

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 137 (2011)
Heft: Dossier (33/34): Modellfall Sanierung HPZ

Artikel: Im Energieverbund
Autor: Leiva, Leonid
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-170245>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

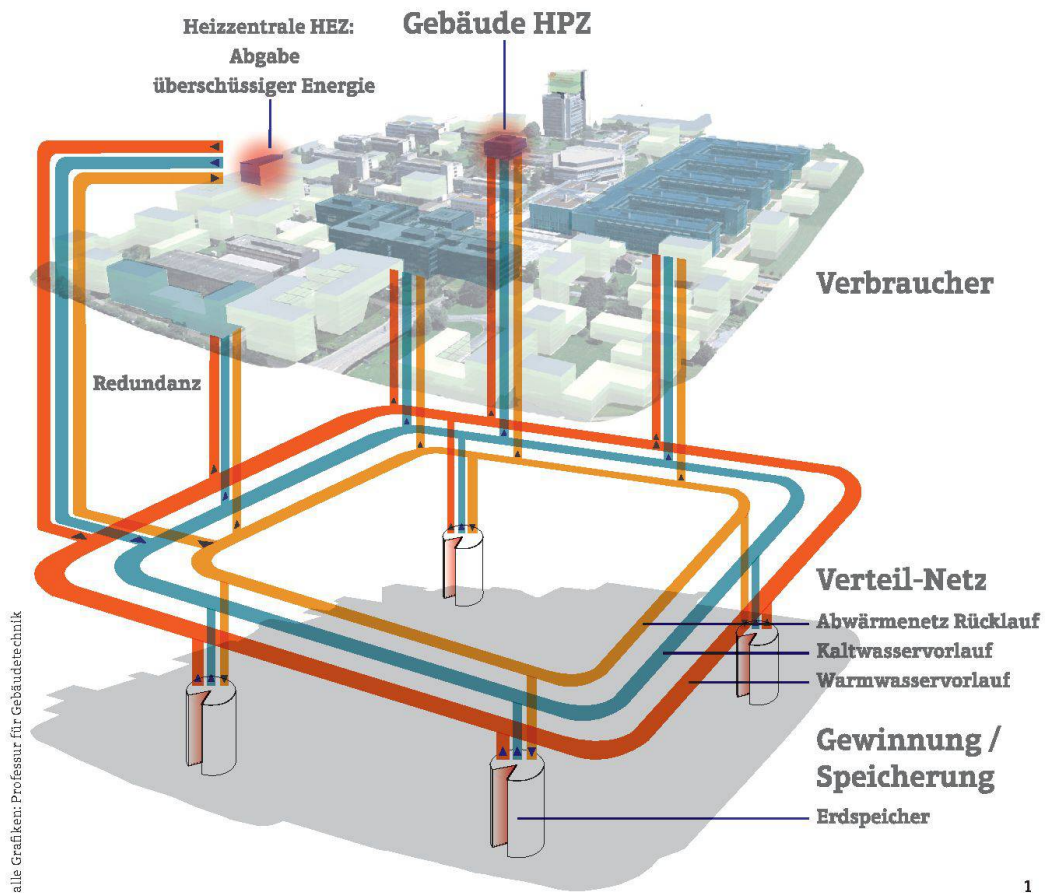
Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

IM ENERGIEVERBUND



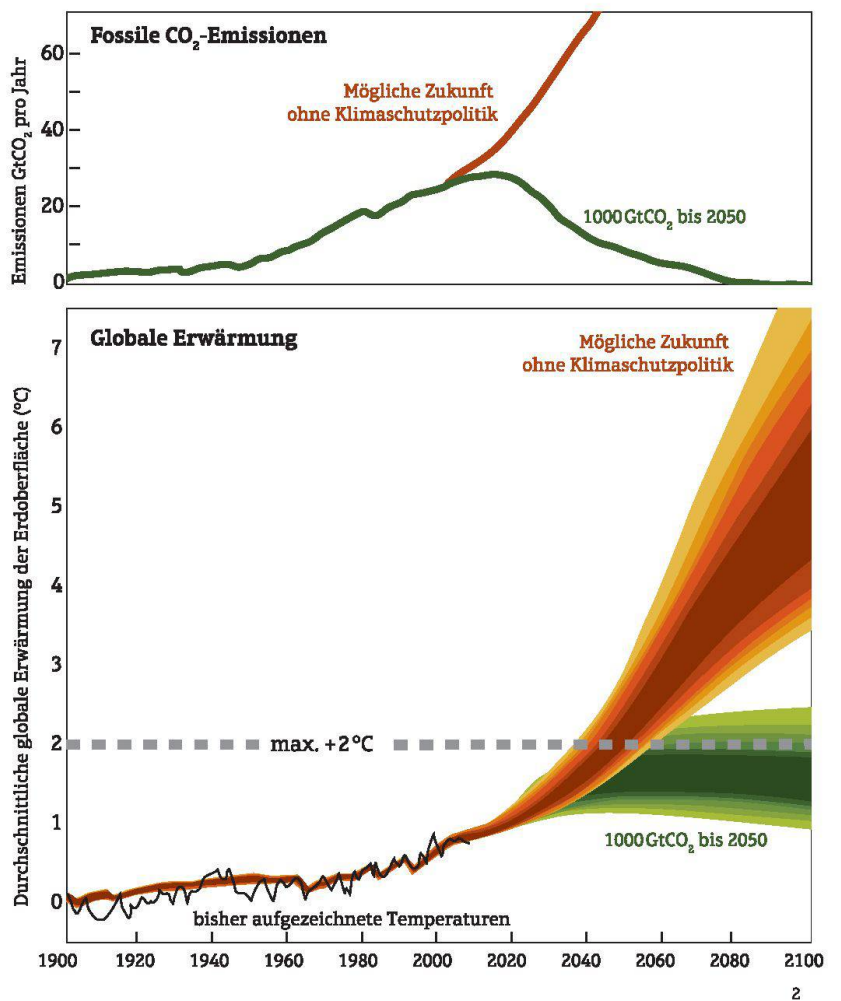
1

Bei einer Tagung im November 2010 stellte das Department Architektur (D-ARCH) der ETH Zürich sein «Zero-Emissions»-Konzept vor. Zum Auftakt der Tagung kündigten die beteiligten Professuren in ihrem Positionspapier einen «Paradigmenwechsel» an: die Hinwendung zur Null-Emissionen-Architektur, die die ETH seit ihrer Abkehr vom Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft im Jahr 2008 verfehlt.

Der Bau und der Betrieb von Wohn- und Bürogebäuden produziert in Europa einen grossen Anteil der anthropogenen CO₂-Emissionen. Gemäss einer Studie des United Nations Environmental Programme beläuft sich der Beitrag auf einen Drittel aller Treibhausgasemissionen.¹ Den Hauptanteil daran haben die mit Erdöl oder Gas befeuerten Heizkessel. Feuer in Gebäuden zu entfachen gehöre deshalb verboten, so das Credo, das Hansjürg Leibundgut, Professor für Gebäudetechnik am D-ARCH, seinen Studierenden gleich in der Einführungsvorlesung ans Herz legt. Denn will man die Klimakatastrophe ernsthaft abwenden, müssen die Emissionen von Gebäuden drastisch gedrosselt werden. Die Antwort der D-ARCH-Architekten ist radikal: Der CO₂-Ausstoss beim Betrieb von Gebäuden müsse auf praktisch null sinken. Dies entspricht auch der übergeordneten Strategie der ETH, die 2008 eine komplette Abkehr von der zuvor von ihr propagierten 2000-Watt-Gesellschaft vollzogen hat. Der Neuausrichtung lag die Erkenntnis zugrunde, dass der Energieverbrauch gar keine Rolle spielt, solange die benötigte Energie CO₂-arm oder gar -frei produziert wird. Vielmehr sei eine 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft anzustreben, in der weltweit jedem Menschen jährlich höchstens ein CO₂-Budget von einer Tonne zustünde. Diese Zahl ergibt sich aus den Schätzungen des UN-Klimarats IPCC, der bis 2080 eine Obergrenze für die globale CO₂-Emission von jährlich 8 Mrd. t errechnet hat. Nur so könnte der globale Temperaturanstieg unterhalb der von der EU definierten Gefahrschwelle von 2 °C bleiben.

WÄRMEERNT UND -SPEICHERUNG

Die neue Fokussierung auf die Emissionen ist also hinreichend motiviert, aber ist sie auch machbar? Hansjürg Leibundgut ist überzeugt, dass Energie im Überfluss vorhanden sei. Jedes gute Haus bekomme allein als Sonneneinstrahlung auf sein Dach ein Vielfaches der Energie, die es zur Beheizung im Winter brauche. Man müsse also bloss den Energieüberschuss aus dem Sommer in einem Speicher lagern und diesen dann in der kalten Jahreszeit anzapfen. Saisonale Wärmespeicherung, so nennt das Leibundgut. Dazu braucht es zweierlei: erstens eine gut zugängliche Speichermasse im Erdreich unter dem Baugrund und zweitens eine sehr effiziente Wärmepumpe, um die Wärme ohne allzu grossen exergetischen Aufwand zwischen Speicher und Verbraucher zu befördern. In der Schweiz finde man in einer



- 1 Im Energieverbund des Campus Höggerberg kann jedes Gebäude sowohl Wärmeverbraucher als auch -erzeuger sein und ist über eine Art Ringleitung mit den anderen Gebäuden verbunden. Überschüssige Wärme wird anderen Nutzern zur Verfügung gestellt. Durch die dezentrale Veredelung beim Endnutzer kann die Netztemperatur variieren. Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen dem Wärmenetz und dem Heizungsvorlauf ist, desto effizienter kann der «Veredelungsprozess» mit der Wärmepumpe betrieben werden
- 2 Die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Klimaforschung führen zu einem CO₂-Emissionsbudget von 1000 Gt für die Jahre 2000–2050 und zu einer maximalen Restemission von 8–10 Gt CO₂ pro Jahr ab circa 2080

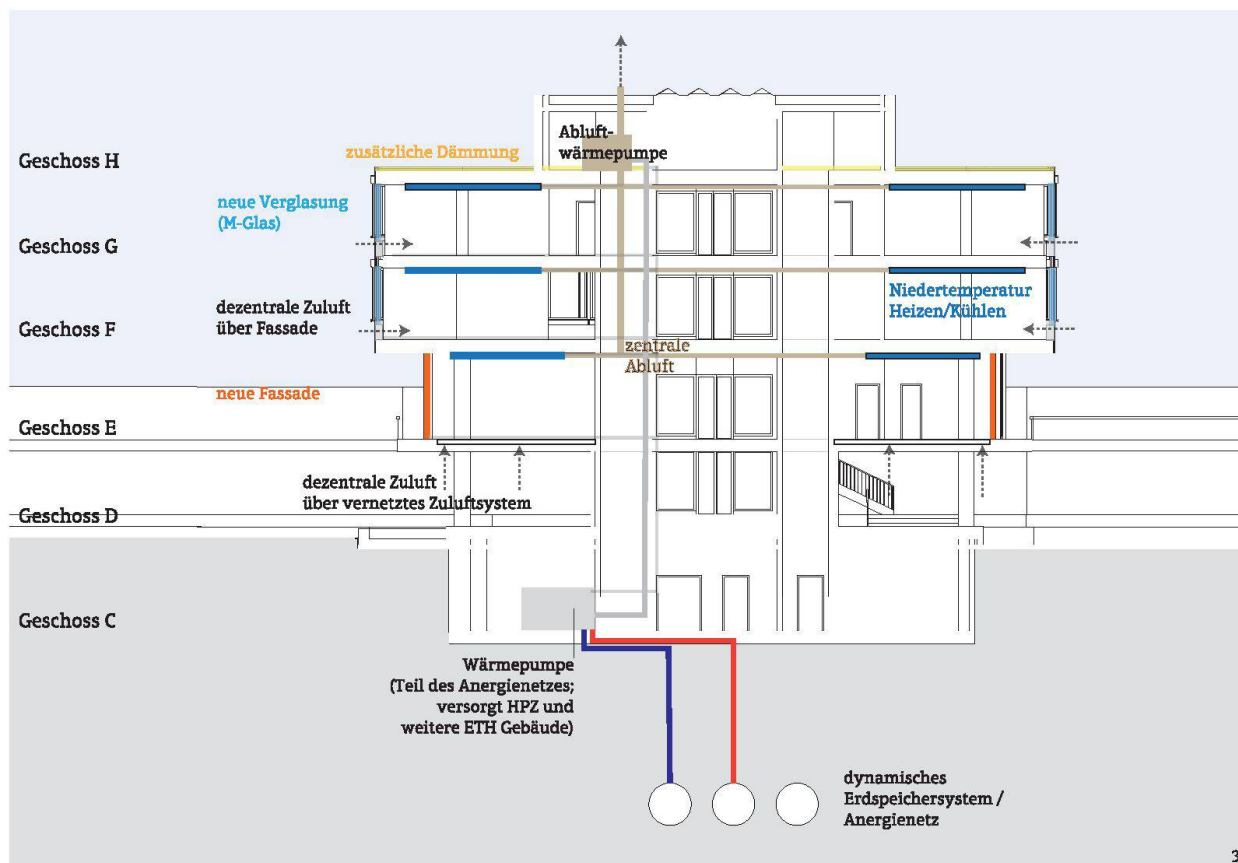
ANERGIE UND EXERGIE

Anergie und Exergie sind zwei Anteile der Gesamtenergie eines Systems. In der Thermodynamik wird die Exergie definiert als der Anteil der Gesamtenergie eines Systems, der bei einer gegebenen Temperatur in Arbeit umgewandelt werden kann. Exergie ist also nützliche, hochwertige Energie, mit der zum Beispiel Strom generiert oder ein Fahrzeug angetrieben werden kann. Es ist jedoch in keinem Prozess möglich, die gesamte Energie in Arbeit umzuwandeln. Deshalb bleibt immer ein Anteil an nicht arbeitsfähiger Energie übrig: Dies ist die Anergie. Damit ein System Arbeit leisten kann, muss seine Temperatur höher sein als jene der Umgebung. Sind das System und seine Umgebung im thermodyna-

mischen Gleichgewicht, haben beide also die gleiche Temperatur, so kann keine Arbeit verrichtet werden. Die Exergie ist also null, und alle Energie ist Anergie. Anergie kann man jedoch zu Exergie veredeln, indem man ihre Temperatur über jene der Umgebung anhebt. Das wird im Zero-Emissions-Konzept mit der Wärmepumpe realisiert. Indem man Energie höherwertig macht, wird kostbare Exergie (etwa aus Brennstoffen oder Strom) eingespart.

Energie = Exergie + Anergie

$$\Phi_{\text{Wärme}} = \Phi_{\text{Wärme}} \times \left[\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) + \frac{T_2}{T_1} \right]$$



3

Tiefe zwischen 200 und 400m im Durchschnitt die dafür nötigen Speichertemperaturen vor. Dies sei von geophysikalischen Messungen bereits gezeigt worden, so Leibundgut. Und er ist überzeugt, dass sich die Effizienz von Wärmepumpen in absehbarer Zeit dramatisch steigern liesse. Heutige Wärmepumpen weisen in der Regel Leistungszahlen zwischen 4 und 5 auf. Die Leistungszahl ist das Verhältnis der extrahierten nutzbaren Wärmeenergie zur aufgewendeten elektrischen Energie. Der entscheidende Parameter hierfür ist der Temperaturhub, also die Differenz zwischen der Temperatur im Wärmespeicher und der Vorlauftemperatur im Heizungssystem. Ein genügend niedriger Temperaturhub sei wiederum realisierbar, wenn man die Vorlauftemperatur für die Heizung senke. Leibundgut schlägt deshalb Bodenheizungen vor, deren grosse Fläche würde eine tiefere Vorlauftemperatur ermöglichen. Gemäss seinen Berechnungen könnte man mit einem Temperaturhub um die 12°C eine Wärmepumpe mit einer Leistungszahl über 12 betreiben, die unvermeidbaren Verluste eingerechnet.

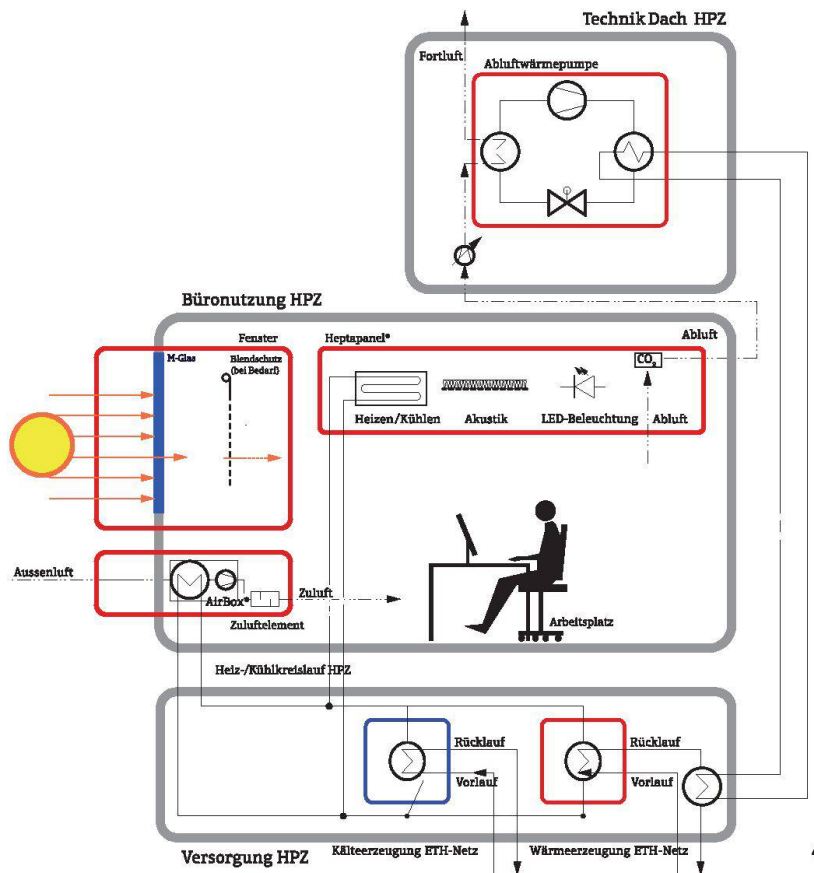
Mit einer solch hohen Leistungszahl wäre der Energieverbrauch der Wärmepumpe in einigen Fällen sogar kleiner als das, was ein solarer Hybridkollektor auf dem Dach bereitstellen könnte. Ein solcher Hybridkollektor sei bereits heute erhältlich. Er verwandelt Solarenergie gleichzeitig in Strom und Wärme. Die Wärme wird im Sommer durch zirkulierendes Wasser bei 30°C abgeführt und ins Erdreich gespeist. Der Hybridkollektor soll effizienter und kos-

tengünstiger sein als reine Fotovoltaik oder Wärmekollektoren. Weil die in den Solarzellen erzeugte Wärme abgeführt wird, steigt die Effizienz der Umwandlung von Licht in Strom um rund 12%. Der Hybridkollektor auf dem Dach ist ein Beispiel dafür, was im Zero-Emissions-Gebäude als Wärme-Erntemaschine bezeichnet wird. Das heisst: ein Gebäudeteil, das sonst als passive Wärmesenke fungieren würde, wird nun zum aktiven Einfangen von Wärme umfunktioniert.

Auch zur «Wärmeernte» eingesetzt werden Fussbodenregister, die den Wärmegehalt des durch die Fenster einfallenden Lichts absorbieren und bei Überschuss ebenfalls über Wärmesonden in den Untergrund führen. Diese Register erfüllen im Winter die Rolle einer Bodenheizung; durch die Doppelnutzung spart man also auch Platz. Auch die Zuluftgeräte an Fassaden oder Brüstungen sind multifunktionell, denn sie entnehmen im Sommer der ins Haus eingelassenen Luft Wärme und heizen im Winter die kalte und somit trockene Aussenluft.

DAS «KLIMARETTENDE» HAUS

Durch den vermehrten Gebrauch von Anergie, also von niederwertiger Umweltwärme, und von lokal über Fotovoltaik generiertem Strom würde die Abhängigkeit von fossil oder nuklear erzeugtem Strom abnehmen. «Zero Emissions» impliziert also auch notgedrungen «Low Exergy». Man müsse dennoch kein «energieautarkes» Haus bauen, um Emissionsfreiheit beim Betrieb zu gewährleisten. Das bedeutet,



dass man auch Solar- oder Windenergie aus fernen Quellen nicht ausschliessen sollte. Denn es ist laut Leibundgut zweitrangig, ob der Strom im sonnigen Spanien oder an der windreichen Nordsee produziert werde. Ein globales Problem wie der Klimawandel verlange, dass man solche Scheuklappen ablege.

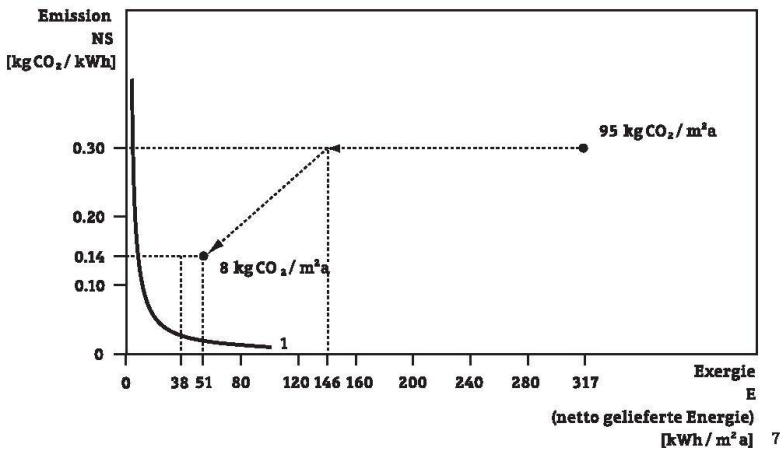
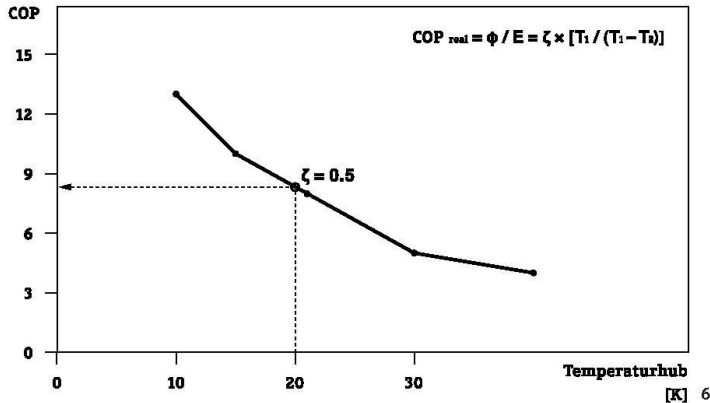
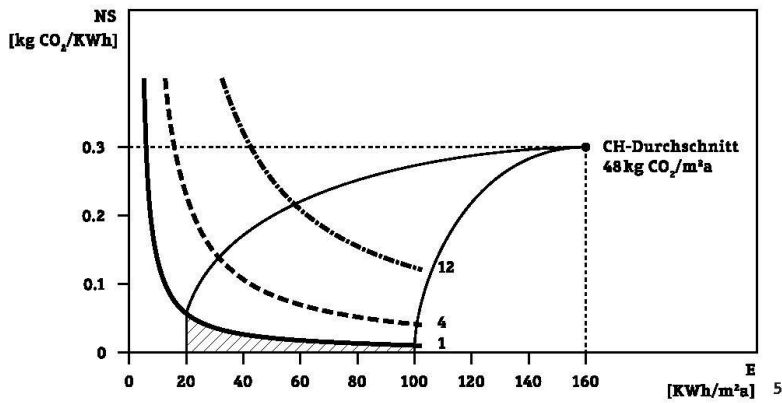
Die saisonale Speicherung von Wärme und der Einsatz von Wärme-Erntemaschinen bilden die Hauptpfeiler der Zero-Emissions-Strategie. Aber damit ist die Route zum klimarettenden Haus, die «ViaGialla», die Leibundgut und seine Mitarbeitenden seit einigen Jahren beschreiten, noch nicht zu Ende gezeichnet. Die Anspielung auf die Sonne ist aus dem Namen «ViaGialla» leicht herauszuhören. Aber dahinter steckt noch mehr. Dem Ingenieur Leibundgut schwebt eine bis ins Detail orchestrierte Partitur der technischen Mittel vor: ein digitaler Chip zur Steuerung und Überwachung aller elektronischen Geräte im Haus, Fenster mit spezieller Nano-beschichtung, die selektiv Licht in natürlichem Weiss durchlassen und die unsichtbare, aber wärmehaltige Infrarotstrahlung blockieren. Sensoren, die die lokale Konzentration von CO₂ in der Luft messen und das Signal zur Aktivierung von Luftklappen geben, gehören genauso zum Programm wie schlanke Paneele an den Decken, in denen nicht nur Beleuchtung, sondern auch Elektronik für eine Reihe von Geräten platzsparend untergebracht werden. Weiterhin können aber auch bauliche Massnahmen wie das Dämmen von Fassaden eine Rolle spielen. Leibundgut sieht in einer moderaten Dämmung im Dienste der

Behaglichkeit eine durchaus sinnvolle Massnahme. Nur die einseitige Fokussierung auf Dämmstärken und U-Werte von Fassaden, wie es heute häufig gefordert wird, hält er für falsch. Es gehe nicht darum, Energie um jeden Preis zu sparen.

SKEPTISCHE STIMMEN IN DER FACHWELT

Skeptiker fragen, was passiert, wenn die Lockerung des Energiesparzwanges zu erhöhtem Stromverbrauch führe. Was, wenn die klimafreundlichen erneuerbaren Energiequellen die Lücke nicht rasch genug füllen können? Handelt man sich nicht möglicherweise eine Verschärfung des Klimaproblems ein, weil dann der Strom von Kohle- oder Gaskraftwerken bezogen werden muss? Oder wird dann der zusätzlich im Gebäudepark benötigte Strom den Bau eines neuen AKW in der Schweiz zur Notwendigkeit machen? Leibundgut beteuerte schon früher – Monate, bevor in Fukushima die Kernschmelze einsetzte –, dass kein neuer Kernreaktor in der Schweiz ans Netz gehen müsse. Schliesslich würden seine emissionsfreien Häuser nur 15 bis 20% ihres Exergiebedarfs mit Netzstrom decken, den Rest würde man lokal über Fotovoltaik produzieren. Aber auch dieser durch und durch technikzentrierte Ansatz stösst bei seinen Widersachern auf wenig Gegenliebe. Weit weniger störanfällig seien bauliche Lösungen wie das Dämmen von Fassaden. Zudem sei die Behauptung, dass Energie im Überfluss vorhanden sei, momentan noch Wunschdenken und daher verantwortungslos. Auch dem von Leibundgut

3-4 Schnitt und Detail zur Erläuterung des Energiesystems im Gebäude. Die neue Verglasung lässt Licht in die Räume, Wärme kann nur zu einem sehr kleinen Teil eindringen. Über sogenannte Airboxen®, die an der Fassade (Geschosse Fund G) installiert bzw. im Boden eingelassen (Geschoss E) sind, gelangt Frischluft, die im Winter innerhalb der Box erwärmt und im Sommer gekühlt wird, in das Gebäude. Die Abluft gelangt über Absauganlagen in der Decke aus dem Raum, die darin verbliebene Wärme geht wiederum in den Heizkreis des Gebäudes über

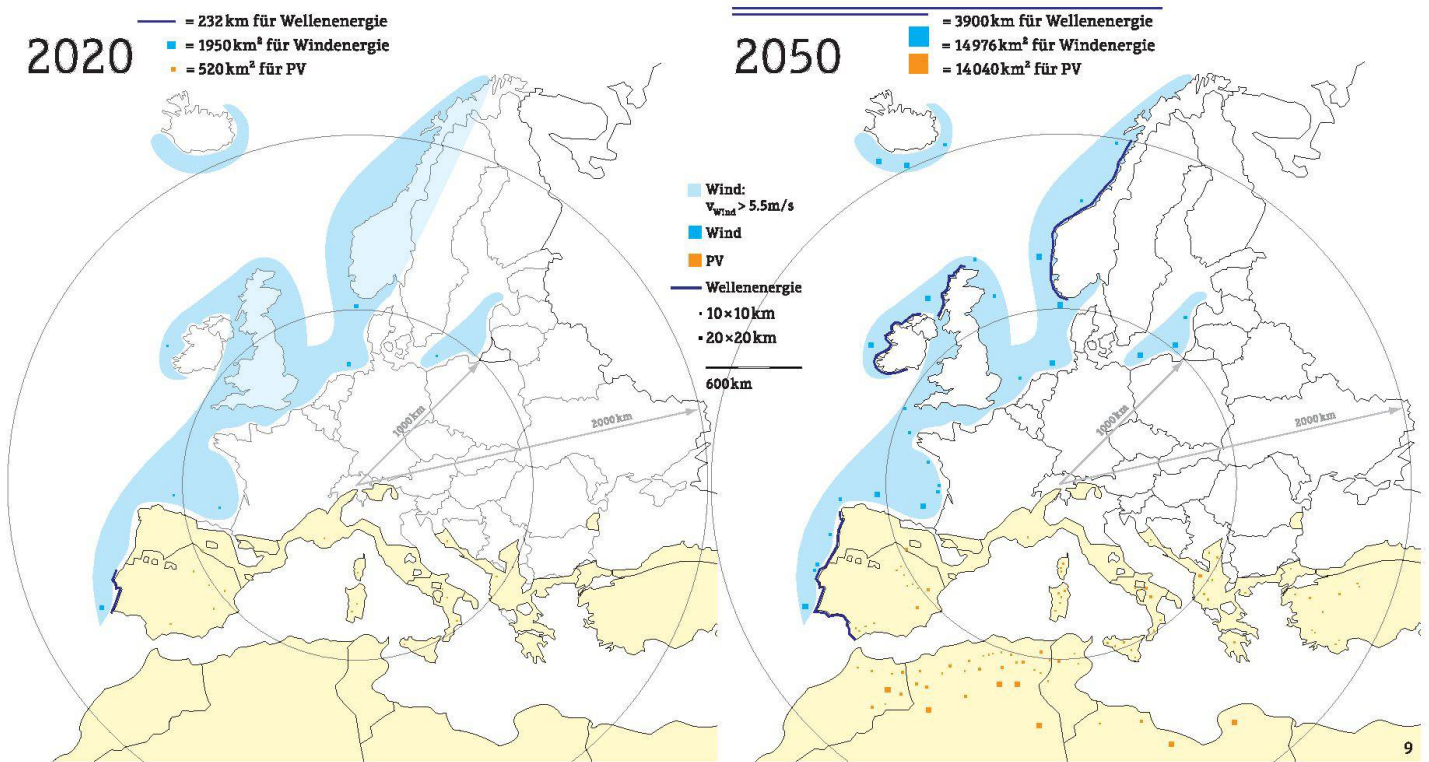


5 Das NS-E-Diagramm wurde im Jahr 2009 an der ETH entwickelt. Es zeigt den Zusammenhang zwischen Exergieverbrauch (E) eines Gebäudes im Betrieb bzw. der netto gelieferten Energie und der «Schmutzigkeit» bzw. Non-Sustainability (NS) der eingesetzten Exergie, d.h. der spezifischen Emissionen in CO_2 -Äquivalenten. Die spezifischen jährlichen Emissionen pro Quadratmeter Bodenfläche betragen für die Schweiz im Moment 48 kg CO_2 . Die schraffierte Fläche ist das Zielgebiet ($< 1 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2\text{a}$), das jedes Gebäude in Zukunft erreichen muss. Im NS-E-Diagramm lassen sich verschiedene Transformationspfade darstellen, die in dieses Gebiet führen. Eine Reduktion des Exergiebedarfs, z.B. durch Dämmen, führt zu einer waagrechten Verschiebung. Der Wechsel zu einem Energieträger mit geringeren spezifischen Emissionen, z.B. von Heizöl zu Erdgas, führt zu einer senkrechten Verschiebung. Der Wechsel zu einer Wärmepumpe reduziert sowohl den Exergiebedarf als auch die spezifischen Emissionen pro kWh. Welcher Weg beschritten wird, hängt vom jeweiligen Objekt, dem energetischen Kontext, von Vorschriften und den Kosten der jeweiligen Massnahmen ab

		Sparen	Substituieren
bis 1973	keine Vorgaben		
1974	erste Sonnenkollektoren		x
1978	erste Wärmedämmvorschriften	x	
1985	erste Erdsonden		x
1990	erste Fotovoltaik-Paneele		x
1994	Gründung Verein Minergie	x	
1998	Solarstrombörse Zürich		x
2004	2000-Watt-Gesellschaft in Zürich	x	x
2007	erste Erdsondenfelder (sais. Speicher)		x
2008	Windenergie-kredit EWZ		x
2009	Subventionen für Wärmedämmung	x	
2010	erster Hybridkollektor		x

8

- 6 Die Kurve beruht auf Messungen an der Hochschule für Technik & Architektur Luzern und zeigt den Zusammenhang zwischen Leistungsziffer (COP) und Temperaturhub einer Wärmepumpe, die für den Einsatz in LowEx-Systemen, d.h. mit kleinem Temperaturhub, optimiert wurde. Bei einem Temperaturhub von 20K ist die Leistungsziffer ungefähr 8, d.h. für 1 kWh Wärme müssen nur 0,13 kWh Strom aufgewendet werden
- 7 Darstellung des Transformationspfades für das HPZ. Die verschiedenen Massnahmen führen zu einer Reduzierung der spezifischen Emissionen auf nur $8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2\text{a}$, falls die Wärmepumpe mit Strom aus dem Schweizer Strommix betrieben wird. Dieser Strombedarf kann auch aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden, was die spezifischen Emissionen unter die $1 \text{ kg}/\text{CO}_2$ -Linie drücken würde
- 8 Chronologie der von der Eidgenössische Kommission für die Gesamtenergiekonzeption (GEK) initiierten Massnahmen zur Senkung des Exergieverbrauchs in der Schweiz
- 9 Die benötigte Exergie für den Gebäudebetrieb kann entweder direkt in der Schweiz oder an geeigneten Standorten in Europa gewonnen werden. Die lokale Exergieerzeugung ist nur dann sinnvoll, wenn die dabei anfallende Wärme genutzt wird



anvisierten Anstieg in der Leistungszahl von elektrisch betriebenen Wärmepumpen stehen manche skeptisch gegenüber. Eine solch dramatische Verbesserung der Effizienz sei noch lange nicht in Sicht, glauben die Kritiker. Das Hauptproblem bestehe darin, dass mit sinkendem Temperaturhub die durch die Konstruktion der Pumpe bedingten Verluste zunehmen würden.

Doch Leibundgut bleibt gelassen. Die derzeit grösseren Verluste von Niederhub-Wärmepumpen könnten mit innovativen Konstruktionen verringert werden. Auf die leichte Schulter wird er das Problem des Stromverbrauchs von Wärmepumpen jedenfalls nicht genommen haben. Denn mit deren Erfolg steht und fällt auch sein ganzes Konzept. Andererseits werden Wärmepumpen mit dramatischer Effizienzverbesserung nicht für alle Aufgaben einsetzbar sein. Beim Warmwasser in der Küche beispielsweise sind höhere Temperaturen notwendig als für die Heizung. Hier ist also weniger Spielraum für eine Senkung des Temperaturhubs. Im Null-Emissions-Gebäude wird das Warmwasser für die Dusche zentral mit Hilfe einer Wärmepumpe aufbereitet. In der Küche erfolgt dann eine weitere, dezentrale Erwärmung.

Das Warmwasserproblem sei ein typisches Beispiel für etwas, das man mit einer dicken Gebäudehülle allein nicht lösen könne, sagt Leibundgut. Da brauche man Energie von aussen oder vom Dach, vorausgesetzt, man sei bereit, einen genügend grossen Solarkollektor in Kauf zu nehmen. Mit den neuen Hybridkollektoren könne so viel Energie geliefert werden, wie nach Minergie-A für Heizzwecke, Haushaltsstrom und womöglich auch Elektromobilität benötigt würde. Aber die Wärme, die der Kollektor

gratis produziert, dürfte dann nicht verwertet werden, weil das wegen der erforderlichen Fassaden-Dämmstärken zur Überhitzung führen würde. Eine sehr gute Wärmedämmung sei aber nach wie vor notwendig, geben Kritiker zu bedenken; zumindest so lange, bis der Grossteil des Stroms wirklich aus erneuerbaren Energien gewonnen werden könne. In den kommenden drei oder vier Jahrzehnten werde das aber wahrscheinlich noch nicht eintreten. Doch obwohl Leibundgut mit viel Elan argumentiert – gegen die «gut eingeführte Marke Minergie» ist er grundsätzlich nicht. Er sei auch einmal ein Befürworter von Minergie gewesen, als das Label noch jung war und er darin eine einfache und pragmatische Lösung sah. Aber inzwischen nehme der Fokus auf die Gebäudehülle überhand. Er fordert deshalb, dass der Begriff Energieeffizienz nicht auf die Verhinderung von Wärmefluss durch die Fassade reduziert wird. Die Pilotprojekte, die nach dem Null-Emissionen-Konzept zurzeit laufen oder bereits abgeschlossen sind, zeigen, dass man Energieeffizienz und Emissionsfreiheit auch unter dem Erhalt von schützenswerten Fassaden erreichen könne.

LEONID LEIVA

freier Wissenschaftsjournalist, Zürich
 steppenlobo77@gmx.net

1 Assessment of Policy Instruments for Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Buildings 2007. Diese Studie zitiert wiederum eine Studie vom Lawrence Berkley National Laboratory (2006) unter dem Titel «Sectoral Trends in Energy Use and GHG emissions» von L. Price et al.

Weiterführende Informationen: www.viaggialla.ch