Systemische Analyse von Mensch-Umweltsystemen

Materialflüsse, Entscheidungsprozesse und

Nachhaltigkeitspotentiale in der regionalen Abfallwirtschaft[1]

Daniel J. Lang und Roland W. Scholz

Institut für Mensch-Umwelt Systeme
Professur für Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, ETH Zürich

Systemic Analysis of Human-Environment Systems
Material flows, decision processes and sustainability potentials
of regional waste management

Abstract

It is commonly agreed that waste management in total as well as individual waste management systems should contribute to sustainable development. Nevertheless it is not finally clear what sustainable waste management really means and how the goals of a sustainable waste management can be implemented in our society. In this paper we present some insights how systemic analysis and a decision-theoretical conceptualization of human-environment systems can support decision processes for moving waste management systems in a more sustainable direction. Therefore we first outline some conceptual considerations and then shortly present three systemic analyses of regional waste management systems.

Abstract deutsch

Es ist weithin anerkannt, dass die *Abfallwirtschaft als Ganzes* sowie einzelne Abfallwirtschaftssysteme einen Beitrag zu einer Nachhaltigen Entwicklung leisten sollten. Wie eine nachhaltige Abfallwirtschaft aber genau gestaltet sein müsste und wie die Ziele einer nachhaltigen Abfallwirtschaft in unserer Gesellschaft implementiert werden können, ist jedoch noch nicht vollumfänglich geklärt. In diesem Beitrag geben wir einige Einblicke, wie Entscheidungsprozesse durch systemische Analysen und eine entscheidungstheoretische Konzeptualisierung von Mensch-Umweltsystemen unterstützt werden können, um Abfallwirtschafssysteme in eine nachhaltigere Richtung zu lenken. Hierzu skizzieren wir zunächst einige konzeptuelle Grundüberlegungen und stellen im Anschluss daran kurz drei systemische Analysen von regionalen Abfallwirtschaftssystemen vor.

Keywords

Entscheidungsunterstützung, systemische Analysen, regionale Abfallwirtschaftssysteme, qualitative Systemanalyse, Material- und Geldflussanalysen, Nachhaltigkeitspotentialanalyse

---

[1] Die Autoren des Beitrags möchten sich an dieser Stelle herzlich beim Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes bedanken.

1 Einleitung und Motivation

1.1 Die Vision einer nachhaltigen Abfallwirtschaft

Seit einigen Jahren befindet sich die Abfallwirtschaft in der Schweiz, wie in den meisten Ländern Westeuropas, in einem fundamentalen Wandlungsprozess (LANG ET AL., 2005). Nachdem das Bewirtschaften von Abfällen über lange Zeit hinweg als losgelöstes, technisches „End-of-pipe" Problem angesehen wurde (GODDARD, 1995), ist vermehrt ein Wandel hin zu einem umfassenden Stoff- und Ressourcenmanagement zu erkennen (BRUNNER, 2004; NEUKIRCHEN, 2003). In diesem Zusammenhang wird sowohl auf wissenschaftlicher als auch auf politischer Ebene das Konzept einer nachhaltigen Abfallwirtschaft (vgl. bspw. BARR, 2004; PRICE & JOSEPH, 2000) bzw. der Abfallwirtschaft als einem zentralen Element einer nachhaltigen Ressourcennutzung (vgl. bspw. KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT, 2005) diskutiert[2]. Auch wenn es weithin akzeptiert ist, dass die Abfallwirtschaft als ganzes sowie einzelne abfallwirtschaftliche Systeme einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten sollten, ist bisher weder vollumfänglich geklärt wie eine nachhaltige Abfallwirtschaft gestaltet sein müsste (TJELL, 2003), noch wie die Ziele einer nachhaltigen Abfallwirtschaft in unserer Gesellschaft implementiert werden können.

Die Abfallwirtschaftshierarchie, welche sich als Grundlage der Abfallbewirtschaftung in zahlreichen Ländern Europas etabliert hat, hat sicherlich dazu beigetragen, die Abfallwirtschaft in eine nachhaltigere Richtung zu lenken. Ein integriertes Abfall- bzw. Ressourcenmanagement, das zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen soll, muss jedoch über die Anwendung einer einfachen Hierarchie hinausgehen. Es sollten vielmehr jeweils verschiedene Alternativen systematisch untersucht werden, um die Abfälle der Nutzung zuzuführen, welche unter ökologischen sowie unter ressourcenökonomischen Gesichtspunkten die Sinnvollste ist (CLIFT ET AL., 2000).

Bei Entscheidungsprozessen wurde in der Vergangenheit den ökonomischen und vor allem auch den sozialen Aspekte, welche bei der regionalen Abfallbewirtschaftung eine Rolle spielen, häufig zu wenig Beachtung geschenkt. Diese Aspekte gewinnen jedoch zunehmend an Bedeutung für die Implementierung von Abfall- und Ressourcenbewirtschaftungssystemen (GODDARD, 1995; JOOS ET AL., 1999). Entscheidungsfindungsprozesse in der regionalen Abfallwirtschaft sollten daher auf umfassenden Überlegungen beruhen, welche verschiedene Perspektiven berücksichtigen. Dies ist sinnvoll, weil „Interventionen in sozioökonomische Metabolismen

[2] So standen beispielsweise auch die Abfallforschungstage 2004 unter dem Titel „ Auf dem Weg in eine nachhaltige Abfallwirtschaft" (KÜHLE-WEIDMEIER, 2004)

generell als Aufgabe von [verschiedenen] ökonomischen und politischen Akteuren [...] und als ein umfassender Ansatz zu einer ökonomischen, technologischen und sozialen Transformation angesehen werden“ (FISCHER-KOWALSKI & HÜTTLER, 1999; Übersetzung durch die Autoren).

In diesem Beitrag möchten wir aufzeigen, wie ein umfassender systemischer Analyseansatz einen Beitrag zur Entscheidungsfindung leisten kann, um Abfallwirtschafts- bzw. Ressourcenbewirtschaftungssysteme in eine nachhaltigere Richtung zu lenken. Hierzu gehen wir zunächst auf den Nutzen einer systemischen Analyse als Ansatz zur Entscheidungsunterstützung in der Abfallwirtschaft ein. Im Anschluss daran stellen wir ein entscheidungstheoretisches Konzept zum Verständnis von Mensch-Umweltsystemen vor, das hilft Entscheidungsfindungsprozesse zu verstehen und gezielt zu unterstützen. Am Ende des Beitrags zeigen wir an drei Beispielen auf, wie konkrete systemische Analysen Entscheidungen in regionalen Abfallwirtschaftssystemen unterstützen können.

2 Systemische Analyse zur Entscheidungsunterstützung in der Abfallwirtschaft

2.1 Die Abfallwirtschaft als Teil der gesamten Volkswirtschaft

Bereits im Jahr 1986 wurde im Abfallleitbild der Schweiz gefordert, dass die Abfallwirtschaft als ein integraler Teil der gesamten Volkswirtschaft verstanden werden sollte (EIDGENÖSSISCHE KOMMISSION FÜR ABFALLWIRTSCHAFT, 1986).

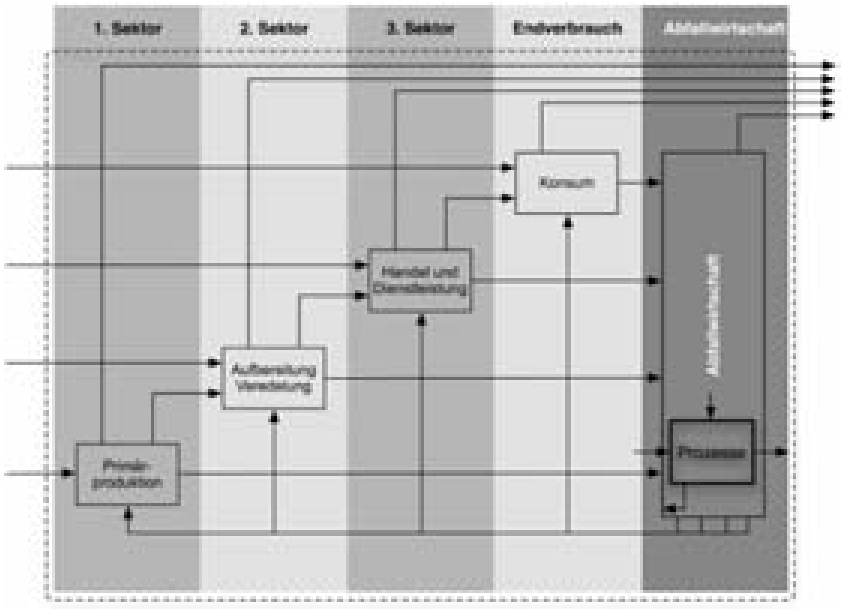

Abbildung 1 Die Abfallwirtschaft als Teil der gesamten Volkswirtschaft (leicht abgewandelt nach BRUNNER, 2004)

Abbildung 1 veranschaulicht drei wichtige Implikationen von einem derartigen Verständnis der Abfallwirtschaft:

- Alle Prozesse der Volkswirtschaft verursachen „Inputs“ in die Abfallwirtschaft. Diese Inputs haben bestimmte physikalisch/chemische Eigenschaften, welche die möglichen Optionen für deren Verwertung oder Entsorgung festlegen. Welche der möglichen Verwertungs- oder Entsorgungsoptionen aber letztlich gewählt wird, ist das Resultat eines komplexen Entscheidungsprozesses der von verschiedenen anthropogenen Einflussfaktoren bestimmt wird. Beispiele für derartige Einflussfaktoren sind etwa die Kosten der verschiedenen Optionen, das Umweltbewusstsein der Produzenten oder die vorhandenen Informationen über die sozialen Implikationen der verschiedenen Optionen.
- Die „Outputs“ von abfallwirtschaftlichen Prozessen können potentielle Inputs für verschiedenste ökonomische Prozesse sein. Ob Stoffe oder Güter wiederverwertet werden, hängt zum Teil von deren physikalischen und chemischen Eigenschaften ab. Auch in diesem Fall spielen jedoch zusätzliche Faktoren eine wichtige Rolle, wie beispielsweise die Rentabilität oder die soziale Akzeptanz von Sekundärrohstoffen.
- Die Abfallwirtschaft setzt sich aus verschiedenen Abfallwirtschaftssystemen zusammen, die als Transformationsprozesse, an der Grenze zwischen der Anthroposphäre und der Umwelt verstanden werden können (BRUNNER & RECHBERGER, 2004). Die Ausgestaltung dieser Prozesse hat einen essentiellen Einfluss auf die Schonung von Ressourcen sowie auf die Belastung der Umwelt. Die Bewertung dieser Prozesse im Hinblick auf eine Nachhaltige Entwicklung ist jedoch komplex, da beispielsweise (i) unterschiedliche Auswirklungen, wie Luftverunreinigungen und Ressourcenrückgewinnung, häufig schwer miteinander vergleichbar sind, und (ii) Effekte auf die Umwelt oder den Menschen häufig verzögert auftreten.

Diese Aspekte zeigen die Komplexität einer umfassenden Herangehensweise an die Abfallwirtschaft auf und verdeutlichen, dass es notwendig ist das Gesamtsystem und dessen Wechselwirkungen mit anderen Systemen zu verstehen.

2.2 Methodische Ansätze

In den letzten Jahren haben sich systemische natur- und ingenieurwissenschaftliche Ansätze als sehr hilfreiche Methoden zur Entscheidungsunterstützung in der Abfallwirtschaft sowie generell im Ressourcenmanagement erwiesen. Als systemische Ansätze bezeichnen wir hierbei Ansätze, welche versuchen die relevanten Elemente eines Systems sowie deren interne und externe Wechselwirkungen umfassend zu ver-

stehen. Eines der bekanntesten Beispiele ist die Materialflussanalyse (vgl. bspw. BACCINI & BADER, 1996; BRUNNER & RECHBERGER, 2004). Diese wurde bereits zur Untersuchung verschiedener Fragestellungen in der Abfallwirtschaft, wie beispielsweise dem Langzeitverhalten von Deponien (BACCINI ET AL., 1992) oder der Nutzbarkeit von Abfällen als Rohstoffen (ALLEN, 2001), erfolgreich angewendet. Eine weitere anerkannte Methode ist die Ökobilanzierung, die in der Abfallwirtschaft ebenfalls in verschiedenen Bereichen, wie der Bewertung von Deponien (HELLWEG ET AL., 2005) oder von regionalen Abfallbewirtschaftungsszenarien (ERIKSSON ET AL., 2005), eingesetzt wurde.

Wie in der Einleitung erwähnt, reichen diese rein natur- und ingenieurwissenschaftliche Betrachtungsweisen jedoch nicht aus, um eine nachhaltige Abfallwirtschaft bzw. ein nachhaltiges Ressourcenmanagement zu verwirklichen. Hierfür müssen häufig zusätzliche Informationen, wie sozioökonomische Aspekte, mitberücksichtigt werden (BRUNNER & RECHBERGER, 2004). Neuere Ansätze versuchen daher vermehrt, die natur- und ingenieurwissenschaftliche Methoden mit ökonomischen Ansätzen sowie mit weitern sozialwissenschaftlichen Ansätzen zu kombinieren. Carlsson Reich (2005) hat beispielsweise, parallel zu einer Ökobilanz von verschiedenen regionalen Abfallwirtschaftsszenarien in Schweden, eine „Lebenszyklus Kostenanalyse“ (Lifecycle Cycle Costing) dieser Szenarien durchgeführt. Hierbei wurden, analog zu den Umweltauswirkungen bei der Ökobilanz, alle Kosten berechnet, die zur Bereitstellung einer funktionellen Einheit notwendig sind. Durch die Kombination von Ökobilanz und der Lebenszyklus Kostenanalyse wurde eine umfassendere Bewertung der verschiedenen Szenarien möglich.

Kombinationen von systemischen Methoden verschiedener Disziplinen sind viel versprechende Ansatzpunkte für die Unterstützung von Entscheidungsprozessen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung. Sie helfen, ein System aus verschiedenen Blickwinkeln zu verstehen und unterschiedliche Aspekte in die Entscheidung einzubeziehen. Das Feld der kombinierten bzw. integrativen systemischen Methoden ist jedoch noch relativ jung und muss weiterentwickelt werde. Ein weiterer Schwachpunkt dieser Ansätze besteht darin, dass häufig nicht abschließend geklärt ist, wie die Informationen, welche durch die Anwendung dieser Methoden gewonnen werden, effizient in den Entscheidungsprozess einfließen können. Aus diesem Grund stellen wir im nächsten Kapitel einen entscheidungstheoretischen Zugang zum Verständnis von Mensch-Umweltsystemen vor, bevor wir im Anschluss daran kurz auf drei konkrete praktische Anwendungen von systemischen Analysen zur Entscheidungsfindung in der regionalen Abfallwirtschaft eingehen.

3 Ein entscheidungstheoretischer Zugang zum Verständnis von Mensch-Umweltsystemen

Für das effektive und effiziente Unterstützen von Entscheidungen ist ein Verständnis darüber, wie Entscheidungen getroffen werden, essentiell. Ohne ein derartiges Verständnis bleibt unklar, welche Informationen wann in diesen Prozessen benötigt werden, bzw. wie vorhandenen Informationen gezielt in die Prozesse einfliesen können.

Abfallwirtschafts- und Ressourcenbewirtschaftungssyteme können generell als Mensch-Umweltsysteme angesehen werden, bei welchen Wechselwirkungen zwischen menschlichen Entscheidungen und verschiedenen Umweltsystemen stattfinden. Scholz und Binder (2003, 2004) haben zum besseren Verständnis derartiger Systeme eine entscheidungstheoretische Konzeptualisierung von Mensch-Umweltinteraktionen entwickelt, das so genannte Prozess-Struktur Modell (vgl. Abbildung 2).

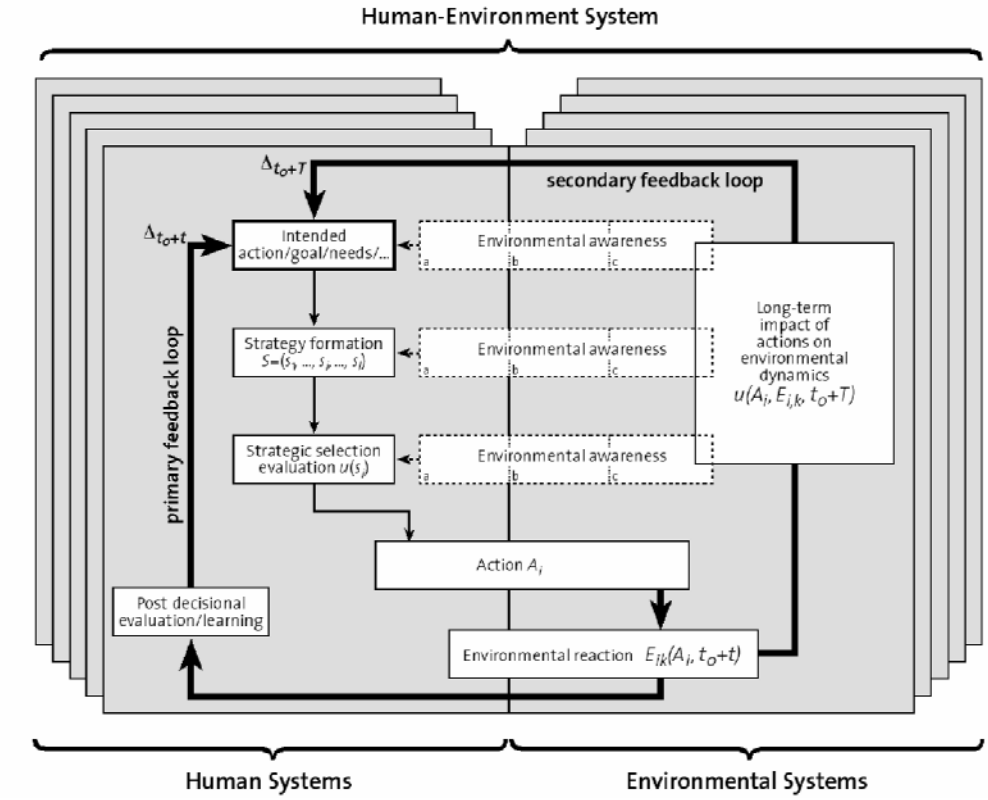

Abbildung 2 Das Prozess-Strukturmodell, welches einen entscheidungstheoretischen Zugang zum Verständnis von Mensch-Umweltsystemen ermöglicht. Die deutschen Übersetzungen der Begriffe finden sich im Text. (Quelle: SCHOLZ & BINDER, 2004)

Diesem Modell liegen die folgenden sechs Grundannahmen zu Grunde:

1. Human- und Umweltsysteme werden als zwei unterschiedliche, komplementäre und in Wechselbeziehung stehende Systeme verstanden. Hierbei sind menschliche Handlungen und direkte Umweltreaktionen Teil von beiden Systemen.

2. Es wird eine Hierarchie von Humansystemen (vom Individuum bis zur Gesellschaft) und zugehörigen Umweltsystemen betrachtet.
3. Menschliches Verhalten wird auf der Basis einer entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung von Humansystemen verstanden und analysiert.
4. Das Umweltbewusstsein wird bei jedem Schritt der entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung der Humansysteme berücksichtigt.
5. Es werden primäre und sekundäre Rückkoppelungen als Konsequenzen von menschlichen Handlungen unterschieden.
6. Eine „State of the Art“ Modell der betroffenen Umweltsysteme, einschließlich ihrer Langzeitdynamiken, stellt die Grundlage jeder Analyse dar.

Eine umfassende Beschreibung des Prozess-Struktur Modells würde den Umfang dieses Beitrags sprengen. Daher möchten wir lediglich auf die Konzeptualisierung von Entscheidungsprozessen in Humansystemen eingehen, welche zur gezielten Unterstützung von Entscheidungsprozessen genutzt werden kann.

Ein Entscheidungsprozess geht nach dem Prozess-Struktur Modell von intendierten Handlungen, Zielen oder Bedürfnissen eines Humansystems aus, welche die normative Grundlage des Prozesses darstellen. In der Praxis werden diese Ziele häufig intuitiv formuliert oder ergeben sich aus gegenwärtig drängenden Problemen. Im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung sollten diese Ziele jedoch auf einem umfassenden Systemverständnis beruhen, welches die relevanten Handlungsfelder offen legt und hilft, unerwünschte Nebeneffekte zu verhindern. Der zweite Schritt des Entscheidungsprozesses ist die Entwicklung von Strategien. Die entwickelten Strategien sollten den Entscheidungsträgern ein möglichst breites Spektrum an möglichen strategischen Optionen aufzeigen. Der dritte Schritt des Prozesses ist die Auswahl der wünschenswertesten Strategie, was eine Bewertung der Strategieoptionen im Hinblick auf die formulierten Ziele erfordert. Da die Entscheidungsfindung im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung als eine fortlaufende Neubestimmung verstanden werden kann, beinhaltet das Struktur-Prozess Modell auch Evaluations- und Lernschritte. Hierbei werden die direkten Konsequenzen von menschlichen Handlungen mit den Zielen verglichen, um zukünftige Entscheidungsprozesse zu optimieren.

Im folgenden Kapitel möchten wir anhand von drei Beispielen aufzeigen, wie umfassende systemische Analysen Entscheidungsprozesse in der regionalen Abfallwirtschaft gezielt unterstützen können. Diese Analysen wurden als Teil eines Kooperationsprojektes zwischen dem Lehrstuhl für Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften der ETH Zürich und dem Amt für Abfall, Wasser, Luft und Energie (AWEL) des Kantons Zürich durchgeführt.

4 Beispiele von systemischen Analysen regionaler Abfallwirtschaftssysteme

4.1 Kombination von Materialflussanalyse und semiquantitativer Systemanalyse[3]

4.1.1 Idee des Ansatzes

Als Grundlage von Entscheidungsfindungsprozessen sowie zur gezielten Formulierung von Zielen ist ein umfassendes Verständnis des betrachteten Systems hilfreich.

Wie bereits erwähnt erlaubt die Materialflussanalyse einen guten Zugang zum Verständnis der physischen Vorgänge innerhalb von Abfallwirtschaftssystemen. Die Kenntnis der physischen Flüsse in einem System liefert jedoch keine Aussage darüber, weshalb die Flüsse in der gegenwärtigen Art gestaltet sind und durch welche Faktoren diese Flüsse beeinflusst werden bzw. wurden. Die Kombination von Materialflussanalysen mit einer semiquantitativen Systemanalyse erlaubt es, ein vertieftes Verständnis über ein Abfallwirtschaftssystem zu gewinnen. Die semiquantitative Systemanalyse umfasst dabei eine strukturierte Identifikation der sozioökonomischen Faktoren, welche die Materialflüsse beeinflussen, sowie eine Analyse der systemischen Wechselwirkungen dieser Faktoren (vgl. bspw. SCHOLZ & TIETJE, 2002).

4.1.2 Beispiel einer konkreten Anwendung

Im Kanton Zürich wurde mit Hilfe einer Kombination aus Materialflussanalyse und semiquantitativer Systemanalyse untersucht, welche Parameter und Mechanismen die Anlieferung von Grüngut zu zentralen Verwertungsanlagen beeinflussen. Die Studie hat gezeigt, dass Einflussfaktoren aus den folgenden vier Kategorien die beobachteten Materialflussentwicklungen beeinflusst haben: physikalische Stoffflusscharakteristika, Beteiligte, ‚treibende Kräfte' sowie technologische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen. Durch eine detaillierte Analyse der Bedeutung dieser Faktoren für das System sowie der Wechselwirkungen zwischen den Faktoren, konnten zudem vier wichtige Aspekte herausgearbeitet werden, welche eine zentrale Rolle für die Materialflussentwicklungen gespielt haben: (i) die verantwortlichen Behörden haben einen flexiblen Rahmen geschaffen, der die Entwicklungen förderte, (ii) es gab einen kreativen und finanzkräftigen Innovator der diesen Rahmen nutzte, (iii) die separate Verwertung von Grüngut war innerhalb des Beobachtungszeitraums günstiger als die Verbrennung von Grüngut, und (iv) die technologischen Rahmenbedingungen waren förderlich für die

[3] Eine detaillierte Beschreibung dieser Analyse findet sich in (LANG ET AL., in press-a)

Entwicklungen. Diese Erkenntnisse erlauben es zum einen, zukünftige Zielsetzungen für die Grüngutverwertung im Kanton Zürich zu formulieren und diese gezielt umzusetzen. Zum anderen lassen sie Rückschlüsse auf Entscheidungssituationen in anderen Abfallwirtschaftssystemen zu.

4.2 Branchenanalyse von regionalen Recyclingmaßnahmen[4]

4.2.1 Idee des Ansatzes

Häufig gibt es nicht den „Königsweg“ zum Erreichen eines bestimmten Ziels. In derartigen Situationen bieten Informationen über verschiedene Handlungsoptionen und deren potentielle Auswirkungen eine gute Grundlage für gezielte Handlungen. Innerhalb der entscheidungstheoretischen Konzeptualisierung des Prozess-Struktur Modells unterstützen diese Informationen die Entwicklung von Strategien und liefern einen relevanten Input für die Bewertung dieser Strategien.

Eine Branchenanalyse, basierend auf Material- und Geldflussanalysen, kann dazu dienen, die gegenwärtige ökonomische Situation von Recyclingmaßnahmen zu verstehen, sowie Verbesserungspotentiale aufzuzeigen. Die durchgeführte Branchenanalyse besteht aus einer Kombination von: (i) Material- und Geldflussanalyse, (ii) Rentabilitäts- und Wettbewerbsanalyse, (iii) Befragung der Konsumenten der Transformationsprodukte aus den Recyclingprozessen, und (iv) Formulierung von Verbesserungsstrategien und deren Auswirkungen auf die Material- und Geldflüsse.

4.2.2 Beispiel einer konkreten Anwendung

Auch in diesem Fall wurde die Grüngutverwertung des Kantons Zürich untersucht, wobei ein Hauptaugenmerk auf den Absatzmarkt der festen Transformationsprodukte (Kompost und Gärgut) gelegt wurde. Die Material- und Geldflussanalysen haben gezeigt, dass in der Vergangenheit der Absatzmarkt im Hinblick auf die Einnahmen der Branche vernachlässigt wurde. Zudem verdeutlichten die Rentabilitäts- und Wettbewerbsanalysen, dass die ökonomische Situation der Branche eher kritisch war, da die Verbrennungspreise in den letzten Jahren erheblich abgenommen hatten und die Branche keine großen Gewinne erwirtschaftete. Basierend auf diesen Analysen und der Befragung der Hauptkonsumentengruppen von Kompost und Gärgut (Landwirtschaft und Gartenbau) konnten vier Strategien zur Verbesserung dieser Situation entwickelt werden: (i) zusätzliches Marketing für die Transformationsprodukte, (ii) gezielte Diversifikation der Transformationsprodukte (v.a. im Hinblick auf die Bedürfnisse des Gartenbaus), (iii) Festlegen von höheren Verkaufspreisen für Energie, die aus Biogas produ-

[4] Eine detaillierte Beschreibung dieser Analyse findet sich in (LANG *et al.*, in press-b)