

**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 21**

# «WAS ZÄHLT? – STOFF-WECHSEL II»

**Assistierende:**

**Kathrin Sindelar**

[sindelar@arch.ethz.ch](mailto:sindelar@arch.ethz.ch)

**Moritz Holenstein**

[holenstein@arch.ethz.ch](mailto:holenstein@arch.ethz.ch)

**Ania Tschenett**

[tschenett@arch.ethz.ch](mailto:tschenett@arch.ethz.ch)

**Begleitung:**

**Arend Kölsch**

[kontakt@aka-energie.de](mailto:kontakt@aka-energie.de)

**Leitung HS 21:**

**Annette Gigon**

[gigon@arch.ethz.ch](mailto:gigon@arch.ethz.ch)

**Reader zum Semester**

**Bild Umschlag: Céline Brunko, *Storm*, Charleroi 2015.**

**INHALT**

<b>04</b>	<b>ZUM SEMESTER</b>	<b>192</b>	<b>GRAUE ENERGIE</b>
<b>06</b>	<b>SEMESTERAUFBAU</b>	<b>194</b>	Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden
<b>08</b>	<b>TERMINE</b>	<b>198</b>	Graue Energie von Neubauten
<b>09</b>	<b>ANFORDERUNGEN</b>	<b>200</b>	Graue Energie von Umbauten
<b>12</b>	<b>BAUPLÄTZE</b>	<b>204</b>	<b>WERKSTOFFE</b>
<b>16</b>	Badenerstrasse 555	<b>206</b>	„Beton ist unersetzlich“, Andres Herzog, Interview mit Karen Scrivener
<b>20</b>	Badenerstrasse 571	<b>212</b>	Konstruktion - leicht und beständig
<b>24</b>	Badenerstrasse 585	<b>213</b>	Material – wenig verbauen, wieder verwerten, Andres Herzog
<b>28</b>	Winterthurerstrasse 94	<b>216</b>	<b>CO<sub>2</sub>- SPEICHERNDE MATERIALIEN</b>
<b>32</b>	Forchstrasse 225	<b>222</b>	<b>GEBÄUDETECHNIK</b>
<b>36</b>	<b>RAUMPROGRAMM</b>	<b>224</b>	<b>Photovoltaik und Solarthermie</b>
<b>38</b>	<b>BEISPIELE ÖKOLOGISCHER PROJEKTE</b>	<b>226</b>	Erfahrungen mit Solarhäusern in der Schweiz, Charles Filleux und Peter Schlegel
<b>88</b>	<b>BEISPIELE VON AUFSTOCKUNGEN/ UMNUTZUNGEN</b>	<b>232</b>	Verschiedene Solartechnologien
<b>106</b>	<b>WETTBEWERBE</b>	<b>235</b>	Bauteilgestaltung mit PV
<b>110</b>	<b>TEXTE</b>	<b>238</b>	Solartechnologie und Architektur - Eine kunstvolle Synthese, Dr. Maria Munari Probst u.A.
<b>112</b>	„Die Grenzen des Wachstums“, Dennis Meadows u.A.	<b>244</b>	<b>Wärmepumpen</b>
<b>118</b>	„Selbstdenken - Eine Anleitung zum Widerstand“, Harald Welzer	<b>250</b>	<b>Kombinierte Technologien</b>
<b>124</b>	„Null Öl. Null Gas. Null Kohle“, Marcel Hänggi	<b>252</b>	Von der Sonne zur Erde und wieder zurück, Hansjürg Leibundgut
<b>128</b>	<b>KLIMA</b>	<b>258</b>	<b>ENERGIELABELS UND STANDARDS</b>
<b>130</b>	Tabellen und Daten	<b>260</b>	<b>Minergie</b>
<b>136</b>	„Hitzesommer und nur noch halb so viel Schnee in der Schweiz - so trifft uns der Klimawandel“, Sven Titz u.A.	<b>263</b>	Problem mit Minergie, Christian von Burg
<b>150</b>	„Tipping points“ could exacerbate climate crisis, scientists fear, Fiona Harvey	<b>264</b>	<b>2000-Watt-Gesellschaft</b>
<b>152</b>	„Die grosse Überforderung“, Urs Bruderer	<b>284</b>	<b>BEGRIFFSDEFINITIONEN</b>
<b>164</b>	<b>ENERGIE</b>	<b>306</b>	<b>ANHANG, STAND NEUE TECHNOLOGIEN UND ALTERNATIVER VORGEHENSWEISEN</b>
<b>166</b>	„Auf lange Sicht - Eine kleine Energiegeschichte“, Simon Schmid	<b>308</b>	„Die Schweizer Firma Climeworks will auf Island jährlich 4000 Tonnen CO2 versteinern“, Christian Speicher
<b>171</b>	Energieverbrauch pro Kopf weltweit	<b>314</b>	„Heisse Luft um Wasserstoff“, Martin Läubli
<b>172</b>	Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019	<b>318</b>	„Eigentlich sind wir ein Störfaktor“, Paul Knüsel, Interview mit B. Buser und K. Müller
<b>177</b>	Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2020	<b>322</b>	„Interview Anders Lendager“, Jakob Schoof
<b>178</b>	Primärenergie und Treibhausgasbilanz	<b>328</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR</b>
<b>180</b>	Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissions-Koeffizienten		
<b>182</b>	<b>MATERIAL- UND ENERGIEFLUSS</b>		
<b>184</b>	„Unsere Klimabilanz, zerlegt in Einzelteile“, Daniel Bütler		
<b>190</b>	Material- und Energieflüsse der schweizerischen Volkswirtschaft		

## ZUM SEMESTER

### «WAS ZÄHLT? – STOFF-WECHSEL II»



Seit den 1970er Jahren stehen ökologische Themen im Raum. Der globale Energieverbrauch ist aber seitdem stetig angestiegen, allen gegenteiligen Anstrengungen zum Trotz. Das Hauptproblem bilden die damit gekoppelten Treibhausgasemissionen. Ein erheblicher Teil entsteht durch Gebäude, d.h. deren Erstellung und Betrieb.

Die Diskussion über das «richtige» Bauen angesichts des Klimawandels ist vielstimmig, komplex – eine Fülle an Facts and Figures sind vorhanden, jedoch fragmentiert und nicht einfach einzuordnen. Wir beschäftigen uns im Semester mit verschiedenen Fragen:

Wie gut oder wie schlecht schneiden verschiedene Baustoffe wie Beton, Holz, Stahl, Glas, Backstein, Lehm, Naturstein hinsichtlich grauer Energie, grauem CO<sub>2</sub> und Lebensdauer ab? Wie steht es dabei mit den Wärmedämmungen – aber auch im Hinblick auf die zu erwartenden Energieeinsparungen? D.h., wie lässt sich bei Gebäuden das kritische Gleichgewicht zwischen Nutzenergie und grauer Energie finden, bezogen auf den Lebenszyklus? Unter welchen Voraussetzungen sind Nullenergiehäuser oder sogar Nullemissionshäuser möglich? Was können Photovoltaikmodule beitragen, und unter welchen Bedingungen? Und wie lassen sich Gebäude damit gestalten? Und nicht zuletzt: Wie verhalten wir uns in Bezug auf die vielen Bestandsgebäude mit hohem Heiz- und Kühlbedarf, aber teils langlebiger Struktur? Wann sollten wir umbauen, wann neu bauen? Was also tun, was lassen?

**Anhand einer sehr aktuellen Bauaufgabe – der Umnutzung und Aufstockung von mehrgeschossigen Bürogebäuden zu Wohn- und Geschäftshäusern – testen wir, ob und wie ein hoher ökologischer Anspruch bei urbanen Gebäuden eingelöst werden kann. Das Zusammenspiel von Bestandsgebäude und Neubauteil interessiert uns hinsichtlich gestalterischer, nutzungsmässiger, konstruktiver und auch hinsichtlich ökologischer Konzeption. Die gekonnte Balance ist eine Kunst.**

Die Konstruktion und Detaillierung des Neubauteils ist dabei grundlegend (integrierte Disziplin). Neben dem Einsatz von klassischen Planungswerkzeugen (Skizzen, Plänen, Details, Modellen) erproben wir in diesem Semester auch weitere/neue. Berechnungs-Tools sollen uns erste Abschätzungen der grauen Energie und entsprechenden Treibhausgase erlauben, ebenso wie der künftigen Nutzenergie samt CO<sub>2</sub>-Ausstoss. In Tutorials werden diese Tools eingeführt und besprochen. Parallel soll der architektonische Ausdruck des Projektes mit Renderings überprüft und geschärft werden. Dafür werden ab Mitte Semester mehrere Tutorials durchgeführt.

Überdies stellen die erfahrenen Bauingenieure Gregorij Meleshko, Christof Aerni und Markus Aerni ihr Fachwissen projektspezifisch in einer frühen «Fragestunde» zur Verfügung.

Das Semester wird von Prof. Dr. Arno Schlüter und Dr. Illias Hischier von der Professur für Architektur und Gebäudesysteme begleitet. Mit Überlegungen aus der Perspektive der Kunst unterstützt uns Prof. Karin Sander und nimmt an Kritiken teil. Zu Beginn des Semesters wird uns ein gemeinsamer Seminartag einen ersten Überblick über den grossen und herausfordernden Themenkreis vermitteln.

Verschiedene Gäste sind zu Vorträgen, Gesprächen oder Kritiken eingeladen u.a.:

Prof. Dr. Karen Scrivener, STI, EPFL, und Prof. Dr. Guillaume Habert, D-BAUG, ETHZ, Katrin Pfäffli, Architektin, Mitverfasserin u.a. SIA 2040, Dozentin ZHAW, und Dr. Rolf Frischknecht, Gründer «treeze» Ökobilanzierungen, Dozent ETHZ, Axel Simon, Architekturkritiker und Redaktor «Hochparterre», Philipp Noger, Fachstelle Nachhaltiges Bauen, Stadt Zürich. Prof. Dr. Harald Welzer, Soziologe, Sozialpsychologe, Autor und Publizist; Prof. Karin Sander, D-ARCH, ETHZ, Künstlerin und Daniel Binswanger, Journalist und Redaktor «Republik». Dr. Gianluca Ambrosetti, Mitgründer und CEO «Synhelion». Louisa Hutton und Matthias Sauerbruch (Sauerbruch Hutton Architekten Berlin) Erika Fries (Huggenbergerfries Architekten), Astrid Stauffer (Stauffer Hasler Architekten).

In der Baubibliothek ermöglichen uns Markus Joachim und Dr. Katja Burzer eine Ausstellung über Materialien mit Angaben zu deren energetischem und CO<sub>2</sub>-mässigem Fussabdruck.

Das Semester wird von Annette Gigon geleitet.

Assistierende sind Kathrin Sindelar, Moritz Holenstein und Ania Tschennett; als Gäste/Tutoren kommen Arend Kölsch und David Klemmer hinzu.

## SEMESTERAUFBAU

### Züri

It's four in the morning, a beer on the shore  
We're waiting for glory no waiting for more  
It's four in the morning and the streets have our name  
This city is ours and this is the game

It's four in the morning and here comes the push  
The longing desire, the tickle, the wish  
And it's four in the morning and the rush wouldn't leave  
The rush in your blood that doesn't believe

That we might be wrong  
We might be wrong  
We might be wrong  
Everything doesn't mean anything at all

I'll lend your hunger a quiet release  
For all your desires might manage to breathe  
And the beating will turn its eyes off your head  
And the pressure will turn into walking ahead

'Cause we might be wrong  
We might be wrong  
We might be wrong  
And everything doesn't mean anything at all

It's four in the morning, a beer on the shore  
We're waiting for glory no waiting for more  
And it's four in the morning and we still won't go home  
Still chasing the dragons but dancing alone

# PROVISORISCHE TERMINSTRUKTUR\*

# ANFORDERUNGEN

Woche	Datum	Zeit	Programm
KW38 01	Di 21.09.21	10:00 h	<b>EINFÜHRUNG Annette Gigon und Arno Schlüter</b> Zeichensaal HIL D15
	Mi 22.09.21	09:00 h 11:00 h	<b>BAUPLATZBESICHTIGUNG</b> <b>EINFÜHRUNG Vademecum Arend Kölsch</b> ZOOM individuelle Arbeit im Zeichensaal, <b>BESUCH BAUBIBLIOTHEK</b>
KW39 02	Di 28.09.21	09:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden
	Mi 29.09.21	09:00 h	<b>SEMINARTAG</b> HIL D 15 <b>Gäste: Rolf Frischknecht, Illias Hischier, Arno Schlüter, Axel Simon</b>
KW40 03	Di 05.10.21	09:00 h 15:00 h	<b>KONZEPTBESPRECHUNG</b> HIL D 15 <b>VORTRAG / GESPRÄCH</b> mit Karen Scrivener, Guillaume Habert und Arno Schlüter HIL D15
	Mi 06.10.21	09:00 h 15:00 h	<b>KONZEPTBESPRECHUNG</b> HIL D 15 <b>EINFÜHRUNG SIA 2040/ CAALA</b> mit Arend Kölsch
		Di 12.10.21	09:00 h
KW41 04	Mi 13.10.21	16:00 h	<b>VORTRAG / GESPRÄCH</b> mit Katrin Pfäffli, Rolf Frischknecht und Illias Hischier HIL D15
	Mi 13.10.21	09:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden
KW42 05	Di 19.10.21	09:00 h	<b>ZWISCHENKRITIK 1</b> HIL D15
	Mi 20.10.21	09:00 h 18:00 h	<b>ZWISCHENKRITIK 1</b> HIL D15 <b>RENDERKURS</b> mit David Klemmer ZOOM
		<b>SEMINARWOCHE</b>	
KW44 06	Di 02.11.21	09:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden (Arend Kölsch per ZOOM) <b>STATISCHE BERATUNGSSTUNDE</b> mit Christof und Markus Aerni, Gregorij Meleshko
	MI 03.11.21	09:00 h 16:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden (Arend Kölsch per ZOOM) <b>VORTRAG / GESPRÄCH</b> mit Philipp Noger
KW45 07	Di 09.11.21	09:00 h	<b>ZWISCHENKRITIK 2</b> HIL D15 mit Gästen
	Mi 10.11.21	09:00 h	<b>ZWISCHENKRITIK 2</b> HIL D15 mit Gästen
KW46 08	Di 16.11.21	09:00 h 15:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden <b>GESPRÄCH</b> mit Karin Sander, Daniel Binswanger, Harald Welzer ZOOM
	Mi 17.11.21	09:00 h 18:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden <b>RENDERKURS</b> mit David Klemmer
		Di 23.11.21	09:00 h
KW47 09	Mi 24.11.21	16:00 h	<b>VORTRAG / GESPRÄCH</b> mit Ingemar Vollenweider ZOOM
	Mi 24.11.21	09:00 h 18:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden (Arend Kölsch per ZOOM) <b>RENDERKURS</b> mit David Klemmer
		Di 30.11.21	09:00 h
KW48 10	Mi 01.12.21	09:00 h	<b>ZWISCHENKRITIK 3</b> HIL D15
	Di 07.12.21	09:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden
KW49 11	Mi 08.12.21	15:00 h	<b>VORTRAG / GESPRÄCH</b> mit Gianluca Ambrosetti, Synhelion
		09:00 h 18:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden <b>RENDERKURS</b> mit David Klemmer
	Di 14.12.21	09:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden
KW50 12	Mi 15.12.21	09:00 h 18:00 h	individuelle Arbeit, Tischkritik mit Assistierenden <b>RENDERKURS</b> mit David Klemmer
	Mo 20.12.21	12:00 h 18:00 h	Schlussabgabe und komplette Räumung des Zeichensaals HIL D15 Aufbau der Kritikzone im Zeichensaal gemäss Plan Assistenz
KW51 13	Di 21.12.21	09:00 h	<b>SCHLUSSKRITIK</b> HIL D15 mit Gästen
	Mi 22.12.21	09:00 h 20:00 h	<b>SCHLUSSKRITIK</b> HIL D15 mit Gästen Apéro zum Semesterabschluss

**KONZEPTBESPRECHUNG\*:** Analyse: Baubestand und Umgebung anhand von Plänen, Karten, Fotos (evtl. Video)  
 • Fokus: Entwurfsidee vermittelt mit kurzem Beschrieb/Text, Konzeptskizzen, Konzeptplänen und Volumenstudien physisch oder 3D  
 • Erste Überlegungen zu Klima-, Komfort- und Energiepotentialanalyse – Wegleitung der Professur Schlüter: <https://moodle-app2.let.ethz.ch/mod/book/view.php?id=476190&chapterid=9785>

**SEMINARTAG MIT GÄSTEN\*:**  
 Vorstellung/Analyse je eines Aspekts/Kapitels anhand von PDFs/ppt.

**ZWISCHENKRITIK 1\*:** Volumen / Umgang mit Bestand/ Nutzungskonzept / architektonischer Ausdruck / räumliche Konzeption / Erschliessungen  
 • Einsatzmodell Volumen physisch / 3D  
 • Grundrisse, Schnitte, Fassadenskizze, Konzept Tragstruktur, Konzept Konstruktion  
 • Visualisierungen: Skizzen, Montagen  
 • Erste Angaben zu Energiebedarf und allgemeiner Grundhaltung – Wegleitung der Professur Schlüter: <https://moodle-app2.let.ethz.ch/mod/book/view.php?id=476190&chapterid=9788>

**ZWISCHENKRITIK 2\*:** Städtebau / Nutzungen / Ausdruck / Konstruktionsprinzip  
 • Einsatzmodell / Arbeitsmodell Wohnungen physisch / 3D  
 • Grundrisse, Schnitte, Fassaden, Zimmer- und Wohnungsgrössen beschriftet, Wohnungen möbliert, Tragstruktur und Konstruktion Mst. 1: 20 / 1: 10, (evtl. erste Renderings)  
 • Angaben über graue Energie/grauer CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Betriebsenergie/-CO<sub>2</sub>-Ausstoss des Aufbaus / Berechnungen mit SIA 2040 / oder Caala \*\*  
 Wegleitung der Professur Schlüter: <https://moodle-app2.let.ethz.ch/mod/book/view.php?id=476190&chapterid=9789>

**ZWISCHENKRITIK 3\*:** Projektkritik / Grundrisse, Schnitte, Fassaden / Konstruktion / Materialisierung und Ausdruck  
 • Modell physisch / 3D  
 • Projektpläne  
 • Visualisierungen  
 • Details Konstruktion und Materialisierung Aussen und Innen  
 • Angaben über graue Energie/grauer CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Betriebsenergie/-CO<sub>2</sub>-Ausstoss / Berechnungen mit SIA 2040 / oder Caala \*\*

**SCHLUSSKRITIK\*:**  
 • 6 Pläne im Querformat A0  
 • Grundrisse, Schnitte, Fassaden  
 • Fassadenschnitt 1: 20 / 1:10 mit Aussen- und Innenansicht  
 • Visualisierungen/ bewegte Bilder Aussen und Innen  
 • Modell physisch / 3D

#### Allgemeine Hinweise zur Darstellung:

- gut lesbare Pläne (Linien nicht zu fein, sichtbar aus 4 Metern Distanz/ bzw. auf Zoom), keine zu detaillierte Möblierung in den Plänen
- Beschriftung unten links: „HS21, Professur Gigon / Guyer, Leitung Prof. Annette Gigon“, unten rechts: „StudentIn: Vorname Name, Anzahl Semester (z.B. 5. Semester), AssistentIn: Vorname Name“

#### BEURTEILUNGSKRITERIEN:

Schlüssigkeit architektonisches Konzept  
 Umgang mit dem Baubestand / Zusammenspiel mit dem Bestand hinsichtlich:  
 Volumen / Funktion / Materialwahl / Konstruktion/ Detaillierung / Ausdruck  
 Innenräumliche Qualitäten  
 Grundrisse / Schnitte / Fassadenzeichnungen  
 Konstruktion / Detaillierung (aussen / innen)

#### Weitere wichtige Kriterien:

Konzeption Nachhaltigkeit  
 Qualität der Darstellung in Zeichnung, Rendering und Modell  
 Projektvorstellung / Vermittlung  
 Projektentwicklung im Verlauf des Semesters

#### \*\* Zu berechnende Kennzahlen:

- Thermischer Energiebedarf in kWh/a/m<sup>2</sup>EBF (α = annual, m<sup>2</sup>EBF = m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche)
- Thermischer Energieertrag in kWh/a/m<sup>2</sup>Koll. (m<sup>2</sup>Koll. = m<sup>2</sup> Kollektorfläche) (nur falls vorhanden)
- Elektrischer Energiebedarf in kWh/a/m<sup>2</sup>EBF
- Elektrischer Energieertrag in kWh/a/m<sup>2</sup>PV (m<sup>2</sup>PV = m<sup>2</sup> PV-Module) (nur falls vorhanden)
- Treibhausemissionen Erstellung in kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>EBF
- Treibhausemissionen Betrieb in kgCO<sub>2</sub>eq/a/m<sup>2</sup>EBF
- Treibhausemissionen Entsorgung in kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>EBF

\*ETH Höggerberg oder über Zoom - je nach epidemiologischer Lage

\*Änderungen sind vorbehalten und werden frühzeitig angekündigt

Während des Semesters versuchen wir gemeinsam unseren Wissenshorizont zum hochkomplexen Themenkreis Klimaerwärmung auszuweiten – die fortlaufende Information aus verschiedenen Tageszeitungen gehört ebenso dazu, wie die Befähigung Daten und Fakten einzuordnen und die heute verfügbaren Tools zu verstehen und anzuwenden.

# Zu berechnende Kennzahlen Beispielhafte Darstellung

ETH zürich

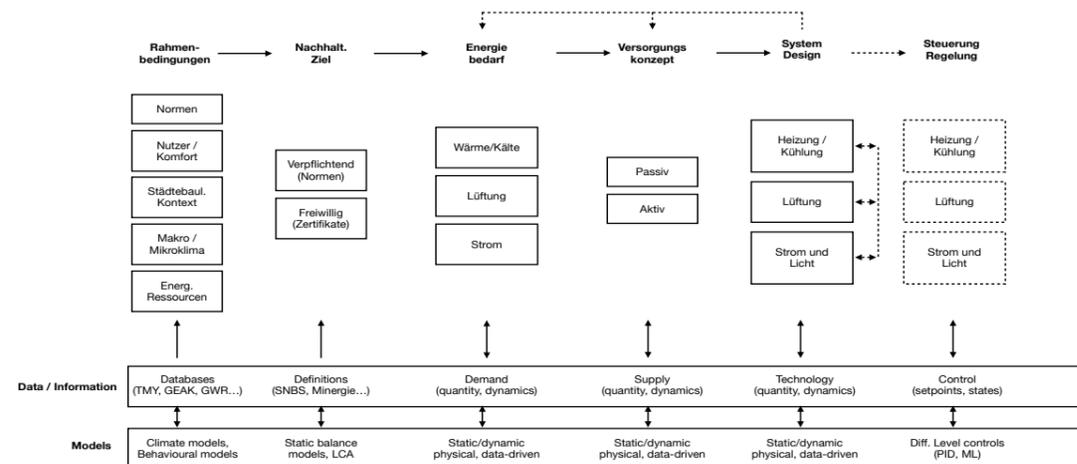
## ENERGETISCHE ECKDATEN

	Projektwerten	Richtwerten*
<b>Thermischer Energiebedarf</b>	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	13 - 59 kWh / m <sup>2</sup> EBF
Heizung	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	10 - 26 kWh / m <sup>2</sup> EBF
Kühlung	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	0 (nat.Lüftung) - 13 kWh / m <sup>2</sup> EBF
Warmwasser	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	3 (Büro) - 20 (Wohnen) kWh / m <sup>2</sup> EBF
<b>Thermischer Energieertrag</b>	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	
Solarthermie	x kWh / m <sup>2</sup> ST	400-600 kWh / m <sup>2</sup> ST
<b>Elektrischer Energiebedarf</b>	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	8 - 37 kWh / m <sup>2</sup> EBF
Geräte	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	6 - 14 kWh / m <sup>2</sup> EBF
Beleuchtung	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	2 (Wohnen) - 19 (Büro) kWh / m <sup>2</sup> EBF
Lüftung	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	0 (nat.Lüftung) - 4 kWh / m <sup>2</sup> EBF
<b>Elektrischer Energieertrag</b>	x kWh / m <sup>2</sup> EBF	
PV Ertrag	x kWh / m <sup>2</sup> PV	100-200 kWh / m <sup>2</sup> PV

A / S Architecture and Building Systems  
 EBF = Energiebezugsfläche. Wenn EBF nicht bekannt ist, kann der Wert mit 0,9\*NGF angenähert werden. (SIA 2024 (2015))  
 \* SIA 2024 (2015), Bandbreite von Standard und Zielwerten für Wohnen (MFH) und Büro

ETH zürich

## Integration von Energie, Nachhaltigkeit und Komfort



A / S Architecture and Building Systems  
 Prof. Dr. Arno Schlueter  
 Institute of Technology in Architecture (ITA)  
 ETH Zurich

ETH zürich

## TREIBHAUSGASEMISSIONEN

	Projektwerte	Richtwerte
<b>Herstellung</b>	x kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF	0* - 270** kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF
Gebäudestruktur	x kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF	0* - 208** kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF
Gebäudesysteme	x kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF	0* - 62** kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF
<b>Betrieb</b>	x kgCO <sub>2</sub> eq/a m <sup>2</sup> EBF	0* - 5** kgCO <sub>2</sub> eq/a m <sup>2</sup> EBF
<b>Entsorgung</b>	x kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF	0* - 55** kgCO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> EBF

A / S Architecture and Building Systems  
 \* Richtwert Zukunft  
 \*\* SIA 2040 (2017), SIA 2032 (2010)



## FÜNF STANDORTE IN ZÜRICH

- **Badenerstrasse 555**
- **Badenerstrasse 571**
- **Badenerstrasse 585**
- **Winterthurerstrasse 94**
- **Forchstrasse 225**

**Winterthurerstrasse 94**

**Badenerstrasse 585**

**Badenerstrasse 571**

**Badenerstrasse 555**

**Forchstrasse 225**

Zürich

Zürchersee

# 01 BADENERSTRASSE 555

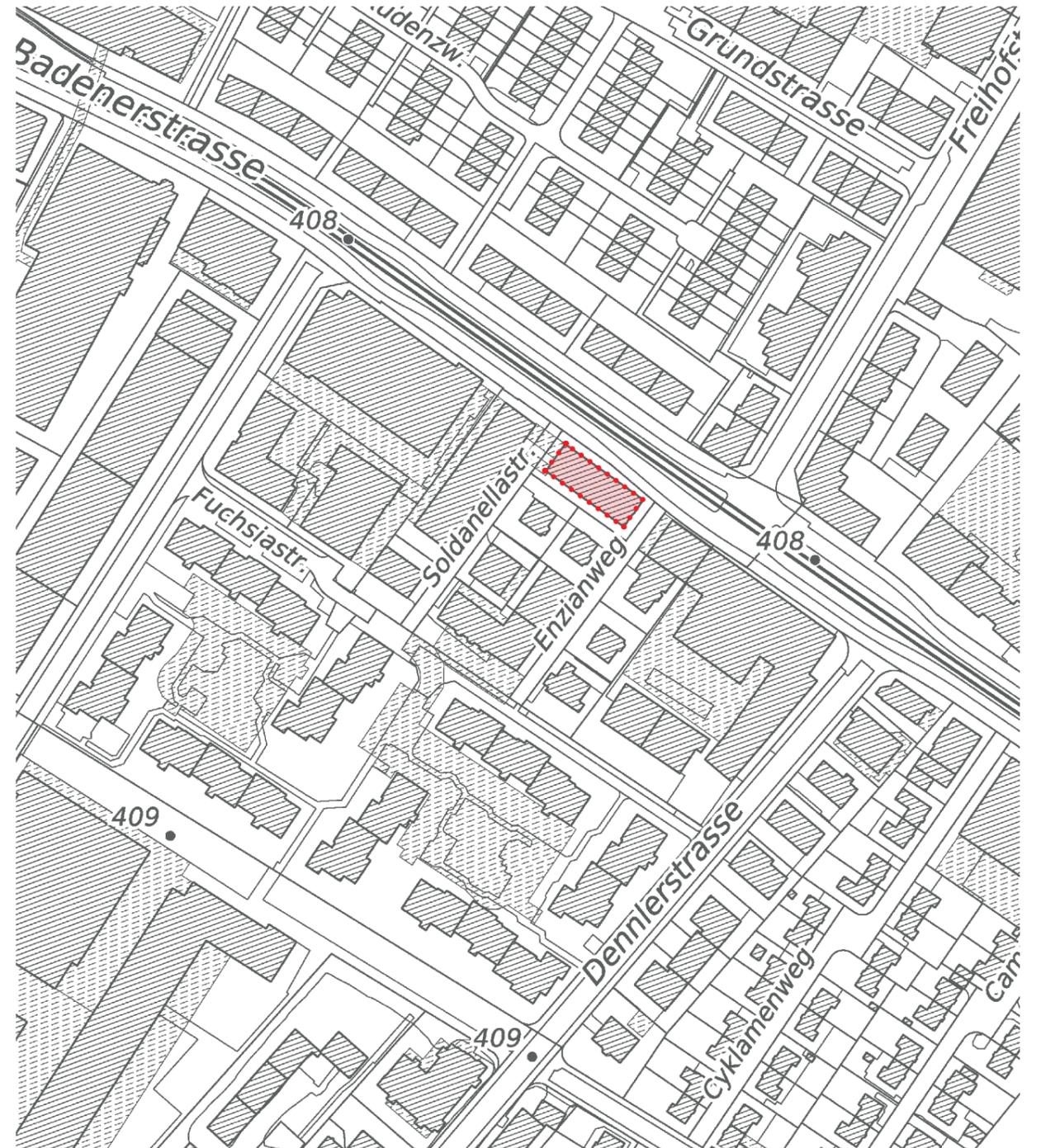
NEUMAIER + ZWEIACKER ARCHITEKTEN, 1956



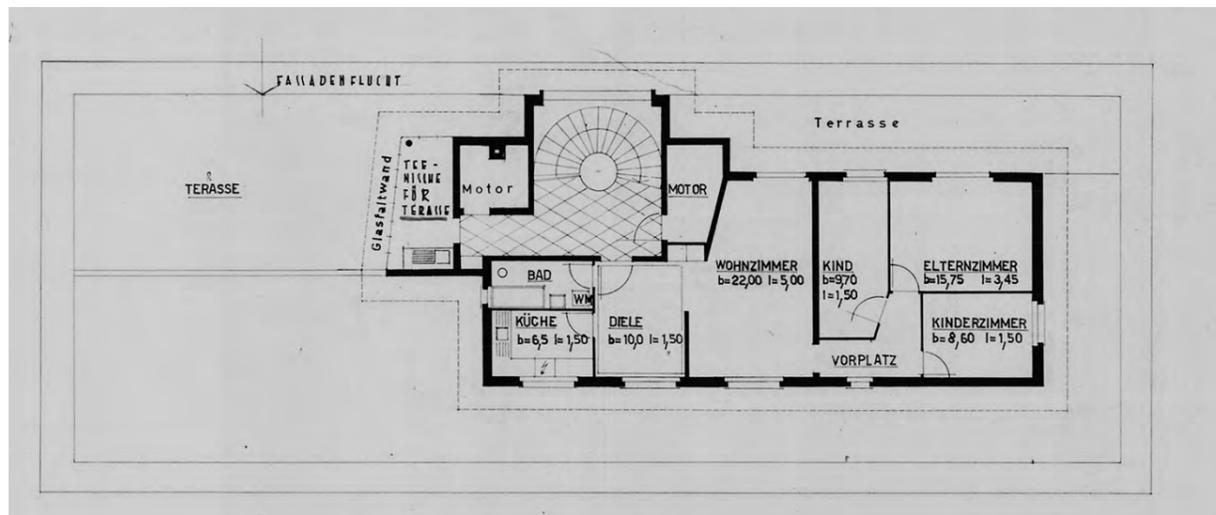
Luftbild



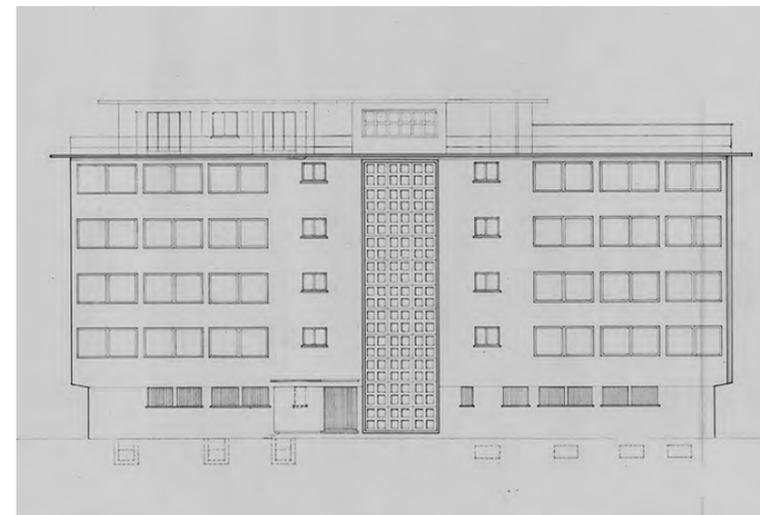
Bestand



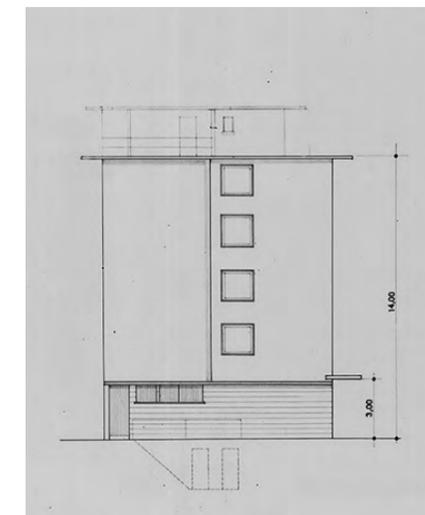
M 1:2000



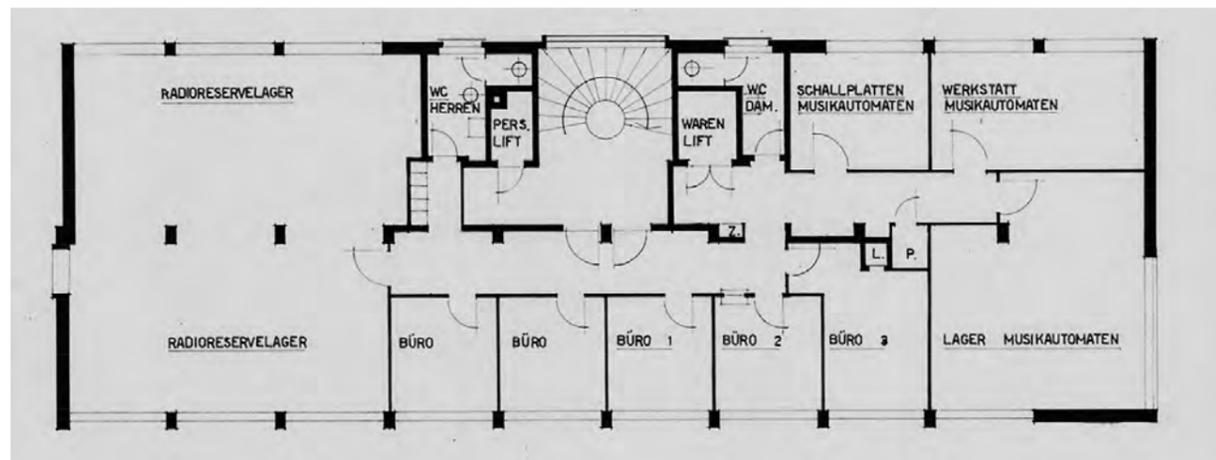
Dachgeschoss o. M



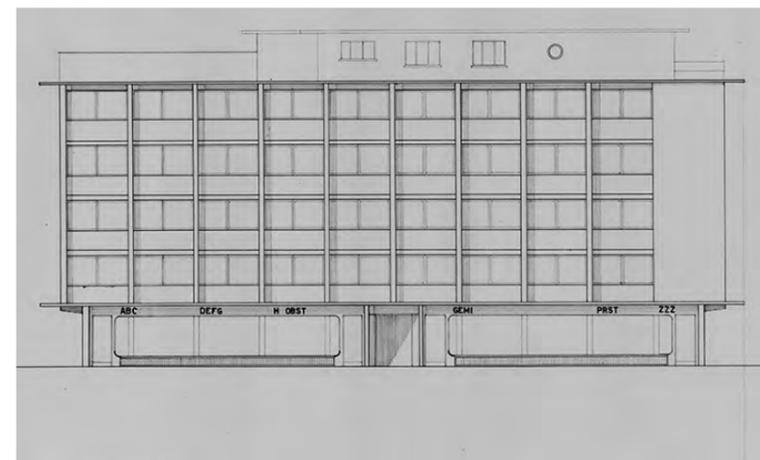
Süd-West Fassade o. M



Süd-Ost Fassade o. M



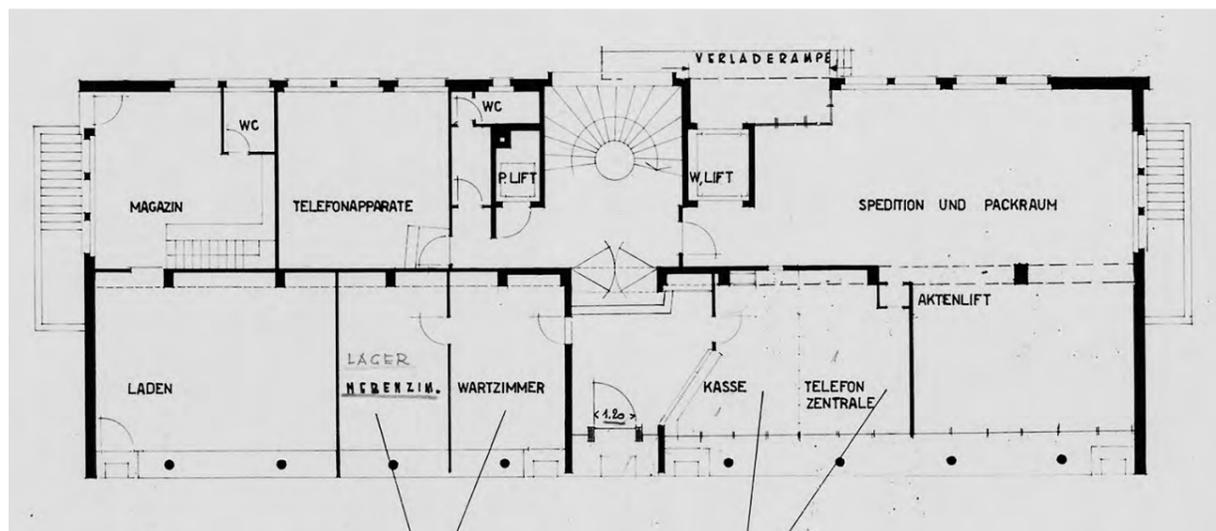
3. Obergeschoss o. M



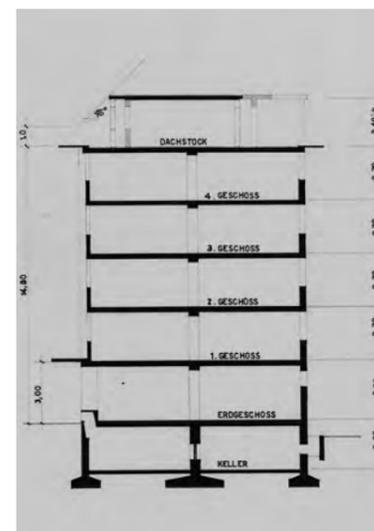
Nord-Ost Fassade o. M



Nord-West Fassade o. M



Erdgeschoss o. M



Querschnitt o. M

# 02 BADENERSTRASSE 571

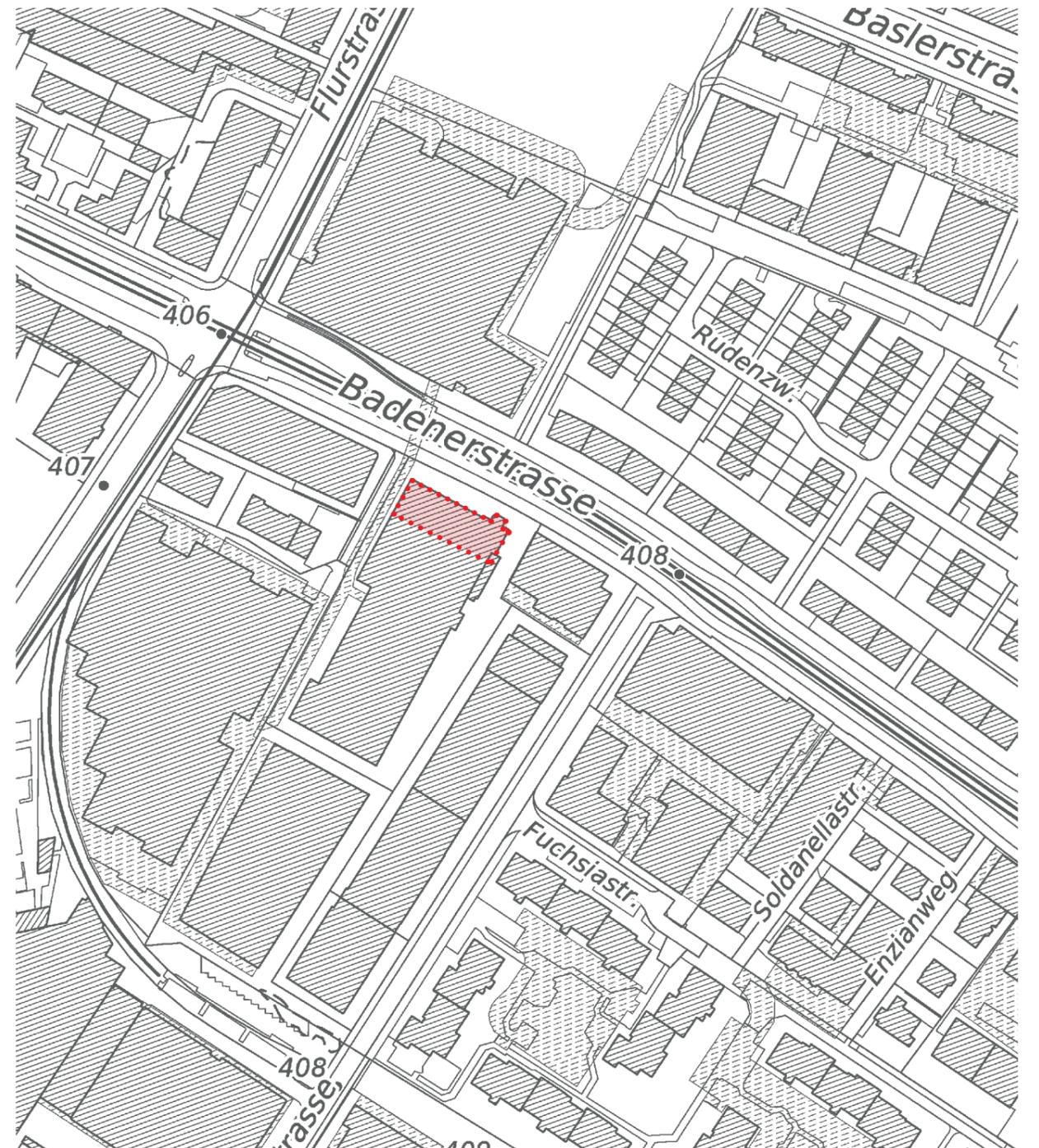
MAX G. SÜTTERLIN, 1952



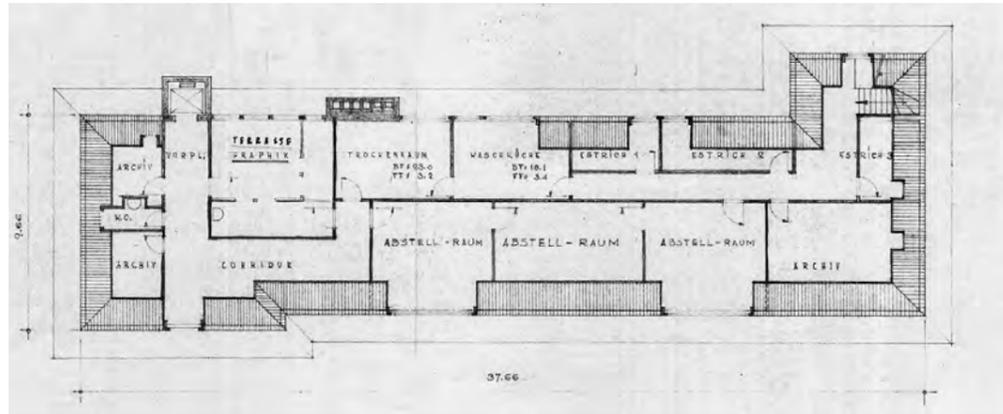
Luftbild



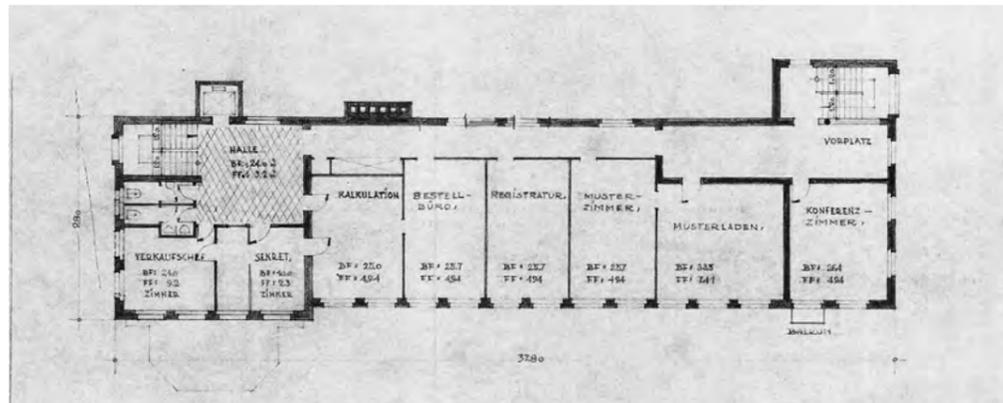
Bestand



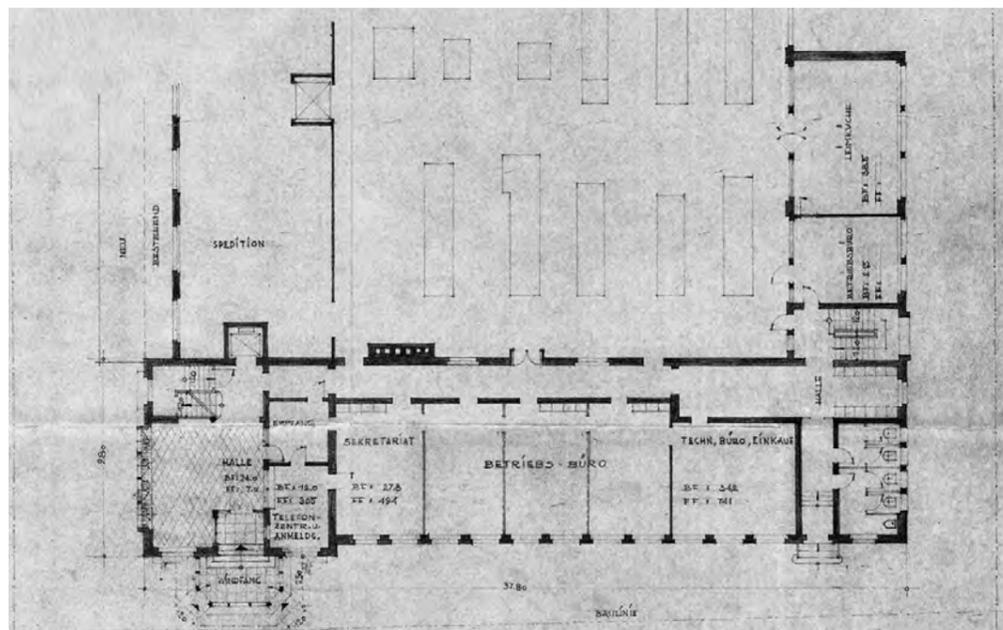
M 1:2000



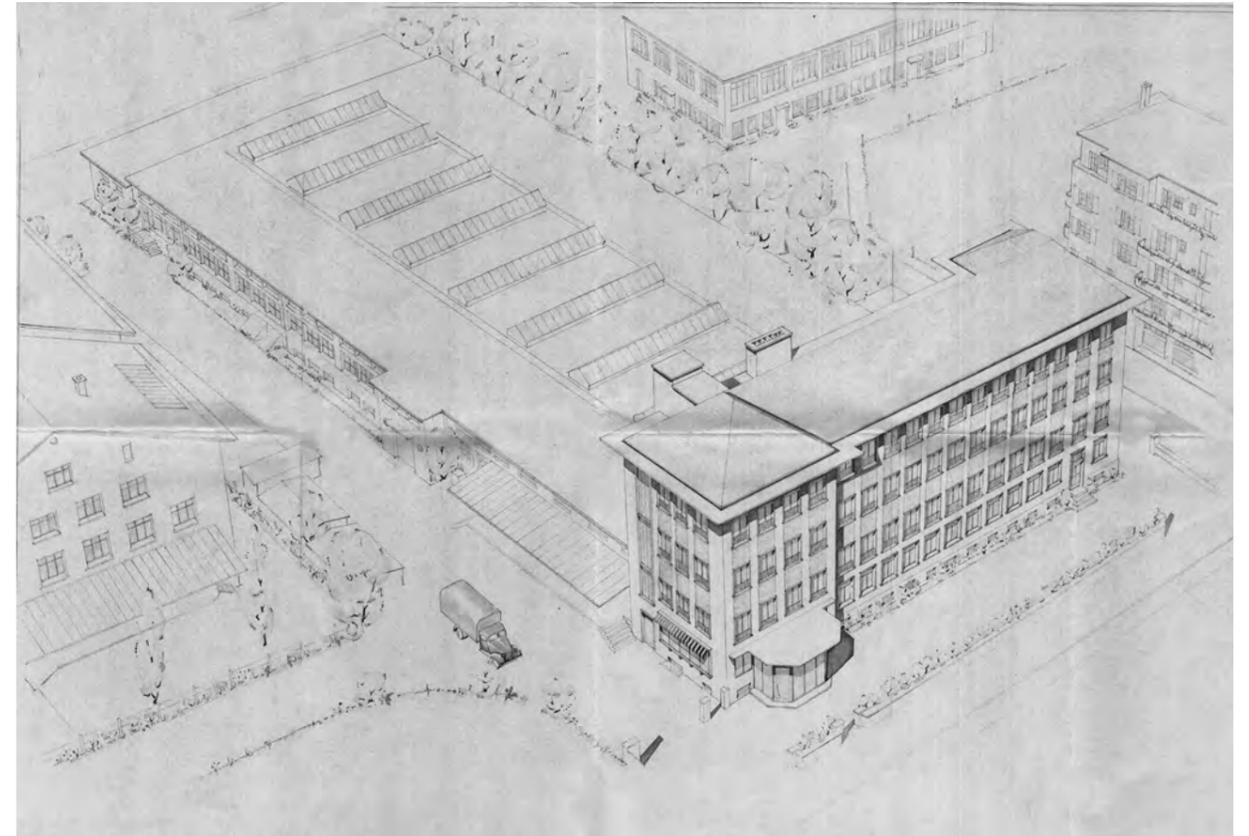
Dachgeschoss o. M



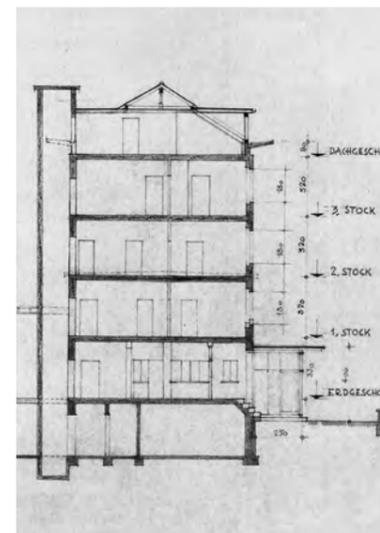
1. Obergeschoss o. M



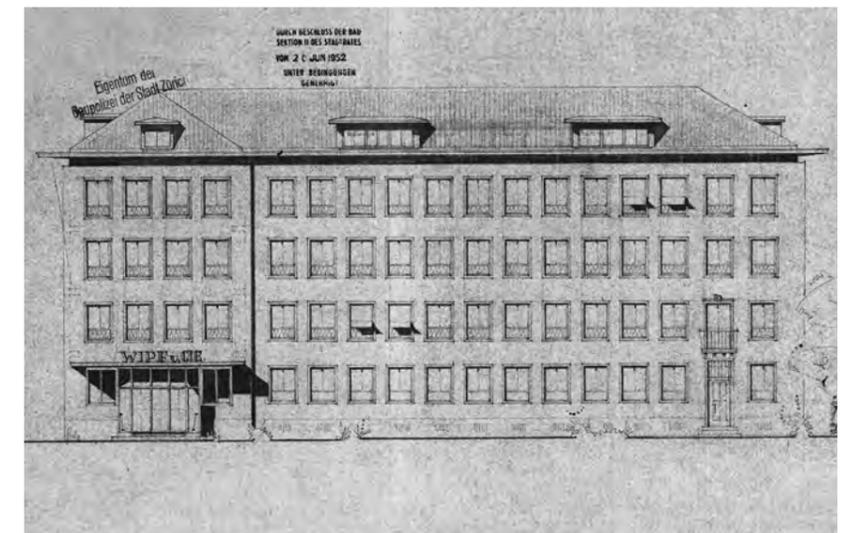
Erdgeschoss o. M



Flugperspektive o. M



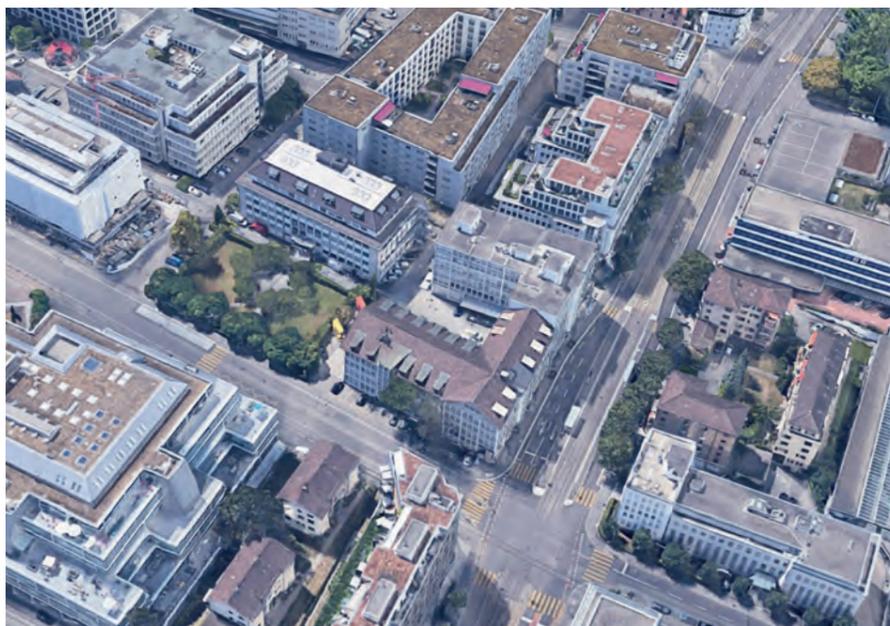
Querschnitt o. M



Nordfassade o. M

# 03 BADENERSTRASSE 585

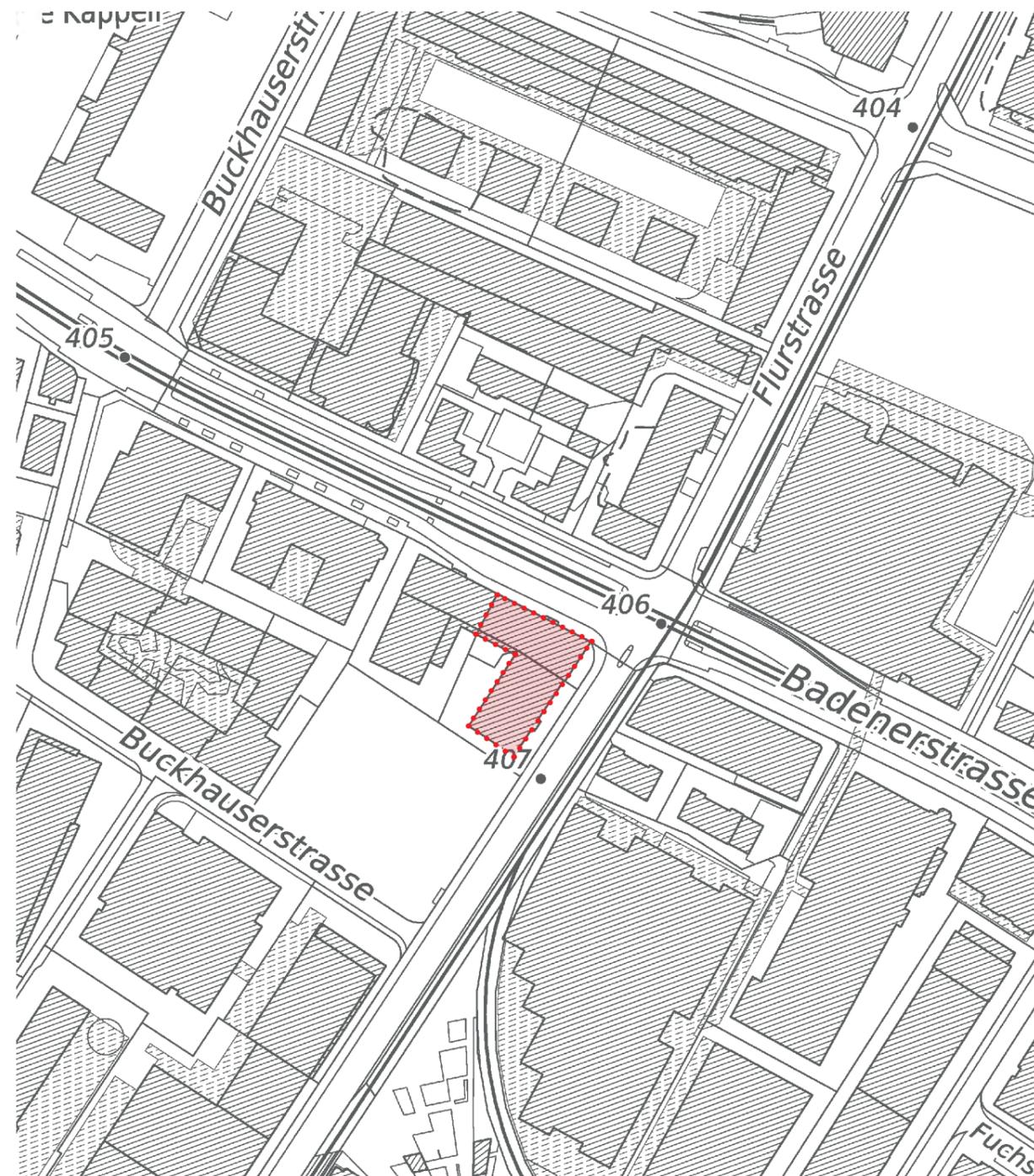
H. WEIDELI & SOHN UND A. MÜGGLER ARCHITEKTEN, 1948



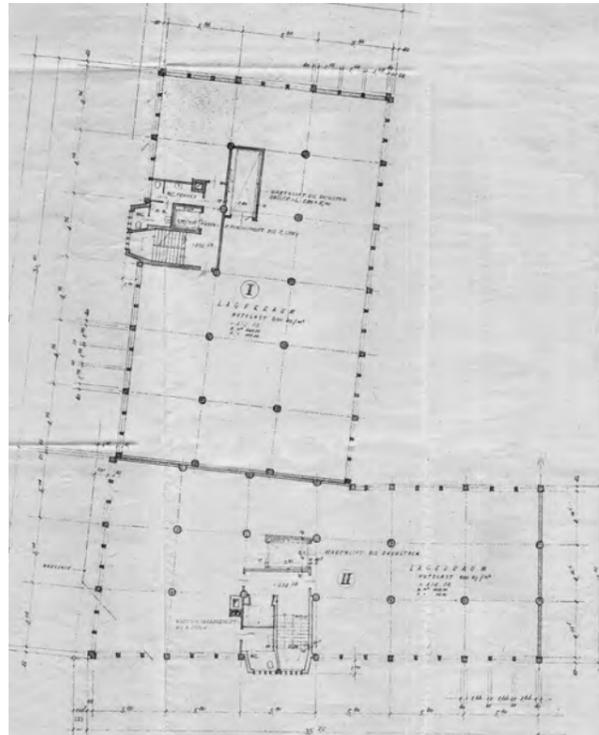
Luftbild



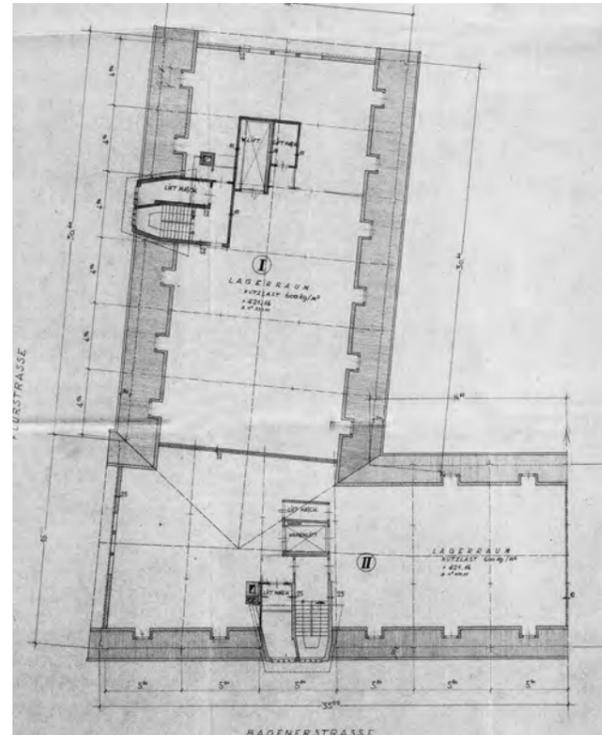
Bestand



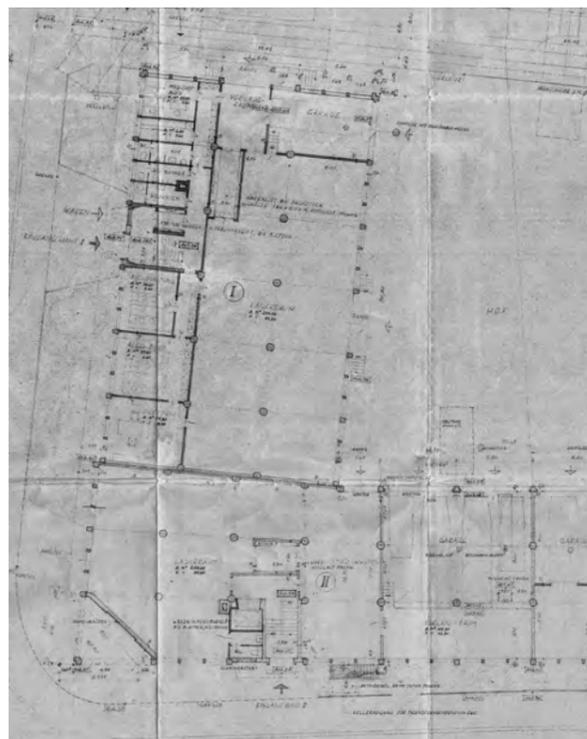
M 1:2000



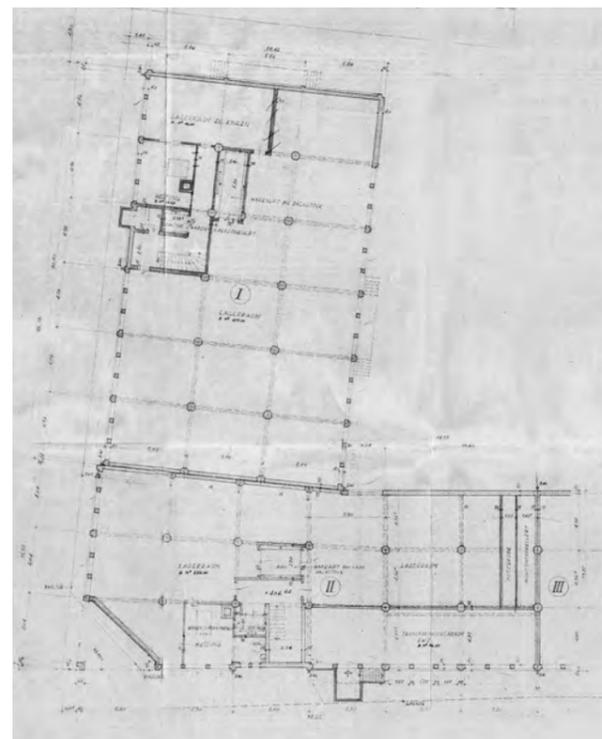
2. Obergeschoss o. M



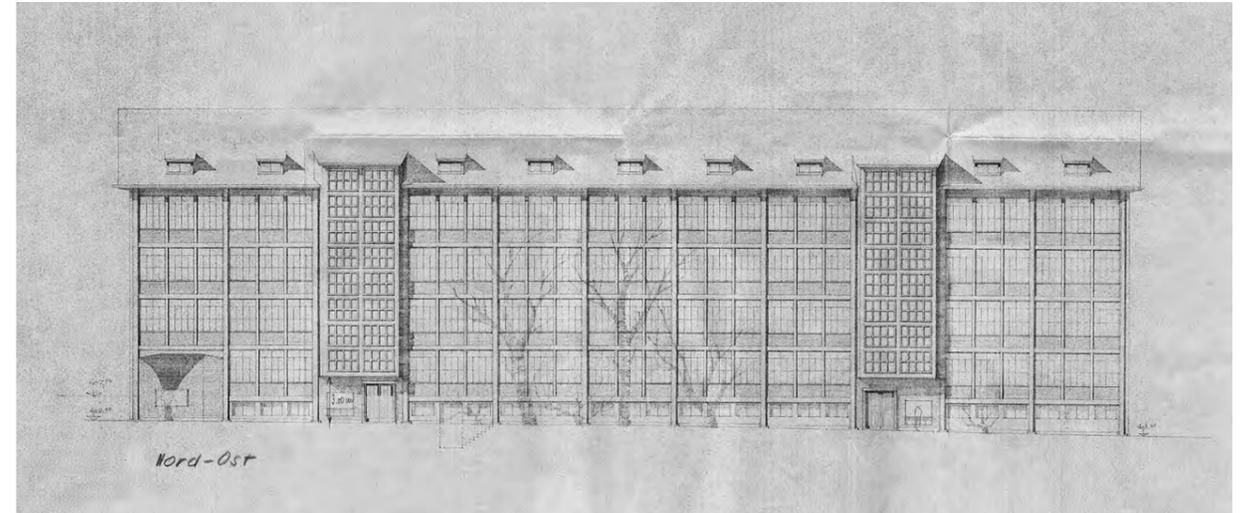
Dachgeschoss o. M



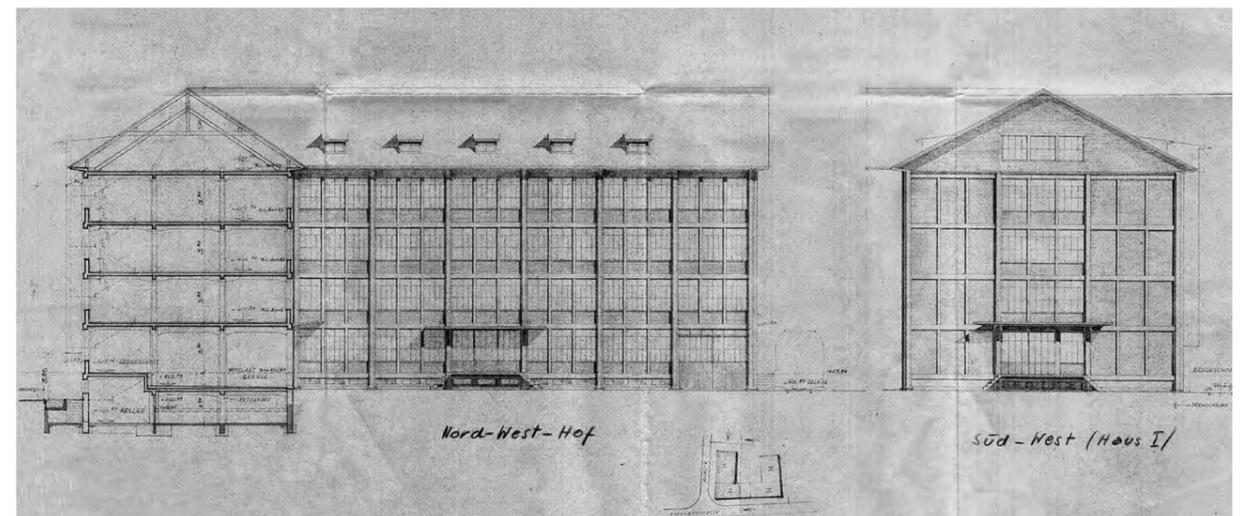
Erdgeschoss o. M



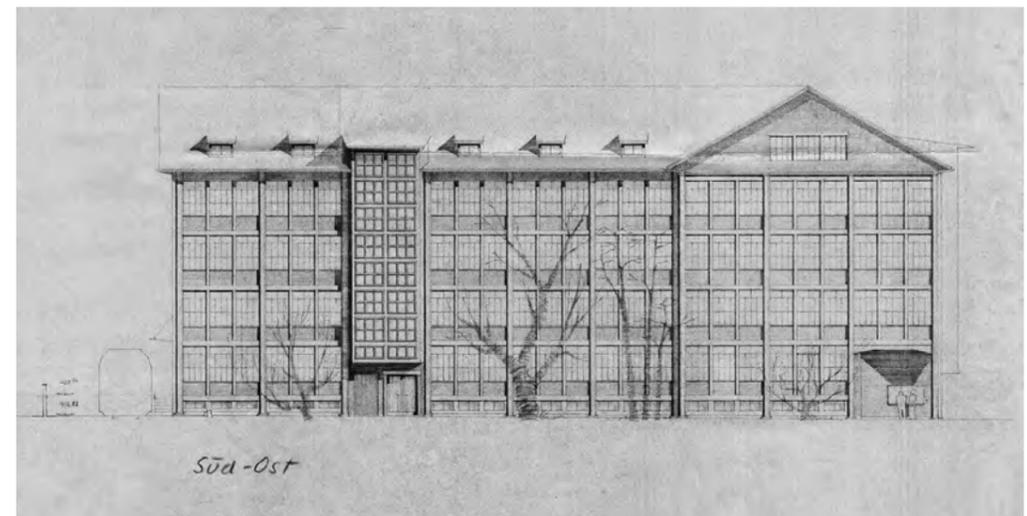
Kellergeschoss o. M



Nord-Ost Fassade o. M



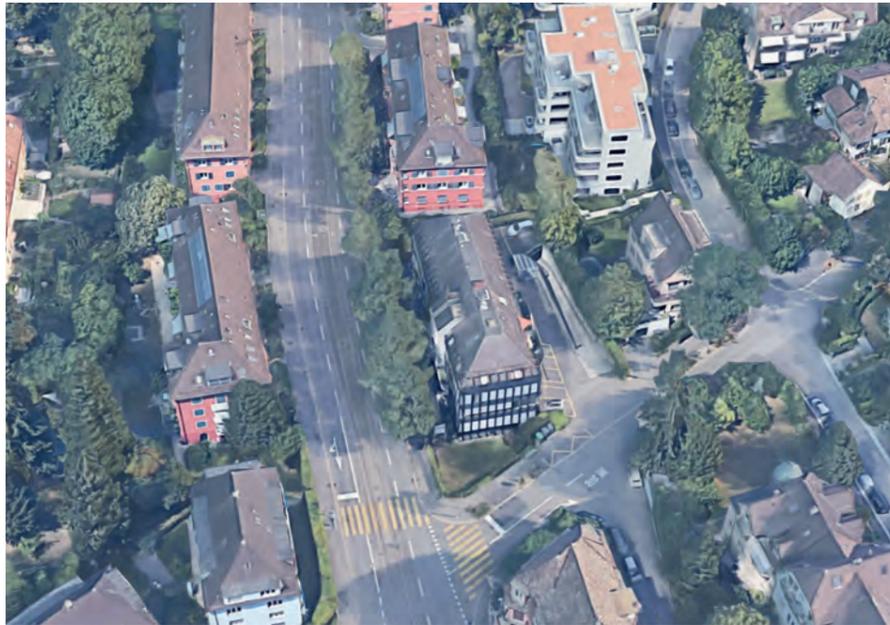
West Fassade o. M



Süd-Ost Fassade o. M

# 04 WINTERTHURERSTRASSE 94

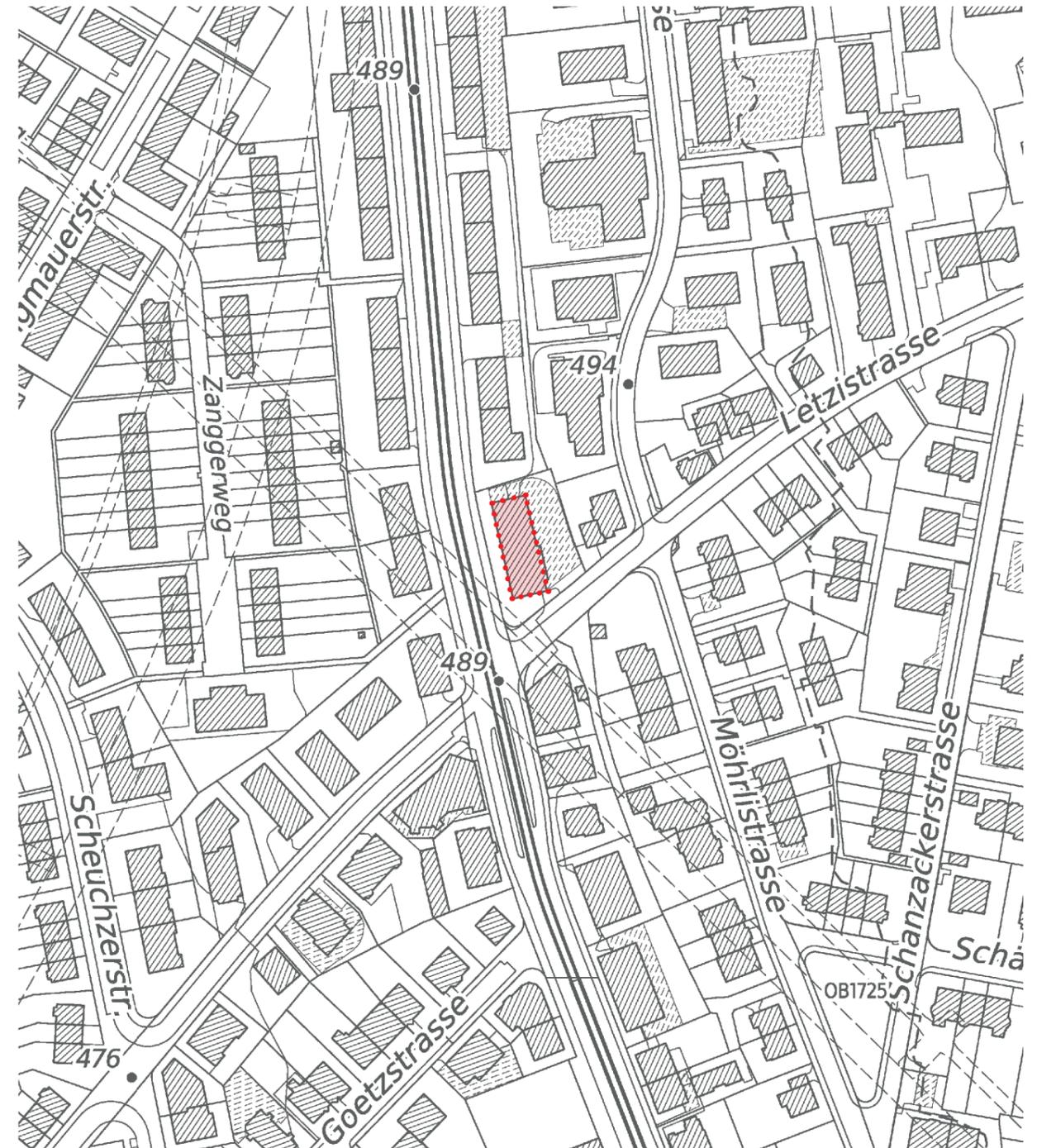
ARCHITEKTURBÜRO SCHÜRCH & SCHUCHTER, 1970



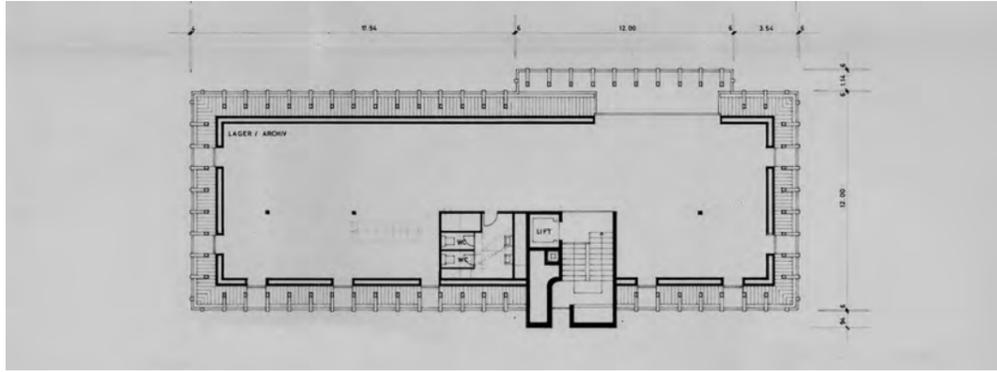
Luftbild



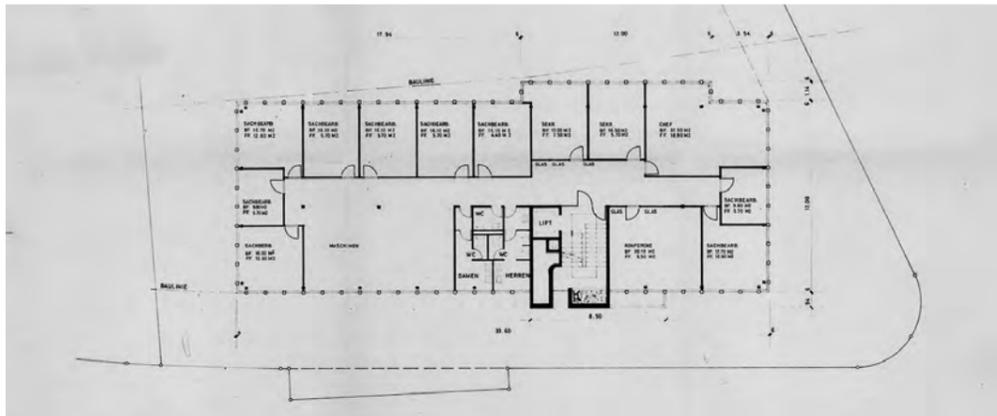
Bestand



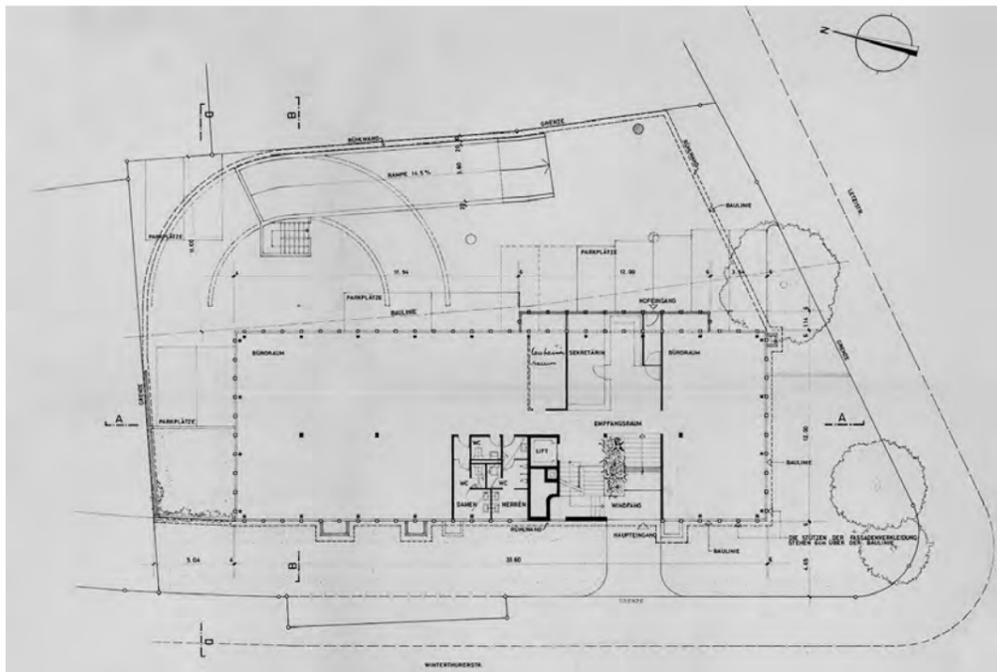
M 1:2000



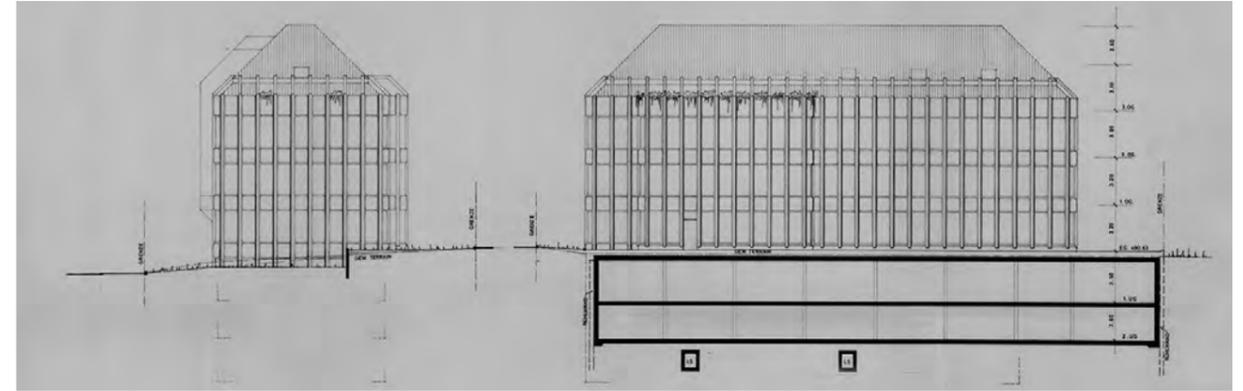
Dachgeschoss o. M



1. Obergeschoss o. M

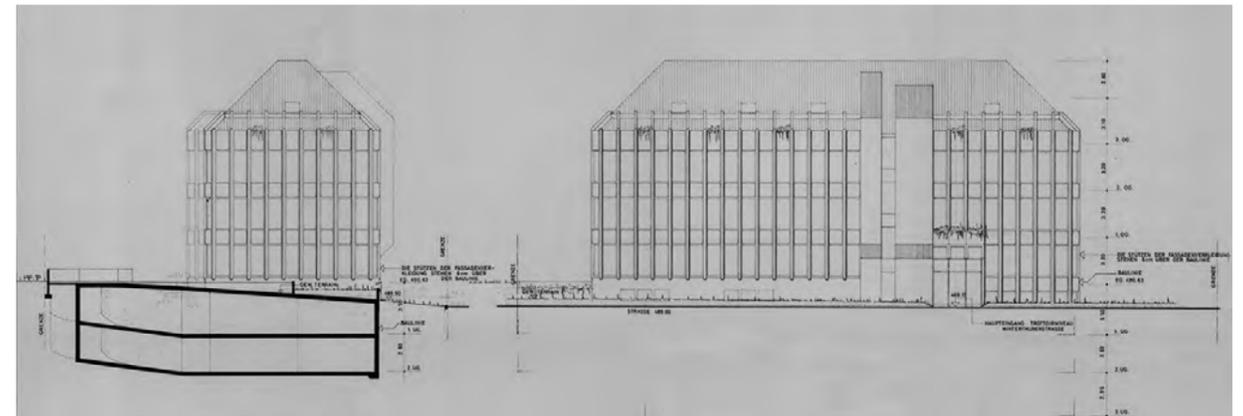


Erdgeschoss o. M



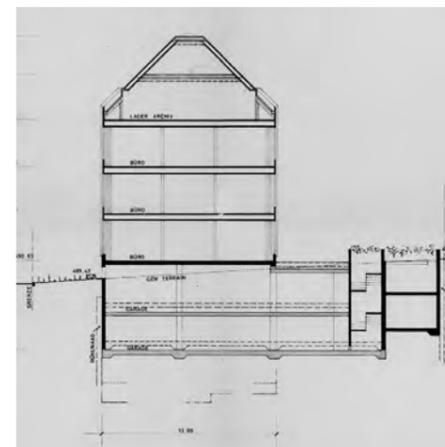
Südfassade o. M

Ostfassade o. M

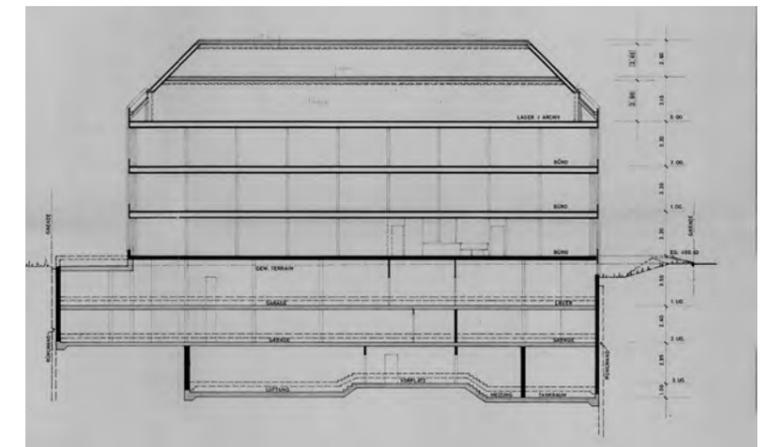


Nordfassade o. M

Westfassade o. M



Querschnitt o. M



Längsschnitt o. M

# 05 FORCHSTRASSE 225

BAERLOCHER + UNGER ARCHITEKTEN, 1958



Luftbild

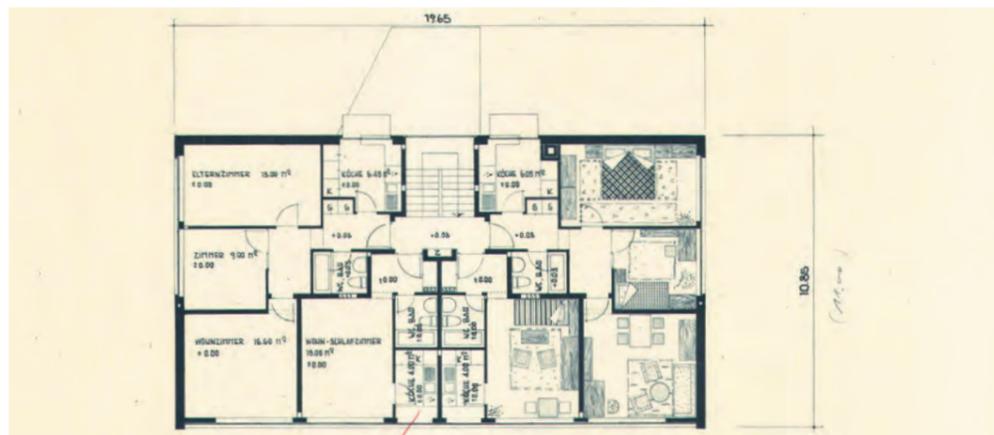


Bestand



RI1251

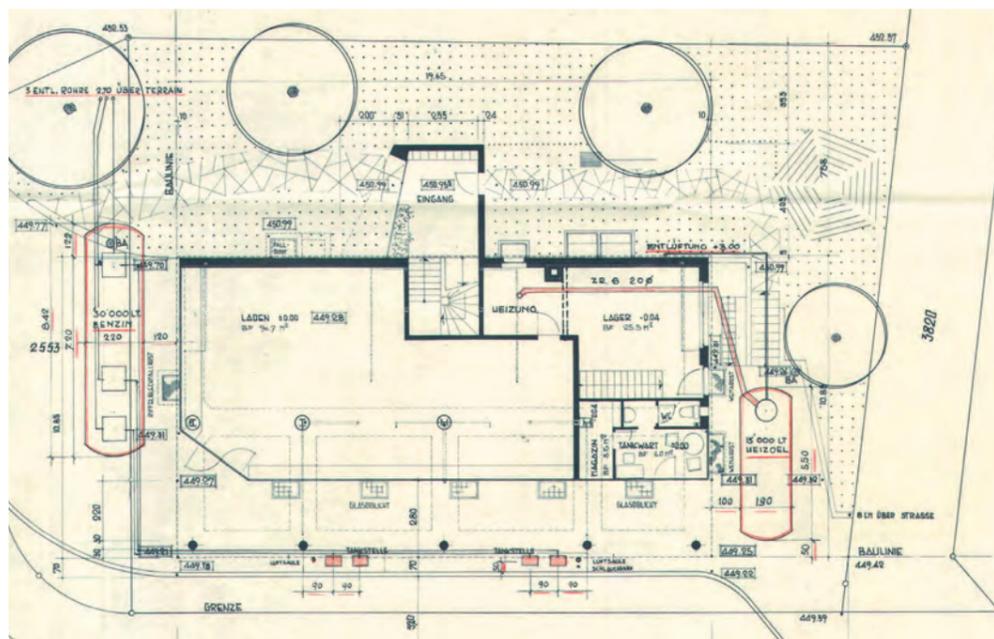
M 1:2000



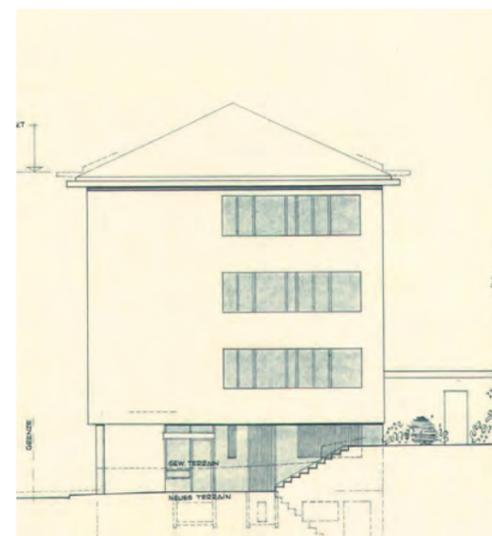
Erdgeschoss bis 2. Obergesch., o. M



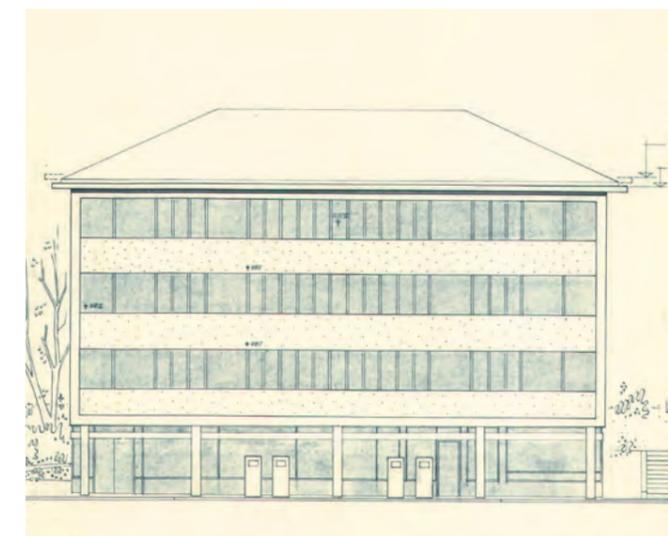
Flugperspektive o. M



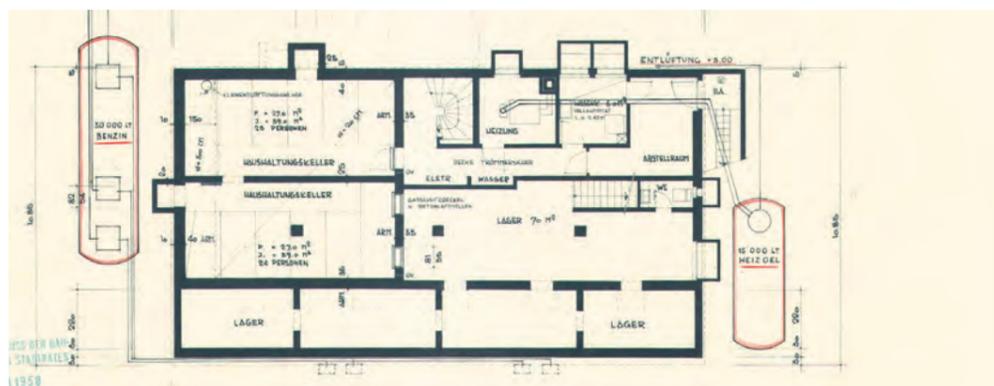
Untergeschoss o. M



Südostfassade o. M



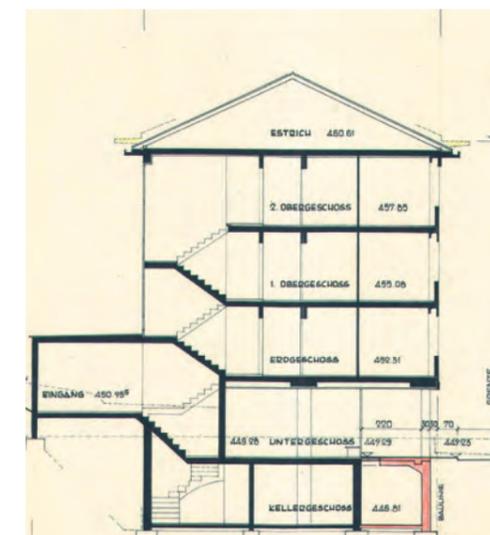
Südwestfassade o. M



Kellergeschoss o. M



Nordwestfassade o. M



Querschnitt o. M



## RAUMPROGRAMM

### Wohnungen im neuen Aufbau, allenfalls auch Umbau der mittleren Bürogewosse zu Wohnungen

Frei wählbarer Wohnungsspiegel zwischen Kleinwohnungen à 50 m<sup>2</sup> bis zu max. Wohnungsgrössen von 140 m<sup>2</sup>. Richtwerte Wohnungsgrössen, für Singles, Familien, WG's.

2½-Zimmer-Wohnungen 50-70 m<sup>2</sup>

3½-Zimmer-Wohnungen 80-100 m<sup>2</sup>

4½-Zimmer-Wohnungen 100-120 m<sup>2</sup>

5½-Zimmer-Wohnungen 120-130 m<sup>2</sup>

Zu jeder Wohnung ist ein privater Aussenraum in Form eines Balkons, einer Loggia, eines Wintergartens oder „Jahreszeitenzimmers“ vorzusehen.

In den Wohnungen sind Stauflächen in Form von Abstellräumen oder Einbauschränken einzuplanen.

Zuteilung der Sanitärräume: bis 3½-Zimmer: Bad/WC/Lavabo  
ab 4½-Zimmer: Bad/WC/Lavabo + Dusche/WC/Lavabo

Küchenausstattung: bis 3½-Zimmer: 4 Küchenelemente (Arbeitsfläche) + 2 Hochschranke  
ab 4½-Zimmer: 5 Küchenelemente (Arbeitsfläche) + 2 Hochschranke

### Erdgeschossnutzung

Öffentliche oder/und gemeinschaftliche Nutzung wie zB. Café, Bistro, Laden, Werkstatt, Kita, etc.  
Wohnungseingänge, Fahrrad- und Kinderwagenabstellplätze, ev. Ladestelle für E-Bikes

Die direkte Anlieferung im Erdgeschoss muss gewährleistet sein.

Die EG-Nutzungen sowie die einzelnen Wohnungen müssen hindernisfrei zugänglich sein.

Die Angaben sind als approximative Richtwerte zu verstehen, je nach gewähltem Standort/Bauplatz variieren die Nutzungen stark.

Anzahl Geschosse und Ausnützung sind projektabhängig nach volumetrischen, städtebaulichen und konstruktiven Überlegungen zu bestimmen.

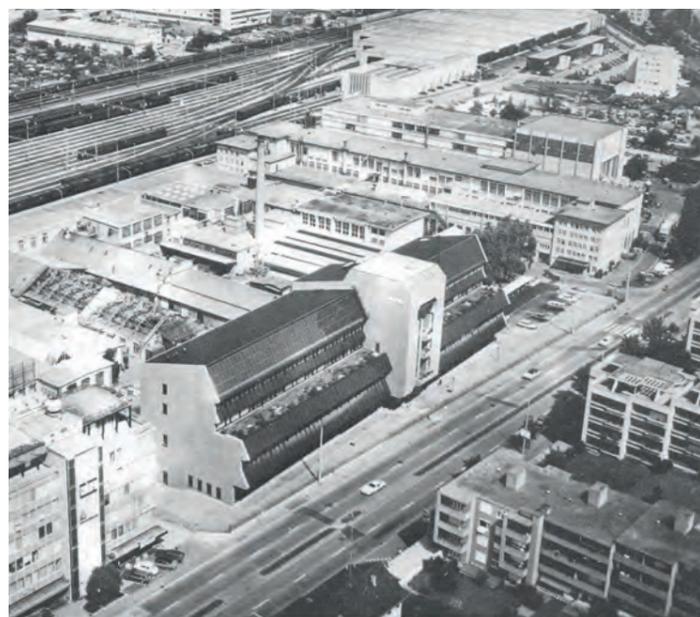
Volumetrie, Geschossflächen und Öffnungsverhalten haben einen direkten Einfluss auf die Gesamtenergiebilanz des Neubaus.



## BEISPIELE ÖKOLOGISCHER PROJEKTE SEIT 1979\*

## 01 Maschinenfabrik Micafil AG, Zürich, 1979

Pierre Sabady

**Wärmedämmung**

**Wand (Steinwolle):** 8 cm  
**Dach:** 8cm  
**Fenster:** 3-fach

**Energieversorgung**

**Solar Thermisch (600m<sup>2</sup>):** 60'000kWh/a

**Projektierte Energiekennwerte**

Europas grösste thermische Solaranlage an der Fassade einer Schweizer Fabrik der 1970er-Jahre wies den Weg in eine Zukunft, die noch nicht eingetreten ist: dass sich die Ästhetik der Architektur und der Solarenergie zu einer neuen Formensprache verschränken könnten.

Als die Hauszeitung des Elektrotechnik Konzerns Brown, Boveri & Cie (BBC, heute ABB) 1978 zum «Zukunftsproblem Nr. 1» berichtete, wie Wissenschaftler die «Energie aus dem Kernreaktor Sonne» auf neue Weisen zu nutzen hofften, bezog sie sich damit gleichzeitig auf atomare wie auch thermische Techniken.

Neben Atomkraft-Grossaufträgen führte die BBC Deutschland in ihrem zentralen Forschungslabor in Heidelberg seit Anfang 1973 Studien zur Nutzungsmöglichkeit von Sonnenenergie durch. Im Frühjahr 1974 gingen die ersten Versuchsanlagen zur Warmwasserbereitung in Betrieb, ab 1976 wurden thermische Kollektoren entwickelt – vor allem für die Montage auf Dächern von Einfamilienhäusern.

Am Gebäude der Tochtergesellschaft Micafil an der Badenerstrasse in Zürich erprobte BBC ein Architekturkonzept, in dem sich die Erwartungen an die Solarthermie nach der ersten Ölkrise von 1973 in architektonisch expressiver Weise spiegeln. Micafil plante ab 1974 eine Fabrik für Feindrahtwickelmaschinen.

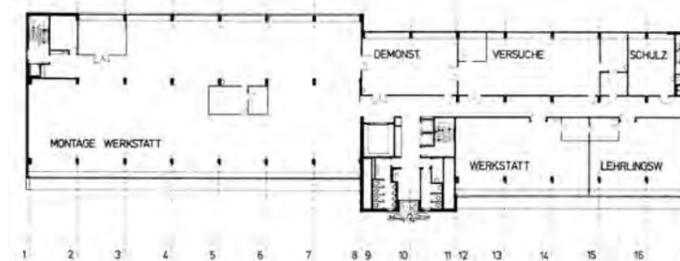
Europas grösstes in einen Industriebau integriertes Solarprojekt der 1970er-Jahre war die Folge verschiedener Voraussetzungen: des persönlichen Engagements von Micafil-Hausarchitekt Pierre Robert Sabady (1938–1994), der Pläne von Bernhard Winkler (heute WSS Architekten) und der energiepolitischen Zuversicht der BBC, dass sich Investitionen in die Solarenergie in Zukunft auszahlen würden. «Die Sonne – neuer Mitarbeiter bei Micafil» titelte die BBC-Hauszeitung ihren Bericht zur grossflächigen Kollektoranwendung in Zürich, die in der Fach- und Publikumspresse einiges Aufsehen erregte.<sup>s</sup>

Mit der Ausrichtung nach Süden und grossen, um 60° geneigten Dach- und Brüstungsflächen folgte der Entwurf der Micafil-Fabrik den Prinzipien architektonischer Solarenergiegewinnung, wie sie z. B. seit den 1930ern am MIT in Boston untersucht wurden. Für den sommerlichen Wärmeschutz auf der Südfassade sah der Ent-

wurf eine tiefe Fassadenmodulation mit Verschattung vor, für den winterlichen Wärmeschutz knapp bemessene Bandfenster. Die Nordfenster sind klein. Alle Fenster sind dreifachverglast. Aussenwände und Dach sind mit 8 cm Steinwolle (k-Wert 0.4) isoliert, ein überdurchschnittlicher Wert zu einer Zeit, als die SIA-Norm 180 erst als «Empfehlung für Wärmeschutz im Hochbau» vorlag.

Anders als beim 1977 eröffneten Citicorp-Hochhaus in New York, wo die Solarpaneele (auf der 45-Grad-Fläche) als zu teuer erachtet und schliesslich verworfen wurden, investierte Micafil in Solartechnik. Dach- und Brüstung von je 60° Neigung waren auf maximale thermische Gewinne über solare Luft- und Wasserkollektoren ausgelegt. Die 135 wasserführenden Kollektoren auf dem Dach schlugen mit 150 m<sup>2</sup> zu Buche, in den Fensterbrüstungen wurden weitere 450 m<sup>2</sup> Luftkollektoren installiert.

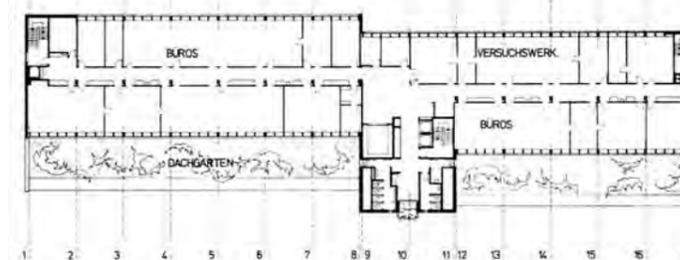
Bei Bezug am 1. März 1979 errechnete sich die Firma eine Verzinsung von 2.5% der «ökotechnischen» Investitionen, die sich auf 5% der Bausumme beliefen. Im Vergleich zu den damaligen Zinsersparungen erschien das zwar als wenig – angesichts des bedrohlichen Anstiegs der Energiepreise nach der Erdölkrise waren Alternativen allerdings dringend benötigt. Bald nach dem Bezug der Maschinenfabrik folgte die zweite Ölpreiskrise der 1970er-Jahre, die die Sonnenenergie umso mehr als ökonomische Alternative bestätigte. Für die 600 m<sup>2</sup> solarthermischer Kollektoren errechneten die Planer Energieerträge von 60 000 kWh pro Jahr. Im Juni 1979, drei Monate nach Inbetriebnahme, waren sie bereits zu zwei Dritteln erreicht. «Die Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des BBC-Solar-Systems sowie die noch fortlaufenden Langzeittests haben gezeigt, dass ein Besitzer im Jahresmittel mehr als die Hälfte der Energie für die Warmwasserbereitung aus der Sonnenstrahlung gewinnt. Durch die Senkung des Anlagenpreises arbeiten die Anlagen bei dem derzeitigen Ölpreis wirtschaftlich.» Die Kollektoren an der Fassade der Fabrik, wegweisend für den Einsatz von Solarthermie in einem dichten städtischen Umfeld, blieben allerdings nur wenige Jahre in Betrieb. Eine amortisierbare Solaranlage ist nicht nur abhängig von den wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen, sondern auch vom technischen Konzept. Die Verteilung und Umwandlung der thermischen Gewinne geschah in einem aufwendigen System, das mit der Le-



Grundriss 1. Obergeschoss 1:750



Schnitt durch West-Trakt 1:750



Grundriss 2. Obergeschoss 1:750



Schnitt Eingangspartie 1:750

bensdauer der Kollektoren, die bis heute hätten funktionieren können, nicht mithielt. An die Herausforderungen erinnert sich Robert Aerni, der für die Gebäudetechnik verantwortlich war, gut: Für die Absorptionskältemaschine, die aus den USA importiert wurde, seien Temperaturen von mindestens 150 °C wünschenswert gewesen, die Sonnenkollektoren lieferten 90 °C. Dieses Problem ist durch heutige Niedertemperatursysteme allerdings aus dem Weg geräumt.

Sämtliche Zukunftsszenarien für die Schweiz sehen Energie aus der Sonne als einen der Hauptpfeiler einer nachhaltigen Strom- und Wärmeversorgung. Solarenergie ist allerorts ohne Transportkosten verfügbar; eine effiziente Strom- und Wärmegewinnung am Gebäudestandort ist einfach planbar, kalkulierbar und kann langlebig sein.

Gibt es daher Hoffnung für das Solarthermiesystem aus den 1970er-Jahren? Die Anlage könnte im Prinzip wieder in Betrieb gehen. Im gut isolierten Produktions- und Bürogebäude wird Heizenergie oder Brauchwarmwasser aber weniger benötigt als hochwertige elektrische Energie. Das Low-Tech-Prinzip der thermischen Warmwasser- und Warmluftaufbereitung funktioniert ausserdem nach wie vor unverändert. Während sich der Wirkungsgrad von thermischen Solaranlagen kaum gesteigert hat, vervielfachte sich die Effizienz von Photovoltaikanlagen in den letzten Jahren. PV-Zellen durchliefen viele Entwicklungen und lassen sich mit der thermischen Solargewinnung kombinieren. Die niederwertige und schwierig zu speichernde Energie von Wasser- oder Luftkühlung ist in hybriden Systemen sinnvoll: Weil Photovoltaikflächen bei intensiver Sonneneinstrahlung an Effizienz verlieren, wäre eine Kühlung der Flächen optimal, was heutige Hybridkollektoren leisten können.

In einer Aufschlüsselung von Gebäuden und ihrer Gebäudetechnik in einzelne Bausteine können diese einzeln untersucht und ausgetauscht werden sowie neue Oberflächen und neue Funktionen bekommen: Das könnte heute mit dem Micafil-Sonnenhaus geschehen, wenn es für eine wegweisende Ästhetik energetischer Systeme ebenfalls eine denkmalpflegerische Konzept gäbe – was hinsichtlich der viel diskutierten Energiestrategie 2050 dringend notwendig ist.

Die in die Fassade integrierten solarthermischen Bausteine stehen zur energiespendenden Sonne optimal ausgerichtet und passend geneigt. Dank dem 60-Grad-Winkel sind die Gläser selbstreinigend. Für die Sanierung des Micafil-Solarsystems müsste die in einem Baustein der Fassade geerntete Sonnenenergie der Nutzung des Gebäudes angepasst in einem weiteren Baustein gespeichert werden: Anders als in den 1970er-Jahren, als Photovoltaik zwar bekannt, aber nicht grossflächig einsetzbar war, braucht es heute eine Abwägung: Thermische Energie wird tageweise für die Brauchwarmwassererwärmung in Wasserspeichern oder saisonal zur Heizungsunterstützung in Erd- oder Wasserspeichern gelagert. Geerntete elektrische Energie bietet verschiedene Möglichkeiten: Die Elektrizität fliesst direkt ins Gebäude, wird tageweise vor Ort in Batterien gespeichert oder ins Stromnetz eingespeist. Falls Batterien erwünscht sind, ist auch eine intelligente, bezahlte Fremdspeicherung aus dem Stromnetz zur Spitzenbrechung sinnvoll.

Im hier angedachten Szenario eines Umbaus der thermischen Kollektorflächen zu Photovoltaikzellen würde der so produzierte Strom in Batteriebausteinen oder chemischen Prozessen gespeichert. Nützen wir die wasser- und luftführenden Schichten der vorhandenen Solarkollektoren zur Kühlung der Photovoltaikflächen, kann die abgeführte niederwertige thermische Energie dann über Wärmepumpen auf Heizenergieniveau gehoben werden. Speichern wir interne Wärme und durch die Fenster eingestrahlte Sonnenenergie in Materialien, die mit der gespeicherten Energie ihren Phasenzustand ändern, führen wir diese tagsüber gespeicherte Energie über die Solarflächen an der Fassade an den Nachthimmel ab.

Die architektonische Vision lässt Architekten – genauso wie Ingenieurherzen höher schlagen und eröffnet ein neues Spielfeld für denkmalpflegerische Fragen, in denen energetische Systeme Teil des Denkens und Pflegens sind.

<https://www.espazium.ch/de/aktuelles/ein-geschichtstraechtiges-werk>

<sup>s</sup>Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

02 Solarhäuser, Domat/Ems, 1996  
Dietrich Schwarz

<b>Wärmedämmung</b>	
Wand (TWP):	10cm
<b>Energiebedarf</b>	
Energiebezugsfläche:	96 m <sup>2</sup>
Energiebezug total:	20.8 kWh/m <sup>2</sup> a 4000 kWh/a
<b>Heizungsart:</b> Passive solare Energiegewinnung	
<b>Energieversorgung</b>	
Solar Thermisch (8m <sup>2</sup> ):	unbekannt
Solar PV (30m <sup>2</sup> ):	140 kWh/m <sup>2</sup> a
Energieversorgung solar:	4'200 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	210%
<b>Projektierte Energiekennwerte</b>	

Die 100%-Solarhäuser von Jürgen Schwarz in Domat/ Ems sind so angelegt, dass sie im Betrieb keine Emissionen verursachen und auf keine Fremdenergie angewiesen sind, obwohl die Sonnenscheindauer im Winter nur 2,5 Stunden beträgt. Die Solaranlagen zeichnen sich aus durch 8m<sup>2</sup> Sonnenkollektoren und eine 4.0 kWp-Photovoltaik-Anlage pro Haus, welche mit einer Leistung von 4200 kWh/a den Elektrizitätskonsum der Liegenschaften decken sollen. Die besonderen Merkmale dieser Solarhäuser sind die kontrollierte Wohnraumlüftung, die solarelektrische Notheizung von 3 kWp Heizleistung und vor allem die Transparente-Wärme-Dämmung (TWD) der gesamten Gebäudehüllen (230 m<sup>2</sup>). Die Energiekennzahl beträgt 75 MJ/m<sup>2</sup>/a.

Wenn davon ausgegangen wird, dass neben der rein passiv genutzten Sonnenenergie auch technisch aufwendigere Einrichtungen, die aktiv helfen die Sonnenenergie zu gewinnen, ihre wichtige Berechtigung haben, kommt man zu andersartigen Häusern, welche auch eine selbsttragende Gesamtenergiebilanz aufweisen. Dietrich Schwarz begeht nicht den «ökologisch» motivierten Weg, wo durch Komfortbeschränkung und Lebensumstellung der Bewohnerinnen und Bewohner ein Nullenergiehaus möglich ist. Sondern er sucht die Verbindung zwischen moderner, «gehobener» Wohnkultur und der Nutzung der Sonnenenergie, die weitere Interessenkreise anspricht. Neue Ansätze demonstrieren auch die architektonische Lösung: Neben der passiven Sonnenenergienutzung durch bauliche Massnahmen kommen die technischen Einrichtungen dazu. Interessant an dieser Solararchitektur ist die enge Zusammenarbeit zwischen Naturwissenschaft und Architektur. Physikalische Vorgaben werden konkret in Konstrukti-

onen umgesetzt. Faszinierend daran ist die Tatsache, dass von ganz klaren Sachzwängen die Form direkt abgeleitet wird. Unnötige Schnörkel fallen weg. Im Gegensatz zu anderen Solarhäusern ist die Kollektorfläche nicht nur auf das Dach oder einen anderen Gebäudeteil beschränkt, sondern das Haus ist selber ein riesiger Kollektor mit einem nicht zu übertreffenden Wirkungsgrad. Die Häuser stehen an einem Standort wo die minimale Sonnenscheindauer durch die Horizontalverschattung im Dezember nur zweieinhalb Stunden beträgt. Aus diesem Grund muss hier der Heizenergiebedarf durch eine passive Energiegewinnung sichergestellt werden und zwar durch eine transparente Wärmedämmung (TWD). Der Schichtaufbau der TWD-Fassade besteht aus 10 cm dicken Polycarbonatwaben, die aussen durch ein gehärtetes Glas geschützt sind und innen mit 2 cm Abstand das Sonnenlicht auf ein schwarzchrombeschichtetes Absorberblech, welches «schwärzer» als schwarz ist, leitet. Die Hitze der Absorber wird über einen sich selber langsam drehenden Luftstrom - in 10 cm dicken Schächten an die Betonwand des Hauses als eigentliche Wärmespeicher abgegeben. Die grossen Vorteile der TWD bezüglich der Isolierverglasung liegen im hohen Gesamtwirkungsgrad. Die anfallende Sonnenenergie wird nicht im Gebäudeinneren absorbiert, sondern in den Aussenwänden. Für die Solararchitektur bedeutet das, dass nicht nur an idealen Standorten ein Nullenergiehaus möglich ist, sondern zum Beispiel auch in städtischen Gebieten im Unterland.

Die Anwendung der TWD hat aber ein Problem: Was im Winter als Wärmegewinnung erwünscht ist, würde im Sommer das Haus zum Backofen machen. Also muss dafür gesorgt werden, dass die Schächte hinter der TWD vom Boden bis zum Dach bei



Bedarf automatisch hinterlüftet werden können. Dazu braucht es unten und oben

Klappen, welche sich öffnen, unten kühle Luft in die Schächte lassen. Die Luft erhitzt sich an den heissen Absorberblechen, steigt durch die Thermik auf und entweicht oben wieder an die Umgebung. Der grosse Speicher - das Haus - steht also im Sommer quasi im Schatten der Kollektoren. Das Herzstück dieser Einrichtung sind diese Klappen, welche einerseits im geschlossenen Zustand gut isolieren und abdichten, andererseits im offenen Zustand viel Luft durchlassen müssen. Dies wird erreicht, indem man eine dicke, isolierte Klappe innen und eine dünne, luftabschliessende Klappe aussen wie ein Parallelogramm bewegt. Das Öffnen und Schliessen erfolgt durch eine automatische Steuerung mit Elektromotoren - leise in 7 Sekunden. Die langsamen klimatischen Wechsel erfordern keine häufiges Betätigen der Klappen. Zweckmässig installierte Temperatursensoren liefern die Werte für die elektronische Steuerung. So kann die Innentemperatur im Sommer und Winter konstant gehalten werden.

Auch wenn der Löwenanteil der Beheizung des Hauses, durch den von Sonnenlicht erwärmten Betonspeicher über das ganze Jahr abgedeckt ist, darf dieser Speicher sich in den kalten Wetterperioden nicht auskühlen. Die Isolation der Fassaden durch die TWD, dreifachverglaste Fenster, Glaswolle auf dem Dach und an der Kellerdecke sind das eine, das Auskühlen durch das Lüften wäre das andere. Daher wird im Erdreich rund ums Haus in einem 25 m langen Lüftungsrohr Frischluft angesogen und so vorgewärmt, im Keller in einem Wärmerückgewinnungsgerät (WRG) von der abgehenden, verbrauchten Luft auf Raumtemperatur erwärmt und überall im Haus auf Bodenhöhe

in die Wohnräume eingelassen. Die verbrauchte Luft wird in der Küche und im Bad oben an der Decke abgesogen und via WRG im Keller in die Umgebung abgegeben.

Dadurch wird der Wärmeverlust massiv eingeschränkt, die Frischluftzufuhr sichergestellt und zugleich der Dampfzug aus den Nassräumen realisiert, der Dampf über dem Kochherd wird nur gefiltert (durch Aktivkohle gereinigt) und wieder an den Raum zurückgegeben (Umluft). Erst diese Massnahmen verhindern den grossen Wärmeverlust durch die Belüftung. Wärmeleitungs- und Lüftungsverluste des Gebäudes liegen so unter 1,000 kWh/a. Für das Brauchwarmwasser sind 8 m<sup>2</sup> Kollektoren auf dem Dach installiert. Das Warmwasser wird in zwei 500 Liter-Speicher geführt. 30 m<sup>2</sup> Solarzellen erzeugen über das ganze Jahr Strom (ca. 4'000 kWh/a), welcher im Netzverbund in das örtliche EW-Netz eingespielt wird. Der elektrische Energiebedarf für das ganze Haus mit sparsamen Haushaltgeräten (ca. 2'000 kWh/a) ist inklusive der Antriebsmotoren von Klappen und Ansteuerlektronik sowie der Ventilatoren in, Keller sichergestellt. Bei der ganzjährigen Einspeisung ins Netz macht es Sinn, die im Sommer ausreichend produzierte elektrische Energie, bei Bedarf - wenn alle Stricke reissen, z.B. eine extreme Kaltwetterperiode - quasi erst im Winter in einer elektrischen 3 kW Fussbodenheizung mit gutem Wirkungsgrad als Überbrückung einzusetzen. Mit all diesen Massnahmen ist die Energiebilanz über das ganze Jahr Null oder gar Minus, was die Bezeichnung eines Nullenergiehauses rechtfertigt.

in: Schweizer Solarpreis 1996, Zürich 1996, S.23-25

**03 Office fédéral de la statistique, Neuchâtel, 1998**  
Bauart Architekten

**Niedrigenergiehaus**

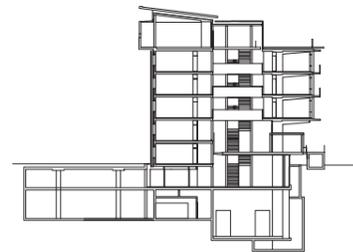
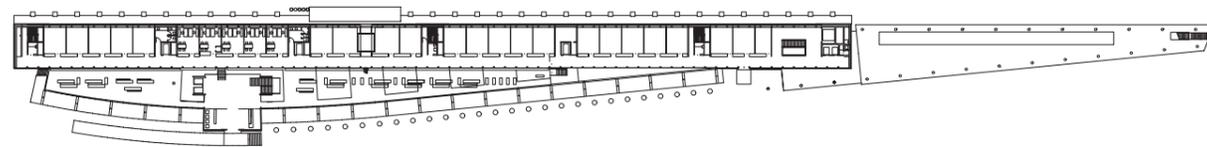


**Energiebedarf**  
 Energiebezugsfläche: 20'065 m<sup>2</sup>  
 Heizung: 26.1 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Warmwasser: 3.3 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Elektrizität: 61.1 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Elektrizität Rechenzentr.: 61.1 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Energiebezug total: 151.6 kWh/m<sup>2</sup>a  
 3'041'854 kWh/a

**Heizungsart:** Solarer Saisonspeicher und unbek. Zusatzheizung

**Energieversorgung**  
 Solar Th. (1'121m<sup>2</sup>): 303.3 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Energieversorgung solar: 340'000 kWh/a  
 Eigenenergieversorgung: 11%

**Projektierte Energiekennwerte**



Der 240 Meter lange Bau des „Office Federal de la Statistique“ (OFS) in Neuchâtel entsprang einem Wettbewerb im Jahre 1990 und bietet 670 Arbeitsplätze. Der Bau zeichnet sich aus durch 1'121 m<sup>2</sup> Sonnenkollektoren mit einem Jahresertrag von 340'000 kWh/a. Der Bund als Bauherr hat es zum Pilotprojekt für nachhaltige, ökologische und energiesparendes Bauen erklärt. Die Energiekennzahl Heizung beträgt 94 MJ/m<sup>2</sup>a - mit Solarbeitrag noch 33 MJ/m<sup>2</sup>a! Die Energiekennzahl Strom beträgt 220 MJ/m<sup>2</sup>a - mit Rechenzentrum 440 MJ/m<sup>2</sup>a - Warmwasser: 12 MJ/m<sup>2</sup>a; Gesamtenergiekennzahl bei Vollausbau: 546 MJ/m<sup>2</sup>a - mit Rechenzentrum. Mit Solarenergie Energiekennzahl Wärme: 45 MJ/m<sup>2</sup>a! Der solare Deckungsgrad liegt bei 65%. Das Gebäude verfügt über ein Gesamtenergiekonzept mit solarer Saisonspeicherung (Speicher 2'400 m<sup>3</sup>), passiver Solarenergienutzung und einem natürlichen Lüftungssystem. Der mit 75 cm isolierte Saisonspeicher von 14,5 m Durchmesser und 14,2 m Höhe kühlt sich Ende Wintersaison bis auf 30°C ab und erreicht im August die Spitztemperatur von 95°C. Dazu wird ein bauökologisches Gesamtkonzept erstellt.



in: Schweizer Solarpreis 1998, Zürich 1998, S.18-20

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**04 Wohnüberbauung Brunnenhof, Siedlung für kinderreiche Familien, Zürich, 2007**  
Annette Gigon / Mike Guyer



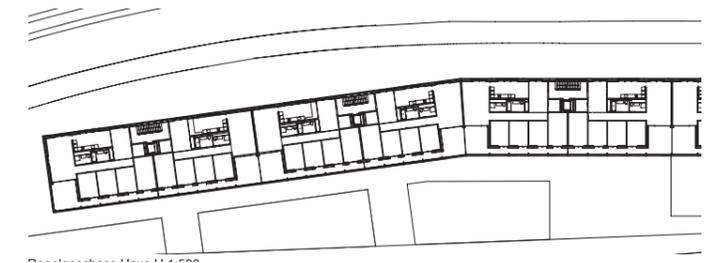
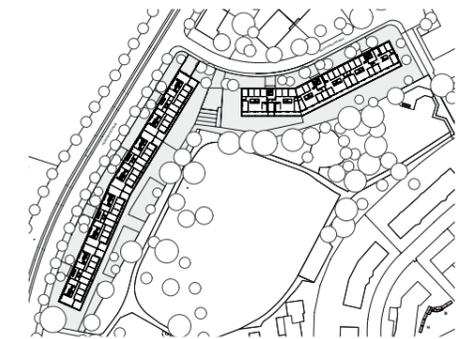
**Wärmedämmung**  
 Wand: 20cm / U-Wert: 0.17 W/m<sup>2</sup>K  
 Dach: 20cm / U-Wert: 0.13 W/m<sup>2</sup>K  
 Boden: 12cm / U-Wert: 0.3 W/m<sup>2</sup>K  
 Fenster: 2-fach / U-Wert: 1.3 W/m<sup>2</sup>K

**Energiebedarf**  
 Energiebezugsfläche: 13'904 m<sup>2</sup>  
 Heizung: 23,7 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Warmwasser: 20,5 kWh/m<sup>2</sup>a

**Projektierte Energiekennwerte**

gemessene Werte siehe S. 263

2005 bis 2007 realisierte die Stiftung Wohnungen für kinderreiche Familien die Ersatzneubausiedlung Brunnenhof beim Bucheggplatz in Zürich. Die neue Siedlung bietet heute 403 Personen mit 258 Kindern günstigen und komfortablen Wohnraum, mehr als doppelt so vielen wie früher. Die beiden langgestreckten Gebäude mit insgesamt 72 Wohnungen grenzen direkt an die grosse Parkanlage des Gemeinschaftszentrums Buchegg – optimal für die vielen jungen Bewohner. Nachhaltig sind die Bauten auch aus ökologischer Sicht: Der Brunnenhof ist die erste MINERGIE-ECO®-Wohnsiedlung der Stadt Zürich. Die beiden Baukörper verlieren dank ihrer kompakten Form und der mit 20cm Mineralwolle gedämmten Fassaden nur wenig Wärme. Den Restbedarf deckt die Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz; sowohl für die Wassererwärmung wie auch für die Raumheizung wird zu 100 % Fernwärme eingesetzt. Die mechanische Lüftungsanlage sorgt nicht nur für gute Luft in den Wohnungen, sondern bringt auch energetische Vorteile. Denn die Abluftwärme kann in den Lüftungsgeräten auf die Zuluft übertragen und in die Wohnräume zurückgeführt werden. Eindrücklich wirken die parkseitigen, farbigen Fassaden der beiden Baukörper. Die Glasplatten zur Verkleidung der gedämmten Backsteinmauern boten die nötige Fläche zur Gestaltung des Brunnenhofs. Das Farbkonzept stammt aus einer Fotoarbeit des Künstlers Adrian Schiess. Für Abwechslung sorgen unterschiedlich gefärbte Glasschiebeelemente, mit denen sich bei jeder Wohnung etwa die Hälfte der Fassade abdecken lässt. Sie bieten den Bewohnern auf den Terrassen und in den Wohnungen Sicht- und Sonnenschutz sowie angenehm gefärbtes Licht.



Minergie Eco Falblatt, Zürich November 2008

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

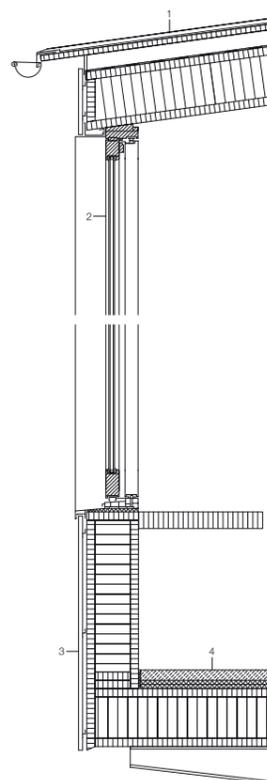
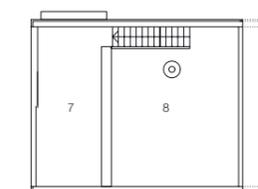
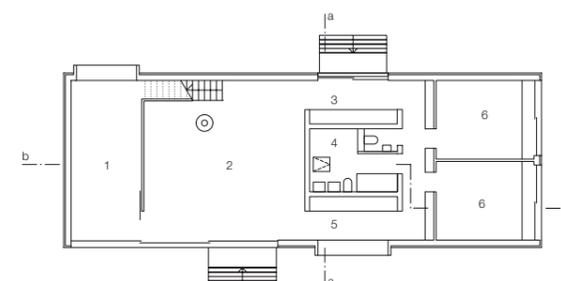
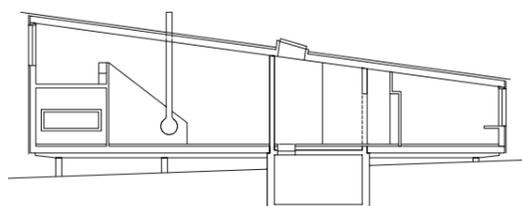
**05 Einfamilienhaus aus Stroh, Eschenz, 2005**  
Felix Jerusalem



**Wärmedämmung**  
Wand: 20cm / U-Wert: 0.2 W/m2K  
(Strohfaserplatte)

**Energiebedarf**  
Energiebezugsfläche: 230 m2  
Energiebedarf: 45 kWh/m2a  
Heizung: Gas (Bodenheizung)

**Projektierte Energiekennwerte**



- 1 Dachaufbau:  
Dacheindeckung Chromnickelstahlblech 0,5 mm  
Dreischichtplatte 27 mm  
Lattung/Hinterlüftung 80 mm  
Dachbahn diffusionsoffen  
Dachelement:  
Strohfaserplatte hochverdichtet 40 mm  
Dämmung Strohfaserplatte leicht 200 mm  
Strohfaserplatte hochverdichtet 40 mm
- 2 Holzfenster mit Isolierverglasung VSG 4 mm + SZR 16 mm + VSG 4 mm
- 3 Wandaufbau:  
GFK-Wellplatte 20 mm  
Befestigung Z-Profil Aluminium gelocht/  
Hinterlüftung 20 mm  
Wandelement:  
Strohfaserplatte hochverdichtet 40 mm  
Dämmung Strohfaserplatte leicht 170 mm  
Strohfaserplatte hochverdichtet 40 mm
- 4 Bodenaufbau Wohnräume:  
Estrich versiegelt 50 mm  
Trittschalldämmung 2x 20 mm/Installationseber  
Bodenelement:  
Strohfaserplatte hochverdichtet 40 mm  
Strohfaserplatte hochverdichtet 200 mm,  
dazwischen Dämmung Strohfaserplatte leicht  
Strohfaserplatte hochverdichtet 40 mm
- 5 Bodenaufbau Badezimmer:  
Estrich versiegelt 50 mm  
Trittschalldämmung 2x 20 mm/Installationseber  
Dämmung 150 mm  
Bodenplatte Stahlbeton 200 mm



Die vollständig aus Strohlplatten bestehende Aussenwand ist wie ein Sandwich aufgebaut, welches im Verbund als statisches Scheibenelement wirksam wird: Die dichtere Innen- und Aussenbeplankung (je 4cm) umschliesst die poröseren, wärmeisolierenden Elemente aus Stroh (17cm).

Die vorgesetzte Lichtwellplatte ist Witterungsschutz und zugleich energetische Optimierung (entspricht dem schweizerischen Minergiestandard). Boden- und Deckenelemente sind kombiniert aus Holz und Stroh gefertigt. Die Elementbauweise erlaubt einen hohen Vorfertigungsgrad in der Fabrik (Max Kaufmann,Wallbach) und damit eine trockene und schnelle Montage auf der Baustelle. Mit Ausnahme des Betonkerns ist der gesamte Innenausbau aus Strohlplatten gefertigt. Dieses aus den genannten Prämissen entwickelte System ist weltweit ein Prototyp.

Durch das vorgegebene Budget der Bauherrschaft wurde ein „Edelrohbau“ angestrebt. Das heisst, mit Ausnahme des massiven Kerns aus Sichtbeton sind alle Rohre (Elektrisch, Heizung) sichtbar geführt. Der Unterlagsboden ist imprägniert und als fertiger Belag im Einsatz. Die rohen Oberflächen der Strohlplatten sind entweder naturbelassen oder gestrichen.

Das schwebende Cheminée im hohen Wohnraum mit Galerie und die grossflächigen Schiebefenster (auch Hauseingang, Kinderzimmer und Büro) charakterisieren den Bau im besonderen.

Das Abheben des „Pfahlbaus“ vom Boden ist durch die römische Geschichte des Untergrundes, sowie durch den hohen Grundwasserspiegel (Seenähe) begründet. Das mit der durchscheinenden Lichtwellplatte umhüllte Volumen wirkt dadurch wie eine „boîte en l'air“, knüpft also auch an die Schwebethematik in der Moderne an.

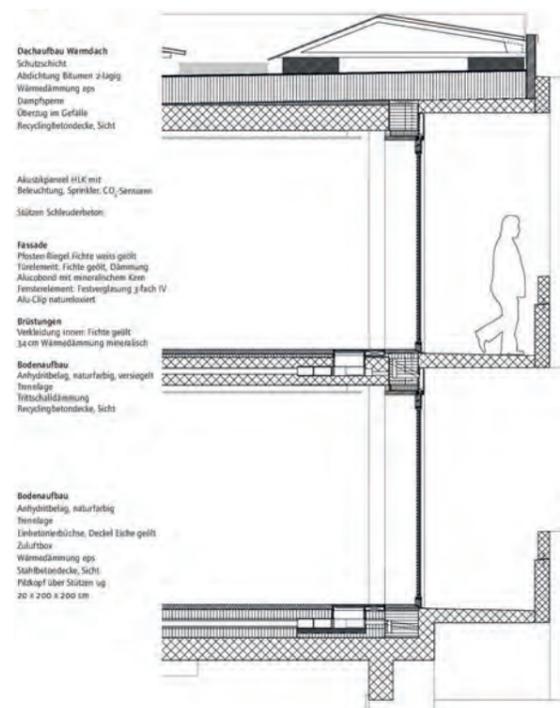
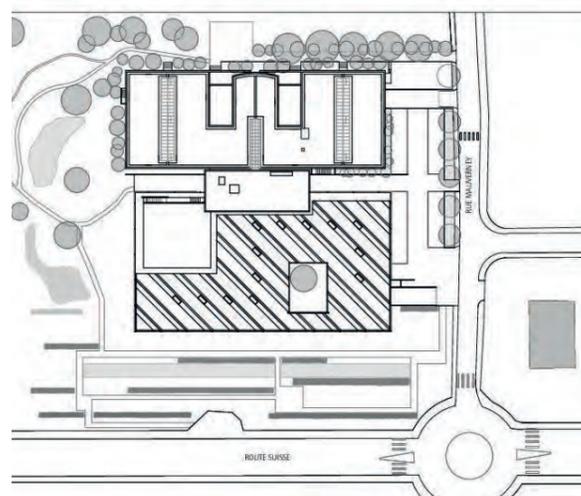
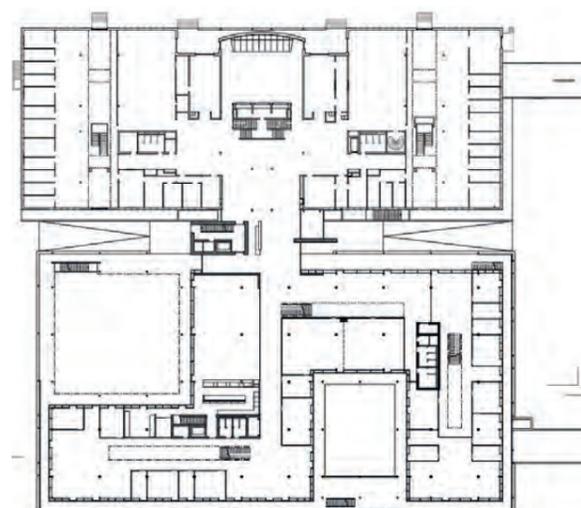
\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

06 Hauptsitz IUCN, Gland, 2010, AGPS Architecture

Low-Ex-Energiehaus



<b>Wärmedämmung</b>	
<b>Wand:</b>	34cm
<b>Dach/Estrich:</b>	34cm
<b>Boden:</b>	34cm
<b>Fenster:</b>	3-fach
<b>Energiebedarf</b>	
<b>Energiebezugsfläche:</b>	5'150 m <sup>2</sup>
<b>Heizung &amp; Warmwasser:</b>	10.8 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>Elektrizität:</b>	4.7 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>Energiebezug total:</b>	15.5 kWh/m <sup>2</sup> a
	55'625 kWh/a
<b>Heizungssystem:</b>	Sole-Wasser-WP
<b>Energieversorgung</b>	
<b>Energieversorgung solar:</b>	38'938 kWh/a
<b>Eigenenergieversorgung:</b>	70%
<b>Projektierte Energiekennwerte</b>	



Dachaufbau Wärmeheldach  
Schutzschicht  
Abdichtung Bitumen 2-lagig  
Wärmedämmung eps  
Dampfsperre  
Übergang im Gefälle  
Recyclingbetondecke, Sicht

Akustikpaneel in UK mit  
Betrachtung, Sprinkler, CO<sub>2</sub> Sensoren  
Stützen Schmelzestab

Fassade  
Plaster Riegel Fichte weiss geölt  
Tafelwerk, Fichte geölt, Dämmung  
Aluclap mit mineralischem Kern  
Fensterelement: Festverglasung 3-fach IV  
Alu-Clip naturbelassen

Brüstungen  
Verklebung innen: Fichte geölt  
14cm Wärmedämmung mineralisch

Bodenaufbau  
Anhydritbelag, naturfarbig, versiegelt  
Trennlage  
Trittschalldämmung  
Recyclingbetondecke, Sicht

Bodenaufbau  
Anhydritbelag, naturfarbig  
Trennlage  
Leitbleche, Deckel Fichte geölt  
Zulufthohlräume  
Wärmedämmung eps  
Stahlbetondecke, Sicht  
Mikroklü über Stützen lg  
20 x 200 x 200 cm

Projektinformationen

Die IUCN ist das weltweit grösste und wichtigste Naturschutz-Netzwerk. Mit dem Erweiterungsbau entsteht das « Conservation Centre» das als Drehscheibe für Interessenvertreter rund um das Thema Natur dient und den Austausch mit der Öffentlichkeit sucht. Der Neubau soll die Anforderungen der Labels LEED Platinum und Minergie-P-Eco erfüllen. Nebst einer hoch gedämmten Gebäudehülle wurden die Ressourcen Sonne, Wasser und Erdwärme bestmöglich genutzt: optimale Tageslichtausbeute, aktive und passive Solarenergienutzung, eine umfassende Regenwassernutzung innerhalb und ausserhalb des Gebäudes sowie die Nutzung des Untergrunds als Wärmereservoir. Das Resultat ist ein LowEx-ZeroEmission-Gebäude, das zu 100% mit erneuerbaren Energien betrieben wird und dabei 70% seines gesamten Energiebedarfs, inklusive Brauchstrom, selber produziert.

Raumprogramm

Der Neubau ist auf vier Ebenen organisiert. Parking und Technikzentrale liegen halb versenkt im leicht abfallenden Gelände. Zwei Atrien, ergänzt mit Oberlichtern und Galerien in den Mittelzonen, versorgen die beiden Bürogeschosse mit viel Tageslicht. Der Fassade entlang aufgereiht sind nebst den Büroräumen ein Foyer, Sitzungszimmer, das Besucherzentrum, die Küche und das Restaurant, welches ans Holzdeck des grossen Atriums stösst. In der Fuge zwischen dem bestehenden und dem neuen Gebäude liegt der neue Hauptzugang und eine Verbindungsterrasse, darüber schwebt der «Think Tank», der Vordach, städtebauliches Zeichen und ideelles Zentrum des neuen Campus ist. Von diesen Konferenzräumen bietet sich ein Blick über das Photovoltaik-Dach in die Französischen Alpen.

Konstruktion

Das Tragwerk ist eine Stützen-Plattenkonstruktion, die teilweise aus Recyclingbeton besteht, ausgesteift mit zwei Betonkernen. Der «Think Tank» sitzt auf Dämmbetonwänden, welche mehrmals den Dämmperimeter durchstossen. Der Rohbau bleibt weitgehend sichtbar. Die Fassade besteht aus einer Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Fichtenholz mit mineralischer, hinterlüfteter Dämmung. Die äusserste Hülle wird durch umlaufende Balkone gebildet, die als Fluchtwege und sommerlicher Wärmeschutz dienen. Die Brüstungen bestehen aus vorgefertigten Betonelementen, deren Zusammensetzung – Weisszement, Jurakalk und Flusskies – die Farbigkeit der benachbarten Travertinfassade aufnimmt.

Gebäudetechnik

Minergie-P-Eco und LEED Platinum, beide in Zertifizierung), Geothermie- und Photovoltaikanlage, dezentrales Lüftungssystem, Regenwassernutzung.



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

## 07 Monte-Rosa-Hütte, Zermatt, 2010 Bearth & Deplazes

### Autarkes Energiehaus



#### Wärmedämmung

Wand:	30cm / U-Wert: 0.13 W/m <sup>2</sup> K
Dach/Estrich:	36cm / U-Wert: 0.11 W/m <sup>2</sup> K
Boden:	22cm / U-Wert: 0.20 W/m <sup>2</sup> K
Fenster:	3-fach / U-Wert: 1.0 W/m <sup>2</sup> K

#### Energiebedarf

Energiebezugsfläche:	890 m <sup>2</sup>
Heizung:	5.7 kWh/m <sup>2</sup> a
Warmwasser:	11.7 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität:	41.4 kWh/m <sup>2</sup> a
Energiebezug total:	59.1 kWh/m <sup>2</sup> a 66'071 kWh/a

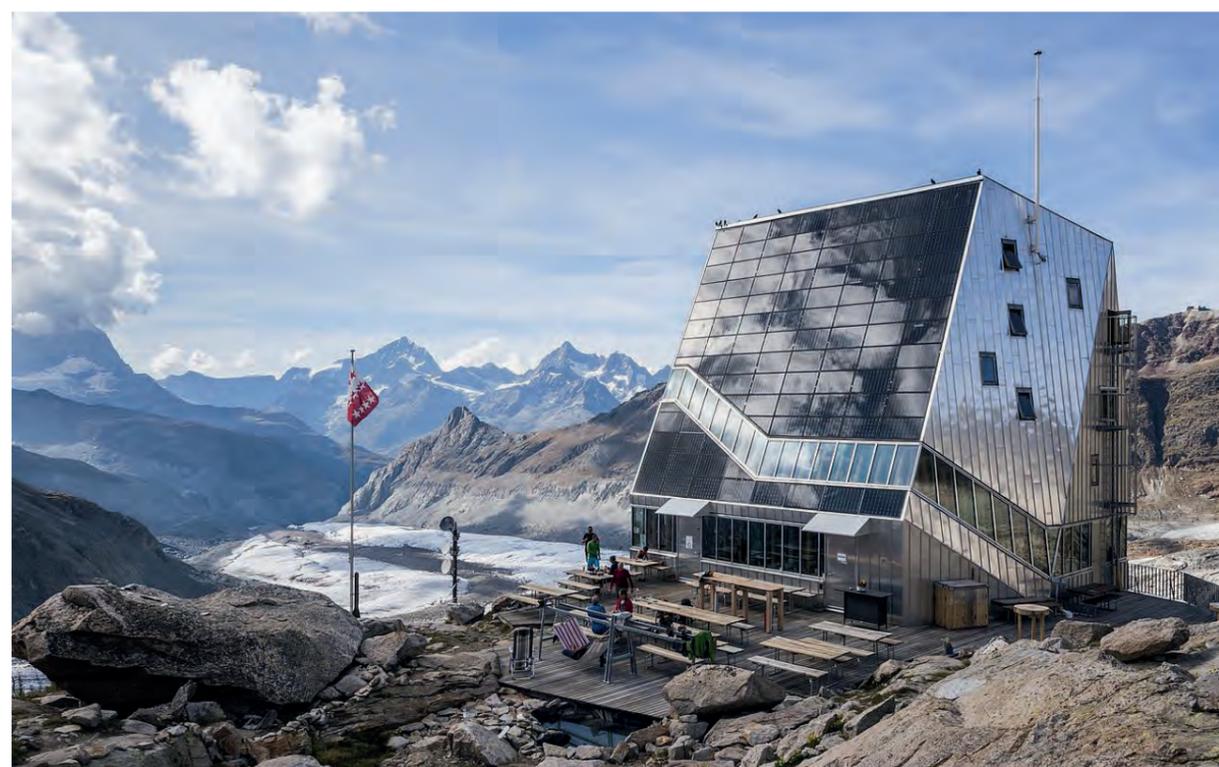
Heizungsart:	Th. Solarkollektoren Blockheizkraftwerk
--------------	--

#### Energieversorgung

Solar Th. (156m <sup>2</sup> ):	163.6 kWh/m <sup>2</sup> a
Solar PV (110m <sup>2</sup> ):	151.1 kWh/m <sup>2</sup> a
Energieversorgung solar:	42'139 kWh/a
Eigenenergievers. solar:	63.8%

Energieversorg. Rapsöl:	10'182 kWh/a
Energieversorg. Propan:	13'750 kWh/a

#### Projektierte Energiekennwerte

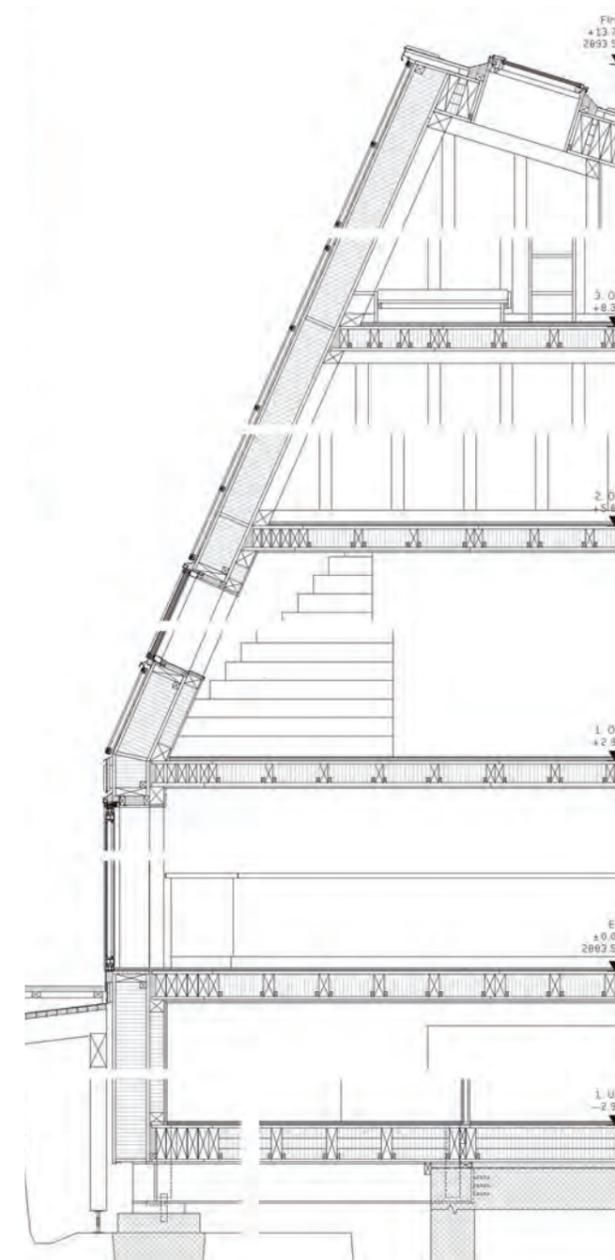
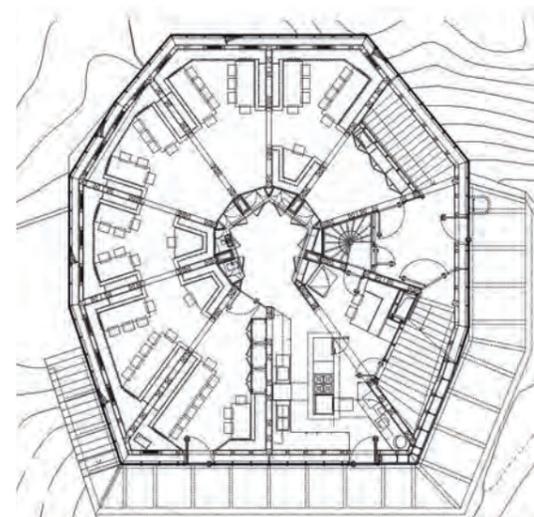


Die Herausforderungen für eine SAC-Hütte mit 120 Betten sind enorm. Auf 2'880 m ü.M. existiert keine Wasser- und Stromversorgung. Ein Anschluss an eine Abwasser- und Kanalisationsanlage fehlt hier ebenfalls. Trotz diesen erheblichen Herausforderungen erstellten die Planer und Verantwortlichen mit der neuen Monte Rosa Hütte des SAC ein fünfstöckiges Gebäude.

Die Architektur, die Holzkonstruktion, die Innenausstattung mit den Schlafräumen für 120 Personen und die Ausgestaltung des Restaurants mit einem einmaligen Ausblick auf den Gorner Gletscher und zahlreiche Viertausender der Walliser Bergwelt sind einzigartig. Trotz den erschwerten Umweltbedingungen findet man in diesem SAC-Gebäude Toiletten und sogar Duschen. Die Monte Rosa-Hütte setzt bezüglich Komfort und Annehmlichkeiten neue Standards im Hochgebirge. Wenn dieser „SAC-Luxus“ künftig erwünscht, in jeder Hinsicht umweltverträglich ist und finanziert wird, stellt sich die Frage, warum ökologisch vertretbarer Komfort verhindert werden sollte, solange global 1 Mio. Tonnen Erdöl pro Stunde verbrennt wird? Unsere Bundesverfassung schreibt eine nachhaltige Entwicklung und die Nutzung einheimischer und erneuerbaren Energien vor. Der angepeilte energetische Selbstversorgungsgrad von 90% gilt für 28 Wochen im Sommerhalbjahr - nicht inbegriffen sind rund 23'900 kWh/a Propangas und Rapsöl zum Kochen, die per Helikopter hinauf geflogen werden müssen.

Durch eine wärmetechnische „U-Wert-Optimierung“ wie beim Solarrestaurant Klein Matterhorn und verstärkte solare PV-Nutzung der Südost- und Südwestfassade inkl. Dach gemäss heutigem Stand der Technik könnten künftige SAC Hütten nach Ansicht der Jury mehr als den gesamten Energiebedarf mit erneuerbaren Energien decken. Je nach Batterie- oder Wasserstoffspeicher könnte eine Eigenenergieversorgung von 150% oder mehr erreicht und die graue Energie mit verstärkter PV-Nutzung massiv gesenkt werden.

in: Schweizer Solarpreis 2010, Zürich 2010, S. 38-39



**08 Wohn- & Geschäftshaus Badenerstrasse, Zürich, 2010**  
Pool Architekten

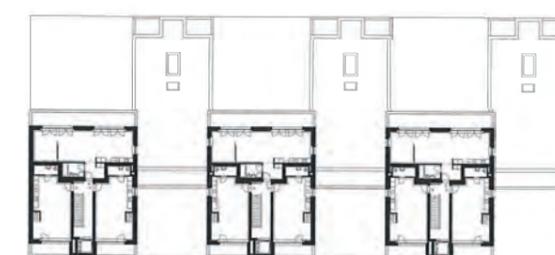
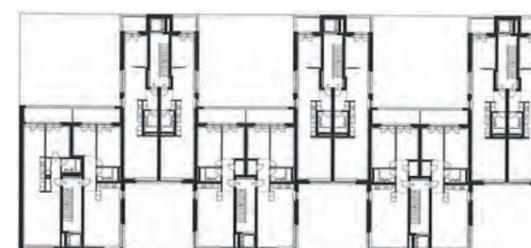
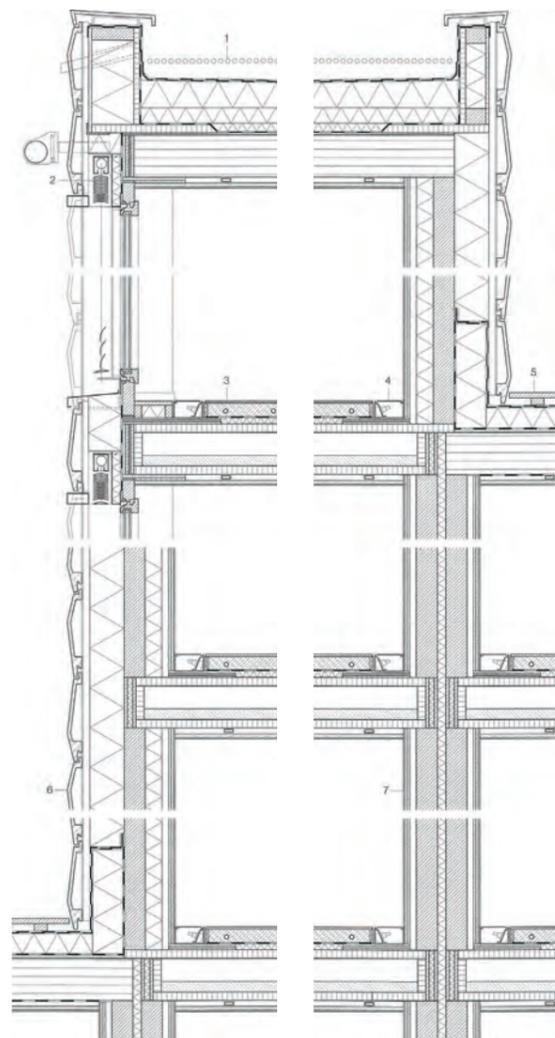
**Niedrigenergiehaus (2000-Watt-Komp.)**



<b>Wärmedämmung</b>	
Wand:	24cm
Dach/Estrich:	15 - 25cm
Fenster:	3-fach
<b>Energiebedarf</b>	
Energiebezugsfläche:	9'150 m <sup>2</sup>
Heizung:	17.5 kWh/m <sup>2</sup> a
Warmwasser:	19.4 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität:	25.1 kWh/m <sup>2</sup> a
Energiebezug total:	62 kWh/m <sup>2</sup> a
	567'300 kWh/a
<b>Heizung:</b>	
	Grundwasser-WP und Restwärme Supermarkt
<b>Energieversorgung</b>	
Solar PV (82m <sup>2</sup> ):	122 kWh/m <sup>2</sup> a
Energieversorgung solar:	10'000 kWh/a
Eigenenergievers. solar:	1.8%

**Projektierte Energiekennwerte**

**Gemessene Werte und Gesamtumweltbelastung**  
siehe S. 268



Das Projekt wurde konsequent nach den Kriterien der 2000-Watt-Gesellschaft entwickelt. Es ist das erste Gebäude in Zürich, welches den hohen Standard erfüllt. Das Volumen reagiert auf die Umgebungssituation, indem die Baukörper auf der lärmbelasteten Strassenseite geschlossen sind, während sich zum Park hin wohnliche Balkone finden, die das Bild baumartig auflösen. Aus der plastischen Gestalt des Gebäudes ergeben sich in den drei obersten Geschossen grosszügige Terrassen, welche die dazugehörigen Wohnungen attraktiv erweitern.

Das siebengeschossige Gebäude ist oberhalb der Betondecke über dem ebenerdigen Ladengeschoss als Holzbau ausgeführt. Das Sockelgeschoss ist als Abfangtisch in Ortbeton ausgeführt, um der Migros eine möglichst stützenfreie Verkaufsfläche anzubieten. Darauf wurde in Holz der sechsgeschossige Wohnteil erstellt. Die Vorteile dieser Bauweise waren neben der kurzen Erstellungszeit, gegeben durch Vorfabrikation und Elementbau, das geringere Gewicht und die optimalen Werte des Holzbaus bezüglich Nachhaltigkeit. Das in den Aussenwänden verwendete Bausystem besteht aus vertikalen, in einem Raster von 200 mm aneinandergereihten Bohlen in der Abmessung 100 x 195 mm. Eine Ausnahme zum Holz-

bau bilden im Wohnteil die massiven Treppenhäuser, die den Zugang, den Fluchtweg und die Gebäudeaussteifung sicherstellen. Durch die Verwendung von Holz für das leichte Tragwerk konnte die Massivbaukonstruktion des Ladengeschosses im Erdgeschoss aus Stützen und einer Rippendecke entsprechend kleiner dimensioniert werden. Die vorgehängte Fassade aus Faserzementplatten ist an vertikalen Profilen und Aluminiumkonsolen befestigt. Die Platten enthalten nicht nur wenig Grauenergie, sondern erscheinen auch hinsichtlich Unterhalt günstig. Zudem verleihen sie dem Gebäude den massiven Ausdruck, der für das innerstädtische Wohngebäude gewünscht wurde. Die Holz-Metall-Fenster sind aussen mit farbig anodisierten Aluminiumprofilen abgedeckt.

Die Wärmeerzeugung erfolgt über die Rückkühlung der Kälteaggregate des Grossverteilers im Erdgeschoss sowie eine Grundwasserwärmepumpe, welche mit Strom der Fotovoltaikanlage auf dem Dach betrieben wird. Die kontrollierte Wohnungslüftung ist dezentral mit einem CO<sub>2</sub>-gesteuerten Fensterlüfter mit Wärmerückgewinnung unter geringem Installationsaufwand gelöst.

in: Holzbulletin 97/2010, Zürich 2010, S. 30-35

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

### 09 Wohnsiedlung Burgunder, Bern, 2010 BSR Bürgi Schärer Raaflaub Architekten

#### Niedrigenergiehaus (Minergie-P-Eco, autofrei)



<b>Wärmedämmung</b>	
Wand:	32cm / U-Wert: 0.11 W/m2K
Dach/Estrich:	32cm / U-Wert: 0.10 W/m2K
Boden:	30cm Misapor/ U-Wert: 0.28 W/m2K
Fenster:	3-fach

#### Energiebedarf (Haus A+B)

Energiebezugsfläche:	2'966 m2
Heizung:	20.8 kWh/m2a
Warmwasser:	12.5 kWh/ m2a
Elektrizität:	13.7 kWh/m2a
(WP, Monoblock, weitere)	
Energiebezug total:	47 kWh/m2a
	139'402 kWh/a

Heizung:	Erdwärmesonde Wärmepumpe
----------	-----------------------------

#### Energieversorgung

PV Dach (190m2):	142 kWh/m2a
Energieversorgung solar:	27'000 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	19%

**Gemessene** Energiekennwert,  
weitere Informationen siehe S.263



Mit der 2010 fertig gestellten Wohnsiedlung Burgunder in Bern-Bümpliz werden die Ziele einer nachhaltigen Quartierentwicklung konsequent umgesetzt. Die ganze Siedlung ist autofrei. Die zwei Häuser A und B mit 40 kostengünstigen Mietwohnungen sind nach dem Standard Minergie-P-ECO zertifiziert. Ökologische und ökonomische Aspekte verbinden sich mit den sozialen und kulturellen Dimensionen der Nachhaltigkeit: Raumqualitäten, Flexibilität und Anpassbarkeit, Mieterpartizipation, gemeinschaftliches Hofhaus. Wie erste Auswertungen der Planungswerte zeigen, wird der Zielwert (Betriebsenergien, Graue Energie, Mobilität) von 440 MJ/m2a nicht erneuerbarer Primärenergie deutlich erreicht. Die Siedlung Burgunder ist damit nicht nur die erste autofreie Wohnsiedlung der Schweiz, sondern auch klar 2000-Watt-kompatibel.

Bundesamt für Energie BFE, Wohnsiedlung Burgunder, Bern 2013



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

### 10 Wohn- & Geschäftshäuser Mühlebachstr., Zürich, 2012 Kämpfen für Architektur



#### Solares Niedrigenergiehaus

#### Wärmedämmung

Wand:	34cm / U-Wert: 0.13 W/m2K
Dach/Estrich:	42cm / U-Wert: 0.08 W/m2K
Boden:	29cm / U-Wert: 0.13 W/m2K
Fenster:	3-fach / U-Wert: 0.8 W/m2K

#### Energiebedarf

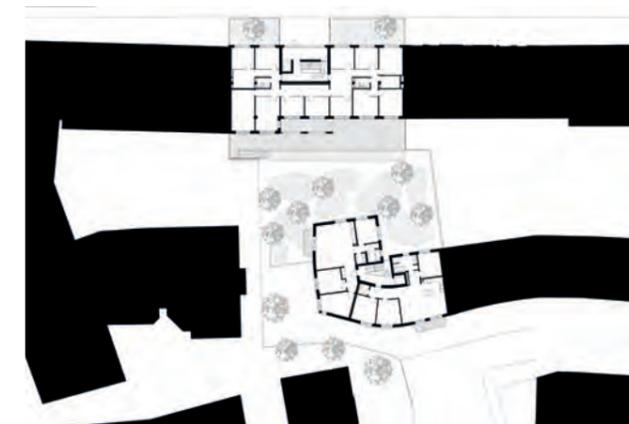
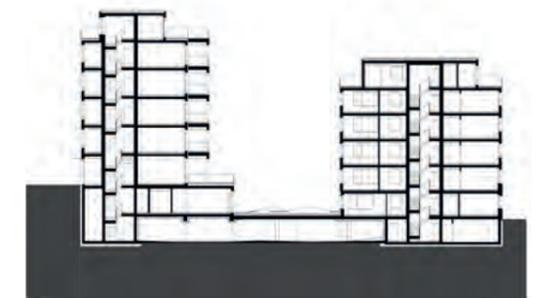
Energiebezugsfläche:	4'424 m2
Heizung:	11.2 kWh/m2a
Warmwasser:	16.6 kWh/m2a
Elektrizität:	18.6 kWh/m2a
Energiebezug total:	56.5 kWh/m2a
	205'500 kWh/a

Heizung:	Pellets-Heizung
----------	-----------------

#### Energieversorgung

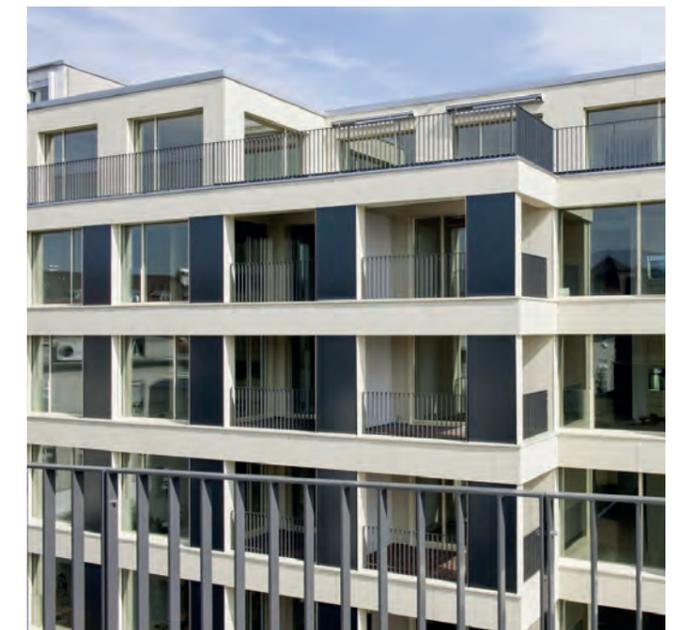
Solar Th. Fassade (95m2):	17'103 kWh/a
Solar Th. Dach (20m2):	14'105 kWh/a
Solar PV Dach:	32'628 kWh/a
Energieversorgung solar:	63'836 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	31%

#### Projektierte Energiekennwerte



Die beiden Minergie-P-Wohn- und Geschäftsbauten in Zürich weisen eine Energiebezugsfläche von 4'420 m2 auf und umfassen in beiden Gebäuden 15 Wohnungen und 6 Büros. Die 95 m2 thermischen Solarkollektoren sind in die eine Südwestfassade integriert und weitere 20 m2 auf den Flachdächern zusammen mit 41 kWp PV-Modulen. Die monokristallinen PV-Anlagen erzeugen 32'630 kWh/a, zusammen mit den 31'210 kWh/a thermischer Solarenergie generieren die Anlagen einen Solarenergieertrag von jährlich 63'840 kWh. Bei einem Energiebedarf von 205'500 kWh/a ergibt sich eine Eigenenergieversorgung von 31%. Die Luft der Lüftungsanlage wird durch drei Erdsonden vorgewärmt oder vorgekühlt. Eine Pellets-Feuerung, die zwischen 17 kW und 60 kW modulierbar ist, sorgt für die Wärmeerzeugung. Diese Bauten zeigen, dass energieeffiziente und nachhaltige Architektur auch bei grossen MFH an dicht bebauter innerstädtischer Lage möglich ist.

in: Schweizer Solarpreis 2013, Zürich 2013, S. 36-37



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

11 Wohnhaus B35, Zürich, 2011  
AGPS Architecture / Hansjürg Leibundgut

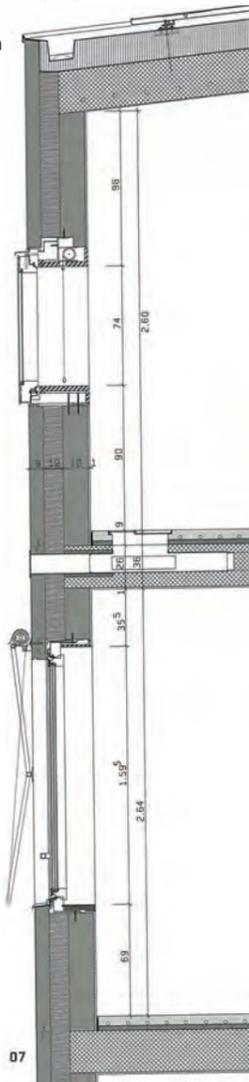
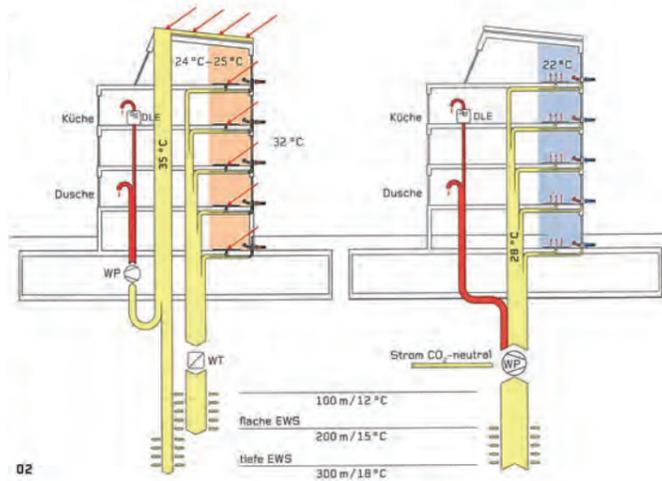
Low-Ex-Energiehaus



<b>Wärmedämmung</b>	
Wand:	12cm EPS, Misaporbeton 9+16cm
Dach/Estrich:	18cm
Fenster:	3-fach
<b>Energiebedarf</b>	
Energiebezugsfläche:	830 m <sup>2</sup>
Heizung:	12.4 kWh/m <sup>2</sup> a
Warmwasser:	1.2 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität:	16.8 kWh/m <sup>2</sup> a
Energiebezug total:	30.4 kWh/m <sup>2</sup> a 25'232 kWh/a
<b>Heizung:</b> Sole-Wasser-WP	
<b>Energieversorgung</b>	
Solar Th. (32m <sup>2</sup> ):	250 kWh/m <sup>2</sup> a
Solar PV (32m <sup>2</sup> ):	125 kWh/m <sup>2</sup> a
(Th. und PV kombiniert)	
Energieversorgung solar:	12'200 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	48.4%

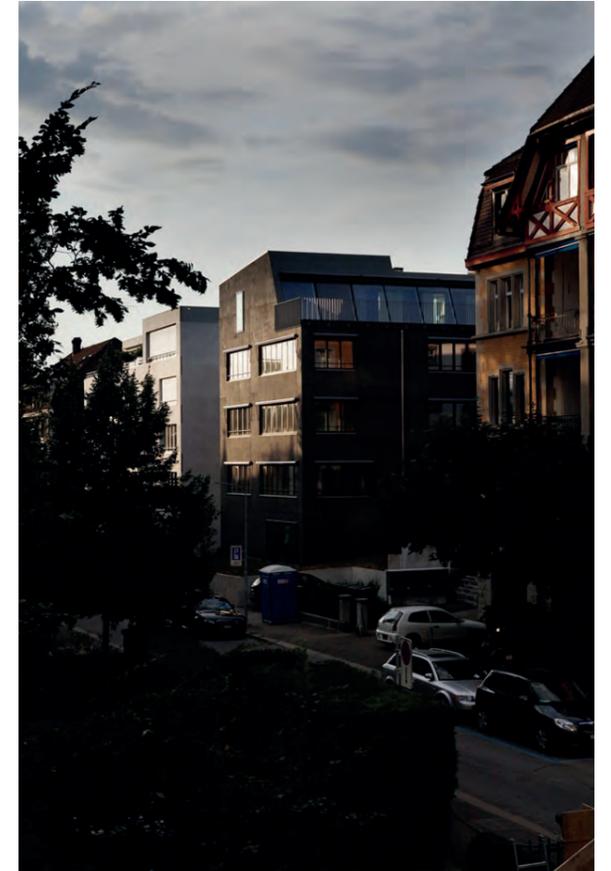
Gemessene Energiekennwerte

weitere Informationen  
siehe S.252



In der warmen Jahreszeit ernten, im Keller einlagern und im Winter nach und nach konsumieren – auf diese Art und Weise funktioniert Jahrtausende lang unsere Nahrungsversorgung. Dieses archaische Prinzip ist auch Vorbild für die Energieversorgung eines neuen Hauses an der Bolleystrasse 35 im Zürcher Kreis 6. Das auf «B35» getaufte Gebäude ist ein Prototyp für CO<sub>2</sub>-freies Wohnen. Die benötigte Energie für Heizung, Warmwasser und die elektrischen Geräte liefert die Sonne. Haupterntezeit ist bei uns natürlich der Sommer. Nur ist dann der Energiebedarf klein und es braucht einen grossen Speicher, um die Ernte für den Winter einlagern zu können. In den letzten Jahren wurden bei anderen Objekten verschiedene Speichervarianten getestet: grosse, in den Erdboden eingegrabene Wassertanks oder Geröllpackungen. Doch ihr Speichervolumen erwies sich als zu klein. Bei «B35» ging man einen anderen Weg: Eine Erdsonde reicht 380 Meter tief in den Untergrund - in Analogie zum Lagerkeller von früher. Weil es dort wärmer ist als in den bei Erdsonden sonst üblichen Tiefen bis 180 Metern, kann der Vorlauf der Wärmepumpen mit höherer Temperatur versorgt und damit die Effizienz gesteigert werden, andererseits sind die Tiefen zwischen 200 und 400 Metern gut geeignet, um die im Sommer geerntete Wärme für den Winter einlagern zu können. Als Erntefläche dienen Hybridkollektoren auf dem Dach, die Strom und Wärme gleichzeitig liefern, sowie die zur Sonne gerichteten Wohnräume. Der gewonnene Strom wird im Haus selbst gebraucht, der Überschuss ins öffentliche Netz eingespielt. Die Wärme aus den Kollektoren wiederum wird via Wärmetauscher an den Kreislauf der Erdsonde abgegeben, in die Tiefe geleitet und eingelagert. Ähnlich funktioniert das Prinzip in den Wohnräumen Um diese im Sommer zu kühlen, zirkuliert in den Rohren der Bodenheizung kühles Wasser. Dieses stammt aus einer zweiten, weniger tief reichenden Erdsonde und nutzt die dortigen kühlen Temperaturen. Beim Zirkulieren durch die Bodenheizungsrohre erwärmt sich das Wasser und die so aufgenommene Wärme wird über die kürzere Erdsonde wieder in den oberen Teil des Erdspeichers übertragen. In der kalten Jahreszeit nutzt das System dann die im Erdspeicher eingelagerte Energie der Sonne und der Wohnraumwärme. Dazu wird das Prinzip umgedreht: Die Wärme aus der Tiefe dient als Medium für die Wärmepumpen. Diese erwärmen damit das Wasser für Heizung, Küche und Bad. Und noch eine Analogie hat der Neubau an der Bolleystrasse zum ursprünglichen Nahrungskreislauf: So wie früher keine Lebensmittel weggeworfen, sondern als Restengerichte verwertet wurden, verschwendet auch der Kreislauf von «B35» keine Energie Anfallende Abwärme, etwa aus der Abluft der Räume, wird wieder in den Kreislauf zurückgespielt.

Wie viel Technik hinter der dunklen Sichtbetonfassade steckt, zeigt sich dem Betrachter nicht. Die Architekten zelebrieren die einzelnen Komponenten nicht, sie lassen sie leise im Hintergrund spielen - in Schächten und im Innern unter Putz. Denn agps Architekten wollten keine Maschine bauen, sondern ein Haus, in dem in erster Linie gewohnt wird. Massgebend für den ersten Eindruck ist die dunkle Fassade Sie ist in Dämmbeton gegossen,



der sandgestrahlt und mit einer graubraunen Lasur eingefärbt ist. Sie macht das Haus zu einem auffälligen, rohen Betonkörper, an dem die Architekten pragmatisch alle weiteren Elemente befestigen liessen: Rollläden und Metallgeländer - alles wurde direkt auf den Beton geschraubt. Sogar die Regenrohre stehen vor der Fassade und kleine Metallgitter, durch welche die Luft dezentral angesaugt wird, glänzen im Licht neben dem dunklen Sichtbeton. Zwei Fenstertypen prägen die Fassaden. Vor den Wohn- und Schlafräumen öffnen Flügelfenster mit herkömmlichen Dreifach-Isoliergläsern die Wand. Daneben stehen festverglaste Flächen in verschiedenen Grössen aus der Fassade hervor. Ihre Scheiben spiegeln stark und schimmern in kräftigem Grün. Sie ziehen sich rund um das Gebäude und lockern den Raster der normalen Öffnungen auf. Die speziellen Sonnenschutzgläser zeichnen sich durch eine gute Farblichkeit im Innenraum aus. Aussen sorgen sie für einen farblichen Kontrast zum graubraunen Beton, dessen Farbe sich je nach Lichteinfall verändert.

in: Beilage zu Hochparterre 8/2011, Zürich 2011, S.6 & TEC21 45/2012, Zürich 2012, S. 37-41

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**12 Tour Bois le Pêtre, Paris, 2010**  
Lacaton & Vassal Architectes

**Hochhausanierung**



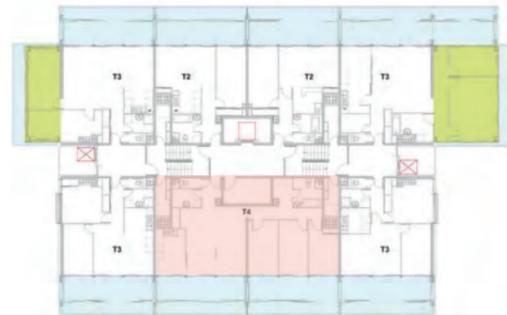
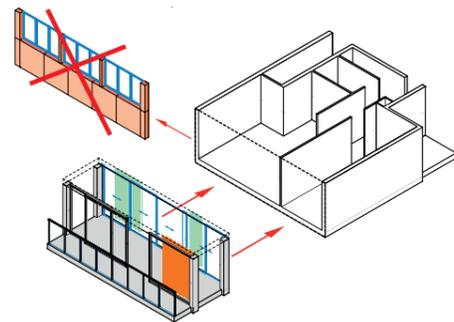
**Energiebedarf**  
Energiebezug total: 80.0 kWh/m2a  
Energiebezug vor Sanierung: 183 kWh/m2a

**Projektierte Energiekennwerte**

16 Geschosse, 97 Wohnungen  
Hinzufügen eines Wintergartens vor den beiden Hauptfassaden, zusätzliche Dämmung der blinden Fassaden.

Ähnlich einem Baugerüst werden dem Skelettbau vorgefertigte Module von außen an die Fassade angebaut. Eine 44 Quadratmeter große Wohnung bekommt durch zusätzliche 26 Quadratmeter Außenwohnraum völlig neue Qualitäten. Raumhohe Glasschiebetüren trennen die eigentliche Wohnung von dem angedockten Modul, welches sich in einen zwei Meter breiten Wintergarten und einen ein Meter breiten Balkon unterteilt. Durch verschiebbare Sonnenschutzpaneele lässt sich der Außenbereich nach Belieben gliedern; gleichzeitig wird Energie gespart und gespeichert.

www.baunetz.de, Möglichkeiten der Nachkriegsmoderne, 14.08.19



Vor Umbau



Quelle: Lacaton & Vassal Architectes, Paris

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**13 Umweltarena, Spreitenbach, 2012**  
René Schmid Architekten

**Solares Plusenergiehaus**



**Wärmedämmung**  
Wand: 20cm / U-Wert: 0.16 W/m2K  
Dach/Estrich: 10cm / U-Wert: 0.14 W/m2K  
Boden: 20cm / U-Wert: 0.17 W/m2K  
Fenster: 3-fach / U-Wert: 0.67 W/m2K

**Energiebedarf**  
Energiebezugsfläche: 12'734 m2  
Heizung: 7.9 kWh/m2a  
Warmwasser: 3.0 kWh/m2a  
Elektrizität: 12.7 kWh/m2a  
Energiebezug total: 23.6 kWh/m2a  
299'500 kWh/a

Heizung: Luft-Wasser-WP

**Energieversorgung**  
Solar PV (5'300m2): 102 kWh/m2a  
Solar Th. (38m2): 530 kWh/m2a  
Biogas (Abfälle): 48'550 kWh/a  
Energieversorgung: 608'700 kWh/a  
Eigenenergieversorgung: 203%

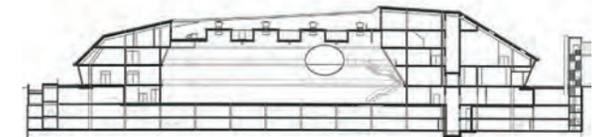
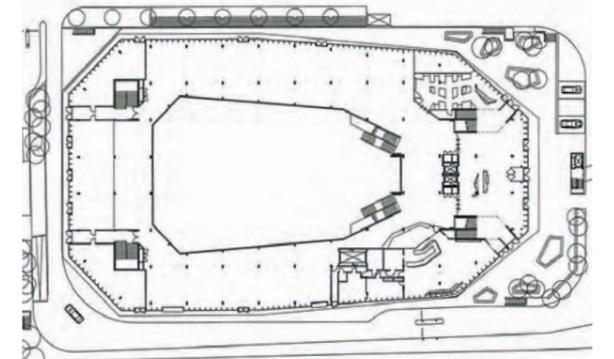
**Projektierte Energiekennwerte**

Die Umwelt-Arena in Spreitenbach ist ein PlusEnergie-Bau (PEB) mit der grössten dachintegrierten Anlage der Schweiz. Mit einer Energiebezugs- und Ausstellungsfläche von über 12'700 m<sup>2</sup> und einer Eigenenergieversorgung (EEV) von über 200% zeigt sie die verschiedenen Haustechnik-Systeme auf und macht sie für Besucher/innen verständlich. Im Sommer kühlen das Grundwasser, ein Erdregister und diverse Wärmepumpen-Systeme die Arena. Die Verteilung erfolgt über das thermoaktive Bausystem (TABS-Leitungssystem) in den Decken. Das Erdkolektorfeld mit 9km langen Leitungen bildet das Erdregister und ist unter der Bodenplatte des 3. Untergeschosses situiert. Eine Absorptionskältemaschine nutzt das Heisswasser der Sonnenkollektoren und ergänzt die Kälteerzeugung. Grundwasser und ein 70'000 l-Kaltwasserspeicher sichern einen beständigen Kühlbetrieb. Überschüssige Wärme im Sommer wird in einem 70'000l Warmwasserspeicher und wieder im Erdreich gespeichert. Die Warmwasseraufbereitung wird durch die solarthermische Anlage von 38 m<sup>2</sup> mit 20'150 kWh/a ergänzt.

Im Winter liefern weitere Energie-Systeme die notwendige Energie: Eine effiziente Wasser/Wasser- und eine Luft/Wasser-Wärmepumpe (WP) mit Hybrid-Box (Biogas), eine Sole/Wasser-WP und eine Pellet-/Hackschnittel-Demoanlage mit einem Biogas-Blockheizkraftwerk (BHKW). Eine Hybridbox erzeugt aus hauseigenen Restaurantabfällen 97'099 kWh/a, wobei (nur) die Hälfte, 48'550 kWh/a, als EEV angerechnet werden.

Die optimal gedämmten Fenster der Minergie-P-Arena weisen einen vorbildlichen U-Wert von 0.67 W/m2K. Der PEB hat einen Gesamtenergiebedarf von 299'500 kWh/a und erzeugt mit der vorbildlich integrierten PV-Anlage, den solarthermischen Anlagen und dem Biogas-Fermenter 608'700 kWh/a Endenergie. Dies ergibt eine EEV von 203%.

in: Schweizer Solarpreis 2012, Zürich 2012, S.48-49



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

### 14 Bürohaus 2226, Lustenau, 2013 Baumschlager Eberle Architekten

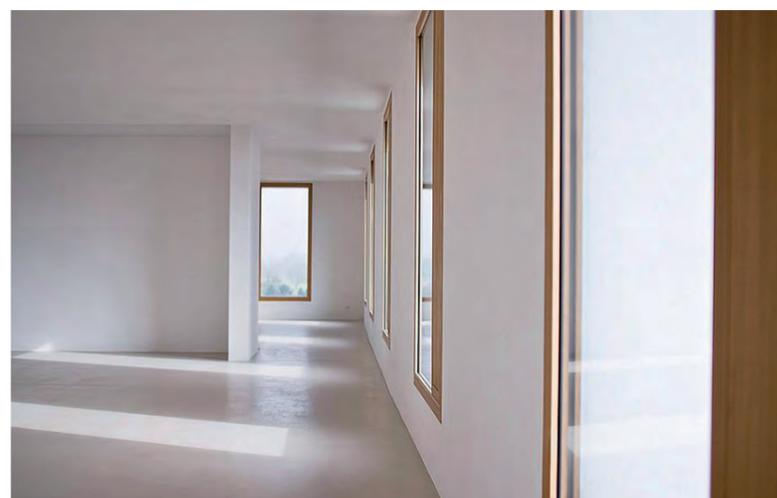
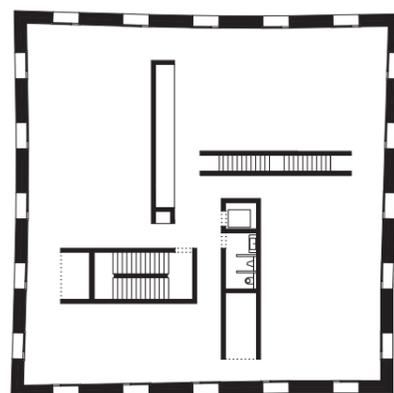
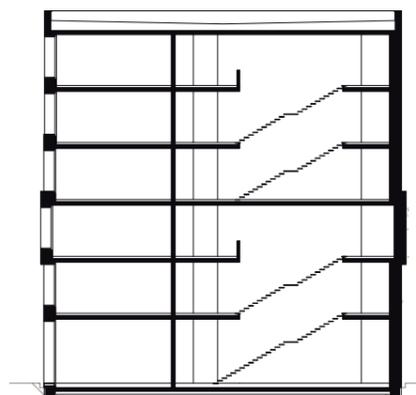
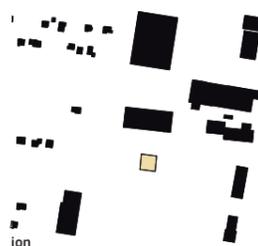
#### Passivhaus



<b>Wärmedämmung</b>	
<b>Wand:</b>	0cm (78 cm Porothermziegel)
<b>Dach/Estrich:</b>	28cm
<b>Boden:</b>	20cm
<b>Fenster:</b>	3-fach
<b>Heizung:</b> keine	
<b>Energiebedarf</b>	
<b>Energiebezugsfläche:</b>	3'201 m <sup>2</sup>
<b>Heizung:</b>	0 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>Warmwasser:</b>	1.9 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>Elektrizität:</b>	21.4 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>(Lüftung, Hilfsenergie, Beleuchtung, Betriebs-einrichtung)</b>	
<b>Energiebezug total:</b>	23.3 kWh/m <sup>2</sup> a 74'583 kWh/a

#### Gemessene Energiekennwerte

weitere Informationen  
siehe S.276

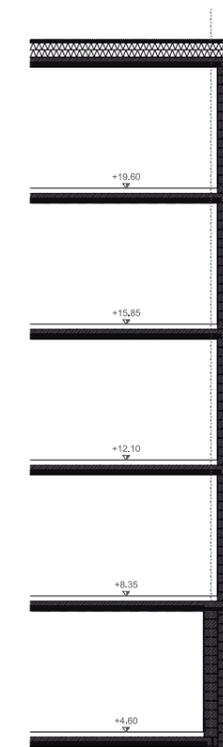


#### Fassadenschnitt

**Dachaufbau**  
5 mm Bitumenbahn geschiefert 2. Lage  
5 mm Bitumenbahn 1. Lage  
80 mm PU-Dämmung  
80 mm PU-Dämmung  
120 mm im Mittel Gefälledämmung  
5 mm Bitumenlage 2. Lage  
5 mm Bitumenlage 1. Lage  
Voranstrich  
240 mm Betondecke  
5 mm Deckenspachtelung

**Bodenaufbau Regelgeschoss**  
50 mm Anhydrit Fliessestrich  
10 mm Akustikmatte  
24 mm Vollholzschalung  
56 mm Polsterhölzer  
240 mm Betondecke  
5 mm Deckenspachtelung

**Bodenaufbau Erdgeschoss**  
50 mm Anhydrit Fliessestrich  
10 mm Akustikmatte  
24 mm Vollholzschalung  
216 mm Polsterhölzer  
5 mm Bitumenbahn  
250 mm WU-Betonplatte  
200 mm XPS-Dämmung



Ein Kubus von 24 x 24 x 24 Metern, tragende Außenwände, im Innern vier um ein offenes Zentrum versetzte, gemauerte Körper für Treppen, Lift, Nebenräume; vorgespannte Stahlbetondecken über maximal zehn Meter, die zum Himmel und zur Erde gedämmt sind. Es gibt keine Heizung, keine Kühlung, keine mechanische Lüftung. Eine monolithische Außenwand aus 75 Zentimeter Ziegel, innen wie außen verputzt mit reinem Kalk von der Kanisfluh (einem Berg im Bregenzer Wald), mit Fenstern in nur einem Format. Feststehend dreifachverglast in Rahmen aus Massivholz, reichen sie von einer Brüstung auf Sitzhöhe bis unter die Decke und in der Breite von linker zu rechter Fingerspitze der ausgestreckten Arme. In regelmäßigem Rhythmus wechseln sie mit Mauerscheiben von anderthalbfachem Maß.

Bemerkenswert: Die lichte Raumhöhe beträgt 3,40 Meter, im Erdgeschoss gar 4,50 Meter. Das ist einem kohärenten Klimakonzept geschuldet, das sich zusammensetzt aus der Masse des Steins mit seinem Speichervermögen (den Anhydritboden eingeschlossen), einem großen Luftvolumen, den hohen, innenbündig gesetzten Fenstern, die weitgehend verschattet sind dank der tiefen Außenwand, die wiederum mit 22 Prozent maßvoll befenstert ist (gegenüber heute üblichen bis zu 50 Prozent). So reicht zur Temperierung der Räume die Abwärme der Nutzung – von der Kaffeemaschine über den Computer bis zur Körperwärme der Mitarbeiter – mit gesicherten Temperaturen von 22–26°C, daher der Name des Projekts: „2226“. Natürlich ist das verwegen, doch der Aufwand, der an Simulation und Modellierung getrieben wurde, verstreute Zweifel. Wesentlich dabei waren komplexe Rechenprogramme, die die Trägheit des Baus in Rechnung stellen und die Dimension der Lufträume.

Es wäre vorschnell, das Gebäude unter Lowtech abzuliegen. Die Außenwand – reiner Ziegel ohne integrierte Dämmung, ergänzt durch mineralischen Putz – ist auf höchstem Stand der Technik: Die verbundene zweischalige Wand hat innenseitig nach Belastungsfall wechselnd Ziegel unterschiedlicher Dichte, während die außenseitige Schale auf hohe Dämmwerte ausgelegt ist, eine nach Lage und Höhe optimierte Konstruktion. Der entscheidende Unterschied zur heute gängigen Praxis: Die technische Intelligenz ist in den Bau gewandert, in Wände und Decken, Grundriss und Fassade – und nicht in Apparate. Lediglich die ins Fenster integrierten schmalen, geschlossenen Lüftungsflügel aus Holz werden elektrisch und sensorgesteuert betrieben (etwa wenn der CO<sub>2</sub>-Gehalt zu hoch wird), gewährleisten frische Raumluft und nutzen die Nachtkühle.

Es ist ein Haus mit klaren Räumen, hohen Räumen, gut genutztem Tageslicht und viel Kubatur pro Person, was Schadstoffe mindert, generell das Wohlbefinden hebt. Ein Haus, das in seiner Konstitution Qualitäten bereitstellt, die lange gelten werden. Etwa: eine gute Beziehung nach außen, frische Luft aus der Umgebung. Ein Gebilde von deutlicher Gestaltqualität, von hoher haptischer Qualität, dessen Plastizität mit wenigen dezenten Mitteln unterstrichen wird – geringfügige Versprünge, die durch leicht sich vorwölbende Wände entstehen und die Elastizität des Körpers betonen. Ein Haus, das seine Kraft aus ursprünglicher Einfachheit bezieht und sie mit minimalen Interventionen differenziert – lebendig, lesbarer, anschaulich.

in: Bauwelt 44/2013, Berlin 2013, S.16-25

**15 Wohnhochhäuser Sihlweid, Zürich, 2013**  
Harder Haas & Partner

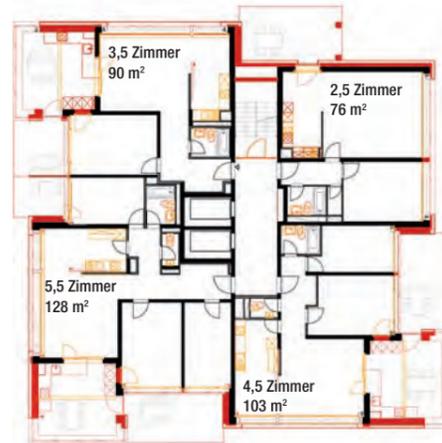
**Solares Niedrigenergiehaus (2000-Watt-Komp.)**



<b>Wärmedämmung</b>	
Wand:	24cm
<b>Energiebedarf</b>	
Energiebezugsfläche:	3'606 m <sup>2</sup>
Heizung:	13.6 kWh/m <sup>2</sup> a
Warmwasser:	13.9 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität:	14.1 kWh/m <sup>2</sup> a
Energiebezug total:	41.6 kWh/m <sup>2</sup> a
	150'000 kWh/a/41.6
<b>Heizung:</b> Holz-Schnitzel-Heiz.	
<b>Energieversorgung</b>	
Solar PV Fass. (1'235m <sup>2</sup> ):	36.4 kWh/m <sup>2</sup> a
Energieversorgung solar:	45'000 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	30%

**Projektierte Energiekennwerte**

Gemessene Werte und Gesamtumweltbelastung siehe S. 272



in: Solares Bauen, Zürich 2013, S.36-38

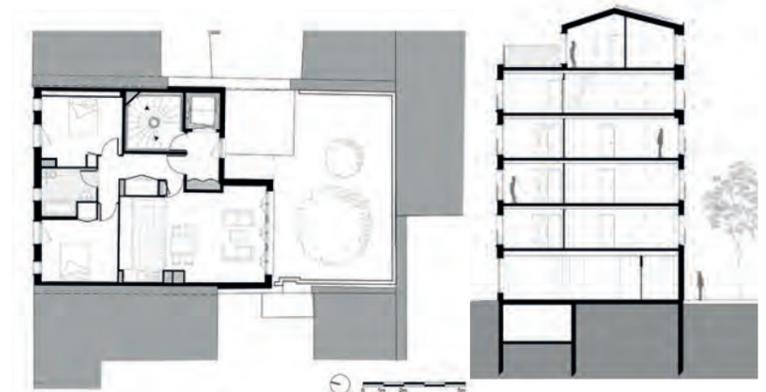
\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**16 Wohnhaus Rue Myrha, Paris 18E, 2014**  
North by Northwest Architectes



<b>Wärmedämmung</b>	
Wand	
(Hanfbeton):	27cm / U-Wert: 0.048 W/m <sup>2</sup> K
Fenster:	2-fach / U-Wert: 1.20 W/m <sup>2</sup> K
<b>Energiebedarf</b>	
Energiebezug total (Primärenergie):	42,0 kWh/m <sup>2</sup> a
Heizungsart:	Erdgas, Solarthermie (20m <sup>2</sup> )

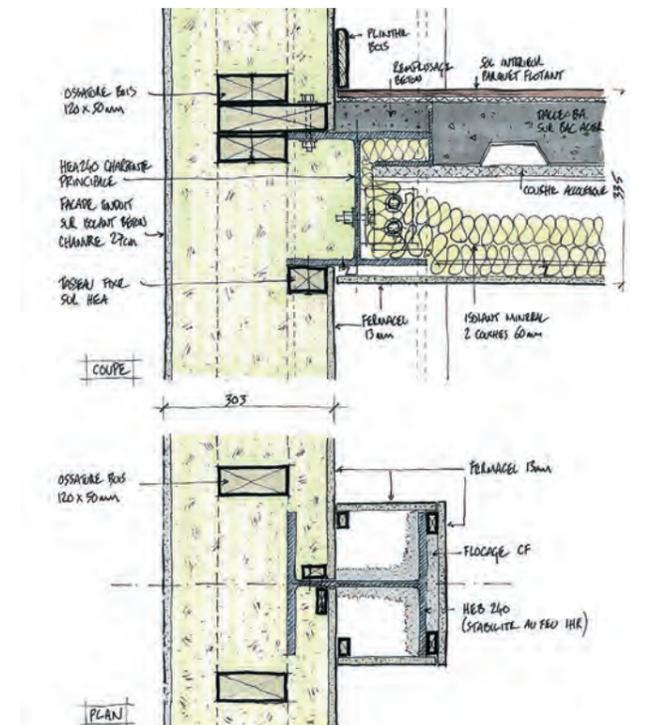
**Projektierte Energiekennwerte**



Das Projekt befindet sich in der Rue Myrha 37 im 18. Arrondissement in Paris. Die Grundform, die sich aus einer rationalen Organisation der Wohnungen ergibt, besteht aus einer Fläche von 10m x 12m zwischen zwei Brandmauern entlang der Strasse. Im hinteren Teil der Parzelle befindet sich ein gemeinsamer Garten nach Süden. Die Konzeption der Innenräume richtet sich nach den Bedürfnissen der Bewohner, während die Gestaltung Fassaden die Integration in das bestehende Stadtbild zum Ziel hat.

Das Projekt besteht aus Hanfbeton, in einer Formschalung, welche auf einem sekundären Holzrahmen montiert ist, die wiederum an einem primären Stahlrahmen befestigt ist. Hanfbeton bietet einen hohen thermischen Komfort und eine einfache Handhabung. Es ermöglicht eine signifikante Reduktion der Energieverluste, die Einrichtung eines sauberen Standorts und die Schaffung eines positiven CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks. Die Leichtigkeit des Materials, die einfache Handhabung und die Geschwindigkeit in der Ausführung waren von grossem Interesse in Bezug auf die örtlichen Gegebenheiten der Parzelle (schwieriger Baugrund, sehr kleine Abmessungen des Grundstücks, Enge der Straße).

in: www.nxnw.fr, North by Northwest Architectes



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**17 MFH Aescherstrasse, Basel, 2016**  
OPQMB Architectes

**Solares Niedrigenergiehaus**



**Wärmedämmung**  
 Wand: 28cm / U-Wert: 0.15 W/m2K  
 Dach/Estrich: 28cm / U-Wert: 0.14 W/m2K  
 Boden: 30cm / U-Wert: 0.13 W/m2K  
 Fenster: 3-fach / U-Wert: 0.82 W/m2K

**Energiebedarf**  
 Energiebezugsfläche: 781 m2  
 Heizung: 3.3 kWh/m2a  
 Warmwasser: 7.7 kWh/m2a  
 Elektrizität: 19.1 kWh/m2a  
 Energiebezug total: 30.1 kWh/m2a  
 23'530 kWh/a

**Energieversorgung**  
 Solar PV (108m2): 126.9 kWh/m2a  
 Energieversorgung solar: 13'706 kWh/a  
 Eigenenergieversorgung: 58%

**Gemessene Energiekennwerte**

An der zentral gelegenen Aescherstrasse in Basel steht seit Ende 2015 das als stadteigenes Pilotprojekt für nachhaltiges Bauen verwirklichte Mehrfamilienhaus (MFH). Die 28cm starke Wärmedämmung, energieeffiziente Haushaltgeräte, eine vollständig aus LED-Lampen bestehende Beleuchtung sowie eine Wärmerückgewinnungsanlage sorgen für einen niedrigen Energiebedarf bei vollem Komfort. Die Komfortlüftung bietet ein angenehmes Wohnraumklima. Auf Garage und Einstellplätze wurde aus Nachhaltigkeitsgründen verzichtet. Die Lage der aus monokristallinen Solarzellen bestehenden PV-Anlage auf dem OstWest ausgerichteten Giebeldach sorgt für zwei Leistungsspitzen: am Morgen von der Osthälfte und am Nachmittag von der Westhälfte. Die aus dem Dach herausragenden Gaubenfenster passen zum Gesamtbild der Nachbarschaft, doch verschatten sie die mit Blindmodulen ausgestatteten Dachflächen. Insgesamt liefert die 17.6 kW starke PV-Anlage jährlich 13'700 kWh. Damit werden rund 58% des Gesamtenergiebedarfs des Gebäudes gedeckt. Die restliche Energie wird als Elektrizität vom öffentlichen Netz bezogen.

in: Schweizer Solarpreis 2016, Zürich 2016, S.78-79



**18 Haus Schneller Bader, Tamins, 2016**  
Bearth & Deplazes

**Plus-Energiehaus**



**Wärmedämmung**  
 Wand: 51.5cm / U-Wert: 0.19 W/m2K  
 Dach/Estrich: 39.1cm / U-Wert: 0.16 W/m2K  
 Fenster: 3-fach / U-Wert: 0.8 W/m2K

**Energiebedarf**  
 Energiebezugsfläche: 220 m2  
 Heizung: 41.0 kWh/m2a  
 Warmwasser: 14.0 kWh/m2a  
 Elektrizität: 17.0 kWh/m2a  
 Energiebezug total: 72.0 kWh/m2a  
 15'830 kWh/a

**Energieversorgung**  
 Solar PV (108m2): 210.6 kWh/m2a  
 Energieversorgung solar: 22'750 kWh/a  
 Eigenenergieversorgung: 144%

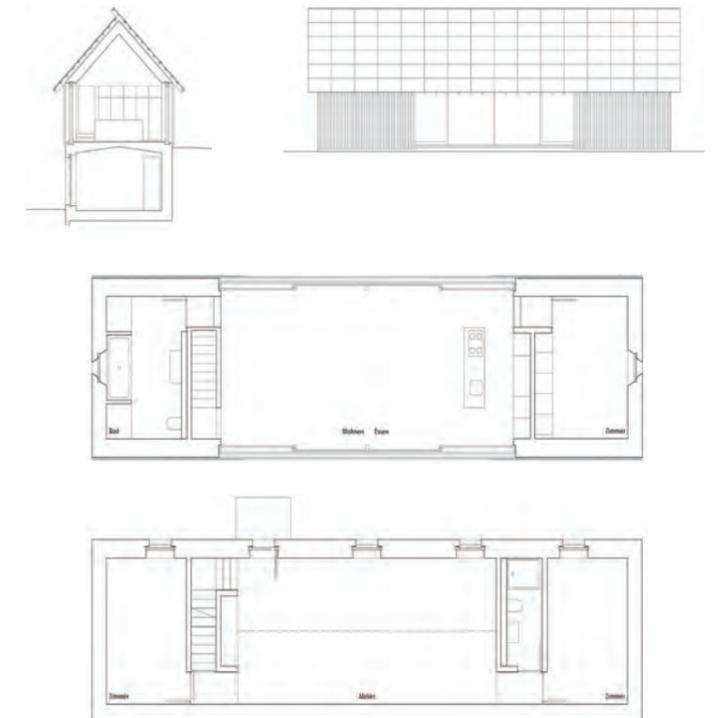
**Gemessene Energiekennwerte**

Zwischen einem Gehöft und freiem Feld in einer topografischen Kante direkt an der Landwirtschaftszone liegt der lange und sehr schmale Neubau. Je nach Richtung der Annäherung erscheint das Gebäude mal ein-, mal zweigeschossig. Auf der Hofseite liegt der offene Wohnraum in einem sockelartigen Hohlkörper, darüber spannt sich das Dach. Darauf befindet sich die 17 kW starke und 108 m2 grosse PV-Anlage. Die Anlage ist first-, seiten- und traufbündig perfekt in die Dachfläche integriert. Im Zentrum des Wohnhauses liegen die beiden Haupträume. Im Erdgeschoss befindet sich ein grosszügiger Atelierraum zum Arbeiten. Der darüber liegende Wohnraum gewährt einen Weitblick über die Rheinebene. In den Betontürmen befinden sich die Schlafkammern und Bäderräume.

Seit dem 1. August 2016 hat die PV-Anlage 22'800 kWh/a erzeugt. Der Energiebedarf des Neubaus beträgt 15'800 kWh/a. Daraus resultiert ein Überschuss von 6'920 kWh/a respektive 44%, der in das Netz der Rhienergie eingespeist wird.

Besonders hervorzuheben ist die schlichte und elegante Ausführung des Gebäudes. Die PV-Anlage ergibt zusammen mit den geschosshohen, gesprengten Holzschiebeläden, die aus sägerohren Tannenbrettern gefertigt sind, ein ästhetisch harmonisches Gesamtbild. Dank der Wahl der Materialien und der Farben sowie der klaren Linien fügt sich dieser Neubau ideal in den bestehenden Kontext des Dorfes und die Landschaft ein. Die Gestaltung des Satteldaches mit PV-Paneelen und Eternitplatten als Dachhaut erinnert auch an die Ökonomiebauten im Dorf. Das Haus Schneller/Bader leistet mit seinem Erscheinungsbild einen wichtigen baukulturellen Beitrag für das intakte Ortsbild von Tamins.

in: Schweizer Solarpreis 2017, Zürich 2017, S.32-33

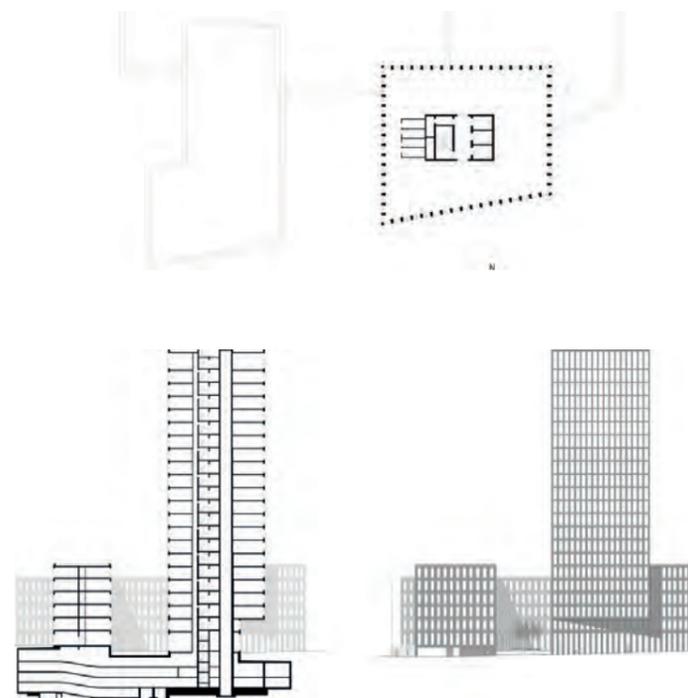


\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**19 Grosspeter-Tower, Basel, 2017**  
Burckhardt & Partner

**Solares Niedrigenergiehaus**



**Wärmedämmung**

Wand: 20cm / U-Wert: 0.18 W/m<sup>2</sup>K  
 Dach: 16-24cm / U-Wert: 0.15 W/m<sup>2</sup>K  
 Boden: 10-20cm / U-Wert: 0.25 W/m<sup>2</sup>K  
 Fenster: 3-fach / U-Wert: 0.94 W/m<sup>2</sup>K

**Energiebedarf**

Energiebezugsfläche: 20'300 m<sup>2</sup>  
 Heizung: 16.1 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Warmwasser: 3.4 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Elektrizität: 25.0 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Energiebezug total: 44.5 kWh/m<sup>2</sup>a  
 903'500 kWh/a

Heizung: Sole-Wasser-WP

**Energieversorgung**

PV Dach (770m<sup>2</sup>): 91.6 kWh/m<sup>2</sup>a  
 PV Fassade (4'800m<sup>2</sup>): 37.8 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Energieversorgung solar: 252'000 kWh/a  
 Eigenenergieversorgung: 28%

**Gemessene Energiekennwerte**

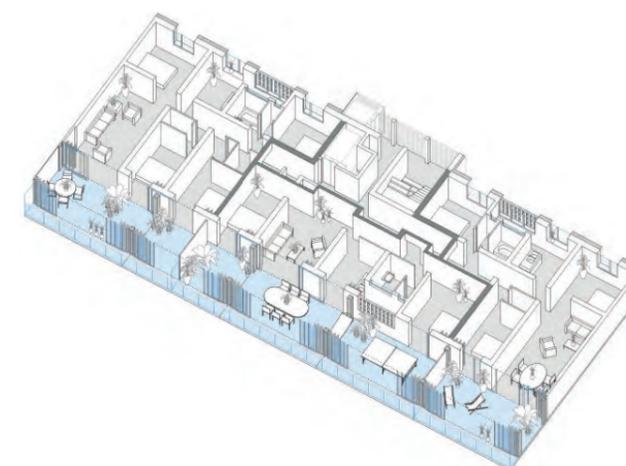
An verkehrsgünstiger Lage, nahe Autobahn und Bahnhof SBB, liegt das GrosspeterAreal. Der sich darauf befindende Basler Grosspeter Tower beherbergt ein Hotel sowie Büroräumlichkeiten und nutzt sämtliche Fassaden zur Solarstromerzeugung. Die Solarmodule sind sorgfältig integriert; 450 unterschiedliche Modulgrößen mit unterschiedlichen PV-Substratgrößen und Zellbreiten sind fassadenbündig montiert. Die ganzflächige, opake PV-Fassade genügt ästhetisch hohen Ansprüchen. Durch die vielen grossen Fenster steigt der Kühl- und Wärmebedarf des Gebäudes erheblich. Die Leistung der aus Dünnschichtzellen bestehenden PV-Fassadenelementen des gesamten Hochhauses inkl. des Sockelbereichs beträgt 440 kWp. Ergänzt wird die Anlage mit einem 100 kW starken Solar-kraftwerk auf dem Dach. Die 540 kW starke und 5'570m<sup>2</sup> grosse PV-Anlage erzeugt 252'000 kWh/a. Zum Heizen und Kühlen des Gebäudes dient ein Erdsondenfeld mit 56 durchschnittlich 250 m tiefen Sonden. Der saisonale Geospeicher, der im Sommer ein grösstenteils freies Kühlen zulässt, und die hochdruckseitig transkritisch geführte Wärmepumpe/ Kältemaschinen ermöglichen eine hohe Arbeitszahl.

in: Schweizer Solarpreis 2017, Zürich 2017, S.74



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**20 Grand Parc, Bordeaux, 2017**  
Lacaton Vassal Architectes



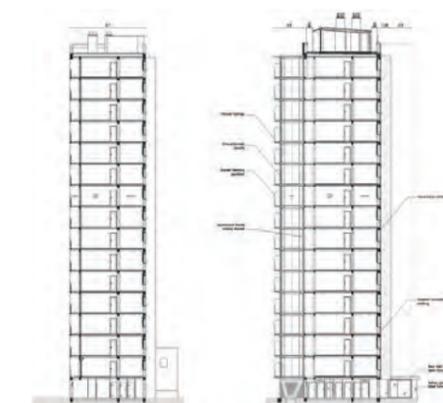
**Energiebedarf**

Heizung & Warmw.: 20.1 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Elektrizität: 28.7 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Energiebezug total: 48.8 kWh/m<sup>2</sup>a

**Energiebezug vor Sanierung:**

153 kWh/m<sup>2</sup>a

**Projektierte Energiekennwerte**



Quelle: Lacaton & Vassal Architectes, Paris

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

## 21 MFH Hofwiesenstrasse, Zürich, 2017 Viridén & Partner



### Wärmedämmung

Wand:	34cm / U-Wert: 0.10 W/m2K
Dach/Estrich:	34cm / U-Wert: 0.09 W/m2K
Boden:	33cm / U-Wert: 0.16 W/m2K
Fenster:	3-fach / U-Wert: 0.8 W/m2K

### Energiebedarf

Energiebezugsfläche:	2'870 m2
Heizung:	13.3 kWh/m2a
Warmwasser:	3.1 kWh/m2a
Elektrizität:	17.3 kWh/m2a
Energiebezug total:	33.7 kWh/m2a 96'948 kWh/a

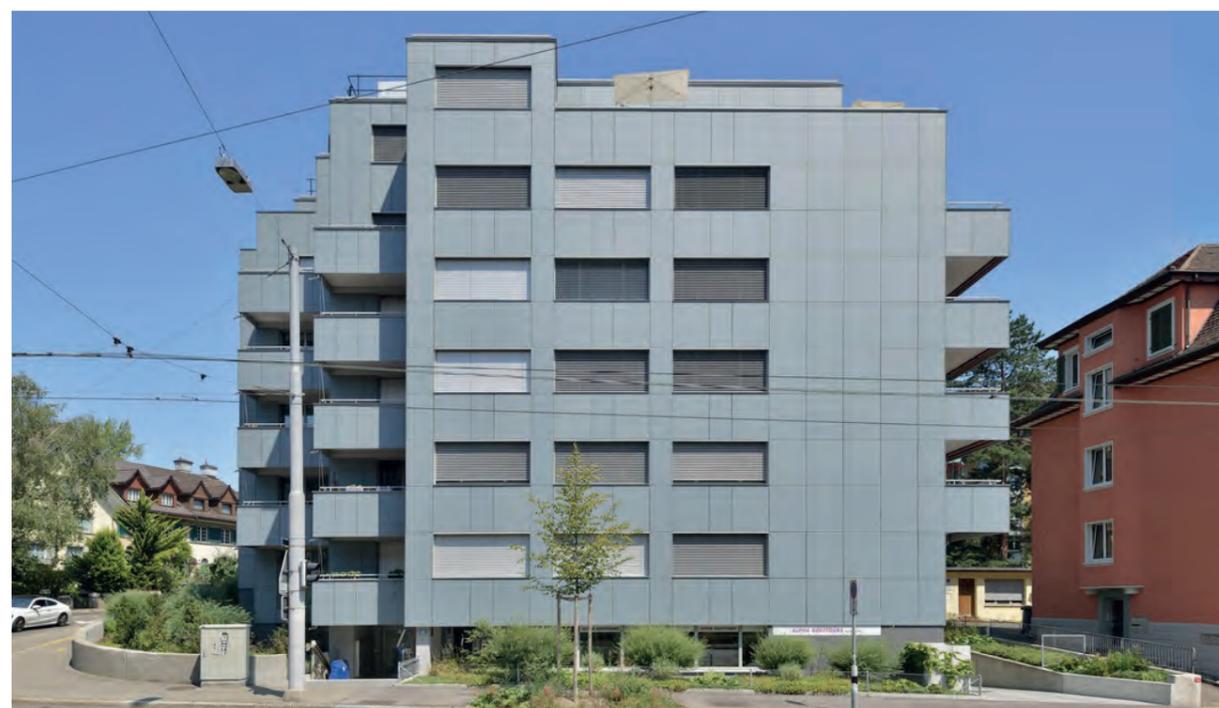
### Energieversorgung

PV Dach (165m2):	154.0 kWh/m2a
PV Fassade (1'535m2):	39.5 kWh/m2
Therm. Dach (15.4m2):	584.4 kWh/m2
Energieversorgung solar:	95'008 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	98%

### Gemessene Energiekennwerte

Die solarthermischen Anlagen liefern rund 9'000 kWh/a; die PV-Dachanlagen erzeugen 25'400 kWh/a, und die PV-Fassadenanlage produziert 60'600 kWh/a. Die gesamte Solarstromproduktion beträgt somit 95'000 kWh/a. Ohne Verdeckung der Fassaden-PV-Anlagen würden diese voraussichtlich 38'700 kWh/a mehr erzeugen. Dadurch wäre diese Sanierung mit total (25'411 kWh/a + 60'597 kWh/a + 9'000 kWh/a + verdeckt 38'700 kWh/a) 133'800 kWh/a zur 138%-PEB-MFH-Sanierung geworden.

in: Schweizer Solarpreis 2017, Zürich 2017, S.84



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

## 22 Parking 2 Roche, Kaiseraugst, 2017 BE Netz AG

### Plus-Energiehaus



### Energiebedarf

Elektrizität:	10'000 kWh/a
Energiebezug total:	10'000 kWh/a

### Energieversorgung

PV Dach (1'400m2):	146.5 kWh/m2a
PV Fassade (2'383m2):	140.2 kWh/m2
Energieversorgung solar:	539'100 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	5391%

Neigung Dachanlage:	10°
Neigung Fassadenanlage:	70°

### Gemessene Energiekennwerte

Die 404 kW starke PV-Anlage am Parkhaus der F. Hoffmann-La Roche AG in Kaiseraugst ist zurzeit mit 2'383 m2 die schweizweit leistungsstärkste PV-Fassadenanlage. Direkt an der A2 gelegen, musste die Anlage ästhetisch überzeugen und bezüglich Sicherheit, Gebäudelüftung, Schallschutz, Reflektion usw. alle Anforderungen und Auflagen erfüllen. Um die Sicherheitsbedenken zu klären, beauftragte Roche eine anforderungsspezifische Reflexionsanalyse. BE Netz prüfte verschiedene Anstellwinkel und mögliche Auswirkungen im Jahresverlauf auf die Verkehrsteilnehmer und ermittelte mittels einer 3D-Simulation die optimale Modulordnung hinsichtlich der Eigenverschattung und der Energieoptimierung. Da sich Personen unter den Modulen aufhalten können, musste die Resttragfähigkeit ebenfalls geprüft werden (Windlasten etc.). Verschiedene Errungenschaften aus

diesem Projekt dienen der Branche bei der weiteren Entwicklung der Gebäudehülle zum Kraftwerk für PlusEnergiebauten. Die 404 kW starke PV-Fassadenanlage wird durch die 230 kW starke und 1,400 m2 grosse PV-Dachanlage ergänzt. Insgesamt erreichen die Anlagen eine Leistung von 634 kWp. Jährlich werden rund 539'100 kWh erzeugt. Bei einem Strombedarf von 10'000 kWh/a resultiert ein Solarstromüberschuss von 529'100 kWh/a. Die Solar-Fassade zeigt auf, dass die Kosten mit Standardmodulen niedrig gehalten werden können. Dadurch und durch den Ersatz der ohnehin nötigen Fassadenelemente kann auch eine vertikale PV-Anlage wirtschaftlich betrieben werden.

in: Schweizer Solarpreis 2017, Zürich 2017, S.84



\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**23 Wohnsiedlung Soubeyran, Genf, 2017**  
ATBA Architecture

**Solares Niedrigenergiehaus**

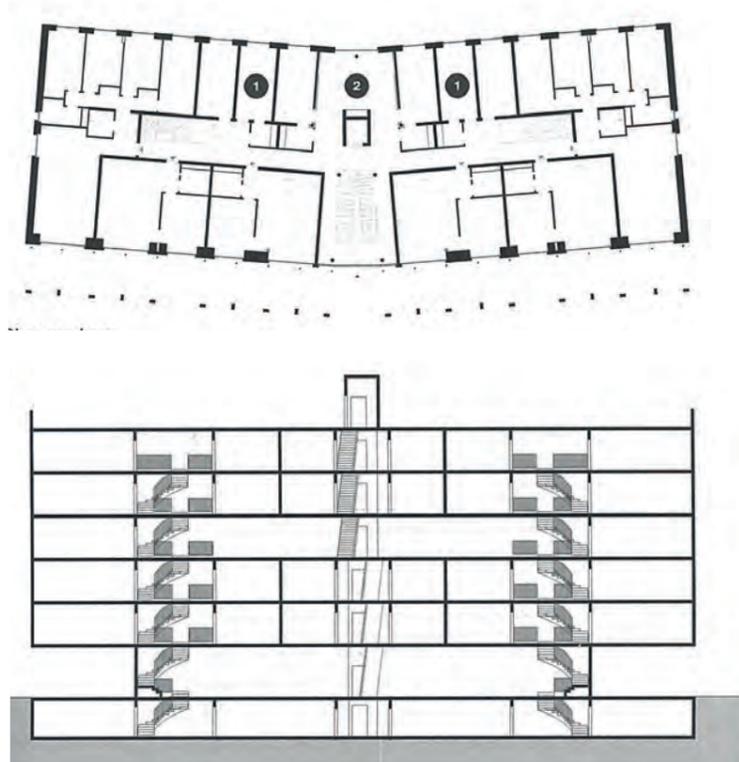


<b>Wärmedämmung</b>	
<b>Wand:</b>	<b>Strohdämmung</b>
<b>Energiebedarf</b>	
<b>Energiebedarf total:</b>	<b>110'000 kWh/a</b>
<b>Energieversorgung</b>	
<b>PV Dach (188m2):</b>	<b>176.0 kWh/m2a</b>
<b>Energieversorgung solar:</b>	<b>33'000 kWh/a</b>
<b>Eigenenergieversorgung:</b>	<b>30%</b>
<i>Projektierte Energiekennwerte</i>	

Die Baugenossenschaften Équilibre und Luciole haben im Genfer Quartier Servette einen siebengeschossigen Neubau mit 38 vom Kanton subventionierten Wohnungen für Personen und Familien mit geringem Einkommen realisiert. Im Erdgeschoss befinden sich Gewerberäume und ein Gemeinschaftsraum mit Küche und WC. Die drei Treppenhäuser sind aus einem zentralen Eingangsräum erschlossen, wobei vorerst nur beim mittleren ein Aufzug in den Schacht eingebaut wurde. Das 3. Obergeschoss ist als «rue intérieure» für Begegnung und Austausch ausgestaltet. Dort befinden sich auch die Gemeinschaftswaschküche und 6 Gäste- bzw. individuell zumietbare Zimmer. Das Gebäude erfüllt höchste Anforderungen an

das ökologische und energieeffiziente Bauen. Aktive und passive Sonnenenergienutzung und die Verwendung von gesunden und ökologischen Baumaterialien standen bei der Planung ebenso im Vordergrund wie ein stark reduziertes Parkplatzangebot. Hervorzuheben ist das Wassermanagement. So wird das Regenwasser zusammen mit wieder aufbereitetem Spülwasser für die Spülung der Toiletten verwendet, womit ein geschlossener Kreislauf entsteht.

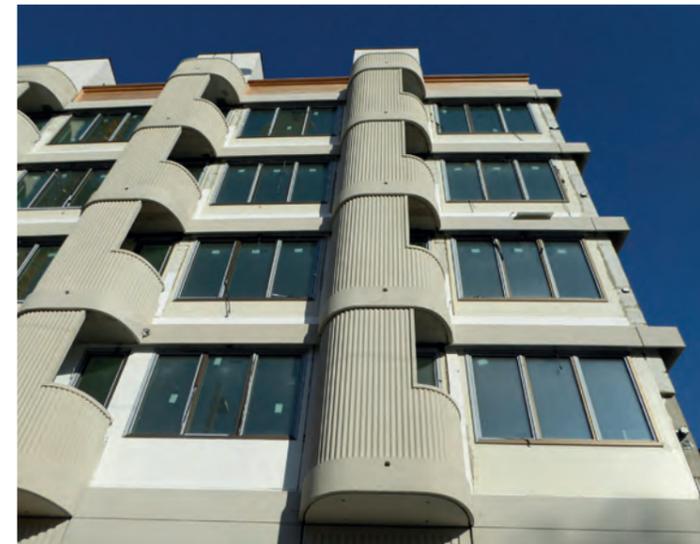
*Soubeyran Genf in: Wohnbauten planen, beurteilen und vergleichen: Wohnungs-Bewertungs-System WBS, Ausgabe 2015*



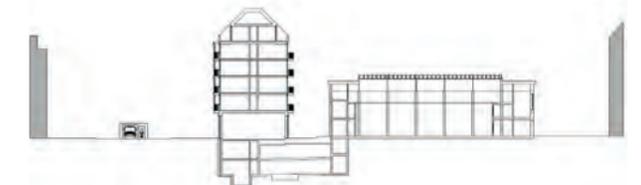
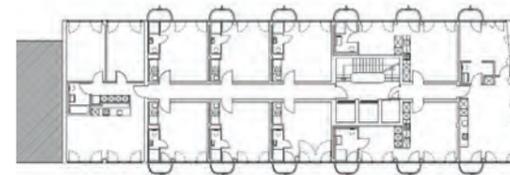
\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**24 MFH Hohlstrasse, Zürich, 2018**  
Schwarz Architekten

**Solares Niedrigenergiehaus**



<b>Wärmedämmung</b>	
<b>Wand (Aerogel):</b>	<b>8cm</b>
<b>Fenster:</b>	<b>2-fach (Vakuumisoliertglas)</b>
<b>Energiebedarf</b>	
<b>Energiebezugsfläche:</b>	<b>2'760 m2</b>
<b>Heizung:</b>	<b>5.7 kWh/m2a</b>
<b>Warmwasser:</b>	<b>15.8 kWh/m2a</b>
<b>Heizung:</b>	<b>Wärmepumpe</b>
<b>Energieversorgung</b>	
<b>PV Dach (550m2):</b>	<b>45.6 kWh/m2a</b>
<b>Energieversorgung solar:</b>	<b>25'080 kWh/a</b>
<i>Projektierte Energiekennwerte</i>	



in: Faktor Minergie 47/2018, Zürich 2018, S.36-37

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**25 Bürohaus Suurstoffi 22, Rotkreuz, 2018**  
Burkhard Meyer Architekten

**Niedrigenergiehaus**



**Wärmedämmung**  
**Wand (Steinwolle):** 28cm  
**Fenster:** 3-fach Verglasung

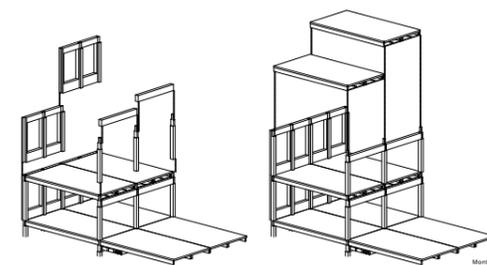
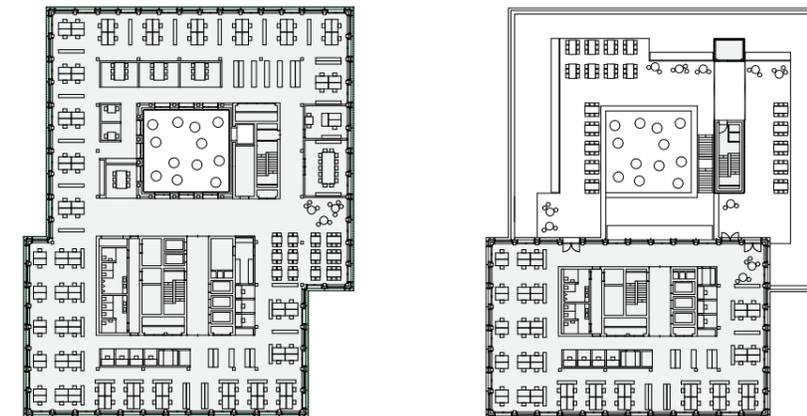
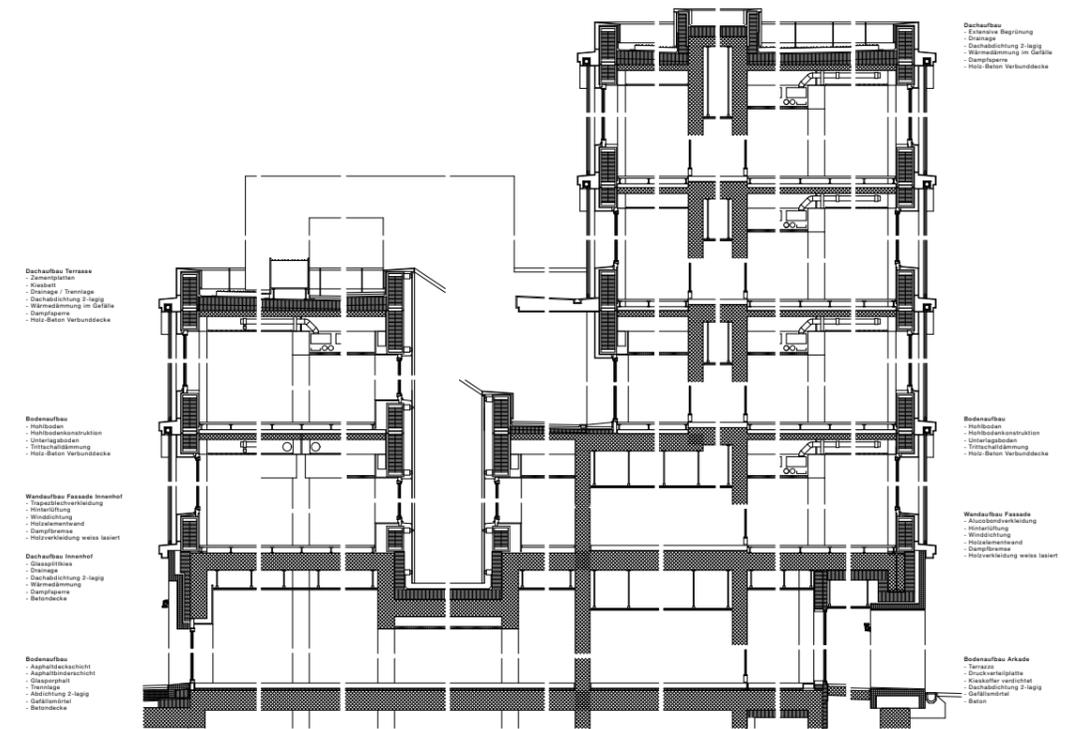
**Energiebedarf**  
**Energiebezugsfläche:** 17'900 m2  
**Heizung & Warmwasser:** 560 kWp  
**Kälte:** 580 kWp  
**Elektrizität:** unbekant

**Heizung:** Fernwärme  
 (Anergienetz, wird über WP im Gebäude verwertet)

**Projektierte Energiekennwerte**

Bei der Planung für das Bürogebäude Suurstoffi 22 bildeten Fragen zur typologischen Ausbildung eines generischen Programms, die folgerichtige konstruktive Umsetzung als Holzbau, sowie der angemessene architektonische Ausdruck in einem referenzlosen Kontext das gedankliche Gerüst des Entwurfes. So entstand das erste Bürohochhaus der Schweiz in Holzbauweise. Während der zentrale Kern die horizontale Aussteifung sichert, findet die gewünschte Flexibilität ihre Umsetzung in einem Holzskelettbau mit Vollholzstützen und Unterzügen in Baubuche-Furnierschichtholz. Die sichtbaren, in der Fassadenebene liegen-

den vertikalen Holzstützen (Brettschichtholz Fichte / Tanne) sowie die innere, umlaufende Tragebene mit Stützen und Unterzügen in Baubuche werden dabei mit einer Holz-Beton-Verbunddecke kombiniert. Die hybriden Deckenelemente wurden für die spezifischen Anforderungen eines Bürogebäudes konzipiert und dienen sowohl der Kühlung, Heizung und Lüftung, als auch der Raumakustik. Darüber hinaus haben sie eine brandabschnittbildende Funktion, wirken schalldämmend und nehmen auch die Leitungsführung des Sprinklersystems auf. Die Hülle besteht aus einer nicht brennbaren, matten Bekleidung in Alucobond.



Quelle: Burkhard Meyer Architekten, Baden

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

## 26 Neue Schule Port, Port, 2018 Skop Architekten

### Plus-Energiehaus



#### Wärmedämmung

Wand:	24cm / U-Wert: 0.17 W/m2K
Dach:	18cm / U-Wert: 0.11 W/m2K
Boden:	14cm / U-Wert: 0.16 W/m2K
Fenster:	3-fach / U-Wert: 0.60 W/m2K

#### Energiebedarf

Energiebezugsfläche:	3'341 m2
Heizung & Warmwasser:	45.2 kWh/m2a
Elektrizität:	19.2 kWh/m2a
Energiebezug total:	64.4 kWh/m2a
	215'355 kWh/a

Heizung: Fernwärme

#### Energieversorgung

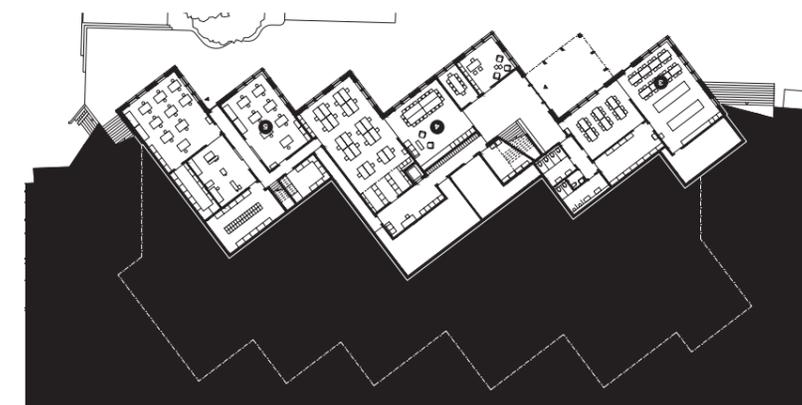
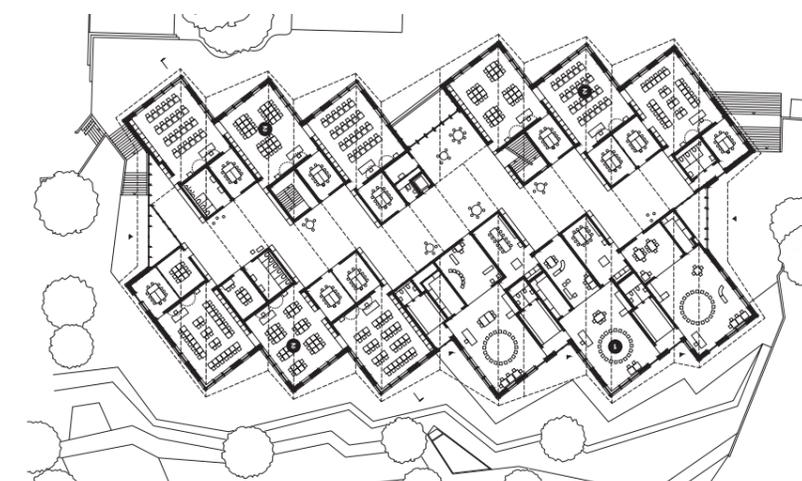
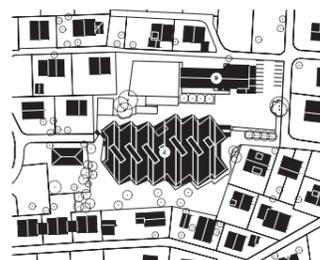
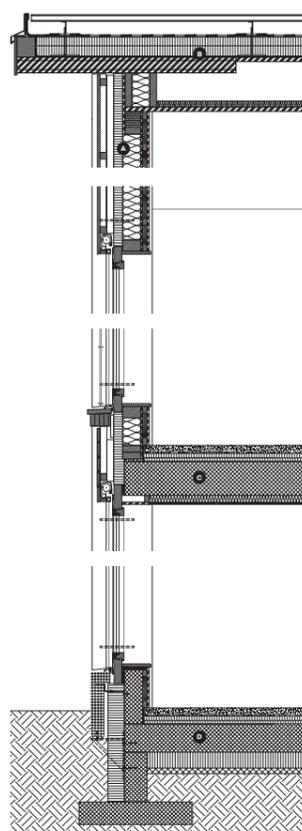
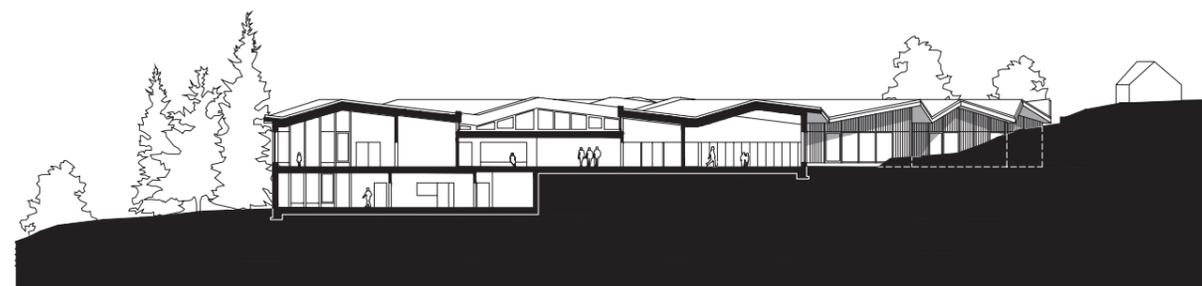
PV Dach (1'800m2):	160 kWh/m2a
Energieversorgung solar:	288'064 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	134%

#### Gemessene Energiekennwerte

Die neue Schule in Port fällt durch ihre komplexe Geometrie, die dunkelbraune Fassade aus Weisstannenholz und das mehrfach gefaltete und mit PV-Modulen verzierte Dach auf. Das gut gedämmte Dach mit einem UWert von 0.11 W/m2K, die dreifach verglasten Fenster, effiziente Geräte und LED-Lampen reduzieren den Energiebedarf des PlusEnergie-Schulhauses auf rund 215'400 kWh/a. Mit einer besseren Wärmedämmung der Wand wäre der Energiebedarf noch geringer ausgefallen. Die Müllverwertung Biel liefert Wärmeenergie für Heizung und Warmwasser. Die 298 kW starke, 1'800 m2 grosse und ganzflächig dachintegrierte PV-Anlage produziert 288'000 kWh/a. Bei einem Energiebedarf von rund 215'400 kWh/a beträgt die Eigenenergieversorgung so-

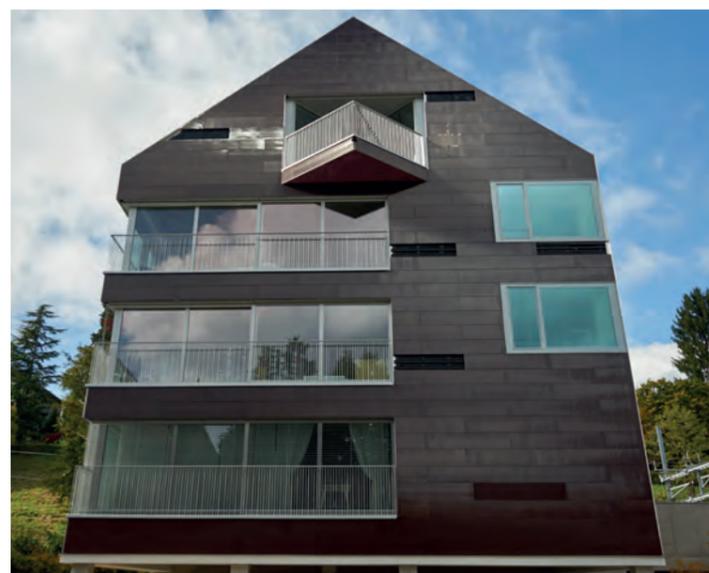
mit 134%. Mit der eingebauten Ladestation können EAutos direkt mit dem vom Schulhaus produzierten Solarstrom CO2 frei fahren. Der Stromüberschuss von 72'700 kWh/a wird direkt in das Netz der Gemeinde Port eingespeist und vor Ort verbraucht. Mit Portsolar können Einwohnerinnen und Einwohner sowie Firmen in Port ein 20-jähriges Nutzungsrecht an der PV-Anlage auf der neuen Schule erwerben und den damit hergestellten Strom selber verbrauchen. Dieses Schulhaus sticht nicht nur durch seine auffallende Architektur hervor, sondern auch durch sein nachhaltiges und zukunftsweisendes Energiekonzept.

in: Schweizer Solarpreis 2018, Zürich 2018, S.63



## 27 Wohnhaus Solaris, Zürich, 2018 Huggenbergerfries

### Solares Niedrigenergiehaus



#### Wärmedämmung

Wand:	20cm / U-Wert: 0.15 W/m <sup>2</sup> K
Dach:	20cm / U-Wert: 0.13 W/m <sup>2</sup> K
Boden:	22cm / U-Wert: 0.17 W/m <sup>2</sup> K
Fenster:	3-fach / U-Wert: 0.80 W/m <sup>2</sup> K

#### Energiebedarf

Energiebezugsfläche:	815 m <sup>2</sup>
Heizung & Warmwasser:	46.6 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität:	36.8 kWh/m <sup>2</sup> a
Energiebezug total:	83.4 kWh/m <sup>2</sup> a
	68'000 kWh/a

Heizung: Erdgas-Heizung

#### Energieversorgung

PV Dach (200m <sup>2</sup> ):	74.0 kWh/m <sup>2</sup> a
PV Fassade (420m <sup>2</sup> ):	40.5 kWh/m <sup>2</sup> a
Energieversorgung solar:	31'832 kWh/a
Eigenenergieversorgung:	47%

#### Gemessene Energiekennwerte



Mit Solaris steht in Zürich Wollishofen gegenüber dem Kulturzentrum «Rote Fabrik» ein Mehrfamilienhaus, welches hohe gestalterische Ansprüche mit moderner Solar-technologie verbindet.

Die gesamte Gebäudehülle dient der Solarstromgewinnung. Die monokristallinen Siliziumzellen sind von rotbraunem Gussglas verdeckt. Dadurch reduziert sich die Stromproduktion der PV-Dach- und Fassadenanlage um rund 39%. Ohne Verdeckung würde die Solaranlage etwa 52'200 kWh/a produzieren.

Die solare Gebäudehülle entstand aus der Zusammenarbeit der Hochschule Luzern mit Sundesign und Ertex. Die 47 kW starke PV-Fassadenanlage erzeugt ca. 17'000 kWh/a. Die optimal integrierte 25 kW starke PV-Dachanlage generiert rund 14'800 kWh/a (7.4 kWh/m<sup>2</sup>a). Der Solarertrag von 31'800 kWh/a deckt 47% des Gesamt-

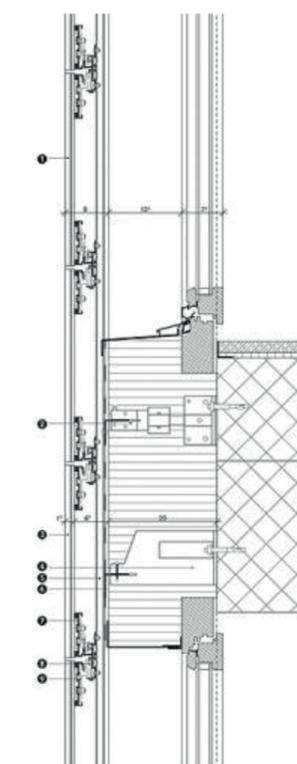
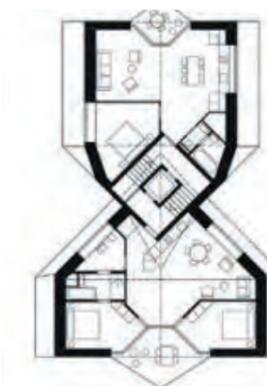
energiebedarfs von 68'000 kWh/a. Ein 10-kWh-Batteriespeicher erhöht die Eigenverbrauchsquote. Den restlichen Wärmebedarf von 36'200 kWh/a deckt eine Erdgasheizung (Biogas-Anteil: 1.7%).

Durch eine Minergie-P- oder etwas optimalere Dämmung könnten die U-Werte, die Energieverluste und die CO<sub>2</sub>-Emissionen erheblich vermindert werden.

Auf 815 m<sup>2</sup> ermöglicht das Gebäude zehn Wohnungen. Im Mietpreis inbegriffen ist die Benutzung eines hauseigenen Elektroautos.

Das MFH Solaris zeigt auf, wie sich die Nutzung von Sonnenenergie und Solararchitektur in städtebaulichen Projekten ergänzen können.

in: Schweizer Solarpreis 2018, Zürich 2018, S.79



**28 Coopérative d'Ateliers Erlenmatt, Basel, 2019**  
 Degelo Architekten

**Passivhaus**

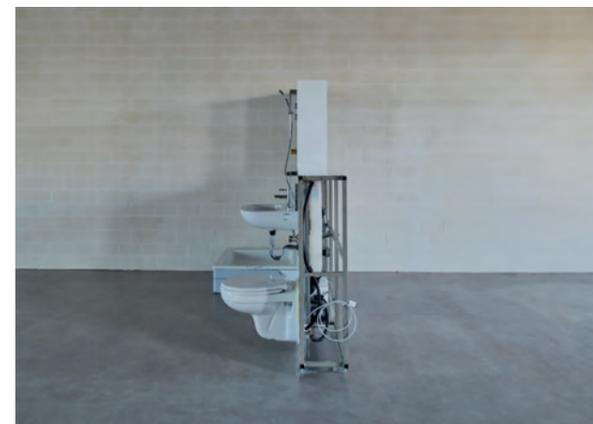
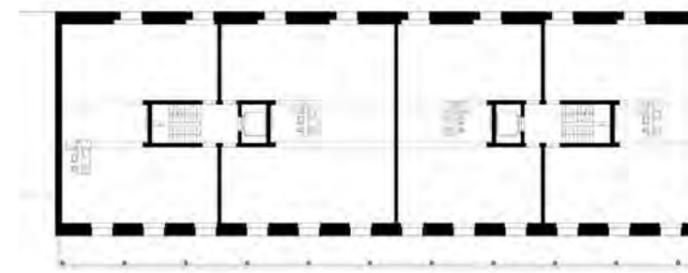
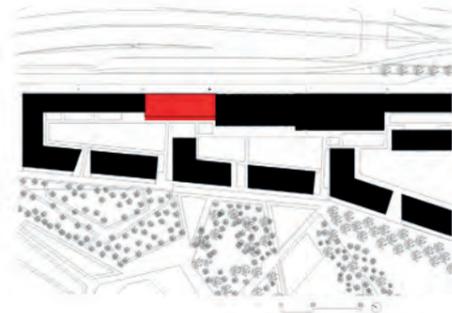


**Wärmedämmung**  
**Wand**  
 (porosierter Backstein): 78cm

**Energiebedarf**  
 Energiebezugsfläche: 2'627 m<sup>2</sup>  
 Heizung: 0 kWh/m<sup>2</sup>a

**Heizung:** keine  
 (Luft-Wasser-WP für Warmwasser)

Das 4-geschossige Gebäude vereint 17 Wohnateliers unter einem Dach. Um das Ziel von 10 CHF/m<sup>2</sup> Monatsmiete zu erreichen, wurde das Gebäude auf das wirklich notwendige beschränkt. Die offenen Wohn- und Arbeitsflächen können frei eingerichtet werden. Es gibt ein Sanitärelement mit WC, Dusche und Waschbecken, sowie den freistehenden Küchenelementen Herd, Spüle und Kühlschrank. Die 80 cm starken Aussenwände aus Dämmziegelmauerwerk sorgen für eine hohe Speichermasse. Das Gebäude ist mit träger Gebäudemasse und gesteuerten Lüftungsflügeln so optimiert, dass keine Heizung notwendig ist. Die tiefen Fensterlaibungen schützen auf natürliche Weise im Sommer vor Überhitzung, ohne dass ein Sonnenschutz notwendig wäre. Die auf der Süd-West-Seite vorgelagerten Holzbalkone tragen ebenfalls zum sommerlichen Hitzeschutz bei und erweitern mit ihrem Geländer aus massiven Eicheholzschichten den Wohnbereich auf der Hofseite.



Quelle: Degelo Architekten, Basel

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

## 29 Gemeinschaftswohnhaus WG50+, Winterthur Seen, 2010 Haerle Hubacher Architekten

In Winterthur-Seen hat die GESEWO ein innovatives Projekt für selbstbestimmtes Wohnen in der zweiten Lebenshälfte realisiert. Es ermöglicht ungefähr 20 Personen in 16 Wohneinheiten, eine Hausgemeinschaft zu pflegen, die sowohl soziale Kontakte als auch Individualität und Abgrenzung zulässt. Die Bewohnerinnen und Bewohner verfügen über eigene Wohnungen und zusätzlich grosszügige Gemeinschaftsräume zur vielfältigen Nutzung. Der Baukörper ist einfach und so kompakt, wie die Gegebenheiten des Ortes dies zulassen. Die umlaufenden Balkone schaffen einen Übergang nach aussen und weiten die Innenräume. Die raumhohe Befensterung ermöglicht auch bettlägerigen Personen den Blick ins Freie. Die äusserste Schicht der Brüstungsbänder umhüllt als zweite Haut den Baukörper.

Der relativ kleine kompakte Baukörper ist in Mischbauweise erstellt mit einer tragenden Fassade in Holzelementbau und einer äusseren Bekleidung in Holz. Die umlaufenden Balkonbänder sind gegen oben an die Dachkonstruktion aufgehängt. Durchgehende und zugängliche Schachtzonen sind im Grundriss klar konzipiert.

Die besondere Wohnform führt zu einer grossen Dichte an individuellen Nasszonen und damit zu einer relativ aufwändigen Installation. Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einer Pelletsheizung und Sonnenkollektoren. Das Gebäude erfüllt den Standard Minergie-P- Eco.

Die Parzelle liegt in naher Fussdistanz zu Einkaufsmöglichkeiten und ist mit dem öffentlichen Verkehr gut erschlossen (öV-Gütekategorie B). Zum Haus werden nur drei Besucher-Parkplätze angeboten.

in: Machbarkeitsstudie Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude 2014, Stadt Zürich Amt für Hochbauten, S.155 ff

### Wärmedämmung

Wand:	30cm
Dach:	26cm
Boden:	ungedämmt
Fenster:	3-fach

### Energiebedarf

Energiebezugsfläche:	1'537 m <sup>2</sup>
Heizung:	14 kWh/m <sup>2</sup> a Pellets
Warmwasser:	13 kWh/m <sup>2</sup> a Pellets / Sonnenkollektoren
Lüftung:	3 kWh/m <sup>2</sup> a
Elektrizität:	12.5 kWh/m <sup>2</sup> a

### Gemessene Energiekennwerte



Quelle: Haerle Hubacher Architekten, Zürich

### 30 EFH Moosweg, Riehen BS, 2020 Felippi Wyssen Architekten

Das neu erbaute Haus entstand im Garten eines bestehenden Wohnhauses. Etwa 200 Quadratmeter Wohnfläche auf zwei Geschossen und ein Carport stehen hier zur Verfügung. Auffälligstes Merkmal des Baus ist die charakteristische, in drei Längszonen gegliederte Dachlandschaft, die die verschiedenen Nutzungszonen im Inneren nach aussen abbildet. Das grosse, mit einer Photovoltaik-Anlage ausgestattete Hauptdach vereint unter sich die Wohn-, Ess- und Schlafräume, das über der schmalen Terrasse platzierte Vordach markiert den Übergang zwischen Haus und Garten und unter dem schmalen rückwärtigen Dach verbergen sich alle Funktions- und Erschliessungsräume, eine Bibliothek sowie das zweiläufige Treppenhaus. Im Gebäudeinneren durchdringen sich zwei verschiedene Schichtungen auf in sich logische Weise: Neben der von den Wohngeschossen geprägten horizontalen Aufteilung gibt es die in der Gebäudetiefe angelegte Schichtung der Funktionen. Das als Holzleichtbau ausgeführte Nullenergie-Haus ruht auf einem Betonsockel, der im Erdgeschoss als vom Obergeschoss überdeckte Terrasse genutzt werden kann. Beide Geschosse der zum Vorderhaus gerichteten Fassade sind raumhoch verglast und lassen trotz der weit auskragenden Dächer viel Tageslicht ins Gebäudeinnere. Im Kontrast dazu sind die Seitenfassaden sowie die Rückseite des Hauses eher verschlossen gehalten, hier entfaltet das für die Fassadenverkleidung eingesetzte Lärchenholz seine Wirkung in grossen Flächen. Mit dieser geschlossenen Form der Rückfassade antwortet der Bau auf die Topografie des Ortes: Hinter dem Haus steigt ein steiler Hang auf, an den sich das neue Wohnhaus gewissermassen anlehnt. Der optisch leichte Carport löst sich nicht nur formal vom Gebäude, sondern auch durch seine Materialisierung in Stahl. Die Basler Felippi Wyssen Architekten zeigen mit dem PlusEnergie-EFH Moosweg in Riehen/BS auf überzeugende und einfache Weise, wie eine PV-Anlage als integrales, ästhetisches Element zur Gestaltung eines Gebäudes mitwirkt. Für eine gute Hinterlüftung der Glas-Glas-PV-Module sorgt die direkte Montage auf Holz-Dachlattung. Der gros-

**Wärmedämmung**  
Wand: 24cm  
Dach: 26cm  
Boden: 22cm  
Fenster: 3-fach

**Energiebedarf**  
Energiebezugsfläche: 226 m<sup>2</sup>

**Elektrizität:** 28.9 kWh/m<sup>2</sup>a

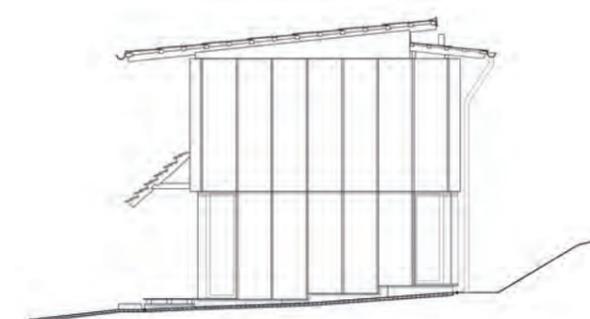
**Eigenenergieversorgung:** 176 kWh/m<sup>2</sup>a

#### Gemessene Werte

se Dachüberstand sorgt für eine Verschattung der grossen südlichen Fensterfront im Sommer und ermöglicht trotzdem eine solare Passivnutzung durch den tieferen Sonnenstand im Winter.

Das südlich ausgerichtete Solardach und die vertikale Lärchenschalung des Holzbaus bewirken ein Zusammenspiel von Technik, Ästhetik und Konstruktion. Das nachhaltige PEB-EFH Moosweg erscheint dennoch modern und leicht.

Mit der 20.8 kW starken PV-Anlage werden 21'500 kWh/a Strom erzeugt. Der Strombedarf beträgt 6'500 kWh/a. Daraus resultiert ein Solarstromüberschuss von 15'000 kWh/a. Damit können jährlich 10 Elektroautos je 12'000 km CO<sub>2</sub>-frei fahren.



Quelle: Schweizer Solarpreis 2020, Felippi Wyssen Architekten, Basel

**31 Sanierung röm.-kath. Kirche, Ebmingen, 1989|2019**

**Studerarchitekt**

Die im Jahr 1989 errichtete Römisch-Katholische Kirche St. Franziskus Ebmingen musste dringend saniert werden. Eine alte Ölheizung, eine nicht zeitgemässe Isolierung sowie ein stellenweises undichtes Dach sorgten für einen unverhältnismässig hohen Energiebedarf von 84'400 kWh/a. Im Winter 2018/19 folgte die bauliche und energetische Sanierung mit neuer Dämmung, Erdsonden-Wärmepumpe, Photovoltaik mit Thermie (PVT) und LED-Beleuchtung. Infolge dieser Massnahmen sank der bisherige Gesamtenergiebedarf von 84'400 kWh/a um 35% auf 54'700 kWh/a. Der Charakter der PlusEnergie-Kirche blieb dennoch erhalten.

Die Sanierungskosten belaufen sich auf Fr. 1.2 Mio. Von der insgesamt 543 m2 grossen und optimal in das Dach integrierten PV-Anlage sind 161 m2 mit PVT-Modulen ausgestattet. Sie produzieren neben Strom zusätzlich 41'800 kWh/a Wärme, die im Sommer 300 m tief ins Erdreich geleitet wird. Im Winter wird ein Teil wieder zurückgewonnen. Die installierte Leistung der PV/PVT-Anlage beträgt 90 kW. Damit werden jährlich 78'900 kWh/a CO2-freier Strom und mit den 161 m2 thermischen Sonnenkollektoren noch 41'800 kWh/a Wärmeenergie erzeugt. Beide Anlagen erzeugen insgesamt 120'700 kWh/a. Damit weist die PEB-Kirche eine Eigenenergieversorgung von 221% auf. Die Kirchensanierung erfüllt sowohl in energetischer wie auch in ökologischer Hinsicht eine Vorbildfunktion.

**Wärmedämmung**

**Wand:** 9cm  
**Dach:** 24cm  
**Boden:** 8cm  
**Fenster:** 3-fach

**Energiebedarf**

**Energiebezugsfläche:** 1'070 m2

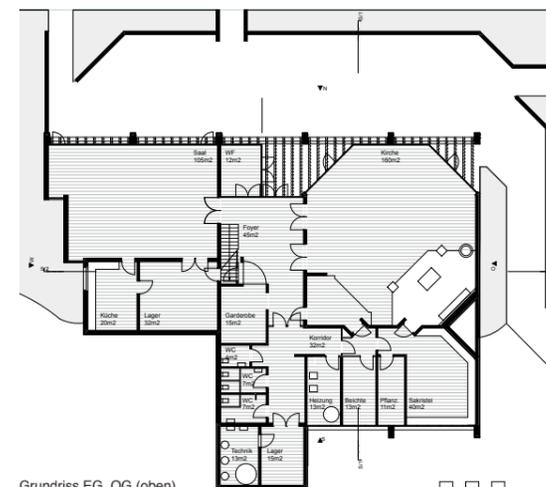
**Warmwasser:** 1 kWh/m2a  
**Solare Wärme:** 39 kWh/m2a  
**Elektrizität WP:** 6.4 kWh/m2a  
**Elektrizität:** 4.7 kWh/m2a

**Eigenenergieversorgung:** 145.2 kWh/m2a

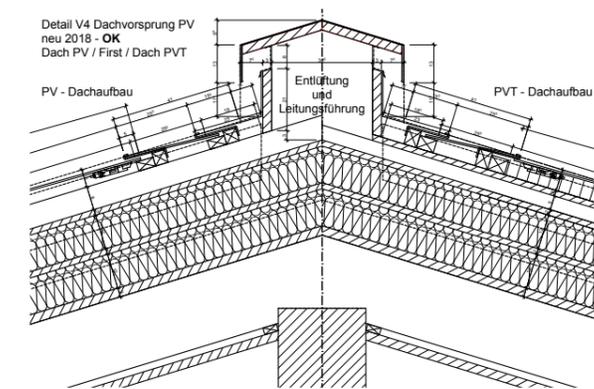
**Gemessene Werte**



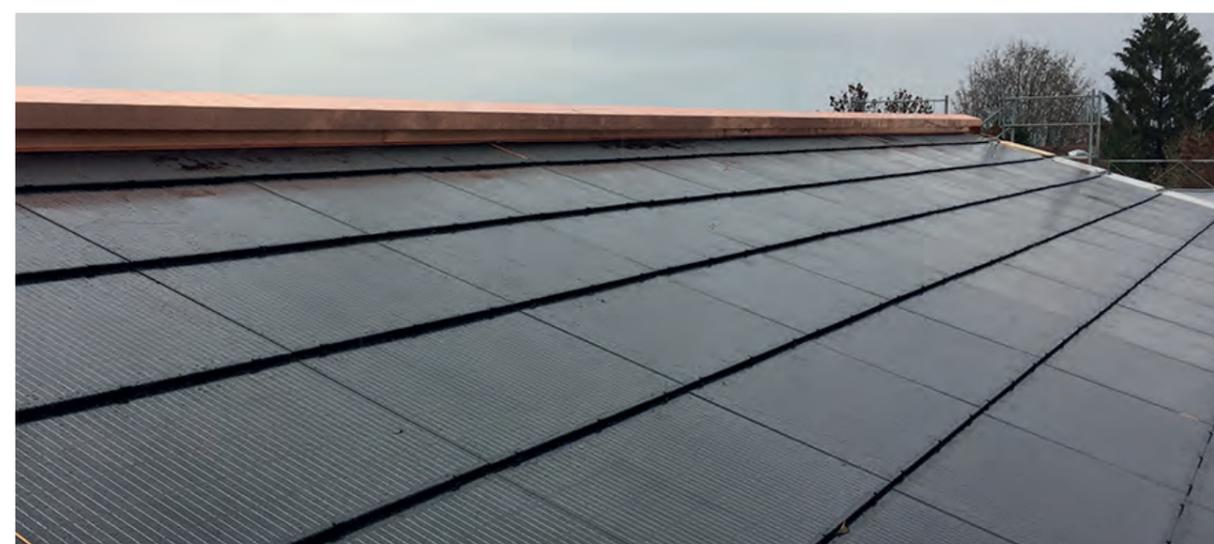
in: Europäischer Solarpreis 2019, Seite 42



Grundriss EG, OG (oben)



Konstruktionszeichnung First mit PV (links) und PVT (rechts)



Quelle: Schweizer Solarpreis 2020, Studerarchitekt, Ennetbaden; studerarchitekt.ch

\*Falls sich bei den aufgeführten Daten und Zahlen Fehler eingeschlichen haben, bitten wir um Korrektur.

**32 Plusenergie-EFH, Beringen SH, 2018****Bauatelier Metzler**

**290% Plusenergiehaus.** Ein schlicht gestaltetes wohlproportioniertes Holzhaus, welches konsequent auf möglichst geringen Verbrauch und einer möglichst hohen Energieproduktion optimiert wurde. D.h. geringe Wärmeverluste durch einen sehr hochwertigen Dämmperimeter mit U-Werten unter 0.01 und einer geringen Hüllfläche. Die grosszügige PV Anlage ist dabei derart unauffällig in das Süddach integriert, dass sie von keinem Punkt aus einsehbar ist.

Das Gebäude wurde in ein bestehendes Grundstück integriert. Südlich davon liegt das Familienhaus welches Anfang 90er Jahre bereits in energieeffizienter Bauweise erstellt wurde, östlich das Elternhaus aus den 50er Jahren. Die Gebäudegruppe wird von zwei Generationen bewohnt.

Das neue Plusenergie-Senioren-Haus ist so konzipiert, dass es möglichst lange bewohnt werden kann. So sind alle wichtigen Funktionen wie Schlafen / Essen / Nasszelle / Kochen / Wohnen ebenerdig im oberen Geschoss zugänglich. Das Haus kann ausserdem auf einfache Weise in zwei Wohneinheiten unterteilt werden, dies ist in der Grundrisskonzeption sowie in der Auslegung und Leitungsführung der Haustechnik bereits berücksichtigt.

Der Neubau ist einfach materialisiert- Fichte aussen, formaldehydfreie OSB Grobspanplatten und sichtbarer Beton innen. Im Hauptgeschoss sind die OSB Platten in Weiss/ Rot/ Blau gestrichen, im unteren Geschoss bleiben beton und OSB roh sichtbar ebenso wie die sägrohe Fichte aussen. Bauteile und Technik sind so zusammengefügt, dass sie auch wieder auf einfache Weise rückgebaut, saniert oder umgebaut werden können. Die Lüftungsleitungen sind sowohl horizontal als auch vertikal langfristig zugänglich (z.B. abgehängte Decke im Flur und Nasszellenbereichen = weniger betonverbrauch und bessere Zugänglichkeit).

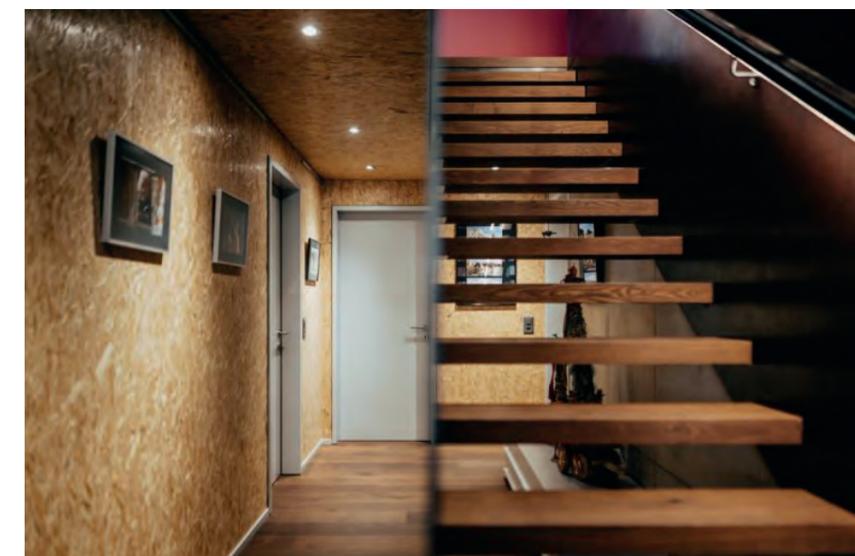
<b>Wärmedämmung</b>	
Wand:	44cm
Dach:	49cm
Boden:	65cm
Fenster:	3-fach
<b>Energiebedarf</b>	
Energiebezugsfläche:	203 m2
Heizung:	4.1 kWh/m2a Wärmepumpe
Warmwasser:	4.8 kWh/m2a Wärmepumpe/PV-Anlage

Elektrizität: 11.1 kWh/m2a

Eigenenergieversorgung: 161 kWh/m2a

**Gemessene Werte**

Zusammen mit der optimalen Dämmung sorgt eine effiziente Wärmepumpe für einen niedrigen Gesamtenergiebedarf von 4'200 kWh/a. Der Solarstromüberschuss von 7'300 kWh/a kompensiert gleichzeitig auch die 160 kWh/a Wärmeenergie aus Holz. Mit dem Solarstromüberschuss könnten fünf Elektrofahrzeuge jährlich je rund 12'000 km CO<sub>2</sub>-frei fahren. Da nur die Süddachfläche mit Modulen ausgestattet ist, verbleibt auf dem Norddach eine ungenutzte Dachfläche mit einem Solarstrompotential von ca. 40% im Vergleich zum Süddach.



Quelle: Schweizer Solarpreis 2019, Bauatelier Metzler, Frauenfeld

# BEISPIELE VON AUFSTOCKUNGEN/ UMNUTZUNGEN

**33 Wohn- und Atelierhaus Zypressenstrasse, Zürich, 1997**  
Meili Peter Architekten

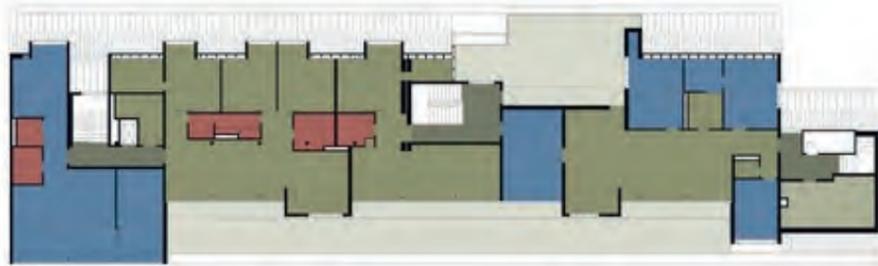
**Bestand / Umnutzung**

**Nutzung:** Industriegebäude / Wohnen und Atelier  
**Baujahr:** ca. 1950 / 1994-97  
**Architektur:** Unbekannt / Meili Peter Architekten

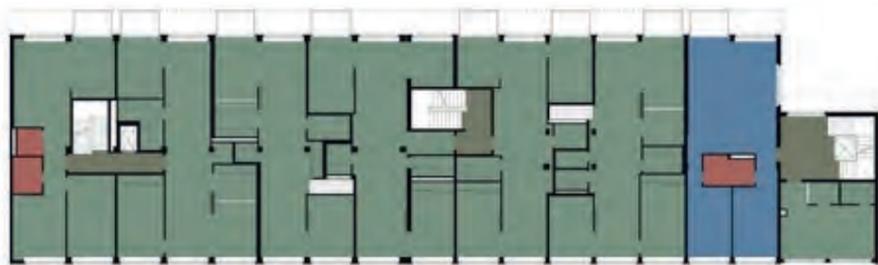


Bestand

Umbau



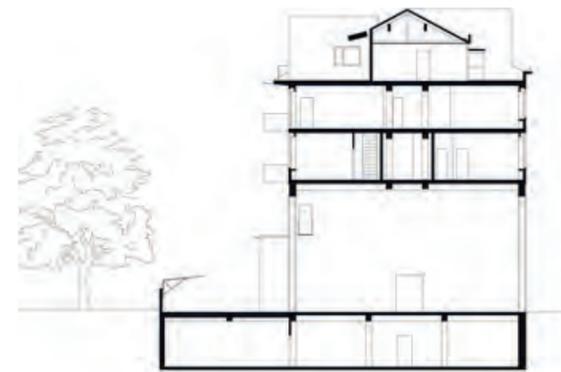
Dachgeschoss



3. Obergeschoss



2. Obergeschoss



Bestand



Umbau

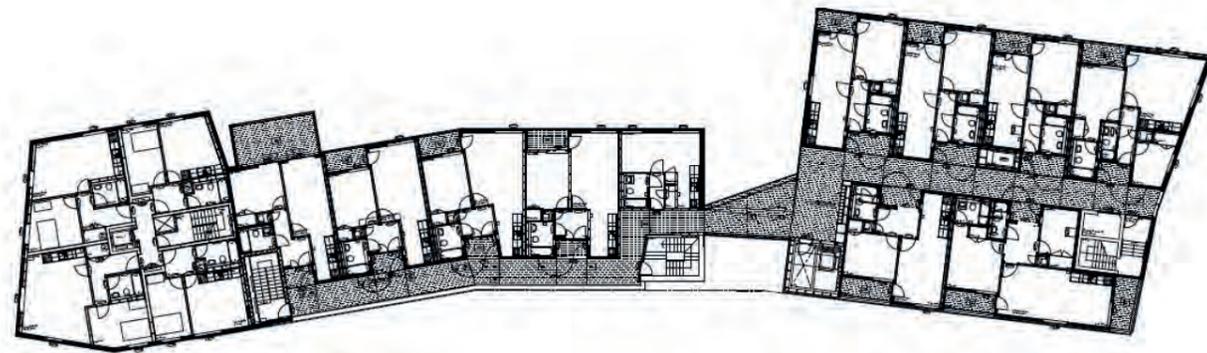
Quelle: Meili, Peter & Partner AG, Zürich

### 34 Workshops and factory redevelopment, Garratt Lane London, 2004 Sergison Bates architects

The two original buildings, let for commercial uses, now support an additional storey of timber-framed flats, strung along a winding walkway which bridges the gap between them.

This is a street in the sky which really lives up to the name, with a small private court, open to the sun, giving on to each flat, and allowing the kitchens and bathrooms natural light and view.

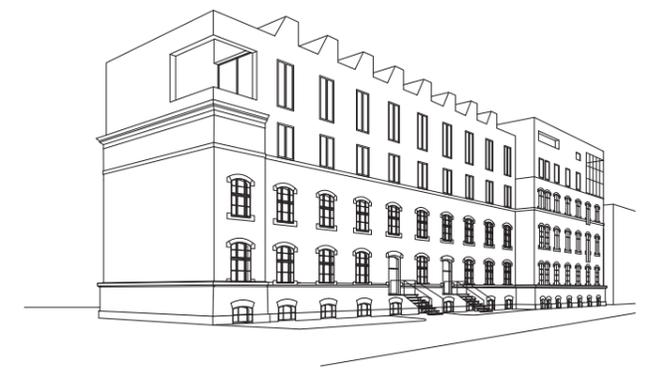
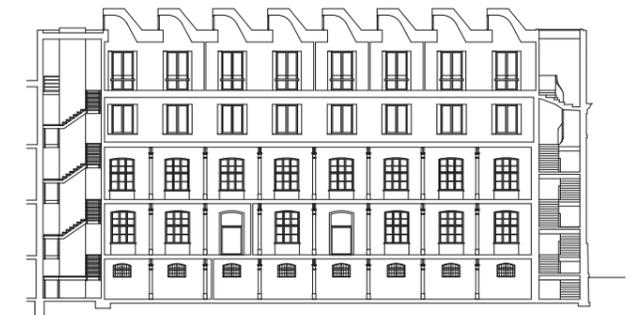
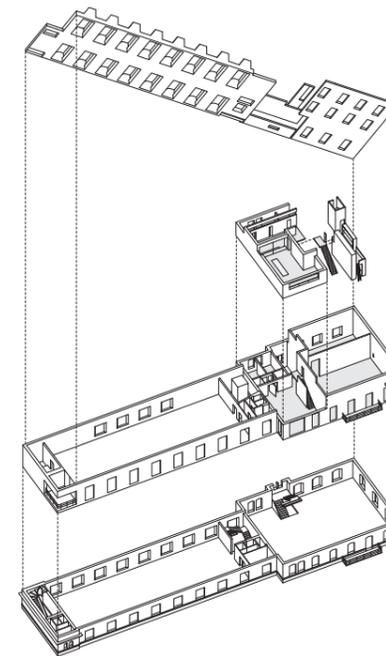
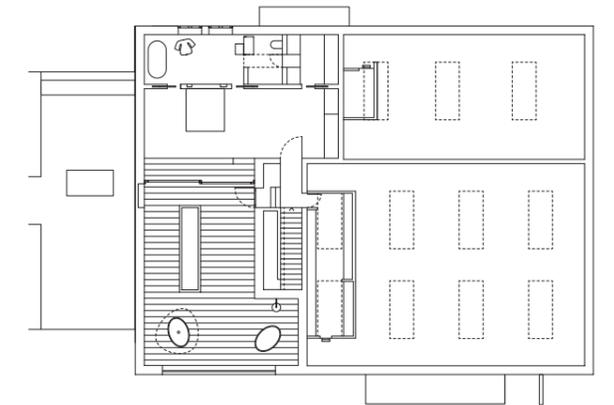
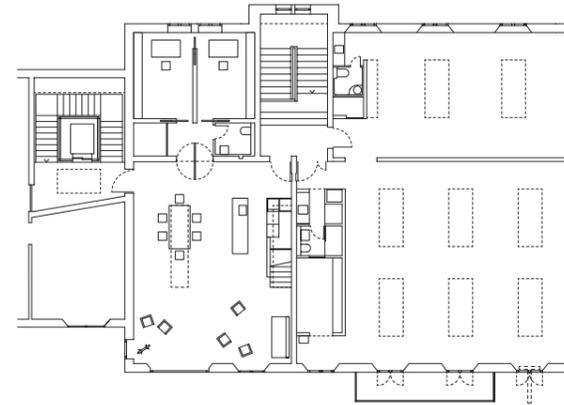
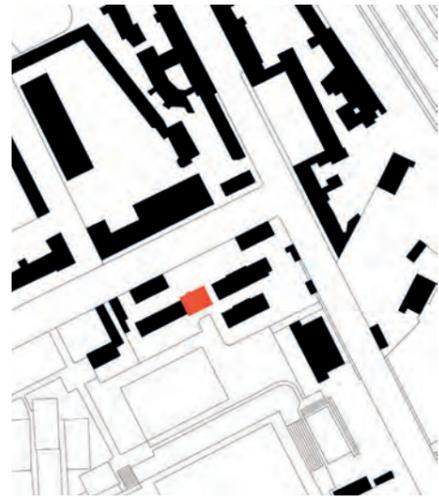
But it is the wood – larch plywood, to be precise – which makes this little street such a warm and unforgettable experience. It covers the ceiling, the walls, the doors, and even flows into the bathrooms to give them a sauna-like quality. It is utterly simple, and immensely pleasurable to experience. By contrast, the exterior face of the building is clad in a grey fibrous cement rainscreen, punctuated by high quality purpose-built windows, arranged in an apparently casual fashion which conceals a very careful and studied piece of design.



**35 Studio und Loft Karin Sander, Berlin, 2010**  
Sauerbruch Hutton Architekten

Bestand / Umnutzung

Nutzung: Kasernengebäude / Wohnen und Atelier  
Baujahr: Unbekannt / 2008-2010  
Architektur: Unbekannt / Sauerbruch Hutton Architekten



**36 Aufstockung Wohnungen Wallisellenstrasse, Zürich Saatlen, 2013**  
**BUR Architekten**

**Bestand / Umnutzung**

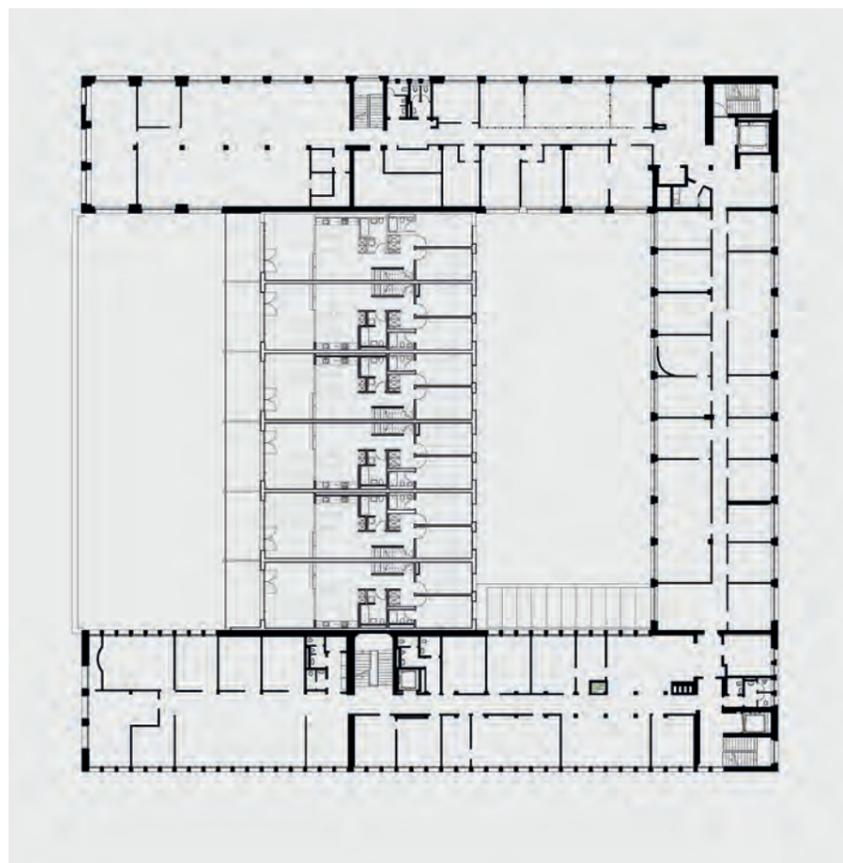
**Nutzung:** Industriegebäude / Wohnen  
**Baujahr:** ca. 1950 / 2012-13  
**Architektur:** Unbekannt / BUR Architekten



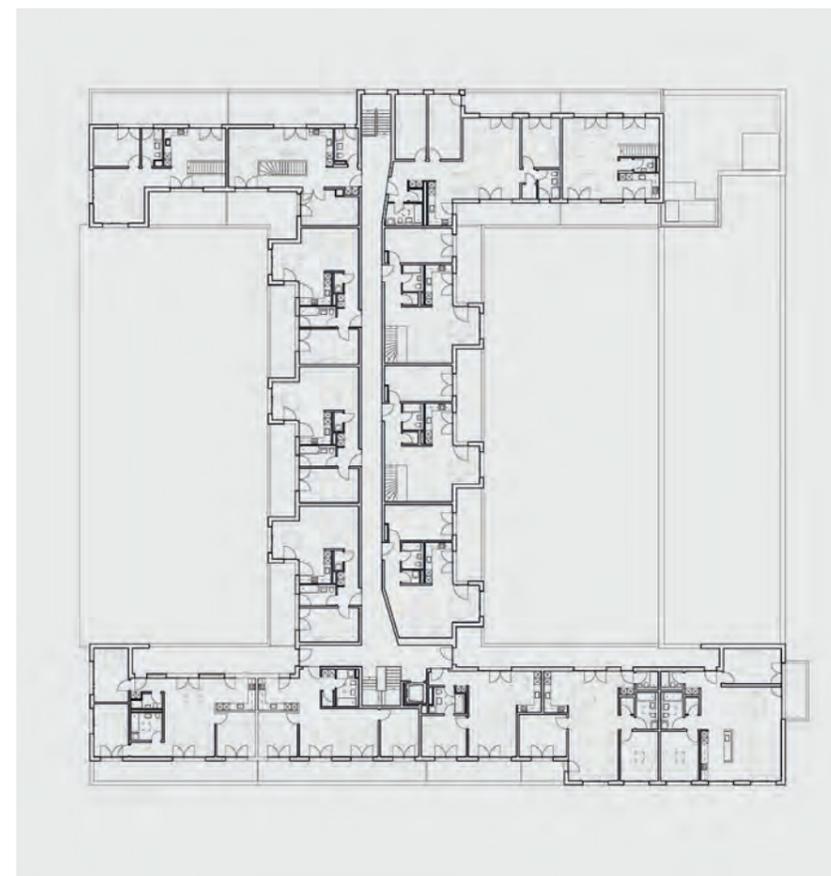
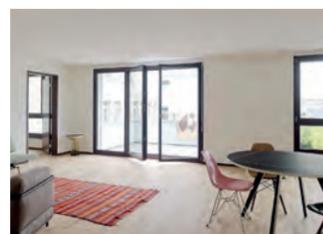
Bestand



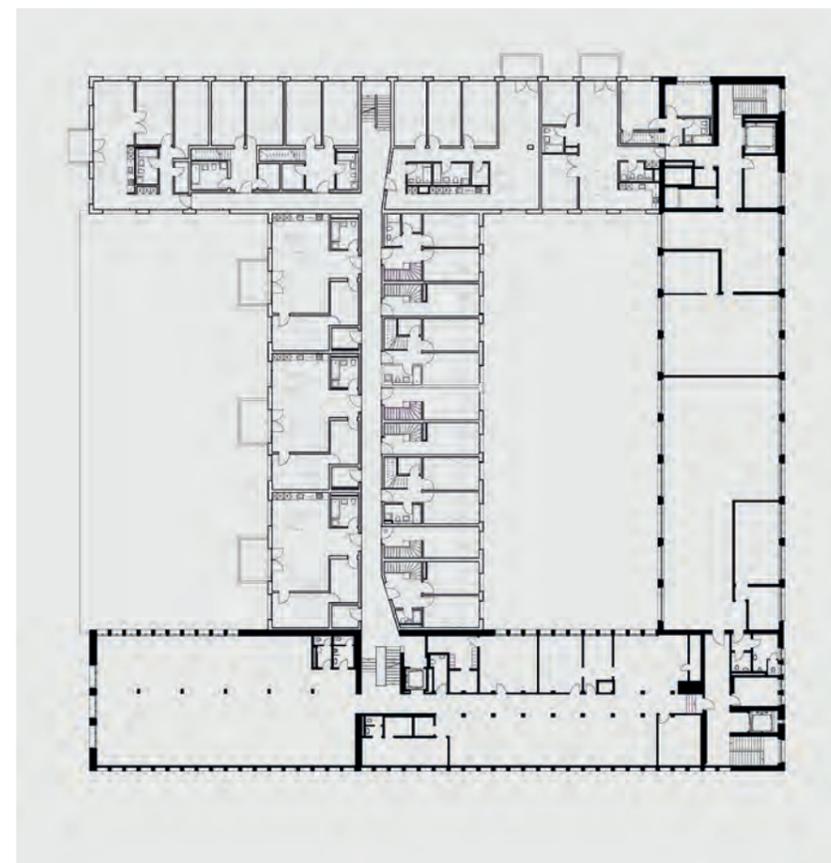
Umbau



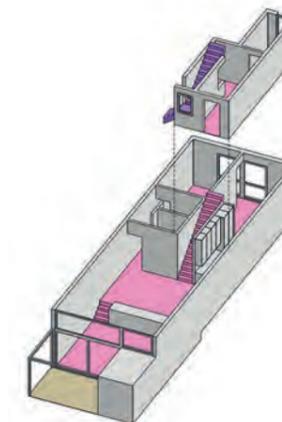
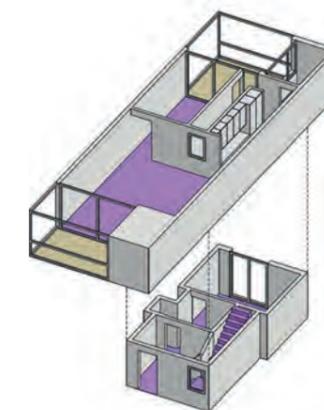
1. Obergeschoss



Dachgeschoss



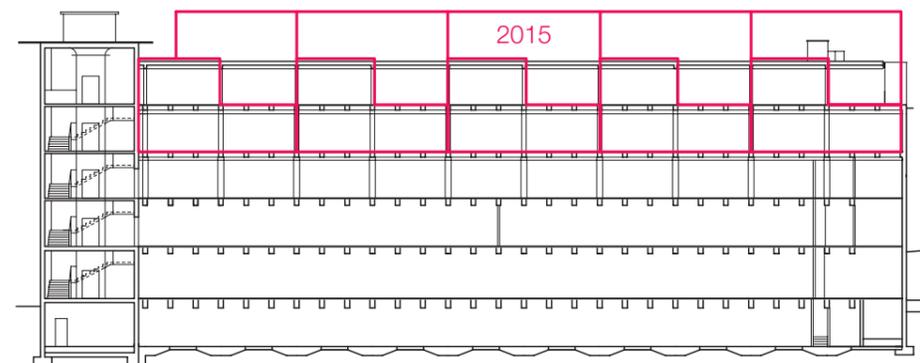
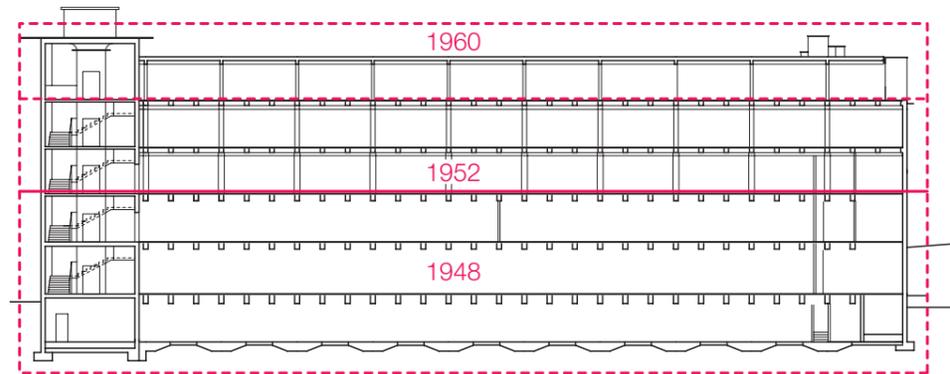
2. Obergeschoss



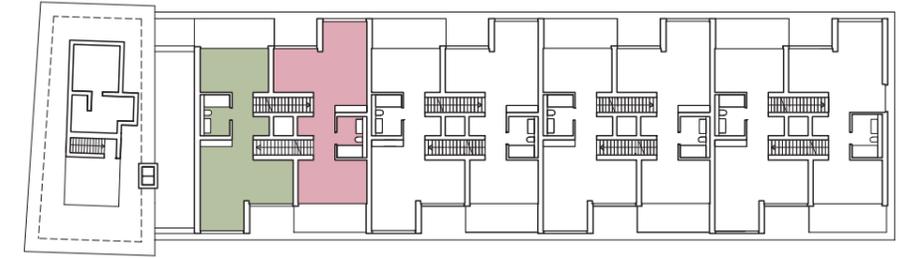
**37 rauti-huus Rautistrasse, Zürich Albisrieden, 2015**  
**Spillmann Echsle Architekten**

**Bestand / Umnutzung**

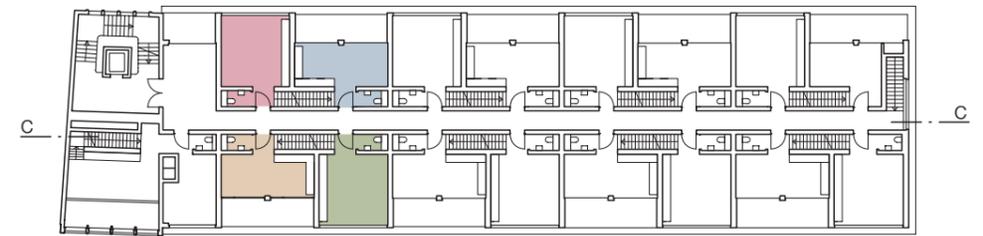
**Nutzung:** Fabrik / Wohnen  
**Baujahr:** 1947 / 2012 - 15  
**Architektur:** Rudolf Kuhn / Spillmann Echsle Architekten



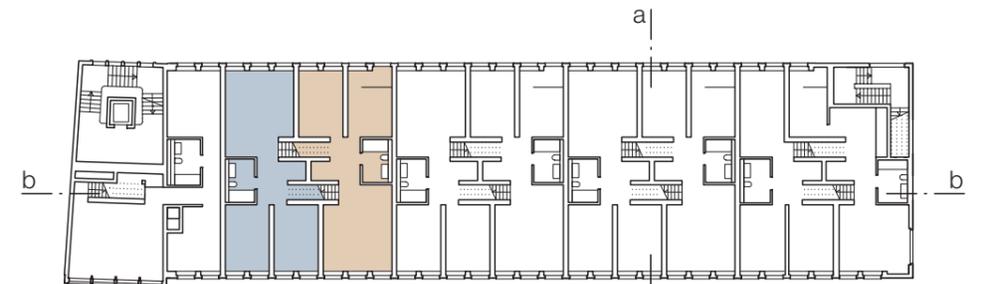
Bestand



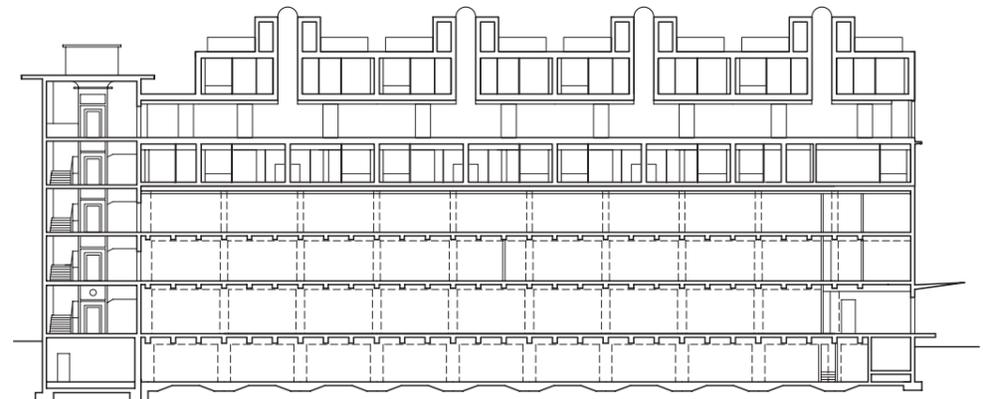
5. Obergeschoss / Fifth floor

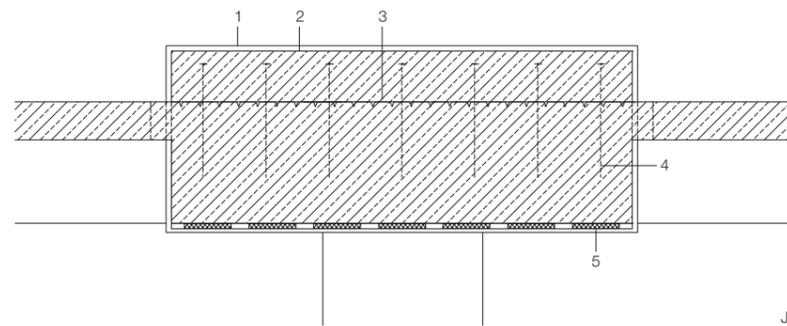
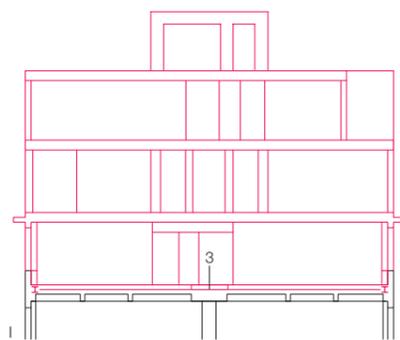
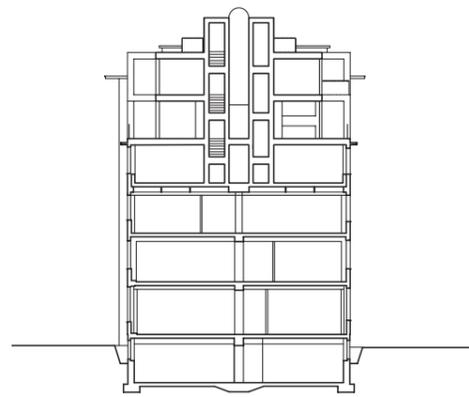
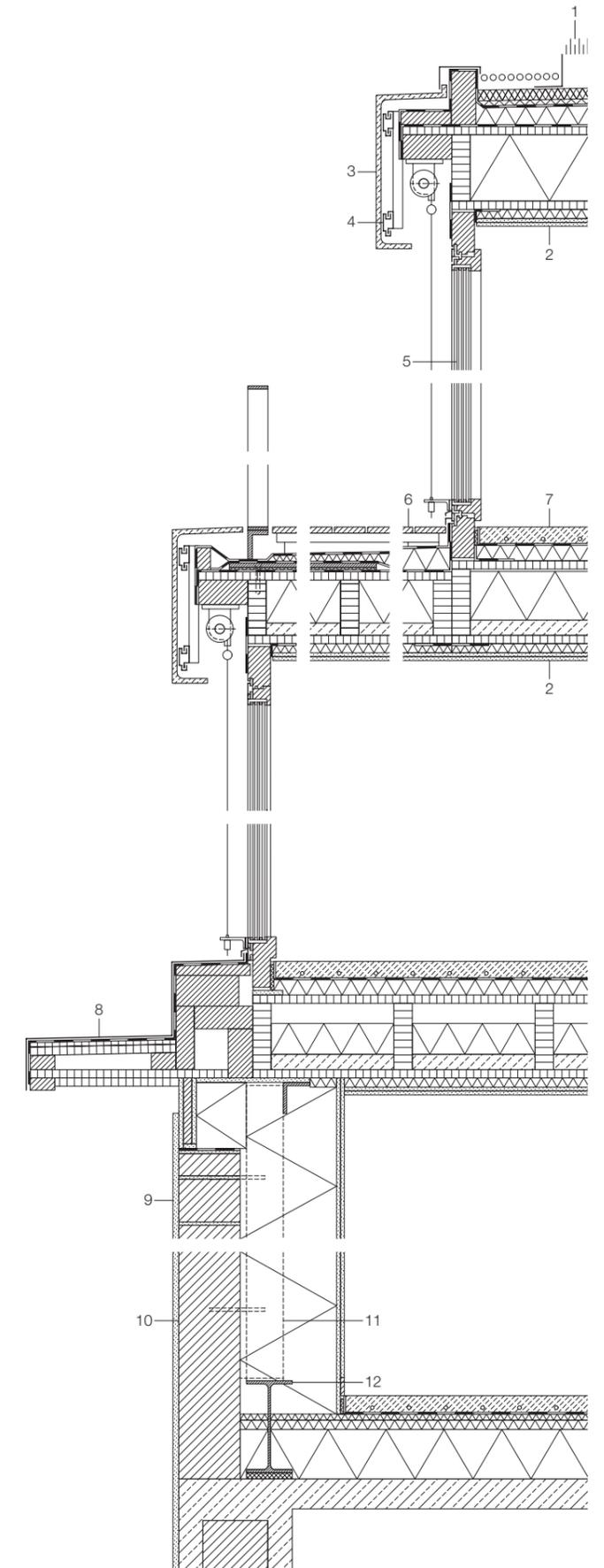
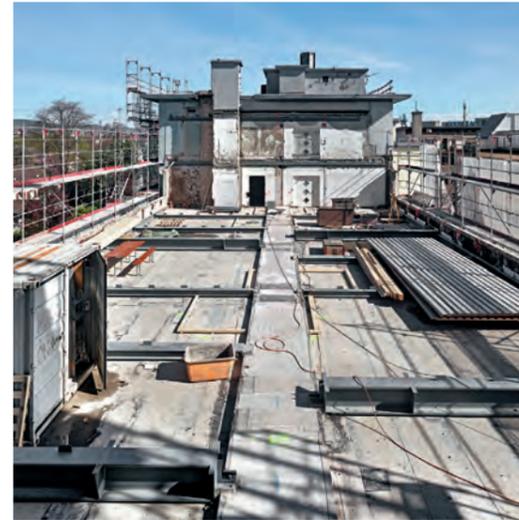
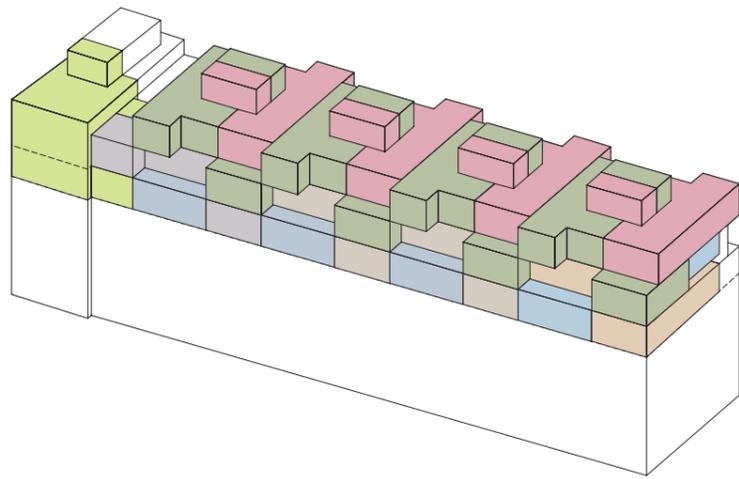


4. Obergeschoss / Fourth floor



3. Obergeschoss / Third floor



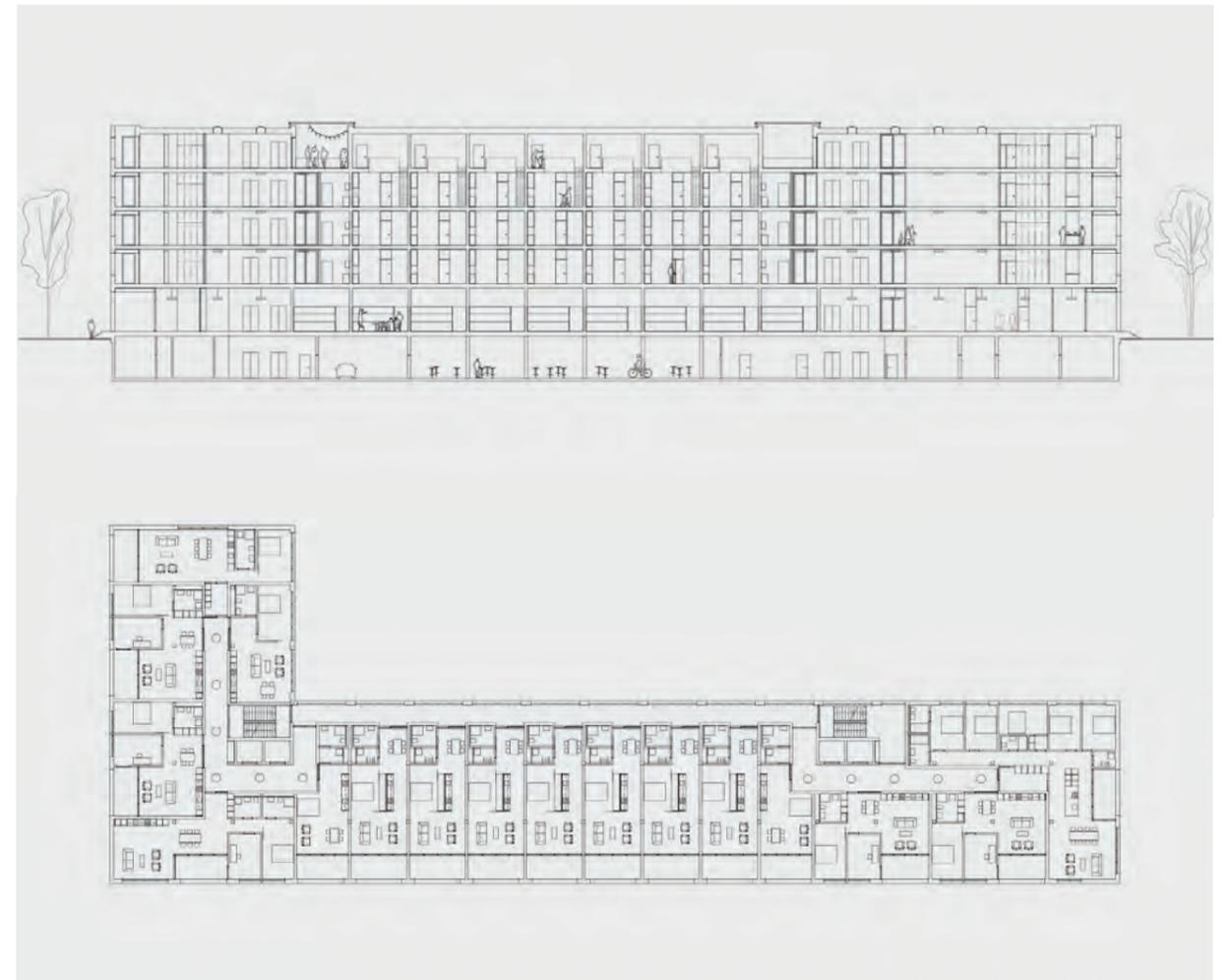


**38 Octavo II, Zürich Oerlikon, 2020****Fischer Architekten**

Das mittlere Gebäude einer Gesamtüberbauung aus dem Jahr 2004 ist eine rigide Stützen-Platten-Struktur mit zwei Erschliessungskernen. Die Aufgabe des Wettbewerbs umfasste zum einen die notwendige Sanierung der Fassade und zum anderen die Einpassung von Wohnformen in die dafür eigentlich nicht ausgelegte Grundstruktur.

Die zwei Erschliessungskerne bleiben hierfür, wo und wie sie sind. Sie gliedern den Umbau in drei Teile: Die zwei Köpfe mit den Treppenhäusern, je an einer Strasse gelegen, bilden als Hochpunkte die Adressen aus und verfügen in allen Etagen über die gleichen Geschosswohnungen. Der mittlere Gebäudeteil ist in den Obergeschossen über einen innenliegenden, nordseitigen Laubengang erschlossen. Im Erdgeschoss liegen potenzielle Atelierwohnungen mit direktem Zugang von der Strasse, während vom dritten ins vierte Obergeschoss Maisonettewohnungen das zurückgestaffelte Attikageschoss bilden. Loggias gliedern die Fassade und bieten jeder Wohnung einen geschützten Aussenraum. Die so gewonnene Ausnutzung wird in die Aufstockung entlang der Brown-Boveri-Strasse und die Attikaufbauten entlang des Lamprechtwegs übertragen.

Eine einfache, aber stimmige Materialisierung bewahrt den Charakter des ehemaligen Bürogebäudes. Glasbausteine und gegossene Böden werden dem Ort und seiner Geschichte gerecht. In der Fassade bleibt das Grundkonzept der unterschiedlichen Behandlung je nach Orientierung zum öffentlichen Raum erhalten. Das Gebäude hebt sich durch eine neue, komplementäre Farbgebung von seinen Nachbarn ab. Die repräsentative, graugrüne Fassade erhält einen sehr groben Modellierputz mit Kammstruktur, der die Fassade durch spielerische horizontale und vertikale Ausrichtungen belebt und wohnlich macht. Auf dem Dach befindet sich eine Fotovoltaikanlage



**39 Aufstockung Wohnungen Sophienstrasse, Zürich, 2020**

**Bestand / Umnutzung**

**Nutzung:** Büro / Wohnen  
**Baujahr:** 1965/ 2019-20  
**Architektur:** Architekten Kuhn + Stahel / Roider Giovanoli Architekten, Barbara Neff, Jolles Architekten, Evelyn Enzmann Bauleitung Morris Enzmann und Andrea Giger



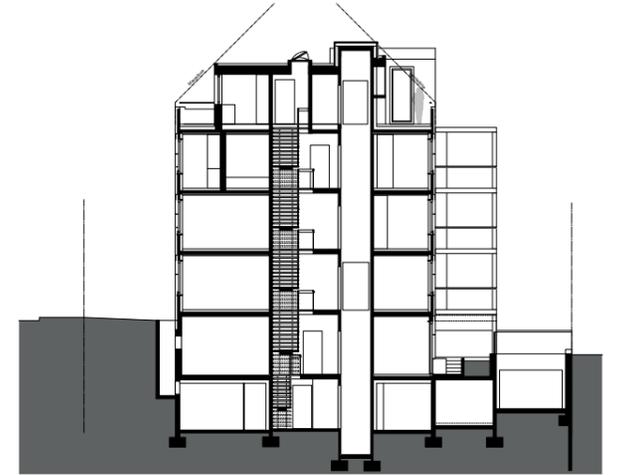
Bestand



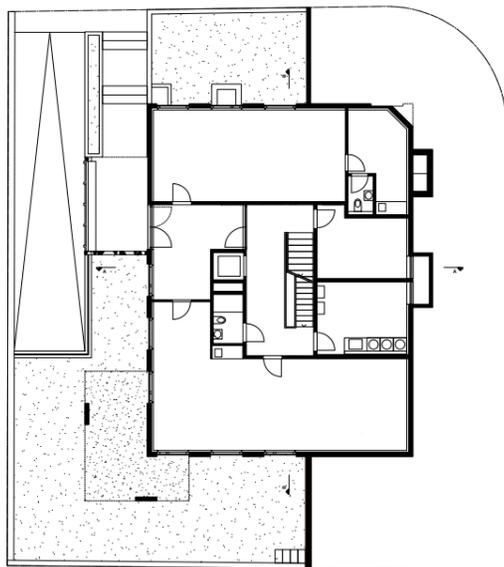
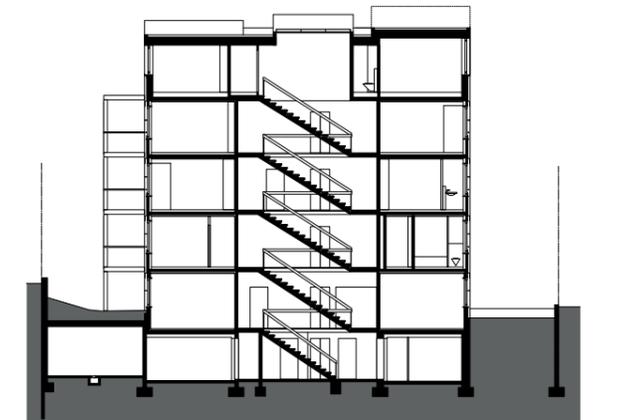
Umbau



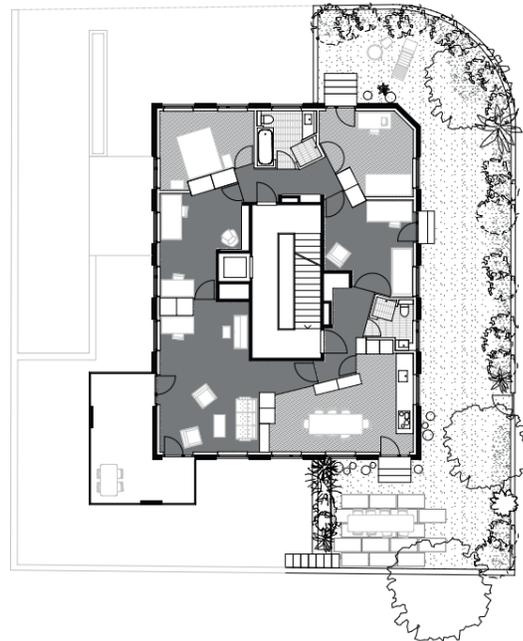
**Dachgeschoss**  
 Innenausbau: Evelyn Enzmann



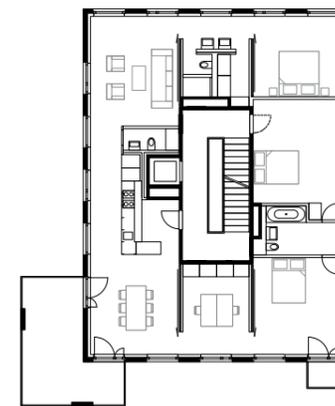
**3. Obergeschoss**  
 Innenausbau: Jolles Architekten



**Erdgeschoss**



**1. Obergeschoss**  
 Innenausbau: Roider Giovanoli Architekten



**2. Obergeschoss**  
 Innenausbau: Barbara Neff

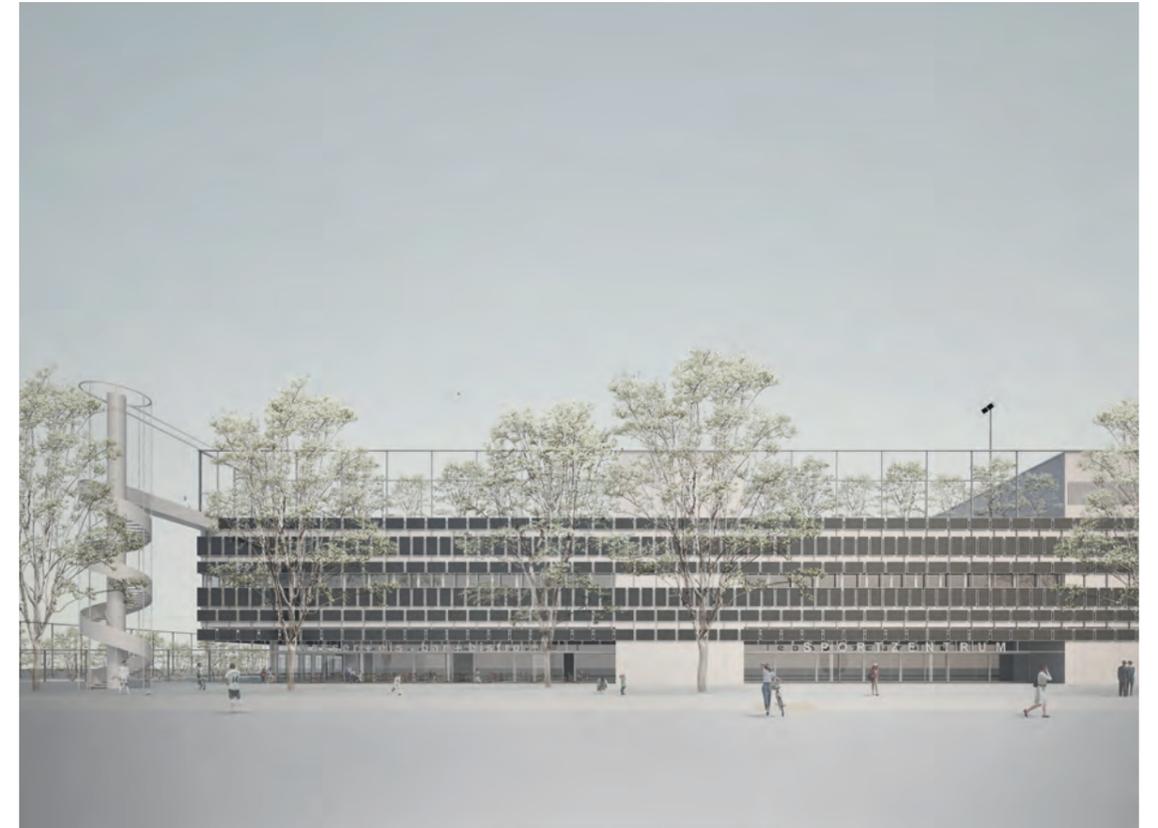


# WETTBEWERBE

**Wettbewerbsbeiträge mit integrierter Photovoltaik Gigon /Guyer**



**Neubau Bibliothek St.Gallen, 2021**



**Sportzentrum Oerlikon, 2020**

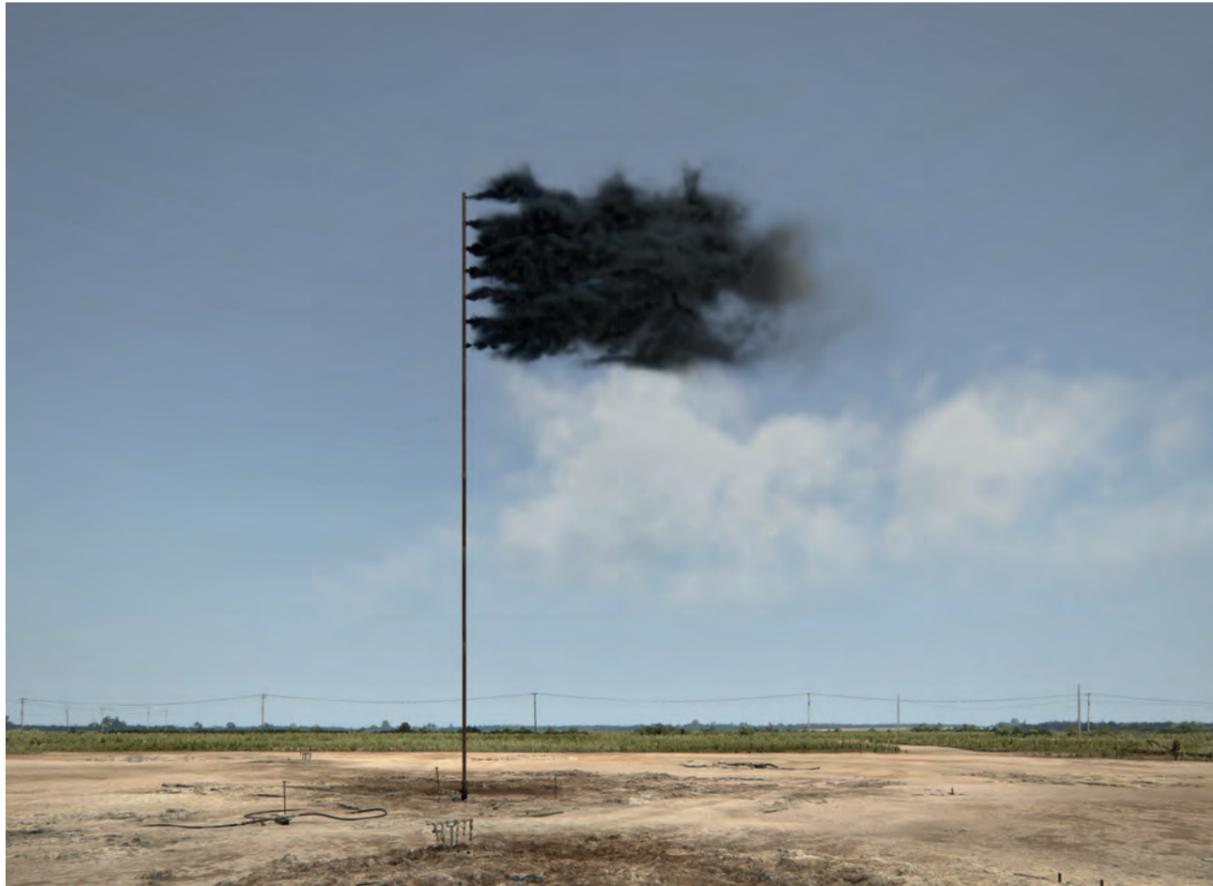


**ewz-Areal Herdern, Zürich, 2016**



**Laborneubau Haus 6, Basel, 2021**

# TEXTE



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

### 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.<sup>10</sup> 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 (CO<sub>2</sub>), das in die Atmosphäre abgegeben wird, insgesamt gegenwärtig rund 20 Milliarden

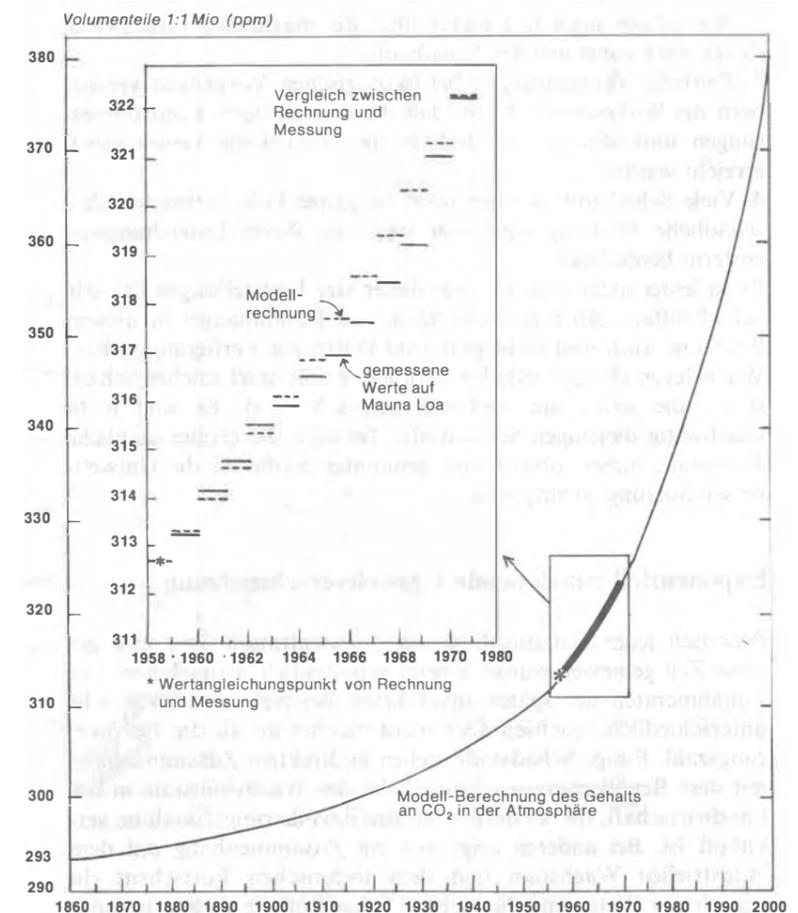


Abb. 15: Konzentration von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre

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 CO<sub>2</sub>-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.<sup>11</sup> 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.<sup>12</sup> 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«<sup>13</sup> 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

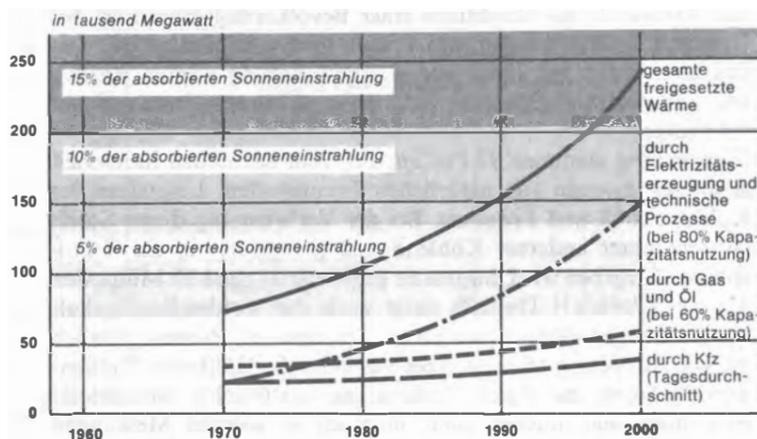


Abb. 16: Freigesetzte Wärme über dem Gebiet von Los Angeles

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 eingestrahelten Sonnenenergie betragen.

Sonnenenergie erreicht, kann sie zu schwerwiegenden klimatischen Störungen führen.<sup>14</sup> 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 42800 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-

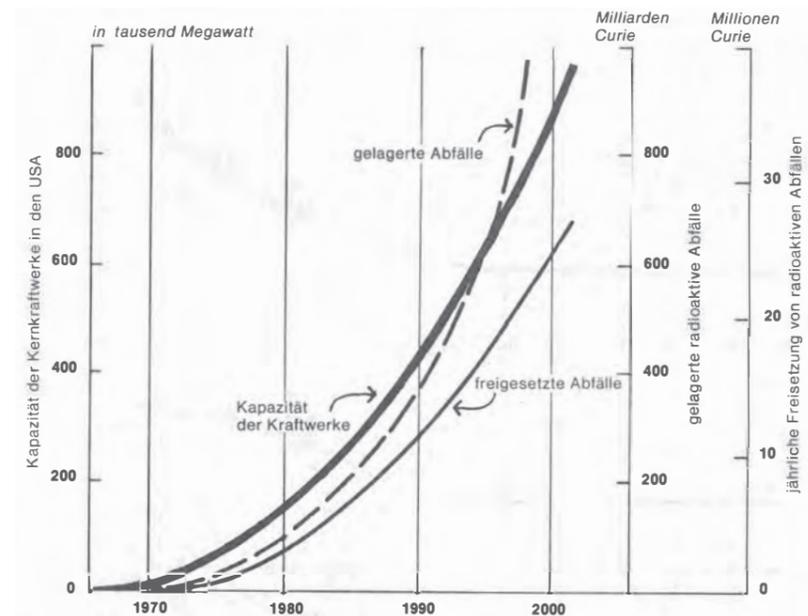


Abb. 17: Energie radioaktiver Abfälle

Die Kapazität zur Freisetzung von Kernenergie wird in den USA von 11000 Megawatt (MW) 1970 bis zum Jahr 2000 auf 90000 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.

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.

[...]

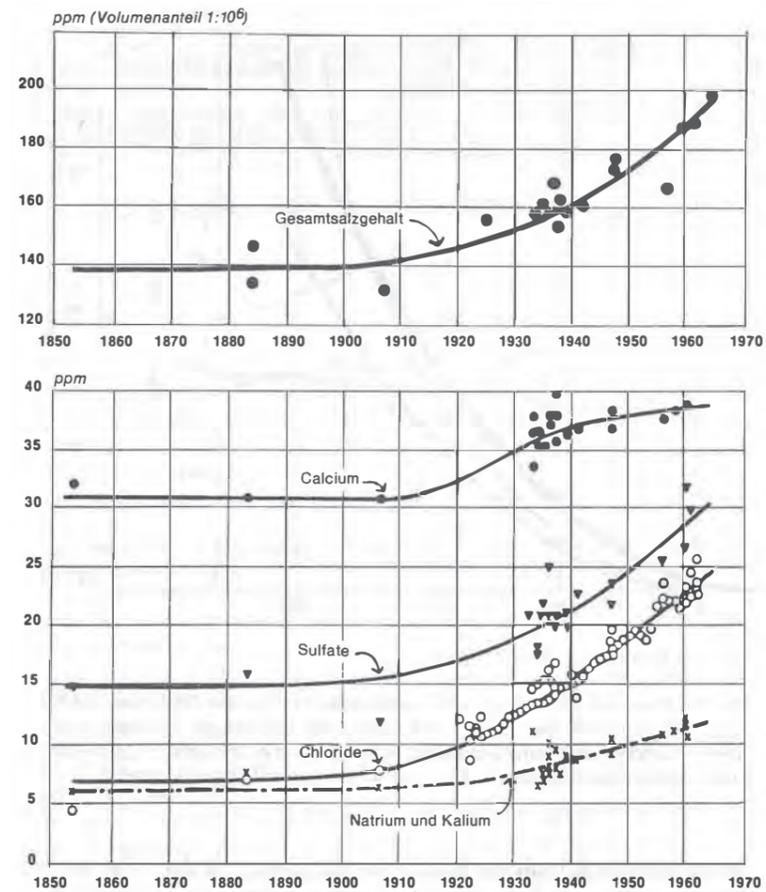


Abb. 18: Gehalt an Chemikalien und Fischfangergebnisse im Ontario-See

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.

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.<sup>11</sup> 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.<sup>12</sup> Die Menge an gekaufter Kleidung verdoppelt sich in den USA jahr-

zehntweise.<sup>13</sup> 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.<sup>14</sup> In Deutschland



Sehr grün: Ökostromlabel, Auswahl.

prognostiziert man für das Jahr 2012 einen Absatz von 10 Millionen Flatscreen-Fernsehern.<sup>15</sup> 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.<sup>16</sup> 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?

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. CO<sub>2</sub> ist kein Nebenprodukt der Verbrennung wie Ruß oder Schwefeldioxid, sondern ihr Hauptprodukt: Energie wird beim Verbrennen fossiler Brennstoffe frei, weil Kohlenstoff zu CO<sub>2</sub> (und Wasserstoff zu Wasser) verbrennt. Man kann den Kohlenstoff nicht vorgängig aus den Brennstoffen entfernen. Man kann CO<sub>2</sub> nur unter großem Aufwand aus den Abgasen entfernen, denn die Abgase bestehen zu einem großen Teil aus ebendiesem CO<sub>2</sub>. Und man kann das CO<sub>2</sub> in den Abgasen auch nicht mit einem Katalysator in eine harmlose Substanz verwandeln. Nein: Die CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken: Effizienzsteigerung und die Dekarbonisierung der Energieversorgung (also Substitution). Die Suffizienz fehlt.<sup>99</sup>

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

\* 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.<sup>101</sup>

[...]

## 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.<sup>103</sup> »Energieeffizienz ist die Energiequelle, die jedes Land im Überfluss besitzt«, schreibt die Internationale Energieagentur auf ihrer Website.<sup>104</sup> 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.<sup>105</sup>

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.<sup>13</sup> 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.

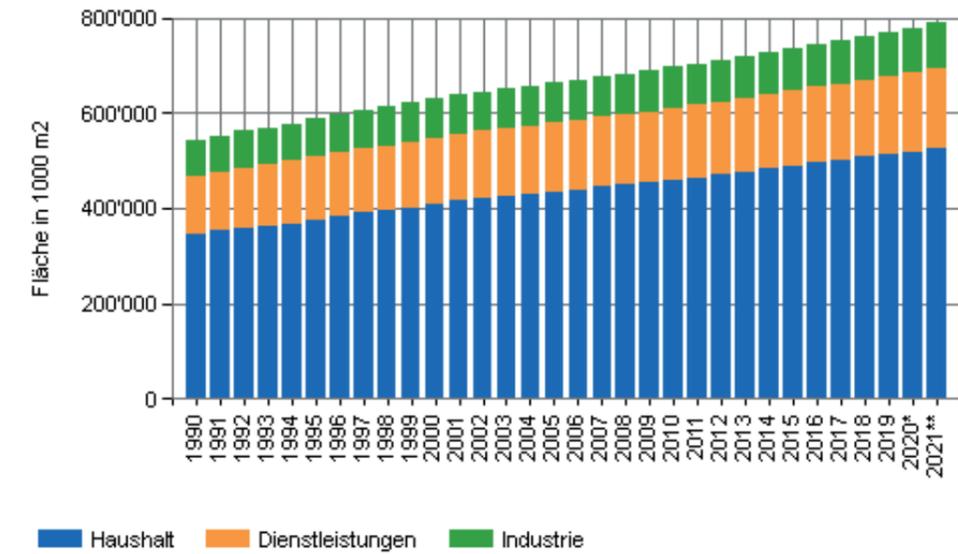
Der wachsende Güter- und Personenverkehr, insbesondere auch der Flugverkehr, und das Heizen von Gebäuden führen zu einem grossen Verbrauch an fossilen Energieträgern. Bei der Verbrennung von Treibstoffen wie Benzin, Diesel oder Kerosin und von Brennstoffen wie Heizöl, Erdgas und Kohle wird CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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.

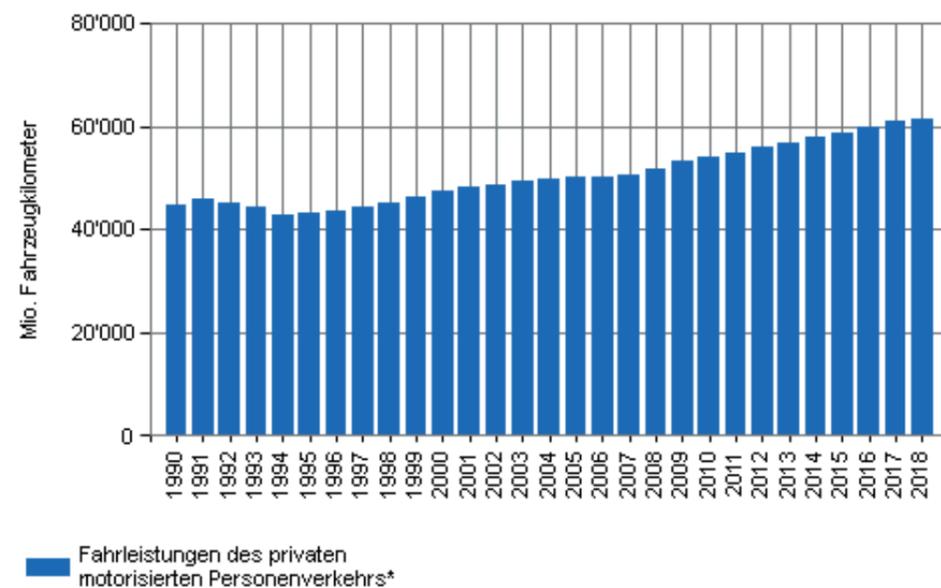
Auch Finanzierungs- und Investitionsentscheide auf den Finanzmärkten beeinflussen die Umwelt und das Klima. So entscheiden heutige Investitionen z.B. in die Energieversorgung, wie viel Treibhausgase zukünftig ausgestossen werden.

### Indikator Energiebezugsfläche



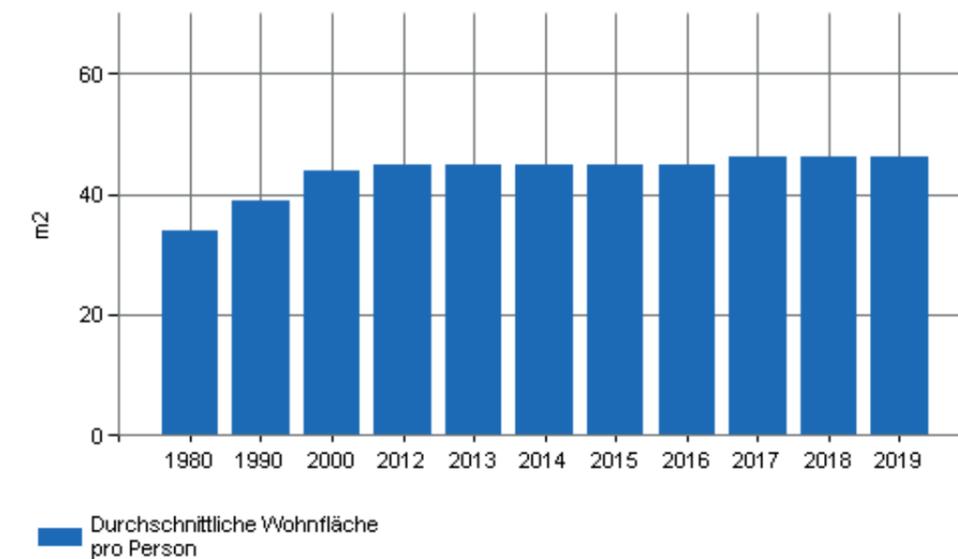
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

### 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 CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (nicht eingerechnet ist der internationale Flug- und Schiffsverkehr). Dies entspricht einem Treibhausgasausstoss von 5.5 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kopf (davon CO<sub>2</sub>: 4.4 t pro Kopf).

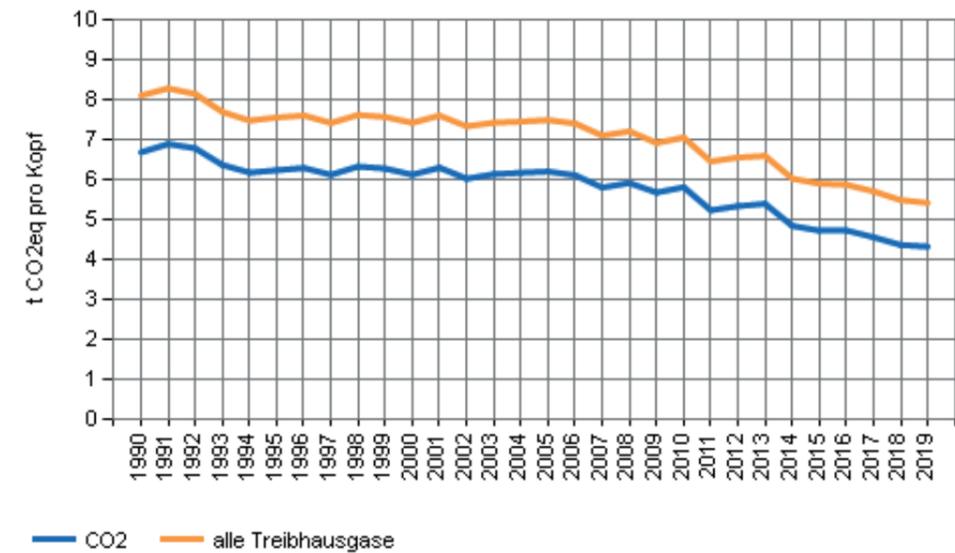
Addiert man allerdings die durch Importgüter im Ausland verursachten Emissionen hinzu, beläuft sich das Total der jährlichen Pro-Kopf-Emissionen auf mehr als das Doppelte (14 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kopf im Jahr 2015). Damit liegt der sogenannte Treibhausgas-Fussabdruck der Schweiz deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von knapp 6 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kopf. Den von der planetaren Belastbarkeitsgrenze ableitbaren Schwellenwert von höchstens 0.6 t CO<sub>2</sub>-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



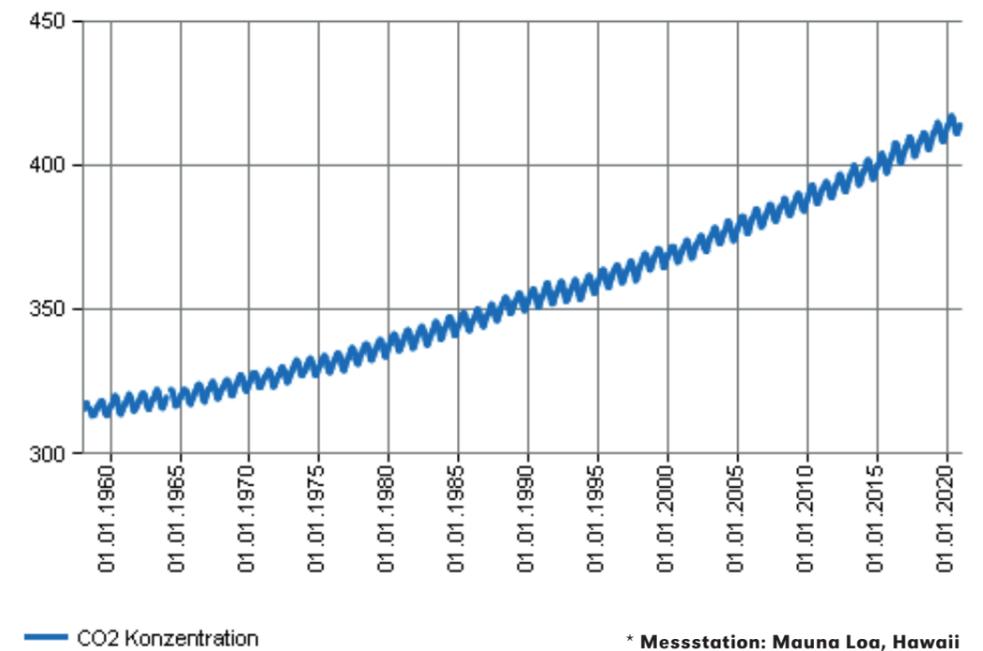
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/indikatoren.html> [14.07.21]

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.

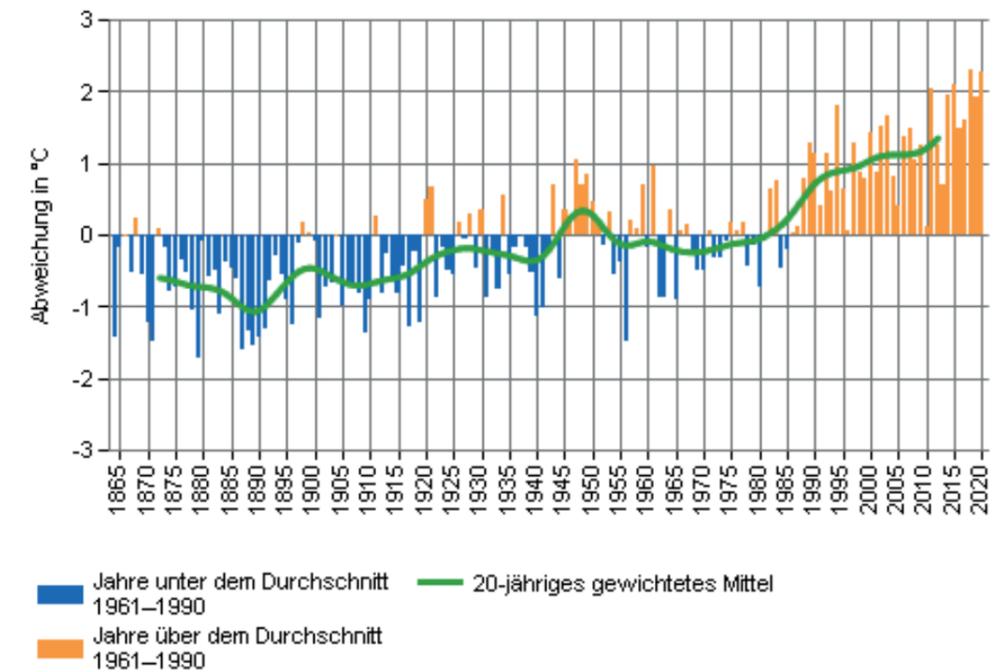
Die Niederschläge im Winterhalbjahr nahmen im Laufe des 20. Jahrhunderts im nördlichen und westlichen Alpenraum um 20–30 % zu.

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 CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernt wird), könnte sich die Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts bei 0.6–1.9 °C stabilisieren.

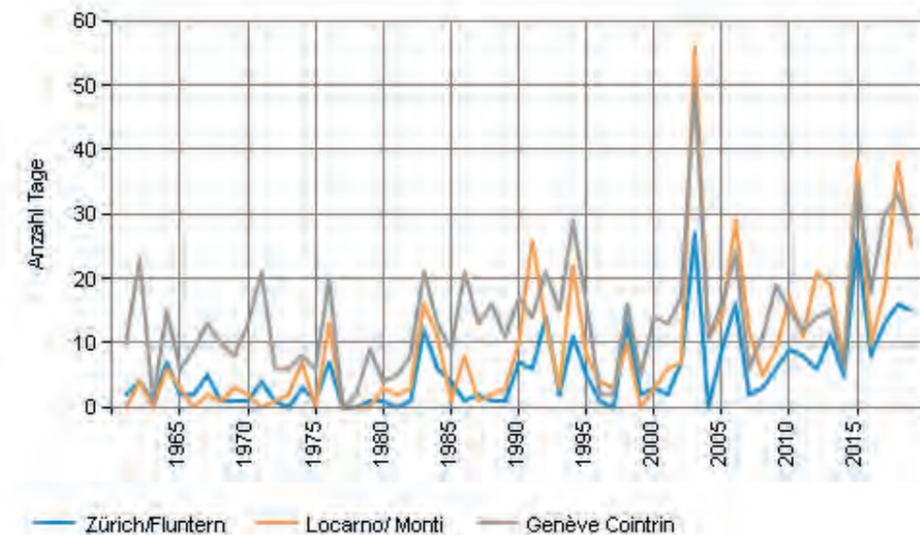
Die Sommer werden gemäss Modellrechnungen trockener und die Abflussregimes dürften sich verändern. Zudem muss die Schweiz mit fortschreitenden Veränderungen der Wetterextrema rechnen, beispielsweise mit mehr Hitzewellen und Starkniederschlagsereignissen und weniger Kälteperioden. [...]

## 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.

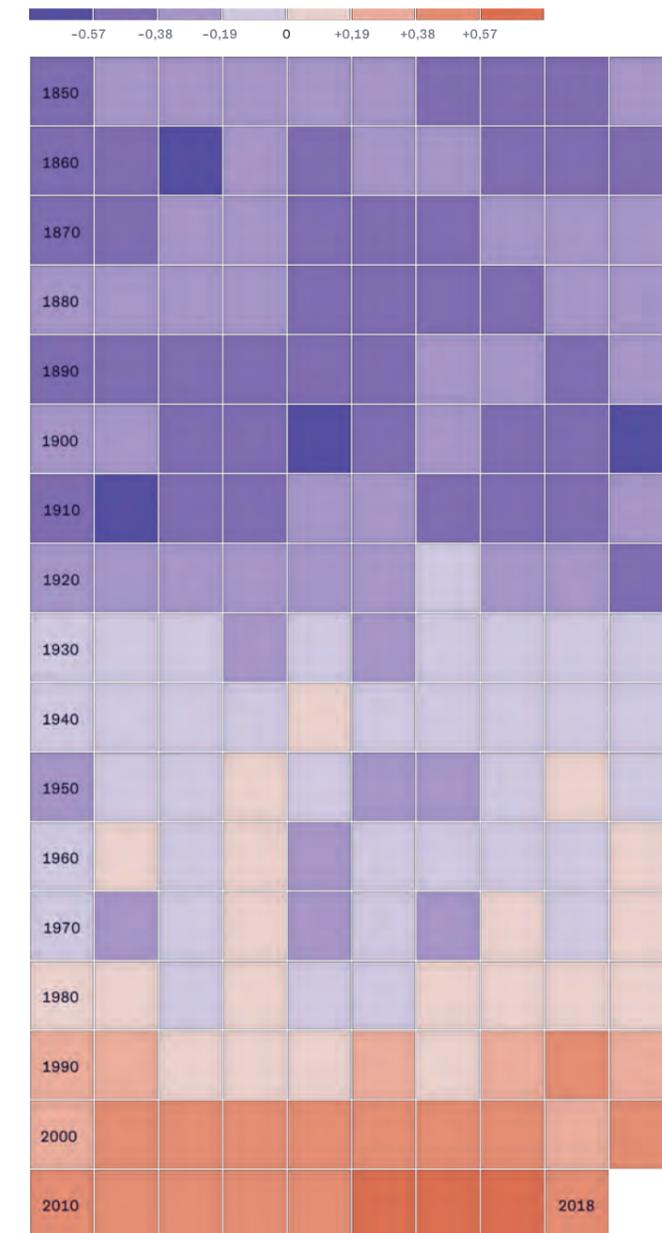
**13. März 2019:** An der vierten Uno-Umweltversammlung in Nairobi warnen Forscher in einem Bericht vor der Umweltverschmutzung und dem Klimawandel. Durch Feinstaub würden ohne ausreichende Massnahmen Millionen von Menschen vorzeitig sterben, heisst es in dem Bericht. Viele Küstenstädte und kleine Inseln 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 CO<sub>2</sub> her, und was sind CO<sub>2</sub>-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

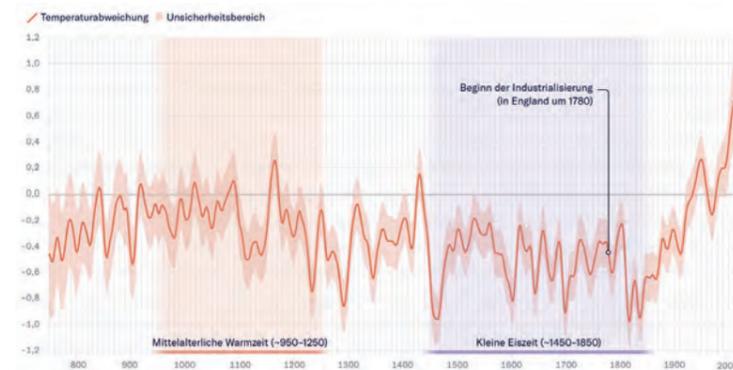
## 1 Was ist das überhaupt, das Klima?

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.

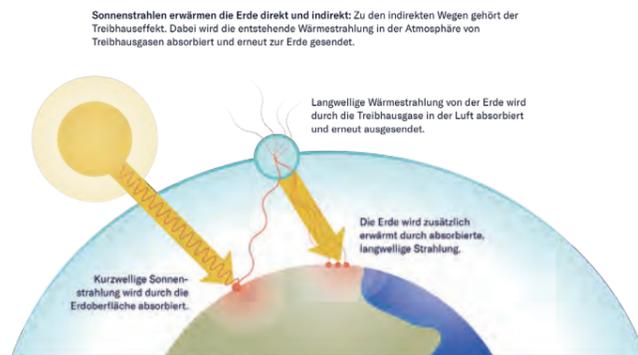
### Im vergangenen Jahrhundert ist die Temperatur auf der Nordhalbkugel rasant gestiegen

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. / ScienceDirect](#) - 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?

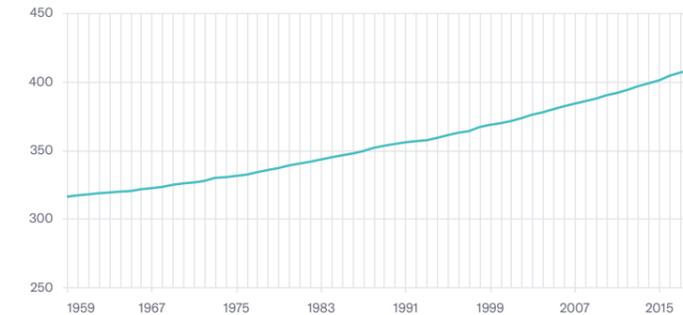
Der Treibhauseffekt gehört zur Natur der Atmosphäre. Ohne ihn wäre es auf der Erde gut 30 Grad Celsius kälter.

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 Treibhausgasen 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 (CO<sub>2</sub>) auch Methan (CH<sub>4</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O).

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 Treibhausgasen. Ihr Rückgang wurde in Abkommen zum Schutz der Ozonschicht geregelt, ist aber noch nicht durchweg zu beobachten.

### Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre steigt und steigt

CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre auf Hawaii, in ppm (parts per million)\*



\* Dies ist die längste Messreihe von atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration weltweit. - Quelle: [Earth System Research Laboratory / NOAA](#) - Grafik: koa.

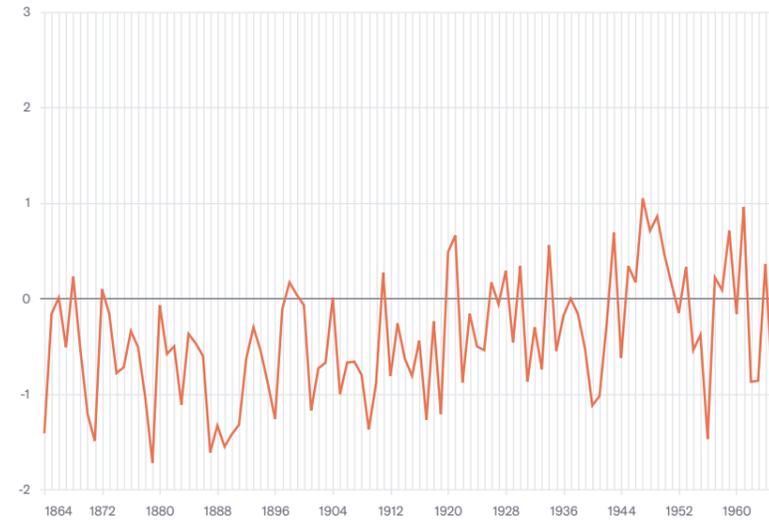
Durch die Verstärkung des Treibhauseffekts verändert sich auch die thermische Schichtung der Atmosphäre: In der Troposphäre (0–15 km Höhe) wird es wärmer, in der Stratosphäre (15–50 km Höhe) wird es kälter. Die Grenze zwischen Troposphäre und Stratosphäre hebt sich langsam.

## 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

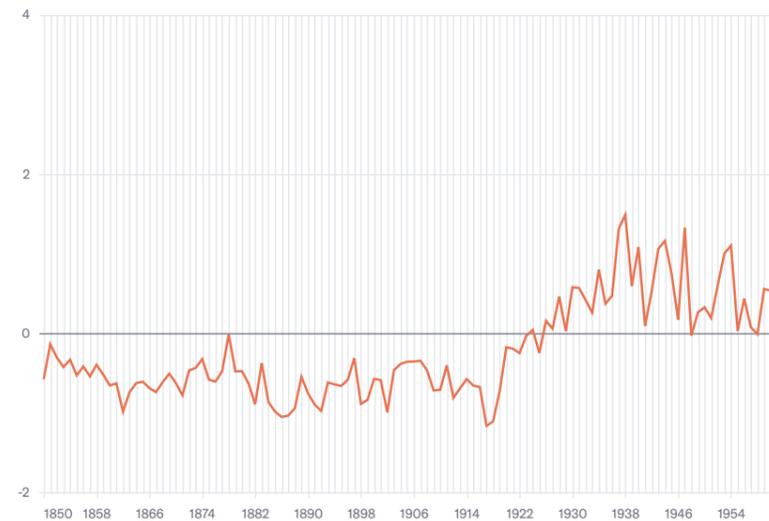


Das Schweizer Temperaturmittel beschreibt die im Mittel über die gesamte Fläche und die verschiedenen Höhenlagen der Schweiz gemessene Temperatur. - Quelle: [Meteo Schweiz / eigene Berechnung](#) - Grafik: koa.

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

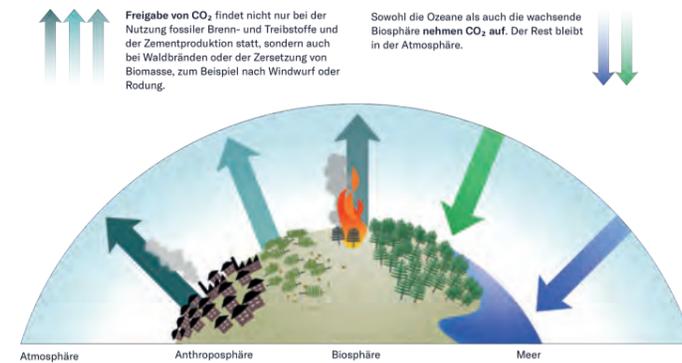
Temperaturabweichungen im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961-1990 in Grad Celsius\*



\* 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?

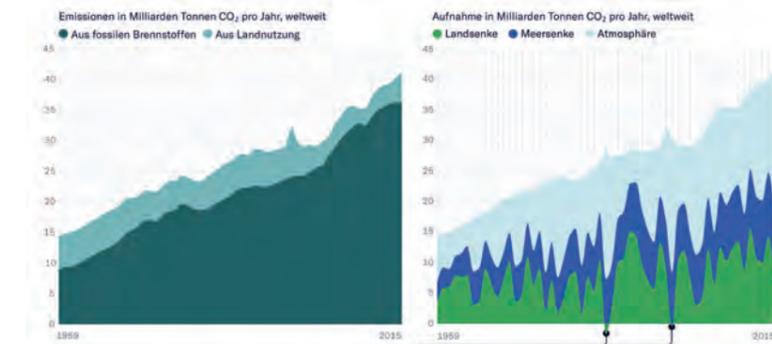
Der Löwenanteil der anthropogenen CO2-Emissionen stammt von der Nutzung fossiler Brenn- und Treibstoffe. Ausserdem setzt die Produktion von Zement das Klimagas frei. Darüber hinaus entsteht Kohlendioxid bei der Zersetzung von Biomasse und bei Waldbränden. Wenn Pflanzen wachsen, nehmen sie allerdings 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 CO<sub>2</sub>-Landsenke negativ. El Niño (die gelegentliche Erwärmung des tropischen Pazifiks) löst in Südostasien Trockenheit aus. Dadurch nimmt die Vegetation dort weniger CO<sub>2</sub> auf. Global betrachtet wurden in der Folge die Landflächen 1987 und 1998 zu einer schwachen CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Produzent

Emissionen aus Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Zementproduktion und Verbrennung von Gasen, in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>, 2014



Quelle: Weltbank - Grafik: brt.

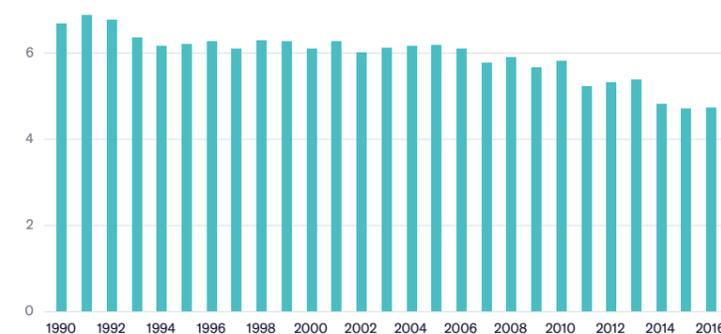
Vor wenigen Jahren löste China die USA als grösster CO<sub>2</sub>-Emittent ab. Indien holt immer mehr auf. Die Höhe des künftigen globalen CO<sub>2</sub>-Ausstosses wird vor allem vom Wachstum in asiatischen und afrikanischen Ländern abhängen. Historisch betrachtet gehen die grössten Mengen aber noch 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Ausstoss pro Kopf ist in der Schweiz leicht zurückgegangen

CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Schweiz pro Kopf in Tonnen

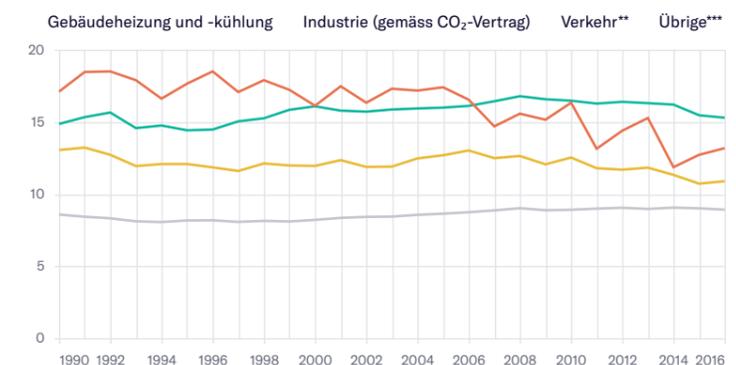


Quelle: Bafu - Grafik: koa.

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 CO<sub>2</sub>-Äquivalenten\*



\* Verschiedene Treibhausgase wärmen die Atmosphäre unterschiedlich stark. Um ihre Wirkung vergleichen zu können, spricht man von «CO<sub>2</sub>-Äquivalenten». Dazu werden die Mengen anderer Treibhausgase (wie Methan oder Lachgas) in diejenige Menge CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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

CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich, in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

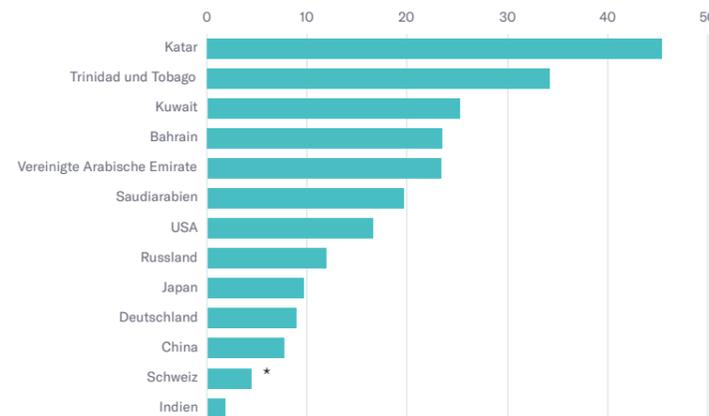


\* Flug in der Economy Class / \*\* Treibstoff: Benzin - Quelle: ZHAW / mobitool / KBOB Ökobilanz - Grafik: koa.

Im internationalen Vergleich ist der CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> ausgestossen. China – der total mit Abstand grösste CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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?

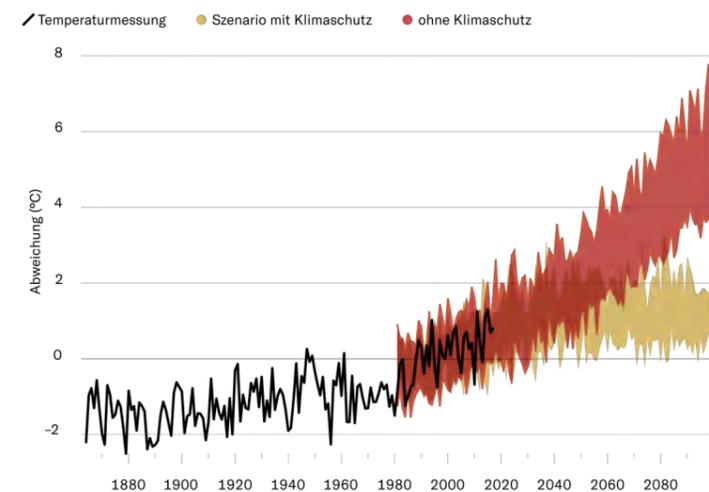
Die Schweiz ist überdurchschnittlich stark vom Klimawandel betroffen. Sie wird trockener, heisser und schneeärmer werden und die Niederschläge werden zunehmen. Das ist das Ergebnis einer Auswertung von Klimadaten von Meteoschweiz und der ETH Zürich, der Universität Bern unter der Mitwirkung von ProClim.

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



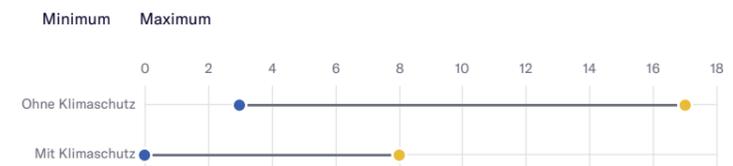
Möglicher Bereich der Veränderungen gegenüber der Periode 1981-2010. Schweizweit typische 30-Jahre-Mittelwerte. Temperaturänderungen sind auf 0,5 Grad genau. – Quelle: Meteo Schweiz, ETH Zürich, Center for Climate Systems Modeling (C2SM) – Grafik: koa.

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.

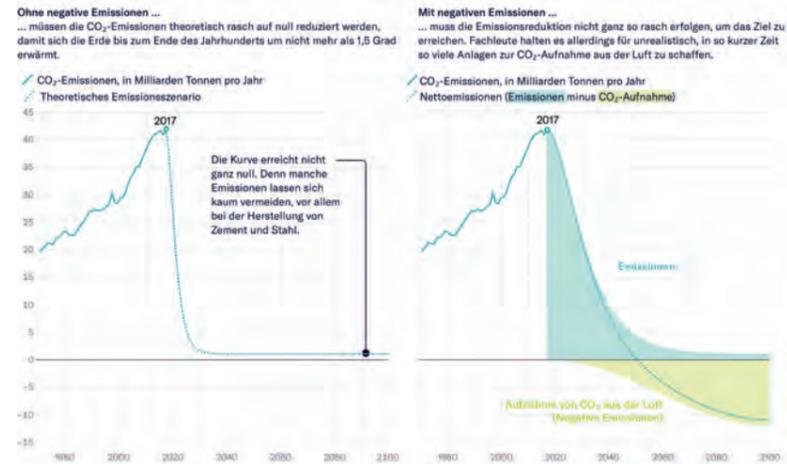
Nicht immer werden Klimaziele in Form von Temperaturmarken formuliert. Gebräuchlich ist auch die Vorgabe einer maximal erlaubten Konzentration von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten wie zum Beispiel 350 ppm. Darüber hinaus haben Wissenschaftler in den letzten Jahren auszurechnen versucht, wie gross die Menge 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> aus der Luft filtern und im Untergrund speichern. Eine andere Möglichkeit bietet der Anbau geeigneter Pflanzen, die CO<sub>2</sub> aufnehmen. Das bei der anschliessenden Verbrennung entstehende CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Ausstosses bei ökonomischen Aktivitäten. Sich auf die Einrichtung unzähliger technischer Anlagen zur Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu verlassen, käme einer höchst riskanten Wette gleich, argumentieren Fachleute.

## Durch negative Emissionen können wir Zeit gewinnen bei der CO<sub>2</sub>-Reduktion



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.

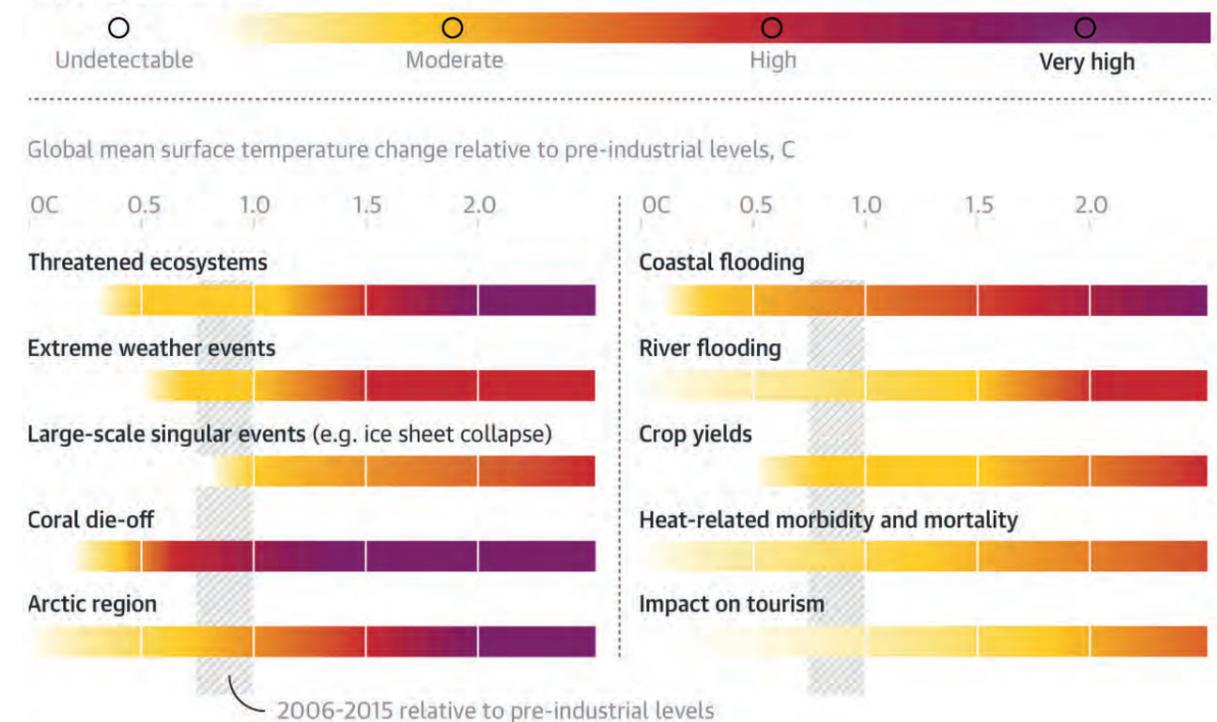
Ice on land, such as in Greenland and under much of the Antarctic, may contain yet another feedback loop; when the ice melts, water percolates to the land below where it lubricates the slide of ice over rock and could accelerate the collapse of glaciers into the surrounding sea.

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](http://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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen genannt. Der Bericht warnt vor Ernterückgängen und Waldverlusten, dem Auftauen des Permafrosts und dem Verschwinden der Gletscher, vor Flutkatastrophen und Feuerbrünsten, 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 Kinoplatkat 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>; ein Umstand, der das Problem leider nur in der Theorie vereinfacht.) Kein Mensch, keine Branche, kein Staat kann die CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Ausstoss aus den Fugen gebracht haben und jetzt viel zu wenig unternehmen, um das Schlimmste zu verhindern. (Die Wut ist begründet: Drei Viertel der CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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. CO<sub>2</sub> wird dabei zu einer Art Universalwährung. Ein Flug nach London ver-

ursacht soviele CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub>-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, CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen;
- eine komplett neue Technologie zum Absaugen von CO<sub>2</sub>.

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 CO<sub>2</sub>-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.

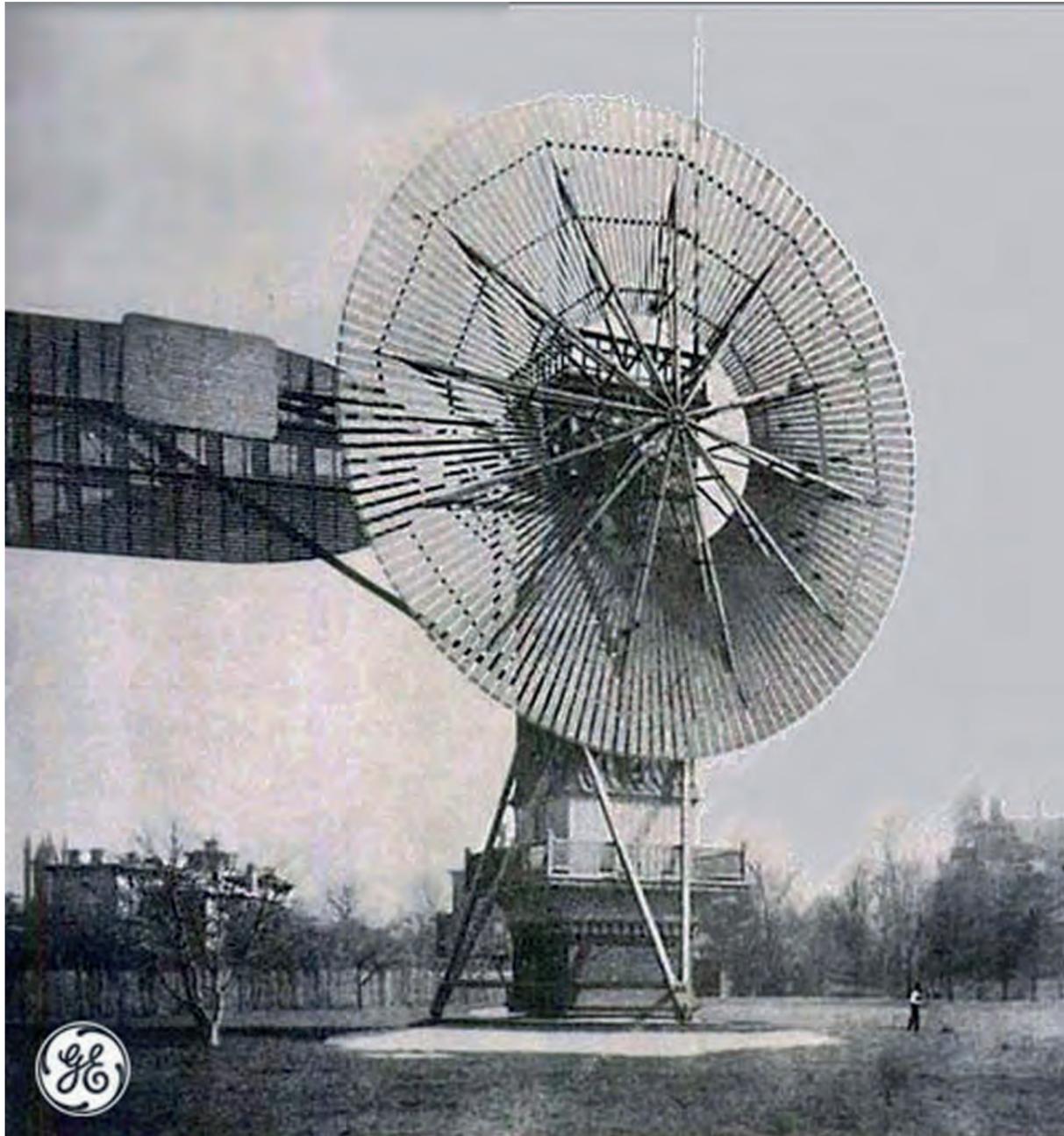
Ich freue mich heute über jedes Zeichen dafür, dass Menschen ihre deprimierend geringe Verantwortung für den Klimawandel wahrnehmen. Nicht nur, indem sie klimafreundliche Parteien wählen. Sondern auch im Alltag, indem sie ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoss verringern.

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 CO<sub>2</sub>, 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.



## ENERGIE

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.

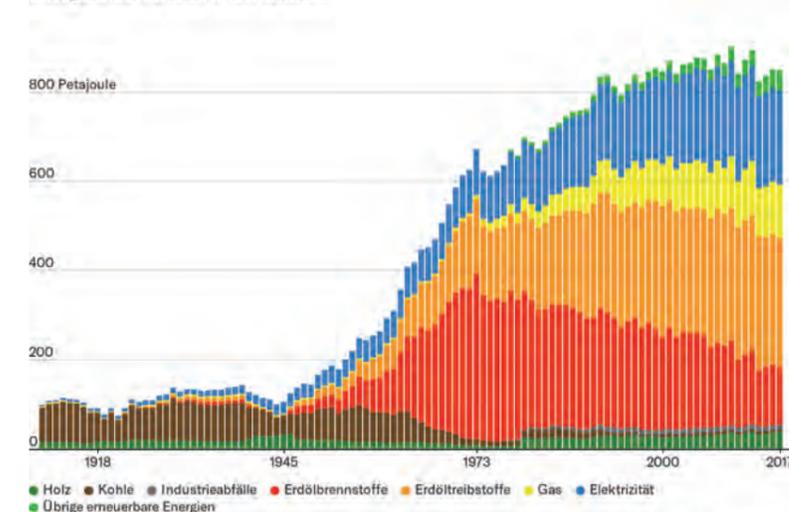
Wenn diese Zahl bereits 1910 ziemlich gross erscheint, dann ist sie für 2017 exorbitant. Der Energieverbrauch beträgt heute über 800 Petajoule. Zum Vergleich: Mit dieser Energiemenge könnte man das gesamte Wasser im Bodensee 1,7 Kilometer weit über die Nordostschweiz hochheben.

## 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.

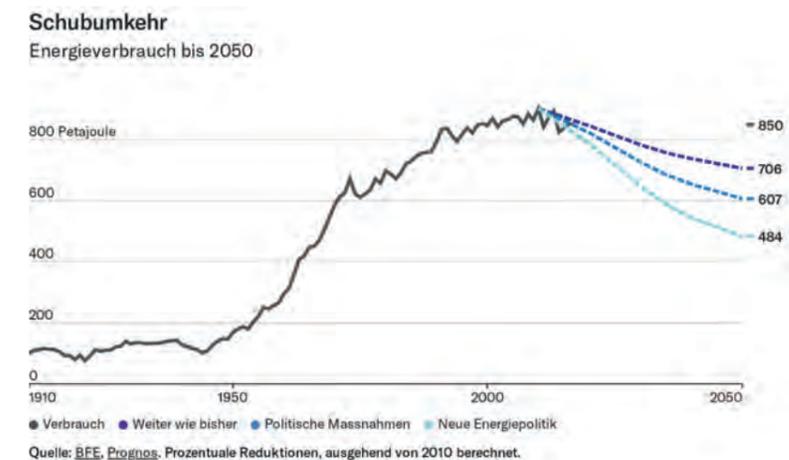
### Mix der Zukunft

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.

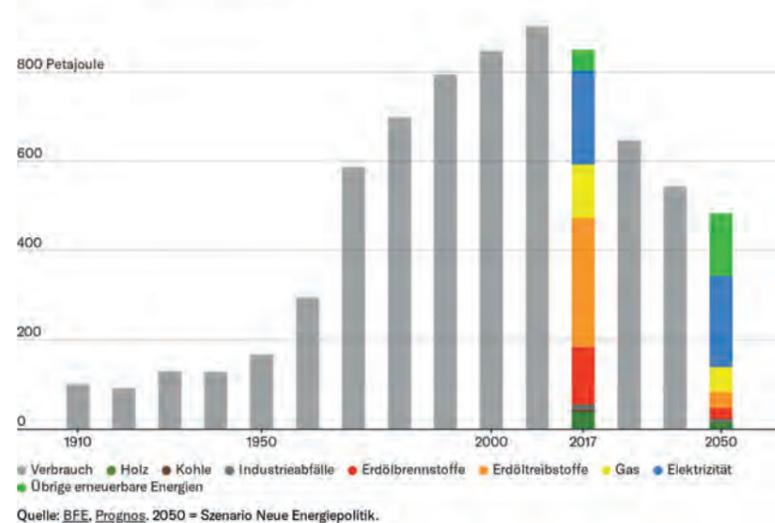


Ebenso wie im 19. und 20. Jahrhundert eine Vielzahl von neuen Industrien den Energieverbrauch in die Höhe schnellen liessen, dürften also im 21.-Jahrhundert diverse Effizienzverbesserungen den Verbrauch senken.

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**  
Energimix heute und in Zukunft



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.

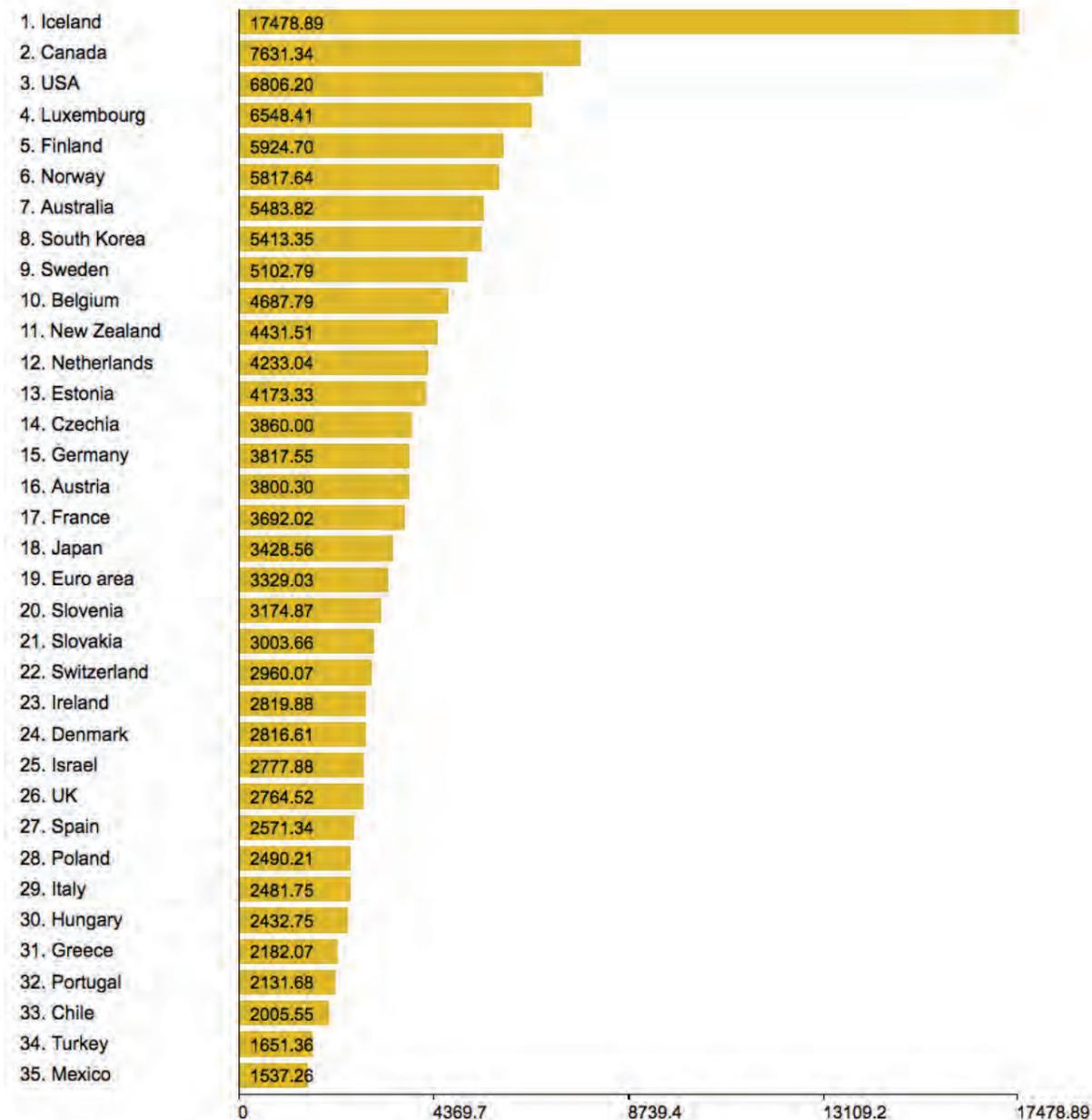
**Die Daten**

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».

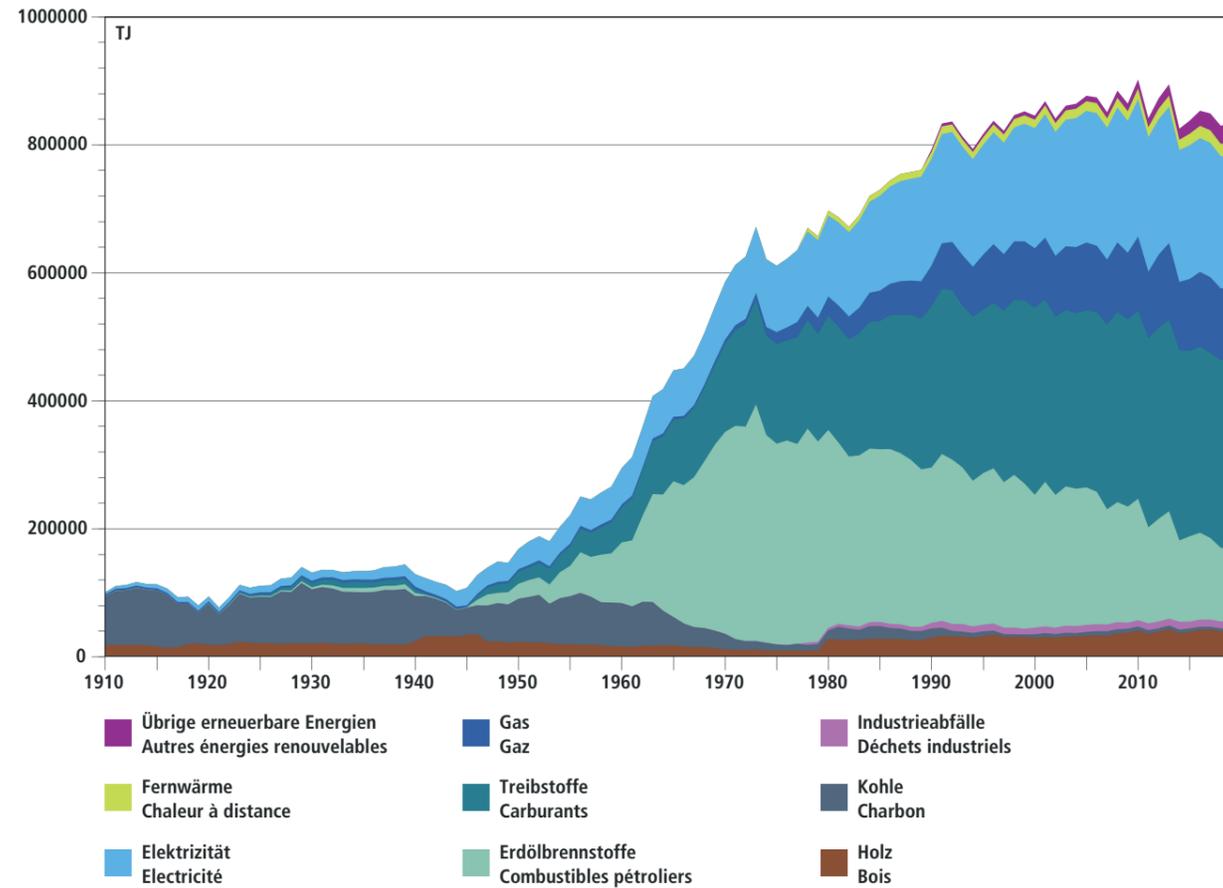
**ENERGIEVERBRAUCH PRO KOPF, 2015**  
Kilogramme Öläquivalent, Quelle: Die Weltbank, TheGlobalEconomy.com)



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)

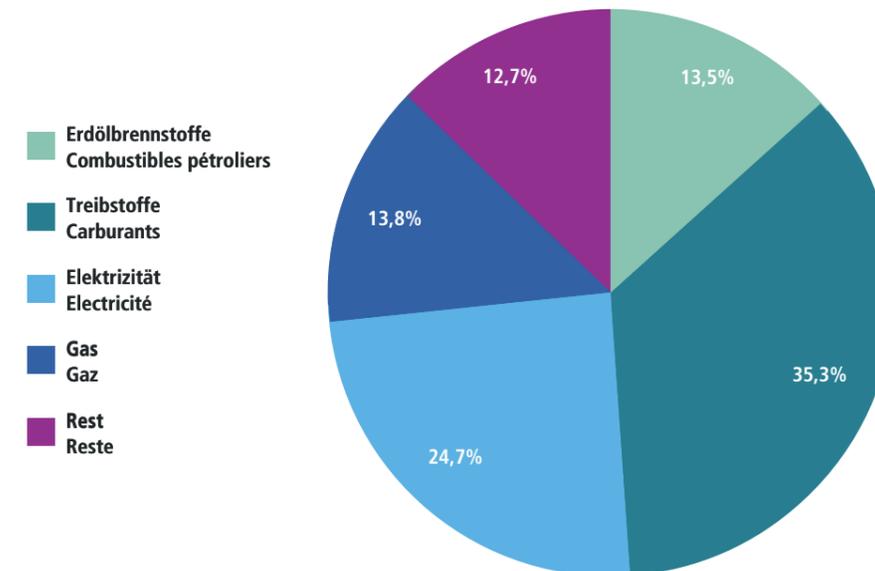
Tab. 2 Aufteilung des Endverbrauchs nach Verbrauchergruppen  
Répartition de la consommation finale selon les groupes de consommateurs

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

<sup>1</sup> exklusive interner Werkverkehr  
<sup>2</sup> inklusive interner Werkverkehr  
<sup>1</sup> transports sur terrain ou route privés exclus  
<sup>2</sup> transports sur terrain ou route privés compris

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)



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

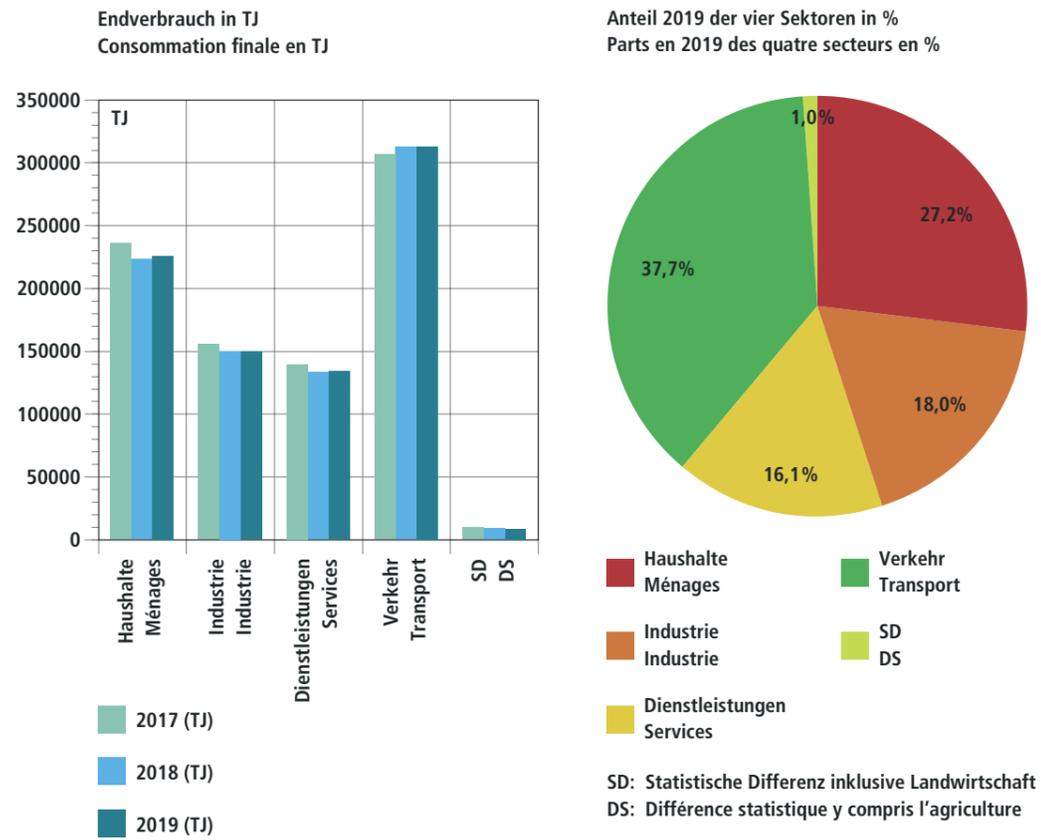
Tab. 3 Energiewirtschaftliche Kennziffern  
Chiffres-clés en rapport avec l'énergie

	2018	2019	
Endverbraucher Ausgaben für Energie <sup>1</sup>			Dépenses des consommateurs finaux d'énergie <sup>1</sup>
Mio. Fr.	28 770	<b>28 170<sup>3</sup></b>	millions de fr.
% des BIP (nominal)	4,2 %	<b>4,0 %</b>	% du produit intérieur brut (nominal)
Saldo Energie-Aussenhandel <sup>2</sup>			Solde commerce extérieur en matière d'énergie <sup>2</sup>
Mio. Fr.	-6 563	<b>-6 470</b>	millions de fr.
Auslandabhängigkeit in %	75,0 %	<b>74,6 %</b>	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	<b>105,7</b>	Huile de chauffage
Benzin	100,8	<b>98,3</b>	Essence
Gas	117,1	<b>121,5</b>	Gaz
Elektrizität	102,2	<b>103,9</b>	Electricité
Endverbrauch pro Kopf (2010 = 100)	84,5	<b>84,2<sup>3</sup></b>	Consommation finale/tête (2010 = 100)
Industrielle Produktion (Index 2010 = 100)	113,5	<b>117,5</b>	Production industrielle (indice 2010 = 100)

<sup>1</sup> Schätzung  
<sup>2</sup> -: Einfuhrüberschuss, +: Ausfuhrüberschuss  
<sup>3</sup> provisorisch  
<sup>1</sup> estimation  
<sup>2</sup> -: excédent d'importation, +: excédent d'exportation  
<sup>3</sup> 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

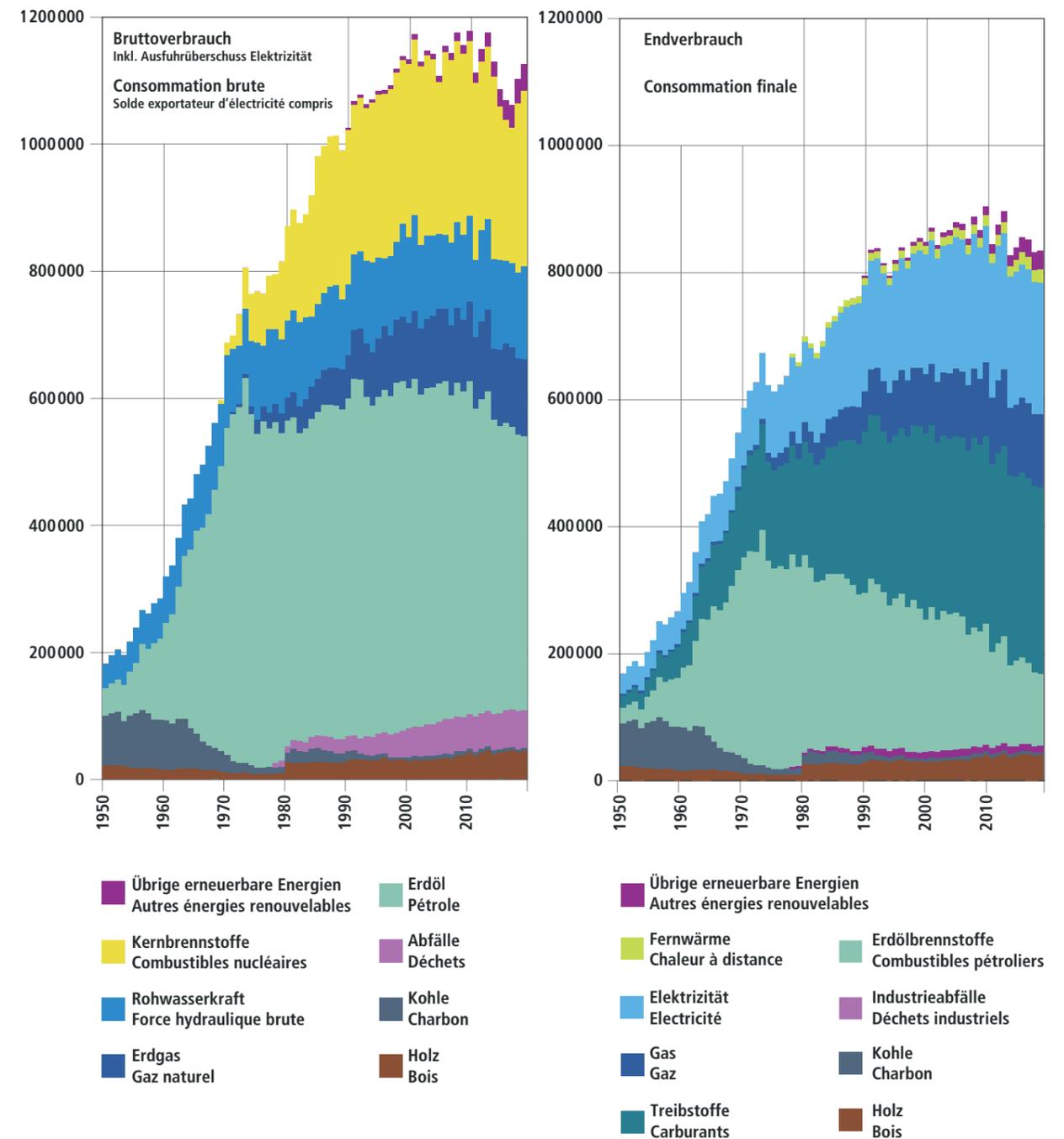


BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig. 3)  
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig. 3)

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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>.

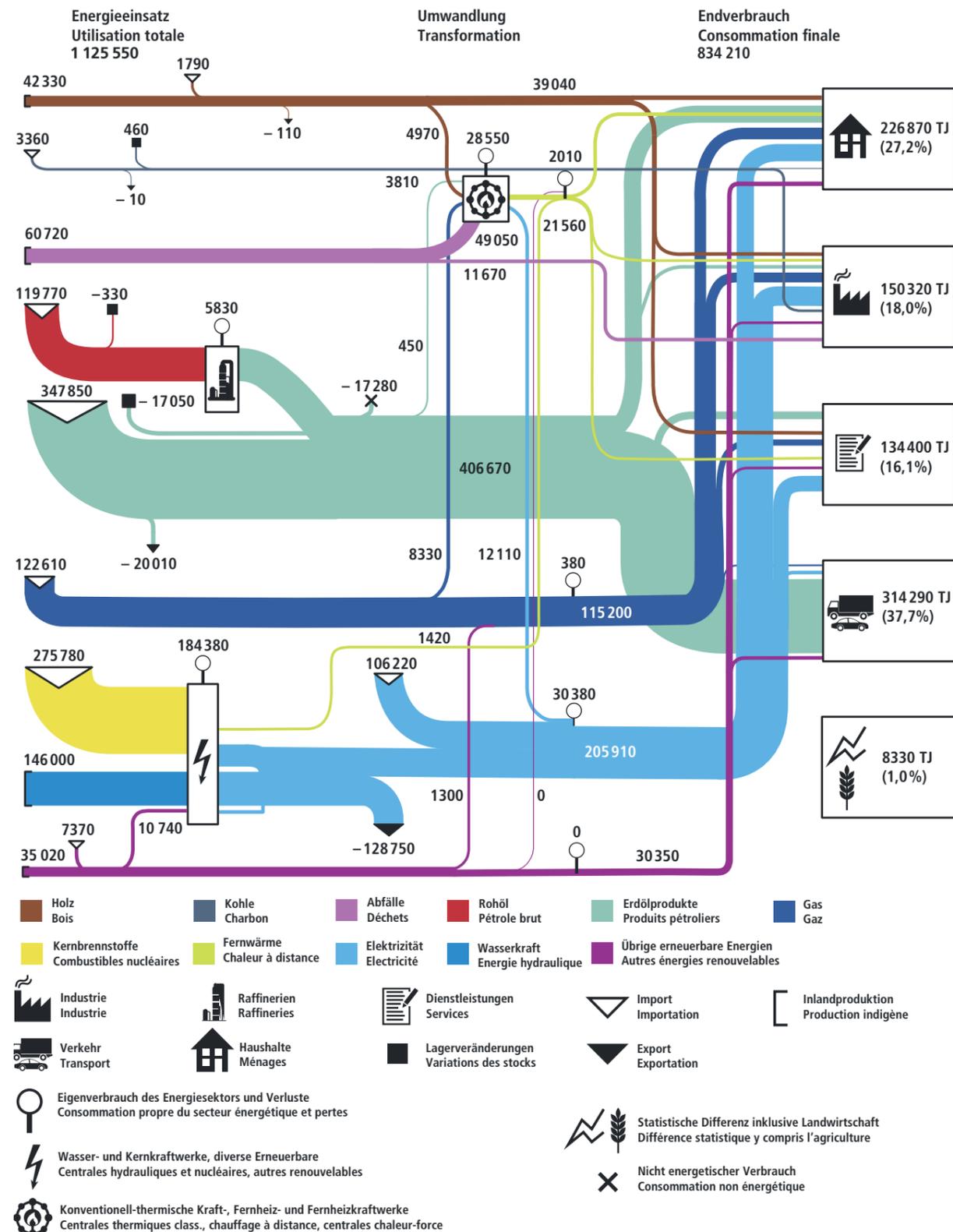
Fig. 4 Energieverbrauch 1950–2019 in TJ  
Consommation d'énergie 1950–2019 en TJ



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)



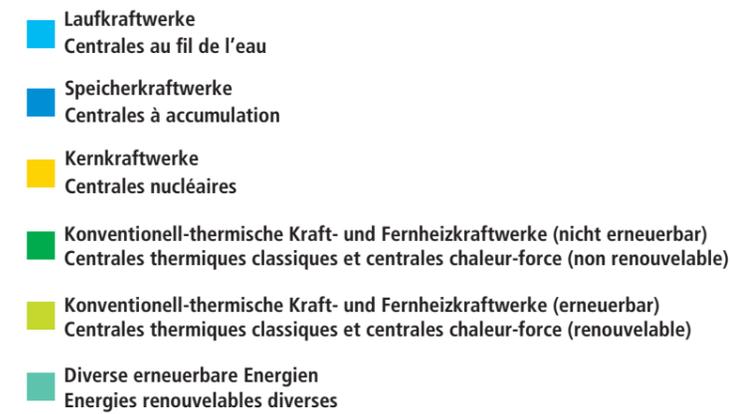
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-godaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>  
[22.06.21]

Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2020

An der gesamten Elektrizitätsproduktion waren die Wasserkraftwerke zu 58,1% (davon Laufkraftwerke 25,2%, Speicherkraftwerke 32,9%), die Kernkraftwerke zu 32,9% sowie die konventionell-thermischen und erneuerbaren Anlagen zu 9,0% beteiligt.

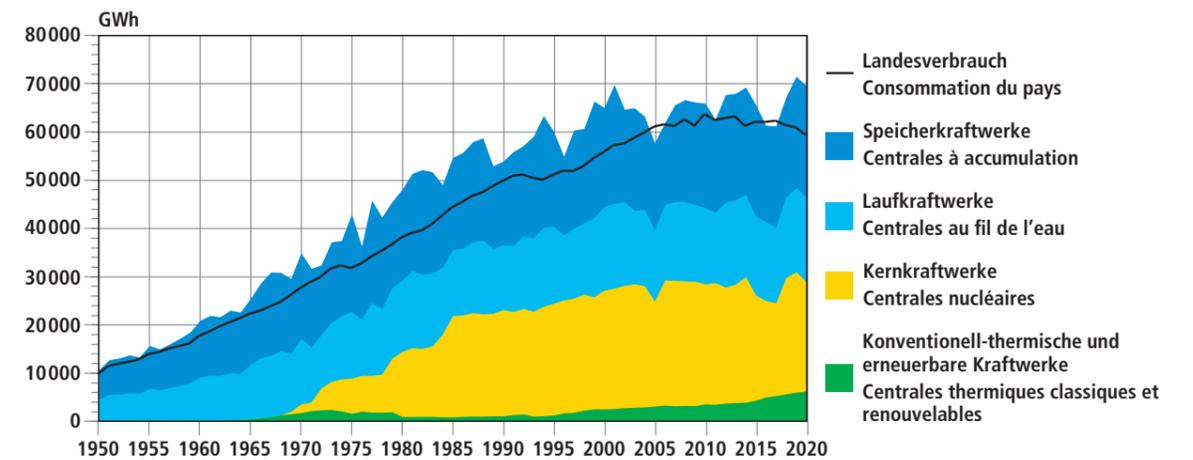
Les centrales hydroélectriques ont fourni 58,1% de la production totale d'électricité (centrales au fil de l'eau: 25,2%, centrales à accumulation: 32,9%), les centrales nucléaires 32,9%, les centrales thermiques conventionnelles et les installations renouvelables 9,0%.

Fig. 1 Stromproduktion 2020 nach Kraftwerk-kategorien  
Production d'électricité en 2020 par catégories de centrales



BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2020 (Fig. 1)  
OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2020 (fig. 1)

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



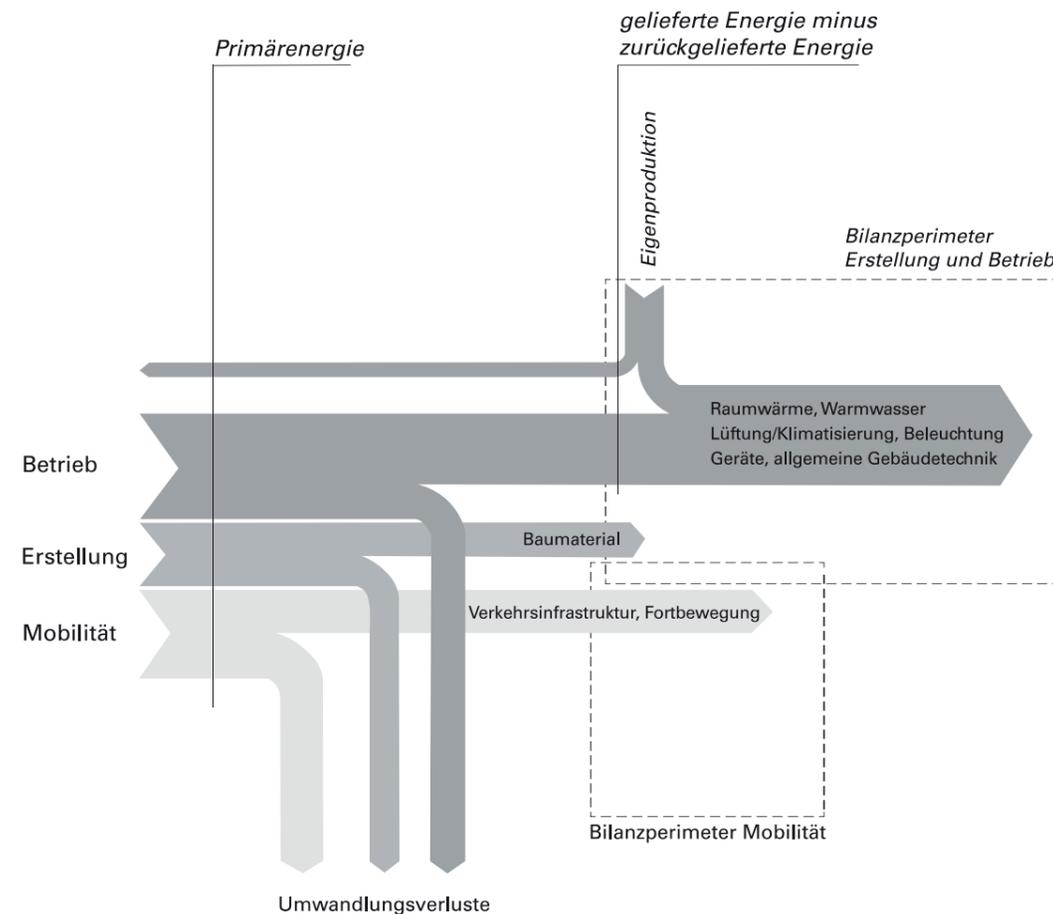
BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2020 (Fig. 9)  
OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2020 (fig. 9)

<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-godaten/energiestatistiken/elektrizitaetsstatistik.html>  
[14.07.21]

## 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.<sup>1</sup> 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.

<sup>1</sup> 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).

### Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissions-Koeffizienten

Tabelle A.1

Brennstoffe	Primärenergiefaktor nicht erneuerbar	Treibhausgasemissions-Koeffizient		
		kg/MJ	kg/kWh	
flüssig	Heizöl EL	1,23	0,083	0.299 *
	Propan / Butan	1,18	0,078	0.281
fest	Kohle Koks	1,68	0,120	0.432
	Kohle Brikett	1,20	0,108	0.389
	Stückholz	0,05	0,004	0.014
	Holzschnitzel	0,06	0,003	0.011
	Pellets	0,21	0,010	0.036
gasförmig <sup>1)</sup>	Erdgas	1,11	0,066	0.238 *
	Propan / Butan	1,18	0,078	0.281
	Biogas (mit Erdgasqualität) <sup>2)</sup>	0,37	0,045	0.162
<b>Elektrizität</b>	CH Verbrauchermix <sup>13)</sup>	2,64	0,041	0.148 *

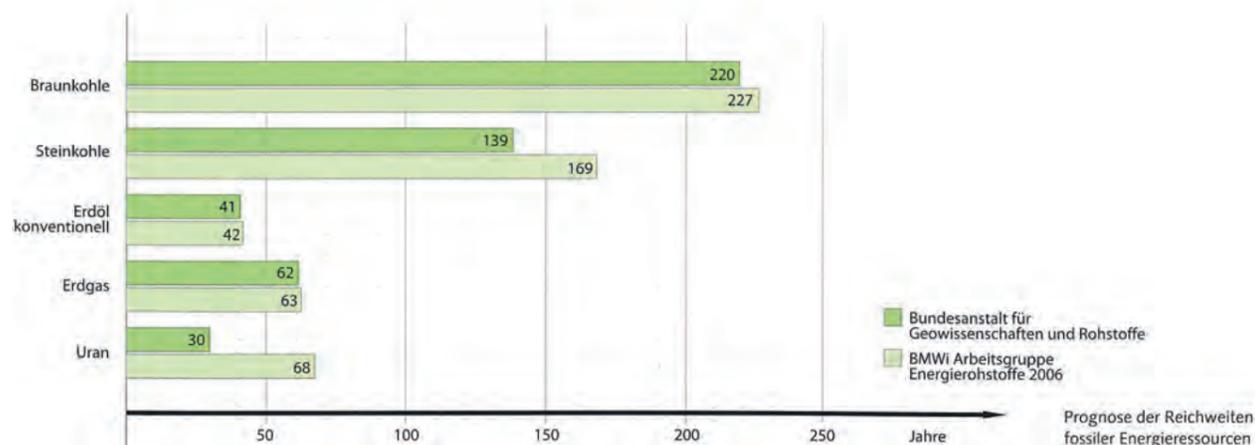
<sup>1)</sup> Werte im Norm-Zustand (0°C, 101300 Pa)

<sup>2)</sup> nach Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW, Regelwerk G13, 2008

\* Umrechnung MJ - kWh Professur Gigon/Guyer

Merkblatt zu SIA 2040, Effizienzpfad Energie, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein [Hrsg.], Zürich 2011, S.24  
\* Verweis auf Vademecum, S. 4, aktuelle Werte

### Prognosen für Reichweiten fossiler Energieressourcen



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

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

Technology	New plant (g CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> sequestration	Not available	70 -100
Gas cogeneration: 10 kW <sub>el</sub>	583 - 633	546 - 601
1000 kW <sub>el</sub>	459 - 500	423 - 468
Fuel cells: 1 kW <sub>el</sub>	560 - 780	440 – 570
300 kW <sub>el</sub>	370 - 650	340 - 450
Coal plants (foreign)	823 – 1022	734 - 850
Coal plants with CO <sub>2</sub> sequestration	Not available	34 - 214

Dynamic Parametric LCA of BIPV Design, Master Thesis Jianxiang Ma, Chair of Sustainable Construction, ETH Zürich, 2019



## MATERIAL- UND ENERGIEFLUSS



## 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 Büttler, 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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.

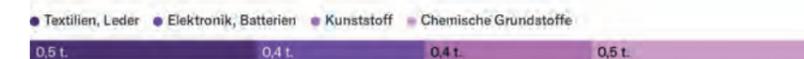
Zum Beispiel Textilien: Sie sind für fast 5 Prozent unseres Fussabdrucks verantwortlich. Mehr als 30 Kilo Kleider und Schuhe kauft der Durchschnittsschweizer pro Jahr (ein Fünftel davon landet in der Kleidersammlung). Das Verarbeiten und Färben von Shirts und Hosen verschlingt enorme Energie. Denken 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen. Doch aus unseren Steckdosen fliesst auch ausländischer Kohlestrom, der die Bilanz vermiest.



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 CO<sub>2</sub>-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 <sub>2</sub> -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%		
Anderere 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%		
<b>Total Energie</b>	<b>14 812 164</b>	<b>17.1%</b>	<b>49 464 519</b>	<b>50.0%</b>	<b>1 049 580</b>	<b>65.9%</b>	<b>51 015 195</b>	<b>31.2%</b>		
<b>Total Nahrung</b>	<b>9 301 662</b>	<b>10.7%</b>	<b>18 299 547</b>	<b>18.5%</b>	<b>107 977</b>	<b>6.8%</b>	<b>47 738 694</b>	<b>29.2%</b>		
<b>Total übrige Materialien</b>	<b>62 741 189</b>	<b>72.2%</b>	<b>31 115 829</b>	<b>31.5%</b>	<b>434 006</b>	<b>27.3%</b>	<b>65 006 873</b>	<b>39.7%</b>		
<b>Total</b>	<b>86 855 014</b>	<b>100.0%</b>	<b>98 879 895</b>	<b>100.0%</b>	<b>1 591 564</b>	<b>100.0%</b>	<b>163 760 762</b>	<b>100.0%</b>		

\* Nicht erneuerbar

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

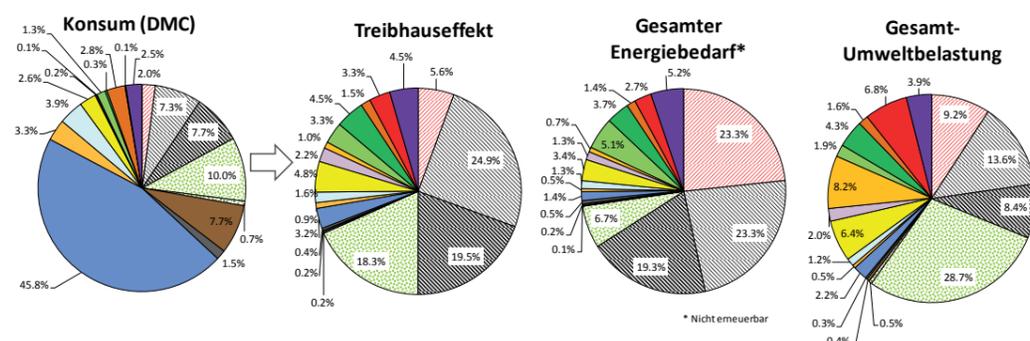


Abbildung H: Anteile verschiedener Materialien am Material- und Energiefluss (Konsum, links) bzw. den daraus entstehenden Umweltauswirkungen in der Schweiz 2018 in drei Kategorien. Farblegende siehe Tabelle A: Gestreift = Energie, gepunktet = Nahrung, volle Farben = Materialien.

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.

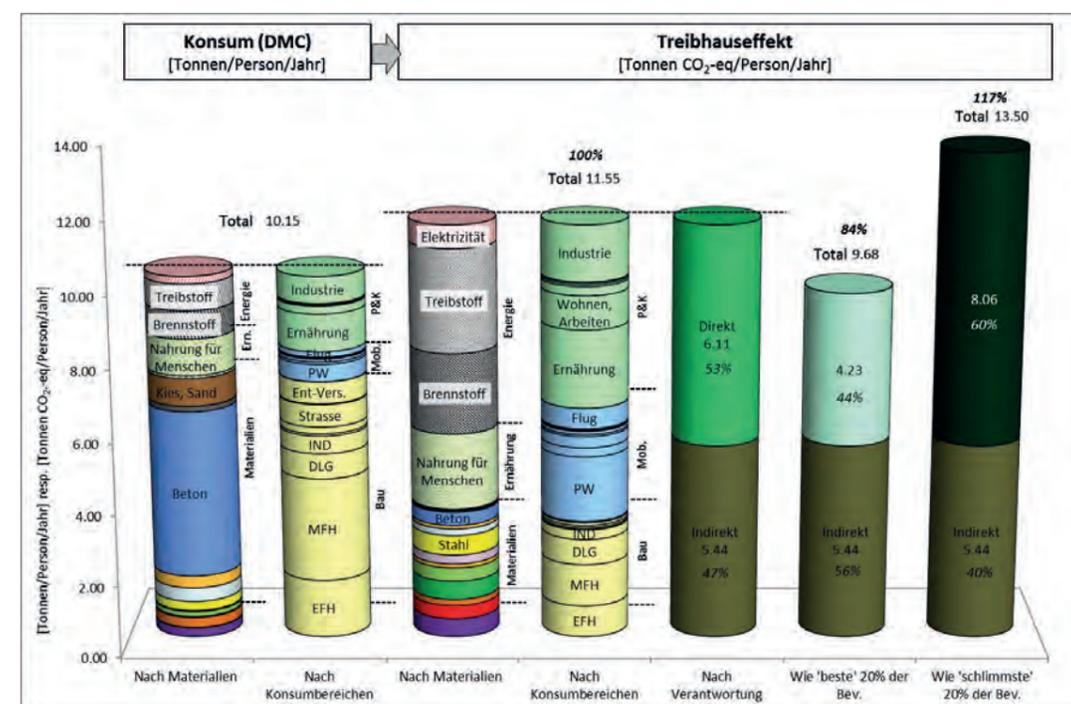


Abbildung I: Konsum und Treibhauseffekt durch ein Individuum, differenziert nach Materialien, Konsumbereichen, Verantwortung und Verhalten. P&K: Produktion & Konsum.

# GRAUE ENERGIE

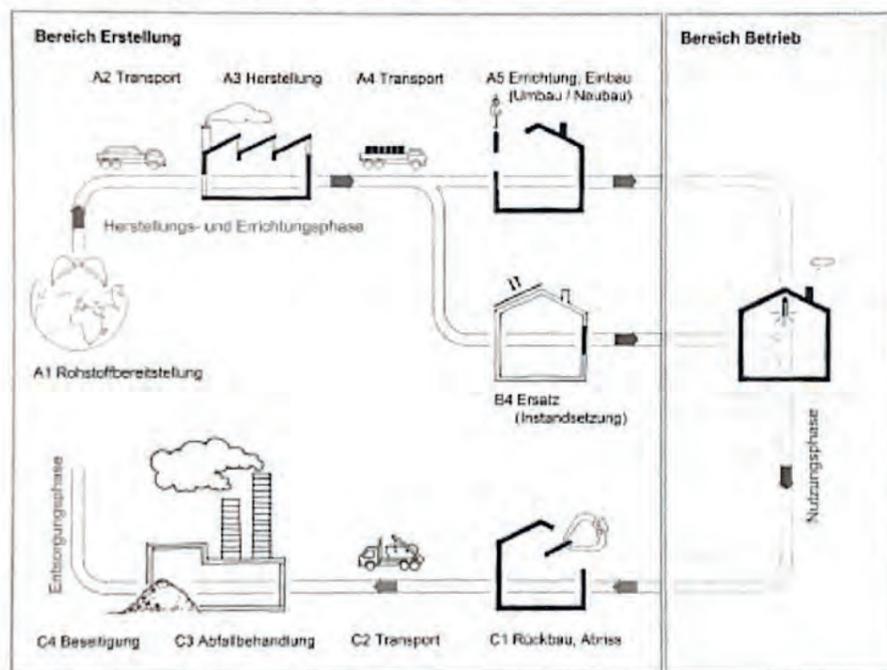
SIA 2032:2020 Bauwesen, „Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden, Bilanzierungsgrundsätze“, 2020, S. 11

## 2 BILANZIERUNGSGRUNDSÄTZE

### 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  $\text{kWh/m}^2$  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.

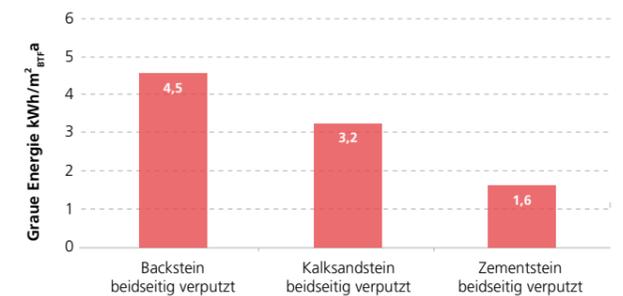
### MAUERWERK

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

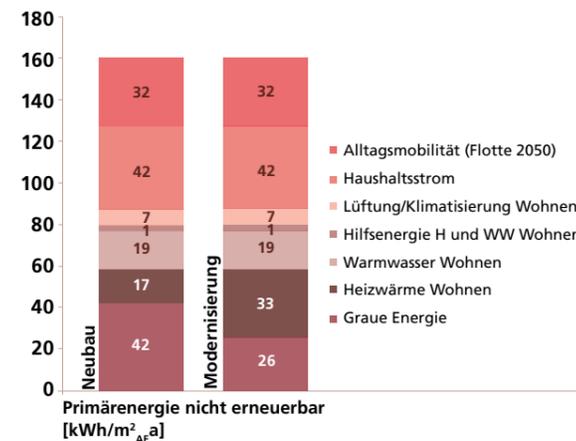
Ein Baumaterial, das die Energie in zweifacher Weise beeinflusst, ist der Dämmstoff. Einerseits hilft er, den Heizwärmebedarf gering zu halten, auf der anderen Seite trägt er aber mit zunehmender Dämmstärke zum Anstieg der grauen Energie bei. Mit der Reduktion des Heizwärmebedarfs kann daher eine Erhöhung 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.

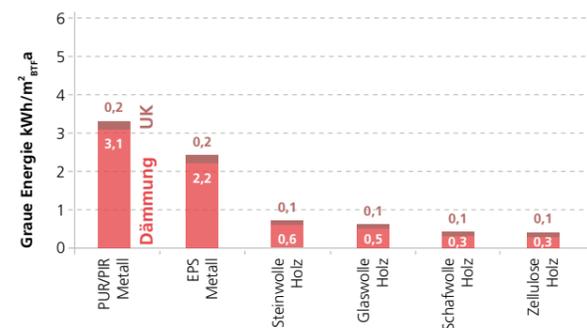
#### DÄMMUNG KOMPAKTFASSADE U-WERT $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$



**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**

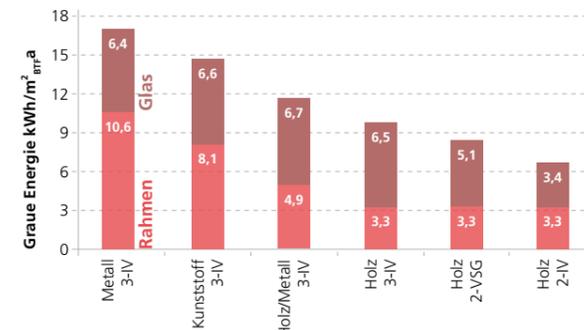


Glas ist nur in Kombination mit einer Unterkonstruktion aus Metall sinnvoll und schneidet am schlechtesten ab. Eine Holzschalung wird dagegen immer auf einer Unterkonstruktion aus Holz befestigt. Zwischen diesen beiden Fassadenkonstruktionen liegt ein Faktor von etwa 15! Das zeigt die grosse Bedeutung einer bewussten Materialwahl. Ferner lässt sich die Differenz der Unterkonstruktionsarten direkt an den zwei Beispielen mit Faserzementplatten ablesen und beträgt 0,8 kWh/m²<sub>BT,a</sub>.

**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

**Maison Ruf, Le Corbusier – Verkleidung mit Solomite-Platten (gepresstes Stroh), vor dem Verputzen.  
Arthur Rüegg, Villa Ruf, Zürich 1987**

Andres Herzog, „Beton ist unersetzlich“, Hochparterre 10/19 2019, S. 10 - 16

# «Beton ist unersetzlich»

**Karen Scrivener forscht an der EPFL, wie wir weniger und klimafreundlicher betonieren können. Ein Gespräch über CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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.

## Hochparterre, Themenfokus: Ausgepufft, Andres Herzog, 04.05.2020, 09:05

## Auszug

**12 Fensteranteil: Nur so viel Glas wie nötig**

Seit der Moderne ist der Fensteranteil von Bauten gestiegen. War früher ein Anteil von 25 Prozent normal, ist er heute oft doppelt so hoch. Damit handelt sich der Architekt gleich zwei Klimaprobleme ein. Erstens erhöht er die Treibhausgase der Erstellung – in einer Glasfassade steckt mehr graue Energie als in einer Betonmauer. Zweitens belastet er die Betriebsbilanz, weil es immer heisser wird (**Klimaerwärmung**). Aus beiden Gründen gilt: Je weniger Glas, desto weniger Treibhausgase. Reduziere also den Fensteranteil so, dass die Räume noch behaglich sind und genug natürliches Licht sowie Wärmegewinn im Winter haben.

Eine Studie der Hochschule Luzern hat die klimatechnische Gesamtrechnung gemacht. Sie rät bei Bürobauten zu einem Öffnungsgrad zwischen 25 und 50 Prozent. Dies spart gegenüber einer Vollverglasung 10 Prozent der Treibhausgase. Bei Wohnbauten liegt die Empfehlung mit 20 bis 40 Prozent etwas tiefer, weil das Kunstlicht weniger zu Buche schlägt. Der Sonnenschutz ist wichtig für die Betriebsenergie, Balkone schenken allerdings generell negativ ein, egal ob im Süden oder im Norden.

Beim Fenster selbst entscheidet der Rahmen, den Architektinnen möglichst reduzieren sollten. Holz ist klimafreundlicher als Plastik oder Metall. Ein Kunststofffenster verursacht doppelt so viele Treibhausgase wie eines aus Holz. Ein Metallfenster ist zwar dauerhafter, macht damit die wesentlich höhere Erststellungsenergie aber nicht wett. Sinnvoll kann aber ein Holzrahmen mit Metallverkleidung sein, ein paar Millimeter Aluminium erhöhen die Witterungsbeständigkeit und damit die Lebensdauer des Fensters erheblich.

● ● ● ●

**15 Beton: Das Baumaterial der Welt**

So wenig wie nötig, lautet die Devise einmal mehr. Für viele Konstruktionen ist Stahlbeton allerdings unverzichtbar, angefangen im **Tiefbau**. Wo besonders hohe Kräfte wirken, ist er das Material der Wahl – auch aus Klimasicht. Andere Baustoffe stossen pro Tonne Lastabtrag in der Regel mehr CO<sub>2</sub> aus. Mit einer effizienten **Tragstruktur** und wenigen Untergeschossen lässt sich der Anteil reduzieren. Doch Beton hat einen weiteren Vorteil: Er ist so gut wie überall auf der Welt verfügbar. Weil das Material omnipräsent ist im Bauen, 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 bewirkt. Bauingenieure sollten den Zementanteil minimieren, unter anderem dank geringen Kräften und einer guten Mischung der Zuschlagstoffe. Und sie sollten CO<sub>2</sub>-armen Beton wählen, dessen Zement mit weniger Klinker gebrannt wird. Die Variante «CEM III/B» reduziert die CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> pro Tonne, kann aber bis zu vier Mal schlanker ausgeführt werden. Laut einer Studie der ETH und der EPFL könnte die Betonindustrie die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um bis zu achtzig Prozent verringern, verglichen mit 1990, wenn von der Zementwahl bis zur **Tragstruktur** angesetzt würde. Und dies, ohne die Normen anzupassen.

● ● ● ●

**16 Recyclingbeton: Eine Ressourcen-, keine Klimafrage**

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 von Beton oder Mischabbruch aufzubereiten, braucht etwa gleich viel Energie wie bei Primärmaterial. Und da rezyklierte Zuschlagstoffe nicht ganz so rein sind, benötigen sie teilweise sogar mehr Zement. Mit neuer Technik könnte sich dies ändern. Ausser dort, wo sehr hohe Festigkeiten gefragt sind, sollte man trotzdem auf Recyclingbeton setzen, solange er aus einem Umkreis von maximal fünfzig Kilometern kommt.

● ● ● ● ●

Wie gross der Effekt ist, zeigen die null bis fünf Punkte.

### 17 Holz: So wenig Leim wie möglich

Holz leistet einen zentralen Beitrag zum Schweizer Klimaziel. Das Material reduziert die CO<sub>2</sub>-Bilanz bei den meisten Konstruktionen entscheidend, allerdings gehen die Zahlen auf Gebäudeebene auseinander, und wir begeben uns auf ein ideologisches Minenfeld. Eine ETH-Studie spricht von einer 25 Prozent geringeren Klimabelastung als bei einem Massivbau, Energie Schweiz rechnet nur mit rund 5 Prozent weniger grauer Energie. Erstens sind Bauweisen schwierig vergleichbar, zweitens hängt davon nur ein Viertel der grauen Energie eines Hauses ab. Unbestritten sind die Vorteile des geschlossenen Kreislaufs des nachwachsenden Materials. Architekten sollten also wenn möglich mit Holz bauen, solange der Baustoff regional verfügbar und nachhaltig angebaut wird wie hierzulande. Global gesehen ist das jedoch oft nicht der Fall. Zudem wachsen schlicht nicht genug Bäume in den Himmel, um den Materialhunger der Welt zu stillen.

Holz ist nicht gleich Holz. Massivholz schneidet am besten ab, weil es nicht aufwendig verarbeitet wird und keine zusätzlichen Stoffe zum Einsatz kommen. Bindemittel können bei Holzwerkstoffen bis zu sechzig Prozent der grauen Energie ausmachen. Als Faustregel gilt: Je stärker zerkleinert, desto mehr Bindemittel ist nötig. Die graue Energie von sägeraurem, luftgetrocknetem Schnittholz ist zehn Mal niedriger als zum Beispiel von MDF-Platten. Auch der Transport schenkt ein: In Holzprodukten aus fernen Ländern wie Kanada oder Russland steckt bis zu einem Drittel mehr graue Energie.

Ein Holzbau ist nicht klimaneutral. Einerseits besteht er nicht nur aus Holz, andererseits verursacht dessen Verarbeitung je nach Energiequelle Treibhausgase. Betrachtet man hingegen nur den Holzkreislauf, wirkt das Bauen temporär CO<sub>2</sub>-negativ, weil es das Material dem natürlichen Zyklus besonders lange entzieht 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 CO<sub>2</sub> binden, was rund fünf Prozent der nationalen Treibhausgasemissionen entspricht. Ein Baum braucht allerdings Jahrzehnte, bis er gefällt und verbaut werden kann. Baustoffe wie Bambus, die extrem schnell nachwachsen, könnten auf globaler Ebene noch wirksamer sein, da der natürliche Zyklus wesentlich rascher läuft als der technische.

• • • •

### 18 Mauerwerk: Es kommt auf den Stein an

Eine Backsteinwand ist die klimafreundlichere Alternative zu einer Betonmauer, wenn die Statik, der Brand- und der Schallschutz keine hohen Anforderungen stellen. Der Leichtbau – vor allem aus Holz – schneidet allerdings nochmals deutlich besser ab. Auch bei den Mauersteinen gibt es Unterschiede. Energie Schweiz empfiehlt im Ratgeber «Graue Energie von Neubauten», statt Backstein besser Kalksandstein oder Zementsteine zu verwenden, weil darin bis zu drei Mal weniger Energie steckt. Beim Zementstein wird nur der Zement gebrannt, Kalksandstein wird bei 200 Grad getrocknet. Einen Backstein brennt man bei rund tausend Grad. Mehr Masse und mehr Hitze heisst: mehr CO<sub>2</sub>.

Zweischalige Mauerwerke sind nicht die erste Wahl. Die wahrgenommene Wertigkeit korrespondiert mit den grauen Emissionen. Generell gilt das Gebot der kurzen Distanzen: Verwende keinen Backstein aus Dänemark oder Norddeutschland. Sie bereichern zwar dein Projekt, aber auch deine Klimabilanz. Die Wiederverwertung ist bei Backstein etwas eingeschränkt. Anders als Vollsteine früher 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 von rezykliertem Beton. Wer hingegen hochwertige Steine verbaut und sie möglichst nicht vermörtelt oder verklebt, erhöht die Chancen für die Wiederverwendung.

• •

### 19 Naturstein: Die Kraft der Geologie

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 oder Verkleidungen für den Sockel ist Naturstein aber eine gute Alternative. Vorgehängte Steinplatten setzen allerdings eine aufwendige Unterkonstruktion voraus, weil sie schwer und relativ dick sind. Das verschlechtert ihre Treibhausgasbilanz.

• •

### 20 Lehm: Eine Nische mit Potenzial

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 nichttragende Mauern oder als thermische Masse in Holzbauten. Lehm kann zudem das Raumklima regulieren und so helfen, die Haustechnik zu minimieren.

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 Wiederverwertung 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 bisher in einer Nische blieb. Neue Verarbeitungstechniken wie jene der Start-ups Oxara (Lehmbeton) oder Terrabloc (Erdziegel) könnten dies ändern. Das Potenzial des wiederentdeckten Baustoffs ist noch lange nicht ausgeschöpft und könnte insbesondere im globalen Süden einen wesentlichen Beitrag leisten.

• • •

### 21 Dämmung: Nicht zu viel und möglichst leicht

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, zeigt ein Bericht des Bundesamts für Energie. Die Dämmung kann je nach Fassadenaufbau bis zur Hälfte der grauen Treibhausgase einer Aussenwand ausmachen. Bei energetischen Sanierungen fällt die Isolation deutlich stärker ins Gesamtgewicht. Dichte Dämmstoffe enthalten mehr graue Energie, und sie dämmen oft schlechter als leichte. Entscheidend ist deshalb unabhängig vom Material der Fassadenaufbau: Steinwolle in einer Ständerkonstruktion enthält fast vier Mal weniger graue Energie, als wenn sie als Putzträger an der Fassade verbaut wird.

Die Treibhausgase einer Isolation müssen in Bezug zur Dämmwirkung stehen, was Vergleiche erschwert. Das Buch «Nachhaltig konstruieren» aus dem Detail-Verlag empfiehlt nachwachsende Dämmstoffe, die CO<sub>2</sub> binden, zum Beispiel Hanf, Flachs, Kork, Zellulose 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.

• •

• • • • •

Wie gross der Effekt ist, zeigen die null bis fünf Punkte.

## CO<sub>2</sub>-SPEICHERNDE MATERIALIEN



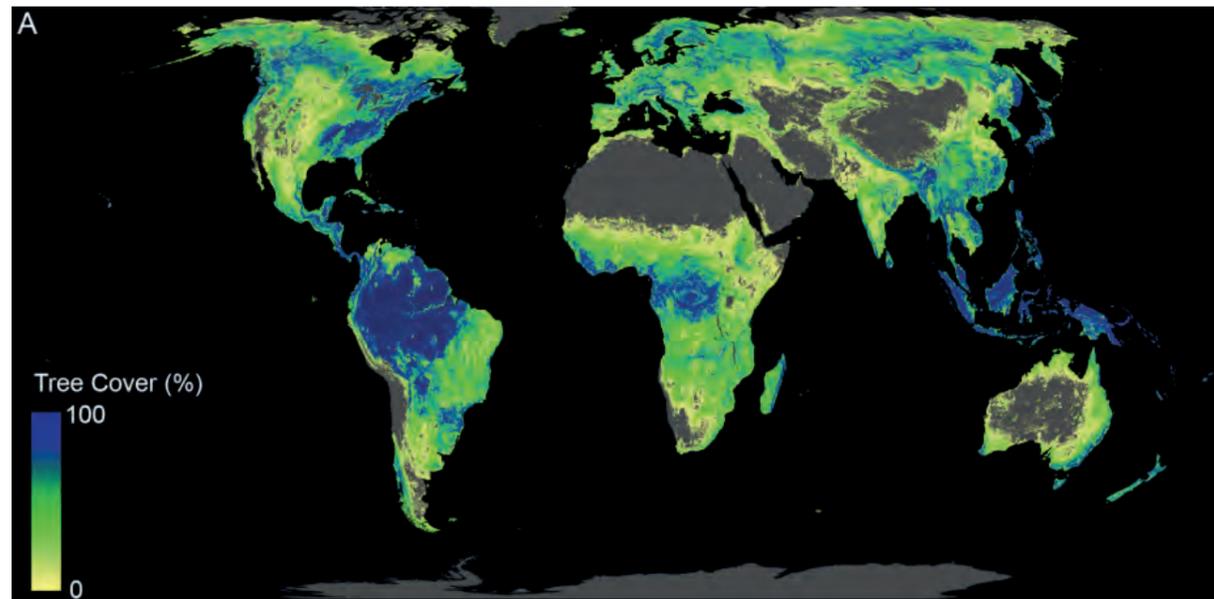
Wälder und Böden sind CO<sub>2</sub>-Speicher. Pflanzen – insbesondere Waldbäume – nehmen während des Wachstums viel CO<sub>2</sub> auf. Sie speichern den Kohlenstoff in der Biomasse und den Sauerstoff geben sie zurück an die Atmosphäre. Beim Abbau oder bei der Verbrennung der Biomasse wird wieder CO<sub>2</sub> gebildet und an die Atmosphäre abgegeben. Die Wald- und Forstwirtschaft trägt dadurch zur Minderung des Treibhausgas-effektes bei. Dies geschieht durch die Aufnahme von CO<sub>2</sub> im Wald oder durch die Verwendung von Holz für Produkte und als Energieträger.

### CO<sub>2</sub>-Speicherung im Wald = Waldspeicher

Bäume entziehen der Atmosphäre bei der Photosynthese CO<sub>2</sub> und lagern es in Form von Kohlenstoff (C) im Pflanzenkörper ein. Das gebundene CO<sub>2</sub> im Holz bleibt solange im System Wald gespeichert, bis das Holz vermodert oder geerntet wird. Der Schweizer Wald bindet jährlich rund 10 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> alleine beim Holzwachstum. Wie viel CO<sub>2</sub> im Wald gespeichert wird, hängt von der Holznutzung ab und kann durch die Waldbewirtschaftung beeinflusst werden.

### CO<sub>2</sub>-Speicherung in Holz = Holzproduktespeicher

Wird Holz genutzt und z.B. in Gebäuden verbaut oder in Holzprodukten verarbeitet, bleibt das darin gebundene CO<sub>2</sub> auf Jahrzehnte gespeichert. Erst wenn das Material ausgedient hat und verbrannt wird, setzt sich das CO<sub>2</sub> wieder frei. Wie viel CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Einlagerung.



Globale Bedeckung der Erdoberfläche mit Wäldern

Mittelfristig – über die nächsten Jahrzehnte – sollen sowohl die biologischen CO<sub>2</sub>-Speicher im Wald wie auch die materiellen CO<sub>2</sub>-Speicher des verarbeiteten Holzes weiter gefüllt werden. Wald und Holz sollen helfen, die international vereinbarten Klimaziele zeitgerecht zu erreichen.

### Tabelle Menge der CO<sub>2</sub>-Speicherung in organischen Werkstoffen

Baustoff	Trockendichte in kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> -Speicherung in kg bei Verwendung von 1 m <sup>3</sup>
Fichte	430	789
Tanne	410	752
Übrige Nadelhölzer	460	844
Buche	680	1'248
Übrige Laubhölzer	580	1'064
Durchschnitt Holz (CH)	500	917
Flachsfaserdämmung	30	55
Hanffaserdämmung	40	73
Strohballendämmung	215	395
Zellulosedämmung	35-60	56 - 96

Holz und andere organische Baustoffe bestehen in trockenem Zustand zu etwa 50% aus Kohlenstoff (C). Zur Produktion des Kohlenstoffs, respektive zum Wachstum, wird der Atmosphäre Kohlenstoffdioxid in der Menge des Faktors 3.67 entzogen.

**Beispiel:** 1m<sup>3</sup> Holz wiegt 500 kg davon sind 50% Kohlenstoff, 1 m<sup>3</sup> Holz enthält also 250 kg Kohlenstoff.  
Diese 250 kg C wurden produziert aus 250 kg x 3.67 = 917 kg CO<sub>2</sub>

**Umgekehrt:** Bei der Verbrennung von 1 m<sup>3</sup> Holz werden 920 kg CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre abgegeben.

**Es gilt auch:** Beim biologischen Abbau von 1 m<sup>3</sup> Holz werden 920 kg CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre abgegeben.

**Faustformel Wald:** Ein Hektar Wald speichert pro Jahr über alle Altersklassen hinweg ca. 13 Tonnen CO<sub>2</sub>.



Sehen Sie auf einen Blick Ihre ökologischen Vorteile mit zirkulit® Beton im Vergleich zum Bauen mit Primärbeton. Einfach die Betonmenge in m<sup>3</sup> für Ihr Gebäude eintippen.

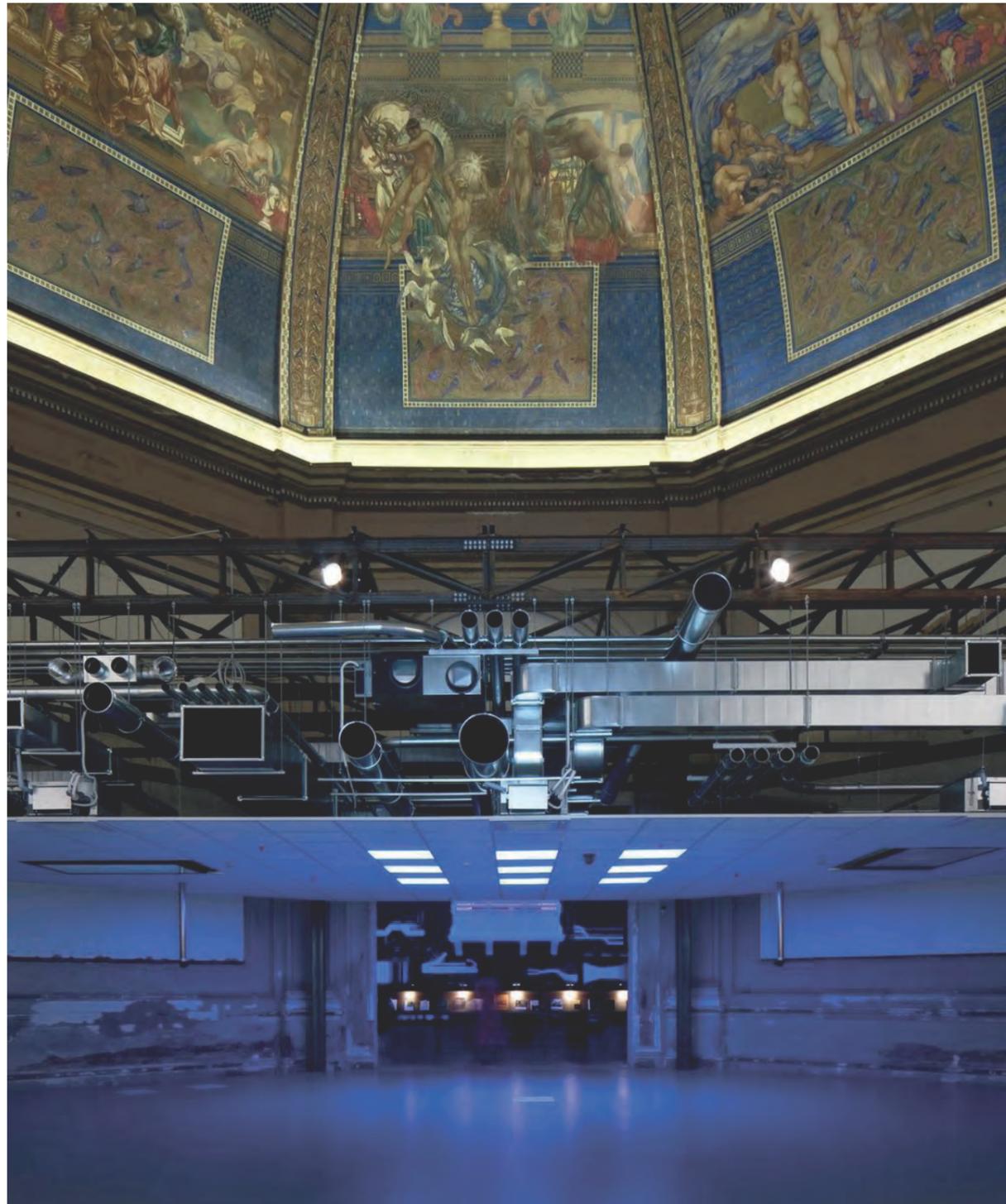
Ihre Betonmenge in m <sup>3</sup>	1000	
	Primär	Zirkulär
Primärrohstoffe (inkl. Zement)	2'350 t	600 t
Sekundärrohstoffe	0 t	1'750 t
Zirkularität	0 %	75 %
CO <sub>2</sub> -Speicherung	0 t	-10 t
Beitrag zu SDG Zielen	0	6



<https://www.zirkulit.ch> [10.08.21]

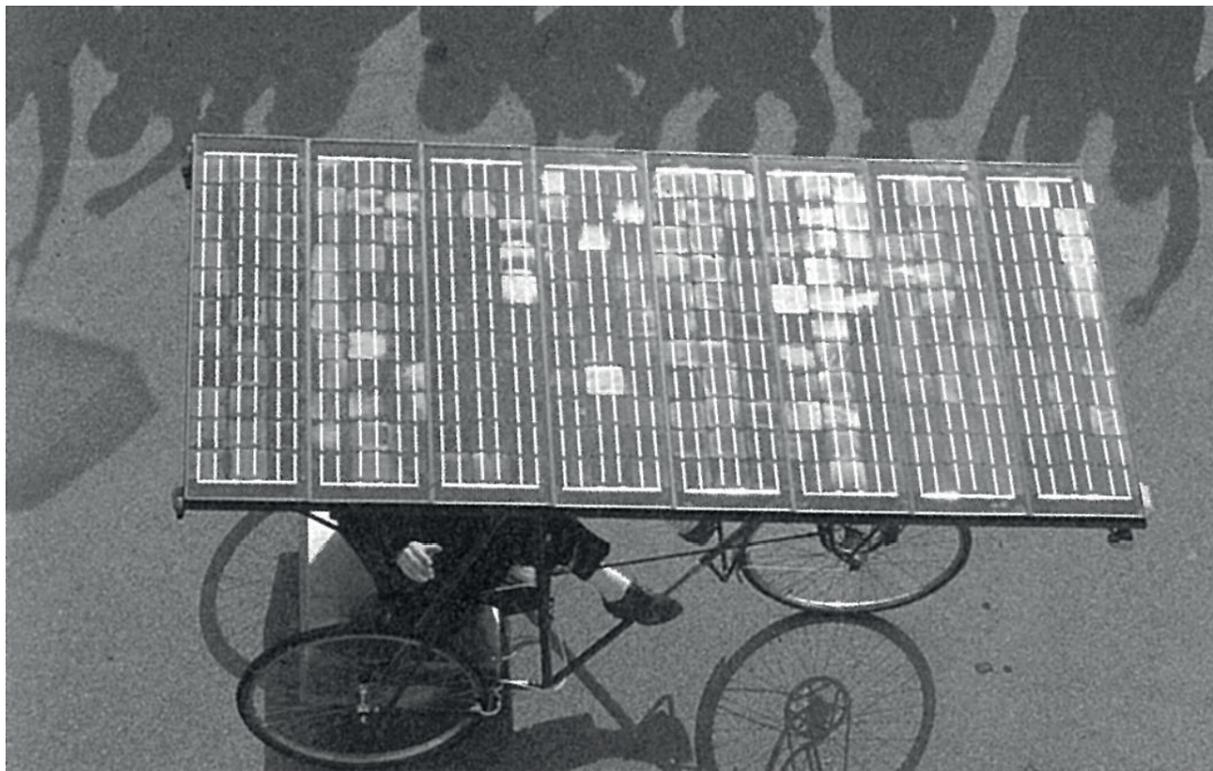
<https://eberhard.ch/news/inhalt/eberhard-lanciert-den-ersten-zirkulaeren-beton-der-schweiz/> [10.08.21]

vgl. auch „Neustark“, <https://de.neustark.com>



## 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.

Charles Filleux und Peter Schlegel, „Erfahrungen mit Solarhäusern in der Schweiz“, in: Neue Zürcher Zeitung vom 11. März 1987, Rubrik Forschung und Technik, Zürich 1987, S. 65-66

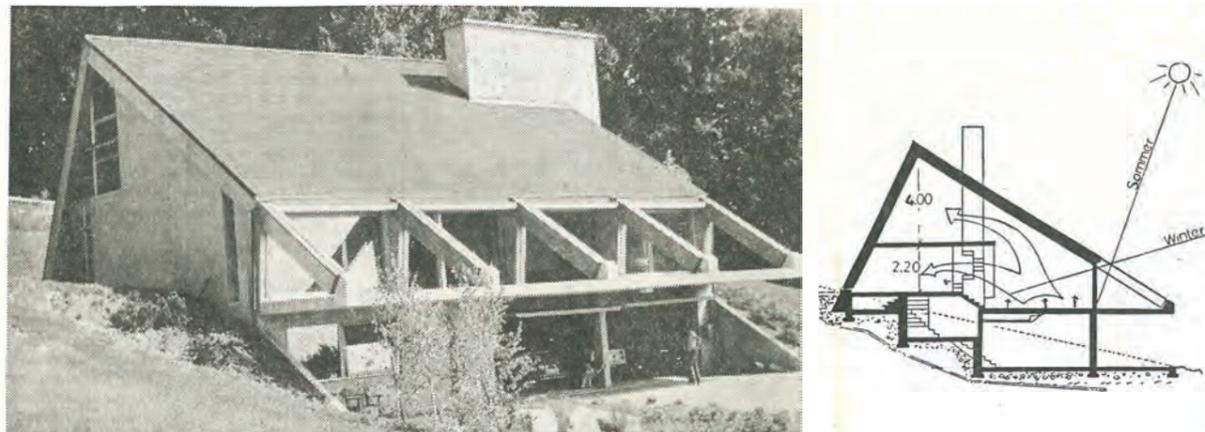


Abb. 1. Solarhaus in Begnins an der waadtländischen Côte. Diese Architektur gewinnt Sonnenwärme ohne Kollektoren direkt auf Grund der spezifischen Konzeption der Südfassade. Innerhalb des Hauses verteilt sich die passiv gewonnene Sonnenwärme durch Konvektion.

## Erfahrungen mit Solarhäusern in der Schweiz

Von Charles Filleux und Peter Schlegel

«Erfahrungen mit Solarhäusern in der Schweiz» ist eine Studie, die vom Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) in Auftrag gegeben worden ist. Die Autoren der Studie wollten nicht nur wissen, wie man in passiven Solarhäusern lebt, sondern vor allem auch erforschen, wie es mit der wärmetechnischen Qualität der untersuchten Gebäude, dem Raumklima, dem Komfort sowie dem Beitrag der Sonnenwärme zur Deckung des Raumwärmebedarfs steht.

### Zahlreiche Untersuchungen

Seit 1979 hat der NEFF die Untersuchung der Energiebilanzen passiver Sonnenhäuser in der Schweiz gefördert. Durch verschiedene Forschungsinstitutionen sind bisher mehr als ein Dutzend bewohnter Sonnenhäuser sorgfältig instrumentiert und während mindestens einer Heizperiode messtechnisch erfasst worden. So hat die *Groupe recherche en énergie solaire* (GRES) von A. Faist an der ETH Lausanne zwischen 1979 und 1981 drei in ihrem passiv-solaren Heizkonzept sehr unterschiedliche Sonnenhäuser untersucht. Im Vordergrund stand die Ermittlung der Energiebilanz des Gesamtgebäudes. Schwieriger gestaltete sich die Bestimmung der Gewinn-Verlust-Bilanz der einzelnen passiv-solaren Elemente. Gemeinsam mit der Lausanner Gruppe hat die Arbeitsgruppe *Solar Trap* der Zürcher Firma *Basler & Höfmann* 1982/83 in *Widen* erstmals ein Sonnenhaus mit einem Kollektor-Speicher-System untersucht. Es gelang nicht nur, die Gesamtenergiebilanz des Gebäudes mit einer Genauigkeit von etwa 10 Prozent zu ermitteln, sondern auch den Beitrag des Kollektor-Speicher-Systems (konvektives System) recht genau zu bestimmen.

Ebenfalls 1982/83 hat das *Institut für Hochbautechnik* der ETH Zürich drei Sonnenhäuser mit konvektiven Systemen des Architekten U. Schäfer (Binz) untersucht. Bei der Instrumentierung der Häuser und der Gestaltung der Messkampagne konzentrierte man sich mehr

auf die Gesamtbilanz der Häuser als auf die Bilanz der konvektiven Systeme. Verfeinerte Untersuchungen lieferten interessante Aussagen über das Zusammenspiel Gebäudesonnenheizung - Bewohner.

Die jüngsten Messprojekte an Sonnenhäusern entstanden im Rahmen des Forschungsprogramms *Task VIII* der *Internationalen Energie-Agentur*. Unter der Leitung von A. Eggenberger ist im Winter 1983/84 an vier bewohnten *Wintergärten* eine Messkampagne durchgeführt worden, um den Fragen des Klimas im Wintergarten und des Benutzerverhaltens nachzugehen. Es wurden dabei keine Energiebilanzen ermittelt. Zwei Demonstrationsvorhaben im Rahmen desselben Forschungsprogrammes (Gebäude mit Wintergarten in *Wald* und Gebäude mit konvektivem System in *Schüpfen*) sind in Angriff genommen worden. Erste Resultate werden im Laufe dieses Jahres vorliegen.

### NEFF-Studie als Synthese

Nach sechs Jahren experimenteller Untersuchungen an Sonnenhäusern durch verschiedene Forschergruppen kam beim NEFF der Wunsch nach einer Synthese auf. Die entsprechende Studie<sup>1</sup> ist soeben publiziert worden. Sie liefert eine zusammenfassende und vergleichende Darstellung des «Verhaltens» gebauter und bewohnter Solareinfamilienhäuser. Der Versuchung, weitere in jüngster Zeit zum Thema publizierte Literatur in der Studie mitzuverarbeiten, konnte

nicht immer widerstanden werden. Trotzdem darf kein Handbuch für die Planung passiver Sonnenhäuser erwartet werden. Einem solchen Zweck dienen eher die SIA-Publikation D 010<sup>2</sup> und eine Publikation des Impulsprogrammes Haustechnik.<sup>3</sup>

Für die Durchführung der im folgenden nun präsentierten NEFF-Studie standen dem Bearbeiterteam sämtliche Unterlagen der Einzelprojektverfasser zur Verfügung. Es stellte sich bald heraus, dass das Zurückgreifen auf Rohdaten aus den diversen Messkampagnen den Umfang des Auftrags sprengen würde. So bildeten denn die einzelnen Forschungsberichte, Gespräche mit den Projektverfassern und Besichtigungen einiger Objekte die Grundlage für die Studie. Um eine gewisse *Vergleichsbasis* zu haben, wurden die Energiekennzahlen eines *Durchschnitts-einfamilienhauses* (vgl. Tabelle) benützt. Ebenfalls eine gute Vergleichsmöglichkeit bot ein *Energiesparhaus* in *Cham*<sup>4</sup> (ohne spezielle Solarerträge), welches im Winter 1983/84 ausgemessen worden war.

### Passives Sonnenhaus und passive Solarsysteme

Als *passives Sonnenhaus* wird ein Haus bezeichnet, bei welchem die Sonne einen grösseren Anteil des *Heizwärmebedarfes* deckt als bei einem Durchschnittshaus, und dies möglichst ohne Einsatz fremder Energiequellen. Dazu gehört auch, dass die Nutzung der Sonnenenergie zur Herabsetzung des Heizenergieverbrauches als wesentliches Ziel des Hausentwurfes, also der *architektonischen Idee* des Hauses, erklärt wird.

Nachfolgend werden die Systeme der passiven Sonnenenergienutzung, die in der Schweiz auf Grund des Klimas und der Bauweise eine gewisse Bedeutung erlangt haben, kurz charakterisiert. Dabei werden wir uns auf Systeme mit Direktgewinn sowie auf konvektive Systeme beschränken. Die in der Schweiz stark in Mode gekommenen Wintergärten sollen in einem späteren Artikel diskutiert werden. In knapper Form werden ausserdem Wärmespeicherwände angesprochen, obwohl ihre Anwendung in der Schweiz eher selten ist.

Beim *Direktgewinn* gelangt die Sonnenstrahlung durch grosszügige Fensterflächen direkt in die Wohn- oder Arbeitsräume, wo sie absorbiert, in den massiven Bauteilen gespeichert und als Wärme wieder an den Raum abgegeben wird. Die Anforderungen an dieses an sich einfache System können wie folgt zusammengefasst werden: grosszügige Südverglasung als Kollektor; gutes Wärmeaufnahmevermögen von Wänden, Boden und Decke, vor allem der direkt besonnten Räume; offene Grundrisse, die eine gute Wärmeverteilung ermöglichen; Nachtisolation, welche die Südverglasung vor grossen nächtlichen Wärmeverlusten schützt; ein Heizsystem, welches auf Sonnenenergiegewinn rasch reagiert. Das in Abbildung 1 gezeigte Haus in *Begnins* erfüllt diese Anforderungen recht gut. Es ist eines der wenigen neueren Gebäude der Schweiz, welche konsequent als Direktgewinnhaus konzipiert wurden.

Während beim Direktgewinn die Wärmegewinne als Strahlung in den Raum gelangen, findet bei *konvektiven Systemen* der Transport der Sonnenenergiegewinne hauptsächlich durch *bewegte Luft* (Konvektion) statt. Die Luft wird im Kollektor erwärmt und anschliessend einem Wärmespeicher zugeführt (vgl. Abb. 3). Als *Speicher* werden meistens Geröllspeicher, seltener Latentspeicher, Speicher mit Wasserbehälter oder die Gebäudekonstruktion selber verwendet. Im Prinzip sind auch konvektive Systeme ohne Speicher, welche die Warmluft bei schönem Wetter direkt dem Gebäude zuführen, denkbar. Diese gelangen jedoch nur in speziellen Fällen zur Anwendung, da bei starker Sonneneinstrahlung in der Regel genügend andere Wärmegewinne vorhanden sind. Die Idee der konvektiven Gewinne ist vielmehr, kurze Schlechtwetterperioden von 2 bis 4 Tagen mit gespeicherten Sonnenenergiegewinnen überbrücken zu können.

Konvektive Systeme sind keine einfachen Systeme. Ihre Integration in das Gesamtkonzept ist relativ anspruchsvoll. Bei richtiger Konzeption und Dimensionierung sind sie jedoch in der Lage, mit einem relativ guten Wirkungsgrad Sonnenenergiegewinne zu speichern und während Schlechtwetterperioden an das Gebäude abzugeben. Wichtige Voraussetzungen für gute konvektive Systeme sind: gute Südorientierung der Kollektorflächen (vertikal); ausgewogenes Verhältnis von Kollektorfläche und Kapazität des Speichers; geringe Systemverluste (kompakte Anordnung, gut isolierter Speicher, keine nächtliche Auskühlung); dem Gebäude angepasstes Wärmeabgabesystem; ein Zusatzheizsystem, welches sich dem momentanen Wärmezustand des Hauses rasch anpasst.

### Verschiedene Kollektortypen

Bei den konvektiven Systemen stehen verschiedene Kollektortypen zur Auswahl. Die beliebtesten sind der Fensterkollektor, der Wandkollektor (oft einfach als Luftkollektor bezeichnet) und der Freilandkollektor. *Fensterkollektoren* kombinieren das Fenster mit einem Luftkollektor, indem zwischen den eigentlichen Fensterscheiben ein Luftraum eingeschlossen ist, welcher über Kanäle mit dem Speicher verbunden ist. Die äussere Fensterverglasung solcher sogenannter Kastenfenster ist eine zweifache Isolierverglasung (2-IV), die innere ebenfalls eine 2-IV oder eine Einfachverglasung. Im Luftraum erwärmt sich die Luft an dunkel gefärbten Lamellenstoren. Bei geringerer Globalstrahlungsintensität (unterhalb etwa 400 W/m<sup>2</sup>) werden die im Kastenfenster eingebauten *Lamellenstoren* gehoben, und die Sonne erwärmt den Raum direkt. Starke Strahlung – vor allem auch im Sommer – wird durch die heruntergelassenen Lamellenstoren wirksam abgeschirmt. Aber auch bei gesenkten Storen wird das Zimmer durch die erwärmte Innenscheibe zusätzlich erwärmt.

Beim *Wandkollektor* erwärmt sich die Luft an dunkel gefärbten Lamellen oder einem Streckmetall zwischen einer äusseren Verglasung und der wärmedämmten Kollektorrückwand, die mit der Fassadenwand identisch sein

kann. Der *Freilandkollektor* ist im Prinzip gleich konstruiert wie der *Wandkollektor*. Er wird aber mit optimalem Neigungswinkel im Freien platziert. Der Preis für eine bessere Solarlichtaufnahme sind allerdings grössere Wärmeverluste an die Umgebung. Abbildung 4 zeigt die *Energieflussdiagramme* für Fensterkollektor und Wandkollektor. Die Bilanz beider Kollektortypen ist über eine ganze Heizperiode etwa gleich gross und beträgt für das Klima des schweizerischen Mittellandes etwa 500 Megajoule pro Quadratmeter äussere Kollektorfläche. Pro *Quadratmeter Kollektorfläche* spart man pro Jahr ungefähr *14 Liter Heizöl*.

Die *Wärmespeicherwand* (Trombe-Wand) speichert die am Tag durch eine Verglasung eingestrahelte Wärme in einer Beton- oder Kalksandsteinwand, um sie nachts zeitverzögert an den dahinterliegenden Raum wieder abzugeben. Wo nötig, werden in der Wand Ventilationsöffnungen vorgesehen, damit ein Teil der gesammelten Wärme ohne Verzögerung bereits am Tag zur Verfügung steht. Bedingung für diese Art der passiven Sonnenenergienutzung sind regelmässige Wärmegewinne tagsüber sowie ein bestimmtes Verhältnis zwischen Einstrahlung und mittlerer Temperaturdifferenz. Das ideale Klima dazu bietet z. B. der Südwesten der USA.

**Kurzporträts der Messhäuser**

In der NEFF-Studie sind neun Häuser untersucht worden, wovon hier stellvertretend vier, nämlich *Begnins* (Direktgewinnhaus), *Binz* (normale Direktgewinnfenster, kein typisches Sonnenhaus), *Rothenfluh* (System mit Freilandkollektor) und *Widen* (System mit Fensterkollektor) in Abbildung 1 und 2 gezeigt werden. Die nachfolgend beschriebenen Befunde beziehen sich auf die Gesamtheit der in der Studie untersuchten Häuser.

Mit einer durchschnittlichen *Energiebezugsfläche* (EBF, geheizter Teil der Bruttogeschossfläche) von 188 m<sup>2</sup> entspricht das Mittel der Gebäudegrössen etwa dem schweizerischen Mittelwert. Das *Oberflächen-Volumen-Verhältnis* ist ein Mass für die Abkühlungsfläche des Hauses,

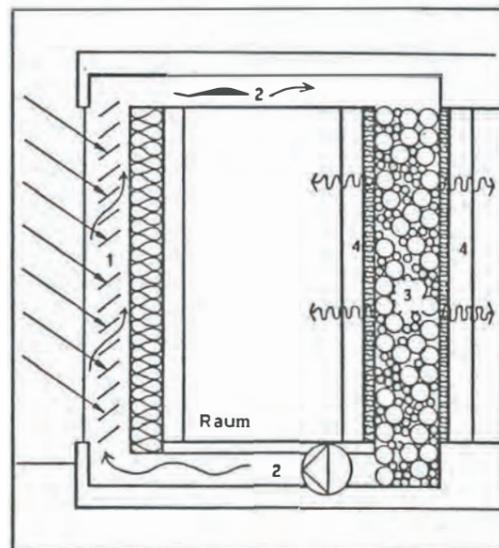


Abb. 3. Schematische Darstellung eines konvektiven Systems zur Gewinnung von Solarwärme. 1 Fenster- oder Wandkollektor, 2 Wärmetransport vom und zum Speicher (z. B. mit Hilfe eines eingebauten Ventilators), 3 Wärmespeicher (z. B. Geröllspeicher), 4 Wärmeabgabe in die Wohnräume.

bezogen auf das beheizte Volumen. Je grösser dieses Verhältnis, um so besser müsste die Gebäudehülle wärmegeämmt werden, damit die Wärmeverluste pro m<sup>3</sup> beheiztes Volumen nicht auch grösser werden. Die meisten der untersuchten Solarhäuser besitzen nun aber einen ziemlich bis stark gegliederten Baukörper. Der günstige Effekt erdberührter oder an unbeheizte Räume grenzender Wände vermag dies selbst bei denjenigen Häusern nicht zu kompensieren, die zwar äusserlich kompakt erscheinen, aber bei näherem Hinsehen doch recht stark gegliedert sind. Die jetzt in der Praxis dank Solarenergie realisierten Gewinne in der Energiebilanz sind also trotz eher ungünstigem Oberflächen-Volumen-Verhältnis erzielt worden.

Als die vom Rauminnern her wahrnehmbare Glasfläche ist die Fensterglasfläche pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche berechnet worden. Vergleicht man mit dem Durchschnittswert der schweizerischen Einfamilienhäuser, so stellt man mit Erstaunen fest, dass die gesamte Fensterfläche nur gerade bei einem der Solarhäuser deutlich über diesem Mittelwert liegt. Heisst dies, dass passive Sonnenhäuser eher weniger Fenster haben als übliche Einfamilienhäuser? Ja. Der Unterschied liegt aber darin, dass im Sonnenhaus die *Fensterflächen* im Durchschnitt *mehr nach Süden* konzentriert sind und demzufolge die Nordfenster einen geringeren Anteil ausmachen als beim Durchschnittseinfamilienhaus. Die Konzentration auf Südfenster und der Verzicht auf Nordfenster sind geradezu ein Merkmal der passiven Sonnenhäuser. Inclusive ihrer Fensterkollektoren haben die Sonnenhäuser zwischen 50 und 80 Prozent ihrer gesamten Glasfläche nach Süden orientiert.

Die *Wärmedämmung* von Wänden und Fenstern widerspiegelt die bei der Projektierung der neun Häuser im Zeitraum Mitte der siebziger Jahre bis 1982/83 sich verändernden Vorstellungen der Architekten von einem gut wärmegeämmt Haus. Die k-Werte der Wände sinken von über 0,4 W/m<sup>2</sup> K auf 0,2 W/m<sup>2</sup> K. Die Fenster waren anfänglich noch doppelt verglast, nachher mit Dreifach- oder Infrarot-Reflexionsgläsern versehen. Bei den Häusern mit Fensterkollektoren finden wir innen und aussen je eine zweifache Isolierverglasung. Bei den *Dächern* ist die Tendenz zur besseren Wärmedämmung nicht so eindeutig. Schon das älteste der Messhäuser (1977) erreicht auf seiner anteilmässigen grossen Dachfläche einen k-Wert von 0,2 W/m<sup>2</sup> K.

Drei der Häuser besitzen eine *Nachtwärmedämmung* der Fenster. Zwei davon haben innenliegende Wärmedämmpläden, das dritte hat bewegliche Mylarfolien. Diese Massnahmen verbesserten den k-Wert der Fensterregion jeweils von etwa 3 auf 1,5 W/m<sup>2</sup> K.

Die Qualität aller Wärmedämmmassnahmen äussert sich im spezifischen Wärmeverlustkoeff-

fizienten, d. h. in den gesamten Wärmeverlusten des Gebäudes pro Kelvin Temperaturdifferenz innen-aussen, bezogen auf die Energiebezugsfläche. Während dieser bei den untersuchten Solarhäusern zwischen 1,1 und 1,4 W/m<sup>2</sup> K liegt, sind heute Werte unter 1 W/m<sup>2</sup> K durchaus erreichbar (z. B. Haus Cham, siehe Tabelle).

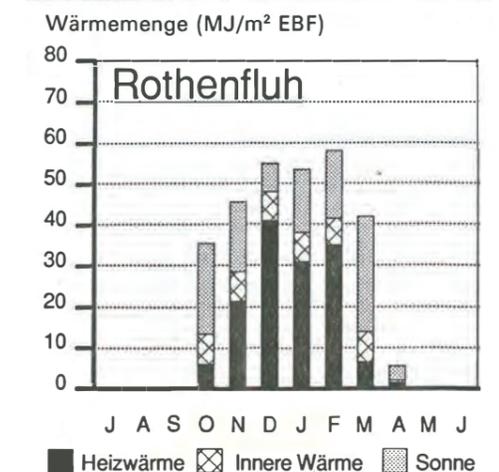
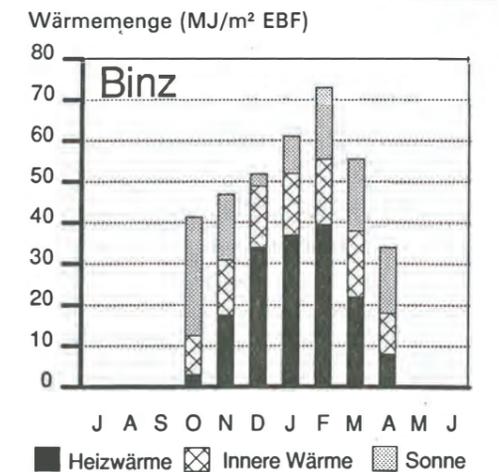
**Heizsysteme und Energieverbrauch**

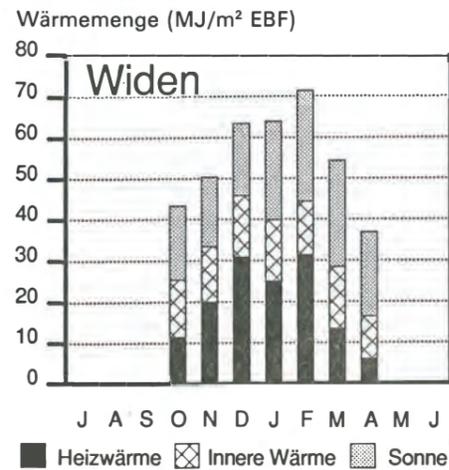
Für die energetische Beurteilung des gesamten Bauwerkes – also mit Einschluss der haustechnischen Anlagen – benutzt man seit Jahren die *Energiekennzahl*. Sie ist ein Mass für den spezifischen *jährlichen Energieverbrauch*, d. h. den Energieverbrauch bezogen auf die Energiebezugsfläche (MJ/m<sup>2</sup> EBF). Der Durchschnitt der schweizerischen Einfamilienhäuser liegt bei 840 MJ/m<sup>2</sup> und Jahr. Mit Werten zwischen 250 und 400 MJ/m<sup>2</sup> und Jahr liegen die Messhäuser *deutlich unter* dem von der SIA empfohlenen Zielwert (520 MJ/m<sup>2</sup>). In der Energiekennzahl ist neben dem Energieaufwand für Raumheizung auch jener für Warmwasser und Strom enthalten. Welches sind nun die Gründe für die günstigen Energiekennzahlen in den untersuchten Sonnenhäusern?

Fast alle Messhäuser werden *von Hand mit Holz* beheizt. Nur eines der Häuser hat keine Holzheizung, und bei einem zweiten hat das Holz lediglich einen geringen Anteil. Diese Tatsache ist für den Energieverbrauch von grosser Bedeutung. Eine (nicht automatische) Holzheizung ist nämlich eine typische *Bedarfsheizung*, d. h., sie heizt nur, wenn der Benutzer einen Wärmebedarf feststellt und aktiv etwas unternimmt. Solche Bedarfsheizungen sparen jene Energie, welche bei einer heute üblichen *Angebotsheizung*, wo die Wärme ständig «auf Abruf» bereit ist, verlorengeht.

Die in den Messhäusern eingebauten Holzheizungen erfordern jedoch einigen Bedienungsaufwand. Deshalb richtet sich der Heizbetrieb ausgeprägt nach dem Wetter, und es wird nur eingeheizt, wenn es wirklich nötig ist. Oftmals wird sogar vorausschauend nach der Wetterprognose oder nach der eigenen Wetterbeurteilung sowie nach den geplanten An- bzw. Abwesenheiten der Bewohner geheizt. Dazu kommt, dass in einem der Messhäuser *unterdurchschnittliche Raumtemperaturen* die Regel sind.

Die obigen Ausführungen lassen erkennen, dass das *Benutzerverhalten*, verbunden mit einem z. T. etwas *reduzierten Komfortniveau*, sowie eine manuelle Steuerung der Heizung massgeblich für den niedrigen Energieverbrauch verantwortlich sind. Daraus lässt sich ableiten, dass eine nach heutigen Vorstellungen automatisch gesteuerte Warmwasserzentralheizung mit Ölheizkessel nicht die günstigste Heizart für ein gut wärmegeämmtes, passives Solarhaus ist. Vielmehr sollten für solche Häuser *neue Heizungs- und Steuerungskonzepte* entwickelt werden, welche – anders als die zwar naturnahe, aber arbeitsintensive Holzheizung – mit einem geringeren Bedienungsaufwand auskommen





und trotzdem einen optimal dem stark schwankenden Wärmebedarf angepassten Heizbetrieb ermöglichen.

Oft wird etwa auch die Meinung vorgebracht, der träge Kachelofen mit seiner kaum steuerbaren Wärmeabgabe könne doch kein geeignetes Heizsystem sein für ein passives Solarhaus mit seiner rasch wechselnden Wärmelast. Die damit ausgerüsteten Messhäuser widerlegen diese Meinung aus den folgenden Gründen: Die Raumtemperatur sinkt wegen der hohen Auskühlzeitkonstante (gute Wärmedämmung und Speichermasse) derart langsam ab, dass man am Morgen mit dem Einfeuern zuwarten kann, bis sich die Entwicklung der lokalen Wetterlage abzeichnet. In Solarhäusern mit Grundlastwärmespeicher gilt dies erst recht. Falls sich die Bewohner derart weitgehend ihrem Heizsystem anpassen, dass sie sich für Tätigkeiten mit wenig innerer Wärmeproduktion (Lesen, Nähen, Schreiben, Essen) an den Ofen setzen und die nicht in Ofennähe liegenden Hausteile ausschliesslich den körperlich intensiveren Tätigkeiten oder dem Schlafen dienen, kann die Raumlufttemperatur im Haus auf 12 bis 17 °C (je nach der Nutzung des Raumes) gesenkt werden. Die einstrahlende Sonnenenergie wird dann wesentlich besser ausgenutzt als bei höheren Raumlufttemperaturen, und es tritt kein Überheizen ein. Ist am Kachelofen ausserdem ein Warmwasser-Zentralheizungssystem mit Radiatoren oder ein Warmluft-Kanalsystem angeschlossen, steht eine kurzfristig einsetzbare,

flinke Heizkomponente zur Verfügung. Der träge Speicherteil des Kachelofens liefert dann – besonders bei eher offener Raumanordnung im Gebäude – nur die Grundlast.

### Der Beitrag der Sonnenstrahlung zur Raumheizung

Die monatlichen Energiebilanzen für die untersuchten Messhäuser erlauben den Solarteil abzulesen (vgl. Abb. 2 und Tabelle). Bei den

meisten der Messhäuser deckt die Sonne etwa die Hälfte des gesamten Bruttoheizenergiebedarfs. Umgerechnet ergibt dies etwa 850 bis 1100 Liter Heizöl. Die monatlichen Bilanzen in Abb. 2 zeigen zudem, dass nur die Monate Dezember, Januar und Februar volle Heizmonate sind, und selbst während dieser Monate können vereinzelte oder sogar mehrere Tage nacheinander heizfrei sein. Am ehesten könnte künftig wohl der Beitrag der Sonnenstrahlung mittels Luftkollektoren wie z. B. im Haus Widen noch gesteigert werden. Solche Häuser erlauben eine erhöhte Sonnenenergieaufnahme ohne Überwärmung der Südräume und ohne erhöhte Verluste durch grosse Glasfronten. Besonders interessant sind Systeme, welche an der Südfront sowohl Fensterkollektoren wie auch Wandkollektoren aufweisen. Die Fensterkollektoren bringen bei einer Globalstrahlungsintensität von etwa 350 W/m² bei hochgezogenen Absorberlamellenstoren noch Direktgewinn, die Wandkollektoren andererseits sind hinsichtlich der Wärmeverluste von innen nach aussen besonders vorteilhaft.

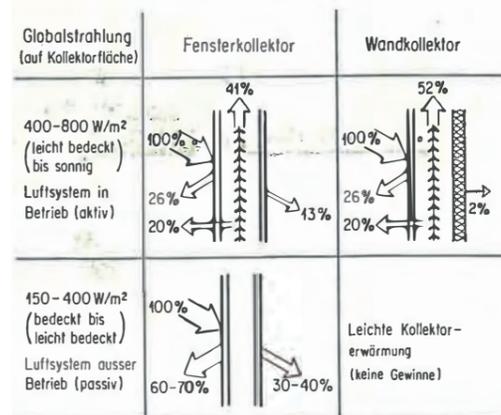


Abb. 4. Funktionsweise und Energieflussdiagramme für

### Fazit

Die vorliegende Zusammenfassung musste wichtige Themen des zugrundeliegenden Berichtes weglassen, wie z. B. das Thema «Raumklima und Komfort». Auch musste auf die Wiedergabe des umfangreichen Zahlenmaterials, das für die Bemessung von Systemen nützlich sein kann, verzichtet werden. Immerhin sollte auch diese geraffte Darstellung das Prinzipielle klargemacht haben:

Ein verhältnismässig tiefer Heizenergiebedarf lässt sich auf drei Wegen erreichen: mit tiefen Raumlufttemperaturen in einem nach heutigen Vorstellungen durchschnittlich wärme gedämmten Haus mit Isolierläden; mit einem vergrösserten Sonnenwärmeanteil am Energiebedarf bei ebenfalls durchschnittlicher bis guter Wärmedämmung; mit einer besonders guten Wärmedämmung bei minimalen Fensterflächen und einem dementsprechend geringen Sonnenwärmeanteil (z. B. Haus Cham, siehe Tabelle).

Ein vergrösserter Sonnenwärmeanteil ist also nur einer der Wege zu einem Energiesparhaus. Entscheidet man sich für eine passive Solararchitektur, bedeutet dies intensives «Leben mit der Sonne», fordert also eine ausgeprägte Beschäftigung mit dem Wetter. Die grossen verglasten Südfächen führen zu hellen, gegen die Umwelt hin exponierten Räumen. Diese Ausgesetztheit ist aber auch bei trübem Wetter und (ohne Vorhänge oder innere Isolierläden) auch nachts vorhanden. «Normale» Architektur mit üblichem oder minimalem Fensteranteil bedeutet andererseits noch bessere Wärmedämmung und dafür weniger Sonnenwärmegewinn. Statt Öffnung zur Umwelt dominiert hier das Sichzurückziehen in den Innenraum. Mit beiden Konzepten und allen dazwischenliegenden Varianten ist sehr niedriger Energieverbrauch möglich. Das gewählte Konzept ist deshalb vor allem auch Ausdruck der individuellen Neigungen des beteiligten Architekten und des Bauherrn.

Einheit	passive Sonnenhäuser	Haus Cham	durchschnittl. Einfamilienhaus
<b>Geometrie</b>			
beheiztes Volumen	m³	320 ... 530	400
Energiebezugsfläche EBF	m²	150 ... 220	200
			180
<b>Wärmedämmung</b>			
spez. Wärmeverlustkoeffizient	W/Km² EBF	1,1 ... 1,4	0,8
			2,5
<b>Glasflächen (inkl. Kollektoren)</b>			
Gesamtglasfläche pro m² EBF	m²/m²	0,20 ... 0,45	0,09
Anteil Südglassfläche	%	69 ... 76	45
			38
<b>Wärmeleistungsbedarf der Heizanlage</b>	kW	4,8 ... 9,0	4,4
			13
<b>Heizenergiebedarf</b>			
Netto-Heizenergiebedarf	MJ/m²a	115 ... 144	137
Energiekennzahl (nur Heizung)	MJ/m²a	154 ... 235	195
			480
			670
<b>Solarbeitrag</b>			
Anteil Sonnenwärme am Brutto-Heizenergiebedarf	%	34 ... 54	24
<b>Heizgrenzen</b>			
Anzahl Heiztage effektiv	Tage	103 ... 165	151
Heizgrenze (Aussentemp.) bei vollem Speicher und Schönwetter	°C	-6 ... -2	
bei leerem Speicher und Schlechtwetter	°C	8 ... 11	12
<b>Raumlufttemperaturen</b>			
Wohnzimmer, Mittel der Heizsaison	°C	18,6 ... 20,4	
Wohnzimmer, Mittel des kältesten Monats	°C	17,0 ... 19,5	
Ganzes Haus, Mittel der Heizsaison	°C	18,2 ... 19,9	

Charakteristische Daten passiver Sonnenhäuser der NEFF-Studie. Es handelt sich um diejenigen Messhäuser, die etwa denselben Netto-Heizenergiebedarf und dasselbe Raumlufttemperaturniveau haben (Les Geneveys, Rothenfluh, Widen, Gonten und Oberglatt). Zum Vergleich sind die Daten des besonders gut wärme gedämmten, mit minimalem Fensteranteil versehenen Hauses Cham angegeben, ferner einige Werte eines durchschnittlichen, heute bestehenden Schweizer Einfamilienhauses gemäss den SAGES-Erhebungen.

# VERSCHIEDENE SOLARTECHNOLOGIEN

## PHOTOVOLTAIK (PV)

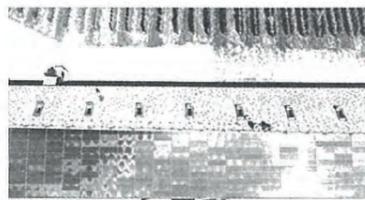
Photovoltaik wandelt Lichtenergie mittels Solarzellen, bestehend aus unterschiedlichen Halbleitermaterialien, direkt in elektrische Energie um, als Gleichstrom. Der Strom wird durch metallische Kontakte gesammelt und in dieser Form entweder lokal verwendet oder gespeichert. In der Regel wird aber der 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

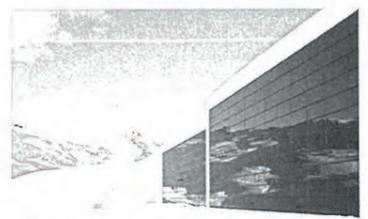
### DÜNNFILM

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

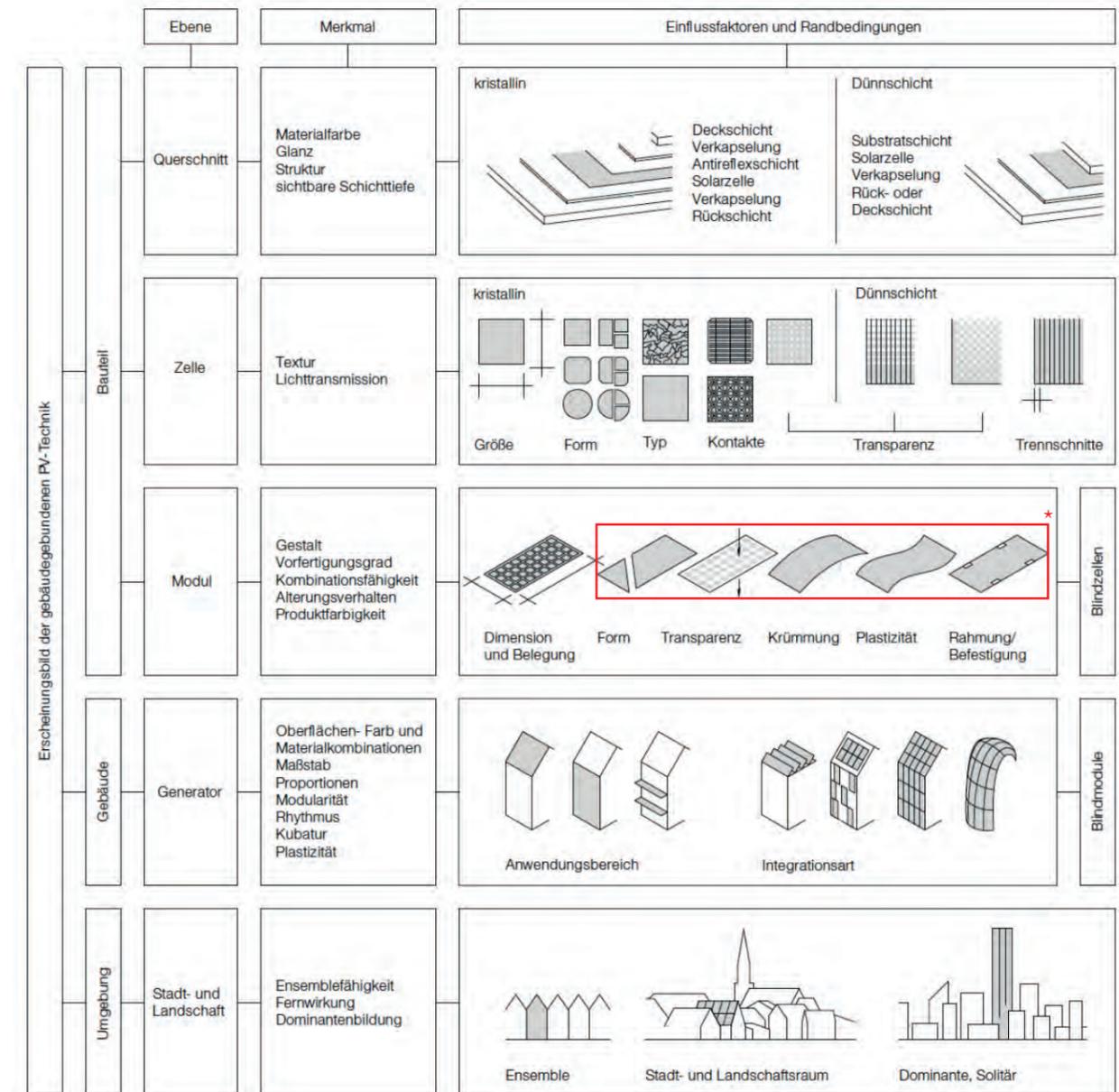
## GÄNGIGE SYSTEMTOPOLOGIEN

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 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.**

Bei der Planung ist darauf zu achten, dass möglichst wenig Verschattung oder Teilverschattung einzelner Photovoltaik-Module entsteht, da sich das negativ auf die Leistung auswirkt. Eine Integration in eine vertikale Hausfassade ist jedoch durchaus möglich, auch wenn die hierbei nutzbare Einstrahlung beziehungsweise der zu erwartende Ertrag gegenüber einer Dachintegration mit optimaler Ausrichtung geringer ausfällt. Photovoltaik-Module sind als Standardprodukte verfügbar, können aber auch bauvorhabenspezifisch gefertigt werden. Ebenso lassen sie sich direkt in Bauprodukte integrieren, wie zum Beispiel in Photovoltaik-Dachziegel oder Photovoltaik-Dachfenster.

Durch Integration von Photovoltaik-Elementen in die Gebäudehülle, und hier vornehmlich die Fassade, können zusätzlich zur elektrischen Energieerzeugung Witterungs-, Sonnen- und Sichtschutz sowie weitere Funktionen, die normalerweise durch die äußerste Schicht einer Fassade erfüllt werden, mit übernommen werden. Somit kann mindestens ein Bauelement eingespart werden, was den Einsatz integrierter PV-Systeme in einer Gesamtkostenbetrachtung günstiger macht.

Die direkte Integration der Photovoltaik, beispielsweise in die Fassadenebene, kann nach verschiedenen Prinzipien erfolgen. Generell wird zwischen einer Installa-

tion als durchsichtiges Glas-Glas-Modul und einer Integration als opake Fläche unterschieden.

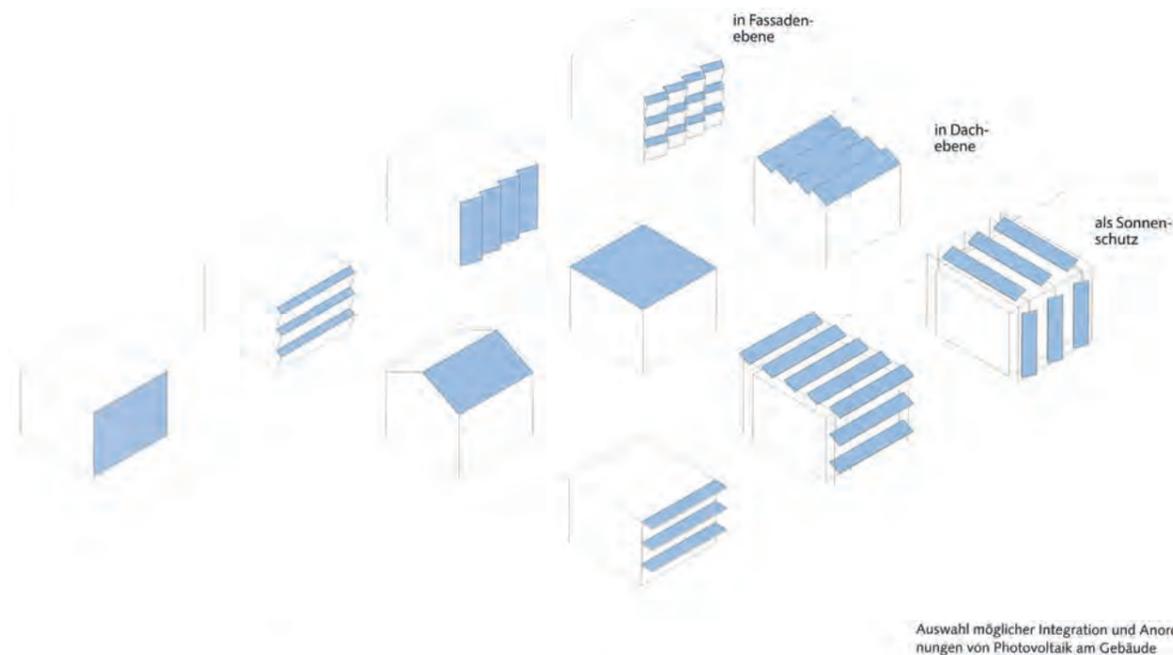
Glas-Glas-Photovoltaik-Module können als Einfach- oder Isolierverglasung in ein Pfosten-Riegel-System, in Fensterrahmen oder als Überkopfverglasung eingesetzt werden. Die verwendeten Module werden in aller Regel bauvorhabenspezifisch gefertigt. Somit können Parameter wie Art der Photovoltaik und Belegungsdichte, sowie Spezifikation des Glases wie Tageslichtmenge oder Sonnenschutzwirkung, Zuschnittsgröße und -form und weitere Besonderheiten bestimmt werden. Alternativ können bei der Fassadenplanung Standardgrößen berücksichtigt werden, was sich kostenmindernd auswirkt.

Um einen möglichst hohen Ertrag je Quadratmeter PV zu erreichen, können die Module je nach Standort in eine optimale Position zur Sonne gebracht und ausgerichtet werden. Abweichungen hiervon reduzieren zwar die Effizienz pro Flächeneinheit. Andererseits ergeben sich größere Gestaltungsfreiheiten und die Nutzung der verfügbaren Hüllflächen des Gebäudes zur Energieerzeugung wird maximiert. Darüber hinaus kommt auch eine Nachführung zur Erhöhung der Effizienz infrage. Ein Vergleich verschiedener Ausrichtungswinkel sowie Aufstellungsdichten einer Aufdach-PV-Anlage zeigt jedoch, dass der Vorteil einer Ausrichtung im optimalen Winkel eine verminderte Ausnutzung vieler Hüllflächen

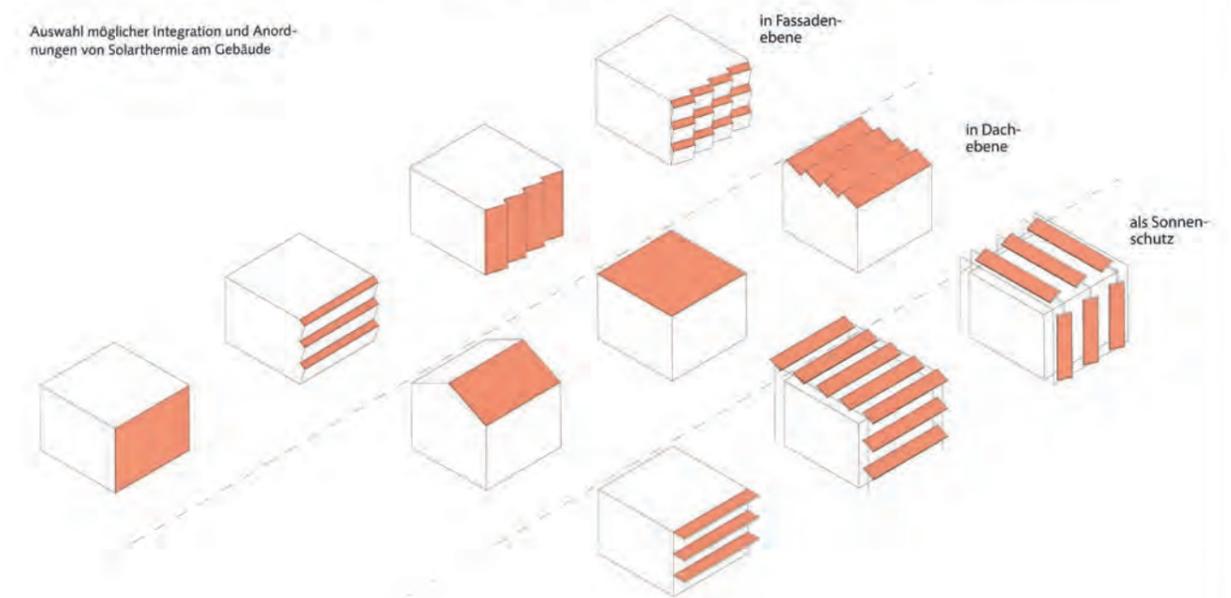
zur Folge hat. Unter wirtschaftlichen und ertragstechnischen Gesichtspunkten empfiehlt es sich (bei sinkenden PV-Modulpreisen) daher an einem europäischen Standort, die Module mit der Hüllfläche zu verbinden, um die vorhandene Gebäudehülle optimal auszunutzen.

Optimiert wird der Ertrag, wenn die Module hinterlüftet sind, um eine Abführung der entstehenden Wärme zu gewährleisten. Die optimale Betriebstemperatur liegt bei 25 °C. Der Leistungsabfall beträgt zirka 0,4 Prozent je °C. Leistungsmindernd wirkt sich auch Verunreinigung aus. Schon ein leichter Neigungswinkel von 3 bis 5 Grad unterstützt den Selbstreinigungseffekt durch Niederschlag.

Die Wirkungsgrade der verfügbaren PV-Technologien unterscheiden sich stark. Prototypen erreichen bereits einen Wirkungsgrad von 33 Prozent. Eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrads bei sinkenden Modulpreisen ist auch weiterhin zu erwarten. Die Wahl der favorisierten Variante erfolgt häufig aufgrund des Modulpreises und des zu erwartenden Ertrags. Im Fassadenbereich kann die Auswahl hingegen von optischen Präferenzen beeinflusst werden. Zum Einsatz als gestaltendes Element stellen die Hersteller eine große Anzahl an optisch interessanten Photovoltaik-Zellen und -Modulen zur Verfügung oder fertigen diese individuell und projektbezogen an.



Auswahl möglicher Integration und Anordnungen von Solarthermie am Gebäude



### Solarthermie

Neben der elektrischen Energieversorgung kann die Sonnenstrahlung mithilfe der Solarthermie auch zur Brauchwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung genutzt werden. Hierbei wird über besonders gut wärmeabsorbierende Flächen ein Trägermedium durch die Sonnenstrahlung erwärmt und die Energie an einen Warmwasserspeicher (WWS) zur Pufferung übergeben. Dafür wird in der Regel ein so genannter bivalenter Speicher genutzt. Das Trägermedium wird durch den unteren Bereich des Speichers geleitet und überträgt die Wärme an das kältere Wasser. Das erwärmte Wasser steigt auf und kann als Brauchwasser im oberen Bereich des Speichers entnommen werden. Sollte die solar erzeugte Wärme nicht ausreichen beziehungsweise durch Entnahme unter einen definierten Wert sinken, wird das System von einer weiteren Energiequelle wie beispielsweise einer Gasbrennwerttherme, einer Pelletheizung oder einem elektrischen Heizstab unterstützt.

Um das solar erzeugte Warmwasser für die Heizungsunterstützung verwenden zu können, befindet sich ein weiterer Wärmetauscher im Speicher. Durch diesen fließt das Trägermedium des Heizungskreislaufs. Eine Überwachung der Speichertemperatur stellt sicher, dass die gewünschte Raumtemperatur erreicht werden kann. Falls das Temperaturniveau der solar gewonnenen Wärme hierfür zu gering ist, wird über einen Heizkessel nachgeheizt.

Bei der Warmwasserbereitung ist das Energieeinsparpotential besonders hoch. Im mitteleuropäischen Kontext wird durch die schlechte Überschneidung des Bedarfs an Heizleistung im Winter und des Angebots an solarer Einstrahlung im Sommer, über Sinn und Wirtschaftlichkeit der Warmwassererzeugung

mit Heizungsunterstützung kontrovers diskutiert. Die Brennstoffeinsparung liegt bei Systemen mit gleichzeitiger Warmwassererzeugung und Heizungsunterstützung bei bis zu 35 Prozent. Bei reiner Unterstützung der Warmwassererzeugung kann schon mit einer geringen Solarthermiefläche eine deutlich höhere Deckung der nötigen Energie erreicht werden, sodass bis zu 60 Prozent an Brennstoff eingespart werden kann.

Eine senkrechte Ausrichtung der Kollektorfläche zur Steigerung der Gewinne im Winter kann vorteilhaft sein, da bei hohem Wärmebedarf und niedrigem Einstrahlungswinkel der Sonne ein Maximum an Wärme in der Fassadenebene erzeugt werden kann. Im Sommer hingegen ist der Einstrahlungswinkel der Sonne auf den Kollektor so flach, dass nur wenig Wärme erzeugt wird und diese mit dem geringeren Bedarf an Wärme korreliert. Dies ermöglicht eine Integration der Solarthermie in die Fassade. Ein besonderer Vorteil der Fassadenintegration ist auch darin zu sehen, dass die rückseitige Dämmung von Flachkollektoren gleichzeitig als Wärmedämmung einsetzbar ist.

Solarthermie ist bei kontinuierlich hohem Verbrauch von Warmwasser wie im mehrgeschossigen Wohnungsbau, Hotellerie oder Schwimmbädern ratsam und wirtschaftlich sehr gut darstellbar.

Unter diesen Einsatzbedingungen ist es sinnvoll, eine solarthermische Anlage auf den minimalen Bedarf auszulagern oder aber mit größeren Pufferspeichern zu arbeiten. So kann phasenverschoben zur solaren Einstrahlung regenerativ gewonnenes Warmwasser angeboten werden.

Eine Nutzung der solar erzeugten Wärme zur Kühlung mithilfe von Absorptionskälteanlagen kann unter anderem für Büro-, Industrie-, Gewerbenutzungen von Interesse sein.

Dr. Maria Christina Munari Probst u.A., „Solartechnologie und Architektur - Eine kunstvolle Synthese“, in: Sonderheft „Solares Bauen“ zu Tec21 Nr. 22 vom 24. Mai 2013, Zürich 2013, S. 6-14

## SOLARTECHNOLOGIE UND ARCHITEKTUR – EINE KUNSTVOLLE SYNTHESE

Text: Dr. Maria Cristina Munari Probst, Architektin, EPFL-Postdoktorandin, Labor für Solarenergie und Bauphysik EPFL/LESO, mariacristina.munari@epfl.ch mit Christian Roecker, wissenschaftlicher Mitarbeiter EPFL/LESO, christian.roecker@epfl.ch und Georges Meylan, Architekt, EPFL/LESO, g.meylan@epfl.ch

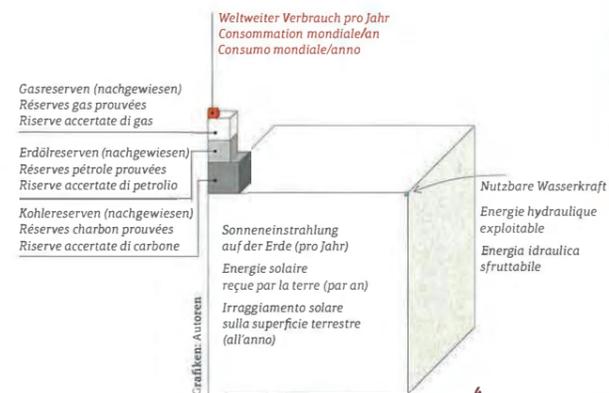
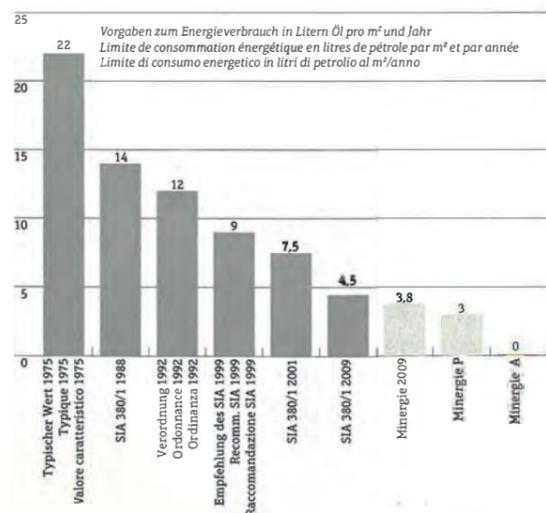
Dank ihrer fast unbegrenzten Verfügbarkeit und der zahlreichen aktiven und passiven Nutzungsmöglichkeiten spielt Sonnenenergie in den Strategien zur nachhaltigen Erzeugung von Betriebsenergie für Gebäude eine wichtige Rolle. Für die Einbettung der technischen Elemente in ein kohärentes Gesamtbild ist ein ganzheitlicher architektonischer Ansatz erforderlich. Die Architekten brauchen Informationen, neue Kompetenzen und ästhetisch überzeugende Produkte.

Im Lauf des vergangenen Jahrzehnts hat die Öffentlichkeit begonnen, sich ernst-

haft mit der Erderwärmung und den durch fossile Energieträger verursachten Problemen zu beschäftigen. Dieses neue, durch die Katastrophenserie der jüngsten Zeit noch verstärkte Bewusstsein bringt Politiker und Entscheidungsträger dazu, immer einschneidendere Massnahmen zum Energiesparen einerseits und zur Nutzung von erneuerbaren Energien andererseits zu treffen. In Bezug auf den Energieverbrauch von Gebäuden – in Europa 40% des Gesamtenergieverbrauchs – wurden strenge Normen erlassen, deren Anforderungen laufend erhöht werden. In der Schweiz wurde die seit 2003 gültige Norm SIA 380/1 im Jahr 200 verschärft; neu sind darin die Anforderungen des (freiwilligen) Minergie-Labels an die Gebäudehülle zur Pflicht erklärt. Das Minergie-Label selbst wurde

ebenfalls angepasst und schreibt nun eine zusätzliche Senkung des Verbrauchs an Heizenergie um fast 20% vor. Zudem wurden mehrere spezifische Labels definiert (Abb. 3).

In der Europäischen Union sind die Regeln nicht weniger streng: Die neue Richtlinie des Europäischen Parlaments vom Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2010/31/EU) schreibt vor, dass sich bis 2020 alle neuen Gebäude – gemäss der Norm Nearly Zero Energy Buildings NZEB – dem Konzept der Nullenergiegebäude annähern müssen. Dieser Standard sieht vor, dass die zum Betrieb des Gebäudes erforderliche Energie «fast gleich Null oder sehr niedrig» ist und dass der Bedarf «zum grössten Teil durch die vor Ort oder in der Nähe aus erneuerbaren



3 Entwicklung des Energieverbrauchs von Gebäuden in der Schweiz in Litern Erdöläquivalent pro m² pro Jahr. | Evolution des consommations énergétiques des bâtiments suisses en litres de pétrole équivalent par m² par an. | Evoluzione dei consumi energetici degli edifici in Svizzera in litri di petrolio equivalenti espressi in m²/anno.

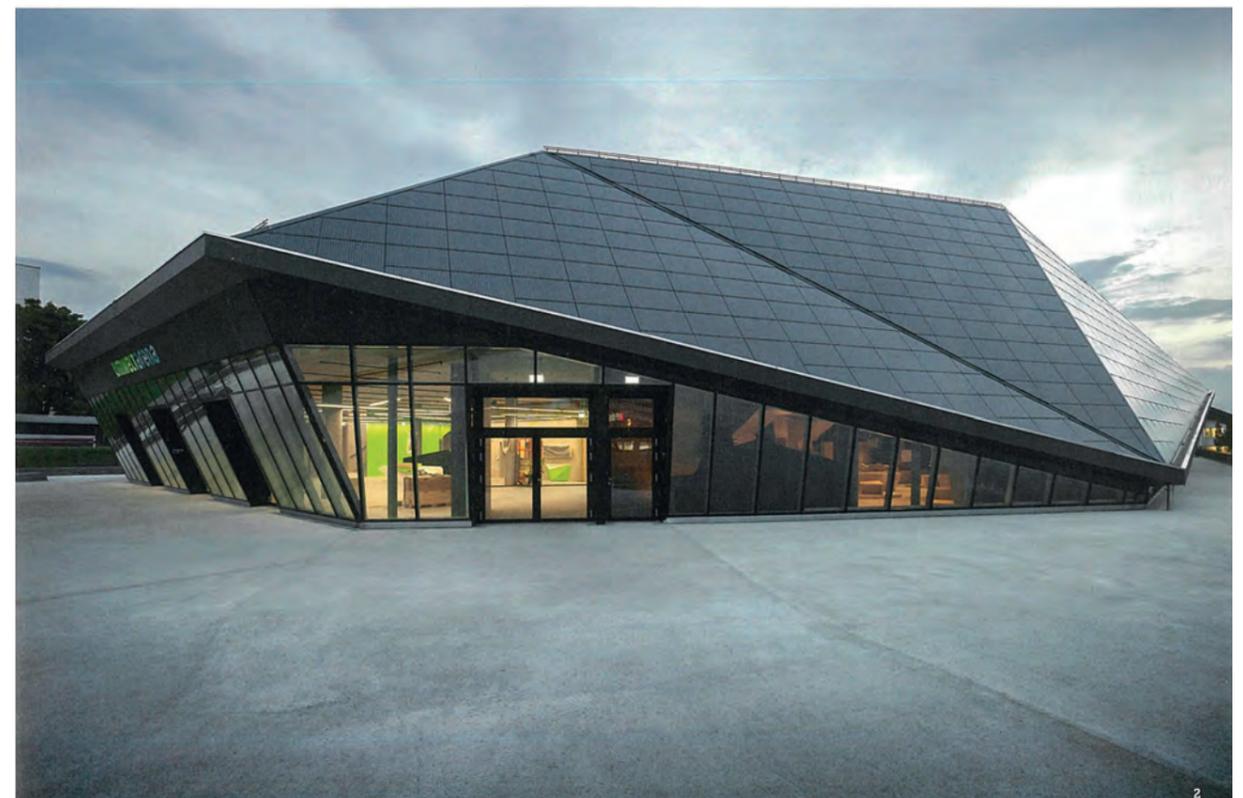
4 Vergleich zwischen der jährlichen Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche, den nachgewiesenen Reserven fossiler Energieträger und dem jährlichen Verbrauch (Quelle: BP Statistical Review of World Energy, 2006). | Comparaison entre l'irradiation solaire reçue annuellement par la croûte terrestre, les réserves prouvées d'énergies fossiles et la consommation annuelle mondiale (données: BP Statistical Review of World Energy, 2006). | Confronto tra l'irradiazione solare annuale ricevuta dalla crosta terrestre, le riserve di energia fossile accertate e il consumo mondiale per anno (dati: BP Statistical Review of World Energy, 2006).

1 Fassade des Wohnhochhauses Sihlweid, Zürich, nach dem Umbau 2012 (vgl. S. 36). | Façade de la tour d'habitation Sihlweid, Zurich, après la transformation de 2012 (v. p. 36). | Facciata del grattacielo Sihlweid, Zurigo, dopo il risanamento del 2012 (cfr. pag. 36).



Foto: Architekturbüro Harder Haas Partner AG

2 Umwelt Arena, Spreitenbach AG, 2012: Das gefaltete Dach, das zuweilen fast bis zum Boden reicht, ist vollständig mit Photovoltaikmodulen gedeckt. Zur Anwendung kamen – je nach Exposition – mono- und polykristalline Zellen sowie Dünnschichtzellen (vgl. S. 20 und Anm. 1, S. 14). | Umwelt Arena, Spreitenbach AG, 2012: le toit à plis, touchant presque le sol par endroits, est entièrement couvert de modules photovoltaïques. Selon l'exposition ont été installées des cellules mono- ou polycristallines, ou encore des cellules à couche mince (v. p. 20 et remarque 1, p. 14). | Umwelt Arena, Spreitenbach AG, 2012: il tetto sfaccettato, che a tratti raggiunge quasi il terreno, è coperto da moduli fotovoltaici. A seconda dell'esposizione sono state utilizzate celle monocristalline e policristalline, o celle a film sottile (cfr. pag. 20 e nota 1, pag. 14).



2

Energiequellen [...] erzeugten Energie gedeckt muss». Diese Bestimmung ist für alle neuen öffentlichen Gebäude bereits ab 2018 bindend.

**WIRKSAM UND FLEXIBEL**

Um diese neuen Normen einzuhalten, genügt es nicht, den Heizenergieverbrauch durch sorgfältiges Dämmen der Gebäudehüllen zu reduzieren. Es gilt auch, neue Strategien zur nachhaltigen Erzeugung von Betriebsenergie umzusetzen. Dank der fast unbegrenzten Verfügbarkeit und der flexiblen Nutzungsmöglichkeiten ist Sonnenenergie eine der bevorzugten Ressourcen für die Zukunft (Abb. 4).

Dank ihrer diversen passiven und aktiven Nutzungsmöglichkeiten kann die Sonne den Bedarf an unterschiedlichen Energieformen im Gebäude effizient und kostengünstig decken (Abb. 7). Die Nutzung von natürlichem Licht mittels Öffnungen und reflektierenden Flächen (daylighting) senkt den Bedarf an künstlicher Beleuchtung auf ein Minimum. Die passive Nutzung der Sonnenenergie, die durch Fensterverglasungen einfällt, kann die Räume grösstenteils oder sogar ganz heizen. Solarthermie ist ideal für die Warmwassererzeugung, kann aber auch ergänzend zum Heizen – und bald auch zum Kühlen – von Räumen verwendet werden. Photovoltaik wiederum erzeugt Strom für Elektrohaushaltsgeräte, zur Beleuchtung und eventuell zum Betrieb einer Wärmepumpe.

**DIE ARCHITEKTUR IST GEFRAGT**

Die kohärente Umsetzung dieser Strategien bedingt einen ganzheitlichen architektonischen Ansatz. Wie die neuen Wärmedämmungsstandards die Materialisierung und die Formsprache der Gebäudehülle verändert haben, wird auch die Nutzung von Sonnenenergie einen radikalen Einfluss auf die Gestaltung der exponierten Gebäudeoberflächen haben. Zum einen spielt die Position und Grösse der Öffnungen eine wichtige Rolle für die Belichtung und die passive Nutzung der Sonnenenergie. Zum anderen sind die aktiven Solarelemente (Photovoltaik und Solarthermie) so gross, dass sie das Erscheinungsbild des Gebäudes erheblich prägen. Fehlt die notwendige Kompetenz zur Integration der



5 Transluzente Graetzel-Photovoltaikzellen werden demnächst am Swiss Tech Convention Center zum Einsatz kommen (vgl. S. 19). | Les cellules photovoltaïques translucides Graetzel vont être montées prochainement au Swiss Tech Convention Center (v. p. 19). | Le celle fotovoltaiche di Graetzel, trasparenti, troveranno presto impiego nel Swiss Tech Convention Center (cfr. pag. 19).

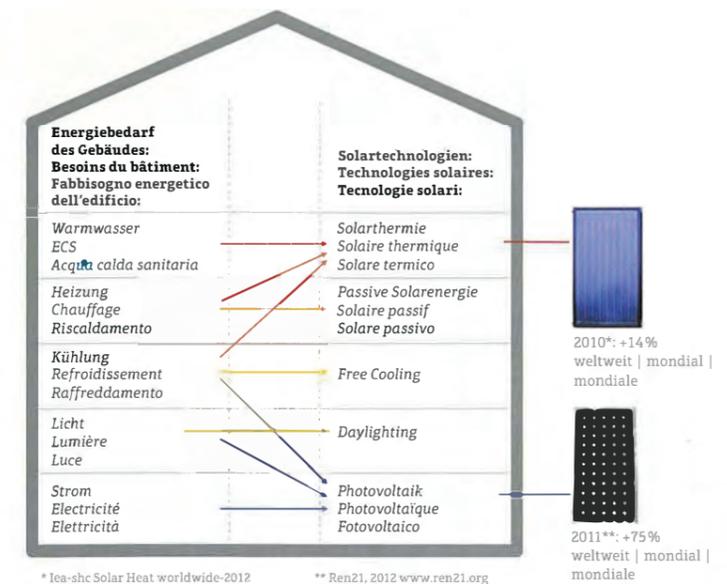
6 The Swiss Tech Convention Center, Ecublens VD, 2011–2014: Die erste grossmassstäbliche Anwendung von Graetzel-Zellen – transluzenten, farbigen Photovoltaikzellen – an einer der riesigen Glasfassaden soll Erkenntnisse über diese neue Technologie bringen. Der Wirkungsgrad von Graetzel-Zellen ist niedriger als derjenige von konventionellen Photovoltaikzellen, dafür schützen sie das Gebäude vor Erhitzung (vgl. S. 19). | The Swiss Tech Convention Center, Ecublens VD, 2011–2014: la première mise en œuvre à grande échelle de cellules Graetzel – cellules photovoltaïques, translucides et colorées – sur une façade de verre de grandes dimensions fournira d'utiles informations sur cette nouvelle technologie. L'efficacité des cellules Graetzel est inférieure à celle des cellules photovoltaïques conventionnelles, mais protègent par contre le bâtiment des effets de surchauffe (v. p. 19). | Il Swiss Tech Convention Center, Ecublens VD, 2011–2014: le celle di Graetzel – celle fotovoltaiche trasparenti, colorate – trovano impiego su larga scala per la prima volta su una delle enormi facciate vetrate, consentendo di raccogliere informazioni su questa nuova tecnologia. L'efficienza delle celle di Graetzel è inferiore ai celle fotovoltaici tradizionali, ma in compenso le prime proteggono l'edificio dal riscaldamento solare (cfr. pag. 19).



6



7 Entsprechung zwischen dem Energiebedarf von Gebäuden und bestimmten Solartechnologien. | Correspondances entre besoins énergétiques du bâtiment et technologies solaires spécifiques. | Corrispondenza tra il fabbisogni energetico dell'edificio e le tecnologie solari specifiche.



\* Iea-shc Solar Heat worldwide-2012 \*\* Ren21, 2012 www.ren21.org

7

neuen Elemente in ein in sich stimmiges Ganzes, wird das Ergebnis in architektonischer Hinsicht kaum zufriedenstellend sein. Daher ist unabdingbar, dass Architektinnen und Architekten klare fachspezifische Informationen über die neuen Bauweisen erhalten – verfügbare Technologien und Folgetechnologien, Kriterien zur Positionierung und Dimensionierung der Ele-

mente, am Markt erhältliche Produkte, die gut integrierbar sind, Ähnlichkeiten und Unterschiede der diversen Technologien oder Optimierungsprinzipien bei der Nutzung der verschiedenen Flächen der Gebäudehülle.<sup>1</sup> Diese Informationen existieren, sind aber oft entweder zu detailliert und komplex, weil sie für Spezialisten bestimmt sind, oder zu oberflächlich und all-

gemein, um daraus praxistaugliche Lehren für die Projektphase zu ziehen.

**ARBEITSHILFEN UND PRODUKTE**

Um diese unbefriedigende Situation zu verbessern, hat die Internationale Energieagentur (IEA) Ende des Jahres 2009 den dreijährigen internationalen Task «Architektur und Solarenergie» initiiert. Die Haupt-



Foto: Hersteller

9

9 Unverglaster thermischer Kollektor, wie er zum Beispiel an der Südfassade des CeRN in Bursins VD eingesetzt wurde. Das Produkt ist vergleichsweise günstig und erzeugt keine Spiegelungen (vgl. S. 24). | Collecteur thermique non vitré, à l'exemple de la façade sud du CeRN à Bursins VD. Le produit est meilleur marché et dépourvu de reflets (v. p. 24). | Collettore termico non vetrato, del tipo montato sulla facciata sud del CeRN di Bursins VD. Il prodotto è conveniente rispetto ad altri e non crea riflessi (cfr. pag. 24).

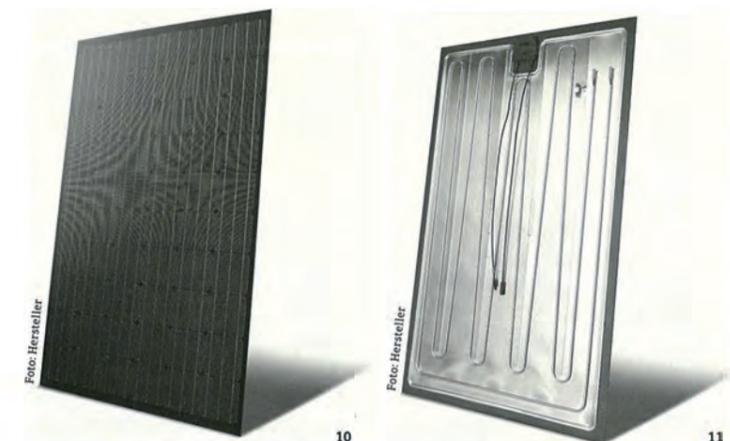


Foto: Hersteller

10

Foto: Hersteller

11

10–11 Hybridkollektoren vereinigen Photovoltaik (z. B. monokristalline Zellen) und Solarthermie. Die Kollektoren sind kompakt und platzsparend, und dank der Zellkühlung ist der Wirkungsgrad höher als bei herkömmlichen Photovoltaikmodulen. Die thermischen Erträge müssen allerdings laufend abgeführt werden, etwa in einen saisonalen Erdspeicher. | Des collecteurs hybrides réunissent le photovoltaïque (p. ex. cellules monocrystallines) et le thermique. Les collecteurs sont compacts, économes en espace, et grâce à l'effet de refroidissement des cellules, l'efficacité est supérieure aux modules photovoltaïques ordinaires. Les gains thermiques doivent être continuellement stockés, par exemple dans un réservoir souterrain. | I collettori ibridi abbinano la tecnologia fotovoltaica (p. es. celle monocrystalline) a quella solare. I collettori sono compatti e di dimensioni ridotte e, grazie al raffreddamento delle celle, la loro efficienza è superiore ai moduli fotovoltaici tradizionali. L'energia termica, tuttavia, deve essere costantemente convogliata altrove, p. es. verso un accumulatore stagionale interrato.

zielsetzung ist die Erstellung von fachgerechten und leicht zugänglichen Informationen über die Möglichkeiten, Solartechnik in den Entwurf zu integrieren. Die unterschiedlichen Möglichkeiten, aktive Solarenergiesysteme in das Gebäude einzufügen, wurden in einem für Architektinnen und Architekten konzipierten Handbuch<sup>2</sup> aufgelistet und beschrieben; praktische Fallstudien und eine umfangreiche Palette von erhältlichen Produkten dienen als Ergänzung. Die gleichen Produkte werden auf einer fachspezifischen Website<sup>3</sup> auf ihre Integrationsfähigkeit hin analysiert und präsentiert. Zudem gibt es eine Ad-hoc-Website<sup>4</sup>, auf der Solarbauten – ausgewählt nach ihrer energetischen und architektonischen Qualität – als praktische Fallstudien verfügbar sind.

Solche Dokumente sind eine solide Grundlage für Fachleute, die sich mit dem neusten Stand der Technik vertraut machen möchten. Allerdings müssten Architektinnen und Architekten, um den Entwurf wirklich zu beherrschen, auch auf einfache Arbeitshilfen zur Vordimensionierung der Systeme und auf massgeschneiderte praktische Fortbildungsangebote zurückgreifen können. Daher ist es zu begrüßen, dass die Berufsverbände allmählich solche Fortbildungsangebote machen. Auch bei den Vordimensionierungstools, die für einen Einbezug von energetischen Überlegungen in die Vorprojektphase unerlässlich sind, sind Fortschritte zu vermelden: Die ersten Arbeitshilfen dieser Art stehen seit kurzer Zeit

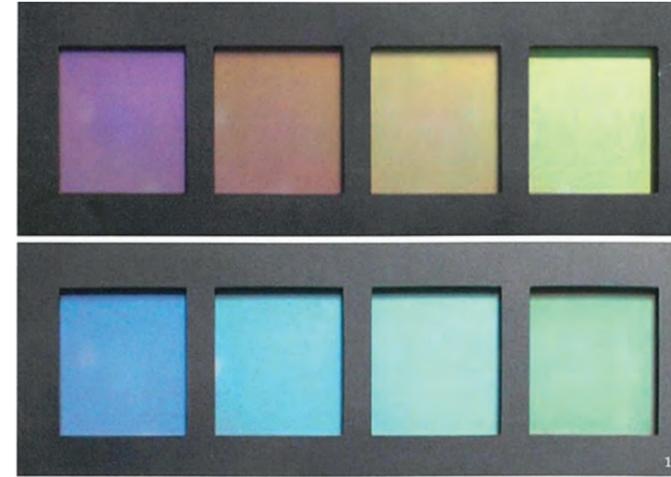
zur Verfügung, viele andere befinden sich im Entwicklungsstadium.

Weitere Schritte wurden auch auf Produktebene getätigt, denn allmählich haben die Hersteller begriffen, wie wichtig es ist, dass ihre Produkte sich gestalterisch befriedigend in das Gebäude integrieren lassen. So sind neue, als multifunktionale Bauelemente konzipierte Produkte auf den Markt gekommen (Abb. 12), während gleichzeitig an noch besser angepassten Systemen geforscht wird (Abb. 13–14).

Mit diesen neuen Arbeitshilfen können Architektinnen und Architekten die energetischen Anforderungen in die Reihe der Randbedingungen aufnehmen, die den Entwurf formen und reizvoll machen. Damit leisten sie einen Beitrag zum geplanten Atomausstieg der Schweiz. 



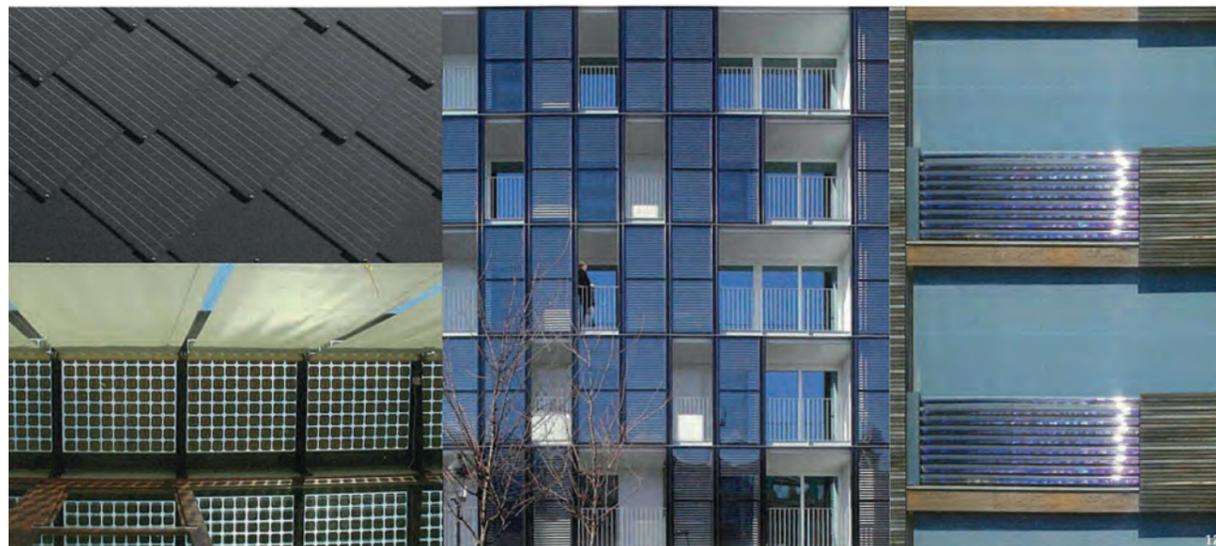
8



13



14



12

**12** Für den Einsatz in der Architektur entwickelte Produkte. | Produits conçus pour l'intégration architecturale. | Prodotti concepiti per l'integrazione architettuale.

**13–14** Solarthermie-Aufnahmeflächen mit farbigem Glas. | Capteurs solaires thermiques avec verres solaires colorés. | Collettori elio-termici con vetri solari colorati.

## WÄRMEPUMPEN



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

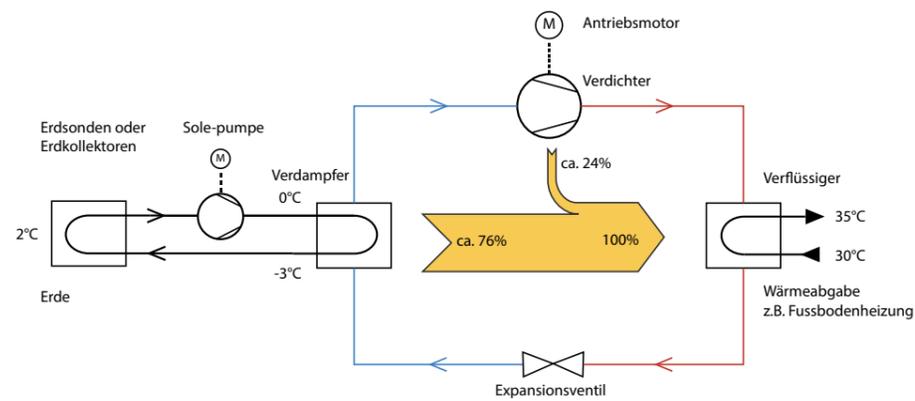


Bild 3.25: Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdsonden

- ① Warmwasserspeicher
- ② Pufferspeicher
- ③ Wärmepumpe
- ④ Erdkollektor



Bild 3.26: Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdkollektoren

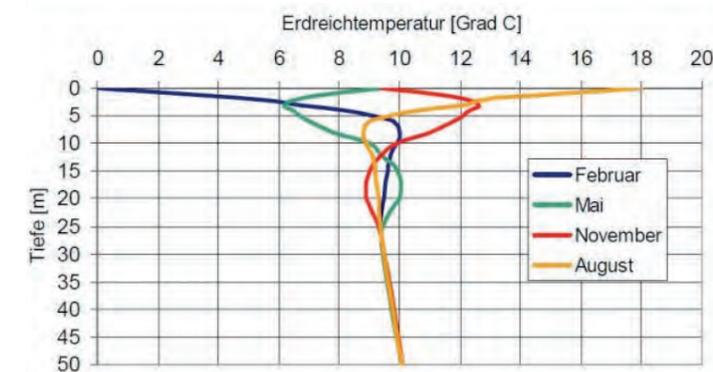
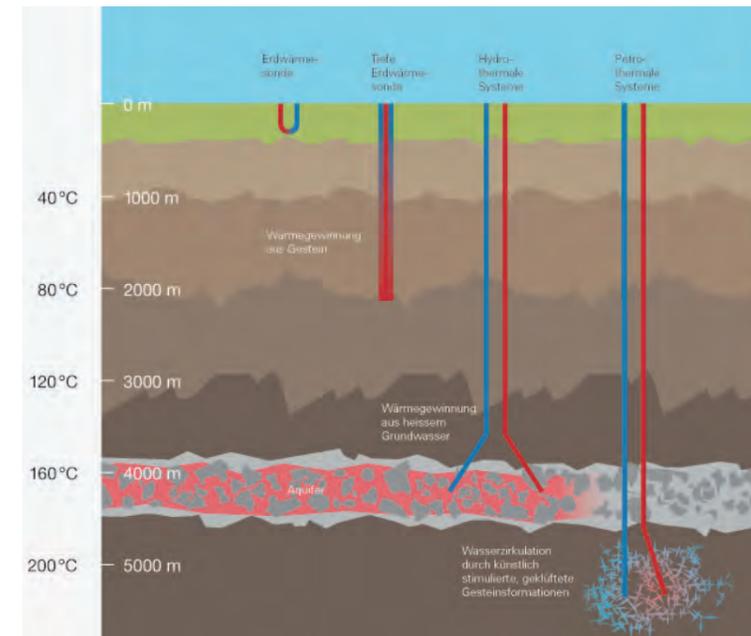


Bei der meist eingesetzten oberflächennahen Geothermie wird in den oberen Erdschichten enthaltene Wärme zum Heizen und Kühlen nutzbar gemacht. Verwendet werden Kollektoren, Erdwärmesonden, Energiepfähle oder Wärmebrunnenanlagen. Diese entziehen der Erde mittels einer zirkulierenden Flüssigkeit Wärme 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:

$$P_{spez} = \frac{P_{GHE}}{L}$$

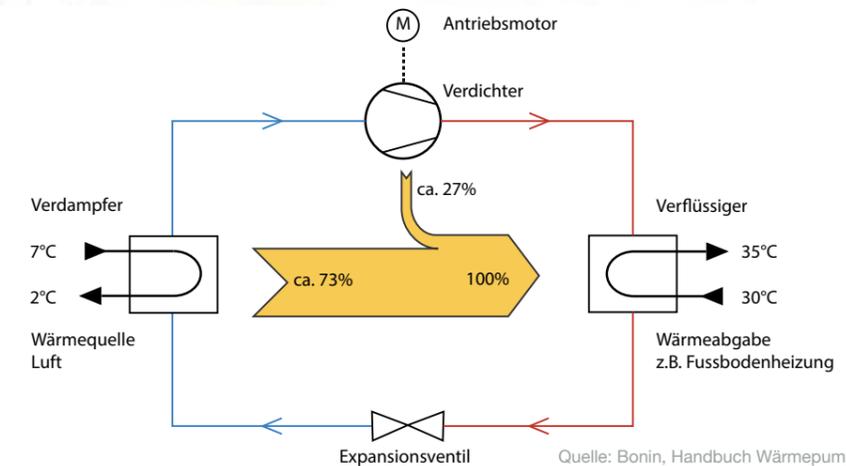
$P_{spez}$  Spezifische Entzugsleistung [W / m]  
 $P_{GHE}$  Leistung der Erdsonde [kW]  
 $L$  Länge der Erdsonde [m](= Exergie)

## LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPE

- ① Luftansaugstutzen
- ② Luftausblasstutzen
- ③ Warmwasserspeicher
- ④ Pufferspeicher
- ⑤ Wärmepumpe
- ⑥ Verdampfer



Bild 3.28: Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage



Quelle: Bonin, Handbuch Wärmepumpe, Beuth 2012

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 Sol<sup>2</sup>ergie, ein System mit klaren Regeln, aber grosser Gestaltungsfreiheit, das auf vier Komponenten beruht: Hybridkollektor, saisonaler Wärmespeicher, Niederhubwärmepumpe und Niedertemperatur-Heizsystem.

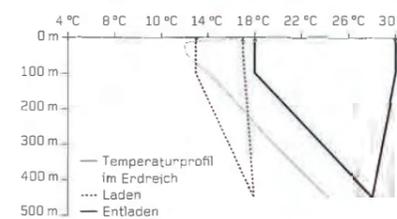
Das Spalten von Uranatomen und das Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas zur Erzeugung von Nutzenergie sind nicht mehr opportun und werden längerfristig wohl auch nicht mehr möglich sein. Diese als Primärenergieträger bezeichneten Stoffe sind bequeme Energiespeicher. Doch wenn wir sie nicht mehr nutzen 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 viaGialla<sup>1</sup> war deshalb, bis Dezember 2012 neue Technologien zu entwickeln, dank denen die Mehrheit der Gebäude emissionsfrei und mit einem minimalen Energieverbrauch<sup>2</sup> 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 Zürich<sup>3</sup> oder beim Neubau des Mehrfamilienhauses B35 an der Bolleystrasse in Zürich (Abb. 02, 04–08).

Auf diese Weise entstand das System Sol<sup>2</sup>ergie = 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.<sup>4</sup>

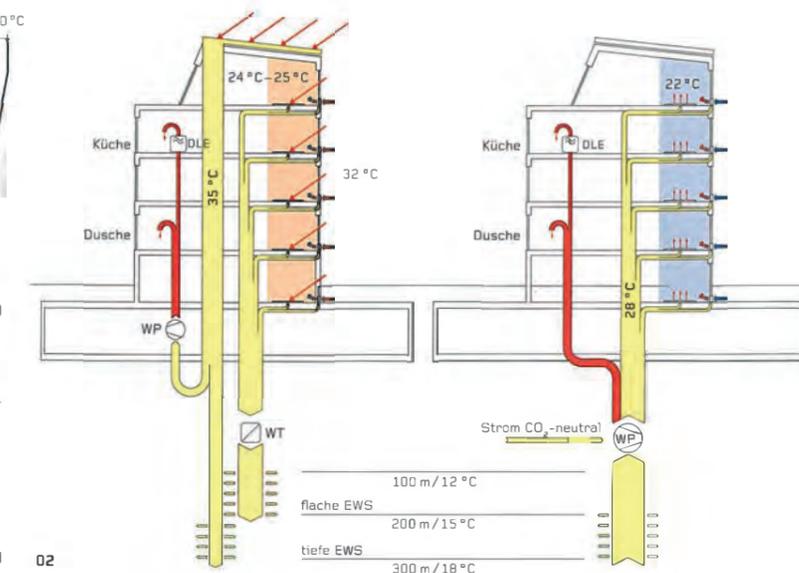
## DIE VORAUSSETZUNG: SEHR EFFIZIENTE WÄRMEPUMPEN

Im Zentrum des Systems Sol<sup>2</sup>ergie 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. Sol<sup>2</sup>ergie 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 Niedrigtemperaturspeicherung (Abb. 01) ist ein wichtiges Merkmal von Sol<sup>2</sup>ergie: 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 Heizpumpe und allfällige Quellenpumpen. Abtauverluste 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 Sol<sup>2</sup>ergie 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 Sol<sup>2</sup>ergie 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 Sol<sup>2</sup>ergie 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.<sup>5</sup>

### 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.<sup>6</sup> 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.<sup>7</sup>

*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/m<sup>2</sup> 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.<sup>8</sup>

**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.*

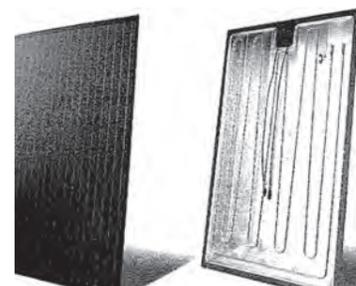
Die Auswirkungen der drei neuen Komponenten Niederhub-Wärmepumpe, Koaxial-Erdwärmesonde (oder Erdsondenfeld) und Hybridkollektor auf das Bauen sind enorm. Wenn dank guter Optimierung des Teilsystems Wärmeerzeugung/Wärmeabgabe ein COP > 8 in der kältesten Woche erreicht wird, folgt:

*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/m<sup>2</sup>K 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-



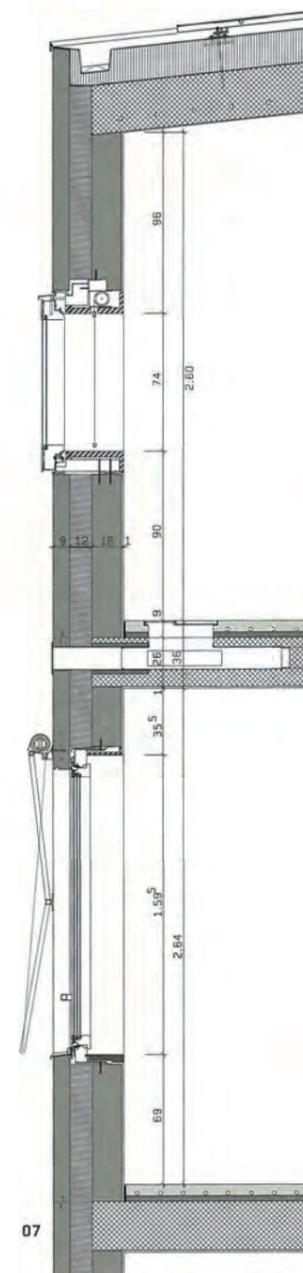
04



05



06



07



08

Mehrfamilienhaus B35, Zürich: Der letzte Jahr fertiggestellte Neubau an der Bolleystrasse 35 erprobt das Prinzip Sol<sup>2</sup>ergie 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 m<sup>2</sup>  
 Baukosten BKP 2: ca. 719.- Fr./m<sup>3</sup>  
 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-paneele  
 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 Heissbitumen 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, Netzarmerung 2-lagig  
 10 mm Gipsglattstrich  
 08 Strassenansicht

**Anmerkungen**

Unter [www.solergie.org](http://www.solergie.org) steht ein längerer Beitrag des Autors zur Verfügung, in dem er die hier vorgestellten Prinzipien detailliert erläutert.

1 [www.viaggiata.ch](http://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](http://www.solergie.org)

5 [www.solergie.org/WP](http://www.solergie.org/WP)

6 [www.solergie.org/Wärmeabgabe](http://www.solergie.org/Wärmeabgabe)

7 [www.solergie.org/Koaxial-Erdwärmesonde](http://www.solergie.org/Koaxial-Erdwärmesonde)

8 [www.solergie.org/Hybridkollektor](http://www.solergie.org/Hybridkollektor),

[www.solergie.org/PTV](http://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.

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 Sol<sup>2</sup>ergie kostet im Vergleich zu einem neuen Gebäude, das nach Vorschriften der Kantone und mit einer Ölheizung ausgerüstet erstellt wurde, maximal 150 Fr./m<sup>2</sup> 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 Sol<sup>2</sup>ergie-Haus verursacht also rund 6.75 Fr./m<sup>2</sup> höhere Kapitalkosten pro Jahr. Zum Vergleich: Bei einem Jahresölverbrauch von 6 l/m<sup>2</sup> 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.

Sol<sup>2</sup>ergie 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](mailto:leibundgut@arch.ethz.ch)

**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.<sup>9</sup>

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](http://www.digitalstrom.org)). Im April 2011 erfolgte die Markteinführung in Deutschland und der Schweiz, im Februar 2012 in Österreich und Italien.

[www.digitalstrom.com](http://www.digitalstrom.com)

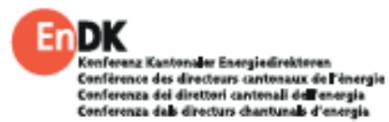
## ENERGIELABELS UND STANDARDS



**MINERGIE®**



 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
  
Bundesamt für Energie BFE



# 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

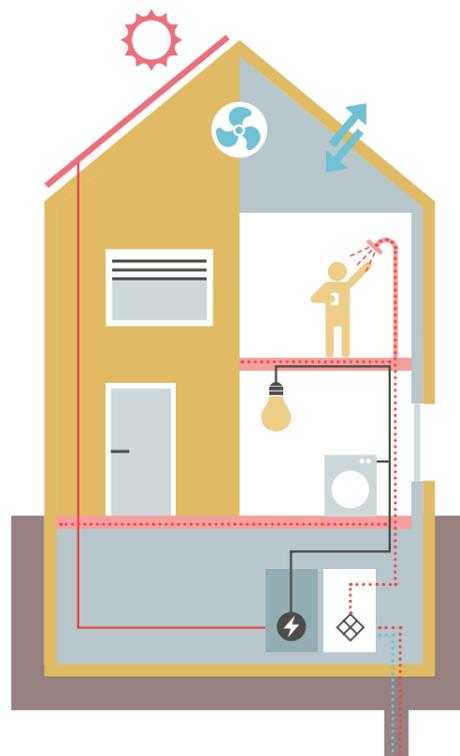
Gebäudehülle wird geprüft  
Minergie: ohne Messung

### Eigenstromproduktion

Neubau: mindestens 10 W/m<sup>2</sup> mit Eigenbedarfsoptimierung  
Minergie-A: Jahresproduktion bedarfsdeckend

### Energie-Monitoring

bei Grossbauten (EBF > 2000 m<sup>2</sup>)  
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

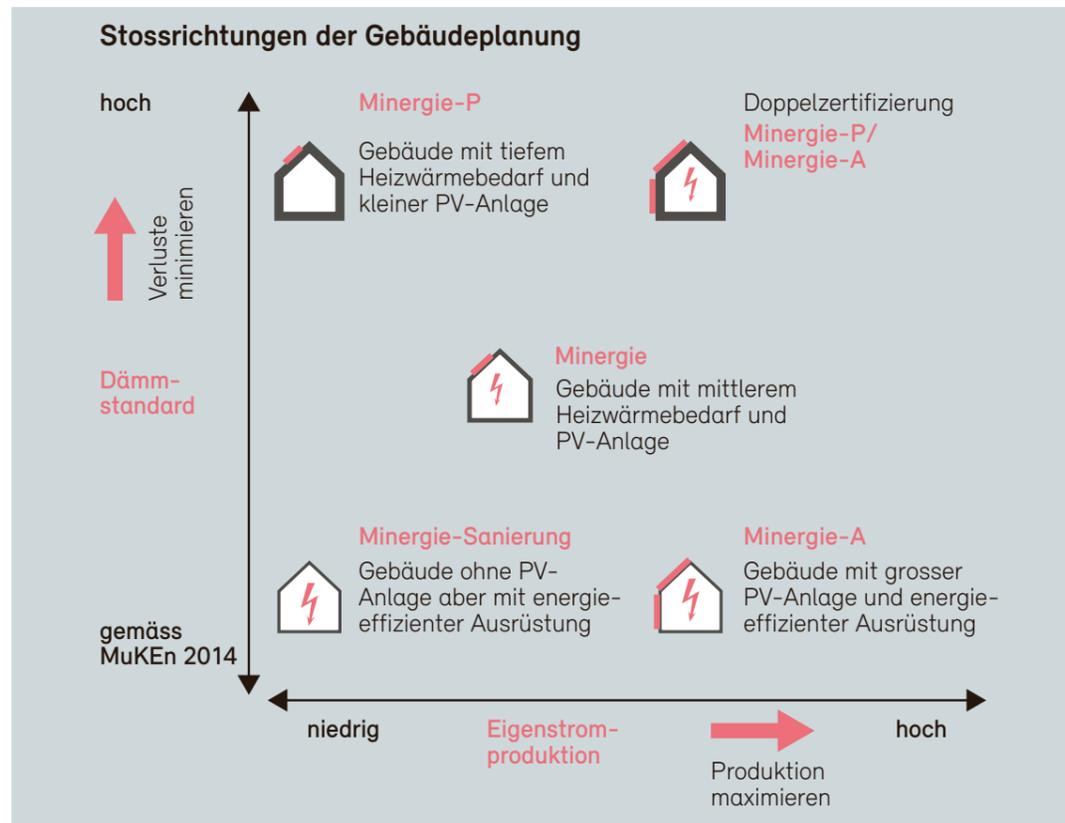
### Gewichteter Endenergiebedarf Wärme

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.

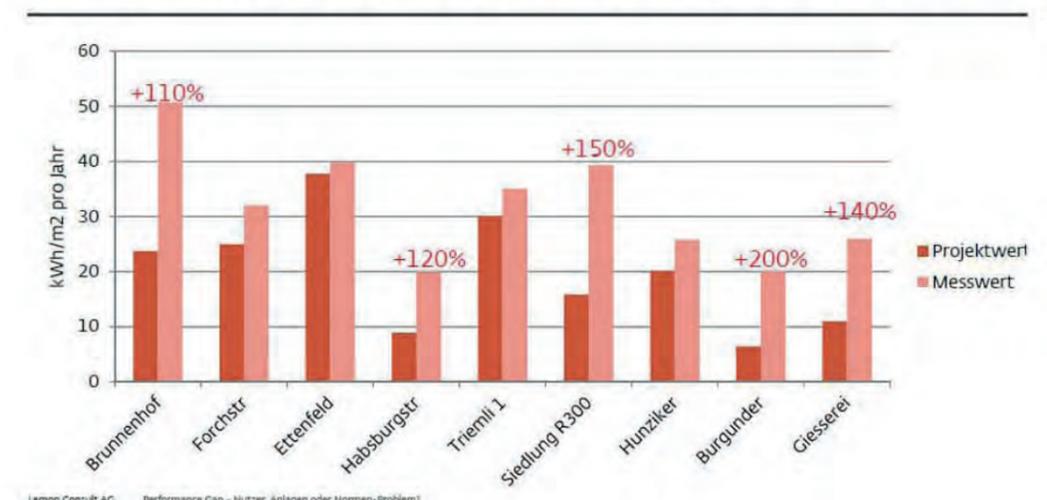
«Da muss etwas gehen», sagt der Vizepräsident des Ingenieur- und Architektenvereins, Adrian Altenburger. Man müsse wohl mittels Vorschriften etwas Druck aufsetzen. «Dann geht meistens viel», zeigt er sich zuversichtlich.

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.

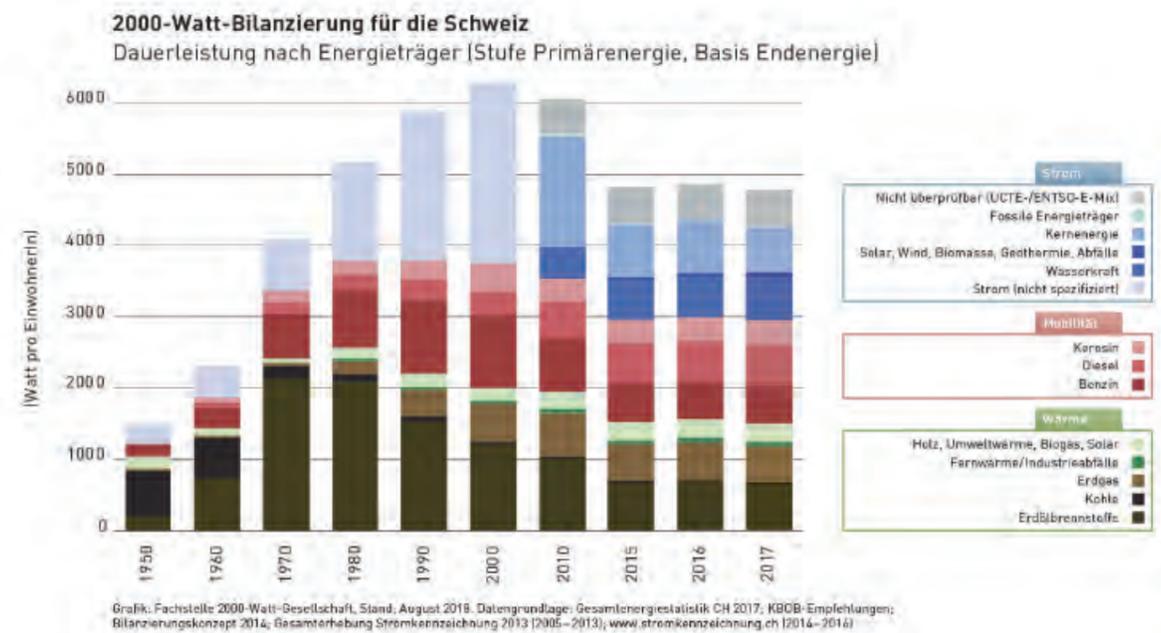
Tabelle 1: Anforderungen Wohnen EFH und MFH

	Minergie	Minergie-P	Minergie-A
<b>Minergie-Kennzahl*</b>			
Neubau	55 kWh/m <sup>2</sup>	50 kWh/m <sup>2</sup>	35 kWh/m <sup>2</sup>
Erneuerung	90 kWh/m <sup>2</sup>	80 kWh/m <sup>2</sup>	35 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Heizwärmebedarf**</b>			
Neubau	MuKE 2014	70% MuKE 2014	MuKE 2014
Erneuerung	Keine Vorgabe	90% MuKE 2014	Keine Vorgabe
<b>Endenergiebedarf Wärme**</b>			
Neubau	35 kWh/m <sup>2</sup> (MuKE 2014)		
Erneuerung	60 kWh/m <sup>2</sup> (Minergie-Anforderung)		
<b>Eigenstromproduktion</b>	Neubau: mindestens 10 W/m <sup>2</sup> (MuKE 2014)		bedarfsdeckend
<b>Kontrollierte Lüfterneuerung</b>	Ja		
<b>Sommerlicher Wärmeschutz</b>	Ja		
<b>Energieträger</b>	Neubau: keine fossilen Brennstoffe		
<b>Luftdichtheit q<sub>a50</sub></b>			
Neubau	1,2 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	0,8 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	
Erneuerung	1,6 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	1,6 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	
<b>Energie-Monitoring</b>	Ja, wenn über 2000 m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche		Ja***

### Performance Gap Heizwärmeverbrauch von Wohnsiedlungen



## 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.

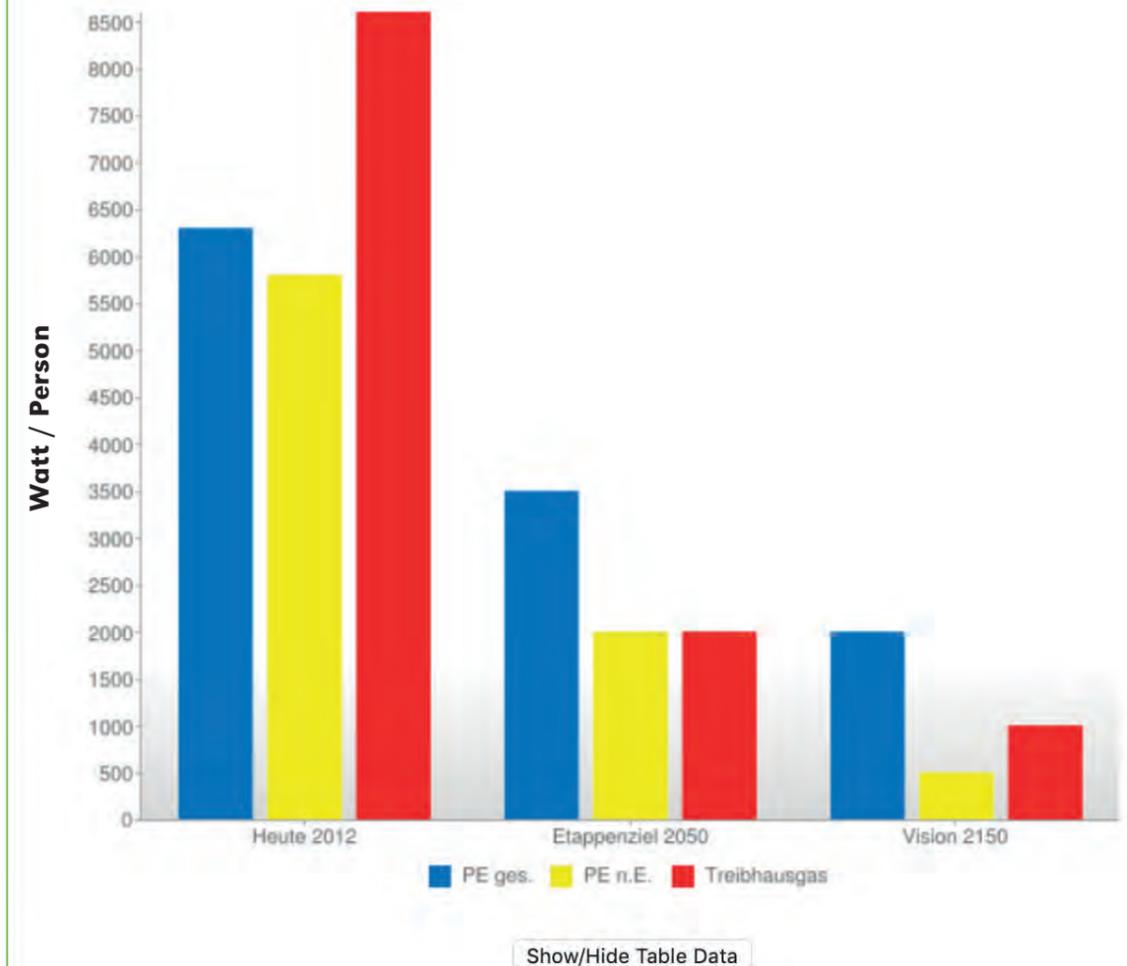
Auch wenn graue Energie in einzelnen Standards bereits berücksichtigt wird, sind erweiterte Standards und Benchmarks auf rechtlicher und politischer Ebene zu schaffen, die Umweltwirkungen im Rahmen der Erstellung und des Rückbaus eines Gebäudes einbeziehen. Als Berechnungsinstrument wird derzeit auf 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 CO<sub>2</sub>

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

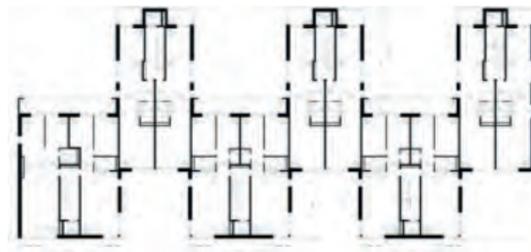


Abb. A. 29 Grundriss Regelgeschoss

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 <sup>2</sup>	8'433		
Energiebezugsfläche	m <sup>2</sup>	6'657		
Energiebedarf Raumwärme Q <sub>h,eff</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	15	Grundwasser-Wärmepumpe	Deckungsgrad: 100% Arbeitszahl 4.1
Energiebedarf Warmwasser Q <sub>ww</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	14	Grundwasser-Wärmepumpe dir. Abwärmenutzung	Deckungsgrad: 33% Arbeitszahl 2.2 Deckungsgrad: 67%
Energiebedarf Lüftung	kWh/m <sup>2</sup> a	1.5	Strom aus PV-Anlage	Deckungsgrad: 100%
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebs-einrichtungen	kWh/m <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup>	-
D1	Hinterfüllungen	-	-
D2	Fundamentplatte	1960 m <sup>2</sup>	Betonplatte 6 Geschosse, wasserdicht, ungedämmt
E0	Decken	5240 m <sup>2</sup> 1120 m <sup>2</sup>	Hohlkastendecken in Holz mit Kies als Schüttung Betondecke CEM II 300 kg/m <sup>3</sup> , 90 kg/m <sup>3</sup> Bewehrung
E1	Dächer	640 m <sup>2</sup> 1320 m <sup>2</sup>	Dach unter Terrain, Betondecke, ungedämmt Brettstapeldecke, 26cm Dämmung, Dachabdichtung
E2	Stützen	-	-
E3	Aussenwände UG	668 m <sup>2</sup>	Betonwand 25cm, Bitumenanstrich und Sickerplatte
E4	Aussenwände OG	2310 m <sup>2</sup> 910 m <sup>2</sup>	Massivholzwand, gedämmt, Glasfaserbeton hinterlüftet Betonwand 20cm, gedämmt, Glasfaserbeton hinterlüftet
E5	Fenster + Aussentüren Balkone	1103 m <sup>2</sup> 200 m <sup>1</sup>	3-IV Verglasung, Holz-Metallrahmen, Lamellenstoren Holzbalkone, bis 2m Auskragung
E6	Innenwände tragend	1000 m <sup>2</sup> 657 m <sup>2</sup>	Betonwand 20cm tragend Wohnungstrennwände Massivholz zweischalig
M1	Trennwände / Innentüren	2000 m <sup>2</sup>	Gipsständerwände 50 dB
M3	Bodenbeläge	297 m <sup>2</sup> 6320 m <sup>2</sup>	Unterlagsboden mit Trittschall / Keramikplatten Unterlagsboden mit Trittschall / Parkett
M4	Wandbekleidung	3000 m <sup>2</sup>	Wandputz auf Beton
M5	Deckenbekleidung	6360 m <sup>2</sup> 1320 m <sup>2</sup>	Abgehängte Gipsdecken (Brandschutz) Dämmung gegen unbeheizt
I	Haustechnik	6657 m <sup>2</sup> 90 m <sup>2</sup>	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 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Indikator Einheit	Gesamtumweltbelastung UBP/m <sup>2</sup> a			Primärenergiebedarf nicht erneuerbar kWh/m <sup>2</sup> a			Treibhausgasemissionen kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a					
	Total amortisiert	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
<b>Gebäudeerstellung</b>												
D0 Baugrubenaushub	243	14'607	12'493	2'114	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	100.9	85.4	15.6	0.58	34.90	32.02	-	2.88
E0 Decken	1'260	75'582	45'878	29'704	123.7	113.4	10.3	0.52	31.17	26.04	-	5.13
E1 Dächer	1'118	67'060	37'033	20'488	182.5	112.3	12.9	0.75	45.05	24.07	9.67	11.31
E2 Stützen	38	2'290	2'216	74	0.1	3.6	0.2	0.01	0.85	0.81	-	0.04
E3 Aussenwände UG	296	17'765	12'953	4'182	34.8	27.5	3.4	0.21	12.46	8.45	0.55	3.46
E4 Aussenwände OG	1'013	60'786	40'411	10'286	131.6	96.8	28.3	0.54	32.22	24.37	6.44	1.41
E5 Fenster+Aussentüren Balkone	1'297	77'828	38'658	8'144	238.8	126.4	109.7	0.99	59.19	29.83	26.04	3.33
E6 Innenwände tragend	354	21'223	19'378	1'845	47.7	43.7	3.9	0.21	12.85	12.02	-	0.83
M1 Trennwände/Innentüren	423	25'399	12'516	368	46.1	22.3	22.3	0.16	9.46	4.60	4.60	5.68
M3 Bodenbeläge	2'191	131'481	32'298	66'885	335.8	157.6	20.7	1.23	73.91	28.74	28.74	16.43
M4 Wandbekleidung	333	19'958	12'460	3'405	47.1	35.8	9.1	0.28	16.72	10.64	5.24	0.85
M5 Deckenbekleidung	410	24'604	9'992	4'620	86.8	41.2	4.4	0.33	19.55	8.67	8.67	2.21
I Haustechnik	3'246	194'749	90'779	12'102	362.8	178.1	180.5	1.41	84.37	33.10	33.63	17.64
<b>Summe Gebäude</b>	<b>13'182</b>	<b>790'925</b>	<b>420'791</b>	<b>168'774</b>	<b>1'803.4</b>	<b>1'095.1</b>	<b>609.9</b>	<b>7.42</b>	<b>445.23</b>	<b>254.58</b>	<b>123.58</b>	<b>72.49</b>
<b>Betrieb</b>												
Raumwärme	1'618	97'079			566.7			0.53	32.01			
Warmwasser	948	56'893			333.3			0.31	18.76			
Elektrizität	751	45'084			263.3			0.25	15.00			
übrige Betriebsenergie	5'405	324'324			1'896.7			1.78	106.80			
<b>Summe Betrieb</b>	<b>8723</b>	<b>523381</b>			<b>3'060.0</b>			<b>2.88</b>	<b>172.56</b>			
<b>Induzierte Mobilität</b>												
<b>Total Mobilität</b>					<b>26.4</b>	<b>1'583.3</b>		<b>4.80</b>	<b>288.00</b>			
<b>Gesamt-total induzierte Mobilität</b>					<b>107.4</b>							<b>15.10</b>
<b>Zielwert</b>					<b>122.2</b>							<b>16.50</b>

\* 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

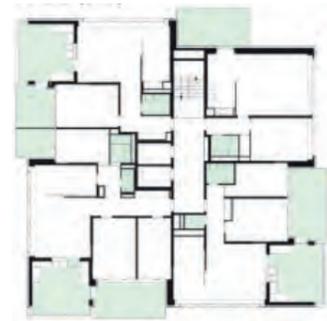


Abb. A. 26 Grundriss Regelgeschoss neu

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 <sup>2</sup>	9'000		
Energiebezugsfläche	m <sup>2</sup>	8'434		
Energiebedarf Raumwärme Q <sub>h,eff</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	16.7	Pellets	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad 0.75
Energiebedarf Warmwasser Q <sub>ww</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	13.9	Pellets	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad 0.5
Energiebedarf Lüftung	kWh/m <sup>2</sup> a	2.8	Strom	Deckungsgrad: 100%
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebsanlagen	kWh/m <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>	-
D1	Hinterfüllungen	-	-
D2	Fundamentplatte	39 m <sup>2</sup>	Betonplatte Flachfundation an Eckpunkten
E0	Decken	1224 m <sup>2</sup>	Betondecke CEM II 300 kg/m <sup>3</sup> , 90 kg/m <sup>3</sup> Bewehrung
E1	Dächer	42 m <sup>2</sup> 440 m <sup>2</sup>	Betondecke, 24cm Dämmung, Dachabdichtung nur Aufbau: 24cm Dämmung, Dachabdichtung
E2	Stützen	-	-
E3	Aussenwände UG	-	-
E4	Aussenwände EG/OG	1064 m <sup>2</sup> 4150 m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup> 701 m <sup>1</sup>	3-IV Verglasung, Holz-Metallrahmen, Lamellenstoren Betonkragplatte, bis 1.6 m Auskragung
E6	Innenwände tragend	-	-
M1	Trennwände / Innentüren	144 m <sup>2</sup>	Backsteinfüllungen 12.5 cm
M3	Bodenbeläge	1263 m <sup>2</sup> 160 m <sup>2</sup>	Unterlagsboden mit Trittschall / Elastischer Bodenbelag Unterlagsboden mit Trittschall / Parkett (Ergänzungen)
M4	Wandbekleidung	3110 m <sup>2</sup>	Wandputz auf Beton
M5	Deckenbekleidung	1263 m <sup>2</sup>	Deckenputz auf Beton
I	Haustechnik	8434 m <sup>2</sup> (113 kWp)	Elektro / Sanitär ohne Verteilung / Pelletheizung / Verteilung nur auf 1000m <sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Indikator Einheit	Gesamtweltbelastung				Primärenergiebedarf nicht erneuerbar				Treibhausgasemissionen			
	UBP/m <sup>2</sup> a	UBP/m <sup>2</sup> a	UBP/m <sup>2</sup>	UBP/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Gebäudeerstellung	D0 Baugrubenaushub	1	52	45	8	0.03	0.2	0.2	0.00	0.04	0.04	0.00
	D1 Hinterfüllungen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D2 Fundamentplatte	17	1'050	982	68	0.3	1.6	1.6	0.01	0.62	0.57	0.05
	E0 Decken	261	15'667	14'231	1'436	0.5	27.8	23.6	0.17	10.13	9.30	0.83
	E1 Dächer	227	13'648	5'786	2'564	0.6	33.7	16.4	0.16	9.87	3.38	3.44
	E2 Stützen	24	1'446	1'399	47	0.03	2.3	2.1	0.01	0.54	0.51	0.03
	E3 Aussenwände UG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E4 Aussenwände OG	3'490	209'425	138'971	8'319	9.6	577.5	389.6	2.61	156.59	100.57	45.66
	E5 Fenster+Aussentüren Balkone	2'519	151'141	70'651	9'839	6.8	408.3	199.1	1.77	106.13	50.54	5.05
	E6 Innenwände tragend	7	423	385	38	0.03	1.8	1.6	0.01	0.59	0.56	0.03
	M1 Trennwände/ Innentüren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3 Bodenbeläge	204	12'222	4'000	4'223	0.6	33.5	15.4	0.17	10.46	3.72	3.02	
M4 Wandbekleidung	101	6'078	2'786	506	0.3	15.9	7.5	0.15	9.09	4.28	0.52	
M5 Deckenbekleidung	43	2'558	1'176	207	0.1	6.8	3.2	0.06	3.79	1.79	0.21	
I Haustechnik	2'721	163'250	76'437	7'116	4.3	254.2	121.6	0.96	57.57	23.04	9.92	
<b>Summe Gebäude</b>	<b>9'616</b>	<b>576'959</b>	<b>316'847</b>	<b>34'372</b>	<b>22.7</b>	<b>1'363.7</b>	<b>781.8</b>	<b>6.09</b>	<b>365.42</b>	<b>198.29</b>	<b>33.47</b>	
Betrieb	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		
<b>Summe Betrieb</b>	<b>8'569</b>	<b>705'555</b>			<b>35.8</b>	<b>3'001.3</b>		<b>3.02</b>	<b>244.07</b>			
<b>Total Mobilität</b>		<b>6553</b>	<b>393180</b>			<b>1'733.3</b>		<b>5.00</b>	<b>300.00</b>			
<b>Gesamt-total</b>			<b>24'738</b>		<b>87.4</b>						<b>14.11</b>	
<b>Zielwert</b>					<b>1.22.2</b>						<b>15.50</b>	

\* Umrechnung Professor Gigon/Guyer MJ in kWh

Laura Tschümperlin (treeze Ltd.), Rolf Frischknecht (treeze Ltd.), Katrin Pfäßli (Architekturbüro Preisig Pfäßli), 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 Pfäßli/K. Pfäßli, Zürich
- **Bauzeit:** 2013



Abb. A. 3: Bürogebäude 2226

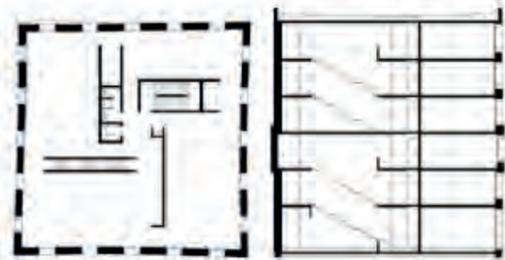


Abb. A. 4: Grundriss Regelgeschoss und Schnitt

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 CO<sub>2</sub>-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.<sup>4</sup>
- 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 <sup>2</sup>	3'201		
Energiebezugsfläche	m <sup>2</sup>	3'201		Kein Untergeschoss
Max. Spitzenheizleistung	W/m <sup>2</sup>	8+	Abwärme von Mensch und Geräten	Deckungsgrad: 100%
Energiebedarf Raumwärme Q <sub>hef</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	0	Kein Heizsystem	Bei langen Kälteperioden wird die Beleuchtung zur Haltung der Raumtemperatur aktiviert
Energiebedarf Warmwasser Q <sub>ww</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	2	Strom (Elektro-Wasserewärmer)	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad: 0.85
Energiebedarf Lüftung	kWh/m <sup>2</sup> a	1	Strom	Lüftungsflügel über Sensoren gesteuert
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebsrichtungen	kWh/m <sup>2</sup> a	20	Strom	Deckungsgrad: 100%

\* Spitzenleistung bei -6°C Aussentemperatur und 22°C Raumtemperatur

\* Umrechnung Professur Gigon/Guyer MJ in kWh

<sup>4</sup> Die Datengrundlage zur Pfahlfoundation 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 Flachfoundation 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 m³	-
D1	Hinterfüllungen	-	-
D2	Fundamentplatte	532 m²	Bodenplatte für 6 Geschosse, wasserdicht, gedämmt
E0	Decken	2135 m²	Betondecke CEM II 300 kg/m³, 112.5 kg/m³ Bewehrung mit Überbeton
E1	Dächer	532 m²	Betondecke, Foliendach, 30 – 40 cm XPS, Kies
E2	Stützen	0 Stk	-
E3	Aussenwände UG	0 m²	-
E4	Aussenwände EG/OG	1740 m²	Verbundmauerwerk 76 cm, innen druckfest, aussen dämmend mit erhöhtem Luftkammeranteil. Gelöschter Kalkputz aussen
E5	Fenster Lüftungsflügel / Türen	371 m²	3-IV Verglasung, Holzrahmen
E6	Innenwände tragend	4053 m²	Mauerwerk 20 cm - 25cm
M1	Trennwände / Innentüren	0 m²	-
M3	Bodenbeläge	2481 m²	Doppelboden auf Lattung und Holzschalung: Trittschalldämmung und Anhydrit-Unterlagsboden
M4	Wandbekleidung	9650 m²	Wandputz mineralisch auf Mauerwerk
M5	Deckenbekleidung	2481 m²	Deckenputz mineralisch auf Beton
I	Haustechnik	3201 m²	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 UBP/m²			Primärenergiebedarf nicht erneuerbar kWh/m²a			Treibhausgasemissionen kg CO2/m²					
	UBP/m²a	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	89664	7725	2.8	169.2	145.3	27.8	0.98	58.83	54.18	4.65
E1 Dächer	819	49133	29457	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	5870	4.3	260.6	232.1	22.8	1.54	92.34	84.57	4.47
E5 Fenster/Lüftungsflügel/Türen	533	31983	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	5278	4.5	270.3	135.2	105.3	0.78	46.95	23.47	23.47
M4 Wandbekleidung	828	49679	22770	4138	2.2	129.8	61.2	7.5	1.24	74.27	35.02	4.23
M5 Deckenbekleidung	221	13241	6084	1073	0.6	35.3	16.7	2.0	0.33	19.61	9.26	1.09
I Haustechnik	3583	215000	102700	10800	3.8	228.0	111.8	4.3	0.86	51.61	17.92	15.77
<b>Summe Gebäude</b>	<b>11'450</b>	<b>686'991</b>	<b>444'992</b>	<b>186'720</b>	<b>28.1</b>	<b>1'684.6</b>	<b>1'151.1</b>	<b>428.3</b>	<b>8.75</b>	<b>524.71</b>	<b>361.91</b>	<b>107.47</b>
<b>Summe Gebäude</b>	<b>11'450</b>	<b>686'991</b>	<b>444'992</b>	<b>186'720</b>	<b>28.1</b>	<b>1'684.6</b>	<b>1'151.1</b>	<b>428.3</b>	<b>8.75</b>	<b>524.71</b>	<b>361.91</b>	<b>107.47</b>
Raumwärme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Warmwasser	1060	63600	-	-	6.2	372.0	-	-	0.35	21.00	-	-
Lüftung	451	27060	-	-	2.6	158.1	-	-	0.15	9.00	-	-
Übrige Betriebsenergie	9137	548220	-	-	53.4	3205.9	-	-	3.01	180.60	-	-
Summe Betrieb	10'648	638'880	-	-	62.3	3735.9	-	-	3.51	210.60	-	-
<b>gebäudeinduzierte Mobilität</b>	<b>14'289</b>	<b>857'335</b>	<b>36'387</b>	<b>183.3</b>	<b>60.1</b>	<b>3'608.1</b>	<b>450.5</b>	<b>23.88</b>	<b>11.62</b>	<b>697.30</b>	<b>23.88</b>	<b>25.50</b>
<b>Gesamt-total</b>												
<b>Zielwert</b>												

\* 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/m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Indikator	Einheit	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie n. erne	Treibhausgasemission
		UBP/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a
EKG-Nummer		Total amortisiert	Total amortisiert	Total amortisiert
<b>Erstellung</b>	<b>Summe Gebäude</b>	<b>11'450</b>	<b>28.1</b>	<b>8.75</b>
<b>Betrieb</b>	Raumwärme	-	-	-
	Warmwasser	2'503	14.7	0.83
	Lüftung	501	3.1	0.17
	Übrige Betriebsenergie	15'646	77.5	5.16
	<b>Summe Betrieb</b>	<b>18'650</b>	<b>95.3</b>	<b>6.15</b>
<b>gebäudeinduzierte</b>	<b>Total Mobilität</b>	<b>14'289</b>	<b>60.1</b>	<b>11.62</b>
<b>Gesamt-total</b>	<b>Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität</b>	<b>44'388</b>	<b>183.5</b>	<b>26.52</b>
<b>Zielwert</b>	<b>keine Zielwerte in SIA 2040</b>			

\* 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 <sup>2</sup>	3'051	150		
Energiebezugsfläche	m <sup>2</sup>	3'051	150		Kein Untergeschoss
Max. Spitzenheizleistung	W/m <sup>2</sup>	8*		Abwärme von Mensch und Geräten	Deckungsgrad: 100%
Wärmebedarf Warmwasser Q <sub>ww</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	2	59	Strom (Elektro-Wassererwärmer)	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad: 0.85
Energiebedarf Lüftung	kWh/m <sup>2</sup> a	1	3	Strom	Lüftungsflügel über Sensoren, Küche Abluft
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	kWh/m <sup>2</sup> a	33	74	Strom	Deckungsgrad: 100%

\* Spitzenleistung bei -6°C Aussentemperatur und 22°C Raumtemperatur

\* Umrechnung Professur Gigon/Guyer MJ in kWh

## 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 sind 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/m<sup>3</sup>]** 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/m<sup>2</sup>K]**

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  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{Cu(InGa)Se}_2$ , (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) oder  $\text{CuInS}_2$ , (Kupfer-Indium-Disulfid).

**CO<sub>2</sub>-Speicher**

Als CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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/m<sup>2</sup>a]**

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 PO<sub>43</sub>-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 PO<sub>43</sub> 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/m<sup>2</sup>a]</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/(m<sup>2</sup>a) beziehungsweise in kWh/(m<sup>3</sup>a) 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 gebräuchlicher 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/m<sup>2</sup> beträgt. An klaren Sommertagen hingegen erreicht sie zirka 700 W/m<sup>2</sup>. Die Jahressumme der Globalstrahlung liegt in Deutschland zwischen 900 und 1200 kWh/(m<sup>2</sup>)</p>	<u>Heizwärmebedarf (pro m<sup>2</sup>) [kWh/m<sup>2</sup>a]</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 Kühl-lasten und Innere Kühl-lasten 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/m<sup>2</sup>a]</u>	Der Jahres-Heizenergiebedarf ist die Menge an Energie, die dem Gebäu- de zur Beheizung und zur Bereitstellung von warmem Wasser zugeführt werden muss. Dabei werden auch die Verluste, die durch die Heizan- lagentechnik 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/m<sup>2</sup>a]</u>	Der Jahres-Heizwärmebedarf ist die Menge an Wärme, die jährlich zur Beheizung des gesamten Gebäudes (ohne Betrachtung der Wärmemen- ge für die Warmwasserbereitstellung) benötigt wird.	<u>Langzeitspeicher</u>	Langzeitspeicher sind Speicher, die Wärme aufnehmen und über mehre- re 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 Primär- energie, die im Laufe eines Jahres zum Heizen, Lüften und zur Bereitstel- lung von Warmwasser benötigt wird. Es werden alle Energiegewinne und -verluste betrachtet.	<u>Latentwärmespei- cher</u>	Sie verändern beim Lade- oder Entladevorgang nicht ihre fühlbare Tem- peratur, stattdessen wechselt das Wärme-Speichermedium seinen Ag- gregatzustand. 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 Temperatur- erhöhung. 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 Umweltaus- wirkungen eines Materials über den Lebenszyklus ist die Lebenszyklus- analyse (Life Cycle Assessment - LCA). Sie bilanziert den Lebensweg eines Baustoffs über die Stadien der Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verar- beitung; 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 Tagesbe- darf lädt und Überschüsse in einen zweiten Speicher abgibt, der bei Be- darf 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) [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>]</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 <sup>3</sup> . 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/m<sup>2</sup>a]</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 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-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 <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Äquivalent] ist eine Größe zur Abschätzung der bodennahen Ozonbildung und wird auf die Wirkung von Ethen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) 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/m<sup>2</sup>a]</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.

<u>Primärenergieinhalt (PEI)</u> <u>[MJ]</u> <u>beziehungsweise</u> <u>[kWh]</u>	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.
<u>Prozesswärme</u>	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.
<u>Pufferspeicher</u>	Pufferspeicher dienen der kurzzeitigen Zwischenspeicherung von Wärmeenergie zur Überbrückung des ungleichen Tagesgangs des Wärmebedarfs oder der Wärmeerzeugung.
<u>Relative Luftfeuchtigkeit</u>	Die relative Luftfeuchtigkeit wird in Prozent angegeben und bezeichnet das Verhältnis des momentanen Wasserdampfgehalts in einem System (Raum) zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt.
<u>Ressourcen</u>	Ressourcen sind materielles oder immaterielles Gut. Im Bausektor sind meist diejenigen Mengen eines Rohstoffs gemeint, die mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten gewonnen werden können.
<u>Rohdichte</u> <u>[t/m<sup>3</sup> bzw. kg/dm<sup>3</sup>]</u>	Die Dichte eines Stoffs ist der Quotient aus der Masse und dem Volumen und wird in t/m <sup>3</sup> beziehungsweise kg/dm <sup>3</sup> angegeben. Die Rohdichte ist die Dichte von porigen Stoffen einschließlich des Porenvolumens (z.B. Porenbeton).
<u>Schadstoffe</u>	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.
<u>Sekundärenergie</u> <u>[kWh]</u>	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"> <li>- gute Lagerfähigkeit (z.B. Koks, raffinierte Öle)</li> <li>- gute Transportfähigkeit (z.B. elektrische Energie)</li> <li>- hohe Energiedichte (z.B. Koks)</li> <li>- einfache/billige Herstellung (Briketts).</li> </ul> Eine dieser Eigenschaften wird im Normalfall bevorzugt, abhängig von Ort und Verwendungszweck. Oft sind die Nebenprodukte der Herstel-

lung 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/m<sup>2</sup>a]

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 -&gt; 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 <sup>3</sup> ) können in Bereichen, die zur Überhitzung neigen (z.B. ausgebaute Dachräume), durch ihr höheres Speichervermögen den sommerlichen Wärmeschutz verbessern.	<u>Transmissionswärmeverluste</u> $\frac{Ht'}{[kWh/a]}$	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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sub>2</sub> -Äquivalent (als Vergleichswert dient immer CO <sub>2</sub> ) 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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> Wandfläche strömt, wenn sich die Lufttemperatur auf den beiden Wandseiten um 1 Kelvin unterscheidet. Die Einheit des U-Werts ist demnach W/m <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sub>2</sub> -Äquivalent] entsteht überwiegend durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren. Daraus resultiert eine Verringerung des pH-Werts von Niederschlag.	<u>Wärmedurchlasswiderstand</u> [m <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> /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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> K)/W.

<u>Watt (peak)</u> <u>[kW<sub>p</sub>]</u>	<b>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 <math>W_p</math>, bezeichnet. Die Summe aller Paneele einer Anlage ergibt so eine Normleistung der gesamten Anlage, diese liegt im Bereich des Wohnungsbaus meist bei einigen kW<sub>p</sub>. Für 1 kW<sub>p</sub>, müssen zirka 8 m<sup>2</sup> Photovoltaik verlegt werden (bei einem Wirkungsgrad von 12,5 Prozent). Die Spitzenleistung sagt noch nichts über den Ertrag der Anlage aus. Pro kW<sub>p</sub> können in sonnigeren Gegenden über 1000 kWh, in Gebieten mit Hochnebel auch unter 600 kWh Ertrag erwartet werden.</b>
<u>Wirkungsbilanz</u>	<b>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.</b>
<u>Wirkungsgrad [%]</u>	<b>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.</b>
<u>Wirkungsgrad einer Solarzelle bzw. eines Moduls</u>	<b>Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel Prozent der eingestrahelten Lichtmenge in nutzbare elektrische Energie umgewandelt werden.</b>
<u>Zuluftkühlung</u>	<b>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.</b>

## ANHANG STAND NEUER TECHNOLOGIEN UND ALTERNATIVER VORGEHENSWEISEN



Fresh Air Cart, Gordon Matta Clark, 1972

Christian Speicher, „Die Schweizer Firma Climeworks will auf Island jährlich 4000 Tonnen CO<sub>2</sub> versteinern“, *Neue Zürcher Zeitung* 26. August 2020

## Die Schweizer Firma Climeworks will auf Island jährlich 4000 Tonnen CO<sub>2</sub> 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



2017 eröffnete Climeworks eine CO<sub>2</sub>-Filteranlage auf dem Dach der Kehrichtverbrennungsanlage in Hinwil. Eine ähnliche Anlage soll jetzt auf Island installiert werden.

Karin Hofer / NZZ

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>

Climeworks betreibt seit 2017 eine Anlage in Hinwil, die jährlich rund 1000 Tonnen CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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) CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, die Climeworks mit seinen Partnern in den Boden presst, 1000 Franken. Das liegt weit über dem marktüblichen CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen seiner Firmengeschichte kompensieren zu wollen.

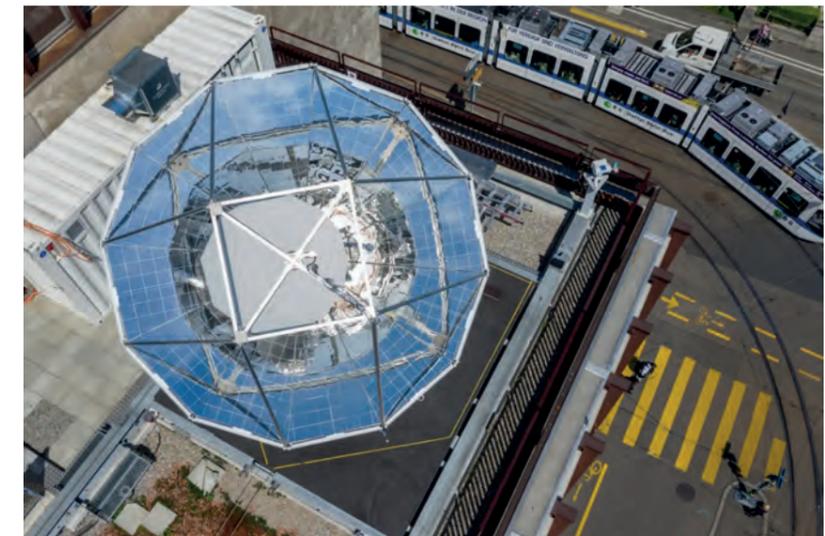
Langfristig müsse die Entfernung von Kohlendioxid aus der Luft aber billiger werden, sagt Wurzbacher. Climeworks hofft, den Preis für eine Tonne CO<sub>2</sub> durch Skalierungseffekte und eine Weiterentwicklung der Technologie auf 100 bis 200 Franken senken zu können. Das läge zwar immer noch deutlich über dem marktüblichen CO<sub>2</sub>-Preis. Aber in einigen Ländern gibt es schon heute Lenkungsabgaben, die dem nahekommen. So besteuert Schweden die Tonne CO<sub>2</sub> mit 120 Franken.

Sven Titz, „Aus Luft und Licht kann CO<sub>2</sub>-neutraler Treibstoff erzeugt werden“, *Neue Zürcher Zeitung* 13. Juni 2019

## Aus Luft und Sonnenlicht kann CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> und Wasser in Wasserstoff und Kohlenmonoxid um. Im dritten Schritt wird die Gasmischung – das sogenannte «Synthesegas» – in Methanol transformiert.



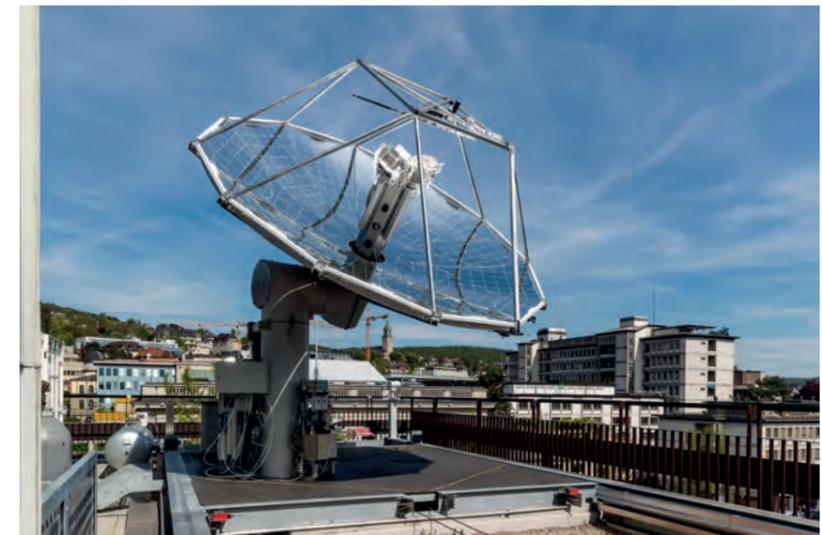
Das Synthesegas, das in der Anlage produziert wird, lässt sich in flüssige Treibstoffe wie Methanol oder Kerosin weiterverarbeiten. (Bild: Alessandro Della Bella / ETH Zürich)

Für die industrielle Anwendung reicht 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 CO<sub>2</sub>-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.

Martin Läubli, „Heisse Luft um Wasserstoff“, Tages-Anzeiger 12. Mai 2021, S. 38

# Heisse Luft um Wasserstoff

**Abstimmung über CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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

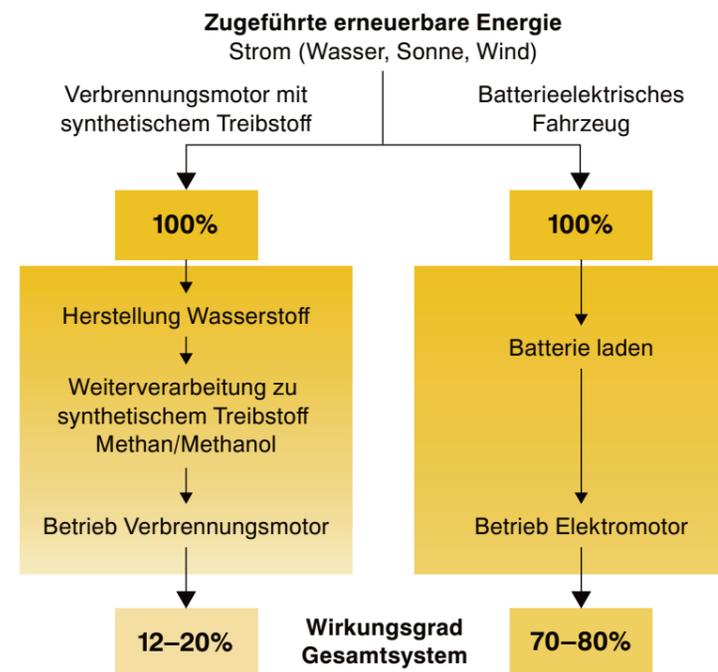
Die Wissenschaftler empfehlen deshalb, Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe prioritär dort einzusetzen, wo eine Elektrifizierung kaum möglich sein wird. Der Anteil der Energie in dieser Sparte macht laut Autoren in den Industriestaaten ein Fünftel aus. Dazu gehören die Stahl- und Chemieindustrie, 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 CO<sub>2</sub> 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.

Grafik: mat/Quelle: Transport & Environment

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.

Paul Knüsel, Interview mit B. Buser und K. Müller, „Eigentlich sind wir ein Störfaktor“, unter: [espazium.ch](http://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 überglücklich. 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.

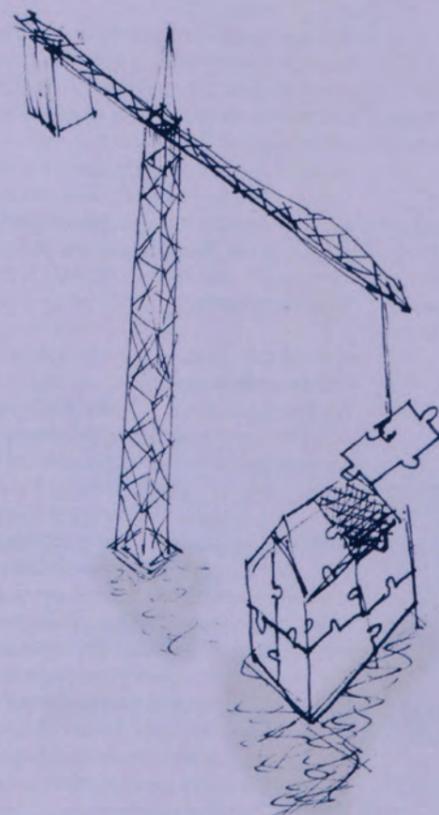
**Barbara Buser:** Es geht um eine neue Art der Kreativität in der Architektur. Und um ein Handeln aus der Not heraus.

Jakob Schoof, „Interview Anders Lendager“, DETAIL 6.2021, S. 60-64

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 interessieren. 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.

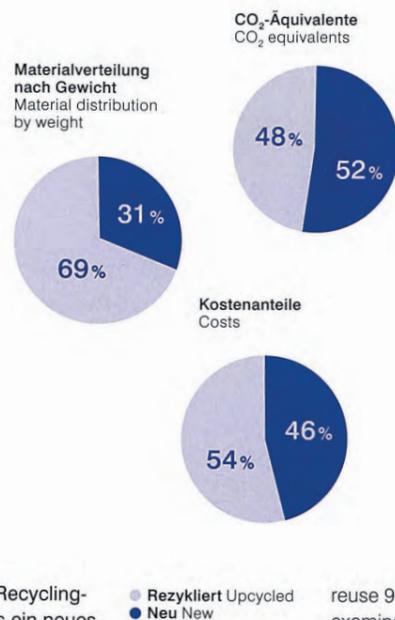
**Sie sagen, dass recycelte Baumaterialien nicht mehr kosten müssen und oft sogar günstiger sind als neue. Worauf muss man achten, damit das tatsächlich eintritt?**

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](https://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.

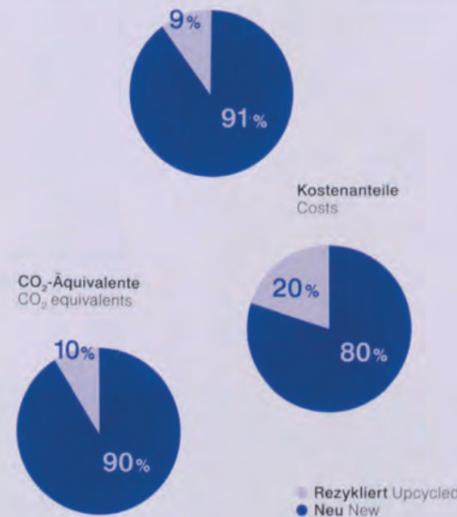
**Was muss sich auf politischer Ebene ändern?**

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](http://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.

# 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, *Wie schlimm sind Bananen? Der CO<sub>2</sub>-Abdruck von allem*, London 2010.

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

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.

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, Heftreihe von Hochparterre für Solararchitektur*, Zürich 2019.

Gianrico Settembrini & Urs-Peter Menti, *Das Klima als Entwurfsmotor Architektur und Energie bei Wohn- und Bürogebäuden*, Luzern 2014.

Bernd Sommer, Harald Welzer, *Transformationsdesign – Wege in eine zukunftsfähige Moderne*, München 2017.

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, *Alles könnte anders sein – eine Gesellschaftsutopie für freie Menschen*, Frankfurt am Main 2019.

## Videos:

Towards Zero-Emission Architecture

ETH-Konferenz 2010:

<https://video.ethz.ch/conferences/2010/zero-emissions>

Gespräch mit Reto Knutti, Marcel Hänggi, Daniel Binswanger und Annette Gigon

Herbstsemester 2019:

<https://video.ethz.ch/events/2019/gespraech.html>

Beitrag zur Ausstellung «urbainable – stadthaltig. Positionen zur europäischen Stadt für das 21. Jahrhundert», Akademie der Künste Berlin, 05.09.–02.11.2020:

<https://gigon-guyer.arch.ethz.ch/ausstellungen/akademie-der-kuenste-berlin/>

Gebäudesystem No Tech, Vortrag von Heinrich Degelo, Frühjahrssemester 2021.

<https://gigon-guyer.arch.ethz.ch/vortraege/>

Upcycle, Vortrag von Barbara Buser, Frühjahrssemester 2021.

<https://gigon-guyer.arch.ethz.ch/vortraege/>

## 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/berechnung/waermebedarf/>

Weitere Zeitungsberichte finden sich auf dem Studentenserver von der Professur Gigon/Guyer. Neue, zusätzliche werden während dem Semester fortlaufend geteilt.

# BRANDSCHUTZ FLUCHTWEGE

Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen: [www.vkf.ch](http://www.vkf.ch)

## BRANDSCHUTZNORM:

[www.praever.ch/de/bs/vs/norm/Seiten/1-15\\_web.pdf](http://www.praever.ch/de/bs/vs/norm/Seiten/1-15_web.pdf)

Auszug aus den Brandschutzrichtlinien:

## FLUCHT- UND RETTUNGSWEGE:

[www.praever.ch/de/bs/vs/richtlinien/Seiten/16-15\\_web.pdf](http://www.praever.ch/de/bs/vs/richtlinien/Seiten/16-15_web.pdf)

