

18 Umweltverträglichkeit

18.1 Überblick

Anforderungen an die *Umweltverträglichkeit* von Baustoffen und Bauprodukten resultieren zuerst einmal aus dem Schutz der unmittelbaren Umwelt einer baulichen Anlage. Daneben gewinnt die Betrachtung der Auswirkungen des Bauens auf die regionale und globale Umwelt und damit auf die natürlichen Lebensgrundlagen zunehmend an Bedeutung.

Für das Inverkehrbringen von Bauprodukten sind die gesetzlichen Regelungen des europäischen und nationalen Gefahrstoffrechts zu beachten. Der Schutz der unmittelbaren Umwelt einer baulichen Anlage gehört zu den wesentlichen Anforderungen der europäischen Bauproduktenrichtlinie [Ri25]. Danach dürfen nur Bauprodukte in Verkehr gebracht werden, wenn die daraus errichteten baulichen Anlagen auch die aus Hygiene, Gesundheits- und Umweltschutz resultierenden Anforderungen erfüllen. In einem Grundlagendokument zur europäischen Bauproduktenrichtlinie [Ri26] werden Kriterien zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Bauprodukten genannt. Dazu gehören das Freisetzen giftiger Gase, das Vorhandensein gefährlicher Teilchen oder Gase in der Luft, die Emission gefährlicher Strahlen, die Wasser- oder Bodenverunreinigung oder -vergiftung, die unsachgemäße Beseitigung von Abwasser, Rauch, festem oder flüssigem Abfall sowie die Feuchtigkeitsansammlung in Bauteilen und auf deren Oberflächen in Innenräumen. Das Bauordnungsrecht fordert in den Landesbauordnungen, dass bauliche Anlagen so anzuordnen und zu errichten sind, dass insbesondere

Leben, Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden. Zement und zementgebundene Bauprodukte erfüllen die aus den europäischen und nationalen Vorgaben ableitbaren Anforderungen. Die für die Umsetzung dieser Vorgaben geltenden technischen Regelwerke (nationale bzw. harmonisierte europäische Normen) sehen deshalb keine gesonderten Nachweisforderungen zur Feststellung der allgemeinen Brauchbarkeit und damit Umweltverträglichkeit von Zement vor. Zement und zementgebundene Baustoffe, die den nationalen oder später den europäischen Normen entsprechen, erfüllen somit auch die für die allgemeine Verwendbarkeit relevanten Anforderungen an die Umweltverträglichkeit.

Die bisher genannten Festlegungen betreffen die allgemeine Brauchbarkeit von Bauprodukten. Darüber hinaus werden weitergehende Regelungen getroffen, wenn dies für Anwendungen notwendig erscheint, die einen besonderen Schutz der Umweltmedien Wasser, Boden und Luft verlangen. So sind für Bauprodukte, die in direktem Kontakt mit Grundwasser und Boden stehen, durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) Anforderungen festgelegt worden, die bei einer bauaufsichtlichen Zulassung entsprechender Bauprodukte zu erfüllen sind (s. Abschnitt II.18.2). Für Werkstoffe im Trinkwasserbereich gelten ebenfalls besondere Anforderungen, die für zementgebundene Werkstoffe in einem Arbeitsblatt des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) festgelegt sind (s. Abschnitt II.18.3). Bauteile aus bewährten Baustoffen wie Mörtel, Putz oder Beton weisen keine oder nur eine unbedeutende Abgabe von Schadstoffen in die (Innenraum-)Luft auf, wie in Abschnitt II.18.4 gezeigt wird. Daher sind in diesem Bereich bislang keine besonderen Regelungen für Zement und übliche zementgebundene Baustoffe vorgesehen.

Über die Betrachtung der unmittelbaren Umgebung eines Bauwerks hinausgehend finden zunehmend auch regionale und glo-

bale Umweltwirkungen stärkere Beachtung. Zu diesen gehören z. B. die Versauerung von Gewässern und Böden oder der Treibhauseffekt. In diesem Fall steht nicht die direkte Gefährdung von Mensch und Umwelt in der unmittelbaren Umgebung eines Bauwerks im Blickpunkt. Vielmehr wird der Gesamtbeitrag zu den regionalen oder globalen Umweltwirkungen betrachtet, der mit dem gesamten Lebensweg eines Bauwerks verbunden ist. Der Lebensweg reicht dabei von der Baustoffherstellung über die Erstellung des Bauwerks und seine Nutzung bis hin zu Abbruch und Entsorgung. Die Methode der Ökobilanz erlaubt die Untersuchung solcher Umweltwirkungen. Auf die Anwendung der Methode wird in Abschnitt II.18.5 eingegangen.

Die Umweltwirkungen von Baustoffen und Bauprodukten werden heute im Rahmen einer umfassenden Diskussion über die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung im Bauwesen angesprochen. Eine nachhaltige Entwicklung soll den Bedürfnissen der heutigen Generation entsprechen, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen [WCE1]. Es besteht ein Konsens darüber, dass dabei die Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft gemeinsam betrachtet werden müssen. Für das Bauwesen hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen Anforderungen bezüglich aller drei Dimensionen im „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ beschrieben [Ri71]. Der Sachstand zum nachhaltigen Bauen mit Beton wurde in einem Bericht des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton zusammengetragen [Rei3].

18.2 Boden- und Grundwasserschutz

18.2.1 Rechtliche Vorgaben

Bei Baumaßnahmen in *Grundwasser* und *Boden* sind neben dem Bau- und gegebenenfalls dem Verkehrswegerecht das Wasser-

und das Bodenschutzrecht zu beachten. Das Wasserhaushaltsgesetz setzt eine Erlaubnis voraus, wenn bei einer Baumaßnahme Stoffe in das *Grundwasser* eingeleitet werden sollen. Eine Erlaubnis wird dann erteilt, wenn durch die Baumaßnahme eine schädliche Verunreinigung des *Grundwassers* oder eine nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist. Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodV) haben zum Ziel, bei Einwirkungen auf den Boden Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen so weit wie möglich zu vermeiden. Wasser- und Bodenschutzrecht begründen ihre Maßnahmen bei der Beurteilung von Neubaumaßnahmen aus dem Vorsorgeprinzip, bei Altlastsanierungen i.d.R. aus der Gefahrenabwehr heraus.

Die bauaufsichtliche *Zulassung* von Bauprodukten des Erd- und Grundbaus setzt voraus, dass die aus dem Bau-, dem Wasser- und dem Bodenschutzrecht abgeleiteten Anforderungen erfüllt werden. Um diese Anforderungen zusammenfassend beurteilen zu können, wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) ein „Merkblatt zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ unter Beteiligung von Vertretern des Wasser-, Boden- und Abfallsrechts und der Industrie ausgearbeitet [Me105]. Es ist zu erwarten, dass dieses Merkblatt zukünftig als Modell bei rechtsbereichsübergreifenden Festlegungen von technischen Regelwerken im Bereich des Boden- und Grundwasserschutzes herangezogen wird. Deshalb soll dieses Merkblatt hier in seinen Grundzügen vorgestellt werden. Mit der Bewertung von Bauprodukten nach diesem Merkblatt wird sichergestellt, dass bei deren Einbau und Verwendung die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung bzw. einer Grundwasserverunreinigung ausgeschlossen werden kann. Detailregelungen für zementgebundene Bauprodukte werden zur Zeit von einer entsprechenden Projektgruppe des

Rechtsgrundlage

Baurecht BauPG	Immissions- schutzrecht BImSchG	Abfallrecht KrW-AbfG	Wasserrecht WHG	Bodenschutz- recht BBodSchG
-------------------	---------------------------------------	-------------------------	--------------------	-----------------------------------

Schutzziele

Vorsorge gegen schädliche Boden- und Grundwasserunreinigungen

Beurteilung

Geringfügigkeitsschwellenwerte der Stoffkonzentrationen
im Grund- und Sickerwasser (Immissionsgrenzwerte)

Bewertungsablauf für Bauprodukte

Inhaltsstoffe (Herstellerangaben oder Analysen)	Elutionsverhalten (Emissionsverhalten) (standardisierte Prüfverfahren)
--	---

Bewertungsmaßstäbe

Inhaltsstoffe Gesetzliche Verwendungsverbote und Verwendungsbeschränkungen Bei Abfallverwertung gilt das LAGA-Regelwerk	Stoffgehalte im Eluat Vergleich mit Geringfügigkeitsschwellenwerten im Sicker- bzw. Grundwasser Bewertung der biologischen Parameter bei organischen Stoffen (eventuell)
---	---

Bild II.18.2-1: Beurteilungs- und Bewertungskonzept für die Zulassung von Bauprodukten in Kontakt mit Grundwasser und Boden

DIBt erarbeitet und sollen als Teil II des Merkblatts herausgegeben werden. **Bild II.18.2-1** gibt einen Überblick über das Beurteilungs- und Bewertungskonzept.

18.2.2 Beurteilung einer möglichen Boden- und Grundwassergefährdung

Die Beurteilung der Bauprodukte hat zum Ziel, bei deren Einbau und Verwendung eine Gefährdung hinsichtlich *Boden* und *Grundwasser* auszuschließen. Der rechtlich relevante Ort der Beurteilung ergibt sich aus der Lage der Einbaustelle des Bauprodukts im Boden bzw. *Grundwasser*. Wenn wasserdurchlässige Bauprodukte oberhalb des Grundwasserspiegels eingebaut werden, erfolgt die Beurteilung der Immission im Kontaktbereich zwischen Bauprodukt und Bodenkörper. Wenn wasserdurchlässige oder wasserundurchlässige Bauprodukte im Grundwasser, also in der gesättigten Zone, eingebaut werden, erfolgt die Beurteilung im Kontaktbereich zwischen Bauprodukt und Grundwasser. Beurteilt werden die im Kontakt mit Boden und Grundwasser stehenden Bauprodukte, nicht deren Ausgangsstoffe.

Für eine schädliche Grundwasserverunreinigung wird es als unerheblich angesehen, ob die Verunreinigung eines Grundwasserselements im weiteren Verlauf der Fließstrecke abgebaut oder durch Vermischung mit nicht verunreinigtem Grundwasser verdünnt wird. Eine Gefährdung von Boden und Grundwasser wird ausgeschlossen, wenn am Ort der Beurteilung die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleitete Werte eingehalten werden. Außerdem dürfen keine relevanten ökotoxikologischen Wirkungen auftreten. Dies kann unterstellt werden, wenn die Immission am Ort der Beurteilung die von der Landesarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) festgelegten Geringfügigkeitsschwellen nicht überschreiten. **Tafel II.18.2-1** zeigt die vorgeschlagenen Geringfügigkeitsschwellenwerte beispielhaft für anorganische Stoffe.

Zeitlich begrenzte Zustände, wie z. B. während der Erhärtung von Frischbeton oder von Zementleiminjektionen, werden im

Tafel II.18.2-1: Geringfügigkeitsschwellen für anorganische Stoffe zur Bewertung von Bauprodukten in Kontakt mit Grundwasser und Boden

Anorganische Parameter	Einheit	Schwellenwert
Antimon (Sb)	µg/l	10
Arsen (As)	µg/l	10
Blei (Pb)	µg/l	25
Cadmium (Cd)	µg/l	5
Chrom, gesamt (Cr)	µg/l	50
Chromat (Cr)	µg/l	8
Kobalt (Co)	µg/l	50
Kupfer (Cu)	µg/l	50
Molybdän (Mo)	µg/l	50
Nickel (Ni)	µg/l	50
Quecksilber (Hg)	µg/l	1
Selen (Se)	µg/l	10
Zink (Zn)	µg/l	500
Zinn (Sn)	µg/l	40
Cyanid, gesamt (CN ⁻)	µg/l	50
Cyanid, leicht freisetzbar (CN ⁻)	µg/l	10
Fluorid (F ⁻)	µg/l	750

Hinblick auf zulässige Freisetzungsraten am Ort der Beurteilung gesondert betrachtet.

18.2.3 Bewertungskonzept und Bewertungskriterien

Das Bewertungskonzept umfasst zwei Stufen, zum einen die Ermittlung und Bewertung aller relevanten *Inhaltsstoffe* des zu bewertenden Bauprodukts und zum anderen die Ermittlung und Bewertung der davon auslaugbaren *Anteile*.

Die Inhaltsstoffe werden nach folgenden Kriterien bewertet. Verwendungsverbote und Beschränkungen entsprechend der geltenden Chemikalien-Verbotsverordnung müssen eingehalten werden. Der Einsatz von Stoffen, die nach der EU-Richtlinie 67/548/EWG in der jeweils aktuell geltenden Fassung mit „N“, „T+“ und „T“ gekennzeichnet werden müssen, sollte vermieden werden. Kanzerogene, mutagene und teratogene Stoffe dürfen nicht aktiv eingesetzt werden. Mineralische Abfälle als Bestandteile des Bauprodukts müssen den Festlegungen der Bundesländer entsprechen, die sich i. d. R. auf das Regelwerk der Landesarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) [Ri70] beziehen. Bei der Bewertung der Inhaltsstoffe wird zudem auf gesicherte Kenntnisse und baupraktische Erfahrungen zurückgegriffen.

Die auslaugbaren Inhaltsstoffe müssen bestimmt und bewertet werden, wenn gesicherte positive Kenntnisse und Erfahrungen diese Untersuchungen nicht überflüssig erscheinen lassen bzw. wenn die Bewertung der Inhaltsstoffe im ersten Schritt nicht bereits zu einem Ausschluss führte. Wasserundurchlässige Bauprodukte, wie z. B. Beton, bedürfen i. d. R. einer Untersuchung nur dann, wenn sie im Grundwasser eingebaut werden, d. h., dass bei allen Gründungskörpern oberhalb des Grundwasserspiegels i. d. R. keine Boden- oder Grundwassergefährdung zu besorgen ist. Liegen keine positiven Erfahrungen vor, müssen wasserundurchlässige Bauprodukte, die vom Sickerwasser durchströmt werden, auch untersucht werden, wenn sie oberhalb des Grundwasserspiegels eingebaut werden. Die auslaugbaren Inhaltsstoffe werden durch *Elutionsverfahren* ermittelt, bei gefügedichtem

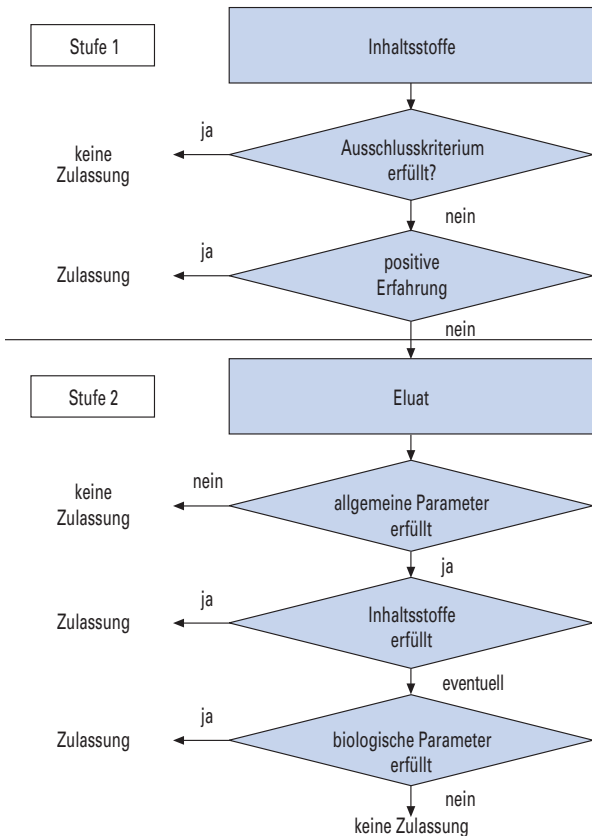


Bild II.18.2-2: Bewertungskonzept für die mobilisierbaren Inhaltsstoffe

Beton beispielsweise durch das Trogverfahren [Ri60], bei wasserundurchlässigen Bauprodukten durch Durchströmungsverfahren.

An den gewonnenen Eluaten werden zuerst allgemeine Parameter wie pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Geruch, Färbung, Trübung bzw. Neigung zur Schaumbildung ermittelt und beurteilt. In einem weiteren Schritt werden die stofflichen Parameter, d. h. die im Eluat vorhandenen Inhaltsstoffe, analysiert. Diese Inhaltsstoffe dienen als Basis für die Abschätzung der Stoffgehalte am Ort der Beurteilung. Für übliche Rahmenbedingungen ist für diese Abschätzung ein standardisiertes Verfahren im Anhang des Merkblatts vorgesehen. Die Stoffgehalte dürfen am Ort der Beurteilung die Geringfügigkeitsschwellen (s. Tafel II.18.2-1) nicht überschreiten.

Organische Inhaltsstoffe gelten in der Regel als unbedenklich, wenn der Summenparameter TOC (Total Organic Carbon) kleiner gleich 20 mg/l ist. Kann die ökotoxikologische Unbedenklichkeit der organischen Bestandteile nicht belegt werden, erfolgt in der dritten Stufe eine Bewertung der biologischen Parameter.

Bild II.18.2-2 fasst das Bewertungskonzept zusammen.

18.2.4 Besonderheiten bei der Bewertung von Bauprodukten aus Beton

Von der DIBt-Projektgruppe „Beton und zementgebundene Baustoffe“, die Ende 2000 ihre Tätigkeit aufnahm, wird zur Zeit ein Bewertungskonzept für Beton und Betonausgangsstoffe erarbeitet. Das Konzept sieht z. B. vor, dass für Grundbauwerke aus gefügedichtem Beton ein standardisiertes Verfahren zur Abschätzung der aus den Stoffgehalten im Eluat (Emissionen) resultierenden Stoffgehalte im Kontaktgrundwasser (Immission) aufgenommen wird. Dieses Verfahren beruht auf einem Diffusionsmodell zur Übertragung der Eluatwerte auf die Freisetzung aus realen Baukörpern und einem Transportmodell zur Ermitt-

lung des Übergangs vom Baukörper in das Kontaktgrundwasser am Ort der Beurteilung.

18.3 Zementgebundene Bauprodukte im Kontakt mit Trinkwasser

Bei der Gewinnung, Verteilung und Qualität des *Trinkwassers* sind die in Gesetzen und *Technischen Regeln* festgelegten *Anforderungen* zu erfüllen. So dürfen für Werkstoffe, die mit *Trinkwasser* in Berührung kommen, nach § 31 des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes Stoffe nicht verwendet werden, die auf das *Trinkwasser* übergehen können. Hiervon sind nur solche Anteile ausgenommen, die gesundheitlich, geruchlich und geschmacklich unbedenklich sowie technisch unvermeidbar sind.

Die Umsetzung dieser Anforderung für den Trinkwasserbereich erfolgt durch die „Empfehlungen von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen, die im Trinkwasserbereich angewendet werden können“ (*KTW-Empfehlungen*) [Ri68] des ehemaligen Bundesgesundheitsamts. Diese Empfehlungen stellen nach dem jeweiligen Stand der Wissenschaft und Technik fest, unter welchen Bedingungen ein Bedarfsgegenstand aus Kunststoff, der im Trinkwasserbereich Verwendung finden soll, den Anforderungen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes entspricht.

Die *KTW-Empfehlungen* gelten außer für Kunststoffe auch für andere, nicht metallische Werkstoffe. Aufgrund des abweichenden stofflichen Verhaltens *zementgebundener* Werkstoffe, die sich seit Jahrzehnten in allen Bereichen der Trinkwasserversorgung bewährt haben [Gru9], können die *KTW-Empfehlungen* für Kunststoffe nicht direkt, z. B. auf Mörtel und Beton, übertragen werden. Deshalb wurde vom Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) das Arbeitsblatt W 347 „Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe

Tafel II.18.3-1: Anwendungsbereiche für zementgebundene Werkstoffe und Bauteile im Trinkwasserbereich

Anwendungsbereich	Werkstoffe und Bauteile
I	Zementmörtel- auskleidungen für Guss- und Stahlrohre
II	Betonrohre, Betonbehälter, Zementmörtel für Behälterauskleidungen
III	Fliesenkleber, Fugenmörtel, Zementmörtel- auskleidungen für Formstücke, Reparaturmörtel z. B. für Schweißnähte, Rohwasser-Leitungen
IV	Betonbauteile in Trinkwasserschutz- zonen

im Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“ [Ri64] erstellt, welches das gegenüber Kunststoffen andere Materialverhalten zementgebundener Werkstoffe im Kontakt mit *Trinkwasser* durch entsprechende sachgerechte Prüfbedingungen berücksichtigt. Die Beurteilungsgrundlagen stimmen dabei grundsätzlich mit denen der KTW-Empfehlungen überein.

Das Arbeitsblatt W 347 ist in die in **Tafel II.18.3-1** aufgeführten Anwendungsbereiche unterteilt. Es sieht vor, dass alle genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Zemente verwendet werden können. Dies gilt auch für genormte Gesteinskörnungen. Außerdem können *Betonzusatzstoffe* und *Betonzusatzmittel* eingesetzt werden, deren Ausgangsstoffe in einer Positivliste aufgeführt sind, wenn sie außerdem die in **Tafel II.18.3-2** beschriebenen trinkwasserhygienischen *Prüfungen* bestanden haben. Die Positivliste umfasst dabei alle heute gängigen Grundstoffe für *Betonzusatzstoffe* und *Betonzusatzmittel*.

Tafel II.18.3-2: Einsatzgebiete und Prüfumfang für zementgebundene Werkstoffe und Bauteile im Trinkwasserbereich

durchzuführende Prüfungen	Trinkwasserversorgung	Rohwasserversorgung und Bauteile in Trinkwasserschutzzone I	Bauteile in Trinkwasserschutzzonen II + III
Migrationsprüfungen			
äußere Beschaffenheit	+	+	+
TOC-Abgabe	+	+	–
Arsen-Abgabe ¹⁾	+	+	+
Blei-Abgabe	+	+	+
Chrom-Abgabe	+	+	+
mikrobiologische Prüfung			
DVGW-Arbeitsblatt W 270 ²⁾ [Ri65]	+	+	– ³⁾

Prüfung: +; keine Prüfung: –

- ¹⁾ Prüfung nur beim Einsatz von Steinkohlenflugaschen erforderlich
- ²⁾ Prüfung nur beim Einsatz von organischen Zusatzstoffen, Zusatzmitteln oder Bauhilfsstoffen erforderlich
- ³⁾ Prüfung nur für die Mörtelummantelung von Rohren nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340 [Ri66] erforderlich, ein Bewuchs ist erlaubt

Organische Betonzusatzstoffe oder -zusatzmittel sollen nur dann verwendet werden, wenn sie zur Erzielung wichtiger Eigenschaften notwendig sind.

In Abhängigkeit vom vorgesehenen Anwendungsbereich sind die in Tafel II.18.3-2 gezeigten *Erstprüfungen* durchzuführen. Geprüft werden die äußere Beschaffenheit (Klarheit, Färbung, Geruch, Geschmack und die Neigung zur Schaumbildung), TOC-, Arsen-, Blei- und Chromabgabe sowie das mikrobiolo-

Tafel II.18.3-3: Vorgesehene Oberflächen/Volumen-Verhältnisse für die Anwendungsbereiche I bis IV bei den verschiedenen Prüfungen sowie die Grenzwerte für die Abgabe an gesamtem organisch gebundenen Kohlenstoff (TOC), an Arsen (As), an Blei (Pb) und an Chrom (Cr)

Anwendungsbereich	Oberflächen/Volumen-Verhältnis bei den verschiedenen Prüfungen [cm ² /cm ³]			
	äußere Beschaffenheit	TOC-, As-, Pb- und Cr-Abgabe		
I	1:4	1:1		
II	1:4	1:1		
III	1:6	1:1		
IV	1:50	1:1		
Grenzwerte für die verschiedenen Prüfparameter [mg/(m ² · d)]				
	TOC	As ¹⁾	Pb	Cr
I	2,5	0,05	0,1	0,3
II	10	0,05	0,1	0,3
III	10 (15 ²⁾)	0,05	0,1	0,3
IV	125	0,05	0,1	0,3

¹⁾ Prüfung nur beim Einsatz von Steinkohlenflugaschen erforderlich

²⁾ Fliesenkleber und Fugenmörtel

gische Verhalten. Dabei ist die sechs Monate dauernde mikrobiologische Prüfung [Ri65] nur dann durchzuführen, wenn organische Substanzen gezielt über Betonzusatzstoffe oder Betonzusatzmittel in den Baustoff gelangen.

Die *Prüfungen* erfolgen an Probekörpern, z. B. Normprismen, oder an fertigen Produkten, wie z. B. Rohrabschnitten, bzw. für die mikrobiologische Prüfung an Platten von mindestens 20 cm × 20 cm × 1 cm. Als eine an den Einsatz im Trinkwasserbereich angepasste Vorlagerung und Vorbehandlung ist eine Lagerung der Mörtel oder Betone entsprechend DIN EN 196-1 bis zum Alter von 28 Tagen vorgesehen, gefolgt von einer Vorcarbonatisierung durch Einlagerung in 0,1 molarer Natriumhydrogencarbonatlösung für 2 × 3,5 Tage und ein 14-tägiges Spülen mit Trinkwasser.

Die Prüfungen der äußeren Beschaffenheit des Prüfwassers sowie der TOC-, Arsen-, Blei- und Chromabgabe erfolgen in einem dem Trogversuch ähnlichen Kontaktversuch von 72 Stunden, der zweimal wiederholt wird. Als Prüfwasser ist eine 0,01 molare Natriumhydrogencarbonatlösung einzusetzen. Die Werte des letzten Versuches, die für die Beurteilung verwendet werden, müssen eine kleinere oder höchstens gleiche Belastung aufweisen wie die der vorhergehenden Versuche. In **Tafel II.18.3-3** sind die vorgesehenen Prüfkörperoberflächen/Prüfwasservolumen-Verhältnisse für die Anwendungsbereiche I bis IV bei den verschiedenen Prüfungen sowie die entsprechenden Grenzwerte zusammengefasst.

Die bei Kunststoffen notwendige Prüfung der Chlorzehrung wurde nicht in das Arbeitsblatt W 347 aufgenommen, da bei zementgebundenen Werkstoffen in dieser Hinsicht keine längerfristigen Probleme aus der Praxis bekannt sind. Auch die Prüfung des pH-Werts und der Aluminiumabgabe sind in dem Arbeitsblatt W 347 nicht vorgesehen, da es sich hierbei um zeitlich begrenzte Effekte handelt, die z. B. bei neu verlegten Leitungen auftreten können, besonders wenn diese mit sehr weichem Trinkwasser betrieben werden.

Die zu beachtenden Einfahrbedingungen für neue Trinkwasserleitungen in Abhängigkeit von den Trinkwassereigenschaften

sind in einem Anhang des DVGW-Arbeitsblatts W 346 [Ri63] beschrieben. Wirkungsvolle Maßnahmen, um den pH-Wert und damit gleichzeitig auch die Aluminiumabgabe zu senken, bestehen in einer zumindest in Deutschland durchaus üblichen Aufhärtung von Trinkwasser oder in einer Vorcarbonatisierung frischer Mörteloberflächen, z. B. in ausgeschleuderten Rohren durch CO₂-Druckbeaufschlagung oder durch Einfahren mit hydrogencarbonathaltigen Wässern [Nis2].

Die Erfüllung der im DVGW-Arbeitsblatt festgelegten Anforderungen bestätigt die trinkwasserhygienische Eignung zementgebundener Baustoffe. Praxisbezogene Untersuchungen zeigen, dass alle bewährten Ausführungen auch weiterhin möglich bleiben. Wie in Deutschland bestehen in den meisten Mitgliedsstaaten der Europäischen Union hygienische Anforderungen und Zulassungssysteme für Bauprodukte, die in direktem Kontakt mit Trinkwasser kommen. Um die verschiedenen nationalen Systeme zu vereinheitlichen, hat die Europäische Kommission Mitte 1999 eine Arbeitsgruppe nationaler Regulierungsbehörden geschaffen, die ein europäisches Anerkennungssystem für Bauprodukte in Kontakt mit Trinkwasser (European Acceptance Scheme „EAS“) aufbauen soll. Das System soll für alle Bauprodukte und Materialien (Kunststoffe, Metalle, zementgebundene Baustoffe usw.) gelten und bis zum Jahre 2005 fertiggestellt und eingeführt werden. Dabei steht das EAS unter der Prämisse, dass jeder Mitgliedsstaat sein vorhandenes Verbraucherschutzniveau aufrechterhalten kann. Das heißt, dass die Orientierung jeweils an den höchsten in der Europäischen Union verfügbaren Anforderungen erfolgt.

18.4 Einfluss zementgebundener Baustoffe auf die Innenraumluft

Aus Energiespargründen werden immer dichtere Gebäudehüllen mit geringem Luftwechsel erstellt. Aufgrund des geringen

Luftaustausches können freigesetzte, evtl. schädliche Substanzen oft nicht ausreichend abtransportiert werden und sich folglich in Innenräumen anreichern. Bauteile aus rein anorganischen, traditionell gebräuchlichen und bewährten Baustoffen, wie Mörtel, Putz, Beton, Stahl und Glas, weisen in der Regel keine oder nur eine unbedeutende Emission von Schadstoffen auf, sodass Gesundheitsbelastungen auszuschließen sind [BMU1, Rüh1].

In Beton können *flüchtige Substanzen* in geringen Mengen über *Betonzusatzstoffe* und *Betonzusatzmittel* vorhanden sein. Im Porengefüge des Zementsteins gehen diese Substanzen, so weit sie nicht in bzw. an den Hydratphasen gebunden werden, in den Gasraum über und werden durch Diffusionsprozesse nach außen transportiert und in sehr geringen Mengen an die Innenraumluft abgegeben. Dabei nimmt die Freisetzungsrate mit zunehmender Dichtigkeit der Zementsteinmatrix und zunehmendem Feuchtegehalt ab [Hoh1]. Die nachfolgenden Ausführungen zeigen, dass Innenräume durch zementgebundene Baustoffe nicht belastet werden.

Mahlhilfen

Bei der Mahlung sehr feiner Zemente werden zur Verbesserung der Energieausnutzung häufig *Mahlhilfen* in Konzentrationen von im Allgemeinen weniger als 0,05 M.-% zugesetzt. Dadurch lässt sich die Leistung technischer Mühlen um bis zu 40 % steigern [Loc12] und die zur Zementmahlung erforderliche Energie entsprechend senken.

Die wichtigsten Mahlhilfen zur Zementmahlung sind Glykole und Triethanolamin. Diese Substanzen werden beim Mahlen zunächst chemisorptiv am Zementklinker gebunden. Schon nach kurzer Zeit geht die chemisorptive Bindung in eine chemische

Bindung über. Von den aufgegebenen Mengen an Mahlhilfen werden die weitaus größten Anteile am Klinkerkorn gebunden [Rec3].

Alle bislang durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die chemisorptiv bzw. chemisch gebundenen Mahlhilfen unter normalen Verarbeitungsbedingungen bei der Herstellung von Mörtel und Beton nicht gasförmig freigesetzt werden können. So ließen sich selbst mit der modernen leistungsfähigen Head-Space-Gaschromatographie in keinem Fall Mahlhilfen im geschlossenen Gasraum über Zementen oder Zementleimen nachweisen [Spa4].

Betonzusatzstoffe

Als *Betonzusatzstoff* nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 eingesetzte Steinkohlenflugaschen aus Kraftwerken enthalten in geringen Mengen anhaftende Ammoniumsalze [Bac2]. In wässrigen alkalischen Medien, wie sie z. B. im Frischbeton gegeben sind, wird *Ammoniak* aus seinen Salzen verdrängt und kann gasförmig freigesetzt werden. Bei Untersuchungen an Estrichen, die in einen fensterlosen Raum gepumpt wurden, sind Flugaschen mit künstlich erhöhten Ammoniumsalzgehalten von 314 mg/kg eingesetzt worden. Dies entspricht einem Mehrfachen der Gehalte in Flugaschen aus ordnungsgemäß betriebenen Kraftwerksanlagen. Auch bei hohen Flugaschegehalten von 123 kg/m³ Frischestrich erreichte die Ammoniumkonzentration in der Raumluft höchstens den niedrigen Geruchsschwellenwert von 3,8 mg/m³ [Koc3]. Der MAK-Wert liegt hingegen bei 31 mg/m³. Bereits nach einem Tag war keine Ammoniakfreisetzung mehr feststellbar.

Neuere Untersuchungen [Spa4] haben diese Ergebnisse bestätigt und gezeigt, dass selbst unter ungünstigen Bedingungen, d. h. bei sehr geringen Luftwechsell, allenfalls eine Geruchsbe-

lästigung durch Ammoniak bei der Verarbeitung auftreten kann. Eine Belästigung oder gar Gefährdung während der wesentlich später beginnenden Nutzungsphase des Bauwerks durch die Ammoniakabgabe von Flugaschen in Mörteln, Estrichen oder Betonen kann ausgeschlossen werden.

Betonzusatzmittel

Betonzusatzmittel können in geringen Mengen flüchtige organische Substanzen enthalten, die in den Gasraum übergehen können. Dabei handelt es sich überwiegend um Spuren von Lösemitteln. Aufgrund der sehr geringen Konzentrationen, in denen sie über Zusatzmittel in Beton eingebracht werden, ist davon auszugehen, dass sie keine Gefährdung oder Belästigung für den Verarbeiter oder den Nutzer von Bauprodukten darstellen [Spa4].

Eine besondere Betrachtung verdient das Formaldehyd wegen seines äußerst geringen MAK-Werts von 0,6 mg Formaldehyd je m³ Raumluft. Untersuchungen an 40 verschiedenen Betonzusatzmitteln haben ergeben, dass nur sehr geringe oder nicht nachweisbare freie Formaldehydgehalte vorhanden waren [Spa4]. Laborversuche an diesem Zusatzmittel haben gezeigt, dass nur geringe Mengen freigesetzt werden, die Freisetzung nach ein bis zwei Tagen stark abnimmt und im weiteren Verlauf nur noch äußerst geringe Mengen abgegeben werden. Insgesamt beträgt die freigesetzte Formaldehydmenge maximal etwa 30 % des im Betonzusatzmittel vorliegenden freien Formaldehyds. Aus der nur kurzfristigen Freisetzung kann gefolgert werden, dass eine Gefährdung während der Nutzung eines Gebäudes durch die Abgabe von Formaldehyd aus zementgebundenen Baustoffen, die mit formaldehydhaltigen Betonzusatzmitteln hergestellt werden, nicht zu befürchten ist. Dieser Sachverhalt wurde auch durch alle bislang durchgeführten, auf den Arbeits-

platz bezogenen Messungen bestätigt. Diese Messungen haben gezeigt, dass selbst die während des Betonierens gemessenen Formaldehydkonzentrationen deutlich unterhalb des MAK-Werts liegen [DBC1].

Radioaktivität

Alle natürlichen Steine und Erden sowie die daraus hergestellten Baustoffe, wie z. B. Zement und Beton, enthalten geringste Mengen an radioaktiven Stoffen. Beton weist keine höhere Radioaktivität als andere Baustoffe auf; die von Beton ausgehende Strahlung ist im Mittel sogar geringer als die mancher natürlicher Gesteine, wie z. B. Granit oder Basalt. Alle üblichen Betonbaustoffe können aus Sicht des Strahlenschutzes ohne Bedenken im Wohnungsbau eingesetzt werden [Bra2]. Mittelwerte und Spannweiten der spezifischen Aktivitäten der natürlichen Radionuklide Kalium (K-40), Radium (Ra-226) und Thorium (Th-232) sind für einige natürliche Gesteine, für Beton und Betonausgangsstoffe sowie für andere Baumaterialien in der Literatur [Bra2, BMI1 und BMU2] dargestellt.

Auch die Radonexhalation aus Beton ist gering. So hat sich gezeigt, dass Gebäude mit erhöhten Radonkonzentrationen sich auf Regionen mit erhöhtem Radonpotential im Untergrund konzentrieren, die Quelle der Radonzufuhr mithin im Baugrund liegt [BMU2, BMU3]. Die Abgabe von *Radon* aus Beton hat dagegen keinen wesentlichen Einfluss auf die Innenraumbelastung. Im Gegenteil, eine Bodenplatte aus Beton kann den Zustrom von *Radon* aus dem Erdreich entscheidend verringern [BMU2, BMU3, Kel1]. So konnten in den Bergbaugebieten in den neuen Bundesländern durch Radon belastete Wohngebäude durch entsprechende bauliche Maßnahmen erfolgreich saniert werden.

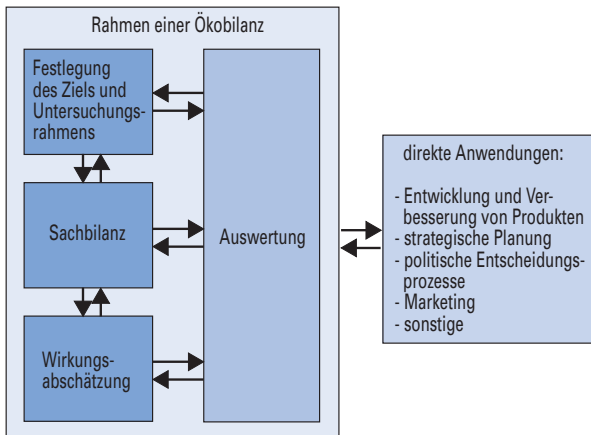


Bild II.18.5-1: Bestandteile einer Ökobilanz (DIN EN ISO 14040)

18.5 Ökobilanzen

Mit einer *Ökobilanz* können umweltrelevante Auswirkungen eines Produkts abgeschätzt werden. Idealerweise wird dabei der gesamte Lebensweg des Produkts betrachtet. Dieser reicht von der Gewinnung der Rohstoffe über seine Herstellung, seine Nutzung bis hin zur Entsorgung am Ende der Nutzung. Zum Beispiel können durch eine ökobilanzielle Betrachtung bei der Planung eines Gebäudes mögliche Umweltwirkungen des Bauwerks über seinen gesamten Lebensweg erfasst werden.

Die Prinzipien, nach denen eine Ökobilanz zu erstellen ist, sind in der Normreihe ISO 14040 ff festgelegt. Demnach setzt sich eine Ökobilanz aus den vier Bestandteilen Ziel und Unter-

suchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung zusammen (**Bild II.18.5-1**).

In der Zieldefinition müssen die beabsichtigte Anwendung der Ökobilanzstudie und die Gründe für ihre Durchführung festgelegt sein. Auch die Zielgruppe, d. h. an wen sich die Ergebnisse der Ökobilanz richten soll, muss genannt sein. Zum Untersuchungsrahmen gehört u. a. die Festlegung der so genannten *funktionellen Einheit*, welche den Nutzen und die Leistungsfähigkeit des zu untersuchenden Produktsystems definiert. Beispielsweise kann als funktionelle Einheit eines Anstrichsystems die Oberflächeneinheit festgelegt werden, die für eine bestimmte Zeitspanne geschützt werden soll. Es werden ferner Anforderungen an die Daten und an ihre Qualität sowie an Verfahrensgrundlagen festgelegt. So müssen u. a. Kriterien festgelegt werden, um zu entscheiden, welche Daten aufgrund ihres geringen Einflusses auf das Ergebnis vernachlässigt werden dürfen.

In dem folgenden Schritt, der so genannten Sachbilanz, werden für das betrachtete System alle Ausgangsmaterialien sowie Zwischen- und Ausgangsprodukte, der dazugehörige Energiebedarf und die damit verbundenen Emissionen und Abfälle zusammengestellt. Dabei sind die so genannten Vorkettenprozesse zu berücksichtigen, d. h. die Aufwendungen für die Bereitstellung des benötigten Stroms oder anderer Energieträger (z. B. Kohle, Erdöl) sowie von Vorprodukten. Alle Daten sollten nach gleichen Bilanzierungsgrundsätzen erhoben werden. Eine solche einheitliche Vorgehensweise ist für den Bereich der Steine- und Erden-Industrie definiert worden [BBS1] und wird auch auf andere Baustoffe angewandt [Eye1] sowie auf Bauteile und Gebäude erweitert.

In der Wirkungsabschätzung werden die einzelnen Sachbilanzdaten definierten Kategorien von Umweltwirkungen zugeordnet und, wenn möglich, in ihrer potentiellen Wirkung zusam-

mengefasst. So tragen z. B. die Emissionen von Kohlendioxid, Methan, Lachgas sowie anderer Gase zum Treibhauseffekt bei. Da der spezifische Beitrag der verschiedenen Stoffe zum Treibhauseffekt bekannt ist, können diese in ihrer Wirkung im Vergleich zum Kohlendioxid, dem bekanntesten Treibhausgas, beschrieben werden. Dadurch können die Beiträge aller Gase in kg CO₂-Äquivalent ausgedrückt und in einem so genannten Treibhauspotential zusammengefasst werden. In ähnlicher Weise ist eine Zusammenfassung der verschiedenen relevanten Emissionen für den Ozonabbau in der oberen Erdatmosphäre, die Versauerung von Gewässern und Böden, ihre Überdüngung (Eutrophierung) und für die Bildung von Photooxidantien möglich [BBS2]. Letztere sind für die Entstehung von Sommersmog verantwortlich. Man spricht bei der Wirkungsabschätzung von potentiellen Umweltwirkungen, da die tatsächlich eintretenden Wirkungen z. B. von dem Ort der Emission abhängen, der jedoch in einer Ökobilanz nicht betrachtet wird. Die Ergebnisse einer Wirkungsabschätzung für die Herstellung von Vorprodukten können direkt in die Wirkungsabschätzung für die jeweils untersuchte funktionelle Einheit übernommen werden, wenn einheitliche Bilanzierungsgrundsätze und Berechnungsverfahren zugrunde liegen. Nicht alle Umweltwirkungen lassen sich jedoch durch ein Wirkungspotential beschreiben.

Ökobilanzen im Bauwesen können zur Beantwortung verschiedener Fragestellungen, z. B. für die Entwicklung und Verbesserung von Bauprodukten, für Bauwerksplanungen oder zur Verbesserung von Infrastrukturmaßnahmen, von Nutzen sein. Die Anwendung ihrer Ergebnisse liegt jedoch außerhalb des Rahmens einer Ökobilanz und erfordert die genaue Kenntnis der zugrunde liegenden Zusammenhänge.

Entsprechend der Fragestellung müssen Zieldefinition und Untersuchungsrahmen festgelegt werden. Für die Optimierung

Tafel II.18.5-1: Baustoffprofil Zement

Betrachtetes Produkt:

Zement mit einem mittleren Klinkergehalt von 85 M.-%.

Die Gehalte der verschiedenen Zementbestandteile entsprechen den über die gesamte deutsche Zementproduktion gemittelten Anteilen des Klinkers und der anderen verwendeten Stoffe

Bilanzobjekt:	Zementherstellung
Bezugseinheit:	1 Tonne Zement (85 M.-% Klinkeranteil)
Systemgrenzen:	Input – Ressourcen Output – Werktor Zementwerk
Bezugsjahr:	1996

Baustoffprofil Zement		
Auswertung Primärenergie		
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ/t	4355
Wirkungsabschätzung		
		kg/t
Treibhauspotenzial (GWP)	CO ₂ -Äq.	872
Ozonabbaupotenzial (ODP)	R11-Äq.	0,0
Versauerungspotenzial (AP)	SO ₂ -Äq.	1,68
Eutrophierungspotenzial (NP)	PO ₄ -Äq.	0,20
Photooxidantienpotenzial (POCP)	C ₂ H ₄ -Äq.	0,07

der Produktion von Baustoffen, wie z. B. Zement und Beton, bilden diese die funktionelle Einheit. Da lediglich der Herstellungsprozess betrachtet wird, werden die Umweltwirkungen ohne eine weitere Betrachtung des Lebenswegs ermittelt. Für viele Baustoffe sind entsprechende Daten in einem Baustoffprofil zusammengefasst und veröffentlicht [Eye1, BBS2]. In den

Tafel II.18.5-2: Baustoffprofil Transportbeton und Werkfrischmörtel

Betrachtete Produkte:

Zwei Betone C 20/25 und C 30/37 sowie ein Werkfrischmörtel (Normalmörtel Mg IIa) mit folgenden Zusammensetzungen:

		C 20/25	C 30/37	Mörtel
Gesteinskörnung	kg/m ³	1840	1824	1300
Zement	kg/m ³	260	360	210
Wasser	kg/m ³	185	180	200
Flugasche	kg/m ³	80	–	–

Bilanzobjekt: Herstellung Transportbeton und Werkfrischmörtel
 Bezugsseinheit: 1 m³ Transportbeton oder Werkfrischmörtel
 Systemgrenzen: Input – Ressourcen
 Output – Werkstoff Transportbetonwerk
 Bezugsjahr: 1995

Baustoffprofil Transportbeton und Werkfrischmörtel					
Auswertung Primärenergie		C 20/25	C 30/37	Mörtel	
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ/m ³	1350	1792	1080	
Wirkungsabschätzung		kg/m ³	C 20/25	C 30/37	Mörtel
Treibhauspotenzial (GWP)	CO ₂ -Äq.	241,7	329,4	194,4	
Ozonabbaupotenzial (ODP)	R11-Äq.	0,0	0,0	0,0	
Versauerungspotenzial (AP)	SO ₂ -Äq.	0,560	0,734	0,443	
Eutrophierungspotenzial (NP)	PO ₄ -Äq.	0,071	0,091	0,056	
Photooxidantienpotenzial (POCP)	C ₂ H ₄ -Äq.	0,035	0,042	0,027	

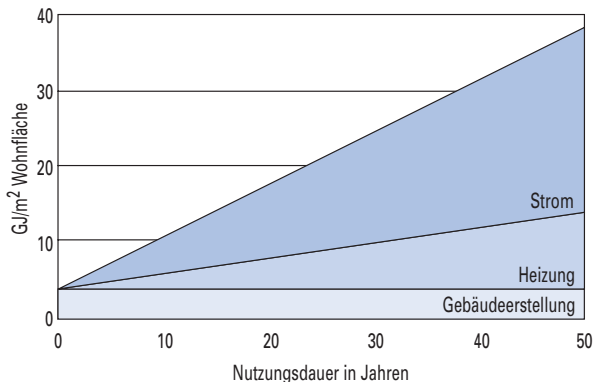


Bild II.18.5-2: Aufwand an Primärenergie (aus nicht erneuerbaren Energieträgern) für die Erstellung eines Mehrfamilienhauses (ohne Installationen sowie ohne bezugsfertige Bearbeitung von Wänden und Fußböden) und seine Nutzung

Tafeln II.18.5-1 und II.18.5-2 sind Werte für Zement sowie für Beton und Mörtel dargestellt [BBS2]. Aufgeführt werden die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung sowie der Aufwand an Primärenergie, der aus nicht erneuerbaren Energieträgern gedeckt wird. Solche Baustoffprofile können nicht dazu herangezogen werden, um einzelne Baustoffe miteinander zu vergleichen, da diese in der Regel keine vergleichbare Funktion bzw. Leistungsfähigkeit aufweisen.

In die ökologische Bewertung von Bauteilen und Bauwerken bringen Baustoffprofile die mit der Baustoffherstellung verbundenen Umweltwirkungen ein. Dabei kann ein Bauteil oder ein Bauwerk mit definierten Eigenschaften die *funktionelle Einheit* bilden, um z. B. die Herstellung verschiedener Konstruktions-

varianten in einem klar umrissenen Anwendungsfall miteinander vergleichen zu können. Solche Untersuchungen wurden z. B. für Rohrleitungssysteme durchgeführt [Reu1, VDZ5]. Es zeigte sich dabei, dass bei Betrachtung verschiedener Umweltwirkungen häufig keine eindeutige Präferenz einer Konstruktionsvariante möglich ist.

Eine weiterführende Fragestellung liegt in der Betrachtung eines Bauwerks auf seinem Lebensweg. Eine solche Betrachtung ist im Ansatz umfassender und ermöglicht den Zugang zu größeren Optimierungspotentialen. Sie ist allerdings aufwendiger und setzt voraus, dass der Einfluss des betrachteten Bauwerks auf die Umweltwirkungen während der Nutzungsphase erfasst werden kann. **Bild II.18.5-2** zeigt beispielhaft den Aufwand an Primärenergie für die Erstellung eines Mehrfamilienhauses und für seine *Nutzung*, wie es sich aufgrund der Gebäudeausführung und eines typischen Nutzerverhaltens ergibt [VDZ5]. Obgleich es sich bei dem betrachteten Gebäude gemessen an der Wärmeschutzverordnung von 1995 um ein Niedrigenergiehaus handelt, zeigt sich, dass mit zunehmender Nutzungsdauer der Primärenergieaufwand für Heizung und Strom denjenigen für die Herstellung bei weitem übersteigt. Diese Aussage bleibt auch gültig, wenn beispielsweise der Einbau eines verbesserten Heizungssystems nach einigen Jahren in die Betrachtung einbezogen würde. Ein grundsätzliches Problem liegt bei der ökobilanziellen Betrachtung eines Gebäudes darin, dass die Aufwendungen für seine Erstellung bei der Planung zuverlässig erfasst werden können, die Aufwendungen für die Nutzungsphase hingegen lediglich für die erste Zeit einigermaßen sicher abgeschätzt werden können. Eine Gewichtung der Umweltwirkungen infolge Herstellung und Nutzung kann jedoch in der Regel vorgenommen werden. Bei der Anwendung von Ökobilanzen ist eine korrekte Einordnung ihrer Ergebnisse wichtig [BBS2, BDI1]. Es muss darauf geachtet werden, dass

- die Ökobilanz auch das geeignete Instrument für die jeweilige Fragestellung ist. Lokale bzw. regionale Auswirkungen beispielsweise eines Straßenbaus können besser durch Umweltverträglichkeitsprüfungen untersucht werden. Auch können Gesundheitsaspekte bei der Nutzung von Gebäuden nicht beschrieben werden, da eine Ökobilanz zwar im Prinzip alle Emissionen erfasst, jedoch der konkrete Emissionsort und der Zeitpunkt der Emission nicht betrachtet werden.
- die Ökobilanz keine Aussage darüber gibt, welche der betrachteten Umweltwirkungen am wichtigsten ist. So wird beispielsweise die Entscheidung, wie das ermittelte Treibhauspotential im Vergleich zum Versauerungspotential zu bewerten ist, kaum objektiv zu treffen sein.
- die Ergebnisse grundlegend von der in der Zieldefinition formulierten Fragestellungen abhängig sind. So können die Ergebnisse einer Studie nicht unmittelbar auf ähnliche Fragestellungen übertragen werden, Änderungen der Randbedingungen können die Aussagen deutlich beeinflussen.
- die Ökobilanz immer nur eine Momentaufnahme darstellt.
- Umweltaspekte bei der Entscheidungsfindung nur einen Gesichtspunkt neben technischen, wirtschaftlichen sowie gegebenenfalls soziokulturellen Aspekten darstellen.

Im Bereich des Betonbaus wurden Ökobilanzen zur Analyse der Herstellung der Ausgangsstoffe durchgeführt [Eye1]. Darüber hinausgehende ökobilanzielle Untersuchungen an Bauteilen und Bauwerken wurden in unterschiedlicher Tiefe beispielsweise für Rohre bzw. Rohrleitungssysteme [VDZ5, Jes1, Pas1], (Wohn-)gebäude [Eye1, Jön1], einzelne Bauteile des Hochbaus [Eye1, SIA1, TUU1], Eisenbahnschwellen [Kün1], Hochspannungsmasten [Kün2], Brückenbauten [Lün1] sowie für Instandsetzungsmaßnahmen [Haa1, Haa2] durchgeführt.