

Forum Chriesbach: Graue Energie und Stromverbrauch gleichbedeutend

Die Eawag ist eine der vier Forschungsanstalten des ETH-Bereichs. Diese Forschungsinstitutionen bilden wissenschaftliche Kompetenzzentren, die langzeitorientierte Lösungen für zentral wichtige Problemstellungen – wie den Umgang mit Wasser, Energie, Boden, Mobilität und Materialien – erarbeiten. Sie leisten damit wesentliche Beiträge zur nachhaltigen Nutzung wichtiger Ressourcen und für eine zukunftsfähige wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung. Es ist ganz im Sinn der Missionen von Eawag und ihrem Nachbarinstitut Empa, neueste Erkenntnisse aus der eigenen Forschung in ihrem Immobilienmanagement anzuwenden, zu testen und sichtbar zu machen. Das Forum Chriesbach ist ein Musterbeispiel dafür.

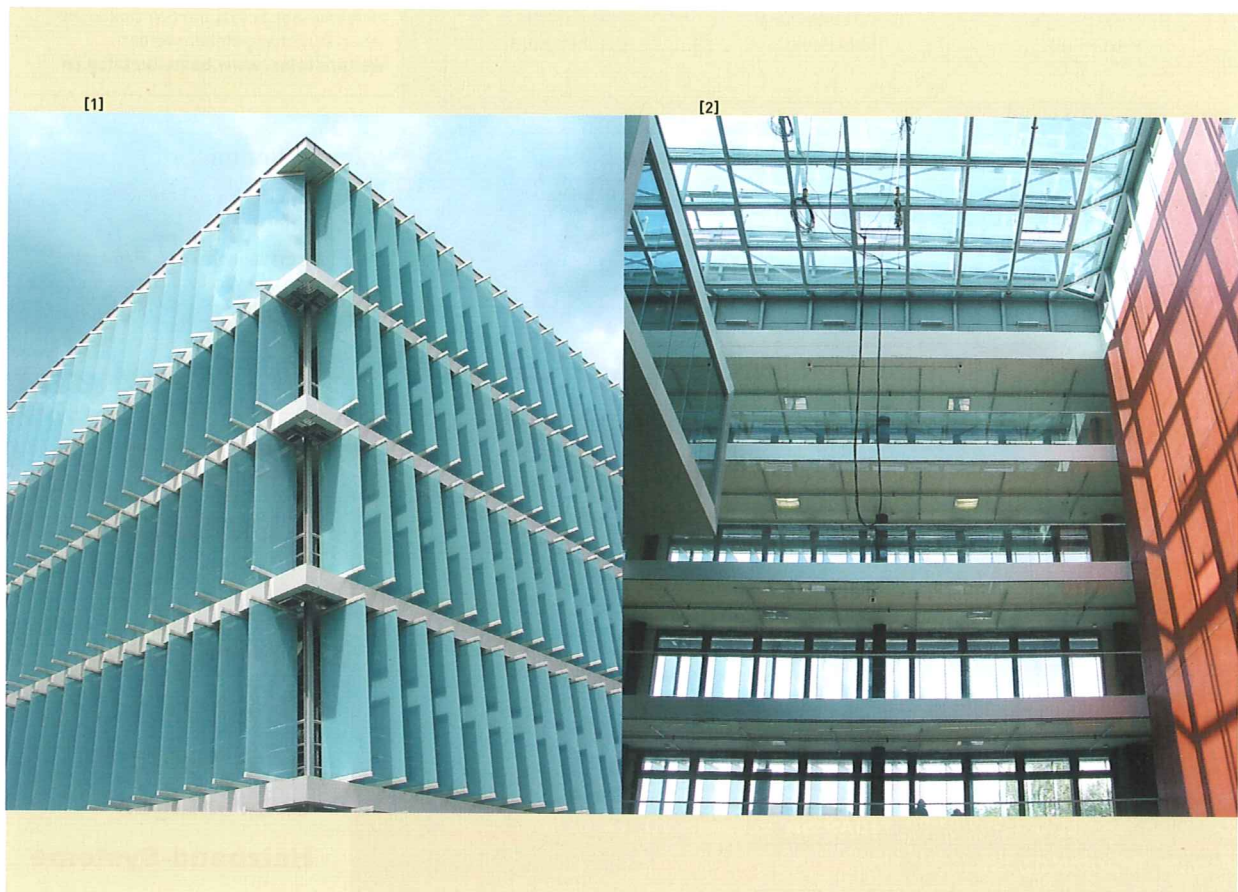
Wieviel Energie steckt im Forum Chriesbach

Im intensiven Dialog zwischen Spezialisten der beiden Institutionen und Fachleuten aus der Baupraxis wurden baulich-betriebliche Nachhaltigkeitsvisionen konkretisiert und realisierbare Vorgaben zum Bau des Forum Chriesbach formuliert. In einem Studienwettbewerb mit vorangehender Präqualifikation haben sechs Planerteams die Herausforderungen angenommen und in-

novative Projekte entworfen. Das von der Jury empfohlene Projekt des Teams von Bob Gysin+Partner BGP konnte nun realisiert und von Implenia Generalunternehmung AG gebaut werden. Am 7. Juni 2006 wurden die Schlüssel der Eawag übergeben und am 1./2. September 2006 fand die Eröffnungsfest statt. Das Forum Chriesbach ist das neue Hauptgebäude der Eawag. Dank der neuen, gemeinsamen Eawag Empa Bibliothek und dem Personalrestaurant Aqa ist

es aber auch ein Treffpunkt der Mitarbeitenden der beiden Forschungsinstitute. Mit der auffallenden blauen Glaslamellenfassade, dem ausgeklügelten Energiekonzept, welches eine Heizung und aktive Kühlung überflüssig macht, den sanitären Anlagen mit NoMix-Toiletten, wasserlosen Urinalen und Regenwassernutzung, der Photovoltaikanlage für $\frac{1}{3}$ des Strombedarfs, den Vakuumröhrenkollektoren für die Warmwassererzeugung, dem Restaurant mit dem «Goût Mieux»-Label und nicht zuletzt auch mit der naturnahen Umgebung ist der Neu-bau bereits heute ein Forum für einen Interessenskreis, der weit über die Forschungspartnerschaften der beiden Institutionen hinausgeht.

Das Raumprogramm des Forum Chriesbach beinhaltet einen Empfangs- und Ausstellungsbereich, Schulungs- und Seminarräume, 150 Büroarbeitsplätze, die neu gemeinsam mit der Empa betriebene Biblio-



[1] Die auffallend blaue Glaslamellenfassade, die sich dem aktuellen Sonnenlicht anpasst, und ein ausgeklügeltes Energiekonzept machen eine Heizung und eine aktive Kühlung überflüssig.

[2] Durch das Atriumdach kann an heißen Tagen die Wärme entweichen.

thek, das Personalrestaurant Aqa sowie Neben- und Technikräume. Mit dem Bau des neuen Hauptgebäudes sollten aber nicht nur die Raumbedürfnisse der Eawag abgedeckt und Gemeinsamkeiten der Eawag und Empa gestärkt, sondern auch die Aspekte der baulich-betrieblichen Nachhaltigkeit in zukunftsweisenden Ansätzen umgesetzt werden.

Das Forum Chriesbach hat mit Ausnahme des Erdgeschosses (Personalrestaurant, Bibliothek, Empfang) keine Heizung. Die anfallende Wärme von Personen, Arbeits-hilfen, Beleuchtung und Sonnenstrahlung genügt, um eine angenehme Raumtemperatur zu erhalten. Dach und Fassaden sind sehr gut isoliert und der Luftwechsel erfolgt laufend, zentral gesteuert. Im Winter wird die Zuluft im Erdregister vorgewärmt, dann in einem Wärmetauscher mit der Wärme der Abluft und des Serverraums zusätzlich erwärmt. Zudem besteht die Möglichkeit,

der Zuluft aus dem Warmwasserspeicher Wärme zuzuführen. Dieser Speicher wird durch Sonnenkollektoren, Abwärme der Kühlaggregate der Küche und (notfalls) aus dem Wärmenetz des Empa-Eawag-Areals aufgeheizt. Im Sommer wird die Zuluft durch das Erdregister abgekühlt und in die Räume geführt. An heißen Tagen erfolgt eine Nachtauskühlung des Gebäudes durch automatisches Öffnen der Fensterflügel. Durch das Atriumdach kann dann die warme Luft entweichen und kühle Luft in die Räume nachfließen.


Für die Toilettenspülung wird das Regenwasser auf dem Dach gesammelt, im Wasergarten vor dem Personalrestaurant gespeichert und in separaten Leitungen den Toiletten zugeführt. Die Urinale funktionieren ohne Wasserspülung. Der in den «NoMix-Toiletten» separat abgeleitete Urin wird in Speichertanks gesammelt und dient vorläufig Forschungszwecken.

Die Vision einer ganzheitlichen Nachhaltigkeit widerspiegelt sich nicht nur im sparsamen Umgang mit Energie, Wasser und Finanzen, sondern auch in der Gestaltung der naturnahen Umgebung und in der Wahl der Materialien. Es wurden möglichst Ressourcen schonende, umwelt- und menschenverträgliche Rohstoffe und Produkte eingesetzt.

Graue Energie

Während der spezifische Heizwärmebedarf von Neubauten in den letzten Jahrzehnten ständig abgenommen hat, hat der Stromverbrauch tendenziell stagniert oder sogar noch zugenommen. Bei den über 400 Gebäuden der Credit Suisse Group (Schweiz) beispielsweise betrug der Stromverbrauch pro EBF sowohl 1998 als auch 2003 126 MJ/m². Der Wärmeverbrauch hingegen hat im gleichen Zeitraum von 85 MJ/m² auf 76 MJ/m² abgenommen [1]. Mit der

[3]



Bei der Berechnung der Grauen Energie von Beton beispielsweise sind folgende Materialien und Prozesse wichtig:

Rohmaterial	Prozess	Produkt
Kies und Sand	Kiesgewinnung Transport, Lagerung Aufbereitung (Brechen)	Kies
Kalkstein und Mergel	Sprengen, Brechen Transport Homogenisierung, Brennen	Zement
Energie Wasser		
		Zusatzstoffe Eisenarmierung Wasser
		Beton

[3] Hier wird Sonnenenergie aktiv eingefangen: Blick auf die Photovoltaikanlage auf dem Dach.

Reduktion des Wärmebedarfs auf solch niedrige Werte kommt der so genannten Grauen Energie eine steigende relative Bedeutung zu. Die Graue Energie ist die (Primär-)Energie, welche für die Erstellung von Materialien und Produkten erforderlich ist. Sie wird durch die Summierung aller nicht-erneuerbaren Primärenergieträger und energetisch nutzbaren fossilen Rohstoffe sowie der Wasserkraft eines bestimmten Systems berechnet [2]. Dabei werden alle wichtigen Prozesse, vom Rohstoffabbau beginnend bis zum Ort der Bereitstellung des Produktes oder der Leistung, berücksichtigt. Sie beträgt für typische Gebäude ca. 60–110 MJ/m² EBF a [3]. Cemsuisse [4] gibt für die Energieverbräuche von Beton folgende Größenordnungen (auf die jeweiligen Rohstoffe bezogen) an:

- Herstellung von Portlandzement-

klinker aus Kalkstein und Mergel 3600 MJ/Tonne

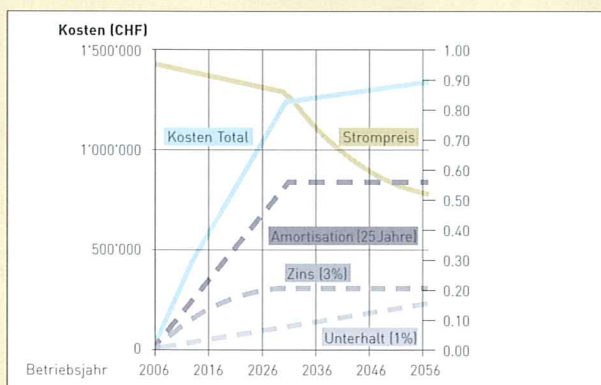
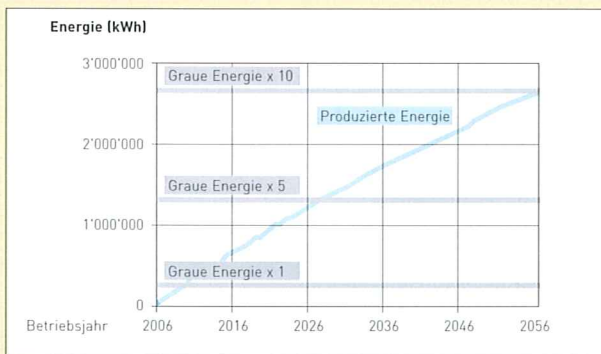
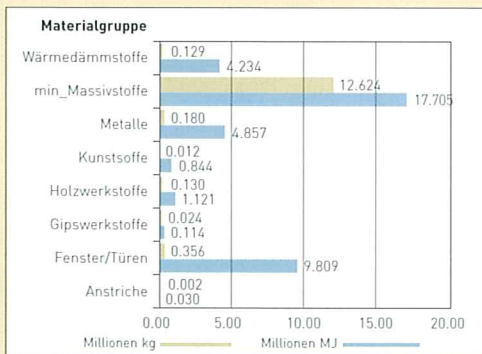
- Bereitstellung der Energie für die Klinker-Produktion 1115 MJ/Tonne
- Kiesgewinnung Rundkies 48 MJ/Tonne
- Kiesgewinnung gebrochener Kies 116 MJ/Tonne
- Herstellung des Betons + 15–20%
- Transport der Rohstoffe + 10–45%

Je nach Ausgangsstoffen, Zuschlägen und Qualität kann der Beton eine sehr unterschiedliche Graue Energie haben. Für die 11 untersuchten Betonsorten gibt Cemsuisse ein Spektrum von 905 MJ/m³ bis 2370 MJ/m³ an. Der im Forum Chriesbach hauptsächlich verwendete Beton ist Stahlbeton mit 1,5 Vol% Bewehrung PC350. Seine Graue Energie beträgt laut U. Kasser 1,38 MJ/kg Beton. Dieser Wert wurde aus

der Datenbank des ecoinvent Zentrums (www.ecoinvent.ch) ermittelt. Einen Auszug aus dieser Datenbank für die wichtigsten Baustoffe und ihre Grauen Energien haben Ueli Kasser und Michael Pöll im November 1998 herausgegeben [1]. Im Forum Chriesbach wurde für die Böden Recyclingbeton verwendet. Dieser braucht im Vergleich zu «normalem» Beton durchschnittlich zwar nur ca. 0,05 MJ/kg weniger Energie, schont aber die Kiesvorräte.

Die verwendeten Materialien

Insgesamt wurden 13'457 Tonnen Material mit einer Grauen Energie von 38'714 GJ im Forum Chriesbach verbaut. Sowohl bezüglich der Masse als auch der Grauen Energie sind es der Beton, die Metallteile, die Gläser und die Wärmedämmstoffe, welche den Hauptanteil ausmachen. Ein Teil dieser En-



ergie kann nach dem Rückbau des Gebäudes oder einzelner Bauteile mindestens teilweise wieder genutzt werden, insbesondere die in Metallen, Kunststoffen und Holz gespeicherte Energie. Für die Haustechnik kommen pauschal 3'871'365 MJ und für den Aushub 616'000 MJ dazu, so dass ein Gesamtverbrauch von rund 43'200 GJ Primärenergie für das Forum Chriesbach resultiert. Die Verteilung der Massen und Grauen Energie auf die Materialien und Gebäudeteile ist in den beiden Grafiken ersichtlich.

Die energetische Rückzahldauer der Photovoltaikanlage

Spezialfälle bei der Betrachtung der Grauen Energie stellen Energiesysteme dar. Insbesondere bei den Photovoltaiksystemen wird immer wieder die Frage nach der Rückzahldauer (Erntefaktor, Energy Payback) gestellt, wie lange es dauert, bis die im System enthaltene Graue Energie durch das System selber wieder produziert wird. Die Graue Energie der PV-Anlage des Forum Chriesbachs wurde nicht aus den ver-

wendeten Materialien berechnet, kann aber aus der energetischen Rückzahldauer (energy payback time) geschätzt werden. Diese Zahl liegt für moderne Anlagen mit mono-kristallinen Zellen zwischen 2 bis 7 Jahren (siehe Bankier 2006 [5]). Gemäss Mitteilung des Lieferanten SunTechnic kann bei der Eawag Anlage mit einer Rückzahldauer von ca. 4 Jahren gerechnet werden. Bei einer voraussichtlichen Produktion von 66'056 kWh/a beläuft sich somit die Graue Energie der Anlage auf 264'224 kWh. Sowohl Photovoltaikzellen als auch Wechselrichter unterliegen einer gewissen Degradation. Sie wurde basierend auf Literaturangaben auf 1% pro Jahr geschätzt. Die Investitionen beliefen sich auf CHF 833'000. Im Rechenbeispiel erfolgt die Rückzahlung innerhalb von 25 Jahren. Es wurden ein Kapitalzins von 3% und Unterhaltskosten von jährlich 1% der Anlagekosten angenommen. In 25 Jahren produziert die Anlage demgemäss rund 7,5 Mal so viel Energie, wie für ihre Herstellung benötigt wurden und die Kilowattstunde kostet dann im Durchschnitt CHF –.65.

Schlussbetrachtung

Im Forum Chriesbach werden voraussichtlich rund 86'000 MJ/a Wärme und 788'000 MJ/a Strom benötigt; total 874 GJ/a (Endenergie). Die Graue Energie beläuft sich bei einer mittleren Lebensdauer des Gebäudes auf ca. 1150 GJ/a (Primärenergie). Auch wenn der Stromverbrauch noch mit einem Faktor 2–3 multipliziert werden muss, um Primärenergie zu erhalten, zeigt die kleine Abschätzung doch, dass die Graue Energie bei «Niedrigenergiehäusern» zu einem wichtigen Faktor bei der Planung geworden ist. Obwohl jeder Fall individuell geprüft werden muss, lässt sich doch generell sagen, dass aus energetischer Sicht die Nutzungszeit der energieintensiven Bauteile möglichst lange sein sollte. Neben diesen energetischen Betrachtungen müssen aber auch andere ökologische Faktoren wie die Ressourcenschonung, Umwelt- und Humantoxizität, die Entsorgbarkeit und die Kosten berücksichtigt werden.

Herbert Güttinger (Eawag)

Ueli Kasser (Büro für Umweltchemie)

Fakten und Daten

Baudaten

Volumen (SIA 116)	38615 m ³	
Geschossfläche GF (SIA 416)	8533 m ²	
Dachfläche (Gebäudegrundfläche)	1886 m ²	
Energiebezugsfläche EBF	11170 m ²	
Energiebezugsfläche EBFo	8270 m ²	
Volumen Warmwasserspeicher	12 m ³	
Volumen Speicherbecken Wassergarten	80 m ³	
Baukredit (BKP 1–8)	32720 kFr.	
PV-Anlage	833 kFr.	
Vakuümrohrenkollektor-Anlage	74 kFr.	
Büroarbeit	150 Plätze	
Vortragssaal	140 Plätze	
Seminar- und Sitzungsräume	180 Plätze	
Personalrestaurant	150 Plätze	

Energie

Wärmeleistungsbedarf	8 W/m ² EBF	
Heizwärmebedarf Qh (Standardnutzung SIA)	52 MJ/m ² EBFa	14 kWh/m ² EBFa
Wärmebezug ab Empa-Netz	86 GJ/a	24 MWh/a
Kältebezug ab Empa-Netz	43 GJ/a	12 MWh/a
Wärmeinspeisung ins Empa-Netz (theoretisch)	21 GJ/a	6 MWh/a
Ertrag Vakuümrohrenkollektoren (50 m ²)	86 GJ/a	24 MWh/a
Strombedarf	788 GJ/a	219 MWh/a
davon Server	137 GJ/a	38 MWh/a
Stromerzeugung PV-Anlage (459 m ² , 77 kWp)	216 GJ/a	60 MWh/a
Graue Energie (Primärenergie) insgesamt	43201 GJ/a	12000 MWh/a
Graue Energie (mittlere Lebensdauer 37,6 a)	1149 GJ/a	319 MWh/a
Graue Energie pro Energiebezugsfläche	103 GJ/a	29 kWh/m ² EBFa

Literatur

- (1) MIB AG Energie- und Stoffe-Report 2000 und 2003 für die Credit Suisse Group [Schweiz].
- (2+3) Kasser U., M. Pöll [1999]: Graue Energie von Baustoffen. 2. vollständig neu überarbeitete Auflage. 87 S. Büro für Umweltchemie, Zürich.
- (4) Cemsuisse: Die Ökobilanz zur Betonherstellung. Von der Gewinnung der Ausgangsstoffe bis zur Auslieferung – Daten und Fakten für eine ökologische Betrachtungsweise des Baustoffs Beton
- (5) Bankier C. and S. Gale 2006: Energy Payback of Roof Mounted Photovoltaic Cells. energy Bulletin, June 16.

Adressen

Eawag Das Wasserforschung-Institut des ETH-Bereichs, Ueberlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Tel. 044 823 55 11, Fax 044 823 50 28, www.eawag.ch

Büro für Umweltchemie Ueli Kasser, Zweierstrasse 35, 8004 Zürich
Tel. 043 456 80 90, www.umweltchemie.ch