Unsichtbarer Energieverbrauch: neueste Erkenntnisse über die Graue Energie von Gebäuden

Autor(en): **Kasser, Ueli / Preisig, Hansruedi / Wydler, Judith**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **127 (2001)**

Heft 27/28: **Energiebilanz**

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-80177

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Ueli Kasser, Hansruedi Preisig, Judith Wydler

Unsichtbarer Energieverbrauch

Neueste Erkenntnisse über die Graue Energie von Gebäuden

Die Graue Energie entspricht dem gesamten Energiebedarf, der für die Herstellung einzelner Bauteile oder eines ganzen Gebäudes benötigt wird. Sowohl der Rohstoffabbau als auch sämtliche Fertigungsprozesse und Transporte bis zum fertigen Produkt werden bei der Berechnung der Grauen Energie berücksichtigt. Damit erhält man einen Indikator für die

Höhe der Umweltbelastung. Am Zentrum für Nachhaltiges Gestalten, Planen und Bauen der Zürcher Hochschule Winterthur (ZHW) wurde am Beispiel eines Gebäudes der Wohnüberbauung «In Böden» in Zürich Affoltern (Bild 1, Foto Walti) die Graue Energie berechnet.

1

Vor dem Hintergrund knapp werdender Ressourcen und einer begrenzten Belastbarkeit der Biosphäre ist es notwendig, dass man sich im Rahmen der Nachhaltigkeit auch mit der Grauen Energie von Gebäuden beschäftigt. Diese hat sich nämlich als einfacher, praxistauglicher und zuverlässiger Indikator für den «ökologischen Rucksack» von Baustoffen, Bauteilen und Gebäuden erwiesen. Sie ist direkt abhängig vom Stoffluss, der in der Schweiz – bei einem Baustoffverbrauch[1] von einigen Tonnen pro Jahr und Einwohner – sehr hoch ist.

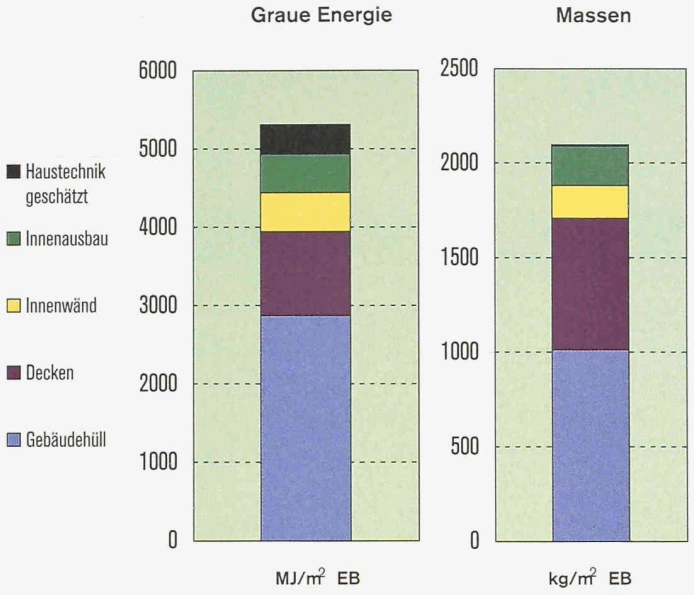
Für eine gesamtheitliche und abschliessende Beurteilung der Umweltbelastung durch ein Gebäude ist die Graue Energie jedoch in den Kontext der übrigen Bewertungskriterien von Entwurf und Konstruktion zu stellen. Eine einseitige Optik kann nämlich bei der Schlussbeurteilung zu Fehlinterpretationen führen. So lässt sich beispielsweise die Frage, ob nun Holz- oder Massivbau ökologischer ist, allein aufgrund der energetischen Aspekte nicht schlüssig beantworten.

Faktor Zeit

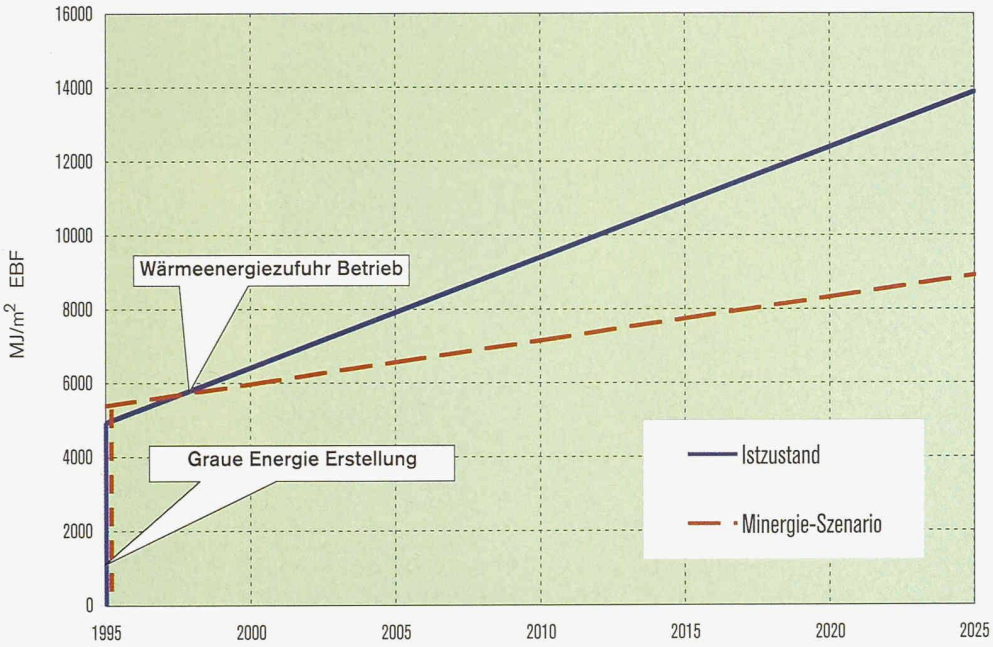
In der frühen Entwurfs- und Planungsphase kann die Graue Energie, die ein Gebäude benötigen wird, beeinflusst werden. Doch der grosse Rechenaufwand ist ein Hindernis für eine Umsetzung der Theorie in die Praxis. Denn selbst mit Hilfe von Computerprogrammen nimmt diese Aufgabe mehrere Stunden in Anspruch. Soll der Stoffffluss eines Gebäudes aber zum handhabbaren Kriterium werden, sind einfache Berechnungsmethoden gefragt. Ein solches Instrument wurde für die Beurteilung von Wettbewerbseingaben im Rahmen des Forschungsprogrammes SNARC entwickelt.[2] Es erlaubt eine schnelle Grobabschätzung und basiert auf den Erkenntnissen aus der Analyse bestehender Gebäude. Anhand der vorstädtischen Wohnüberbauung «In Böden», die 1995 fertiggestellt wurde, sollen wichtige Aspekte bei der Berechnung der Grauen Energie veranschaulicht werden. Die Wohnsiedlung umfasst drei viergeschossige Wohngebäude, die über eine eingeschossige Kindertagesstätte verbunden sind (Bild 1). Die Graue Energie wurde nach Fertigstellung anhand detaillierter Pläne und eines ausführlichen Materialbeschriebs für eines der drei Wohngebäude inklusive Untergeschoss mit Unterniveaugarageanteil[3] berechnet.

Die Anteile am Kuchen «Graue Energie»

Das ausgewählte Haus ist in Massivbauweise konstruiert worden. Untergeschosse und Decken sind aus bewehrtem Beton, die Aussenwände aus Kalksandstein mit aussen liegender Wärmedämmung und vorgehängten Faserzementplatten. Im Bild 2 sind Graue Energie und Masse pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) aufgezeichnet. Nicht berechnet wurde der Aufwand für den Aushub, die Terrain- und Umgebungsgestaltung, die Baustellenabfallentsorgung, die Baumaterialzulieferung sowie die Herstellung und Montage der Haustechnik. Verschiedene Untersuchungen ergaben, dass die nicht berücksichtigten Bereiche zusammen höchstens 10 bis maximal 15 % der gesamten Grauen

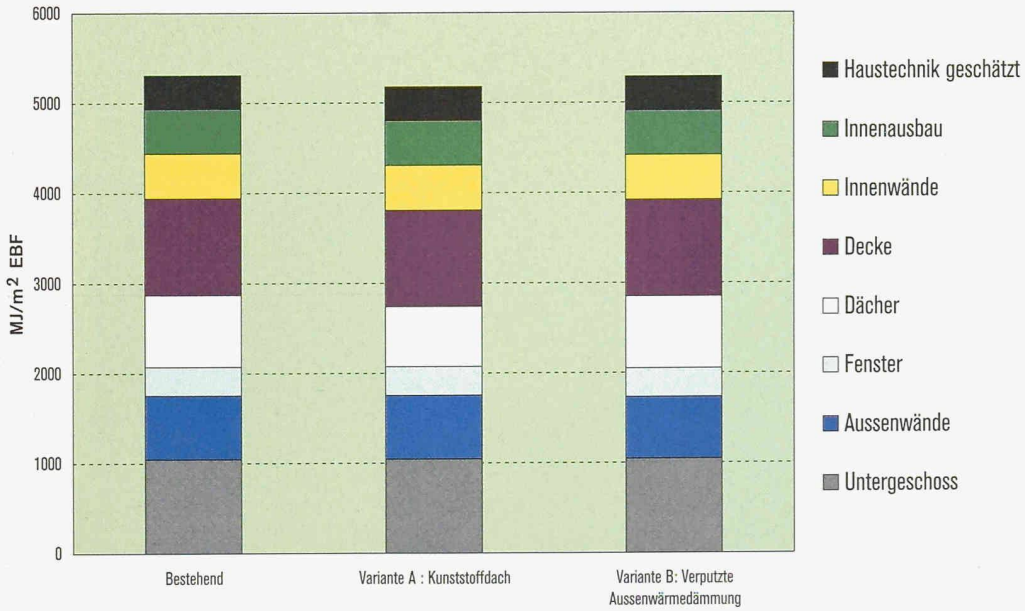


2
Graue Energie und Massen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) der viergeschossigen Wohnüberbauung «In Böden». Geschätzte Anteile von Aushub, Haustechnik, Baumaterialzulieferung, Baustellenenergie und Baustellenabfallentsorgung



3
Primärenergie in MJ pro Quadratmeter EBF und Jahr: Gesamtenergiebetrachtung der Wohnüberbauung «In Böden» über die ersten 30 Jahre Nutzung für den Istzustand (Qh etwa 210 MJ/m²a) und die Variante Minergie (Qh etwa 85 MJ/m²a)

4
Graue Energie in MJ pro Quadratmeter EBF und Jahr: Das Verändern von Dach- oder Aussenwandkonstruktionen bei einem bestehenden Gebäude hat einen geringen Einfluss auf die Graue Energie. Bestehend: Kompaktdach mit hinterlüfteter Aussenwärmedämmung und Eternitfassade. Variante A: Kunststoffdach. Variante B: Verputzte Aussenwärmedämmung



Energie ausmachen.[4] Daher würde sich die in Bild 2 dargestellte Graue Energie um maximal 750 MJ erhöhen.
Wegen der unterirdischen Garagen weist das Untergeschoss einen relativ hohen Anteil auf. Der Anteil der Fenster ist relativ gering. Untergeschoss, Aussenwände, Decken, Dach, Innenwände und Innenausbau machen ungefähr je einen Fünftel aus. Untergeschoss- und Dachanteil sind von der Anzahl Geschosse abhängig, während die Gebäudeform und die spezifische Konstruktion die Anteile der Aussenwände und Decken sowie jene vom Innenausbau und der Innenwände bestimmen. Erfahrungsgemäss darf man diese Aufteilung im Sinne einer Faustregel auf jedes mehrgeschossige Gebäude anwenden. Doch ein tiefer Wert allein macht noch kein ökologisches Gebäude aus.

Graue Energie und Betriebsenergie

Ein Vergleich von Grauer Energie und Betriebsenergie ist notwendig, um die Nachhaltigkeit eines Hauses umfassend zu beschreiben. Die Berechnung erfordert eine zeitliche Betrachtung: In Bild 3 sind die Energie, die beim Bau in die Wohnsiedlung «investiert» wurde, und die Zufuhr von Primärenergie für die Heizung während 30 Jahren aufgezeichnet. Nicht in diesem Diagramm enthalten ist die elektrische Energie für Beleuchtung, Haushaltapparate und Warmwasseraufbereitung.
Die Heizwärmezufuhr wird nach etwa 17 Jahren die Graue Energie übertreffen, weil der Heizwärmebedarf (Qh) mit etwa 210 MJ/m^{2}a verhältnismässig hoch liegt. Hätte man beispielsweise im selben Objekt einen Minergiestandard (Qh etwa 85 MJ/m^{2}a) realisiert, wäre die Summe aus Grauer Energie und Betriebsenergie für 30 Jahre deutlich niedriger (Bild 3). Bei der Minergievariante erhöht sich die Graue Energie allerdings um etwa 8 %. Die eine Hälfte davon ist auf die Erhöhung der Dämmstoffdicke von 14 auf 20 cm bei Wand und Dach zurückzuführen, die andere auf den Einsatz von Materialien und Komponenten der mechanischen Bedarfslüftung. Dieser Zusatzinvestition steht jedoch eine viel grössere Einsparung im Betrieb gegenüber. Der Mehraufwand für den Minergiestandard ist energetisch bereits nach drei bis vier Jahren amortisiert. Über dreissig Jahre betrachtet, bringt die Minergievariante eine Einsparung von 35 % respektive rund 5000 MJ/m^2. Das entspricht etwa 135 l Heizöläquivalenten oder 300 kg Kohlendioxid.
Das Beispiel der Wohnüberbauung «In Böden» untermauert die heute allgemein anerkannte Tatsache, dass ein niedriger Betriebsenergieverbrauch entsprechend dem Niveau des Minergiestandards beziehungsweise den Zielwerten der Norm SIA 180/1 2001, «Thermische Energie im Hochbau», Priorität hat. Wird jedoch ein solch niedriges Niveau erreicht, so wird die Graue Energie des Gebäudes zunehmend bedeutender. Am Beispiel «In Böden» (Bild 3) lässt sich nämlich zeigen, dass diese innerhalb einer 30 Jahres-Betrachtung mehr als die Hälfte der «Gesamtenergie» ausmacht. Deshalb stellt sich im Niedrigenergiebereich die Frage, wie auch die Graue Energie optimiert werden kann.

Fassadenmaterial und Dachaufbau

Für Dach und Aussenwand wurden am Beispiel «In Böden» verschiedene Varianten gerechnet. Zwei davon sind in Bild 4 dargestellt. Bei der Variante A wurde statt des bestehenden Kompaktdaches ein Kunststofffoliendach berechnet. Bei der Variante B wurde die hinterlüftete Fassade aus Faserzementplatten virtuell durch eine verputzte Aussenwärmedämmung ersetzt. Diese Veränderungen an der Gebäudehülle haben einen geringen Einfluss auf die Graue Energie des gesamten Gebäudes. Gegenüber dem bestehenden Bau verringert sie sich beim Kunststoffdach um etwa 3 % (Variante A), bei der verputzten Aussenwärmedämmung um weniger als 1 % (Variante B). Solche Unterschiede liegen im Bereich der Unsicherheiten und Fehlertoleranzen und sind daher vernachlässigbar.

Während bei der Betriebsenergie noch ein grösserer Spielraum vorhanden ist, lässt sich die Graue Energie nach der Entwurfsphase kaum mehr wesentlich beeinflussen. Letztere wird somit primär in der Entwurfsphase durch Architekt und Bauherrschaft bestimmt, während die Betriebsenergie sowohl in der Projektierung durch den Architekten wie in der Bewirtschaftung durch den Benutzer oder bei späteren Sanierungen beeinflusst werden kann.

Gebäudeform und -grösse

Weil bei allen Gebäuden ein grosser Teil der Grauen Energie in der Gebäudehülle und in den Unter- und Garagegeschossen enthalten ist, sind Gebäudegrösse und -form die entscheidenden Faktoren. Dach, Aussenwände und Untergeschoss machen beim Beispiel «In Böden» etwa 65 % aus. Je grösser und kompakter das Gebäude ist – kleines Verhältnis Oberfläche zu Volumen –, desto geringer ist der Anteil der energieintensiven Gebäudehülle. Bei kleineren und aufgelösteren Hausformen – grosses Verhältnis Oberfläche zu Volumen – nimmt die auf die Geschossfläche bezogene Graue Energie zu.

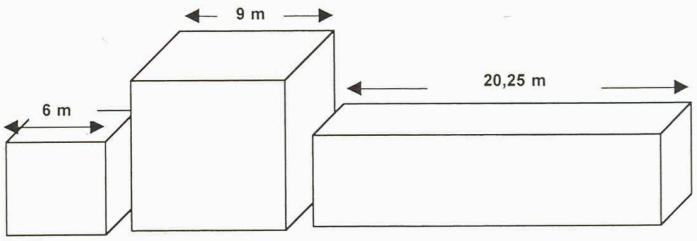
Das Verhältnis Oberfläche zu Volumen (O/V) lässt sich anhand von drei Modellgebäuden einfach illustrieren (Bild 5). Reduziert man einen Würfel mit 9 m Kantenlänge auf einen solchen mit 6 m Kantenlänge, dann bleibt zwar die Form gleich, das Verhältnis O/V nimmt jedoch deutlich zu. Pro Volumeneinheit, respektive pro Quadratmeter Geschossfläche, fällt beim kleineren Objekt mehr Oberfläche an. Dementsprechend ist auch die auf die Geschossfläche bezogene Graue Energie bei gleichem Materialeinsatz signifikant höher.

Wird ausgehend vom selben Würfel unter Beibehaltung des Volumens respektive der Geschossfläche nur die Form verändert, so ergibt sich ebenfalls eine signifikante Erhöhung der Grauen Energie. Der Einfluss von Grösse und Form wird in der Regel unterschätzt. Durch kompaktere, sich dem Würfel annähernde Formen lässt sich bis zu einem Viertel an Grauer Energie einsparen.

Selbstverständlich ist dies nicht das alleinige Kriterium zur Bestimmung von Grösse und Form. Bei allzu kompakten Gebäuden besteht die Gefahr, dass gerade jene Nischen und Bereiche verloren gehen, die für Erholung und Begegnung wichtig sein können und die einen Beitrag an eine hohe Wohnqualität erbringen können. Es gilt also, zwischen den verschiedenen Forderungen abzuwägen und in einer integralen Betrachtungsweise die optimale Lösung zu finden.

Bauweise und Fensterkonzept

Die Wahl des Materials für Aussenwände, Dächer und Decken ist eine weitere wichtige Einflussgrösse, die während der Entwurfsphase, das heisst in einem frühen Planungsstadium, festgelegt wird. Dabei geht es weniger um die einzelnen Schichten als um das Konstruktionsprinzip. Eine Massivbauweise erfordert zwischen 1,5 und 2 t Baustoffe pro Quadratmeter EBF, während



	Würfel 6 m	Würfel 9m	Längsquader
Verhältnis Oberfläche zu Volumen O/V	1 m^{-1}	0,666 m^{-1}	0,765 m^{-1}
Geschossfläche GF	76 m^2	243 m^2	243 m^2
Total MJ/m^2 GF	5000	2311	2831

5

Der Einfluss von Form und Grösse eines Gebäudes schematisch: bei gleicher Materialwahl ist das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen hauptsächlich für die Höhe der Grauen Energie verantwortlich

eine Leichtbauweise aus Holz in der Regel weniger als 1 t/m^2 aufweist. Bei einem mittelgrossen Gebäude kann man davon ausgehen, dass sich die Graue Energie bei einer Leichtbauweise aus Holz gegenüber einem Massivbau um etwa einen Drittel reduzieren lässt.
Allerdings darf auch die Bauweise analog der Form und Kompaktheit nicht nur aufgrund der Grauen Energie alleine beurteilt werden. Die Vorteile der Masse in Bezug auf Wärmespeicherung, Schall- und Brandschutz sind ebenso in eine gesamtheitliche Beurteilung mit einzubeziehen.
Ein weiterer wesentlicher Faktor stellt das Fenster dar. Je nach Grösse der Fenster, Rahmenanteil und Rahmenmaterial können Fenster pro Flächeneinheit ein Mehrfaches an Grauer Energie aufweisen als geschlossene Aussenwände. Die Graue Energie ist hauptsächlich im Rahmenmaterial enthalten. Das Wärmeschutzglas ist pro Flächeneinheit etwa gleich energieintensiv wie eine geschlossene Aussenwand. Erhöht man beispielsweise den Anteil an Metallfenstern an der Fassade eines mittelgrossen Gebäudes von 40 auf 60 %, dann erhöht sich die Graue Energie pro Geschossfläche etwa um 15 %. Bei Holz/Metall-, Kunststoff- und Holzfenstern ist der Einfluss deutlich geringer. Das Fensterkonzept ist im Hinblick auf einen möglichen Energiegewinn und Witterungsschutz zu ergänzen.

Ausblick

Wie über viele Aspekte der Nachhaltigkeit wird auch über die Graue Energie als Mass für den Ressourcenaufwand eines Gebäudes grösstenteils in der Entwurfsphase entschieden. In der Projektierungsphase ist der Einfluss auf den Stoffffluss nur noch bescheiden. Damit Planerinnen und Planer ihren Einfluss wahrnehmen können, sind die komplexen Zusammenhänge zwischen Grösse, Form und Materialwahl auf das Wesentliche zu reduzieren. Ein paar einfache Regeln müssen nachvollziehbar sein. Wie die finanziellen Folgen von Entscheiden, müssen auch die Konsequenzen für die Ressourcenintensität erkennbar werden. Mit der «Systematik zur Beurteilung von Wettbewerben und Studienaufträgen» (SNARC) sind erstmals einfache Grobabschätzungen möglich und können in den Rahmen der Nachhaltigkeit gestellt werden.

Ueli Kasser, dipl. chem., Ökologe SVU, Hansruedi Preisig, Prof. Dr., dipl. Arch. SIA, Judith Wydler, dipl. Arch. HTL, Zentrum für Nachhaltiges Gestalten, Planen und Bauen, Zürcher Hochschule Winterthur ZHW, 8401 Winterthur, www.nachhaltigesbauen.ch

Literatur

1 Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen: Nachhaltiges Bauen in der Schweiz. Bern, 1996
2 Systematik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit bei Architekturwettbewerben und Studienaufträgen. Das Projetk wurde von verschiedenen öffentlichen und privaten Bauherren sowie der KTI des Bundesamtes für Berufsbildung und Technologie BBT unterstützt. Der Schlussbericht erscheint Mitte dieses Jahres
3 Forschungsarbeit in Zusammenarbeit mit dem Awel, Abt. Energie des Kantons Zürich, präsentiert anlässlich der Veranstaltung im September 2000 an der ZHW
4 Geiger, B., Fleissner, Th.: Stoffliche und energetische Lebenszyklusanalysen von Wohngebäuden. In: Gesamtheitliche Bilanzierung von Energiesystemen, VDI-1328. Düsseldorf, 1997

Lehre und Forschung an der Zürcher Hochschule Winterthur (ZHW)

Mit der Grauen Energie befasst sich der ZHW-Nachdiplomkurs «Aspekte der Bauökologie». Er umfasst 20 Kurstage und findet freitags jeweils alle 14 Tage zwischen Ende Oktober und Anfang Juli am Zentrum für Nachhaltiges Gestalten, Planen und Bauen statt. Das Thema ist auch im Lehrplan als Vertiefungsfach «Nachhaltigkeit» im 4. Jahr des Architekturstudiums an der ZHW vertreten.
Mehrere Diplomarbeiten haben die Graue Energie von Gebäuden zum Thema, und im Rahmen von Dienstleistungsaufträgen wurden für Bauherrschaften und Architekten Gebäude und Projekte unter dem Blickwinkel der Grauen Energie analysiert und optimiert. Vor zwei Jahren wurde ein kommerzielles Computerprogramm, das ursprünglich für den Heizwärmebedarf und andere bauphysikalische Berechnungen konzipiert war, durch die Möglichkeit, auch die Graue Energie von Gebäuden zu bilanzieren, erweitert. Das Programm «Thermo 2000» für Energienachweise, Graue Energie, Wärme- und Feuchteschutz enthält eine umfangreiche Datenbank, die periodisch aktualisiert wird.

AM BAU BETEILIGTE

BAUHERRSCHAFT
Siedlungs- und Baugenossenschaft Waidmatt Zürich
PLANER
Architekturbüro A. D. P. in Zürich