Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 67 (1999)
Heft: 7-8

Artikel: Nachhaltiges Bauen mit Beton
Autor: Jacobs, Frank
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153851

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: 15.07.2025

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

2

Nachhaltiges Bauen mit Beton

Die Umweltverträglichkeit von Baustoffen und Bauteilen wird zunehmend hinterfragt. Zur Betonbauweise liegen umfangreiche Informationen vor, die das ökologische Handeln von Industrie, Forschung, Fachverbänden und Behörden aufzeigen und auf eine geringe Umweltgefährdung hinweisen.

	jährlicher Verbrauch in 1000 t
Zement	3500
Zuschlag [1]	24000
Wasser	1800
Betonzusatzmittel (BZM)	14
Betonzusatzstoffe (BZS)	> 70
Betonproduktion	ca. 30000

[1] gesamte Bauindustrie: 50 Mio. t

Tab. 1 Geschätzte jährliche Stoffflüsse von Betonausgangsstoffen in der Schweiz [1].

20 % der Weltbevölkerung verbrauchen 80 % der Rohstoffe. Eine Verbesserung des Lebensstandards grosser Teile der Menschheit ist nur möglich, wenn vermehrt teilweise knappe Rohstoffe abgebaut werden. Die Ressourcen müssen deshalb nachhaltiger bewirtschaftet werden. Unter Nachhaltigkeit wird dabei verstanden: Die heutigen Bedürfnisse befriedigen, ohne diejenigen zukünftiger Generationen zu gefährden.

Ein Blick auf die Schweiz

Einem umfassenden Überblick über die Umweltsituation in der Schweiz [2] ist unter anderem zu entnehmen:

- Verkehr und Haushalte verursachen über 50 % der vorwiegend aus Verbrennungsprozessen stammenden Treibhausgasemissionen und des Energieverbrauchs.
- Der Strassenverkehr verbraucht etwa 70 % der beim Verkehr aufgewendeten Endenergie.
- Etwa 50 % der pro Person und Tag zurückgelegten Distanzen wird durch den überwiegend motorisierten Freizeitverkehr bewältigt. 1994 wurde für etwa 20 % der Distanzen der öffentliche Verkehr und für etwa 65 % das Auto benutzt.

Die durch den Verkehr und die Haushalte verursachten Umweltbelastungen sind folglich zu minimieren. Bei den Haushalten ist auf umweltverträgliches (ökologisches) Bauen und Unterhalten zu achten.
In Anlehnung an [3] beinhaltet ökologisches Bauen Vielfältiges:

- Umwelt- und energiebewusste Standortwahl, Gebäudekonzeption, Gebäudeform, Gebäudestellung, Baustoffwahl
- Raumprogramm und innere Funktionsorganisation, haustechnische Systeme
- Einbezug der Vegetation mit dem Ziel
  - den Energie- und Ressourcenbedarf für die Gebäudeherstellung und -nutzung zu minimieren,
  - natürliche Systeme und regenerierbare Ressourcen (passive Wärmespeicherung, natürliche Klimatisierung) zu fördern
  - Umweltverschmutzung zu vermeiden
  - versiegelte Fläche gering zu halten
  - Gebäude schonend in das Landschaftsbild einzufügen.

Material	Strecke	Transport	Distanz [km] maximale	Distanz [km] mittlere
Kies	Kieswerk–Baustelle	LKW	30	10
	Kieswerk–Transportbetonwerk	LKW	30	10
		Schiff	50	15
		Bahn	100	30
Zement	Zementwerk–Baustelle	LKW	40	20
		Bahn/LKW	100	40
	Zementwerk–Transportbetonwerk	LKW	40	20
		Bahn/LKW	100	40
		Bahn	100	40
Transportbeton	Transportbetonwerk–Baustelle	LKW	20	7

Tab. 2 Übliche Transportdistanzen für Betonausgangsstoffe und Beton in der Schweiz [1].

Literatur zu diesem Artikel

Der vorliegende Artikel basiert in weiten Teilen auf der SIA-Dokumentation D 0146 [1], die grundlegende und weiterführende Informationen zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Betonen enthält. Diese Dokumentation wurde von der Arbeitsgruppe «Umweltverträglichkeit von Beton» der Normenkommission SIA 162 «Betonbauten» verfasst. In der Arbeitsgruppe sind Vertreter von Industrie, Hochschulen und Buwal.

Stoffflüsse bei Beton

Gegenwärtig werden jährlich rund 30 Mio. t Beton produziert, wofür die in *Tabelle 1* aufgeführten Ausgangsstoffe benötigt werden. Übliche Transportdistanzen von Betonen und deren Ausgangsstoffe sind in *Tabelle 2* zusammengefasst.

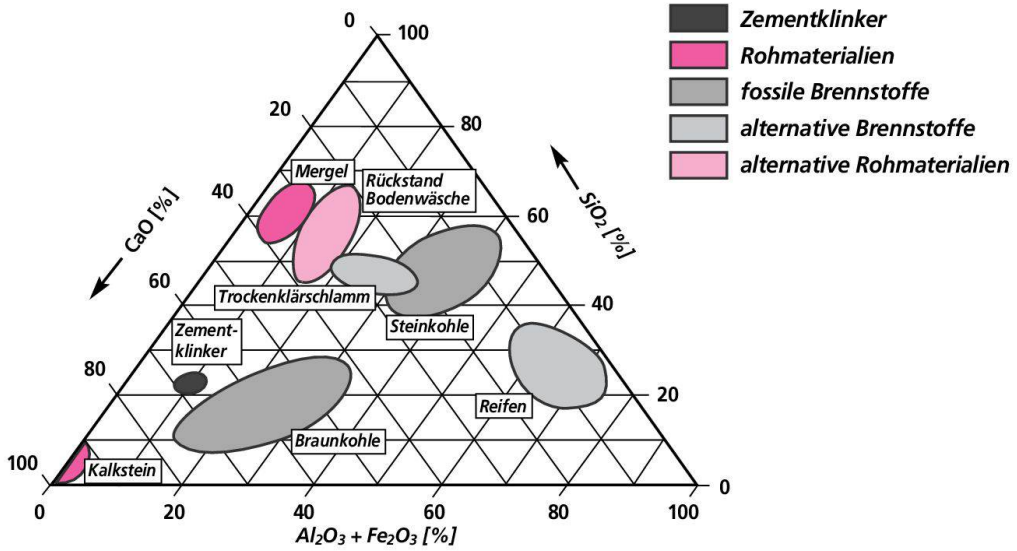

Abb. 1 Rankine-Diagramm von Zementklinker sowie primären und sekundären (alternativen) Ausgangsstoffen bei der Zementklinkerherstellung [1].

Grafiken: TFB/Schück Söhne AG

Zemente

Klinkerherstellung

Zement enthält Zementklinker, Zumahlstoffe und Gips als Erstarrungsregler. Die Ausgangsstoffe für 1 kg Zementklinker – etwa 1,5 kg gemahlener Kalkstein und Ton – werden bei rund 1450 °C während 15 bis 20 Minuten teilweise aufgeschmolzen (gesintert). Da die aus den Brennstoffen stammende Asche im Klinker eingebunden wird, entsteht kein Abfall. Die Rohstoffe sowie die veraschten Brennstoffe müssen in solchen Mengen eingesetzt werden, dass der Zementklinker eine definierte Zusammensetzung aufweist *(Abbildung 1)*.

Für die Herstellung von 1 kg Portlandzementklinker werden rund 120 g Kohle bzw. 3.6 MJ benötigt. Die Brennstoffkosten machten früher etwa ein Drittel der Produktionskosten aus. Während der letzten Jahrzehnte wurde deshalb intensiv daran gearbeitet, den Energieeinsatz zu reduzieren.

Knapp 8 % der CO_2-Emissionen in der Schweiz beruhen auf der Klinkerproduktion. Pro Tonne Zement werden freigesetzt:

- rund 500 kg CO_2 aus dem Rohmehl (Abspaltung aus Kalkstein)
- rund 380 kg CO_2 aus den Brennstoffen.

Die Zementindustrie verwendet bei der Klinkerproduktion zunehmend geeignete Alternativstoffe als Rohmehlersatzstoffe bzw. Brennstoffe. Gründe dafür sind die bedeutenden Brennstoffkosten, die Emissionen und das Bestreben, Stoffe noch ressourceneffizienter zu nutzen.

Im Buwal-Thesenpapier zur Abfallentsorgung in Zementwerken [4] werden weitere Anforderungen an die Entsorgung von Abfallstoffen in Zementwerken formuliert:

«Abfälle dürfen nur dann in den Zementwerken entsorgt werden, wenn dies:

- ökologisch vorteilhafter ist, als irgend eine andere Art der Entsorgung und
- in Einklang mit der Abfallplanung der Kantone und des Bundes steht und
- eine ökologischere Ressourcenbewirtschaftung nicht konkurriert wird.»

Die Buwal-Richtlinie zur Entsorgung von Abfällen in den Zementwerken enthält Richtwerte für den Schadstoffgehalt im Klinker bzw. Portlandzement. Eingeschlossen sind auch Anforderungen an die Schwermetallkonzentrationen in Sekundärstoffen

	Abfallbrenn -stoffe [a)]	Rohmehl-ersatz [a)]	Zumahl-stoffe [a)]	Klinker [a)]	Zement CEM I [a)]	Flugasche, Hüttensand [b)] geeignet	bedingt geeignet	Richtwerte Aushub [c)] U	T
As	15	20	30	40		30	80	15	40
Be	5	3	3	5					
Cd	5	0,8	1	1,5	1,5	1	2	0,5	5
Co	20	30	100	50					
Cr	100	100	200	150		200	500	50	200
Cu	100	100	200	100		200	500	40	250
Hg	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	1	0,5	1
Ni	100	100	200	100		200	500	50	250
Pb	200	50	75	100		100	500	50	250
Sb	5	1	5	5		5	20		
Se	5	1	5	5					
Sn	10	50	30	25		30	80		
Tl	3	1	2	2		0,5	1		
Zn	400	400	400	500		400	1000	150	500

Tab. 3 Stoffbelastungen in ppm (g/t). [a)] Richtwerte für die Herstellung von Zementen CEM I [4], [b)] provisorische Richtwerte für Flugaschen und Hüttensande [5] sowie [c)] für unverschmutzten (U) und tolerierbaren Aushub (T) [6].

und Zementklinker *(Tabelle 3)*. Diese liegen zwischen den Richtwerten für unverschmutzten und für tolerierbaren (nur leicht belasteten) Aushub. (Aushub ist der unter der verwurzelten Zone befindliche Gesteinshorizont.) Sekundärbrennstoffe können die Schwermetallgehalte in Zementen sowohl geringfügig erniedrigen als auch erhöhen.
Durch die Verwertung von Abfallstoffen werden in den Zementwerken die Emissionen bzw. der Energieeinsatz nicht zwingend reduziert. Dank 51 000 t Sekundärbrennstoffen mit einem Gesamtheizwert von rund 3700 TJ konnten 1998 immerhin 36 % der thermischen Energie zur Klinkerherstellung abgedeckt werden, d.h. die entsprechenden Mengen an traditionellen Brennstoffen wie Öl und Kohle wurden substituiert.

Gleichzeitig wurden der Import (Transport) von Brennstoffen sowie der Abbau von Rohmaterialien reduziert.

Zementauslieferung
Zemente werden in der Schweiz etwa je zur Hälfte per Bahn und per Lastwagen angeliefert, wobei 93 % lose in Silowagen transportiert wurden (1998). Der Rest ist Sackware.

Zementekzeme
Bei unsachgemässem Umgang mit feuchten Zementen und Frischbetonen kann es zu Hautreizungen kommen [7]. Ursachen dafür sind der hohe pH-Wert bzw. der Chromatgehalt in Portlandzementen in der Grössenordnung von 10 ppm (g/t).

Zuschlagstoffe

Die potenziell nutzbaren Kies- und Sandreserven der Schweiz liegen in der Grössenordnung von mehreren Milliarden Tonnen. Sie nehmen kontinuierlich ab (*Abbildung 2),* denn nur rund 1 % der jährlich für den Bau gewonnenen Menge (50 Mio. t) werden durch natürliche Vorgänge ersetzt. Aus dem aktuellen Sand- und Kiesverbrauch lässt sich abschätzen, dass die Vorräte noch mindestens 50 Jahre reichen werden. Allerdings treten bereits heute im In- und Ausland an einigen Orten Engpässe auf.

In der Schweiz muss es trotzdem nicht unbedingt zu einer generellen Kiesverknappung kommen.

Gründe dafür sind unter anderem:
- Rückgang der Bautätigkeit um mehr als 30 % von 1990 bis 1996
- Rückgewinnung von jährlich 0,3 Mio. t Zuschlägen in Fahrmischern und Betonzentralen
- Betongranulate als Recyclingbaustoffe: Jährlich fallen im Hochbau etwas über 1 Mio. t Betonabbruch und rund 1,5 Mio. t Mischabbruch an; die Tendenz ist stark steigend.
- Verwendung von gebrochenem Material aus dem Tunnelbau (zurzeit < 100 000 t/a) und aus Steinbrüchen
- Import von über 4 Mio. t Sand und Kies pro Jahr.

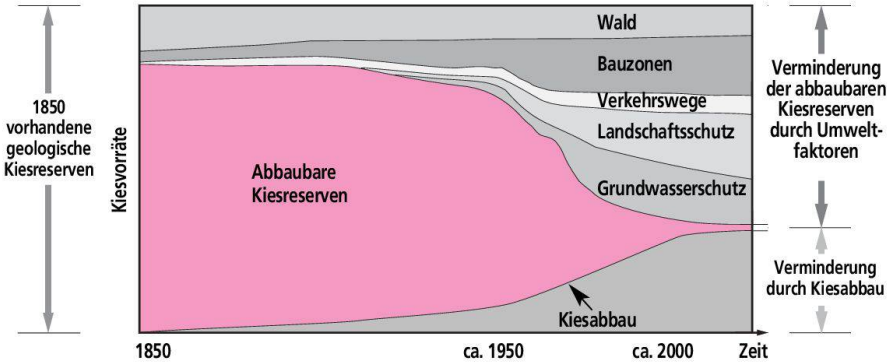

Abb. 2 Schematische Darstellung der Abnahme der abbaubaren Kiesreserven (nach [8]).

Betonzusatzmittel (BZM)
Rund 1/3 aller Betone, die in der Schweiz hergestellt werden, enthalten BZM (Tendenz eher steigend). BZM sind Materialien, welche Betonen während des Mischvorgangs in Mengen unter 5 % (bezogen auf die Zementmasse) zugesetzt werden, um deren Eigenschaften im frischen wie im erhärteten Zustand gezielt zu verändern (prEN 934-2). Der Einsatz der wichtigsten Zusatzmittel wurde bereits früher im «Cementbulletin» ausführlich beschrieben [9].
Im Jahr 1996 wurden insgesamt rund 15000 t BZM verkauft. Davon entfielen 76 % auf Hochleistungsbetonverflüssiger (HBV) und Betonverflüssiger (BV).

In einer Studie wurden Auslaugversuche mit Betongranulat aus im Labor hergestellten Betonkörpern unterschiedlicher Zusammensetzung durchgeführt, wobei die Eluate auf gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) untersucht wurden. Nachgewiesen wurden nur geringe Mengen an DOC (< 50 ppm). Unter strengen Versuchsbedingungen gelang es, insgesamt etwa 20 bis 30 % der eingesetzten HBV auszulaugen.

In Betongranulaten stammte nur ein kleiner Teil der auslaugbaren Stoffe – gemessen als organischer Kohlenstoff – aus dem eingesetzten HBV. Für den grossen Rest sind im Bau verwendete Produkte (Anstriche, Kleber, Fugenkitt usw.) und Fremdmaterialien (Holz, Gips, Asphalt usw.) sowie zu einem geringeren Teil auch Zuschläge, Zemente und Wasser verantwortlich.
HBV sind nach dem heutigen Stand des Wissens kaum umweltgefährdend. Da BZM sehr gut wasserlöslich sind, ist keine Anreicherung in Böden, Grundwasserleitern oder Organismen zu erwarten.
Der Fachverband Schweizerischer Hersteller von Betonzusatzmitteln (FSHBZ) hat zusammen mit unabhängigen Umweltfachleuten ein Gütesiegel für Beton- und Mörtelzusatzmittel geschaffen *(Abbildung 3)*.

GÜTESIEGEL
Label de qualité Sigillo di qualità
Erfüllt die Umweltrichtlinien des FSHBZ
Remplit les directives écologiques du FSHBZ
Conforme alle direttive ecologiche del FSHBZ

Abb. 3 Gütesiegel des FSHBZ.

Dieses wird an Produkte verliehen, die als umweltverträglich eingestuft werden. Berücksichtigt werden dabei Produktion, Lagerung, Transport, Anwendung, Recycling, Entsorgung und Verpackung eines BZM.

Betonzusatzstoffe (BZS)
BZS sind nach Norm SIA V 162.051 fein verteilte anorganische Stoffe, die Betonen zugegeben werden können, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder um besondere Eigenschaften zu erzielen. Sie können aus natürlichen Quellen stammen (z.B. Trass, ein vulkanisches Produkt) oder industriell hergestellt werden (z.B. Flugasche aus Kohlekraftwerken).
BZS werden definitionsgemäss bei der Betonherstellung zugegeben. Flugaschen, Hüttensande, Kalksteinmehle und Silicastäube werden dem Zementklinker aber auch direkt zugemahlen; dadurch entstehen verschiedene Zementarten (Norm SIA 215.002). Auf bautechnische Aspekte von BZS wurde in «Cementbulletins» [10] eingegangen.
Verglichen mit Ländern, in denen BZS als Nebenprodukte industrieller Prozesse anfallen, ist der Verbrauch an BZS in der Schweiz mit rund 50000 t/Jahr niedrig: Unter der Voraussetzung, dass etwa 30 kg BZS/m^3 Beton verwendet wurden, ent-

hielten etwa 10 % aller Schweizer Betone Steinkohlenflugaschen bzw. Hüttensande.
Flugaschen müssen genau definierte Anforderungen erfüllen (Norm EN 450). Sie stammen hauptsächlich aus Steinkohlenkraftwerken; Aschen aus Kehrichtverbrennungsanlagen sind nicht zugelassen.

Umweltaspekte von Beton

Energiebedarf

Angaben zum Energiebedarf (z.B. zur Produktion von 1 t Zement) beziehen sich entweder auf die eingesetzte Endenergie (Liter Heizöl, Kilowattstunde Elektrizität…) oder auf die Primärenergie, auch graue Energie genannt. Die graue Energie umfasst die Energieaufwändungen für die Herstellung und den Transport der Energie zum Endverbraucher. Abhängig von der Betrachtungsweise (Systemgrenze) kann die Primärenergie auch den Energiebedarf zur Herstellung der Infrastrukturbauwerke wie Kraftwerke, Raffinerien, Leitung, Strassen… enthalten. Ein Beispiel: Bei der Herstellung von eines Kilogramms CEM I beträgt der Endenergiebedarf etwa 3,4 MJ, der Primärenergieeinsatz (ohne Infrastrukturbauwerke) etwa 4,1 MJ. Jeder Kubikmeter umbauten Raums in Wohngebäuden enthält rund 500 kg Baustoffe. Neuere Gebäude bestehen zu mehr als $^2/_3$ aus Beton, Natur-/Kunststein sowie Backsteinen und Ziegeln *(Tabelle 4)*.
In modernen Wohnüberbauungen wird die materialbezogene graue Energie pro Energiebezugsfläche 60 bis 110 MJ/m^2 und Jahr veranschlagt.

	Mehrfamilienhäuser BRD	Zweifamilienhaus Widmerstr., Zürich	Indexhaus Zürich
Baujahr	1972	1927	
umbauter Raum (SIA)	6000 m^3	500 m^3	22600 m^3
Baumasse (SIA)	490 kg/m^3	470 kg/m^3	540 kg/m^3
Zusammensetzung nach Materialien in Massenprozent			
Beton, Natur-, Kunststein	46	9	73
Backstein, Ziegel	34	70	17
Mörtel, Putz	4	7	4
Asbestzement			0,8
Glas	0,2	0,1	0,1
Holz	10	10	0,9
Metalle	2	2	3
Isolationsmaterial, Gips, Stroh, Schlacke	3	3	0,2
Beläge, Kunststoffe, Tapeten, Farbe	0,4	0,1	0,3

Tab. 4 Massenanteile verschiedener Baumaterialien in Hochbauten, nach [11].

Die materialbezogene Energie ist diejenige Energie, die zur Herstellung der Baustoffe für die Gebäudehülle benötigt wird. Nicht enthalten sind darin die Materialtransporte vom Hersteller zur Baustelle, der Energiebedarf für den Aushub und andere Baustellenarbeiten.
Während der Nutzung eines Gebäudes verbrauchen die Bewohner ein Mehrfaches der materialbezogenen Energie für den Betrieb (Heizung, Warmwasser, Licht, Klima usw.) und die Nutzung der Verkehrsmittel (Auto, Bahn usw.). Trotzdem muss die energetische Seite der Baustoffherstellung weiter optimiert werden.

Durch Betrachtungen des Energiebedarfs wird nur ein einzelner ökologischer Aspekt berücksichtigt. Drei Szenarien für die Entwicklung beim Energieverbrauch und beim Gebäudevolumen von Wohngebäuden zeigen dies auf [12]:

- Bauen sowie Instandhaltung und Instandsetzung wie bisher; neue Gebäude werden nach heutigen Standards gebaut
- Erhaltung der bestehenden Bausubstanz, d.h. Strategie zur Minimierung des Materialverbrauchs (Sand-, Kiesverbrauchs); das

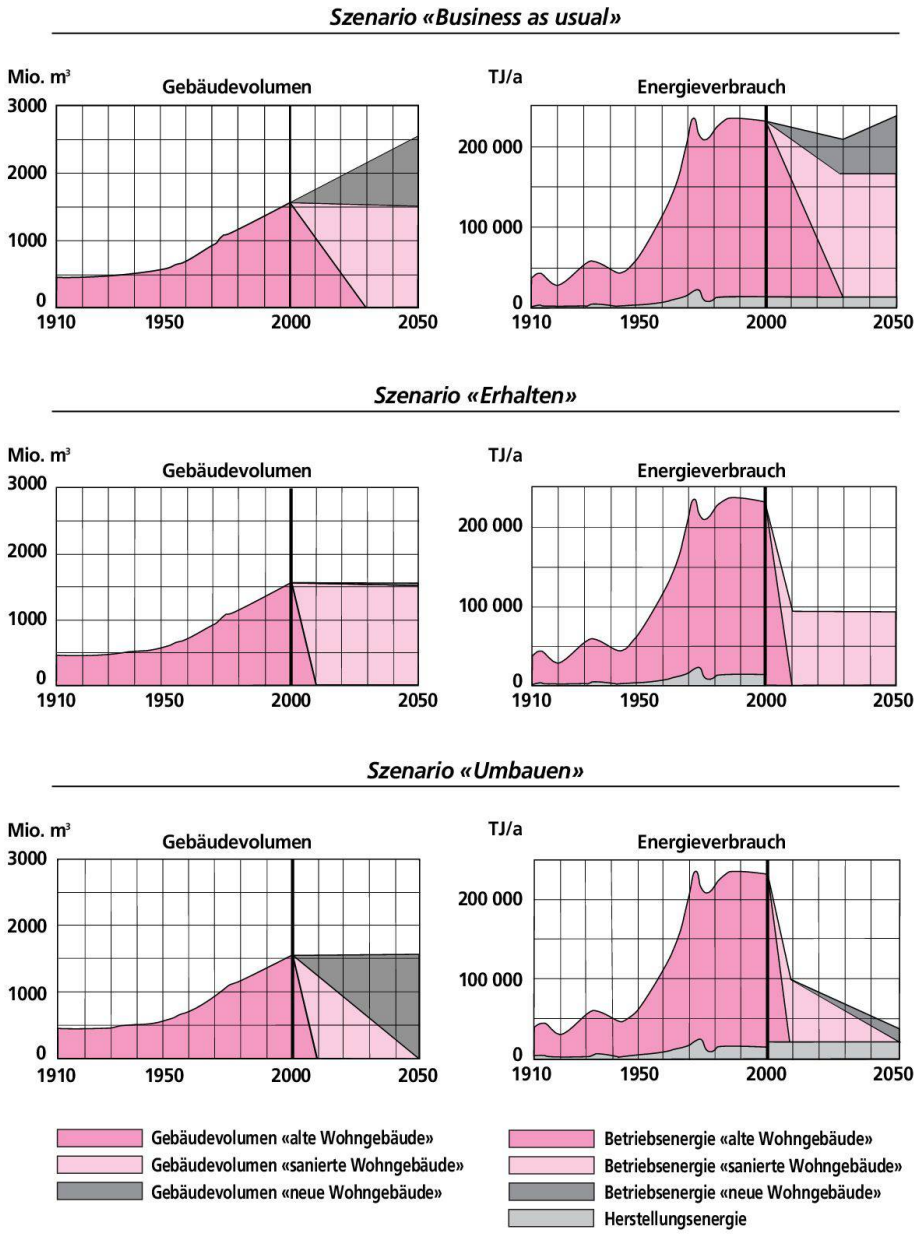

Abb. 4 Entwicklung des Gebäudevolumens und Energieverbrauchs bei drei Szenarien, aus [12].

Neubauvolumen entspricht den Abbruchvolumen: es besteht kein Wachstum

- Umbauen zur Minimierung des Energieverbrauchs; innerhalb von 50 Jahren wird der gesamte Gebäudebestand durch Niedrigenergiegebäude ersetzt.

Die Ergebnisse der drei Szenarien sind in *Abbildung 4* dargestellt. Die Gebäudevolumen und der Energieverbrauch sind beim Fortschreiben des Bisherigen am höchsten. Die Entscheidung für eines der Szenarien muss auf übergeordneter Ebene – im Rahmen der politischen Meinungsbildung – erfolgen.

Schwermetallgehalte von Betonen

Zemente, Zuschläge und BZS bestimmen grösstenteils den Schwermetallgehalt eines Betons; der Beitrag des Zugabewassers und der BZM ist gering. Die Zuschläge, deren Masse sechs bis sieben Mal höher ist als diejenige des Zements, tragen meist mehr zum Schwermetallgehalt eines Betons bei als der Zement.

Der teilweise Ersatz von Zement durch BZS wie Steinkohlenflugasche oder Hüttensand führt – je nach Zusammensetzung dieser BZS – zu höheren oder niedrigeren Schwer-

metallgehalten in den Betonen. Zuschläge aus Gesteinen der Alpen, die beispielsweise beim Tunnelvortrieb ausgebrochen werden, können höhere Schwermetallgehalte als Zuschläge aus dem Mittelland aufweisen. Das Gleiche gilt für Betongranulat in Recyclingbetonen. Der Einsatz von Betongranulat oder Tunnelausbruchmaterial als Betonzuschläge darf dadurch nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden, denn im Gegenzug werden Deponieräume geschont, und Kies- und Sandlagerstätten können anderen Funktionen (z.B. Trinkwasserspeicher) dienen.

Umweltgefährdung durch Schwermetalle

Massgebend für die Umweltbelastung durch Schwermetalle ist nicht der Gesamtgehalt an Schwermetallen, sondern nur derjenige Teil, der ausgetragen bzw. ausgelaugt werden kann.

Auslaugungen aus Frischbetonen sind nur möglich, wenn diese während der kurzen Zeit der Erhärtung mit Wasser in Kontakt kommen (z.B. beim Betonieren unter Wasser oder von Pfählen im Grundwasser). Untersuchungen darüber sind noch kaum vorhanden. Mit einer grossen Gefährdung ist aber nicht zu rechnen. In Laborversuchen zur Auslaugung von Schwermetallen aus Festbetonen musste der Gehalt der einzelnen Schwermetalle künstlich erhöht werden (teilweise bis zur 100-fachen Menge der üblichen Gehalte in Betonen), damit überhaupt verlässliche Messungen durchgeführt werden konnten.

Trotzdem wurden die Anforderungen an oberirdische Gewässer der Gewässerschutzverordnung eingehalten.

LITERATUR

Allgemeines: Der Artikel basiert in weiten Bereichen auf der Dokumentation SIA D 0146 [1]. Dort enthaltene Literaturhinweise sind nur aufgeführt, wenn sie sich auf Quellen von Abbildungen oder Tabellen beziehen.

[1] «Umweltaspekte von Beton – Informationen zur Umweltverträglichkeit», Dokumentation SIA D 0146 (1998).

[2] «Umwelt in der Schweiz 1997 – Daten, Fakten, Perspektiven», herausgegeben vom Bundesamt für Statistik und vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (1997).

[3] **Krusche, P., et al.,** «Ökologisches Bauen» (1982).

[4] «Abfallentsorgung in Zementwerken», Thesenpapier, Umwelt-Materialien Nr. 70, Buwal (1997).

[5] «Empfehlungen betreffend Import und Verwendung von Flugasche und von Hochofenschlacke zur Herstellung von Baustoffen», Buwal (Schreiben vom 4.7.97).

[6] «Richtlinien für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von mineralischem Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial», Buwal (Entwurf Dezember 1997).

[7] «Schutz vor Hautkrankheiten durch Zement», Cementbulletin-Sondernummer (März 1999).

[8] **Kündig, R., et al.,** «Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz», herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, ETH-Zürich (1997).

[9] «Zusatzmittel», Cementbulletin-Separatdruck (1995).

[10] «Zusatzstoffe», Cementbulletin-Separatdruck (1996).

[11] **Baccini, P.,** «Welche Ressourcen stecken in den Bauwerken unserer Siedlungen?» in Lichtensteiger, T. (Ed.), «Ressourcen im Bau», vdf, ETH Zürich (1998).

[12] **Redle, M.,** und **Baccini, P.,** «Stadt mit wenig Energie, viel Kies und neuer Identität», Gaia **7** [3], 182–195 (1998).

[13] «Bauökologie-Empfehlungen», herausgegeben von der Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren, Zürich (1997).

[14] **Heijungs, R.,** «Environmental life assessment of products – guide», report 9266, Centre of environmental science, Leiden (1992).

[15] **Heijungs, R.,** «Environmental life assessment of products – backgrounds LCA», report 9267, Centre of environmental science, Leiden (1992).

[16] «Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen – Wirkungsbilanz und Bewertung», Texte 23, Umweltbundesamt Berlin (1995).

[17] **Künniger, T.,** und **Richter, K.,** «Ökologischer Vergleich von Freileitungsmasten», Bericht Empa, Dübendorf (1995).

[18] Schweizer Baublatt **1999** [55], 3.

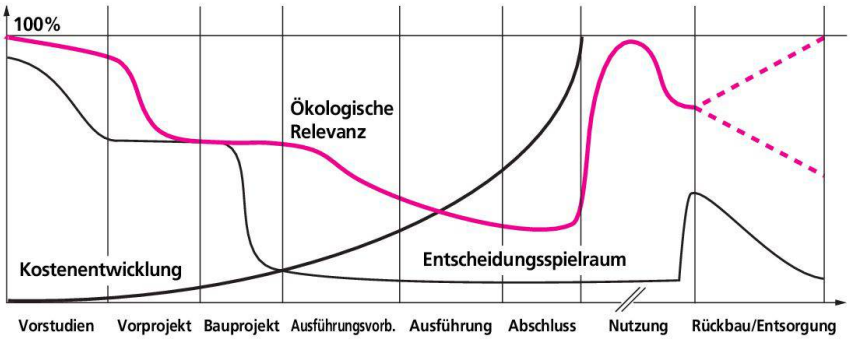

Abb. 5 Einflussmöglichkeiten bei einem Bauprojekt (nach [13]).

Betone mit und ohne BZS liefern bei Auslaugversuchen von Schwermetallen in der Regel sehr ähnliche Resultate. Dies erstaunt nicht, denn die Schwermetalle sind sowohl in BZS als auch im Zementstein und in den Zuschlägen eingebunden.

Betonrecycling

80 % der etwa 1,5 Mio. t Bauabfälle, die 1996 in Aufbereitungs- und Sortieranlagen verarbeitet wurden, konnten wiederverwertet werden. Der Anteil an Beton in den Bauabfällen, der zu Betongranulat verarbeitet wird, nimmt zu. Voraussichtlich werden in Zukunft jährlich etwa 2,5 ‰ des Gebäudebestandes abgebrochen werden, was zu rund 1 Mio. m^3 Betonabfall führen wird.

Die technischen und ökologischen Anforderungen an das Betonrecycling sind in der Empfehlung SIA 162/4, der Norm SN 640743a des VSS und in der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle des Buwal festgelegt.
Betongranulate werden sowohl ungebunden (Sand- und Kiesersatz) als auch gebunden (Beton) eingesetzt. Ihre Haupteinsatzgebiete sind gegenwärtig:

- Sand- und Kiesersatz in loser Form
- Magerbeton
- Ersatz natürlicher Zuschläge bei Konstruktionsbetonen.

Gegebenenfalls in Betongranulaten enthaltene BZM und/oder BZS stören nicht, wohl aber die Verschmutzungen (u.a. Gummi, Öl), die aus dem Gebrauch bzw. aus den Vermischungen mit anderen Baustoffen bei der Herstellung (Verbundkonstruktionen) oder beim Rückbau stammen. BZM und BZS lassen sich problemlos in Recyclingbeton einsetzen.

Allgemeine ökologische Beurteilungen

Die ökologisch relevanten Phasen, die Entscheidungsspielräume sowie die Kostenentwicklung im Lebenszyklus eines Bauwerks sind in *Abbildung 5* dargestellt. Ökologisch relevant sind vor allem die Arbeiten vor und während der Projektierung (z.B. Entscheidung ob Neu- oder Umbau, ob Stahl- oder Stahlbetonbau sowie Definition der Nutzung und der Bedürfnisse). Wesentliche ökologische Optimierungen während der Bauarbeiten sind kaum mehr realisierbar. Aus *Abbildung 5* geht auch hervor, dass die Materialwahl die Kosten für Rückbau bzw. Entsorgung beeinflusst.

Beurteilung der Umweltverträglichkeit

Wichtig bei allgemeinen Betrachtungen zur Umweltverträglichkeit ist eine umfassende Beurteilung der relevanten ökologischen und technischen Aspekte. Für Betonbauteile sind unter anderem wichtig: Herstellung und Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und des Betons, Nutzungs- und Unterhaltsphase sowie Rückbau. Während allen Phasen treten unterschiedliche Mengen an Lärm, Abwässern, Abgasen und Abfällen auf, es werden Energie und Rohstoffe verbraucht. Die sehr ver-

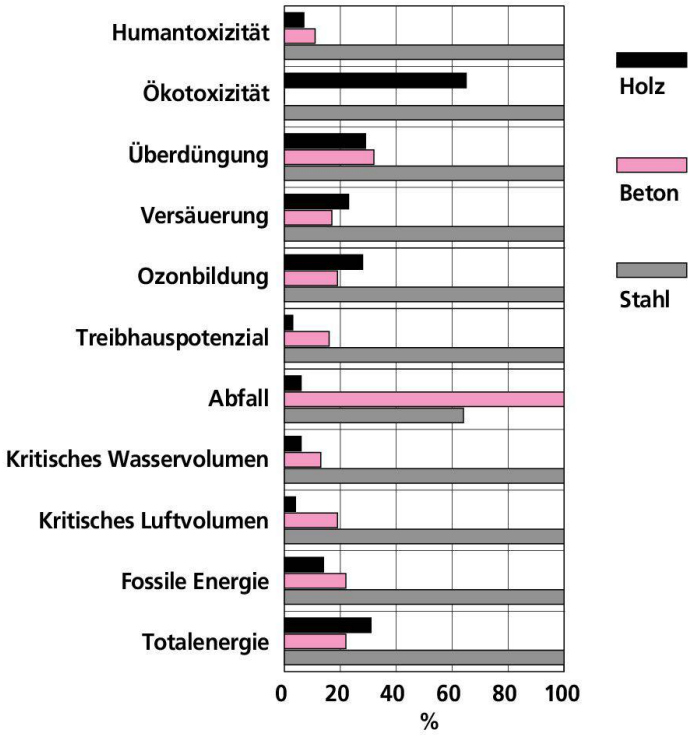

Abb. 6 Ökologischer Vergleich von Freileitungsmasten, aus [17].

schiedenen Auswirkungen lassen sich nicht direkt vergleichen. Ein Ausweg besteht beispielsweise darin, Gruppen, sogenannte Wirkungskategorien, zu bilden.

Wirkungskategorien

In Wirkungskategorien *(Tabelle 5)* lassen sich die nach dem aktuellen Stand des Wissens relevanten Auswirkungen verschiedener Stoffe zusammenfassen (aggregieren). Ein Beispiel: Kohlendioxid, Methan, chlorierte Kohlenwasserstoffe und Lachgas werden bezüglich des Treibhauspotenzials zu Kohlendioxidäquivalenten aggregiert. Auch die Beeinträchtigung der Gesundheit bei Menschen (Humantoxizität) sowie bei Pflanzen und Tieren (Ökotoxizität) durch Abwässer, Abgase… sind in Wirkungskategorien zusammengefasst. Daneben bestehen Zusatzkriterien, die ebenfalls zu ökologischen Beurteilungen hinzugezogen werden.

Wirkungskategorien sind ein erster Schritt zu einer umfassenden ökologischen Betrachtung, da sie sich auf das nach dem heutigen Wissensstand Notwendige und Mögliche beschränken; neue Erkenntnisse werden kontinuierlich mit berücksichtigt.
Die Methode der Wirkungskategorien bewährt sich bei Baustoffen. Sie wurde beispielsweise auf Kanalisationsrohre, Freileitungsmasten und Eisenbahnschwellen angewendet; Untersuchungen von Wohngebäuden liegen bisher keine vor. Derartige Studien sind aufwändig. Vereinfachungen durch das Weglassen von einzelnen Parametern können zu Fehlschlüssen führen.

Wirkungskategorie	erfasst
Treibhauspotenzial	Emissionen in Luft, die den Wärmehaushalt der Atmosphäre beeinflussen
Versäuerungspotenzial	Emissionen in Luft, die eine Regenwasserversäuerung verursachen
Oxidantenbildungspotenzial	Emissionen in Luft, die als Ozonbildner in Bodennähe fungieren
Ozonabbaupotenzial	Emissionen in die Luft, die die stratosphärische Ozonschicht abbauen
Eutrophierungspotenzial	Überdüngung von Gewässern und Böden
Ökotoxisches Schädigungspotenzial	Emissionen in Boden, Luft, Wasser, die die Lebensgemeinschaft von Flora und Fauna störend beeinflussen
Energiebedarf [a)]	Energieverbrauch, z.T. aufgeschlüsselt in Primär- und Sekundärenergieverbrauch
Naturrauminanspruchnahme [a)]	Dauer und Art der Veränderung von Naturraum durch den Menschen
belastetes bzw. kritisches Luft-/Wasservolumen [b)]	basierend auf Emissionen wird mit den nationalen Grenzwerten das Luft- bzw. Wasservolumen ausgerechnet, welches die maximal zulässige Belastung aufweisen würde
Abfallaufkommen [b)]	anfallende Menge an Abfall, z.T. aufgeschlüsselt in Abfallarten: Sondermüll, Abfall für KVA, Deponiearten

[a,b)] Dies sind keine Wirkungskategorien, sondern teilweise national geregelte Zusatzkriterien

Tab. 5 Wirkungskategorien und Zusatzkriterien zur Erfassung der Umweltauswirkungen [14–16]).

Beispiel Freileitungsmasten

Ein gutes Beispiel einer allgemeineren ökologischen Beurteilung bzw. eines ökologischen Vergleichs ist eine Studie aus dem Jahr 1995 [17]. Untersucht und beurteilt wurde eine 0.4-kV-Regelleitung mit 1000 m Länge und 35 m Spannweite, wobei auch der Standort mit einbezogen wurde. Behandelt wurden Masten aus Holz, Stahl und Stahlbeton. Die Umweltauswirkungen wurden von der Herstellung bis zur Entsorgung zu Wirkungskategorien *(Tabelle 5)* aggregiert *(Abbildung 6)*. Ergänzend dazu wurde mittels einer (Sensitivitäts-)Analyse abgeklärt, was die Aussagen massgeblich beeinflusste und ob die Datengrundlagen hierfür ausreichend genau waren.

Betonvariante für neue Aarebrücke

hr. Für den Einsatz der Stahlfachwerkbrücke über die Aare zwischen Vogelsang und Lauffohr liess das Aargauer Baudepartement Varianten in Holz, Stahl und Beton ausarbeiten. Eine Jury prüfte die Vorprojekte in technischer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht. Für die ökologische Bewertung wurden unabhängige Experten beigezogen. Begutachtet wurde zudem die Eingliederung der Brücke in die Landschaft.
Als beste Lösung kristallisierte sich die Brücke aus Stahlbeton heraus. Der Aargauer Regierungsrat hat daraufhin das Baudepartement beauftragt, den Bau einer Stahlbetonbrücke zu projektieren. Quelle: [18]

Die Konstruktion aus Holz erwies sich als ökologisch geringfügig vorteilhafter als jene aus Stahlbeton, die wiederum ökologisch deutlich vorteilhafter als die Stahlkonstruktion war. Für Freileitungsmasten unter verschiedenen Randbedingungen müssen die einzelnen Wirkungskategorien unterschiedlich gewichtet werden. So könnte beispielsweise die Stahlbetonbauweise an Standorten mit einer bereits relativ hohen ökotoxischen Belastung ökologisch vorteilhafter sein als Holz, das bezüglich der Ökotoxizität am problematischsten ist.

Informationsmöglichkeiten

Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter enthalten die wesentlichen Informationen zur Umweltgefährdung. Dafür sorgt die Produktehaftung. Im SIA-Deklarationsraster werden die in Baustoffen und Bauteilen eingesetzten Stoffe mengenmässig erfasst. Einige wenige zusätzliche Angaben vermitteln einen beschränkten Eindruck über die Umweltverträglichkeit. Die Lieferanten bzw. Hersteller bestimmen die Qualität der Deklarationen, da sie die Angaben liefern.

Neben diesen Blättern liegen viele weitere Schriften vor, in denen teilweise aus Gründen der «Praktikabilität» unzulässige Vereinfachungen vorgenommen wurden. Im Baubereich sind zahlreiche kantonalen und städtischen Merkblätter zum ökologischen Bauen erschienen. Sie enthalten wertvolle Hinweise, wenngleich auch ökologische Beurteilungen an Kantonsgrenzen wechseln können: Baustoffe, die in einem Kanton abgelehnt werden, können durchaus in einem anderen Kanton empfohlen werden.
Um den komplexen Sachverhalten Rechnung zu tragen, wurden das Ökoforum und im Frühjahr 1998 die Ökoplattform gegründet. Hier können und sollen neu zu erstellende Dokumente mit ökologischen Aussagen eingebracht werden. Einerseits sollen dadurch Doppelspurigkeiten und Widersprüche bereits im Frühstadium ausgeschaltet werden, andererseits können Informationen zum Inhalt bestehender Dokumente eingeholt werden.

Ausblick

Die Reduktion der Umweltbelastungen ganz allgemein und des Energieverbrauchs im Besonderen ist eine vordringliche Aufgabe, die in verschiedenen Bereichen angegangen werden muss. So gilt beispielsweise:

- Materialkreisläufe sind einzurichten, und der Einsatz rezyklierbarer Baustoffe ist zu fördern. Zudem muss die Akzeptanz von Sekundärstoffen wie Betongranulat erhöht werden. An Sekundärbaustoffe sollten keine strengeren Anforderungen als an Primärbaustoffe gestellt werden.
- Bei Neubauvorhaben sind zuerst Nutzungsänderungen an der bestehenden Bausubstanz zu prüfen, damit weniger Material aus der Natur entnommen und im Bauwerk Schweiz verbaut wird.
- Der Energieverbrauch durch die bestehende Bausubstanz muss reduziert werden.
- Dem Aspekt der Langlebigkeit ist grosse Beachtung zu schenken, denn eine Verdoppelung der Nutzungsdauer bedeutet eine Halbierung der Beanspruchung der natürlichen Ressourcen.
- Umweltmanagementsysteme in Produktionsbetrieben haben ökologische und ökonomische Vorteile. Stoff- und Energieströme können optimiert werden.

Frank Jacobs, TFB