Abb. 1: Das erstrangierte Wettbewerbsprojekt der Architekten Enzmann + Fischer AG, Zürich für das Altersheim Trotte in Zürich-Wipkingen.

Graue Energie im Fokus

In einem energieeffizienten Gebäude entspricht die auf Jahreswerte umgerechnete Graue Energie ungefähr der Betriebsenergie. Damit rückt diese «versteckte» Energie ins Blickfeld von Bauherrschaften und Gebäudeplanern. Mit dem Merkblatt SIA 2032 nimmt sich der SIA dem Thema an. **Heinrich Gugerli, Rolf Frischknecht, Ueli Kasser, Martin Lenzlinger**

In unserer gebauten Umwelt – in Gebäuden und Anlagen – steckt viel Energie. Typische Werte dieser sogenannten Grauen Energie liegen für Gebäude zwischen 1500 MJ und 5000 MJ je m² Geschossfläche respektive zwischen 50 und 150 MJ pro m² und Jahr und damit in etwa auf dem Niveau der Betriebsenergie von effizienten Bauten, beispielsweise von Minergie-P- oder Minergie-Häusern. Der Vergleich macht deutlich, dass die für die Herstellung der Baustoffe, für die eigentliche Erstellung des Gebäudes sowie für den späteren Rückbau und die Entsorgung notwendige Energie keineswegs eine vernachlässigbare Grösse darstellt. Das dürfte aber nur einer der Gründe für die verstärkte Thematisierung der Grauen Energie in den

faktor
Architektur Technik Energie
kompakt 01

letzten Jahren sein. Die Berücksichtigung der «versteckten» Energie ist die Folge einer gesamtheitlichen Betrachtungsweise, in welcher der Lebenszyklus eines Gebäudes den einzig relevanten Zeitraum für eine Bewertung bildet. Die einseitige Fokussierung auf die Betriebsenergie sollte spätestens seit der Publikation des SIA Effizienzpfades [1] im Jahre 2006 Vergangenheit sein. Neben dem Energiebedarf für die Beheizung und Kühlung von Räumen und für die Wassererwärmung sind gemäss dieser SIA-Dokumentation drei weitere Positionen im Energiebudget eines Gebäudes von Bedeutung: die Graue Energie, die Energie für Beleuchtung und Geräte sowie die durch das Gebäude induzierte Mobilität. Die Versorgung von Leuchten und Geräten mit Elektrizität ist das Thema der Norm SIA 380/4 [2] und zur Mobilität ist ein Merkblatt des SIA in Vorbereitung. Nachhaltig bauen, so das Fazit, setzt einen weiten Blick voraus.

Einheitliches Verfahren

Die Erhebung und rechnerische Behandlung von Stoff- und Energiebilanzen ist eine vergleichsweise junge Disziplin. Entsprechend kontrovers werden die Rahmenbedingungen dazu diskutiert, also Bilanzgrenzen, Methoden und Datengrundlagen zur Berechnung der Grauen Energie von Bauten. Diesen Mangel an Standardisierung will das neue Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie von Gebäuden» [3] beheben. Die knapp 40-seitige Schrift schafft in erster Linie eine Übereinkunft zur Berechnungsmethode der Grauen Energie von Gebäuden und dient dadurch nicht nur der Verständigung unter den am Bau Beteiligten, sie stellt auch sicher, dass einheitliche Systemgrenzen und Datenquellen zum Einsatz kommen. Dies ist vor allem in Auswahlverfahren, beispielsweise in Wettbewerben und Vorstudien mit Variantenvergleich, von Bedeutung. Denn durch die Anwendung des Merkblattes werden die Resultate nachvollziehbar und vergleichbar.

Form und Grösse des Gebäudes vor Materialisierung

Die Eignung des im Merkblatt präsentierten Verfahrens zur Bewertung von Vorstudien und Wettbewerbsbeiträgen ist kein Zufall. Denn in den Phasen Strategische Planung, Vorstudien und Vorprojekt fallen die Entscheide mit einem massgebenden Einfluss auf die Graue Energie des zukünftigen Bauwerkes. Die Entscheidungsgrundlagen zur Frage «Neubau oder Sanierung?» sind ohne Überlegungen zur Grauen Energie unvollständig. Die Form und die Grösse eines Gebäudes beeinflussen den Aufwand an Grauer Energie massgeblich. Schon die Materialisierung hat deutlich geringere Auswirkungen als die erwähnten Kriterien, wie überhaupt mit dem Planungsfortschritt die Einwirkungsmöglichkeiten des Planungsteams schwinden. Bislang unbeantwortet ist die Frage, ob energieeffiziente Bauweisen zu einem höheren Verbrauch an Grauer Energie führen. Auf der einen Seite erscheint der Zusammenhang plausibel, da verbesserte Bauweisen höhere Dämmstärken, wärmetechnisch optimierte Fenster und aufwändigere Lüftungssysteme bedingen. Andererseits ergeben sich aus den Effizienz-Bestrebungen entgegengesetzte Tendenzen: Optimierte Formfaktoren, innovative konstruktive Lösungen und schlanke Haustechnikkonzepte heissen die Stichworte dazu.

Zum Berechnungsverfahren und den Kennwerten

Die Graue Energie eines Gebäudes entspricht der Summe der entsprechenden Werte aller Bauteile, auch jener, die nach Ablauf der Nutzungsdauer als Ersatz hinzukommen. Der Aufwand für den Rückbau des Gebäudes ist ebenfalls Teil der Grauen Energie gemäss SIA 2032. Nicht dazu gehörig ist der Stoff- und Energieinput für den Betrieb und den Unterhalt des Gebäudes. Als Bilanzperimeter gilt in der Regel die Grundstücksgrenze respektive die Aussenabmessungen einzelner Gebäudeteile, die von anderen Teilen gemäss SIA 416/1 abzugrenzen sind.

Die Graue Energie einzelner Bauteile – und einzelner Schichten dieser Teile – ergibt sich aus deren Abmessungen, multipliziert mit den spezifischen Werten aus dazu geeigneten Listen [4] [5] [6]. Die Strukturierung der Berechnung erfolgt nach Elementen gemäss Elementkostengliederung des CRB [7]. Über die Nutzungsdauer lassen sich Bauteil- oder Gebäudewerte in Jahreswerte umrechnen. Um den grossen Unterschieden in der Nutzungsdauer von Bauteilen Rechnung zu tragen und gleichzeitig vergleichbare Resultate zu generieren, sind zur Berechnung der Jahreswerte die im Merkblatt aufgeführten Standardwerte der Nutzungsdauer von Bauteilen respektive einzelner Schichten zu verwenden. Als Kennwerte ergeben sich Werte zur Grauen Energie beziehungsweise zu den Treibhausgasemissionen für die Erstellung des Gebäudes pro m^2 Geschossfläche respektive Werte inklusive Ersatz pro m^2 Geschossfläche und Jahr. Bei Bauteilen mit mehreren nicht trennbaren Schichten und mit unterschiedlicher Nutzungsdauer ist die jeweils kürzeste Dauer ausschlaggebend. Gleiches gilt, wenn für den Ersatz einer Schicht benachbarte Schichten entfernt werden müssen. Dass einzelne Materialien eines Bauteils voneinander trennbar sind, ist vor allem bei Konstruktionen mit grossen Unterschieden in der Nutzungsdauer der Schichten wichtig.

Vereinfachungen

Um den Berechnungsaufwand für die Graue Energie zu beschränken und den Nachweis auf für die frühen Planungsphasen handhabbar zu machen, wurde eine Reihe von Vernachlässigungen und Vereinfachungen ins Berechnungsverfahren eingeführt.
Aufgrund ihres geringen Anteils (von einigen Prozenten) an der gesamten Grauen Energie eines Gebäudes sind die Transporte vom Material- und Teilelager zur Baustelle ebenso vernachlässigbar wie der Aufwand für den Baustellenbetrieb. Unberücksichtigt in der Berechnung nach SIA 2032 bleiben auch Treppen und Schächte, Türen und Türzargen sowie kleine Bauteile. Die diese Bauteile umgebenden Decken und Wände gehen denn auch ohne Abzüge der Aussparungen in die Berechnung ein. Unberücksichtigt bleiben nach SIA 2032 auch Elektro- und Sanitärinstallationen.

Datengrundlagen und Bewertungsgrössen

Zur Berechnung der Grauen Energie nach SIA 2032 dienen die Resultate von ecoinvent, des gemeinsamen Projektes der Empa und mehrer schweizerischer Bundesämter [4]. In dieser Datensammlung sind Angaben zum kumulierten Energieaufwand (KEA), zu den Treibhausgasemissionen und weiteren umweltbezogenen Bewertungsgrössen von Energieträgern, Energieumwandlungstechnologien, Werkstoffen, Produkten und Dienstleistungen aus allen Wirtschaftszweigen verfügbar. Für Baustoffe sind die ecoinvent-Daten in einer handlichen Liste der KBOB zusammengefasst [5]. Gemäss Merkblatt SIA 2032 ist die Graue als die Summe der nicht erneuerbaren Primärenergien definiert. Diese umfassen die fossile und nukleare Energien, also ohne Wasserkraft und ohne Energien aus nachwachsenden Rohstoffen. Dies stellt im Vergleich zur bisherigen Praxis [9] einen Systemwechsel dar. In einer Reihe von Werkzeugen für das nachhaltige Bauen wie SNARC, eco-devis oder dem SIA Effizienzpfad wurde die mit Wasserkraft erzeugte Elektrizität bei der Grauen Energie berücksichtigt. Im Sinne einer Vereinheitlichung soll in Zukunft im Normenwerk des SIA konsequent zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieträgern unterschieden werden. In den Treibhausgasemissionen ist der kumulierte Ausstoss von Treibhausgasen subsummiert, bezogen auf die Leitsubstanz CO_2.
Auf den gleichen Daten wie das SIA Merkblatt basiert der elektronische Bauteilkatalog, ein für Planer und Systemanbieter hilfreiches, webgestütztes Werkzeug [5]. Durch Auswahl aus einer Bibliothek von Bauteilen und Materialien sowie durch Variation von Schichtdicken konfiguriert der Nutzer des Webangebotes sein projektentsprechendes Bauteil. Der Rechner liefert nicht nur die nackten Zahlen der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen, sondern differenziert diese Resultate – rechnerisch und

Abb. 2: 2000-Watt-Siedlung Sihlbogen der Baugenossenschaft Zurlinden in Zürich-Leimbach.

grafisch – nach den einzelnen Schichten des Bauteils. Das ermöglicht eine Optimierung von Konstruktionen nach ökologischen Grundsätzen. Insofern vereinfacht der elektronische Bauteilkatalog die Berechnung der Grauen Energie und der Grauen Treibhausgasemissionen von Gebäuden.
In Wettbewerben und Vorstudien kommt zudem häufig die Wettbewerbskalkulation des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich zum Einsatz [8].

Ein Beispiel für die Anwendung im Architekturwettbewerb

Das 1960 erbaute Altersheim Trotte in Zürich Wipkingen ist eine der ältesten Einrichtungen dieser Art in der Stadt Zürich. Im Bauentwicklungsplan der Altersheime war ursprünglich eine Erneuerung und Instandsetzung des Bettenhochhauses geplant. Vertiefte Machbarkeits- und Kostenstudien haben jedoch ergeben, dass ein Ersatzneubau nur marginal höhere finanzielle Mittel als das ursprünglich geplante Vorgehen erfordert. Das Altersheim Trotte vermag zudem den Anforderungen an zeitgemässe Strukturen und effiziente betriebliche Abläufe nicht mehr zu genügen. Aufgrund dieser Sachlage wurde entschieden, die bestehenden Bauten abzubrechen und dadurch Platz zu schaffen für ein neues, zeitgemässes Altersheim mit 105 Betten.
Im Rahmen des Projektwettbewerbes galt es nicht nur, die baurechtlichen Möglichkeiten optimal zu nutzen und ein den heutigen Bedürfnissen angepasstes Projekt zu entwerfen, sondern auch erstmals in einem Projektwettbewerb der Stadt Zürich den hohen Anforderungen ökologisch nachhaltiger Bauweisen gerecht zu werden. Mit

faktor
Architektur Technik Energie
kompakt 01

Graue Energie: wichtige Einflussfaktoren

Phase	Kriterium	Empfehlungen
Strategische Planung	Verdichtetes Bauen	Eine hohe Ausnützungsziffer fördert verdichtetes Bauen und ermöglicht grosse Gebäudevolumen. In Kombination mit kompakten Formen sind dies die wichtigsten Faktoren der Grauen Energie.
	Neubau oder Umbau?	Oft ist ein Neubau anstelle eines Umbaus die bessere Lösung. Der Mehraufwand an Grauer Energie lässt sich in kurzer Zeit durch Einsparungen bei der Betriebsenergie kompensieren, abgesehen von den Vorteilen wie Nutzungsflexibilität, Wirtschaftlichkeit und Komfort.
	Unterterrainbauten	Gebäudeteile unter Terrain (z. B. Tiefgaragen) benötigen überdurchschnittlich viel Graue Energie, insbesondere bei Bauten, die sich im Grundwasser oder nicht unter einem Gebäude befinden.
Vorstudien	Volumen und Kompaktheit	Grösse und Kompaktheit von Gebäuden sind die wichtigsten Kriterien der Grauen Energie. Mit wachsenden Volumen nimmt die spezifische Oberfläche ab. Der gleiche Effekt ergibt sich durch kompakte Formen mit grossen Bautiefen und geringer Gliederung der Hülle.
Projektierung	Tragwerkoptimierung	Sicherheitstechnische, gestalterische und wirtschaftliche Aspekte stehen heute bei der Tragwerkplanung im Vordergrund. Obwohl 60 % der Grauen Energie eines Gebäudes auf das Tragwerk entfallen, ist dieses Kriterium in der Regel kein Thema.
	Materialisierung der Gebäudehülle	Die Gebäudehülle mit einem Anteil von 30 % bis 40 % an der gesamten Grauen Energie eines Gebäudes weist häufig ein grosses Potenzial auf: Leichte Aussenwände sind massiven oder gar doppelwandigen Konstruktionen vorzuziehen. Eine gute Wärmedämmung rechtfertigt den (zusätzlichen) Aufwand an Grauer Energie.
	Fensterplanung	In Fenstern steckt viel Graue Energie, insbesondere in Rahmen aus Metall.

Tabelle 2: Einflussfaktoren der Grauen Energie, nach Planungsphasen geordnet.

Gebäudedaten gemäss Norm SIA 416 und SIA 416/1		
Geschossfläche (A_{GF})	11 692 m²	
Energiebezugsfläche (A_E)	8966 m²	
Gebäudehüllfläche (A_{th})	6993 m²	
Gebäudehüllzahl (A_{th}/A_E)	0,78	
Grenzwert Heizwärmebedarf ($Q_{h,li}$)	157 MJ/m²	
Heizwärmebedarf nach Minergie-P (Q_h)	24,9 MJ/m²	
Primäranforderung Minergie-P ($Q_h/Q_{h,li}$)	0,17 (< 0,20)	
Betrieb (Wärmepumpe mit Erdsonden, JAZ 3,9)		
Primärenergie gesamt, pro m² Energiebezugsfläche	37,8 MJ/m²	
Primärenergie nicht erneuerbar, pro m² Energiebezugsfläche	13,9 MJ/m²	
Treibhausgasemissionen, pro m² Energiebezugsfläche	37,8 kg/m²	
Graue Energie und Treibhausgasemissionen gemäss Merkblatt SIA 2032		
Durchschnittliche Nutzungsdauer der Bauteile	45 Jahre	
Durchschnittliche Nutzungsdauer des Rohbaus	56 Jahre	
Durchschnittliche Nutzungsdauer des Ausbaus	24 Jahre	
pro m² Geschossfläche	3150 MJ/m²	296 kg/m²
pro m² Energiebezugsfläche	4094 MJ/m²	386 kg/m²
pro m² Geschossfläche und Jahr	78 MJ/m²	6,4 kg/m²
pro m² Energiebezugsfläche und Jahr	101 MJ/m²	8,3 kg/m²

Tabelle 3: Gebäude- und Energiedaten zum erstrangierten Wettbewerbsprojekt für das Altersheim Trotte in Zürich-Wipkingen.

der sehr kompakten Gebäudeform, der äusserst effizienten Hülle, mit passiver Sonnenenergie- und optimaler Tageslichtnutzung soll der Minergie-P-Standard erreicht werden. Zudem sollen die Vorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft umgesetzt werden. Konkret betrifft dies beim Altersheim Trotte die Betriebsenergie, die Baustoffe und die Mobilität.

Im Hinblick auf die hohen ökologischen Anforderungen wurde die Wettbewerbskalkulation [8] zur Abschätzung der Investitionskosten und der Grauen Energie, welche das Amt für Hochbauten den Teilnehmenden zur Verfügung stellt, um ein Modul für Betriebsenergie erweitert. Damit können die Wettbewerbsteilnehmenden aufgrund der Eingaben zur Ermittlung der Investitionskosten gemäss Elementkostengliederung [7] gleichzeitig überprüfen, ob die Entwürfe die Primäranforderung von Minergie-P an die Gebäudehülle erfüllen und der Aufwand an Grauer Energie vertretbar ist.

Im Architekturwettbewerb steht das räumliche Konzept der Entwürfe im Vordergrund und nicht die Systemwahl für einzelne Konstruktionen. Beim Vergleich der Wettbewerbsprojekte ist es sinnvoll, nur die Elemente zu betrachten, welche in diesem Stadium wesentlich beeinflussbar sind. Deshalb sind für die meisten Elemente fixe Werte pro m² Bauteil- bzw. Geschossfläche angegeben. Beim Altersheim Trotte sind in der Wettbewerbskalkulation für die Aussenwände im Erdgeschoss/Obergeschoss vorgegebene Werte für eine beschränkte Anzahl von Ausführungsvarianten zur Auswahl aufgeführt. Neben der Variantenwahl bei den Elementen steht in dieser Phase die Optimierung über die Mengen der Bauteilflächen, d.h. über die Grösse und Form des Gebäudes, an.

Von der Jury wurde das Projekt «Lila2» der Architekten Enzmann + Fischer AG, Zürich, mit dem 1. Rang ausgezeichnet. Ein kompakter, grosser Kubus wird azentrisch in das langgezogene Grundstück gesetzt, so dass gegenüber dem Quartier ein angemessener Freiraum bleibt. Positiv auf die Wirtschaftlichkeit und die ökologische Nachhaltigkeit wirkt sich der sehr kompakte Baukörper aus. Insgesamt hat sich das Projekt zur Erfüllung der hohen ökologischen Anforderungen als geeignet erwiesen. Dennoch ist es wichtig, Einschränkungen von Minergie-P, etwa im Hinblick auf die Vielfalt der möglichen städtebaulichen Lösungen, auch in Zukunft vor jeder Ausarbeitung eines Projektes im Rahmen einer Machbarkeitsstudie sorgfältig abzuwägen.

Das Projekt unterschreitet die Primäranforderung von Minergie-P deutlich. Die Graue

					Graue Energie		Treibhausgasemissionen	
					Erstellung	pro Jahr	Erstellung	pro Jahr
EKG	**Bauteil**	**Bezugsgrösse**		**Einheit**	**MJ**	**MJ**	**kg**	**kg**
D0	Baugrubenaushub	Grubenvolumen	13 800	m³	1 794 000	30 360	111 780	1932
D2	Fundamentplatte	Bauteilfläche	2100	m²	1 575 000	25 200	184 800	3150
E0	Decken	Bauteilfläche	10 126	m²	9 822 220	162 016	1 113 860	18 227
E0	Balkone	Bauteilfläche	0	m²	0	0	0	0
E1	Foliendach, Betondecke	Bauteilfläche	2000	m²	3 200 000	74 000	380 000	6200
E2	Stützen	Stück	0	Stk.	0	0	0	0
E3	Aussenwände UG	Bauteilfläche	960	m²	931 200	15 360	115 200	1824
E4	Aussenwand, hinterlüftet Feinsteinzeug	Bauteilfläche	2213	m²	3 297 370	68 603	272 199	5533
E5	Holz-Metall-Fenster	Bauteilfläche	1200	m²	1 560 000	54 000	104 400	3480
E6	Innenwände, tragend	Bauteilfläche	7591	m²	5 085 970	83 501	561 734	9109
I2	Heizung	Energiebezugsfläche	8966	m²	815 906	26 898	49 313	1614
I3	Lüftung, Klima	Energiebezugsfläche	8966	m²	1 613 880	77 108	98 626	4931
M1	Trennwände und Innentüren	Geschossfläche	11 692	m²	7 015 200	292 300	467 680	18 707
M3	Bodenbeläge							
M4	Wandbeläge							
M5	Deckenbekleidungen							
	Total	**Absolut**			**36 710 746**	**909 346**	**3 459 592**	**74 707**

Tabelle 4: Bilanz der Grauen Energie auf Stufe Vorstudie/Vorprojekt des Altersheims Trotte in Zürich. Darstellung gemäss Tool «Graue Energie» zum SIA Merkblatt 2032.

Energie liegt für die zugrunde gelegte Nutzungsdauer der Tragstruktur von 60 Jahren im Bereich des Richtwertes von 100 MJ pro m² Energiebezugsfläche gemäss SIA Effizienzpfad [1]. Im Vergleich dazu ist das Projekt im 2. Rang mit einer Gebäudehüllzahl (A/EBF) von 1,10 wesentlich weniger kompakt und weist einen um 25 % höheren Wert an Grauer Energie aus.

Die Bilanz (Tabelle 4) zeigt, wie sich die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen auf die einzelnen Elemente aufteilen. Die Erstellung des Rohbaus erfordert 74 % der Grauen Energie respektive 82 % der Treibhausgasemissionen. Auf Jahresraten umgerechnet, benötigt der Rohbau 56 % der Grauen Energie und verursacht 66 % der Treibhausgasemissionen. Bei den Installationen (Elemente I2 und I3) werden lediglich Heizung und Lüftung/Klima ausgewiesen. Auf die Erstellung der Installationen entfallen 7 % der Grauen Energie und 4 % der Treibhausgasemissionen, was anteilige Jahresraten von 11 % respektive 9 % ergibt. Für den Ausbau (Elemente M1 bis M5) wurde ein Erfahrungswert aus anderen Projekten zugrunde gelegt. Gegenwärtig wird für das Altersheim Trotte das Vorprojekt ausgearbeitet. Dabei gehört auch die weitere Optimierung der Grauen Energie zur Aufgabenstellung.

Autoren

Heinrich Gugerli, Dr. Ing., dipl. Ing. ETH/SIA, Fachstelle nachhaltiges Bauen, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich
Rolf Frischknecht, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH/SIA, esu-services, Uster
Ueli Kasser, dipl. Chemiker, Büro für Umweltchemie, Zürich
Martin Lenzlinger, Dr. phil., Physiker SIA, Zürich
Die Autoren sind Mitglieder der SIA-Kommission 2032 Graue Energie von Gebäuden

Quellen

[1] Dokumentation SIA 0216: SIA Effizienzpfad Energie, SIA, Zürich 2006
[2] Norm SIA 380/4: Elektrische Energie im Hochbau, SIA, Zürich 2007
[3] Merkblatt SIA 2032: Graue Energie von Gebäuden, SIA, Zürich 2008
[4] ecoinvent-Daten v2.0, ecoinvent-Zentrum, Dübendorf 2007
[5] Ökobilanzdaten im Baubereich; Empfehlung 2007/1. Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB), Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau (eco-bau) und Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren (IPB), Bern 2007
[6] Elektronischer Bauteilkatalog, www.bauteilkatalog.ch. Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau (ecobau) und Bundesamt für Energie (BFE), Bern 2007
[7] CRB-Norm 506 502: Elementkostengliederung, Nachdruck 2008, CRB, Zürich 2008
[8] Wettbewerbskalkulation Wirtschaftlichkeit und ökologische Nachhaltigkeit. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich, 2008
[9] Ökologische Bewertung mit Hilfe der Grauen Energie, Schriftenreihe Umwelt Nr. 307; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1999.