

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3708 95 303  
UBA-FB 001401

## **Ermittlung von Ressourcenschonungs- potenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung**

### **Kurzfassung**

von

**Georg Schiller, Clemens Deilmann**  
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden

unter Mitarbeit von

**Karin Gruhler, Patric Röhm**  
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden

in Kooperation mit

**Jan Reichenbach, Janett Baumann, Marko Günther**  
INTECUS GmbH - Abfallwirtschaft und umweltintegratives  
Management, Dresden

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4040.html> verfügbar. Hier finden Sie auch den vollständigen Band und eine englische Kurzfassung.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung,  
Stoffkreisläufe, Mineral- und Metallindustrie  
Felix Müller, Susann Krause

Dessau-Roßlau, November 2010

# Kurzfassung

Die Nutzung von Abfallstoffen leistet einen wichtigen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen. Dies gilt insbesondere bei einem hochwertigen Recycling, welches eine stoffliche Nutzung der Abfälle und die Herbeiführung möglichst enger Produktkreisläufe vorsieht und demzufolge in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG, Art. 11) und dem hierauf aufbauendem aktuellen Arbeitsentwurf zum Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG, § 8) zur vorrangigen Zielstellung für die Abfallverwertung erhoben wird. Der Baubereich ist allein hinsichtlich der zu bewirtschaftenden Mengenströme für die Rückführung von Materialien in die Wertstoffkreisläufe bedeutend<sup>1</sup>.

Für die zukünftigen Mengenströme im Baubereich ist die Entwicklung des Gebäudebestandes maßgebend. Diese Entwicklung wird wesentlich von demografischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmt. Derzeit unterliegen diese Rahmenbedingungen großen Veränderungen. So ist in Deutschland für die kommenden Jahre mit enormen räumlichen und zeitlichen Disparitäten hinsichtlich der Bestandsentwicklung zu rechnen. Da die Kreisläufe des Baustoffrecyclings räumlich begrenzt sind, ergeben sich regional sehr unterschiedliche Stoffstrombilanzen sowie Mengenpotenziale für die hochwertige Nutzung von Bauabfällen im Hochbau.

## *Zielstellung*

Mit der vorliegenden Studie wird das Ziel verfolgt, mittel- und langfristig<sup>2</sup> zu erwartende Potenziale eines hochwertigen Recyclings mineralischer Bauabfallstoffe auszuloten. Speziell auf den Massenbaustoff Beton bezogen wird die Frage beantwortet, in welchem Umfang ein Recycling „aus dem Hochbau in den Hochbau“ erfolgen könnte und welches Ressourcenschonungspotenzial<sup>3</sup> damit zu erschließen wäre. Hauptgegenstand der Betrachtungen sind die bei der Gebäudeherstellung im Beton eingesetzten Gesteinskörnungen. Hierzu erfolgt eine Massestrombilanzierung die darauf fokussiert, die zukünftig bereitstellbaren Mengen geeigneter Bauabfallrezyklate dem Bedarf an Betonzuschlagsstoffen und der durch Rezyklat substituierbaren Menge an entsprechenden Zuschlagsstoffen gegenüber zu stellen.

---

<sup>1</sup> Im Jahre 2004 fielen in Deutschland insgesamt 200,7 Mio. t mineralische Bauabfälle zur Entsorgung an, davon 50,5 Mio. t Bauschutt (s. KWTB 2007). Die Bauabfallbilanzen zeigen aber, dass erhebliche Mengen an mineralischen Bauschuttmaterialien bislang nicht wieder im konstruktiven Bereich, also dort, wo sie zu Abfall geworden sind, eingesetzt werden. Ihre Verwertung erfolgt hauptsächlich als Schüttgut, lose Bettung, beim Deponiebau und als Verfüllmaterial.

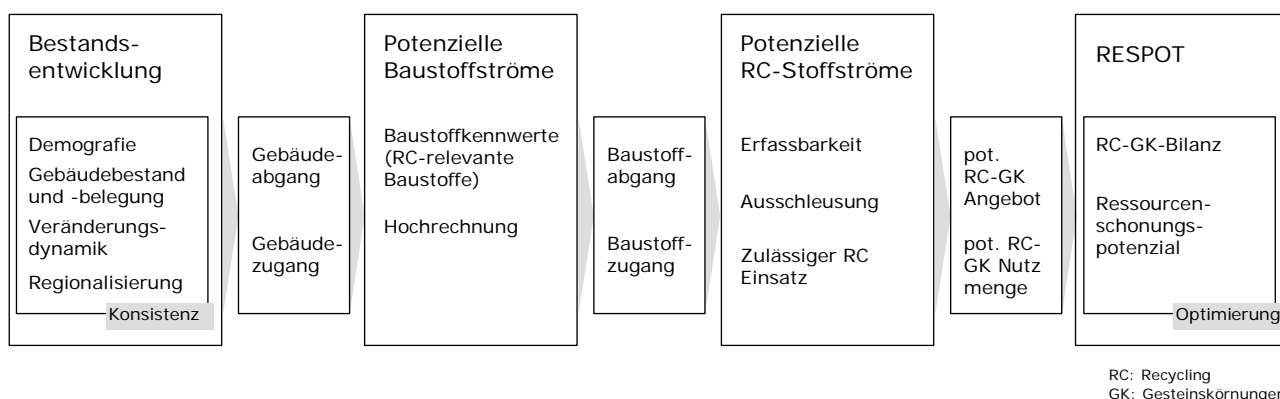
<sup>2</sup> Der mittelfristige Zeithorizont reicht bis zum Jahr 2020, die langfristige Perspektive bis zum Jahr 2050.

<sup>3</sup> Das Ressourcenschonungspotenzial (RESPOT) im Sinne dieser Studie umfasst einen rein rohstofflichen Ansatz. Der Begriff wird hier mit dem Abbauvolumen an Naturkiesmaterial operationalisiert, welches vermeidbar ist, indem bei der Erzeugung von Beton mineralisches Rezyklat als Substitutionsbaustoff zum Einsatz gebracht wird. Darüber hinausgehende Effekte auf die Ressourcennutzung (z. B. Effekte auf Flächennutzung, Biodiversität und andere Umweltmedien) werden im Rahmen dieser Studie nicht explizit thematisiert.

## Entwicklung eines Stoffstrommodells

Die Quantifizierung der recyclingrelevanten Stoffströme wird über regionalisierte Modellrechnungen vorgenommen, unter Anwendung eines hierzu entwickelten Stoffstrommodells. Für die mittelfristige Betrachtung erfolgt die Regionalisierung auf der Ebene von zu Raumtypen zusammengefassten Landkreisen<sup>4</sup>, die Langfristperspektive lässt eine regionalisierte Aussage im Moment lediglich in der Differenzierung nach Ost- und Westdeutschland<sup>5</sup> zu.

Das Stoffstrommodell setzt sich aus mehreren, aufeinander aufbauenden Modellkomponenten zusammen, innerhalb derer recyclingrelevante Stoffstromgrößen berechnet und im Weiteren als Ausgangswerte in nachfolgende Modellkomponenten übergeben werden (Abbildung 0-1).



**Abbildung 0-1: Stoffstrommodell „Ressourcenschonungspotenzial“ im Überblick**

Die Modellkomponente „Bestandsentwicklung“ dient der Abbildung möglicher zukünftiger Gebäudeabgänge und -zugänge in und aus dem Wohn- und Gewerbegebäudebestand in ihren regionalen Ausprägungen. Die Abschätzung regionaler Veränderungen im Wohnungsbestand greift auf aggregierte Vorausberechnungen von Banse und Effenberger (2006) zurück. Diese werden unter Beachtung relevanter Parameter zur Beschreibung des Wohnungsangebotes, der Wohnungsnachfrage sowie hieraus resultierender Bilder der Bestandsnutzung auf die verwendete Raumtypologie projiziert. Das für den Bereich Gewerbe angewandte Verfahren basiert dagegen auf hypothetisch formulierten Kennwerten von Gebäudezu- und -abgängen<sup>6</sup>. Demnach wächst der Wohnungsbestand mittelfristig in Westdeutschland und in den von Suburbanisierungstendenzen gekennzeichneten Landkreisen Ostdeutschlands weiter an, überwiegend finden sich in Ostdeutschland aber Raumtypen, in denen die Wohnungsabrisszahlen den Neubau übersteigen. Langfristig übersteigt der Abriss im Wohnungsbestand den Neubau nahezu flächendeckend (Tabelle 0-1).

<sup>4</sup> Für die Regionalisierung wird die Raumtypisierung der aktuellen Raumordnungsprognose des BBR (BBR 2009) genutzt, die unterschiedliche Entwicklungsdynamiken, die auf Kreisebene zur Ausprägung kommen, reflektiert. Diese unterscheidet jeweils 3 Raumtypen in Westdeutschland und in Ostdeutschland.

<sup>5</sup> Die räumliche Abgrenzung Ost- und Westdeutschlands lehnt sich an der Unterscheidung des territorialen Gebietes der sogenannten Neuen und Alten Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland an.

<sup>6</sup> Bezogen auf Einwohner bzw. Erwerbspersonen.

**Tabelle 0-1: Annahmen zum Wohnungszugang (Neubau) und Wohnungsabgang (Abriss)**

| Wohnungsbestandsveränderungen im Jahr 2020 (1000 Wohnungen/a)* |             |                 |     |     |     |                |     |     |     |
|--|-------------|-----------------|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|
|  | Deutschland | Westdeutschland |     |     |     | Ostdeutschland |     |     |     |
|  |             | Gesamt          | RT1 | RT2 | RT3 | Gesamt         | RT4 | RT5 | RT6 |
| Zubau  | 204         | 187             | 51  | 25  | 111 | 17             | 3   | 9   | 5   |
| Abriss   | 113         | 63              | 23  | 10  | 31  | 50             | 11  | 35  | 4   |
| Zubau/Abriss   | 1,8         | 3,0             | 2,2 | 2,5 | 3,6 | 0,3            | 0,3 | 0,3 | 1,3 |

RT1: Kernstädte; RT2: Landkreise mit geringer Dynamik, RT3: Landkreise mit größerer Dynamik, RT 4: Kernstädte, RT 5: dünn besiedelt und häufig peripher, RT6: Umlandkreise mit Suburbanisierungstendenzen

| Wohnungsbestandsveränderungen im Jahr 2050 (1000 Wohnungen/a) |             |                 |                |
|---|-------------|-----------------|----------------|
|   | Deutschland | Westdeutschland | Ostdeutschland |
| Neubau  | 107         | 94              | 13             |
| Abriss  | 282         | 232             | 50             |
| Zubau/Abriss  | 0,4         | 0,4             | 0,3            |

Für den Gewerbebaubestand wird angenommen, dass dieser sowohl in Westdeutschland wie auch in Ostdeutschland ansteigt (Tabelle 0-2).

**Tabelle 0-2: Annahmen zur Bestandsveränderung<sup>7</sup> von Gewerbegebäuden**

| Gewerbegebäudebestandsveränderungen im Jahr 2020 (1000 Gebäude./a) |             |                 |     |     |      |                |     |     |     |
|--|-------------|-----------------|-----|-----|------|----------------|-----|-----|-----|
|  | Deutschland | Westdeutschland |     |     |      | Ostdeutschland |     |     |     |
|  |             | Gesamt          | RT1 | RT2 | RT3  | Gesamt         | RT4 | RT5 | RT6 |
| Neubau   | 36,0        | 31,0            | 8,8 | 5,7 | 16,5 | 5,0            | 0,8 | 3,4 | 0,7 |
| Abriss   | 16,2        | 13,9            | 4,0 | 2,6 | 7,4  | 2,2            | 0,4 | 1,5 | 0,3 |
| Zubau/Abriss   | 2,2         |                 |     |     |      |                |     |     |     |

RT1: Kernstädte; RT2: Landkreise mit geringer Dynamik, RT3: Landkreise mit größerer Dynamik, RT 4: Kernstädte, RT 5: dünn besiedelt und häufig peripher, RT6: Umlandkreise mit Suburbanisierungstendenzen

| Gewerbegebäudebestandsveränderungen im Jahr 2050 (1000 Geb./a) |             |                 |                |
|--|-------------|-----------------|----------------|
|  | Deutschland | Westdeutschland | Ostdeutschland |
| Neubau   | 26,0        | 23,0            | 3,1            |
| Abriss   | 11,9        | 10,5            | 1,4            |
| Zubau/Abriss   | 2,2         |                 |                |

Gegenstand der Modellkomponente „*Potenzielle Baustoffströme*“ ist es, die zuvor für die Raumtypen geschätzten Gebäudezu- und -abgänge in Baustoffmassenströme umzurechnen. Im Fokus stehen dabei recyclingrelevante Baustoffe<sup>8</sup>. Hierfür kommt eine Berechnungsmethode zur Anwendung, die auf gebäudetypologischen Baustoffkennwerten beruht. Für Wohngebäude können gebäudetypologische Baustoffkennwerte in Anlehnung an vorliegen-

<sup>7</sup> Identische Verhältnisse von Zu- und Abgang sind der gewählten Modellierungsmethode geschuldet.

<sup>8</sup> „Recyclingrelevante Baustoffe“ im Sinne der Ausrichtung dieser Studie sind Betone und Ziegel des Baustoffabgangs, da hieraus RC-Gesteinskörnungen hergestellt werden können, die als Zuschlag in Betone zulässig sind, sowie Betone im Baustoffzugang, da diese RC-Material aufnehmen können.

de Studien formuliert werden. Für Gewerbegebäude erfolgt die Kennzahlenbildung hypothetisch im Rückgriff auf vorliegende Analysen von Daten zur Bautätigkeit

Aus den Mengen recyclingrelevanter Baustoffe berechnet die Modellkomponente „Potenzielle RC-Stoffströme“ die Angebotsmenge an Recycling-Gesteinskörnungen, die aus den abgehenden Bauabfallstoffströmen durch Aufbereitung gewonnen werden kann sowie die Nutzmengen an Recycling-Gesteinskörnungen, die in den im Hochbau nachgefragten Beton unter derzeitigen Norm- und Regelvoraussetzungen eingebracht werden könnten. Der Berechnung der Angebotsmenge liegen Annahmen zum erfassbaren Anteil an den recyclingrelevanten Fraktionen der Betone und Ziegel aus dem abgehenden Bauabfall sowie Annahmen zur Ausschleusungsquote ungeeigneter Bestandteile<sup>9</sup> bei der Aufbereitung zugrunde. Dabei bilden die technischen Obergrenzen primäre Orientierungspunkte. Bei derzeit verfügbarer Technik (Annahmen s. Tabelle 0-3) können aus der abgehenden Menge recyclingrelevanter Baustoffe etwa 48 % als RC-Gesteinskörnungen für Hochbauanwendungen bereitgestellt werden. In den Beton des gewöhnlichen Hochbaus können nach geltenden technischen Regelwerken in Abhängigkeit vom Gehalt an Ziegelanteilen maximal 25 % bzw. 32 % des Gesamtvolumens in Form von RC-Gesteinskörnungen eingebracht werden.

**Tabelle 0-3: Grundannahmen bzgl. Gewinnung und Einsatz von RC-Material**

|   |   |   |
|---|---|---|
| Gewinnung von RC-Material aus dem abgehenden Baumassenstrom | 20 % Erfassungsverlust<br>40 % Ausschleusung im Zuge der Aufbereitung |   |
| Einsatz von RC-GK im Zubaubeton                             | bezogen auf das Volumen an GK im Beton                                | bezogen auf das Beton-Gesamtvolumen                             |
|   | 45 Vol.-% bei Liefertyp L* und L1<br>35 Vol.-% bei Liefertyp L2       | 32 Vol.-% bei Liefertyp L* und L1<br>25 Vol.-% bei Liefertyp L2 |

Anteilsverhältnisse (RC-Betonspalt : RC-Ziegelsplitt) in den Liefertypen: L\*: 100:0, L1: 90:10, L2: 70:30; Der Volumenanteil an Gesteinskörnung im Beton wird mit 72 % angesetzt.

Die Modellkomponente „RESPOT“ bilanziert das berechnete Angebot sowie die nutzbare Menge an rezyklierten Gesteinskörnungen und ermittelt so die unter gegebenen Konstellationen der Gebäudebestandsentwicklung im Hochbau tatsächlich verwertbare Menge an RC-Gesteinskörnungen. Das Ressourcenschonungspotenzial entspricht dem Volumen an Naturkiesmaterial, auf dessen Einsatz bei der Betonerzeugung für den Hochbau aufgrund dieser Substitution verzichtet werden kann. Als Messlatte zur Einordnung und Bewertung des berechneten RESPOT wird diesem ein Referenzwert gegenübergestellt. Dieser stellt das maximale technische Substitutionspotenzial dar, welches unter der Annahme unbegrenzt verfügbarer Mengen an Recyclinggesteinskörnungen erreicht werden könnte. Unterschreitet das RESPOT diesen Referenzwert, erlaubt das Modell die Simulation von Optimierungsszenarien und damit die Ableitung von Ansatzpunkten zur verbesserten Ausschöpfung möglicher Ressourcenschonungspotenziale (z. B. Umorientierung beim einzusetzenden Liefertyp, abhängig von der in den Raumtypen vorherrschenden Angebots-Nachfragekonstellation, alternative Setzungen bei den Annahmen zur Gewinnung und zum Einsatz von RC-Material).

Die Modellrechnungen zeigen, dass unter den dargelegten Annahmen der Gebäudebestandsentwicklung mittelfristig in Westdeutschland die potenzielle Nachfrage nach RC-GK

<sup>9</sup> insbesondere Feinkornanteile

mit dem verfügbaren Angebot nicht gedeckt werden kann. In den entsprechenden Regionen übersteigt die Neubaudynamik die Abrissintensität zum Teil erheblich. Bezogen auf hochwertiges Recycling besteht demnach ein Mangel an geeignetem RC-Material aus dem Hochbau. Dagegen kann für weite Teile Ostdeutschlands, wo die Regionen überwiegend eine vergleichsweise niedrige Neubautätigkeit und hohe Abrisstätigkeit aufweisen, ein Überschuss an RC-GK aufgezeigt werden, sofern die Betrachtung streng auf hochwertiges Recycling von Hochbau zu Hochbau begrenzt bleibt. Eine Ausnahme bilden hier die „Umlandkreise mit Suburbanisierungstendenzen“, in denen in abgeschwächter Form ähnliche Verhältnisse der Bestandsveränderung vorherrschen, wie sie in Westdeutschland zu beobachten sind. Wird das regionale Potenzial, das sich bei Anwendung der technischen und normbedingten Grenzen sowie den zu erwartenden regionalen Stoffflüssen ergibt, für hochwertiges Recycling genutzt, kann im Jahr 2020 ein Volumen von 4,1 Mio m<sup>3</sup>/a an natürlichen Gesteinskörnungen durch RC-GK substituiert werden. Weitere 1,8 Mio m<sup>3</sup> für Zwecke des hochwertigen Recycling gewinnbarer RC-GK können nicht im Hochbau untergebracht werden. Dieses „Lager“ entsteht größtenteils in Ostdeutschland (Tabelle 0-4).

**Tabelle 0-4: Ressourcenschonungspotenzial und entstehende „Lager“ im Jahr 2020**

| Bezugsjahr: 2020  | Deutschland | Westdeutschland | Ostdeutschland |
|---|-------------|-----------------|----------------|
| Substituierbare Menge natürlicher GK im Beton auf Basis des Bedarfes für den Neubau, (RESPOT) [Mio m <sup>3</sup> /a]               | 4,1         | 3,6             | 0,6            |
| Menge an bereitstellbaren RC-GK, die mangels Bedarfs nicht in den Hochbau eingebracht werden kann („Lager“) [Mio m <sup>3</sup> /a] | 1,8         | 0,5             | 1,3            |

Bei einer ausschließlichen Fokussierung auf den Einsatz der aus mineralischem Hochbauabfall gewinnbaren RC-Gesteinskörnungen als Betonzuschlag im Hochbau bilden sich mittelfristig in Deutschland inkongruente Tendenzen aus: In einigen Regionen würde es Überschussmengen an hochwertig einsetzbarem RC-Material geben während in anderen Regionen gleichzeitig ein Mangel bestünde.

Diese regionalen Disparitäten können aufgrund der nur in engen räumlichen Grenzen wirtschaftlich realisierbaren Baustoffrecyclingkreisläufe nicht aufgelöst werden, sondern verlangen nach einer regionalisierten Herangehensweise, wie sie dieser Studie zugrunde liegt. Nur so ist es sinnvoll möglich, Potenziale zur Kreislaufführung im Hochbau adäquat zu erfassen und auszuschöpfen

So kann Betonzuschlag aus RC-Gesteinskörnungen mit unterschiedlichen Anteilen an Beton- und Ziegelbestandteilen zum Einsatz gelangen. Die zulässigen Anteile der verschiedenen Stoffgruppen regelt in Deutschland derzeit die DIN 4226-100 mit der Festlegung von Anforderungen für Gesteinskörnungs-Liefertypen. In Abhängigkeit vom eingesetzten Liefer-typ sind bestimmte Beimischungsmengen an RC-Zuschlag in den Beton bautechnisch zulässig. Mit erhöhtem Ziegelanteil im RC-Zuschlag verringert sich der maximal zulässige Beimischungsanteil im Beton. Ohne spezielle Sonderzulassung ist derzeit die höchste Substitution durch Einsatz eines RC-Zuschlags zu erreichen, welcher zu mindestens 90 Gew.-% aus RC-Betongranulat besteht. Dies macht jedoch eine ausreichende lokale Verfügbarkeit an geeig-

netem Betonmaterial aus Abbruchtätigkeit zur Voraussetzung. Reicht das verfügbare RC-Betonmaterial hingegen nicht aus, um beim nachgefragten Beton die technisch maximal zulässige Substitution natürlicher Gesteinskörnungen vorzunehmen, kann es hinsichtlich der Maximierung der Ressourcenschonung von Vorteil sein, RC-Gesteinskörnungen mit erhöhtem Ziegelanteil zum Einsatz zu bringen, obgleich sich die zulässige Beimischungsmenge pro Einheit Beton dadurch verringert. Diese Potenzialreserve kann in den Raumtypen nachgewiesen werden, die mittelfristig durch einen deutlichen Mangel an RC-GK gekennzeichnet sind.

Die für den Einsatz im Beton zulässigen Zusammensetzungen der RC-Gesteinskörnungen haben mittelfristig wesentlichen Einfluss auf das durch hochwertiges Recycling erreichbare Ressourcenschonungspotenzial. Ob durch Einsatz von unterschiedlich zusammengesetzten Gesteinskörnungen eine bessere Ausschöpfung des Ressourcenschonungspotenzials bewirkt werden kann ist allerdings vom Verhältnis zwischen verfügbarer Menge an RC-Gesteinskörnungen und der aus der Nachfrage nach Beton resultierenden Menge einbringbaren RC-Zuschlags abhängig. Dieses Verhältnis differiert mittelfristig regional stark.

Neben der Einflussnahme auf Input-Seite, beispielsweise durch gezielt höhere Nutzung von nicht betonstämmigen Mineralstoffen im RC-Zuschlag und Möglichkeiten zur Erhöhung der Beimischungsanteile, sind Optimierungen im Bereich der Erfassung und Aufbereitung abgehender Bauabfälle aus dem Gebäudebestand naheliegende Ansatzpunkte, um das Ressourcenschonungspotenzial durch hochwertiges Recycling weiter zu steigern.

Die Modellannahmen zur sortenreinen Erfassung von Beton- und Ziegelfractionen und zur Erzeugbarkeit von geeigneten RC-GK durch Ausschleusung ungeeigneter Stoffanteile (siehe Tabelle 0-4) kommen im Querschnitt der heutigen Gegebenheiten allerdings ambitionierten technischen Machbarkeitsgrenzen gleich. Hier eine weitere Optimierung zu erreichen würde gegenwärtig mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand in Verbindung stehen und ggf. auch das Risiko eines Qualitätsabfalls im erzeugten Rezyklat vergrößern. Als Ansatzpunkte um das erreichbare Ressourcenschonungspotenzial weiter zu steigern, sind diese daher vorerst von nachrangiger Bedeutung.

In der Langfristbetrachtung verschieben sich die Verhältnisse zwischen dem Materialoutput aus dem Gebäudebestand und dem Materialinput in den Gebäudebestand. Aus der sich abzeichnenden demografischen Dynamik lässt sich ableiten, dass im Jahr 2050 insbesondere im Wohnungsbau der Abriss den Neubau nahezu flächendeckend deutlich übersteigen wird. Möglicherweise wächst das Gewerbegebäudelager langfristig weiter an; verglichen mit der mittelfristigen Perspektive allerdings mit einer deutlich geringeren Dynamik. Dadurch verringert sich langfristig das im Hochbaubereich durch hochwertiges Recycling maximal zu erzielende Ressourcenschonungspotenzial. Sowohl in Ostdeutschland wie auch in Westdeutschland kann mit dem potenziell verfügbaren RC-Material die technisch gesetzte Obergrenze der Substitution von Betonzuschlag erreicht werden. Die Modellrechnungen weisen das erreichbare Ressourcenschonungspotenzial für das Jahr 2050 mit 3,3 Mio. m<sup>3</sup> aus. Dies entspricht einem Rückgang um ca. 20 % gegenüber dem entsprechenden Wert aus dem Jahr 2020. Gleichzeitig würde sich – bezogen auf hochwertiges Recycling – langfristig flächendeckend ein Überangebot an RC-Material abbilden lassen. Dieses wird für das Jahr



2050 auf 6,2 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr geschätzt, was gegenüber dem für das Jahr 2020 ausgewiesenen Wert eine Steigerung um Faktor 3,4 bedeutet.

**Tabelle 0-5: Ressourcenschonungspotenzial und entstehende „Lager“ im Jahr 2050**

| Bezugsjahr: 2050  | Deutschland | Westdeutschland | Ostdeutschland |
|---|-------------|-----------------|----------------|
| Substituierbare Menge natürlicher GK im Beton auf Basis des Bedarfes für den Neubau, (RESPOT) [Mio m <sup>3</sup> /a]               | 3,3         | 2,9             | 0,4            |
| Menge an bereitstellbaren RC-GK, die mangels Bedarfs nicht in den Hochbau eingebracht werden kann („Lager“) [Mio m <sup>3</sup> /a] | 6,2         | 5,0             | 1,2            |

Langfristig ist das maximale technische Ressourcenschonungspotenzial durch hochwertiges Recycling mit dem aus mineralischem Hochbauabfall gewinnbaren RC-Material vollständig erreichbar. Die Aufmerksamkeit verlagert sich auf die anwachsende Menge verfügbarer RC-Gesteinskörnungen, die aufgrund der rückläufigen Bautätigkeit nicht in den Bereich des Hochbaus rückführbar sind.

Die Quantifizierung erreichbarer Ressourcenschonungspotenziale zeigt eindrücklich die Notwendigkeit, im Bemühen um eine möglichst weitreichende Implementierung hochwertigen Recyclings den räumlichen und zeitlichen Aspekten einen besonderen Stellenwert einzuräumen. Räumliche und zeitliche Disparitäten prägen die zukünftige Gebäudebestandsentwicklung. Das sich dabei abzeichnende heterogene Bild macht die erheblichen Unterschiede deutlich, denen auf dem Weg zum höherwertigen Recycling vor dem Hintergrund langfristiger Planungserfordernisse bei der Rohstoffbereitstellung adäquate Beachtung entgegengebracht werden muss. Der vorgelegte Modellansatz liefert hierzu einen Beitrag einer regionalisierten prognostischen Modellierung relevanter Stoffkreisläufe. Die für die Interpretation der erreichbaren Ressourcenschonungspotenziale gesetzten Systemgrenzen erscheinen allerdings noch zu eng gezogen. So erfolgt eine Fokussierung auf die Recyclingstoffströme im Hochbau im engeren Sinne mit der Betrachtung abgehender Bauabfallströme aus dem Gebäudebestand, deren Erfassung und Aufbereitung, der Nachfrage nach Baustoffen im Gebäudeneubau sowie der dabei einbringbaren RC-Menge. Angelagerte Rohstoffquellen und -senken, die die Rahmenbedingungen des skizzierten Bereiches wesentlich mitbestimmen, konnten nicht berücksichtigt werden. Dies betrifft vor allem weitere, das Baustoffangebot beeinflussende Rohstoffe – bspw. verfügbare Primärgesteinskörnungen – aber auch das erheblich breitere Spektrum an möglichen „Senken“ für RC-Produkte. Hier bestehen Abhängigkeiten zum betrachteten System des hochwertigen Recyclings, die möglicherweise ähnlichen räumlichen und zeitlichen Disparitäten unterliegen. Überdies wird mit den Anwendungsfällen des Hochbaus, die vor allem auf anspruchsvolle Betone, aber damit nur auf einen begrenzten Ausschnitt an Betonanwendungen ausgerichtet sind, hochwertigem Recycling nur eine deutlich verengte Betrachtungsperspektive gegeben. Mengenbezogen interessante Einsatzbereiche bieten indes auch Betonanwendungen in den Bereichen des Tief-, Straßen- oder auch Gehweg-, Kanal- und Rohrleitungsbaus. Hier kann dem Anspruch nach hochwertiger Verwertung, oft wahrscheinlich sogar auf leichtere Weise, ebenso nachgekommen werden.

Vor dem Hintergrund langfristig disparater Entwicklungen wird die Stärkung der Planungssicherheit in Form einer Erweiterung der räumlich und zeitlich differenzierten Wissensbasis an Bedeutung gewinnen. Dies bedarf der konsequenten Weiterentwicklung von entsprechend ausgestalteten Analyseansätzen unter Berücksichtigung all jener Quellen und Senken, die wesentlich die Rahmenbedingungen eines hochwertigen Recyclings mitbestimmen.

Die vorliegende Studie fokussiert auf den Einsatz von RC-Gesteinskörnungen als Betonzuschlagstoff im Hochbau. Dabei tritt u. a. die Bedeutung des Mischungsverhältnisses von Beton und Ziegel im einzubringenden RC-Granulat zutage. So beeinflusst der Ziegelanteil im RC-Zuschlag nach gültiger Zulassungspraxis die substituierbare Menge an Betonzuschlag nicht unwesentlich. Dieser Aspekt darf aber nicht allein im Hinblick auf die maximal zu erzielende Rohstoffsubstitution beim hochwertigen Recycling zur Betrachtung kommen. So greift eine Schlussfolgerung, bei ausreichender Verfügbarkeit an RC-Betongranulat auf eine Einbringung von Ziegelanteilen weitestgehend zu verzichten und damit die maximale technische Substitutionsmenge zu erreichen, zu kurz. Hierbei ist u. a. zu bedenken, dass für Ziegelbruch insgesamt eingeschränkte Verwertungsmöglichkeiten bestehen und sich der Bereich des Tiefbaus dabei nahezu ausschließt, während dies für Betongranulate nicht gilt.

Die Verwertung von Ziegelrezyklaten im Hochbau erhält in einem erweiterten Betrachtungsrahmen größere Bedeutung.

Hierbei kann beispielsweise auf Initiativen in Sachsen verwiesen werden, wo seitens des Finanzministeriums aktuell geprüft wird, inwieweit die Umsetzung des Passivhausstandards in öffentlichen Bauten unter Einbeziehung einer Verwertung bspw. auch für Ziegelsplitte erfolgen kann. Entgegen des bislang vorherrschenden Trends der Errichtung schlanker aber hochfester und gedämmter Wandkonstruktionen wird untersucht, ob adäquate funktionale Eigenschaften ebenso durch die Verwendung höher dimensionierter Wandquerschnitte erreicht werden können, die geringere Festigkeitsanforderungen an das Baumaterial stellen, dadurch aber auch höhere Einsatzanteile an Ziegelrezyklat gestatten und gleichzeitig bessere Dämmeigenschaften aufweisen würden<sup>10</sup>.

Mit der verfügbaren Technik und den entwickelten technischen Verfahren bestehen erhebliche Potenziale der verbesserten Kreislaufführung mineralischer Rohstoffe im Hochbau. In der Praxis wird hiervon jedoch bislang wenig Gebrauch gemacht. Neben regionalen Disparitäten im Anfall und Bedarf an RC-Material ist dies insbesondere auch auf eine mangelnde Wissensbasis und Akzeptanz bezüglich der Verwendung von Rezyklaten für Anwendungen im Hochbau zurückzuführen. Belege hierfür lieferten die im Rahmen des Vorhabens zahlreich geführten Expertengespräche. Ergänzend hierzu kann auf aktuelle Arbeiten im Auftrag des Umweltbundesamtes verwiesen werden, die sich schwerpunktmäßig diesen Fragen widmen (UBA 2008b). Darin wird darauf hingewiesen, dass, obgleich „das Recycling von mineralischen Abfällen heute schon eine große Rolle spielt, [...] noch zahlreiche Maßnahmen notwendig sind, um die Akzeptanz und die Marktstellung der Recyclingprodukte nachhal-

---

<sup>10</sup> Hinweise von Herrn van Reimersdahl (Sächs. Staatsminist. für Finanzen) beim Fachgespräch „Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen“ am 20.01.2010 im Umweltbundesamt in Berlin.

tig zu verbessern“ (UBA 2008b:101). Vorgeschlagen werden Anstrengungen zur Schaffung neuer Absatzmärkte für hochwertige Anwendungen, die Herausstellung des Wertes von Recycling zur Schonung natürlicher Ressourcen entlang der gesamten Akteurskette, Ansätze zur Internalisierung externer Kosten, die Übernahme einer Vorreiter- und Vorbildrolle der öffentlichen Hand, klare Gesetzesvorgaben hinsichtlich der Gewährleistung, sowie Anstrengungen zur Sicherung von Güte und Qualität im gesamten Stoffkreislauf. Als ebenso erforderlich befunden wird eine Stärkung des Know-Hows und der Kompetenz auf der Einsatzseite durch gut kommunizierte, anwendungsorientierte Ausbildung und Forschung. Dies wird untermauert von Rechercheergebnissen die im Rahmen der vorliegenden Studie gemacht wurden, wonach die Thematik des Einsatzes rezyklierter Gesteinskörnungen als Betonzuschlagsstoff bisher kein durchgängiger Bestandteil der baukonstruktiven Lehre ist und die Vermittlung gangbarer Wege hochwertigen Recyclings damit nicht ausreichend erfolgt.

Die Verbreiterung der Wissensbasis auf unmittelbarer Akteursebene und die Steigerung der Akzeptanz ist damit eine der zentralen Herausforderungen im Rahmen einer Strategie zur Förderung des hochwertigen Recyclings.

In diesem Zusammenhang ist ein besonderes Augenmerk auf die Untermauerung des Begründungszusammenhangs zu legen. So gilt es nachvollziehbar darzustellen, dass durch die Verwendung von RC-Material im Hochbau diese Materialien anderen Einsatzfeldern, wie beispielsweise dem Straßenbau oder der Grubenverfüllung nicht zugleich entzogen werden und dort wiederum durch Naturmaterial kompensiert werden müssen. Auch Sachverhalten von adversen Effekten, bspw. aufgrund erhöhter Erfordernisse an Zement bei der Nutzung von Sekundärgesteinskörnungen im Betonbau muss dabei weitere Beachtung geschenkt werden.

Eine erweiterte Quantifizierung entlang des bereits eingeforderten Ansatzes unter Einbeziehung weiterer Quellen und Senken bietet hier einen wichtigen Einstiegspunkt. Sie muss neben dem Bereich des Hochbaus insbesondere auch die Verwertungsoptionen des Tiefbaus mit einbeziehen. Steigende Abgangsmengen im Hochbau und rückläufige Investitionstätigkeiten im Tiefbau könnten hier zu Mengenverhältnissen führen, die die Stellung des hochwertigen Recyclings deutlich stärken. Auch gilt es in diesem Zusammenhang kritisch zu hinterfragen, inwieweit die im Tiefbau eingesetzten RC-Materialien in der vorgenommenen Weise konstruktiv zu rechtfertigen sind. Möglicherweise lenkt der Tief- bzw. Straßenbau mit seinen hohen Verwertungsmengen von den Grundfragen ab, die auf eine ressourcenschonende Errichtung und Erneuerung von technischen Infrastrukturen orientieren. Ähnliches gilt für den Bereich der Rekultivierung von Abbauflächen, worauf bereits in (UBA 2008b) hingewiesen wird.

Ein erweiterter und um die genannten Aspekte angereicherter Bilanzierungsansatz wird die Durchlässigkeit von RC-GK zwischen Hochbau und Tiefbau stärker in den Vordergrund stellen müssen. Recycling sollte gesamtwirtschaftlich und über alle möglichen Anwendungsfälle hinweg betrachtet werden, bevor die Rohstoffsubstitution entlang von Absatzlinien optimiert wird.

Die Frage nach der ökologischen Bedeutung des hochwertigen Recyclings ist allerdings vielschichtig zu erörtern. Die vorliegenden Argumente hinsichtlich der Umweltwirkungen aus

einem potenziell erhöhten Zementbedarf, der nach derzeitigem Praxisstand nicht auszuschließen ist, wiegen schwer. Einfache Schätzungen einer verminderten Flächenneuanspruchnahme aus Tagebauaktivitäten zur Bereitstellung von Primärmaterial tragen nur bedingt dazu bei, diese zu entkräften. Eine umfassende Bilanzierung der Umweltwirkungen im Sinne einer Ökobilanz könnte helfen, diese Diskussion zu versachlichen und bestehende Missstände besser zu adressieren. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf die Verwendung geeigneter Indikatoren zu richten, entlang derer die unterschiedlichen Wirkungskategorien dargestellt werden. Die besondere Bedeutung und Herausforderung liegt dann in der Interpretation der zu erwartenden Ergebnisse. Keinesfalls darf aus einem Umweltwirkungsprofil, das keine eindeutige Empfehlung für hochwertiges Recycling zulässt, vorschnell der Schluss gezogen werden, die Anstrengungen in dieser Richtung zu verringern. Es ist zu bedenken, dass es sich bei den das hochwertige Recycling begünstigenden technologischen Entwicklungen noch um vergleichsweise „junge“ Technologien handelt, die sich in einem frühen Entwicklungsstadium befinden. Experten sehen hier noch erhebliche Entwicklungschancen bei der Rezyklatgewinnung sowie der Baustoffherstellung mit Sekundärmaterial. Bilanzielle Nachteile gegenüber bereits etablierten und entsprechend optimierten Ansätzen, die für Technologien in frühen Entwicklungsstadien typisch sind (s. auch Entwicklungsgeschichte der Solartechnologie) dürfen nicht zwangsweise zum vorschnellen Abbruch der laufenden Entwicklungen führen. Vielmehr zeigt sich, dass Lernkurveneffekte bei der Etablierung von Technologien erheblich zur Senkung der ökobilanziellen Wirkungspotenziale beitragen.

Ergebnisse einer ökobilanziellen Betrachtung können wertvolle Hinweise geben, in welche Richtung Anstrengungen der technologischen Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnik sowie der Technologie der Baustoffherstellung gelenkt werden müssten, um möglicherweise bestehende ökobilanzielle Nachteile der Bauabfallverwertung im Hochbaubereich gegenüber konventionellen Primärbaustoffanwendungen und weiteren Recyclingoptionen abzubauen.