



Urban Mining Potenzial

# Dämmmaterialien im Gebäudepark der Schweiz

Eine Bestandesaufnahme

## **IMPRESSUM**

### **Auftraggeberin:**

Stadt Zürich,  
Amt für Hochbauten,  
Fachstelle Nachhaltiges Bauen  
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21  
8021 Zürich

### **Bearbeitung:**

Dr. Martin Jakob (Projektleitung), TEP Energy  
Dr. Stefan Rubli, Energie- und Ressourcen-Management GmbH  
Benjamin Sunarjo, TEP Energy

### **Begleitgruppe:**

Philipp Noger, AHB  
Daniel Gerber, UGZ  
Michael Pöll, AHB  
Dr. Hans Simmler, Swisspor  
Niko Heeren, ETHZ Zürich  
Dominic Hofstetter, Flumroc  
Dr. Annick Lalive d'Epinay, AHB

Download als pdf von  
[www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen](http://www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen)

Zürich, Mai 2016

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	4
1 Einleitung .....	5
1.1 Ausgangslage .....	5
1.2 Zielsetzung und Projektumfang .....	6
2 Methodisches Vorgehen .....	7
2.1 Aufarbeitung eines Mengengerüsts der derzeit verbauten und anfallenden Dämmmaterialien .....	7
2.2 Dokumentation der Modellparameter .....	10
2.3 Aufarbeitung der vorhandenen oder möglichen Recycling- und Entsorgungswege und Kapazitäten .....	13
3 Quantifizierung der Dämmmaterialflüsse: Nachfrageseitige Modellierung .....	15
3.1 Dämmmaterialflüsse und -lager 2015 in der Schweiz .....	15
3.2 Validierung .....	16
3.3 Situation der Stadt Zürich (Stadtgebiet) .....	18
4 Recyclingwege am Beispiel des Kantons Zürich .....	20
4.1 Rückbau und Entsorgung von Dämmmaterialien .....	20
4.2 Verwertungspotenziale heute und morgen .....	23
5 Synthese und Ausblick .....	27
6 Literaturverzeichnis .....	28
7 Abkürzungsverzeichnis .....	29

# Zusammenfassung

Im Sinne einer vorausschauenden Energie- und Ressourcenpolitik stellt sich zunehmend die Frage nach einem adäquaten Umgang mit Dämmmaterialien in Gebäuden im Fall eines Rückbaus oder Neubaus von entsprechenden Gebäudeteilen. Gegenwärtig gibt es wenige Untersuchungen zu den derzeit und künftig anfallenden Dämmmaterialien, in welchen Verbundkombinationen diese auftreten, und wie diese künftig zu rezyklieren sind.

In der vorliegenden Vorstudie wird in einer Relevanzanalyse die Ist-Situation der Dämmmaterialien im Schweizer Gebäudepark erfasst. Das Mengengerüst der derzeit anfallenden Dämmmaterialien wird quantifiziert und die vorhandenen Recycling- und Entsorgungswege und –kapazitäten analysiert. Zudem werden mögliche Risiken beim Rückbau sowie bei Recycling- und Entsorgungswegen beurteilt und problematische Stoffflüsse identifiziert.

Im Bestand von Bedeutung sind zum einen die mineralischen Dämmmaterialien Glasfaser (10 Mio. m<sup>3</sup>) und Steinwolle (11 Mio. m<sup>3</sup>) und zum anderen die Mineralöl-basierten Dämmstoffe EPS (12 Mio. m<sup>3</sup>), PUR (2 Mio. m<sup>3</sup>) und XPS (4 Mio. m<sup>3</sup>). Im Bestand sind zudem noch grössere Mengen von Kork enthalten, die in den 1980er als Dämmmaterial eingesetzt wurden. Verbaut werden ebenfalls vorwiegend Glasfaser, Steinwolle, EPS, XPS und PUR. Die Modellergebnisse zeigen gute Übereinstimmung sowohl mit Erhebungen aus der Dämmmaterialindustrie als auch mit anderweitigen Hochrechnungen.

Aufgrund der langen Verweilzeiten im Gebäudebestand fallen heute erst relativ geringe Mengen an Dämmmaterial aus Rückbau und Sanierungen an. Es ist jedoch mittel- bis langfristig mit stark ansteigenden Mengen zu rechnen. Um diese künftig bewältigen zu können, müssen sowohl beim Rückbau der Materialien als auch bei der Entsorgung dieser Abfälle neue Strategien entwickelt werden. Im Vordergrund steht dabei die vermehrte Rückführung in die Produktion.

Bei der Entsorgung werden heute vor allem die Verschnitte aus dem Neubau und Sanierungen in die Produktion zurückgeführt, während Material aus dem Rückbau vorwiegend den KVAs zugeführt wird. Die Mitverbrennung von EPS, XPS und PUR in Müllverbrennungsanlagen bietet geringe Anforderungen an Sauberkeit und Fremdstoffanteil, geringe Transportwege, Rückgewinnung von Energie, sowie Ausschleusung von Hexabromcyclododecan (HBCD) aus dem Materialkreislauf. Der Nachteil ist jedoch, dass die Grundstoffe EPS/XPS zerstört und nicht mehr in den Materialkreislauf zurückgeführt werden können.

Bei dem stofflichen Recycling von Dämmmaterialien aus dem Rückbau braucht es grundsätzlich weitere Anstrengungen seitens der Branche. So versucht man auf europäischer Ebene neue Lösungsansätze im Bereich der Aufbereitung der organischen Dämmmaterialien zu entwickeln. Auch bei den mineralischen Dämmmaterialien sind Produzenten bestrebt, die Verwertungsquote zu erhöhen.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Aufgrund der mittlerweile vergangenen Zeit seit dem Einbau der ersten Dämmmaterialien in Gebäuden und im Sinne einer vorausschauenden Energie- und Ressourcenpolitik stellt sich zunehmend die Frage nach einem adäquaten Umgang mit diesen Materialien im Fall eines Rückbaus oder Neubaufbaus von entsprechenden Gebäudeteilen (z.B. Fassadensystemen) oder ganzen Gebäuden. Konkret sind folgende Fragen von Relevanz:

- Welche Dämmmaterialien fallen derzeit und künftig in welchen Mengen an?
- Mit welchen Formen (namentlich Verbundkombinationen) ist zu rechnen?
- Welche Anteile der anfallenden Materialfrachten können oder könnten künftig recycelt werden und welche Mengen (Volumen, Tonnagen) sind künftig zu entsorgen?
- Welche Entsorgungs- und Recycling-Wege sowie Technologieansätze bestehen für Dämmmaterialien?
- Wie gross sind die Entsorgungs- und Recyclingkapazitäten? Könnten Engpässe drohen?
- Mit welchen Umweltwirkungen ist bei der Wiederverwendung und der Entsorgung zu rechnen?
- Können problematische Stoffflüsse identifiziert und quantifiziert werden?
- Gibt es unterschätzte Risiken?
- Welche Schlussfolgerungen lassen sich nach der Klärung solcher Fragen ziehen, namentlich in Bezug auf Anforderungen an die zu verwendenden Materialien, die Separierbarkeit von Verbundsystemen und die optimalen Dämmstärken?

Für die Klärung dieser Fragen kann teilweise auf bestehende Grundlagen und Methoden zurückgegriffen werden, welche mit neuen Ansätzen und Datenrecherchen zu ergänzen sind. Aufgebaut werden kann insbesondere auf folgenden Grundlagen, welche zum Teil vorliegen und zum Teil zu beschaffen und zu recherchieren sind.

- Auswertungen von Projekten und Studien des Amtes für Hochbauten (AHB) der Stadt Zürich (z.B. Wohnsiedlungen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft, inkl. Grundlagendaten).
- Gebäudeparkmodell von TEP Energy, welches für die Stadt Zürich kürzlich bzgl. Mengengerüst und Energienachfrage aktualisiert (im Rahmen der Energieplanung) und im Rahmen des BFE-Projekts GEPAMOD um verschiedene Aspekte konzeptionell und zum Teil inhaltlich erweitert wurde, darunter bzgl. der Differenzierung nach Gebäudekonstruktionstypen und Schichtaufbauten von Bauteilen.
- Solarkataster der Stadt Zürich: Informationen zu Dachformen (Flach- oder Steildach) und Dachgeometrien.
- Informationen zur Produktion der Dämmstoffe in der Schweiz von Industrie sowie Import- und Exportdaten (Quelle: swiss impex).

Weitere Grundlagen wie z.B. Jakob et al. (2002) mit top-down Daten zum Dämmmarkt und zur Entwicklung der Dämmstärke, Jakob (2008) mit einer Dokumentation der Entwicklung der Wärmedämmvorschriften und standards des SIA sowie internationale Literatur. Weitere Grundlagen wie z.B. Informationen zum Schichtaufbau von Bauteilen und teilweise zur Vorgehensweise bei Gebäudehüllenerneuerung bzgl. Anteile Add-on vs. Ersatz der bestehenden Dämmungen konnten im Rahmen der Vorstudie nicht berücksichtigt werden und sind in der Folge einzubeziehen.

## 1.2 Zielsetzung und Projektumfang

In der gegenwärtigen ersten Projektphase geht es in erster Linie um eine Relevanzanalyse sowie eine Charakterisierung und grobe Quantifizierung der IST-Situation in der Schweiz und in der Stadt Zürich. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für eine zweite Studienphase, in der die Entwicklung der Material- und Stoffflüsse mittels Szenarien modelliert werden sollen.

Bezüglich Projektumfangs gehen wir davon aus, dass sowohl Wohn- als auch Gewerbe- und Dienstleistungsgebäude zu berücksichtigen sind.

Betrachtungssperimeter ist die Schweiz, wobei die produzierten Ergebnisse auf die Stadt Zürich heruntergebrochen werden.

Die Zielsetzung dieser ersten Projektphase wird in folgende konkrete Teilziele gegliedert:

1. Upstream: Aufarbeitung eines Mengengerüsts der derzeit anfallenden Dämmmaterialien (aufgrund des gegebenen Projektrahmens und der vorliegenden datenseitigen Ausgangslage erfolgt dies für die Schweiz).
2. Downstream: Aufarbeitung der vorhandenen Recycling- und Entsorgungswege und -kapazitäten.

Beurteilung der möglichen Risiken beim Rückbau sowie bei Recycling- und Entsorgungswege inkl. erster grober Einschätzung der Relevanz (bezugnehmend auf das Mengengerüst der anfallenden Dämmmaterialien).

## 2 Methodisches Vorgehen

Die Struktur des Vorgehens orientiert sich an den oben aufgeführten Zielsetzungen. Die Aufarbeitung eines Mengengerüsts der derzeit anfallenden Dämmmaterialien für die Schweiz erfolgt zum einen bottom-up mit dem Gebäudeparkmodell (siehe Kap. 2.1 und Abbildung 1) und zum anderen top-down mittels einer Erhebung bei der Dämmstoffindustrie. Die Aufarbeitung der vorhandenen Recycling- und Entsorgungswege und -kapazitäten erfolgt mittels Experteninterviews mit Vertretern der Branchen Dämmstoffherstellung und -verarbeitung, Recycling und Entsorgung.

### 2.1 Aufarbeitung eines Mengengerüsts der derzeit verbauten und anfallenden Dämmmaterialien

Die Aufarbeitung des Mengengerüsts der derzeit verbauten und anfallenden Dämmmaterialien für die Schweiz erfolgt bottom-up seitig mit Hilfe des gesamtschweizerischen Gebäudeparkmodells (GPM) (Stand Ende des BFE-Projekts GEPAMOD). Der Ansatz für die bottom-up Modellierung ist in Abbildung 1 dargestellt.

Das Mengengerüst, anzugeben als Volumen ( $m^3$ ) und als Masse (t), wird für folgende Komponenten erstellt:

- Lager (d.h. derzeitig verbaute Dämmmaterialmengen)
- Derzeitiger Einbau von Dämmmaterialien (Neubau und Gebäudeerneuerung), differenziert nach den verschiedenen Dämmmaterialien
- Derzeitiger Rückfluss (aus Gebäudeabbruch und -erneuerung) auf Basis der geschätzten Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten.

Das Mengengerüst für den IST-Zustand (2014 oder 2015) wird in erster Instanz durch die folgenden, z.T. modellinternen Einflussgrössen bestimmt:

- Gebäudebestand, differenziert nach Bauteil (Wand, Dach, Sockel, Kellerdecke etc.), Bauperioden, Gebäudetyp, Konstruktionstyp
- Erneuerungs- und Abbruchraten pro Gebäude- und Konstruktionstyp und pro Bauteil
- Neubauratenraten, differenziert nach Gebäude- und Konstruktionstyp und pro Bauteil.

In zweiter Instanz sind die Gebäude- und Konstruktionstypen mit verschiedenen Attributen beschrieben, namentlich bezüglich:

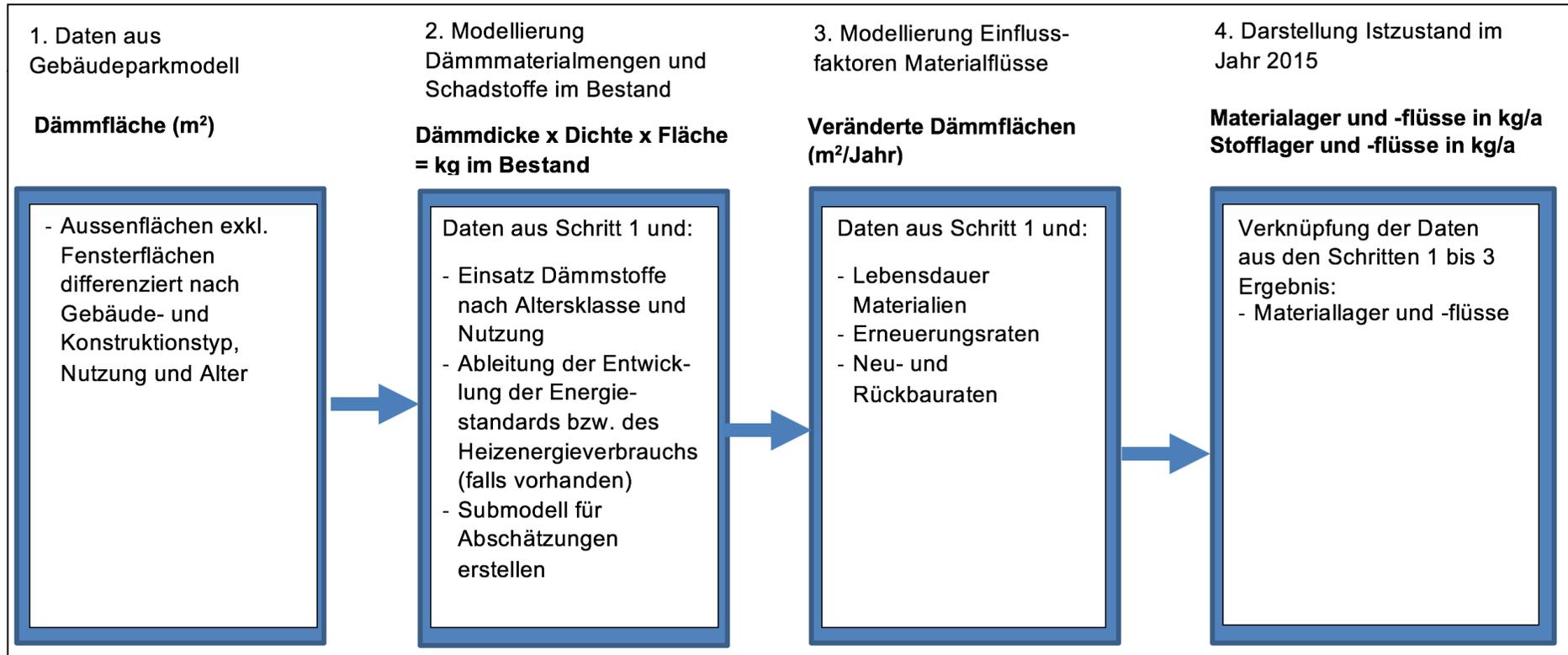
- Geometrie
- Konstruktionsweise (Massivbau, Skelettbau etc.)
- Gebäudehüllenelemente Wand, Fenster, Dach, Boden etc., abhängig vom Gebäudetyp
- Schichtaufbau der Gebäudehüllenelemente bzgl. Konstruktion und Materialisierung (massives Mauerwerk mit Wärmedämmverbundfassade, Vorhangfassade mit verschiedenen Dämm- und Bekleidungsmaterialien etc.), Dämmmaterialkategorie (EPS, XPS, PUR, Steinwolle, Glaswolle etc.) sowie bzgl. Dämmstärken.

Wie in Abbildung 1 aufgeführt erfolgt die Quantifizierung des IST-Zustands schrittweise. Basis der Berechnungen ist das Gebäudeparkmodell, welches für die Schweiz und für die Stadt Zürich grundsätzlich für alle Gebäudetypen vorliegt und im Hinblick auf den vorliegenden Anwendungsfall punktuell zu ergänzen und weitergehend zu differenzieren ist.

In einem letzten Schritt werden die Modellergebnisse validiert. Zu diesem Zweck werden sie mit Daten zum Dämmmarkt verglichen, welche top down erhoben werden. Die bottom-up mit dem

GPM berechneten Dämmmaterialmengen werden mit den top down erhobenen verglichen und bilden die Basis für Anpassungs- und Kalibrierungsbedarfs im Rahmen der Phase 2 des Projekts.

Als Grundlage für die Berechnungen dient das Gebäudeparkmodell gemäss Stand Ende des GEPAMOD Projektes (Jakob et al. 2015). Hier wurden im Auftrag des Bundesamtes für Energie die Betriebsenergie sowie die graue Energie der Erstellung für den Gebäudepark der Schweiz berechnet. Die Ergebnisse dienen als Grundlagen für die Überarbeitung des Merkblattes SIA 2040 (Effizienzpfad), indirekt aber auch für Portfolio-Betrachtungen, Ex-post-Analysen- und Energieperspektivenmodelle. Das Modellverfahren beruht auf einem innovativen Repräsentantenansatz und modelliert den ganzen Erneuerungszyklus eines Gebäudes inkl. Entscheidungen zu Energieeffizienzmassnahmen. Als Datenquelle dienen das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) sowie das Betriebs- und Unternehmensregister (BUR). Im Kapitel 2.2 werden die relevanten Modellparameter beschrieben. Für detailliertere Informationen verweisen wir auf den Schlussbericht des GEPAMOD Projektes (Jakob et al. 2015)



## 2.2 Dokumentation der Modellparameter

Wie in Kapitel 2.1 und Abbildung 1 beschrieben, werden die Dämmmaterialflüsse mit einem bottom-up Ansatz anhand des Gebäudeparkmodells der Schweiz berechnet. Nachfolgend werden die Modellgrössen beschrieben, die das Endresultat beeinflussen.

### 2.2.1 Flächenbestand

Der Gebäudebestand der Schweiz umfasst eine EBF von ca. 778 Mio. m<sup>2</sup>. Aufgrund der Gebäudegeometrien und -alter ergibt sich für die Fläche der einzelnen Bauteile die in Tabelle 1 abgebildete Situation.

Tabelle 1: Fläche der einzelnen Bauteile (Mio. m<sup>2</sup>) im Gebäudebestand der Schweiz (BP = Bauperiode).

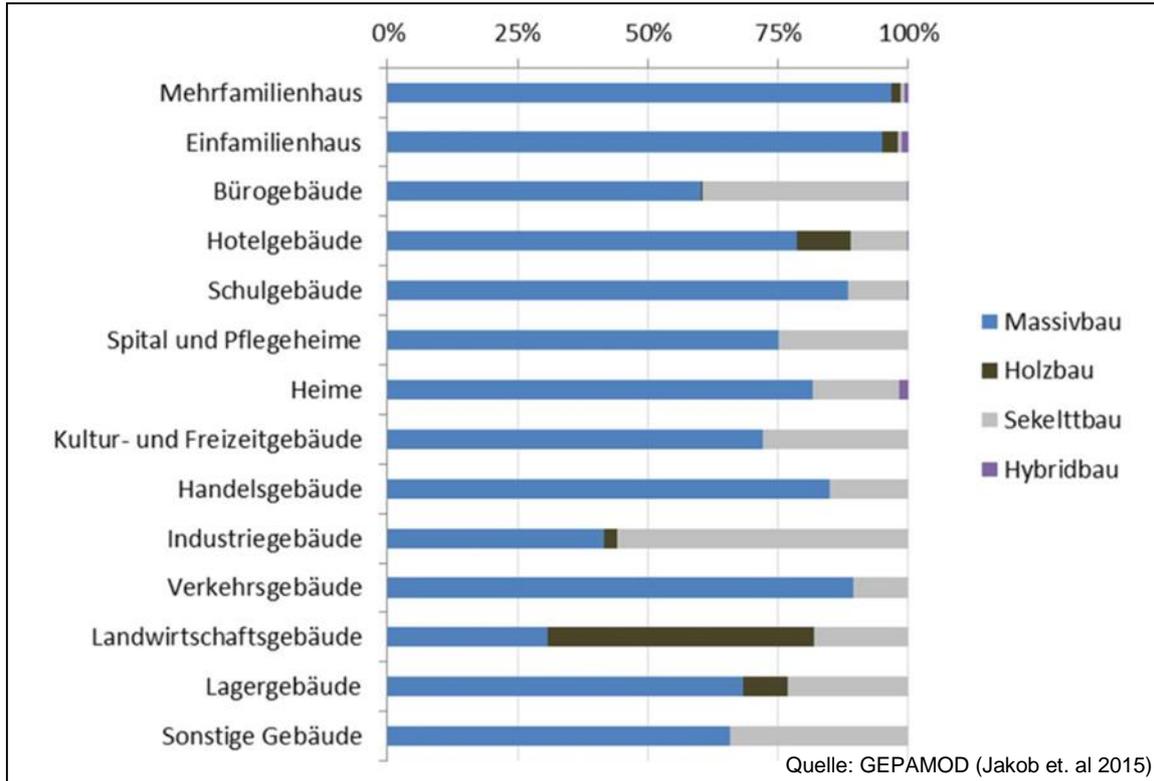
	<b>BP1</b> <b>vor 1920</b>	<b>BP2</b> <b>1920-1946</b>	<b>BP3</b> <b>1947- 1975</b>	<b>BP4</b> <b>1976-1990</b>	<b>BP5</b> <b>1991- 2009</b>	<b>BP6</b> <b>2010- 2015</b>	<b>Total</b>
<b>Wand OG</b>	68	59	113	43	65	31	<b>379</b>
<b>Dach</b>	30	22	54	22	33	16	<b>177</b>
<b>Fenster</b>	28	25	50	21	32	16	<b>173</b>
<b>Boden und Keller</b>	68	53	104	38	53	24	<b>340</b>
<b>Total</b>	<b>194</b>	<b>159</b>	<b>321</b>	<b>124</b>	<b>183</b>	<b>87</b>	<b>1'068</b>

### 2.2.2 Konstruktionstypen

Die Gebäude im Bestand werden jeweils einem Konstruktionstypen zugeordnet. Hierbei handelt es sich um typische Konstruktionsweisen anhand der gängigen Baupraxis, die in grossen Teilen identische Zusammensetzung der Marktanteile an Bauteilen resp. Konstruktionen aufweisen, unabhängig des jeweiligen Gebäudetyps. Für die unterschiedlichen Konstruktionstypen kommen unterschiedliche Dämmlösungen zum Ansatz, welche hier differenziert werden. Die Anteile der vier Konstruktionstypen Massivbau, Holzbau, Skelettbau und Hybridbau werden in Abbildung 2 dargestellt.

Der Konstruktionstyp Massivbau bezieht sich auf alle Gebäude, die in ihrer statischen Funktion überwiegend aus Mauerwerk und Beton aufgebaut sind. Dazu gehören ebenfalls ältere Gebäude mit einem Mauerwerk aus beispielsweise Back- oder Kalksandstein und Deckenkonstruktionen aus Holz. Bei den Holzbauten hingegen bestehen sämtliche Hauptbauteile aus Holz, inkl. Aussenwand und tragende Innenwand. Bei der Skelettbauweise erfolgt die vertikale Lastabtragung überwiegend über einzelne, systematisch angeordnete Stützen. Bei der Hybridbauweise wird schliesslich von einer Mischkonstruktion aus Massivbau und Holzbau ausgegangen.

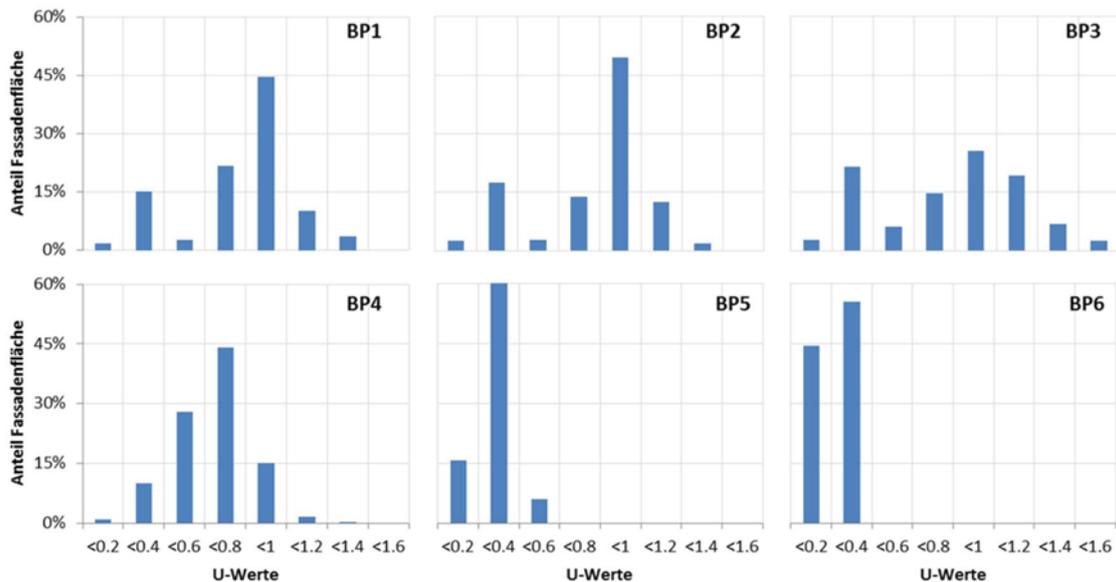
Abbildung 2: Anteil der Konstruktionstypen unter den verschiedenen Gebäudetypen.



### 2.2.3 U-Wertverteilung/Dämmstärke

Die Dämmstärke wird im GPM anhand der U-Wertverteilung bestimmt. In Abbildung 3 sieht man, wie sich die U-Werte für neuere Bauperioden zunehmend verkleinern, was mit einem entsprechend erhöhten Dämmmaterialbedarf einhergeht. Bei den Bauperioden 1 bis 3 (Gebäuden gebaut vor 1975) sieht man ausserdem einen zusätzlichen Peak bei den sanierten Gebäuden.

Abbildung 3: U-Wertverteilung der verschiedenen Bauperioden beim Bauteil ‚Fassade‘.



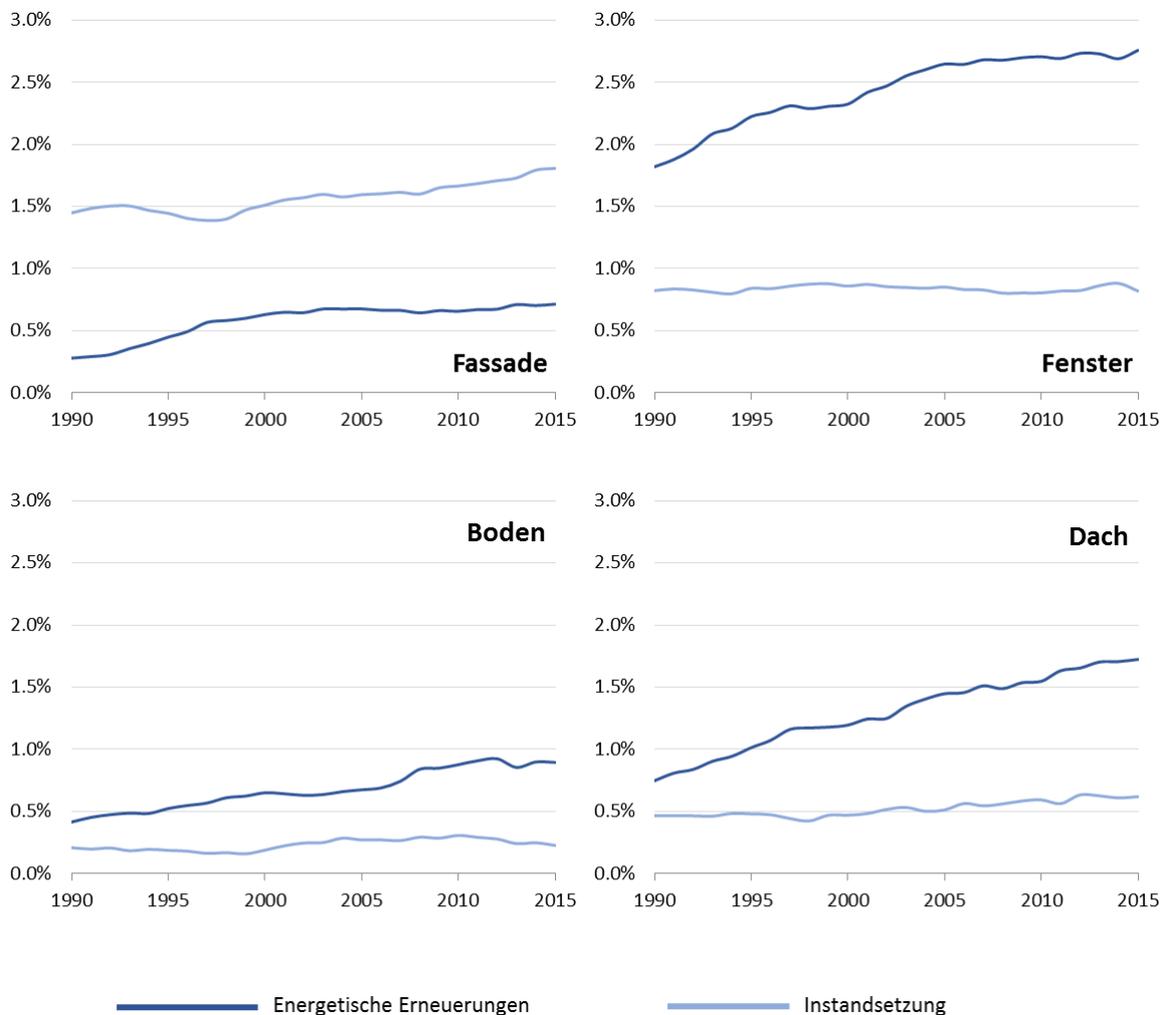
## 2.2.4 Erneuerungsraten

Die Erneuerungstätigkeit wird für jedes Bauteil einzeln modelliert: Ausgehend vom Baujahr des Gebäudes wird eine Ausfallwahrscheinlichkeit angewendet, um für das Bauteil den Erneuerungsrhythmus festzulegen. Die daraus resultierenden Erneuerungsraten sind in **Fehler!**

**Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Diese Werte orientieren sich an eine im Auftrag des BFE durchgeführte Umfrage (Jakob et al. 2014). Die Fensterfläche sind für die gegenwärtige Dämmmaterialbetrachtung nicht relevant, werden der Vollständigkeit hier trotzdem aufgeführt.

Bei den Erneuerungsraten wird grundsätzlich zwischen Instandsetzungen und energetischen Erneuerungen unterschieden. Bei einer Instandsetzung wird die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit eines Bauteils mit minimalem Aufwand hergestellt. Dies umfasst z.B. ein neuer Anstrich bei einer Aussenwand oder neue Dichtungen im Dachbereich. Energetische Erneuerungen, hingegen, beinhalten immer eine Verbesserung der Energieeffizienz, wie z.B. bei einem Ersatz der Verglasung oder der Fassadenwärmeeisung. Nur letztere Erneuerungskategorie ist bezüglich der Dämmmaterialien relevant.

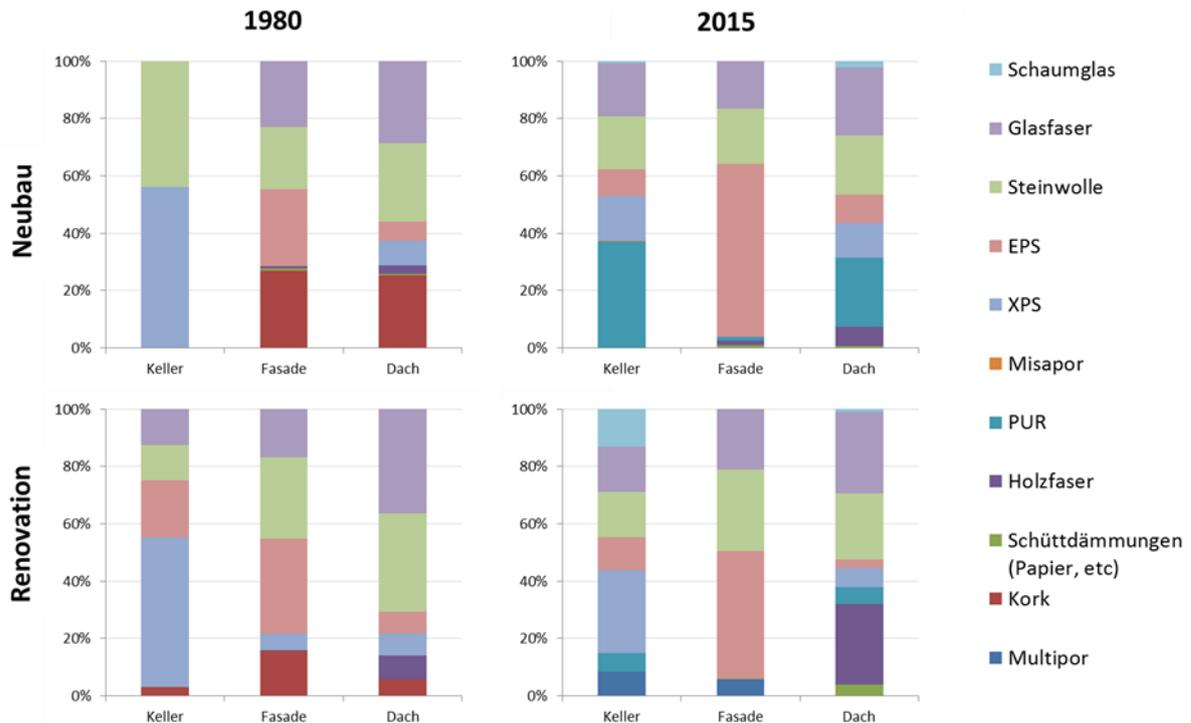
Abbildung 4: Resultierende Erneuerungsraten der verschiedenen Bauteilen.



## 2.2.5 Dämmmaterialzusammensetzung

In der gegenwärtigen Studie werden die mineralische Dämmmaterialien Glasfaser, Steinwolle und Multipor sowie EPS, XPS, PUR, Misapor (als typisches Innenwanddämmmaterial), Holz-faser, Kork und Schüttdämmungen (Papier, etc.) untersucht. Pro Bauperiode und Konstruktionsstyp wird eine Zusammensetzung der verschiedenen Dämmmaterialien angenommen. Diese ergibt sich aus Erfahrungswerten aus der Bauindustrie und ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei wird bei den Anteilen differenziert zwischen Neubau und Sanierung.

Abbildung 5: Annahmen zu den Flächenanteilen der Dämmmaterialfraktionen für Neubau und Renovation, zum Zeitpunkt 1980 sowie 2015.



## 2.3 Aufarbeitung der vorhandenen oder möglichen Recycling- und Entsorgungswege und –kapazitäten

Für die Aufarbeitung der vorhandenen und/oder möglichen Recycling- und Entsorgungswege sowie der entsprechenden Kapazitäten in der Schweiz wurden Interviews mit Vertretern der Branchen Dämmstoffherstellung und –Verarbeitung, Recycling und Entsorgung durchgeführt. Der Fragekatalog umfasst die folgenden Aspekte:

- Welche Mengen wurden/werden aus dem Neubau (Schnittreste) zurück-genommen?
- Welche Mengen wurden/werden aus Sanierung und Rückbau zurückgenommen?
- Wie funktionieren die heutigen Rücknahmesysteme?
- Ist diesbezüglich ein Ausbau vorgesehen?
- Welche Anforderungen werden an die Rücknahme der Materialien gestellt.
- Welche Aufbereitungstechnologien werden verwendet und welche Anteile an RC-Materialien können in die Produktion maximal eingebracht werden?
- Welche Faktoren haben Einfluss auf die Verwertbarkeit der RC-Materialien?

- Wie hoch ist der technische und energetische Aufwand für die Aufbereitung der alten Dämmmaterialien.

Vorschlag für Fragen an KVA- und Deponiebetreiber und/oder -verbände:

- Gibt es bereits Probleme bei der Annahme bzw. bei der Verbrennung von Dämmstoffen? Wenn ja, welche? Wenn nein, bei welchen Mengen (Volumina, Tonnagen) wären solche zu erwarten?
- Bestehen Vorgaben betreffend der Annahme von Dämmstoffen?
- Wie werden die Dämmstoffe angeliefert? Separat oder mit anderen brennbaren Materialien?
- Stellen Sie eine Zunahme bei den Anlieferungen fest?
- Welche Probleme sehen Sie im Zusammenhang mit der Verbrennung der verschiedenen Dämmmaterialien?

Die Antworten auf die oben stehenden Fragen werden grundsätzlich in qualitativer Form ausgewertet. Konkret werden die derzeitigen Produktions-, Verbauungs-, Recycling- und Entsorgungswege aufgezeigt und erste Möglichkeiten für alternative Ansätzen andiskutiert.

Falls möglich bzw. falls Daten zur Verfügung gestellt werden können, werden die Mengenangaben auch zur Validierung (Phase 1) und zur Kalibrierung (Phase 2) des Modells verwendet.

Zudem bilden die aus den Interviews gewonnen Informationen/Daten wichtige Grundlagen für die Weiterentwicklung des Modells und für die Definition der Fragestellungen für die Phase 2.

### 3 Quantifizierung der Dämmmaterialflüsse: Nachfrageseitige Modellierung

#### 3.1 Dämmmaterialflüsse und -lager 2015 in der Schweiz

Die resultierende Dämmmaterialmengen und –flüsse sind in Tabelle 2 (Kubikmeter) und Tabelle 3 (Tonnen) dargestellt. Von Bedeutung sind insbesondere die mineralischen Dämmmaterialien Glasfaser und Steinwolle, sowie EPS, PUR und XPS. Im Bestand sind ebenfalls noch grössere Mengen von Kork enthalten, die in den 1980er als Dämmmaterial eingesetzt wurden. Die anfallenden Dämmmaterialmengen durch Rückbau sind im Vergleich zu den gegenwärtig verbauten gering, dies aufgrund der langen Verweilzeiten im Gebäudebestand.

Tabelle 2: Input (Neubau und Sanierungen), Lager und Output (Rückbau) an Dämmmaterialien im Jahr 2015 in Mio. m<sup>3</sup>.

Nach Dämmstoff, Mio. m <sup>3</sup>	Input Mio. m <sup>3</sup> / J	Lager Mio. m <sup>3</sup>	Output Mio. m <sup>3</sup> / J
Schaumglas	0.06	0.3	0.00
Glasfaser	0.83	10.2	0.04
Steinwolle	0.86	11.3	0.04
EPS	1.36	12.1	0.03
XPS	0.31	4.2	0.02
Misapor	0.00	0.0	0.00
PUR	0.51	2.4	0.01
Holzfaser	0.18	1.7	0.00
Schüttdämmungen (z.B. Papier)	0.03	0.3	0.00
Kork	0.00	5.4	0.02
Mineralische Dämmung (z.B. Multipor)	0.05	0.5	0.00
<b>Total</b>	<b>4.20</b>	<b>48.3</b>	<b>0.16</b>

Tabelle 3: Input (Neubau und Sanierungen), Lager und Output (Rückbau) an Dämmmaterialien im Jahr 2015 in Tonnen, inkl. Annahmen zur Rohdichte der Materialien.

Nach Dämmstoff, Tonnen	Input t / J	Lager t	Output t / J	Rohdichte kg / m <sup>3</sup>
Schaumglas	8'400	42'000	200	135
Glasfaser	41'700	508'000	1'900	50
Steinwolle	77'600	1'015'000	3'700	90
EPS	27'200	241'000	600	20
XPS	10'800	148'000	500	35
Misapor	500	7'000	0	225
PUR	18'000	85'000	300	35
Holzfaser	35'400	341'000	1'000	200
Schüttdämmungen (Papier, etc)	1'800	16'000	100	60
Kork	0	806'000	2'600	150
Mineralische Dämmung (z.B Multopor)	5'500	53'000	100	110
<b>Total</b>	<b>226'900</b>	<b>3'262'000</b>	<b>11'000</b>	

### 3.2 Validierung

Zur Validierung der Modellergebnisse wurden diese mit Zahlen aus der Dämmmaterialindustrie sowie mit weiteren Hochrechnungen verglichen. Die in Abbildung 6 dargestellten Modellergebnisse zeigen gute Übereinstimmung sowohl mit der Ceresana Studie zum europäischen Dämmstoffmarkt (Ceresana 2014) wie auch mit Hochrechnungen der Angaben der Schweizer Dämmmaterialindustrie. Insbesondere bei der Steinwolle bilden die Modellergebnisse die Situation der Schweiz besser ab als die Ceresana Studie zum europäischen Dämmstoffmarkt. In Abbildung 7 werden weitere Vergleich auf Ebene Baumasse in Tonnen vorgenommen (die hinterlegten Annahmen zur Rohdichte sind in Tabelle 3 zu finden). Auch hier sind die Modellergebnisse vergleichbar mit den Hochrechnungen von Wüest & Partner (Guerra und Kast 2014) und Treeze (Kasser et al. 2015). Für die Dämmmaterialien Glasfaser und PUR liegt das GPM etwas über den anderen Studien, für XPS hingegen etwas darunter.

Abbildung 7: Vergleich der Modellergebnisse in Tonnen mit Hochrechnungen von Treeze und Wüest & Partner.

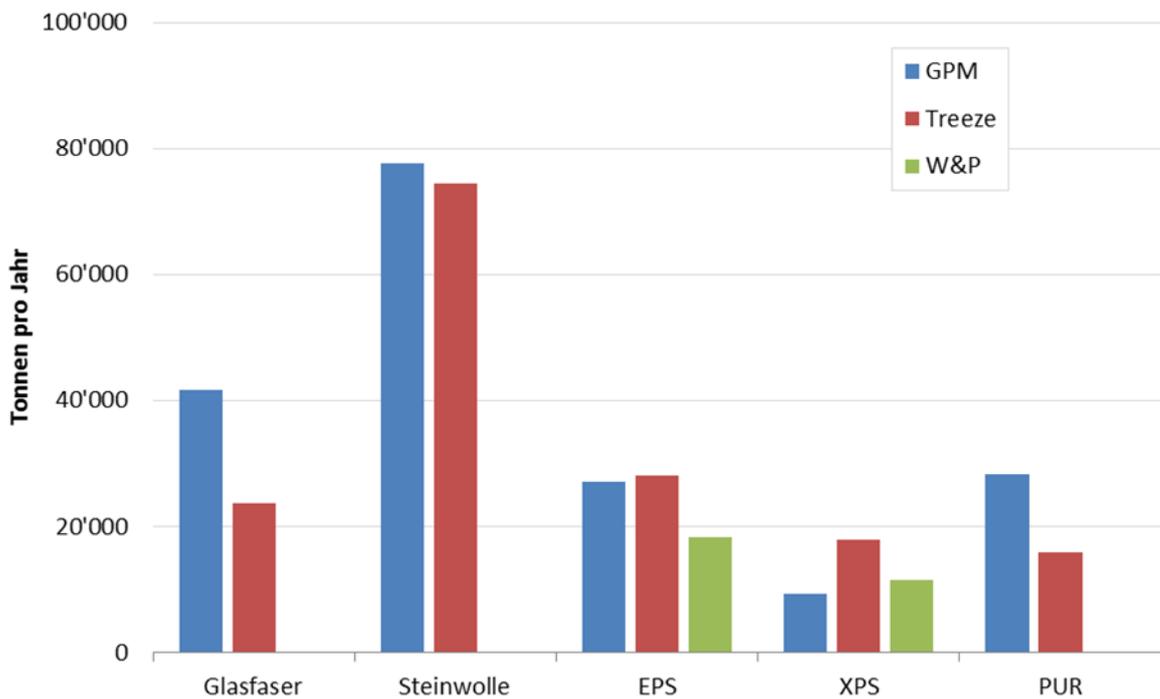
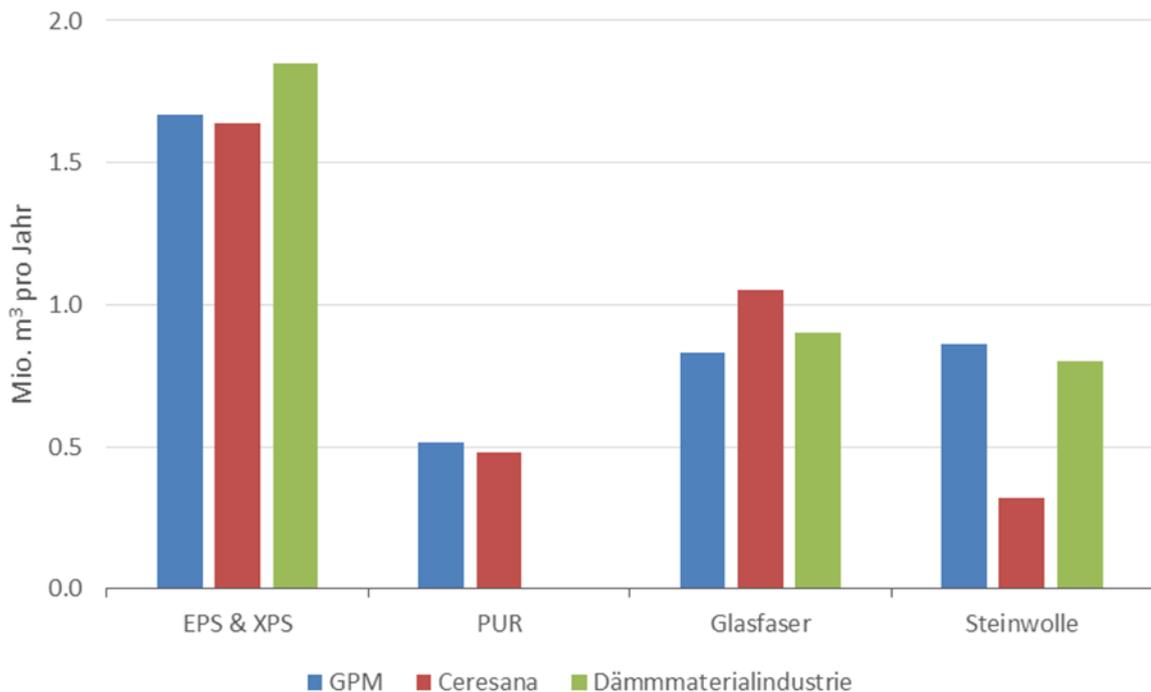
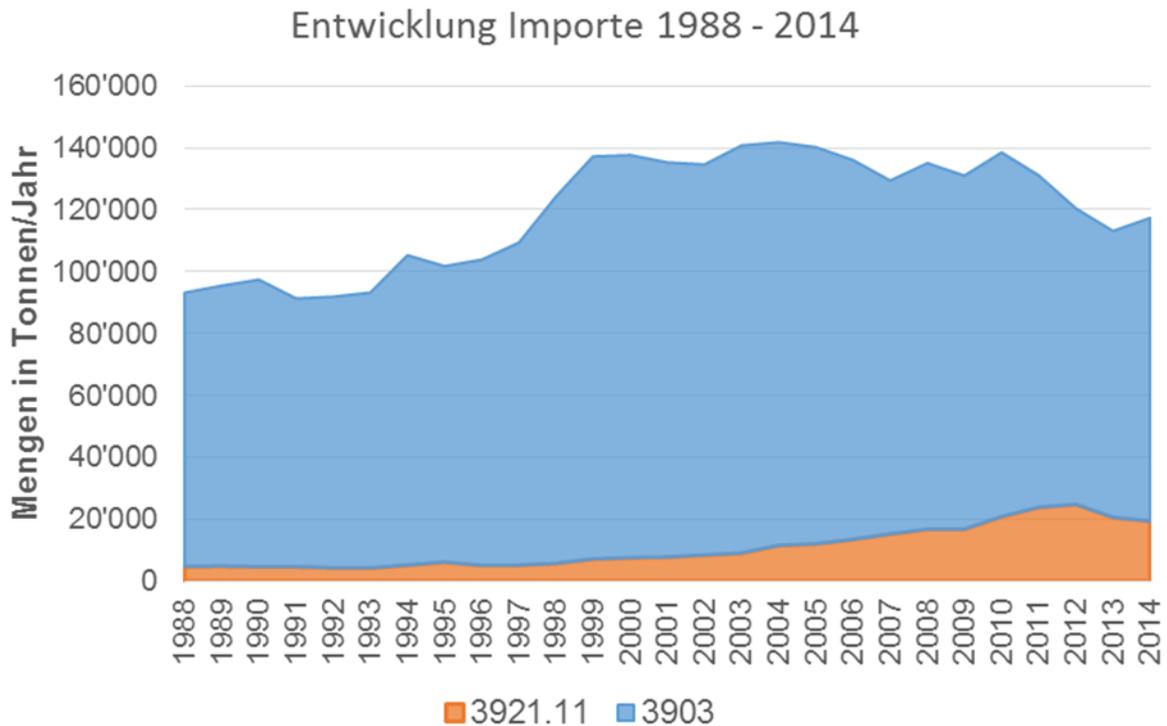


Abbildung 6: Vergleich der Modellergebnisse in Mio. m<sup>3</sup> mit Hochrechnungen von Ceresana und der Dämmmaterialindustrie CH (persönliche Kommunikation).



Für die beiden Werkstoffe EPS und XPS bilden die Importe der Rohstoffe die Obergrenze für den möglichen Verbau der Dämmmaterialien, welche in der Swiss-Impex-Datenbank festgehalten werden (Abbildung 8). Allerdings ist hier nicht bekannt, wie viel davon tatsächlich als Dämmmaterial in den Gebäudebestand gelangt und wie viel anderweitig verwendet wird.

Abbildung 8: Importe Styrol gemäss Swiss-Impex-Datenbank. 3903 = Polymere des Styrols in Primärformen, 3921.11 = Bereits verarbeitete Formen des Styrols in Tafeln, Platten, Folien, etc.



### 3.3 Situation der Stadt Zürich (Stadtgebiet)

Die in Kapitel 3.1 beschriebenen Resultate wurden auf die Stadt Zürich heruntergebrochen und sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt. Energiebezugsfläche sowie Bevölkerung der Stadt Zürich umfassen ca. 5% derjenigen der Schweiz als Ganzes. Allerdings wird in der Stadt eine kompaktere Bauweise angewendet als im Schweizer Durchschnitt, mit generell höheren und grösseren Gebäuden. Zudem ist der Gebäudebestand der Stadt etwas älter als im Schweizer Durchschnitt. Insbesondere die Bauperioden 1 (vor 1920) und 2 (1920 bis 1946), bei denen noch keine Dämmstoffe eingesetzt wurden, sind übervertreten. Dies führt dazu, dass der Anteil an Dämmmaterialien im Lager der Stadt Zürich etwas unter 5% liegt. Bei dem verbauten Material, hingegen, ist der Anteil teilweise etwas über 5%, da in Zürich aufgrund des Gebäudealters mehr saniert wird.

Tabelle 4: Input (Neubau und Sanierungen), Lager und Output (Rückbau) an Dämmmaterialien im Jahr 2015 in Tausend m<sup>3</sup>.

Nach Dämmstoff	Input Tsd. m <sup>3</sup> / J	Lager Tsd. m <sup>3</sup>	Output Tsd. m <sup>3</sup> / J
Schaumglas	3	10	0.0
Glasfaser	32	250	1.1
Steinwolle	38	370	1.4
EPS	64	430	1.2
XPS	17	200	0.7
Misapor	0	0	0.0
PUR	36	70	0.3
Holzfaser	4	30	0.1
Schüttdämmungen	1	10	0.0
Kork	0	290	1.0
Mineralische Innendämmung	1	20	0.0
<b>Total</b>	<b>196</b>	<b>1680</b>	<b>5.8</b>

Tabelle 5: Input (Neubau und Sanierungen), Lager und Output (Rückbau) an Dämmmaterialien im Jahr 2015 in Tonnen.

Nach Dämmstoff, Tonnen	Input t / J	Lager t	Output t / J
Schaumglas	400	1'200	0
Glasfaser	1'600	12'600	50
Steinwolle	3'400	33'200	130
EPS	1'300	8'600	20
XPS	600	7'000	30
Misapor	0	100	0
PUR	1'200	2'500	10
Holzfaser	800	6'500	20
Schüttdämmungen	100	400	0
Kork	0	43'300	150
Mineralische Innendämmung	200	2'200	0
<b>Total</b>	<b>9600</b>	<b>117600</b>	<b>410</b>

# 4 Recyclingwege am Beispiel des Kantons Zürich

## 4.1 Rückbau und Entsorgung von Dämmmaterialien

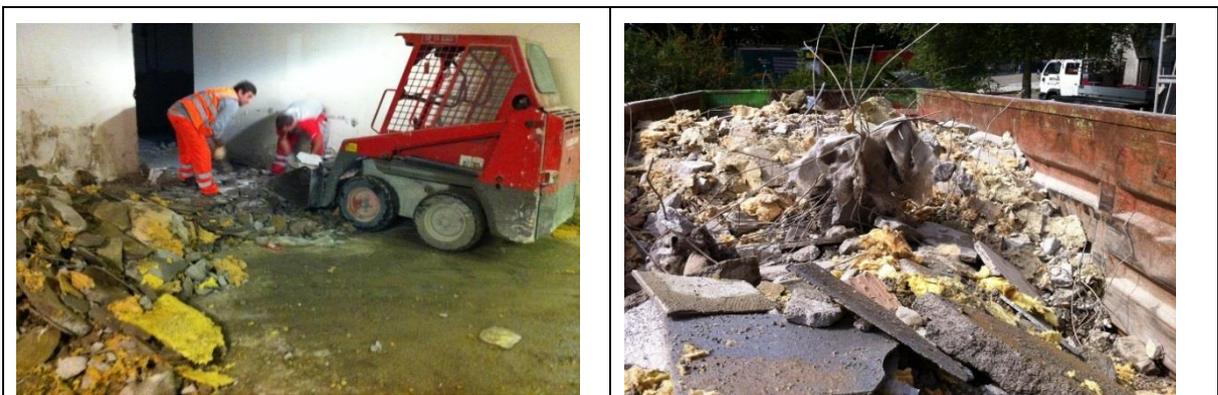
Aufgrund der langen Verweilzeiten im Gebäudebestand fallen heute erst relativ geringe Mengen beziehungsweise Volumen an Dämmmaterial aus dem Rückbau und Sanierungen an. Dies dürfte sich jedoch mittel- bis langfristig ändern. Es ist mit stark ansteigenden Mengen zu rechnen. Es stellt sich die Frage, ob dieses - um künftig bewältigt werden zu können, sowohl beim Rückbau der Materialien als auch bei der Entsorgung dieser Abfälle neue Strategien erforderlich macht. Im Vordergrund steht dabei die vermehrte Rückführung in die Produktion.

In den nachfolgenden Kapiteln wird zunächst auf die heutige Situation beim Rückbau und bei der Entsorgung von Dämmmaterialabfällen eingegangen. In einem weiteren Kapitel werden die Verwertungspotenziale, beziehungsweise die Chancen und Risiken von verschiedenen Verwertungsoptionen thematisiert.

### 4.1.1 Rückbau von Dämmmaterialien

Grundsätzlich ist der Rückbau oder Ausbau der Dämmmaterialien davon abhängig, wie das Material früher eingebaut wurde. Wurde das Material im Verbund mit anderen Materialien eingebaut, so ist ein getrennter Ausbau nach Schichten oftmals nicht mehr möglich. Insbesondere bei Dämmungen in Estrichböden oder in Flachdächern, wurden die Dämmstoffe häufig mittels bituminöser Baustoffe mit dem Untergrund verklebt, was einen getrennten Ausbau der Dämmstoffe nahezu verunmöglicht.

Abbildung 9: Rückbau von Estrichböden mit Dämmstoffen. Der Verbund verunmöglicht einen selektiven Ausbau der Mineralfaserplatten. Das Materialgemisch muss deshalb in einer Inertstoffdeponie entsorgt werden.



Im Bereich den Aussenwanddämmungen, dem mengen- und volumenmässig grössten Einsatzgebiet für Dämmmaterialien, ist die Situation vielversprechender. Hier ist ein selektiver Rückbau sowohl von EPS/XPS als auch von Mineralwollen durchaus möglich und sinnvoll.

#### **Rückbau EPS und XPS**

EPS und XPS wurden und werden grösstenteils in kompakter Bauweise, d.h. als Wärmedämmverbundsystem (WDVS) direkt auf die Fassade geklebt/gedübelt, verputzt (armiert mit Netzen) und gestrichen. Dies ermöglicht grundsätzlich einen schichtweisen Rückbau. Dieser kann unterschiedlich aufwändig sein:

So ist ein **händisches Abschälen** der Decklage, welche aus dem Verbund von Armierungsgewebe und –mörtel sowie des Verputzes und Farbanstrichs besteht, vom Hartschaum möglich. Die Effizienz des Abschälens ist gemäss Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP-Bericht 2014) vom Schälwinkel und der Schälgeschwindigkeit abhängig.

Möglich wäre grundsätzlich auch ein selektives Abschälen der Decklage und anschliessend der EPS/XPS-Platten mit Grossgeräten wie Schaufelbaggern. Allerdings ist dies recht umständlich und führt zur vermehrten Bildung von kleinen EPS-Partikeln, welche vom Wind verfrachtet werden können. Aus diesem Grund wird in der Praxis meistens der **gesamte Verbund mit einer Baggerschaufel aufgetrennt** (Abbildung 10). Eine nachfolgende maschinelle Abtrennung der Decklage von den EPS/XPS-Platten ist mit geeigneter Verfahrenstechnik aufgrund der unterschiedlichen Materialdichten relativ einfach auszuführen, wird aber heute in der Praxis noch kaum realisiert.

Abbildung 10: Abtrennung der gesamten Kompaktfassade vom Mauerwerk auf einer Baustelle in der Stadt Zürich.



Weitere mögliche Verfahren sind das **Abfräsen** der Deckenlage mit speziellen Fassadenfräsen und das **thermische Entschichten**. Diese Verfahren kamen erst in Pilotprojekten zum Einsatz und müssen für einen verbreiteten Einsatz noch weiter entwickelt werden (IBP-Bericht 2014).

### ***Rückbau Mineralwollen***

Mineralwollen (Glas- und Steinwolle) kommen vor allem in hinterlüfteten Fassaden zum Einsatz. Ein selektiver Rückbau der Fassaden ist somit relativ einfach realisierbar. Die ausgebauten Mineralwollen weisen nur geringe Fremdstoffanteile auf (Abbildung 11) und eignen sich somit hinsichtlich der materialtechnischen Aspekte zur Verwertung in der Stein- oder Glaswolleproduktion.

Abbildung 11: Separat gesammelte Glaswolleplatten aus dem Rückbau der Wohnsiedlung Rautistrasse.



Zu beachten gilt, dass die Mineralwollen einerseits getrennt nach Glaswolle und Steinwolle gesammelt werden müssen. Andererseits muss die stoffliche Zusammensetzung den Vorgaben zur stofflichen Zusammensetzung für die Neuproduktion der entsprechenden Mineralwollen entsprechen. Allfällige Fremdstoffanteile sind weniger problematisch als in der EPS/XPS-Produktion,

weil bei der Mineralwolleproduktion die anorganischen Fremdstoffe bei den hohen Temperaturen ebenfalls eingeschmolzen werden und ins Produkt eingebunden werden oder in den Abgasstrom gelangen (organisches Material).

#### **4.1.2 Entsorgungs- und Verwertungssituation Dämmmaterialien heute**

Zur Erfassung der Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten wurden verschiedene Entsorgungsbetriebe sowie Betreiber von Bausperrgutsortieranlagen, Deponien und Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) im Kanton Zürich befragt.

##### ***Entsorgung und Verwertung EPS/XPS/PUR***

Bei Neubauten und Sanierung werden die Schnittreste, welche beim Anbringen der Dämmmaterialien anfallen, separiert und in 500-Liter Säcke gepackt. Die Sackgebühr beträgt derzeit 13 Franken zzgl. Mehrwertsteuer. Darin enthalten ist der Rücktransport zu den Lieferanten bzw. zu den Produzenten. Bei grösseren Bauvorhaben ist die Rücknahme der Schnittreste bereits in den Lieferkonditionen mit eingebunden. Aus diesem Grund sind die Unternehmen bestrebt, die Schnittreste auf der Baustelle zu sammeln und „kostenlos“ zu entsorgen.

Werden die Dämmmaterialien zurückgebaut, ist die Sackgebühr von 13 Franken zzgl. MWST viel zu hoch. Die Dämmmaterialien werden deshalb entweder separat in grossen Monomulden (36 m<sup>3</sup>) gesammelt und den KVA zugeführt (Kosten ca. 180 Fr./t). Dort wird das Material direkt in den Bunker geschreddert und mit dem Siedlungsabfall vermischt. Teilweise werden die Monomulden von den Muldendienstleistern in Bausperrgutsortieranlagen transportiert. Dort wird das Material ebenfalls geschreddert, mit den brennbaren Bauabfällen vermischt und anschliessend an die KVA weitergeleitet. Die Vermischung mit den brennbaren Bauabfällen erfolgt aber oft bereits auf den Baustellen. Seitens der KVA-Betreiber bestehen zurzeit keine Beschränkungen bezüglich der Annahme von EPS/XPS- und PUR-Abfällen. Im Gespräch mit einem KVA-Betreiber zeigte sich jedoch, dass es Überlegungen gibt, den Annahmepreis für diese Materialkategorie künftig zu erhöhen, weil ein höherer Arbeitsaufwand (Shreddern) bei der Entsorgung betrieben werden muss.

Die befragten KVA-Betreiber gaben an, dass in den vergangenen Jahren kein Anstieg bei den Anlieferungen von EPS/XPS/PUR in Monomulden zu verzeichnen sei. Etwas anders ist die Wahrnehmung bei den Bausperrgutsortieranlagen (BSSA). Diese stellen einen tendenziellen Anstieg des Dämmmaterialanfalls (EPS/XPS/PUR sowie der Mineralwollen) fest. Die unterschiedlichen Wahrnehmungen zwischen KVA- und BSSA-Betreibern könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Dämmstoffe, welche in die KVA gelangen, bereits vor der Anlieferung unter die brennbaren Bauabfälle gemischt wurden und diese dann kaum mehr erkennbar sind.

##### ***Entsorgung und Verwertung der Mineralwollen***

Die Entsorgungs- und Verwertungssituation bei den Mineralwollen entspricht grösstenteils der oben geschilderten Situation bei den organischen Dämmmaterialien. Auch hier werden die Schnittreste aus dem Neubau und der Sanierung zurückgenommen. Mineralische Dämmmaterialien aus dem Rückbau gelangen aus Kostengründen nur in geringen Mengen in die Produktion zurück. Die Flumroc AG nimmt jährlich rund 200 Tonnen Steinwolleabfälle an. Rund 75 - 80% davon sind Verschnitte aus dem Neubau und aus Sanierungen. Der grösste Teil des anfallenden Materials wird heute mit den brennbaren Bauabfällen vermischt und in der KVA entsorgt. Dort werden die Stein- und Glaswolleabfälle als Problemstoffe behandelt. Es gelten deshalb besondere Annahmebedingungen. Der Anteil an Stein- und Glaswolle in Baustoffmulden darf maximal 5 Volumenprozent betragen. Es ist somit nicht möglich, Monomulden in die KVA zu führen.

Eine alternative Entsorgungsmöglichkeit ist die Ablagerung in Inertstoffdeponien. Allerdings kann dies recht teuer sein. Ein Deponiebetreiber gibt an, dass er früher einen Annahmepreis von 360

Fr./t festgelegt hatte. Heute wird aber kein Material mehr angenommen. Allerdings gelangen die Mineralwolleabfälle mit den Inertstofffraktionen in die Deponien (siehe Abbildung 9).

### ***Zusammenfassung der Entsorgungs- und Verwertungssituation Dämmmaterialien heute***

Heute werden vor allem die Verschnitte aus dem Neubau und Sanierungen in die Produktion zurückgeführt. Der Grund dafür ist, dass die Entsorgungskosten oftmals in den Lieferkosten enthalten sind. Die Isolationsunternehmen haben somit einen Anreiz, das Material separat zu sammeln. Im Gegensatz dazu bestehen bei den zurückgebauten Dämmstoffen kaum ökonomische Anreize, das Material in die Produktion zurückzuführen. Das Material wird zwar teilweise auf den Baustellen in Monomulden gesammelt aber anschliessend doch wieder mit anderen Bauabfallfraktionen vermischt. Der Wille zur separaten Sammlung wäre somit bei den Rückbauunternehmen vorhanden. Die Annahmebedingungen bei den Produzenten sowie die Transport- und Entsorgungskosten verhindern derzeit jedoch ein stoffliches Recycling.

## **4.2 Verwertungspotenziale heute und morgen**

Die im vorangegangenen Kapitel aufgeführten Erläuterungen zur Entsorgungs- und Verwertungssituation zeigen auf, dass bei den Dämmmaterialien noch erhebliche Verwertungspotenziale vorliegen. Es braucht hier weitere Anstrengungen seitens der Branche. Diese ist sich der Situation durchaus bewusst. So versucht man auf europäischer Ebene neue Lösungsansätze im Bereich der Aufbereitung der organischen Dämmmaterialien zu entwickeln. Auch bei den mineralischen Dämmmaterialien sind Produzenten bestrebt, die Verwertungsquote zu erhöhen.

### **4.2.1 Verwertungspotenziale EPS/XPS und PUR**

#### ***Thermische Verwertung von EPS/XPS***

Die Mitverbrennung von EPS, XPS und PUR in Müllverbrennungsanlagen ist heute der gängigste Verwertungsweg und bietet die folgenden Vorteile:

- Die Anforderungen an die Sauberkeit und den Fremdstoffanteil sind gering.
- Durch die hohe Dichte an Kehrlichtverbrennungsanlagen in der Schweiz sind die Transportdistanzen von den Baustellen bis zur nächsten KVA gering.
- Rückgewinnung von Energie
- Ausschleusung von Hexabromcyclododecan (HBCD) aus dem Materialkreislauf.

Ein grosser Vorteil dieser Verwertungsoption ist somit die vollständige Zerstörung des Flamm- schutzmittels HBCD. HBCD wurde im Jahre 2008 unter REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) als persistent, bioakkumulierbar und toxisch eingestuft. Zudem wurde HBCD als POP (langlebiger organischer Schadstoff) in die POP-Liste der UNEP Stockholm Konvention aufgenommen. Damit wurde der Grundstein für das weltweite Verbot gelegt. Der Beschluss wurde formal am 9. Mai 2013 umgesetzt und trat mit einer etwa einjährigen Übergangsphase im Jahr 2014 in Kraft (EMPA, 2013).

Im Rahmen eines Grossversuches im Müllheizkraftwerk Würzburg zur Mitverbrennung von EPS- und XPS-Schaumstoffe, welche von PlasticsEurope und EXIBA (European Extruded Polystyrene Insulation Board Associated) in Auftrag gegeben wurde, konnte gezeigt werden, dass die Obergrenze für die Mitverbrennung von EPS- und XPS-Abfällen bei maximal 2 Gew.-% liegen sollte (PlasticsEurope, 2014). In der Schweiz werden jährlich rund 3.8 Mio. Tonnen Siedlungsabfälle verbrannt (BAFU 2015), somit könnten jährlich knapp 80'000 Tonnen EPS/XPS-Abfälle in der Schweiz verbrannt werden.

Höhere Anteile führen zu Störungen im Anlagebetrieb. Die Konzentrationen an halogenierten und gemischt-halogenierten Dioxinen und Furanen im Roh- und Reingas lagen unter den Grenzwerten.

Damit ist die thermische Verwertung von HBCD-haltigen Dämmstoffen zum heutigen Zeitpunkt wohl die beste Option. Der Nachteil ist jedoch, dass die Grundstoffe EPS/XPS zerstört und nicht mehr in den Materialkreislauf zurückgeführt werden können. Erst wenn es gelingen würde, das HBCD im Rahmen einer stofflichen Verwertung auszuschleiden, stünde eine alternative Option zur Verfügung.

### **Stoffliche Verwertung von EPS**

Die stoffliche Verwertung von EPS und XPS kann auf verschiedene Weisen erfolgen:

#### 1. Aufdoppeln:

Aufgrund der steigenden energetischen Anforderungen im Gebäudebereich müssen künftig auch bereits gedämmte Gebäude im Rahmen von Sanierungen stärker gedämmt werden. Dies kann durch Aufdoppelung erfolgen. Untersuchungen zur Langzeitbewährung von bestehenden Wärmedämmverbundsystemen zeigen, dass materialtechnische Fehler beim Aufbau eines Systems relativ selten sind und falls doch vorhanden, die Dämmwirkung kaum negativ beeinflussen (Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), 2015). Eine intakte Dämmung ermöglicht somit oftmals eine Aufdoppelung. Dadurch kann die Nutzungsdauer auf 40 – 120 Jahre erhöht werden (Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), 2014). Es handelt sich hierbei nicht um eine stoffliche Verwertung sondern um eine Verlängerung der Materiallebensdauer. Da die alten EPS-Schaumstoffplatten HBCD enthalten, wäre eine eindeutige Kennzeichnung der unterschiedlichen EPS-Generationen sinnvoll (evtl. auch in einem Kataster). Nur so könnten die unterschiedlichen Schichten bei einem späteren Rückbau getrennt zurückgebaut und behandelt werden.

#### 2. Werkstoffliche Verwertung

EPS: Die zurückgenommenen Verschnitte aus dem Neubau und der Sanierung werden zerkleinert und der Rezyklatproduktion zugeführt. Das Einsatzgebiet der Rezyklatplatten beschränkt sich auf wenige Anwendungen, wie Dämmung von Industriedächern, welche in Holzbauweise erstellt wurden oder als Sickerplatten (Abbildung 12). Der Einsatz als Wanddämmung ist aufgrund der Qualitätseinbußen nicht möglich.

Abbildung 12: Eine von der Swisspor AG hergestellte Rezyklatplatte. Die farblichen Unterschiede zu einer konventionell hergestellten EPS-Dämmplatte sind gut erkennbar.



Bei dieser Verwertungsoption kann das HBCD nicht ausgeschleust werden. Somit können nur HBCD-freie EPS – Schaumstoffplatten (Verschnitte) verwertet werden. Platten aus dem Rückbau können nicht aufbereitet werden.

### 3. Rohstoffliche Verwertung

EPS lässt sich mit geeigneten Lösungsmitteln auflösen. Die selektive Extraktion von EPS und anderen Kunststoffen (auch XPS) mit dem CreaSolv®-Verfahren wurde erst im Labormassstab durchgeführt (Siebert T. et. al., 2013). Das Polystyrol kann nach Durchlaufen des Verfahrens als Rohstoff für die Herstellung von Produkten aus Polystyrol eingesetzt werden. Neben der Rückgewinnung des Polymers kann auch das HBCD ausgeschleust werden. Die europäische EPS-Industrie strebt nun an, bis 2018 eine Solvolyse-Demonstrationsanlage für das nachhaltige Recycling von Alt-EPS mit HBCD einschließlich der Rückgewinnung von Brom zu erstellen. Sollte sich ein solches Verfahren etablieren, könnten neue Wege in der EPS-Produktion gegangen werden. Da das Basismaterial (PS-Granulat) der EPS-Plattenproduktion rund 60 - 80% der Produktionskosten ausmacht, könnten auch ökonomische Anreize bei der Rücknahme neu definiert werden.

#### **Stoffliche Verwertung von XPS**

Für die stoffliche Verwertung von XPS gilt grundsätzlich das Gleiche wie beim EPS. Auch hier könnten die geschredderten Granulate in die XPS- oder EPS-Plattenproduktion zurückgeführt werden. Beim XPS könnten die farblichen Veränderungen ein Problem darstellen, weil diese dann im Markt auf Skepsis stossen würden.

#### **Stoffliche Verwertung von PUR**

Wie beim EPS und XPS kann auch das PUR aufgelöst werden. Das anfallende Polyol inklusive der Isocyanatanteile kann grundsätzlich wieder in die Produktion zurückgeführt werden. Es werden somit weniger Grundstoffe benötigt.

### 4.2.2 Verwertungspotenziale Mineralwollen

Aufdoppeln und werkstoffliche Verwertung:

Eine Aufdoppelung wie bei den EPS- und XPS-Schaumstoffplatten ist bei den Mineralwollen aufgrund des Haupteinsatzgebietes (hinterlüftete Fassaden) kaum möglich. Auch die werkstoffliche Verwertung, das heisst, die Beimischung der aus dem Rückbau anfallenden Mineralfasern im Produktionsprozess nach der Zerkleinerung ist aus material- und verfahrenstechnischen Gründen kaum möglich.

Stoffliche Verwertung:

Die stoffliche Verwertung der Mineralfasern ist grundsätzlich gut möglich. Die Anforderungen an die Sauberkeit bzw. bezüglich den Fremdstoffen sind aufgrund des hochthermischen Schmelzprozesses deutlich geringer als bei den organischen Dämmmaterialien. Voraussetzungen für eine stoffliche Verwertung der Mineralwollen aus dem Rückbau sind:

- Trennung nach Glas- und Steinwolle
- Bekannte stoffliche Zusammensetzung der zurückgenommenen Mineralfasern
- Möglichst geringe Fremdstoffanteile

Die Aufbereitung der Mineralwollen nach der Annahme erfolgt zunächst händisch. Es werden Aluminiumfolien und Putze entfernt. Danach wird die Mineralwolle in einen Schneckenzerkleinerer und anschliessend über eine Stabrohmühle (bei der Flumroc AG) geführt. In einem Versuchsprojekt wurden aus den Mineralfasern Mehlbriketts mit der folgenden Zusammensetzung hergestellt:

94% Mineralfasermehl, 5% natürliche Klebstoffe und 1% Zusatzstoffe (z.B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Dieses Projekt ist noch in einer frühen Entwicklungsphase und noch nicht abgeschlossen. Zurzeit werden die Mineralfasern mit den restlichen Rohstoffen (Gestein, Zusatzstoffe) zusammen zu einem Brikett verarbeitet. Zement dient dabei als Bindemittel. Im Moment liegt der Mineralfaser-

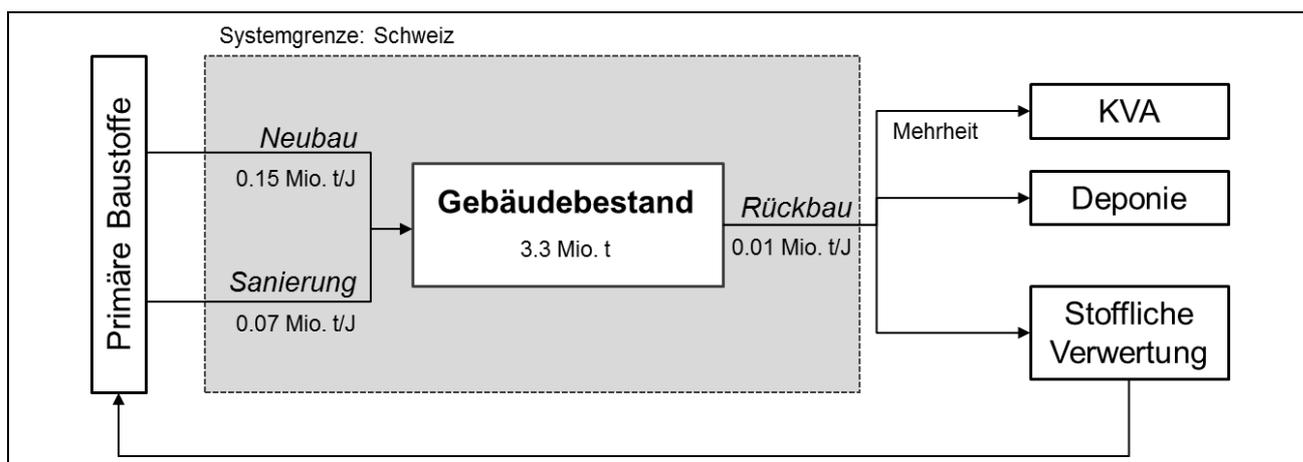
anteil dieser Briketts bei rund 25% und könnte von heute auf morgen auf 60% erhöht werden. Sollte das Versuchsprojekt erfolgreich umgesetzt werden können, liessen sich mit dieser stofflichen Verwertungsoption die folgenden Ziele erreichen:

- Reduktion des Gesteinsbedarfs: Dolomit (aus A), Felsberger und Zernez (aus CH)
- Reduktion des Zementbedarfs als Bindemittel
- Reduktion der SO<sub>2</sub>-Emissionen, weil weniger Schwefel aus dem Zement.
- Reduktion des Primärenergieaufwandes

## 5 Synthese und Ausblick

In der gegenwärtigen Vorstudie konnten anhand des bottom-up Gebäudeparkmodells die Dämmmaterialmengen sowohl als Lager im Bestand wie auch für Neubau/Sanierung und für den Rückbau ausgewiesen werden (Abbildung 13). Die Ergebnisse stimmen gut mit anderweitigen Studien und Statistiken überein. Die HBCD-enhaltende Dämmmaterialien EPS und XPS sind besonders zu beachten. Aufgrund der langen Verweilzeiten im Gebäudebestand fallen heute jedoch erst relativ geringe Mengen und Volumen an Dämmmaterialien aus Rückbau und Sanierungen an. Diese dürften jedoch mittel- bis langfristig zunehmen. In einer zweiten Projektphase könnten mittels dynamischer Modellierung verschiedene Szenarien bis 2050 untersucht werden, um die zu erwartenden Abfallmengen zu quantifizieren.

Abbildung 13: Dämmmaterialflüsse (in Mio. Tonnen pro Jahr) und Lager (in Mio. Tonnen) für das Jahr 2015. Aufgrund der langen Verweilzeiten im Gebäudebestand sind die Input- und Outputflüsse relativ gering. Gegenwärtig wird der grösste Anteil der rückgebauten Dämmmaterialien in den KVA entsorgt.



Gegenwärtig wird die überwiegende Mehrheit der Dämmmaterialien aus dem Rückbau den KVAs zugeführt. Vor allem Schnittreste bei Neubau und Sanierung werden zum Lieferanten bzw. Produzenten zurückgeführt, da die Kosten dafür oft bereits in den Lieferkonditionen mit eingebunden sind. Steinwolle und Glasfaser gelangen teilweise mit den Inertstofffraktionen in die Deponien. Der grösste Teil des anfallenden Materials wird jedoch heute mit den brennbaren Bauabfällen vermischt und in den KVA entsorgt. Diese können mit den heutigen Materialmengen gut umgehen (berechnete 11'000 t pro Jahr bei einer maximalen Kapazität für die Verbrennung von Dämmmaterialien von ca. 80'000 t pro Jahr). Die zurückgebauten Dämmmaterialmengen werden jedoch laufend zunehmen, sodass lokal (zeitlich wie auch räumlich) evtl. Spitzenbelastungen auftreten könnten. Zudem führen hohe Anteile von EPS- und XPS-Abfällen bei der Verbrennung zu Störungen des Anlagebetriebes. Aus Kapazitäts- so wie aus ökologischen Gründen wäre daher eine stoffliche Verwertung der Dämmmaterialien vorzuziehen. Eine dynamische Modellierung kann diesbezüglich die erforderlichen Wiederverwendungs- und Recyclingkapazitäten aufzeigen.

## 6 Literaturverzeichnis

BAFU (2015). Abfallmengen und Recycling 2014 im Überblick.

<http://www.bafu.admin.ch/abfall/01517/01519/16087/index.html?lang=de>.

Ceresana (2014). Marktstudie Dämmstoffe – Europa. Ceresana Technologiezentrum Konstanz.

EMPA (2013). Weltweites Aus für Flammschutzmittel. Medienmitteilung EMPA Dübendorf, St.Gallen, Thun vom 26. August 2013.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) (2014). Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS. IBP-Bericht BBHB 019/2014/281, Valley.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) (2015). Beurteilung der Langzeitbewährung von ausgeführten Wärmedämmverbundsystemen. IBP-Bericht HTB 06/2015, Valley.

Guerra F., Kast B. (2014). Studie „Verbaute Dämmungen EPS/XPS“, Wüest & Partner Studie i.A. des Bundesamtes für Umwelt, Dezember 2014.

Jakob M. (2008a). Grundlagen zur Wirkungsabschätzung der Energiepolitik der Kantone im Gebäudebereich. Bundesamt für Energie (Hrsg.). Bern. September.

Jakob M., Wallbaum H., York O., Martius G. (2013). Graue Energie im Gebäudepark der Stadt Zürich bis 2050. ETH Zürich und TEP Energy i.A. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen, Zürich, erscheint in Kürze.

Jakob M., Catenazzi G., Forster R., Kaiser Th., Martius G., Nägeli, C., Reiter U., Sunarjo B. (2015). Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA Effizienzpfad. TEP Energy und Lemon Consult i.A. Bundesamt für Energie, Bern. Stand September 2015, in Vorbereitung.

Jakob M., Jochem E., Christen K. (2002). Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmassnahmen bei Wohngebäuden, CEPE und HBT, ETH Zürich, Studie im Auftrag des Forschungsprogramms EWG des Bundesamts für Energie (BFE). September.

Jakob M., Martius G., Catenazzi G., Berleth H. (2014). Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich - Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen. TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie, Bern, Februar.

Kasser U., Frischknecht R., Klingler M., Savi D., Stolz P., Tschümperlin L., Wyss F., Itten R. (2015). Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste „Ökobilanzdaten im Baubereich“. Forschungsprojekt i.A. des Bundesamts für Energie, November 2015.

PlasticsEurope (2014). Untersuchung zur energetischen Verwertung von EPS und XPS, die als Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) enthalten, durch die Mitverbrennung in der Abfallverbrennungsanlage für kommunale Abfälle der Stadt Würzburg. Brüssel: exiba/PlasticsEurope, 2014. Technischer Bericht (Kurzfassung).

Rubli S. (2014). Urban-Mining-Potenzial in der Stadt Zürich - Am Beispiel von ausgewählten Rückbaumaterialien. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich.

Rubli St., Gugerli H. (2009). Ressourcenstrategie «BAUWERK STADT ZÜRICH», Materialflüsse und Energiebedarf bis 2050. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich.

Schneider T. (2011). Datenanalyse, Kennwerte Bauwerk Stadt Zürich 2010. Im Auftrag für das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich

Siebert T., Schlummer M., Mäurer A. (2013). Bioverpackungen wiederverwerten. Kunststoffe 7/2013, S. 79 – 82. Dokumenten-Nummer KU111382. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

BFE	Bundesamt für Energie
EBF	Energiebezugsfläche
EPS	Expandierter Polystyrol-Hartschaum
GPM	Gebäudeparkmodell der Schweiz
HBCD	Hexabromcyclododecan
PUR	Polyurethane
XPS	Extrudierter Polystyrol-Hartschaum