

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 116 (1998)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Gebäude gesamtenergetisch beurteilt  
**Autor:** Kasser, Ueli  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79473>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.04.2026

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

Ueli Kasser, Zürich

## Gebäude gesamtenergetisch beurteilt

**Die Nachhaltigkeitsdiskussion zusammen mit Weltklimakonventionen haben zu einer Sensibilisierung geführt und die Notwendigkeit gesamtheitlicher Betrachtungen klar gezeigt. Die Erkenntnis, dass die Herstellung aller Baustoffe mit einem mehr oder weniger grossen Aufwand an Energie und den entsprechenden Umweltbelastungen verbunden ist, setzt sich immer mehr durch und verlangt nach adäquaten Beurteilungsinstrumenten.**

Die Baustoffökologie hat sich in der Vergangenheit auf die Vermeidung von besonders umweltgefährdenden Stoffen konzentriert. Bauprodukte mit Schwermetallen, Lösemitteln, Asbest, ozon-schichtabbauenden (FCKW, HFCKW) oder anderen umweltgefährdenden Stoffen sind dadurch zunehmend vom Markt verschwunden oder wurden im Rahmen gesetzlicher Regelungen verboten. Parallel dazu wurden bei der Senkung der Betriebsenergie von Gebäuden erhebliche Fortschritte erzielt. Minergie-Standard und SIA-Absenkepfad sind Ziele, an denen die Betriebsenergie von Gebäuden in Zukunft zu messen sind. Forschungsarbeiten an der Abteilung für Architektur am Technikum in Winterthur haben sich der Frage angenommen, wie die Materialwahl in der Baustoffökologie und die Minimierung der Betriebsenergie in der Praxis gesamtheitlicher angegangen werden können.

### Illustrationsbeispiele

Anhand von vier bestehenden, relativ willkürlich ausgewählten Wohnsiedlungen, die sich bezüglich Architektur, Konstruktion und Materialkonzept erheblich unterscheiden, wurden sämtliche Baustoffe identifiziert und nach Massen bilanziert. Diese umfangreichen Arbeiten sollten konkrete Erkenntnisse über die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Materialbilanz, wichtigen Gebäudekennzahlen und Betriebsenergie liefern. Die in bezug auf die Fragestellungen wichtigsten Merkmale und Kennzahlen der vier Gebäude sind zusammen mit Ansicht, Schnitt und Grundriss in den Kästchen dargestellt und im folgenden kurz beschrieben.

### Das Niedrigenergiehaus

Die Wohnsiedlung Niederholzboden in Riehen bei Basel (Bild 1) ist von der Metron AG als Niedrigenergiehaus in ökologischer Bauweise konzipiert worden. Wärmedämmung, Pufferzonen und eine kontrollierte mechanische Bedarfslüftung ergeben einen Heizenergiebedarf von nur etwa zwei Litern Heizöl pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr. Die 200 Meter lange, zweigeschossige Gebäudezeile ist relativ kompakt, das Verhältnis von Aussenfläche zu Gebäudevolumen relativ klein. Der Anteil des unbeheizten Untergeschosses am gesamten Gebäudevolumen ist im Vergleich zu den anderen Objekten gross. Mit 24% ist der Anteil der Fensterflächen an den Aussenwandflächen für ein Niedrigenergiehaus gering. Besonderes Merkmal ist die bunt gestrichene Fassade aus einer vorgehängten Dreischichtplatte. Fenster und Kaltdach sind ebenfalls Holzkonstruktionen. Untergeschoss und Decken sind aus Beton, Aussen- und Innenwände vorwiegend aus Kalksandstein.

### Kalksandsteindoppelschale über vier Geschosse

Die Wohnsiedlung Sagi-Hegi in Winterthur (Bild 2) vom Architekten Fritz Schmocker wird äusserlich durch das Sichtkalksandsteinmauerwerk geprägt und gilt als günstiger Wohnungsbau. Der Heizenergiebedarf liegt unter dem Grenzwert und wird hauptsächlich durch gute Dämmleistungen der Konstruktionen erreicht, ist jedoch deutlich höher als in Niedrigenergiehäusern. Das Gebäude mit dem Dachaufbau für die Attikawohnungen ist relativ kompakt. Der Anteil des unbeheizten Kellers ist in diesem viergeschossigen Gebäude relativ gering. Der Fensteranteil an der zweischaligen, mit Mineralwolle gedämmten Aussenfassade ist mit 26% nicht besonders gross. Untergeschoss, Treppen und Decken bestehen aus Beton, die Innenwände vorwiegend aus Kalksandstein. Die Fensterrahmen sowie die schrägen und gewölbten Dachkonstruktionen sind aus Holz. Der Innenausbau ist einfach.

### Holz auch im Untergeschoss

Konsequenter Holzbau prägt die Reiheneinfamilienhäuser von S. Saladin in Illnau-Effretikon (Bild 3). Decken, Aussen- und Innenwände sind vom Untergeschoss

bis zum Dach aus vorfabrizierten, mit Zellulosefasern gedämmten Holzelementen. Die Reihen zu drei Einheiten stehen in einer Betonwanne. Die südorientierten Räume im Untergeschoss werden als beheizte Wohnräume genutzt. Dadurch ist der unbeheizte Kelleranteil verhältnismässig gering. Als Reiheneinfamilienhäuser sind die Baukörper naturgemäss wenig kompakt, das Verhältnis von Gebäudehüllflächenfläche zu Gebäudevolumen ist im Vergleich zu den Mehrfamilienwohnungsbauten gross. Mit 165MJ Heizenergiebedarf pro Quadratmeter und Jahr kann die Siedlung nicht als Niedrigenergiehaus bezeichnet werden. Der Fensterflächenanteil von 47% an der Aussenwandfläche ist hoch. Durch die grosszügigen Grundrisse ist der Innenausbau wenig aufwendig und einfach.

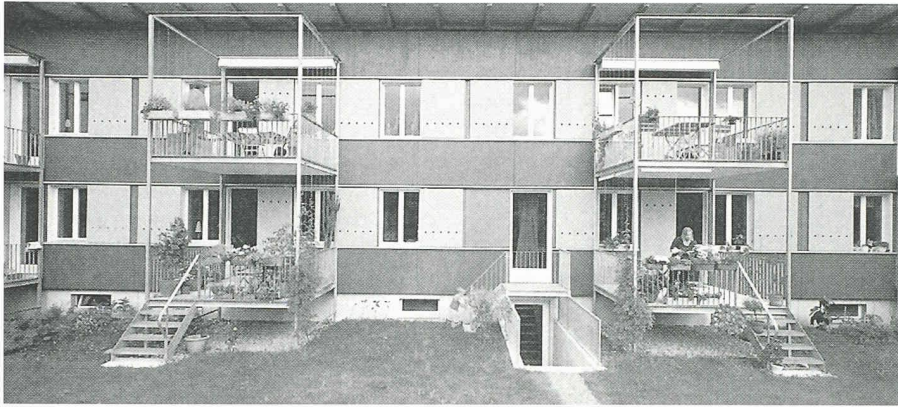
### Poren und Lüftung

Die Wohnüberbauung Hausäcker in Winterthur (Bild 3) des Teams des Architekten Joachim G. Mantel ist ein dreigeschossiger Massivbau aus Porenbeton mit mineralischem Putz. Durch die mechanische Bedarfslüftung wird ein relativ niedriger Heizenergiebedarf berechnet. Das Objekt kann als Niedrigenergiehaus bezeichnet werden. Trotz des Dachaufbaus über der zentralen inneren Erschliessung ist das Gebäudehüllflächen-Volumen-Verhältnis relativ hoch. Der unbeheizte Kelleranteil ist für ein dreigeschossiges Gebäude in der Norm. Die Holz/Metallfenster machen 31% der Aussenwandfläche aus. Die Decken und das Untergeschoss sowie ein grosser Teil der Innenwände sind aus Beton.

### Graue Energie als Indikator

Damit der Rohstoffaufwand und die damit verbundene Umweltbelastung für die Herstellung der Gebäude mit der Betriebsenergie verglichen werden kann, wurde aus den Materialbilanzen die graue Energie für alle vier Objekte berechnet. Sie setzt sich aus dem Primärenergiebedarf für alle Prozesse während der Herstellung der Baumaterialien vom Rohstoffabbau bis zum Endprodukt ab Fabrikator zusammen. Sie umfasst alle fossilen Rohstoffe und Energieträger sowie den elektrischen Strom, ohne die stoffgebundene Energie des nachwachsenden Rohstoffes Holz.

Die graue Energie ist eine Bewertungsgrösse, die für verhältnismässig viele Umweltindikatoren aussagekräftig ist. Sie bewertet direkt alle fossilen Rohstoffe mit dem Heizwert sowie die begrenzt verfü-

**Kennzahlen**

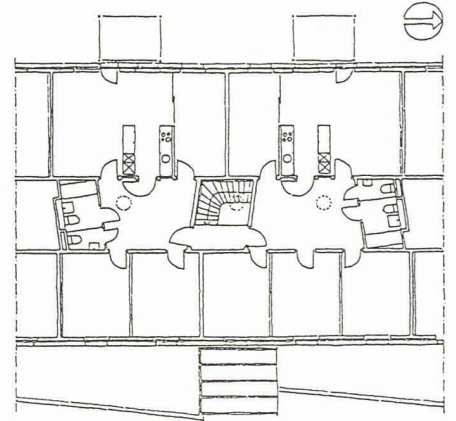
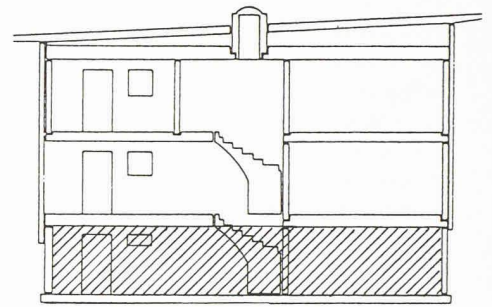
Gebäudehüllenfläche pro Gebäudevolumen	0,35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Fensterflächen/Aussenflächen	24%
Gebäudevolumen pro Energiebezugsfläche	4,7 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Heizenergiebedarf Q <sub>h</sub>	114 MJ/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf Heizung	145 MJ/m <sup>2</sup> a
Baustoffe pro Energiebezugsfläche	1883 kg/m <sup>2</sup>
Graue Energie pro Energiebezugsfläche	78 MJ/m <sup>2</sup> a

**Materialkonzept**

UG und Decken aus Beton, Aussenwände aus KS mit Glaswolle isoliert und gestrichenen Dreischichtplatten vorgehängt, Holzfenster, Kaldach, Innenwände KS mit Weissputz/Gipskarton, einfacher Innenausbau

1

Wohnsiedlung Niederholzboden in Riehen bei Basel

**Kennzahlen**

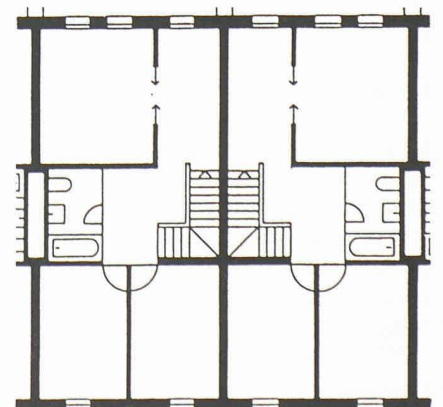
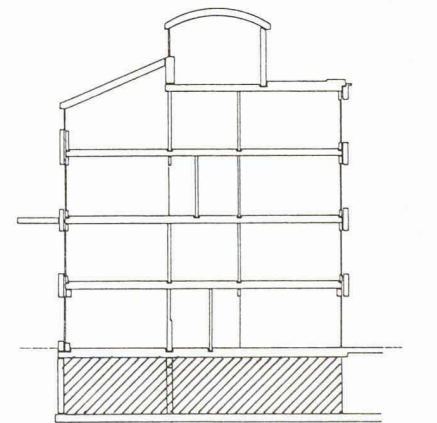
Gebäudehüllenfläche pro Gebäudevolumen	0,42 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Fensterflächen/Aussenfläche	26%
Gebäudevolumen pro Energiebezugsfläche	3,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Heizenergiebedarf Q <sub>h</sub>	175 MJ/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf Heizung	220 MJ/m <sup>2</sup> a
Baustoffe pro Energiebezugsfläche	1425 kg/m <sup>2</sup>
Graue Energie pro Energiebezugsfläche	60 MJ/m <sup>2</sup> a

**Materialkonzept**

UG und Decken aus Beton, Aussenwände doppelschalig KS mit Glaswolle isoliert, Holzkonstruktion Dach gewölbt/schräg, Holzfenster, Innenwände KS, einfacher Innenausbau

2

Wohnsiedlung Sagi-Hegi in Winterthur



baren Primärenergieformen der Elektrizitätsproduktion. Indirekt werden durch diesen Indikator pauschal auch alle Umweltauswirkungen der Treibhausgase und aller anderen durch die Energienutzung bedingten Luftschadstoffe erfasst. Auch die Risiken der Kerntechnologie und die Umweltauswirkungen der Wasserkraftnutzung sind in gewissem Masse pauschal bewertet. Im Rahmen von Ökobilanzen sind auch andere Umweltindikatoren entwickelt worden, die die Umweltauswirkungen differenzierter bewerten [1]. Allerdings fehlen im Baustoffbereich noch viele Daten für differenziertere Bewertungen, und das Zusammenfassen von Bewertungszahlen bereitet erhebliche methodische Schwierigkeiten.

### Vergleichbarkeit

Die Berechnung der grauen Energie von Baustoffen erfordert Systemabgrenzungen und Konventionen, die beispielsweise im Gegensatz zum Heizenergiebedarf noch nicht standardisiert sind. Bei der Wahl der Grauenenergiewerte hat man sich so gut wie möglich auf die zuverlässigsten Werte, die mehr oder weniger nach denselben Systemgrenzen und Berechnungsmethoden erhoben wurden, abgestützt [2]. Für Beton und Mauersteine sowie für Kunststoffe sind zuverlässige, für den schweizerischen Markt repräsentative Durchschnittswerte verfügbar. Auch zu gewissen Bauteilen wie Fenster und Türen sind umfangreiche Prozessanalysen durchgeführt worden [3].

Für Holz und Holzwerkstoffprodukte ist die Datenlage weniger befriedigend. Eine relative Vergleichbarkeit ist dennoch gewährleistet. Die mineralischen Baustoffe sind in allen Gebäuden wichtig, für dieselben Materialien wurden in den vier Gebäuden dieselben Werte verwendet. Zudem haben Gebäudeform, Anzahl Geschosse und innere Organisation einen materialunabhängigen Einfluss auf die graue Energie. Dadurch werden die Unsicherheiten durch die Wahl der Grauenenergiewerte relativiert.

### Bezugsgrösse

Da die vier Illustrationsbeispiele völlig unterschiedliche Volumina und Nutzungsflächen aufweisen, haben die absoluten Grauenenergiewerte keine Aussagekraft. Die absoluten Werte müssen auf eine einheitliche physikalische Bezugsgrösse umgerechnet werden. Als Einheiten kommen Volumina oder Flächen in Frage.

In den vorliegenden Fällen wurde die Energiebezugsfläche als Bezugsgrösse gewählt. Damit schreibt man den unbeheizten Kellerräumen keinen Nutzen zu. Gebäude mit hohen Anteilen an unbeheizten

Nebenräumen weisen dadurch materialunabhängig grössere Grauenenergiewerte auf. Auch hohe Geschosse vergrössern die auf die Energiebezugsfläche bezogene graue Energie. Damit diese mit der Betriebsenergie verglichen werden kann, muss auch der Zeitfaktor normiert werden. Die beim Bau des Gebäudes investierte graue Energie wird über bestimmte Zeiträume abgeschrieben. Jedem Bauteil wurde je nach Material eine definierte Lebensdauer zugewiesen. Die massiven Tragkonstruktionen werden beispielsweise über 60 Jahre amortisiert, Parkettversiegelungen und andere Anstrichstoffe werden rechnerisch nach acht bis fünfzehn Jahren erneuert. Die Holzfenster haben kalkulatorisch eine Lebensdauer von 25, Holz/Metallfenster von 40 Jahren. Damit trägt man der unterschiedlichen Lebensdauer bzw. dem Unterhalt in grossem Masse Rechnung. Die Leichtbauweise hat keine methodisch bedingten Vorteile gegenüber massiven Konstruktionen. Für die vier Gebäude wurden die vom Amt für Bundesbauten erarbeiteten Nutzungszeiten von Gebäudeteilen verwendet [4].

### Systemgrenzen

Aus pragmatischen Gründen und um die Interpretierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, mussten diverse Vernachlässigungen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Nicht inbegriffen sind die Materialtransporte vom Hersteller zur Baustelle, der Energiebedarf für den Aushub und andere Baustellenarbeiten. Dieser energetische Aufwand wird im allgemeinen überschätzt. Aufgrund von anderen Untersuchungen darf man davon ausgehen, dass dieser Energieaufwand weniger als ein Prozent der Gesamtenergie beträgt [5].

Auch die Materialien für die Haustechnik (Elektro, Sanitär, Heizung) sowie die Kücheneinbauten wurden nicht berücksichtigt, da zuverlässige Grauenenergiewerte bislang nicht verfügbar sind. Die Haustechnikinstallationen würden vermutlich in allen Gebäuden rund fünf bis zehn Prozent der grauen Energie ausmachen [5], bei mechanischer Bedarfslüftung mit Erdregistern kann der Anteil bis zu zwanzig Prozent betragen. Ein durchschnittlicher Kücheneinbau ohne elektrische Apparate erfordert etwa 20 000 MJ in der Herstellung. Auf 20 Jahre amortisiert und auf eine Energiebezugsfläche von 100 m<sup>2</sup> bezogen ergibt dies einen Beitrag von 10 MJ pro Quadratmeter und Jahr, bei kleineren Wohnungen entsprechend mehr [6].

Relativ energieintensiv sind gemäss ausländischen Untersuchungen Garagen, Balkone und andere Aussenanlagen, die je

nach Objekt bis zu einem Viertel zur grauen Energie beitragen [5]. Um den Einfluss von Material und Gebäudeform besser interpretieren zu können, wurden sämtliche Aussenanlagen inklusive Balkone bei den vier Illustrationsbeispielen nicht berücksichtigt. Würden alle erwähnten Vernachlässigungen berücksichtigt, ergäbe sich eine Erhöhung der grauen Energie um rund fünfzig bis siebzig Prozent.

### Die Materialfrage ist relevant

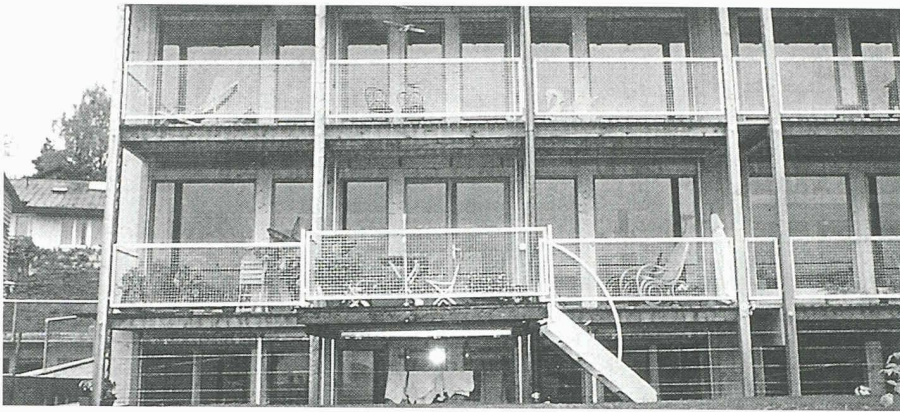
Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sind in Bild 5 und als Summe der Primärenergie von Heizung und Materialherstellung in Bild 6 dargestellt. Der Heizenergiebedarf wurde für alle Gebäude anhand einer konventionellen Feuerung auf Primärenergie mit denselben Bereitstellungsanteilen und Verteilungsverlusten berechnet. Die Resultate lassen sich als Überlagerung zweier Hauptfaktoren interpretieren.

Grösse und Gebäudeform ist der eine, Material und Konstruktion der andere massgebende Faktor. Das grosse, viergeschossige, relativ kompakte Gebäude der Wohnüberbauung Sagi-Hegi weist die geringste graue Energie pro Quadratmeter Energiebezugsfläche auf. Insbesondere die Anteile von Untergeschoss und Dach sind um so geringer, je mehr Geschosse ein Gebäude aufweist. Das Reiheneinfamilienhaus in Illnau-Effretikon weist gegenüber Sagi-Hegi ein deutlich grösseres Oberflächen-Volumen-Verhältnis auf. Die an sich grauenenergetisch günstige Leichtbauweise vermag in diesem Falle die ungünstige Gebäudegrösse und Kompaktheit nicht aufzuwiegen. Bei der Wohnüberbauung Hausacker ist wiederum der Faktor Material dominanter als die relativ günstige Gebäudegrösse und Kompaktheit. Die relativ energieintensiven Porenbetonsteine, die Holz/Metallfenster sowie die Innenwände und -bauteile aus Beton erhöhen die graue Energie signifikant.

Interessant ist auch der Fensteranteil. Die grossen Fensterflächen bei den Reiheneinfamilienhäusern in Illnau machen mehr als ein Drittel der grauen Energie aus. Einen relativ bescheidenen Einfluss hat der Innenausbau, der trotz wesentlich kürzerer Lebensdauer höchstens zehn Prozent ausmacht. Eine Mittelstellung nimmt die Siedlung Niederholzboden in Riehen ein. Der grosse Untergeschossanteil wird durch eine grauenenergetisch günstige Materialwahl teilweise aufgehoben.

### Fazit

Es ist nicht möglich, aufgrund der vier Beispiele allgemeingültige Schlussfolgerungen zu ziehen. Dennoch lassen sich

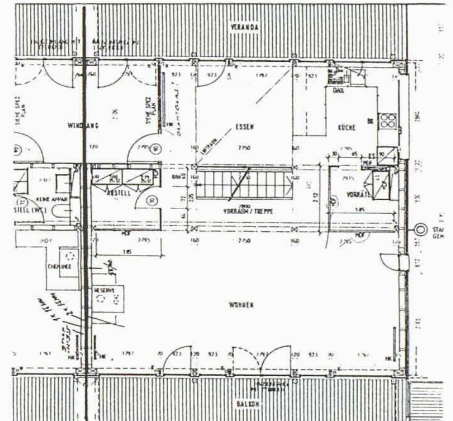
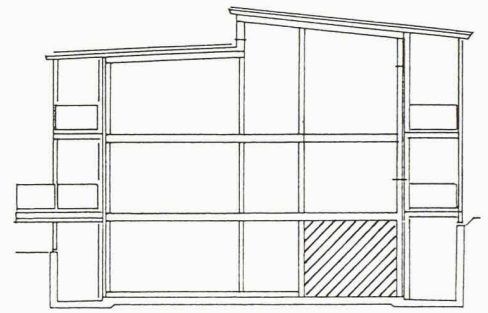


### Kennzahlen

Gebäudehüllenfläche pro Gebäudevolumen	0,53 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Fensterflächen/Aussenfläche	47%
Gebäudevolumen pro Energiebezugsfläche	3,3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Heizenergiebedarf Q <sub>h</sub>	168 MJ/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf Heizung	210 MJ/m <sup>2</sup> a
Baustoffe pro Energiebezugsfläche	938 kg/m <sup>2</sup>
Graue Energie pro Energiebezugsfläche	90 MJ/m <sup>2</sup> a

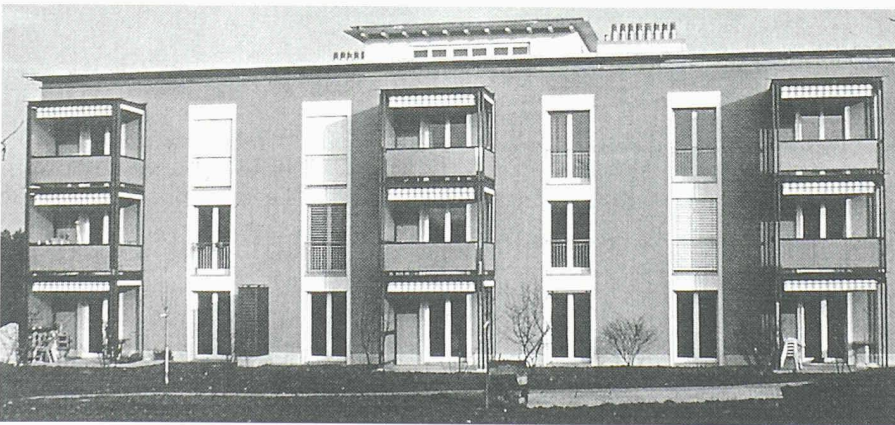
### Materialkonzept

Holzelementkonstruktion mit Zellulosefasern inkl. UG, in Betonwanne, Kaldach in Holzkonstruktion schräg, Holzfenster, Innenwände Holzelemente/Gipsfaserplatten, einfacher Innenausbau



3

Reiheneinfamilienhäuser in Illnau-Effretikon

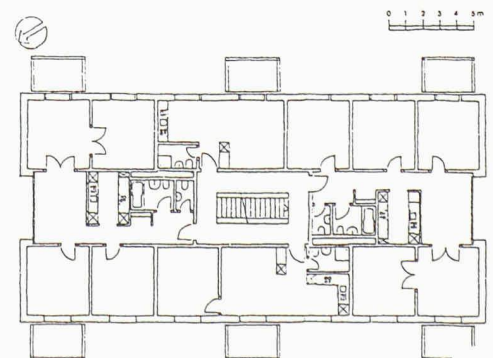
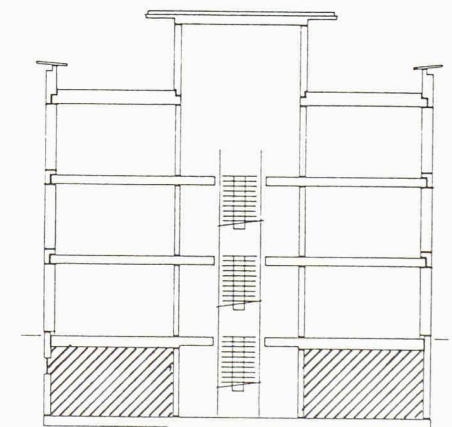


### Kennzahlen

Gebäudehüllenfläche pro Gebäudevolumen	0,42 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Fensterflächen/Aussenfläche	31%
Gebäudevolumen pro Energiebezugsfläche	3,7 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Heizenergiebedarf Q <sub>h</sub>	130 MJ/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf Heizung	165 MJ/m <sup>2</sup> a
Baustoffe pro Energiebezugsfläche	1790 kg/m <sup>2</sup>
Graue Energie pro Energiebezugsfläche	107 MJ/m <sup>2</sup> a

### Materialkonzept

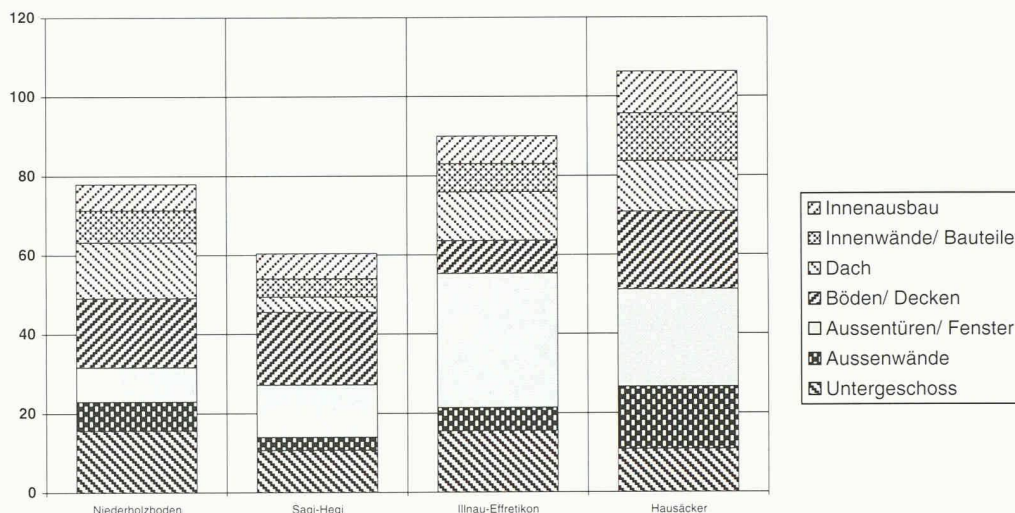
Decken und UG aus Beton, Aussenwände in Porenbeton verputzt, konventionelles Flachdach, Holz/Aluminiumfenster, Innenwände vorwiegend Beton verputzt, einfacher Innenausbau



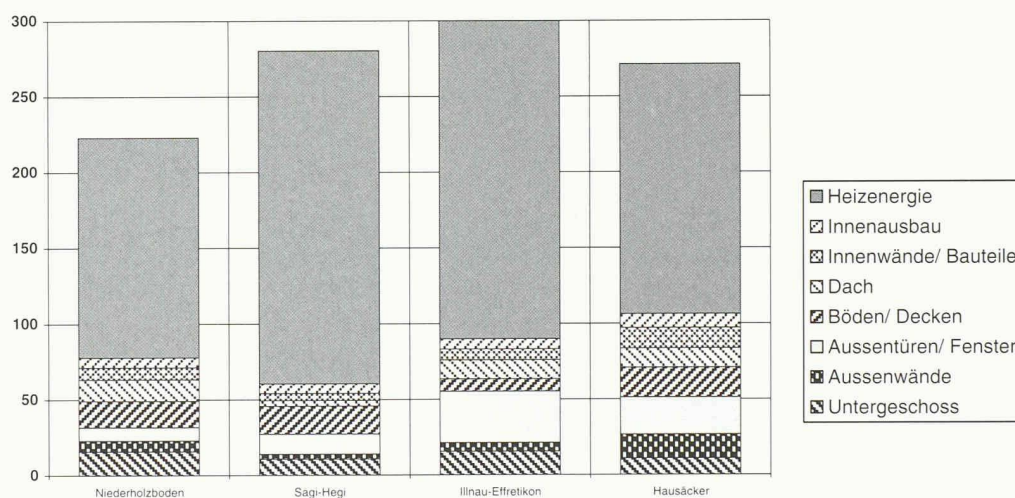
4

Wohnüberbauung Hausacker in Winterthur

5  
Graue Energie nach Gebäudeteilen ohne Aussenanlagen, Balkone, Haustechnik und Baustellenenergie unter Berücksichtigung verschiedener Nutzungszeiten. Graue Energie in MJ pro Energiebezugsfläche und Jahr



6  
Primärenergie aus konventioneller Heizung und Materialherstellung (Grauer Energie) nach Gebäudeteilen. Gesamtenergie in MJ pro Energiebezugsfläche und Jahr



erste interessante und insbesondere für die Planungsphase wichtige Erkenntnisse ableiten. Der Heizenergiebedarf ist nach wie vor auch bei Niedrigenergiebauten ein wichtiger Faktor für die ökologische Gebäudeplanung (Bild 2). Allerdings kommt der grauen Energie mit rund 100 MJ bis 150 MJ pro Quadratmeter und Jahr, wenn man die in diesen Beispielen vernachlässigten Anteile mitberücksichtigt, eine praktisch gleichwertige Bedeutung zu.

Gebäudegrösse, Kompaktheit und die Anteile der nicht beheizten Räume sowie der Aufwand für die Aussenanlagen sind massgebende Faktoren, die bereits in einer frühen Planungsphase vor der Materialisierung durch den Planer beeinflusst werden können. Die wichtigsten Kennzahlen sind die Verhältnisse von Aussenhüllflächen zu Gebäudevolumen und von Gebäudevolumen zu Energiebezugsflächen. Mit der Material- und Konstruktionswahl lässt sich die Gesamtenergie zusätzlich signifikant beeinflussen. Das gilt grundsätzlich sowohl für kurzlebigerer wie auch für die Bauteile mit längeren Nutzungszeiten.

**Verantwortung und Einfluss**

Ein wichtiger Unterschied zwischen grauer Energie und Betriebsenergie wird oft übersehen. Über die graue Energie eines Gebäudes entscheidet der Architekt während Planung und Bau definitiv und endgültig, während die Betriebsenergie durch die Nutzung oder durch spätere Sanierungen noch beeinflusst werden kann. Mit der grauen Energie haben der Planer, Architekt und Bauherr die alleinige Verantwortung für eine Energiemenge, die je nach Gebäude derjenigen von 40 bis 60 Jahren Betriebsenergie entspricht.

Adresse des Verfassers:  
Ueli Kasser, dipl. Chem. Ökologe ÖVS, Büro für Umweltheimie, Hottingerstrasse 32, 8032 Zürich. - Die besprochenen Arbeiten wurden am Zentrum für Weiterbildung, anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung an der Abteilung für Architektur des Technikums Winterthur (TWI) u.a. in Zusammenarbeit mit Prof. Werner Dubach durchgeführt

**Literatur**

[1] Braunschweig, A., Förster, R., Hofstetter, P., Müller-Wenk, R.: Developments in LCA Evaluation. Institut für Wirtschaft und Ökologie Hochschule St.Gallen 1996.  
[2] Kasser, U., Pöll, M.: Graue Energie von Baustoffen. Büro für Umweltheimie, Zürich 1995.  
[3] Amt für Bundesbauten: Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen. Bern 1994.  
[4] Vgl. verschiedene an der Empa Dübendorf durchgeführte Studien über Fensterrahmen, Wärmeschutzgläser, Türzargen und Parkettfußböden.  
[5] Geiger, B., Fleissner, Th.: Stoffliche und energetische Lebenszyklusanalysen von Wohngebäuden. In: Ganzheitliche Bilanzierung von Energiesystemen, VDI Berichte 1328, Düsseldorf 1997.  
[6] Semester und Diplomarbeiten an der Abteilung für Architektur des Technikums Winterthur (TWI).