

Entwurf zum Kapitel „Regelungen für den Umgang mit Bauabfällen“
Fragen, Anmerkungen und Ergänzungen an anette.mueller@abw-recycling.de oder
anette-m.mueller@uni-weimar.de

- 3 Regelungen für den Umgang mit Bauabfällen
- 3.1 Rechtliche Vorgaben
- 3.2 Umwelttechnische Regelungen
- 3.3 Bautechnische Regelungen

3 Regelungen für den Umgang mit Bauabfällen

3.1 Rechtliche Vorgaben

Der sachgerechte Umgang mit Bauabfällen verlangt die Beachtung einer Reihe von Gesetzen und Vorschriften, deren Ursprung von der Europäischen Ebene bis zur kommunalen Ebene reicht. Das zentrale Bundesgesetz ist das „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KrWG)“, das 2012 in Kraft getreten ist [1]. Mit diesem Gesetz werden Vorgaben der EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG in deutsches Recht umgesetzt [2]. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz baut auf dem „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG)“ aus dem Jahre 1996 auf [3]. In der Neufassung des Gesetzes ist an die Stelle der „umweltverträglichen Beseitigung“ die „umweltverträgliche Bewirtschaftung“ getreten, worin bereits der neue Anspruch zum Ausdruck kommt.

Das Gesetz enthält einige wichtige Definitionen und formuliert die Ziele der Kreislaufwirtschaft. Danach sind Abfälle bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss und deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit geboten ist. Unter dem Begriff Entsorgung wird sowohl die stoffliche oder die energetische Verwertung als auch die Beseitigung verstanden. Der beim Abriss eines Gebäudes anfallende Abfall, der nach einer Aufbereitung als Tragschichtmaterial verwendet wird, ist Abfall zur Verwertung. Enthält er schädliche Verunreinigungen und kann deshalb nicht eingesetzt werden, ist er als Abfall zur Beseitigung einzustufen.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz fordert dazu auf, Abfälle in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Modifizierung von Herstellungsverfahren oder die Schaffung interner Kreisläufe. Nur wenn die Abfallvermeidung weder technisch möglich noch wirtschaftlich zumutbar ist, soll bei der Abfallbewirtschaftung nach der folgenden Rangfolge vorgegangen werden:

- Vorbereitung zur Wiederverwendung
- Recycling
- sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung
- Beseitigung.

Die Abfallbeseitigung wird dem Anspruch der Kreislaufführung nicht gerecht und steht deshalb an letzter Stelle der Prioritätenfolge. Im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes muss zwischen Abfällen zur Verwertung, die als Sekundärrohstoffe genutzt

werden, und Abfällen zur Beseitigung - den eigentlichen Abfällen - unterschieden werden.

Im Abfallbereich wird die Produktverantwortung durch die Verpflichtung von Herstellern und Händlern zur Abfallvermeidung und –verwertung umgesetzt. In Bezug auf Bauabfälle ist die Produktverantwortung wegen der Langlebigkeit der Produkte und der Vielzahl der beteiligten Unternehmen schwierig zuzuordnen. Hier hat der Bauherr, wenn er als Grundstückseigentümer den Abbruch eines darauf befindlichen Bauwerkes anordnet, die unmittelbare Verantwortung zu übernehmen. Er ist Besitzer und Erzeuger des Abfalls und somit verantwortlich für die sachgerechte Entsorgung, auch wenn er andere damit beauftragt.

Für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle ist nach Kreislaufwirtschaftsgesetz die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling und die sonstige stoffliche Verwertung anzustreben. Mit diesen Maßnahmen soll spätestens ab dem 1. Januar 2020 eine Recyclingquote von 70 Masse-% erzielt werden. Eine Überprüfung und ggf. Korrektur dieser Zielvorgabe ist 2016 vorgesehen.

Der Hauptzweck der Verwertung muss in der Nutzung der materialseitigen Potentiale der Bauabfälle, nicht aber in der Beseitigung schädlicher Inhaltsstoffe liegen. Weitere Einschränkungen ergeben sich daraus, dass die durch das Recycling erreichte Ressourcenschonung keinen unverhältnismäßig hohen Energieaufwand, der für die Umwandlung des Abfalls zu einem Rohstoffsubstitut oder zu einem Produkt erforderlich ist, verursachen sollte. Die Bewertung dieses Energieaufwands hängt allerdings davon ab, welche Bezugsbasis gewählt wird. Beim Vergleich mit der Deponierung wird immer ein Mehraufwand festzustellen sein. Beim Vergleich mit einem Primärprodukt, das durch das Sekundärprodukt ersetzt werden kann, ist das nicht zwangsläufig so.

In Ergänzung zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz existieren Landesabfallgesetze und kommunale Satzungen, die die Vorgaben des Bundesgesetzes weiter untersetzen. Große praktische Bedeutung kommt den kommunalen Abfallsatzungen zu. In ihnen werden Vorgaben zur Getrennthaltung, zu Verantwortlichkeiten, zu Anschluss- und Benutzungszwängen sowie zu Entgelten und Gebühren für die kommunale Abfallentsorgung insgesamt gemacht.

Die Aufbereitung von Bauabfällen erfordert die Berücksichtigung weiterer Gesetze und Rechtsvorschriften. So sind bei der Planung, Errichtung und dem Betrieb von stationären Anlagen, in denen Bauabfälle aufbereitet werden sollen, das Bundes-Immissionsschutzgesetz und die dazu erlassenen Verordnungen zu beachten [4].

Die genannten Rechtsvorschriften beziehen sich überwiegend auf den Umgang mit Abbruchmaterial als Abfall. Daraus resultieren bestimmte Anforderungen, die entlang des Verwertungsweges einzuhalten sind. Gleichzeitig bedingt diese Herangehensweise die starke Betonung der umwelttechnischen Eigenschaften.

Werden die Bauabfälle aufbereitet und die erzeugten Körnungen den vorgeschriebenen Eignungsnachweisen unterzogen, sind sie nicht mehr als Abfälle anzusehen. Folgerichtig ordnet die Verdingungsverordnung für Bauleistungen (VOB) / Teil C [5] Recycling-Baustoffe seit einigen Jahren als Produkte ein. Unter 2.3.1 ist definiert, dass „Stoffe und Bauteile, die der Auftragnehmer zu liefern und einzubauen hat, die also in das Bauwerk eingehen, ungebraucht sein müssen. Wiederaufbereitete (Re-

cycling-) Stoffe gelten als ungebraucht, wenn sie für den jeweiligen Verwendungszweck geeignet und aufeinander abgestimmt sind“. Sollen Recycling-Baustoffe in diesem Sinne eingesetzt werden, müssen sie wie Primärbaustoffe bestimmte bautechnische Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus gelten Anforderungen, durch die der Eintrag von Schadstoffen in Boden und Grundwasser verhindert werden soll.

3.2 Umwelttechnische Regelungen

Bauabfälle können Schadstoffe enthalten, deren Schädlichkeit bei der Errichtung des Bauwerks nicht bekannt war oder deren Anwendung aus bestimmten Gründen nicht umgangen werden konnte. Zusätzlich können weitere organische und anorganische Schadstoffe wie Öle, Treibstoffe und andere Kohlenwasserstoffverbindungen oder Schwermetalle während der Nutzung in das Baumaterial eingetragen worden sein. Davon sind hauptsächlich industriell, gewerblich oder militärisch genutzte Bauwerke wie Werkstätten, Produktionshallen, Tankstellen, militärischen Liegenschaften etc. betroffen. Auch Bauabfälle aus Brandschäden oder Schornsteinen sind mit Schadstoffen belastet. Zur Unterscheidung wird von „primären“ und „sekundären“ Schadstoffen gesprochen. Für letztere ist auch der Begriff „Kontaminationen“ im ursprünglichen Wortsinn zutreffend.

Die erste Kategorie von Schadstoffen stellen die als solche erkennbaren, demontierbaren Schadstoffe wie Asbest, künstliche Mineralfasern und Hölzer, die mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, dar. Auch Bauprodukte, welche polychlorierte Biphenyle oder polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten, können zum Teil erkannt und vor dem Abbruch entfernt werden. Merkmale und Anwendungsbeispiele sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengestellt. Der Beitrag von Anstrichstoffen, die Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Chrom und Zink als Farbpigmente enthalten und die als weitere Schadstoffquelle genannt werden [6], ist differenziert zu betrachten. Wie das Rechenbeispiel in Tabelle 3- 2 zeigt, verursachen die Farbpigmente einen vernachlässigbar geringen Schwermetalleintrag, wenn das gesamte Abbruchmaterial betrachtet wird. Sie liegen deutlich unter den in

Tabelle 3- 2 angegebenen Vergleichswerten für die Gesamtgehalte, die aus den Technischen Regeln zu den Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen [8] entnommen wurden. Das schließt nicht aus, dass einzelne Bauteile deutlich höher belastet sind. Besonders bei Leichtbaustoffen und Hölzern, die mit Farbanstrichen versehen sind, können infolge ihrer geringen Wandstärken und niedrigen Rohdichten deutliche höhere Anteile des Anstrichs gegenüber der bauwerksbezogenen Betrachtungsweise vorliegen.

Bei der Entfernung der „gegenständlichen“ Schadstoffe vor dem Abbruch ist eine Reihe von Vorschriften, die vom Arbeitsschutz beim Rückbau bis zur sachgerechten Beseitigung reichen, zu beachten.

Tabelle 3- 1: Überblick über Schadstoffe im Bauwerksbestand

	Merkmale	Anwendungsbeispiele
Asbest	Natürlich vorkommendes, faserförmiges Magnesium-Hydrosilikat Bautechnisch günstige Eigen-	Schwach gebundene Asbestprodukte, Rohdichte < 1000 kg/m ³ - Spritzasbest (Asbestgehalt 100 %) - Mörtel (ca. 40 %)

	<p>schaften wie Nichtbrennbarkeit, chemische Beständigkeit, hohe Hitzebeständigkeit, Isolierfähigkeit, hohe Elastizität und Zugfestigkeit</p> <p>Hohes gesundheitsgefährdendes Potential</p> <p>Schrittweises Verbot des Einsatzes von Asbest ab 1969 (Spritzasbest) bis 1995 (Druckrohre)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Putze (ca. 20 %) - Stopfmassen (ca. 40 %) - Leichtbauplatten (bis 60 %) - Pappen (ca. 40 %) - Gewebe, Matten, Schnüre (ca. 100 %) <p>Fest gebundene Asbestprodukte, Rohdichte > 1400 kg/m³</p> <ul style="list-style-type: none"> - ebene und gewellte Asbestzementprodukte (Asbestgehalt ca. 15 %) als Dachabdeckung, Verkleidungen, Blumenkästen, Trennwände, Fensterbänke etc. - geformte Asbestzementprodukte wie Rohre für Tiefbau, Abgas, Lüftung
Künstliche Mineralfasern	<p>Industriell hergestellte, silikatische Fasern der Produktgruppen Glaswolle, Steinwolle, Schlackenwolle</p> <p>Gesundheitsgefährdendes Potential</p> <p>Unterscheidung zwischen „alter“ Mineralwolle mit geringer Biolöslichkeit und „neuer“ Mineralwolle mit verbesserter Biolöslichkeit; ab Juni 2000: Herstellungs- und Verwendungsverbot für alte Mineralwolle</p>	<p>Material für die Wärmedämmung von Fassaden, Dächern, als Rohrummantelung</p>
Holzschutzmittel	<p>Ölige oder wässrige Substanzen mit Wirkstoffen gegen Insekten-, Schädlings- und Pilzbefall</p> <p>Gesundheitsgefährdendes Potential vieler möglicher Bestandteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Holzbauteile im Außenbereich wie Fassadenbekleidungen, Terrassen, Wintergärten Pergolen, Holzfenster und Außentüren aus Holz - Konstruktionshölzer für tragende Teile
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	<p>Industriell hergestellte, organische Verbindungen, chlorierte, aromatische Kohlenwasserstoffe, Chlorgehalt von 18 bis 75 %</p> <p>Sehr gute technische Eigenschaften wie Alters- und Oxidationsbeständigkeit, gute chemische Stabilität gegenüber Säuren und Basen, elektrische Isoliereigenschaften</p> <p>Gesundheitsgefährdendes Potential, PCB-Anreicherung in der Raumluft, im Brandfall Entstehung von Dioxinen und Furanen</p> <p>Verwendungsverbot ab 1989</p>	<ul style="list-style-type: none"> - dauerelastischen Fugenmassen - in Farben und Lacken - Klebstoffe, Verguss- und Spachtelmassen, Dichtungsmassen, Kitten - Kabelummantelungen - Kühl- und Isolierflüssigkeiten von Kondensatoren und Transformatoren
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	<p>Sammelbezeichnung für Verbindungen aus linear, angular oder ringförmig miteinander verknüpften Benzolringen</p> <p>Bestandteil der Steinkohlenteerprodukte Pech und Teeröl</p> <p>Können als sekundäre Schadstoff-</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Teerkleber für Parkett und andere Fußbodenbeläge - Teerpappen - Teerkork zur Wärmeisolierung - Schutzanstriche - Steinkohlenteeröl „Carbolineum“ in Holzschutzmitteln

	fe nach Bränden entstehen Gesundheitsgefährdendes Potential	
	Verwendungsverbot für Pech ab 1987	

Tabelle 3- 2: Abschätzung zum Schwermetalleintrag für das hypothetische Durchschnittsgebäude nach Doka [7]

	Gehalte ausgewählter Schwermetalle in Anstrichstoffen [kg/kg trocken]			
	Alkydharzfarbe	Anstrichstoff	Dispersionsfarbe	
Cd	$5,91 \cdot 10^{-6}$	$5,06 \cdot 10^{-6}$	$1,68 \cdot 10^{-8}$	
Cr	$9,80 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-6}$	
Pb	$7,46 \cdot 10^{-3}$	$1,52 \cdot 10^{-2}$	$6,50 \cdot 10^{-7}$	
Zn	$3,74 \cdot 10^{-3}$	$3,25 \cdot 10^{-3}$	$6,54 \cdot 10^{-6}$	
Farbanteil: 0,00036 kg Farbe/kg Musterhaus [Doka]				Vergleichswerte [LAGA]
	Resultierende Schwermetallgehalte [mg/kg Musterhaus]			Feststoff [mg/kg]
Cd	0,002	0,002	0,000	0,6
Cr	0,353	0,375	0,000	50
Pb	2,684	5,481	0,000	100
Zn	1,348	1,171	0,002	120

Die zweite Kategorie von Schadstoffen sind solche, die zu Belastungen von Boden und Grundwasser führen können. Auf diese Schadstoffe beziehen sich die umwelttechnischen Anforderungen, die RC-Baustoffe erfüllen müssen. Darin sind Grenzwerte für kritische Inhaltsstoffe in Abhängigkeit von den Einbaubedingungen festgelegt. Die Grenzwerte beziehen sich nicht auf die Gesamtgehalte, sondern auf die Konzentrationen im Eluat, einem „wässrigen Auszug“, der nach einer vorgeschriebenen Methode gewonnen werden muss. Für RC-Baustoffe sind Sulfate, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sowie die Metalle Chrom, Kupfer und Vanadium relevant.

Die Ableitung der umwelttechnischen Anforderungen ist sehr komplex. Am Beginn steht die Prämisse, dass die Schadstoffkonzentration des Sickerwassers aus dem RC-Baustoff beim Eintritt in das Grundwasser bestimmte Schwellenwerte, die unter human- und ökotoxikologischen Gesichtspunkten festgelegt werden, nicht überschreiten darf. Von dieser Konzentration aus muss auf die Schadstoffkonzentration des Sickerwassers, das aus dem RC-Baustoff austritt, geschlossen werden. Für die erforderliche Rückrechnung ist eine Vielzahl von Einflüssen zu berücksichtigen, die im Bild 3- 1 vereinfacht dargestellt sind. Modellvorstellungen auf der Basis von Experimenten wurden entwickelt [9], um solche Grenzwerte für die Schadstoffkonzentration des Sickerwassers aus dem RC-Baustoff festlegen zu können, bei denen keine Überschreitungen der Schwellenwerte beim Eintritt in das Grundwasser zu erwarten sind. Bei der Güteüberwachung wird die Einhaltung der Grenzwerte an einem wässrigen Eluat als Nachbildung des Sickerwassers geprüft. Die Vorgaben für die Herstellung des Eluats wurden unter dem Gesichtspunkt entwickelt, dass der Austausch zwischen Baustoff und Eluat den tatsächlichen Abläufen möglichst nahekommt.

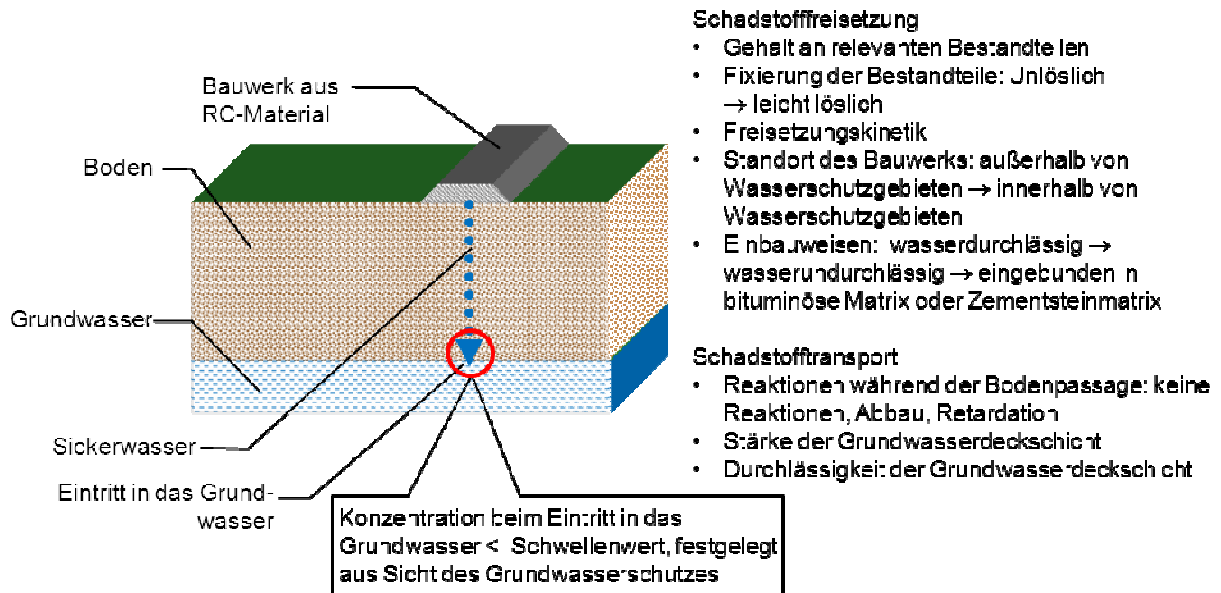


Bild 3- 1: Vereinfachte Darstellung zu den Einflüssen auf die Schadstofffreisetzung aus RC-Baustoffen und auf den Schadstofftransport bis zum Eintritt in das Grundwasser

Die Grenzwerte für die Konzentration bestimmter Inhaltsstoffe im Eluat bilden zusammen mit den Bedingungen am Einbauort und der Art des Einbaus des RC-Baustoffs den Schwerpunkt der umwelttechnischen Anforderungen. Die Ersatzbaustoffverordnung [10], die an die Stelle der in Länderhoheit entwickelten Grenzwerte der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) [8] treten soll, liegt im Entwurf vor. Der Übergang zu den bundeseinheitlichen Werten ist aber noch nicht vollzogen, so dass zur Zeit noch die Grenzwerte der LAGA anzuwenden sind.

3.3 Bautechnische Regelungen

Technische Produktnormen haben sich über einen langen Zeitraum entwickelt. Darin sind die Anforderungen festgehalten, welche die Sicherheit und die Gebrauchsfähigkeit gewährleisten. Für Nebenprodukte, die bei der Produktherstellung anfallen, oder für Produkte, die aus Abfällen am Ende der Produktnutzung hergestellt werden, wurde erst in jüngerer Zeit mit der Entwicklung von Vorschriften begonnen. Dieser Prozess ist noch nicht abgeschlossen.

Der erste Qualitätsstandard für Recycling-Baustoffe entstand nach dem Zweiten Weltkrieg. Bedingt durch den großen Baustoffbedarf einerseits und durch die vorhandenen Mengen an Trümmersmaterial, das überwiegend aus Ziegeln bestand, andererseits wurde bereits 1945 ein Merkblatt zum Einsatz von Ziegelsplitt als Betonzuschlag herausgegeben, aus dem 1951 die DIN 4136 „Ziegelsplittbeton“ hervorging [11]. Gegenstand dieser Norm war die Herstellung, die Verarbeitung und die Eigenschaften von Beton aus Ziegelsplitt. Sie wurde 1960 zurückgezogen. Danach spielt der Bauschutt aus dem Hochbau für zwei Jahrzehnte keine Rolle mehr bei der Errichtung neuer Bauwerke.

Gegenwärtig reichen die Einsatzgebiete von Recycling-Baustoffen vom Deponiebau, Erd- und Wegebau über den klassifizierten Straßenbau bis zum Asphalt- und Beton-

straßenbau. Der Einsatz als rezyklierter Zuschlag im Beton findet in geringem Umfang ebenfalls statt. Vegetationstechnische Anwendungen kommen als weiteres Einsatzgebiet hinzu. Die wichtigsten Regelungen für die genannten Anwendungen sind in Tabelle 3- 3 zusammengestellt.

Tabelle 3- 3: Vorschriften, die beim Einsatz von RC-Baustoffen beachtet werden müssen

Einsatzgebiet	Vorschrift
Erdbau	- ZTV E-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
Wegebau: Verkehrsflächen außerhalb des klassifizierten Straßenbaus	- In Anlehnung an TL Gestein-StB, TL SoB-StB - DWA-Regelwerk: Arbeitsblatt 904 Richtlinien für den ländlichen Wegebau
Straßenbau: Klassifizierter Straßenoberbau	- TL Gestein-StB: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau - TL SoB-StB: Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel - TL Pflaster StB: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe für Pflasterdecken und Pflasterbeläge - ZTV T-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau
Asphaltstraßenbau	- TL Asphalt-StB: Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen - TL AG-StB: Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat - M VAG: Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat
Betonstraßenbau	- Merkblatt zur Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken
Beton: Transportbeton	- DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton - DIN 4226-100: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel. Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen - Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 - Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1 - Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali-Richtlinie)
Vegetationstechnik: Dachbegrünung, Schotterrasen, Baumsubstrate	- Dachbegrünungen – Dachbegrünungsrichtlinie - Empfehlungen für Bau und Pflege von Flächen als Schotterrasen - Empfehlungen für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von Flächen aus begrünbaren Pflasterdecken und Plattenbelägen, - Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen, Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate

Die Vorschriften für die Einsatzgebiete im Erd- und Wegebau, im klassifizierten Straßenbau, beim Asphalt- und Betonstraßenbau sowie bei Flächenbefestigungen mit Pflaster werden von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrsgesellschaft (FGSV) entwickelt und herausgegeben. Die Normen für die Betonherstellung werden von Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN) erarbeitet. Zunehmend ist das Europäische Komitee für Normung CEN beteiligt. Die Vorschriften für die vegetationstechnischen Anwendungen werden von der

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) herausgegeben. Bei allen Vorschriften sind die laufenden Aktualisierungen zu beachten.

Vorschriften des Straßenbaus

Die neuere Geschichte der Vorschriften zum Baustoffrecycling beginnt 1985 mit einem Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, in welchem auch die Wiederverwendung von Baustoffen behandelt wird [12]. 2002 wurde diese Vorschrift durch eine aktuelle Fassung „Merkblatt über die Wiederverwertung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau“ ersetzt [13].

Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe, die in Tragschichten ohne Bindemittel eingesetzt werden sollen, erschienen erstmals 1995 [14]. Darin sind die generell für Mineralstoffe geltenden Anforderungen, wie Raumbeständigkeit, Bruchflächigkeit, Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel und Widerstand gegen Schlag für Recycling-Baustoffe spezifiziert. Zusätzliche Anforderungen werden an die Materialzusammensetzung und an die umwelttechnischen Merkmale gestellt.

1998 wurde ein Merkblatt für die Wiederverwertung von Beton aus Fahrbahndecken als Gesteinskörnung für neuen Fahrbahnbeton veröffentlicht [15]. Die Anforderungen an das Ausgangsmaterial, an die Aufbereitung, an die produzierten Recycling-Baustoffe sowie das Herstellen von Unter- aber auch von Oberbeton mit diesen Rezyklaten sind detailliert dargestellt.

Im Jahr 2000 wurden die Technischen Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau, in welchen die Anforderungen bei ihrem Einsatz in Oberbauschichten definiert sind, für Sekundärbaustoffe geöffnet [16]. Die Recycling-Baustoffe wurden zusammen mit verschiedenen industriellen Nebenprodukten in diese Vorschrift aufgenommen. Die aktuelle Fassung der TL Gestein [17] gilt uneingeschränkt auch für Recycling-Baustoffe. In einigen wenigen Punkten bestehen aber veränderte bzw. zusätzliche Anforderungen. Letzteres gilt insbesondere für die Materialzusammensetzung.

Nach den 2004 erschienenen Technischen Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel können Schottertrag- und Frostschutzschichten aus Gemischen aus natürlichen und/oder rezyklierten Gesteinskörnungen hergestellt werden [18]. In diesen RC-Gemischen muss jede Komponente die entsprechenden Anforderungen erfüllen. Für die Zuordnung zu den Eigenschaftskategorien nach den Technischen Lieferbedingungen sind jeweils die ungünstigsten Werte ausschlaggebend. Mit der Formulierung der Anforderungen an RC-Baustoffe, die als Pflastersand eingesetzt werden sollen, wurde 2006 eine weitere Einsatzmöglichkeit eröffnet. Es gelten die Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen[19].

In den Vorschriften zur Asphaltherstellung [20],[21],[22] sind die Anforderungen an das aus Gesteinskörnung und Bitumen bestehende Asphaltgranulat, die zulässigen Einsatzgebiete und die zusetzbaren Mengen zusammengestellt. Im Unterschied zu den mineralischen Recycling-Körnungen für Tragschichten ist ausdrücklich die Prüfung der Gleichmäßigkeit des Materials vorgeschrieben. Diese wird durch die

Spannweite bestimmter Eigenschaften erfasst. Diese Spannweite wird bei der Ermittlung der maximal möglichen Zugabemenge an Asphaltgranulat berücksichtigt. Chargen, deren Merkmale in einem breiten Bereich streuen, dürfen dem herzustellenden Mischgut in deutlich geringeren Anteilen zugegeben werden als solche, die relativ konstante Eigenschaften mit geringer Spannweite aufweisen.

Hochbau

Die Normung für rezyklierte Gesteinskörnungen, welche im Beton Einsatz finden sollen, wurde aufbauend auf den Ergebnissen des Verbundforschungsprojektes „Baustoffkreislauf im Massivbau“ [23] entwickelt und verknüpft mit der Einführung Europäischer Normen schrittweise vorangetrieben.

1998 erschien mit der DAfStb-Richtlinie „Beton mit rezykliertem Zuschlag“ das erste Regelwerk, in welchem die Anforderungen an Rezyklate für die Betonherstellung und die zulässigen Zugabemengen formuliert wurden. Der Richtlinie liegt der Grundgedanke zugrunde, dass „ein Beton mit rezykliertem Zuschlag die gleichen Anforderungen zu erfüllen hat wie ein Beton mit dichtem Zuschlag“ [24]. Bei Einhaltung dieser Anforderungen ist der Einsatz der Rezyklate für Konstruktionsbeton ohne Änderungen der Bemessungskennwerte möglich. Die DAfStb-Richtlinie enthält Anforderungen an die Betontechnik und an den RC-Zuschlag selbst. Es werden Angaben zu den Anteilen an rezyklierten Zuschlägen, zur maximalen Festigkeitsklasse und zu den erlaubten Anwendungsgebieten gemacht. Die größte Zugabemenge von 35 Vol.-% Betonsplitt und -brechsand > 2 mm + 7 Vol.-% Betonbrechsand ≤ 2 mm war bei Innenbauteilen bis zur Festigkeitsklasse B 25 möglich. Betone, die im Außenbereich eingesetzt werden sollten und dadurch höheren Beanspruchungen ausgesetzt waren, durften maximal 20 Vol.-% rezyklierte Zuschläge > 2 mm enthalten. Bei der Materialzusammensetzung bestanden strikte Anforderungen an drei Stoffgruppen:

- Betonsplitt, natürlicher Zuschlag ≥ 95 Masse-%
- mineralische Bestandteile, Asphalt ≤ 5 Masse-%
- nichtmineralische Bestandteile $\leq 0,2$ Masse-%

Die Richtlinie wurde durch Erläuterungen ergänzt, in denen u.a. ein zweistufiger Zerkleinerungsprozess und eine nasse Sortierung empfohlen werden, um eine gute Rezyklatqualität zu erreichen.

2002 wurde die DIN 4226 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100 Rezyklierte Gesteinskörnungen“ veröffentlicht [25]. Die rezyklierten Gesteinskörnungen werden anhand der Hauptbestandteile in 4 Typen eingeteilt. Für die Betonherstellung einsetzbar sind:

- Typ 1 Betonsplitt/Betonbrechsand: Körnungen, die zu mehr als 90 % aus Beton und natürlichen Gesteinskörnungen bestehen.
- Typ 2 Bauwerksplitt/Bauwerksbrechsand: Körnungen, in welchen Beton und natürlichen Gesteinskörnungen mit mehr als 70 % dominieren.

Bei der Materialzusammensetzung wird zwischen den Bestandteilen Beton und Gesteinskörnungen (1), Klinker und nicht porosiertem Ziegel (2), Kalksandstein (3), anderen mineralischen Bestandteilen (4), Asphalt (5) sowie Fremdbestandteilen (6) unterschieden. Weitere Qualitätsparameter, die für rezyklierte Gesteinskörnungen im Unterschied zu natürlichen Gesteinskörnungen nachzuweisen sind, sind die Trocken-

rohdichte und die Wasseraufnahme. Als chemischer Parameter ist der einzuhaltende Gehalt an wasserlöslichem Chlorid explizit angegeben. Er darf bei den Rezyklate der Typen 1,2, und 3 einen Wert von 0,04 Masse-% nicht überschreiten. Der Gehalt an wasserlöslichem Sulfat muss unter 0,8 Masse % liegen. Für alle anderen Parameter gelten die gleichen Anforderungen wie für natürliche Gesteinskörnungen.

Die Europäische Norm für Gesteinskörnungen [26] trat 2008 an die Stelle der DIN 4226-100. Es ergaben sich Modifizierungen in Bezug auf die rezyklierten Gesteinskörnungen. Die Bestandteile, mit welchen die Zusammensetzung beschrieben wird, werden in Beton, Mörtel und Betonwaren (1), natürliche Gesteinskörnungen (2), Mauersteine ohne Betonsteine (3), Asphalt (4), Sonstiges wie bindiges Material, Metalle, Holz, Kunststoff, Gummi, Gips (5), Glas (6) und Schwimmendes Material (7) unterteilt.

Die DAfStb-Richtlinie wurde in den vergangenen Jahren mehrfach überarbeitet und mit der letzten Fassung von 2010 auch an die Regelungen der DIN EN12620 angepasst **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** In diese Fassung wurden auch einige Regelungen und Prüfverfahren der DIN 4226-100 übernommen. Nach wie vor wird von der Prämisse ausgegangen, dass bei der Herstellung und Nutzung von Betonen aus rezyklierten Gesteinskörnungen keine Unterschiede zu herkömmlichen Betonen auftreten dürfen. Daraus folgt, dass RC-Sande, in welchen in der Regel der Zementstein und andere leichter zerkleinerbare Bestandteile mit geringerer Rohdichte und Festigkeit angereicht sind, von der Verwertung für die Betonherstellung ausgeschlossen werden. Aus groben rezyklierten Gesteinskörnungen der Typen 1 und 2 dürfen Betone bis zur Festigkeitsklasse C 30/37 hergestellt werden. Der zulässige Anteil der groben Rezyklate an der Gesteinskörnung bewegt sich zwischen 45 Vol.-% für Bauteile in Innenräumen und 25 Vol.-% für stärker beanspruchte Betone.

Rezyklierte Gesteinskörnungen müssen entsprechend der Alkalirichtlinie von 2007 [27] auf alkaliempfindliche Bestandteile, die aus der primären Gesteinskörnung stammen können, untersucht werden. Daraus folgte eine Einstufung in Alkaliempfindlichkeitsklassen, von der wiederum die Einsatzmöglichkeiten abhängen.

Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) Ausfertigungsdatum: 24.02.2012.
- [2] Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien
- [3] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz KrW-/AbfG) Oktober 1996.
- [4] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnlichen Vorgängen. Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG, März 1974.
- [5] Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil C "Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen" VOB/C, 2002.

- [6] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (HRSG): Arbeitshilfe Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz - Erkundung, Bewertung, Entsorgung. Augsburg, 2003.
- [7] Doka, G.: Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien. Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden. Laboratorium für Technische Chemie. Eidgenössische Technische Hochschule ETH, Zürich 2000.
- [8] LAGA-Mitteilung 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Magdeburg 2003.
- [9] Susset, B., Leuchs, W.: Ableitung von Materialwerten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe. Abschlussbericht. Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 205 74 251, Dessau 2008.
- [10] Entwurf: Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen oder das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzstoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material. Bundesumweltministerium, Stand 31.10.2012.
- [11] DIN 4136: Ziegelsplittbeton, Bestimmungen für die Herstellung und Verwendung, 1951 (zurückgezogen).
- [12] Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil Wiederverwendung von Baustoffen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 1985.
- [13] Merkblatt über die Wiederverwertung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau M RC, FGSV-Verlag, Köln 2002.
- [14] Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe TL RC-ToB. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 1995.
- [15] Merkblatt zur Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 1998.
- [16] Technische Lieferbedingung für Mineralstoffe im Straßenbau TL-Min. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2000.
- [17] Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau TL Gestein-StB. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2004/Fassung 2007.
- [18] Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau TL SoB-StB. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2004/Fassung 2007.
- [19] Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen TL Pflaster-StB. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2006.
- [20] Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen TL Asphalt-StB. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2007.
- [21] Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat TL AG-StB. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2009.

- [22] Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat M VAG. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2009.
- [23] Baustoffkreislauf im Massivbau <http://www.b-i-m.de/>
- [24] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Beton mit rezykliertem Zuschlag. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [25] DIN 4226-100: Gesteinskörnungen von Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen. DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin 2002.
- [26] DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton. DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin 2008.
- [27] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 - Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1, Beuth-Verlag, Berlin 2004.
- [28] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali-Richtlinie), Beuth-Verlag, Berlin 2007.