

Planung und Steuerung regionaler Stoffstromnetzwerke mit Hilfe geographischer Informationssysteme

Frank Schultmann¹, Béatrice Pitzini-Duée¹ und Otto Rentz¹

Abstract

Im vorliegenden Beitrag erfolgt die Konzeption eines Ansatzes zur problemadäquaten Abbildung und Bewertung regionaler Stoffstromnetzwerke und dessen exemplarische Anwendung in der Bauindustrie. Die Grundidee besteht dabei in der Verknüpfung eines Planungssystems zur standortbezogenen techno-ökonomischen Optimierung der Baustellenfertigung mit einem geographischen Informationssystem zur Koordinierung standortübergreifender Stoffstrombeziehungen.

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund des immensen Verbrauchs natürlicher Ressourcen und der Freisetzung erheblicher Mengen anthropogen verursachter Schadstoffemissionen in die Medien Wasser, Luft und Boden wurden in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen zur Schließung von Stoffkreisläufen durch geeignete technische und organisatorische Maßnahmen unternommen. Besondere Aufmerksamkeit haben in diesem Zusammenhang sogenannte Stoffstromnetzwerke erlangt, deren Ziel in dem Austausch von Stoffen auf betrieblicher, überbetrieblicher oder regionaler Ebene liegt.

Aufgrund der mengenmäßig hohen Stoffumsätze kommt der Bauindustrie bei der Etablierung geschlossener Stoffkreisläufe eine zentrale Bedeutung zu. Die Bauwirtschaft induziert die größten anthropogen verursachten Stoffströme überhaupt. So werden in Deutschland jährlich etwa 700 Millionen Tonnen mineralische Naturrohstoffe abgebaut, von denen etwa 250 Millionen Tonnen zur Herstellung von Baustoffen (ohne Straßenbaustoffe) verwendet werden. Dem steht ein Anfall von ca. 85 Millionen Tonnen an Bauabfällen (ohne Bodenaushub) gegenüber, von denen derzeit noch etwa zwei Drittel deponiert werden. Besondere Probleme bei der Verwer-

¹ Dr. Frank Schultmann, Dipl.-Ing. Béatrice Pitzini-Duée, Prof. Dr. Otto Rentz, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion / Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung Universität Karlsruhe (TH), Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe.

tung bereiten Bauabfälle aus dem Hochbau. Diese werden lediglich zu 18 % verwertet. Obwohl ein Recycling dieser Stoffe technisch bereits weitgehend möglich ist, wird die Kreislaufführung dieser Stoffe bislang insbesondere durch unzureichende Abstimmungen zwischen den betroffenen Akteuren entlang der Prozesskette Ressourcenextraktion – Baustoffproduktion – Bauwerkerrichtung – Nutzung – Rückbau – Recycling limitiert. Zur Schließung der Stoffkreisläufe sowie zur effizienten Nutzung technisch möglicher, bislang noch nicht ausgeschöpfter Verwertungspotentiale im Baubereich, bietet sich der Aufbau adaptierter Stoffstromnetzwerke an. Aufgrund der, im Vergleich zum Marktwert von Bauabfällen, hohen Transportkosten sind beim Aufbau von Stoffstromnetzen in der Bauindustrie große Transportentfernungen möglichst zu vermeiden, so dass vorrangig regionale Netzwerke angestrebt werden sollten.

Im vorliegenden Beitrag erfolgt daher die Konzeption eines Ansatzes zur problemadäquaten Abbildung, Bewertung und Anwendung regionaler Stoffstromnetzwerke in der Bauindustrie. Die Grundidee besteht dabei in der Verknüpfung eines Planungssystems zur standortbezogenen, techno-ökonomischen Optimierung der Baustellenfertigung mit einem geographischen Informationssystem (GIS) zur Koordinierung standortübergreifender Stoffstrombeziehungen.

2. Stoffstromnetzwerke als Mittel zur Steuerung zwischen- und überbetrieblicher Stoffströme

Industrielle Produktionsprozesse sowie die hierbei erzeugten Produkte gelten als einer der Hauptverursacher anthropogener Schadstoffemissionen. Dem Aufbau industrieller Stoffstromnetzwerke kommt daher, insbesondere im Bereich von Abfallvermeidungs- und -verwertungsmaßnahmen, eine immer größere Bedeutung zu.

Während Produktionsunternehmen einerseits innerbetriebliche Kreisläufe für solche Abfallstoffe aufbauen, für die an anderer Stelle im Unternehmen geeignete Verwertungsoptionen bestehen, lassen sich andere Abfälle aus technischen, ökonomischen, organisatorischen oder ökologischen Gründen oftmals nicht innerbetrieblich verwerten, so dass geeignete überbetriebliche Verwertungsmöglichkeiten heranzuziehen sind. Eine derartige zwischen- oder überbetriebliche Stoffstrombeziehung entsteht durch den Zusammenschluss von zwei, in der Regel unterschiedlichen Branchen angehörenden Unternehmen mit dem Ziel des Austausches von Stoffströmen. Durch Einbeziehung mehrerer derartiger Zweierbeziehungen entstehen Stoffstromketten und durch deren Überlagerung Stoffstromnetzwerke. Besteht dabei das Hauptziel in der Verwertung von Abfällen, spricht man auch von Verwertungs- oder Recyclingnetzen (Schwarz 1994).

Stoffstromnetzwerke umfassen somit beispielsweise überbetriebliche Produktionsnetzwerke, in denen sich verschiedene Produktionsunternehmen, etwa zum Zweck einer gemeinsamen Vermarktung, auf regionaler oder überregionaler Ebene

zusammenschließen oder auch Verwertungsnetzwerke, in denen Sekundärrohstoffe zwischen Betrieben ausgetauscht oder auch die Entsorgung von nicht verwertbaren Stoffen gemeinsam betrieben wird (Spengler 1998). Die Kooperation bei der Entsorgung kann dabei über die reine Abfallbeseitigung auch zur gemeinsamen Nutzung der dabei anfallenden Energie, etwa in Form von Abwärme, ausgedehnt werden. Auch bei einer weiter gefassten Begriffsbestimmung von Stoffstromnetzwerken, die über die Abfallvermeidung und -verwertung hinausgeht, sind dem inner- oder zwischenbetrieblichen Schließen von Stoffkreisläufen oftmals gewisse Grenzen gesetzt sind. Hier können räumlich weiter gefasste, regionale Stoffstromnetzwerke einen zentralen Beitrag zur Stoffkreislaufschließung leisten (Stehling 1999).² Bekannte Beispiele überbetrieblicher Stoffstromnetzwerke sind etwa das Verwertungsnetz Steiermark in Österreich (Schwarz 1994, Strebel 1995), die Industriesymbiose Kalundborg in Dänemark (Christensen 1998) oder das Heidelberger Industriegebiet Pfaffengrund-Nord (Sterr 1997).

Eine weitere in der Praxis anzutreffende Form von Stoffstromnetzwerken liegt beim Zusammenschluss mehrerer, derselben Branche angehörenden Unternehmen vor. Vorteile derartiger Branchenkonzepte liegen beispielsweise in der gemeinsamen Nutzung der Ver- und Entsorgungslogistik. Zudem lassen sich durch Investitionen in gemeinsam zu betreibende Produktions- oder Recyclinganlagen Kostenvorteile, beispielsweise aufgrund von Größendegressionseffekten, erzielen (Spengler 1998).

Zum Aufbau von Stoffstromnetzwerken in der Bauwirtschaft, sind neben den betroffenen Unternehmen weitere Netzwerkakteure zu berücksichtigen. In den folgenden Abschnitten wird gezeigt, wie durch Kopplung eines standortbezogenen Stoffstrommanagementsystems und eines geographischen Informationssystems Stoffstromnetzwerke in der Bauindustrie geplant werden können.

3. Entwicklung eines standortbezogenen Stoffstrommanagementsystems für Baureststoffe

Ausgangspunkt für die Planung von Stoffstromnetzwerken ist neben der richtigen Auswahl der einzubeziehenden Akteure sowie der korrekten Abbildung der zwischen diesen Akteuren bestehenden (Stoffstrom-) Beziehungen, insbesondere die Ermittlung einer belastbaren Datenbasis, die eine fundierte Entscheidungsunterstützung ermöglicht. Zur erfolgreichen Etablierung von Stoffstromnetzwerken in der Bauwirtschaft sind in diesem Zusammenhang zunächst die Stoffkreisläufe sowie einige Produktionscharakteristika dieses Industriezweiges zu beachten.

² Die große Bedeutung regionaler Netzwerke zwischen Unternehmen wird neben den in diesem Beitrag skizzierten Maßnahmen im Rahmen des Stoffstrommanagement in letzter Zeit unter anderem auch unter Wettbewerbsgesichtspunkten (Dodo zu Knyphausen-Aufseß 1998) und hierbei insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (Pfohl et al. 1998) erkannt.

3.1 Baustoffkreisläufe im Hochbau

Die grundlegende Struktur von Stoffstromnetzwerken im Baubereich ergibt sich aus den Anfallstellen von Baureststoffen, deren technisch möglichen Aufbereitungsmöglichkeiten, den Verwertungsoptionen für Recyclingbaustoffe sowie den zugehörigen Stoffströmen. Zur zielgerichteten Steuerung der Stoffströme entlang dieser Prozesskette, ist insbesondere den anfallenden Reststoffen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Hierzu zählen zunächst Produktionsabfälle bei der Baustoffherstellung sowie Erdaushub oder Straßenaufbruch aus dem Tiefbau. Aufgrund der geringen Menge sowie der Möglichkeit einer weitgehenden innerbetrieblichen Kreislauf-führung, bereiten Produktionsabfälle in der Bauindustrie unter stofflichen Gesichtspunkten keine wesentlichen Probleme. Gleiches gilt für Stoffe aus dem Tiefbau, für die bereits seit langem technisch ausgereifte Aufbereitungstechniken und etablierte Verwertungswege bestehen. Erhebliche Schwierigkeiten verursachen demgegenüber Reststoffe aus dem Abbruch von Gebäuden. Neben dem bereits angesprochenen Mengenproblem, steht beim Management dieser Reststoffe insbesondere das Schadstoffproblem an zentraler Stelle. Charakteristisch für Bauabfälle aus dem Hochbau ist dabei die Kontamination großer Mengen unbelasteter Stoffe mit kleinen Mengen von Schadstoffen. Erhebliche Schwierigkeiten beim Wiedereinsatz von Baustoffrecyclaten ergeben sich zudem dadurch, dass beim Abbruch von Gebäuden die entstehenden Abfälle zumeist als heterogenes Stoffgemisch vorliegen, dessen qualitativ hochwertige Verwertung aufgrund von Belastungen durch qualitätsmindernde und umweltgefährdende Stoffe nur sehr eingeschränkt durchführbar ist. Techniken zur Aufbereitung von Baureststoffen sind derzeit nicht in der Lage, aus heterogen zusammengesetzten Abbruchmassen hochwertige Sekundärrohstoffe herzustellen, so dass ein großer Teil dieser Stoffe noch deponiert wird. Abbildung 1 verdeutlicht vereinfacht die Struktur der Stoffkreisläufe im Hochbau.

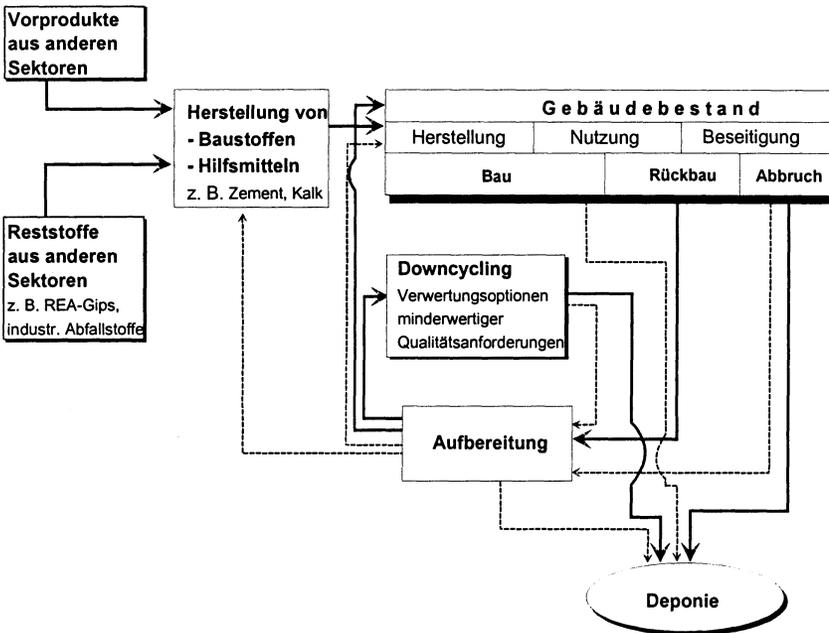


Abbildung 1

Baustoffkreisläufe im Hochbau

Quelle: In Anlehnung an Rentz et al. 1999

3.2 Stoffstromorientierte Gewinnung von Baureststoffen aus dem Hochbau

Zur Beseitigung der Probleme bei der Kreislaufführung von Hochbaurestmassen sollte dem eigentlichen Recycling dieser Stoffe eine Demontage von Gebäuden vorausgehen, bei der Wertstoffe zurückgewonnen und Schad- sowie Störstoffe gezielt von verwertbaren Bestandteilen getrennt werden können. Ein solcher selektiver Gebäuderückbau beinhaltet die partielle oder komplette Zerlegung eines Gebäudes in seine Bestandteile, wobei gut erhaltene Bauteile komplett wieder verwendet und die restlichen Baustoffe einer Aufbereitung zugeführt werden können. Die Zusammensetzung und der Vermischungsgrad der einzelnen Reststoffe lässt sich dabei durch die Demontagetiefe gezielt beeinflussen (Rentz et al. 1998, Schultmann 1998).

Aus produktionswirtschaftlicher Sicht ist die gezielte Beeinflussung der stofflichen Zusammensetzung von Bauabfällen durch Demontage von Bauwerken zunächst dem Fertigungstyp der Baustellenfertigung zuzurechnen, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass das zu fertigende Gut, bzw. in diesem Fall die Gewinnung

von Baureststoffen, fest an einen Ort gebunden ist, so dass sämtliche Produktionsfaktoren an diesen Standort gebracht werden müssen. Während der Gebäuderückbau vom Fertigungstyp her dem Neubau gleicht, sind hinsichtlich der Fertigungsstruktur Unterschiede zu verzeichnen. Im Gegensatz zum Neubau ist der Rückbau insbesondere durch die gegenläufige Produktionsstruktur gekennzeichnet. Bei der Errichtung von Gebäuden handelt es sich um eine konvergente Produktion, bei der aus vielen einzelnen Bauteilen ein Bauwerk entsteht. Demgegenüber liegt beim Gebäuderückbau eine divergente Produktion vor, bei der aus wenigen Teilen, im einfachsten Fall aus einem Gebäude, eine ganze Reihe von Erzeugnissen, in diesem Fall unterschiedliche Reststoffe, entstehen. Darüber hinaus entstehen beim Abbruch von Gebäuden oder der Demontage einzelner Bauteile zwangsläufig mehrere Reststoffarten gleichzeitig, die in der Regel unterschiedlichen Verwertungsoptionen zugeordnet werden müssen. Es handelt sich somit um einen Kuppelproduktionsprozess. Während die gesamte Mengenrelation der hierbei entstehenden Stoffgruppen durch die vorgegebene Bausubstanz des rückzubauenden Gebäudes fest vorgegeben ist, lässt sich der Vermischungsgrad der einzelnen Reststoffe sowohl durch die bereits angesprochene Selektivität bzw. Demontagetiefe als auch durch ablaufplanerische Entscheidungen gezielt beeinflussen. Es handelt sich beim Gebäuderückbau somit um einen flexiblen Kuppelproduktionsprozess.

Während sich zur Demontage- und Recyclingplanung weitgehend standardisierter Serienprodukte wie etwa Autos oder Elektrogeräten Ansätze aus der Produktionsplanung und -steuerung heranziehen lassen (Rautenstrauch, 1997, Spengler, 1994), stellen sich an die Demontageplanung von Bauwerken zusätzliche Anforderungen: Beim Bau von Gebäuden handelt es sich um eine Unikaterfertigung, die wiederum erhebliche Auswirkungen auf die spätere Gebäudedemontage nach sich zieht. Im Gegensatz zu Serienprodukten, bei denen zum Zeitpunkt der Demontage lediglich marginale Änderungen gegenüber der Serienausstattung zu erwarten sind, unterliegen Gebäude aufgrund ihres hohen Lebensalters während der Nutzungsphase einer ganzen Reihe von Veränderungen. Dementsprechend liegen zum Zeitpunkt des Abbruchs die für eine Gebäudedemontage erforderlichen Informationen über den stofflichen Bauwerksaufbau nur unzureichend vor. Im Gegensatz zur Serien- oder Werkstattfertigung erfordern zudem die bei der Baustellenfertigung wechselnden Produktions- bzw. Demontagestandorte und die damit verbundenen Ortswechsel der zur Produktion benötigten Ressourcen projektorientierte Planungsansätze.

Zur Berücksichtigung der aufgezeigten Besonderheiten im Bereich der Baustellenfertigung kann auf ein computergestütztes Hilfsmittel zur operativen Demontage- und Recyclingplanung von Gebäuden zurückgegriffen werden (Schultmann 1998, Schultmann/Rentz 1999). Abbildung 2 verdeutlicht die wesentliche Struktur dieses Systems.

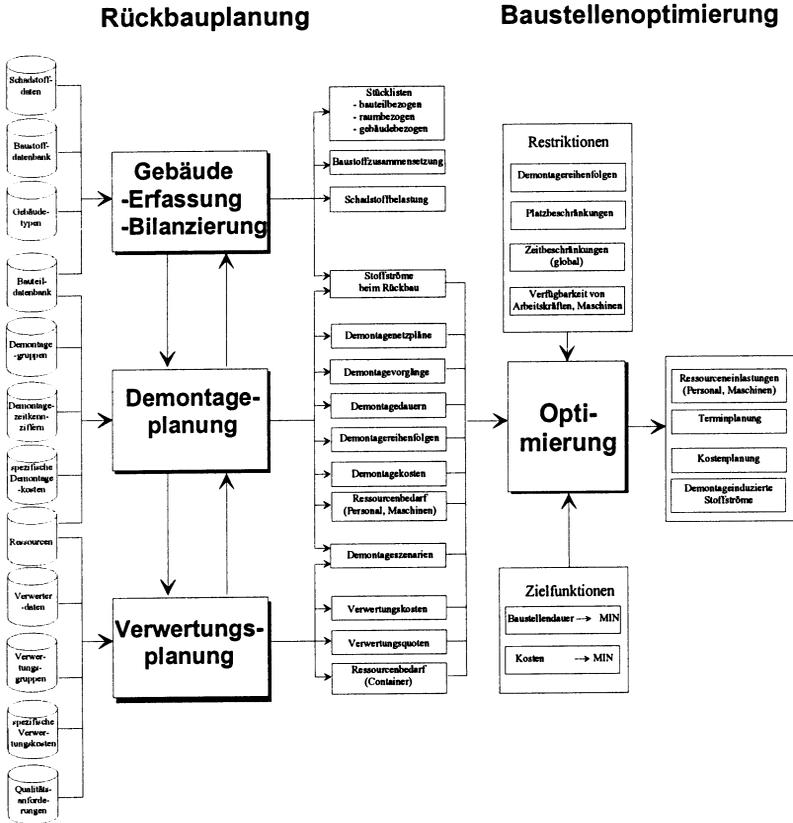


Abbildung 2
Aufbau des Planungssystems

Mit diesem Planungssystem lassen sich insbesondere die Stoffflüsse beim Rückbau von Gebäuden zielgerichtet im Hinblick auf die nachfolgende Baustoffaufbereitung steuern. Von zentraler Bedeutung sowohl für die angesprochenen produktionswirtschaftlichen als auch für die ökologischen Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Anfall von Baureststoffen, ist dabei die Analyse des Aufbaus sowie der stofflichen Zusammensetzung rückzubauender Gebäude. Das Planungssystem bietet hierzu eine fundierte Methodik zur Erhebung von Gebäudedaten im Gebäudebestand. Die Ermittlung der stofflichen Gebäudezusammensetzung kann durch ein systemgestütztes Gebäudeaudit im Vorfeld der Demontageplanung vorgenommen werden. Sind die beim Gebäuderückbau anfallenden Reststoffe hinsichtlich ihrer Menge sowie ihrer stofflichen Zusammensetzung bekannt, lassen sich die im Rahmen der Demontage zu ergreifenden Maßnahmen sowie die zu deren Realisierung erforderlichen Betriebsmittel bestimmen. Zur Beantwortung der dabei auftretenden operativen

Fragestellungen sind insbesondere ökonomische und technische Restriktionen zu berücksichtigen. Das skizzierte Planungssystem kann hierbei wesentliche Hilfestellung liefern. Ausgehend von einer systematischen Erfassung von Bauwerken und der Erstellung von Gebäudestücklisten ist das System in der Lage, eine stoffliche Bewertung bestehender Gebäude vorzunehmen, stoffbezogene Auswirkungen eines Gebäuderückbaus abzubilden, Demontagetechniken technisch und ökonomisch zu bewerten und gleichzeitig wesentliche Parameter zur Verwertungsplanung bereitzustellen. Das System versetzt den Planer somit in die Lage, standortbezogene Konzepte für Rückbaustellen zu erarbeiten und zu optimieren.

Im folgenden Abschnitt wird aufgezeigt, wie sich durch Verknüpfung dieses Systems mit einem geographischen Informationssystem der Aufbau und die Bewertung regionaler Stoffstromnetzwerke im Baubereich unterstützen lässt.

4. Konzeption eines regionalen Stoffstrommanagementsystems

Zum Aufbau regionaler Stoffstromnetzwerke im Baubereich, sind neben den Reststoffanfallstellen zusätzlich Aufbereitungsanlagen sowie Verwertungswege zu berücksichtigen. Diese werden, ebenso wie die Anfallstellen, als Netzwerkknoten modelliert. Die Kanten des Netzwerkes repräsentieren die grundsätzlich möglichen Stoffströme entlang der Prozesskette Reststoffanfall – Aufbereitung – Verwertung. Die Knoten des Netzwerkes bestehen dabei nicht ausschließlich aus Unternehmen. Vielmehr sind weitere Netzknotten, beispielsweise Ressourcenentnahmeknoten, Zwischenlager oder Abfallsenken in Form von Deponien einzubeziehen.

Zur dezentralen Planung und Optimierung der Fertigungsprozesse in den Reststoffanfallstellen lässt sich das im vorangegangenen Abschnitt skizzierte Planungssystem einsetzen. Die Verknüpfung dezentraler Produktionsorte bzw. Baustellen mit Aufbereitungsanlagen sowie Verwertungsoptionen erfolgt dann anschließend auf Basis eines geographischen Informationssystems mit dessen Hilfe auch topologische Informationen, etwa zur Unterstützung der Transportplanung berücksichtigt werden können. Abbildung 3 veranschaulicht die Kombination standortbezogener Baustellen- und regionaler Verwertungsplanung.

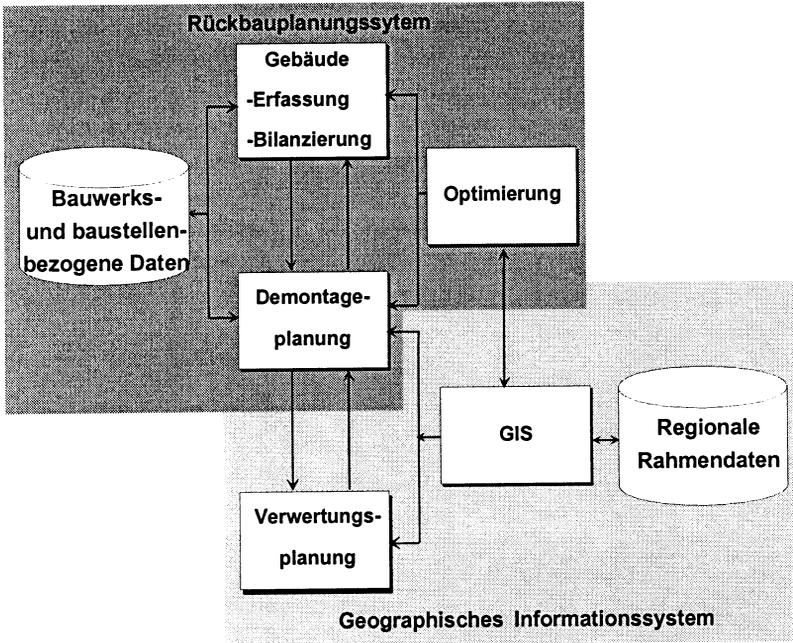


Abbildung 3
Struktur des kombinierten Planungssystems

Die Implementierung des Rückbauplanungssystems erfolgt auf Basis von Microsoft Office; für das geographische Informationssystem wird Geo Concept eingesetzt. Ein Datenaustausch zwischen den Systemen ist über Schnittstellen bei entsprechender Konzeption der relationalen Datenbanken problemlos möglich.

Zur Anwendung des Systems bieten sich regional abgegrenzte Untersuchungsregionen an, für die zunächst regionale Rahmendaten zum Reststoffaufkommen, zu Aufbereitungsanlagen, zu Transportwegen sowie zu Verwertungsoptionen bereitgestellt werden müssen. Abbildung 4 verdeutlicht exemplarisch Standorte von Rohstoffgewinnungs- und Recyclinganlagen für die Region Oberrhein, bestehend aus den Regierungsbezirken Karlsruhe und Freiburg auf deutscher Seite sowie aus den Départements Haut-Rhin und Bas-Rhin auf französischer Seite.

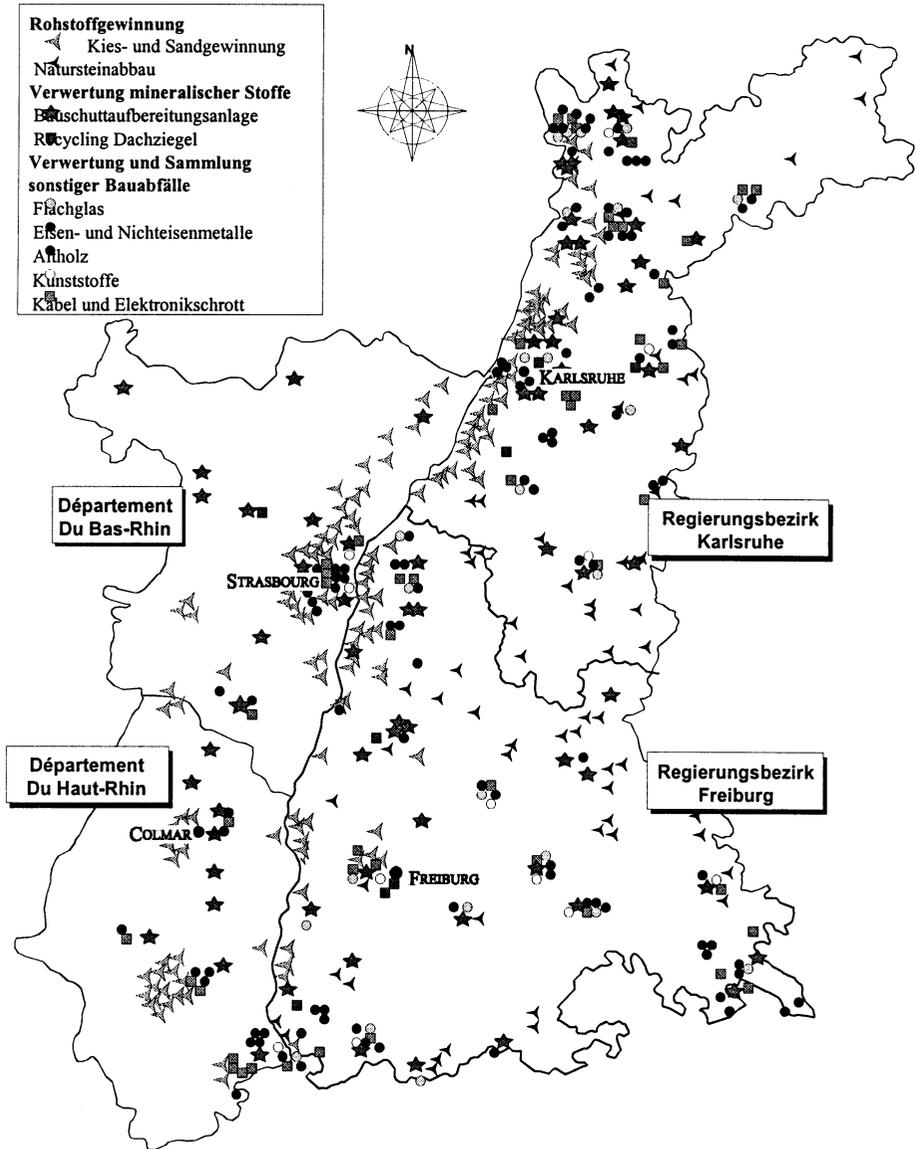


Abbildung 4

Geographische Verteilung von Abbauebenen für mineralische Rohstoffe sowie Verwertungsbetrieben und Sammelstellen für Bauabfälle im Oberrheingraben

Quelle: In Anlehnung an Schultmann 1998, 90.

Da zur Bestimmung des Anteils der aus dem Abriss von Bauwerken resultierenden Bauabfälle am gesamten Bauabfallaufkommen bislang keine amtlichen Statistiken

vorliegen, wurde hierzu eine geeignete Methodik entwickelt. Basierend auf einer Erhebung der stofflichen Zusammensetzung repräsentativer Gebäude und einer Klassifizierung des Gebäudebestandes lässt sich das Aufkommen und die Zusammensetzung von Baureststoffen aus dem Abbruch von Gebäuden in einer Untersuchungsregion bestimmen. Abbildung 5 verdeutlicht das sich auf diese Weise ergebende jährliche Baurestoffaufkommen aus Wohngebäuden für die Region Oberrhein.

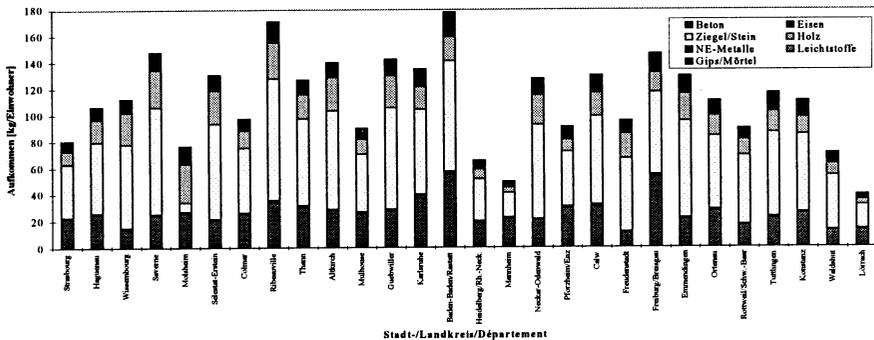


Abbildung 5

Jährliches Aufkommen und Zusammensetzung von Baureststoffen aus dem Abbruch von Wohngebäuden im Oberrheingraben

Quelle: Daten aus Rentz et al. 1994, 112, Rentz et al. 1996

Dem geographischen Informationssystem kommt dabei in diesem Zusammenhang zunächst die Aufgabe zu, die in den Datenbanken abgelegten Stoffströme zwischen einzelnen Anfallstellen (Quellen) und Senken auch in einem realräumlichen Zusammenhang darzustellen. Einen ersten Einblick in die Anwendungsbereiche des geographischen Informationssystems vermittelt Abbildung 6, in der exemplarisch das Aufkommen an Betonaufbruch für ausgewählte Städte der Départements Haut-Rhin und Bas-Rhin dargestellt ist. Zur Planung der einzuschlagenden Verwertungswege für die anfallenden Bauabfälle, sind die im regionalen Umfeld zur Verfügung stehenden Verwertungsoptionen hinsichtlich der Qualitätsanforderungen, die an die aufzunehmenden Stoffe gestellt werden, zu bewerten. Wie Abbildung 7 veranschaulicht, lässt sich mit Hilfe des geographischen Informationssystems hierzu eine Spezifikation der in der Untersuchungsregion ansässigen Verwertungsunternehmen unterstützen. Der Einsatz eines geographischen Informationssystems ermöglicht zudem beispielsweise eine Quantifizierung der mit dem Transport von Stoffen verbundenen ökonomischen und ökologischen Auswirkungen.

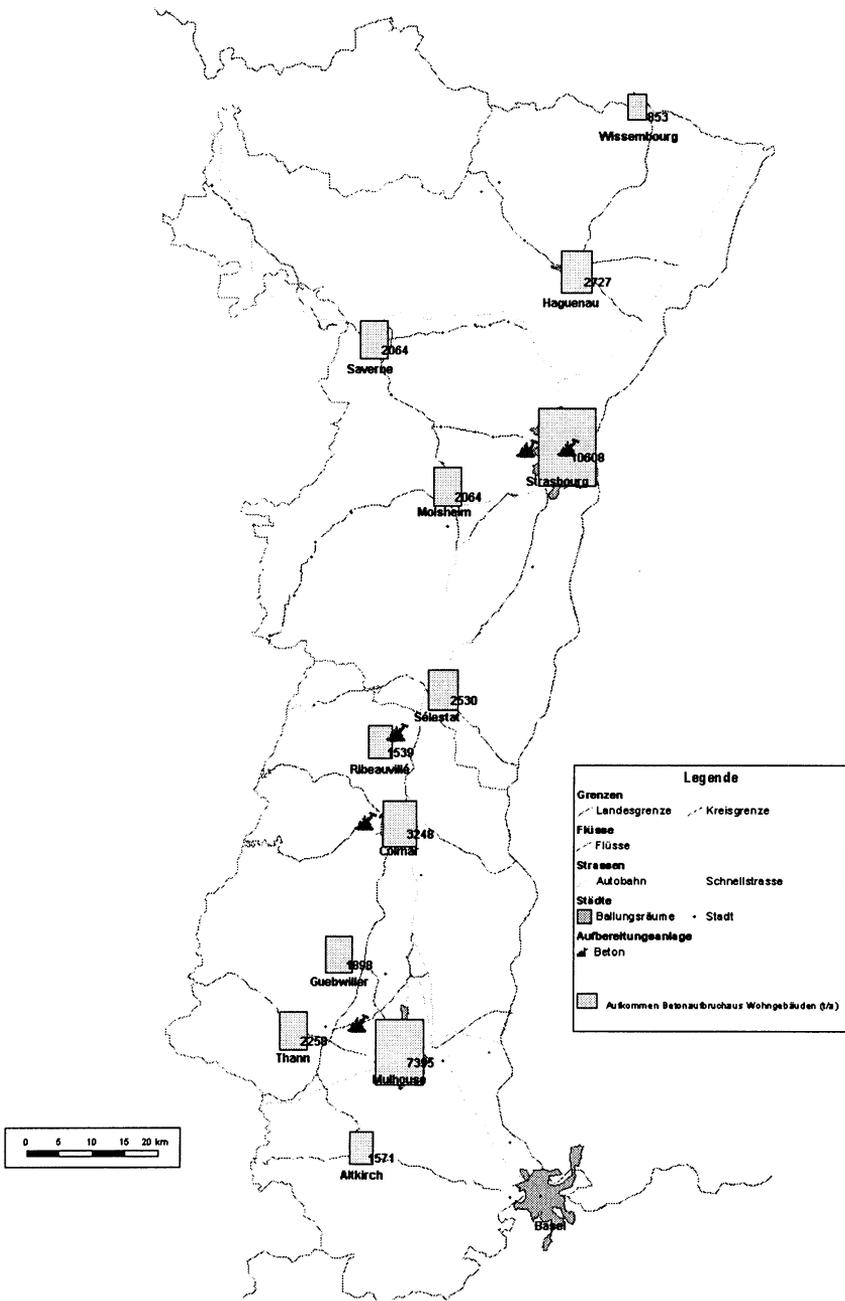


Abbildung 6
Regionales Aufkommen an Betonaufbruch aus dem Abbruch von Wohngebäuden

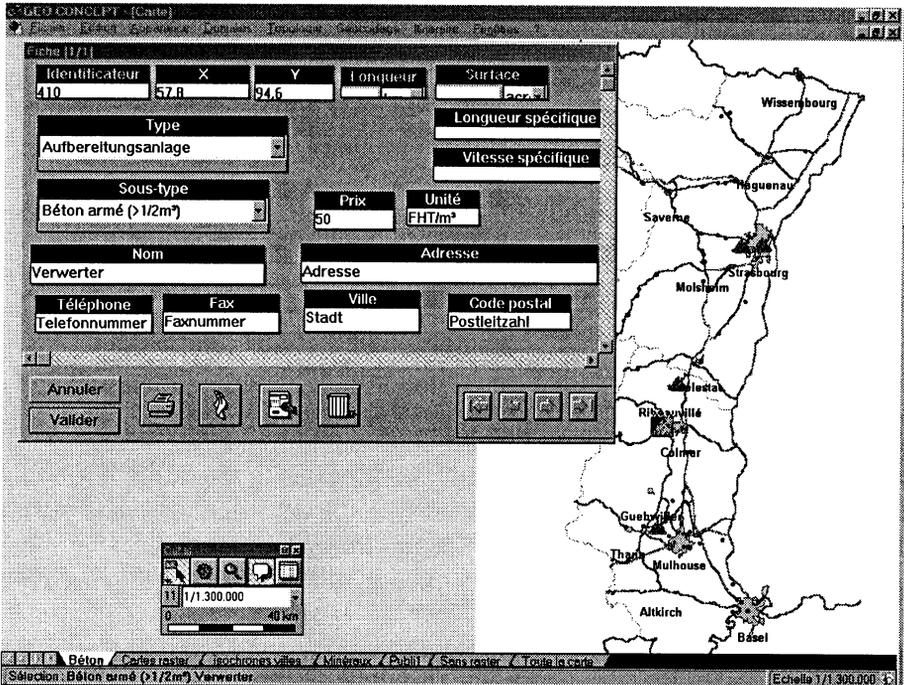


Abbildung 7
Spezifikation von Verwertungsbetrieben

5. Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde gezeigt, wie durch Verknüpfung eines dezentralen, standortbezogenen Stoffstrommanagementsystems mit einem geographischen Informationssystem Stoffstromnetzwerke für Baurestoffe geplant und bewertet werden können. Damit steht ein System zur Verfügung, mit dem Baustoffe in einer Planungsregion zielgerichtet geeigneten Aufbereitungs- und Verwertungsoptionen zugeordnet werden können. Mit dem vorgestellten Ansatz ist eine durchgängige Planung und Bewertung regionaler Recyclingkonzepte unter Einbeziehung techno-ökonomischer sowie raumbezogener Informationen möglich. Künftig ist die Anwendung des Systems in verschiedenen Untersuchungsregionen in Deutschland und Frankreich geplant.

Literaturverzeichnis

- Christensen, J. (1998): Die industrielle Symbiose in Kalundborg: Ein frühes Beispiel eines Recycling-Netzwerkes, in: Strebel, H., Schwarz, E.: Kreislaufforientierte Unternehmenskooperation: Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetzwerke, S. 323-337, Wien
- Dodo zu Knyphausen-Aufseß (1998): Theoretische Perspektiven der Entwicklung von Regionalnetzwerken, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Heft 5/6, S. 593-616
- Pfohl, H.-Chr., Häusler, P., Müller, K. (1998): Logistikmanagement kleiner und mittlerer Unternehmen in wandelbaren regionalen Produktionsnetzwerken, in: Industriemanagement, Heft 6, S. 29-33
- Rautenstrauch, C. (1997): Fachkonzept für ein integriertes Produktions-, Recyclingplanungs- und Steuerungssystem (PRPS), de Gruyter Verlag, Berlin, New York
- Rentz, O., Nicolai, M., Ruch, M., Spengler, T., Hamidovic, J., Schultmann, F., Valdivia, S. (1994): Strategien zum selektiven Rückbau und Recycling von Wohngebäuden im Oberrheingraben (Baden-Elsass), Forschungsbericht des Deutsch-Französischen Instituts für Umweltforschung (unveröffentlicht), Universität Karlsruhe (TH)
- Rentz, O., Ruch, M., Schultmann, F., Sindt, V., Zundel, T., Charlot-Valdieu, C., Vimond, E. (1998): Selektiver Gebäuderückbau und konventioneller Abbruch - Technisch-wirtschaftliche Analyse eines Pilotprojektes, Ecomed Verlag, Landsberg
- Rentz, O., Schultmann, F., Ruch, M., Sindt, V. (1996): Selektiver Rückbau von Gebäuden als Beitrag zur Ressourcenschonung, in: Scherhorn, G., et al. (Hrsg.): Ressourcenschutz und ökologische Steuerreform, 28. Hohenheimer Umwelttagung, 26.1.1996, S. 101-114
- Schultmann, F. (1998): Kreislauflführung von Baustoffen – Stoffflussbasiertes Projektmanagement für die operative Demontage- und Recyclingplanung von Gebäuden, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Schultmann, F., Rentz, O. (1999): Kombinierte Methoden von Rückbautechnologien, Stoffstrommanagement und Ablaufplanung, in: Brickwedde, F. (Hrsg.): Stoffstrommanagement – Herausforderung für eine nachhaltige Entwicklung, Steinbacher, Osnabrück
- Schwarz, E. (1994): Unternehmensnetzwerke im Recyclingbereich, Deutscher Universitäts Verlag, Wiesbaden
- Spengler, T. (1994): Industrielle Demontage- und Recyclingkonzepte, Erich-Schmidt Verlag, Berlin
- Spengler, T. (1998): Industrielles Stoffstrommanagement, Erich-Schmidt Verlag, Berlin
- Stehling, F. (1999): Ökonomische Instrumente der Umweltpolitik zur Reduzierung stofflicher Emissionen, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart
- Sterr, T. (1997): Potentiale zwischenbetrieblicher Stoffkreislaufwirtschaft bei kleinen und mittelständischen Unternehmen, in: Umweltwirtschaftsforum, Heft 2, S. 68-72
- Strebel, H. (1995): Verwertungsnetze in und zwischen Unternehmen: Ein Problem betrieblichen Lernens, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 3/95, S. 113-126