

# Energie ist nicht gleich Energie: nachhaltiges Bauen mit Einbezug der Qualität der Energie

Autor(en): **Leibundgut, Hansjörg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **128 (2002)**

Heft 19: **Haustechnik-Dialog**

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80422>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Energie ist nicht gleich Energie

Nachhaltiges Bauen mit Einbezug der Qualität der Energie

**Theoretisch könnten über 90 % der Heizenergie aus der Umgebung gewonnen werden. Doch das Ziel nachhaltigen Bauens – die Reduktion von Emissionen – wird heute immer noch mehrheitlich durch sparsameren Umgang mit Energie erreicht. Dies ist zwar eine richtige, aber unvollständige Herangehensweise. Die Qualität der genutzten Energie sollte auch eine Rolle spielen. Die Einführung der Qualitätsbegriffe Energie und Exergie führt zu neuen Lösungsansätzen.**

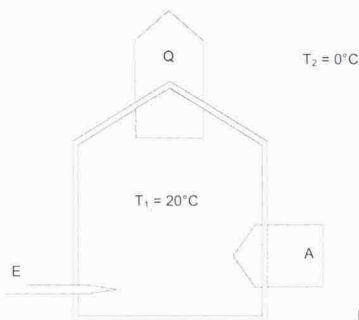
Welcher Architekt würde einen Raum allein mit der Gleichung «Volumen = Länge × Breite × Höhe» definieren? Wohl keiner, denn weitere Elemente wie etwa Licht, Farbe und Form tragen zur Qualität eines Raumes bei. Ähnlich verhält es sich mit dem Begriff der Energie – mit dem entscheidenden Unterschied, dass die Qualität der Energie seit Jahrzehnten eindeutig definiert ist. So wie der Architekt dem von ihm gestalteten Raum mit dem Volumen  $V$  mehrere zusätzliche Qualitätskomponenten zuordnet, weist die Physik dem Energiestrom zu diesem Raum auch ein Qualitätsmerkmal zu. Die beiden Qualitätskomponenten eines Energiestroms werden – basierend auf dem ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik – als Anergie- und Exergiestrom definiert.

Der erste Hauptsatz – angewendet auf ein Gebäude – besagt, dass die zugeführte Energie der abgeführten gleichkommt. Alle bisherigen Energiesparprogramme des Bundes und der Kantone sowie alle Energiegesetze und -verordnungen haben daher zum Ziel, die abgeführte Energiemenge – etwa Wärmeverluste – zu minimieren. Diese Stossrichtung ist zwar richtig, aber nicht unbedingt optimal. Denn damit wird man der Qualität der Energie nicht gerecht.

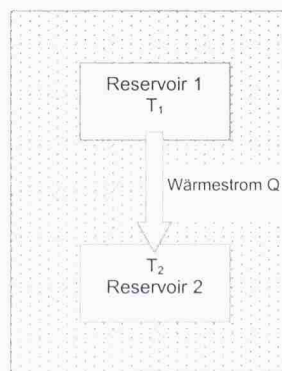
Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist gültig, wenn Wärme zwischen Reservoirs mit unterschiedlichen Temperaturen fließt (Bild 2). Der Wärmestrom  $Q$ , der vom Reservoir mit der Temperatur  $T_1$  zu einem Reservoir mit der Temperatur  $T_2$  fließt, setzt sich nach



1  
Das Bürogebäude der Amstein + Walthert AG in Zürich ist ein LEX-Gebäude (Low Exergy) gemäss der im Artikel beschriebenen Variante 2 (Architekt: Frei Architekten Aarau, Bilder: Amstein + Walthert AG)



2  
Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik gilt, wenn Wärme zwischen Reservoirs mit unterschiedlichen Temperaturen fließt



3  
Bei einer Innentemperatur von 20 °C und einer Aussentemperatur von 0 °C könnten theoretisch 90 % der Heizenergie aus der Umgebung gewonnen werden

### Das LEX-Gebäude («Low Exergy») in Zürich

Das Gebäude der Amstein + Walther AG in Zürich (Bild 1) hat eine Bruttogeschossfläche (BGF) von 7176 m<sup>2</sup>, ein Volumen von 22 600 m<sup>3</sup> (nach SIA116). Das Haus wird mit einer monovalenten Wärmepumpe geheizt und mit Erdsonden gekühlt. Für die Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und die Lift werden 95 000 kWh Strom benötigt. Diese Energiemenge wird einerseits mit Photovoltaikerelementen auf dem eigenen Dach (20 000 kWh/a) erzeugt. Andererseits wird Windenergie eingekauft: 25 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben zusammen Windkraftaktien für 50 kW Windstrom gekauft (Produktion 75 000 kWh/a). Möglich ist der tiefe Exergiekennwert von 13,2 kWh/m<sup>2</sup> deshalb, weil dem Gebäude viel Anergie aus der Abluft und dem Erdreich zugeführt wird.

der Definition des Physikers Rant<sup>1/2</sup> zusammen aus dem Anergiestrom A und dem Exergiestrom E.

$$Q = A + E \quad (1)$$

Als Exergie E (etwa mechanische Arbeit / Haushaltstrom) wird derjenige Anteil des Energiestroms Q bezeichnet, der in jede andere Energieform umgewandelt werden kann. Anergie A ist die aus der Umgebung einwirkende Energie (etwa Erdwärme). Das Verhältnis zwischen der Exergie und der Anergie ist von den Reservortemperaturen T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub> abhängig (Bild 3). Würde man den Wärmestrom Q einer idealen Wärmekraftmaschine zuführen, die zwischen den Temperaturen T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub> (Temperatur in Kelvin) betrieben wird, so könnte man einen Exergiestrom (Arbeit) erzeugen:

$$E = Q \cdot ((T_1 - T_2)/T_1) \quad (2)$$

Der Anergiestrom berechnet sich folgendermassen:

$$A = Q \cdot (T_2/T_1) \quad (3)$$

Der Wärmestrom, den ein Gebäude bei T<sub>1</sub> = 20 °C (= 293 K) über die Gebäudehülle an die Atmosphäre bei T<sub>2</sub> = 0 °C (= 273 K) abgibt, besteht nach den Gleichungen (2) und (3) aus 6,83 % Exergie und 93,17 % Anergie. In diesem Beispiel könnte mehr als 90 % der benötigten Heizenergie aus der Umgebung gewonnen werden.

### Die Anergie/Exergie-Betrachtung

Der Bewegungsspielraum in der Praxis ist aber durch den Kostenrahmen eingeschränkt. Der Bauherr entscheidet in der Regel nach folgender Prioritätenreihenfolge: Die Investitionskosten dürfen bei definiertem Komfort, bei akzeptabler Gestaltung und bei annehmbaren Folgekosten einen ersten Wert nicht überschreiten. Bei der Gestaltung werden etwa 3–6 % Kostensteigerung akzeptiert, wenn der Entscheidungsträger persönlich von einer teureren Lösung überzeugt ist. Schliesslich dürfen ökologische Kriterien die Investitionskosten eventuell um 1–2 % erhöhen, vor allem dann, wenn die Mehrkosten im Betrieb amortisiert werden können. Dabei werden in allen drei Entscheidungs-

stufen den gesetzlichen Vorschriften bezüglich Energieverbrauch und Emissionen Rechnung getragen. Seit 1976, dem Jahr der Einführung der ersten Wärmedämmvorschrift in der Schweiz, richtet sich die ganze Aufmerksamkeit auf die abgeführte Energie. Erst 1998, mit der Einführung des Paragraphen 10 a in der Besonderen Bauverordnung des Kantons Zürich, wurde es freigestellt, ob die Verschärfung der geltenden Energievorschrift mit weiteren Reduktionsmassnahmen oder mit einer Kompensation mittels erneuerbarer Energie erbracht wird. Erstmals wurde implizit formuliert, dass der Staat in erster Linie das Ziel – die Reduktion der schädlichen Emissionen – und erst in zweiter Linie den Weg dazu vorschreiben soll.

In der Praxis geht es darum, ein Optimum zwischen den Massnahmen zu finden: Kosten der Reduktion der abgeführten Energie (Wärmedämmung und -rückgewinnung etc.), Kosten der Gewinnung eines möglichst hohen Anergiestromanteils und Kosten der Transformation des Anergiestroms. Letzteres beinhaltet das Zufügen eines Exergiestroms, so dass ein Wärmestrom mit der notwendigen Temperatur resultiert. Dieser Optimierungsprozess ist sehr komplex, weil er nicht linear und zusätzlich gekoppelt ist an Kriterien des Komfortes, der Ästhetik, der künftigen Betriebskosten etc. Gerade deswegen eröffnet dieser Prozess aber sehr viele Möglichkeiten. Die Zahl der Parameter und die Zahl der gegenseitigen Abhängigkeiten wird derart gross, dass eine vollständige Darstellung aller Kombinationsmöglichkeiten unsinnig ist. Eine Beratung benötigt daher viel Fingerspitzengefühl.

### Beispiel mit drei Varianten

Zur Konkretisierung wird nachfolgend ein fiktives Gebäude mit definiertem Komfort dargestellt. Dabei werden drei unterschiedliche Lösungsansätze durchgerechnet (siehe auch Tabelle 4). Die wichtigsten Gebäudedaten sind:

V	= 1200 m <sup>3</sup>	Gebäudevolumen
A	= 760 m <sup>2</sup>	Gebäudehüllfläche
EBF	= 400 m <sup>2</sup>	Energiebezugsfläche
T <sub>R</sub>	= 20 °C	Raumtemperatur
T <sub>A</sub>	= 0 °C	Aussentemperatur
T <sub>Erde</sub>	= 10 °C	Temperatur des Erdreichs

*Variante 1:* Niedrigenergievariante mit sehr guter (und entsprechend teurer) Wärmedämmung. Warmwasser wird mittels Sonnenenergie erzeugt, die übrige Heizenergie mit Gas oder Öl. Der Anergieanteil beträgt 0 %. Die zugeführte Energie besteht aus Gas oder Öl.

*Variante 2:* Niedrigexergievariante mit mittelmässiger (kostengünstiger) Gebäudehülle. Wärme wird mittels einer Wärmepumpe erzeugt. Der technisch maximal mögliche Anergieanteil ist 79 %. Die zugeführte Energie besteht aus Strom.

*Variante 3:* Mischvariante mit guter Wärmedämmung (mittelhohe Kosten). Wärme wird mittels Totalenergiemodul erzeugt (Wärme-Kraft-Kopplung plus Wärmepumpe). Der Anergieanteil beträgt 50 %. Die zugeführte Energie besteht aus Gas.

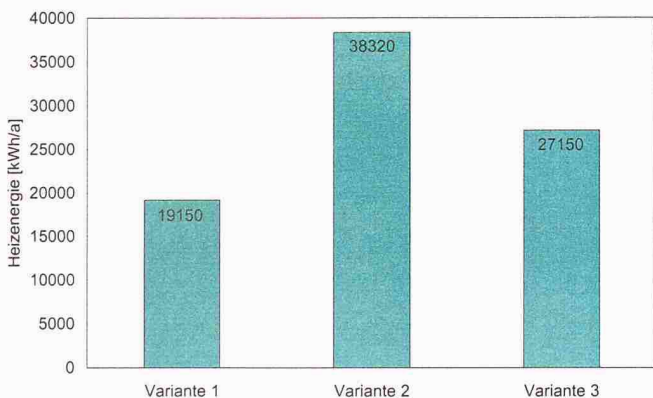


	Einheiten	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Oberfläche gegen unbeheizt	m <sup>2</sup>	760	760	760
Fensterfläche	m <sup>2</sup>	240	240	240
U-Wert-Fenster inkl. Rahmen	W/m <sup>2</sup> K	0,8	1,2	1,0
Rest-Oberfläche	m <sup>2</sup>	520	520	520
Ø U-Wert-Rest	W/m <sup>2</sup> K	0,12	0,25	0,2
Transmissionsverluste	kWh/a	22 950	37 620	30 950
Gewinn passive Sonnenenergie	kWh/a	-11 000	-11 000	-11 000
Lüftungsverluste	kWh/a	3000	7500	3000
Energie für Warmwasser	kWh/a	4200	4200	4200
Total Heizenergie	kWh/a	19 150	38 320	27 150
Art der Wärmeerzeugung (WRG = Wärmerückgewinnung, WKK = Wärme-Kraft-Kopplung)		Gaskessel Sonnenenergie Strom für WRG	Wärmepumpe Erdsonden	Gas-WKK Luft-Wasser- Wärmepumpe
Anteil zugeführter Exergie bezogen auf totale Heizenergie	%	85	21	50
Zugeführte Exergie für Betrieb	kWh/a	16 150 Gas	8050 Strom	13 600 Gas
Kosten	Fr.			
- Fenster (Mehrkosten zu Variante 2)		12 000	-	5000
- Rest-Oberfläche		52 000	16 000	26 000
- Lüftung		16 000	10 000	10 000
- Sonnenenergie		6000	-	-
- Heizung		30 000	60 000	45 000
Total Wärmedämmung + Heizungstechnik	Fr.	116 000	86 000	86 000
Jahreskosten (Zins + Amortisation)	Fr./a	8400	6550	7200
Graue Energie *, Anteil pro Jahr	kWh/a	19 300	15 100	16 500
Total zugeführte Energie = reine Exergie (Betrieb + Graue Energie)	kWh/a	35 450	23 150	30 100

\* Die Graue Energie wird hier berechnet aus den totalen Kosten multipliziert mit der mittleren Primärenergie-Intensität der Schweiz. Pro 1 Franken Bruttoinlandprodukt (BIP) werden in der schweizerischen Gesamtenergiestatistik 2,3 kWh Primärenergie (= Exergie) ausgewiesen.

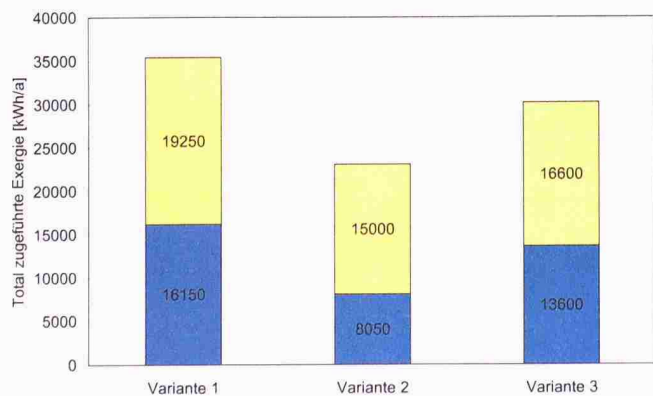
4

#### Charakterisierung der drei Hausvarianten und Zusammenfassung der Kosten



5

Darstellung der abgeführten Energiemengen bei den drei Hausvarianten (total Heizenergie). Die Qualität der Energie wird hier nicht gewertet



6

Dem Gebäude zugeführte Exergieströme: Betrieb (blau) und Graue Energie (gelb). Die Brennstoffe Öl und Gas (ebenso Holz, Kohle etc.) bestehen vor der Verbrennung aus reiner Exergie

#### Die Produktion der Exergie

Aus Minergie-Fachkreisen wird wohl eingewendet, dass die vorliegenden Darstellungen (Bilder 5 und 6) nicht zulässig seien. Denn aus 1 kWh Gas lassen sich lediglich 0,5 kWh Strom erzeugen. Nach Minergie-Standard wird daher, um die CO<sub>2</sub>-Bilanz zu berücksichtigen, die Menge an elektrischem Strom mit einem Faktor 2 multipliziert – ein Vorgehen, das bei Energie aus erneuerbaren Quellen keinen Sinn ergibt. Deshalb sind die Darstellungen in den Bildern 5 und 6 zulässig. Nachhaltiges Bauen im 21. Jahrhundert wird die Qualität der Energie einerseits und die Graue Energie in der vollständigen Betrachtungsweise andererseits berücksichtigen (d.h. mit Einbezug der Energieströme, die bei der Planung, dem Verkauf, auf der Baustelle etc. anfallen). Die mit Sicherheit in 20–30 Jahren stattfindende deutliche Verteuerung der Energie wird neue Impulse geben. Heutige Bauherren sind gut beraten, wenn sie in die Anergie-Gewinnung und Transformation investieren. Grosse Wärmetauschflächen (etwa Erdsonden oder Rohrschlangen in Bauteilen), Verteil-Systeme mit kleinen Intensitäten (etwa kleine Luftgeschwindigkeiten in Kanälen), langlebige Technikkomponenten sowie die Austauschbarkeit von Teilkomponenten sind wesentliche Massnahmen in diese Richtung.

Hansjürg Leibundgut, Dr. sc. techn., dipl. Masch.-Ing. ETH, Amstein + Walthert AG, Leutschenbachstr. 45, 8050 Zürich

#### Literatur

- 1 Rant, Z.: Exergie, ein neues Wort für «technische Arbeitsfähigkeit». Forsch. Ing. Wes. 22 (1956) 36/37.
- 2 Baehr, H. D.: Exergie und Anergie und ihre Anwendung in der Kältetechnik. Kältetechnik 17 (1965) 14/22.