fallstudie «Klimaoptimierte Baustoffe»

Bleiben wir in Cham am Zugersee: Auf dem künftigen 2000-Watt-Areal werden neben Holz auch mineralische Baustoffe verwendet, die als klimaoptimiert vermarktet werden. Tatsächlich sind immer mehr Betonvarianten und andere Bauprodukte erhältlich, die auf unterschiedliche Weise klimafreundlicher hergestellt werden. Entlang der Lieferkette können die Klimaeffekte folgendermassen gemindert werden: Wird beim Zement der Klinkeranteil reduziert, sinkt auch der CO₂-Ausstoss bei der Herstellung. CEM III/B lautet die Bezeichnung für derartige Zementarten. Betonfabrikanten entwickeln zudem weitere Ideen für einen geringeren CO₂-Fussabdruck. So sind fast in der ganzen Schweiz Produkte ab Betonwerk erhältlich, die vorgängig karbonatisiert sind und somit mehr CO₂ binden als herkömmliche Varianten. Dabei wird wiederverwendbares Mischgranulat aus dem Rückbau mit Kohlenstoff «gewaschen», was den CO₂-Gehalt im Recyclingbeton erhöht. Labortests bestätigen eine Verbesserung der Klimabilanz solcher Betonvarianten um 10 bis 20%.

Pflanzenkohle als klimarelevante Zutat für den Beton
Eine weitere Optimierungsvariante ist der Zuschlag von Pflanzenkohle in die Betonmischung, ohne die konstruktiven Anforderungen des mineralischen Baustoffs zu gefährden. Pflanzenkohle soll als CO₂-Zwischenspeicher dienen, weil diese Zutat aus einem kontrollierten «Abbrennen» von Restholz aus Sägereien entsteht. Der Hersteller nennt den Pflanzenkohle-Beton «klimaneutral», insofern die beigemischte Menge des in der Kohle gespeicherten CO₂ gleich gross ist wie die bei der Betonherstellung verursachte Emission. Daneben erfreut sich auch eine externe Kompensation der produktespezifischen Klimabilanz steigender Beliebtheit in der Baustoffindustrie. Der nationale und internationale Handel mit CO₂-Zertifikaten erfolgt standardisiert. Umstritten sind jedoch das Risiko von Doppelzählungen sowie die Anrechenbarkeit der Speicherleistung zur CO₂-Reduktion. • (pk)

Sich auf ein gemeinsames Ziel vermeintlich zu einigen, aber nicht zu beachten, dass jeder etwas anderes darunter versteht, ist riskant. Ohne vorgängige Bereinigung erhöht sich das Risiko, dass die Umsetzung einige Frustration, Enttäuschung und Misstrauen provoziert. Insofern gilt es, die verschiedenen Varianten zu präsentieren, wie ein Netto-Null-Gebäude zu verstehen ist. Ich möchte die Angemessenste aufzeigen, wie man das Ziel beim Bauen in einem vernünftigen Zeitrahmen erreicht. Ich meine: genau hier und jetzt!

Variante 1: Netto-Null-Energie

Erste Umsetzungsvariante: Wir realisieren ein Netto-Nullenergiehaus und befolgen die Regel, dass nur die Betriebsenergie zu berücksichtigen ist, die für Raumwärme, Warmwasser und elektrische Geräte konsumiert wird. Unberücksichtigt bleibt dabei die graue Energie, die zur Herstellung der Materialien benötigt wird und die beim Bau und bei der Instandhaltung anfällt. Der Fokus beim Netto-Nullenergie-Ziel folgt dieser Hypothese: Ein niedriger Energieverbrauch ist gut für die Umwelt. Gleichzeitig ignoriert man aber, dass nicht so sehr die Menge der konsumierten Energie problematisch für die Umwelt ist, sondern deren Qualität.

Handelt es sich um erneuerbare Energie, ist ein Nullverbrauch nicht notwendig, um den Klimawandel zu mindern – im Gegensatz zur fossilen Energie. Mit einer Netto-Nullmissionsstrategie respektive beim Netto-Null-Emissionspfad verändern sich die Vollzugskriterien. Zugleich darf man sich nicht nur auf CO₂-Bilanzen konzentrieren, sondern hat die Emissionen weiterer Treibhausgase im Auge zu behalten. Denn bei einer gebäudebezogenen Emissionsbilanz zählt auch das klimawirksame Methan, das biobasierte Baumaterialien am Ende ihrer Lebensdauer freisetzen.

Ein Gebäude, dessen Betriebsbilanz emissionsfrei bleiben soll, wählt im Vergleich zur Nullenergievariante eine der folgenden Optionen: Entweder verursacht der Energiekonsum keine Treibhausgase. Oder negative Emissionen kompensieren sämtliche fossilen Treibhausgase, die der Betrieb eines Gebäudes freisetzt – in äquivalenter Menge.

Variante 2: Netto-Null-Emission

Zweite Variante: Sprechen wir über ein Netto-Nullmissionsgebäude, dessen Klimabilanz nicht nur den Betrieb, sondern auch den Bau berücksichtigt. Hierfür existieren mehrere Möglichkeiten, wie die Treibhausgasemissionen gezählt oder besser: abgerechnet werden. Zunächst geht es um Reduktion und/oder Vermeidung: Ein Gebäude, das mehr Energie produziert als lokal benötigt, erlaubt anderen Gebäuden diesen Überschuss zu konsumieren, was deren Bedarf an fossilen Brennstoffen verringert. Das bilanzierte Gebäude hilft, abseits des eigenen Berechnungssystems zusätzliche Treibhausgasemissionen zu vermeiden. Sein Besitzer darf dafür ein gutes Gewissen beanspruchen; doch der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre schwindet dadurch nicht. Eine vermiedene Emission ist keine negative Emission. Deshalb halte ich es für einen Trugschluss, eine extern vermiedene Emission in die Bilanz eines Netto-Nullmissionsgebäudes quantitativ zu integrieren.

Betrachten wir im Gegensatz dazu Treibhausgasemissionen, die als negativ definiert werden und von der Summe der einmal verursachten Emissionen abzugsberechtigt sind. Um Treibhausgase physikalisch aus der Atmosphäre zu entfernen, sind ausschliesslich biologische oder technische Prozesse erforderlich. Das Ziel Netto-Nullmission lässt sich beim Bauen über folgende Umwege erreichen: Entweder werden die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes bilanziert. Oder die Bilanz wird für jeden einzelnen Moment der Lebensdauer nachgeführt. Die nachträgliche CO₂-Elimination am Lebensende ermöglicht tatsächlich ein Netto-Nullmissionsgebäude. Doch die Klimabilanz erst nach Ablauf des Lebenszyklus zu «neutralisieren», ist nicht wirksam. Daraus resultiert noch kein klimaneutrales Gebäude, weil die Gleichzeitigkeit der Klimaprozesse nicht gegeben ist. Das CO₂, das sich während der Lebensdauer eines Gebäudes freisetzt, wird nicht fortlaufend eliminiert.

Eine pauschale Bilanzierung kann uns zwar ein gutes Gefühl geben. Doch in Anbetracht der Dringlich-

keit befeuert ein solches Vorgehen die bereits ange-laufene Katastrophe: Ein heute konzipiertes und realisiertes Netto-Nullmissionsgebäude stösst die nächsten 60 Jahre jeweils Treibhausgase aus; eine Kompensation folgt erst 2082. Bis dann heizt sich die Erdatmosphäre weiter auf, obwohl wir den globalen CO₂-Gehalt bestenfalls ab 2040 und schlimmstenfalls ab 2050 stabilisieren wollen. Dieses Gebäude belastet das Klima der nächsten Generation zusätzlich, anstatt das Problem zu lösen. Nur wenn negative Emissionen den Klimafussabdruck eines Gebäudes gleichzeitig und kontinuierlich ausgleichen, ist die Netto-Null-Emissionsbilanz gleichbedeutend mit einer klimaneutralen Lösung.

Ein Rezept für ein vegetarisches Gebäude?

Aber können wir ein Gebäude bauen, ohne den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zu verändern? Eigentlich ja! Dies scheint relativ einfach machbar. Wir dürfen uns aber nicht mit dem Einsatz klimaneutraler Materialien begnügen. Ebenso sollten wir daran denken, ein gesundes Gebäude zu realisieren. Wenn wir uns körperlich gesund halten wollen, passen wir unsere Ernährung an und reduzieren zum Beispiel den Verzehr von Fleisch und Zucker. Auch bei Gebäuden können wir Diät halten, in diesem Fall aber mit fossil erzeugten Baumaterialien. Wie bei der Ernährung sind Ausnahmen erlaubt: Manchmal darf die Kost etwas Schwereres beinhalten, solange man weiss, dass es ein besonderer Anlass ist und danach leichtere Speisen bevorzugt werden.

Die Analogie zum Bauen ist: Ist ein besonders grosses Fenster wirklich zwingend, beschränkt sich das Architekturkonzept auf diesen Einzelfall. Die grauen Treibhausgasemissionen, die dafür in Kauf zu nehmen sind, lassen sich kompensieren. Zum Beispiel durch Baumaterialien, deren Fabrikation keine fossilen Emissionen erzeugt, sondern die im Gegenteil selbst CO₂ binden. Ein derartiges Netto-Nullmissionshaus bezeichne ich als ein gesundes und ausgewogenes Gebäude. Für die gute Materialdiät empfehle ich:

- eine Reduktion von kohlenstoffintensiven Baumaterialien wie etwa Glas;
- einen angemessenen Einsatz von «kohlenstoffarmen» Baumaterialien wie Beton oder verleimtem Holz, deren Herstellung relativ wenig CO₂ freisetzt;
- einen extensiven Gebrauch von nahezu kohlenstofffreien Materialien wie Lehm
- und einen vermehrten Einsatz von «kohlenstoffnegativen» Materialien wie schnell nachwachsende biobasierten Materialien und teilweise Massivholz.

Ein mögliches klimaneutrales Rezept aus dem Wissenschaftslabor sei dazu verraten: Eine 60 cm dicke Aussenhülle aus Strohballen kann die fossilen Emissionen eines Mehrfamilienhauses, erzeugt durch die Bereitstellung der Betonstruktur und der Glasfenster, ausgleichen. Zur Kompensation einer Leichtbaukonstruktion mit verleimtem Holz und identischer Fensterfläche

wären nur 40 cm mächtige Strohballen erforderlich. Auf weniger als 20 cm darf die Dicke der biobasierten Aussenhülle schrumpfen, wenn Fenster aus einer Bauteilhölse installiert werden. Allerdings verschlechtert sich dadurch die Wärmedämmung, was den Heizwärmebedarf und die Betriebsemissionen wiederum ansteigen lässt. Für die Gesamtbetrachtung von gebäudebezogenen Emissionen bei Bau und Betrieb spielt auch die Zeit eine Rolle. Sie definiert, bis wann pflanzliche Rohstoffe nachwachsen und die Emissionsbilanz ausgleichen.

Der Ausgleich mit negativen Emissionen ist deshalb zu erklären: Pflanzliche Baustoffe zu ernten, entfernt kein CO₂ aus der Atmosphäre, sondern transferiert den gebundenen Kohlenstoff vom Ackerfeld oder aus dem Wald in die gebaute Umwelt. Stroh, Holz oder Hanf sind im Gebäude gelagert und machen Platz für die nachwachsende Biomasse. Dadurch erst sinkt der Kohlenstoffgehalt in der Atmosphäre. Die Zeit macht einen Unterschied: Waldbäume wachsen langsamer als Ackerfrüchte, weshalb die Nettoemission von Holz weniger schnell als bei Stroh verbucht werden darf. Biobasierte Rohstoffe aus Ackerkulturen sind eine effizientere Pumpe für die Klimabilanz. Dämmstoffe aus Weizenstroh oder Hanfbeton ermöglichen deshalb negative Kohlenstoffemissionen für ein Gebäude.

Von klimaneutral bis fair und ökologisch

Was ich voraussetze, wenn das Gebäude eine zentrale Rolle als CO₂-Speicher übernehmen soll: Jedes neue Gebäude muss mithelfen, den Anteil an biobasierten Baumaterialien zu erhöhen. Wird die Gesamtmenge an Kohlenstoff in der gebauten Umwelt grösser, steigt die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre nicht länger.

Ein gesunder Ernährungsplan besteht insofern aus einem ausgewogenen Verhältnis von Gemüse, Fleisch und Gebäck. Wichtig ist aber auch die Qualität der Nahrungsmittel. Sind die Produkte biologisch oder mit Pestiziden hergestellt? Der italienische Architekturprofessor Andrea Bocco¹ hält eine solche Slow-Food-Diät auch für Gebäude tauglich. Dafür seien kohlenstoffintensive Materialien von vornherein zu reduzieren und unvermeidbare Emissionen durch negative auszugleichen. Zugleich ist zu berücksichtigen, woher die Baumaterialien stammen und wie sie hergestellt werden. Ich schliesse mich dieser Empfehlung an und folgere weiter: Die Strategie der Netto-Nullmissionen muss sich auch auf lokale und vertrauenswürdige Lieferketten stützen. Es ist wichtig, ein kohlenstoffneutrales Gebäude in ein faires und ökologisches Baukonzept einzubetten. •

Guillaume Habert, Professor für Nachhaltiges Bauen, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich; Departement für Bau, Umwelt und Geomatik; habert@ibi.baug.ethz.ch

Übersetzung: *Paul Knüsel*, Redaktor Umwelt/Energie

Anmerkung

¹ Andrea Bocco. Vegetarian Architecture, Jovis 2020.

«Treibhausgasemissionen sind kein Kavaliersdelikt», Rolf Frischknecht im Interview mit Paul Knüsel, in: tec21 : Schweizerische Bauzeitung. Zürich: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine, 2000. Print., 11/2022, S. 28-32

«Treibhausgasemissionen sind kein Kavaliersdelikt»

Hilft eine CO₂-Bilanzierung von Gebäuden dem Klima, oder lassen sich dadurch auch Effekte schönrechnen? Um die Treibhausgasemissionen bei Bau und Betrieb sachgerecht zu erfassen, braucht es Regeln. Rolf Frischknecht gibt Einblicke in die Methodik und die Pflege von Datengrundlagen.

Interview: Paul Knüsel

TEC21: Herr Frischknecht, Sie wirken in nationalen und internationalen Gremien für die Ökobilanzierung von Gebäuden mit und sind Erstunterzeichner der Monte Verità Declaration. Was will die Deklaration?

Rolf Frischknecht: Sie fordert einen spezifischen Absenkpfad für den Gebäudebereich auf Netto-Null bis 2035. Der Gesetzgeber muss dafür den Treibhausgasausstoss von Gebäuden rechtlich verbindlich limitieren. Es braucht CO₂-Grenzwerte für das Errichten, Betreiben und den Rückbau.

Eine Bilanzierung der Treibhausgase darf sich also nicht auf standortspezifische Emissionen beschränken, sondern sollte alle Emissionen im Lebensweg eines Gebäudes erfassen. Um die Folgen des Klimawandels zu begrenzen, sind ähnlich tiefgreifende, umweltpolitische Einschnitte nötig wie das Phosphatverbot oder die Einführung des Katalysators vor rund drei Jahrzehnten. Auch der Baubereich und die Baustoffindustrie behandeln Treibhausgasemissionen aber noch als Kavaliersdelikt.

Grünes Innenleben und biogene Baustoffe: Der Wintergarten als Ergänzung zum klimaneutralen Konstruktions- und Materialisierungskonzept für das geplante Bürogebäude Hortus (vgl. «Kompensation der Erstellungsenergie», S. 31).



Sie haben eine Prognose für das Bundesamt für Energie erstellt, wonach die grauen Treibhausgasemissionen von Gebäuden deutlich gesenkt werden können. Ist die Branche nicht doch gut unterwegs?

Die Ergebnisse lassen tatsächlich hoffen. Die spezifischen Treibhausgasemissionen aus der Produktion von Beton, Stahl oder Holz können halbiert oder auf einen Viertel reduziert werden. Aber das reicht für das Ziel der Klimaneutralität bei Weitem nicht. Eine weitere Krux ist: Die Prognosen basieren auf Angaben, wie sich die Baustoffindustrie die künftige Fabrikation selbst vorstellt. Ob die dazu erforderlichen Massnahmen umgesetzt werden, ist unsicher und vor allem eine Frage der Finanzierung. Vieles hängt davon ab, wie die Technik zur Abtrennung und permanenten Speicherung von Treibhausgasen verfügbar ist und zum Beispiel in einem Zementwerk installiert wird. Damit sich die Baustoffindustrie bewegt, braucht es andere politische und allenfalls finanzielle Rahmenbedingungen. CO₂-Grenzwerte für Gebäude wären dazu hilfreich. Die Teilrevision des nationalen Umweltschutzgesetzes schlägt dies aktuell vor.

Der Baustoffmarkt ist international. In der EU können Umweltauswirkungen und CO₂-Emissionen von Bauprodukten mit der Umweltproduktedeklaration ausgewiesen werden. Sind die Angaben auch für Gebäudebilanzierungen in der Schweiz einsetzbar?

Die inländische Branche kann schon lange auf freiwillige Planungsinstrumente und Label-systeme zurückgreifen, um den CO₂-Fussabdruck von Gebäuden zu bilanzieren. Der Standard SIA 2040 *Effizienzpfad Energie* legt sogar für den CO₂-Ausstoss bei Erstellung und Betrieb Zielwerte fest. Dafür stellt die Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB) zusammen mit dem Verein ecobau und der Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren Grundlagendaten zur Verfügung. Per Ende März wurden die Ökobilanzdaten in gewissen Bereichen an die europäischen Regeln angepasst. Die nun verfügbare Version 2022 weist den Gehalt von biogenem Kohlenstoff in Baustoffen genauso aus wie die EU-Norm für die Produktdeklaration.

Wirtschaft und Politik fordern, dass Baustoffe aus biogenen Quellen, also nachwachsende Rohstoffe, als CO₂-Senke berücksichtigt werden. Inwiefern kann man diesen Speichereffekt bilanzieren?

Eine Senke hilft nur, das 1.5°-Klimaziel zu erreichen, wenn biogenes CO₂ permanent aus der Atmosphäre entfernt, fixiert und endgelagert wird. Ist es temporär in einem Bauteil oder im Gebäude gebunden, gelangt es früher oder später wieder in die Atmosphäre. Eine Bilanz bildet den relativ kurzen Zeitraum von 60 bis 100 Jahren ab, weshalb der im Baustoff gebundene Kohlenstoff einem

Gebäude weder als Gutschrift noch als Negativemission angerechnet werden sollte. Einen Vorteil hat die temporäre Speicherung trotzdem: Die Baubranche gewinnt kostbare Zeit. Sie gewinnt Zeit bis zum Rückbau eines Gebäudes, um Technologien für das Abscheiden und Endlagern des darin gespeicherten CO₂ marktreif zu entwickeln und zu installieren.

« Eine Senke ist nur klimawirksam, wenn biogenes CO₂ permanent aus der Atmosphäre entfernt und endgelagert wird. »

Gibt es keine anderen Möglichkeiten, um solche Speichereffekte gewinnbringend einzusetzen?

Der Klärungsbedarf scheint mir unbestritten. Wenn die Politik Netto-Null verlangt, muss sie Gewissheit haben, wie verbleibende Emissionen dauerhaft und sicher zu neutralisieren sind, unter anderem mit negativen Emissionstechnologien. Vor Kurzem hat EnergieSchweiz eine Studie über das «klimapositive Bauen» (vgl. «Klimapositives Bauen – ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad», S. 15) veröffentlicht, die den Speichereffekt von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen als negative Treibhausgasemission thematisiert. Eine solche Gutschrift ist risikoreich: Der Effekt ist nur wirksam und anrechenbar, wenn die Speicherung langfristig und rechtlich verbindlich garantiert ist. Zum Beispiel verpflichtet sich ein Hauseigentümer in einem Grundbucheintrag dazu, den gespeicherten biogenen Kohlenstoff nicht wieder in die Atmosphäre freizusetzen. Beim Ersatz von Bauteilen beziehungsweise am Ende des Gebäudelebenszyklus muss er entweder den Baustoff weiterverwenden oder den Kohlenstoff permanent endlagern. Aber ob temporäre Kohlenstoffsenken massgebend zur Einhaltung des 1.5-Grad-Ziels beitragen, ist aus meiner Sicht sehr unsicher.



Rolf Frischknecht, Dr. sc. techn., Inhaber und Direktor von treeze; Fachexperte in IEA-, KBOB- und SIA-Gremien und -Kommissionen.

Die Grenzen des Bauens

Letzten Herbst haben über 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Europa, Nord- und Südamerika sowie Asien an einem Treffen in Locarno eine gemeinsame Erklärung über das klimaneutrale und umweltgerechte Bauen verabschiedet. Die «Monte Verità Declaration» listet Empfehlungen auf, wie Gebäude und Bauwerke errichtet und betrieben werden können, ohne die planetaren Grenzen zu übertreten. Zu den Forderungen an die Politik gehören rechtlich verbindliche Grenzwerte für Treibhausgase, die beim Errichten, Betreiben und Rückbauen von Gebäuden verursacht werden. Gleichzeitig sollen die Länder ihre bauspezifischen CO₂-Emissionen bis 2035 auf Netto-Null senken. Die Forscherinnen und Forscher, die sich mit Lebenszyklusanalysen im Bau- und Energiebereich beschäftigen, adressieren ihre Botschaft an Akteure aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung. • (pk)



Finland und Dänemark denken über einen sogenannten Handabdruck eines Gebäudes nach. Was ist darunter zu verstehen?

Der Handabdruck soll zusätzliche Informationen liefern, ohne das Bilanzierungskonzept zu verändern und ohne das Reduktionsziel zu verwässern. Während der CO₂-Fussabdruck die fossilen Treibhausgasemissionen bei Erstellung, Betrieb und Rückbau erfasst, bildet der Handabdruck mögliche positive Effekte wie die Menge des in Gebäuden gespeicherten biogenen Kohlenstoffs oder andernorts potenziell vermiedene CO₂-Emissionen ab. Letzteres geschieht beispielsweise dadurch, dass lokal erzeugter, überschüssiger Solarstrom in das öffentliche Netz eingespeist und anderswo konsumiert wird.

Auf dieser Annahme beruht das Kompensationsmodell beim klimaneutralen Bauen: möglichst viel Energie selbst produzieren und die eigenen, grauen Treibhausgasemissionen damit neutralisieren. Wie gehen etablierte Bilanzierungsmethoden damit um?

Häufig kommunizieren Bauherren, dass sie ihre eigenen Energieüberschüsse als Emissionsgutschrift verwenden. Sie ziehen diese jährlich von den grauen Treibhausgasemissionen aus der Erstellung ab, bis rechnerisch eine Null resultiert. Die Gutschrift selbst ist ein CO₂-Wert, der sich aus der Differenz zwischen den relativ geringen Emissionen des selbst erzeugten Stroms und dem höheren Ausstoss im Strommix der Schweiz ergibt. Aus Sicht des Eigentümers ist der Grundgedanke nicht falsch: Sein Ökostrom kann die Produktion anderswo drosseln und CO₂-Emissionen also potenziell vermeiden.

Also darf er dies in seiner Bilanz berücksichtigen?

Nein, weil bei Produktion und Abnahme des Solarstroms eine Doppelzählung erfolgt: An beiden Orten wird die CO₂-arme Energie jeweils in eigenen

Bilanzen verbucht. Wird überschüssiger Solarstrom in einer Gebäudebilanz als Gutschrift verrechnet, darf ein Abnehmer dieselbe Menge nur mehr mit der Umweltqualität von Durchschnittsstrom bilanzieren.

Welche Lösung schlagen Sie vor?

Bei der Abgabe von Überschussstrom werden die grauen Emissionen der Solaranlage anteilmässig mitverrechnet. Der Abnehmer erhält dadurch Solarstrom mit dem Umweltfussabdruck von Solarstrom. Gleichzeitig wird der Fussabdruck des Gebäudes, in oder an dem die Photovoltaikanlage installiert ist, im selben Umfang entlastet.

Spinnen wir den Faden für die Gebäudebilanzierung weiter: Betreiber von klimaneutralen Häusern, die eigenen Solarstrom produzieren, sind oft auf eine temporäre Energiezufuhr angewiesen. Wie werden diese Quellen bilanziert?

Die Ökobilanzregeln der KBOB sind eindeutig: Industrie und Gewerbe beziehen Strom über einen freien Markt, wobei die Produktion und die Qualität des ausgewiesenen Stroms aus demselben Kraftwerk stammen muss. Haushalte nehmen nicht am freien Strommarkt teil; in begründeten Fällen können Ausnahmen von dieser Regel gewährt werden.

« Schweizer Durchschnittsstrom verursacht rund einen Viertel mehr Treibhausgase als bislang bilanziert. »

Können Sie das erläutern, weil für die Deklaration der Stromqualität auch Herkunftsnachweise (HKN) aus dem Ausland verwendet werden dürfen?

Ein Baumaterialhersteller kann erneuerbaren Strom für die Ökobilanzierung seiner Produktion berücksichtigen, wenn die Qualität und die produzierte Menge von denselben Kraftwerken eingekauft werden. Dies gilt aber nicht, wenn der konsumierte Strom aus einem Atomkraftwerk stammt und dafür Herkunftsnachweise beispielsweise aus europäischer Wasserkraft eingekauft werden.

Warum nicht?

Der Handel mit Herkunftsnachweisen für erneuerbaren Strom ist zwar international erlaubt. Doch in der Bilanzierung führt dies zu Doppelzählungen. Die norwegische Norm zur Ökobilanzierung von Gebäuden rechnet beispielsweise mit dem dortigen Produktionsmix, der zu 99% aus Wasserkraft besteht. Etwa drei Viertel davon werden aber mit den Herkunftsnachweisen quasi exportiert, unter anderem in die Schweiz. Also wird die gute CO₂-Bilanz der

Wasserkraft zweimal gezählt, in Norwegen und in der Schweiz. Der inländische HKN-Strommix bezieht auch die importierten Nachweise mit ein.

Also verfälschen diese Herkunftsnachweise die Ökobilanz des inländischen Strommix?

Bislang schon. Die Umweltkennwerte in der KBOB-Empfehlung Version 2022 bilden neu aber den Strommix auf Basis von stündlichen Produktions- und Handelsdaten ab. Schweizer Durchschnittsstrom

verursacht rund einen Viertel mehr Treibhausgase als in der vorherigen Version. Der neue Wert, der nun in Gebäudeökobilanzen verwendet werden wird, liegt bei knapp 130 g CO₂/kWh.

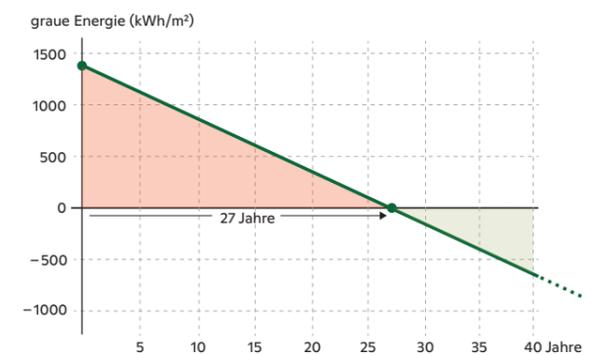
Wie kam es zu dieser Korrektur?

Um die grauen Treibhausgasemissionen des Schweizer Durchschnittsstroms zu erfassen, haben wir die Herkunftsnachweise mit einem Mix verglichen, der die Produktion und den Handel stündlich

Fallstudie «Kompensation der Erstellungenergie»

Die Ansätze zur Reduktion (vgl. «Reduktion bei der Erstellung», S. 25) und zur Baustoffoptimierung (vgl. «Klimaausgewählte Baustoffe», S. 26) lassen sich auf ein ganzes Gebäude übertragen. Ein entsprechendes Modell wird aktuell in Allschwil BL umgesetzt. Um ein mehrstöckiges Bürogebäude «klimaneutral» zu bauen, wird folgendes Vorgehen gewählt: Für die Tragstruktur werden Lehm und Holz verwendet; Zellulose und Stroh sind als Dämmstoffe vorgesehen. So besteht die Materialisierung zu drei Vierteln aus nachwachsenden Rohstoffen mit möglichst geringer grauer Energie. Zudem soll fast ein Fünftel aller Bauteile aus Reuse-Beständen bestehen. Der durch die Erstellung verursachte CO₂-Ausstoss liegt dadurch unter 400 kg/m².

Im Gegenzug soll die graue Energie mithilfe von im Gebäude integrierter Photovoltaik – zumindest mathematisch – kompensiert werden. Sämtliche Ertragsüberschüsse fließen zu den Nachbargebäuden, die so vor allem Strom mit guter CO₂-Bilanz konsumieren können. Dieser Vermeidungsbeitrag wird «klimapositiv» genannt und soll zur Amortisation der nicht erneuerbaren, grauen Energie innerhalb von 27 Jahren beitragen. • (pk)



Fortlaufende Amortisation der grauen Energie durch lokale Solarstromproduktion (rote Fläche).

Bürogebäude in Allschwil BL

Bauherrschaft
Senn Development, St. Gallen
Architektur
Herzog & de Meuron, Basel
Tragwerk
ZPF Ingenieure, Basel

Klimabilanzierung
Senn Technology, St. Gallen
Ausführung
2022–2023



Visualisiertes Bürogebäude, das bei Bau und Betrieb klimaneutral funktionieren soll.

abbildet. Diese Studie gab der Bund in Auftrag; so erst entdeckten wir diese Diskrepanz zwischen dem Handel mit den Nachweisen und dem effektiv konsumierten Strom. Letzterer stammt nur aus dem Inland und dem benachbarten Ausland. Der europäische Handel mit Herkunftsnachweisen erlaubt, etwa 20% des inländischen HKN-Strommix mit ausländischer Wasserkraft zu deklarieren. Vor allem wird so inländischer Atomstrom in erneuerbaren Strom verwandelt. Die aktualisierten KBOB-Sachbilanzdaten erfassen nur den Strom, der effektiv im In- und Ausland eingekauft und in der Schweiz konsumiert wird. Dazu gehören auch Anteile an fossilem Importstrom aus deutschen Kraftwerken und Atomstrom aus Frankreich.

In der Kritik standen zuletzt die Ökobilanzdaten für Solarstrom, weil sie als veraltet galten ...?

Die Kritik am Alter der Daten, die aus dem Jahr 2016 stammen, war berechtigt. Die nun ebenfalls aktualisierten Daten zeigen: Die Umweltkennwerte sind deutlich besser. Die Menge an Treibhausgasen, die in der Lieferkette einer Solar-

anlage und der Solarstromproduktion ausgestossen werden, hat sich fast halbiert. Dies zeigt, wie dynamisch die Photovoltaikbranche derzeit unterwegs ist. Der Aktualisierungsrhythmus von Sachbilanzdaten sollte sich deshalb an der Geschwindigkeit des technischen Fortschritts orientieren.

« Der Bund stellt die Ökobilanzdaten dem privaten Planungs- und Bausektor frei zur Verfügung. »

Welche Institutionen kümmern sich um die Pflege der Ökobilanzdaten und um methodische Fragen?

Drei Bundesämter, das Bundesamt für Umwelt, das Bundesamt für Energie und das Bundesamt für Bauten und Logistik, sowie die Stadt Zürich unterstützen die Bewirtschaftung der Ökobilanzdaten seit über 15 Jahren. Diese Daten stehen dem Planungs- und Bausektor frei zur Verfügung. Die Basis dafür wurde vor rund 30 Jahren gelegt, als die ETH Zürich erstmals Ökobilanzen über die Energiesysteme erstellte. Inzwischen pflegt die KBOB die Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich. Eine Fachgruppe definiert die Bilanzierungsregeln, die allerdings von der Plattform verabschiedet werden müssen. Anregungen für Änderungen tragen verschiedene Kreise an diese Plattform heran, zuletzt zum Beispiel die Aktualisierungen etwa im Umgang mit der Speicherung von biogenem Kohlenstoff oder mit den Herkunftsnachweisen.

Was empfehlen Sie einem Architekten, der klimaneutral bauen will?

Ich bin selbst nicht in Gebäudeplanungen involviert, sondern konzentriere mich auf die Grundlagenarbeit für Bilanzierungen. Dennoch glaube ich, dass die Suffizienz zentral ist und die Ressourceneffizienz weiter optimiert werden kann. Gewisse Baustoffe lassen sich noch gezielter einsetzen. Ich bin überzeugt, dass die Architektur das Problem nicht allein lösen kann, sondern auf wesentliche Beiträge der Bauzulieferer angewiesen ist. Auch die Emissionen in der Materialherstellung und in ihren Lieferketten müssen massiv reduziert werden, damit ein Netto-Null-Gebäude realisierbar wird. •

Das Interview führte *Paul Knüsel*, stv. Chefredaktor TEC21, Redaktor Umwelt und Energie

Nicht nur die Treibhausgase zählen

Die Ökobilanzdaten der KBOB-Plattform betrachten nicht nur Treibhausgasemissionen, sondern bewerten auch die Gesamtumweltbelastung von Lieferketten und Energiesystemen. Sämtliche Industrieprozesse, Entsorgungs- und Transportleistungen werden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Ökosysteme Luft, Wasser und Boden erfasst. Ökofaktoren aggregieren die Schadstoffemissionen und die Ressourcenverbräuche gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Damit lässt sich der Lebensweg von Gebäuden mit Umweltbelastungspunkten (UBP) beurteilen. Bis anhin sind umfassende Lebenszyklusanalysen im Gebäudebereich, die neben den Treibhausgasemissionen auch die Umweltbelastung erfassen, allerdings erst vereinzelt anzutreffen.

Umweltbelastung für das Beschaffungswesen relevant

Dies soll sich künftig ändern: Die Ausführungsbestimmungen zum Bundesgesetz über das öffentliche Beschaffungswesen (BöB) erwähnen sie als Kriterium zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Produkten und Infrastrukturen. Für Rolf Frischknecht ist es deshalb ratsam, Treibhausgasbilanzen von Bauprodukten und Gebäuden mit einem erweiterten Umweltfokus zu ergänzen. Er weist dazu auf Bestimmungen im nationalen Mineralölsteuerrecht. Für Biotreibstoffe, die von einer Besteuerung ausgenommen sind, gilt eine Art Umweltanalysepflicht. Eine UBP-Aggregation ergänzt die Treibhausgasbilanz. «Treibstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen müssen deutlich weniger Treibhausgase ausstossen und dürfen gleichzeitig die Umwelt nur geringfügig mehr belasten», so Frischknecht. Der Vorteil ist, dass das Klima nicht zulasten anderer Ökosysteme geschützt wird. • (pk)



Die neueste Version der Ökobilanzdaten im Baubereich wurde im März 2022 publiziert. Sie ist verfügbar auf: www.ecobau.ch/de/instrumente/oekobilanzen

Klimapositives Bauen: Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad

Klimapositives Bauen: Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad

Bis zum Jahr 2030 sollten Neubauten mit einem halb so hohen Anteil Grauer Treibhausgase erstellt werden. Die Dringlichkeit der Klimakrise verlangt jedoch schon heute Reduktionsmassnahmen.

Einleitung

Die Firmen Nova Energie Basel AG und Carbotech AG haben mit Unterstützung von EnergieSchweiz einen Grundlagenbericht zum klimapositiven Bauen erarbeitet. Die Expertinnen und Experten haben untersucht, ob die Bauwirtschaft die Grauen Treibhausgase (GTHG) bis 2030 gemäss dem Pariser Absenkpfad senken kann. Die Hauptkenntnisse und Empfehlungen finden Sie im vorliegenden Faktenblatt.

Von 1990 bis 2020 haben die Betriebsemissionen aller Gebäude der Schweiz um 28% abgenommen. In weiteren 30 Jahren müssen sie gemäss Pariser Klimaabkommen bei Netto-null liegen. Obwohl die GTHG bei Neubauten die Betriebsemissionen bereits heute übertreffen, werden diese nicht reguliert. Geht man davon aus, dass in den kommenden Jahrzehnten immer mehr erneuerbare Energie zum Einsatz gelangt, rückt die Dekarbonisierung der Bausubstanz in den Vordergrund. Der Grundlagenbericht «Klimapositives Bauen» untersucht deren Machbarkeit und skizziert Handlungsmöglichkeiten für Bauherrschaften, PlanerInnen und ArchitektInnen.

Das Wichtigste in Kürze

- Schon mit einfachsten Mitteln können heute bedeutsame THG-Einsparungen erreicht und sofort umgesetzt werden: Vorfertigung, Massivholzkonstruktionen verwenden, Witterungsschutz anbringen, Abbrüche vermeiden, kompakte Gebäudeform, Leichtbauweise, natürliche und zementfreie Materialien verwenden, wenn nötig karbonisierten Beton einsetzen.
- Heute können die Anforderungen an klimapositives Bauen nur mit allergrössten Anstrengungen

Die Rolle der GTHG beim nachhaltigen Bauen

Ein durchschnittlicher Neubau emittiert während der Bauphase mehr THG als während seiner Betriebsphase von 60 Jahren. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die GTHG beim Bauen zu berücksichtigen und schon heute Reduktionsmassnahmen umzusetzen. Die Schweiz könnte in diesem Bereich eine Vorreiterrolle übernehmen, weil entsprechende Werkzeuge und Normen bereits existieren. Auf freiwilliger Basis können bereits heute Massnahmen umgesetzt werden, auch ohne behördliche Regulierung.

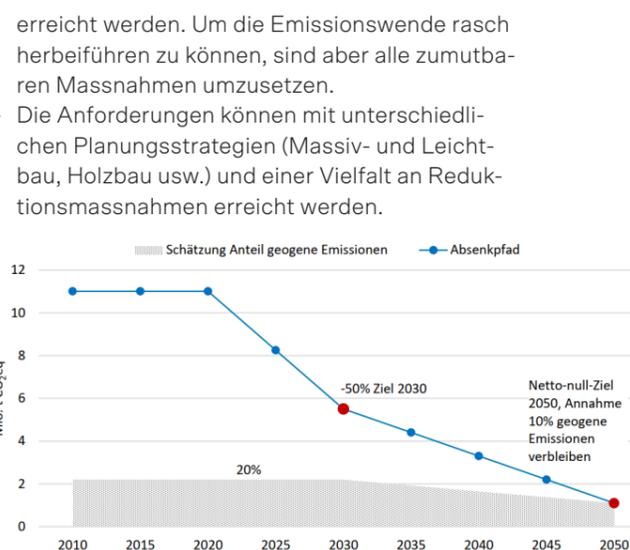


Abbildung 1: Absenkpfad klimapositives Bauen in Anlehnung an den bundesrätlichen Absenkpfad des Pariser Klimaabkommens mit den Zielen -50% im Jahr 2030 gegenüber 1990 und Netto-null im Jahr 2050. Graue Fläche unten: Anteil nicht eliminierbare geogene Emissionen.

erreicht werden. Um die Emissionswende rasch herbeiführen zu können, sind aber alle zumutbaren Massnahmen umzusetzen.

- Die Anforderungen können mit unterschiedlichen Planungsstrategien (Massiv- und Leichtbau, Holzbau usw.) und einer Vielfalt an Reduktionsmassnahmen erreicht werden.

Absenkpfad

Der Schweizer Bundesrat hat sich im Rahmen des Pariser Klimaabkommens zu einem Absenkpfad verpflichtet, der für 2050 eine Netto-null-Bilanz für direkte inländische Emissionen vorsieht. Als Zwischenziel bis 2030 wird eine Reduktion der THG um 50% gegenüber dem Jahr 1990 angestrebt. Je später mit der Reduktion begonnen wird, desto weniger Zeit bleibt und desto schwieriger wird es. Es wird davon ausgegangen, dass ein Restanteil geogener Emissionen nicht vermeidbar sein wird (vgl. Abb. 1).

Handlungsmöglichkeiten

Bauweise, Bauteile und Baustoffe

Die Potenziale zur CO₂-Reduktion beim Bauen wurden basierend auf einzelnen Massnahmen zu Strategien aggregiert, berechnet und mit einem heute üblichen Mehrfamilien-Referenzhaus verglichen. Pro Massnahme bewegt sich das Potenzial für Neu- und Umbauten zwischen 0% und 16% (vgl. Tab. 1). Flächensparende Grundrisse bzw. Suffizienz sind die wirksamsten Massnahmen bei Neubauten. Sofern dem im Gebäude zwischengespeicherten Kohlenstoff eine Reduktionswirkung

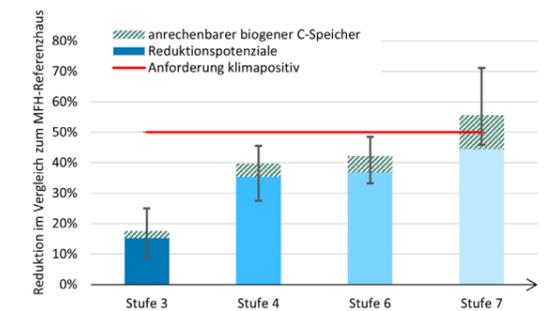


Abbildung 2: Durchschnittliche Reduktionspotenziale im Vergleich zum MFH-Referenzhaus in Abhängigkeit der Ambitionsstufe (Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung und kommerzielle Verfügbarkeit).

beigemessen wird (vgl. weiter unten), kann mit einzelnen Reduktionsmassnahmen bis 30% erreicht werden.

Durch geschicktes Kombinieren von einzelnen Massnahmen zu aggregierten Strategien ergibt sich ein Reduktionspotenzial von rund 50% (vgl. Abb. 2, oben). Solch hohe Reduktionspotenziale sind jedoch nur mit Einsatz der höchsten Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung sowie der anspruchsvollsten kommerziellen Verfügbarkeit (höchste Ambitionsstufe 7) möglich. Ein solches Gebäude bezeichnen die AutorInnen als «klimapositiv».

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Grössenordnung Reduktionspotenzial ¹⁾	Additionaler, gewichteter C-Speicher ¹⁾	Ambitionsstufe
Holzkonstruktionen verwenden	Brettstapel	8%	22%	2
	Vollholz	10%	28%	4
Natürliche und lokale (Biomasse-)Materialien verwenden	Aushub zementarm gebunden	5%		3
	Strohdämmung	2%	2%	4
	Rohrdämmung Bioethanol	1%	0.5%	4
	Dämmputz Hanf	2%	4%	4
Reduktion der THG-Intensität	Hochofenzement CEM III/B	9%		4
	Karbonisierter Kalkstein	11%		7
	Karbonisierter Beton	5%		3
Gebäudelebensdauer	Witterungsschutz	1%		3
	Weiterverwendung Tragstruktur	16%		3
Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten	Bauen mit Sekundärmaterial	10%		7
Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren (Modul D)	Planen für Demontage/Modul D	5%		5
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%		6
	Product as Service (Teppich)	0.5%		4
Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz)	Flächensparende Grundrisse	15%	-1.5%	4
Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis)	Kompakte Gebäudeform	4%		3
Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4-A5)	Vorfertigung	2%		2
Reduktion des Gewichts und der Materialintensität	Leichtbauweise	11%	8%	3
Neue, innovative Materialien verwenden	Aushub zementfrei gebunden	4%		7

Tabelle 1: Im Rahmen der Studie berechnete Reduktionspotenziale, deren Speicherleistungen und Ambitionsstufen.
¹⁾ im Vergleich zum MFH-Referenzhaus, Genauigkeit ±20%.

Biogene Kohlenstoffspeicherung

Die Anrechnung der temporären biogenen Speicherleistung ist umstritten, weil sie nur eine vorübergehende THG-Reduktion darstellt. Wird z. B. Bauholz am Lebensende verbrannt oder verrottet auf der Deponie, wird der im Holz gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt. Die gleichberechtigte Berücksichtigung des temporär gespeicherten Kohlenstoffs mit effektiv reduzierten THG wäre daher unseriös. In der Tabelle 2 schlagen wir abgestufte Bilanzierungsschritte zur teilweisen Anrechnung des gespeicherten Kohlenstoffs vor.

Einzelne Massnahmen reichen nicht, es müssen alle heute möglichen Massnahmen ergriffen werden, um dem Absenkpfad zu folgen.

Wiederverwendung

Die Wiederverwendung birgt mit dem Wegfall der Neuproduktion ein sehr hohes Sparpotenzial in sich. Hierzu zählt die längere Nutzungsdauer von Bauteilen und ganzen Gebäuden sowie deren Umnutzung. Auf dem Weg in die Netto-null-Zukunft kann diese Massnahme sofort umgesetzt werden. Aus anderen Arbeiten lassen sich folgende Grundsätze zur Bilanzierung ableiten:

- Wiederverwendete Bauteile tragen keine Umweltbelastung aus der ursprünglichen Herstellungsphase.

⚠ Kontroverse um C-Speicher

Ein temporärer biogener Kohlenstoffspeicher ist nicht mit einer THG-Reduktion vergleichbar, weil der gespeicherte Kohlenstoff am Lebensende wieder freigesetzt wird. Der Vorteil der temporären Kohlenstoffspeicherung liegt im verzögerten Ausstoss des CO₂, weil die Speicherzeit für die Entwicklung besserer Technologien zur Sequestrierung von CO₂ und zu effektiveren Reduktionen genutzt werden kann. Ausserdem hält das CO₂-Gesetz, Art. 14 fest: «Die Leistung der Senken von verbautem Holz ist anrechenbar.» Um diesen Aspekten gerecht zu werden, muss der Kohlenstoffspeicher berücksichtigt werden. Im Rahmen der Studie «Klimapositives Bauen» wurde dazu ein Vorschlag erarbeitet. Ein allgemein gültiger Ansatz dürfte wohl erst durch politische Aushandlung unter Einbezug finanzieller und ethischer Aspekte festgelegt werden können.

- Der Erstnutzende trägt die gesamte Entsorgung des Baustoffes.
- Transporte, Auffrischungsarbeiten etc. werden dem wiederverwendeten Bauteil angerechnet.
- Dem Erstnutzenden werden für ein allfällig zukünftiges Wiederverwenden keine Gutschriften zugeschrieben (weil die Emissionen schon erfolgt sind).
- Auch recycelten Baustoffen werden aus demselben Grund keine Gutschriften angerechnet.

Bilanzierungsschritte	Bezeichnung	Bedingungen zur Verrechnung des C-Speichers mit den Emissionen
1.	Physikalischer C-Speicher (Handabdruck)	Die C-Speicherung der Baumaterialien (Handabdruck) wird nicht mit den CO ₂ -Emissionen der Herstellung (Fussabdruck) verrechnet, sondern separat ausgewiesen.
2.	Gewichteter C-Speicher	Die Menge an gespeichertem Kohlenstoff wird auf 60 Jahre diskontiert, weil dies der durchschnittlichen Lebensdauer nach SIA-Merkblatt 2032 entspricht.
3.	Additionaler gewichteter C-Speicher	Die biogenen Kohlenstoffe können nur dann angerechnet werden, wenn der Kohlenstoffspeicher aller Gebäude insgesamt zunimmt. Vom gewichteten C-Speicher (Schritt 2) wird der Durchschnitt des gewichteten C-Speichers der heutigen Gebäude (Speicherpool, Stand 2020) abgezogen.
4.	Anrechenbarer C-Speicher (Speicherbonus)	Nur wenn mind. 40% der Emissionen gegenüber einem heutigen Gebäude (Stand 2020) eingespart werden, kann der additionaler gewichtete C-Speicher mit den Emissionen verrechnet werden (siehe 3.). Für Reduktionen unter 40% darf max. ein Viertel der erreichten Reduktion durch den Speicherbonus angerechnet werden.
	Klimapositives Gebäude	Ab 50% Emissionsreduktion bestehend aus min. 40% Ersparnis + 10% C-Speicher) ist ein Gebäude klimapositiv.

Tabelle 2: Bilanzierungsschritte zur Bestimmung des anrechenbaren biogenen Kohlenstoffspeichers gemäss Vorschlag der AutorInnen.

Empfehlungen

Die quantitative Prüfung von rund 20 Reduktionsmassnahmen (vgl. Tab. 1) erlaubt qualifizierte Empfehlungen für PlanerInnen, Bauherrschaften und Bauunternehmen (Reihenfolge gemäss Potenzial):



Vorurteile hinter sich lassen, jetzt konkrete Ziele setzen

Es braucht den Mut aller Beteiligten, jetzt konkrete Ziele festzulegen, aktiv zu werden und Verantwortung gegenüber der Umwelt und zukünftiger Generationen zu übernehmen.



Früh entscheiden und einfordern

Bereits während der strategischen Planungsphase müssen die Entscheidungsträger (Entwickler, Baurechtgeber, Bauherrschaften) klimapositives Bauen einfordern. Je früher im Planungsverlauf die Entscheide zur Reduktion gefällt werden, desto weniger Kosten entstehen nachrangig.

Inhalt erarbeitet von
Nova Energie Basel AG
Carbotech AG

Begleitgruppe
EnergieSchweiz
Bundesamt für Umwelt
Gugerli Dolder Umwelt & Nachhaltigkeit GmbH
Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz NNBS
Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB
Luginbühl, Ingenieurbüro für Holzbau
Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

EnergieSchweiz
Bundesamt für Energie BFE
Pulverstrasse 13
CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444
infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch
twitter.com/energieschweiz



Suffizienz und effiziente Gestaltung

Weglassen ist die naheliegendste und günstigste Möglichkeit, GTHG einzusparen. Kompakte, funktionelle Grundrisse mit wenig Fläche sollen weitläufigen Grundrissen vorgezogen werden.



Leichtbauweise

Geringes Gewicht und sparsame Materialisierung gehen mit Ausnahme bei Dämmstoffen meistens mit THG-Einsparungen einher. Dies gilt grundsätzlich auch für Massivbau.



Bauteile wiederverwenden

Verwendet man Bauteile über die übliche Lebensdauer hinaus, können gegenüber dem Ersatz mit neuen Bauteilen grosse Mengen an THG-Emissionen eingespart werden.



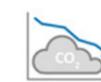
Biogene oder wenig verarbeitete Baustoffe verwenden

Die Menge an zwischengespeichertem biogenem Kohlenstoff in Gebäuden soll zunehmen. Natürliche Materialien weisen zudem oft einen geringeren CO₂-Fussabdruck auf, weil sie weniger stark verarbeitet sind.



Materialien recyclingfähig verbauen

Um Materialkreisläufe zu schliessen, sollen die Materialien sortenrein trennbar und recyclingfähig verbaut werden, während nicht recyclingfähige Bauprodukte und -stoffe vermieden werden sollen.



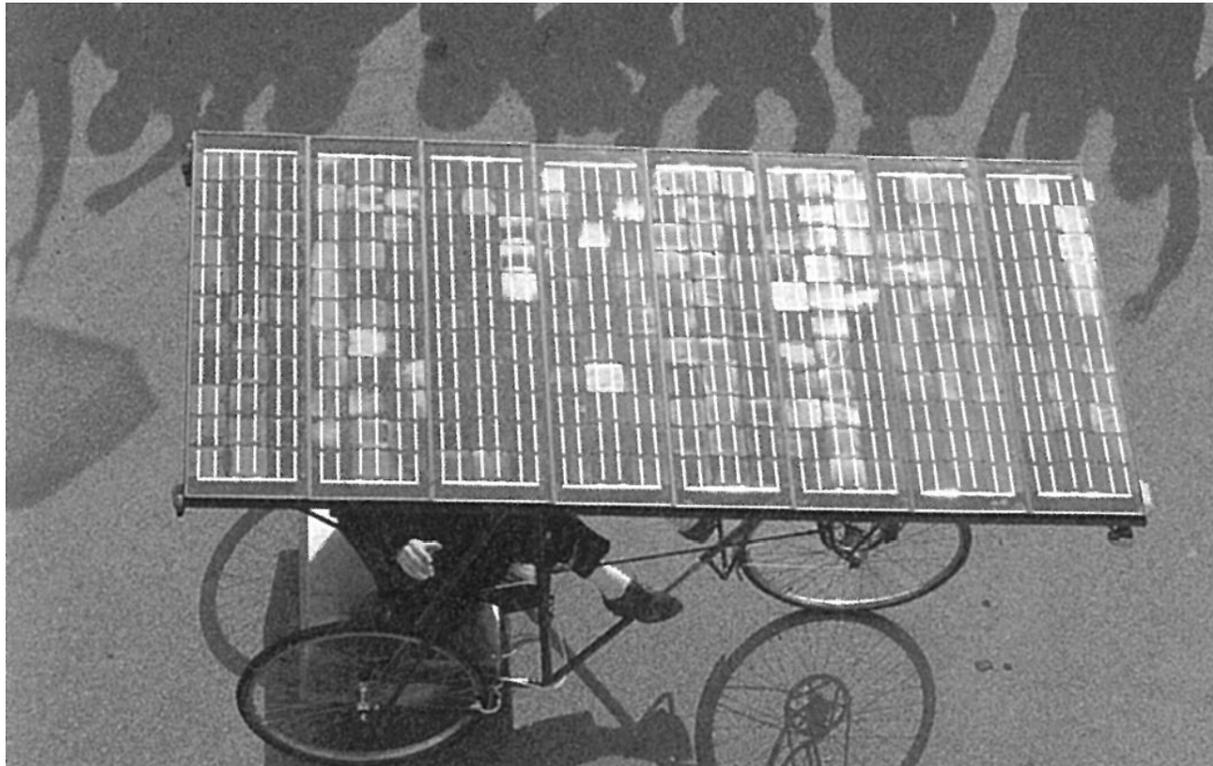
THG-Intensität der Baustoffe und Bauteile reduzieren

THG-arme Baustoffe sollen immer gegenüber THG-intensiven Baustoffen bevorzugt werden (KBOB-Liste beachten).

Anmerkungen Professur Gigon/Guyer: Der Titel „Klimapositives Bauen“ suggeriert, es gehe in der Studie schwerpunktmässig um Gebäude als (temporäre) Kohlenstoffsinken, z.B. durch Verwendung biogener Baustoffe. Dies wird tatsächlich in der Studie diskutiert, allerdings nur als ein Aspekt unter mehreren, um im Baubereich einen nennenswerten Beitrag zum Absenkpfad der Schweiz zu leisten, und auch nur in begrenztem Umfang



GEBÄUDETECHNIK



Photovoltaik & Solarthermie

Die Solartechnik wurde über Jahrzehnte verfeinert und hat sich zu einer gut funktionierenden und etablierten Technik entwickelt. Komponenten von Photovoltaik und Solarwärme gibt es in unzähligen Varianten, für verschiedene Anwendungen, von diversen Herstellern. Es gilt dabei die passende Technik basierend auf den Zielen eines Bauvorhabens und dem Verwendungszweck zu wählen. Im Zusammenspiel mit Speichermöglichkeiten, Steuerung und weiterer komplementärer Energietechnik kann das Energiesystem eines Gebäudes im Hinblick auf hohe Effizienz, Komfort und gute Wirtschaftlichkeit weiter optimiert werden.

VERSCHIEDENE SOLARTECHNOLOGIEN

PHOTOVOLTAIK (PV)

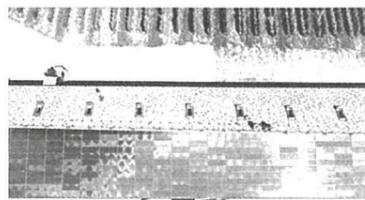
Photovoltaik wandelt Lichtenergie mittels Solarzellen, bestehend aus unterschiedlichen Halbleitermaterialien, direkt in elektrische Energie um, als Gleichstrom. Der Strom wird durch metallische Kontakte gesammelt und in dieser Form entweder lokal verwendet oder gespeichert. In der Regel wird aber der Gleichstrom über

einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und ebenfalls lokal verwendet oder aber ins öffentliche Netz eingespeist werden. Als Halbleiter wird in den meisten Fällen Silizium verwendet, das nach Sauerstoff zweithäufigste Element der Erdkruste.

KRISTALLINE MODULE

Polykristallin
Monokristallin

DACH



DIENSTGEBÄUDE CHATEAU D'AUVERNIER

Produkt: ISSOL Suisse SA, Neuchâtel
Solaunternehmen: Gottburg SA, Boudry

FASSADE



LETZIPARK ZÜRICH

Produkt: Megasol Energie AG, Deitingen
PV-Planer: energiebüro AG, Zürich
PV-Installateur: Planeco GmbH, Münchenstein

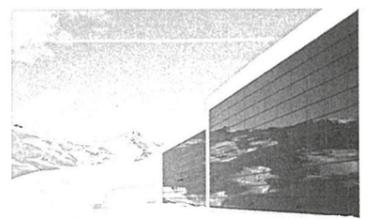
DÜNNFILM

Amorphes Silizium
Kupfer-Indium-(Gallium-)Diselenid (CIS, CIGS)



PARKPLATZ FÜR ELEKTROAUTOS MIT FLEXIBLEN SOLARMODULEN

Produkt: Flisom AG, Niederhasli



SKISTATION SANKT MARTIN, LAAX

Produkt: NICE Solar Energy GmbH, Schwäbisch Hall (D)
Vertrieb: Solarmarkt GmbH, Aarau

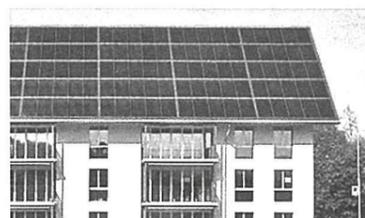
SOLARWÄRME (SW)

Die Solarthermie wandelt Solarstrahlung in Wärme um. Thermische Solaranlagen werden hauptsächlich für die Erwärmung des Brauchwassers oder zur Heizungs-

unterstützung eingesetzt. Sonnenkollektoren können gut in ein Heizsystem integriert und mit anderen Wärmeerzeugungen kombiniert werden.

FLÄCHENKOLLEKTOREN

DACH



MFH OBERBURG

Produkt: Jenni Energietechnik AG, Oberburg bei Burgdorf

FASSADE



MFH EICHHALDE, ZÜRICH

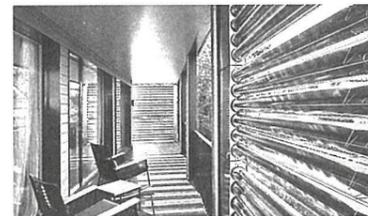
Produkt: DOMA Solartechnik, Satteins (A)

VAKUUMRÖHRENKOLLEKTOREN



HOHES HAUS WEST, ZÜRICH

Architektur: Loeliger Strub Architektur GmbH, Zürich
Produkt: Conergy, Hamburg



MFH ZÜRICH HÖNGG

Architektur: kämpfen für architektur AG, Zürich

HYBRIDE SOLARTECHNOLOGIE (PVT)

Photovoltaik und Solarwärme lassen sich auch innerhalb eines Kollektors kombinieren. Äusserlich sehen die Elemente aus wie normale PV-Module. Ein rückseitig angebrachter Absorber ermöglicht jedoch zusätzlich die Erzeugung von Wärme. Dieser kühlt

die Photovoltaik und erhöht dadurch den Stromertrag. Aufgrund der im Vergleich zu konventionellen Solar Kollektoren tieferen Temperaturen eignet sich diese Art primär zur Vorwärmung wie beispielsweise in Kombination mit Erdwärmesonden oder für Schwimmbäder.

SOLARE ENERGIE IM SYSTEM

Solarenergiesysteme sind vielfältig: von der einfachen Solardusche bis zum ausgeklügelten Wärme- und Kälteverbund auf Quartiersebene mit saisonaler Speicherung und Eigenstromverbrauchsgemeinschaft. Gemein ist ihnen, dass sie die Gebäude im lokalen energetischen Kontext verorten. Sie bestehen aus einem ganzheitlichen System aus Absorptionsflächen zur Umwandlung der solaren Einstrahlung, aus einer kurz-, mittel- oder langfristigen Speicherung, aus einem Abgabesystem und aus der Steuerungseinheit dieses Systems. Die Systemtopologie ist massgeblich vom lokalen Kontext, von der Nutzung, den zur Verfügung stehenden Flächen (Gebäudehülle), den energetischen Zielen und nicht zuletzt von den finanziellen Investitionen und den erwarteten Betriebskosten abhängig.

alternativ oder als Ergänzung zum Hausspeicher verwendet werden können. Durch den Einsatz von Batteriespeichern kann der Eigenverbrauch auf ca. 50%–80% gesteigert werden. Wärmespeicher können Überschüsse aus Solarthermie oder überschüssige Energie aus Photovoltaik durch den Betrieb einer Wärmepumpe speichern.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

«Stationäre Batteriespeicher in Gebäuden»
Broschüre Energie Schweiz, 2018
«PV-Anlagen mit Batterien»
Merkblatt Swissolar, 2016

GEBÄUDESTEUERUNG

Auch eine systemisch geplante Gebäudetechnik kann die Effizienz eines Gebäudeenergiesystems erheblich steigern. Dies kann einerseits in einem koordinierten Zusammenspiel von Energieerzeugung und -speicherung geschehen oder in einer koordinierten Steuerung der Verbraucher. Besonders grosse Haushaltsgeräte wie Waschmaschinen und Trockner sollten über eine entsprechende Programmierung tagsüber verwendet werden, wenn auch Energie produziert wird.

DEZENTRALE ELEKTRISCHE UND THERMISCHE SPEICHER

Durch den Einsatz von dezentralen Speichern können die Effizienz und der Eigenverbrauch innerhalb eines Energiesystems erhöht werden. Batteriespeicher können für einzelne Gebäude oder auch für ganze Areale den überschüssigen Solarstrom zwischenspeichern und bei Bedarf wieder zur Verfügung stellen. Eine interessante Anwendung sind Elektrofahrzeuge, die

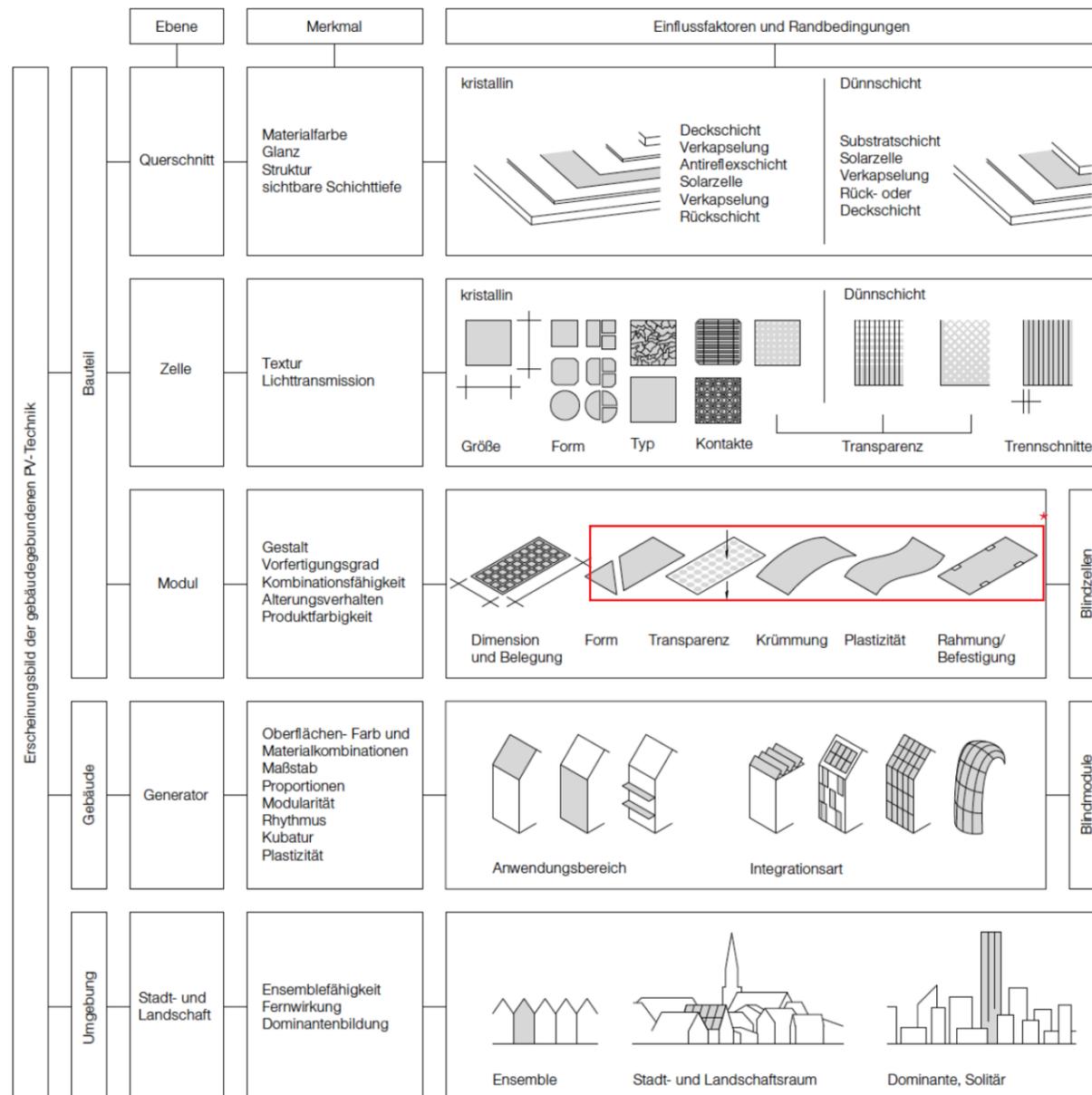
GÄNGIGE SYSTEMTOPOLOGIEN

SCHAUBILD	SYSTEM A	SYSTEM B	SYSTEM C	SYSTEM D
ENERGIEFORM	Thermische Energie (Wärme/Kälte)			Elektrische Energie (Strom)
SYSTEM	WW/Heizung kombiniert	WW/Heizung saisonal	WW/Heizung/Kühlung saisonal	Photovoltaik
SCHEMA				
BESCHREIBUNG	System zur partiellen Deckung des Warmwasser- und/oder Heizungsbedarfs	System zur vollständigen Deckung des Warmwasser- und/oder Heizungsbedarfs, saisonale Speicherung	System zur vollständigen Deckung des Warmwasser- und/oder Heiz- und Kühlbedarfs, saisonale Speicherung, Umwandlung über WP	Photovoltaik zur Stromproduktion, kurzfristige Speicherung
RAHMENBEDINGUNGEN	Zusätzliche Energieerzeugung notwendig (möglichst erneuerbar!), ideal mit Radiatoren	Grosse Dach- oder Fassadenflächen und genügend Speicherraum vorhanden, ideal mit Radiatoren	Grosse Dach- oder Fassadenflächen, Erdsonden oder Eisspeicher möglich, ideal mit Flächenheizungen oder Konvektoren	Kombination mit jedem thermischen System möglich, ideal mit Wärmepumpe und anderen grossen Stromverbrauchern
ENERGIEPRODUKTION	Wärme, Hochtemperatur mit abgedeckten Solarwärmekollektoren (Flach- oder Röhrenkollektoren) WW: 30–50% Heizung: 20–30%	Wärme, Hochtemperatur mit abgedeckten Solarwärmekollektoren (Flach- oder Röhrenkollektoren) WW: 100% Heizung: 100%	Wärme und Kälte, Tieftemperatur mit unbedeckten Solarwärmekollektoren WW: 60–100% Heizung: 75–100% (100%, wenn Strom auch lokal produziert)	Strom, Photovoltaikmodule Strom: 10% bis über 100% Hauptsächlich abhängig vom finanziellen Betriebskonzept (Investitionen, Eigenverbrauch, Einspeisetarife)
PRIMÄRE STÄRKEN	Einfaches System, wenig Platzbedarf (Dach und Speicher)	100% solar, kein Zusatzsystem notwendig	Bis 100% solar, kleiner interner Speicher, Kühlung möglich	Einfaches System, Strom für Eigenverbrauch oder Verkauf
BAT Batterie	PV Photovoltaik	SP Speicher	WP Wärmepumpe	
EWS Erdwärmesonde	PVT PVT/ST kombiniert in einem Modul	ST Solarkollektor	WW Warmwasser	

BAUTEILGESTALTUNG MIT PV

Vergleichbar mit jedem anderen Objekt an der Gebäudehülle (z.B. Fenster) tangiert die Gestaltung mit PV verschiedene Ebenen, von der Oberfläche der Module bis hin zum Stadtraum.

Der Prozess kann sowohl bottom-up (von der Oberfläche) wie auch top-down (vom Stadtraum) geschehen



*** Bemerkung G/G: Die Bearbeitung bzw. Spezialanfertigung von PV-Elementen vergrößert in der Regel die benötigte graue Energie, verteuert die Elemente meist gleichzeitig und verringert nicht selten auch deren Leistung.**

Made in China. Oder wo sonst?, Paul Knüsel, in: tec21 : Schweizerische Bauzeitung. Zürich: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine, 2000. Print., 6/2022, S. 31-34



Made in China. Oder wo sonst?

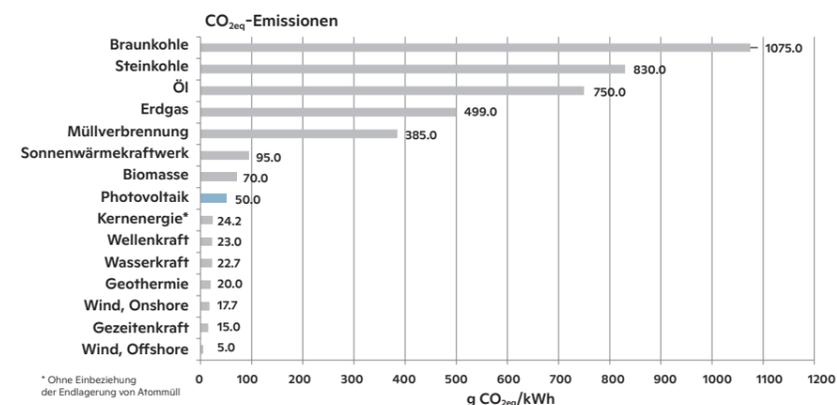
Solarzellen erzeugen emissionsarmen Strom. Doch je mehr Photovoltaik am Gebäude verwendet wird, desto grösser wird auch hier das Umweltrisiko. Wer weiss Bescheid, wie ökologisch die globalisierte PV-Industrie funktioniert?

Text: Paul Knüsel

In einem Ofen wird der abgebaute Quarzsand thermisch und unter Beigabe von Koks zu Polysilikon geschmolzen, das wiederum Ausgangsprodukt für den Silizium-Wafer ist.

S streng vertraulich» sind die Dokumente, mit denen der grösste europäische Photovoltaikhersteller REC die inneren Werte seiner Produkte deklariert. Doch allzu brisant sind die geheimen Daten, bei denen es sich um Ökobilanzen handelt, offenbar nicht. Nur ein paar Klicks braucht es, um die Angaben auf der Website des norwegischen Konzerns aufzurufen: In jeder REC-Solarzelle stecken 600 bis 700 kg CO₂/kW. Ob das viel oder wenig ist, lässt der von einem unabhängigen Testlabor bilanzierte Klimafussabdruck offen.

Die «saubersten Module» verspricht dagegen Meyer Burger, die frühere solare Nummer eins der Schweiz. Der Konzern mit Sitz in Thun lagerte letztes Jahr seine Fabrikation nach Ostdeutschland aus und will mit Öko-Solarzellen «made in Europe» den Weltmarkt erobern. Das bisherige Werk im Berner Oberland führt derweil die ehemalige Tochterfirma 3S Solarplus weiter. Auch sie will neue Kunden mit Ökologie gewinnen. Der jüngste Newsletter enthüllt, wie sehr «100% Swissness» das Klima schont. Die CO₂-Menge, die die Produktion ihrer PV-Module erzeuge, sei nach drei Jahren kompensiert. «Der Wert ist extern geprüft. Dennoch wollen wir noch besser werden», sagt 3S-Inhaber Patrick Hofer-Noser.



Die gute Bilanz der Photovoltaik: ein Vergleich der grauen Treibhausgasemissionen, die die Produktion von elektrischer Energie aus unterschiedlichen, fossilen oder erneuerbaren Energieträgern verursacht.

Mehr als nur fernöstliche Billigware

Die Photovoltaik gilt als Quelle für sauberen Strom und als vielversprechendes Geschäftsmodell. Der Wirkungsgrad der Module wird immer besser. Das rasante Absatzwachstum hat aber noch mehr mit den sinkenden Fabrikationskosten zu tun. Dementsprechend bestätigen inländische Anbieter: «Der Preis ist das wichtigste Verkaufskriterium.» Doch auch Ökologie punktet all-

mählich: «Hersteller aus der Schweiz und Europa propagieren hochwertige Alternativen zur billigen Massenware aus Asien», sagt Adrian Kottmann, Inhaber von BE Netz, einem Generalunternehmen für die PV-Gebäudeintegration. Die nachhaltige Lieferkette werde ein relevantes Unterscheidungsmerkmal, bestätigt Claudius Bösiger, Mitgründer von Planeco. Das ebenfalls auf PV-Gebäudeintegration spezialisierte Unternehmen sucht selbst Solarmodule «mit möglichst geringem CO₂-Fussabdruck». Immer häufiger melden sich nämlich Auftraggeber, die eine klimaneutrale Immobilie realisieren wollen. Die vor Ort erzeugte Solarenergie soll dabei die fossile Erstellungsenergie des Gebäudes so schnell wie möglich amortisieren. Photovoltaikanlagen begünstigen dies nicht nur mit hoher Leistung, sondern auch mit einer guten Ökobilanz.

Was bisherige Ausschreibungsrunden zeigen, dürfte die Branche in der Schweiz freuen: «Im Inland produzierte Solarmodule enthalten nur sehr wenig graue Energie», unterstreicht Claudius Bösiger. Für die Herstellung wird viel erneuerbare Energie eingesetzt, was weniger Treibhausgase erzeugt.

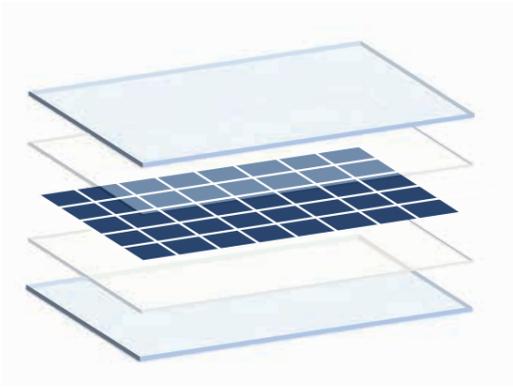
Komplexe Rezeptur, verzweigte Ketten

Nimmt man PV-Bauteile genauer unter die Ökolupe, taucht schnell eine komplexe Rezeptur aus Konstruktionsmaterial und Leistungselektronik auf. Viele der einzelnen Komponenten und Schichten sind jeweils selbst aus mehrfach verzweigten Lieferketten entstanden. In groben Zügen lässt sich der Zyklus der Photovoltaik so zusammenfassen: Er beginnt bei der Quarzsandgewinnung, führt weiter zum Schmelzen der Silizium-Wafer und endet beim Einweben von Silberfäden in die Solarzellen. Si-Rohstoff wird bis heute auch in Deutschland oder Norwegen abgebaut. Doch danach führen fast alle Spuren nach China. Drei von vier Modulen werden im Reich der Mitte hergestellt. In den letzten drei Jahrzehnten ist fast die gesamte PV-Industrie von Europa und Nordamerika nach Asien umgezogen. Einzelne konnten sich in der Schweiz behaupten. Für diese Recherche haben Komplettanbieter

Welche Angaben zählen wirklich?

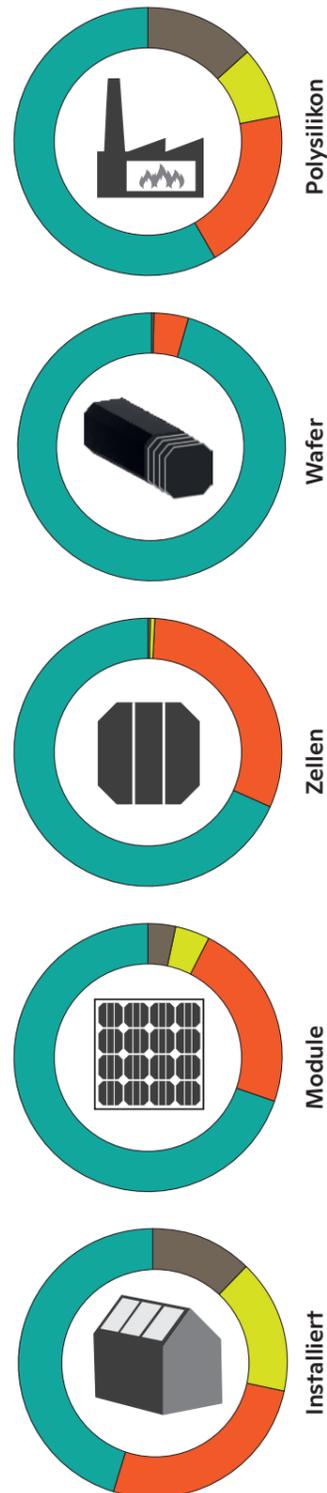
Landläufig wird die Qualität von Photovoltaikanlagen mit Amortisationszeiten nachgewiesen. Das sogenannte «Payback» oder der «Energy Return-on-Invest» (EROI) entspricht der Zeitdauer, bis die PV-Module so viel Energie erzeugt haben, wie für ihre Fabrikation an grauer Energie konsumiert worden ist. Im Umlauf sind Werte zwischen zwei und sechs Jahren, abhängig davon, ob die Anlage auf dem Dach oder einer Fassade mit unterschiedlichen geografischen Ausrichtungen montiert ist. Auch eine genaue Bilanzierung kann die Werte verschlechtern: Wird nur der Nettoanteil gezählt, der sich aus dem Vergleich der grauen CO₂-Emissionen zwischen Solarstrom und dem schweizweiten Strommix ergibt, dauert die Amortisation oft länger.

Ein spezifischer Indikator für die Qualität von PV-Modulen und Solaranlagen ist die CO₂-Bilanz: Herstellung, Nutzung und Rückbau verursachen gemäss neueren Analysen 16 bis 63 g CO₂/kWh erzeugten Strom. Solche Werte sind aber wenig produktespezifisch, weil auch die Sonneneinstrahlung am Installationsstandort berücksichtigt ist. Deshalb beziehen sich CO₂-Angaben bisweilen auf die Nennleistung. Weitere Differenzen verursacht die Systemwahl: Werden nur Solarmodule bilanziert oder gehören auch konstruktive Zusatzkomponenten, die Verkabelung und der Wechselrichter dazu? Erschwert wird ein Vergleich von Bilanzdaten zusätzlich dadurch, dass unterschiedliche Grundlagen, eventuell sogar aus verschiedenen Zeitperioden, verwendet werden. Ökobilanzen aus der Schweiz beziehen sich meistens auf die Systematik der KBOB und das Inventar der Ecoinvent-Datenbank, die an der Empa entwickelt wurde und inzwischen auch für Analysen der Internationalen Energieagentur (IEA) verwendet wird. • (pk)



Links: Schichten eines Solarmoduls (Glas-Glas-Sandwich): Glasabdeckung, Schutzschicht, Si-Zellen, Glasscheibe.

Rechts: die Herstellungskette von PV-Modulen, aufgeteilt in einzelne Fabrikationsprozesse und zugeordnet nach Lokalität.



und Sublieferanten die Türen ihrer Fabrikationshallen geöffnet, unter anderem in Gwatt bei Thun und in Deitingen bei Solothurn.

Im Berner Oberland fertigt das Unternehmen 3S solarplus dünne, randlose Dach- und Fassadenmodule in unterschiedlichen Formaten und Farben. Das Glas stammt aus Europa, die Zellen kommen aus China. «Ein Code of Conduct regelt die Umweltvorgaben und Arbeitsbedingungen unserer Bezugsquellen», sagt CEO Hofer-Noser. Trotzdem sind einem in Übersee die Hände gebunden: Gemäss der Internationalen Energie-Agentur nutzt die chinesische PV-Industrie – die wichtigste Lieferquelle für Solarzellen – vor allem dreckigen Kohlestrom.

Das Werk von Megasol, dem grössten Solarmodulhersteller der Schweiz, steht im Solothurner Mittelland. Von hier stammen die Solarmodule am AUE-Ersatzneubau in Basel (vgl. «Holzbau im Glasmantel», S. 26). Für die Endfertigung wird ausschliesslich saubere Energie genutzt. Eigene PV-Anlagen auf dem Fabrikdach und über dem Firmenparkplatz liefern Strom. Bei zusätzlichem Bedarf bezieht die Solarmodulfabrik auch Energie aus inländischer Wasserkraft. Die monokristallinen Solarzellen und -module lässt die Schweizer Firma zwar in China entwickeln und produzieren, doch die Herkunft der importierten Güter ist seit vielen Jahren dieselbe. Auch das Werk in Übersee versorgt sich selbst mit Solarstrom. Und welcher Rohstoffquellen bedienen sich die chinesischen Handelspartner? «Rohsilizium kaufen wir von Zulieferanten ein, die Wasser- oder Windkraft bevorzugen», versichert Firmengründer Markus Gisler. Diese Lieferketten werden bereits analysiert, sodass eigene Ökobilanzdaten demnächst erscheinen sollen. «Die grauen CO₂-Emissionen unserer PV-Module sind in einem Jahr amortisiert», nimmt Gisler vorweg.

Auch bei der Konstruktionsweise lassen sich Module ökologisch optimieren. Neuerdings setzen Hersteller auch auf der Rückseite eine Glasscheibe ein, anstelle von Kunststofffolien. Im Vergleich dazu verbessern sich so die Dauerhaftigkeit und der Fussabdruck von PV-Bauteilen erheblich. Deutsche Solarforscher¹

Europa
Nord- und Südamerika
Asien
China

haben diese Aufbauvarianten evaluiert und vor Kurzem vermeldet: Glas vorn und hinten mindert die graue Treibhausgasbilanz um «über 10%». In ihrer wissenschaftlichen Publikation rechnen sie zudem vor, dass in Europa gefertigte Solarmodule um 40% klimafreundlicher sind als made in China.

Das Ökozertifikat der EU kommt

Nicht nur die inländische PV-Branche macht sich daran, die eigene Umweltbilanz zu optimieren. Frankreich verlangt schon jetzt eine Umweltdeklaration für PV-Anlagen, mit denen öffentliche Gebäude bestückt werden sollen. Noch weiter geht die EU: Ihr Green Deal muss auch für die Solarenergie gelten. Neben der Produktion von klimafreundlichem Strom soll sie selbst so wenig Treibhausgase wie möglich erzeugen. Bereits liegt der Vorschlag für ein Ökozertifikat auf dem Tisch, das den CO₂-Fussabdruck von Solarmodulen einheitlich erfasst. Im Detail gibt es noch einiges zu regeln. Ansonsten herrscht breiter Konsens, wie die PV-Industrie die Umwelt und das Klima künftig besser schützt. Die Internationale Energie-Agentur (IEA)² und der europäische Forschungsverbund Horizon 2020³ liefern die jüngsten Erkenntnisse dazu.

Verfolgt man die Produktionskette einer Solarzelle zurück zum Rohstoff, sind die Wege weniger energieintensiv als die Fabrikation. Polysiliziumraffinerien, die losen Quarzsand zu Polysiliziumplatten einschmelzen, benötigen dafür Prozesstemperaturen bis 2000 °C. Bei der Verhüttung von Quarzsand kommt zudem Kohle direkt als Reduktionsmittel zum Einsatz. Der Strom, den PV-Fabriken in Asien auch für das Zuschneiden der formgerechten Siliziumscheiben (Wafer) benötigen, ist aus Braunkohle erzeugt und aktuell für 60% der grauen Energie eines Solarmoduls verantwortlich. Dagegen beansprucht die Seefracht nur einzelne Prozentpunkte der Klimabilanz.

Im Vergleich dazu wäre eine europäische Produktion dank dem fossilärmeren Strommix wesentlich klimafreundlicher. Doch generell prognostiziert die IEA standortunabhängige Fortschritte: Die Transformation der weltweiten Energieversorgung und Effizienzsteigerungen im Produktedesign können die Klimabilanz eines PV-Moduls im Vergleich zu heute um zwei Drittel verbessern. Der Vorsprung der Solarenergie gegenüber ihren fossilen Alternativen würde dadurch noch grösser. Dereinst wird PV-Strom weniger als 1% der CO₂-Emissionen von Kohlestrom verursachen.

Zusätzliche Verbesserungen sind, gemäss den inländischen Herstellern, bei der Lebensdauer zu erwarten. 25 bis 30 Jahre sind heute schon Standard. Noch steht der Beweis aus, ob eine Durchschnittsanlage auch nach 50 Jahren einwandfrei funktioniert.

PV ist Elektroschrott

Die Photovoltaik erzeugt auf ihrem Weg vom Rohstoff zum Recyclingprodukt aber nicht nur Treibhausgase. Polysiliziumraffinerien stossen ebenso Feinstaub und

Stickoxide aus, und der Wasserverbrauch ist relativ hoch, wie umfassendere Umweltanalysen – als Ergänzung der beliebten CO₂-Bilanzen – zeigen. Demnach belastet die Produktion eines Solarmoduls auch die Ökosysteme Luft, Boden und Wasser. Auch dessen ist sich die Branche bewusst: Einige Anbieter werben mit «bleifreien» Modulen oder versuchen Halogene, einen bekannten Ozonkiller, durch unbedenkllichere Substanzen zu ersetzen. So publiziert die US-amerikanische NGO Silicon Valley Toxic Coalition ein Öko-Rating, das umweltfreundliche Solarproduzenten belohnt. Was auch noch zu tun gibt, ist das bisherige Ende im Lebenszyklus: Was passiert mit PV-Modulen, die ausgedient haben oder mit dem Gebäude rückgebaut werden müssen?

«Glas, Silizium, Kupfer oder Silber sind einfach recyklierbar», sagt Megasol-Gründer Gisler. Für den Schweizer Markt üblich sind auch Mehrwegverpackungen respektive die Rücknahme von Lieferpaletten. Und auf bislang freiwilliger Basis ist das Recycling der PV-Module systematisch organisiert (vgl. «Alte PV-Module: wohin damit?», S. 35). Die mit einem Zertifikat der Stiftung SENS deklarierten Produkte sind als Elektroschrott klassiert: Die Rücknahme ist über eine vorgezogene Recyclinggebühr, die im Kaufpreis enthalten ist, abgegolten. An sich sollen die Wertstoffe dadurch in den Produktionskreislauf zurückfinden. Mit Ausnahme der Metalle ist die Praxis jedoch nicht ganz so weit: Altglas kann nicht für solare Anwendungen weiterverwendet werden. Kunststoff dagegen endet noch in der thermischen Verwertung. Viele alte PV-Anlagen werden aus der Schweiz zur Entsorgung nach Deutschland exportiert; dort ergreift die Branche nun selbst die Initiative für ein kreislauffähigeres PV-Recycling.

Wie sich der PV-Markt künftig bewegt, hat wesentlich mit der Preisentwicklung und staatlichen Anreizen zu tun. Seit Anfang Jahr fördert der Bund den spezifischen Bau von Solarfassaden. BE-Netz-Mithaber Adrian Kottmann hätte begrüsst, wenn die Fördermittel an ökologische Standards gebunden worden wären, vergleichbar den bestehenden Sicherheits- und Entsorgungsvorschriften. Auch Claudius Bösiger denkt, dass ein CO₂-Zertifikat helfen würde: «Was fehlt, ist ein einheitlicher, unabhängiger Bewertungsstandard.» •

Paul Knüsel, stv. Chefredaktor, Redaktor Umwelt/Energie

Anmerkungen

¹ Photovoltaics report; Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems 2021.

² Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems; International Energy Agency IEA, Task 12: PV Sustainability 2020.

³ PV Quality and economy; European Technology and Innovation Platform for Photovoltaics ETIP PV 2018.



Wärmepumpe

Über eine Wärmepumpe wird den Umweltenergien Luft, Erde sowie Grundwasser die enthaltene Wärme mithilfe von Wärmetauschersystemen entzogen. Diese wird über einen Pumpenkreislauf auf das für Heiz- beziehungsweise Kühlzwecke geeignete Niveau gebracht. Bevor es zum Heizen oder Kühlen verwendet werden kann, dient ein Speicher dazu, die entsprechenden Systeme möglichst konstant betreiben zu können, kontinuierlich dem wechselnden Bedarf gerecht zu werden und eine hohe Effizienz zu gewährleisten.

SOLE-WASSER-WÄRMEPUMPEN

- ① Warmwasserspeicher
- ② Pufferspeicher
- ③ Wärmepumpe
- ④ Erdsonden

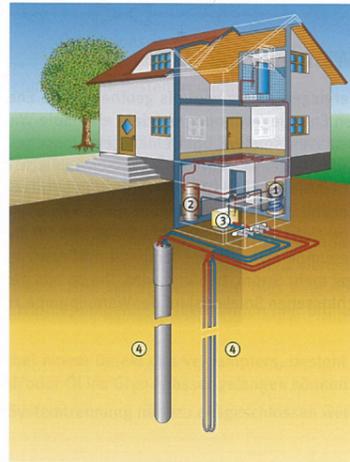


Bild 3.25: Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdsonden

- ① Warmwasserspeicher
- ② Pufferspeicher
- ③ Wärmepumpe
- ④ Erdkollektor

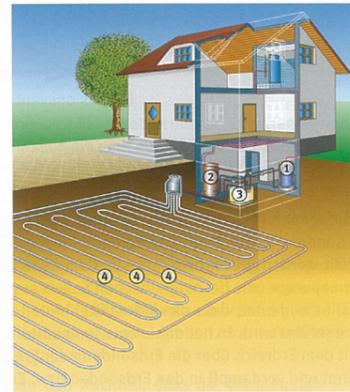
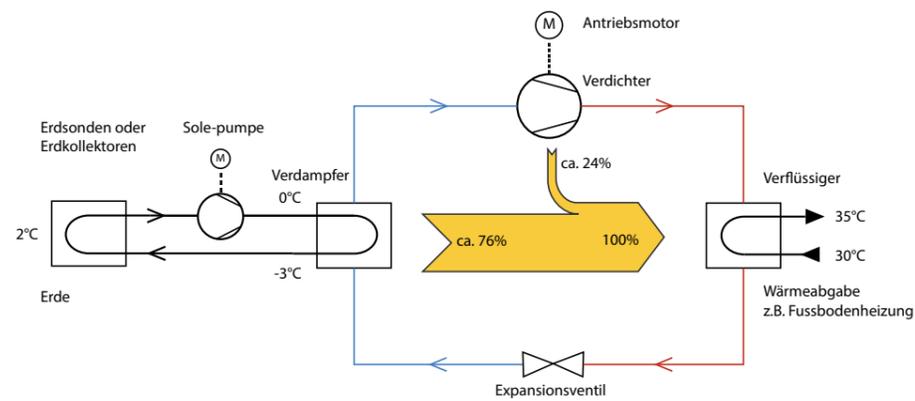


Bild 3.26: Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdkollektoren

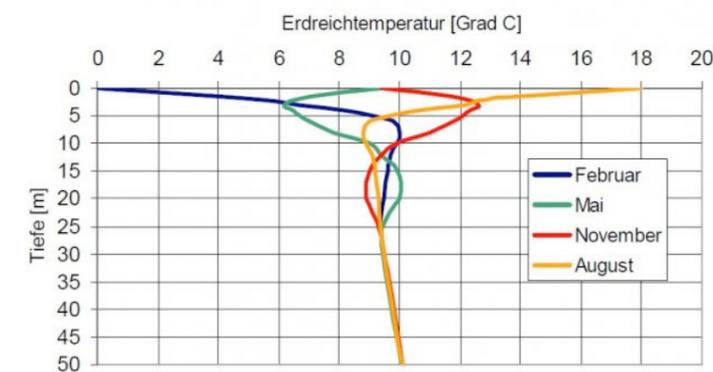
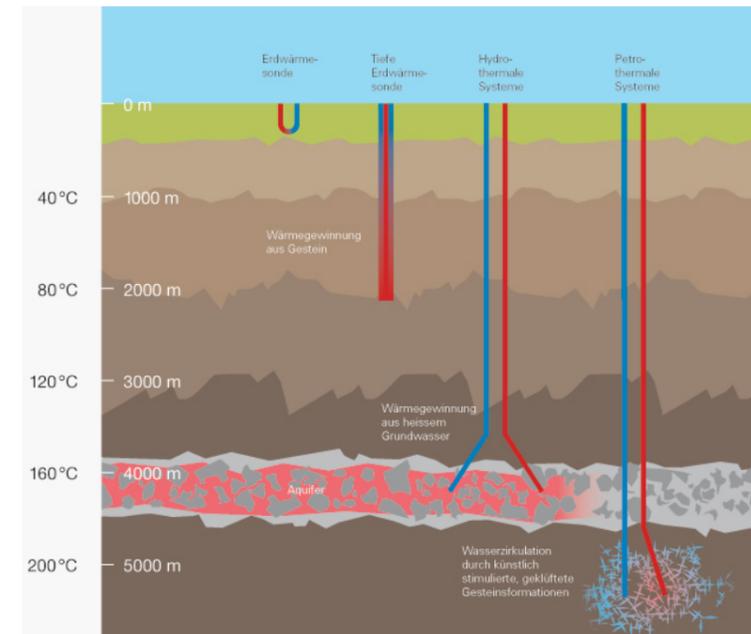


Bei der meist eingesetzten oberflächennahen Geothermie wird in den oberen Erdschichten enthaltene Wärme zum Heizen und Kühlen nutzbar gemacht. Verwendet werden Kollektoren, Erdwärmesonden, Energiepfähle oder Wärmebrunnenanlagen. Diese entziehen der Erde mittels einer zirkulierenden Flüssigkeit Wärme oder geben Kälte an sie ab.

Eigenschaften:

- Nutzt Wärme aus dem Erdreich
- Hoher Wirkungsgrad (vertikal), geringerer (horizontal)
- Geringer Platzbedarf im Gebäude
- Wärmespeicherung möglich
- Hohe Investitionskosten (vertikal)
- Risiko hoher Wärmeentzug
- Nicht überall möglich (Gewässerschutz)

ERDREICH



Eigenschaften:

- Erdwärme (bis 500m) ist gespeicherte Sonnenenergie
- Es steht ausreichend gespeicherte Energie für den Betrieb von Wärmepumpen zur Verfügung (siehe Bild oben)
- Das Erdreich wird im Sommer „geladen“ und im Winter „entladen“ - es ist damit ein saisonaler, thermischer Speicher
- Ab einer Tiefe von ca. 25m nimmt die Temperatur kontinuierlich zu
- Für die Heizung von Gebäuden sind Tiefen von 150 bis 400m sinnvoll

ENTZUGSLEISTUNG ERDSONDE

Die Entzugsleistung der Erdsonde kann bestimmt werden, wenn die Eigenschaften des Erdreichs berücksichtigt werden (siehe Tabelle)

Spezifische Entzugsleistung von Erdsonden			
Bodenbeschaffenheit	spez. Entzugsleistung		Aufnahmeleistung
	1800 h/a	2400 h/a	
trockener Sand, Kies	< 25 W/m	< 20 W/m	< 10 W/m
trockenes Lockergestein	20 – 25 W/m	15 – 20 W/m	9 – 12 W/m
trockener Ton, Lehm	20 – 30 W/m	20 – 25 W/m	12 – 19 W/m
feuchter Ton, Lehm	35 – 50 W/m	30 – 40 W/m	18 – 25 W/m
Festgestein mit geringer Wärmeleitung	40 – 45 W/m	35 – 40 W/m	21 – 28 W/m
Wasser führendes Lockergestein	50 – 55 W/m	45 – 50 W/m	28 – 31 W/m
Kalksandstein	55 – 70 W/m	45 – 60 W/m	28 – 37 W/m
Wasser führender Sand, Kies	65 – 80 W/m	55 – 75 W/m	34 – 40 W/m
Sandstein	60 – 70 W/m	55 – 65 W/m	34 – 40 W/m
Saure Magnetite (z. B. Granit)	65 – 85 W/m	55 – 70 W/m	37 – 43 W/m
Basische Magnetite (z. B. Basalt)	40 – 65 W/m	35 – 55 W/m	20 – 38 W/m
Gneis	70 – 85 W/m	60 – 70 W/m	35 – 40 W/m

$$P_{GHE} = P_H - P_E$$

P_{GHE} Leistung der Erdsonde [kW]
 P_H Gesamte Heizleistung der Wärmepumpe [kW]
 P_E Leistung elektrisch [kWh](= Exergie)

daraus folgt:

$$P_E = \frac{P_H}{COP} \quad P_{GHE} = P_H - \frac{P_H}{COP}$$

Die spezifische Entzugsleistung berechnet sich:

$$P_{spez} = \frac{P_{GHE}}{L}$$

P_{spez} Spezifische Entzugsleistung [W / m]
 P_{GHE} Leistung der Erdsonde [kW]
 L Länge der Erdsonde [m](= Exergie)

LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPE

- ① Luftansaugstutzen
- ② Luftausblasstutzen
- ③ Warmwasserspeicher
- ④ Pufferspeicher
- ⑤ Wärmepumpe
- ⑥ Verdampfer

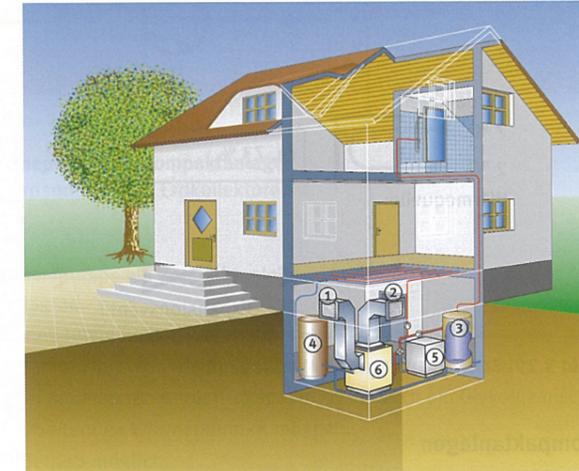
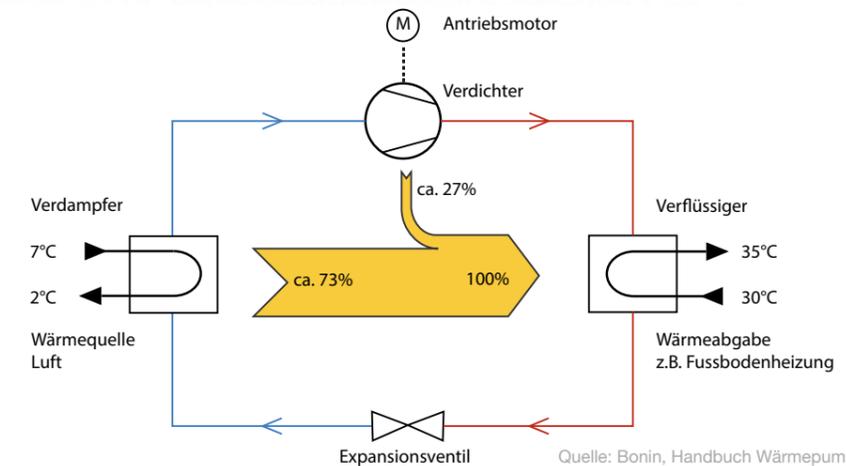


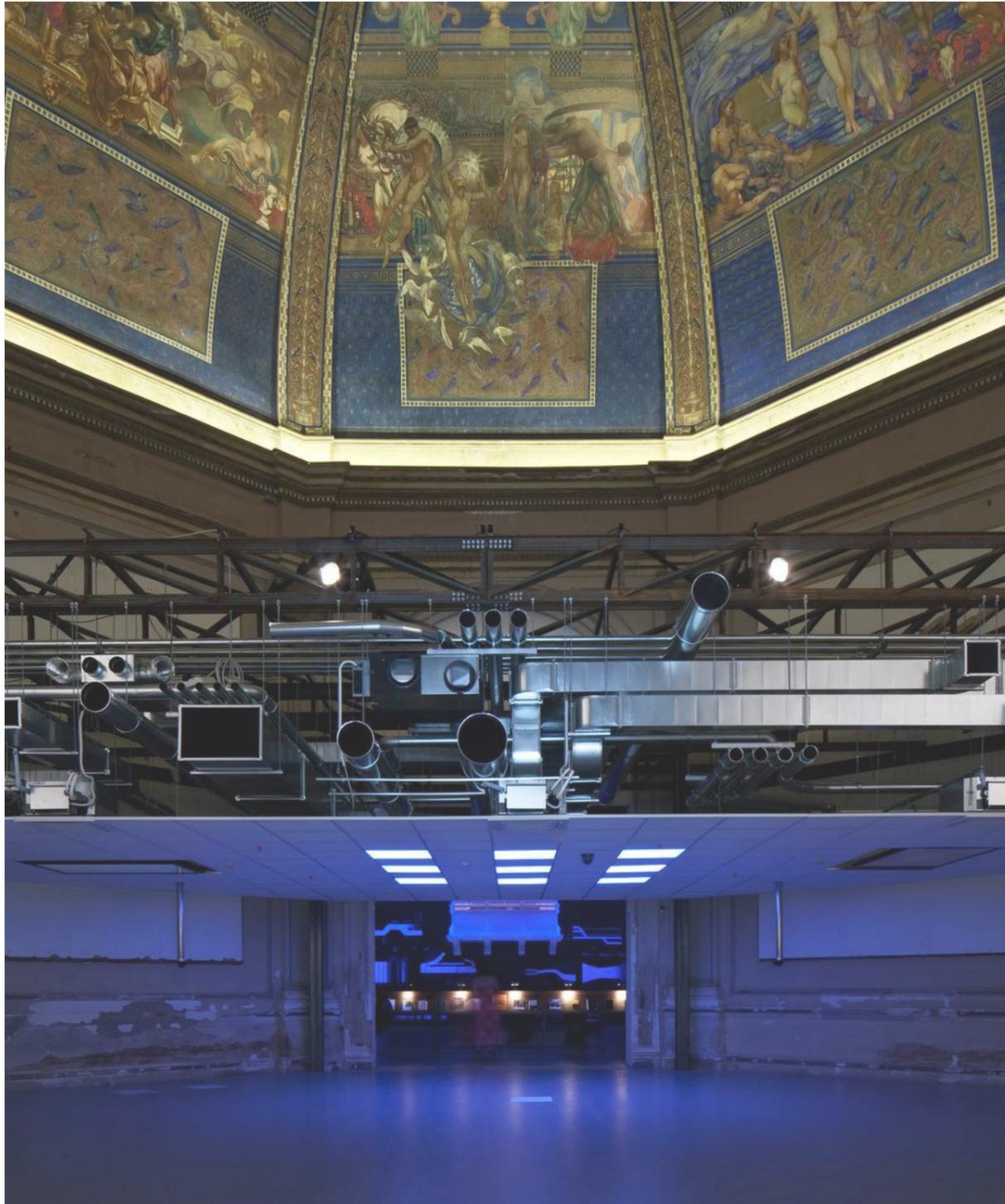
Bild 3.28: Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage



Luft-Wasser-Wärmepumpen nutzen die in der Aussenluft enthaltene Energie. Die Luft wird durch einen Ventilator angesaugt, über den Verdampfer der Wärmequelle geleitet und abgekühlt. Luft als Wärmequelle hat den Vorteil, dass es überall vorhanden ist und mit geringem Aufwand erschlossen werden kann. Die Aussenluft ist jedoch hohen Temperaturschwankungen unterworfen, was sich im Winter negativ auf die Effizienz der Wärmepumpe auswirkt.

Eigenschaften:

- Nutzt Wärme aus der Luft
- Geringe Investitionskosten
- Geringer Platzbedarf
- Schlechterer Wirkungsgrad als Sole-Wasser-Wärmepumpe
- Geräuschentwicklung



Kombinierte Technologien

Dr. Hansjürg Leibundgut, «Von der Sonne zur Erde und wieder zurück», in: TEC21 45/2012 Solarstrom im Aufwind, Zürich 2012, S. 37 - 41

VON DER SONNE ZUR ERDE UND WIEDER ZURÜCK

Die solare Energie, die an einem Ort zur Verfügung steht, unterliegt täglichen und saisonalen Schwankungen. Sie muss demnach nicht nur in Wärme und Elektrizität transformiert, sondern auch gespeichert und wieder bezogen werden. Für all dies gibt es heute Technologien, die einzeln funktionieren, aber nicht immer gut kompatibel sind. 2007 lancierte die Professur für Gebäudetechnik der ETH Zürich deshalb das Projekt viaGialla, um ein in sich schlüssiges System von neuen Technologien für den emissionsfreien Betrieb von Gebäuden zu entwickeln. Das Ergebnis ist Sol²ergie, ein System mit klaren Regeln, aber grosser Gestaltungsfreiheit, das auf vier Komponenten beruht: Hybridkollektor, saisonaler Wärmespeicher, Niederhubwärmepumpe und Niedertemperatur-Heizsystem.

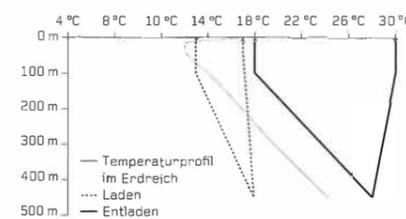
Das Spalten von Uranatomen und das Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas zur Erzeugung von Nutzenergie sind nicht mehr opportun und werden längerfristig wohl auch nicht mehr möglich sein. Diese als Primärenergieträger bezeichneten Stoffe sind bequeme Energiespeicher. Doch wenn wir sie nicht mehr nutzen können, werden auch die Technologien wertlos, die wir für die Umwandlung der in ihnen gespeicherten Energie in die jeweils gewünschte Energieform verwenden. Wir müssen uns mit der wahren Primärenergie – der Solarstrahlung – begnügen. Daher brauchen wir neue Speicher und neue Technologien, um vom unsteten Strahlungsfluss der Sonne zu dem von uns gewünschten Energiefluss zu gelangen. Die Energiewende ist auch eine Technologiewende.

Das Ziel von viaGialla¹ war deshalb, bis Dezember 2012 neue Technologien zu entwickeln, dank denen die Mehrheit der Gebäude emissionsfrei und mit einem minimalen Energieverbrauch² funktionieren könnten. Dies führte zum Begriff «ZeroEmission – lowEx». Erste Forschungsergebnisse sind bereits in der Praxis angewendet und getestet worden: beispielsweise bei der Instandsetzung des einstigen Gebäudes für theoretische Physik an der ETH Zürich³ oder beim Neubau des Mehrfamilienhauses B35 an der Bolleystrasse in Zürich (Abb. 02, 04–08).

Auf diese Weise entstand das System Sol²ergie = énergie solaire avec stockage au sol: ein Arsenal neuer Werkzeuge, die viele Menschen und Institutionen gemeinsam erarbeitet haben und die in Zukunft stetig weiterentwickelt werden sollen.⁴

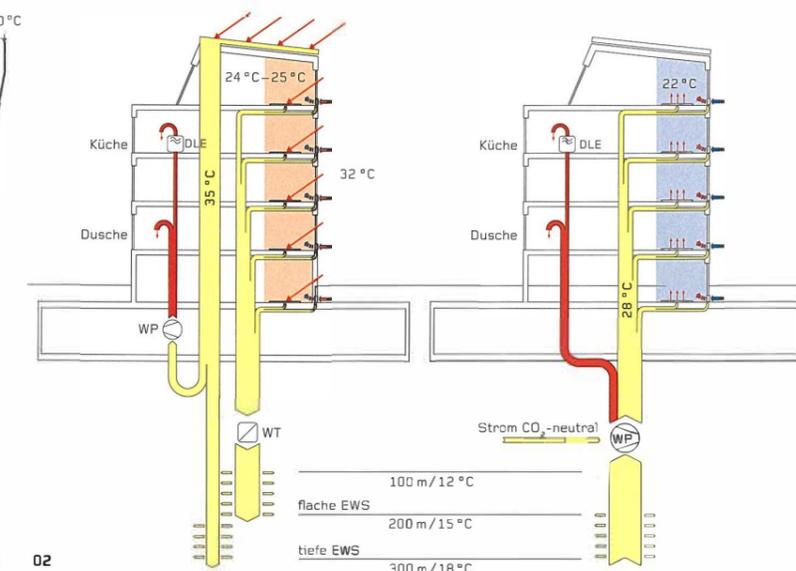
DIE VORAUSSETZUNG: SEHR EFFIZIENTE WÄRMEPUMPEN

Im Zentrum des Systems Sol²ergie stehen die Einlagerung von Solarwärme in einen sehr grossen Speicher im Sommer und die Entnahme der Wärme zwecks Beheizung der Gebäude im Winter. Die einzelnen Teilsysteme lassen sich für jedes Gebäude zu einem individuell optimierten Ganzen zusammensetzen. Sol²ergie unterscheidet sich von anderen Systemen dadurch, dass die aus dem Speicher entnommene Wärme immer eine tiefere Temperatur aufweist, als es die Nutzung erfordert. Die Wärme aus dem Speicher muss also mit einer Wärmepumpe auf Solltemperatur veredelt werden. Diese ständige Niedertemperaturspeicherung (Abb. 01) ist ein wichtiges Merkmal von Sol²ergie; Viele Systeme speichern vor allem im Sommer die Wärme für die Warmwasserproduktion bei 60 °C.



01

01 Typische Temperaturen beim Laden und Entladen des Erdspeichers. (Grafiken 01–03. Autor)
 02 Laden und Entladen des Erdspeichers, dargestellt am Beispiel des Gebäudes B35 in Zürich. (Fotos und Pläne vgl. Abb. 04–08)
 03 Photovoltaikpaneele produzieren bei Sonneneinstrahlung nicht nur elektrischen Strom, sondern sie erwärmen sich auch. Der an der ETH Zürich entwickelte Hybridkollektor sammelt diese Wärme und leitet sie ab, er funktioniert also gleichzeitig als Photovoltaikpaneel und als thermischer Kollektor. Weil er auf diese Weise laufend gekühlt wird, erhöht sich der Wirkungsgrad der Photovoltaikzellen.



02

COEFFICIENT OF PERFORMANCE COP ODER LEISTUNGSZAHL

(js) Der «coefficient of performance» COP (deutsch: Leistungsanzahl) bezeichnet den thermischen Wirkungsgrad von Wärmepumpen in einem bestimmten Betriebspunkt. Er gibt das Verhältnis der von der Wärmepumpe abgegebenen Wärmeleistung zur aufgenommenen Antriebsleistung (meist elektrisch) an:

$$\text{COP} = P_W / P_{E1}$$

Je grösser der Temperaturhub (d. h. die Differenz zwischen Wärmequellen- und Heiztemperatur), desto tiefer ist der COP und desto ineffizienter die Pumpe.

Detaillierte Definition von COP = P_W / P_{E1}

Um unterschiedliche Wärmepumpen miteinander vergleichen zu können, wurden bei der Ermittlung von COP-Werten bestimmte Betriebspunkte festgelegt:

- A2W35 für Luft-Wasser-Wärmepumpen
 - A2: Luft (air) 2 °C
 - W35: Vorlauftemperatur Wasser 35 °C
 - B0W35 für Sole-Wasser-Wärmepumpen
 - B0: Sole (brine) bei 0 °C
 - W10W35 für Wasser-Wasser-Wärmepumpen
- Zu P_{E1} zählen auch anteilmässig die Leistungen der Heizungspumpe und allfällige Quellenpumpen. Abtauerluste bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen werden berücksichtigt. Somit ist der COP einer gegebenen Wärmepumpe an jedem Betriebspunkt unterschiedlich; umgekehrt weist an einem gegebenen Betriebspunkt jede Wärmepumpe – je nach Bauart und Modell – einen unterschiedlichen COP auf.

Der Strombedarf der Wärmepumpe inkl. der Hilfsbetriebe wird dadurch zum kritischen Element. In den sonnenstrahlungsärmsten Tagen des Jahres muss der emissionsfreie Strom vom öffentlichen Netz bezogen werden. Dadurch wird die Bilanzgrenze des Systems Sol²ergie über das Grundstück hinaus erweitert. Um die Stromversorgung der Schweiz im Jahr 2050 sicherzustellen, muss die durchschnittliche Leistungsanzahl COP (vgl. Kasten) aller Wärmepumpen der Schweiz in der sonnenstrahlungsärmsten Woche im Jahr den Wert 6 erreichen. Das System Sol²ergie orientiert sich am Wert COP = 8 für das Heizen und die Warmwasserproduktion, was wiederum impliziert, dass der COP für das Heizen den Wert von 10 haben muss. COP = 10 bedeutet:

1. Alle Komponenten der Teilsysteme zur Bereitstellung und Abgabe der Nutzwärme müssen auf diese Forderung optimiert werden.
2. Wenn die Forderung kostengünstig erfüllt werden kann, können alle anderen Teilsysteme einfach gehalten werden.

DER AUFBAU: VIER ZENTRALE KOMPONENTEN

Die vier wesentlichen Komponenten im System Sol²ergie für die Wärmeerzeugung sind:

Die Niederhub-Wärmepumpe

Um den Wert COP = 10 zu erreichen, muss die Wärmepumpe bei einem kleinen Temperaturhub einen hohen Gütegrad (also wenig innere Verluste) aufweisen. Sie muss ferner Temperaturen von 25 °C der Quellwärme verkraften können. Entsprechende Maschinen sind technisch realisierbar und sollen ab 2015 im Markt verfügbar sein.⁵

Das Niedertemperatur-Heizsystem

Niedertemperatur bedeutet eine maximale Vorlauftemperatur auf die Heizflächen von 28 bis 30 °C. Bei Neubauten lässt sich dies leicht erreichen. Für bestehende Bauten müssen in der Regel Anpassungen vorgenommen werden – etwa die Verbesserung der Wärmedämmung, grössere Wärmeabgabeflächen etc. Liegen die Vorlauftemperaturen höher, sinkt der COP. Ob mehr Geld in die Wärmedämmung, die Wärmeverteilung oder in die emissionsfreie Stromproduktion im Winter investiert werden soll, ist eine Frage der ökonomischen Optimierung.⁶ Beim Gebäude B35 (Abb. 04–08) besteht die Wärmedämmung aus 12 cm EPS-Platten (zusätzlich zu insgesamt 25 cm Misaporbeton in den tragenden Aussenwänden und in der Fassade).

Der saisonale Wärmespeicher

Der saisonale Wärmespeicher hat die Aufgabe, der Wärmepumpe jederzeit ausreichend viel Quellwärme bei einer Temperatur > 15°C bereitzustellen. Gemäss heutigem Stand der Technik kann das bei grossen Wärmeleistungen über 200 kW mittels Erdwärmesondenfeldern (mindestens 15 Sonden) mit einer Sondentiefe von 250–300 m erreicht werden. Für kleinere Leistungen muss das Erdreich in 200–500 m Tiefe als Speichermedium verwendet werden. Dazu sind herkömmliche U-Rohr-Sonden ungeeignet, weil der statische Druck ab Tiefen unter 250 m zu gross werden kann, sodass die Rohre platzen. Neuartige Koaxial-Erdwärmesonden sollen ab 2015 im Markt erhältlich sein.⁷

Der Hybridkollektor (Abb. 03)

Erdsondenfelder und tiefe Erdwärmespeicher müssen künstlich regeneriert werden, weil der natürliche geothermische Wärmefluss nicht ausreicht, um die Qualität der Wärmequelle über viele Jahre konstant zu halten. Eine Regeneration mit 30°C im Sommer reicht aus, wenn die eingebrachte Energiemenge gleich gross ist wie die entzogene Energiemenge im Winter. Der an der ETH Zürich entwickelte Hybridkollektor liefert pro Jahr rund 400 kWh/m² Wärme bei 25–30°C. Infolge der gleichzeitigen Kühlung der Unterseite des Photovoltaikpanels liefert der Kollektor zudem 4–6% mehr Strom im Jahr. Der Hybridkollektor ist ab 2013 am Markt erhältlich. Ab 2015 sind voraussichtlich grossflächige PTV-Dachmodule im Markt verfügbar, in denen der Hybridkollektor mit der Dachdämmung von bis zu 30 cm Dicke kombiniert ist.⁸

DER GEWINN: RADIKALE VEREINFACHUNG DES BAUENS

Dieses System hat den Vorteil, dass auf diverse heute übliche Massnahmen und Geräte verzichtet werden kann. Dies vereinfacht das Bauen, die Wartung und die Nutzung der Gebäude erheblich: Die Regeneration des saisonalen Wärmespeichers kann auch sehr elegant mit sommerlicher Abwärme aus Kältemaschinen erfolgen, zusätzlich oder alternativ zur Regeneration mit Wärme aus den Hybridkollektoren. Zudem sinkt der Stromverbrauch der Kältemaschinen in der heissesten Sommerwoche, weil das Erdreich kühler ist als die Aussenluft. Weitere Vorteile sind:

Auf laute, luftgekühlte Rückkühler kann verzichtet werden.

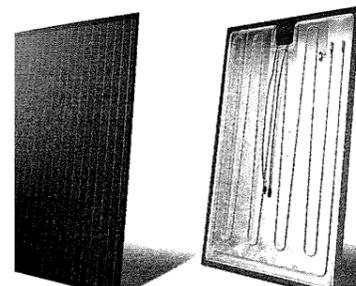
Die Auswirkungen der drei neuen Komponenten Niederhub-Wärmepumpe, Koaxial-Erdwärmesonde (oder Erdsondenfeld) und Hybridkollektor auf das Bauen sind enorm. Wenn dank guter Optimierung des Teilsystems Wärmeerzeugung/Wärmeabgabe ein COP > 8 in der kältesten Woche erreicht wird, folgt:

Auf eine Wärmerückgewinnung (WRG) aus der Abluft kann verzichtet werden.

Damit ergeben sich sehr einfache Lüftungssysteme, die durch die Nutzerinnen und Nutzer selbst gewartet werden können. Die Abzugshaube in der Küche wird zum Abluftgerät. Die Zuluft kann über einfache und sehr kleine Geräte in den Raum zugeführt werden, wobei die Lufterwärmer von der Wärmepumpe versorgt werden. Die Abluft der WC und Nasszellen wird ebenfalls ohne WRG, aber kontrolliert über Dach geführt.

Der U-Wert der vertikalen Fassade darf einen Wert von 0.65 W/m²K im gewogenen (gewichteten) arithmetischen Mittel nicht unterschreiten.

Dieser Wert entspricht einer sehr guten Glasfassade, bei der kein Kaltluftabfall und keine Schimmelpilzbildung auftreten und mit der die Strahlungssymmetrie im Raum eingehalten ist. Die möglichst hohe passive Solarnutzung durch die Fenster im Winter wird ersetzt durch die saisonale Speicherung von Sommerwärme aus dem Erdreich. Damit können Gläser mit hoher Selektivität – und einem relativ tiefen g-Wert von ca. 0.3 – eingesetzt werden, die ei-



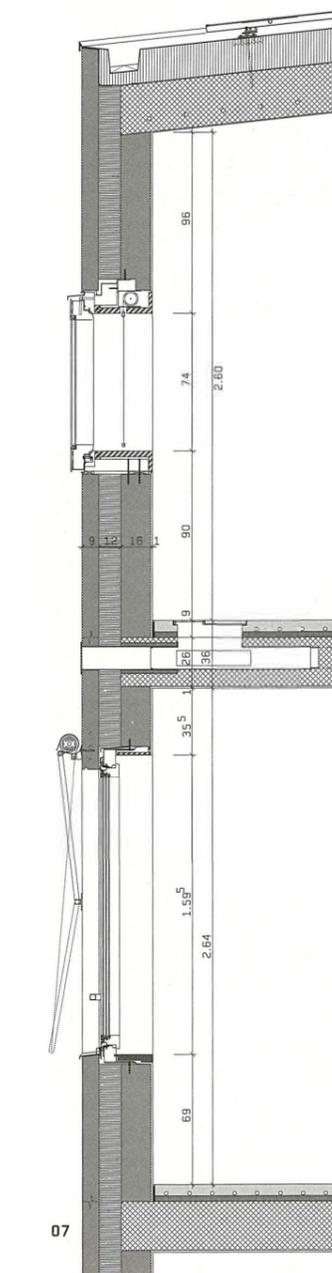
04



05



06



07



08

Mehrfamilienhaus B35, Zürich: Der letzte Jahr fertiggestellte Neubau an der Bolleystrasse 35 erprobt das Prinzip Sol²ergie in der Praxis (Funktionsschema: vgl. Abb. 02).
 Bauherren: Hansjürg u. Ulla Leibundgut, Zürich
 Architektur: agps architecture, Zürich
 Projektleitung: Johannes Leibundgut
 Tragkonstruktion: Büro Thomas Boyle, Zürich
 HLKS-Planung: Amstein + Walthert AG, Zürich
 Bauphysik: Amstein + Walthert AG, Zürich
 Elektroplanung: Mettler + Partner AG, Zürich
 Kosten- und Terminplanung: Renokonzert Bau- leitungs AG, Zürich
 Anzahl Geschosse: 6
 Einheiten: 4 Wohnungen, 1 Büro, 1 bestehendes Reservoir
 Grundstücksfläche: 700 m²
 Baukosten BKP 2: ca. 719.- Fr./m³
 Projektphase: 2007–2009
 Bauphase: 2009–2011
 04 Situation (Pläne 04 u. 07: agps architecture)
 05 Innenansicht der Dachwohnung. (Fotos 05–06: Reinhard Zimmermann)
 06 Ein ehemaliges Reservoir wurde in den Neubau integriert.
 07 Detailschnitt
 Aufbau Schrägdach:
 40 mm Dacheindeckung mit Hybridkollektor- paneelen
 PU-Flüssigfolie als Abdichtung

50 mm CNS-Platte mit Gewindestange in Krallenplatten verschraubt
 Krallenplatten für Profilmontage punktuell mechanisch befestigt
 Abdichtung, 1-lagig stumpf gestossen, bituminös
 180 mm Wärmedämmung, Foamglas in Heiss- bitumen vollflächig verklebt
 Dampfsperre vollflächig verklebt, bituminös
 Voranstrich bituminös
 260 mm Stahlbeton, TABS
 10 mm Gipsglattstrich
Aufbau Decke:
 Versiegelung
 60 mm Fliesestrich, angeschliffen
 Bodenheizung
 30 mm Trittschalldämmung
 Trennlage
 260 mm Stahlbeton
 10 mm Gipsglattstrich
Aufbau Fassade:
 Lasur pigmentiert
 Tiefenhydrophobierung
 90 mm Misapor Beton, sandgestrahlt
 120 mm Kerndämmung diffusionsoffen, EPS
 160 mm Misapor Beton, tragend, Netzarmierung 2-lagig
 10 mm Gipsglattstrich
08 Strassenansicht

Anmerkungen

Unter www.solergie.org steht ein längerer Beitrag des Autors zur Verfügung, in dem er die hier vorgestellten Prinzipien detailliert erläutert.

1 www.viaggiata.ch

2 Das Ziel ist, sowohl die vom Gebäude verursachten Emissionen als auch die benötigte Exergie zu minimieren. Dabei gilt:

– ZeroEmission wird erreicht, wenn das Gebäude selbst emissionsfrei funktioniert und auch die von aussen zugeführte Energie (z. B. der im Winter vom Netz bezogene Strom) emissionsfrei erzeugt wurde.

– Unter Exergie (Ex) versteht man dem Gebäude von aussen zugeführte, hochwertige Energieformen, die sich ohne grosse Verluste in andere Energieformen transformieren lassen (z. B. Elektrizität). Dies im Gegensatz zur Anergie, jener thermischen Energie, die bereits auf dem Grundstück vorhanden ist, aber eine tiefere Temperatur als benötigt aufweist und mit einer Wärmepumpe aufbereitet werden muss (mögliche Quellen sind z. B. Abwärme aus Raumluft und Abwasser, Erdwärme, Grundwasser).

Vgl. Judit Solt, «Low Ex + Arch» in: TEC21 47/2007, S. 37–41.

3 Vgl. Dossier TEC21 «Modellfall Sanierung HPZ», August 2011.

4 www.solergie.org

5 www.solergie.org/WP

6 www.solergie.org/Wärmeabgabe

7 www.solergie.org/Koaxial-Erdwärmesonde

8 www.solergie.org/Hybridkollektor,

www.solergie.org/PTV

9 Vgl. Judit Solt, «Low Ex + Arch», in: TEC21 47/2007, S. 37–34, sowie Richard Staub, «Wie intelligent ist intelligentes Wohnen?», in: TEC21 10/2008, S. 25–27.

DIGITALSTROM

(js) Die an der ETH Zürich entwickelte Technologie basiert auf dem Einsatz von «intelligenten Starkstromchips». Im Gegensatz zu bisherigen Chips werden diese nicht im Schwachstrom-, sondern im Starkstrombereich eingesetzt.

Der Chip kann im Internet angesteuert werden und lenkt die Energie dorthin, wo sie benötigt wird. Auf diese Weise können Haushaltsgeräte ihr Verhalten selbstständig optimieren. Dies trägt dazu bei, Stromengpässe zu vermeiden und die nötige Spitzenleistung von Netzen zu beschränken.⁹

Zur weiteren Entwicklung und Verbreitung des digitalSTROM-Systems gründeten dessen Erfinder Wilfried Beck und Prof. Ludger Hovestadt mit Anita Beck und Katharina Schroeder-Boersch 2004 eine eigene Firma. 2007 wurde eine Non-Profit-Organisation ins Leben gerufen, um die neue Technologie weltweit zu verbreiten (www.digitalstrom.org). Im April 2011 erfolgte die Markteinführung in Deutschland und der Schweiz, im Februar 2012 in Österreich und Italien.

www.digitalstrom.com

einen U-Wert $< 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen. Die Dicke der Module ist gegeben durch ihre Rahmenkonstruktion, die sich aus der notwendigen Steifigkeit für die Versetzung mit dem Kran ergibt. Die aktive Kühlung der PV-Module verringert den Wärmeeintrag ins Dachgeschoss im Sommer bei gleichzeitiger Regeneration des Erdspeichers.

Die Warmwassererzeugung kann ebenfalls vollständig neu gelöst werden.

Eine separate Warmwasser-Wärmepumpe bezieht ihre Quellwärme immer aus dem Rücklauf des Wärmeverteilsystems im Gebäude. Im Sommer ergibt sich dadurch automatisch eine Gebäudekühlung, der Strom stammt aus dem Hybridkollektor. Der Wirkungsgrad ist deutlich besser als bei jeder solarthermischen Warmwassererzeugung.

Auf die solare Warmwasser-Vorwärmung wird verzichtet.

Im Winter wird das Warmwasser über zwei nacheinander geschaltete Wärmepumpenprozesse erzeugt. Die Separierung der beiden Aufgaben Heizen und Warmwassererzeugen in zwei Wärmepumpensysteme ergibt eine sehr einfache hydraulische Schaltung und damit eine einfache Steuerung. Der Hybridkollektor liefert die Wärme immer in den Erdsondenkreislauf.

Auf die individuelle Heizkostenabrechnung wird verzichtet.

Die Betriebskosten für Heizung, Lüftung und Warmwasser werden infolge des hohen COP der Wärmepumpe sehr klein. Damit ist eine individuelle Energiekostenabrechnung nicht mehr sinnvoll. Die Investitionen für die Energieerzeugung sind zu über 90 % in den Baukosten enthalten, der Strombezug vom öffentlichen Netz ist sehr gering.

Alle elektrischen Geräte, einschliesslich Leuchten, Storen, Heizungspumpen oder -ventile etc. in den Nutzräumen, werden über digitalSTROM versorgt und von einem digitalSTROM-Server im Elektroschrank der Nutzungseinheit koordiniert (vgl. Kasten). Dieser kleine Server ist im Internet eingebunden. Die Sensoren für Temperatur, Luftqualität etc. liefern ihre Werte ebenfalls über digitalSTROM oder über Funk an den digitalSTROM-Server. Eine neue Raumautomatisierungs-App verbindet die beiden Welten und verwendet Daten aus dem Internet zur Steuerung und Optimierung der Systeme. Deren Komponenten können auch mit anderen Technologien gesteuert werden.

UND DIE KOSTEN?

Ein neues Gebäude mit dem System Sol²ergie kostet im Vergleich zu einem neuen Gebäude, das nach Vorschriften der Kantone und mit einer Ölheizung ausgerüstet erstellt wurde, maximal 150 Fr./m² mehr. Rund ein Drittel dieser Mehrkosten entfallen auf die Erdsonde, zwei Drittel auf den Hybridkollektor. Die Wärmepumpe kostet etwa gleich viel wie eine Ölheizung mit Kessel, Brenner, Kamin und Tank. Die Kosten für die Wärmeverteilung und die Warmwassererzeugung sind gleich. Die Minderkosten wegen der einfacheren Fassade werden nicht berücksichtigt.

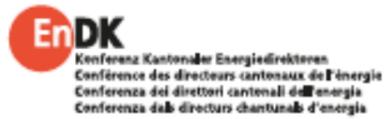
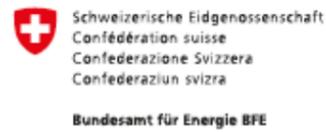
Die Lebensdauer der Erdsonde liegt voraussichtlich bei weit über 100 Jahren. Der hydraulische Teil, die Montageeinrichtung und andere Elemente des Hybridkollektors erreichen ein Alter von mindestens 60 Jahren. Der Satz für die Verzinsung des Kapitals kann zu 2 % (dem Satz der Verzinsung des Alterskapitals in den Pensionskassen) angesetzt werden. Damit ergibt sich eine Annuität von max. 4.5 %. Das Sol²ergie-Haus verursacht also rund 6.75 Fr./m² höhere Kapitalkosten pro Jahr. Zum Vergleich: Bei einem Jahresölverbrauch von 6 l/m² für das «Haus nach Vorschrift» darf das Öl maximal 1.12 Fr./l kosten – steigt der Ölpreis über diesen Wert, ist das konventionell geheizte Haus im Betrieb teurer.

Sol²ergie ist mehr als ein Beitrag für die Energiewende. Es ist ein System zur radikalen Vereinfachung des Bauens.

Dr. Hansjürg Leibundgut, Professor für Gebäudetechnik am Institut für Technologie in der Architektur der ETH Zürich, leibundgut@arch.ethz.ch



MINERGIE®



ENERGIELABELS UND STANDARDS

Minergie

Der Baustandard Minergie für Neubauten

Minergie-Kennzahl

Gewichteter Gesamtenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung, Geräte und allgemeine Gebäudetechnik minus die anrechenbare Eigenstromproduktion

Gebäudehülle

Heizwärmebedarf gemäss MuKE 2014
Minergie-P: 30% tiefer

Luftdichtheit

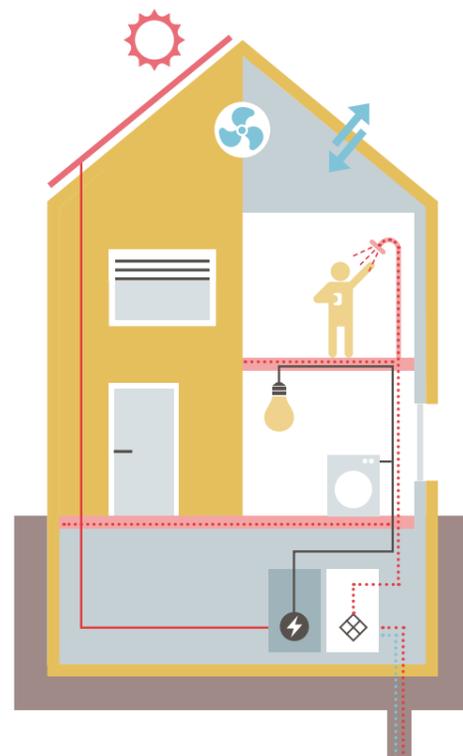
Gebäudehülle wird geprüft
Minergie: ohne Messung

Eigenstromproduktion

Neubau: mindestens 10 W/m² mit Eigenbedarfsoptimierung
Minergie-A: Jahresproduktion bedarfsdeckend

Energie-Monitoring

bei Grossbauten (EBF > 2000 m²)
Minergie-A: auch kleine Bauten, ohne Wärmemessung



Lüftung

Kontrollierte Lüfterneuerung erforderlich

Warmwasser

Minimierung Energiebedarf

Sommerlicher Wärmeschutz

Nachweis erforderlich

Beleuchtung, Geräte

Anreize für hohe Effizienz, bei Zweckbauten Beleuchtungsnachweis nach Norm SIA 387/4

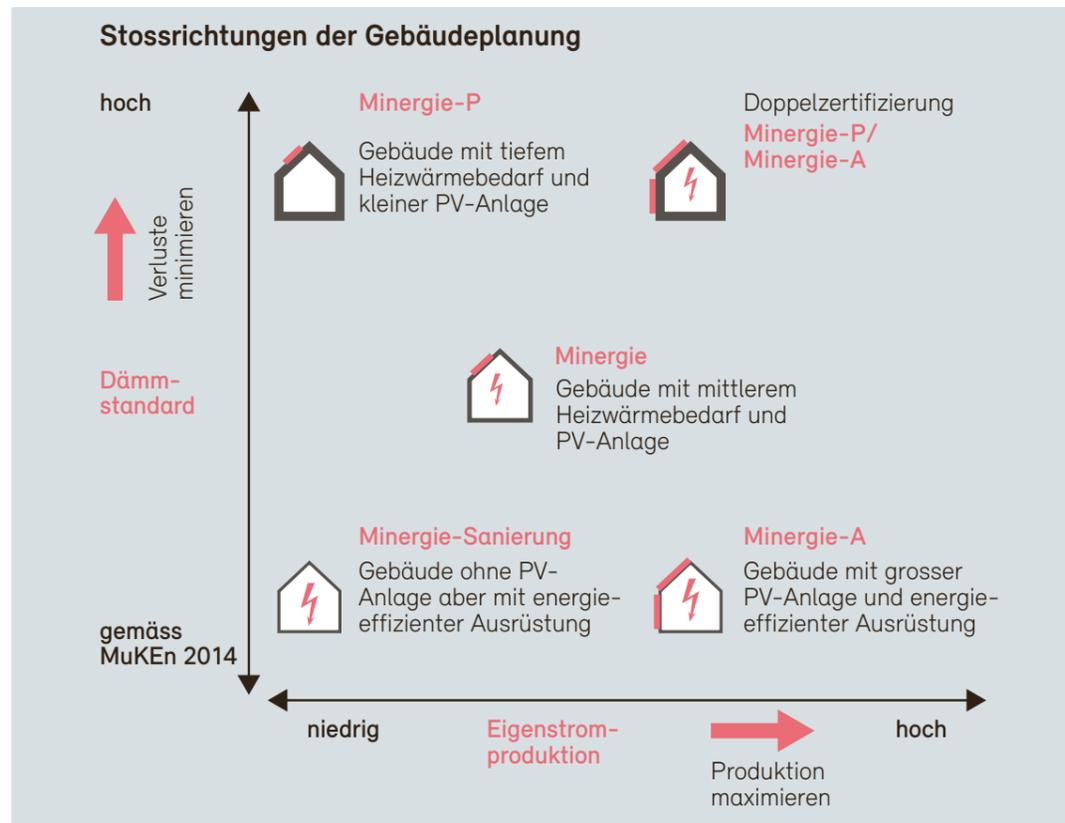
Gewichteter Endenergiebedarf Wärme

gemäss MuKE 2014

100% fossilfreie Energie

Für Wärme- und Kälteerzeugung (ausser Fernwärme und Spitzenlast) bei Neubauten

Minergie ist seit 1998 der Schweizer Standard für Komfort, Effizienz und Werterhalt. Im Zentrum steht der Wohn- und Arbeitskomfort für die Gebäudenutzenden, sowohl in Neubauten als auch bei Erneuerungen. Eine besondere Rolle spielen dabei die hochwertige Gebäudehülle und ein kontrollierter Luftwechsel. Minergie-Bauten zeichnen sich zudem durch einen sehr geringen Energiebedarf und einen möglichst hohen Anteil an erneuerbaren Energien aus. Die drei bekannten Baustandards Minergie, Minergie-P und Minergie-A stellen bereits in der Planungsphase höchste Qualität und Effizienz sicher. Ergänzt werden sie durch drei frei kombinierbare Zusatzprodukte: ECO berücksichtigt die Themen Gesundheit und Bauökologie. MQS Bau richtet sich an Bauherren und Planende, welche die anspruchsvollen Vorgaben am Bau garantiert haben möchten. MQS Betrieb optimiert die Nutzung der haustechnischen Anlagen und gewährleistet dadurch einen maximalen Komfort.



Christian von Burg, *Problem mit Minergie*, Zürich 2017, <https://www.srf.ch/news/schweiz/problem-mit-minergie-zuviel-energie-verpufft-durch-geoeffnete-fenster>

Moderne Häuser verbrauchen viel weniger Energie als alte – so das Versprechen. Doch es zeigt sich, dass Minergie-Mehrfamilienhäuser viel mehr Energie brauchen als erwartet. Nun wird über Massnahmen diskutiert, um die Missstände zu beheben.

Minergie-Siedlungen wie die Überbauung Brunnenhof in Zürich oder Burgunder in Bern gelten als ökologische Vorzeigeprojekte. Doch die beiden Mehrfamilienhäuser mit Minergie-P- oder P-Eco-Zertifikaten brauchen im Winter doppelt bis dreimal so viel Heizenergie wie geplant. Das zeigen Untersuchungen von Ingenieurbüros.

Zieht man andere Minergie-Wohnsiedlungen in die Betrachtung mit ein, klaffen Zielwerte und Realität nicht mehr ganz so extrem auseinander. Aber im Durchschnitt bleibt der Energieverbrauch fast anderthalbmal so hoch, wie vorgesehen. Marianne Zünd vom Bundesamt für Energie zeigt sich ernüchtert: «Das ist sehr eindrücklich.»

Die Zahlen der vorliegenden Studien zeigten, dass es tatsächlich ein Problem gebe, so Zünd. Das BFE werde nun mit allen relevanten Stellen zusammensitzen und nach Lösungen suchen. Auch bei den Ingenieuren und Architekten ist das Problem erkannt. Es geht um Komfort-Lüftungen, die nicht richtig eingestellt sind, um Sonnenstoren, die zur falschen Zeit unten oder oben sind und um Fenster, die in den Mietwohnungen auch im Winter offen stehen.

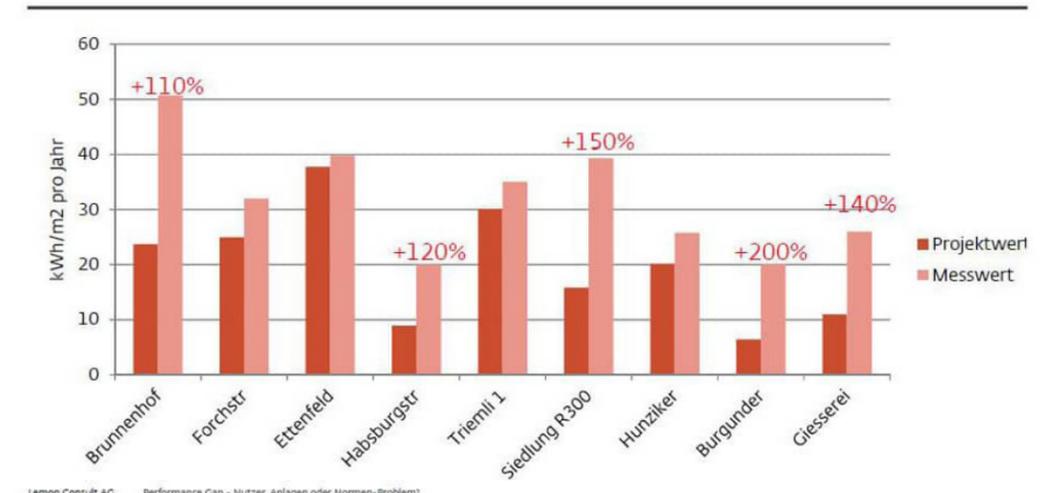
«Da muss etwas gehen», sagt der Vizepräsident des Ingenieur- und Architektenvereins, Adrian Altenburger. Man müsse wohl mittels Vorschriften etwas Druck aufsetzen. «Dann geht meistens viel», zeigt er sich zuversichtlich.

Altenburger empfiehlt regelmässige, obligatorische Kontrollen der Minergie-Bauten auch nachdem sie in Betrieb genommen wurden. Doch allein damit dürften die Probleme noch nicht gelöst sein. Es wäre aber ein erster Schritt, damit wenigstens künftig erstellte Häuser so energiesparend werden, wie versprochen.

Tabelle 1: Anforderungen Wohnen EFH und MFH

	Minergie	Minergie-P	Minergie-A
Minergie-Kennzahl*			
Neubau	55 kWh/m ²	50 kWh/m ²	35 kWh/m ²
Erneuerung	90 kWh/m ²	80 kWh/m ²	35 kWh/m ²
Heizwärmebedarf**			
Neubau	MuKE 2014	70% MuKE 2014	MuKE 2014
Erneuerung	Keine Vorgabe	90% MuKE 2014	Keine Vorgabe
Endenergiebedarf Wärme**			
Neubau	35 kWh/m ² (MuKE 2014)		
Erneuerung	60 kWh/m ² (Minergie-Anforderung)		
Eigenstromproduktion	Neubau: mindestens 10 W/m ² (MuKE 2014)		bedarfsdeckend
Kontrollierte Lüfterneuerung	Ja		
Sommerlicher Wärmeschutz	Ja		
Energieträger	Neubau: keine fossilen Brennstoffe		
Luftdichtheit q_{a50}			
Neubau	1,2 m ³ /h m ²	0,8 m ³ /h m ²	
Erneuerung	1,6 m ³ /h m ²	1,6 m ³ /h m ²	
Energie-Monitoring	Ja, wenn über 2000 m ² Energiebezugsfläche		Ja***

Performance Gap Heizwärmeverbrauch von Wohnsiedlungen





Heater, Vija Celmins, 1964
<https://www.sfmoma.org/read/artifacts-of-presence-a-common-ungrounding/> [17.03.2022]

2000-Watt-Gesellschaft

Die 2000-Watt-Gesellschaft ist eine energiepolitische Vision. Sie vereint die nationalen Effizienzvorgaben der Energiestrategie 2050 mit den internationalen Klimazielen von Paris 2015. Innovative Energiesysteme, ein intelligenter Umgang mit Ressourcen und der konsequente Einsatz von erneuerbaren Energien bilden die Basis des Konzepts. Die Schweiz nimmt damit global eine Vorbildfunktion ein und unterstützt gleichzeitig die lokale Wertschöpfung.

Bemerkung:
Das Ziel der 2000 Watt Gesellschaft wäre ein maximaler durchschnittlicher Energieverbrauch pro Person von 17'520 kWh pro Jahr.

Manfred Hegger u.A., «Aktivhaus - Das Grundlagenwerk, vom Passivhaus zum Energieplushaus», München 2013, S. 94-99

Über die Energie hinaus

Die beschriebenen Gebäudeenergie-Standards zeigen, dass sie zunächst alle das Ziel einer effizienten energetischen Versorgung von Gebäuden verfolgen. Der Schwerpunkt liegt dabei meist auf der Betrachtung der Betriebsenergie, was vor dem Hintergrund des enormen Energieverbrauchs von Gebäuden und der Möglichkeit zur Regulation gerechtfertigt ist. Die Vergleichbarkeit zwischen Standards ist in ihren zahlenmäßigen Ergebnissen aufgrund unterschiedlicher Eingangsparameter, wie zum Beispiel national unterschiedlicher Primärenergiefaktoren sowie voneinander abweichender Berechnungsverfahren, nur schwer möglich.

Lebenszyklusbetrachtungen

Über die rein energetischen Bilanzen hinaus weisen mehrere Standards bereits eine Erweiterung des Betrachtungsraums auf. So werden in einigen Bilanzierungen Energieaufwendungen zur Herstellung des Gebäudes und der Baustoffe sowie Umweltwirkungen, die durch das Gebäude verursacht werden, mit berücksichtigt. Diese Themen werden vor dem Hintergrund der Reduzierung der Betriebsenergie wohl in Zukunft noch mehr an Bedeutung gewinnen.

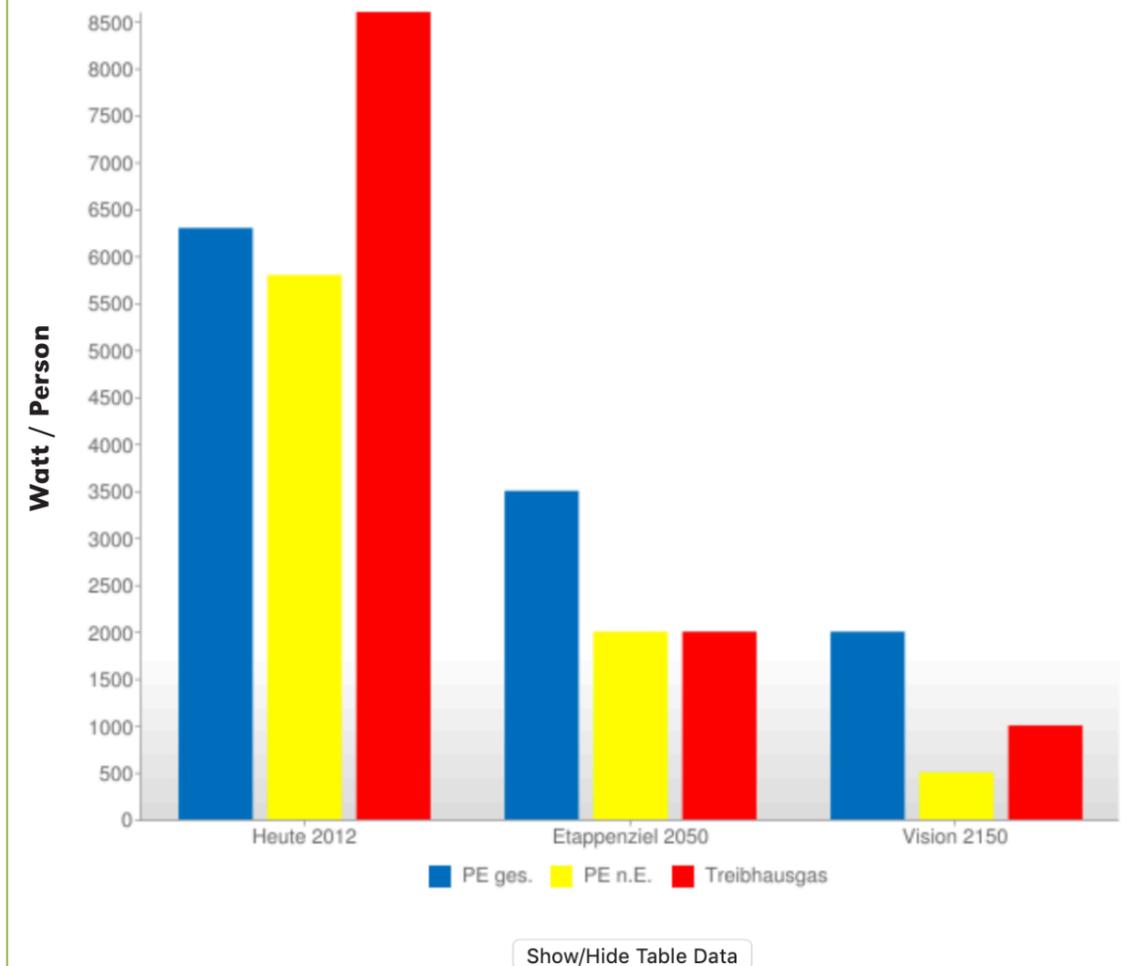
Auch wenn graue Energie in einzelnen Standards bereits berücksichtigt wird, sind erweiterte Standards und Benchmarks auf rechtlicher und politischer Ebene zu schaffen, die Umweltwirkungen im Rahmen der Erstellung und des Rückbaus eines Gebäudes einbeziehen. Als Berechnungsinstrument wird derzeit auf eine Ökobilanz beziehungsweise Lebenszyklusanalyse zurückgegriffen. Dieses auf Grundlage der Norm ISO 14040 erstellte Berechnungsverfahren erlaubt es, ein Gebäude über den gesamten Lebenszyklus hinsichtlich seiner Umweltwirkungen und seines Recyclingpotenzials zu bewerten. Auf Grundlage einer Sachbilanz wird eine Wirkbilanz aufgestellt, die schließlich ein Ergebnis in unterschiedlichen Wirkungskategorien aufweist. Normalerweise erfolgt eine Bewertung innerhalb der Kategorien Treibhauspotenzial (GWP), Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), Ozonbildungspotenzial (POCP), Versauerungspotenzial (AP), Überdüngungspotenzial (EP) sowie Primärenergieinhalt (PEI). Eine Priorisierung der einzelnen Kategorien erfolgt in der Regel nicht, da die Auswirkungen der unterschiedlichen Umweltkategorien weder wissenschaftlich noch wirkungsbezogen miteinander vergleichbar sind. Auch eine rein zahlenmäßige Darstellung ist in der Regel nicht sehr aussagekräftig. Aus diesem Grund werden zur Bewertung von Gebäuden häufig vergleichende Ökobilanzen durchgeführt. Auf Grundlage des Vergleichs mit einem Referenzgebäude lässt sich ein Ergebnis in Zahlen besser bewerten und einstufen. Die bisherigen Verfahren, die um eine Ökobilanz erweitert sind, lassen eine Gebäudebewertung von der Errichtung über den Betrieb bis hin zum Rückbau zu.

2 000-Watt-Gesellschaft

Darüber hinaus beeinflusst ein Gebäude und vor allem dessen Lage auch den Energieverbrauch der Nutzer. Diese Ebene ist derzeit in keinem Bilanzierungsstandard berücksichtigt. Aufgrund individuell sehr stark abweichender Verhaltensmuster und daraus resultierenden unterschiedlichen Verbrauchsstrukturen ist eine reale Abbildung des Nutzerenergieverbrauchs über den Haushaltsstrom hinaus sehr schwierig. Aber auch Energieaufwendungen für Mobilität, Konsum und Ähnliches tragen zum weltweit steigenden Energieverbrauch bei. In der Schweiz wurde deshalb das theoretische Modell der 2000-Watt-Gesellschaft entwickelt. Dabei geht es nicht darum, rückwirkend den Energiebedarf des Nutzers auszuweisen, sondern vorausgreifend ein Modell zu entwickeln, durch das globale energiepolitische Ziele erreicht werden können. Damit sind vor allem die durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) genannten Reduzierungen des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen pro Kopf gemeint.

Das Modell der 2000-Watt-Gesellschaft sieht vor, dass weltweit jeder Person bei einem auf 1 Tonne pro Kopf begrenzten Emissionswert dauerhaft eine Leistung von 2000 Watt zur Verfügung steht. Damit kann laut Angaben des IPCC der klimagasbedingte Temperaturanstieg auf 2 Kelvin begrenzt werden. Die 2000-Watt-Grenze schließt die Energie verbrauchenden Lebensbereiche Wohnen, Mobilität, Ernährung, Konsum und Infrastruktur ein. Damit spielt der Lebensstandard eine maßgebende Rolle zur Erreichung des Ziels. Neben der Nutzung effizienter Geräte fordert das Modell der 2000-Watt-Gesellschaft somit auch eine Anpassung des Nutzerverhaltens. 2000 Watt entsprechen einem Primärenergiebedarf von zirka 17 500 kWh pro Jahr. Damit entspricht die angestrebte Leistung dem globalen Durchschnitt des Jahres 2005. Es handelt sich bezogen auf 2005 also weniger um eine Reduktion des Primärenergiebedarfs insgesamt. Vielmehr wird eine gleichmäßige Verteilung zwischen entwickelten und aufstrebenden Nationen angestrebt, um einem starken Anstieg ähnlich dem nach 1950 zu begegnen. Damit wird sowohl die Effizienzsteigerung der starken Verbraucher berücksichtigt, als auch ein Entwicklungsspielraum für bisher Benachteiligte geschaffen.

Energieverbrauch Vision 2000-Watt



PE ges. = Mittlere jährliche Leistung der Primärenergie gesamt W/Person
 PE n.E. = Mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar (Öl, Gas, Kohle etc.) W/Person
 Treibhausgas = Treibhausgasemissionen kg CO2

Mit dem SIA-Effizienzpfad Energie in Richtung «Netto-Null», Heinrich Gugerli und Katrin Pfäffli, in: espazium, 04.11.2020

Mit dem SIA-Effizienzpfad Energie in Richtung

«Netto-Null»

Der SIA-Effizienzpfad Energie ist der erste Gebäudestandard, der Zielwerte für den Treibhausgasausstoss definiert. Dazu sind die Bereiche Erstellung, Betrieb und induzierte Mobilität zu bilanzieren. Um das vom Bundesrat beschlossene «Netto-Null-Ziel» zu spiegeln, will der SIA nun sein Planungsinstrument zum 2000-Watt-kompatiblen Bauen aktualisieren.

Der SIA führte 2011 den Gebäudestandard «SIA-Effizienzpfad Energie» ein und formulierte im Merkblatt SIA 2040 dafür Zielwerte für die Treibhausgasemissionen aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität. Anlass war die Erkenntnis, dass der Gebäudebereich massgeblich zum Klimaschutz beitragen kann. Ausserdem verknüpft der Effizienzpfad die Reduktionsziele der 2000-Watt-Gesellschaft mit heute zur Verfügung stehenden emissionsarmen Bau-, Energie- und Mobilitätssystemen.

In der Zwischenzeit hat der Souverän die nationale Energiestrategie 2050 gutgeheissen; der Bundesrat beschloss seinerseits das Klimaziel 2050, in der Absicht, die Bilanz der inländischen Treibhausgase auf «Netto-Null» zu senken.¹ Das erhöht die Dringlichkeit in der Klimafrage und stellt sowohl den SIA-Effizienzpfad als auch die 2000-Watt-Gesellschaft vor eine neue Herausforderung. Im Vergleich zu den bisherigen Vorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft ist der Absenkpfad deutlich zu verschärfen.

Das Leitkonzept 2000-Watt-Gesellschaft ist aktualisiert

Ein erster wichtiger Schritt ist getan: Das Bundesamt für Energie (BFE) und die Programmleitung von «EnergieSchweiz für Gemeinden» haben das «Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft 2020»² veröffentlicht; es passt das bisherige 2000-Watt-Bilanzierungskonzept an die neuen klimawissenschaftlichen Erkenntnisse und aktuellen energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen an.

Die Hauptziele, die bis 2050 zu erreichen sind, lauten:

- Treibhausgasausstoss: «Netto Null» statt bisher 2 t CO₂ äq. pro Person und Jahr;

- gesamte Primärenergie (Dauerleistung): 2000 Watt pro Person statt bisher 3500 W/P;
- Energieversorgung Schweiz: 100 % erneuerbare Energieträger.

SIA-Effizienzpfad: schon bisher ambitioniert

Das aktualisierte Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft bildet zusammen mit den Ökobilanzdaten im Baubereich³ die Grundlage für eine Bilanzierung auf unterschiedlichem Massstab: von Einwohnerinnen und Einwohnern zum Haushalt; von Gebäude und Arealen bis zu Gemeinden und Städten. Der SIA trägt diese Aktualisierung mit und beteiligt sich an der Umsetzung mit dem «SIA-Effizienzpfad Energie» auf Stufe Gebäudebereich.

Auf diesem Instrument baut auch das Label «2000-Watt-Areal» auf. Letzteres gehört zur BFE-Labelfamilie und bezieht sich auf grössere Siedlungsgebiete. Auch hier ist zu prüfen, wie sich die verschärften Zielpfade des Leitkonzepts in die Umsetzungsinstrumente integrieren lassen.

Die Zielwerte des SIA-Effizienzpfads sind bereits enorm ambitioniert. Die Version gemäss Merkblatt SIA 2040, Ausgabe 2017, verlangt die Reduktion der Treibhausgasemissionen um etwa einen Faktor 4 – im Vergleich zur Bilanz des Gebäudebestands von

2010 über alle Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität.

Trotz umfassendem Bilanzierungssystem und unter ausschliesslicher Anwendung heutiger Technologien sind die Ziele erreichbar. Dazu tragen die drastischen Verbesserungen in der Nutzungsphase der Gebäude weitgehend bei: 2000-Watt-kompatible Neubauten stossen im Betrieb höchstens ein Zwölftel der Treibhausgase aus, verglichen mit dem Gebäudebestand 2010. Die Reduktionswirkung ist im Vergleich zu anderen Gebäudestandards und zur BFE-Labelfamilie einzigartig.⁴

In der gesamtheitlichen Betrachtung kann dennoch «nur» eine Reduktion um Faktor 4 erreicht werden; weitere Potenziale im Bereich Erstellung sind gegenwärtig noch beschränkt. Der 2000-Watt-Richtwert lässt sich mit kompakter Gebäudeform, einfachem Tragkonzept, ressourcenschonender Bauweise und Materialisierung am ehesten erreichen. Dadurch reduziert sich der spezifische Treibhausgasausstoss im besten Fall immerhin um 25 %⁵. Für das Netto-Null-Ziel reicht das jedoch nicht.

Auch für den Bereich Mo-

bilität verlangen die Richtwerte des SIA-Effizienzpfads eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen. Theoretisch und technisch möglich wäre eine nahezu treibhausgasfreie Fortbewegung. Allerdings ist das Reduktionspotenzial bei der Herstellung von Fahrzeugen und der Bereitstellung der Verkehrsinfrastruktur bisher ebenso beschränkt wie bei der Erstellung von Gebäuden.

Ist Netto-Null möglich?

Eine dringlichere Senkung der Treibhausgasemissionen gemäss dem aktualisierten 2000-

Watt-Leitkonzept bedingt eine allfällige Verschärfung der Zielwerte und wohl auch eine Verkürzung des Zielhorizonts. Ein einzelnes Gebäude oder ein Areal kann zwar das bisherige, ambitionierte Etappenziel bereits heute umsetzen, wie zahlreiche Beispiele beweisen, die nach den Zielwerten des SIA-Effizienzpfads geplant oder als «2000-Watt-Areal» zertifiziert sind.

Bleiben wir aber realistisch: Wenn wir das bestehende Etappenziel für 2050 neu zehn oder vielleicht 15 Jahre vordatieren, wird bis dahin erst ein Bruchteil des Gebäudebestands umfas-

send saniert oder neu gebaut. Die Erneuerungsrate ist um ein Vielfaches zu klein, um den Gebäudebestand nur schon auf das heutige Etappenziel des SIA-Effizienzpfads zu bringen. Zudem gilt: Gebäude, die heute neu gebaut oder umgebaut werden, sind bis 2050 hoffentlich immer noch in Betrieb. Sie müssten also nicht nur das Etappenziel erreichen, sondern bereits auf das Ziel «Netto-Null» vorbereitet sein.

Herausforderung: Dekarbonisierung der Baustoffe

Angenommen, wir könnten die heutigen technischen Möglichkeiten weitgehend ausschöpfen: Gebäude lassen sich ab sofort konsequent erneuerbar betreiben, und Treibstoffe für die Mobilität wie Benzin, Diesel und Erdgas gehörten der Vergangenheit an. Den Löwenanteil der restlichen Treibhausgase stösst dann nicht mehr der Betrieb von Gebäuden und Fahrzeugen aus, sondern deren Produktion, Errichtung, Rückbau und Entsorgung. Nur: Gebäude, Fahrzeuge oder Verkehrsinfrastruktur zu bauen, ohne dabei Treibhausgase freizusetzen, ist heute schlicht nicht möglich.

Für eine treibhausgasfreie Gebäudeerstellung müssen wir radikal neu denken. Architekturschaffende der Gruppe Countdown 2030⁶ sprechen von der «Neuerfindung der Moderne». Ihnen ist bewusst, dass gewohnte Materialien und Bauweisen auf den Prüfstand gehören. Daraus ergeben sich völlig «neue Entwurfs- und Gestaltungskonzepte, sowohl im Massstab des Gebäudes als auch in dem der Stadt».

Konsequentes Weiter- und Wiederverwenden von Bauteilen und Gebäuden verlangt nach einer neuen Wertschätzung des Bestands als Lagerstätte für

Treibhausgase. Gebäude und Bauteile im Kreislauf zu halten anstatt sie zu entsorgen, kann die Entwurfsprozesse auf den Kopf stellen und etablierte Wertschöpfungsketten verändern.

«Netto-Null» im Bereich Erstellung wird so zur Herausforderung für die nächsten Jahrzehnte. Die Bauwirtschaft hat die Potenziale für eine Reduktion von «grauen» Treibhausgasemissionen zwingend auszuschöpfen. Neben der Gebäudekonzeption geht es um eine Weiterentwicklung bekannter Baustoffe⁷ und um neue, emissionsfreie Baumaterialien.

Revision: SIA-Effizienzpfad

Der SIA stösst die Revision des SIA-Effizienzpfads Energie mit einer Spurgruppe an. Die offenen Fragen sind benannt; eine grosse Herausforderung ist, dass das Netto-Null-Ziel mit den heute zur Verfügung stehenden Technologien, Baustoffen, Konstruktionen und Verkehrsinfrastrukturen noch nicht erreichbar ist, im Gegensatz zum bisherigen Etappenziel der 2000-Watt-Gesellschaft. Die Kommission SIA 2040 setzt sich für die Revision zudem das Ziel, die bewährten Qualitäten des SIA-Effizienzpfads zu erhalten.

Obwohl wir das Netto-Null-Ziel noch nicht erreichen, erhöht sich die Dringlichkeit für die Umsetzung der Effizienzpfad-Zielwerte: Gehen wir den eingeschlagenen Weg konsequent weiter, tun wir damit gewaltige Schritte in die richtige Richtung. Und wie bisher gilt, das jeweils Bestmögliche zu realisieren. Die Herausforderung darf gross sein, aber sie muss bewältigbar bleiben.

Die Treibhausgasemissionen sind wie bis anhin umfassend zu betrachten, ebenso wie

der Lebenszyklus von Gebäuden und Arealen inklusive induzierter Mobilität. Unterschiedliche Umsetzungswege und vielfältige architektonische Lösungen mit «Netto-Null»-Bilanz sollen möglich bleiben. Die anstehende Revision des Effizienzpfads wird diese Themen mit der notwendigen Konsequenz und der gebotenen Sorgfalt angehen. Dass das bisherige Merkblatt im Lauf der Revision voraussichtlich zu einer Norm aufgewertet wird, unterstreicht die Bedeutung dieses Instruments.

Franziska Wyss (treeze Ltd.), Rolf Frischknecht (treeze Ltd.), Katrin Pfäffli (Architekturbüro Preisig Pfäffli), Viola John (Professur für Nachhaltiges Bauen, ETH Zürich), im Auftrag von: Bundesamt für Energie BfE, Bundesamt für Umwelt BAFU, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB., «Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude – Machbarkeitsstudie», Uster 2013, S.151-154

A.16. Wohnliegenschaft F (Wohnen / Neubau)

- **Bauherrschaft:** Baugenossenschaft Zurlinden, Zürich
- **Architektur:** pool Architekten, Zürich
- **Gebäudetechnik:** Amstein + Walther AG, Zürich
- **SIA-Effizienzpfad / Berechnungen:** Architekturbüro Preisig Pfäffli, Zürich
- **Bauzeit:** 2008 bis 2010
- **Systemgrenze:** gerechnet sind nur die Wohngeschosse und das 2. Untergeschoss



Abb. A. 28 Ansicht strassenseitig

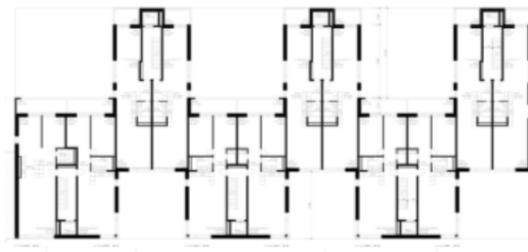


Abb. A. 29 Grundriss Regelgeschoss

Über einem Sockelgeschoss erheben sich sechs aneinander gereihte Häuser mit über 50 Wohnungen. Sie zeichnen sich durch langgezogene Grundrisse aus mit einer Fassade zur stark befahrenen Badenerstrasse und einer Fassade gegen den Hardaupark. Aus lärmschutztechnischen Gründen wurden die Häuser gegen einander verschoben. Die dadurch entstehenden Hofsituationen ermöglichen ein strassenseitiges ‚lärmgeschütztes‘ Lüften. Zudem erhält jede Wohnung eine dritte Fassade, was eine vielseitige Belichtung ergibt.

Die Gebäudekonzeption führt zu wenig kompakten Baukörpern. Um den Mehraufwand durch die Gebäudeform zu kompensieren, wurden die 6-geschossigen Wohnbauten in Leichtbauweise erstellt, die Treppenhäuser aus brandschutztechnischen Gründen in Beton. Gewählt wurde eine innovative Massivholzkonstruktion für die Aussenwand mit einer äusseren Bekleidung in Glasfaserbetonelementen.

Beheizt wird das Gebäude mit einer Grundwasser-Wärmepumpe. Ein Grossteil des Wärmebedarfs für das Warmwasser kann über die Abwärme der Kühlräume des Grossverteilers im Erdgeschoss bezogen werden. Auf den obersten Dächern ist eine Photovoltaik-Anlage installiert. Alle Geräte und die allgemeine Beleuchtung erfüllen die Anforderung der besten Effizienzklasse.

Die Lage des Gebäudes am Albisriederplatz ist zentral und ausserordentlich gut mit dem öffentlichen Verkehr erschlossen. In der Mietergarage wurde die minimale, der gültigen Parkplatzverordnung entsprechende Parkplatzzahl, erstellt.

Kennzahlen und Betrieb

Tab. A. 62 Kennzahlen der Wohnsiedlung F

Parameter	Einheit	Menge	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	8'433		
Energiebezugsfläche	m ²	6'657		
Energiebedarf Raumwärme Q _{h,eff}	kWh/m ² a	15	Grundwasser-Wärmepumpe	Deckungsgrad: 100% Arbeitszahl 4.1
Energiebedarf Warmwasser Q _{ww}	kWh/m ² a	14	Grundwasser-Wärmepumpe dir. Abwärmenutzung	Deckungsgrad: 33% Arbeitszahl 2.2 Deckungsgrad: 67%
Energiebedarf Lüftung	kWh/m ² a	1.5	Strom aus PV-Anlage	Deckungsgrad: 100%
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebs-einrichtungen	kWh/m ² a	14	Strom	Deckungsgrad: 100%

* Umrechnung Professur Gigon/Guyer MJ in kWh

Erstellung und Materialisierung

Tab. A. 63 Kennzahlen Erstellung der Wohnsiedlung F

EKG-Nummer	Bezeichnung	Ausmass	Materialisierung
D0	Baugrubenaushub	8600 m ³	-
D1	Hinterfüllungen	-	-
D2	Fundamentplatte	1960 m ²	Betonplatte 6 Geschosse, wasserdicht, ungedämmt
E0	Decken	5240 m ² 1120 m ²	Hohlkastendecken in Holz mit Kies als Schüttung Betondecke CEM II 300 kg/m ³ , 90 kg/m ³ Bewehrung
E1	Dächer	640 m ² 1320 m ²	Dach unter Terrain, Betondecke, ungedämmt Brettstapeldecke, 26cm Dämmung, Dachabdichtung
E2	Stützen	-	-
E3	Aussenwände UG	668 m ²	Betonwand 25cm, Bitumenanstrich und Sickerplatte
E4	Aussenwände OG	2310 m ² 910 m ²	Massivholzwand, gedämmt, Glasfaserbeton hinterlüftet Betonwand 20cm, gedämmt, Glasfaserbeton hinterlüftet
E5	Fenster + Aussentüren Balkone	1103 m ² 200 m ¹	3-IV Verglasung, Holz-Metallrahmen, Lamellenstoren Holzbalkone, bis 2m Auskragung
E6	Innenwände tragend	1000 m ² 657 m ²	Betonwand 20cm tragend Wohnungstrennwände Massivholz zweischalig
M1	Trennwände / Innentüren	2000 m ²	Gipsständerwände 50 dB
M3	Bodenbeläge	297 m ² 6320 m ²	Unterlagsboden mit Trittschall / Keramikplatten Unterlagsboden mit Trittschall / Parkett
M4	Wandbekleidung	3000 m ²	Wandputz auf Beton
M5	Deckenbekleidung	6360 m ² 1320 m ²	Abgehängte Gipsdecken (Brandschutz) Dämmung gegen unbeheizt
I	Haustechnik	6657 m ² 90 m ²	Elektro / Sanitär / Wärmepumpe Grundwasser / Fussbodenheizung / Einzelraumlüftung PV- Anlage auf Dächern

Induzierte Mobilität

Tab. A. 64 Kennzahlen der Wohnsiedlung F

Wohnen	Korrekturfaktor	Weitere Informationen
Siedlungstyp	1.0	Kernstadt
öV- Güteklasse	5.0	Güteklasse A
Luftliniendistanz Einkauf in km	0.0	Migros im Gebäude
Verfügbarkeit Autoparkplatz	0.6	Parkplätze pro Haushalt
Personenwagenverfügbarkeit	0.36	358 PW pro 1000 Einwohner (Stadt Zürich)
Verfügbarkeit Dauerabos öV	0.25	(CH-Durchschnitt)

Umweltbelastungen

Tab. A. 65 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung der Wohnsiedlung F, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Indikator Einheit	Gesamtumweltbelastung UBP/m ² a			Primärenergiebedarf nicht erneuerbar kWh/m ² a			Treibhausgasemissionen kg CO ₂ /m ² a					
	Total amortisiert	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
Gebäudeerstellung												
D0 Baugrubenaushub	243	14'607	12'493	2'114	1.0	61.3	51.4	9.9	0.21	12.52	11.23	1.29
D1 Hinterfüllungen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D2 Fundamentplatte	960	57'593	53'726	3'868	1.7	100.9	85.4	15.6	0.58	34.90	32.02	2.88
E0 Decken	1'260	75'582	45'878	29'704	2.1	123.7	113.4	10.3	0.52	31.17	26.04	5.13
E1 Dächer	1'118	67'060	37'033	20'488	3.1	182.5	112.3	57.3	0.75	45.05	24.07	11.31
E2 Stützen	38	2'290	2'216	74	0.1	3.6	3.3	0.2	0.01	0.85	0.81	0.04
E3 Aussenwände UG	296	17'765	12'953	4'182	0.6	34.8	27.5	3.4	0.21	12.46	8.45	3.46
E4 Aussenwände OG	1'013	60'786	40'411	10'286	2.2	131.6	96.8	28.3	0.54	32.22	24.37	6.44
E5 Fenster+Aussentüren Balkone	1'297	77'828	38'658	8'144	4.0	238.8	126.4	109.7	0.99	59.19	29.83	3.33
E6 Innenwände tragend	354	21'223	19'378	1'845	0.8	47.7	43.7	3.9	0.21	12.85	12.02	0.83
M1 Trennwände/Innentüren	423	25'399	12'516	368	0.8	46.1	22.3	22.3	0.16	9.46	4.60	5.68
M3 Bodenbeläge	2'191	131'481	32'298	66'885	5.6	335.8	157.6	20.7	1.23	73.91	28.74	16.43
M4 Wandbekleidung	333	19'958	12'460	3'405	0.8	47.1	35.8	9.1	0.28	16.72	10.64	5.24
M5 Deckenbekleidung	410	24'604	9'992	4'620	1.4	86.8	41.2	4.4	0.33	19.55	8.67	2.21
I Haustechnik	3'246	194'749	90'779	12'102	6.1	362.8	178.1	180.5	1.41	84.37	33.10	17.64
Summe Gebäude	13'182	790'925	420'791	168'774	30.1	1'803.4	1'095.1	609.9	7.42	445.23	254.58	123.58
Betrieb												
Raumwärme	1'618	97'079			9.4	566.7			0.53	32.01		
Warmwasser	948	56'893			5.6	333.3			0.31	18.76		
Elektrizität	751	45'084			4.4	263.3			0.25	15.00		
übrige Betriebsenergie	5'405	324'324			31.6	1'896.7			1.78	106.80		
Summe Betrieb	8723	523381			51.0	3'060.0			2.88	172.56		
Induzierte Mobilität												
Total Mobilität			6'238	374'280	26.4	1'583.3			4.80	288.00		
Gesamt-total induzierte Mobilität					107.4							15.10
Zielwert					122.2							16.50

* Umrechnung Professor Gigon/Guyer MJ in kWh

Franziska Wyss (treeze Ltd.), Rolf Frischknecht (treeze Ltd.), Katrin Pfäffli (Architekturbüro Preisig Pfäffli), Viola John (Professur für Nachhaltiges Bauen, ETH Zürich), im Auftrag von: Bundesamt für Energie BfE, Bundesamt für Umwelt BAFU, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB., «Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude – Machbarkeitsstudie», Uster 2013, S.143-147

A.14. Wohnliegenschaft D (Wohnen / Umbau)

- **Bauherrschaft:** Baugenossenschaft Zurlinden, Zürich
- **Architektur:** Harder Haas Partner AG, Eglisau
- **Gebäudetechnik:** RMB Engineering AG, Zürich
- **SIA-Effizienzpfad / Berechnungen:** Architekturbüro Preisig Pfäffli, Zürich
- **Bauzeit:** Sanierung 2011/12 (Baujahr 1978)



Abb. A. 24 Bild vor Umbau



Abb. A. 25 Bild nach Umbau

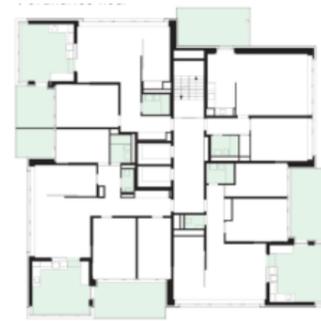


Abb. A. 26 Grundriss Regelgeschoss neu

Die beiden Wohnhochhäuser mit Baujahr 1978 sind baulich in gutem Zustand. Die Wohnliegenschaft D weist auf 18 Geschossen attraktive Wohnungen auf. Die Energiekosten waren aber übermässig hoch. Die Fenster in Metall waren undicht und genügen den heutigen Anforderungen nicht mehr. Die Gebäudehülle wurde total saniert. An den Eckpunkten des Gebäudes wurden neue Wohnküchen angebaut und der Wohnraum erweitert.

Die primäre Tragstruktur bleibt erhalten. Durch die Andockung der Küchenelemente an den Eckpunkten des Grundrisses wird das Gebäude noch kompakter. Die gesamte Gebäudehülle wird neu aussen gedämmt. Die Fassaden werden mit hinterlüfteten Photovoltaikpanelen bekleidet. Dreifach verglaste Holz-Metall-Fenster ersetzen die alten Metall-Fenster.

Durch die Dämmung der Gebäudehülle, die neuen Fenster und die Eliminierung diverser Wärmebrücken kann der Heizwärmebedarf um Faktor 6 gesenkt werden. Die bestehende Gasheizung wird durch eine Pelletsheizung ersetzt, die Wärmeverteilung bleibt bestehen. Die Photovoltaikmodule an den Fassaden bringen einen Ertrag von jährlich rund 42'000 kWh.

Die Lage des Hochhauses gehört zwar zur Kernstadt Zürich, ist aber mit dem öV nur mässig gut erschlossen (öV-Güteklasse D). In der bestehenden Tiefgarage sind 70 Parkplätze für das Gebäude reserviert. Es sind keine speziellen Massnahmen im Bereich Mobilität vorgesehen.

Kennzahlen und Betrieb

Tab. A. 54 Kennzahlen des Wohnliegenschaft D

Parameter	Einheit	Menge	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	9'000		
Energiebezugsfläche	m ²	8'434		
Energiebedarf Raumwärme Q _{h,eff}	kWh/m ² a	16.7	Pellets	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad 0.75
Energiebedarf Warmwasser Q _{ww}	kWh/m ² a	13.9	Pellets	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad 0.5
Energiebedarf Lüftung	kWh/m ² a	2.8	Strom	Deckungsgrad: 100%
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	kWh/m ² a	12.5	Strom aus PV-Anlage Strom	Deckungsgrad: 40% Deckungsgrad: 60%

* Umrechnung Professur Gigon/Guyer MJ in kWh

Erstellung und Materialisierung

Tab. A. 55 Kennzahlen Erstellung der Wohnliegenschaft D

EKG-Nummer	Bezeichnung	Ausmass	Materialisierung
D0	Baugrubenaushub	39 m ²	-
D1	Hinterfüllungen	-	-
D2	Fundamentplatte	39 m ²	Betonplatte Flachfundation an Eckpunkten
E0	Decken	1224 m ²	Betondecke CEM II 300 kg/m ³ , 90 kg/m ³ Bewehrung
E1	Dächer	42 m ² 440 m ²	Betondecke, 24cm Dämmung, Dachabdichtung nur Aufbau: 24cm Dämmung, Dachabdichtung
E2	Stützen	-	-
E3	Aussenwände UG	-	-
E4	Aussenwände EG/OG	1064 m ² 4150 m ²	Betonwand, 24cm gedämmt, hinterl. PV-Elemente / Blech nur Aufbau: 24cm gedämmt, hinterl. PV-Elemente / Blech Brandabschottung: geschossweise in verzinktem Stahl
E5	Fenster + Aussentüren Balkone	1837 m ² 701 m ¹	3-IV Verglasung, Holz-Metallrahmen, Lamellenstoren Betonkragplatte, bis 1.6 m Auskrägung
E6	Innenwände tragend	-	-
M1	Trennwände / Innentüren	144 m ²	Backsteinfüllungen 12.5 cm
M3	Bodenbeläge	1263 m ² 160 m ²	Unterlagsboden mit Trittschall / Elastischer Bodenbelag Unterlagsboden mit Trittschall / Parkett (Ergänzungen)
M4	Wandbekleidung	3110 m ²	Wandputz auf Beton
M5	Deckenbekleidung	1263 m ²	Deckenputz auf Beton
I	Haustechnik	8434 m ² (113 kWp)	Elektro / Sanitär ohne Verteilung / Pelletheizung / Verteilung nur auf 1000m ² über Radiatoren / Lüftungsanlage PV-Anlage an Fassade bei Aussenwänden eingerechnet)

Induzierte Mobilität

Tab. A. 56 Kennzahlen der Wohnliegenschaft D

Wohnen	Korrekturfaktor	Weitere Informationen
Siedlungstyp	1.0	Kernstadt
öV- Güteklasse	2.0	Güteklasse D (geringe Erschliessung)
Luftliniendistanz Einkauf in km	0.1	
Verfügbarkeit Autoparkplatz	1.0	Parkplätze pro Haushalt
Personenwagenverfügbarkeit	0.36	358 PW pro 1000 Einwohner (Stadt Zürich)
Verfügbarkeit Dauerabos öV	0.25	CH-Durchschnitt

Umweltbelastungen

Tab. A. 57 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtweltbelastung der Wohnliegenschaft D, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Indikator Einheit	Gesamtweltbelastung				Primärenergiebedarf nicht erneuerbar				Treibhausgasemissionen						
	UBP/m ² a	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	kWh/m ²	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	kg CO ₂ /m ² a	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
D0 Baugrubenaushub	1	52	45	-	8	0.0	0.2	0.2	-	0.03	0.00	0.04	0.04	-	0.00
D1 Hinterfüllungen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D2 Fundamentplatte	17	1'050	982	-	68	0.03	1.8	1.6	-	0.3	0.01	0.62	0.57	-	0.05
E0 Decken	261	15'667	14'231	-	1'436	0.5	27.8	23.6	-	4.2	0.17	10.13	9.30	-	0.83
E1 Dächer	227	13'648	5'786	5'298	2'564	0.6	33.7	16.4	15.6	1.7	0.16	9.87	3.38	3.06	3.44
E2 Stützen	24	1'446	1'399	-	47	0.03	2.3	2.1	-	0.1	0.01	0.54	0.51	-	0.03
E3 Aussenwände UG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4 Aussenwände OG	3'490	209'425	138'971	62'134	8'319	9.6	577.5	389.6	182.4	5.5	2.61	156.59	100.57	45.66	10.36
E5 Fenster+Aussentüren Balkone	2'519	151'141	70'651	70'651	9'839	6.8	408.3	199.1	199.1	10.1	1.77	106.13	50.54	50.54	5.05
E6 Innenwände tragend	7	423	385	-	38	0.03	1.8	1.6	-	0.2	0.01	0.59	0.56	-	0.03
M1 Trennwände/ Innentüren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3 Bodenbeläge	204	12'222	4'000	4'000	4'223	0.6	33.5	15.4	15.4	2.6	0.17	10.46	3.72	3.72	3.02
M4 Wandbekleidung	101	6'078	2'786	2'786	506	0.3	15.9	7.5	7.5	0.9	0.15	9.09	4.28	4.28	0.52
M5 Deckenbekleidung	43	2'558	1'176	1'176	207	0.1	6.8	3.2	3.2	0.4	0.06	3.79	1.79	1.79	0.21
I Haustechnik	2'721	163'250	76'437	79'697	7'116	4.3	254.2	121.6	128.8	3.8	0.96	57.57	23.04	24.61	9.92
Summe Gebäude	9'616	576'959	316'847	225'740	34'372	22.7	1'363.7	781.8	552.0	29.9	6.09	365.42	198.29	133.66	33.47
Raumwärme	2'222	133'340				4.7	279.9				0.82	49.01			
Warmwasser	2'778	166'675				5.8	349.8				1.02	61.26			
Elektrizität	1'502	90'120				8.8	526.7				0.50	30.00			
übrige Betriebsenergie	2'067	315'420				16.5	1'845.0				0.68	103.80			
Summe Betrieb	8'569	705'555				35.8	3'001.3				3.02	244.07			
Total Mobilität		6553		393180		28.9	1'733.3				5.00	300.00			
Gesamttotal				24'738		87.4									14.11
Zielwert						5.23.2									15.50

* Umrechnung Professor Gigon/Guyer MJ in kWh

Laura Tschümperlin (treeze Ltd.), Rolf Frischknecht (treeze Ltd.), Katrin Pfäffli (Architekturbüro Preisig Pfäffli), Marc Schultheiss (Sustainable System Solutions GmbH), Kevin Knecht (edelmann energie), im Auftrag von: Bundesamt für Energie BfE, Bundesamt für Umwelt BAFU, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB, «Ergänzungsarbeiten mit Fokus auf den Einfluss der Technisierung auf die Umweltbelastung von Büro- und Wohnbauten», Uster 2016, S.43-51

A.2. 2226, Lustenau (Büro / Neubau)

- **Bauherrschaft:** Baumschlager Eberle, Lustenau
- **Architektur:** Baumschlager Eberle, Lustenau
- **Energietechnik:** Tau GmbH, Lustenau
- **SIA-Effizienzpfad / Berechnungen:** Preisig Pfäffli/K. Pfäffli, Zürich
- **Bauzeit:** 2013



Abb. A. 3: Bürogebäude 2226

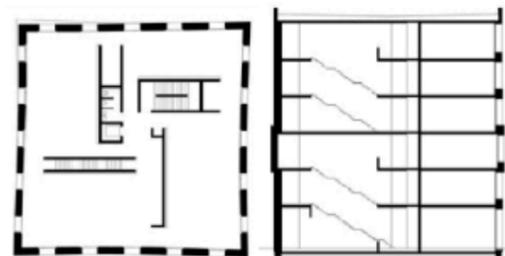


Abb. A. 4: Grundriss Regelgeschoss und Schnitt

Der Büroneubau in Lustenau gilt als Vorzeigebau für ein Low-Tech-Gebäude. Der Neubau besticht durch eine ausserordentlich hohe Kompaktheit: Das Volumen entspricht einem Würfel mit der Seitenlänge von knapp 24 m, im Innern stapeln sich sechs Stockwerke, auf ein Untergeschoss wird verzichtet. Im Grundriss umschliessen die massiven tragenden Aussenwände eine offene Abfolge von Raumeinheiten, welche nur durch frei gesetzte Kernelemente für Treppen, Lift und Nebenräume gegliedert werden. Das überhohe Erdgeschoss beherbergt ein Restaurant und eine Galerie, die oberen fünf Bürogeschosse erinnern mit einer lichten Raumhöhe von fast 3.4 m an traditionelle Gründerzeithäuser.

Die Gebäudevolumetrie, -konzeption und Materialisierung ermöglicht ein Klimakonzept mit stark reduzierter Gebäudetechnik. Es gibt keine Heizung, keine Kühlung und keine mechanische Lüftungsanlage. Und das braucht es auch nicht, denn: die Kombination der kompakten Gebäudeform, das grosse Luftvolumen, die 76 cm dicken Aussenwände aus Mauerwerk und die Betondecken mit ihrem Speichervermögen, die massvolle Befensterung mit innenbündig gesetzten, weitgehend verschatteten Fenstern folgen allen Regeln der Kunst und verhindern eine Auskühlung im Winter genauso wie eine Überhitzung im Sommer.

Das Gebäude ist ein klassischer Massivbau. Vorgespannte Betonfertigdecken mit Aufbeton und Aussenwände mit 76 cm dicken Verbundmauerwerk bilden die Primärstruktur. Das Verbundmauerwerk besteht aus Hohllochsteinen, wobei die äusseren Steine auf die Dämmwirkung optimiert sind und die inneren Steine die Traglast übernehmen. Die Fassaden sind aussen- wie innenseitig mit geschlammtem Kalkputz versehen. Bei den Bodenaufbauten kommt ein Doppelboden zur Anwendung, bei dem auf einer Holzschalung die Trittschalldämmung und ein Anhydrit-Unterlagsboden eingesetzt wird. Beheizt wird das Gebäude ausschliesslich durch die internen Lasten aus den Geräten und der Beleuchtung in Kombination mit der Wärmeabgabe der Menschen (ein Mensch ist eine Wärmequelle von immerhin 80 W). Damit entfällt nicht nur die Wärmeerzeugung, sondern auch die Wärmeverteilung, sowie natürlich die Wartung und der Unterhalt der Anlagen. Auch die Lüftung ist reduziert: Schmale Lüftungsflügel neben den Fenstern öffnen sich sensorgesteuert beispielsweise bei zu hohem CO₂-Gehalt der Innenraumluft oder für eine Nachtauskühlung im Sommer. Eine Eigenproduktion von Strom oder Wärme gibt es im Gebäude in Lustenau nicht. Der Warmwasserbedarf wird mittels eines Elektroboilers gedeckt.

Das Gebäude ist seit bald zwei Jahren in Betrieb und es scheint, dass das Konzept funktioniert: Die Temperatur im Gebäude wird im Komfortbereich von 22 – 26 °C gehalten, welche dem Gebäude auch seinen Namen – 2226 – geben.

Das Bürogebäude liegt im Milleniumpark, einem Gewerbegebiet neben der Kernzone der Vorarlberger Gemeinde Lustenau in direkter Nachbarschaft zur Schweiz.



Abb. A. 5: Rohbau mit Wienerberger Mauersteinen



Abb. A. 6: Lüftungsflügel bei raumhohen Fenstern, Kalkputz

Systemgrenzen / Abgrenzung für die Berechnung

Die Berechnung geht von folgenden Annahmen aus, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Bürogebäuden zu gewährleisten:

- Das ganze Gebäude wird der Gebäudekategorie Büro zugerechnet. Die Erdgeschossnutzung mit Ausstellung und Cafeteria wird nicht berücksichtigt.
- Das Gebäude steht in morastigem Grund und musste unterpfählt werden. Die Pfähle sind im Bereich Erstellung nicht eingerechnet. Es wird von einer normalen Foundation ausgegangen.⁴
- Im Bereich Betrieb werden für die Geräte die Default-Werte gemäss SIA 2040 eingesetzt. Bei der Beleuchtung wird der Default-Wert um 50% erhöht, weil die Beleuchtung bei anhaltenden Kälteperioden als Wärmelieferant zugezogen wird.

In einer Sensitivitätsrechnung wird als Variante die effektive Nutzung mit Ausstellungsfläche und Cafeteria eingesetzt und der effektiv gemessene Stromverbrauch der letzten zwei Jahre berücksichtigt.

Kennzahlen und Betrieb

Tab. A. 6: Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau

Parameter	Einheit	Menge	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	3'201		
Energiebezugsfläche	m ²	3'201		Kein Untergeschoss
Max. Spitzenheizleistung	W/m ²	8*	Abwärme von Mensch und Geräten	Deckungsgrad: 100%
Energiebedarf Raumwärme Q _{heff}	kWh/m ² a	0	Kein Heizsystem	Bei langen Kälteperioden wird die Beleuchtung zur Haltung der Raumtemperatur aktiviert
Energiebedarf Warmwasser Q _{ww}	kWh/m ² a	2	Strom (Elektro-Wasssererwärmer)	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad: 0.85
Energiebedarf Lüftung	kWh/m ² a	1	Strom	Lüftungsflügel über Sensoren gesteuert
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	kWh/m ² a	20	Strom	Deckungsgrad: 100%

* Spitzenleistung bei -6°C Aussentemperatur und 22°C Raumtemperatur

* Umrechnung Professur Gigon/Guyer MJ in kWh

⁴ Die Datengrundlage zur Pfahlfundation im Projekt 2226 ist nicht ausreichend für eine fundierte Berechnung. Um den Stellenwert grob abzuschätzen, wurde in einer Sensitivitätsrechnung von rund 100 vorgefertigten, 24m langen, armierten Betonpfählen ausgegangen. Im Vergleich zur Flachfundation erhöht sich bei diesen (ungesicherten) Annahmen zur Pfählung das Resultat im Bereich Erstellung je nach Indikator um 4-6%.

Erstellung und Materialisierung

Tab. A. 7: Kennzahlen Erstellung des Bürogebäudes 2226, Lustenau

EKG-Nummer	Bezeichnung	Ausmass	Materialisierung
D0	Baugrubenaushub	532 m ³	-
D1	Hinterfüllungen	-	-
D2	Fundamentplatte	532 m ²	Bodenplatte für 6 Geschosse, wasserdicht, gedämmt
E0	Decken	2135 m ²	Betondecke CEM II 300 kg/m ³ , 112.5 kg/m ³ Bewehrung mit Überbeton
E1	Dächer	532 m ²	Betondecke, Foliendach, 30 – 40 cm XPS, Kies
E2	Stützen	0 Stk	-
E3	Aussenwände UG	0 m ²	-
E4	Aussenwände EG/OG	1740 m ² 1815 m ²	Verbundmauerwerk 76 cm, innen druckfest, aussen dämmend mit erhöhtem Luftkammeranteil. Gelöschter Kalkputz aussen
E5	Fenster Lüftungsflügel / Türen	371 m ² 120 m ²	3-IV Verglasung, Holzrahmen Lüftungsflügel und Türen in Holz mit Kerndämmung
E6	Innenwände tragend	4053 m ²	Mauerwerk 20 cm - 25cm
M1	Trennwände / Innentüren	0 m ²	-
M3	Bodenbeläge	2481 m ²	Doppelboden auf Lattung und Holzschalung: Trittschalldämmung und Anhydrit-Unterlagsboden
M4	Wandbekleidung	9650 m ²	Wandputz mineralisch auf Mauerwerk
M5	Deckenbekleidung	2481 m ²	Deckenputz mineralisch auf Beton
I	Haustechnik	3201 m ²	Elektro / Sanitär

Induzierte Mobilität

Tab. A. 8: Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau

Parameter	Kommentar	2226, Lustenau
Bauzone	1=Arbeitszone; 0=keine Arbeitszone	0.26 (CH-Durchschnitt)
ÖV-Güteklasse am Gebäudestandort	1= ÖV-Güteklasse A; 0= ÖV-Güteklasse B - E	0
Verfügbarkeit eines Autoparkplatzes am Arbeitsort	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Parkplätze	0.39 (34 Parkplätze)
Verfügbarkeit von Veloabstellplätzen am Arbeitsort	1=verfügbar, 0=nicht verfügbar	1
Verfügbarkeit von Dauerabos für den öffentlichen Verkehr	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Dauerabos	0.22 (CH-Durchschnitt)

Umweltbelastungen

Tab. A. 9: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes 2226 in Lustenau, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Indikator Einheit	Gesamtumweltbelastung				Primärenergiebedarf nicht erneuerbar kWh/m ² a				Treibhausgasemissionen kg CO ₂ /m ²				
	UBP/m ² a	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
D0 Baugrubenaushub	31	1879	1807	-	272	0.1	7.9	6.6	1.3	0.03	1.61	1.44	0.17
D1 Hinterfüllungen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D2 Fundamentplatte	610	36628	33392	-	3236	1.5	89.8	80.0	9.7	0.44	26.40	23.35	3.05
E0 Decken	1823	97390	89864	-	7725	2.8	169.2	145.3	27.8	0.98	58.83	54.18	4.65
E1 Dächer	819	49133	29457	7116	12560	2.5	150.3	88.3	9.9	0.76	45.77	21.34	16.58
E2 Stützen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E3 Aussenwände UG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4 Aussenwände EG/OG	1099	65929	57917	2142	5870	4.3	260.6	232.1	5.8	1.54	92.34	84.57	4.47
E5 Fenster/Lüftungsflügel/Türen	533	31983	13924	13924	4135	1.6	92.6	45.6	1.4	0.38	22.62	10.66	1.30
E6 Innenwände tragend	1016	60961	55492	-	5469	4.2	250.7	228.2	22.5	1.41	84.70	80.69	4.01
M1 Trennwände/Innentüren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3 Bodenbeläge	1086	65167	32584	32584	-	4.5	270.3	135.2	135.2	0.78	46.95	23.47	23.47
M4 Wandbekleidung	828	49679	22770	22770	4138	2.2	129.8	61.2	61.2	1.24	74.27	35.02	4.23
M5 Deckenbekleidung	221	13241	6084	6084	1073	0.6	35.3	16.7	2.0	0.33	19.61	9.26	9.26
I Haustechnik	3583	215000	102700	102700	10800	3.8	228.0	111.8	4.3	0.86	51.61	17.92	15.77
Summe Gebäude	11'450	686'991	444'992	186'720	55'278	28.1	1'684.6	1'151.1	428.3	8.75	524.71	361.91	107.47
Raumwärme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Warmwasser	1'060	63'600	-	-	-	6.2	372.0	-	-	0.35	21.00	-	-
Lüftung	451	27'060	-	-	-	2.6	158.1	-	-	0.15	9.00	-	-
Übrige Betriebsenergie	9'137	548'220	-	-	-	53.4	3'205.9	-	-	3.01	180.60	-	-
Summe Betrieb	10'648	638'880	-	-	-	62.3	3'735.9	-	-	3.51	210.60	-	-
gebäudeinduzierte Mobilität	Total Mobilität	857'335	60.1	3'608.1	11.62	697.30	23.88	25.50	150.5	183.3	36'387	23.88	25.50

* Umrechnung Professor Gigon/Guyer MJ in kWh

Sensitivitätsrechnung: Berechnung mit gemischter Nutzung und effektiven Messwerten für den Stromverbrauch

In der Grundvariante wird das ganze Gebäude 2226 der Gebäudekategorie Büro zugewiesen, um eine Vergleichbarkeit der Resultate mit anderen Bürogebäuden zu erreichen. Zudem wird für den Strombedarf der Geräte auf die Default-Werte gemäss SIA 2040 zurückgegriffen. Nur so ist eine Vergleichbarkeit mit den Zielwerten des SIA und den anderen untersuchten Bürogebäuden gegeben.

Effektiv wird das Gebäude aber nur in den Obergeschossen als Bürogebäude genutzt, im Erdgeschoss befinden sich eine Cafeteria und Ausstellungsflächen. Der Stromverbrauch, insbesondere in der Cafeteria, ist aufgrund der Nutzung deutlich höher als in den Bürogeschossen (betrifft vor allem den Warmwasserbedarf und die Geräte).

Für das Gebäude liegen Messwerte für den Stromverbrauch der Jahre 2014 und 2015 vor. Diese liegen sehr deutlich über den Default-Werten gemäss SIA 2040. Der effektive Stromverbrauch liegt mit knapp 40 kWh/m² in einem durchaus vertretbaren Bereich. Es ist davon auszugehen, dass der höhere Stromverbrauch nicht auf einen uneffizienten Gebäudebetrieb zurückzuführen ist, sondern die Default-Werte in SIA 2040 (Planungswerte für die Vorprojektphase) zu tief angesetzt waren. Diese Vermutung bestätigt sich mit Blick auf die Default-Werte für Bürobauten in der zurzeit in Revision stehenden SIA 2040: Die Werte für Bürobauten werden neu fast doppelt so hoch angesetzt wie bisher (Default-Wert Geräte neu abgeleitet aus Grenzwert SIA 2024 statt aus Zielwert).

In folgender Sensitivitätsrechnung wird der Vollständigkeit halber das Gebäude 2226 mit den effektiven Nutzungen und mit dem effektiv gemessenen Stromverbrauch berechnet. Die Zuteilung des Stromverbrauchs auf die einzelnen Verwendungszwecke und die beiden Nutzungen Büro und Cafeteria ist dabei angenommen. Im Bereich Erstellung und Mobilität verändert sich nichts, im Bereich Betrieb erhöht sich der Elektrizitätsbedarf deutlich.

Umweltbelastung bei gemischter Nutzung und effektivem Stromverbrauch

Tab. A. 11: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes 2226, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Indikator	Einheit	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie n. erne	Treibhausgasemission
		UBP/m ² a	kWh/m ² a	kg CO ₂ /m ² a
EKG-Nummer		Total amortisiert	Total amortisiert	Total amortisiert
Erstellung	Summe Gebäude	11'450	28.1	8.75
Betrieb	Raumwärme	-	-	-
	Warmwasser	2'503	14.7	0.83
	Lüftung	501	3.1	0.17
	Übrige Betriebsenergie	15'646	77.5	5.16
	Summe Betrieb	18'650	95.3	6.15
gebäudeinduzierte	Total Mobilität	14'289	60.1	11.62
Gesamt-total	Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität	44'388	183.5	26.52
Zielwert	keine Zielwerte in SIA 2040			

* Umrechnung Professur Gigon/Guyer MJ in kWh

Kennzahlen und Betrieb bei gemischter Nutzung und effektivem Stromverbrauch

Tab. A. 10: Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau inkl. Cafeteria

Parameter	Einheit	Büro	Cafeteria	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	3'051	150		
Energiebezugsfläche	m ²	3'051	150		Kein Untergeschoss
Max. Spitzenheizleistung	W/m ²	8*		Abwärme von Mensch und Geräten	Deckungsgrad: 100%
Wärmebedarf Warmwasser Q _{ww}	kWh/m ² a	2	59	Strom (Elektro-Wassererwärmer)	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad: 0.85
Energiebedarf Lüftung	kWh/m ² a	1	3	Strom	Lüftungsflügel über Sensoren, Küche Abluft
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	kWh/m ² a	33	74	Strom	Deckungsgrad: 100%

* Spitzenleistung bei -6°C Aussentemperatur und 22°C Raumtemperatur

* Umrechnung Professur Gigon/Guyer MJ in kWh



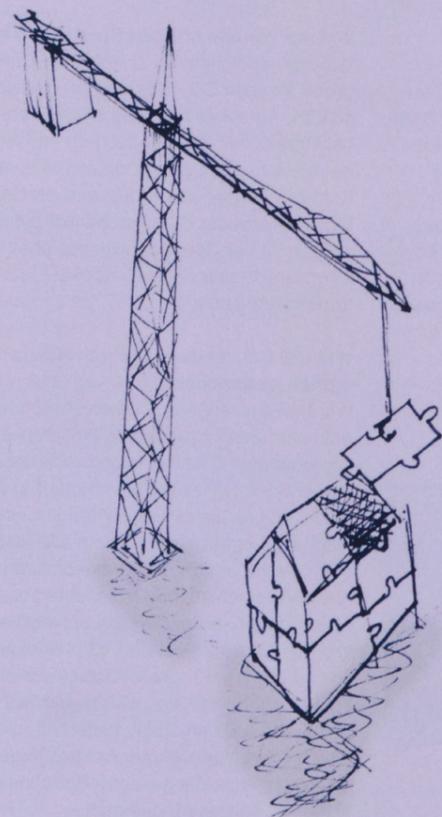
baubüro in situ, Gewerbehäus K 118, Winterthur, 2021

ANHANG 1 ALTERNATIVE VORGEHENSWEISEN

Anders Lendager zählt zu den radikalsten Pionieren des kreislauffähigen Bauens. Im Interview erklärt er, was Architekten zu einem Ende der Wegwerfgesellschaft beitragen können. Anders Lendager is one of the most radical pioneers of circular construction. In this interview, he explains how architects can help end the throwaway society.

Wer betreibt die urbanen Minen der Zukunft? Who Will Run the Urban Mines of the Future?

Interview: Jakob Schoof



Sie sind Architekt, betreiben aber auch eine Unternehmensberatung und waren bis vor Kurzem an mehreren Firmen beteiligt, die Bauprodukte herstellen. Wie kam es dazu?

Als Architekt weiß ich, dass Bauherren bei allem, was nachhaltig ist, die Kostenfrage stellen. Und ich habe gesehen, wie wenig sich die etablierten Hersteller für das Recycling von Baumaterialien interessierten. Ich begriff also, dass ich mich darum selbst kümmern musste. Heute beraten wir Unternehmen und Kommunen, die herausfinden wollen, welche Materialien in ihrem Gebäudebestand verbaut sind. Daraus entwickeln sich oft Projekte für mein Architekturbüro – und daraus wiederum eine Nachfrage nach recycelten Bauprodukten. Um den Bedarf zu befriedigen, habe ich lange Zeit eine Entwicklungs- und Produktionsfirma für Recyclingprodukte betrieben, die ich vor Kurzem an Investoren verkauft habe. Aus meiner Sicht ist das ein Meilenstein für das Geschäftsmodell, das wir entwickelt haben.

Kein alltägliches Geschäftsmodell für einen Architekten.

In meinem Fall war es notwendig. Und ich denke, als Architekten können wir es uns auf Dauer nicht leisten, immer nur großartige Entwürfe zu entwickeln und andere das finanzielle Risiko dafür tragen zu lassen.

Mit welchen Kunden arbeiten Sie vorwiegend zusammen? Privaten, öffentlichen, kommerziellen?

Mit allen. Das war vor fünf Jahren noch ganz anders: Wenn Sie damals mit Vertretern der großen dänischen Pensionsfonds sprachen, hörten die sich gern Ihre Ideen an – und sobald Sie gegangen waren, haben sie die Sache abgehakt. Heute arbeiten wir mit den konservativsten Investoren zusammen, die Sie sich vorstellen können – und sie sehen, dass sie Geld verdienen können mit kreislauffähigem Bauen. Es müsste aber noch schneller gehen. Die Verbraucher sind oft viel weiter als die Industrie: Sie wollen nachhaltig leben. Die Nachfrage nach ökologischen Lösungen ist so groß, dass die Baubranche gar nicht mit der Lieferung hinterherkommt.

You are an architect, but you also run a consulting firm and, until recently, have been involved in a number of companies that manufacture building products. How did that come about?

As an architect, I know that clients ask about cost whenever the subject of sustainability comes up and I've seen how little established manufacturers cared about recycling building materials. So I realized that I had to take care of those things myself. Today, we



advise companies and municipalities who want to find out what materials are used in their building stock. This often leads to building projects for my architectural practice – and in turn to a demand for upcycled building products. To satisfy it, until a few weeks ago I ran a development and production company for recycled building products. I have now sold this company to investors, which I think is a milestone for the circular business model that we have established.

Anders Lendager

ist Architekt, Geschäftsführer und Gründer der Lendager Group in Kopenhagen, unter deren Dach er ein Architekturbüro und eine Unternehmensberatung betreibt. Er berät unter anderem die Verein-

ten Nationen zur Umsetzung der Nachhaltigen Entwicklungsziele (Sustainable Development Goals) und lehrt als Gastprofessor an der Universität Aarhus.

is an architect and CEO and founder of the Lendager Group in Copenhagen, which comprises an architectural practice as well as a business consultancy focusing on recycled building materials. Lendager

also advises the United Nations on the implementation of the Sustainable Development Goals and is a visiting professor at Aarhus University.

Sie beraten auch Kommunen und Unternehmen, die wissen wollen, welche Materialien in ihrem Gebäudebestand verbaut sind. Mit welchem Ziel?

Wenn diese Unternehmen bisher ein Gebäude abreißen und das Grundstück neu bebauen wollten, haben sie dem Abbruchunternehmer einen Pauschalpreis bezahlt. Mit unserer Methode können sie jetzt genau herausfinden, wieviel Beton, Glas und Stahl in einem Gebäude stecken, was diese Materialien wert sind und wie sie sich recyceln oder wiederverwenden lassen. Daraus ergibt sich eine viel bessere Verhandlungsbasis bei den Abbruchkosten. Außerdem zeigen wir ihnen, wieviel Geld sie sparen können, wenn sie diese Materialien im Neubau wiederverwenden. Hier wird es für viele Investoren richtig interessant.

Baumaterialien in Bestandsgebäuden sind oft mit Schadstoffen wie Asbest oder PCB belastet, ohne dass man ihnen dies ansieht. Inwieweit ist das ein Problem?

Es gibt mittlerweile ausgereifte Methoden, um die Schadstoffbelastung von Baustoffen noch vor dem Abbruch zu messen. Und selbst wenn sich herausstellt, dass 3 % der Baumasse Schadstoffe enthalten, kann man immer noch 97 % wiederverwenden. Manchmal auch mehr: Wir haben auch schon Betonfertigteilbauten aus den 1970er-Jahren hier in Dänemark untersucht, bei denen die Fertigteile mit PCB belastet waren. Wenn man sie jedoch erhitzt, verflüchtigt sich das PCB. Also haben wir aus einem Container eine Art großen Ofen gebaut und darin die Betonelemente thermisch dekontaminiert.

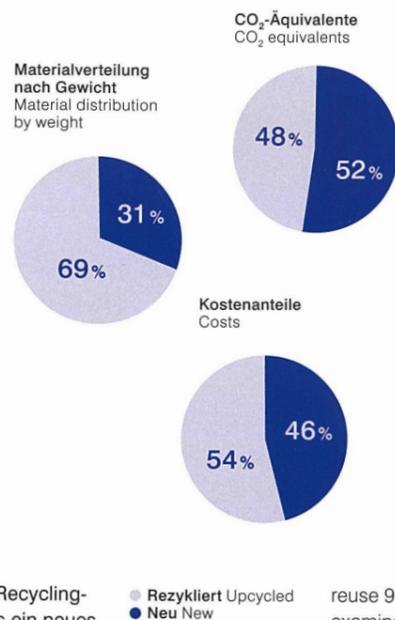
Sie sagen, dass recycelte Baumaterialien nicht mehr kosten müssen und oft sogar günstiger sind als neue. Worauf muss man achten, damit das tatsächlich eintritt?

Es kommt natürlich darauf an, was Sie wiederverwenden. Terrassenbeläge aus Altholz lassen sich zum Beispiel einfacher zu konkurrenzfähigen Kosten herstellen als Recyclingbeton – oder die Ziegelfassaden für unser Projekt Resource Rows in Kopenhagen. Doch in aller Regel ist ein Bauprodukt, das wir aus Recyclingmaterial entwickeln, maximal 10 % teurer als ein neues Vergleichsprodukt. Wenn wir es dann an zwei, drei Bauprojekten verwendet und die Produktionsmenge entsprechend gesteigert haben, wird es oft um 50 bis 70 % günstiger.

Upcycle Studios, Kopenhagen (DK)
Upcycle Studios, Kopenhagen (DK)



Rasmus Hjortshøj



That's not an everyday business model for an architect.

In my case, it was necessary. And I think as architects we can't afford in the long run to always be drawing grand plans and letting others bear the financial risk for them.

What kind of clients do you mainly work with? Private, public, commercial?

All of them. Five years ago it was very different: back then, when you talked to representatives of the big Danish pension funds, they were happy to listen to your ideas – and as soon as you left, they were done with the subject. Nowadays we work with the most conservative investors you can imagine – and they see that they can make money with circular construction. But it should all go much faster. Consumers are often smarter than the industry; they want to live sustainably, and the demand for ecological solutions is so great that the construction industry can't keep up with deliveries.

You also advise local authorities and companies who want to know what materials are used in their building stock. To what end?

Previously, when these companies wanted to demolish a building and rebuild on the property, they paid the demolition contractor a flat rate. With our method, they can now find out exactly how much concrete, glass, and steel are in a building, what these materials are worth, and how they can be recycled or reused. This gave them a much better bargaining chip on demolition costs. We also show how much money they can save by reusing these materials in new construction. This is where things get really interesting for many investors.

Building materials in existing stock are often contaminated with invisible pollutants like asbestos or PCBs. How problematic is that?

There are now sophisticated methods for measuring the pollutant load of building materials even before demolition. Even if it turns out that 3% of the building contains pollutants, you can still reuse 97% of the materials. Here in Denmark we examined buildings from the 1970s whose precast concrete elements are contaminated with PCBs. When heated, the PCB volatilizes. So we built a kind of large oven out of a container in which we thermally decontaminated the concrete elements.

Auch nicht mehr, als wenn Sie mit neuen Materialien bauen. Die Tragfähigkeit von alten Stahl- oder Betonträgern kann man testen, man kann Brandschutzversuche mit wiederverwendeten Materialien durchführen. Ich bin vermutlich der am besten bekannte Architekt bei den dänischen Brandschutzbehörden, weil ich ständig mit den verrücktesten Materialien aufkreuze, die ich testen lassen will!

Auch die Gewährleistung ist kein großes Drama.

Ein gutes Fenster hält durchaus 50 Jahre. Wenn wir also ein Bestandsfenster nach 10, 15 Jahren ausbauen und in ein neues Haus einsetzen, können wir darauf auch fünf Jahre Garantie geben. Wo ist das Problem?

Inwieweit beeinflusst bei Ihrer Art zu arbeiten die Verfügbarkeit von Materialien auch die Entwurfsästhetik?

Das ist eine wichtige Frage, die ich oft diskutiere: Sollen recycelte Materialien in Gebäuden als solche erkennbar sein oder nicht? Wir haben schon beide Strategien bei unseren Projekten angewandt. Wenn man die Materialien sichtbar belässt, können sie ihre Geschichte erzählen. Die Bewohner in den Resource Rows in Kopenhagen wissen zum Beispiel genau, wo die Ziegel in ihrem Gebäude herkommen. Damit entwickeln die Menschen eine viel engere Beziehung zu



Auszüge des Interviews mit Anders Lendager können Sie auch als Podcast anhören. Listen to excerpts of the interview with Anders Lendager in our podcast:

detail.de/6-2021-lendager

Of course, it depends on what you're reusing. For example, decking from reclaimed wood is easier to produce at a competitive cost than recycled concrete or the brick facades for our Resource Rows project in Copenhagen. But as a rule, the building products we develop from recycled material aren't more than 10% more expensive than new comparable products. And after we use them on two or three construction projects and increased their production volume accordingly, they often become 50 to 70% cheaper.

In Europe, you need approval for reused materials. Doesn't that complicate the process?

Not more than if you build with new materials. The load-bearing capacity of old steel or concrete beams can be tested and fire protection tests can be carried out with reused materials. I'm probably the best known architect to the Danish fire authorities because I'm always showing up with the craziest materials to get tested!

The warranty isn't a big drama either. A good window lasts for 50 years. So if we remove an existing window after 10 or 15 years and install it in a new house, we can also give a five-year guarantee on it. Where's the problem?

To what extent does the availability of materials influence your design aesthetic?

ihrem Haus, als das in einem Neubau der Fall wäre. Allerdings funktioniert das nicht immer: Recycelten Glasscheiben oder Recyclingbeton sieht man natürlich nicht ohne weiteres an, dass sie schon einen Lebenszyklus hinter sich haben.

Darüber hinaus gibt es noch einen zweiten Aspekt: Wenn Sie Fenster in einem Gebäude wiederverwenden, muss sich die Fassadengestaltung nach deren Maßen und Proportionen richten. Bei einigen unserer Projekte hat uns die Stadt Kopenhagen daher schon Baugenehmigungen erteilt, ohne genau zu wissen, wie das Ganze am Ende aussehen würde. Dazu gehört natürlich auch Mut seitens der Verwaltung.

Was muss geschehen, damit Ihre Denk- und Arbeitsweise in der Baubranche zur alltäglichen Praxis wird?

Der Impuls wird möglicherweise aus einer ganz unerwarteten Richtung kommen. Mir hat vor einigen Jahren ja auch niemand zugetraut, ins Betonrecycling einzusteigen. Wenn wir die Idee vom kreislauffähigen Bauen vorantreiben wollen, müssen wir Einfluss nehmen auf die Materialien, die in unseren Gebäuden verbaut werden. Mies van der Rohe hat zum Beispiel genau gewusst, welchen Marmor er im Barcelona-Pavillon verwenden wollte. Heute treffen viele Architekten für ihre Gebäude bestenfalls noch eine Farbauswahl. An dieser Stelle müssen wir Kontrolle zurückgewinnen. Wir sollten wieder Baumeister sein, keine Oberflächengestalter.

Das heißt nicht, dass wir selbst in die Baustoffproduktion einsteigen müssen. Aber wir können Allianzen schmieden mit Unternehmen. Das werden nicht immer die Big Player unter den Bauzulieferern sein; kleinere Firmen sind da oft viel besser aufgestellt.

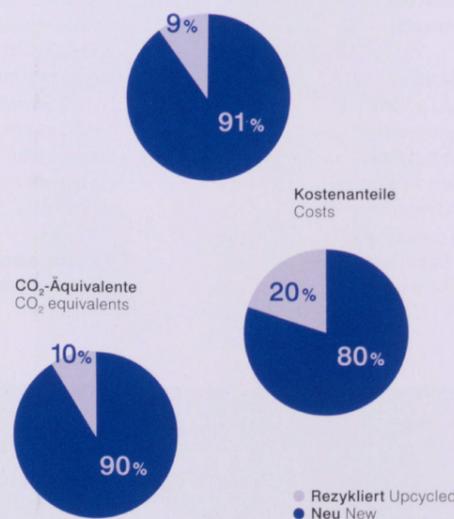
Was muss sich auf politischer Ebene ändern?

Ich habe schon viel Zeit damit verbracht, Ministerien und andere Behörden zu beraten.

Leider geht da meist wenig vorwärts, weil hier in Dänemark alle paar Jahre die Regierung wechselt und man dann wieder bei null beginnt. Mittlerweile denke ich, dass wir nicht mehr auf die Politik warten können, sondern selbst aktiv werden müssen. Meine Projekte habe ich schließlich auch unter den derzeit geltenden Rahmenbedingungen realisiert. Und Sie wissen ja: Wenn Sie mit dem Finger auf andere zeigen, zeigen mindestens drei Finger auf Sie selbst zurück.

Resource Rows, Kopenhagen (DK)
Resource Rows, Kopenhagen (DK)

Materialverteilung nach Gewicht
Material distribution by weight



→
Weitere Informationen zum Projekt Resource Rows More information on the Resource Rows housing project: detail.de/6-2021-resourcerows

That's an important question I often address: Should recycled materials in buildings be recognizable as such? We have already used both strategies in our projects. If the materials are left visible, they can tell their story. The residents at Resource Rows in Copenhagen, for example, know exactly where the bricks for their building come from. This allows them to develop a much closer relationship with their home than they would in a new build. But it doesn't always work that way. With recycled glass panes or recycled concrete, for example, it's not apparent that they were previously used.

That raises another point: if you reuse windows in a building, the facade design must be based on their dimensions and proportions. That's why the City of Copenhagen granted us building permits for some of

our projects without knowing exactly what the whole thing would look like in the end. Of course, this also requires courage on the part of the administration.

What needs to happen for your way of thinking and working to become commonplace in the construction industry?

The impulse might come from a very unexpected direction. A few years ago, no one thought I would get into concrete recycling. But to advance the idea of circular construction, we must influence the materials that are used in our buildings. Mies van der Rohe knew exactly which marble he wanted to use in the Barcelona Pavilion. Today, many architects choose the colours for their buildings at best. This is where we need to regain control: we should be builders again, not surface designers.

That doesn't mean we have to get into building materials production ourselves. But we can forge alliances with companies. These won't always be the major construction suppliers; smaller firms are often much better positioned.

What needs to change at the political level?

I have spent a lot of time advising ministries and other agencies. Unfortunately, it's hard to make progress because here in Denmark the government changes every few years and then you have to start over from scratch. We can no longer wait for politics, but must become active ourselves. Ultimately, I also realized my projects under the prevailing conditions. And you know that when you point your fingers at others, at least three fingers point back at you.

«Eigentlich sind wir ein Störfaktor», Barbara Buser und Kerstin Müller im Interview mit Paul Knüsel, espazium.ch 04.05.2021

Obwohl das nationale CO₂-Gesetz nur den Betrieb von Gebäuden reglementieren will, wäre auch deren Erstellung ein wirksamer Klimahebel. Die Architektinnen Barbara Buser und Kerstin Müller plädieren dafür, auf neue Baustoffe möglichst ganz zu verzichten.

TEC21: Frau Buser, Frau Müller, Sie sind mit Ihren Büros an der Aufstockung einer alten Industriehalle in Winterthur beteiligt, für die ein grosser Anteil an älteren Bauteilen wiederverwendet werden konnte. Beim Baustellenrundgang erzählte ein Handwerker stolz, wie sehr das Gebaute der anfänglichen Visualisierung gleicht. Hat Sie das Resultat selber auch positiv überrascht?

Barbara Buser: Wir sind übergelukkig. Eine solche Übereinstimmung ist nicht selbstverständlich, wenn man zirkulär baut. Denn dafür lassen sich die Bauteile nicht wie sonst üblich aus einem Katalog auswählen. Wir mussten unterschiedliche Quellen sondieren; zudem wollten wir auf möglichst kurze Transportwege und eine zeitnahe Verfügbarkeit achten.

TEC21: Klappt die Materialbeschaffung also wie erhofft?

Barbara Buser: Bei den Fenstern hatten wir grosses Glück. Wir bekamen Fenster in hoher Qualität in Aussicht gestellt, mit Dreifachverglasung und Alurahmen. Doch als wir das Abbruchobjekt dafür erstmals besichtigten, war der Abbruch bereits im Gang. Deshalb mussten wir schnell reagieren, um die Fenster fein säuberlich und sorgfältig ausbauen zu können.

Kerstin Müller: Vor einer Demontage brauchen wir Zeit, um die bauphysikalischen Eigenschaften der wiederverwendbaren Bauteile zu messen. Diese Erfahrung machen wir regelmässig: Zwar finden viele das Wiederverwenden gut, aber eigentlich sind wir ein Störfaktor für gewohnte Abläufe beim

Gebäuderückbau. Die zirkuläre Idee ist noch nicht überall angekommen; das System läuft automatisch so, dass vieles einfach im Abbruch landet.

Barbara Buser: Wir kämpfen fast immer gegen Unverständnis und Windmühlen, nicht nur auf Abbruchbaustellen. Die Bauwirtschaft ist nicht dafür eingerichtet, Abfälle zu reduzieren.

TEC21: Wie klimafreundlich ist das zirkuläre Bauwerk in Winterthur?

Kerstin Müller: Die städtische Baubehörde hat von uns das Einhalten des Effizienzpfads Energie verlangt. Der bilanzierte Befund für das neu sechsgeschossige Ateliergebäude ist: Die Aufstockung erzeugt deutlich weniger CO₂ als ein Neubau und kostet das Klima nur so viel wie eine Gebäudesanierung. Oder anders formuliert: Mit der zirkulären Bauweise sparen wir mehr Emissionen, als für den Betrieb in den nächsten 60 Jahren an Treibhausgasen verursacht werden. Das ergibt eine Analyse des Amts für Hochbauten der Stadt Zürich, das dafür Vergleichswerte aus seinem eigenen Portfolio heranzog.

Barbara Buser: Mit dem Weiter- und Wiederverwenden von Bauteilen sparen wir viel mehr graue Energie als bei einem 2000-Watt-kompatiblen Neubau. Wenn man die populäre Ersatzneubaustategie daran misst, wird deutlich: Dort wird nur auf die Ökobilanz im Betrieb geschaut.

Kerstin Müller: Auch unsere Aufstockung enthält graue Energie. Sie steckt vor allem im Recyclingbeton, der in geringem Umfang für das Fundament und die Wandscheiben zur Erdbebenaussteifung verwendet wurde. Recyclingbeton ist gut für die Kreislaufwirtschaft, weil kein neuer Kies ausgebagert werden muss. Doch im Vergleich zu herkömmlichem Beton werden fast gleich viele Treibhausgase erzeugt. Zement ist ein CO₂-Treiber in jeder Betonvariante. Die Bauindustrie steht da vor

einem Riesenproblem.

Barbara Buser: Solang es keine neuen Materialien aus klimafreundlicher Produktion gibt, muss man Bestehendes weiterverwenden. Wenn wir ernsthaft CO2 sparen wollen, dürfen wir nicht bedenkenlos Neues verbauen.

TEC21: Bauteilbörsen gibt es schon länger. Frau Buser, Sie selbst haben bei der Gründung vor über 30 Jahren mitgewirkt. Warum lässt ein Erfolg auf sich warten?

Barbara Buser: Wir gründeten die erste Bauteilbörse der Schweiz in Basel. Inzwischen ist sie in 16 Städten vertreten. Doch immer noch muss man um jedes einzelne Bauteil kämpfen. Die Bauteiljagd ist sehr aufwendig, obwohl sich damit kein Geld verdienen lässt. Helfen würde eine schweizweite Koordination, sodass jedes Gebäude – wenn es denn tatsächlich abgerissen werden muss – zum grösstmöglichen Grad in seine Einzelteile zerlegt und wiederverwendet werden kann.

Kerstin Müller: Eine koordinierte Bauteiljagd heisst: Bauteile funktional zu klassieren und nach Stärken und Schwächen oder in Bezug auf den Einbaumasstab zu registrieren. Ein Materiallager muss so spezifiziert sein, dass Architekten für jegliche Projekte einfach darauf zugreifen können.

Barbara Buser: Ich zitiere den Bundesrat: «Baumaterial wieder- und weiterzuverwenden ist eine echt komplizierte Geschichte.» Mit diesem Argument wurde ein parlamentarischer Vorstoss für mehr Wiederverwendung vor vier Jahren abgelehnt. Das Bauwerk in Winterthur beweist nun, was sich dennoch errichten lässt. Das Resultat ist repräsentabel. Es ist Architektur und keine Bastelei. Form follows availability.

TEC21: Braucht es also die Materialwende? Oder wie lang reicht das Angebot aus dem Urban Mining?

Barbara Buser: Die mit Abstand wirksamste Klimaschutzmassnahme ist, nicht neu zu bauen – zumindest, bis klimafreundliche Baustoffe erhältlich sind. Aber solange man Gebäude abreisst, sind Abbruchobjekte selbst eine unglaublich reiche Materialquelle. Ansonsten bleibt der Bauwirtschaft nichts anderes übrig, als auf nachwachsende Rohstoffe aus lokaler Herkunft auszuweichen wie Holz, Stroh oder Lehm.

Kerstin Müller: Es wird sich etwas ändern müssen. Der Katalog an Baustoffen, von dem die heutige Architektur lebt, verführt zu einem unglaublichen Luxus. Aber macht es Sinn, eine Natursteinfassade aus Südamerika zu importieren? Soll man hübsches Material bestellen, ohne zu wissen, unter welchen ökologischen und sozialen Bedingungen es hergestellt wird? Den Status quo möchten wir hinterfragen und mit einem Materialpool arbeiten, der schon im Bestand steckt. Als Architektin fordere ich ein beschränktes Angebot kreativ heraus.

TEC21: Das Schweizer Stimmvolk wird wohl diesen Sommer über die Totalrevision des CO2-Gesetzes befinden. Darin wird zwar ein Grenzwert für den Betrieb von Gebäuden festgelegt; für die Erstellung wird aber nichts verlangt...

Kerstin Müller: Gerade bei Neubauten müsste die Emission nicht nur im Betrieb, sondern auch für die Erstellung ein relevantes Kriterium sein. Das Erstellen eines Gebäudes erzeugt mindestens doppelt so viel CO2 wie ein 60 Jahre dauernder Betrieb. Dass gesetzlich nichts verankert ist, ist gleichwohl eine Chance. Wir dachten ursprünglich daran, das zirkuläre Bauen als Instrument für die Klimakompensation zu nutzen. Gespräche über den Handel mit CO2-Zertifikaten haben wir geführt, sind aber mit Dienstleistern nicht einig geworden.

Barbara Buser: Die Idee dahinter ist: Mit dem Erlös von CO2-Zertifikaten können wir Mehrkosten bei zirkulären Projekten ausgleichen. Bislang bleibt der Mehraufwand an uns hängen.

TEC21: In der Architekturszene wächst das ökologische Engagement, und die Gesellschaft anerkennt das. Frau Buser, Sie haben letztes Jahr den Prix Meret Oppenheim erhalten; die Bewegung «Countdown 2030» den Schweizer Kunstpreis. Ist Klimaschutz in Ihrem Berufsfeld angekommen?

Barbara Buser: Die Preise sind toll, auch weil sie das Augenmerk von aussen auf das aktuelle Architekturschaffen richten. Doch was die Publicity betrifft, sind wir Opfer der Pandemie. Eine Verleihung fand nicht statt, und die Präsenz in den Medien war bislang eher bescheiden. Dennoch erhöht sich die Aufmerksamkeit unter Forschern, Investoren und Architekten, weil sich etwas bewegt.

TEC21: Spricht die Kreislaufwirtschaft gestaltende Architekten direkter an als das nachhaltige Bauen mit seinen spezifischen Bilanzierungen und Nachweisverfahren?

Kerstin Müller: Ich würde das nicht auseinanderdividieren. Die Ursachen der Probleme sind dieselben: fossile Energie und die Materialfrage. Daran geknüpft sind auch Landnutzungsfragen oder der Verlust von Biodiversität. Man kann sich nicht für ein Schonen von Ressourcen entscheiden und andere negative Aspekte ausblenden. Sonst ist es nur Marketing.

Barbara Buser: Es geht um eine neue Art der Kreativität in der Architektur. Und um ein Handeln aus der Not heraus.



ANHANG 2 STAND NEUER TECHNOLOGIEN

Christian Speicher, «Die Schweizer Firma Climeworks will auf Island jährlich 4000 Tonnen CO₂ versteinern», *Neue Zürcher Zeitung* 26. August 2020

Die Schweizer Firma Climeworks will auf Island jährlich 4000 Tonnen CO₂ versteinern

Um die Klimaziele von Paris zu erreichen, könnte es notwendig werden, Kohlendioxid aus der Luft zu entfernen. Ein Firmenkonsortium hebt die «Direct air capture»-Technologie nun auf die nächste Stufe.

Christian Speicher
26.08.2020, 14.00 Uhr



Karin Hofer / NZZ

2017 eröffnete Climeworks eine CO₂-Filteranlage auf dem Dach der Kehrichtverbrennungsanlage in Hinwil. Eine ähnliche Anlage soll jetzt auf Island installiert werden.

Die Schweizer Firma Climeworks schaltet bei der Entfernung von Kohlendioxid aus der Atmosphäre einen Gang höher. Wie das Unternehmen am Mittwoch bekanntgegeben hat, hat es Verträge mit zwei isländischen Firmen abgeschlossen, um in Zukunft 4000 Tonnen CO₂ pro Jahr aus der Luft zu filtern und dauerhaft im Boden zu speichern. Die geplante Anlage wird eine Testanlage auf Island ersetzen, die seit 2017 jährlich 50 Tonnen CO₂ aus der Luft entfernt. Mit dem Gemeinschaftsprojekt skalieren die drei Firmen eine Technologie, von der man sich langfristig einen relevanten Beitrag zur Stabilisierung des Klimas verspricht.

Dauerhafte Entsorgung von CO₂

Climeworks betreibt seit 2017 eine Anlage in Hinwil, die jährlich rund 1000 Tonnen CO₂ aus der Luft filtert. Das Treibhausgas wird an eine benachbarte Gärtnerei verkauft, die damit das Pflanzenwachstum ankurbelt. Langfristig besteht das Ziel von Climeworks allerdings darin, das CO₂ dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen. Dafür muss das Gas im Boden gespeichert werden. Die isländische Firma Carbfix hat hierfür eine Lösung entwickelt, die natürliche geologische Prozesse imitiert. Das CO₂ wird in Wasser gelöst und dann unter Hochdruck in das Basaltgestein im Untergrund gepresst. Studien zeigen, dass innerhalb von zwei Jahren 95 Prozent des Kohlendioxids versteinern und somit dauerhaft gebunden sind.

Dritte im Bunde ist die isländische Firma ON Power, die auf Island zwei Geothermiekraftwerke betreibt. Eines dieser Kraftwerke versorgt die Anlage von Climeworks mit erneuerbarer Energie. Nur so lassen sich die CO₂-Emissionen ins Negative kehren.

Die «Direct air capture»-Anlage auf Island werde weltweit die grösste ihrer Art sein, sagt Jan Wurzbacher, einer der beiden Gründer von Climeworks. Zufrieden gibt er sich damit aber nicht. Man arbeite bereits an der nächsten Generation der Technologie, mit der man mindestens zehnmal so viel CO₂ aus der Luft entfernen möchte. Die modulare Bauweise der Anlage komme dem entgegen, so Wurzbacher. Sie erlaube es, die Technologie in schnellen Schritten zu skalieren.

Das ist auch notwendig. Jährlich werden derzeit mehr als 35 Milliarden Tonnen (35 Gigatonnen) CO₂ emittiert. Damit die Technologie klimarelevant wird, wären also negative Emissionen im Bereich von Gigatonnen pro Jahr nötig. Bis dahin ist es noch ein weiter Weg.

Zahlungsbereite Kunden

Noch ist die «Direct air capture»-Technologie eine Nischenanwendung. Ob sie mehr sein kann, ist auch eine Frage des Preises. Derzeit kostet jede Tonne CO₂, die Climeworks mit seinen Partnern in den Boden presst, 1000 Franken. Das liegt weit über dem marktüblichen CO₂-Preis (von derzeit etwa 25 Euro pro Tonne in der EU). Zu den Kunden von Climeworks gehören Privatpersonen und Firmen, die aus ideellen Gründen bereit sind, ihre CO₂-Emissionen zu diesem hohen Preis zu kompensieren.

«Wir spüren eine gute Nachfrage nach unserer Dienstleistung», sagt Wurzbacher. Er sei daher optimistisch, die Anlage auf Island über die geplante Lebenszeit von zehn Jahren auslasten zu können. Zuversichtlich stimmen ihn Firmen wie Microsoft. Das amerikanische Technologieunternehmen hat kürzlich bekanntgegeben, bis 2050 die gesamten CO₂-Emissionen seiner Firmengeschichte kompensieren zu wollen.

Langfristig müsse die Entfernung von Kohlendioxid aus der Luft aber billiger werden, sagt Wurzbacher. Climeworks hofft, den Preis für eine Tonne CO₂ durch Skalierungseffekte und eine Weiterentwicklung der Technologie auf 100 bis 200 Franken senken zu können. Das läge zwar immer noch deutlich über dem marktüblichen CO₂-Preis. Aber in einigen Ländern gibt es schon heute Lenkungsabgaben, die dem nahekommen. So besteuert Schweden die Tonne CO₂ mit 120 Franken.

«Wir sollten jetzt Milliarden in negative Emissionen stecken», Felix Creutzig im Gespräch mit Sven Titz, in: Neue Zürcher Zeitung, 19. Februar 2022, S. 52

«Wir sollten jetzt Milliarden in negative Emissionen stecken»

Der deutsche Wissenschaftler Felix Creutzig rät im Gespräch mit Sven Titz, rechtzeitig in Technologien zur Entnahme von CO₂ aus der Luft zu investieren. Und gleichzeitig darauf hinzuwirken, dass man sie nicht braucht.

Herr Creutzig, die Ampelkoalition in Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen. Aber die Emissionen sinken nur langsam. Kann die Regierung da auf negative Emissionen verzichten – also auf die Entnahme von CO₂ aus der Luft? Falls die Emissionen alle vermeidbar sind, braucht man keine negativen Emissionen. Aber ob dies selbst mit ambitioniertem Klimaschutz im Jahr 2045 möglich ist, das ist nicht klar. Die Landwirtschaft hat ja gewisse Emissionen, bei denen gesagt wird, dass man davon nicht weggommt. Die andere Perspektive ist die ökonomische. Es könnte billiger sein,

zu. Und zum Teil sind negative Emissionen hoch risikobehaftet.

Das Thema negative Emissionen wurde bis anhin in Deutschland politisch wenig diskutiert. Das ändert sich zwar gerade; es gibt aber noch relativ wenig Forschung und Entwicklung. Hat Deutschland das Thema verschlafen?

Nicht unbedingt. Es sieht woanders nicht so viel besser aus. Wenn wir uns die Direct Air Capture (also die direkte Aufnahme von CO₂ aus der Luft, die Red.) ansehen, dann sind es private Investoren, die es vorantreiben. In Zürich natürlich und auch in den USA und in Kanada. Auch andere nationale Regierungen haben das Thema nicht so aktiv auf dem Schirm. In Island und Finnland passiert ein bisschen was. Aber global geschieht noch zu wenig. Gerade die technologieintensiven Methoden negativer Emissionen bieten sich für Deutschland an. Denn Deutschland hat als Industrieland die Möglichkeit, sich in neue Bereiche hineinzuwickeln.

Welche Technologien kommen denn in Deutschland infrage, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen und dauerhaft zu speichern? Es gibt eine Reihe von Techniken – in unserer Taxonomie unterscheiden wir sieben. Die beiden, die am meisten diskutiert werden, weil sie gut skalierbar sind, sind Bioenergie mit CO₂-Speicherung und Direct Air Capture mit CO₂-Speicherung. Aber auch andere Techniken können einen kleinen Beitrag leisten. Derzeit ist die Strategie, portfolio-

mässig zu denken und in verschiedene Bereiche gleichzeitig zu investieren. Es gibt die natürlichen Kohlenstoffspeicher-Mechanismen, die unter anderem mit Aufforstung zu tun haben. Bei den landbasierten Methoden ist allerdings die Frage nach Biodiversität und Naturschutz zentral. Das ist keine lokale Frage. Wir haben neben dem Klimawandel das Problem des sechsten Massenaussterbens. Hier ist die Landnutzung die treibende Kraft. Sowohl Bioenergie als auch Aufforstung mit Monokulturen sind Treiber des Artensterbens. Deswegen sind landbasierte oder naturbasierte Technologien für negative Emissionen immer im Kontext der Biodiversität zu sehen. Deutschland hat ohnehin schon ein Konkurrenzproblem im Landbereich. Deshalb bietet es sich an, in Technologien zu investieren, die weniger auf Land basieren. Und dazu gehört eben die Direct Air Capture als vielleicht erste Technologie. Sie benötigt hunderte Male weniger Land als Bioenergie mit angeschlossener CO₂-Speicherung.

Was bedeutet das denn für die zeitliche Planung? Wenn wir in Direct Air Capture gehen, brauchen wir sehr viel Energie. Damit das Sinn ergibt, sollte die Energie aus Wind und Solar kommen, also aus erneuerbaren Energiequellen. Das Problem ist aber, dass wir die Erneuerbaren gerade für alles andere brauchen. Wir brauchen sie, um die Kohle aus dem Elektrizitätsmarkt herauszubekommen. Wir brauchen sie, um Gas herauszubekommen. Wir brauchen sie für die Elek-

trifizierung des Automobilbereichs. Wir brauchen sie für Wärmepumpen im Gebäudebereich. Das ist ein irrer Bedarf, der dazukommt, und überhaupt nur lösbar, wenn ganz massiv Erneuerbare hinzugebaut werden. Und diese Erneuerbaren stehen nicht für Direct Air Capture zur Verfügung, denn das wäre keine kosteneffiziente Linderung des Klimawandels. Man muss das im Wesentlichen so sehen: In allen anderen Bereichen gibt es Kostenersparnisse. Bei Direct Air Capture zahlt man halt drauf. Erst müssen die anderen gesellschaftlichen Bereiche gedeckt sein. 2045 ist da ein sehr, sehr ehrgeiziges Ziel. Meine Einschätzung ist: Die Zeit bis 2045 brauchen wir, um die fossilen Energiequellen rauszubekommen aus der Wirtschaft. Das wäre schon ein glorreicher Erfolg. Die danach zugebauten Erneuerbaren könnten dann für Technologien für negative Emissionen wie Direct Air Capture eingesetzt werden.

Wie sinnvoll ist es dann überhaupt, jetzt schon in Deutschland Anlagen für die Direct Air Capture zu bauen?

Einerseits sollten wir jetzt eigentlich noch keine Direct-Air-Capture-Anlagen bauen, weil sie nicht kosteneffektiv sind. Aber wir müssen sie eben trotzdem schon bauen, denn wir brauchen Erfahrungswerte. Wenn wir schon jetzt in grössere Projekte reingehen, haben wir es 2045 in der Hand, die Technologie auch wirklich zu benutzen. Diese doppelte Logik mitzudenken, ist zentral.

Aber warum sollte eine Regierung denn heute Milliarden in die Entwicklung von Direct Air Capture investieren, wenn das Versprechen lautet «Vielleicht können wir diese Technologie im Jahr 2050 gebrauchen»? Das ist dann ja schon ein bisschen wie bei der Fusionsforschung.

Das ist kein korrekter Vergleich. Bei der Fusionsforschung braucht es Milliardenbeträge, damit es einmal richtig funktioniert. Von fast allen Technologien für negative Emissionen wissen wir heute schon, dass sie funktionieren, und es geht darum, sie besser zu machen, sie effizienter zu machen, sie billiger zu machen, sie skalierbar zu machen und vielleicht umweltverträglicher zu machen. Das ist ein ganz anderes Problem als bei der Fusionsforschung. Wir sollten uns so verhalten, als ob wir negative Emissionen nach 2045 brauchen würden, und gleichzeitig darauf hinarbeiten, dass wir sie möglichst wenig brauchen werden. Wir sollten jetzt Milliardenbeträge in die Technologien für negative Emissionen stecken, damit sie 2045 zu erträglichen Kosten funktionieren. Dafür benötigen wir auch funktionierende Anlagen in der entsprechenden Grössenordnung.

Kann man denn heute schon sagen, auf welche Techniken der Direct Air Capture die Politik sinnvollerweise setzen sollte? Die zwei dominanten Methoden der Direct Air Capture unterscheiden sich stark in der Temperatur, die benötigt wird, um das CO₂ wieder aus dem Ab-

sorptionsmaterial zu lösen. Die Niedrigtemperaturvariante kommt mit 100 bis 120 Grad Celsius aus. Für die Hochtemperaturvariante braucht man 600 bis 800 Grad. Es gibt keine Einigkeit in der Wissenschaft zu der Frage, welche besser funktioniert.

Welche Variante halten Sie selbst denn für besser?

Nach meiner Einschätzung ist die Niedrigtemperaturvariante die bessere, weil sie eine höhere Energieeffizienz aufweist. Sie wird zum Beispiel von Climeworks eingesetzt. Die Hochtemperaturvariante benötigt Erdgas als Wärmequelle, einen fossilen Brennstoff also. Damit fallen zusätzliche CO₂-Emissionen an, die ebenfalls gebunden werden müssen.

Welche Kriterien sind denn zur Beurteilung von Direct-Air-Capture-Technologien entscheidend?

Interessant ist die Frage des Chemikalienbedarfs. Für Direct Air Capture braucht man sehr grosse Mengen an chemischen Materialien. In unserer neuen Studie, die gerade im Wissenschaftsmagazin «Nature Energy» erschienen ist, haben wir gezeigt, dass der Bedarf nennenswert ist, aber relativ einfach lösbar. Es ist kein limitierender Faktor. Ein anderer, limitierender Faktor ist der Landbedarf. Der spricht vor allem gegen die Bioenergie. Und bei der Direct Air Capture sind Kosten und Energie wichtig. Die hängen miteinander zusammen.

Wie hoch sind die Kosten bei den verschiedenen Methoden?

Bei Bioenergie mit CO₂-Speicherung rechnet man mit einer Grössenordnung von 100 Dollar pro Tonne CO₂. Bei Direct Air Capture mit CO₂-Speicherung sind es 200 Dollar pro Tonne CO₂. Heute sind diese Projekte zwar noch teurer, aber 200 Dollar sind ein Bereich, in dem wir uns in wenigen Jahren bewegen werden. Der grosse Unterschied ist, dass man bei Direct Air Capture mehr lernen, mehr optimieren kann als bei der Bioenergie. Dann sinken die Kosten. Bei der ressourcenintensiven Bioenergie kann es hingegen sein, dass die Kosten mit wachsendem Ausbau noch steigen werden.

Wann kann man denn in Deutschland den grossskaligen Einsatz von Direct Air Capture erwarten? Oder ist die Frage verfrüht?

Ich kann Ihnen die Frage mit einer Wenn-dann-Antwort beantworten: Wenn im Jahr 2045 Energie und Endnutzungssektoren dekarbonisiert sind, dann können wir in Deutschland zwischen 2055 und 2060 mit dem grossskaligen Einsatz von Direct Air Capture rechnen.

Mit welchen Konflikten um die Direct Air Capture muss man künftig rechnen? Punkto Speicherung von CO₂ im Erdboden gab es in Deutschland in der Vergangenheit ja viel Gegenwind.

Da es erst wenige Anlagen für Direct Air Capture gibt, kann man noch kaum Akzeptanzforschung betreiben. Weil die Technologie noch recht unbekannt ist, wird sie insgesamt neutral evaluiert. Für die Zukunft kann ich da nur spekulieren: Ich nehme an, dass es auf das Narrativ ankommen wird. Die Direct Air Capture kann man jedenfalls dezentraler denken als die Speicherung von CO₂. Das könnte hilfreich sein.

Und in welche Variante der Technologien für negative Emissionen sollte man nun investieren?

Bei Unsicherheit investiert man nach der Portfoliotheorie am besten gestreut in verschiedene Technologien. Ausserdem sollte die Strategie darauf abgelegt sein, weitere Informationen zu sammeln, also bei den Technologien etwas dazulernen.

Nur um einmal die Dimension zu verdeutlichen: Wenn wir die Anlagen für Direct Air Capture mit den globalen Emissionen vergleichen – um welchen Faktor unterscheidet sich die Grössenordnung?

Geben Sie mir eine Minute, da muss ich ein bisschen rechnen... (Rechnet...) Um die Hälfte der globale CO₂-Emissionen auszugleichen, würden wir sieben Millionen von der neuen Climeworks-Anlage auf Island benötigen.

Der Einfang von CO₂ ist eine Sache für Idealisten – noch, Christian Speicher, in: Neue Zürcher Zeitung, 19. Februar 2022, S. 53



Die Orca-Anlage von Climeworks auf Island filtert jährlich 4000 Tonnen CO₂ aus der Luft.

Der Einfang von CO₂ ist eine Sache für Idealisten – noch

Damit die Technologie klimarelevant ist, müssten bis 2050 jährlich mehrere Gigatonnen CO₂ aus der Luft gefiltert werden. Die grösste Hürde ist dabei der Energiebedarf.

CHRISTIAN SPEICHER

Die Entfernung von CO₂ aus der Luft, auch «Carbon Removal» oder «negative Emissionen» genannt, hat nicht den besten Ruf. Viele Klimapolitiker sehen darin ein Ablenkungsmanöver. Anstatt sich den Kopf über negative Emissionen zu zerbrechen, sollte man sich lieber darauf konzentrieren, zukünftige Emissionen zu vermeiden.

Wer so argumentiert, verkennt zweierlei. Selbst wenn man sich mächtig ins Zeug legt, wird es immer CO₂-Emissionen geben, die sich nicht vermeiden lassen. Zudem ist absehbar, dass die Menschheit ihr CO₂-Budget in den nächsten Jahrzehnten überziehen wird. Wenn man die international vereinbarten Klimaziele nicht verfehlen will, muss das Budget deshalb irgendwann wieder durch negative Emissionen ausgeglichen werden. Eine angemessene Strategie könnte daher – frei nach einem Motto der Swiss Re – so lauten: «Do your best, remove the rest.»

Der Rest, das ist in diesem Fall allerdings eine gewaltige Menge. So schätzt der Weltklimarat, dass ab Mitte des Jahrhunderts Jahr für Jahr 10 Milliarden Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre entfernt werden müssen, um einen allzu bedrohlichen Klimawandel zu vermeiden. Ob und wie das zu bewerkstelligen ist, ist Gegenstand hitziger Diskussionen. Während die einen auf Wiederauffor-

stung, ein verändertes Bodenmanagement oder andere natürliche Methoden setzen, propagieren andere technische Lösungen. Als vielversprechend gilt eine Technologie namens Direct Air Capture. Hier wird das CO₂ mit Chemikalien aus der Luft gefiltert und danach wieder abgetrennt. Anschliessend kann das CO₂ unter der Erde gespeichert oder auch in Beton gebunden werden.

Eine dauerhafte Lösung

Für diese Methode spricht, dass das CO₂ der Atmosphäre für Jahrtausende entzogen wird (was bei der Wiederaufforstung nicht der Fall ist). Zudem drohen keine Nutzungskonflikte mit der Landwirtschaft. Direct-Air-Capture-Anlagen können überall dort stehen, wo es geologische Tiefenspeicher gibt und wo Strom und Wärme zum Ansaugen der Luft und zum Abtrennen des CO₂ vorhanden sind.

Die Unterstützung durch Firmen wie Microsoft, Swiss Re oder Shopify hat dem Direct Air Capture eine Aufmerksamkeit verschafft, die in keinem Verhältnis zum gegenwärtigen Stand der Technik steht. Weltweit gibt es nämlich erst wenige Anlagen, die zusammen weniger als 10 000 Tonnen CO₂ pro Jahr aus der Luft filtern – und das zu einem derzeitigen Preis von 500 Dollar pro Tonne und mehr. Damit ist der direkte Einfang von CO₂ von allen Methoden des «Carbon Removal» mit Abstand die teuerste.

Doch in der Branche herrscht Aufbruchstimmung. Das war zum Beispiel am Direct Air Capture Summit zu spüren, den die Schweizer Firma Climeworks im September 2021 bereits zum zweiten Mal ausrichtete. Fast ein Dutzend Firmen stellten dort ihre Konzepte vor und diskutierten über die alles entscheidende Frage: Wie schafft man es, die Technologie so zu skalieren, dass sie bezahlbar und klimarelevant wird?

Hier gibt es unterschiedliche Strategien. So setzt Climeworks auf ein abgestuftes Vorgehen. Vor wenigen Monaten wurde auf Island die Orca-Anlage eingeweiht, die jährlich 4000 Tonnen CO₂ aus der Luft filtert. Damit ist Orca weltweit die grösste DAC-Anlage. 2024 soll eine Anlage mit einer Kapazität von 40 000 Tonnen folgen. Noch mal drei Jahre später sollen es dann 400 000 Tonnen jährlich sein.

Die amerikanische Firma Carbon Engineering bevorzugt hingegen eine Strategie der grossen Schritte. Sie möchte 2025 mit einer Anlage an den Start gehen, die auf Anhieb eine Million Tonnen CO₂ pro Jahr aus der Atmosphäre entfernt. Das Treibhausgas kann entweder im Boden gespeichert oder zu

CO₂-neutralen synthetischen Treibstoffen verarbeitet werden, die etwa in der Luftfahrt verwendet werden können. Eine Anlage mit einer ähnlichen Kapazität soll bis 2026 in Grossbritannien gebaut werden, wo Carbon Engineering mit der auf «Carbon Removal» spezialisierten Firma StoraGen kooperiert.

Gegenüber dem Stand von heute könnte sich die Kapazität in den nächsten fünf bis sechs Jahren also vervielfachen. Das verspricht eine deutliche Reduktion der Kosten durch Lerneffekte. Wie gross dieser «Learning by doing»-Effekt ist, hat Klaus Lackner, ein Pionier des Direct Air Capture, im vergangenen Jahr zu quantifizieren versucht. Laut seinen Berechnungen müsste die Kapazität um einen Faktor tausend gesteigert werden, damit die Kosten auf etwa 100 Dollar pro Tonne CO₂ sinken. Dieser Preis gilt als Richtgrösse, um im CO₂-Markt bestehen zu können.

Lackner vergleicht das mit der Entwicklung der Photovoltaik seit den 1970er Jahren. Hier hätten die Kosten sogar um einen Faktor hunderte gesenkt werden müssen, um die Sonnenenergie zu einem konkurrenzfähigen Produkt zu machen. Von daher sei die Ausgangslage für das Direct Air Capture gar nicht so schlecht. Laut seinen Berechnungen könnten Investitionen von einigen hundert Millionen Dollar genügen, um das angestrebte Kostenniveau zu erreichen.

Enormer Energiebedarf

Die Entwicklung der DAC-Technologie hin zu grösseren Anlagen ist allerdings nicht nur eine Frage der Kosten. Wenn man mit ihr wirklich etwas bewirken möchte, besteht die Gefahr, dass man sich im Gegenzug andere Probleme globaler Dimension einhandelt. Entscheidend sei deshalb die Frage, wie gross der Ressourcenbedarf dieser Technologie sei, sagt André Bardow von der ETH Zürich. Zusammen mit Sarah Deutz von der RWTH Aachen hat er deshalb im vergangenen Jahr eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt. Die Daten dafür wurden ihm von Climeworks zur Verfügung gestellt.

Die Analyse zeigt zweierlei. Der CO₂-Fussabdruck des DAC hängt ent-

scheidend davon ab, mit welcher Energie eine Anlage betrieben wird. Im schlechtesten Fall emittiert sie über ihren gesamten Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre mehr CO₂ als sie aus der Luft entfernt. Die Orca-Anlage auf Island verwendet hingegen nahezu CO₂-freien Strom und Wärme aus der Geothermie und erreicht deshalb eine Effizienz von 90 Prozent. Von jeder Tonne CO₂, die eingefangen wird, lassen sich also 90 Kilogramm als negative Emissionen anrechnen.

Zweitens haben Bardow und Deutz berechnet, wie viel Energie und Rohstoffe man benötigen würde, um ein Prozent der jährlichen CO₂-Emissionen (also ungefähr 400 Millionen Tonnen) aus der Atmosphäre zu filtern. Während sich der Bedarf an Stahl, Beton, Kupfer und anderen Rohstoffen im Promillebereich der weltweit produzierten Mengen bewegt, müsste die Produktion der als CO₂-Fänger verwendeten Chemikalien mindestens um eine Grössenordnung hochgefahren werden. Das sei nie, aber nicht unvorstellbar, sagt Bardow. Andere Chemikalien würden heute in vergleichbaren Mengen hergestellt. Das sei eine Frage des Bedarfs.

Der kritischste Faktor ist laut Bardow der Energiebedarf. Dieser belaufe sich auf 1,3 Prozent der weltweiten Energieproduktion im Jahr 2030. Deshalb sei es wichtig, die Energieeffizienz der Direct-Air-Capture-Anlagen zu verbessern. Schon wegen des enormen Energiebedarfs seien die Anlagen kein Ersatz für die Reduktion von CO₂-Emissionen im Energiesystem.

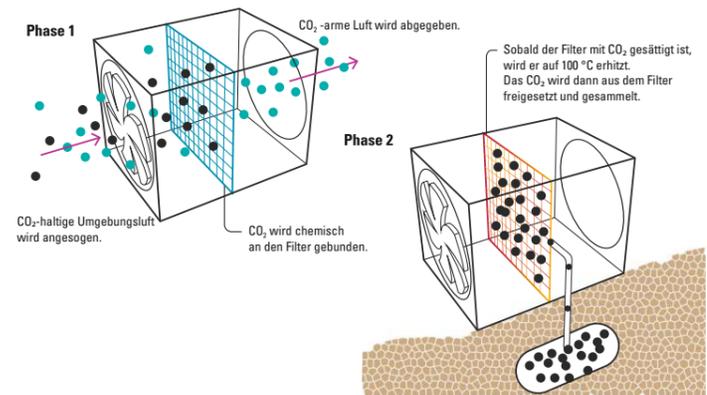
All das erfordert viel Geld. Woher das kommen soll, ist derzeit noch unklar. Man habe keine Zeit, sich organisch aus eigener Kraft zu entwickeln, sagte am Direct Air Capture Summit Nicholas Eisenberger, der die amerikanische Firma Global Thermostat in strategischen Fragen berät. Es blieben höchstens 20 Jahre, um eine Grössenordnung von Gigatonnen zu erreichen. Das gebe nicht ohne massive staatliche Unterstützung. Das die Zeit drängt, unterstreicht auch Bardow. Wenn die anvisierte Kapazität rechtzeitig zur Verfügung stehen sollte, müsse man heute mit dem Aufbau der Industrie beginnen.



Felix Creutzig
Forscher am Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change, Berlin

Wie die direkte Entnahme von CO₂ aus der Luft funktioniert

● CO₂-Moleküle ● Luftmoleküle



QUELLE: CLIMWORKS

NZZ Visuals / f.c.

Warum das Recycling von CO₂ so schwierig ist, in: Tages-Anzeiger, 26. Februar 2022, S. 40

Warum das Recycling von CO₂ so schwierig ist

Nutzung des Treibhausgases CO₂ soll zum Schutz des Klimas in Treibstoffe, Chemikalien und Baumaterialien verwandelt werden. Doch eine Studie bescheinigt den allermeisten Verfahren schlechte Klimabilanzen.



Ein Gewächshaus mit Blumen – zur Wachstumssteigerung kann in solche Anlagen CO₂ geleitet werden. Foto: Getty Images

Joachim Laukenmann

Die Idee klingt auf den ersten Blick überzeugend: So wie wir im Sinne der Nachhaltigkeit Altpapier, Karton, PET-Flaschen und Elektroschrott für die Wiederverwertung sammeln, soll auch das klimaschädliche Treibhausgas CO₂ für sinnvolle Zwecke recycelt werden.

Dazu wird CO₂ zunächst aus dem Abgasstrom von Kraftwerken, aus Industrieschlotten oder direkt aus der Luft eingefangen. Doch statt das CO₂ im Untergrund zu lagern, besteht eine viel diskutierte Alternative in der Wiederverwendung des Abfallgases, etwa für die Herstellung von Chemikalien, Kunststoffen, Treibstoffen, Baumaterialien oder zur Wachstumsförderung in Gewächshäusern.

Doch so einfach und überzeugend, wie es klingt, ist die Carbon Capture and Utilisation (CCU) genannte Methode nicht: Die mit Abstand meisten CCU-Verfahren bieten keinen nennenswerten Vorteil gegenüber konventionellen Produktionsverfahren, viele erzeugen sogar deutlich mehr Treibhausgase, als sie durch den Einfang von CO₂ einsparen.

Wie die Forschenden um Klare de Kleijne von der Radboud University in Holland berichten, haben sie ihrer Studie die in Paris vereinbarten Klimaziele zugrunde gelegt: Damit eine CCU-Technologie mit Paris im Einklang ist, muss sie die CO₂-Emissionen gegenüber der Technologie, die sie ersetzt, bis

2030 halbieren und bis 2050 auf netto null senken. Das bedeutet zum Beispiel: Eine CCU-Technologie, die die Emissionen im Jahr 2050 um 90 Prozent mindert, aber eben nicht um 100 Prozent, ist nicht mit den strengen Kriterien der Studie kompatibel und scheidet aus.

Technologien sollen bis 2050 klimaneutral sein

Zusätzlich zum Klimaschutzpotenzial haben die Forschenden den Reifegrad der Technologie berücksichtigt: Nur Technologien, die bald im Grossmassstab einsatzbereit sind, können bis 2030 überhaupt nennenswert zur Reduktion der CO₂-Emissionen beitragen. Für 2050 sind die Anforderungen an den Reifegrad weniger streng, denn es bleibt noch Zeit für deren Weiterentwicklung.

Gemäss der im Fachmagazin «One Earth» publizierten Studie sind nur 8 von 74 untersuchten CCU-Methoden mit den gesetzten Zielen für 2030 kompatibel und gerade mal 4 mit den Kriterien für 2050. Zudem legen die Forschenden nahe, dass CCU-Technologien, die bis 2050 nicht klimaneutral sein können, eine Exit-Strategie zu deren Einstellung benötigen.

Klar am besten schneiden CCU-Technologien zum Einbau von Kohlendioxid in Baumaterialien ab, etwa in Schlacken zur Herstellung von Stahl. Bei den meisten dieser Verfahren stehen unter dem Strich sogar negative Emissionen: Der Atmosphäre wird CO₂ entzogen.

Erstaunlicherweise kann CCU auch bei der Förderung von Öl sinnvoll eingesetzt werden, und zwar um die Ölausbeute zu erhöhen. Dazu wird CO₂ ins Ölfeld gepresst. Solange pro Tonne verpresstem CO₂ nicht mehr als zwei Barrel Öl gefördert werden, spart das insgesamt betrachtet CO₂ ein, selbst wenn das geförderte Öl nachher verbrannt wird.

Bei der Herstellung von Treibstoffen aus CO₂ fällt die Bilanz gemischt aus. Ein Beispiel sind die sogenannten Fischer-Tropsch-Kraftstoffe. CO₂ wird dabei zusammen mit Wasserstoff oder Methan in ein Synthesegas überführt, das als Grundbaustein für diverse Treibstoffe dient. Wenn das Kohlendioxid aus dem Abgas von Kohle- oder Gaskraftwerken stammt, geht die Klimarechnung deutlich nicht auf. Daher sollte das CO₂ aus pflanzlicher Biomasse oder direkt aus der Atmosphäre stammen. Auch

sollten die synthetischen Kraftstoffe mithilfe CO₂-freier, elektrischer Energie und Abwärme hergestellt werden.

Jede Reduktion von Emission ist hilfreich

«Der direkte Vergleich der Emissionen von CCU-Produkten mit den Emissionen der substituierten Produkte gibt einen sehr guten Überblick darüber, wie nützlich die vielen verschiedenen CCU-Technologien für den Klimaschutz tatsächlich sind», sagt Jessica Streffler von der Abteilung Transformationspfade des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung, die nicht an der Studie beteiligt ist. «Die Studie zeigt deutlich, dass nur CCU-Technologien, die fossiles CO₂ langfristig speichern oder atmosphärisches oder biogenes CO₂ nutzen, auch einen Nutzen für den Klimaschutz haben können.»

Bakterien stellen Chemikalien aus CO₂ her

Forschende haben Bakterien gentechnisch so verändert, dass sie aus CO₂ gewünschte Chemikalien herstellen. Es handelt sich um gewisse Clostridium-Bakterien, die für ihren Stoffwechsel weder Sonnenlicht noch Sauerstoff benötigen; vielmehr gewinnen sie ihre Energie aus der sogenannten Carbonatatmung. Die Forschergruppe um Fungrim Eric Liew von der Northwestern University hat die Clostridium-Bakterien so verändert, dass sie aus CO₂ substanzielle Mengen an

Aceton und Isopropanol produzieren. Beide für die chemische Industrie wichtigen Substanzen stellen die Bakterien in der Natur sonst nicht her. Wie die Forschenden im Fachmagazin «Nature Biotechnology» berichten, binden die Bakterien mehr CO₂, als sie freisetzen. So lässt sich mit diesem Prozess der Atmosphäre CO₂ entziehen. Die Studienautoren erwarten, dass sich die Methode auf eine grosse Bandbreite an Grundchemikalien anwenden lässt. (foi)

Die Schlussfolgerung des Autorenteam, dass Technologien, die 2030 einen grossen Nutzen bringen, aber 2050 nicht emissionsneutral sind, eine Exit-Strategie brauchen, greift laut Streffler allerdings zu kurz. «Aus meiner Sicht kann eine solche Technologie trotzdem sehr sinnvoll sein, wenn es keine besseren Alternativen gibt», sagt Streffler. «Hier fehlt ein Kriterium, das die möglichen Alternativen der Produkte bewertet. Wenn eine CCU-Technologie die einzige oder klimafreundlichste Option ist, ein bestehendes emissionsintensives Produkt zu ersetzen, dann ist jede Emissionsreduktion hilfreich, nicht nur eine vollständige Vermeidung.»

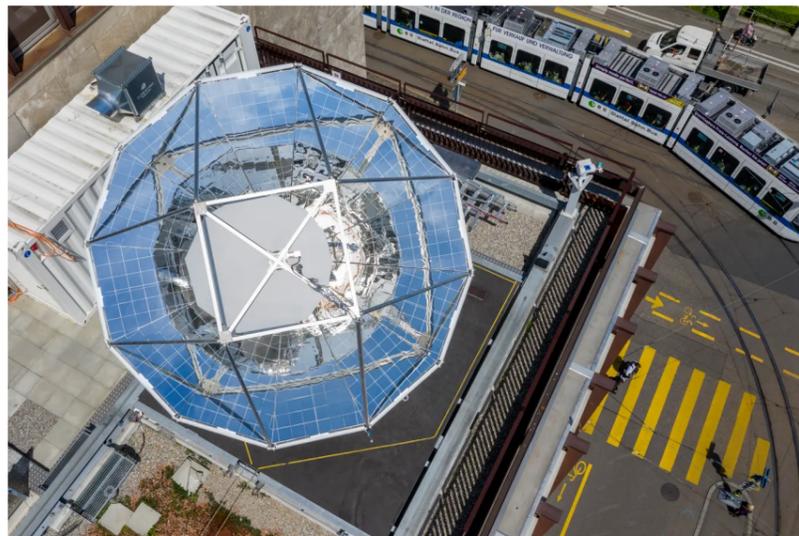
Letztlich sehen die Forschenden um De Kleijne ihre Studie als Anhaltspunkt für die Politik, wie Fördergelder bei CCU sinnvoll eingesetzt werden sollten. Dabei konkurrieren die CCU-Technologien nicht nur untereinander, sondern auch mit dem Einfang von CO₂ und dessen Lagerung im Untergrund, genannt Carbon Capture and Storage (CCS). Wie es in der Studie heisst, resultiert CCS in aller Regel in geringeren Emissionen als CCU. Daher sollte man sich gut überlegen, welche CCU-Technologien gefördert werden sollten. «Wenn eine Technologie die Emissionen nicht deutlich reduziert und noch weit entfernt ist von der Kommerzialisierung», sagt De Kleijne, «dann könnte es besser sein, Fördergelder in Technologien umzuleiten, die das Potenzial besitzen, die Emissionen drastisch zu reduzieren.»

Sven Titz, «Aus Luft und Licht kann CO₂-neutraler Treibstoff erzeugt werden», *Neue Zürcher Zeitung* 13. Juni 2019

Aus Luft und Sonnenlicht kann CO₂-neutraler Treibstoff erzeugt werden – jetzt wurde in Zürich erstmals die ganze Prozesskette vorgestellt

Mithilfe des Solarreaktors lassen sich sowohl Methanol als auch Kerosin herstellen. Ob das Produktionsverfahren in Zukunft einmal kommerziell konkurrenzfähig sein wird, ist noch unklar.

Sven Titz
13.06.2019, 14.45 Uhr



Die Mini-Raffinerie funktioniert auch unter den klimatischen Bedingungen von Zürich – ein Nachweis für die Machbarkeit der Technik. (Bild: Alessandro Della Bella / ETH Zürich)

Wer sich die Anlage auf dem Dach des Maschinenlaboratoriums der ETH Zürich ansehen möchte, muss eine Sonnenbrille aufsetzen – so kräftig glänzt und glitzert es im Parabolspiegel. Er hat einen Durchmesser von viereinhalb Metern und ist Teil eines vielversprechenden technischen Verfahrens: Ein Forscherteam an der ETH produziert damit aus Luft und Sonnenlicht einen CO₂-neutralen Treibstoff. Jetzt wurde in Zürich erstmals die vollständige Prozesskette unter realistischen Bedingungen vorgestellt.

Philipp Furler, der Direktor des ETH-Spin-offs Synhelion, schwenkt ein kleines Fläschchen mit einer klaren Flüssigkeit darin – Methanol, das in der Anlage hergestellt wurde. Pro Tag kann dort ein Zehntel Liter produziert werden.

Konzentriertes Sonnenlicht

Zunächst gewinnt man in dem Verfahren CO₂ und Wasser aus der Luft. Dieser Prozess wird von dem ETH-Spin-off Climeworks bereits kommerziell eingesetzt. Das Herzstück des Verfahrens ist aber ein Keramikschaum aus Ceriumoxid. Er befindet sich in dem solaren Reaktor in der Mitte des Parabolspiegels. Der Spiegel sammelt das Sonnenlicht und verstärkt es dabei auf das 3000-Fache; dadurch entsteht eine Hitze von bis zu 1500 Grad Celsius. Der Keramikschaum besitzt millimetergrosse Poren, um das Licht hereinzulassen, und Mikrometergrosse Poren für die chemischen Reaktionen. In dem Reaktor wandeln die Wissenschaftler CO₂ und Wasser in Wasserstoff und Kohlenmonoxid um. Im dritten Schritt wird die Gasmischung – das sogenannte «Synthesegas» – in Methanol transformiert.



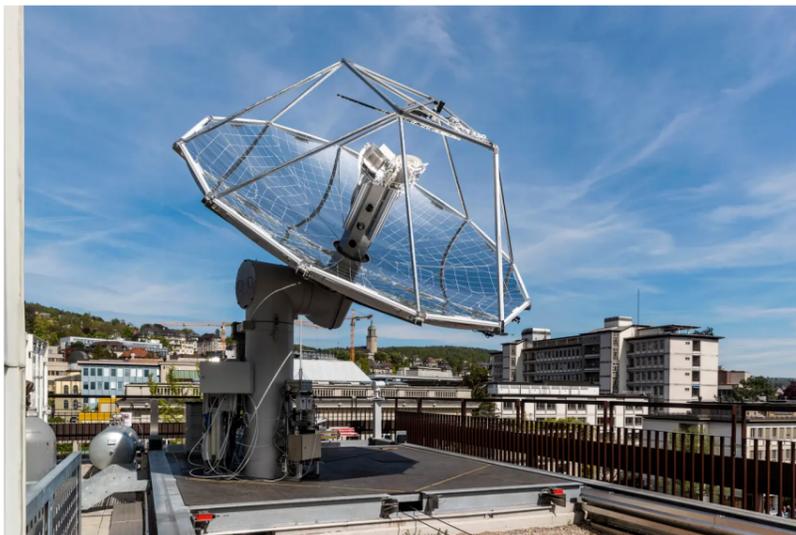
Das Synthesegas, das in der Anlage produziert wird, lässt sich in flüssige Treibstoffe wie Methanol oder Kerosin weiterverarbeiten. (Bild: Alessandro Della Bella / ETH Zürich)

Für die industrielle Anwendung reiche der Wirkungsgrad des Reaktors noch nicht aus, räumt Furler ein. Derzeit können fünf bis sieben Prozent der hineingesteckten Solarenergie in die chemische Energie des Synthesegases umgewandelt werden. Die Fachleute streben aber einen Wirkungsgrad von 25 Prozent an. Viel Potenzial zur Verbesserung sieht Furler in der Wärmerückgewinnung im Zusammenhang mit dem chemischen Reaktionszyklus, der für die Herstellung des Synthesegases massgeblich ist. Die Wissenschaftler planen, eine erste kommerzielle Anlage im Jahr 2025 fertigstellen zu können.

Entwickelt wurde das Verfahren ursprünglich in einer Arbeitsgruppe um Aldo Steinfeld von der ETH Zürich, zu der auch Furler gehörte. 2010 gelang es erstmals, den chemischen Reaktionszyklus im Labor zu demonstrieren.

Eine grössere Anlage in Madrid

Zeitgleich mit der Vorstellung in Zürich war Steinfeld in Madrid aktiv. Er beteiligte sich dort an der Präsentation einer verwandten, aber viel grösseren Anlage: In Madrid fokussiert ein Feld von Heliostaten – das sind fixierte Spiegel – das Sonnenlicht auf einen Solarreaktor, der auf einem Turm installiert ist. Hierbei wird das Synthesegas nicht in Methanol umgewandelt, sondern via Fischer-Tropsch-Verfahren zu Kerosin weiterverarbeitet. Das Projekt «Sun to Liquid» wird von der Europäischen Kommission und dem Schweizer Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation gefördert.



Dieser Parabolspiegel der Anlage zur Erzeugung von CO₂-neutralem Treibstoff befindet sich auf dem Dach des ETH-Maschinenlaboratoriums. (Bild: Alessandro Della Bella / ETH Zürich)

«Eine Solaranlage mit einer Fläche von einem Quadratkilometer könnte pro Tag 20 000 Liter Kerosin produzieren», erläutert Furler. In Kalifornien und Chile, aber auch in Südeuropa gebe es viele geeignete Flächen. Langfristig, so hoffen die Wissenschaftler, liesse sich ein Kerosinpreis von einem bis zwei Franken pro Liter erreichen. Damit hätte man den heutigen Preis zwar noch nicht unterboten, der bei ungefähr 50 Rappen liegt; man wäre aber in der gleichen Grössenordnung angelangt. Ob das ausreicht, um eine Chance auf dem Markt zu erhalten, ist derzeit ungewiss. Ein grosser Vorteil des solar produzierten Kerosins wäre allerdings, dass anders als bei Biokraftstoffen keine landwirtschaftlichen Nutzflächen verdrängt werden.

Stefan Hotz, *Schlüsseltechnologie der Energiewende, Im Limmattal entsteht aus Kehricht und Abwasser grünes Gas, Neue Zürcher Zeitung 2. Mai 2022*

Schlüsseltechnologie der Energiewende

Im Limmattal entsteht aus Kehricht und Abwasser grünes Gas



In dieser Anlage wird das Methangas aus dem Bioreaktor vor dem Einspeisen ins Netz aufbereitet.

ANNICK RAMP / NZZ

STEFAN HOTZ

Der neue dreistöckige Holzbau steht zwischen der Abwasserreinigung (ARA) und der Kehrichtverwertungsanlage (KVA) an der Limmat in Dietikon. Im Innern ist er angefüllt mit Röhren, Pumpen, Anzeigen, Kabeln, das es Technikaffine mit Freude erfüllen muss. Das Herzstück aber befindet sich direkt am Gebäude im Freien: ein Tank mit 50 Kubikmetern Fassungsvermögen.

Er ist geschlossen, und das ist auch besser so. Der Bioreaktor ist zu zwei Dritteln gefüllt mit Klärschlamm aus den beiden nahen Faultürmen. Ein starkes Rührwerk mischt permanent bei einer Temperatur von 60 Grad den Inhalt. Im oberen Drittel sammelt sich Gas. Um das geht es.

Es ist die erste Power-to-Gas-Anlage der Schweiz im industriellen Massstab. Dass sie in Dietikon steht, liegt einerseits daran, dass sich ARA und KVA hier am gleichen Standort befinden. Denn vereinfacht gesagt geht es darum, aus Abfall und Abwasser klimaneutrales, grünes Gas zu gewinnen.

Wohin mit überschüssigem Gas?

Limeco, welche die Anlagen samt einem Fernwärmenetz betreibt, will aber auch neue Wege in der Energiefrage beschreiten. Die interkommunale Anstalt wird von den Gemeinden des Limmattals betrieben. Die Trägerschaft des Pilotprojekts bilden jedoch acht Stadtwerke aus der ganzen Deutschschweiz. Die Stromproduktion der Zukunft steht vor zwei Problemen. Mit der Verbreitung der Photovoltaik fällt der Strom über die Zeit in sehr unterschiedlicher Menge an. Und Elektrizität lässt sich ausser in Stauseen nicht ohne weiteres über eine längere Dauer speichern.

Die Idee von Power-to-Gas ist es, überschüssigen Strom in Gas umzuwandeln, das man ins Netz einspeisen oder speichern kann. So liesse sich mit Gaskraftwerken die Stromlücke im Winter überbrücken. Mehr Strom als gefragt hat auch die KVA in Dietikon oft. Damit das Netz nicht überlastet wird, muss sie immer wieder ihre Turbine zurückfahren. Der Dampf, der sie antreibt, wird dann mit Wasser aus der Limmat gekühlt und diese Energie als Abwärme in die Atmosphäre entlassen.

Neu wird mit dem Strom, der für Limeco kostenlos ist, mittels Elektrolyse Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgetrennt. Der Wasserstoff wird dem Klärschlamm im Bioreaktor zugefügt. Sogenannte Archäen wandeln ihn und das CO₂ im Schlamm zu Methangas um. Die Mikroorganismen müssen nicht zugesetzt werden, sie sind bereits im menschlichen Verdauungstrakt vorhanden.

Das gewonnene Gas ist brennbar, wird gereinigt und besitzt die gleichen Eigenschaften wie Erdgas. Es kann in Haushalten, in der Industrie oder im Verkehr verwendet werden. Aber es ist nicht fossil, sondern vollständig klimaneutral.

Power-to-Gas wurde bis anhin im Labor erprobt, etwa an der Hochschule Rapperswil. Ziel der industriellen Anlage in Dietikon ist es nun, den Nachweis für die technische Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit im grossen Stil zu erbringen, wie Thomas di Lorenzo, Leiter Abwasserwirtschaft bei Limeco, am Freitag vor den Medien ausführte.

Seit März läuft die Anlage probenhalber und reibungslos. Mitte Mai startet der kontinuierliche Betrieb. Das gewonnene Gas wird vorerst in das Gasnetz von Dietikon eingespeist. Die beteiligten Stadtwerke erhalten für den ökologischen Mehrwert ein Zertifikat. Die Anlage kann mit etwa 10 000 bis

15 000 Megawattstunden pro Jahr etwa 18 000 Megawattstunden erneuerbares Gas produzieren.

Weil es um die Verwendung von überschüssigem Strom geht, ist die Frage nach dem Wirkungsgrad an sich mässig. Tatsächlich geht etwa die Hälfte der Energie bei der Umwandlung von Strom in Gas verloren. Weil die Abwärme der Anlage dem Fernwärmenetz von Limeco zugeführt werden kann, bezifferte Limeco-Geschäftsführer Patrik Feusi den Wirkungsgrad auf rund 80 Prozent.

Das Problem des überschüssigen Stroms stellt sich je länger, je mehr. Thomas Peyer von Swisspower betonte, um vom Erdöl und Erdgas wegzukommen und um den Wegfall der Atomkraft zu kompensieren, müsse der Zubau von Anlagen für Solarstrom rascher und in weit grösserem Umfang erfolgen; umso stärker werden die Schwankungen. Swisspower, ein Verbund von Stadtwerken, hat die Realisierung der Dietiker Anlage massgeblich angestossen.

Bei Gesamtinvestitionen von rund 14 Millionen Franken senkt das erneuerbare Gas die CO₂-Emission um etwa 4000 bis 5000 Tonnen im Jahr. Das entspricht etwa dem Ausstoss von 2000 Haushalten. Peyer machte noch einen anderen Vergleich: Würden alle 30 KVA der Schweiz eine Power-to-Gas-Anlage dieser Grösse erstellen, könnte man zusammen mit dem bereits jetzt produzierten Biogas etwa den heutigen Import von Erdgas aus Russland ersetzen.

Weitverbreitetes Interesse

Die Anlage hat noch in anderer Hinsicht eine politische Komponente. In Zürich und Winterthur, deren Werke beziehungsweise an der Pilotanlage von Limeco nicht beteiligt sind, fasst man den

Ausstieg aus dem Gas und damit die Aufhebung der Gasinfrastruktur ins Auge.

Limeco-Geschäftsführer Feusi hat dazu eine klare Meinung. Er hält diesen Entscheid für falsch, ebenso den Weg, die Energiewende nur auf der Schiene Strom erreichen zu wollen. Aber das sei eine politische Frage. Entscheidend sei, von fossiler hin zu erneuerbarer Energie zu kommen, ob das nun Strom, Gas oder Wärme sei.

Die Anlage dient laut Feusi gerade dem Ziel, zur rechten Zeit die richtige Energie in der geforderten Qualität den richtigen Abnehmern zur Verfügung stellen zu können. Man solle Strom und erneuerbares Gas nicht gegeneinander ausspielen, so Feusi. Gegen die Klimawärmung müsse man ohnehin alles tun, was machbar sei.

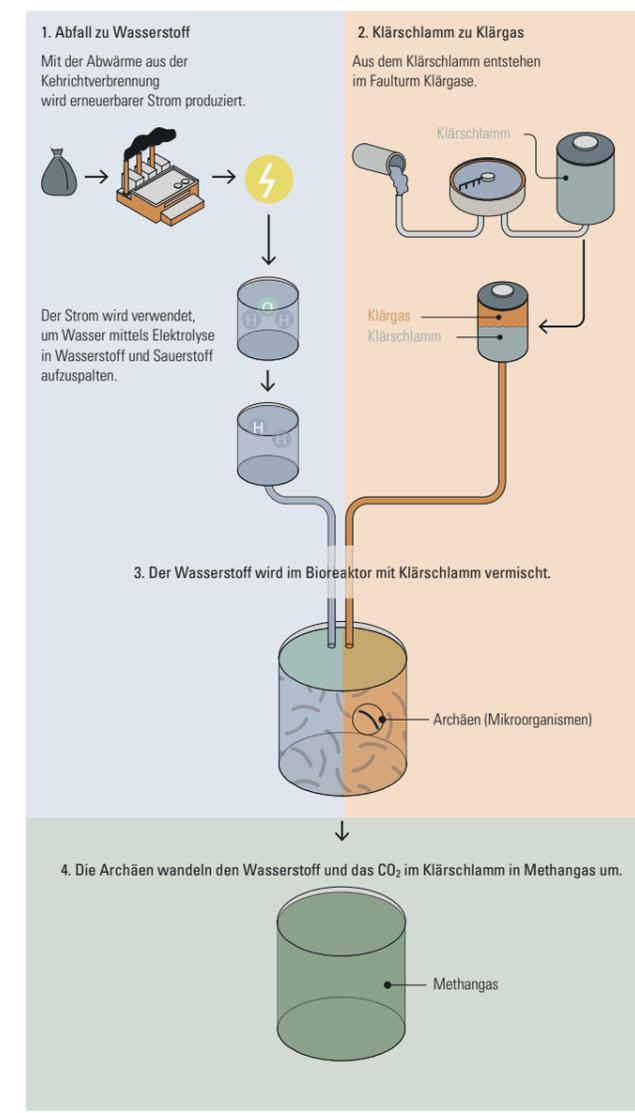
Genauere Recherchen hat Limeco zwar nicht angestellt. Aber man schliesst in Dietikon nicht aus, dass es sich um die

bis anhin grösste Power-to-Gas-Anlage weltweit handelt. Auch die Vertreter der bayrischen Firma Schmack, die sie konstruierte, haben keine Kenntnis von einem zweiten derart grossen Exemplar. Auch für sie sei es ein Freudentag, bemerkten sie an der Einweihung.

Die Vertreterin von Energie Wasser Bern (EWB) begründete ihren Besuch in Dietikon so: Auch in Bern verfügten sie über Strom sowie Klärgas und überlegten sich den Bau einer solchen Anlage.

Das Pilotprojekt wurde von Bund und Kanton gefördert. Man brauche in Zukunft nicht nur mehr Strom, sondern sei ebenso auf chemische Energieträger, also klimaneutrales Gas, angewiesen, sagte Benoît Revaz, der Direktor des Bundesamtes für Energie, an der Einweihung. Der Zürcher Baudirektor Martin Neukom (Grüne) gratulierte Limeco zum mutigen Schritt.

Die Power-to-Gas-Anlage erzeugt Methangas aus erneuerbaren Energiequellen



Volker Quaschnig und Cornelia Quaschnig, „Energierévolution jetzt! Mobilität, Wohnen, grüner Strom und Wasserstoff: Was führt uns aus der Klimakrise – und was nicht?“ München 2022, S. 119–139 und 152–159

IST WASSERSTOFF LÖSUNG ODER IRRWEG FÜR DIE ENERGIEREVOLUTION?

Immer wenn der Ausbau der Solar- und Windenergie stockt, wird Wasserstoff als Alternative genannt. Wasserstoff soll uns in die Klimaneutralität führen, Wasserstoffautos den Verkehr vom Treibhausgasausstoß befreien. Dabei kommt Wasserstoff auf der Erde in reiner Form so gut wie gar nicht vor. Er muss erst einmal aufwändig hergestellt werden – das kostet Energie sowie jede Menge Geld. Wählt man dabei den falschen Weg, entstehen sogar mehr Treibhausgase, als wenn man weiterhin fossile Energieträger nutzt. Dann führt Wasserstoff in die Klimaschutzsackgasse anstatt in die Klimaneutralität. Grund genug, beim Wasserstoff einmal näher hinzuschauen und zu erklären, wo der Einsatz von Wasserstoff sinnvoll ist und wo er am Ende den Klimaschutz erschwert.

Jules Verne träumte in seinem Roman »Die geheimnisvolle Insel« bereits von einer Wasserstoffwirtschaft. Damit hat er offenbar viele Menschen angesteckt. Wasserstoff hat ein unglaublich positives Image. Er lässt sich genauso wie Erdgas als Energieträger sehr universell einsetzen. Wir können mit Wasserstoff heizen, Wasserstoffautos fahren, Strom erzeugen, Energie speichern oder ihn als Rohstoff für die Industrie nutzen. Er gilt als sehr sauber und als die ultimative Lösung für den Klimaschutz. Richtig ist, dass Wasserstoff erst einmal sehr sauber verbrennt. Wasserstoff reagiert mit Luftsauerstoff zu Wasser. Das kennt man aus dem Chemieunterricht: Wasserstoff (H₂) oxidiert mit Sauerstoff (O₂) zu Wasser (H₂O). Das Abfallprodukt der Reaktion ist reines Wasser. Das ist für die Klimakrise erst einmal völlig unschädlich. Wasserdampf ist zwar auch ein natürliches Treibhausgas, aber der Mensch kann den Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre nicht wirklich beeinflussen. Im Vergleich zu den natürlichen Quellen wie der Verdunstung durch die Meere sind die vom Menschen verursachten Mengen vernachlässigbar gering. Anders als Kohlendioxid bleibt Wasserdampf auch nicht dauerhaft in der Atmosphäre, sondern kondensiert und fällt irgendwann als Regen recht zeitnah wieder zurück auf die Erde.

Das Problem beim Wasserstoff entsteht an anderer Stelle. Es gibt keinen Wasserstoff, den wir einfach wie Erdgas oder Erdöl zutage fördern können. Wir müssen Wasserstoff erst einmal aufwändig technisch erzeugen. Je nach Art der Erzeugung kann der so vermeintlich saubere Wasserstoff plötzlich zum Problem werden. Wasserstoff wird heute schon in großen Mengen verwendet, und zwar vor allem in der chemischen Industrie. Beim Wasserstoff denken viele zuerst an das Wasserstoffauto. Dabei sind die Mengen, die derzeit dort zum Einsatz kommen, im Vergleich zur Industrie homöopathische Dosen. Rund 500 Milliarden Kubikmeter Wasserstoff werden schon heute weltweit verwendet. Das ist schon eine ganz schön große Menge, die derzeit fast ausschließlich mit fossilen Energieträgern wie Erdgas, Schweröl oder Kohle hergestellt wird. Dabei entsteht auch jede Menge Kohlendioxid. Rund ein Prozent der weltweiten Kohlendioxidemissionen stammt aus der Produktion von Wasserstoff. Momentan ist Wasserstoff also kein Klimaschützer, sondern eher ein Klimakiller.

Wasserstoff ist das häufigste Element in unserem Universum, ohne Wasserstoff würde auf der Erde auch gar kein Leben existieren. 93 Prozent aller Atome in unserem Sonnensystem sind Wasserstoffatome. Der Anteil an der Erdmasse ist allerdings deutlich geringer und beträgt nicht einmal 0,03 Prozent. Die häufigsten Elemente bei uns sind Eisen und Sauerstoff. In der Erdkruste kommt Wasserstoff aber viel häufiger vor, beispielsweise in den Weltmeeren. Anders als bei der Sonne oder den Planeten Jupiter, Saturn und Uranus, die größtenteils aus Wasserstoff bestehen, gibt es Wasserstoff bei uns nur in gebundener Form. Die bekannteste Form ist Wasser (H₂O). Auch Erdgas besteht zu großen Teilen aus Wasserstoff. Erdgas ist im Wesentlichen

identisch mit Methan, das die chemische Formel CH₄ hat. Es besteht also aus einem Kohlenstoffatom und vier Wasserstoffatomen.

Wasser und Erdgas sind die wichtigsten Rohstoffe, wenn wir auf der Erde Wasserstoff erzeugen wollen. Alternativ könnten wir auch zum Jupiter oder zum Saturn fliegen und dort Wasserstoff einfach einladen. Für den Flug würden wir aber mehr Wasserstoff als Treibstoff verbrauchen, als wir transportieren könnten. Also bleibt uns am Ende doch nur die Herstellung auf der Erde.

Die Wasserstoff-Farbenlehre

Je nachdem, wie Wasserstoff hergestellt wird und wie klimaverträglich er ist, weist man ihm eine Farbe zu. Es gibt grauen, blauen, türkisen oder grünen Wasserstoff, und es werden immer noch neue Farben erfunden. Aber egal, von welcher Farbe der Wasserstoff angeblich ist: Er ist in Wirklichkeit nur ein farbloses Gas. Wird ein Wasserstoffauto mit blauem oder grünem Wasserstoff betankt, tropft also am Ende hinten kein blaues oder grünes Wasser heraus. Die genannten Farben dienen nur zur theoretischen Unterscheidung des Herstellungsverfahrens. Es gibt sie also nur auf dem Papier. Beginnen wir in der Wasserstoff-Farbenlehre mit dem grauen Wasserstoff.

Grauer Wasserstoff ist, wie die Farbe schon sagt, die schmutzigste Form des Wasserstoffs. Dreckiges Grau erinnert an düstere Wintertage. Hergestellt wird grauer Wasserstoff aus Erdgas, Schweröl oder Kohle. Das sind alles fossile Energieträger und sogenannte Kohlenwasserstoffe, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Zur Herstellung von Wasserstoff muss man in chemischen Verfahren Kohlenstoff und Wasserstoff trennen. Das gängigste großindustrielle Verfahren dafür ist das Dampfreforming. Ausgangsstoff ist Erdgas. Bei hohen Temperaturen wird der Wasserstoff vom Kohlenstoff abgetrennt. Der Kohlenstoff reagiert dann mit Luftsauerstoff zu Kohlendioxid. Weil dabei ein Teil der Energie des Erdgases verloren geht, entsteht am Ende bei der

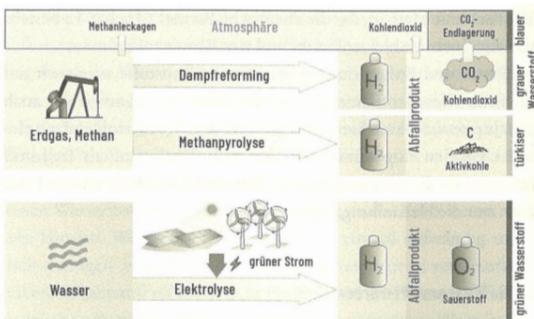


BILD 11 Die Wasserstoff-Farbenlehre – Möglichkeiten der Wasserstoffherzeugung

Herstellung von grauem Wasserstoff rund 50 Prozent mehr Kohlendioxid, als wenn man Erdgas mit der gleichen Energiemenge direkt verbrennen würde. Noch schlimmer wird es, wenn andere Verfahren zur Wasserstoffproduktion zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel Oxidation von Schweröl oder Elektrolyse mit grauem Strom, also Strom aus Kohle- oder Gaskraftwerken. Für den Klimaschutz ist grauer Wasserstoff damit völlig kontraproduktiv. Der Wasserstoff verbrennt am Ende zwar sauber, aber die Herstellung von grauem Wasserstoff verursacht extrem viele Treibhausgase. Wer heute also ein Wasserstoffauto mit grauem Wasserstoff fährt, erzeugt damit mehr Kohlendioxid als mit einem Benzin-, Diesel oder Erdgasauto.

»Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Energieträgern wie Erdgas hergestellt. Bei der Herstellung von Wasserstoff aus Erdgas wird deutlich mehr Kohlendioxid frei als bei der direkten Verbrennung von Erdgas.«

Als Ausweg aus diesem Dilemma setzt die Erdgaswirtschaft auf blauen Wasserstoff. Blauer Wasserstoff wird erst einmal genauso wie grauer Wasserstoff hergestellt. Es entstehen also auch wieder große Mengen an Kohlendioxid. Das Kohlendioxid wird aber nicht in die Atmosphäre geblasen, sondern abgetrennt, aufgefangen und anschließend in einem Endlager unter Tage entsorgt, um keinen Klimaschaden zu verursachen. Die Idee des »Carbon Capture and Storage« (CCS) kennen wir schon aus den vorigen Kapiteln. Das große Versprechen der Gasindustrie lautet also: »Wir können aus dreckigem Erdgas sauberen Wasserstoff herstellen und damit das Klimaproblem lösen.«

Wirklich klimaneutral ist blauer Wasserstoff aber auch nicht. Für das Einhalten des Pariser Klimaschutzabkommens dürfen wir in absehbarer Zeit gar keine Treibhausgase mehr freisetzen. Wenn blauer Wasserstoff nur weniger klimaschädlicher ist, aber am Ende immer noch Treibhausgase frei werden, ist uns am Ende auch nicht wirklich geholfen. Bei der Förderung und dem Transport von Erdgas gibt es nämlich immer kleinste Leckagen. Sehr kleine Mengen an Erdgas entweichen dort unweigerlich und gelangen dann ungenutzt in die Atmosphäre. Bei einem Tausende Kilometer langen Leitungsnetz können sich aber auch kleinste Mengen zu einem echten Problem summieren. Erdgas besteht, wie bereits erwähnt, fast ausschließlich aus Methan. Methan, das unverbrannt in die Atmosphäre gelangt, ist aber ein sehr potentes Treibhausgas. Auch kleine Mengen können darum einen großen Klimaschaden anrichten. Ein zweites Problem tritt bei der Abtrennung des Kohlendioxids auf. In heutigen Anlagen lassen sich bestenfalls gut 90 Prozent des Kohlendioxids auffangen und der Endlagerung zuführen, heute sind eher 60 bis 70 Prozent üblich. Der Rest gelangt dann immer noch in die Atmosphäre. Mit blauem Wasserstoff lassen sich im Vergleich zu grauem Wasserstoff die Kohlendioxidemissionen also nur um etwas mehr als die Hälfte reduzieren. Damit hat am Ende auch blauer Wasserstoff nur eine geringfügig bessere Klimabilanz als Erdgas. Für das Einhalten des Pariser Klimaschutzabkommens ist er keine Alternative.

Es gibt noch eine weitere Möglichkeit, aus Erdgas Wasserstoff zu erzeugen, die einen etwas kleineren Klimafußabdruck hat. Der türkise Wasserstoff wird über die sogenannte Methanpyrolyse gewonnen. Bei der Methanpyrolyse ist auch wieder Erdgas beziehungsweise Methan das Ausgangsprodukt. Die Aufspaltung von Methan erfolgt bei der Methanpyrolyse bei viel höheren Temperaturen als beim Dampfreforming. Neben Wasserstoff entsteht als Abfallprodukt dann nicht mehr gasförmiges Kohlendioxid, sondern fester Kohlenstoff. Dadurch gelangt kaum mehr Kohlendioxid in die Atmosphäre. Das Problem der Methanleckagen bei der Erdgasgewinnung bleibt aber bestehen.

Türkiser und blauer Wasserstoff haben eines gemein: Beide Verfahren sind derzeit relativ teuer, sodass sie sich heute wirtschaftlich noch überhaupt nicht tragen. Es gibt natürlich bereits Prototypanlagen. Die Gewinnung im großen industriellen Maßstab findet aber noch nicht statt. Unternehmen wie BASF haben aber Interesse bekundet, in diese Technologie einzusteigen. Festes Carbon, also Kohlenstoff, als Abfallprodukt lässt sich nämlich auch in der chemischen Industrie verwenden. Man kann damit verschiedene Produkte herstellen, wie zum Beispiel Batterien. Wird das Carbon aber stofflich genutzt, stellt sich ein anderes Problem: Wenn die Produkte, für die das Carbon verwendet wird, irgendwann einmal ausgedient haben, kommen sie in die Entsorgung. Im Zweifelsfall landen sie in der Müllverbrennungsanlage, die dann das Carbon wieder zu Kohlendioxid verbrennt. Auch das würde wiederum den Treibhauseffekt befeuern. Die Klimabilanz von türkischem Wasserstoff wäre wie die von grauem Wasserstoff deutlich schlechter als bei der direkten Nutzung von Erdgas.

Wird das Carbon hingegen in Endlagern entsorgt, wäre verhindert, dass daraus klimaschädliches Kohlendioxid entsteht und in die Atmosphäre gelangt. Ein Vorteil ist dabei, dass das Volumen von festem Carbon viel kleiner ist als das von gasförmigem Kohlendioxid ist. Das erleichtert die Endlagerung. Bekäme man dann auch noch die Methanleckagen in den Griff, wäre türkiser Wasserstoff am Ende nahezu klimaneutral. Noch besser wäre die Klimabilanz, wenn als Ausgangs-

stoff Biogas anstelle von Erdgas verwendet wird. Nachhaltig angebaute Biomasse entzieht beim Wachsen der Atmosphäre Kohlendioxid. Biogasanlagen können die Biomasse dann in Methan umwandeln. Auch hier muss man aufpassen, dass man mit Methanleckagen kein zusätzliches Klimaproblem erzeugt. Gewinnt man Methan aber weitgehend leakagefrei und wird das bei der Wasserstoffherstellung entstehende Carbon endgelagert und nicht wieder verbrannt, ließe sich mit dem Verfahren der Atmosphäre sogar Kohlendioxid entziehen. Das bei Biomassewachstum aus der Atmosphäre gebundene Kohlendioxid würde dann am Ende als festes Carbon endgelagert.

Türkiser Wasserstoff ist nicht in jeder Form eine Option für den Klimaschutz. Man muss ihm aber auch nicht gleich die rote Klimakartekarte zeigen, da bei der Nutzung von Biogas große Vorteile für den Klimaschutz entstehen können. Auf den ersten Blick klingt das bestechend. Auf den zweiten Blick ist diese Variante sehr teuer. Darum ist es auch wenig wahrscheinlich, dass sie sich in absehbarer Zeit durchsetzt. Die Fragezeichen überwiegen also auch beim türkisen Wasserstoff.

Schließen wir die Wasserstoff-Farbenlehre mit dem viel gehypten Hoffnungsträger ab: dem grünen Wasserstoff. Beim grünen Wasserstoff ist Wasser und nicht Erdgas der Ausgangsstoff. Mit Hilfe der Elektrolyse und Strom aus erneuerbaren Energien lässt sich Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten. Die Elektrolyse kennt man in der Regel aus dem Chemie- oder Physikunterricht. Strom, der über zwei Elektroden in ein Gefäß mit Wasser geleitet wird, zersetzt Wasser in Wasserstoff- und Sauerstoffgas. Das Wasserstoffgas kann aufgefangen und als grüner Wasserstoff genutzt werden. Das Problem von Methanleckagen fällt hierbei weg.

Stammt der Strom für die Elektrolyse ausschließlich aus erneuerbaren Energieanlagen wie Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, ist die Wasserstoffherstellung völlig klimaneutral. Entscheidend ist dafür aber, dass der Strom wirklich nur durch erneuerbare Energieanlagen erzeugt wurde. Wird gewöhnlicher Strom aus dem Netz verwendet, der in Deutschland noch etwa zur Hälfte mit fossilen Kohle- oder Erdgaskraftwerken gewonnen wird, ist der Klimavorteil schon wieder dahin. Dann entsteht das Kohlendioxid nicht bei der Wasserstoffherstellung, aber dafür in den fossilen Kraftwerken zur Stromerzeugung. Eigentlich ist dann der Wasserstoff auch nicht grün, sondern genau genommen graugrün. Wirklich grünen Wasserstoff herzustellen ist in Deutschland derzeit noch schwierig, weil nicht ausreichend grüner Strom zur Verfügung steht. Die Wasserstoffherstellung ist also erst der zweite Schritt. Im ersten Schritt müssen wir dafür sorgen, dass wir ausreichend grünen Strom produzieren. Insofern ist der aktuelle Wasserstoffhype deutlich verfrüht. Die Herstellung von Wasserstoff durch die Elektrolyse hilft momentan kaum, die Treibhausgase zu senken, da wir damit eher die Laufzeiten von Kohle- und Gaskraftwerken verlängern.

Nun gibt es auch Stimmen, die sagen, dass wir doch heute schon Überschussstrom aus der Windkraft zur Wasserstoffherstellung nutzen könnten. In der Tat wird im Jahresverlauf ein Teil der Stromerzeugung aus Windkraftanlagen abgeregelt, da die Netze nicht den gesamten Strom aufnehmen können. Wenn wir sehr viel Wind haben und schon viel Strom im Netz ist, können die Netze den Windstrom nicht mehr dahin transportieren, wo er noch verbraucht werden könnte. Dann schaltet man einfach einige Windkraftanlagen ab, obwohl sie Strom erzeugen könnten, und wirft den Strom praktisch weg. Warum also nicht aus diesem Wegwerfstrom Wasserstoff erzeugen, der dann völlig unbestritten grün wäre? Was auf den ersten Blick sehr einleuchtend klingt, hat auf den zweiten Blick einen Haken. Im Jahr 2019 mussten gerade einmal rund drei Prozent des Windkraftstroms abgeregelt werden. Wir reden also im Mittel nicht über Wochen oder gar Monate, die Windkraftanlagen stillstehen, sondern nur über Stunden, schlimmstenfalls Tage. Einen Elektrolyseur an einer Windkraftanlage aufzubauen, der am Ende nur wenige Tage im Jahr läuft, lässt die Kosten für grünen Wasserstoff explodieren. Die hohen Kosten für den Elektrolyseur müssten nämlich auf kleinste Mengen an Wasserstoff

umgelegt werden. Da kommt man schnell in Regionen, in denen dann grüner Wasserstoff hundertmal so teuer ist wie Erdgas. Die Fans, die zu diesen Kosten ein Wasserstoffauto fahren würden, kann man vermutlich an einer Hand abzählen.

»Wasserstoff ist der Champagner unter den Energieträgern.«

Das zeigt den Schwachpunkt bei dem aktuellen Hype um den Wasserstoff: die Kosten. Dieser Punkt ist spannend. Die gleichen Politikerinnen und Politiker, die immer vor dem Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung mit Verweis auf die Kosten gewarnt haben, feiern nun Wasserstoff als Lösung für die Klimakrise. Irgendwelche Gedanken über die Kosten machen sie sich hier nicht. Derzeit ist grüner Wasserstoff praktisch nicht verfügbar. Wenn dann die Rechnung für größere Mengen präsentiert wird, bleibt es spannend, ob der klimaneutrale Energieträger dann immer noch so hoch im Kurs steht. Wie die Energieökonomin Claudia Kemfert treffend formulierte: »Wasserstoff ist der Champagner unter den Energieträgern.« Champagner hat durchaus auch seine Berechtigung auf dem Speiseplan – nur eben nicht als Grundnahrungsmittel.

Schauen wir uns doch einmal an, wie hoch die Kosten heute für die Wasserstoffproduktion sind. Die Referenz ist sinnvollerweise fossiles Erdgas. Erdgas kostete Anfang 2021 frei Grenze gerade einmal 1,6 Cent pro Kilowattstunde. Nach einer Studie von Greenpeace Energy (2020) muss man für grauen Wasserstoff heute die dreifachen Kosten veranschlagen. Blauer Wasserstoff ist bereits viermal so teuer. Grüner Wasserstoff ist heute mit 16,5 Cent pro Kilowattstunde oder gut fünf Euro pro Kilogramm sogar rund zehnmal so teuer wie Erdgas. Fairerweise muss man dazusagen, dass der Preisunterschied bei den Endverbraucher:innen etwas geringer ausfällt, da bei ihnen noch recht hohe Kosten für die Verteilung und sichere Versorgung mit Erdgas sowie Steuern und Abgaben dazukommen. Rechnet man diese Kosten sowohl bei Erdgas als auch bei Wasserstoff noch obendrauf, bleiben beim grünen Wasserstoff aber immer noch Mehrkosten um den Faktor drei.

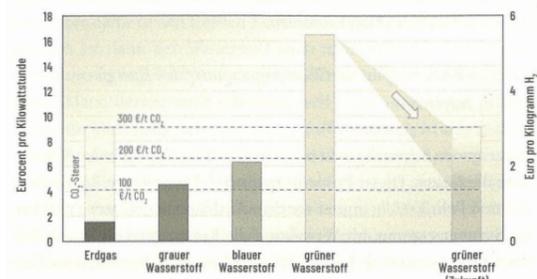


BILD 12 Heutige Kosten von Erdgas, grauem, blauem und grünem Wasserstoff im Vergleich sowie mögliche künftige Kosten; blauer und grauer Wasserstoff ohne CO₂-Steuer (Daten: Greenpeace Energy [2020] sowie eigene Berechnungen)

Das ist freilich eine Momentaufnahme. Mit Kostenargumenten wurde auch der Ausbau der Photovoltaik lange kritisiert und gebremst. Doch dann sind die Preise für Solarstrom um Größenordnungen gefallen, sodass Photovoltaik heute die preiswerteste Art der Stromerzeugung ist. Auch bei der Wasserstoffherstellung werden künftig die Kosten deutlich purzeln. Darin stimmen alle Prognosen überein. Nur bei der Frage, wie stark die Kosten fallen werden, gibt es deutliche Unterschiede. Vor allem bei Elektrolyseuren sind deutliche Kostensenkungen zu erwarten. Aber selbst wenn die Kosten für grünen Wasserstoff auf ein Drittel fallen würden, wäre dieser nur mit einer extrem hohen CO₂-Steuer zu Erdgas konkurrenzfähig. In Ländern, die keine entsprechende CO₂-Steuer einführen, hätte grüner Wasserstoff kaum eine Chance.

Noch stärkere Kostensenkungen sind bei Wasserstoff aber ziemlich unwahrscheinlich. Denn am Ende kommt man an der Physik nicht vorbei. Nehmen wir einmal an, wir erreichen bei der Wasser-

stoffherstellung wirklich enorme Kostensenkungen, sodass man irgendwann einmal Elektrolyseure fast für umsonst bekommt. Dann braucht man immer noch Strom für die Herstellung von Wasserstoff. Betrachten wir dazu als Beispiel das Elektroauto.

Wasserstoff im Verkehr nur selten sinnvoll

Ein Elektroauto mit Batterie kann hocheffizient geladen werden. Die Wirkungsgrade liegen heute in der Größenordnung von 70 bis 80 Prozent, 90 Prozent sind künftig denkbar. Wird das Auto zu Hause mit Solarstrom aus der eigenen Photovoltaikanlage geladen, stehen dann davon auch rund 80 Prozent als Fahrstrom zur Verfügung. Völlig anders ist dies beim Wasserstoffauto. Elektrolyseure müssen Strom aus erneuerbaren Energien erst einmal in Wasserstoff umwandeln, 20 bis 30 Prozent des erneuerbaren Stroms gehen dabei schon einmal verloren. Der Wasserstoff muss anschließend auf Druck gebracht, zwischengelagert und zur Wasserstofftankstelle transportiert werden. Etwa 25 Prozent der Energie des Wasserstoffs werden dafür aufgewendet. Im Auto wandelt dann eine Brennstoffzelle den Wasserstoff wieder in Strom um, wobei noch einmal Verluste in der Größenordnung von 40 Prozent entstehen. Wegen der langen Verlustkette stehen beim Wasserstoffauto am Ende nur 25 bis 40 Prozent des ursprünglichen Solarstroms als Fahrstrom zur Verfügung. Der Wasserstoffweg ist immer ein deutlich ineffizienterer Weg mit wesentlich mehr Verlusten als die direkte Nutzung von Strom. Das bedeutet aber auch, dass am Anfang deutlich mehr Strom aus erneuerbaren Energien eingesetzt werden muss. Das Wasserstoffauto benötigt am Ende doppelt oder sogar dreimal so viel Strom aus Photovoltaikanlagen oder Windrädern wie das batterieelektrische Auto. Das ist Physik, und die wird man kaum ändern können. Darum wird der Betrieb des Wasserstoffautos ohne Subventionen immer auch mindestens doppelt oder dreimal so teuer bleiben.

»Ein Wasserstoffauto benötigt zwei- bis dreimal so viel erneuerbaren Strom wie ein batterieelektrisches Auto. Darum wird der Betrieb auch mindestens doppelt bis dreimal so teuer bleiben.«

Bei der Betrachtung sind die Kosten für die Wasserstoffinfrastruktur noch nicht einmal enthalten. Allein der Wasserstofftransport über 500 Kilometer kostet heute drei bis sechs Cent pro Kilowattstunde oder ein bis zwei Euro pro Kilogramm Wasserstoff. Damit ist der Transport allein so teuer wie die Produktion der gleichen Energiemenge an Solar- oder Windstrom. Wasserstofftankstellen sind ebenfalls enorm teuer. Derzeit muss man mit etwa einer Million Euro für eine Wasserstofftankstelle rechnen. Eine Schnellladesäule für ein Elektroauto kostet schlimmstenfalls ein Zehntel. Die Preise, zu denen heute Wasserstoff an Tankstellen verkauft wird, sind stark subventioniert. Nur darum sind die Kosten für das Tanken eines Wasserstoffautos in etwa vergleichbar mit dem Laden eines batterieelektrischen Autos an einer Schnellladesäule. Das Laden eines Elektroautos mit billigem Solarstrom an der heimischen Steckdose unterbietet die heutigen Kosten von subventioniertem Tanken von Wasserstoffautos um Größenordnungen. Dabei ist der getankte Wasserstoff in der Regel nicht einmal wirklich grün. Auf die Umwelt- und Klimabilanz von Elektroautos werden wir später in einem eigenen Kapitel noch einmal näher eingehen.

Anders als beim PKW-Verkehr werden beim LKW-Verkehr oder der Bahn für den Wasserstoff größere Chancen gesehen. Viele denken bei der Bahn immer an den ICE, der mit der Oberleitung fährt. Aber auf ganz vielen Nebenstrecken fährt die Bahn noch mit klimaschädlichen Dieselloks. Auch die müssen natürlich so bald wie möglich ersetzt werden. Dafür gibt es bereits Prototypen, die mit Wasserstoff fahren. Die anfängliche Euphorie für den Wasserstoff ist aber inzwischen verflogen, und viele Experten sehen Batteriezüge im Vorteil. Die Batter-

en entwickeln sich schnell weiter und können immer schneller zum Beispiel an Bahnhöfen wieder aufgeladen werden. Nur wenn der Zug sehr weite Strecken ohne Halt fährt, ist der Wasserstoff im Vorteil. Am Ende wird auch hier der Preis entscheiden, welche Technologie sich durchsetzt. Das Pendel zeigt immer mehr in Richtung von Batteriezügen.

LKWs legen täglich meist viel weitere Strecken zurück als PKWs. Das spricht erst einmal für den Wasserstoff, da mit dem Wasserstofftank größere Reichweiten zurückgelegt werden können als mit Batterien. Aber auch hier entwickeln sich die Batterien schnell weiter. Neben Wasserstoff und Batterie gibt es aber für LKWs noch eine dritte Option: die bereits erwähnte Elektrifizierung der Autobahn mit Oberleitungen. Das dürfte die preisgünstigste Lösung sein, sofern der Staat es schafft, rechtzeitig die Infrastruktur dafür bereitzustellen. Während vor einigen Jahren der Wasserstoffantrieb beim LKW ganz klar die Nase vorne hatte, ist jetzt das Rennen wieder völlig offen. Der Preis spricht auch hier immer mehr gegen den Wasserstoff.

Bleibt am Ende noch der Schiffs- und Flugverkehr. Flugzeuge und Schiffe klimaneutral zu betreiben ist wirklich eine Herausforderung. Auf Mittel- und Langstrecken ist man derzeit auf transportable Treibstoffe angewiesen. Batterien sind heute lediglich für den Kurzstreckenbereich brauchbar, aber für längere Strecken in den nächsten zehn oder 20 Jahren sicher keine Alternative. Also brauchen wir für Flugzeuge und Schiffe auch flüssige oder gasförmige Treibstoffe. Den Flugverkehr werden wir in einem eigenen Kapitel noch näher beleuchten. Aber so viel vorab: Wasserstoff oder synthetische Treibstoffe sind durchaus eine Option, den Treibhausgasausstoß im Flugverkehr zu senken, aber in der Regel auch nicht auf null, und sie sind teuer. Das 29-Euro-Flugticket nach Mallorca wird es dann mit Sicherheit nicht mehr geben. Dass das für den Klimaschutz unvermeidbar ist, steht eigentlich zweifelsfrei fest.

Kleinere Schiffe und Fähren werden heute schon elektrisch über Batterien betrieben. Der Frachtverkehr zwischen den Kontinenten benötigt aber noch lange Zeit andere Lösungen. Hier sind grüner Wasserstoff oder darauf basierende Produkte wie Methanol oder Ammoniak eine Option. Auch Biotreibstoffe könnten im Schiffsverkehr deutlich sinnvoller eingesetzt werden, als – völlig ineffizient – im PKW-Verkehr. Vermutlich werden alle genannten Optionen Anwendung finden. Im Vergleich zu den heutigen Schiffen, die den letzten Müll wie Schweröl zu abartig niedrigen Kosten ohne Rücksicht auf Umwelt und Klima verfeuern, muss auch beim klimaverträglichen Schiffsverkehr mit steigenden Kosten gerechnet werden.

Wasserstoff zum Verheizen zu schade

Schauen wir uns an, wo Wasserstoff sonst noch überall eingesetzt wird. Fangen wir mit dem Wärmebereich an. Hier verbreitet die Erdgasindustrie eine verlockende Story: »Baut weiter fleißig Erdgasbrenner ein, gerne auch moderne Brennstoffzellen, denn Gas ist die Lösung. Für die Übergangszeit liefern wir noch fossiles Erdgas. Natürlich hat das ein Klimaproblem. Darum ersetzen wir es irgendwann ganz plötzlich durch grünen Wasserstoff oder vielleicht auch grünes Methan, und alles wird gut.« Aber auch hier stellt sich natürlich die Kostenfrage. Grüner Wasserstoff ist teuer und wird auch bei massivsten Kostensenkungen deutlich teurer als Erdgas bleiben. Fairerweise müsste man also dazusagen: »Ja, wenn wir Erdgas irgendwann einmal durch grünen Wasserstoff ersetzen, dann wird auch die Gasrechnung mindestens doppelt so teuer.« Für das Heizen gibt es heute schon viel effizientere Lösungen, die direkt mit grünem Strom laufen und darum stabile Preise haben werden: elektrische Wärmepumpen. Auf sie werden wir im Kapitel zum klimaverträglichen Heizen noch näher eingehen.

Die Kosten sind aber beim Heizen mit grünem Wasserstoff nicht das einzige Problem. Grüner Wasserstoff lässt sich hervorragend und sauber verbrennen. Damit ließen sich nicht nur das Kohlendioxid,

sondern auch die gesundheitsschädlichen Luftschadstoffe durch die Verbrennung eliminieren. Aber der Wasserstoff muss dazu erst einmal zu den Haushalten kommen. Heute liegt dorthin eine Erdgasleitung. Da kann man nicht einfach plötzlich grünen Wasserstoff durchschicken. Zuvor müssten das gesamte Leitungsnetz und vor allem auch alle Endverbraucher auf Wasserstoff umgerüstet werden. Man kann nicht einfach in der Erdgasheizung von heute auf morgen grünen Wasserstoff verbrennen. Da der Heizwert von Wasserstoff niedriger als der von Erdgas ist, muss man bei Wasserstoff mehr Gasvolumen verbrennen als bei Erdgas, um die gleiche Menge an Wärme zu erzeugen. Wird die Gasmenge nicht angepasst, würden alle frieren. Darum müssten alle Brenner zuvor umgerüstet werden, damit sie auch die richtige Gasmenge verfeuern.

So eine Umstellung gab es vielerorts schon einmal. Nach dem Krieg wurde in vielen Gasnetzen das sogenannte Stadtgas genutzt. In Deutschland war damals Erdgas Mangelware. Darum hatte man Stadtgas aus Kohle hergestellt. Erdgas ist, wie schon erwähnt, fast reines Methan, Stadtgas war hingegen eine Mischung aus Methan, Wasserstoff und anderen Gasen. Darum hatte es auch einen anderen Heizwert. Seit den 1960er-Jahren hat man dann sukzessive auf das preiswertere Erdgas umgerüstet. In Berlin wurde Stadtgas noch bis in die 1990er-Jahre verwendet. Die Umstellung in Deutschland hat also rund 30 Jahre gedauert. Sämtliche Verbraucher und viele Leitungen mussten dabei umgestellt und erneuert werden. Ähnlich lange könnte es dauern, wenn wir das gesamte Leitungsnetz auf Wasserstoff umrüsten wollen. So viel Zeit haben wir aber nicht, wenn wir das Pariser Klimaabkommen einhalten wollen.

Schneller ginge es, wenn wir anstatt auf grünen Wasserstoff auf grünes Methan umsteigen würden. Grüner Wasserstoff lässt sich über den nach dem französischen Chemiker Paul Sabatier benannten Sabatier-Prozess in grünes Methan umwandeln. Dazu braucht man eine weitere Prozessstufe: die Methanisierung. Hierbei reagieren Wasserstoff und Kohlendioxid mit Hilfe eines Katalysators zu Methan, das

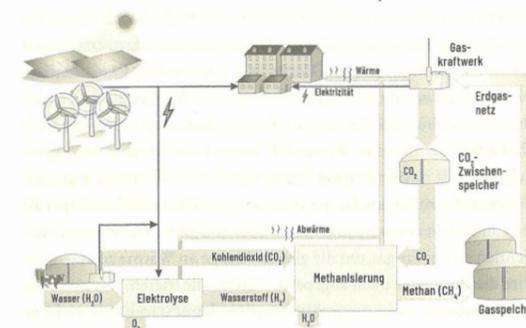


BILD 13 Ersetzen von Erdgas durch grünes Methan (Quaschnig [2021b])

fossiles Erdgas eins zu eins ersetzen kann (Bild 13). Ein zusätzlicher Prozessschritt bedeutet aber auch zusätzliche Kosten und weitere Verluste.

Außerdem wird eine Kohlendioxidquelle benötigt. Für die Methanisierung braucht man die gleiche Menge an Kohlendioxid, die bei der späteren Verbrennung wieder frei wird. Darum ist grünes Methan erst einmal kohlendioxidneutral. Das Problem ist aber die Kohlendioxidquelle. Möchte man kleine Mengen an grünem Methan herstellen, könnten Biogasanlagen dafür genügend Kohlendioxid liefern. Ausreichend Biogas herzustellen, um das gesamte Erdgasnetz umzurüsten, würde uns aber nicht einmal ansatzweise gelingen. So viele Biomasserohstoffe gibt es in Deutschland nicht. Am Ende müssten wir Kohlendioxid aus der Luft gewinnen. Beides verursacht wiederum hohe Kosten. Damit wäre die Versorgung mit grünem Methan am Ende noch einmal teurer als die mit grünem Wasserstoff. Darum ist es wenig sinnvoll, Erdgas durch grünes Methan zu ersetzen und in Millionen kleinen dezentralen Erdgasheizungen oder in Blockheizkraftwerken zu verfeuern. Wird das grüne Methan aber in größeren Kraft-

werken zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet, ließe sich dort das dabei entstehende Kohlendioxid wieder auffangen, zwischenspeichern und der Methanisierung zuführen. Für die reine Wärmeerzeugung ist aber auch dieser Weg vermutlich zu teuer. Er könnte aber in einem anderen Bereich große Bedeutung erlangen: bei der Langzeit-speicherung von Strom.

Hoffnungsträger für die Langzeitstromspeicherung

Im letzten Kapitel haben wir bereits erläutert, dass Strom aus Solar- und Windkraftanlagen den künftigen Energiemarkt dominieren wird. Weil nachts die Sonne nicht scheint und weil es auch Tage gibt, an denen wir kaum Wind haben, wird der Speicherbedarf enorm steigen. Ein Faktor 1000 ist durchaus realistisch. Mit den heutigen Pumpspeicherkraftwerken oder Batterien werden wir derartige Speicherkapazitäten nicht zur Verfügung stellen können. Hier kann Wasserstoff seine Stärken ausspielen. In Deutschland gibt es schon heute gigantische Erdgasspeicher. Die sollen saisonale Schwankungen ausgleichen und Versorgungsengpässe abpuffern, wenn etwa Putin einmal den Gashahn abdreht. Da wir aber aus Klimaschutzgründen künftig gar kein fossiles Erdgas aus Russland mehr beziehen dürfen, werden diese Speicher frei und können für grünes Methan oder zum Teil für grünen Wasserstoff genutzt werden. Die Idee ist also, Überschussstrom von Solar- und Windkraftanlagen in grünen Wasserstoff oder grünes Methan umzuwandeln und diesen in bestehenden Gasspeichern unter Tage zwischenzulagern. Die existierenden Speicher sind so groß, dass wir damit mehrere Wochen und sogar zwei oder drei Monate überbrücken können. Haben wir zu wenig erneuerbaren Strom, wird dann einfach aus dem gespeicherten Gas wieder Strom erzeugt und somit die Lücke überbrückt.

Auch bei dieser Art der Nutzung von grünem Wasserstoff entstehen hohe Verluste und damit auch hohe Kosten. Darum werden wir in Zukunft auch eine Kombination aus verschiedenen Speichervarianten sehen. Bei der Kurzzeitspeicherung, zum Beispiel für den regelmäßigen Ausgleich zwischen Tag und Nacht, werden effizientere Speicher wie Batteriespeicher zum Einsatz kommen. Aber für die Langzeitspeicherung, bei der sehr große Mengen an Energie zu speichern sind, kommt Wasserstoff ins Spiel. Da nur ein kleiner Teil des Gesamtenergiebedarfs über diese Speicher gedeckt werden muss, sind auch die hohen Verluste und Kosten vertretbar. Dabei ist noch offen, ob am Ende das Gas in Form von grünem Wasserstoff oder grünem Methan gespeichert wird. Der Vorteil von Methan ist, dass im gleichen Speicher viel mehr Energie als in Form von Wasserstoff gespeichert werden kann.

Grüner Stahl aus grünem Wasserstoff

Bei der Stahlherstellung werden enorme Mengen an Koks verbrannt. Rauschgift spielt aber bei der Stahlherstellung keine Rolle, das hier verwendete Koks wird aus Steinkohle gewonnen und zusammen mit Eisenerz im Hochofen verfeuert. Dabei entstehen enorme Mengen an Kohlendioxid. Etwa vier Prozent der deutschen Kohlendioxidemissionen stammen aus der Stahlherstellung. Das ist fast so viel, wie der gesamte deutsche LKW-Verkehr ausstößt. Dabei hat das Koks bei der Stahlherstellung nicht nur die Aufgabe, im Hochofen große Hitze zu erzeugen. Der Kohlenstoff im Koks bindet den Sauerstoff aus dem Eisenerz. Nur so lässt sich Eisenerz in Rohstahl umwandeln. Diese Aufgabe kann aber auch grüner Wasserstoff übernehmen. Um die Stahlherstellung klimaneutral zu gestalten, wird also grüner Wasserstoff dringend benötigt. Neben der Herstellung von Stahl gibt es noch viele weitere Industrieprozesse, bei denen fossile Energieträger stofflich genutzt werden und wo grüner Wasserstoff für die Klimaneutralität sorgen kann.

»Etwa vier Prozent der deutschen Kohlendioxidemissionen stammen aus der Stahlherstellung. Das ist fast so viel, wie der gesamte deutsche LKW-Verkehr ausstößt. Um diese Emissionen zu vermeiden, wird grüner Wasserstoff gebraucht.«

Durch den Einsatz von grünem Wasserstoff werden aber auch Stahl und andere Rohstoffe teurer. Bislang galt immer das Argument: »Chinesischer Stahl ist auch nicht grün, und wenn wir unseren Stahl grün und damit teurer machen, können wir nicht mehr auf dem Weltmarkt konkurrieren.« Die Konkurrenzfähigkeit gegenüber asiatischen Unternehmen wird aber auch ohne grünen Stahl für deutsche Unternehmen immer mehr zur Herausforderung. Darum hat sich die Einstellung der deutschen Industrie zum Klimaschutz verändert. Inzwischen wird klimaneutraler Stahl als Überlebenschance wahrgenommen. Eine Tonne Stahl würde auch bei starken Kostensenkungen von grünem Wasserstoff aber etwa doppelt so teuer. Optimist:innen gehen von einer Preissteigerung um rund 50 Prozent aus. Das wären dann gut 200 Euro pro Tonne Stahl. So viel würde auch ein Auto teurer werden, wenn es aus grünem Stahl hergestellt würde. Eigentlich zu verschmerzen. Wenn dann Europa noch die Importzölle an die Klimaintensität der Produkte koppelt, könnte der Plan zur Rettung der deutschen Stahlindustrie über den Weg des Klimaschutzes aufgehen.

Gießkannenstrategie

Während die Verwendung von grünem Wasserstoff beim Heizen und beim Verkehr eher kritisch zu sehen ist, werden wir am Einsatz von grünem Wasserstoff bei der Stromspeicherung und in der Industrie nicht vorbeikommen. In der deutschen Politik kommt diese Differenzierung kaum vor. Es gibt kaum jemanden in der Politik, der nicht von irgendeiner Wasserstoffstrategie schwärmt. Milliardensummen werden mit großen Gießkannen über die Wasserstoffindustrie ausgeschüttet. Damit hat die Politik einen regelrechten Wasserstoffhype ausgelöst. Wir haben in diesem Kapitel aber ausführlich erläutert, dass der Einsatz von Wasserstoff nur in bestimmten Bereichen sinnvoll ist. Das ist bei den aktuellen Wasserstoffplänen völlig egal. Geradezu blind wird in alle Bereiche investiert. Damit wird am Ende auch viel Geld verbrannt.

Einen weiteren wichtigen Aspekt hat die Politik bei den viel gefeierten Wasserstoffstrategien vergessen: Für die Herstellung und Verwendung von grünem Wasserstoff braucht man erst einmal grünen Strom, und der ist in Deutschland immer noch Mangelware. Setzen wir auf grünen Wasserstoff, ohne ausreichend erneuerbaren Strom dafür zu haben, würde der Wasserstoff dann erst einmal mit grauem Strom aus dem Netz hergestellt werden müssen. Für den Klimaschutz wäre das fatal. Klimaschädliche Kohle- und Gaskraftwerke müssten länger betrieben werden, wodurch die Wasserstoffherstellung dann sogar zu steigenden Kohlendioxidemissionen führen würde. Insofern ist es absolut unverständlich, wenn die Politik in ihren Plänen zur Wasserstoffnutzung die Herstellung von Wasserstoff schneller steigern möchte als den Ausbau erneuerbarer Energien. Die einzige erkennbare Strategie wäre dabei ein Rettungsplan für Kohlekraftwerke.

Erst wenn wir bei der Stromerzeugung große Überschüsse haben, dann mehr grünen Strom erzeugen, als wir direkt verbrauchen, und damit dann Wasserstoff herstellen, können wir über grünen Wasserstoff reden. Aber selbst wenn wir uns entscheiden würden, in großem Tempo erneuerbare Energien zuzubauen, um zeitnah grünen Wasserstoff bei uns in Deutschland produzieren zu können, könnten am Ende die Standorte für die Errichtung erneuerbarer Energien aussehen. Soll grüner Wasserstoff – wie oft versprochen – in allen Bereichen, also zum Heizen, im Verkehr und der Industrie, verwendet werden, würden die in Deutschland verfügbaren Standorte für Windkraft- und Photovoltaikanlagen kaum ausreichen. Wir können Deutschland

nur aus eigener Kraft klimaneutral machen, wenn wir uns beim grünen Wasserstoff auf die sinnvollen Einsatzgebiete beschränken: die Langzeitstromspeicherung, die Industrie sowie Flug- und Schiffsverkehr. Beim Straßen- und Zugverkehr müssen wir hingegen auf effiziente Elektroantriebe und beim Heizen auf effiziente elektrische Wärmepumpen setzen. Das würde den Strombedarf in Deutschland signifikant reduzieren. Nur so haben wir eine Chance auf eine schnelle Klimaneutralität.

»Wenn wir Deutschland aus eigener Kraft klimaneutral machen wollen, müssen wir die Verwendung von grünem Wasserstoff auf die sinnvollen Einsatzgebiete beschränken: Langzeitstromspeicherung, Industrie sowie Flug- und Schiffsverkehr.«

Das Warten auf das Wasserstoffauto ist damit für den Klimaschutz kontraproduktiv. Immer wenn die Politik grünen Wasserstoff als Lösung für das Klimaproblem ins Spiel bringt, sollten wir nachfragen. Wie viel teurer wird es für uns durch den Wasserstoff? Haben wir bereits ausreichend grünen Strom für die Produktion von grünem Wasserstoff, und wenn nein, wo soll der grüne Wasserstoff denn dann herkommen? An dieser Stelle wird oft gerne geantwortet: Der Markt wird das schon richten. Wenn in Deutschland nicht genug grüner Wasserstoff produziert werden kann, dann importieren wir den Wasserstoff halt von irgendwoher. Grund genug, im nächsten Kapitel die Frage der Energieimporte einmal näher zu beleuchten.

Die Illusion von billigen grünen Wasserstoffimporten

Das Problem mit den Leitungstrassen wird mittlerweile auch von den Befürworter:innen der Importstrategie gesehen. Darum setzen sie inzwischen im Wesentlichen auf den Import von grünem Wasserstoff. Auch hier klingt die Story auf den ersten Blick ziemlich plausibel: Wir werden es nicht schaffen, in der nötigen Zeit Stromtrassen nach Deutschland zu bauen, die zudem noch von vielen Betroffenen abgelehnt und bekämpft werden. Darum erzeugen wir einfach im Nahen Osten und Nordafrika aus Solarstrom Wasserstoff. Den transportieren wir dann über Pipelines oder den Seeweg nach Deutschland und wandeln ihn bei uns wieder in Strom um.

Schauen wir uns jetzt näher an, was auf den ersten Blick gerne übersehen wird, und nehmen uns dazu als Beispiel wieder Marokko. Dort können wir Solarstrom mit Photovoltaikanlagen produzieren, die 80 Prozent mehr elektrische Energie pro Jahr liefern als in Deutschland. Wenn wir den Strom nun in Wasserstoff umwandeln wollen, brauchen wir erst einmal Süßwasser, um daraus mit Hilfe von Elektrolyse Wasserstoff herzustellen. Bereits jetzt ist Süßwasser in Marokko Mangelware, aber wir brauchen das Süßwasser nicht nur für die Elektrolyse, sondern auch für die Reinigung der Solaranlagen. Um mit heutiger Technik aus Meerwasser Wasserstoff herstellen zu können, muss dieses erst mal entsalzt werden, damit wir aus Meerwasser elektrolysetaugliches Süßwasser machen können. Auch das kostet Geld.

Die Elektrolyse war schon einmal Thema im vorigen Kapitel. Zwei Elektroden zersetzen dabei mit Solarstrom Wasser, und es entstehen Wasserstoff- und Sauerstoffgas. Aber das Ganze funktioniert nicht verlustfrei, ein Teil der Solarenergie geht bei dem Prozess verloren. Auch die Elektrolyseure kosten Geld. Im besten Fall erreicht man bei der Elektrolyse Wirkungsgrade von etwas über 80 Prozent. Heute liegt man in der Praxis noch deutlich darunter. 70 Prozent sind im Mittel realistisch. Das heißt, bei der Elektrolyse gehen also bereits 30 Prozent

verloren, dazu kommen die Energieverluste bei der Meerwasserentsalzung. Ein knappes Drittel der Solarenergie ist an der Stelle also schon einmal weg. Dann hat man auch erst mal nur Wasserstoff in der marokkanischen Wüste produziert. Der lässt sich aber leider nicht so einfach transportieren.

Wasserstoff ist ein sehr leichtes Gas und nimmt deshalb ein großes Volumen ein. Um ihn sinnvoll transportieren zu können, muss er erst einmal auf hohen Druck gebracht oder bei minus 253 Grad Celsius verflüssigt werden. Auch das kostet wieder Energie und Geld. Dabei gehen noch einmal sieben bis 15 Prozent der ursprünglichen Solarenergie verloren. Das komprimierte Gas lässt sich dann zum Beispiel durch Pipelines transportieren. Derzeit exportiert Algerien große Mengen an Erdgas nach Europa. Es gibt Erdgaspipelines von Marokko nach Spanien, von Algerien nach Spanien und über Tunesien nach Italien sowie von Libyen nach Italien. Die Erdgaspipelines kann man aber nicht so einfach für den Wasserstofftransport nutzen. Die gesamte Infrastruktur und alle angeschlossenen Verbraucher sind auf Erdgas ausgelegt. Wenn man von Erdgas zu Wasserstoff wechselt, muss man alle Verbrauchsgeräte austauschen – das dauert. Bis dahin kann man Wasserstoff nur in sehr geringen Mengen dem Erdgas beimischen. Dann hat man für den Klimaschutz aber nicht sehr viel gewonnen.

Man könnte natürlich auch die Pipelines komplett von Erdgas auf Wasserstoff umrüsten. Doch dazu müsste man erst einmal die Erdgasförderung in Algerien einstellen. Kurzfristig wird das auch nicht funktionieren. Und selbst wenn es gelingen würde, durch die bestehenden Pipelines nur noch grünen Wasserstoff zu transportieren, würden die paar Pipelines nicht einmal ansatzweise ausreichen, um die zuvor besprochenen gigantischen Energiemengen nach Europa und Deutschland zu transportieren. Man müsste also das Pipelinennetz massiv ausbauen, und das ist ähnlich kompliziert wie der Bau neuer Stromtrassen.

Eine umstrittene Erdgaspipeline wurde gerade durch die Ostsee nach Russland gebaut: Nord Stream 2. Als Volker den ehemaligen Wirtschaftsminister Peter Altmaier auf Twitter für den Bau kritisierte, antwortete er: »Man könne die Pipeline doch auch nutzen, um grünen Wasserstoff zu transportieren.« Bei dieser Aussage ist aber eher der Wunsch Vater des Gedankens. Russland deckt derzeit sechs Prozent seines Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien. Selbst wenn Russland zeitnah mit seiner Energierévolution anfängt, wird es dort sehr, sehr lange Zeit noch gar keine Überschüsse aus grünem Strom geben, die sich in grünen Wasserstoff zum Export umwandeln lassen. Bis dahin exportiert Nord Stream 2 munter klimaschädliches Erdgas von Russland nach Deutschland. Ein Plan für den Klimaschutz ist das nicht.

»Die Erdgas-Pipeline Nord Stream 2 ist ein für den Klimaschutz extrem schädliches Projekt. Die rechtzeitige Umrüstung auf grünen Wasserstoff ist eine reine Illusion.«

Weil Pipelines auch mittelfristig nur für den Import recht kleiner Mengen an grünem Wasserstoff geeignet sind, plant und baut man auch in Deutschland und Europa neue Flüssiggasterminals. Diese sind erst einmal für den Import von flüssigem, stark klimaschädlichem Erdgas nach Europa gedacht. Für den Klimaschutz sind sie daher ein Problem und keine Lösung. Aber es wird immer versprochen, dass man über diese Terminals auch flüssigen Wasserstoff importieren könnte. Dafür aber müsste man erst einmal in Nordafrika Verladeterminals für den Wasserstoff errichten, und eine Schiffsflotte, die Wasserstoff überhaupt transportieren könnte, gibt es auch noch nicht. Bisher wurde weltweit überhaupt nur ein einziges, vergleichsweise kleines Schiff für den Transport von flüssigem Wasserstoff gebaut: die Suiso Frontier von Kawasaki. Eine kleine Anekdote am Rande: Das Schiff fährt noch mit klimaschädlichem Schiffsdiesel. Ein Antriebsys-

tem auf Basis von Wasserstoff war zu teuer. Bei künftigen Schiffen wird immerhin zumindest über einen Antrieb mit einem Elektromotor nachgedacht, für den Brennstoffzellen Strom aus Wasserstoff herstellen.

Der Hauptvorteil an der Schiffslösung ist, dass sich eine Schiffsflotte erheblich schneller aufbauen lässt als ein Stromleitungs- oder Pipelinennetz. Dafür verursacht der Transport mit Schiffen aber höhere Verluste als über Pipelines. Von dem aufwändig produzierten grünen Wasserstoff geht also ein weiterer Anteil verloren. Hat es der Wasserstoff dann erst mal nach Deutschland geschafft, lagert er an einem Wasserstoffterminal an der Küste und muss am Ende wieder in Strom umgewandelt werden. Das kann mit herkömmlichen Gaskraftwerken oder mit Brennstoffzellen erfolgen. Zu den Kraftwerken muss der Wasserstoff aber erst einmal transportiert werden. Wir brauchen dann auch in Deutschland ein Wasserstoff-Pipelinennetz. Der Strom könnte auch an der Küste produziert werden. Dann bräuchte man aber ein gigantisches Stromleitungsnetz von der Küste quer durch Deutschland. Was das wiederum bedeutet, haben wir vorhin am Beispiel Suedlink ausführlich erklärt. Konkrete Planungen dafür gibt es nicht.

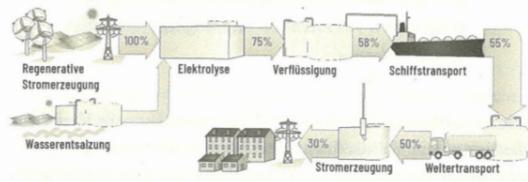


BILD 14 Welcher Anteil beim Import von grünem Strom über den Energieträger Wasserstoff bei uns am Ende noch ankommt (basierend auf Quaschnig [2021b])

Heute liegt man bei der Stromerzeugung aus Wasserstoff bei Wirkungsgraden in der Größenordnung von 60 Prozent. Das heißt, es gehen noch einmal 40 Prozent der Energie des nach Deutschland gelieferten Wasserstoffs verloren. Theoretisch sind auch Wirkungsgrade von 80 Prozent erreichbar. Bis man aber auch nur ansatzweise in diese Größenordnung kommt, wird noch ziemlich viel Zeit vergehen.

Selbst wenn es uns gelingen würde, die Infrastruktur zeitnah aufzubauen, hätten wir ein Problem. Wegen der Verluste bei der Wassersalzung, Elektrolyse, Wasserstoffverflüssigung, Schiffstransport, Weitertransport in Deutschland und Rückverstromung würden derzeit bestenfalls 30 Prozent des in der Wüste erzeugten Solarstroms als Strom in Deutschland ankommen. Auch wenn wir davon ausgehen, dass eine Solaranlage in der Wüste erst einmal 80 Prozent mehr Strom liefern würde als eine in Deutschland, käme am Ende in Deutschland nur noch gut halb so viel Strom an, wie eine Solaranlage in Deutschland erzeugen würde. Dafür muss man auch noch eine sündhaft teure Infrastruktur finanzieren. Selbst wenn es uns in der Forschung gelingt, die Wirkungsgrade deutlich zu steigern, wird die erneuerbare Erzeugung in Deutschland immer im Vorteil bleiben und damit erheblich preiswerter sein.

»Transportieren wir grünen Strom mit Hilfe des Energieträgers Wasserstoff von Afrika nach Deutschland, gehen derzeit 70 Prozent des ursprünglich erzeugten Stroms verloren.«

Die Importlösung über Wasserstoff ist extrem teuer. Es überrascht, dass genau jene Politikerinnen und Politiker, die vor einigen Jahren den Ausbau der Solarenergie in Deutschland mit dem Argument der hohen Kosten radikal abgewürgt haben, nun auf den noch viel teureren Import von grünem Wasserstoff setzen. Wenn dann am Ende die dicke Rechnung kommt, werden genau die gleichen Menschen sagen: Wir können leider unsere Klimaschutzziele nicht erreichen, weil die deutsche Industrie mit den hohen Kosten des Imports von grünem Wasserstoff überfordert wäre. Genau das könnte sich tatsächlich zu ei-

nem massiven Problem für die deutsche Wirtschaft entwickeln. Schon bald werden sich viele Produkte nur noch auf dem Weltmarkt verkaufen lassen, wenn sie klimaneutral hergestellt werden. Ein Verzicht auf Klimaschutz bedeutet dann Verluste großer Marktanteile.

Wenn grüner Strom in der Wüste aber um Größenordnungen preiswerter sein wird als der umständliche und teure Transport nach Deutschland, stellt sich früher oder später eine ganz andere Frage. Wird man dann weiter grünen Strom über den Wasserstoffweg teuer zur Industrie nach Deutschland schaffen, oder wird die Industrie dahin gehen, wo grüner Strom preiswert ist? Wer also massiv auf den Wasserstoffpfad setzt, gefährdet am Ende auch den Industriestandort Deutschland, zumindest jene Industriebereiche, die viel Energie brauchen. Was den Industriestandort angeht, ist die Erzeugung von Solar- und Windstrom in Deutschland deutlich weniger riskant als die Importlösung, auch wenn es hier ebenfalls Kostennachteile gegenüber Wüstenstandorten gibt.

»Wer für die klimaneutrale Stromversorgung in Deutschland auf massive Importe über den Wasserstoffpfad setzt, gefährdet damit den Wirtschaftsstandort Deutschland.«

Nun sagen einige zu Recht, dass wir nicht überall Strom brauchen, sondern Wasserstoff in einigen Bereichen direkt nutzen könnten, zum Beispiel zum Heizen mit Gasheizungen, in Wasserstoffautos, als Treibstoffe für den Flug- und Schiffsverkehr oder für die chemische Industrie und die Stahlherstellung. Diese Möglichkeiten haben wir ausführlich im letzten Kapitel erörtert. Aus Effizienz- und Kostengründen ist der Einsatz von grünem Wasserstoff nur dort sinnvoll, wo es keine Alternativen gibt. Dort könnte dann aber importierter grüner Wasserstoff durchaus zum Einsatz kommen. Die importierten Mengen werden dafür aber recht überschaubar sein. Wollen wir weiter Energie in der heutigen Größenordnung von 70 Prozent importieren, wird eine schnelle Klimaneutralität vermutlich nicht gelingen. Darum müssen wir auf den schnellen Ausbau vor allem der Photovoltaik und der Windkraft in Deutschland setzen.

Ausbau erneuerbarer Energien statt Importe

Fassen wir einmal die Argumente der letzten vier Kapitel zusammen. Der Ausbau erneuerbarer Energien, vor allem der Windkraft, in Deutschland stockt. Die Kernenergie ist keine Alternative. Politiker:innen versprechen, dass wir dennoch klimaneutral werden können, indem wir künftig einen Großteil der Energie in anderen Ländern durch Solar- und Windkraftanlagen produzieren lassen und nach Deutschland importieren. Der Import über Stromleitungen würde ähnliche Kosten verursachen wie die Produktion von erneuerbarem Strom in Deutschland, aber nur wenn wir dafür Freileitungen mit Hochspannungsmasten verwenden. Das ist aber nicht durchsetzbar. Erdkabel wären deutlich teurer, und die Trassenplanung und der Leitungsbau von Nordafrika oder dem Nahen Osten nach Deutschland ließen sich in dem für den Klimaschutz nötigen Zeitraum nicht umsetzen.

Die Alternative wäre die Umwandlung des grünen Stroms in Wasserstoff und die Rückverstromung in Deutschland. Der Transport über Pipelines, die noch gebaut werden müssten, ist aber zeitlich genau wie der von Stromleitungen in der für den Klimaschutz nötigen Geschwindigkeit nicht realisierbar. Es bleibt der Transport mit Schiffen. Bei der Umwandlungskette Strom – Wasserstoff – Strom entstehen sehr große Verluste, sodass die Wasserstofflösung erheblich teurer ist als die erneuerbare Stromproduktion in Deutschland. Die Mehrkosten sind so hoch, dass der Ausbau wegen der zu erwartenden Widerstände sehr wahrscheinlich früher oder später wieder gestoppt oder zumindest verzögert wird, was für das Erreichen von Klimaschutzziele fatal wäre. Die hohen Kosten gefährden auch die energieintensive

deutsche Industrie, die möglicherweise ihre Produktionsstätten an Standorte mit günstigem erneuerbarem Strom verlegen müsste. Der Einsatz und der Import von grünem Wasserstoff sind aus Effizienz- und Kostengründen nur in den Bereichen sinnvoll, in denen es heute keine effizientere Alternative gibt. Aus heutiger Sicht sind das die Langzeitspeicherung von Strom, die Herstellung von Treibstoffen für den Flug- und Schiffsverkehr sowie der Einsatz in der Grundstoffindustrie wie beispielsweise bei der Stahlherstellung.

Das Hauptargument für den Import großer Mengen an grüner Energie ist vor allem die angeblich mangelnde Akzeptanz für den nötigen dezentralen Windkraft- und Solarausbau in Deutschland. Die Importlösungen setzen aber auch den Bau von Leitungstrassen, Pipelines und Flüssiggasterminals voraus, die meist noch viel umstrittener sind als die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Wir erwarten, dass die Kapazitäten, die wir in Deutschland nicht bauen möchten, in anderen Ländern zusätzlich zu dem, was diese für ihren eigenen Verbrauch benötigen, errichtet werden. Im Prinzip ist das eine neue Art des Kolonialismus, der früher oder später auch in den betroffenen Ländern Widerstände hervorrufen wird.

Wer also auf echten Klimaschutz setzt, das Pariser Klimaschutzabkommen einhalten und damit unsere Lebensgrundlagen erhalten möchte und in weniger als 20 Jahren eine klimaneutrale Energieversorgung in Deutschland aufbauen möchte, kommt an dem massiven Ausbau erneuerbarer Energien in Kombination mit Speichern in Deutschland nicht vorbei. Die größten Potenziale haben dabei die Photovoltaik und die Windkraft, die mindestens um den Faktor vier bis sechs schneller zugebaut werden müssen. Die Argumente und der Fahrplan für die Energiewelt liegen damit jetzt also klar auf dem Tisch.

Martin Läubli, «Heisse Luft um Wasserstoff», Tages-Anzeiger 12. Mai 2021, S. 38

Heisse Luft um Wasserstoff

Abstimmung über CO₂-Gesetz SVP und Erdölindustrie wollen die Lösung für unsere Energieversorgung gefunden haben. Wissenschaftler reagieren heftig: Das sei unfundiert, haltlos und unrealistisch.



Martin Läubli

Er ist omnipräsent: Nationalrat Christian Imark ist SVP-Kampagnenleiter und bekämpft mit allen Mitteln das revidierte CO₂-Gesetz, über das am 13. Juni an der Urne abgestimmt wird. Der Höhepunkt seiner bisherigen Arbeit ist sein 10-Punkte-Plan, mit dem die Schweiz die Energiewende «ohne neue Verbote und Bevormundung» schaffen soll. Eine «schnellere klimafreundliche Zukunft» verspricht er. Seine Lösung: Brennstoffzellen, Verbrennungsmotoren und -heizungen, die mit Wasserstoff betrieben werden.

Das Gas wird durch Elektrolyse produziert. Das heisst: Mithilfe von elektrischem Strom wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Der Strom stammt aus überschüssiger erneuerbarer Energie – vorzugsweise Sonnenenergie, die vor allem im Sommer anfällt, wenn die Sonne am höchsten steht und die

Fotovoltaikanlagen mehr Strom produzieren, als verbraucht wird.

Experten sehen in diesem Fall eine Option, die überschüssige Elektrizität chemisch in Form von Wasserstoff zu speichern. Für eine längere Speicherung würde das Gas mit CO₂ zu Methan oder Methanol synthetisiert. Der Einsatz dieser synthetischen Kraftstoffe ist vielfältig: Sie könnten als Treibstoff für Verbrennungsmotoren oder Brennstoff in herkömmlichen Heizungen eingesetzt werden. So der Plan von Christian Imark.

Dass das Gas in Zukunft für die Schweizer Energieversorgung eine Rolle spielen wird, darüber sind sich die Energiefachleute einig. Konsens besteht auch darin, überschüssigen Strom gescheiter zu speichern, als bei einem Überangebot an Strom Fotovoltaik- oder Windanlagen vom Netz zu nehmen. «Die Vorstellung jedoch, man könne das CO₂-Problem primär durch Wasserstoff lösen, ohne die Frage der Energiequelle zu lösen, ist weder

fundiert noch umfassend», sagt Christian Bach, Autoingenieur und Wasserstoffexperte an der Empa in Dübendorf.

Abhängigkeit vom Ausland

Weniger diplomatisch äussert sich Jürg Rohrer, Leiter der Forschungsgruppe Erneuerbare Energie der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Wädenswil: «Wer solche Vorschläge macht, muss sich den Vorwurf gefallen lassen, er wolle bewusst die fossile Industrie unterstützen.»

Beide Wissenschaftler beschäftigen sich seit Jahren mit dem Potenzial von Wasserstoff für die Energieversorgung. Ihre Berechnungen zeigen eindeutig: So viel erneuerbare Energie lässt sich in der Schweiz nicht annähernd herstellen, um den Plan Imark umzusetzen.

«Der Strombedarf würde gegenüber heute etwa auf das Fünffache steigen», sagt Jürg Rohrer von der ZHAW. Er macht dazu ein Beispiel, um die Grös-

senordnung zu verdeutlichen: Will man eine Versorgung mit Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen erreichen, dann müssten zu den vom Bund errechneten Fotovoltaikanlagen weitere Fotovoltaik-Flächen entstehen mit einer Grösse von 1650 Quadratkilometern – und das ausserhalb von den Gebäudedächern und -fassaden, auf denen das grösste Potenzial für Solarenergie gesehen wird. «Das ist schlicht unrealistisch, die Schweiz würde sich deshalb in grossem Masse von unsicheren Strom- und Gasimporten abhängig machen», sagt Rohrer.

Ein anderes Beispiel. Im 10-Punkte-Plan wird suggeriert, Erdgas könne vollständig durch Wasserstoff ersetzt werden: «Der hohe Energieinhalt ist eine echte Alternative zu Erdgas.» Jürg Rohrer hat ausgerechnet, was das für die Wasserstoffproduktion bedeuten würde: Die Schweiz hat 2019 netto gut 34 Terawattstunden

den Erdgas importiert. Würde man anstelle dieser Energiequelle Wasserstoff produzieren, bräuchte es zusätzlich 50 bis 60 Terawattstunden erneuerbaren Strom. Das entspricht fast der gesamten jährlichen Stromproduktion der Schweiz.

Auch bei der Mobilität soll die Wasserstoffwirtschaft im Vordergrund stehen. Um die Dimension zu veranschaulichen: Wenn alle Autos, Liefer- und Lastwagen bis 2030 auf Wasserstoff und Brennstoffzellen umgestellt würden, würde der Strombedarf um 50 Terawattstunden steigen. Wären die Autos hypothetisch mit einem Motor unterwegs, der synthetisches Gas verbrennt, müsste man zusätzlich die doppelte heutige Stromproduktion erzeugen. Die effizienteste technische Lösung bleibt die elektrische. Eine elektrifizierte Mobilität führt gemäss Rohrer zu einem Mehrstrombedarf von 18 bis 20 Terawattstunden.

Ein internationales Forscherteam mit Beteiligung des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) bestätigt diese Dimensionen im Fachmagazin «Nature Climate Change»: Wenn wasserstoffbasierte Kraftstoffe anstelle von direkter Elektrifizierung etwa durch E-Autos und Wärmepumpen verwendet werden, steigt die erforderliche Menge an Strom um das Zweibis Vierzehnfache. «Synthetische Kraftstoffe sind viel zu wertvoll und knapp, um in Personwagen und Heizungen verbrannt zu werden. Hier gibt es mit direkter Elektrifizierung viel bessere Alternativen», sagt Mitautor Christian Bauer vom PSI.

Einsatz ist beschränkt

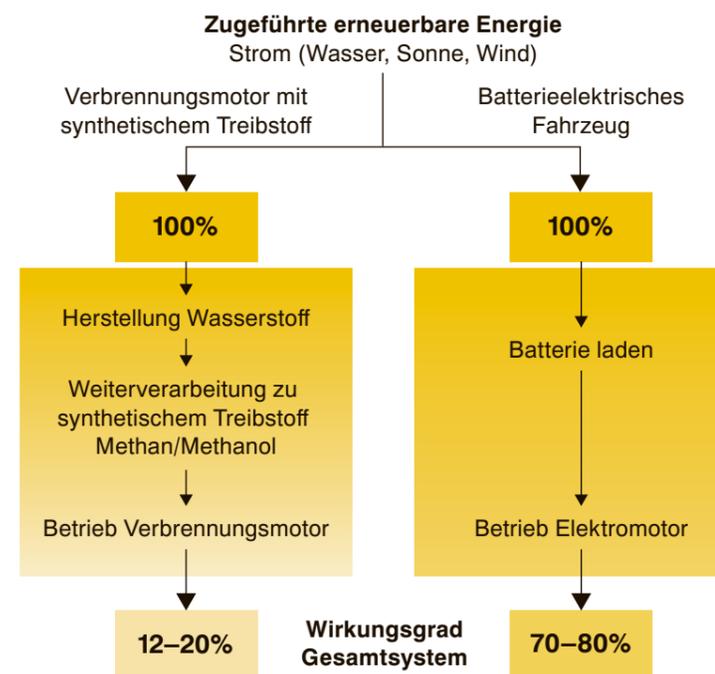
Die Wissenschaftler empfehlen deshalb, Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe prioritär dort einzusetzen, wo eine Elektrifizierung kaum möglich sein wird. Der Anteil der Energie in dieser Sparte macht laut Autoren in den Industriestaaten ein Fünftel aus. Dazu gehören die Stahl- und Chemieindustrie, wo Hochtemperaturprozesse gefragt sind, und die Langdistanzfliegerei sowie die Schifffahrt, in der die Batterietechnologie an ihre Grenzen stösst.

Dazu kommen die Kosten. Um eine Tonne CO₂ zu vermeiden, so berechnen die Forschenden, müssten heute etwa 878 Franken für flüssige oder 1317 Franken für gasförmige synthetische zwar selbst dann, wenn Wasserstoff mit 100 Prozent kostengünstiger und überschüssiger erneuerbarer Energie produziert wird. Mit dem technologischen Fortschritt und einer im grossen Stil erhöhten Nachfrage könnten die Vermeidungskosten bis ins Jahr 2050 auf etwa 22 beziehungsweise 296 Franken sinken.

Weiter befürchten die Autoren einen Lock-in-Effekt. Das heisst: Wer auf einen grossflächigen Einsatz von Wasserstoff setzt, riskiert eine verlängerte Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen. Denn Wasserstoff wird noch nicht in grossem Stil aus überschüssiger erneuerbarer Energie hergestellt. Schon gar nicht die Synthese zu Kraftstoffen wie Me-

Synthetischer Treibstoff: Wenig effizient

Bei der Herstellung synthetischer Treibstoffe und im Verbrennungsmotor geht viel Energie verloren. Deshalb ist ihr Wirkungsgrad* klein.



* Der Wirkungsgrad einer Anlage gibt an, welcher Anteil der zugeführten Energie in nutzbringende Energie umgewandelt wird.

than. In den neuen Energieperspektiven 2050+ des Bundes heisst es: Synthetische Brenn- und Treibstoffe und Wasserstoff würden erst ab 2045 eine bedeutendere Rolle spielen. «Es muss zuerst auch noch eine Wasserstoffinfrastruktur aufgebaut werden», sagt ZHAW-Forscher Jürg Rohrer.

Eine Verzögerung des Ausstiegs aus der fossilen Energie wäre nicht im Sinn des Pariser Klimaabkommens, dessen Ziel gemäss Klimaforscher nur erreicht werden kann, wenn die Treibhausgasemissionen weltweit in den nächsten zehn Jahren um mindestens die Hälfte reduziert werden. Das gilt auch für die Schweiz, die bis 2030 ihre Emissionen halbieren will.

«Das halte ich für zu teuer»

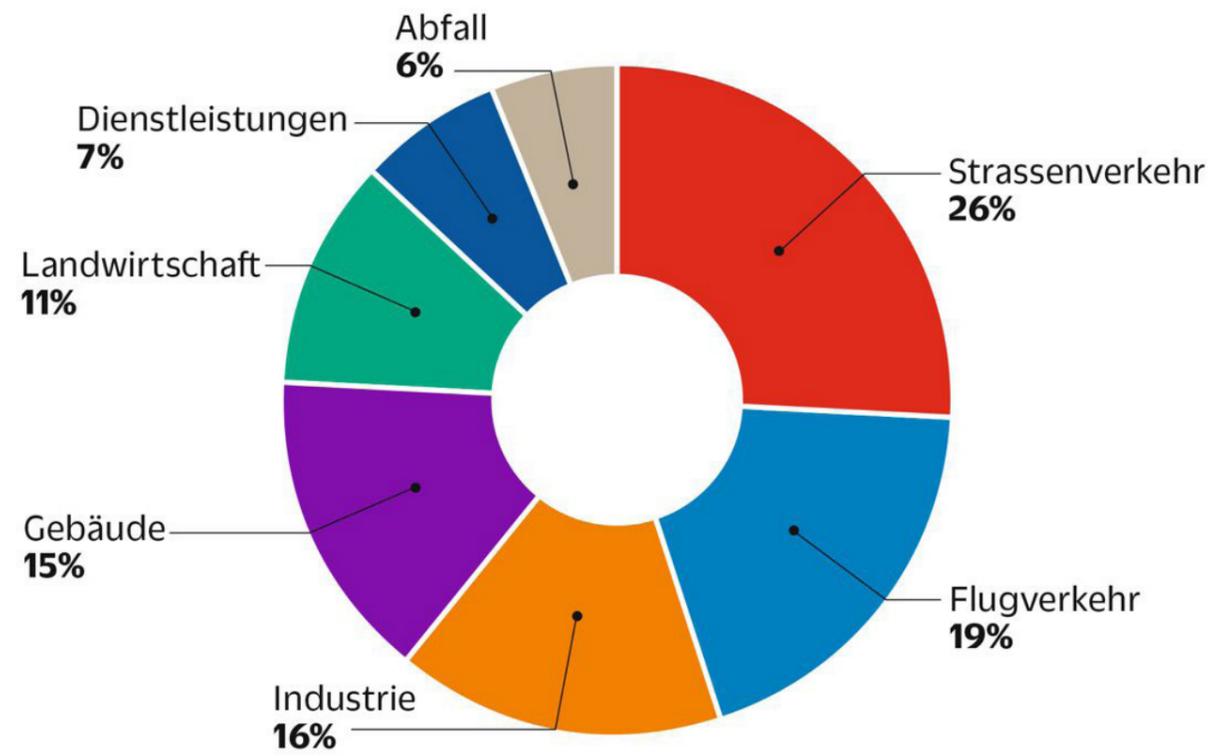
Dennoch: Ohne eine inländische Wasserstoffproduktion gehe es nicht, sagt Empa-Forscher Christian Bach. «Sie ist systemrelevant, da der Zubau von Fotovoltaik ansonsten wohl nicht im gewünschten Ausmass anfällt.» Er begründet das mit der Nach-

frage im Sommer: Die Wasserkraft allein werde den Strombedarf der Schweiz schon weitgehend decken. Das bedeute, dass es ohne Wasserstoffproduktion für einen nennenswerten Teil des Fotovoltaikstroms im Sommer gar keine Verwendung gäbe. «Da unsere Nachbarländer auch stark in Fotovoltaik investieren, kann dieser Strom in Zukunft wohl auch nicht exportiert werden», sagt Bach. Denn alle Regionen in Mitteleuropa hätten zum gleichen Zeitpunkt zu viel oder zu wenig Strom.

Bleibt noch der Winterstrom. Wasser- und Solarkraft allein können die Nachfrage vermutlich nicht decken, sobald das letzte Kernkraftwerk vom Netz ist. Die Idee ist, im Sommer synthetisiertes Methan zum Beispiel in Blockheizkraftwerken zurückzuströmen. Christian Bach ist skeptisch: «Die inländische saisonale Stromspeicherung halte ich nicht für realistisch, weil sie zu teuer ist.» Der Import von synthetischem Methan werde sicher immer billiger sein.

Wer wie viel ausstösst

Treibhausgasemissionen nach Sektor



Quelle: Bafu/Bazl

ANHANG 3 WAS ZÄHLT NOCH

Mike Berners-Lee, «How Bad Are Bananas? The Carbon Footprint of Everything», London 2020 (div. Auszüge)



The carbon footprint of everything

Mike Berners-Lee

REVISED 2020 EDITION

A pint of tap water

0.2g CO₂e one pint of tap water
18kg CO₂e a year's tap water for a typical UK citizen

A year's water for one person is the same as a 35-mile drive in an average car.¹ That includes drinking, washing, cleaning – the lot

Unlike the bottled alternative, which has over 1000 times the impact (see *A litre-bottle of water*, p.54), cold tap water is not a major carbon concern for most people. In the UK, the provision of household water accounts for about 0.15 per cent of the country's carbon footprint.² Interestingly, if a pint of tap water is poured down the drain, its footprint triples to 0.6g because it is more carbon intensive to treat waste water than to supply the water in the first place.³ If the eventual fate of the drink is to be flushed down the loo along with another 6 litres, that takes the total to about 7g CO₂e.

Whilst tap water doesn't have a huge footprint, climate change is now causing serious water stress in many places. After three years of drought, Cape Town only avoided running out in 2018 by restricting water use to just 50 litres per person per day (the UK has an average of 140 litres per day, the US 375 litres). In the UK as a whole, it looks unlikely that we will face shortages of water, even though some redistribution might be called for.

Tap water itself is one thing, but heating it up is another matter, accounting for a decent chunk of the typical person's emissions (see

16 A shower p.46, and *Desalinating water* p.90).

An email

0.03g CO₂e spam email picked up by your filters
0.2g CO₂e short email going from phone to phone
0.3g CO₂e short email sent from laptop to laptop
17g CO₂e long email that takes 10 minutes to write and 3 minutes to read, sent from laptop to laptop
26g CO₂e an email that takes you 10 minutes to write, sent to 100 people, 99 of whom take 3 seconds to realise they should ignore it and one of whom reads it⁴

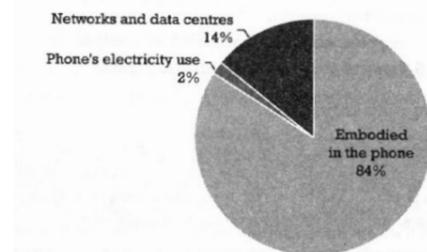
Our average email traffic is equivalent to driving 10–128 miles in a small petrol car

The footprint of an email comes from the electricity needed to power the kit used at each stage of the process: the device it is written on, the network that sends it, the data centre it is stored on and finally the device that you read it on. The devices at each end are the dominant factors, even if you send big attachments. As the pie chart opposite shows, the embodied emissions of a smartphone represent 84 per cent of a short email's carbon footprint. That percentage would be higher still for a laptop, and a step up again for a desktop computer. (For more on the footprint of buying and using a smartphone, see p.116, and, for a computer, p.129).

In 2019, the world's 3.9 billion email users sent 294 billion emails each day, of which 55 per cent were spam.⁵ So the average email user received about 75 emails per day (of which 41 were spam). If you received this number, with all the non-spam being emails that take the sender just 10 seconds to write and you a mere 5 seconds to read, then the carbon footprint of writing, sending and reading would be around 3kg CO₂e per year, or 12 million tonnes CO₂e globally. On the other hand, if they were all more thoughtful emails, taking the sender 3 minutes to write and you a full minute to read, it would come to 37kg per year, or 150 million tonnes globally.⁶ This would mean that email accounts for about 0.3 per cent of the world carbon footprint. Luckily this is not the case.

Although the majority of incoming emails sent are spam, these messages account for only around 2 per cent of the total footprint of your email account because, although they are a pain, you deal with them quickly. In fact, you never even see most of them if you have decent filters installed. A genuine email has a bigger carbon footprint simply because it takes more time to deal with. So, if you are someone who needlessly copies people in on messages just to cover your own back, the carbon footprint is one more good reason for changing your ways. You may find that after a while everyone at work starts to like you more, too.

The long email sent from a laptop has one-twentieth the footprint of a letter (see p.49). That looks like a carbon saving unless you end up sending 30 times more emails than the number of letters you would have posted in days gone by. Lots of people do – and perhaps still send the occasional letter as well. This is a good example of the *rebound effect* – how a more efficient technology typically results in higher-carbon living because our usage generally goes up by even more than the efficiency improvement.



Total carbon footprint of a short email sent from phone to phone over WiFi and taking 10 seconds to write and 5 seconds to read

17

If the great quest is for ways in which we can improve our lives while effortlessly cutting carbon, surely spam and unnecessary email have to be very high on the hit list, along with old-fashioned junk paper post. In 2019, Ovo Energy ran a campaign to stop people sending needless 'Thank you' emails. I supported it as a great way into bigger conversations about our climate emergency, with the realisation that there is carbon in everything and the benefits of cutting every kind of junk out of our lives. But of course the actual carbon to be saved from reducing the smallest emails of all is tiny – and it can also be wonderfully important to say thank you!

If only email were taxed. Just a penny per message would surely kill most spam. The funds could go to tackling world poverty, or even renewable energy. The world's carbon footprint would go down by 2.4 million tonnes,⁷ the average user would be saved a couple of minutes of time every day and there would be a £480 billion annual fund. If it turned out to be enough to push us into a more disciplined email culture – with perhaps half the emails sent – the anti-poverty fund would be cut in half, but our lives would still be significantly better. The (small) carbon saving would be an additional bonus.

A Google search

0.5g CO₂e one simple search
5.6g CO₂e 5 minutes web browsing from a smartphone
8.2g CO₂e 5 minutes web browsing from a laptop⁸

It's good to stay informed

Based on Google's estimate for the energy used at their end (and adding a bit for your phone or computer and the network), a simple web search is about 3 seconds' worth of a 5-tonne footprint, while a 5-minute browse on your laptop is around 50 seconds' worth.

To get these figures, I started off with Google's estimate from 2009 of 0.2g CO₂e for the electricity they use at their end when you put in a single search and guesstimated this is now twice as efficient.⁹ I added 30 seconds use of a smartphone while you tap in the search, wait for the result and scan it for what you want, including the energy used and the embodied carbon; the network (assuming you use mobile data) adds another 0.4g, bringing the total to 0.5g. For the high-end figure, I assumed use of a reasonably efficient laptop, which uses more power than the phone and (more importantly) has a much higher embodied footprint in its manufacture. Almost a quarter of the laptop search comes from the WiFi.

If you search for information about the footprint of web searches, you'll find blogs and articles all coming up with different figures based on different assumptions. Researchers don't always agree, but the figures here should be in the right ballpark.

Google is estimated to deal with 3.5 billion enquiries per day (up from 200–500 million in 2010).¹⁰ If we go with the figure for the footprint of a single search on your smartphone over mobile data, Google-searching accounts for almost 630 thousand tonnes CO₂e per year. That sounds like a big number, but is less than 0.0001 per cent of humanity's carbon footprint. We can probably relax about it. Reading the stuff we find, however, is an altogether more carbon-hungry activity – see *A computer and using it*, p.129.

19

A plastic carrier bag

3g CO₂e very lightweight variety
10g CO₂e heavier supermarket bag¹⁴
50g CO₂e heavyweight 'bag for life'

Plastic bags are bad for many reasons – but carbon isn't chief among them

Plastic is a dazzling example of how we humans invent things and start using them without really understanding the impacts. But at last we seem to have woken up to the hideous plastic pollution problem that we have unthinkingly inflicted on the world over the last fifty years. Since the first edition of *Bananas*, the UK government (and many others) have applied a mandatory plastic bag levy, and this has sent such a signal that everyone is cutting down on plastic bags – even people who are not worried about either the cost or the environment.

All this is good, but has it helped us get to grips with our climate emergency? Not really.

20

Plastic bags have a pretty low-carbon footprint. If you use six old-fashioned bags per week, it works out at about 3kg per year – the carbon footprint of eating just one beefburger. Or, to put it another way, when you carry your shopping home in a disposable plastic bag, the bag is typically responsible for about one-thousandth of the footprint of the food it contains. (Note that if you get less than five uses out of a heavy reusable bag, you'd be better off, in carbon terms, with disposables.)

Of course, there are other good reasons to ditch single-use plastic bags. Plastic has a habit of hanging around in the ecosystem, where it can sit for hundreds of years, killing fish and being ugly. When we talk about it degrading over time, all we really mean is that it falls into smaller and smaller pieces; as far as we know, we are stuck with it forever. And we use an awful lot of it. If all the world's discarded plastic were cling film, you could wrap the world up one and a half times.¹⁵

How to get rid of plastic, then? Burning releases nasty toxins – as well as carbon – although the technology is improving. From a purely climate change perspective, landfill is not too bad. The bags won't degrade, so all those hydrocarbons are returned to the ground where they came from for fairly long-term storage. But landfill is nasty for other reasons (see *1kg of rubbish to landfill*, p.66).

21

A Zoom call

2g CO₂e per hour on a 13-inch MacBook Pro
 10g CO₂e per hour on an averagely efficient laptop
 50g CO₂e per hour desktop computer with screen
 + embodied emissions in the computer
 – 20 tonnes CO₂e potential saving on a meeting in Hong Kong with two people flying from Europe

A video call can save several commutes – or tonnes of carbon from a number of flights

The chief footprint of a Zoom (or Teams/Skype/FaceTime/Google Hangouts) call is the embodied emissions from your hardware – the actual call is pretty minimal and not much different to regular computer use (see p.129). But the emissions you *avoid* can be of a whole different order.

Let's say there are four of you travelling an average five miles to a meeting. If you're all driving, that could net 16kg of emissions; more if someone has a gas-guzzling SUV. But what about if it's a meeting in Hong Kong and you're flying there from London and someone else is coming from Milan? If both of you travel return by business class, that would accumulate 20 tonnes CO₂e. Now imagine that Zoom call replaced a conference where a company or a number of universities sent 200 or more delegates.

The downside of video-conferencing comes if you weren't thinking of flying to meet someone at all, but after a few calls you decide you are getting on so well that you simply have to meet up. Here, yet again, is the ugly face of the rebound effect. It is evidenced in this case by the uncomfortable reality that, up until the COVID-19 crisis, the rise of video-conferencing had simply gone hand in hand with ever-rising air traffic for both business and leisure.

As we all know, video-conferencing mushroomed during the COVID-19 crisis, as offices closed and flights were grounded. The carbon footprints of commuters and businesses improved. Many businesses found they were able to function pretty well holding many of their regular meetings online. Although pure Zoom-life can get tiresome, the world has learned that it is both possible and better to replace many a needless, high-carbon and time-consuming trips with a simple video call. In this respect, we will surely never look back.

A 100g portion of carrots

28g CO₂e local, in season, full-size varieties
 83g CO₂e local, in season, baby carrots
 90g CO₂e full-size varieties, shipped within Europe

Carrots are about as good as it gets from a carbon and nutritional point of view

The figures above are for 100g of carrots – that's a decent-sized portion – and the figures are good for most other root vegetables. At around 0.7g CO₂e per calorie, local root vegetables are some of the most climate-friendly foods available – and healthy too. If you ate only these foods – and others that have a similar carbon intensity – you could feed yourself for about 550kg CO₂e per year.

Seasonal vegetables have small carbon footprints because they are grown in natural conditions without artificial heat, don't go on planes, and don't incur the inefficiencies in the production of food from animals. Note that some baby varieties have a much lower yield per hectare of land, resulting in higher emissions per kilogram. And, as with other vegetables, favouring mis-shapen specimens may help avoid wastage in the supply chain (see *An apple*, on the following page).

If you boil your carrots for 10 minutes, you will add a few more grams CO₂e per kilo to the footprint (for more on cooking, see *A portion of boiled potatoes (200g)*, p.37). My children only used to eat their carrots raw, which suited me fine. It was better from every angle – fewer carbon emissions, less time and a higher nutritional value.

A mile by electric bike

3g CO₂e per mile for a fully electric bike travelling at 12 mph with no hills or stops
 5g CO₂e per mile at the same speed with five stops per mile and 20m of climbing⁵
 Add 10–100g CO₂e per mile for the bike's embodied carbon

Electric bike emissions are truly amazing

In the ten years since the first edition of this book, electric bikes have come of age – and they turn out to be incredible from a carbon point of view. They are so good that I am just about to buy a folding one for my daily commute.

How can a mile on an electric bike be 20 times more carbon friendly than a mile on a conventional machine? The astonishing figures begin to make sense when you consider how you get your own energy – from, that banana trees are many times less efficient at capturing the sun's energy than, for example, solar panels. Also only a small part of the banana tree's energy finds its way into the banana itself, which then has to be transported around the world to reach you. On top of this, electric motors are perhaps four times as efficient as human legs at turning chemical energy into bike propulsion. If all our electricity was from solar power, the electric bike would beat the conventional bike by a factor of nearly 1000.

My numbers are for a fully motorised ride, although, by law, electric bikes must be a hybrid between pedalling and motor power. They assist you, but don't do all the work. This is probably just as well, because it means that electric bikes still keep you fit but make possible a greater range. However, this also means that the real footprint of cycling an e-bike is somewhere between the footprint of conventional cycling and the numbers I've given here.

The embodied emissions in the e-bike are similar to a regular bike except for the extra battery and engine. But they are probably lower per mile, since you are likely to ride the bike further over its lifetime than a conventional bike. The battery turns out to account for just 0.5g per mile provided you use it to the end of its life.⁶ I've assumed that you will look after your battery carefully, so that you get 1000 full charges out of it. To do this, charge it up slowly (trickle charge) and neither let it run totally flat nor charge it to the very top. And don't let your bike stand around for weeks on end – get out and use it!⁷

Cycling a mile

40g CO₂e powered by bananas
 70g CO₂e powered by cereals with cow's milk
 190g CO₂e powered by bacon
 310g CO₂e powered by cheeseburgers
 4.7kg CO₂e powered by airfreighted asparagus
 +10–100g CO₂e per mile for the bike's embodied carbon¹⁰

If your cycling calories come from burgers, the emissions are about the same as driving

I have based all the above calculations on the assumption that you burn 50 calories per mile. The exact figure depends on how fit you are (the fitter, the lower the emissions), how tall, wide and heavy you are (the more, the higher the emissions, as they add to the air and rolling resistance), how fast you go (the faster, the higher) and how much you have to use the brakes.

All that energy on a bike has to come from the food you eat and that in turn has a carbon footprint. The good news is that the lower-carbon options are also the ones that make the best cycling fuel. Bananas, of course, are brilliant (see p.39). Breakfast cereal is pretty good (let down slightly by cow's milk). The bacon comes in at around 190g CO₂e for a 25g rasher, with only enough calories for a mile and a quarter of riding, while cycling along using calories from cheeseburgers is equivalent to driving the same distance in an efficient car. At the ridiculous end of the scale would be getting your cycling energy by piling up your plate with asparagus that has been flown by air from the other side of the world. At 4.7kg per mile, this would be like driving a car that does 4 miles to the gallon (a shade over a mile per litre). You'd be better off in an SUV.

The emissions embodied in the bike and requisite equipment vary per mile depending on how much use you get out of your kit and whether you buy new or second-hand. In the lower-carbon scenarios, the food accounts for only a small part of your impact, and the maintenance of your bike and sundry equipment dominates.

Is cycling a carbon-friendly thing to do? Emphatically yes! Powered by low-carbon carbs, a well-used and well-maintained bike is about 10 times more carbon efficient than the average petrol car. Cycling also keeps you healthy, provided you don't end up under a bus. (Strictly speaking, dying could be classed as a carbon-friendly thing to do, but needing an operation couldn't: see p.135.)

Buying a folding bike so I could commute on the train has been one of the best decisions I ever made, in terms of both lifestyle and carbon. My journey takes 10 minutes longer, but I get half an hour's exercise and 15 minutes reading a book each way. So I've magicked an extra hour of the stuff I love into my day – while saving money and carbon. And, by taking my car off the road in rush hour, I cut everyone else's queuing time as well and reduce the emissions they belch out while they wait (see *A congested car commute*, p.106).

Travelling a mile by train

22g CO₂e French train powered by nuclear electricity
 68g CO₂e London Underground tube train
 72g CO₂e light rail or tram
 80g CO₂e intercity standard class
 160g CO₂e intercity first class

A 40-mile rail journey has the same footprint as three pints of milk

Although trains can be a relatively green way to get around, the figures above show that the emissions of rail journeys are higher than you might think. All the numbers provided include the direct emissions and electricity consumption of the moving train itself, but also attempt to take account of the embodied emissions from train manufacture, the upkeep of the rail network and the running of all the infrastructure.¹¹

The amount of energy required to propel a train down a track depends mainly on just a few factors.¹²

- **How fast the train goes.** The air resistance goes up with the square of the speed.
- **How many stops there are.** Each stop wastes energy – the exact amount being proportional to the square of the speed and weight of the train. Some newer trains reduce this stoppage waste through 'regenerative braking', similar to hybrid cars.
- **Rolling resistance of the wheels on the track.** This is lower for trains than for cars, because metal wheels on metal tracks are more efficient than rubber tyres on asphalt. The resistance goes up proportionally with the weight of the train.
- **The type of fuel used.** Electricity beats diesel because although there are inefficiencies in generating electricity from fossil fuels, the train engine can turn almost all of the power into movement and when it slows down, it can turn most of the kinetic energy back into electricity. A diesel engine is much less efficient. In the UK, the carbon advantage of electric trains has increased noticeably as the grid has become greener.

Intercity trains go fast (that's bad) but stop infrequently (good). In the UK, they're often electric (good), but extremely heavy (bad). The weight of the train per passenger seat, amazingly, is around twice that of an average car. Professor Roger Kemp,¹³ who has looked at this astonishing fact in detail, explains it in terms of overengineered safety: trains weigh at least twice what they need to because we have become obsessed with safety even though rail travel is 100 times safer than driving. So perhaps as much as twice the energy is required to get our trains moving every time they leave a station.

First-class travel deserves mention because the number of seats you can squeeze into a first-class carriage is half that in standard class. This means that the weight being moved per person is doubled again; we're now up to the weight of four cars per seat. I sometimes board trains where half the length is near-empty first class and the rest is crowded standard class, suggesting that the real weight being hauled per first-class passenger may be even higher.

Things are a bit more complex when it comes to the Eurostar, because when it's in France it runs on electricity that comes predominantly from nuclear power. This is low-carbon energy, whether or not you think nuclear power is worth it in other ways. However, I don't think it is useful to think of trains in nuclear-friendly France as having a smaller footprint than those elsewhere, as they are sometimes portrayed. That's because all the nuclear electricity that French power stations can produce would get used up regardless of whether any trains were running. (See *A unit of electricity*, p.51, for more on this somewhat confusing concept of marginal demand.)

Interestingly, London Underground is lower-carbon per passenger mile than Intercity trains, despite stopping much more often. This is mainly because people are (or were in pre-COVID-19 times) packed in so tightly, nose to armpit. Other reasons are that the tube travels relatively slowly, is all electric and has lighter trains.

Overall, trains are generally a lot greener (and a whole lot safer) than cars, though a sensibly designed petrol car can beat a train's carbon footprint if you fill it with people. Even two people travelling together are better off driving an efficient car than travelling first class.

A banana

110g CO₂e each (or 670g CO₂e per kilo)¹

To answer the question in the title of this book: bananas aren't bad at all

Bananas are a great food for anyone who cares about their carbon footprint. For just 110g of carbon, you get a whole lot of nutrition: 143 calories as well as stacks of vitamin C, vitamin B6, potassium and dietary fibre. Overall, they are a fantastic component of the low-carbon diet. Bananas are good for just about everyone – athletes, people with high blood pressure, everyday cycle commuters in search of an energy top-up, or anyone wishing to chalk up their recommended five portions of fruit and vegetables per day. There are three main reasons that bananas have such low-carbon footprints compared with the nourishment they provide:

- They are grown in natural sunlight with no hothousing required.
- They keep well, so although they are often grown thousands of miles from the end consumer they are transported by boat (which is about 1 per cent the carbon footprint of airfreight).
- There is hardly any packaging, because they provide their own. Supermarkets sometimes feel they have to put bananas in plastic bags to stop customers ruining them if they split a bunch – so the bag can be worth it in preventing waste.

On top of their good carbon and healthy eating credentials, the fair-trade version is readily available. However, for all their qualities, don't let me leave you with the impression that bananas are too good to be true. They have environmental issues. Of the 300 types in existence, almost all those we eat are of the single, cloned Cavendish variety. The adoption of this monocrop in pursuit of the maximum, cheapest yields has been criticised for degrading the land and requiring the liberal use of pesticide and fungicide. And it has left banana vulnerable to the *Fusarium* fungus, which has been slowly spreading around the world, devastating plantations.

39 Furthermore, although land is dramatically better used for bananas than beef in terms of nutrition per hectare, there are still parts of the world in which forests are being cleared for banana plantations (see *Deforestation*, p.177).²

40 Overall, though, the only really bad bananas are those you let rot in your fruit bowl. These join the scandalous 22 per cent of food wasted by consumers in the UK and many other countries.³ If you do find yourself with bananas on the turn, they are good in cakes and smoothies. I have a childhood memory that they are also tasty in custard.

A litre bottle of water

320g CO₂e locally sourced and distributed
400g CO₂e average
480g CO₂e transported 600 miles by road

An avoidable disaster that keeps on growing

In the ten years since the first edition of this book, worldwide bottled water consumption has almost doubled – from 200 billion to 390 billion litres per year.²⁵ This means bottled water alone accounts for over a quarter of a per cent of the world's carbon footprint. It is 1000 times more carbon intense than water from the tap, so, for anyone living in a country where the tap water is safe to drink, knocking the plastic bottles out of our lives has got to be a simple win.

The carbon comes mainly from packaging and transport. Processing water (whether still or carbonated) has a marginal carbon impact. But there is an add-on of 83g CO₂e per litre just for the plastic, on top of which is a further 20g CO₂e to melt the PET (polyethylene terephthalate) balls down and mould them into bottles. Transport is also significant, because water is so heavy. If the bottles travel 600 miles by road, that can add a further 80g CO₂e per bottle.²⁶

54

Why don't all train stations and town centres have drinking fountains?²⁷ It would be a simple win for everyone, except those who make money selling the bottled stuff. And that is part of our answer. If we got rid of bottled water, people would be financially better off, but the economy would look as though it had slowed down a fraction. This is a nice illustration of how inadequate it is to measure how we are doing solely in terms of our economic 'growth'. The economy will actually recede as we all get better off.

In the UK, restaurants and cafés are required to provide tap water free to customers and we should never be embarrassed to ask.

55

Driving a mile

180g CO₂e in a mid-sized five-door electric car
290g CO₂e in a smart car doing a steady 60 mph
530g CO₂e in an average UK car at 36 miles per gallon
1.26kg CO₂e in a Range Rover Sport, new but not looked after, doing 90 mph

Driving a car the UK average annual distance of 7600 miles can use anything between 25 and 200 per cent of the 5-tonne lifestyle

My numbers are higher than those you normally see for driving. That is partly because I am including the emissions from the extraction, refining and transportation of fuel as well as the burning of it. Even more importantly, I am factoring in the manufacture and maintenance of the vehicle itself.

As a rule of thumb, about half of the carbon impact of car travel comes out of the exhaust pipe.¹ A few per cent come from the fuel before it is burned (see *A 50-litre tank of petrol*, p.119). The rest, typically 40 per cent of the footprint, is associated with the manufacture and maintenance of the car. Big, expensive new cars have more of their embodied emissions attributable to each mile of driving. An older car that is still fairly efficient could beat a new efficient vehicle by virtue of having had its embodied footprint written off (see *A new car*, p.145).

The electric car is a clear winner, but still has a substantial footprint because of the embodied carbon and the footprint of the electricity.

Among petrol cars, the low end of the scale above is calculated for a well-maintained low-emission vehicle (such as a Citroën C1, Peugeot 107 or Toyota Aygo) travelling at a steady 60 mph. My own Peugeot 107 can do 75 miles to the gallon under these conditions. With four people, the carbon comes out at 73g CO₂e per person per mile.

62 At the high end of the scale, we have a single person in a SUV that looks more like a tank, cruising at 90 mph or driving unsympathetically in urban conditions. In these conditions, a vehicle of this type may achieve as little as 15 miles per gallon.

The choice of a new car is crucial to your carbon footprint. Vehicle emissions in the UK have not decreased at anything like the scale we might have hoped for ten years ago – and the reason for that is too many people buy SUVs rather than efficient smart cars. This is a disastrous fashion: big SUVs are totally unnecessary for doing the school run, or any other activities, in British cities. Any supposed safety advantage in a crash comes at the expense of whoever you crash into. They should be taxed very heavily indeed. If you are replacing a car, take the plunge and go electric (and not bigger than you need); you'll reduce your maintenance and running costs enormously, as well as your emissions. Almost nobody who goes electric regrets doing so.

But it's not just what model you drive that matters. Here are nine good ways to reduce the carbon footprint of your car use:

- Put more people in the car – or even join a car sharing scheme. A car can compete in emissions with train travel if you are avoiding four separate journeys. Typical saving: 50–80 per cent.
- Look after your car so that it will do at least 200,000 miles in its lifetime and runs as efficiently as it can. Typical saving: 30 per cent compared with the average (see *A new car*, p.145).
- Accelerate and decelerate gently, avoiding braking as much as possible. Typical saving: up to 20 per cent in urban conditions.
- Drive at 60 mph on motorways. Typical saving: 15 per cent compared with 70 mph.
- Keep the windows up when driving fast, and the air conditioning off. Typical saving: 2 per cent.
- Keep the tyres at the right pressure. Typical saving: 1 per cent.²
- Avoid rush hour (see *A congested car commute*, p.106).
- Drive safely (see *A car crash*, p.156).
- Use the train, bus or bike if travelling alone. Typical saving: 40–98 per cent (see *London to Glasgow and back*, p.114).

63

A latte (or a tea or coffee)

22g CO₂e black tea
47g CO₂e tea with soya milk
49g CO₂e black coffee, instant
71g CO₂e tea with cow's milk
87g CO₂e black coffee (drip, Americano or filter)
288g CO₂e large oat milk latte
308g CO₂e large soya milk latte
552g CO₂e large cow's milk latte
Add 110g CO₂e for a typical disposable cup³

A cup of black tea is low carbon ... but a cow's milk latte every day could make up 4 per cent of the 5-tonne lifestyle

The shock in the figures above is the milk. If you take your tea with milk, and you boil only the water you need, then the milk accounts for three quarters of the total footprint (see *A pint of milk*, p.77). The obvious way to slash the footprint of your tea is reduce the amount of milk, switch to soya or oat milk or drink black or herbal tea.

Coffee also has a significant footprint,⁴ much higher per cup than tea. Instant has a lower footprint than ground, because a factory is more efficient at extracting the coffee than the device you use to make the coffee from ground beans, regardless of whether you go for filter, drip or espresso. Admittedly, though, it doesn't taste good.

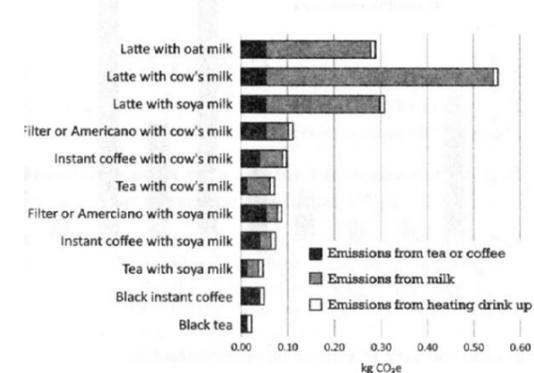
I have based my latte sums on the large kind that some of the coffee-house chains encourage you to quaff. For the same impact you could have nine carefully made Americanos or filter coffees, or 25 black teas. The large lattes also mean you are drinking an extra half a pint of milk, perhaps without realising it.

Ten years ago at my work we tried and failed doing without milk in our drinks. More recently we have learned to love oat and soya milk. Barista oat milk is better in coffee, as it doesn't curdle.

64

In all the sums above, I have assumed that you only boil as much water as you need.⁵ If you boil excessive water (as most people do), you could easily add 10g CO₂e to your drink. Boiling more water than you need wastes time, money and carbon; if you haven't yet developed perfect judgement, simply measure the water with a mug.

For coffee on the go, add a totally unnecessary 110g for a typical disposable cup or the same if you keep losing your reusable one. The recent push for reusable mugs is, on its own, a trivial step in the push towards the low-carbon world. But, if it helps us to become more carbon conscious, then it is useful. I'd like to see mugs with a caption saying 'Every time I use this cup, it reminds me to care even more about the bigger carbon issues in my life'. Finally, think about your mugs. Buy sturdy ones, look after them and save hot water by only washing them up at the end of the day, rather than using a fresh mug for every cup.



The carbon footprint of a 250ml mug of tea or coffee. Add 110g CO₂e for a disposable cup

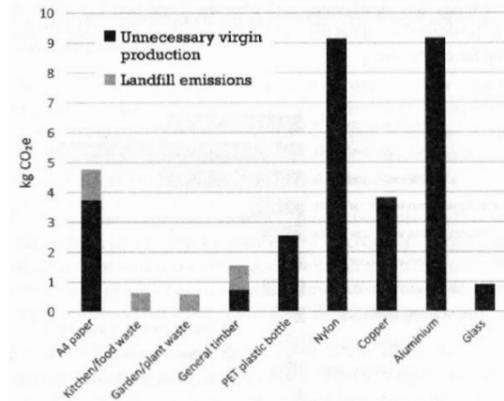
65

1kg of rubbish to landfill

590g CO₂e average bin contents
9.1kg CO₂e aluminium and copper

The average Briton send 220kg to landfill or incineration⁶ each year and recycles 175kg – this is about 2.5 per cent of a 5-tonne lifestyle

In the UK, our average emissions from rubbish cause 130kg CO₂e per person each year. By 'rubbish', I mean things we dispose of by putting them in a general bin, as opposed to recycling or composting them. Looked at this way, there are two parts to the footprint.



The carbon footprint of throwing out rubbish to landfill

First, there are the landfill emissions, which are due mainly to stuff rotting down underground. This anaerobic decomposition produces methane, most of which gets captured in a well-managed landfill site, but at least some of which escapes to warm the world. (This isn't an issue for metals, glass, plastic and many building materials, of course, because they don't rot down in the way that food, paper and garden waste do.) There is also a little bit of fossil fuel required to run a landfill site.

Second, there is the fact that, by not recycling something, you are forcing more virgin materials to be used in future products. This isn't an issue for food, for which recycling was never an option. But for metals, plastics and paper it is a big deal.

The diagram opposite shows the impact of 1kg of various items you might be throwing into the dustbin – and thence to landfill. As you can see, if that item is aluminium or nylon, it is particularly important that you recycle it.

The significance of food waste is underplayed in the diagram as it shows only the difference between landfill and recycling or composting (not for the original and wasted food production).

A loaf of bread

630g CO₂e an 800g loaf produced and sold locally⁷
1kg CO₂e same 800g loaf transported extensively by road

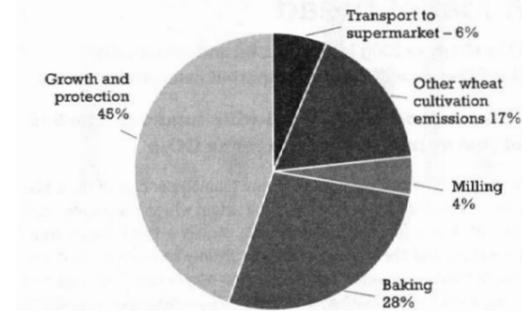
Bread is good: a year's calorific intake can be had for just over a quarter of a tonne CO₂e

As the pie chart overpage shows, more than 60 per cent of the emissions of a loaf of bread come from the actual wheat cultivation (and most of that is just the fertiliser use). Nearly a third comes from the milling and the baking. Transport is only one-twentieth if it is bought locally, although this jumps up to 40 per cent if transported a long way by road. The bag is a very small consideration – and, if it helps to keep the bread fresh for longer, it is probably well worth it.

So, bread is a great low-carbon food – provided we actually eat it. There's the catch. It gets thrown away too often, because we are fussy eaters and because it doesn't keep well.

Tristram Stuart's eye-opening book *Waste* has a picture of a Marks & Spencer sandwich factory systematically discarding four slices from every loaf: the crust and the next slice from each end.⁸ The remaining slices get made into fresh sandwiches and are still at risk of being binned before they are sold. Only once it is safely through the checkout do the odds of a sandwich being eaten start looking good, but there are still such hurdles as over-catered corporate lunches.

Loaves sold straight to consumers are no better, because the shelf life is so low. Plenty is binned by the supermarkets and plenty more goes stale in bread bins or ends up in a half-eaten sandwich. To keep the carbon cost of your bread to a minimum, buy only what you need, enjoy the crusts and get your children to do the same. Remember that bread freezes well if you realise that you have too much, and find uses for stale bread: toast, dunked in soup and so on.



The carbon footprint of a loaf of bread

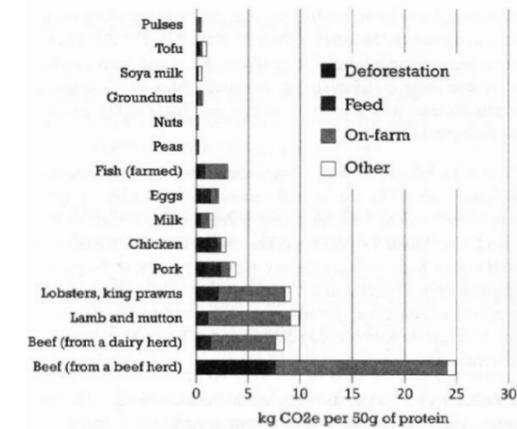
A day's protein (50g)

- 130g CO₂e from 250g of mixed nuts
- 220g CO₂e from 800g of peas
- 420g CO₂e from 625g of lentils or chickpeas
- 1.6kg CO₂e from two and a half pints of milk
- 2.1kg CO₂e from seven large eggs
- 2.8kg CO₂e from 180g of chicken
- 3.8kg CO₂e from 200g of pork, bacon or ham
- 9kg CO₂e from 200g of imported king prawns
- 10kg CO₂e from 200g of lamb
- 25kg CO₂e from 190g of beef (cattle on deforested land)

Our diet is genuinely important

We all have slightly different protein requirements, depending on age and lifestyle, but I've based my sums on 50g per day, which is about what the average person needs (even though in rich countries most of us eat quite a bit more than that).

The chart opposite shows the dramatic difference in the carbon intensity of meeting our protein needs through different foods. The figures are based on global averages, although production systems do vary around the world.⁹



The carbon footprint of 50g of protein

The numbers speak for themselves, with a day's protein weighing in at less than 500g for all the plant-based forms – peas, nuts, soya milk, tofu and pulses such as lentil and chickpeas. The message for a sustainable lifestyle could hardly be clearer. The more we base our diet on plant-based food, the better. And this is getting easier and easier, even for sometime meat lovers, with the creation of plant-based burgers and the like from companies such as Impossible and Beyond.

There is quite a step up in carbon terms once you add dairy products: milk (and cheese, yogurt and cream) and eggs (slightly better). But the major impact is when you depart from vegetarian options and eat the animals rather than their products. In carbon terms, the most efficient protein is chicken (which grow fast, especially if packed full of antibiotics, and don't waste much energy walking around if packed closely together) followed by other non-ruminants such as pigs. Meat from ruminants – lamb and beef – has more than three times the footprint of chicken, and beef from cattle on deforested land is in a class of its own, especially if from a beef-only herd.

For most animal-based protein sources, the big emissions deal is what takes place on the farm – especially when the animal is a methane-burping ruminant, but also fertilizer, slurry and farm machinery. Where there is deforestation involved, either of the land the animals graze on or to grow the feed they eat, that is significant, as is the production of feed.

Whilst wild fish can be pretty low carbon (despite environmental problems – see p.71), the farmed version takes on a big footprint for more or less the same inefficiency reasons as animals farmed on land. Crustaceans – prawns, crabs, lobsters and so on – also fall into this very high carbon category, especially warm water prawns imported from Thailand and Vietnam, where their farming often destroys the mangrove systems around the ocean, which play an important part in sequestering carbon and in protecting coastlines and coral reefs.

An omission on my chart is a new kid on the food block – lab based protein. This concept takes some getting used to but I suspect it is on its way. If you want to create food from a given area of land, it is far more efficient to put up solar panels and use the electricity to power an entirely synthetic production system for protein and carbohydrate than it is to grow plants (or, worse, feed those plants to animals). That's because, whilst most plants struggle to capture more than 1 or 2 per cent of the sun's energy, and only a fraction of that gets turned into food, a solar panel can capture more than 20 per cent of the sun's energy. A lab can also do a more efficient job than a plant of creating food from its energy supply.

The idea of solar panels instead of fields is pretty unappealing to me, but the upside could be the liberation of huge quantities of land for rewilding. So we sacrifice a small proportion of the Earth's land area in order to dramatically enhance the rest. A factory in Finland already claims to be able to produce food from electricity with 20 per cent efficiency.⁷ That means that an incredible 4 per cent of the sunlight can be turned into food energy, even it is not yet legal to sell it for human consumption.

66

67

67

68

86

87

88

250g of cheese

- 1.6kg CO₂e goat's cheese
- 3kg CO₂e Cheddar
- 4.8kg CO₂e Parmesan

Dairy is high carbon – a block of cheddar is equivalent to a massive 10kg of carrots

It takes about 10 litres of milk to make 1kg of hard cheese, adding up to a considerable carbon footprint that's higher than that of many meats. The message is clear, then: going veggie doesn't reduce your impact if you simply swap meat for cheese. Neither will it save you money or make you healthier. Perhaps the best advice if you're keen to reduce the climate impact of your diet is to think of cheese as a meat and therefore a treat. Many people will also improve their life expectancy by cutting back somewhat.

Type of cheese	Yield (per cent)	Litres of milk required for 1kg of cheese	Total footprint (kg CO ₂ e/kg)
Cottage	20	5	6.50
Brie	14	7	8.80
Mozzarella	11	9	10.8
Cheddar	10	10	11.8
Parmesan	6	16	18.6
Ricotta	5	20	22.4

The footprint of half a dozen popular cheeses

However much cheese you eat, there's an easy carbon win by keeping waste to a minimum. That means buying only what you think you'll actually get through and not binning it if it's showing a tiny sign of mould. You just need to trim off the mould on hard cheese. Soft cheese is more complex: some rind moulds are integral to a cheese and entirely benign; others may be more suspect. You'll extend its life if you cover cheese in cling film and keep it refrigerated.¹⁵

As for which hard cheese to buy, the most sustainable types probably come from sheep, goats or cows that have grazed almost exclusively on rough pasture that couldn't have been used for crops – though of course that information isn't generally available in the shops.

Note that which country or area the cheese has come from doesn't matter much when set against the impact of the milk production (see *A pint of milk*, p.77). Hence the easiest way to reduce the carbon footprint of your cheese is to opt for soft cheeses, because these require less milk to produce. Goats milk only requires 5 litres of milk to produce 1kg, whereas Parmesan requires 16kg. The table opposite shows the amount of milk required to make 1kg of cheese and the overall carbon footprint.

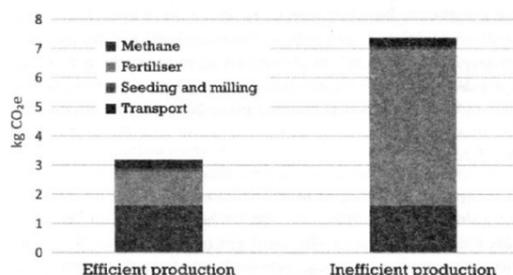
Finally, vegan cheeses (even though these are not allowed to go by that name) are getting better all the time. And, if you're vegetarian, you probably ought to know that cheese production (even with vegetarian rennet) still involves the slaughter of animals. Dairy animals need to be kept in a milk-producing state. And farmers don't put the male calves or kids or rams out to pasture.

1kg of rice

- 3kg CO₂e efficiently produced
- 4kg CO₂e average production
- 7.1kg CO₂e poor production with excessive fertiliser

A kilo of rice can cause more emissions than burning a litre of diesel

Rice deserves a place in your consciousness not only as a food on your table but as an important piece of the global food and carbon jigsaw. Europeans and Americans get just 1 or 2 per cent of their food energy from this crop, but the proportion is very much higher in Asia, where 89 per cent of the world's total rice harvest is consumed.¹⁸ Globally, it provides 20 per cent of the world's food energy in exchange for 3.5 per cent¹⁹ of its carbon footprint.



The carbon footprint of 1kg of rice

I suspect that many of us will be surprised and unsettled to hear that rice, the simplest of foods, is a surprisingly high-carbon staple, much more so than wheat, which is nutritionally similar. That's because of the methane that bubbles out of the flooded paddy fields and the excessive nitrogen fertilisers that are all too often applied.

Around the world, 600 million tonnes CO₂e of methane is thought to be emitted from rice paddies, accounting for around 1.2 per cent of the total global carbon footprint (for comparison, this is about three times the footprint of all the cement produced in Europe). Even more significant are the 167 million tonnes of fertiliser, mainly nitrogen-based, that are applied to the crop. That's a little over 1 tonne of fertiliser for every 3 tonnes of rice produced. If fertiliser is made in an efficient factory and applied sparingly, at well-chosen moments, each tonne may only result in 2.7 tonnes CO₂e. If not, the figure could be as high as 12.3 tonnes CO₂e.

I have guesstimated 300g CO₂e per kilo of rice for the production of agricultural machinery and the transport of the rice to market. The majority is eaten in its country of origin, and I can't imagine rice ever finding its way into a hothouse or an aeroplane.

It's possible to grow rice without flooding the field and thereby cut out the methane. However, it's harder work (you have to do more weeding) and may require more fertiliser, which could end up tipping the net carbon impact the wrong way. As with much agriculture, we don't fully understand what goes on or what the best options are – this is another important area for research, as the number of human mouths soars, along with the global temperature.

If we were to feed the world entirely on food as carbon intensive per calorie as rice, emissions from food farming would be halved (assuming rice made in the most efficient manner). But if the worst rice-growing practices were the norm, farm emissions would increase.¹⁹

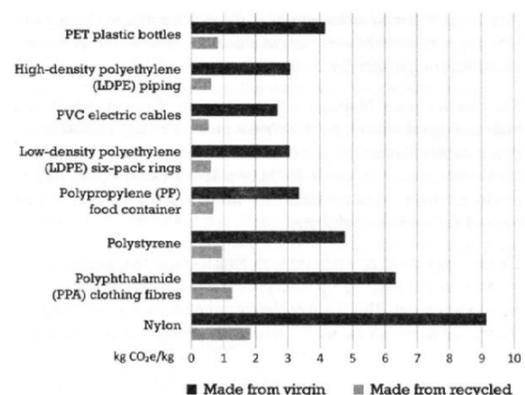
1kg of plastic

- 1.7kg CO₂e PET plastic bottles, made from recycled materials and recycled again after being used²¹
- 3.4kg CO₂e polystyrene from virgin materials
- 4.2kg CO₂e PET plastic bottles, made from virgin material, sent to landfill after being used
- 5.4kg CO₂e PET plastic bottles, made from virgin material, incinerated after being used
- 9.1kg CO₂e some types of nylon²²

The world generates 1.8 billion tonnes CO₂e from plastic production every year – that's 3 per cent of annual emissions, and counting ...

Plastic is such useful stuff: it's tough, durable and waterproof. No wonder we use so much of it. Unfortunately, these same qualities mean that it hangs around in landfill sites for centuries, clutters up the stomachs of animals and fish, transforms remote beaches into junkyards and has ended up in almost every ecosystem you can think of. We are also only just starting to realise the effects this might be having on our own health, as well as that of other living things.²³

From a purely carbon perspective, plastic's inability to rot is good news in that it won't add to methane emissions from landfill. If we assume that the plastic is put in the bin rather than tossed into a street or field, those hydrocarbons are going back underground where they came from. However, by throwing plastic into a landfill instead of recycling, we are forcing yet more virgin production (see *1kg of rubbish*, p.66). The chart opposite shows the emissions from different kinds of plastic made from virgin and recycled materials.



Types of plastic made from virgin or recycled material

Despite increased awareness of the problems of plastic, not least through David Attenborough's efforts, global production is still increasing by a shocking 4 per cent every year. Cutting demand is tricky because it is so convenient that it has found its way into every corner of our lives. But there is no getting around the need to try to untangle ourselves from it wherever we can.

There are four things we need to do:

- Increase recycling rates massively from a pitiful 18 per cent.²⁴
- Increase the proportion of renewable energy used in production.
- Increase the proportion of bioplastics in the mix.
- Most importantly – use less plastic.

Plastics recycling is tricky, as different types have to be separately processed. This is a particular challenge when products blend different types of plastic together, as many do.

Increasing the renewable energy in the mix applies to the plastics industry in exactly the same way as it does to the whole of the world's manufacturing industries.

The case for more bioplastics is that in time they rot, which is a huge ecological advantage. But it's not great in purely carbon terms if that happens anaerobically (without oxygen), as in a landfill site. Bioplastics, however, generally have a lower carbon footprint to produce, even though the land used for producing them can't then be used for food or rewilding.

Finally, some oil companies are switching focus to the plastics industry as a way of keeping up extraction rates as the world moves to renewable energy. This is a completely unhelpful move, ignoring the reality that *nearly all the world's fossil fuel needs to stay in the ground.*

1kg of tomatoes

- 1.3kg CO₂e large salad variety, grown locally, in season²⁵
- 4.9kg CO₂e baby plum – UK summer or Spanish winter
- 28.2kg CO₂e organic vine cherry tomatoes, grown in a heated greenhouse in the UK in March

Beware hothouses

That's a shocking headline: tomatoes – when hothoused – are one of the highest-carbon foods in this book. But there's good news, too. Summer tomatoes are fine. At the low end of the scale a high-yield classic variety is grown in the summer with no artificial heat required. These loose tomatoes, the ones that our parents were brought up on, cause only just over half the carbon of 'specialist' varieties (defined here as cherry, plum, cocktail, beef and others), because the yield is so much higher.

Sadly, the smaller (and tastier) varieties have lower yields and turn out much higher carbon per kilo, although perhaps not per unit of taste. At the high-carbon end, out-of-season organic, cherry tomatoes sold 'on the vine' can be responsible for a staggering 28kg of greenhouse gas per kg.

These high figures come from a detailed but controversial study by Cranfield University.²⁶ Perhaps their most unsettling finding was that, when heat from fossil fuels is required, organic is the highest-carbon option, again because the yield was thought to be lower.

So, tomato lovers concerned about climate change would do well to stick to the season (July to October in the UK) and to favour classic varieties, sold loose. In the winter it makes carbon sense to stick to tinned tomatoes, but if you do want to buy fresh tomatoes outside the local growing season it is almost certainly preferable to buy them from Spain, Morocco or another warmer place that isn't too far away, rather than local versions produced in heated greenhouses.

92

93

95

98

100

101

96

99

A pair of jeans

- 8kg CO₂e polyester trousers (300g)
- 11kg CO₂e acrylic trousers (300g)
- 19kg CO₂e men's cotton jeans (600g)

'Natural' materials may sound greener, but the footprint tells a different story

My cotton jeans weigh 600g. Two recent studies have found that their production has a footprint of around 26kg CO₂e per kilo.³ That includes the dyeing, cutting, sewing, an allowance for waste fabric, buckles and zips and so on, as well as transport, meaning that by the time you buy them from a shop a single pair of jeans will have a footprint of around 19kg.

But this figure doesn't tell the whole story. Their lifetime of wearing and washing adds 12kg CO₂e per kg (this assumes a tumble dry after each wash). Add in another 1kg CO₂e for any jeans that end up in a landfill at the end of their lifetime and the footprint goes up to 32kg CO₂e per pair of jeans. You can bring down this figure by washing them less and drying them on the line, but the footprint will still add up to over 20 kg CO₂e.

For synthetic fibres, emissions for the production phase are even higher per kilo than for the cotton jeans. But, crucially, they are half the weight and so the footprint per pair is lower. The use phase is lower too, as the synthetics take up less of the washing machine, and will easily dry on the line. If well made, they will also last significantly longer than the cotton jeans.⁴

Even if I wear my cotton jeans right into the ground, I can't envisage getting more than 200 days of solid use out of them. That works out at a minimum of 95g CO₂e per day – or more than 160g per day once I factor in the laundry and disposal.

By comparison, the synthetic trousers are probably good for 600 days of wear, and because they virtually drip-dry the laundry aspect will likely only be a quarter that of the cotton jeans. So, all told, that's just 23g per wear-day for the polyester and 28g for the acrylic. (See *A load of laundry*, p.89). This means the synthetic trousers are between six and seven times less carbon intensive than the jeans.

Globally, around 100 million tonnes of textiles are produced per year, almost double the total in the early 2000s and increasing at a rate of 2 per cent per year.⁵ Once you take into account the full lifecycle emissions, that equates to 3.3 billion tonnes CO₂e per year, or around 6 per cent of global emissions.⁶ The fashion industry also consumes 79 trillion litres of water per year. The Aral Sea has dried up in part because of cotton plantations in its catchment, and the clothing and textiles industry produces toxins that find their way into water supplies.

On average, if you live in the UK, clothing and textiles will typically make up about 2 per cent of your footprint. But if you buy a lot of clothes – fast fashion that only gets worn a handful of times – your footprint may be five or ten times that figure.

Here are some tips for keeping the total impact of your clothing to a minimum:

- Buy stuff that is easy to wash and dry.
- Buy stuff that is built to last, wear it, repair it and use it until it falls apart (or pass it on).
- Buy second-hand.
- Donate or recycle clothing rather than putting it in the bin.

105 ■ Favour synthetic fibres over natural ones.

A bag of cement (25kg)

- 9kg CO₂e one 'green' cement alternative
- 17kg CO₂e industrially trialled low-clinker cement
- 24kg CO₂e global average ordinary Portland cement

Cement production makes up 4.5 per cent of the world's greenhouse gas footprint

The world produces just over 4 billion tonnes of cement per year – that's a staggering 525kg for every person on the planet. And this number is rising fast¹⁰ with the rapid urbanisation of nations such as India and Indonesia. The emissions are so high because the chemical process that turns limestone into cement gives off large volumes of CO₂ and also takes a huge amount of energy to produce. The figures above are for a standard 25kg bag of cement that you could pick up at your local builder's yard.

Around half of cement's footprint is down to the chemical reaction. There is not much you can do to reduce this without changing the product itself or reducing the amount of clinker (the main ingredient of cement that gives off the emissions). About 40 per cent comes from the burning of fuel to drive the reaction. The other 10 per cent is other elements of the cement industry and its supply chains. 107

Cement makes up about 12 per cent of the footprint of the UK construction industry, so other potential ways of reducing its impact are to use different materials, to build to last and to refurbish, in preference to knocking down and building anew (see *A new-build house*, p.154).

There are no obvious 'silver bullets' for reducing emissions from cement production, but somehow the construction industry is going to have to find ways of doing so over the coming years. One way of reducing the footprint of cement is to decrease the amount of clinker by adding supplements like volcanic ash (which is what the Romans used), fly ash and ground granulated blast slag. An industrial trial using these tactics has been carried out in Cuba, which reckoned a 30 per cent reduction in CO₂e compared to global average cement.¹¹

Another alternative is to use novel cements with alternative starting materials. According to one study, alkali-activated Metakaolin- and Calcium hydroxide-based cements have a 50 per cent lower footprint (360–380g CO₂e/kg), as well as a higher thermal conductivity and better recyclability.¹² Magnesia oxide-based cements may be even better. These cements absorb CO₂ during the hardening process, theoretically enabling them to be 'carbon negative' for the process emissions. Despite their potential, however, these novel cements have not yet reached widespread application. 108

Leaving the lights on

- 15kg CO₂e 5-watt low-energy bulb for one year
- 300kg CO₂e 100-watt incandescent bulb for one year

LEDs have made a huge difference – but make sure you've switched over

Leaving a light on for a whole year might sound extreme, but having an average of one bulb turned on unnecessarily at any one time is almost certainly quite common.

108 As the figures above show, low-energy bulbs have the potential to save an enormous amount of electricity. By 'incandescent bulb', I mean the old-fashioned kind with the glowing tungsten wire. In the UK it is now illegal for shops to buy them, so they are becoming museum pieces – at last.

However, efficiency alone won't bring about a low-carbon world because the less costly something becomes, the more we tend to use it – so the result can end up being more consumption. In the case of lighting, this translates, for example, into having 20 lights in the kitchen and thinking 'I've left a few lights on but it's OK because they are low-energy ones.' There's also the fact that the money we spend on bills will end up being spent elsewhere – a cheap flight, perhaps (see discussion of the *rebound effect*, p.17).

Like any form of electricity wastage, the precise impact depends on where you live. I've based the figures here on a typical UK energy mix, but if you live in Australia the footprint is 2.5 times as high. You could argue that in France it's OK to leave the lights on because it mostly comes from low-carbon nuclear power, but in my analysis that doesn't stack up (see *A unit of electricity*, p.57).

109 Finally, there's no truth in stories you may have heard that the act of turning a light on uses the same energy as leaving it on for half an hour.

A week's food shopping

- 17kg CO₂e vegan, no airfreight, no waste
- 36kg CO₂e vegan, average
- 46kg CO₂e vegetarian, average
- 61kg CO₂e average diet, including meat
- 88 kg CO₂e average diet, including meat, airfreight

If you have a meat-heavy diet, you could use up your 5-tonne lifestyle just on food and drink

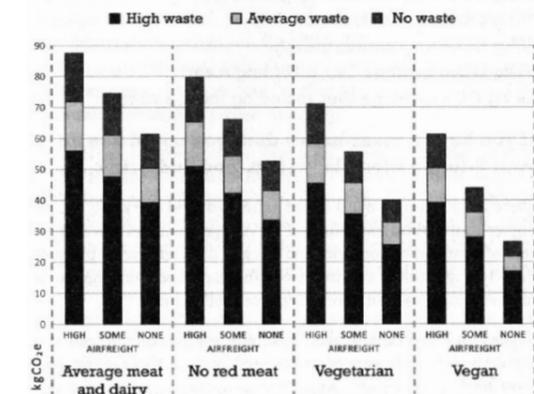
There is no getting around it: the more meat and dairy you eat, the higher your carbon footprint will be. A vegetarian diet saves 25 per cent of your carbon footprint and a vegan diet can save 40 per cent. Equally important is avoiding foods that have been airfreighted in. Just avoiding these can knock 20 per cent off any diet.

Vegans and vegetarians, who naturally eat more fruit and veg, should be especially wary of airfreighted foods, as these are the ones most likely to go by air. Green beans, asparagus, peas, salad vegetables and fruits like berries, mangoes and pineapples are among the most common. I haven't factored hothousing into the equation, but this is nearly as bad as flying in terms of emissions. The easiest way to avoid foods which have been hothoused or airfreighted is to go seasonal as much as possible (see the table on p.200) and for stuff out-of-season look for things which can be shipped easily, or buy them tinned or frozen.

The other big variable is how much food you waste. According to WRAP, around 22 per cent of the food we buy in the UK goes straight to landfill. This rotting food will generate emissions, but far more important are the emissions from the unnecessary production of the food itself. If you waste more than average, then up goes your footprint as well as your shopping bill.

Other smaller things to think about are packaging, avoiding low-yield varieties, buying the wonky fruit and veg that is otherwise discarded, helping the shop to reduce its waste and how you cook it. (More details in *What can we do?*, p.193). 113

This chart shows the weekly food footprints of different scenarios, based on your diet, how much stuff you get airfreighted and your waste habits



114

Using a smartphone

63kg CO₂e a year if you use your phone one hour a day
 69kg CO₂e a year's typical usage of 195 minutes a day
 86kg CO₂e a year if you use your phone 10 hours a day¹⁵
 690 million tonnes CO₂e global mobile phone usage

Typical mobile phone use connected to the internet works out at 1g per minute, about the same as a large gulp of beer every hour¹⁶

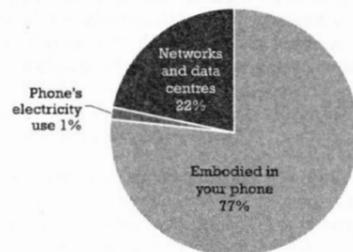
Mobile phones are responsible for around 1 per cent of global emissions but – for better or worse – typically take up 20 per cent of our waking lives. The figures here include the electricity they use, their manufacture and the networks and data centres they connect to.

The vast majority of a smartphone's emissions come from its manufacture and transport to the user, in particular because of the precious metals and rare earths that need to be mined for smartphones' chip and motherboard and because people often replace their phone much earlier than necessary. It would take 34 years of average use for the footprint of the electricity you use to equal the footprint of the phone itself. So, if you keep your phone for twice as long, you almost halve the total annual footprint.

Apple have carried out detailed life cycle carbon assessments of their products. They estimate emissions caused by manufacturing and transporting an iPhone 11 at 63kg CO₂e. However, the devil is in the detail, and the life cycle approach that they used has a nasty habit of 'leaking' – missing little bits of the footprint out. The footprint of a phone (or computer) comes from the complex mass of activity, starting with the mining of minerals. Behind each component lies a whole life cycle of processes that are almost impossible to map. You have to miss some processes out, cutting the pathways short, and the result is a shortfall in your footprint calculations that is known as 'truncation error' (see p.216 for more on this). In my figures I have adjusted for this truncation error, which I estimate at 40 per cent for the embodied carbon.

Thus adjusted, the embodied footprint of the iPhone 11 stands at 105kg CO₂e, which is 35kg per year if you keep it for three years, or 52.5g if you discard it after two years as most people do.¹⁷ On the other hand, keeping an iPhone for ten years would bring the embodied footprint down to 10.5kg per year. Factoring in power usage (96kg CO₂e) and data transmissions (30kg CO₂e), the total comes to 137kg over two years or 69kg a year.

In 2020, there are 7.7 billion mobile phones in use, with a total footprint of roughly 580 million tonnes CO₂e, which is roughly 1 per



Carbon footprint of a year's smartphone usage (69kg), including embodied and use phase carbon, based on an iPhone 11 128GB used for 3 hours and 15 minutes a day over two years

cent of global emissions. This number is likely to increase, as there are still several billion people without smartphones.¹⁸

If you want to reduce the footprint of your communication habits, texting is a slightly lower-carbon option (see p.19), and voice calls are lower carbon than calls over the internet because the networks use less energy. But the differences are relatively small.¹⁹

To make a real difference, buy a second-hand model, and keep your phone as long as possible.²⁰ If you want to replace a phone before its useful years are over, give it to someone else or to a charity shop (Oxfam accept all mobile phones and tablets). Take any duds to a recycling centre or ask a charity shop if they will accept them.²¹

A pet

25kg CO₂e per year for a goldfish¹⁵
 310kg CO₂e per year for an average-sized cat
 770kg CO₂e per year for an average-sized dog¹⁶
 2500kg per year for a Great Dane

A couple of Great Danes could use up the whole of your 5-tonne lifestyle

I'm not writing this to give you a hard time about having a pet, which I know can be a huge part of any household. We've even ended up with a dog in my family, and although I'm still not totally sure how I let that happen, as a traditional non-dog-lover, even I have to admit that there is a plus side.

The footprint of dogs and cats largely boils down to the food they eat and it doesn't help that they are both carnivores. The web is full of hot debate on whether or not you can feed a dog a vegetarian diet, which would probably cut its footprint to about a third. As far as I can make out, it looks risky to their well-being, with a major problem being that their short digestive tracts aren't cut out for most vegetables (writing this will, I know, prompt a surge in the *Bananas* inbox).¹⁷ However, you can still cut the footprint a long way if you opt for chicken rather than beef and don't overfeed them.

The size of your pet also makes a huge difference, as a big dog will eat up to 10 times as much food as a small one – or an average-sized cat.¹⁸ Being vegetarians, rabbits have dramatically lower footprints than even the smallest dogs. Gerbils, mice and rats even lower still. Goldfish are hardly on the scales.

For the numbers above, you can also add something like 15kg CO₂e for every £100 you spend at the vet (and, from experience, don't underestimate what you could be letting yourself in for).¹⁹

A couple more statistics before leaving the subject of pets. America's dogs are estimated to produce a massive 5.1 million tonnes of poo per year.²⁰ That also means tens of billions of plastic bags – very nasty unless of the biodegradable type. Meanwhile, the UK's 8 million cats have been estimated to kill 200 million birds and small mammals per year, so the average cat makes about one kill every fortnight.²¹

On the positive side, all pets make it harder for you to fly off on holiday, so they may end up saving carbon in the long run. And, if you have a pet rather than a child, that is a huge carbon saving.

Flying from London to Hong Kong return

3.5 tonnes CO₂e economy class
 4.5 tonnes CO₂e premium economy
 10 tonnes CO₂e business class
 13.9 tonnes CO₂e first class

One business class flight to Hong Kong and back is twice the year's 5-tonne budget (or the equivalent of 340,000 plastic bags)

A Boeing 747 carrying 416 passengers burns through 116 tonnes of fuel on the 9700km flight from London to Hong Kong. Almost one-third of its total weight on take-off is fuel. As the fuel burns, it creates three times its weight in CO₂.

However, the impact is even worse than that because high-altitude emissions are known to have a considerably greater impact than their low-altitude equivalents. The science of this is hideously complex and poorly understood,¹³ but there is a clear case for applying a multi-plier to aviation emissions to take account of their extra impact. I have used a factor of 1.9.

Aviation is sometimes said to account for only about 2 per cent of global emissions. These statistics ignore the effect of altitude and are much, much higher in the developed world, especially in places like the UK that are surrounded by sea. Personal flights account for a huge 8 per cent of the UK carbon footprint – and that rises to nearly 12 per cent once business flights and airfreight are added.

Your own aviation footprint may well be much less than this. Many British people never fly at all. On the other hand, for some people, flying accounts for the overwhelming majority of their total footprint, and trying to cut carbon in other areas might make almost no difference at all. First-class and business-class tickets are particularly high in impact, simply because your seat uses up more of the plane and because by paying more money you provide a greater proportion of the commercial incentive for the flight.

It's hard to imagine a low-carbon flying technology coming to the rescue anytime soon. Electric planes do exist but they are in their infancy, restricted to a few seaplanes in Canada and experimental craft elsewhere. The physics of flight simply does not allow us to reduce the energy it takes to keep us in the air by more than a few per cent, and for the foreseeable future that energy has to come from fossil fuels. Nevertheless, there are still some efficiencies to be had. One of these is the automation of air-traffic control – to calculate optimum flight paths – which some estimate could bring in efficiency improvements of 9 per cent.

Ultimately, though, it's hard to avoid the conclusion that we need to fly less. That needn't make our lives any worse. Make your flights count: go for longer but less often, and do things you really couldn't do at home. For the rest, try local trips, which involve less travel time and more holiday. After all, the experience of getting to an airport, hanging around in a departure lounge and then sitting cooped up for hours is a rubbish way of spending time. Also think about *where* you fly to: the closer the destination, the fewer the emissions. One myth is that long-haul flights are automatically more efficient per mile than short-haul because they involve proportionally less time taxiing, queuing, taking off and landing. This isn't necessarily true, because the long-haul flight has to lift more fuel. The most carbon-efficient way of getting across the world is in several hops – but not too many. But none of this changes the fact that the further you fly, the larger the footprint.

Of course, the flying conundrum affects companies as well as individuals. I work with a few businesses for whom flying is a key issue. They know it's high in carbon, costly and time-consuming – but they thought they had strong business reasons for doing it. Perhaps COVID-19 will have delivered a permanent shot in the arm, with the explosion of Zoom calls and other video-conferencing.

It is difficult to see a place in the low-carbon world for much airfreighted food (see *A 250g pack of asparagus*, p.80), let alone durable goods such as clothing. Some garments are airfreighted simply to

reduce lead times and cut the cost of stock that is tied up in transit at sea. Airfreight labels are one piece of consumer information that would surely be simple and helpful. Currently these are found on some supermarket fresh produce but nowhere else.

I'm sometimes asked about airfreight from developing countries: 'Surely it's good to keep supporting that country by carrying on the trade!' In broad terms, I don't think so. The argument is a bit like saying you should keep the arms trade booming so that people can keep their jobs. Economies need to be powered by people doing things that are useful. Anything else is unsustainable nonsense. And it is amazing how often exports involve a country, in effect, selling its (often much needed) water, which is embodied in everything from cotton to avocados.

If you would like to know the carbon footprint of a specific flight, you can find out using the flight calculator at howbadarebananas.co.uk

A new car

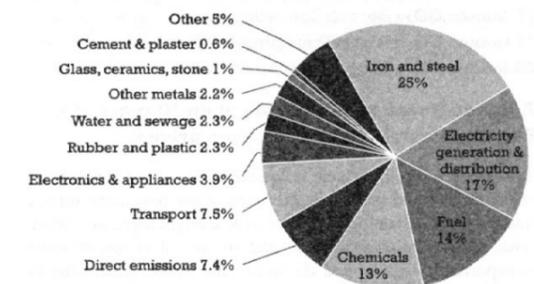
4 tonnes CO₂e Citroën C1, Peugeot 107, basic specs
 8 tonnes CO₂e Ford Focus Titanium
 11 tonnes CO₂e Renault Zoe (electric)
 12 tonnes CO₂e Toyota Prius plug-in hybrid
 25 tonnes CO₂e Range Rover Sport HSE

A Range Rover or SUV could eat up 10 years of a 5-tonne lifestyle before you even drive it

The carbon footprint of a car is complex. Ores have to be dug out of the ground and the metals extracted. These have to be turned into parts. Other components have to be brought together: rubber tyres, plastic dashboards, paint and so on. All of this involves transporting things around the world. The whole lot then has to be assembled, and every stage in the process requires energy. The companies that make cars have offices and other infrastructure with their own carbon footprints, which we somehow need to allocate proportionately to the cars that are made. The ripples go right through the economy.

Attempts to capture all these stages by adding them up individually (the so-called 'process-based' approach to carbon footprinting) are doomed to result in an underestimate, because the task is just too big. Luckily there's an alternative in the form of the input-output method (see p.217). This approach takes account of all these infinite ripples, even if it does rely heavily on the law of averages. It can give us clues as to the footprint of a car per unit of monetary value and also tell us a bit about how that footprint comes about.

The input-output approach suggests that a car might have a footprint of 360kg CO₂e for every £1000 that you spend on it. The piechart below shows how this breaks down, and its complexity illustrates just how far and wide the footprint is dispersed. There is only room to put labels on the biggest slices: the manufacture of iron steel makes up a quarter; electricity and fuel (including petrol, coal and gas) make up 30 per cent; chemicals are also significant. The rest of the footprint is dispersed far and wide – and our pie is just the beginning, for behind each piece are all the complex supply chains supporting each industry sector.



The very complex carbon footprint of a new car (2016)

The upshot is that the embodied emissions of a car typically rival the exhaust emissions over its entire lifetime. And the range between models is vast. Manufacture of a top-of-the-range Range Rover Sport HSE that ends up being scrapped after 100,000 miles accounts for about two-thirds of its lifetime exhaust pipe emissions. For my much smaller Peugeot 107 it would be just one-third, even though the 107 only burns about one-third of the fuel per mile.

I have seen plenty of analyses of whether it is a lower-carbon option to keep or to scrap your old car. These almost always rely on process-based approaches and therefore underestimate the embodied energy, and conclude that you should replace your car far too readily. Even as we transition to electric cars, it doesn't make sense to get rid of your old fossil-fuel-powered car before its time, unless it is one of those gas guzzlers that should never have been built in the first place.

Generally speaking, then, it makes sense to keep your old car for as long as it is reliable, unless you are doing high mileage or the fuel consumption is ridiculously poor. You can of course boost the life of the car by looking after it. The table below shows how much lower the total emissions per mile can be if your car lasts twice as long.

Model	Price (thousands of pounds)	Embodied emissions (tonnes CO ₂ e)	Embodied emissions per mile over 100,000 miles (grams CO ₂ e)	Embodied emissions per mile over 200,000 miles (grams CO ₂ e)
Citroën C1	£11-15	4-5	39-54	20-27
Ford Focus Titanium	£23-27	8-10	82-99	41-49
Renault Zoe (electric)	£27-31	10-11	98-114	49-57
Toyota Prius plug-in hybrid	£32-34	12	117-124	58-62
Range Rover Sport HSE	£69-71	25-26	249-259	124-129

The carbon footprint of cars per mile of use¹

If your old car does reach the end of its days, before you start thinking of replacing it, take a look into car-share schemes: you may save a lot of money as well as reduce the number of cars that need to be produced. If you decide you really need a 'new' car, opt for a second-hand, light, simple and fuel-efficient model (that way you'll be limiting both the manufacturing and the exhaust pipe emissions) or an electric car. If you are buying new, get an electric one – and the smaller, the better.

Electric cars do away with the footprint of an internal combustion engine but swap that for the even higher-carbon footprint of a battery; so, like for like embodied carbon is significantly higher. However, the carbon footprint of the electricity you use is a lot lower than the fossil-fuel alternative per mile (more so in the UK with its renewables than, for example, Australia). Overall you can think of electric cars as being about half as carbon-unfriendly as petrol cars.

I am more pessimistic about electric cars than some analysts, as I think their embodied carbon in manufacture is almost always underestimated.² Plug-in hybrids could be a good option if you want to go electric but need the range of a conventional car and don't want a huge battery. Hybrids that you can't plug in (like the old Priuses) get all their energy from fossil fuel, with only a fairly small efficiency advantage from regenerative braking.

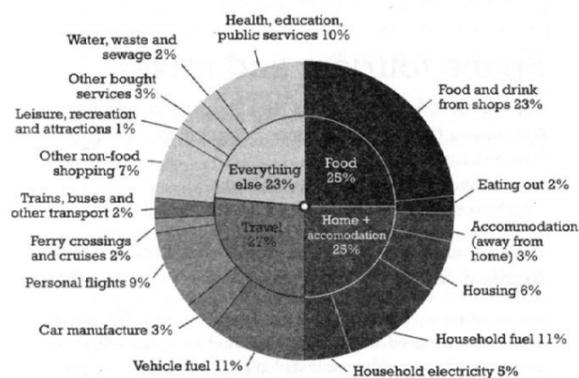
A person (annual footprint)

- 0.2 tonnes CO₂e average Malawian
- 7 tonnes CO₂e world average
- 8 tonnes CO₂e average Chinese
- 13 tonnes CO₂e average Briton
- 20 tonnes CO₂e average Australian
- 21 tonnes CO₂e average North American

We need to assess our footprints not just within our own borders but for all we consume

At 13 tonnes, the average UK person has a bigger footprint than average, not least because we are richer than average. The good news is that it has come down slightly, from about 15 tonnes per person ten years ago, mainly from greener electricity generation, 148 which now comprises far less coal and more renewables. In other respects, though, not much has really changed. And it needs to. The 5-tonne lifestyle is an urgent intermediate step on the way to global net zero.

Americans and Australians tend to have higher footprints than the UK. I used to think you could account for this because the US is a wealthier country overall, but now I'm not convinced. Wealth distribution in the US is so terrible that most Americans are a lot poorer than most Britons. But there are other factors. For example, needlessly inefficient cars burn through a lot of very cheap fuel, a lot of US electricity still comes from coal and larger houses means more fuel use. The average Chinese person's footprint has more than doubled in the ten years since the first edition of this book, reflecting rapidly increasing affluence, and still plenty of coal in the electricity mix. Finally – and soberingly – it takes about 60 Malawians to make up the footprint of just one UK person.



Footprint of an average person in the UK

My estimate for the average UK person's 13-tonne carbon footprint includes everything we do and buy. It divides up neatly into for parts of almost equal size:

- Food – including far too much meat, dairy, waste and airfreight.
- Homes – building new homes, maintaining old ones and also all accommodation away from home. The figure is higher than it should be, as the UK has a poor, leaky housing stock.
- Travel – mainly cars and flights.
- Everything else – basically all the inedible things you buy other than cars and houses, as well as services of every kind, including your contribution to the running of all national services from the NHS to the police, army and government.

So, if you are trying to cut your footprint down, you can think about it in four nice neat chunks. In the chapter *What can we do?* (p.193), I've gone into quite a lot more detail on this.

Cryptocurrencies

- 46 million tonnes CO₂e Bitcoin in 2019
- 68 million tonnes CO₂e all cryptocurrencies in 2019⁸

In just a decade, cryptocurrencies have eaten up 0.12 per cent of the world's carbon footprint⁹

Cryptocurrencies – launched with Bitcoin in 2009 – have to be one of the most fundamentally pointless ways of using energy. Along with space tourism, they surely provide one of the best illustrations of humanity's seemingly limitless appetite for energy.

Digital currencies are made up of virtual 'coins' that are created or 'mined' by computers solving puzzles. In order for these currencies to have value the coins must be scarce, and to achieve that the puzzles must be hard. But, as the world's computer power goes up, and as the number of computers devoted to mining rises, so must the difficulty of the puzzles. The result is like an arms race between the complex problems and the stacks of purpose-built mining machines, whirring away day and night. Because miners compete with each other to solve the problem fastest, more and more sophisticated farms of servers are built. This leads to miners burning through a huge amount of electricity – currently a whopping 0.3 per cent of global electricity use for Bitcoin alone and 0.5 per cent for all cryptocurrencies.¹⁰

To make matters worse, most cryptocurrencies, including Bitcoin, use a system called 'blockchain', which records transactions digitally in so many places around the world that they cannot be forged. This huge level of duplication (known as a 'distributed ledger') adds even more to the energy use and the carbon footprint. Not only is the carbon footprint of Bitcoin as a whole shooting upwards, but so too is the carbon footprint of each individual coin.¹¹

In my calculation of an annual footprint of 68 million tonnes CO₂e for all cryptocurrencies, I've assumed a global average for electricity used. This may be underestimating the footprint if 'mining' is often done in countries with coal generation (as some suggest), though one Bitcoin investment fund¹² argues that its electricity is largely from renewables. I haven't included the embodied carbon in the manufacture of the machines, as, unlike for personal IT kit, I suspect this will be a minor consideration compared to the power they use.

No one knows whether cryptocurrencies will continue to rise or die back. Some are worried that, if the growth trend continues, Bitcoin alone could push the world over 2°C warming within the next twenty years.¹³

Carbon aside, debate rages over the role of cryptocurrencies in the world. Their anonymity makes them great for money laundering and very useful on the darknet. Overall, the world is surely better off without them.

Wildfires

- 923 million tonnes CO₂e Australian bushfires in 2019¹
- 8.6 billion tonnes CO₂e global wildfires in 2019

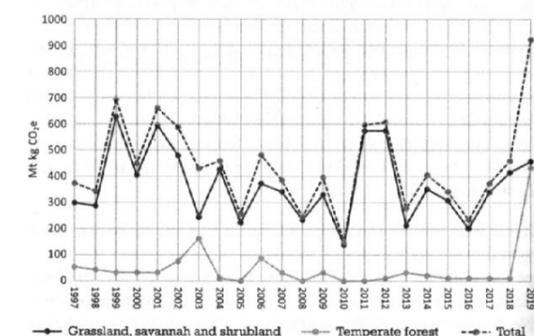
Bushfires in Australia accounted for 2 per cent of the world's carbon footprint in 2019

Australia has always had bushfires, affecting its grassland, savannah and shrubland. Average annual emissions from these types of fires between 1997 and 2018 were 448 million tonnes CO₂e per year, and that was roughly unchanged in 2019. What was different was that the country's temperate forests caught fire as well, adding half a billion tonnes CO₂e, turning the skies orange 3000km away in New Zealand and destroying 17 million hectares of forest along with most of its wildlife. These new fires alone added 1 per cent to the world's entire carbon footprint.

If you were to start a wildfire deliberately, that one strike of a match would make your footprint thousands of times greater than most people build up over their lifetimes. However, arson isn't the main driver for the fires in Australia. That would almost be reassuring. No, the prevalence of fires is almost certainly a symptom of climate change and just a taster of what is to come. Wildfires are an early example of a positive feedback loop in the climate system: emissions cause warming, which causes fires, which release yet more emissions. We call it a climate emergency, because it is one. And, even if we take rapid global action now, there is nothing at all to stop symptoms like this getting more extreme for at least a few decades until the world reaches 'net zero' emissions.

Australia, of course, is not the only place subject to wildfires – there are huge problems each year in Indonesia, for example – and areas prone to wildfires will increase as our climate warms. One particular source of alarm was that in 2019 the Amazon saw a 75 per cent increase in fires,² and a recent paper in *Nature* predicted that this huge carbon sink could soon turn into a net carbon source,³ especially if climate change induced fires continue to be supplemented by deliberate deforestation fires (see *Deforestation*, p.177). Globally, in 2019, emission from wildfires came to 8.6 billion tonnes CO₂e, a mix of what we might call 'natural' fires and human or climate change induced ones.

Climate change usually affects the poor disproportionately. However, in 2019 some of the worst took place in California, including prime real estate around Los Angeles. A reminder, if any was needed, that no one is immune from global warming.



Greenhouse gas emissions per year from Australia's bushfires between 1997 and 2019, by type of forest

146

147

148

149

165

150

171

172

The world's ICT

1.4 billion tonnes CO₂e total including all user devices, data centres, networks and TV

ICT now accounts for 2.5 per cent of global emissions

We live in a digital age, so you might expect the world's ICT to account for a large share of our emissions. But the numbers are still pretty staggering. The 1.4 billion tonnes CO₂e total is split more or less equally into three parts: the first includes phones, computers, consoles and tablets; the second comes from TV; the rest is data centres, networks and, shockingly, 5 per cent accounted for by cryptocurrencies.

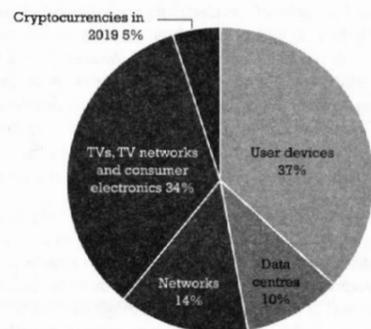
These estimates come from a careful picking through of the relatively small amount of research on the carbon footprint of ICT.⁴ It is fiendishly difficult to come up with accurate numbers for a sector that includes everything from TVs and their broadcasting networks to all computers, phones, tablets and game consoles, the data centres that store and analyse the world's information and the networks that transmit it. I've included the electricity used (using a global average carbon intensity) as well as the carbon footprint of manufacture and disposal of all the kit. I haven't included, because I wouldn't know where to start, what is often termed the 'Internet of Things'; the computing capacity that is increasingly built into everything you can think of from your car to your washing machine. For data centres and networks, the energy they use is the dominant factor, whereas for user devices, most of the carbon lies in their manufacture.⁵

A debate has raged about whether ICT's footprint is going to carry on going up, stabilise or come down. And also as to whether ICT overall adds to global emissions, or whether it reduces the world's carbon footprint by enabling everything we do to become more efficient. One way of looking at things is through the lens of the Jevons paradox.⁶ This is the idea that efficiency gains in an industry tend to bring about increases in total environmental burdens because they make possible a greater increase in usage than can be mitigated by the efficiency gain. So the question is whether or not the Jevons paradox applies to ICT itself and to ICT's role in the world.

Looking back over the last 70 years, it is clear that four things have gone hand in hand:

1. ICT has become many thousands of times more efficient.
2. ICT's footprint has gone up by a factor of many thousands.
3. ICT has enabled enormous efficiency improvements.
4. The world's carbon footprint has continued to go up and up.

A couple of storylines about ICT need putting in their place. The first is the idea that video-conferences cut carbon by enabling people not to fly. This same enablement argument is applied to dozens of efficiency improvements. Unfortunately, the evidence is against it because (over the past few years) the carbon footprint of flying has been going up rather than down and, whilst we might avoid a flight by having a Teams, Zoom or Skype call, we might also have a few of those calls with someone and then decide to meet up. (Whether the new ways of global communication during and after COVID-19 will change this pattern remains to be seen.)



174 The world's ICT footprint (1.4 billion tonnes CO₂e), 2020

The second storyline is that ICT will stop growing as we become saturated with it – when everyone has as many personal devices as they could possibly want or need. In some parts of the world we are perhaps beginning to reach that stage with many devices. However, just as saturation effects arguably begin to show up in these more conventional forms of computing, they coincide with an explosion in newer strands such as artificial intelligence, cryptocurrencies and the Internet of things.

Looking to the future, the ICT industry is set to carry on growing and its carbon footprint will only come down if the industry makes that happen. Some of the giant tech companies are starting to make some serious pledges in the right direction, but whether self-regulation can be enough remains to be seen. And whilst ICT doesn't automatically cut carbon in the rest of the economy (and perhaps does the opposite by default), it can make things a lot easier for us should we finally decide to leave the fuel in the ground.

See also: *Using a smartphone* p.116, *The Cloud and the world's data centres* p.166, *An hour watching TV* p.43, *A computer (and using it)* p.124, *Cryptocurrencies* p.164.

A war

- 9 million tonnes CO₂e UK military footprint in 2019
- 200 million tonnes CO₂e US military operations in 2019
- 400 million tonnes CO₂e Iraq War, 2003–19
- 690 million tonnes CO₂e 'limited' nuclear exchange of 50 15-kilotonne warheads⁷
- 3.3 billion tonnes CO₂e annual global military footprint⁸

Note that final figure – it's double the world's ICT footprint

The direct human costs of wars are so great that it might seem flippant to think about their climate change costs. But war unfortunately plays a big role in global society, so it needs to be considered. Moreover, it's worth bearing in mind that the emissions of a war could ultimately have serious climate change impacts.

The financial cost of the US military operation in Iraq between 2003 and 2019 has been estimated at \$2 trillion. This includes spending by the Pentagon, but also the State Department, as well as medical care and disability compensation for veterans and interest on borrowing.⁹ We can use this spend figure to give a crude estimate of the footprint of the US operation – 340 million tonnes CO₂e. This excludes the actual emissions from combat itself and its impacts. You could add a few per cent to both numbers to include coalition forces and perhaps another 1 per cent for the much more poorly resourced insurgency. That's how I get to an overall estimate of 400 million tonnes.

With a total of \$730 billion in 2019, the US spends more on defence than the ten next highest military spenders combined. That's 36 per cent of the world's total military spend.¹⁰ Its footprint of 200 million tonnes CO₂e makes the US Defense Department the single largest institutional producer of greenhouse gases in the world.¹¹

In 2019, the UK spent 'only' \$49 billion, with a footprint of 'just' 9 million tonnes CO₂e in 2019.¹² One estimate of the total impact of war, when all the indirect impacts are taken into account, is 3.3 billion tonnes CO₂e – 6 per cent of global emissions.¹³

I wrote in the first edition of *Bananas* about a study that estimated that the soot from a 'small' regional nuclear conflict with 50 warheads could cause a net cooling effect over the first few years.¹⁴ However, new studies estimate that there could actually be a huge net cooling effect of 2–5°C globally in the case of a regional conflict, and up to 10°C of cooling from a US–Russia nuclear war.¹⁵ Climate change, of course, might well be making nuclear war more likely.¹⁶

Looked at in the starkest and simplest possible terms, even with a non-nuclear war there would be carbon savings from people ceasing to exist, which might make up for the direct emissions from the war in just a few years. In other words, mass annihilation turns out to be an effective way of curbing emissions – though, of course, it also defeats the object.

176

Deforestation

- (-) 500 tonnes CO₂e UK reforestation per hectare
- 1000–2000 tonnes CO₂e deforestation per hectare
- 5–10 billion tonnes CO₂e global deforestation per year

Each deforested hectare is equivalent to driving a car 50–100 times around the world

A hectare is roughly one and a half football pitches. To be exact, it is 100m × 100m, so there are 100 hectares in a square kilometre and about 260 in a square mile. At present there are four billion hectares of forest on our planet – that's about 25 per cent of the world's land area¹⁷ – and they store more than a trillion tonnes of carbon.¹⁸ This makes them one of nature's most important carbon sinks, along with peatlands and wetlands.

More than half of the world's forests are found in only five countries – the Russian Federation, Brazil, Canada, the US and China – and, as we all know, deforestation has been proceeding at an alarming pace. Since 1990, it is estimated that 420 million hectares (more than 10 per cent of the global total) has been lost. Currently, the rate of loss is estimated at around 5 million hectares annually, much of it primary forest in Brazil and Indonesia.¹⁹ That's a bit more than the size of Switzerland every year.

About 27 per cent of all tree loss is to make way for commodities, such as palm oil, soy (for animal feed), beef, minerals, oil and gas. A further 26 per cent is cut within managed forests and tree plantations expected to regrow after harvest. Another 24 per cent is cleared and burned for short-term cultivation of subsistence crops mostly in tropical regions. Natural and climate change induced wildfires make up a further 23 per cent and 1 per cent is to make way for creeping urbanisation.

On the positive side, since the first edition of *Bananas*, the United Nations REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) programme has been set up and has made big inroads, partnering with 65 countries in South America, Africa and South Asia to support them in protecting their forests and achieve climate goals. On the negative side, deforestation has shot up in Brazil since the election of Jair Bolsonaro as president.

In reforestation projects, the carbon per hectare varies considerably, depending on the age, species, spacing and soil conditions. So the sums aren't easy. A five-year-old UK broadleaf plantation, which will store anywhere between 5 and 23 tonnes CO₂e per hectare (depending on the soil and the spacing), if left to grow for 200 years, will capture a further 600–1350 tonnes CO₂e.²⁰ A figure of 500 tonnes CO₂e per hectare seems typical for UK reforestation projects, such as the Woodland Carbon Guarantee (who welcome volunteers, if you'd like to reduce emissions, keep fit and enjoy like minded company – all at once).²¹

Black carbon

9 billion tonnes CO₂e globally per year

Black carbon is hardly ever mentioned, but adds 16 per cent to global emissions

Black carbon is a fine particulate matter that we get from burning carbon-rich materials like wood and fossil fuels – soot, in other words. It is caused by incomplete combustion. 42 per cent comes from outdoor fires of one kind or another, and a quarter comes from the burning of wood, coal, dung, peat and other organic stuff in homes. A further quarter comes from transport (mainly diesel) and about 10 per cent from coal-fired power stations.²²

Black carbon has a huge, but often overlooked, footprint. Some scientists consider it could be second only to carbon dioxide in terms of its climate effect.²³ But it is not included in most carbon footprints, and it is understudied, as there is no agreed definition or measurement of its emissions and impacts. For this reason, the concept of a 'black carbon footprint' has been proposed.²³

Black carbon warms the world in two main ways. Up in the atmosphere, it contributes to the greenhouse effect. Down on the ground,

it turns snow and ice murky and in so doing makes it absorb more of the sun's heat. It is thought to be a major contributor to the global reduction in ice cover, especially in the northern hemisphere.²⁵

The figure of 9 billion tonnes CO₂e is based on 9.7 million tonnes of black carbon being released in 2014²⁶ and a global warming potential of 910 over 100 years (much higher than carbon dioxide's global warming potential of 1).²⁷ A small amount of black carbon can have a hugely disproportionate effect on the climate.

The good news about black carbon is that it lasts only a few days or weeks in the atmosphere. In other words, if we can reduce the amount we create, the benefit will be instant, not just in terms of climate but also in the quality of the air that we breathe. Easy wins can be made by using particulate filters on diesel engines and swapping inefficient open fires (wood or coal fires) for super-efficient stoves.

The world's annual emissions

38 billion tonnes CO₂e annual CO₂ emissions, excluding deforestation (2018)

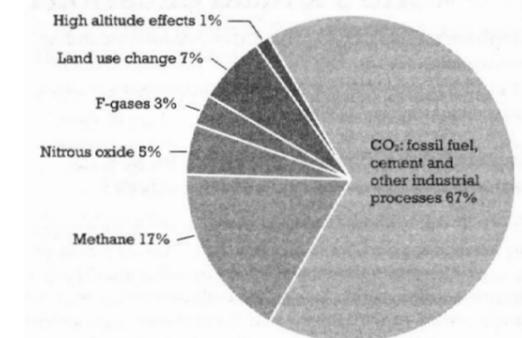
56 billion tonnes CO₂e annual greenhouse gas emissions caused by humans (2018)²⁸

Amazingly, this figure is still going up, as if humans had never noticed climate change²⁹

The IPCC was established in 1988 by the World Meteorological Organization and the UN with the objective to 'stabilize greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic (human-induced) interference with the climate system'. At the time, the world's greenhouse gas emissions were around 25 billion tonnes a year. When this book was first published, in 2009, emissions had reached 50 billion tonnes CO₂e. A decade along the line we have reached 56 billion tonnes CO₂e.

The 56 billion tonnes (for 2018) is the figure you get if you roll all greenhouse gases into the metric of CO₂e, based on the relative effect that each of the gases has on the global climate over a 100-year period. If you are interested only in the very long-term climate impacts, many hundreds of years into the future, then only the CO₂ matters and it turns out that we can think in terms of a total all-time carbon budget for keeping to within 1.5 degrees C of temperature rise. At current rates, we will have exhausted that budget by about 2030. We need to get to net zero – and fast.

Many of the other greenhouse gases are more intense than CO₂ but don't last for that long in the atmosphere. They increase the speed with which the planet warms up, more than they affect the eventual temperature we might reach. So, if you are interested in the climate impacts that we might be experiencing in just 50 years' time, instead of 100, then you need to roughly double the impact of the methane and the fluorinated gases (F-gases). If you are interested in where we might be around the year 2050 – as well we might be – the methane is actually two and a half times as important as it looks in the 100-year analysis.

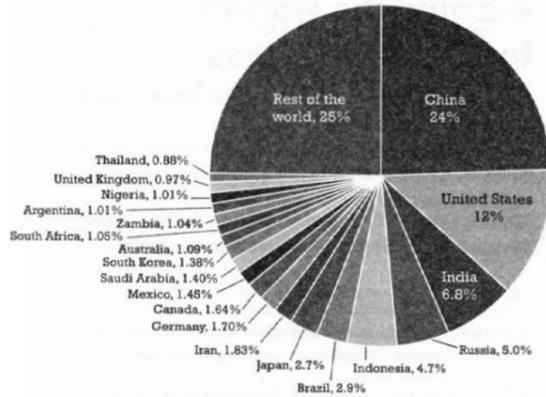


The world's annual footprint of 56 billion tonnes (2018)

I'm going to stick with 100 years, as that's the convention, even if it is debatable whether it is the most relevant. On this timeframe, CO₂ is about two-thirds of the story (before you include deforestation). 180

Of this, coal is about 39 per cent, oil 34 per cent, gas 21 per cent and emissions from the chemical reaction in the cement-making process about 5 per cent. Deforestation makes the CO₂ total up to almost three-quarters of our total footprint.

Of the methane, about a third comes from fossil fuels, a quarter from cows and sheep (enteric emissions), a sixth from waste disposal, a tenth from rice cultivation (anaerobic digestion in flooded paddy fields) and manure about 3 per cent. About half of all nitrous oxide emissions are from manure. The rest is mainly from burning fossil fuels, chemical processes, fires of every kind and agriculture.



The world's greenhouse gas emissions in 2016 by country, showing emissions produced with each country's borders

We have to ask why on earth our footprint is still going up despite all the climate talks, protests, targets and actions to cut carbon? The answer is that the global system is operating with self-correcting mechanisms so that, when one bit of the world cuts its carbon, it only encourages and enables other bits to increase their carbon an equal amount. That's a pretty stark reality, but I don't write it to be depressing. I write it because it tells us so much about what won't be enough and, more to the point, what we actually need to do to get on top of climate change.

181 It tells us that, at the end of the day, we need a global response. We need big system change. That has to include a global arrangement to leave the world's fossil fuel in the ground (see the following entry). As important as it is to ask 'How can I cut my carbon footprint?', we need to approach the question thinking 'How can I push for the system change we need?'
182

Burning the world's fossil-fuel reserves

- 5.3 trillion tonnes CO₂e burning the 'proven reserves' of conventional coal, oil and gas
- 9.3 trillion tonnes CO₂e add tar sands and shale oil
- 45 trillion tonnes CO₂e burn all recoverable resources¹⁰

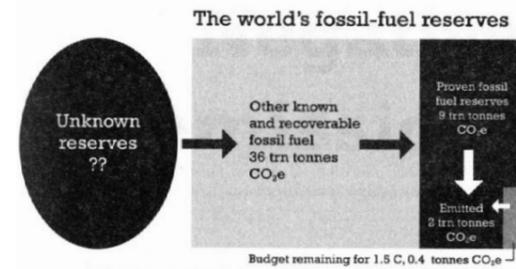
This is the most important entry in the book: fossil-fuel reserves must stay in the ground

We all have to understand these two facts:

- Burning 'just' the world's conventional proven reserves would cover 95 years of emissions at current global levels.
- This would trigger about 4°C of temperature rise *on top of* what we have already caused

In other words, most of the world's fossil fuels cannot be utilised without causing catastrophic climate change. And yet they are on the balance sheets of the world's wealthiest countries and all of the major oil and gas companies. Most of these reserves are, in reality, valueless. Or, in fact, very much worse than that. They will cost the earth. Climate change is real and it is happening now.

182



The enormous CO₂ emissions bound up in the world's fossil fuel compared to our tiny remaining budget. The arrows show the ongoing process of discovering even more, digging it out of the ground, burning it and squandering the last dregs of our budget.

The 'proven reserves' figure above is what fossil-fuel companies think they can extract and sell at a profit using today's technologies. Add the unconventional tar sands and shale oil, and the figure almost doubles. The total 'recoverable resources' – including everything that we know how to extract if we wanted to – doesn't bear thinking about. There is no getting around it: we *have* to leave nearly all these fossil-fuel reserves in the ground.

Unfortunately, the denial of this dazzlingly simple and important point by most fossil-fuel companies, most politicians, and by most of us most of the time is the reason that we now have a flat-out climate emergency on our hands. Even now, most of the fossil-fuel companies are still investing in both exploration to find yet more fossil-fuel deposits and in new ways of extracting the stuff. If you have a pension scheme, it is probably supporting some of the companies that are doing this.

Nobody knows in detail how things will play out. If we take very strong action now, there is a good chance that we can deal with the fallout of what we've already burned without it being too disastrous. But one thing is for sure: if we don't make huge changes to the way we live, we will definitely be in a great deal of trouble.

183



BEGRIFFSDEFINITIONEN

BEZEICHNUNGEN

Niedrigenergiehaus

Der Begriff Niedrigenergiehaus wird meist zur Bezeichnung von Häusern mit höherwertigem energetischen Gebäudestandard im Vergleich zu den gesetzlichen Anforderungen verwendet. Niedrigenergiehäuser können mit dem Label Minergie und Minergie-P ausgezeichnet werden. Der Niedrigenergiestandard fokussiert auf die Reduzierung des Energiebedarfs von Gebäuden, er stellt Anforderungen an die Gebäudehülle, die Frischluftzufuhr, sowie die Art der Energieerzeugung.

Passivhaus

Das Passivhaus ist ein Gebäude, das im Prinzip keiner klassischen Heizungsanlage (aktive Heizung) mehr bedarf, indem die Wärmeerzeugung ausschliesslich über nutzungsbedingte Wärmegewinne (passive Heizung) generiert wird. Um auf ein klassisches Heizsystem tatsächlich verzichten zu können, muss das Passivhaus als Wohnhaus vor allem die Wärme bewahren. Dies wird zunächst durch eine sehr kompakte Form und die Vermeidung von Wärmebrücken in der Konstruktion erreicht. Zusätzlich müssen Aussenwände, Fenster, Dach und Bodenplatte über sehr gute Dämmstandards verfügen. Hier sind je nach Dämmstoff in den Wand- und Dachflächen Dämmstärken von mehr als 20cm einzurechnen (eher 30cm, unter Umständen bis zu 50cm). Eine Lüftungsanlage sorgt für den notwendigen Luftaustausch und bewahrt dabei die vorhandene Raumwärme. Wegen der hohen Qualität der Gebäudehülle heizt sich der Innenraum des Passivhauses bereits durch die internen Wärmegewinne von Personen, Geräten und Beleuchtung. Gezielt geplante grosse Fensteröffnungen im Süden ermöglichen eine weitere solare Erwärmung des Innenraums und reduzierte Flächen im Norden verringern Verluste. Ein auf diese Weise optimiertes Gebäude muss nur bei sehr niedrigen Temperaturen über eine Notheizung durch extern zugeführte Energie beheizt werden.

Aktiv-Haus

Der Aktivhaus-Standard legt das Augenmerk über Energieeffizienzstandards hinaus auf Raumklimaqualitäten und durch das Gebäude verursachte Umwelteinflüsse. Als Kenngrösse dient der Primärenergiebedarf, in dem der Energiebedarf sämtlicher Elemente des Gebäudebetriebs wie Heizung, Warmwasseraufbereitung, Haushaltsgeräte und Beleuchtung, sowie die Nutzung selbsterzeugter Energien erfasst werden. Das Versorgungskonzept des Gebäude beruht rein auf erneuerbaren Energiequellen. Diese können entweder über Technologien die am Gebäude oder auf dem Grundstück verortet sind, erschlossen, oder über ein öffentliches Netz bezogen werden. Darüber hinaus soll das Gebäude über ein einfach zu bedienendes Gebäudemanagementsystem für den Nutzer gut zu regeln sein. Der Fokus liegt auf der Reduktion des Primärenergiebedarfs durch aktive Nutzung regenerativer Energiequellen, wie die Umwandlung der Sonnenstrahlung, der Umgebungswärme oder der Erdwärme.

Low-Ex-Haus

Das Konzept des Low-Ex (Abkürzung für Low-Exergy) folgt dem Grundsatz, dass nicht der Energieverbrauch eines Gebäude der relevante Faktor bezogen auf die Umweltbelastung darstellt, sondern die Menge an Energie, welche dem Gebäude in Form von Strom, Wärme oder fossilen Energieträger zugeführt werden muss (Exergie). Ein Low-Ex-Haus nutzt daher Energiequellen der unmittelbaren Umgebung wie Sonnenstrahlung, Umgebungswärme oder der Erdwärme (Anergie). Die Summe von Exergie und Anergie ergibt die Nutzenergie des Gebäu-

des. Zur Minimierung der Exergie setzt die optimale Nutzung von Wärmequellen in der Umgebung voraus. Die Reduzierung des Energiebedarfs des Gebäudes trägt ebenfalls zur Minimierung der Exergie bei. Das Low-Ex-Prinzip ist auch in der Idee des Aktiv-Hauses enthalten.

Nullemissions-Haus

Nullemission baut auf der Idee des Low-Ex auf, den Exergie-Anteil der Energieversorgung des Gebäudes möglichst zu minimieren. Wird nun zusätzlich die benötigte Exergie emissionsfrei produziert, etwa durch den Einsatz von Photovoltaikpaneelen in einem Nullenergiehaus, kann der Betrieb des Gebäudes gänzlich emissionsfrei gestaltet werden.

Nullenergie-Haus

Ein Nullenergiehaus produziert im Jahresmittel so viele Kilowattstunden Energie, wie das Haus und seine Bewohner insgesamt an Heizenergie, Warmwasser und Strom verbrauchen. Die Jahresenergiebilanz beträgt somit null. Das Minergie-A Label entspricht dem Nullenergiehaus.

Energieplus-Haus

Energieplushäuser sind grundsätzlich Energieüberschusshäuser. Häuser mit dem Attribut „plus“ produzieren im Jahresmittel mehr Kilowattstunden Energie, als sie und ihre Bewohner verbrauchen. Die Jahresenergiebilanz ist also negativ. Heizwärme und Strom sollten dabei über regenerative Energiequellen wie Photovoltaik, Solaranlagen oder Wärmepumpen gewonnen werden. Allerdings lässt sich beispielsweise Strom nicht kontinuierlich über Photovoltaik erzeugen, weil die Sonne als Energiequelle nicht immer in gleichem Ausmass zur Verfügung steht. Obschon im Jahresmittel ein Energieüberschuss resultiert, ist daher ein Netzanschluss und der Bezug von Strom aus dem öffentlichen Stromnetz erforderlich. Das Minergie-A Label entspricht dem Null- und Plusenergiehaus.

Energieautarkes Haus

Ein energieautarkes Haus ist völlig unabhängig von fremden Energiequellen und benötigt daher keinen Anschluss an das öffentliche Stromnetz. Es versorgt sich ausschliesslich selber mit Energie, beispielsweise durch Erdwärme und Photovoltaik. Das Konzept stellt sehr hohe Anforderungen an die Gebäudetechnik. Da kein Netzanschluss besteht und die Eigenenergieversorgung jeweils saisonalen Schwankungen ausgesetzt ist, muss die gewonnene Energie in Form von elektrischem Strom oder Wärme in irgendeiner Form gespeichert werden. Im Unterschied zu Null- und Plusenergiehäusern müssen bei energieautarken Häusern auch saisonale Schwankungen in der Energieversorgung aufnehmen können.

TECHNIK-GLOSSAR

A/V-Verhältnis Das Verhältnis der den Warmraum abschließenden Hüllfläche A zum gesamten Gebäudevolumen V. Das A/V-Verhältnis stellt die Kompaktheit des Gebäudes dar. Ein A/V-Wert von 1,00 bedeutet, dass jedem Kubikmeter Volumen 1 Quadratmeter Hüllfläche gegenüber steht. Bei Einfamilienhäusern liegt in der Regel ein A/V-Verhältnis von 0,60 bis 1,20 vor, Reihenhäuser liegen bei 0,50 bis 1,00, mehrgeschossige, kompakte Wohngebäude können ihr A/V-Verhältnis bis auf 0,30 reduzieren.

Absolute Luftfeuchtigkeit [g/m³] Die absolute Luftfeuchtigkeit ist die Menge/ Masse Wasserdampf, die ein bestimmtes Luftvolumen aufnehmen kann. Sie wird in Gramm Wasser pro Kubikmeter Luft angegeben. Nach oben wird dieser Wert begrenzt durch die maximale Feuchte, die das Luftvolumen aufnehmen kann. Dabei ist die absolute Luftfeuchtigkeit ein direktes Maß für die in einem Luftvolumen enthaltene Wasserdampfmenge. Sie gibt an, wie viel Kondensat/ Feuchtigkeit maximal ausfallen kann.

Absorber Der Absorber ist ein Teil des Solarkollektors und nimmt einfallende Sonnenstrahlung über eine Trägerflüssigkeit (Wasser + Frostschutzmittel) auf. Ein hoher Wirkungsgrad wird durch die Verwendung schwarzer Absorber, oder noch besser, durch selektive Beschichtungen erreicht.

Absorption Bei Absorption nimmt ein Material z.B. Wärme oder Feuchtigkeit auf. Es absorbiert sie (z.B. Absorptionskältemaschinen, etc.).

Adiabate Kühlung Die Adiabate Kühlung oder Verdunstungskühlung ist ein Verfahren, um mit Verdunstungskälte Räume zu klimatisieren. Dabei wird nicht der zu kühlende Luftstrom direkt, sondern ein zweiter Luftstrom befeuchtet. Es handelt sich also um ein indirektes Verfahren. Bei Verdunstungskühlung werden zur Kälteerzeugung nur Luft und Wasser als Quellen, also erneuerbare Energie eingesetzt. Verdunstungskühlung ist prinzipiell mit dem Vorgang des Schwitzens zu vergleichen. Beim Schwitzen verdunstet Wasser, wodurch dem Körper Wärme entzogen wird. Amortisationszeit ist der Zeitraum der vergehen muss, bis eine getätigte Investition sich durch Einsparungen im Betrieb refinanziert hat.

Amortisationszeit [a] Die energetische Amortisationszeit beschreibt die Zeit, über die zum Beispiel eine Energieerzeugungsanlage betrieben werden muss, bis die für ihre Herstellung aufgewendete Energie wieder erzeugt worden ist. Während Anlagen, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, energetische Amortisationszeiten von einigen Monaten oder Jahren haben, können konventionelle Kraftwerke nach dieser Definition nie einen Punkt der energetischen Amortisation erreichen, da zum Betrieb kontinuierlich weitere Primärenergie zugeführt werden muss. Somit ist die Angabe einer energetischen Amortisation bei diesen Kraftwerken nicht sinnvoll.

Anergie, Exergie [kWh]

Als Anergie bezeichnet man die nicht mehr arbeitsfähige Energie, also Energie, welche für einen Arbeitsprozess nicht mehr direkt nutzbar ist, wie zum Beispiel Umweltwärme. Sie muss durch den Einsatz von Exergie aktiviert werden.

Anergie gibt an, wie viel mechanische Arbeit maximal gewonnen werden könnte, wenn man ein System, das mit der vorhandenen Umgebung im thermodynamischen Gleichgewicht steht, in ein neues Gleichgewicht mit einer absolut kalten Umgebung ($T = 0\text{K}$) bringen würde. Da diese Umgebung aber nicht zur Verfügung steht, ist die Anergie nicht nutzbar (nicht arbeitsfähig). Der Gegensatz zur Anergie ist die Exergie, welche angibt, wie viel mechanische Energie maximal unter Beteiligung der Umgebung gewonnen werden kann, wenn das System ins thermodynamische Gleichgewicht mit der Umgebung kommt.

Ein System, das sich im Gleichgewicht mit der Umgebung befindet, ist also nicht ohne Energie, sondern ohne Exergie und enthält immer noch seine Anergie.

Für Systeme, die sich oberhalb der Umgebungstemperatur und des Umgebungsdrucks befinden gilt:

Anergie + Exergie = Energie

Arbeitszahl

Die Arbeitszahl (oder Jahresarbeitszahl) beschreibt die Energieeffizienz von Wärmepumpen. Dividiert man die Wärmeabgabe durch die aufgewendete elektrische Energie, ergibt sich die Jahresarbeitszahl. Sie gibt somit das Verhältnis von Ertrag und Aufwand, also den Wirkungsgrad an.

Bauteilbezogener mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]

Der bauteilbezogene mittlere Wärmedurchgangskoeffizient gibt den durchschnittlichen Wärmedurchgangskoeffizienten für einzelne Bauteilgruppen an. Dieser durchschnittliche U-Wert der einzelnen Bauteile ist der Quotient aus der Summe der Wärmedurchgangsverluste der Bauteile durch die jeweilige Bauteilfläche. In der EnEV werden Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf den Mittelwert der jeweiligen Bauteile gefordert, so werden beispielsweise opake und transparente Bauteile in ihren Anforderungen unterschieden.

Beleuchtung

Die Ausleuchtung und Erhellung eines Raums oder Objekts mit Kunstlicht wird als Beleuchtung bezeichnet. Erfolgt diese anstatt durch Kunstlicht durch Sonnenlicht, spricht man nur dann von Beleuchtung, wenn technische Hilfsmittel, beispielsweise Spiegel eingesetzt werden, um das Licht zu lenken.

Beleuchtungsstärke [lx]

Die Beleuchtungsstärke Ein lx ist der Lichtstrom auf ein Flächenelement dividiert durch die Fläche dieses Elements.

Bio-Methanherstellung

Bei der Produktion von Bio-Methan wird Wasserstoff mit CO₂, thermochemisch synthetisiert (methanisiert). Das so erzeugte Bio-Methan kann gespeichert und in das Gasnetz eingespeist werden, um bei Bedarf in Wärme umgewandelt zu werden. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Strom zu Methan beträgt 60 Prozent, das heißt aus 1,0 Kilowattstunden Strom lassen sich 0,6 Kilowattstunden des Energieträgers Methan herstellen.

**Blower-Door-Test/
Differenzdruckmess-
verfahren**

Der Blower-Door-Test ist eine Dichtigkeitsprüfung der Gebäudehülle.

Break-Even-Point

Der Break-Even-Point ist in der Wirtschaftswissenschaft der Punkt an dem Gewinn und Kosten einer Produktion (oder eines Produkts) gleich hoch sind und somit weder Verlust noch Gewinn entsteht. Wird der Break-Even-Point überschritten, macht man Gewinne, wird er unterschritten, macht man Verluste.

**CIS-Zellen CIS,
CIGS, CIGSSe**

CIGS (auch CIGSSe oder CIS) ist eine Dünnschichttechnologie für Solarzellen und steht als Abkürzung für die verwendeten Elemente Kupfer (Cu), Indium (In), Gallium (Ga), Schwefel (S) und Selen (Se) (engl. copper, indium, gallium, sulfur, and selenium). In der Anwendung werden verschiedene Kombinationen dieser Elemente verwendet: Die wichtigsten Beispiele sind Cu(InGa)Se_2 , (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) oder CuInS_2 , (Kupfer-Indium-Disulfid).

CO₂-Speicher

Als CO₂-Speicher werden nachwachsende Rohstoffe bezeichnet da sie während ihres Wachstums mittels Photosynthese Kohlenstoffdioxid in Biomasse umsetzen. Bei der thermischen Verwertung/Verbrennung wird das bis dahin gebundene, klimaschädliche CO₂ wieder freigesetzt.

Diffuse Strahlung

Bei diffuser Strahlung handelt es sich um die Solarstrahlung, die uns aus allen Richtungen – nach Streuung des Sonnenlichts an Wolken, Nebel, Bergen, Gebäuden et cetera – erreicht.

Diffusion

Diffusion ist die Mischung zweier Stoffe ohne äußere Kräfte, im Bauwesen ein Wasserdampftransport. Ähnlich wie Wärme immer von der warmen zur kalten Seite wandert, findet zwischen Bereichen unterschiedlicher Luftfeuchte eine Wasserdampfwanderung statt (Wasserdampfdiffusion). Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchte beeinflussen die Geschwindigkeit der Diffusion und damit die Mengen des diffundierenden Dampfs.

Direkte Strahlung

Solarstrahlung, die direkt von der Sonne auf den Kollektor trifft. Sie ist intensiver als die diffuse Strahlung; übers Jahr trifft jedoch etwa gleich viel diffuse wie direkte Strahlung auf den Kollektor.

**Endenergie
[kWh]**

Jede Umwandlung und jeder Transport von Energie geschieht unter Verlusten. Endenergie bezeichnet die Energiemenge inklusive der Anlagen- und Verteilungsverluste oder eben die an die Hausgrenze gelieferte Menge eines Energieträgers vor der Umwandlung.

**Energie
[J] / [Wh]**

Energie ist eine physikalische Zustandsgröße und beschreibt die in einem vorher zu definierenden System gespeicherte Arbeit beziehungsweise die Fähigkeit eben dieses Systems, Arbeit zu verrichten. Gemessen wird Energie im Allgemeinen in Joule [J] oder Wattstunden [Wh]. Energie kann weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden. In einem geschlossenen System gilt daher der Energieerhaltungssatz. Es wird zwischen den folgenden Ener-

gieformen unterschieden: Mechanische Energie, Thermische Energie, Elektrische und Magnetische Energie, Elektromagnetische Schwingungsenergie, Chemische Energie, Nukleare Energie. Energie ist die Summe aus Anergie und Exergie.

**Energiebedarf/
Endenergiebedarf
[kWh/m²a]**

Der Energiebedarf eines Gebäudes ist in Bezug auf die Erstellung eines Energieausweises oder EnEV-Nachweises der unter Normbedingungen berechnete Wert, wie viel Endenergie ein Gebäude benötigt. Er dient dem Vergleich des Dämmstandards und der Anlagentechnik von Gebäuden.

Energiebilanz

Summe aller Energiegewinne und -verluste eines Gebäudes.

Energieeffizienz

Energieeffizienz ist die Bewertung der energetischen Qualität von Gebäuden durch den Vergleich der Energiebedarfskennwerte mit Referenzwerten (z. B. die Anforderungen der EnEV) oder der Energieverbrauchs-kennwerte mit Vergleichswerten (zum Beispiel Mittelwert der Gebäude gleicher Nutzung).

Energieinhalt

Der Energieinhalt ist die Wärmemenge, die bei voller Verbrennung aus einer Menge eines Brennstoffs gewonnen werden kann.

Entropie

Der Energieverbrauch ist eine gemessene Größe, die den realen Verbrauch eines Gebäudes angibt.

**Erneuerbare
Energien**

Erneuerbare Energien sind Energien aus Quellen, die nicht im Laufe der Existenz der Menschheit verbraucht werden. Zu ihnen gehören die Solarenergie in Form von thermischen Kollektoren, Photovoltaik und Tageslichtbeleuchtung sowie Wind-, Wasser- und Bioenergie.

**Eutrophierung
(Überdüngung)**

Unter Überdüngung beziehungsweise Eutrophierung (Eutrophication Potential) [kg PO₄₃-Äquivalent] versteht man die Anreicherung von Nährstoffen. In überdüngten Gewässern kann es zu Fischsterben bis hin zum Umkippen, das heißt zum biologischen Tod des Gewässers kommen. Pflanzen auf eutrophierten Böden weisen eine Schwächung des Gewebes und eine geringere Resistenz gegen Umwelteinflüsse auf. Ein hoher Nährstoffeintrag führt weiterhin zur Nitratanreicherung im Grund- und Trinkwasser, wo es zu humantoxischem Nitrat reagieren kann. Das Überdüngungspotenzial fasst Substanzen im Vergleich zur Wirkung von PO₄₃ zusammen.

Freie Enthalpie

Freie Enthalpie (G) ist die Triebkraft sämtlicher chemischer, biologischer und biochemischer Prozesse. Sie gibt Auskunft darüber, ob ein Prozess, bei dem ein Austausch von Energie zwischen System und Umgebung stattfindet, reversibel oder irreversibel ist. G ist die maximal nutzbare Arbeit eines Prozesses bei konstantem Druck und konstanter Temperatur.

<u>Fossile Energieträger</u>	<p>Fossile Energie entstammt Energieträgern, deren Energiegehalt vor langer Zeit in eine konzentrierte Form überführt wurde und sich nach menschlichen Zeitmaßstäben nicht erneuert. Fossile Energieträger sind durch biologische und physikalische Vorgänge wie Veränderungen des Erdinneren und der Erdoberfläche über große Zeiträume natürlich entstanden. Erdgas, Erdöl, Braun- und Steinkohle basieren auf organischen Kohlenstoffverbindungen.</p> <p>Bei der Verbrennung wird daher nicht nur Energie in Form von Wärme frei, je nach Zusammensetzung und Reinheit des fossilen Brennstoffs werden weitere Verbrennungsprodukte wie Kohlendioxid, Stickoxide, Ruß sowie andere chemische Verbindungen freigesetzt.</p> <p>Nach wie vor ist Erdöl der wichtigste Energielieferant der Welt. Rund 40 Prozent der von uns benötigten Energie beziehen wir aus Erdöl. Fossile Energieträger sind endlich.</p>	<u>Heizenergiebedarf [kWh/m²a]</u>	<p>Nach Definition der Energieeinsparverordnung ist der Jahres-Heizenergiebedarf Q diejenige Energiemenge, die einem Gebäude nach dem EnEV-Berechnungsverfahren zum Zwecke der Beheizung, Lüftung und Warmwasserbereitung jährlich zugeführt werden muss. Er wird in kWh/(m²a) beziehungsweise in kWh/(m³a) angegeben.</p>
<u>Funktionsäquivalent</u>	<p>Das Funktionsäquivalent bezeichnet Materialschichtdicken gleicher funktionaler Leistungsfähigkeit. Erst beim Einhalten eines Funktionsäquivalents können Umweltwirkungen von Baustoffen direkt miteinander verglichen werden.</p>	<u>Heizkurve</u>	<p>Der Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der für die Erwärmung der zu beheizenden Fläche jeweils notwendigen Vorlauftemperatur wird durch die Heizkurve beschrieben. Die Heizkurve hängt vom Gebäude ab und wird im Regelfall durch Probieren während des Betriebs ermittelt. Die Einstellung geschieht in der Regelung an der Heizung und bestimmt unter Einbeziehung der Außentemperatur die Vorlauftemperatur.</p>
<u>Gegenstromwärmetauscher</u>	<p>Das Gegenstromprinzip ist ein grundlegendes Prinzip in der Wärmeübertragung. Hierbei werden zwei unterschiedlich temperierte Stoffe, in der Regel Wasser oder Luft, aus entgegengesetzten Richtungen aneinander vorbeigeleitet, sodass die Wärme von der einen auf die andere Flussrichtung/Stofflichkeit abgegeben wird.</p>	<u>Heizlast [kW]</u>	<p>Die Heizlast ist die maximal über einen Wärmeerzeuger bereitzustellende Heizleistung. Die kältesten Tage im Jahr, meist im Januar und Februar, bestimmen die maximale Heizlast. Dies ist die Leistung, die zur Aufrechterhaltung der behaglicher Innenraumtemperaturen bereitstehen muss.</p>
<u>Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert)</u>	<p>Der Gesamtenergiedurchlassgrad (in Prozent) einer Glasscheibe beschreibt den solaren Eintrag (Nutzen). Bei einem Fenster (Scheibe) mit einem g-Wert von 0,56 können maximal 56 Prozent der solaren Einstrahlung (Energie) genutzt werden.</p>	<u>Heizleistung [kW]</u>	<p>Die Heizleistung ist die von einem Wärmeerzeuger in einer bestimmten Zeit (z.B. einer Stunde) abgegebene nutzbare Heizwärme. Sie wird angegeben in kW (Kilowatt). Die Heizleistung muss mindestens der Heizlast entsprechen.</p>
<u>Globalstrahlung</u>	<p>Ist die auf eine horizontale Fläche fallende solare Strahlung. Sie setzt sich aus direkter und diffuser Strahlung zusammen und ist abhängig vom geografischen Breitengrad, der Jahreszeit sowie der Bewölkung und Partikeln. Je größer der Auftreffwinkel, desto größer die Strahlungsdichte. Bei bewölktem Himmel trifft nur diffuse Strahlung auf die Erdoberfläche, weshalb die Globalstrahlung dann in Mitteleuropa unter 100 W/m² beträgt. An klaren Sommertagen hingegen erreicht sie zirka 700 W/m². Die Jahressumme der Globalstrahlung liegt in Deutschland zwischen 900 und 1200 kWh/(m²)</p>	<u>Heizwärmebedarf (pro m²) [kWh/m²a]</u>	<p>Der Heizwärmebedarf (HWB) ist die errechnete Energiemenge, die einem Gebäude innerhalb der Heizperiode zuzuführen ist, um die gewünschte Innentemperatur aufrechtzuerhalten (z.B. durch Heizkörper).</p>
<u>Graue Energie</u>	<p>Die graue Energie bezeichnet die Energiemenge, die zur Herstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung direkt und indirekt aufgewendet werden muss. Sie bezieht sich auf einen spezifischen Produktions- und Bereitstellungsort. Bei der grauen Energie wird definitionsgemäß nach erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie unterschieden.</p>	<u>Heizwärmebedarf [kWh/a]</u>	<p>Die Wärmemenge, die pro Jahr für die Raumheizung eingesetzt werden muss. Diese wird unter Normbedingungen berechnet und stellt eine Nutzenergie dar.</p>
		<u>Hilfsenergie [kWh/a]</u>	<p>Die Hilfsenergie ist die Energie, die für den Betrieb von Pumpen, Ventilatoren, Regelung usw. der Heizungs-, Kühl- und Trinkwarmwassersysteme et cetera benötigt wird.</p>
		<u>Infrarot-Thermografie</u>	<p>Bei der Thermografie wird mittels einer Spezialkamera (Wärmebildkamera) die abgestrahlte thermische Energie eines Bauwerks beziehungsweise Objekts sichtbar gemacht. Um dieses Verfahren zu verstehen, ist es wichtig zu wissen, dass jedes Objekt, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, im Infrarotbereich Wärme abstrahlt. Das führt dazu, dass sogar von kalten Objekten, wie zum Beispiel Eis, infrarote Strahlung ausgeht. Es gilt auch: Je höher die Temperatur, desto intensiver die abgegebene Infrarotstrahlung, desto roter wird der Bereich auf dem Wärmebild dargestellt (blau= kalt, rot= warm).</p>

<u>Interne Wärmege- winne</u>	Durch die Nutzung von Elektrogeräten, Computern, künstlicher Beleuchtung, aber auch durch Personen und z.B. beim Kochen entsteht Wärme, die in den Raum abgegeben wird und diesen erwärmt. Diese sogenannten internen Wärmegegewinne werden als Energiebeitrag bei der Planung von Passivhäusern berücksichtigt.	<u>Kondensationskraft- werk</u>	Ein Kondensationskraftwerk ist ein herkömmliches thermisches Kraftwerk, in dem Wärme in Strom umgewandelt wird. Es dient ausschließlich der Erzeugung elektrischen Stroms und nutzt die dabei entstehende Restwärme nicht weiter, sondern gibt sie über den Kondensator oder den Kühlturm an die Umwelt ab. Mithilfe von Kühleinrichtungen wird der die Kondensationsturbine verlassende Dampf, der nur noch geringen Druck und geringe Temperatur hat, kondensiert. Der Wirkungsgrad dieser Kraftwerke liegt zwischen 40 und 60 Prozent. Das Gegenstück zum Kondensationskraftwerk ist das Kraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung.
<u>Isothermen</u>	Als Isothermen bezeichnet man berechnete Linien, die Orte mit gleicher Temperatur in einem Bauteil verbinden. Sie dienen der Sichtbarmachung und verdeutlichen thermische Zustände.	<u>Konzentratorzelle</u>	Bei Konzentratorzellen wird mit der Bündelung der einfallenden Sonnenstrahlen (Reflexion, Spiegelung) auf eine kleinere Mehrschicht-Zelle (Tandem/Tripel) ein sehr hoher Wirkungsgrad von momentan bis zu 40, 7 Prozent erreicht.
<u>Jahresarbeitszahl</u>	Das Verhältnis der über ein Jahr bereitgestellten Wärme in kWh zu dem für den Antrieb des Verdichters, für Hilfsaggregate und für die Erschließung der Wärmequellen eingesetzten Stroms in kWh. Je höher die Jahresarbeitszahl, umso geringer ist der energetische Aufwand für die Nutzung der Umweltenergie und umso wirtschaftlicher ist der Betrieb der Wärmepumpe (siehe auch Arbeitszahl).	<u>Kühllast</u>	Die Kühllast ist eine aus einem Raum konvektiv abzuführende Wärmelast, die notwendig ist, um einen vorgegebenen Raum- luftzustand zu erreichen oder zu erhalten. Sie teilt sich nach VDI 2078 in Äußere Kühllasten und Innere Kühllasten ein.
<u>Jahresnutzungs- grad</u>	Der Jahresnutzungsgrad gibt an, wie stark eine Heizanlage ausgelastet ist. Ein gut eingestelltes und dimensioniertes System arbeitet wirtschaftlich, schlechte Jahresnutzungsgrade entstehen beispielsweise durch Überdimensionierung.	<u>Kunstlicht</u>	Kunstlicht ist im Gegensatz zu Tageslicht durch künstliche Licht- quellen erzeugtes Licht.
<u>Jahres-Heizener- giebedarf [kWh/m²a]</u>	Der Jahres-Heizenergiebedarf ist die Menge an Energie, die dem Gebäude zur Beheizung und zur Bereitstellung von warmem Wasser zugeführt werden muss. Dabei werden auch die Verluste, die durch die Heizanlagentechnik entstehen, beachtet.	<u>kWh</u>	Abkürzung für Kilowattstunde Energie oder physikalischer Arbeit. 1 kWh = 1000 Watt über den Zeitraum von 1 Stunde.
<u>Jahres-Heizwärme- bedarf [kWh/m²a]</u>	Der Jahres-Heizwärmebedarf ist die Menge an Wärme, die jährlich zur Beheizung des gesamten Gebäudes (ohne Betrachtung der Wärmemenge für die Warmwasserbereitstellung) benötigt wird.	<u>Langzeitspeicher</u>	Langzeitspeicher sind Speicher, die Wärme aufnehmen und über mehrere Wochen bis Monate speichern. Entsprechend geringe Ladezyklen pro Jahr werden erzielt.
<u>Jahres-Primärener- giebedarf [kWh/a]</u>	Der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p [kWh/a] ist die Menge an Primärenergie, die im Laufe eines Jahres zum Heizen, Lüften und zur Bereitstellung von Warmwasser benötigt wird. Es werden alle Energiegewinne und -verluste betrachtet.	<u>Latentwärmespei- cher</u>	Sie verändern beim Lade- oder Entladevorgang nicht ihre fühlbare Temperatur, stattdessen wechselt das Wärme-Speichermedium seinen Aggregatzustand. Meistens wird hierbei der Übergang von fest zu flüssig (bzw. umgekehrt) genutzt, da kaum eine Volumenänderung eintritt. Das Speichermedium kann über seine Latentwärmekapazität hinaus be- oder entladen werden, erst dann führt der Energiestrom zu einer Temperaturerhöhung. Latentwärmespeicher kombinieren also sensible und latente Wärmespeicherung.
<u>Jahres-Primärener- giebedarf [kWh/a]</u>	Als Kapillarwirkung wird die treibende Kraft bezeichnet, die dafür sorgt, dass ein Flüssigkeitstransport in Baustoffen mit Poren stattfindet.	<u>Lebenszyklusanaly- se (LCA)</u>	Das Mittel zur Analyse des Ressourcenverbrauchs und der Umweltauswirkungen eines Materials über den Lebenszyklus ist die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment - LCA). Sie bilanziert den Lebensweg eines Baustoffs über die Stadien der Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verarbeitung; gegebenenfalls werden auch Transport, Nutzung, Nachnutzung und Entsorgung berücksichtigt. Die Bilanzgrenze ist maßgeblich für die Informationen, die aus einer Lebenszyklusanalyse gewonnen werden können.
<u>Jahres-Primärener- giebedarf [kWh/a]</u>	Mehrstufiges Speichersystem, das, z.B. einen Speicher für den Tagesbedarf lädt und Überschüsse in einen zweiten Speicher abgibt, der bei Bedarf zugeschaltet werden kann.	<u>Lebenszykluskosten</u>	Die Lebenszykluskosten beschreiben die Kosten, die bei einem Produkt von der Idee bis zur Rücknahme vom Markt entstehen. Dabei werden nur die Investitionen und Ausgaben, nicht jedoch die positiven Rückläufe in Form von Erlösen betrachtet.
<u>Kompaktheit des Gebäudes (A/V) [m²/m³]</u>	siehe A/V-Verhältnis		

<u>Leistungszahl (COP)</u>	Die Leistungszahl oder COP (Coefficient of performance) für Wärmepumpen ist der Quotient aus Wärmeabgabe am Verflüssiger in kW zu Stromeinsatz des Kompressorantriebs in kW. Sie gibt somit den Wirkungsgrad an. Mit zunehmender Differenz zwischen den Temperaturniveaus am Verdampfer und Verflüssiger erhöht sich die elektrische Antriebsleistung, da stärker verdichtet werden muss.	oder Gesamtnutzungsgrad das Verhältnis der gesamten genutzten Energieabgabe (Summe von Strom- und Wärmeabgabe) zum Energieeinsatz, in Abgrenzung zum (elektrischen) Wirkungsgrad, bei dem nur die Stromabgabe berücksichtigt ist. Da der Nutzungsgrad auch durch den Wärmebedarf mitbestimmt wird und damit stark jahreszeitlich schwanken kann, wird zur Bewertung von Anlagen in der Regel der Jahresnutzungsgrad herangezogen. Zu beachten ist, dass der Nutzungsgrad für die Warmwasserbereitung mit fossilen Energieträgern besonders niedrig ist. Gerade bei gut gedämmten Häusern, bei denen der Heizenergieanteil niedriger ist, kann deshalb der Jahresnutzungsgrad sinken und lässt eine solare Warmwasserbereitung sinnvoll erscheinen.
<u>Luftfeuchtigkeit [%]</u>	Die Luftfeuchtigkeit, oder kurz Luftfeuchte, bezeichnet den Anteil des Wasserdampfs am Gasgemisch der Erdatmosphäre. Bezieht sich der Wasserdampfanteil am Gasgemisch auf einen Raum, so spricht man von Raumluftfeuchte. Die absolute Luftfeuchtigkeit ist die in 1 Kubikmeter Luft tatsächlich enthaltene Wasserdampfmenge in g/m ³ . Sie wird allerdings oft in Prozent als relative Luftfeuchtigkeit angegeben. Diese bezeichnet das Verhältnis des momentanen Wasserdampfgehalts zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt bei derselben Temperatur und demselben Druck.	<u>Nutzwärme [kWh]</u> <u>Ökobilanzierung</u>
<u>Luftkollektoren</u>	Solarkollektor, der Luft als Wärmeträger nutzt.	Wärme, die für eine Nutzung bereitsteht. Der Anteil der Endenergie, die nach allen Verlusten der Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe im Raum zur Verfügung steht.
<u>Lüftungswärmeverluste [kWh/m²a]</u>	Lüftungswärmeverluste beschreiben die Verluste, die durch die Belüftung eines Gebäudes entstehen: Warme Innenluft wird durch kühlere Außenluft ersetzt und muss auf Raumtemperatur erwärmt werden. Zählt man die Transmissionswärmeverluste hinzu, so ergibt sich der notwendige Heizwärmebedarf.	Die Ökobilanzierung rechnet auf Basis der Materialaufwendungen die Herstellung und Produktionsprozesse eines Produkts in Auswirkungen (z.B. Emissionen) um. Sie bezieht sich nicht nur auf Bauprodukte, sondern ist ein allgemeingültiges Verfahren. Sie kann auf jeden Prozess, zum Beispiel auf Dienstleistungen, Produktionsverläufe oder eine gesamte Wirtschaftseinheit wie ein Unternehmen, angewendet werden.
<u>Mikroklima</u>	Das Mikroklima ist das Klima der bodennahen Luftschichten bis etwa 2 Meter Höhe beziehungsweise das Klima, das sich in einem kleinen, klar umrissenen Bereich (zum Beispiel zwischen Gebäuden in einer Stadt) bildet.	<u>Ozonbildungspotential (POCP) [kg C₂H₄-Äquivalent]</u>
<u>Nutzenergie [kWh]</u>	Jede Umwandlung und jeder Transport von Energie geschieht unter Verlusten. Nutzenergie bezeichnet die Energiemenge exklusive der Anlagen- und Verteilungsverluste, also die am Ort des Energiebedarfs zur Verfügung stehende Energie, z.B. Raumwärme.	Das Ozonbildungspotenzial POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C ₂ H ₄ -Äquivalent] ist eine Größe zur Abschätzung der bodennahen Ozonbildung und wird auf die Wirkung von Ethen (C ₂ H ₄) bezogen.
<u>Nutzenergiebedarf</u>	Nutzenergiebedarf wird als Heizwärme- und Kühlbedarf bezeichnet. Er ist der rechnerisch ermittelte Wärme- beziehungsweise Kühlbedarf zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumkonditionen innerhalb einer Gebäudezone. Des Weiteren gibt es den Nutzenergiebedarf für Beleuchtung. Er entspricht dem nach der benötigten Beleuchtungsqualität rechnerisch ermittelten Energiebedarf eines Nutzungsprofils. Zusätzlich gibt es den Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser. Dies ist der rechnerisch ermittelte Energiebedarf zur Bereitstellung des entsprechend dem Nutzungsprofil für jede Gebäudezone benötigten Trinkwarmwassers.	<u>Peak - Oil</u> <u>Photovoltaik</u>
<u>Nutzungsgrad</u>	Der Nutzungsgrad einer Anlage oder eines Geräts setzt die in einer bestimmten Zeit nutzbar gemachte Energie zur zugeführten Energie ins Verhältnis. In den betrachteten Zeiträumen können Pausen-, Leerlauf-, Anfahr- und Abfahrzeiten enthalten sein. Bei Anlagen zur Stromerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet man mit Nutzungsgrad	Das weltweite Ölfördermaximum – der so genannte Peak-Oil – bezeichnet den Scheitelpunkt, an dem die Hälfte aller konventionell förderbaren Erdölvorkommen erschöpft sein werden.
		Photovoltaik bezeichnet die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie – vornehmlich Sonnenenergie – in elektrische Energie, also Strom.
		<u>Primärenergie [kWh]</u>
		Primärenergie beschreibt die Energie, die mit den natürlich vorkommenden Energieformen oder Energieträgern zur Verfügung steht.
		<u>Primärenergiebedarf [kWh/m²a]</u>
		Der Primärenergiebedarf benennt zusätzlich zu dem eigentlichen Energiebedarf des Systems den Energiebedarf der durch die vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers entsteht (Primärenergie). Er beschreibt die Energieeffizienz und den ressourcenschonenden Umgang der Energienutzung. Zur Ermittlung der Energiebilanz wird der entsprechende Energiebedarf unter Berücksichtigung der beteiligten Energieträger mit einem Primärenergiefaktor multipliziert.
		<u>Primärenergiefaktor</u>
		Die durch Gewinnung, Umwandlung und Transport eines Energieträgers entstehenden Verluste werden mittels eines Primärenergiefaktors erfasst und bei einer primärenergetischen Bewertung aufgeschlagen. Die Primärenergiefaktoren sind je nach Bilanzierungssystem und Land unterschiedlich.

Primärenergieinhalt (PEI) [MJ] beziehungsweise [kWh]	Der Primärenergieinhalt (PEI) eines Baustoffs beschreibt den zur Herstellung und Nutzung des Materials notwendigen Aufwand an Energieträgern (Ressourcen). Dabei wird zwischen nicht erneuerbarer Primärenergie (Braunkohle, Steinkohle, Erdgas, Erdöl, Uran etc.) und erneuerbarer Primärenergie (Wasserkraft, Windkraft, Sonnennutzung durch Solarenergie oder Biomasse etc.) unterschieden.
Prozesswärme	Prozesswärme ist die Wärme, die für technische Prozesse und Verfahren genutzt wird. Prozesswärme entsteht normalerweise durch Verbrennungsprozesse oder elektrischen Strom; bestenfalls kann man Abwärme als Prozesswärme nutzen.
Pufferspeicher	Pufferspeicher dienen der kurzzeitigen Zwischenspeicherung von Wärmeenergie zur Überbrückung des ungleichen Tagesgangs des Wärmebedarfs oder der Wärmeerzeugung.
Relative Luftfeuchtigkeit	Die relative Luftfeuchtigkeit wird in Prozent angegeben und bezeichnet das Verhältnis des momentanen Wasserdampfgehalts in einem System (Raum) zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt.
Ressourcen	Ressourcen sind materielles oder immaterielles Gut. Im Bausektor sind meist diejenigen Mengen eines Rohstoffs gemeint, die mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten gewonnen werden können.
Rohdichte [t/m³ bzw. kg/dm³]	Die Dichte eines Stoffs ist der Quotient aus der Masse und dem Volumen und wird in t/m ³ beziehungsweise kg/dm ³ angegeben. Die Rohdichte ist die Dichte von porigen Stoffen einschließlich des Porenvolumens (z.B. Porenbeton).
Schadstoffe	Schadstoffe sind Stoffe, die sich schädlich auf die Umwelt (Menschen, Tiere und Pflanzen) auswirken. Dazu zählen u.a. Kohlendioxid, Schwefeldioxid und Stickoxide. Kohlendioxid ist ein geruchs- und farbloses Gas, das bei jeder Verbrennung entsteht und für den Treibhauseffekt mitverantwortlich ist. Es kann ausschließlich durch Verringerung des eingesetzten Brennstoffs reduziert werden. Schwefeldioxid ist ein übelriechendes, hautreizendes und giftiges Gas. Es entsteht bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe (Kohle, Holz etc.). Es ist mitverantwortlich für den sauren Regen (Waldsterben). Stickstoffdioxide sind Atemgifte und Verursacher des sauren Regens.
Sekundärenergie [kWh]	Sekundärenergie ist die nach der Umwandlung der Primärenergieträger in so genannte Nutzenergieträger verbleibende Energieform. Sekundärenergie zeichnet sich meist durch eine der folgenden Eigenschaften aus: <ul style="list-style-type: none"> - gute Lagerfähigkeit (z.B. Koks, raffinierte Öle) - gute Transportfähigkeit (z.B. elektrische Energie) - hohe Energiedichte (z.B. Koks) - einfache/billige Herstellung (Briketts). Eine dieser Eigenschaften wird im Normalfall bevorzugt, abhängig von Ort und Verwendungszweck. Oft sind die Nebenprodukte der Herstellung von Sekundärenergie ebenso nutzbare Sekundärenergie (z.B. ist

Gas bei der Benzinherstellung oder Wärme bei der Herstellung elektrischer Energie ein Nebenprodukt, das als Prozessgas oder Fernwärme weitergenutzt werden kann). Diese Nebenprodukte werden allerdings nicht immer genutzt.

Smart Grid

Der Begriff Smart Grid (intelligentes Stromnetz) umfasst die Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern (zentrale und dezentrale), Energielieferanten, Speichern und elektrischen Verbrauchern. Es ist einerseits durch einen zeitlich und räumlich einheitlicheren Verbrauch geprägt und steuert andererseits Erzeuger und Verbraucher, die nicht deckungsgleich sind. Durch intelligente Netze kann die Auslastung der Netze optimiert und teure Lastspitzen können vermieden werden. Ziel ist die Sicherstellung der Energieversorgung auf Basis eines effizienten und zuverlässigen Systembetriebs.

Solare Kühlung

Von einer solaren Kühlung wird gesprochen, wenn die Antriebswärme der Sorptionskältemaschine hauptsächlich durch den Einsatz solarthermischer Systeme erzeugt wird.

Solare Wärmege- winne [kWh/m²a]

Durch transparente Bauteile wie Fenster gelangt kurzwellige Sonnenstrahlung in das Gebäude, wird beim Auftreffen auf den Boden absorbiert und in langwellige Strahlung umgewandelt. Diese bleibt im Gebäude gefangen, da Glas für dieses Wellenspektrum undurchlässig ist (vergleiche Treibhauseffekt). Richtet sich nach Größe und Ausrichtung, dem Energiedurchlassgrad sowie der Verschattung und Verschmutzung der Fenster.

Solarer Deckungs- anteil[%]

Prozentualer Anteil der vom Solarsystem nutzbar abgegebenen Energie am gesamten Wärmeenergiebedarf eines Gebäudes.

Solarkollektor

Hinter einer Glasscheibe befindet sich ein Absorber, bestehend aus dunkel beschichteten Metallblechen. Er absorbiert die Sonnenstrahlung und wandelt sie in langwellige Wärmestrahlung um. Damit diese nicht verloren geht, wird der Kollektor seitlich und unten gut gedämmt (Flachkollektor) oder in ein Vakuum gegeben (Vakuumröhrenkollektor). Die Wärme wird durch eine Flüssigkeit (frostbeständige Sole) in kleinen Röhren weitergeleitet, um schließlich mittels eines Wärmelauschers an einen Wasserspeicher abgegeben zu werden.

Solarspeicher

Speicher, der durch Sonnenenergie gespeist wird. Dient der Überbrückung von Schlechtwetterperioden und des Tagesgangs des Energiebedarfs.

Solarthermie

Umwandlung der Sonnenstrahlung in nutzbare Wärmeenergie. Solare Wärme wird durch einen Sonnenkollektor aufgenommen und zur Wassererwärmung beziehungsweise zur Unterstützung der Heizung in Gebäuden genutzt.

Sole

Salz-Wasser-Lösung, welche als Wärmeträger, z.B. in Wärmepumpen, zum Einsatz kommt.

<u>Sorptionskältesysteme</u>	Sorptionskältesysteme zählen zu den aktiven Kälteerzeugern. Sie nutzen das System der thermischen Kühlung, die meist solar erzeugt wird. Sorptionskältemaschinen bauen auf dem Prinzip der Verdunstungskühlung auf. Ein Kältemittel, das in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert, wird unter extremem Unterdruck bei niedriger Temperatur zum Verdampfen gebracht (Verdampfer).	<u>Tandem- bzw. Trippel Zellen</u>	Diese Solarzellen bestehen aus zwei, beziehungsweise drei Dünnschichten, die übereinander auf das Substrat aufgebracht werden. Jede Schicht ist für ein bestimmtes Lichtspektrum optimiert.
<u>sorptiv -> Sorption</u>	Durch Sorption ist ein Baustoff in der Lage, Feuchtigkeit aus der Luft an seiner Oberfläche anzulagern. Die Aufnahme und Abgabe der Feuchtigkeit erfolgt in Abhängigkeit von der Luftfeuchte.	<u>Thermische Energie</u> [1]	Thermische Energie ist die Energie, die in der ungeordneten Bewegung der Atome oder Moleküle eines Stoffs gespeichert ist. Sie ist eine Zustandsgröße und Teil der inneren Energie. Die thermische Energie wird im SI-Einheitensystem in Joule (Einheitenzeichen: J) gemessen. Umgangssprachlich wird die thermische Energie etwas ungenau als Wärme oder Wärmeenergie bezeichnet oder auch mit der Temperatur verwechselt. Eine Wärmezufuhr steigert die mittlere kinetische Energie der Moleküle und damit die thermische Energie, eine Wärmeabfuhr verringert sie. Kommen zwei Systeme mit unterschiedlichen Temperaturen zusammen, so gleichen sich ihre Temperaturen durch Wärmeaustausch an. Dabei fließt jedoch ohne zusätzliche Hilfe niemals thermische Energie vom System niedrigerer Temperatur in das System höherer Temperatur.
<u>Speicherkollektoren</u>	Flachkollektoren mit integriertem Warmwasserspeicher.	<u>Transmission</u>	Transmission bezeichnet den Wärmedurchgang durch ein Bauteil durch Strahlung und Konvektion an den Oberflächen. Er wird aus dem U-Wert und der Fläche des Gebäudes errechnet.
<u>Spezifische Wärmekapazität</u> [J/kgK]	Die stoffspezifische Eigenschaft gibt die Energiemenge an, die benötigt wird, um 1kg eines Stoffs um 1K zu erwärmen. Die spezifische Wärmekapazität gibt das Speichervermögen eines Baustoffs an. Aufgrund ihres geringen Gewichts verfügen Dämmstoffe meist nur über eine geringe Wärmespeicherfähigkeit. Schwere Dämmstoffe wie Holzfaserdämmplatten (Rohdichte > 100 kg/m ³) können in Bereichen, die zur Überhitzung neigen (z.B. ausgebaute Dachräume), durch ihr höheres Speichervermögen den sommerlichen Wärmeschutz verbessern.	<u>Transmissionswärmeverluste</u> $\frac{H_t'}{[kWh/a]}$	Transmissionswärmeverluste werden auch Wärmedurchgangsverluste genannt. Sie umfassen die Menge an Energie, die durch den Temperaturunterschied von innen nach außen durch die gesamte Gebäudehülle transmittiert. Das Bauteil setzt dabei dem Wärmedurchgang einen Widerstand entgegen. Diese Fähigkeit wird mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten oder kurz U-Wert des Bauteils ausgedrückt.
<u>Spezifischer Transmissionswärmeverlust</u>	Zur Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts wird die Summe der Wärmedurchgangsverluste aller Bauteile der Gebäudehülle gebildet. Hierfür wird der jeweilige U-Wert des Bauteils mit der am Gebäude verbauten Fläche und dem Temperaturkorrekturfaktor multipliziert. Wird diese Summe wiederum durch die Gesamthüllfläche dividiert, liegt als Ergebnis der durchschnittliche U-Wert des Gebäudes vor. Dieser Wert könnte damit auch als gewichteter U-Wert der gesamten Gebäudehülle bezeichnet werden. Die offizielle Bezeichnung lautet „spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust“. Bei Altbauten liegt dieser Wert oft über 1,00 W/m ² K. Bei Neubauten muss je nach A/V-Verhältnis ein bestimmter Wert unterschritten werden, dieser liegt im Regelfall zwischen 0,50 und 0,60 W/m ² K für frei stehende Häuser und Doppel-/Reihenhäuser.	<u>Treibhauseffekt</u>	Der Treibhauseffekt bewirkt umgangssprachlich die Erwärmung eines Planeten durch Treibhausgase und Wasserdampf in der Atmosphäre. Ursprünglich wurde der Begriff verwendet, um den Effekt zu beschreiben, durch den hinter Glasscheiben oder im Innenraum eines verglasten Gewächshauses die Temperaturen ansteigen, solange die Sonne darauf scheint. Heute fasst man den Begriff viel weiter und bezeichnet den atmosphärischen Wärmestau der von der Sonne beschienenen Erde als atmosphärischen Treibhauseffekt, da die physikalischen Grundlagen beider Vorgänge ähnlich sind.
<u>Suffizienz</u>	Suffizienz bezeichnet ein Maß für den energie- und ressourcenbewussten Konsum, dabei ersetzen einzelne Personen energieintensive Dienstleistungen durch solche mit geringem Energiebedarf und optimieren so ihr Konsumverhalten, zum Beispiel durch Videokonferenzen statt Flugreisen oder die Reduzierung der Wohnfläche pro Person.	<u>Treibhauspotential</u>	Das Treibhauspotential beschreibt die Emission von Gasen, die zum Treibhauseffekt beitragen. Durch sie wird die von der Erde abgestrahlte Infrarotstrahlung reflektiert und teilweise zur Erdoberfläche zurückgestrahlt. Dieser auch natürlich stattfindende Prozess wird durch die Anreicherung dieser Gase in der Troposphäre verstärkt, die für die globale Erwärmung verantwortlich sind. Das Treibhauspotential fasst alle Gase im Verhältnis der Wirkung von Kohlendioxid zusammen. Da die Verweildauer der Gase in der Troposphäre je nach Gas unterschiedlich ist, wird der betrachtete Zeithorizont mit angegeben. Dieser ist üblicherweise 100 Jahre, kann aber auch 50 oder 20 Jahre betragen. Das (relative) Treibhauspotential (engl: Global Warming Potential, Greenhouse Warming Potential oder GWP) oder auch CO ₂ -Äquivalent (als Vergleichswert dient immer CO ₂) gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beisteuert.
<u>Tageslicht</u>	Tageslicht ist das – sichtbare – Licht der Sonne, also das natürliche Licht.		
<u>Tageslichtquotient</u>	Der Tageslichtquotient ist ein Hilfsmittel zur Bewertung der Qualität der Tageslichtversorgung im Raum. Gesetzlich ist die Berechnung zur Energiebilanzierung nicht notwendig. Allerdings kann eine Berechnung von Vorteil sein, um die Energieeffizienz des Gebäudes zu steigern. Der Tageslichtquotient ist immer abhängig von der verfügbaren Beleuchtungsstärke im Außenraum und der tatsächlich verfügbaren Beleuchtungsstärke im Innenraum.		

<u>U-Wert</u> [W/m ² K]	Der U-Wert ist der Wärmedurchgangskoeffizient (früher: k-Wert). Der U-Wert bezeichnet eine stoff- und bauteilspezifische Eigenschaft, er ist das Maß für die Wärmedämmfähigkeit eines Bauteils und gibt an, welche Wärmemenge durch 1 m ² Wandfläche strömt, wenn sich die Lufttemperatur auf den beiden Wandseiten um 1 Kelvin unterscheidet. Die Einheit des U-Werts ist demnach W/m ² K. Je kleiner der U-Wert, desto niedriger die Wärmeleitung und desto besser der Wärmeschutz. Unterschiedliche Konstruktionen lassen sich so hinsichtlich ihrer Wärmedämmeigenschaften direkt vergleichen.	<u>Vorlauftemperatur</u>	Temperatur des warmwasserführenden Rohrs eines Heizkreises.
<u>Vakuum-Isolations-Panel</u> (VIP)	Bei einem Vakuum-Isolations-Panel handelt es sich um eine hoch effiziente Wärmedämmung. Das Prinzip ähnelt dem einer Thermoskanne, durch das Vakuum im Innern des Panels wurde das wärmeleitende Medium Luft entfernt und so der Wärmetransport in Form von Konvektion und Wärmeleitung drastisch reduziert. VIPs bestehen im Kern aus offenporigen Materialien (z.B. Kieselsäure). Die wärmedämmenden Eigenschaften sind im Vergleich zu herkömmlichen Dämmstoffen zirka 5-10-mal besser. Nachteil ist der erhöhte Planungsaufwand, um die Paneele möglichst passgenau vorzufertigen, eine Anpassung vor Ort ist nicht möglich.	<u>Warmwasserspeicher</u> (WWS)	Es gibt verschiedene Arten von Warmwasserspeichern (z.B. Schichtladespeicher). Ihnen allen gemeinsam ist, dass sie ständig (im Gegensatz zum Durchlauferhitzer) warmes Wasser vorhalten.
<u>Vakuumröhrenkollektoren</u>	Vakuumröhrenkollektoren sind Teil einer solarthermischen Anlage und dienen zur Bereitstellung von warmem Wasser. Sie bestehen aus nebeneinander liegenden Glasröhren mit einem Durchmesser von je 65 bis 100 mm, die selektiv beschichtete Absorber beinhalten.	<u>Wärmebrücken</u> [W/m ² K]	Wärmebrücken stellen lokale Schwächungen des Wärmeschutzes des Regelaufbaus eines Bauteils dar und können punktuell, linienförmig oder flächig sein. Man unterscheidet geometrische (Außenecken), konstruktive (Durchdringungen wie eingebundene Balkonkragplatten, Bauteilstöße) und stoffliche Wärmebrücken.
<u>Versauerung</u>	Versauerung (Acidification Potential) [kg SO ₂ -Äquivalent] entsteht überwiegend durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren. Daraus resultiert eine Verringerung des pH-Werts von Niederschlag.	<u>Wärmedurchlasswiderstand</u> [m ² K/W] (R-Wert)	Der Wärmedurchlasswiderstand ist der Kehrwert des U-Werts. Er gibt den Widerstand an, den ein Bauteil dem Wärmestrom bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin auf einer Fläche von 1 m ² entgegensetzt. Je größer der Wärmedurchlasswiderstand, desto besser sind die wärmedämmenden Eigenschaften des betrachteten Bauteils.
<u>Versauerungspotential</u>	Das Versauerungspotenzial ist einer der wichtigsten Umweltindikatoren. Durch die Verringerung des pH-Werts im Niederschlag nehmen Boden, Gewässer, Lebewesen und Gebäude Schaden. Das Versauerungspotenzial wird in Schwefeldioxid Äquivalenten angegeben. Sekundäre Effekte, die sauren Regen an Gebäuden sichtbar machen, sind unter anderem erhöhte Korrosion an Metallen oder die Zersetzung von Naturstein.	<u>Wärmeleitfähigkeit</u> [W/mK]	Die Wärmeleitfähigkeit, auch Wärmeleitfähigkeit, ist eine Stoffeigenschaft. Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffs gibt an, welche Wärmemenge in der Zeit t und bei einem Temperaturunterschied T durch die Fläche A strömt.
<u>Virtuelles Kraftwerk</u>	Das virtuelle Kraftwerk beschreibt den Zusammenschluss von kleinen, dezentralen Kraftwerken, wie beispielsweise von Photovoltaik-Anlagen, Kleinwasserkraftwerken und Biogasanlagen, kleinen Windenergieanlagen und Blockheizkraftwerken kleinerer Leistung zu einem gemeinsam steuerbaren Verbund.	<u>Wärmequellen</u>	Jedes Objekt, das in einer Form (Strahlung, Konvektion) Wärme abgeben kann, nennt man Wärmequelle. Dies kann sich im Winter positiv als Wärmegewinn oder aber auch im Sommer negativ als Wärmelast auswirken.
<u>Volumenstrom V</u> [m ³ /h]	Volumenstrom ist die Bezeichnung für die Menge eines Volumens, welches in einer Zeiteinheit strömt, z.B. ein Luftvolumenstrom einer Lüftungsanlage. Er sollte optimalerweise nach dem hygienischen Minimum ausgelegt werden.	<u>Wärmerückgewinnung</u>	Wärmerückgewinnung (WRG) ist ein Sammelbegriff für Verfahren zur Wiedernutzbarmachung der thermischen Energie eines den Prozess verlassenden Massenstromes. Grundsätzliches Ziel der Wärmerückgewinnung ist die Minimierung des Primärenergieverbrauchs. Dabei stehen neben den energiewirtschaftlichen Bedürfnissen auch ökologische Forderungen im Vordergrund. Die Wärmerückgewinnung hat die Eigenschaft einer regenerativen Energie.
		<u>Wärmerückgewinnungsgrad</u>	Der Wärmerückgewinnungsgrad gibt die Effizienz des Wärmetauschers, zum Beispiel in einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung an. Er ist als Wirkungsgrad ein wichtiger Parameter bei der energetischen Betrachtung der gesamten Haustechnik.
		<u>Wärmeträger</u>	Flüssigkeiten oder Luft, die die Aufgabe haben, Wärme vom Kollektor zum Speicher zu transportieren, werden als Wärmeträger bezeichnet. In Solaranlagen kommt meist ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel zum Einsatz, damit der Kollektor im Winter nicht einfriert.
		<u>Wärmeübergangskoeffizient</u> [W/m ² K] (U-Wert)	Der Wärmeübergangskoeffizient, auch Wärmeübergangszahl oder Wärmeübertragungskoeffizient genannt, ist ein Proportionalitätsfaktor, der die Intensität des Wärmeübergangs an einer Grenzfläche bestimmt. Der Wärmeübergangskoeffizient in W/(m ² K) ist eine spezifische Kennzahl der Anordnung eines Materials zu einer Umgebung. Je höher der Wärmeübergangskoeffizient, desto schlechter ist die Wärmedämmeigenschaft der Stoffgrenze. Sein Kehrwert ist der Wärmeübergangswiderstand RS in (m ² K)/W.

<u>Watt (peak)</u> <u>[kW_p]</u>	Peak bedeutet Spitzenleistung. Mit Watt (peak) wird die Spitzenleistung von Photovoltaik-Modulen beschrieben. Hierfür wird unter genormten Bedingungen das Photovoltaik-Paneel einer senkrecht auftreffenden Strahlung von 1000 Watt ausgesetzt. Die dann als Strom gelieferte Leistung des Paneels wird als dessen Norm-Leistung festgehalten und als Watt(peak) oder eben W_p, bezeichnet. Die Summe aller Paneele einer Anlage ergibt so eine Normleistung der gesamten Anlage, diese liegt im Bereich des Wohnungsbaus meist bei einigen kW_p. Für 1 kW_p, müssen zirka 8 m² Photovoltaik verlegt werden (bei einem Wirkungsgrad von 12,5 Prozent). Die Spitzenleistung sagt noch nichts über den Ertrag der Anlage aus. Pro kW_p können in sonnigeren Gegenden über 1000 kWh, in Gebieten mit Hochnebel auch unter 600 kWh Ertrag erwartet werden.
<u>Wirkungsbilanz</u>	Auf die Sachbilanz folgt in der Ökobilanz die Aufstellung der Wirkungsbilanz. Sie weist allen Stoff- und Energieumwandlungsprozessen der Sachbilanz einzelne Emissionen zu. Zur besseren Auswertung werden die verschiedenen Emissionsarten zu Gruppen ökologischer Wirkungskategorien (z.B. Beitrag zum Treibhauseffekt) zusammengefasst. Darüber werden sogenannte Äquivalente ermittelt, die im Verhältnis zu einem Leitschadstoff die Wirkung aller beteiligten Schadstoffe ausweisen. Es stehen dabei über 30 verschiedene Leitschadstoffe als Bezugspunkte zur Verfügung. Sind aus der Sachbilanz keine prozessspezifischen Daten verfügbar, so kann der Bilanzierende auf vergleichbare Prozesse aus Datenbanken zurückgreifen. Solche Austauschprozesse sind im Sinne der Nachvollziehbarkeit der Ökobilanz auszuweisen.
<u>Wirkungsgrad [%]</u>	Wirkungsgrad gibt das Verhältnis von abgegebener Leistung zu zugeführter Leistung im optimalen Betriebszustand an. Als Wirkungsgrad eines Umwandlungsprozesses, z.B. in Kraftwerken oder Heizanlagen, bezeichnet man das Verhältnis der erzielten nutzbaren Energien zu der für den Umwandlungsprozess eingesetzten Energien.
<u>Wirkungsgrad einer Solarzelle bzw. eines Moduls</u>	Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel Prozent der eingestrahnten Lichtmenge in nutzbare elektrische Energie umgewandelt werden.
<u>Zuluftkühlung</u>	Genauso, wie ein Gebäude über die Zuluft geheizt werden kann, kann es auch, z.B. über eine Kompressionskältemaschine, im Sommer über die Zuluft gekühlt werden.

BIBLIOGRAPHIE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Anne Beim, *Circular Construction Materials Architecture Tectonics*, Kopenhagen 2019.

David Benjamin [Hrsg.], *Embodied Energy and Design*, New York 2016.

Mike Berners-Lee, *How Bad Are Bananas? The Carbon Footprint of Everything*, London 2020 (div. Auszüge).

Philipp Blom, *Was auf dem Spiel steht*, München 2019.

Mary Guzowski, *Towards Zero Energy Architecture – New Solar Design*, London 2010.

Energie Schweiz, Bundesamt für Energie BFE [Hrsg.], *Solare Architektur – Jetzt und für die Zukunft*, Bern 2019.

Sebastian El khouli, Viola John, Martin Zeumer, *Nachhaltig konstruieren*, Freiburg 2014.

Faktor – Architektur, Technik, Energie, Zürich 2008 - 2019.

Rolf Frischknecht, *Lehrbuch der Ökobilanzierung*, Berlin 2020.

Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin, *Passivhäuser entwerfen*, München 2013.

Marcel Hänggi, *Wir Schwätzer im Treibhaus*, Zürich 2008.

Marcel Hänggi, *Null Öl. Null Gas. Null Kohle*, Zürich 2018.

Manfred Hegger, Caroline Fafflok, Johannes Hegger, Isabell Passig, *Aktivhaus, das Grundlagenwerk*, München 2013

Andres Herzog [Hrsg.], *Klima Bauen. Ein Lexikon zu Architektur, Landschaftsarchitektur und Raumplanung unterwegs zu Netto-Null*, Zürich 2021

Institut Konstruktives Entwerfen, ZHAW Departement Architektur et al. [Hrsg.], *Bauteile wiederverwenden. Ein Kompendium zum zirkulären Bauen*, Zürich 2021

Roland Krippner [Hrsg.], *Building-Integrated Solar Technology*, München 2017.

José María de Lapuerta, Javier García-German, *Housing and Climate 1999 - 2019*, Valencia 2019.

Hansjürg Leibundgut, *LowEx Building Design – für eine ZeroEmission Architecture*, Zürich 2011.

Dennis Meadows, *Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*, Stuttgart 1987.

Mathias Plüss, *Weniger ist weniger.: Klimafreundlich leben von A bis Z.*, Zürich 2020.

Volker Quaschnig, Cornelia Quaschnig, *Energierévolution Jetzt! Mobilität, Wohnen, grüner Strom und Wasserstoff: Was führt uns aus der Klimakrise – und was nicht?* München 2022

Jorgen Randers, 2052. *Der neue Bericht an den Club of Rome – Eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre*, München 2012.

Bettina Rühm, *Energieplushäuser – nachhaltiges Bauen für die Zukunft*, München 2013.

Julia Schroeder, Celia Coyne, John Farndon, *Big Ideas - Das Ökologische Buch*, München 2020.

Solaragentur Schweiz [Hrsg.], *Schweizer Solarpreis*, Genf, 2010 - 2019.

Solaris, *Hefreihe von Hochparterre für Solararchitektur*, Zürich 2019.

Gianrico Settembrini & Urs-Peter Menti, *Das Klima als Entwurfsmotor Architektur und Energie bei Wohn- und Bürogebäuden*, Luzern 2014.

Werner Sobek, *non nobis – über das Bauen in der Zukunft. Band 1: Ausgehen muss man von dem, was ist*, Stuttgart 2022

Daniel Stockhammer, *Upcycling*, Zürich 2020.

David Wallace-Wells, *Die unbewohnbare Erde*, München 2019.

Gernot Wagner, *Stadt, Land, Klima*, Wien 2021.

Harald Welzer, *Selbst denken – eine Anleitung zum Widerstand*, Frankfurt am Main 2014.

Harald Welzer, *Nachruf auf mich selbst – die Kultur des Aufhörens*, Frankfurt a.M. 2021

Greta Thunberg, *Das Klima-Buch*, Frankfurt a.M. 2022

NÜTZLICHE LINKS

<https://www.bauteilkatalog.ch>

<https://www.eco-bau.ch>

<https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/solarrechner>

<https://www.kbob.admin.ch>

<https://www.ubakus.de>

<https://www.republik.ch/2020/01/09/klimagame>

TOOLS UND PLANUNGSWERKZEUGE

<https://www.ubakus.com>

<https://www.energytools.ch>

<https://caala.de>

<https://systems.arch.ethz.ch/demonstrators/hive>

<https://systems.arch.ethz.ch/teaching> (hier Link zu „A/S Knowledge Platform“ folgen)

<https://www.materialepyramiden.dk>

<https://www.bauteilkatalog.ch>

WEITERE LINKS UND RECHNER

<https://www.energieschweiz.ch/tools/solarrechner/>

<https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner.html>

<https://www.wwf.ch/de/nachhaltig-leben/footprintrechner>

<https://www.atmosfair.de/de/standards/emissionsberechnung/>

<https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/>

<https://www.myclimate.org/de/>

IMPRESSUM UND DANK

**Themenplattform zur Master's Thesis HS22/FS23
DURABILITY AND/OR CHANGE?**

READER

**Professur Annette Gigon / Mike Guyer, D-ARCH, ETH Zürich
März 2022 / Revision 10.05.2022**

**Vorbereitung: Annette Gigon
Reader: Stefan Jos, Arend Kölsch
«Vademecum»: Arend Kölsch**

**Reader und Vademecum basieren teils auf Unterlagen zum Entwurfsemester HS 21.
Beteiligte: Annette Gigon, Kathrin Sindelar, Moritz Holenstein, Ania Tschenett, Stefan Jos
mit Unterstützung von Arend Kölsch (Datensammlungen Baustoffe /-teile und Photovoltaik)**

Druck: Druckzentrum ETH Höggerberg

**Dank an
Christof Aerni, Markus Aerni (Aerni + Aerni Ingenieure AG, Zürich)
Dr. Rolf Frischknecht (treeze Ltd., Uster)
Prof. Dr. Guillaume Habert (IBI, D-BAUG, ETH Zürich)
Dr. Illias Hischier (ITA, D-ARCH, ETHZ Zürich)
Prof. Dr. Alexander Hollberg (Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden)
Gregorij Meleshko (WaltGalmarini AG, Zürich)
Katrín Pfäffli (preisig:pfäffli, Zürich)
Prof. Dr. Arno Schlüter (ITA, D-ARCH, ETHZ Zürich)**

**Hinweis: Die hier zusammengestellten Daten wurden nach bestem Wissen verarbeitet.
Für die Richtigkeit kann nicht garantiert werden; die Anwendung erfolgt auf eigene
Verantwortung. Wenn offensichtliche Fehler festgestellt werden, bitten wir um Mitteilung.
Wir beabsichtigen, das «Vademecum» zu aktualisieren, sobald neue Daten vorliegen.**

