

# Nachhaltigkeit und Baukosten.

In der Nachhaltigkeitsdiskussion werden ökologische Themen häufig isoliert betrachtet und die ökonomischen Inhalte dabei weitgehend ausgeblendet. CRB hat Arbeitsmittel entwickelt, mit denen beide Themen verknüpft werden können. Neben diesen Arbeitsmitteln wird nachfolgend eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht, gleichzeitig ökologische und ökonomische Grössen in Entscheide einfließen zu lassen.

TEXT: DR. ALBERT MÜLLER

In den letzten Jahren hat die Nachhaltigkeit im Bauwesen eine immer grössere Bedeutung erhalten. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass ein wesentlicher Anteil der in der Schweiz verbrauchten Endenergie im Zusammenhang mit Gebäuden verbraucht wird. Gemäss den Statistiken des Bundesamtes für Energie wird im Zusammenhang mit dem schweizerischen Gebäudebestand gut 50% der in der Schweiz verbrauchten Endenergie konsumiert, wobei ein sehr grosser Teil dieses Energieverbrauchs aus nicht erneuerbaren, fossilen Brennstoffen stammt. Aus diesen Gründen wird die Umsetzung der Nachhaltigkeit im Sinne einer verbesserten Energieeffizienz und einer Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses im ganzen Gebäudebestand heute gefordert, wie die verschiedenen, auf allen politi-

schon Ebenen entwickelten Programme deutlich machen.

Zur Konkretisierung der Nachhaltigkeitsziele in den Bereichen Energieverbrauch und Klimaschutz wurden in der Schweiz verschiedene Konzepte entwickelt. Zunächst ist der Verein MINERGIE zu erwähnen, der vor allem auf einen verringerten Energieverbrauch abzielt und heute auch die Reduktion der nicht erneuerbaren, fossilen Brennstoffe mit einbezieht. Ebenso wurde das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft von der ETH zusammen mit Novatlantis formuliert und mit dem SIA-Effizienzpfad Energie weiter verfeinert sowie auf den Gebädepark abgestimmt. Ein Vergleich der beiden Ansätze zeigt, dass das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft und des SIA-Effizienzpfades Energie einen weiter ge-

fassten Nachhaltigkeitsbegriff anwendet als jenes des Vereins MINERGIE. Parallel zur Entwicklung dieser Konzepte wurden auch die gesetzlichen Anforderungen an den Energieverbrauch der Gebäude laufend verschärft.

## Ökologische Kennwerte von Neubauten

Nach der Einführung des Baukostenplans Hochbau eBKP-H hat CRB den «Objektarten-Katalog OAK Wohnbauten im Vergleich» veröffentlicht. Neben einer detaillierten Darstellung der Kostenkennwerte für die Hauptgruppen und Elementgruppen des eBKP-H wurden in dieser Publikation für einige der dokumentierten Gebäude zusätzlich die ökologischen Daten ausgewertet. In der folgenden Tabelle sind die Werte für den Primärenergieverbrauch enthalten:

Tabelle 1: **Nicht erneuerbare Primärenergie**

kWh/m <sup>2</sup> a	Etzel	Bungert	Durchschnitt	Bernstrasse	Hohmoos	Stieglenstr.	Brunnenhof	Werdwies	Durchschnitt
Haustyp	EFH	EFH	EFH	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH
GEAK (Hülle / Gesamt)	A / A	C / C		C / B	C / D	B / C	B / B	B / B	
Heizung	12	71	41.5	53	36	55	19	35	39.6
Warmwasser	16	23	19.5	29	22	50	23	32	31.2
Hilfsbetriebe, Lüftung	13	8	10.5	8	8	8	13	11	9.6
Licht, Apparate	43	58	50.5	61	65	65	61	61	62.6
Total Betrieb	84	160	122.0	151	131	178	116	139	143.0
Graue Energie	34	35	34.5	37	30	28	35	35	33.0
Mobilität	44	47	45.5	37	35	31	31	31	33.0
Total	162.0	242.0	202.0	225.0	196.0	237.0	182.0	205.0	209.0

Quelle: Objektarten-Katalog OAK.

Die Tabelle zeigt, dass der Energieverbrauch für die Heizung und das Warmwasser bei heute erstellten Neubauten einen vergleichsweise geringen Anteil der im Zusammenhang mit den Gebäuden verbrauchten Primärenergie ausmacht. Deshalb gewinnen bei diesen Gebäuden andere Verbrauchsarten wie Beleuchtung und Apparate, graue Energie sowie Mobilität deutlich an Bedeutung. Aus diesem Grund macht es Sinn, bei neueren Gebäu-

den auf einen breiter definierten Nachhaltigkeitsbegriff abzielen.

Im Objektarten-Katalog OAK ist auch die bei der Erstellung der Gebäude verbrauchte graue Energie weiter auf die nach eBKP-H definierten Bauteile aufgeteilt (siehe Tabelle 2).

Den grössten Anteil an der grauen Energie macht die Konstruktion des Gebäudes aus, mit einem Anteil von ca. 40% bei Einfamilienhäusern und ca. 30% bei Mehrfamilien-

häusern. Wesentliche Anteile ergeben sich zudem für «Technik Gebäude», «Äussere Wandbekleidung» und «Ausbau Gebäude».

**Dr. Albert Müller ist seit Mitte September als Projektleiter Kostenmanagement und Nachhaltigkeit bei CRB. Weitere Informationen finden Sie in der Rubrik NOTIZEN.**

Tabelle 2: Graue Energie

kWh/m <sup>2</sup> a	Etzel	Bungert	Durchschnitt	Bernstrasse	Hohmoos	Stieglenstr.	Brunnenhof	Werdwies	Durchschnitt
	EFH	EFH	EFH	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH
Baugrube	1.9	2.1	2.0	1.7	0.6	1.7	3.0	1.3	1.7
Fundament, Aussenwandkonstr. unter Terrain	4.1	3.6	3.9	2.7	1.4	1.6	1.4	1.1	1.6
Aussenwandkonstr. über Terrain	3.9	3.2	3.6	1.4	0.9	1.6	1.4	1.2	1.3
Innenwandkonstruktion	1.6	1.2	1.4	1.7	2.7	2.3	2.0	2.3	2.2
Decken-, Dachkonstruktion	5.1	4.9	5.0	4.5	4.6	5.0	6.5	4.4	5.0
Konstruktion Gebäude	14.7	12.9	13.8	10.3	9.6	10.5	11.3	9.0	10.1
Technik Gebäude	6.9	6.6	6.8	7.1	6.3	6.0	7.0	7.8	6.8
Äussere Wandbekleidung Gebäude	3.4	4.8	4.1	6.8	4.1	1.8	4.0	7.5	4.8
Bedachung Gebäude	1.7	1.7	1.7	3.6	1.9	2.1	2.2	1.0	2.2
Ausbau Gebäude	5.3	6.9	6.1	7.7	7.1	5.9	8.0	8.2	7.4
Total	33.9	35.0	34.5	37.2	29.6	28.0	35.5	34.8	33.0

Quelle: Objektarten-Katalog OAK.

### Berechnung der ökonomischen und ökologischen Werte

Beim Entwurf eines Gebäudes ist es heute üblich, die Erstellungskosten für das Gebäude laufend und dem Projektstandard entsprechend immer detaillierter zu bestimmen. Die laufende Berechnung und Nachführung der ökologischen Daten eines Gebäudes ist bei diesem Prozess noch weniger geläufig. Dazu kommt, dass für die Bestimmung der ökologischen Werte keine Kennwerte bestehen, mit denen in frühen Stadien des Projekts bereits Abschätzungen über die Höhe der ökologischen Werte gemacht werden könnten.

CRB hat mit der Elementart einen Standard entwickelt, der die gleichzeitige Bestimmung der ökonomischen und finanziellen Daten ermöglicht. Jede Elementart ist einerseits eindeutig einem Element des neuen Baukostenplans Hochbau zugeordnet und andererseits sind die mit der Elementart umschriebenen Bauleistungen mit Leistungspositionen aus dem Normpositionen-Katalog NPK definiert. Diesen Leistungspositionen wird wie in der Kostenermittlung üblich der Einheitspreis der entsprechenden Bauleistung zugeordnet, zum Beispiel CHF 25.44 pro m<sup>2</sup> Wandfläche. Zusammen mit der dazugehörigen Bezugsmenge erhält man die absoluten Kosten einer Elementart. Auf die gleiche Art können auch die ökologischen Werte bestimmt werden. Auf der Ebene der Elementarten

werden die Werte der relevanten Umweltdaten der normierten Bezugsgrösse der Elementart zugeordnet, zum Beispiel 3'450 Umweltbelastungspunkte pro m<sup>2</sup>

Wandfläche. Wie bei den finanziellen Kosten erhält man über die effektive Bezugsgrösse die entsprechenden absoluten Umweltwerte.

### Umweltbelastungspunkte UBP

Ökobilanzdaten basieren auf branchenbezogenen Stoff- und Energieflüssen, die bezüglich ihrer Umweltrelevanz bewertet werden. Die Gesamtbewertung erfolgt mit der Methode der ökologischen Knappheit und wird in Umweltbelastungspunkten UBP ausgedrückt. Ausgehend von denselben Stoff- und Energieflüssen werden auch Teilbewertungen wie Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen ermittelt. Die Umweltbelastungspunkte UBP 2006 quantifizieren die Umweltbelastung durch die Nutzung von Energieressourcen, von Land und Süsswasser, durch Einwirkungen von Schadstoffen auf Luft, Gewässer und Boden sowie durch die Beseitigung von Abfällen. Sie berücksichtigen somit sämtliche Stoff- und Energieflüsse, bezogen auf ein spezifisches Baumaterial bzw. Bauteil und dessen Lebensdauer.

### Graue Energie

Unter grauer Energie versteht man den kumulierten Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie zur Herstellung und Entsorgung eines Baustoffs. Sie wird mit standardisierten Methoden aus den Sachbilanzen für alle der Verwendung des Baustoffs vorgelagerten und nachgelagerten Prozesse – vom Rohstoffabbau über Transport-, Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse bis zur Entsorgung inkl. der dazu notwendigen Hilfsmittel – berechnet.

### Graue Treibhausgasemissionen

Die Herstellung eines Baustoffs und dessen Entsorgung hat auch Emissionen von Treibhausgasen zur Folge. Zu den Treibhausgasen zählen neben Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) auch Methan, Stickoxid und weitere klimawirksame Gase. Die Treibhausgasemissionen werden als äquivalente CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge ausgedrückt, welche denselben Treibhauseffekt hat wie die Gesamtheit der Treibhausgasemissionen. Dabei wird die gleiche Sachbilanz berücksichtigt wie bei der grauen Energie.

Quelle: EAK Energiekennwerte Elementarten-Katalog (2011)

Anhand eines Beispiels wird die gleichzeitige Bestimmung der ökonomischen und ökologischen Werte dargestellt, wobei bei der Aushub der Baugrube eines Einfamilienhauses betrachtet wird. Das Einfa-

milienhaus ist im «Objektarten-Katalog OAK» beschrieben, die Elementarten sind im «Elementarten-Katalog EAK Energiekennwerte» definiert. Basis für die ökologischen Daten sind die von KBOB, eco-

bau und IPB erarbeiteten Ökobilanzdaten im Baubereich. Darin enthalten sind die ökologischen Werte der gebräuchlichsten Baustoffe.

Tabelle 3: **Kosten und Umweltdaten des Baugrubenaushubs (Elementgruppe B6)**

Elementarten	Bezugsmenge	Kosten	UBP	Graue Energie		Graues CO <sub>2</sub>
				MJ	kWh	
Baugrubenaushub	1 m <sup>3</sup>	CHF 33.89	4'965.00	73.47	20.41	4.39
Oberboden abtragen	1 m <sup>2</sup>	CHF 2.44	137.30	1.68	0.47	0.11
Solenaushub	1 m <sup>2</sup>	CHF 19.33	19'338.98	120.13	33.37	15.46
Materialeinbau	1 m <sup>3</sup>	CHF 22.78	116'866.00	481.31	133.70	20.08
Oberboden anlegen	1 m <sup>2</sup>	CHF 14.44	35'699.00	152.07	42.24	6.53
<b>Totalwerte</b>						
Baugrubenaushub	597 m <sup>3</sup>	CHF 20'232	2'964'105	43'862	12'184	2'621
Oberboden abtragen	250 m <sup>2</sup>	CHF 610	34'325	420	117	28
Solenaushub	145 m <sup>2</sup>	CHF 2'803	2'804'152	17'419	4'839	2'242
Materialeinbau	250 m <sup>3</sup>	CHF 5'695	29'216'500	120'328	33'424	5'020
Oberboden anlegen	150 m <sup>2</sup>	CHF 2'166	5'354'850	22'811	6'336	980
Total		CHF 31'506	40'373'932	204'838	56'900	10'890
Jährliche Werte bei einer Lebensdauer von 60 Jahren	60 J	CHF 525	672'899	3'414	948	181
Jährliche Werte / m <sup>3</sup> Aushubvolumen (fest)	597 m <sup>3</sup>	CHF 52.77	1'127	5.72	1.59	0.30

Quellen: Objektarten-Katalog OAK und Elementarten-Katalog EAK Energiekennwerte.

Das Beispiel zeigt, wie mit den Elementarten und den effektiven Bezugsmengen die absoluten Werte der Umweltwerte des Elements oder der Elementgruppe (hier: B 6 Baugrube) bestimmt werden können. Zusammen mit der angenommenen Lebensdauer des Elements bzw. der Elementgruppe können anschliessend die Umweltwerte des Baugrubenaushubs pro Lebensjahr der Baute berechnet werden. Zusammen mit dem festen Aushubvolumen (Bezugsgrösse der Elementgruppe) können sie zuletzt noch auf einen m<sup>3</sup> Aushubvolumen bezogen werden.

Diese Art der Berechnung finanzieller und ökologischer Werte kann sowohl für einzelne Bauteile als auch für ganze Gebäude gemacht werden. Somit kann man einerseits ganze Gebäude bezüglich ihrer ökonomischen und ökologischen Eigenschaften vergleichen und andererseits verschiedene Varianten eines Bauteils bezüglich der ökonomischen und ökologischen Werte beurteilen.

#### Entscheidungen mit gleichzeitiger Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Grössen

Nachfolgend wird gezeigt, wie beim Ersatz einer Heizung für die verschiedenen Varianten die finanziellen und die dazu-

gehörigen ökologischen Werte bestimmt und anschliessend mit der Nutzwertanalyse zu einer eindeutigen Entscheidungsvariable weiterverarbeitet werden können. Das Hochbauamt der Stadt Zürich stellt das Tool «Variantenvergleich Energiesysteme V 1.1» zur Verfügung, mit dem die finanziellen und ökologischen Werte berechnet werden können ([www.stadt-zuerich.ch](http://www.stadt-zuerich.ch)).

Dieses Tool und die Methode der Nutzwertanalyse werden am Beispiel des Ersatzes einer bestehenden Ölheizung bei einem Einfamilienhaus angewendet.

Dazu werden folgende Varianten geprüft: Ölheizung, Gasheizung, Pelletheizung, Erdsonden-Wärmepumpe und Luft-Wasser-Wärmepumpe. Das Beispiel ist auf die Situation dieses Einfamilienhauses zugeschnitten, da auch alle Anpassungskosten in den Kosten der jeweiligen Variante enthalten sind. Aus diesem Grund kann das Beispiel nicht einfach auf andere Einfamilienhäuser übertragen werden. Mit dem Tool des Hochbauamts der Stadt Zürich erhält man für die finanziellen und ökologischen Grössen die folgenden Werte:

Tabelle 4: **Ökonomische und ökologische Resultate**

Originalwerte	Ersatz Ölheizung	Gasheizung	Pelletheizung	Wärmepumpe Erdsonde	Wärmepumpe Luft-Wasser
<b>Jährliche finanzielle Kosten</b>					
Kapitalkosten	CHF 1'240	CHF 1'230	CHF 2'120	CHF 4'190	CHF 2'010
Unterhaltskosten	CHF 680	CHF 400	CHF 1'070	CHF 1'020	CHF 970
Energiekosten	CHF 4'060	CHF 3'690	CHF 2'360	CHF 1'410	CHF 1'470
Total Heizkosten	CHF 5'980	CHF 5'320	CHF 5'550	CHF 6'620	CHF 4'450
<b>Jährliche Umweltwerte</b>					
UBP (Punkte)	4'691'132	3'768'529	3'470'857	3'215'629	3'004'048
Treibhausgasemissionen (kg CO <sub>2</sub> )	6'543	5'391	886	418	137

Zu beachten ist, dass in den finanziellen Kosten (Kapitalkosten) auch die Kosten für die baulichen Anpassungen der jeweiligen Variante enthalten sind. Ohne weitere Bearbeitung dieser Daten ist eine Entscheidung relativ schwierig, weil insgesamt drei Variablen gleichzeitig in den Entscheid mit einbezogen werden müssen (die totalen Heizkosten, die UBP und

die Treibhausgasemissionen). Wendet man die Methode der Nutzwertanalysen auf dieses Resultat an, so kann man eine eindeutige Entscheidungsvariable konstruieren, die alle relevanten Informationen enthält und ein eindeutiges Entscheidungsergebnis liefert.

Wesentlich bei diesen Nutzwertanalysen ist die numerische Erfassung der Zielerrei-

chung der verschiedenen Entscheidungsvariablen. Dazu wird für jede eine Zielerreichungsfunktion formuliert, mit der ihre Merkmale auf eine vorgegebene, dimensionslose Skala (z.B. 0–10) übertragen werden können. Damit werden die Variablen vergleichbar. Die oben dargestellten Werte der Entscheidungsvariablen ergeben die folgenden transformierten Werte:

Tabelle 5: **Transformierte Werte der Entscheidungsvariablen in diesem Beispiel**

Transformierte Werte	Gewichtung	Ersatz- Ölheizung	Gas- heizung	Pellet- heizung	Wärmepumpe Erdsonde	Wärmepumpe Luft- Wasser
<b>Jährliche finanzielle Kosten</b>						
Kapitalkosten, Unterhaltskosten, Energiekosten						
Total jährliche Heizkosten	60%	5.05	6.70	6.13	3.45	8.88
<b>Jährliche Umweltwerte</b>						
UBP (Punkte)	25%	0.29	4.91	6.40	7.67	8.73
Treibhausgasemissionen (kg CO <sub>2</sub> )	75%	0.31	2.05	8.83	9.54	9.96
Gewichtete Umweltwerte	40%	0.31	2.76	8.22	9.07	9.65
<b>Gewichteter Totalwert</b>		3.15	5.12	6.96	5.70	9.19
Rangreihenfolge		5	4	2	3	1

Bei den finanziellen Werten können die totalen jährlichen Heizkosten direkt transformiert werden, da nur das Total der jährlichen Kosten interessiert und nicht die Zusammensetzung. Bei den Umweltwerten liegen zwei Merkmale vor, die nicht direkt vergleichbar sind. Aus diesem Grund wird bei den Umweltwerten zunächst ein gewichteter Durchschnittswert der beiden transformierten Grössen bestimmt («Gewichtete Umweltwerte»). In diesem Beispiel werden die Treibhausgasemissionen mit 75% gewichtet und die Umweltbelastungspunkte mit 25%, weil entsprechendes Gewicht auf die Treibhausgasemission gelegt werden soll. Dem Anwender dieser Methode steht es allerdings frei, eine andere Gewichtung festzulegen, die seinen Bedürfnissen besser entspricht. Mit diesem gewichteten Durchschnitt der Umweltwerte hat man je eine transformierte Wertreihe für die finanziellen Werte und die Umweltwerte. Aus diesen beiden Reihen kann wiederum ein gewichteter Durchschnitt berechnet werden, um einen einzigen Wert für jede Variante zu erhalten. Mit diesen Werten kann dann entschieden werden, welche Variante gewählt werden soll. Hier werden die finanziellen Werte mit 60% gewichtet und die Umweltwerte mit 40%. Auch diese Gewichtung kann der Anwender individuell festlegen und so seine Bedürfnisse einfließen lassen.

Mit einer Nutzwertanalyse erhält man als Resultat einen eindeutigen numerischen

Wert auf einer dimensionslosen Skala von 0 bis 10 für jede Projektvariante. Diese Werte können in eine eindeutige Rangreihenfolge gesetzt und logisch korrekt verglichen werden. Mit diesem Entscheidungsverfahren wird in unserem Beispiel des Ersatzes einer Ölheizung die Luft-Wasser-Wärmepumpe als die optimale Variante gewählt, da diese insgesamt 9.19 von 10 möglichen Punkten erreicht. Den hohen Wert erreicht diese Variante, weil sie einerseits die geringsten jährlichen Heizkosten und zudem noch den besten Wert in der Umweltbewertung aufweist. Mit deutlichem Abstand folgt an zweiter Stelle die Pelletheizung mit 6.96 Punkten. Diese Variante ist vor allem in finanzieller Hinsicht teurer als die Luft-Wasser-Wärmepumpe. Bezüglich der Umweltbewertung schneidet diese Variante ebenfalls leicht schlechter ab. Die Erdsonden-Wärmepum-

pe kommt an dritter Stelle wegen der hohen Kosten für die Erstellung der Erdsonden. Die Gas- und die Ölheizung markieren den Schluss aufgrund der schlechten Werte bezüglich des CO<sub>2</sub>-Ausstosses. Die finanziellen Werte dieser beiden letzten Varianten liegen im Durchschnitt, da die tiefen Kapitalkosten von den hohen Energiekosten kompensiert werden.

Das Beispiel hat gezeigt, dass mit der Nutzwertanalyse gleichzeitig ökonomische und ökologische Entscheidungsvariablen verarbeitet werden können und eindeutige Resultate für den Entscheid bestimmt werden. Sollten noch weitere Variablen für eine realistischere Abbildung der Entscheidungssituation berücksichtigt werden, so können diese leicht eingebaut werden. Dies zeigt, dass diese Methode recht flexibel ist und eine bedürfnisgerechte Abbildung der Entscheidungssituation erlaubt.

Der **Objektarten-Katalog OAK: Wohnbauten im Vergleich** ist eine Datensammlung, die zwölf Wohnbauten mit Kostenkennwerten und Beschreibungen auf der Basis des Baukostenplans Hochbau bereitstellt. Er unterstützt den Planer in frühen Planungsphasen bei der Schätzung des Finanzbedarfs oder der Grobkosten sowie bei Energiefragen.

Der **Elementarten-Katalog EAK** ist eine Sammlung einheitlich beschriebener Elementarten, die inhaltlich in Kostenkennwerte, Baupreisstatistik und Energiekennwerte gegliedert sind. Der zuletzt genannte Band enthält 120 Elementarten mit detaillierten Angaben zu ihren energetischen Eigenschaften. So können Aspekte der Nachhaltigkeit auf einer standardisierten Grundlage in der Planung und Realisierung berücksichtigt werden.

Weitere Informationen: [www.crb.ch](http://www.crb.ch)