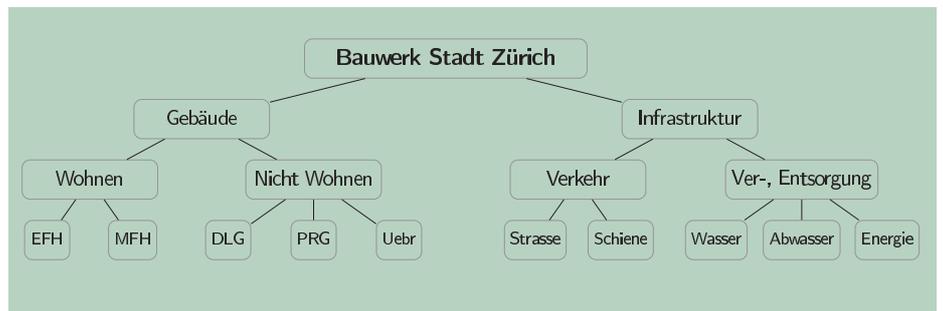


Baustoffmanagement

Das Amt für Hochbauten und das Tiefbauamt der Stadt Zürich streben gemeinsam eine langfristig orientierte Ressourcenbewirtschaftung der mineralischen Baustoffe an. Zu diesem Zweck wird im Rahmen des Legislatorschwerpunktes «Die nachhaltige Stadt Zürich – auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft» eine Ressourcenstrategie erstellt. Zurzeit wird ein dynamisches Ressourcenhaushaltsmodell entwickelt, welches als Steuerinstrument zur optimalen Nutzung der mineralischen Primär- und Sekundärressourcen eingesetzt werden soll. Im folgenden Beitrag werden die Methode und Resultate des ersten Teilprojektes vorgestellt. Dieses umfasst die mineralischen Baustofflager und -flüsse für das Jahr 2005.

VON MARTIN SCHNEIDER, STEFAN RUBLI,
HEINRICH GUGERLI, MARTIN BÜRGI
UND DIRK GÖBBELS

Mit der Entwicklung urbaner Systeme im vergangenen Jahrhundert wurde ein Bauwerk mit enormen Materiallagern aufgebaut. Der Begriff «Bauwerk» umfasst die Summe aller physischen Einrichtungen des Menschen, um ein urbanes System zu betreiben [1]. Darin enthalten sind demnach sämtliche Hoch- und Tiefbauten sowie die Infrastruktureinrichtungen. Die in den Gebäuden, Strassen und Infrastrukturnetzen eingebauten Materiallager stellen Ressourcenlager dar, welche für zukünftige Bauten genutzt werden können. Auf regionaler Ebene sind kaum Informationen über die Materialflüsse und Lagermengen der Baustoffe vorhanden, daher kann nicht beurteilt werden, ob die mineralischen Ressourcen heute effizient genutzt werden. Für ein umfassendes Systemverständnis müssen die Mate-



Figur 1: Die Differenzierung des «Bauwerks Stadt Zürich» in Gebäude und Infrastruktur und ihre Unterkategorien. EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, DLG: Dienstleistungsgebäude, PRG: Produktionsgebäude, Uebr: Übrige Gebäude. Die Grenze zwischen Gebäuden und Infrastruktur verläuft auf der Parzellengrenze.

rialflüsse und Lager eines regionalen Systems detailliert erfasst bzw. abgeschätzt werden. Damit können die teilweise komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen dargestellt werden.

In einem ersten Schritt wurden die Grundlagen für die Entwicklung eines Ressourcenhaushaltsmodells für mineralische Baustoffe geschaffen. Voraussetzung dazu ist eine detaillierte Inventur der in Gebäuden, Strassen und Infrastrukturnetzen der Stadt Zürich gelagerten mineralischen Baumaterialien. Da diese Daten nicht direkt verfügbar sind, musste eine Erhebungsmethode entwickelt werden, welche auf einem existierenden Modell zur Erfassung von Baumateriallagern in Gebäuden basiert [2]. Diese wurde durch eine Datenbank und Input-Output-Tabellen ergänzt. Neben den Materiallagern wurden auch die Input- und Outputflüsse, welche durch Neubau, Sanierung und Unterhalt des «Bauwerks Stadt Zürich» entstehen, abgeschätzt. Die Stadtgrenze bildete dabei die Systemgrenze. Die untersuchten Baustoffe und Rückbaumaterialien wurden in die Kategorien Beton, Mauerwerk, Kies/Sand, Belag und mineralische Restfraktion (Gips, Keramik, Glas) unterteilt.

Erhebungsmethode

Für die Erhebung der Materiallager wurde das «Bauwerk Stadt Zürich» über mehrere Stufen nach verschiedenen Nutzungsarten differenziert (Figur 1). Die Grenze zwischen Gebäude und Infrastruktur verläuft auf der Parzellengrenze. Sämtliche Materialien, die zum Bau von Erschliessungsleitungen, Strassen und Wegen eingesetzt wurden und innerhalb einer Parzelle liegen, werden den Materiallagern in den Gebäuden zugeordnet. Der Gebäudepark wird in die fünf Nutzungskategorien Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH), Dienstleistungsgebäude (DLG), Produktionsgebäude (PRG) und «Übrige Gebäude» (Uebr) unterteilt. Die Infrastruktursysteme umfassen die Strassen, die Bahn- und Tramstrassen, Wasserversorgungs- und Abwasserleitungen sowie die Energienetze (Elektrizität, Erdgas, Fernwärme).

Gebäude

Die Gebäudedaten konnten von Statistik Stadt Zürich für den vollständigen Gebäudebestand der Stadt Zürich auf der Stufe Einzelobjekt bezogen werden. Die Daten enthalten u.a. Angaben zum Baujahr, zur Nut-

Martin Schneider

Dipl. Umwelt-Ing. ETH, Projektmitarbeiter in der Firma Wertstoff-Börse GmbH, Schlieren.

Stefan Rubli

Dr. sc. techn. ETH, Geschäftsführer der Firma Wertstoff-Börse GmbH, Schlieren.

Dr. Heinrich Gugerli

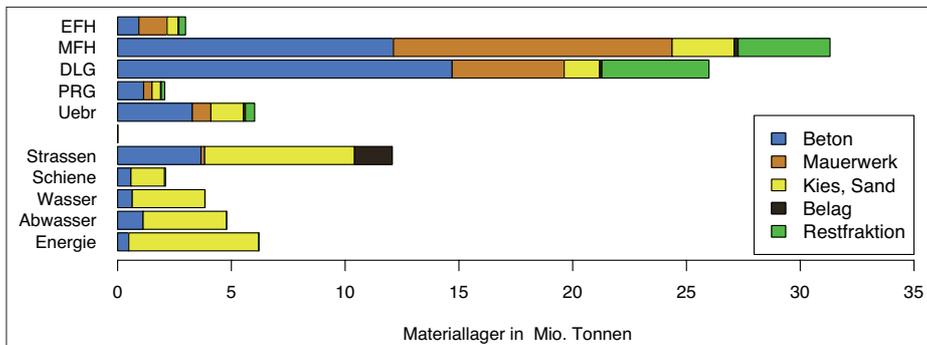
Dipl. Ing. ETH/SIA, Leiter Fachstelle nachhaltiges Bauen, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich.

Martin Bürgi

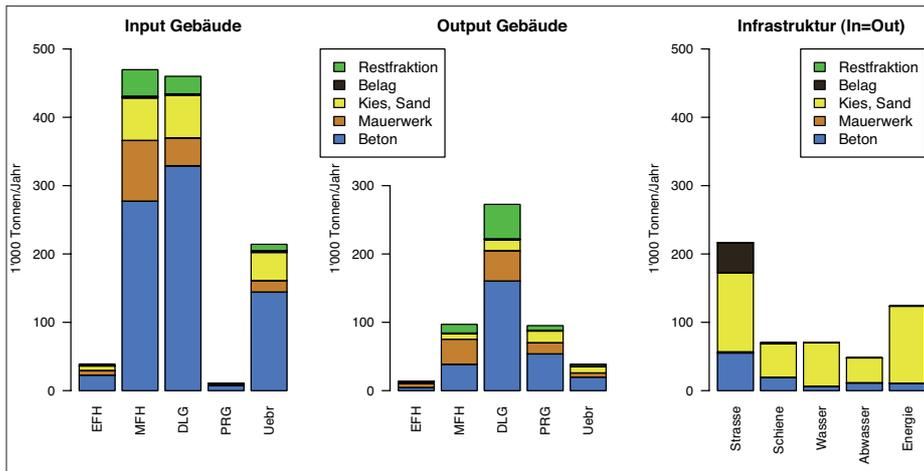
Dipl. Ing. ETH/INDS, bis 31.10.2007 Leiter Geschäftsbereich Werterhaltung, Stadt Zürich Tiefbauamt, seit 1.11.2007 Regionalleiter Zürich, SBB Infrastruktur, Unterhalt Bau und Logistik.

Dirk Göbbels

Dipl. Ing. FH, Leiter Fachbereich Strassen, Stadt Zürich Tiefbauamt.



Figur 2: Das Materiallager in der Stadt Zürich im Jahr 2005 in Mio. Tonnen. Total sind in der Stadt fast 100 Mio. Tonnen mineralische Baustoffe gelagert, davon rund 70% in den Gebäuden. In der Infrastruktur ist die mineralische Restfraktion (Gips, Glas, Keramik) nicht vorhanden.



Figur 3: Materialflüsse in die Stadt und aus der Stadt im Jahr 2005. Der Input in die Gebäude (links) wird dominiert durch den Bedarf der MFH und DLG, der Output (Mitte) durch die Rückbaumaterialien aus den DLG und PRG. Bei der Infrastruktur (rechts) sind die Inputflüsse nach den Modellannahmen gleich gross wie die Outputflüsse. Am meisten Material wird für den Unterhalt der Strassen eingesetzt.

zungskategorie und zum Gebäudevolumen. Für das Modell wurde für jede Nutzungskategorie ein «typischer» Materialanteil pro Gebäudevolumen und eine «typische» Materialzusammensetzung in Abhängigkeit des Gebäudealters angenommen. So konnten die Materiallager in den Gebäuden berechnet werden. Die verschiedenen Materialflüsse wurden über die Neubau-, Sanierungs- und Abbruchdaten der Jahre 2002 bis 2005 abgeschätzt.

Der Gebäudebestand in der Stadt Zürich umfasste Ende 2005 rund 55 400 Gebäude mit einem Gesamtvolumen von 165 Mio. Kubikmetern. Die Hälfte dieses Volumens beanspruchen die Wohngebäude (4% Einfamilienhäuser EFH, 45% Mehrfamilienhäuser MFH), über ein Drittel entfällt auf Dienstleistungsgebäude (DLG 38%), und nur 5% des Gebäudevolumens sind Produktionsgebäude (PRG). Die übrigen Gebäude (Uebr) machen nochmals 7% aus. Der Gebäudebestand wird also von den MFH und den DLG dominiert.

Infrastruktur

Aus detaillierten Angaben der Netzbetreiber zu den Strassenflächen,

Kunstabtungen und Netzlängen sowie den durchschnittlichen jährlichen Erneuerungsraten konnte über einen jeweils typischen Aufbau bzw. Querschnitt der Strassen und Trassen das totale Ausmass der eingesetzten Materialien berechnet werden. Für die Modellierung der jährlichen Materialflüsse wurde angenommen, dass die Netzlängen konstant bleiben und der gesamte Materialbedarf ausschliesslich für die Erneuerung eingesetzt wird. Damit befinden sich die Infrastruktursysteme für das Modell im Fließgleichgewicht.

Das Strassennetz in der Stadt Zürich ist rund 800 km lang, ungefähr gleichlang ist das Netz der Wege (Velo- und Fusswege). Die Wasserver- und entsorgungsnetze sowie die Energienetze verlaufen zum grossen Teil unterhalb der Strassen, die Länge dieser Netze liegt daher im Bereich der Strassenlänge. Das Stromnetz ist hingegen rund dreimal so lang; einerseits ist die Versorgung feiner verästelt und meist in Ringen ausgeführt, andererseits bestehen drei parallele Netze mit verschiedenen Spannungen. Die Fernwärmeleitungen machen nur 2% der gesamten Länge der Infrastrukturnetze aus.

Materiallager und jährliche Materialflüsse

In der Figur 2 sind die Materiallager in der Stadt Zürich für das Jahr 2005 dargestellt. Insgesamt beträgt das Materiallager der mineralischen Baustoffe knapp 100 Mio. Tonnen, davon sind über 70% in den Gebäuden gelagert. Diese bestehen zum grössten Teil aus Beton, Mauerwerk und der mineralischen Restfraktion (Gips, Keramik und Glas). Die Lager in den MFH und DLG sind erwartungsgemäss am grössten. In der Infrastruktur sind rund 30 Mio. Tonnen Material gelagert, welche vorwiegend aus den Fraktionen Kies/Sand, Belag und Beton bestehen. Die mineralische Restfraktion ist in der Infrastruktur nicht vorhanden.

Die Resultate der Materialflüsse sind in der Figur 3 illustriert. Die Inputflüsse in die Mehrfamilienhäuser (MFH) und Dienstleistungsgebäude (DLG) sowie die übrigen Gebäude (Uebr) machen zusammen über 90% des Inputs in den Gebäudepark aus. Dieser Input entspricht 1,7% des Lagers. Bei den Outputflüssen fällt der grosse Beitrag der Produktionsgebäude (PRG) auf. Im betrachteten Zeitraum wurden viele PRG in der Stadt Zürich abgebrochen. Dabei resultierten grosse Mengen von Rückbaumaterialien. Die hohe Umbau- und Sanierungsrate bei den DLG lassen deren Anteil bei den Outputflüssen auf über 50% ansteigen. Da die Infrastrukturnetze nach der Modellannahme nicht wachsen, sind dort die Input- und Outputflüsse gleich hoch. Dabei wird für die Erneuerung der Strassen der grösste Teil der Materialien umgesetzt (41%). Der Beton im Bereich der Strassen wird für die Kunstbauten (Brücken, Tunnel) eingesetzt. Da das Energienetz relativ gross ist, sind auch die damit verbundenen Materialflüsse hoch, obwohl die Trassen nicht tief unter den Strassen bzw. den Trottoirs geführt werden.

Das System «Stadt Zürich» im Jahr 2005

In der Figur 4 sind die Materiallager und -flüsse für das Jahr 2005 im System «Stadt Zürich» zusammengefasst. Vom totalen Input von 1,72 Mio. Tonnen pro Jahr fliessen gut zwei Drittel in die Gebäude. Hingegen ist der Output aus den Gebäuden etwa gleich gross wie aus der Infrastruktur. Gut zu erkennen ist der weiterhin massive Lageraufbau in den Gebäuden, welcher insgesamt 518 000 Tonnen pro Jahr bzw. 0,7% des Lagers beträgt.

Der relativ hohe Output bei den Infrastrukturen lässt auf ei



Foto: Steinar Rubli, Wertstoff-Börse GmbH

Rückbau des Stadions Letzigrund im Oktober 2006.

Vergleich mit anderen Arbeiten

Der Vergleich der Resultate mit Daten für die Schweiz zeigt, dass die erhaltenen Werte für die Materiallager gut übereinstimmen (vgl. Tabelle 1). So beträgt das Materiallager in Gebäuden und Infrastruktur auf der Ebene Schweiz 280 Tonnen pro Einwohner (t/cap) [3]. Für die Stadt Zürich liegt dieser Wert bei 275 t/cap. Bei den Materialflüssen unterscheiden sich diese Angaben aber deutlich. Der Betonfluss in die Stadt Zürich ist mit 2,4 t/(cap·Jahr) um rund die Hälfte kleiner als der abgeschätzte Bedarf für die Schweiz, welcher bei etwa 4,9 t/(cap·Jahr) liegt [4]. Hingegen sind die Outputflüsse der Bauabfälle aus der Stadt Zürich doppelt so gross wie die entsprechenden Werte für die Schweiz [3]. Eine plausible Erklärung für diese doch beachtlichen Unterschiede liefern die Zahlen zum Wachstum der Stadt Zürich im Vergleich zur Schweiz und dem Kanton Zürich. Die Stadt Zürich wuchs in den letzten Jahren langsamer als ihr Umland, daher ist ihr Materialbedarf für die Bautätigkeiten kleiner. Zudem wurden in der Stadt Zürich im Jahr 2005 keine grossen Tunnelarbeiten mit hohem Beton-

bedarf durchgeführt. Umgekehrt werden die Gebäude in der Stadt häufiger saniert oder sogar zurückgebaut, was zu höheren Outputflüssen führt. Auch die Infrastruktursysteme werden aufgrund der hohen Belastung in der Stadt intensiver erneuert als in ländlichen Gebieten. Die reine «Wachstumsphase» der Stadt Zürich schwächt sich offenbar ab. Es findet ein Wechsel zu einer intensiveren «Umbau- und Umnutzungsphase» statt.

Recyclingpotenzial

Mit Hilfe des erarbeiteten Stoffflussschemas (Figur 4) können nun die Flüsse und Lager interpretiert, die Potenziale herausgearbeitet und auch quantifiziert werden. Es wird beispielsweise ersichtlich, dass die Möglichkeit für einen vermehrten Einsatz von RC-Baustoffen erheblich ist. Von den aufbereiteten Rückbaustoffen aus der Stadt Zürich gelangen nur rund 40% wieder als Baustoffe zurück. Davon fliessen rund 50% in den Konstruktionsbeton, was einem hochwertigen Recycling entspricht. Das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich fördert den Einsatz von RC-Beton stark. So wurde z.B. für den Neubau des Schulhauses «Im Birch» über 90% RC-Beton eingesetzt. Dank diesem Engagement

hat sich der Anteil von RC-Konstruktionsbeton im Input in die Gebäude der Stadt Zürich von 10% auf 20% verdoppelt. Würden private und andere öffentliche Bauherren ebenfalls auf diese Strategie setzen, könnte der Rückfluss der RC-Materialien noch deutlich erhöht werden, weil der Betonbedarf im Hochbau viel höher ist als im Tiefbau. Die restlichen 60% des aufbereiteten Outputs aus der Stadt gelangen im Umland in minderwertige Anwendungen. Den hohen Anteil der deponierten Materialien von 20% der Rückbaustoffe gilt es zu reduzieren. In den Infrastruktursystemen besteht ein grosses, bisher ungenügend genutztes Potenzial für den Einsatz von RC-Kies, dieser Anteil beträgt heute erst 25%.

Fazit

Für die Stadt Zürich konnten für das Jahr 2005 die Materiallager und -flüsse der mineralischen Baustoffe abgeschätzt werden. Das erarbeitete Stoffflusssystem liefert erste Erkenntnisse zu den Materialflüssen in der Stadt. Es ist bereits erkennbar, welche Massnahmen einzuleiten sind, um das System zu optimieren. Bezüglich des Einsatzes von RC-Material und des Anteils der deponierten Materialien zeigen sich beachtliche Entwicklungspotenziale.

Ein Ressourcenmodell für mineralische Baustoffe muss aber auch die langfristigen Entwicklungen der mineralischen Primär- und Sekundärressourcen abbilden können. Diese Entwicklungen sind von verschiedenen Rahmenbedingungen abhängig, welche teilweise aktiv beeinflusst werden können. Die hohe Komplexität des Systems sowie die langen Verweilzeiten der Materialien erfordern ein dynamisches Ressourcenhaushaltsmodell. Damit lassen sich langfristige Tendenzen und die zeitlichen Entwicklungen der Lager und Stoffflüsse abschätzen.

Das Ziel der zweiten Phase des Projektes ist daher die Entwicklung eines dynamischen Ressourcenhaushaltsmodells für die mineralischen Baustoffe in der Stadt Zürich für den Zeitraum 2000–2050. Dabei wird der Verlauf der Materialflüsse und -lager auf Grundlage vorgegebener Parameter dynamisch modelliert. Durch die Wahl geeigneter Szenarien können die Auswirkungen von Massnahmen oder veränderten Rahmenbedingungen auf das System untersucht werden. Dadurch verbessert sich das Systemverständnis weiter. Dieses wiederum ist von grosser Bedeutung für die Umsetzung einer nachhaltig orientierten Ressourcenbewirtschaftung des Bauwerkes Stadt Zürich durch die involvierten Verwaltungsstellen.

	STADT ZÜRICH	SCHWEIZ
	t/cap	t/cap
Lager Gebäude	196	187(1)
Lager Infrastruktur	79	93(1)
Lager im Bauwerk	275	280(1)
	t/(cap·Jahr)	t/(cap·Jahr)
Inputflüsse Beton	2,4	4,9(2)
Outputflüsse Total	2,9	1,6(1)

(1) [Buwal, 2001]
(2) [BFS, 2007]

Tabelle 1: Vergleich der Resultate mit Werten für die Schweiz und den Kanton Zürich. Für die Materiallager in Gebäuden und Infrastruktur stimmen die Zahlen recht gut überein. Hingegen sind die Inputflüsse von Beton in die Stadt nur halb so gross wie der Wert für die Schweiz, und umgekehrt sind die Outputflüsse aus Zürich doppelt so hoch wie im restlichen Land. Die Stadt Zürich wandelt sich von einer Wachstums- zu einer Umnutzungs-Stadt.