

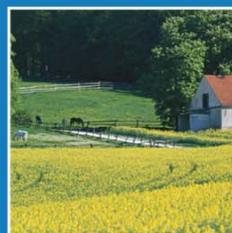
Thomas Hanke
Ole Soukup
Peter Viebahn
Manfred Fishedick

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Übertragbarkeit des Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells auf andere Bedarfsfelder

Arbeitsschritt 6.2

Paper zu Arbeitspaket 6 des Projekts
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)



Wuppertal, Dezember 2010

ISSN 1867-0237

Kontakt zu den Autor(inn)en:

Ole Soukup

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel.: +49 (0) 202 2492 -285, Fax: -198

Mail: ole.soukup@wupperinst.org

*„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“
(MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA*

Projektlaufzeit: 07/2007 – 12/2010

Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

Mail: kora.kristof@wupperinst.org

peter.hennicke@wupperinst.org

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

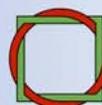
Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

finden Sie unter www.ressourcen.wupperinst.org

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung
liegt bei den Autor(inn)en.



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Wuppertal Institut
in Kooperation mit

BASF
Borderstep
CSCP
Daimler
demea – VDI / VDE-IT
ECN
EFA NRW
FhG IAO
FhG UMSICHT
FU Berlin
GoYa!
GWS
Hochschule Pforzheim
IFEU
Institut für Verbraucherjournalismus
IÖW
IZT
MediaCompany
Ökopol
RWTH Aachen
SRH Hochschule Calw
Stiftung Warentest
ThyssenKrupp
Trifolium
TU Berlin
TU Darmstadt
TU Dresden
Universität Kassel
Universität Lüneburg
ZEW



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

**Umwelt
Bundes
Amt** 
Für Mensch und Umwelt

„Übertragbarkeit des Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells auf andere Bedarfsefelder“

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Auswahl umweltrelevanter Bedarfsefelder des privaten Konsums	3
3	Das MaRes-Modellkonzept im Bedarfsefeld „Warmer Wohnraum“	5
3.1	Exkurs: Die systematische Analyse von Wirkungen innerhalb eines Systems	5
3.2	Modellaufbau des MaRes Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells	7
4	Analyse der Übertragbarkeit des Modellkonzeptes auf die Bedarfsefelder „Mobilität“ und „Ernährung“	10
4.1	Bedingungen	10
4.1.1	Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen	10
4.1.2	Verfügbarkeit von Technologiemoellen	13
4.1.3	Verfügbarkeit von Lebenszyklusdaten	16
4.1.4	Verfügbarkeit quantifizierbarer Politikinstrumente zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs	19
4.2	Exemplarische Parametrisierung von Bedarfsefeldern	21
5	Fazit	22
6	Literatur	23

Abbildungen

Abb. 1:	Anteile der Bedarfswelder am Globalen Materialaufwand [in 1.000t TMR] - Induzierter direkter und indirekter TMR durch die inländische Produktion für die privaten Haushalte Deutschlands im Jahr 2000	4
Abb. 2:	Beispielsweise Verteilung entstandener Treibhausgasemissionen in den Bereichen Wohnen, Mobilität, Ernährung und privater Konsum (auf Verursacherbereiche) im Jahr 2002	5
Abb. 3:	Modellkonzept am Beispiel des Bedarfsweldes „Warmer Wohnraum“	8
Abb. 4:	Entwicklung des Heizenergieverbrauches und der Effizienzstufen im Zeitverlauf	11
Abb. 5:	Entwicklung des Flottenverbrauchs in Deutschland nach Benzin- und Diesel-Antrieben in [Liter pro 100 Kilometer]	12
Abb. 6:	Ebenen und Modellierungsrichtung der Energieumwandlungskette am Beispiel des Bedarfsweldes „Warmer Wohnraum“	14
Abb. 7:	Lebenszyklus eines Gebäudes (sortiert nach Nutzungsart in Jahren)	17
Abb. 8:	Wirkungsebenen von Politikinstrumenten und deren Erreichbarkeit durch Bottom-Up Modelle (hier am Beispiel des Bedarfsweldes „Warmer Wohnraum“)	20

Tabellen

Tab. 1:	Historische Betrachtung der „Aufwandszahl“ zur Deckung der Bedarfswelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“	13
Tab. 2:	Vergleich einer (exemplarischen) Parametrisierung der Bedarfswelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“	21

1 Einleitung

Im Rahmen des Arbeitsschrittes 6.2 ist ein „Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modell“ aus der Kombination des WI-eigenen Modells *Household Energy and Appliances Modelling Tool* (HEAT) und einem mit der Software Umberto erstellten Stoffstrommodell erarbeitet worden. Mit ihm wird eine Analyse der Wirkungszusammenhänge zwischen Politikmaßnahmen im Bedarfswfeld „Warmer Wohnraum“ und dadurch ausgelösten Effekten auf der Energie- und Ressourcenseite möglich. Das vorliegende Arbeitspapier untersucht die Fragestellung, ob die wesentlichen Grundprinzipien, die dem entwickelten Modell zu Grunde liegen, auch auf andere Bedarfswfelder übertragbar sind.

Im Folgenden wird zunächst der Untersuchungsgegenstand dieser Analyse definiert. Hierfür werden in Ergänzung zum exemplarischen Bedarfswfeld „Warmer Wohnraum“ weitere Bedarfswfelder bestimmt, die „Hot-Spot“-Bereiche darstellen und sich daher als Zielsystem für die Analyse der Übertragbarkeit der vorhandenen Modellstruktur eignen. Ausgewählt werden die Bereiche „Mobilität“ und „Ernährung“, wobei auf vergleichende Aussagen zu Ressourcenintensität und Treibhausgas-Emissionen verschiedener Bedarfswfelder des privaten Konsums abgestellt wird.

Nach einer Beschreibung des zugrunde liegenden Modellkonzepts für das exemplarische Bedarfswfeld („Warmer Wohnraum“) werden Kriterien erarbeitet, die als Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung der Modellierungsvorhaben in diesem Bedarfswfeld bezeichnet werden können. Hierzu gehört etwa die Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen (z.B. Endenergiebedarf pro m² Wohnfläche) als Grundlage für die Definition zielorientierter Szenarien.

Die zuvor bestimmten Kriterien stellen die Grundbedingungen für die Übertragbarkeit des gewählten Modellkonzepts dar. Es wird daher in einem weiteren Schritt geprüft, ob und wie diese Bedingungen auch innerhalb der Bedarfswfelder „Mobilität“ und „Ernährung“ erfüllt werden können.

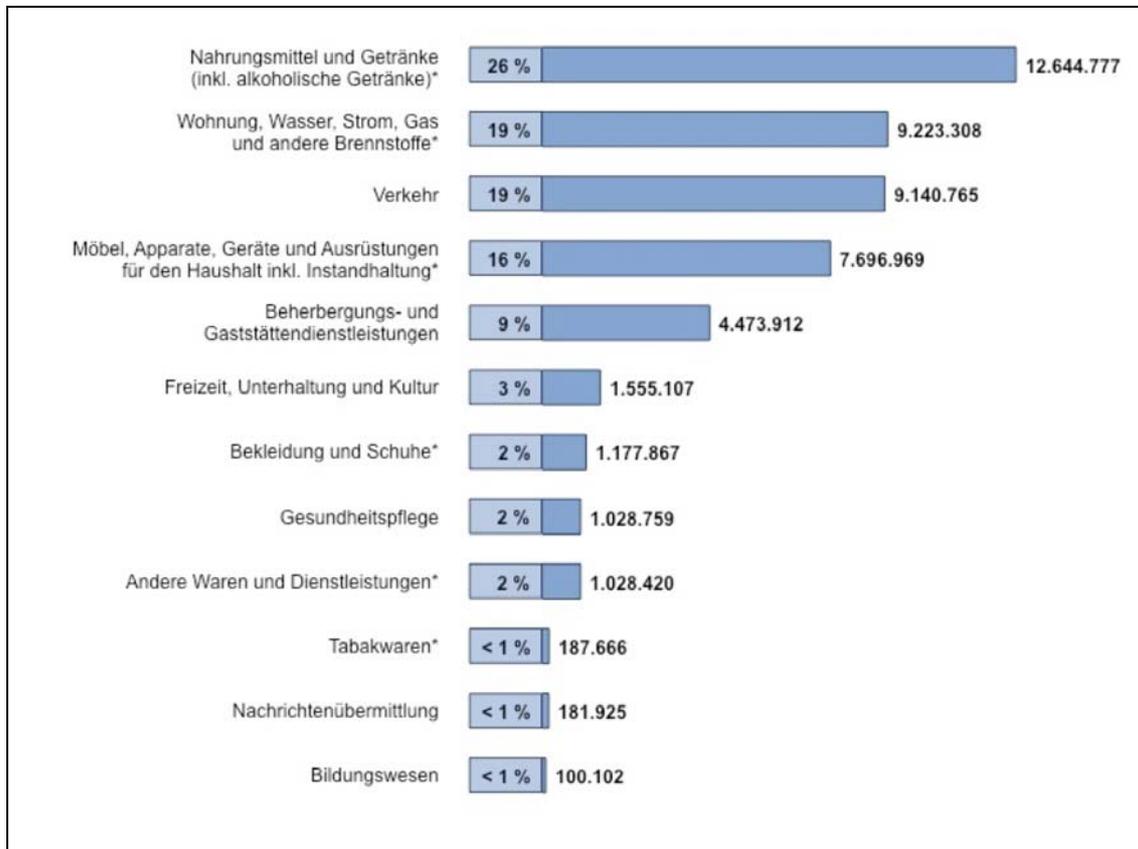
Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in einer Abschlussbetrachtung zusammengefasst.

2 Auswahl umweltrelevanter Bedarfswfelder des privaten Konsums

Von verschiedenen in Frage kommenden Bedarfswfeldern (zum Beispiel „Bauen und Wohnen“, „Mobilität“, „Freizeit“, „Gesundheit“ und „Ernährung“) wurde für die Entwicklung eines Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells in AS6.2 das Bedarfswfeld „Bauen und Wohnen“ und hierin das Teil-Bedarfswfeld „Warmer Wohnraum“ ausgewählt. Für die Auswahl dieses Bedarfswfeldes waren verschiedene Gründe ausschlaggebend. Insbesondere wurde vorausgesetzt, dass es sich bei dem gewählten Bedarfswfeld hinsichtlich verschiedener ökologischer Bewertungsmaßstäbe um einen Hot-Spot-Bereich handelt. Hierfür wurden Einschätzungen des globalen Materialaufwands und der Treibhausgasemissionen von Bedarfswfeldern berücksichtigt.

Auf Grundlage der zuvor genannten Kriterien wurden auch die weiteren Bedarfsfelder ausgewählt, die hier auf ihre Eignung zur Übertragung des erarbeiteten Modellkonzepts überprüft werden.

Abb. 1: Anteile der Bedarfsfelder am Globalen Materialaufwand [in 1.000t TMR] - Induzierter direkter und indirekter TMR durch die inländische Produktion für die privaten Haushalte Deutschlands im Jahr 2000



*) Globaler Materialaufwand (= Total Material Requirement = TMR)

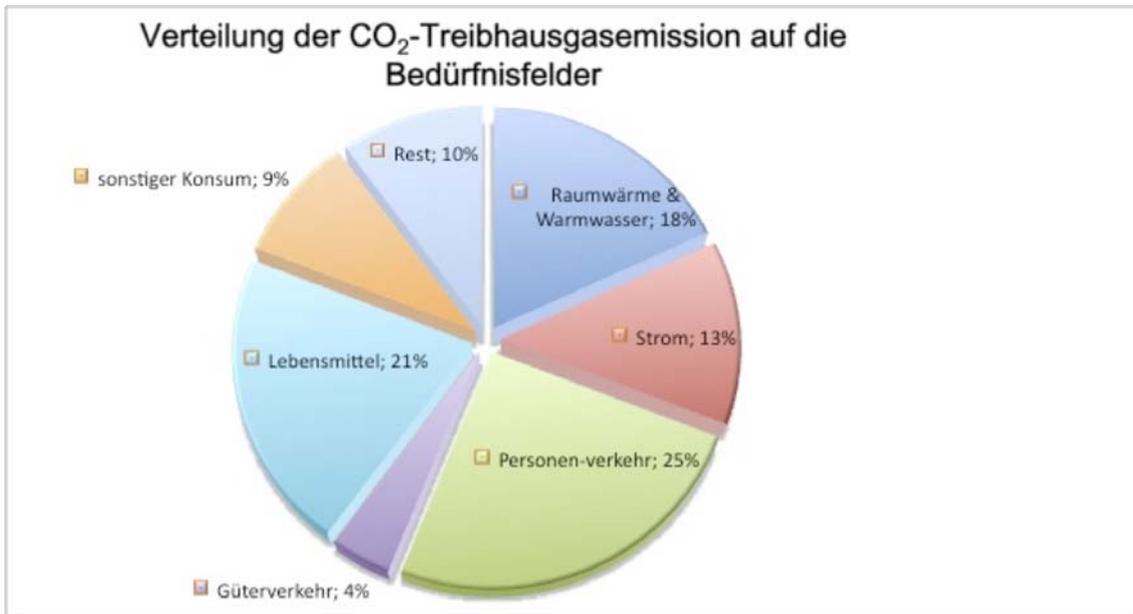
Quelle: Acosta-Fernandez et al. (2009)

Der globale Materialaufwand (TMR = Total Material Requirement) beschreibt den absoluten Stoff- beziehungsweise Materialmengenstrom, der durch einen bestimmten Bedarf ausgelöst wird. Hier werden auch die indirekten Ströme mitbilanziert, so dass die gesamte Wirkungskette enthalten ist (auch als „ökologischer Rucksack“ bezeichnet). Abb. 1 zeigt die Anteile der Bedarfsfelder am globalen Materialaufwand. Die Gesamtmaterialmenge betrug im Jahr 2000 48.439 Mio. t TMR, wobei neben dem Bedarfsfeld „Wohnung, Wasser, Strom und Gas“ mit 19% die Nahrungsmittelproduktion (26%) und der Verkehr (19%) die drei Hot-Spots des privaten Konsums darstellen.

Übersetzt in eine vergleichbare Darstellung aus Sicht von direkten und indirekten Treibhausgasemissionen für das Jahr 2002 durch Befriedigung von Bedürfnissen der privaten Haushalte, sind auch hier die schon im Zusammenhang mit dem TMR genannten Hot-Spots zu finden (Abb. 2): Die Deckung des Bedarfs an Raumheizung und Warmwasser verursacht ca. 18% der entstandenen Treibhausgase, während an der

Spitze der Personverkehr (25%) und die Deckung der Lebensmittelnachfrage (21%) stehen.

Abb. 2: Beispielsweise Verteilung entstandener Treibhausgasemissionen in den Bereichen Wohnen, Mobilität, Ernährung und privater Konsum (auf Verursacherbereiche) im Jahr 2002



Quelle: Öko-Institut (2002)

Basierend auf der zuvor geschilderten ökologischen Bedeutung der beiden Bedarfswelder „Mobilität“ und „Ernährung“ und des damit verbundenen hohen (theoretischen) Potenzials zur Einsparung von Ressourcen- und Energiebedarf sowie zur Emissionsminderung wurden diese Bedürfnisfelder als Grundlage für die hier durchgeführte Übertragbarkeitsanalyse gewählt.

3 Das MaRes-Modellkonzept im Bedarfsweld „Warmer Wohnraum“

3.1 Exkurs: Die systematische Analyse von Wirkungen innerhalb eines Systems

Die Versorgung der Menschen mit Energie (d.h. mit Strom und Wärme) ist ein höchst komplexer Vorgang, der ein Zusammenspiel der unterschiedlichsten Stellgrößen auf höchst unterschiedlichen Ebenen erfordert. Bei solch komplexen Systemen (mit nicht linearen Zusammenhängen, Speichereffekten, Rückkopplungen, menschlichem Verhalten usw.) wie beispielsweise der Bevölkerungsentwicklung und der Wohnungsbautätigkeit ist eine Einschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen nur mit Hilfe eines verhaltensklärenden, strukturgültigen (computerisierten) Simulationsmodells möglich.

Ausgang für jede Simulation ist die Formulierung eines Modells der zu betrachtenden Wirklichkeit. Diese Modelle werden zunächst nur verbal umschrieben, dann in mathematische Regeln gefasst und in eine Programmiersprache übersetzt. Anschließend wird die Gültigkeit des Modells anhand der bisherigen Entwicklung überprüft. Mit der strukturgetreuen Beschreibung des Systems, den Daten für seinen Anfangszustand und der Vorgabe externer Einwirkungen über den interessierenden Zeitraum in Form von mehreren Szenarien ist es dann möglich, die jeweils zu erwartenden Entwicklungen zu bestimmen.

Eine Wirkungsabschätzung soll helfen, Ursachen und deren Entwicklungen, die durch ihre stark vernetzte Struktur nicht ohne weiteres ersichtlich sind, zu entdecken. Fortschreibungen aus der Vergangenheit reichen dazu oft nicht aus. Es müssen die im System angelegten strukturellen Wirkungsvorgänge untersucht werden. Die wirkungs- und entwicklungsbestimmende Systemstruktur muss sich auch in der Darstellung der Folgenabschätzung wiederfinden. Es gilt also, die verhaltensrelevanten Verknüpfungen zu identifizieren und zu beschreiben.

Um eine realistische Beschreibung des wahrscheinlichen Systemverhaltens zu bekommen, müssen über die äußeren Einflüsse oder internen Strukturverschiebungen Annahmen gemacht werden. Diese Annahmen betreffen die Art, den Zeitpunkt (oder die zeitliche Verteilung) und die Stärke von äußeren Einwirkungen oder Ereignissen. Im Allgemeinen wird es sich um eine Vielzahl von möglichen Einflüssen handeln, die zunächst in beliebiger Kombination eintreten können. Eine vollständige Untersuchung beliebiger Kombinationen ist dabei aussichtslos. In der Praxis der Bedarfs- und Folgenabschätzung wird die Vielfalt der möglichen Kombinationen externer Einwirkungen in Szenarien zusammengefasst. Ein Szenario steht dabei unter einer bestimmten Leitidee, an der sich die Auswahl der Art und Stärke der äußeren Einwirkungen orientiert. Diese Leitidee, in der Kurzbeschreibung des Szenarios und meist auch in seinem Titel festgehalten, bestimmt die Grundzüge der externen Entwicklung und wird benutzt, um einen im Rahmen dieser Grundannahmen plausiblen und in sich konsistenten Satz von externen Parametern abzuleiten. Die Annahmen des Szenarios sollten relativ bruchlos an die historische Entwicklung anknüpfen.

Szenarien sind jedoch keine genauen Vorhersagen, sondern stellen alternative Bilder dar, die über mögliche Zukunftsentwicklungen Aufschluss geben können. Szenario-Analysen unterscheiden sich somit gegenüber Prognosen darin, dass sie nicht die unsichere Entwicklung der Zukunft vorhersagen wollen. Bei der Beschreibung verschiedener Szenarien, die auf unterschiedlichen Annahmen beruhen, werden ausdrücklich keine Angaben über die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Varianten gemacht. Sie sind somit ein angemessenes Werkzeug, um die Auswirkungen verschiedener Instrumente auf zukünftige ökonomische, soziale und ökologische Parameter zu analysieren.

Die Simulationsergebnisse der Szenarien stellen eine Bandbreite möglicher Alternativen und Zukünfte dar. Die Vielfalt zukünftiger Ereignisse lässt sich durch Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen und Plausibilitätsanalysen eingrenzen. Eine weitere Eingrenzung ergibt sich aus den Leitlinien des betrachteten Szenarios. Schließlich kann davon ausgegangen werden, dass sich das Verhalten der Akteure in und außerhalb

des Systems an (Eigen-)Interessen orientiert, so dass gewisse Verhaltensweisen wesentlich wahrscheinlicher sind als andere und weitere aus der Betrachtung völlig ausgeklammert werden können. Dies setzt jedoch elementare Grundkenntnisse über Wirkungssysteme des Systems und zumindest das Bemühen um eine verzerrungsfreie Erfassung der Wirklichkeit der Akteure voraus.

3.2 Modellaufbau des MaRes Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells

Ziel des Arbeitsschrittes 6.2 war es, am Beispiel eines ausgewählten Bedarfsfeldes beispielhaft zu analysieren, wie sich Politikansätze zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in der Summe auf die Ressourcenbilanz auswirken und mit welchem Erfolg sie umgesetzt werden könnten. Zu diesem Zweck wurde nach dem zuvor beschriebenen Modellansatz ein Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modell entwickelt (vgl. Abb. 3), das sich in folgende wesentliche Bestandteile gliedert:

Modul 1: Modellierung des Bedarfsfelds „Warmer Wohnraum“ mit HEAT

Das EDV-System *HEAT* dient der Energie- und Emissionsbilanzierung und dem -monitoring im Haushaltssektor und enthält neben einer differenzierten Haushaltsgeräteseite zur Ermittlung des Strombedarfes auf der Wärmeseite eine bauteilspezifische Modellierung des Gebäudebestands Deutschlands. Sie lässt sich an regionale und datentechnische Anforderungen anpassen und kann in ihrer größten Ausprägung 64 Gebäudetypen differenzieren.

Innerhalb dieses Technologiemo­dells wird in einer Langfristbetrachtung bis zum Jahr 2050 für verschiedene Szenarien, die sich aus ressourcenpolitischen Vorgaben ableiten, die Entwicklung des Endenergiebedarfs für den Wohnungssektor modelliert, aufgeteilt nach Energiearten. Gleichzeitig wird die direkte Nachfrage nach Dämmstoffen ermittelt, wobei zum Beispiel bei der Berechnung von Dämmstoffmengen eine Auswertung der prognostizierten Anforderungen an Wärmedurchgangskoeffizienten von Gebäudehüllen erfolgt. Betrachtet wird der gesamte Gebäudebestand inklusive Zu- und Abgängen in Deutschland zu den jeweiligen Zeitpunkten 2005, 2010, 2020, 2030, 2040 und 2050.

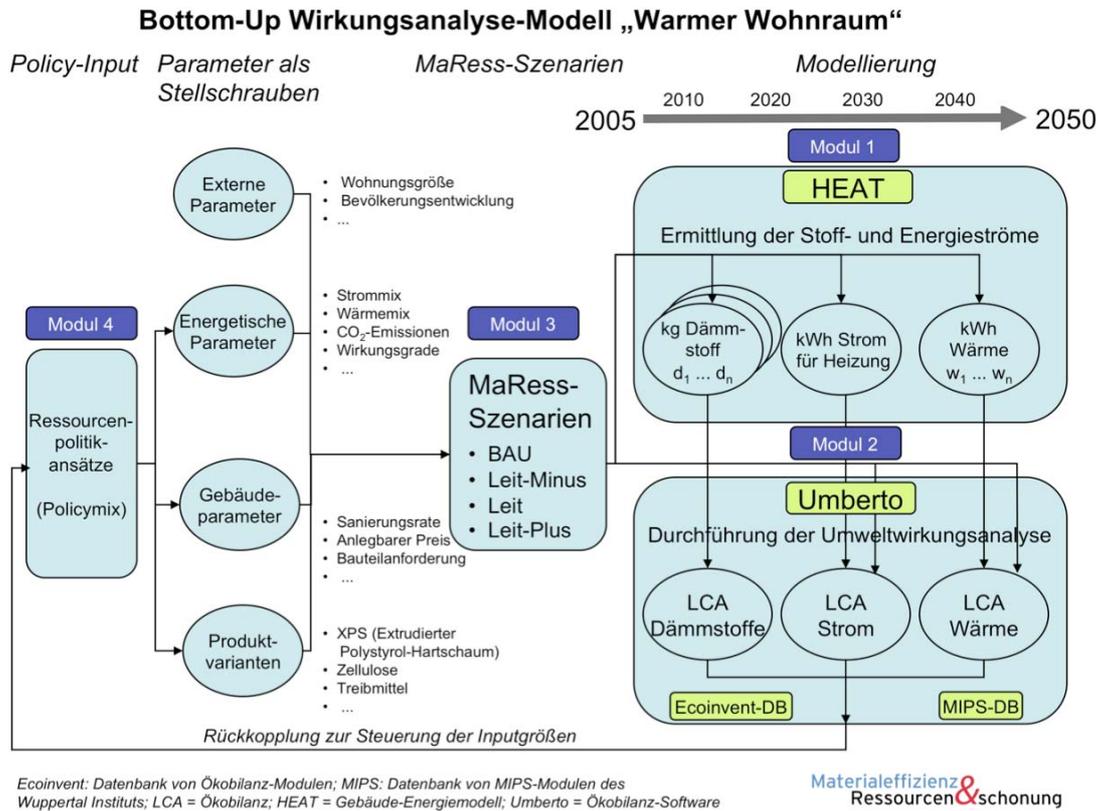
Modul 2: Umweltwirkungsanalyse

Die mit *HEAT* berechneten Mengen aus jährlichem Zubau an Dämmstoffen und jährlichem Endenergie-Einsatz in Heizungssystemen im gesamten Gebäudebestand werden anschließend in Stoff- und Energieflussmodelle eingespeist, die mit der Software Umberto erstellt werden. Zur Ermittlung ihrer Umweltwirkungen werden Ökobilanzen (LCA = Life Cycle Assessment) in Anlehnung an (DIN 2006a,b) erstellt.

Die Bilanzergebnisse werden schließlich einer Umweltwirkungsabschätzung unterzogen, wodurch eine ökologische Gesamtbewertung von eingesetzten Materialien und Energiemengen an Hand verschiedener Umweltwirkungsindikatoren und unter Berücksichtigung der jeweiligen Bereitstellungsvorketten möglich wird. Verwendet wird die CML-Methode (Guinée et al. 2002:63ff), die über eine breite internationale Anwender-

schaft verfügt und sich dadurch auszeichnet, dass sie eine Vielzahl unterschiedlicher Beeinflussungen verschiedener Umweltmedien abdeckt. Diese beinhalten Wirkungskategorien auf der Emissionsseite (z.B. Ökotoxizität und Klimawirkung) und auf der Inputseite (Erschöpfung abiotischer Ressourcen und Landverbrauch).

Abb. 3: Modellkonzept am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“



Quelle: Eigene Entwicklung

Diese beiden ressourcenseitigen Indikatoren liefern Hinweise auf die Belastung von Energie-, Material- und Flächenressourcen durch das Produktsystem. Das Erschöpfungspotenzial berücksichtigt jedoch nicht den Gesamtumfang abiotischer und biotischer Ressourcenentnahme. Hierzu bedarf es der zusätzlichen Erfassung des „ökologischen Rucksacks“ über die Indikatoren MIPS (Materialintensität pro Serviceeinheit) bzw. TMR (einer der Hauptkategorien von MIPS). Da derzeit jedoch keine konsistente Bilanzierung unter Einbezug sowohl von Ökobilanz-Indikatoren als auch von MIPS-Indikatoren möglich ist, werden nur in einer Sensitivitätsanalyse an einem Fall ergänzend Materialintensitäten mit MIPS berechnet.

Modul 3: MaRes-Szenarien

Die Modellierung innerhalb von HEAT und Umberto basiert auf der Definition und Ausgestaltung verschiedener „MaRes Szenarien“. Diese beschreiben – in einer Langfristperspektive – mögliche Entwicklungspfade zur Reduzierung des Energiebedarfs (und damit energetischer Ressourcen) des privaten Gebäudesektors. Die Szenarien span-

nen einen Fächer zwischen niedriger und sehr hoher (politischer) Eingriffstiefe auf. Sie sind zunächst am Instrumentarium der Energiemodellierung orientiert, da hier jahrzehntelange Erfahrung und konkrete politische Vorgaben beziehungsweise Absichtserklärungen vorliegen.

Modul 4: Policymix und Einflussparameter

Treiber für die verschiedenen Szenarien sind entsprechende Einflussparameter, die sich durch den Policymix einer Ressourcenpolitik ergeben. Diese auch als Stellschrauben bezeichneten Größen bestimmen den Fächer an Szenarien, der eine Bandbreite möglicher Entwicklungen bis zum Jahr 2050 aufzeigt. Hierzu zählen

- *Externe Parameter:* Unter den allgemeinen betrachteten, nichtenergetischen Treibergrößen sind Rahmenindikatoren zusammengefasst, die eine allgemeine wirtschaftliche oder gesellschaftliche Entwicklung widerspiegeln und für alle Szenarien gleich gelten. Zu ihnen gehören etwa die demographische Entwicklung und die damit einhergehende Wohnflächenentwicklung, die Entwicklung der Bauteilstandards selbst (da die Güte der jeweiligen Standards innerhalb der Szenarien nicht variiert werden, sondern nur deren Marktanteile) sowie die Wirkungen von flankierenden Maßnahmen auf die Sanierungsraten.
- *Energetische Parameter:* Für alle MaRess-Szenarien wurden Annahmen zur Entwicklung des Strommixes und des Wärmemixes in den Stützjahren getroffen. Der jeweilige Strommix wird im Stoffstrommodell dem direkten Strombedarf der Herstellung von Dämmstoffen sowie der Nutzung von Strom zu Heizzwecken zu Grunde gelegt. Der Wärmemix geht in die Bilanzierung der Herstellung von Wärme und Warmwasser in den Haushalten ein.
- *Gebäudeparameter:* Neben den Annahmen, die die Energieszenarien direkt betreffen, wurden für jedes Szenario weitere Annahmen zur Modellierung der jeweiligen Energieverbräuche im Wohnsektor getroffen wie etwa die zu erwartende Sanierungsrate im Gebäudebestand, Anforderungen an Bauteilbeschaffenheiten oder anlegbare Preise bezogen auf die Kosten von Sanierungsmaßnahmen.
- *Produktvarianten:* Als Sensitivitätsanalysen wurden eine Variation des Dämmstoffes sowie die Zusammensetzung der für die Herstellung des Dämmstoffs XPS benötigten Treibmittel modelliert. Generell können bei den Produktvarianten zukünftig in Produktionsprozessen zu erwartende Veränderungen (ausgelöst zum Beispiel durch technische Innovationen, durch Reduktion des Material- und Energieeinsatzes oder durch Substitution einzelner Produkte durch Ersatzstoffe) berücksichtigt werden.

Das Policymix-Modul 4 bekommt schließlich von Modul 2 über den zeitlichen Verlauf verschiedener Wirkungsindikatoren den Grad der Zielerreichung der ursprünglichen Politikansätze zurückgemeldet. Hierdurch wird es möglich, bei Verfehlen der Zielmarken die Politikansätze zu justieren und zu optimieren und die MaRess-Szenarien entsprechend anzupassen.

4 Analyse der Übertragbarkeit des Modellkonzeptes auf die Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“

4.1 Bedingungen

Aus der vorangegangenen Modellbeschreibung lässt sich ableiten, dass gewisse Kriterien erfüllt sein müssen, um die erfolgreiche Umsetzung der Modellierungsvorhaben im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ zu ermöglichen. Als wesentliche Kriterien haben sich hierbei folgende Punkte erwiesen:

- Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen, die Schlüsselgrößen des Bedarfsfeldes darstellen und in Szenarien fortschreibbar sind
- Verfügbarkeit eines Technologiemo­dells
- Verfügbarkeit von Lebenszyklusdaten (ressourcen- und emissionsbezogen und integriert in Standard-Software)
- Verfügbarkeit quantifizierbarer Politikinstrumente (Maßnahmen zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs)

Diese Kriterien stellen auch die Grundbedingungen für die Übertragbarkeit des gewählten Modellkonzeptes dar. Sie werden daher im Folgenden mit Bezug auf das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ beschrieben, bevor geprüft wird, ob und wie diese Bedingungen im Einzelnen auch innerhalb der Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“ erfüllt werden können.

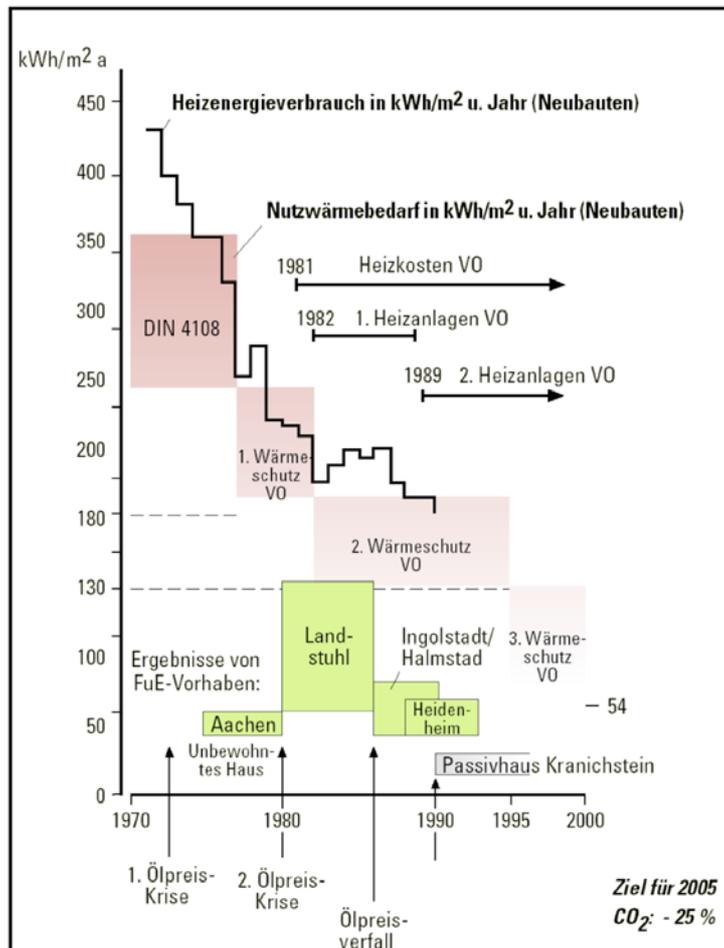
4.1.1 Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen

Warmer Wohnraum

Seit der Ölpreiskrise der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts ist der Energieverbrauch mehr und mehr in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt.

Im Bereich „Warmer Wohnraum“ hatte dies zur Folge, dass der spezifische Kennwert Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche (kWh/m²) zu einem Gradmesser der energetischen Qualität geworden. Eine detaillierte Betrachtung des Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ zeigt, dass hier seit den 70er Jahren über gesetzliche Regelungen versucht wurde, Obergrenzen für Energieverluste und Energieverbräuche festzulegen (vgl. Abb. 4). Diesen Zweck sollten etwa Wärmeschutzverordnung, Heizanlagenverordnung und Energie-Einsparverordnung erfüllen. Allerdings legen erste Studien nahe, dass neben Energie-Effizienzgewinnen, die durch den Einsatz von Dämmstoffen erreicht werden, auch die Ressourcenaufwendungen in der Herstellungsphase der Bau- und Dämmstoffe betrachtet werden müssen (Wallbaum 2002; Wuppertal Institut 2000; Wuppertal Institut 2003, Mötzel / Zelger 2008) .

Abb. 4: Entwicklung des Heizenergieverbrauches und der Effizienzstufen im Zeitverlauf



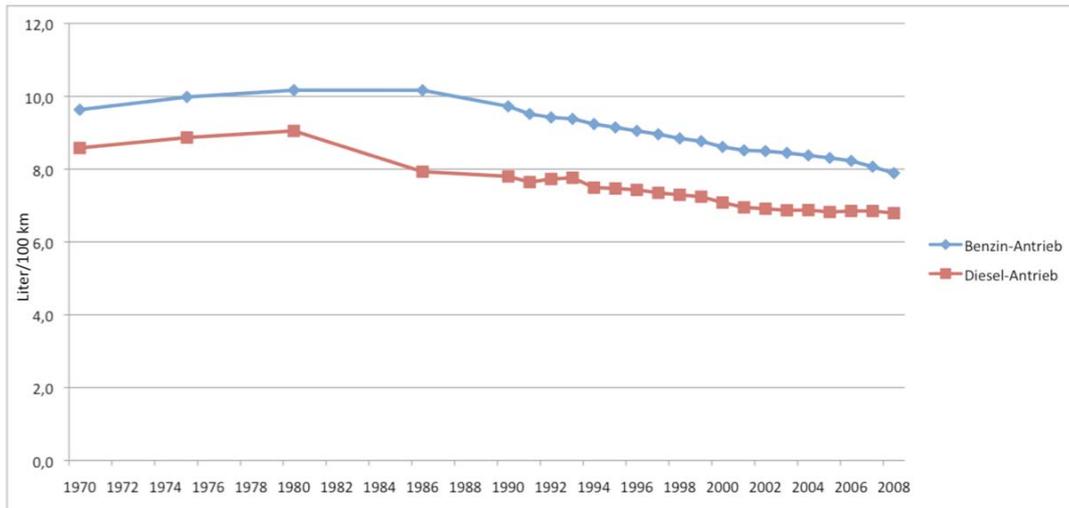
Quelle: Enquete-Kommission (1995:368)

Mobilität

Auch im Verkehrsbereich wurde ein quantitativer Leitindikator entwickelt, der den spezifischen Verbrauch zur Deckung des übergeordneten Bedürfnisses „Mobilität“ beschreibt – ausgedrückt in der Verbrauchseinheit Liter Treibstoff pro gefahrene 100 Kilometer.

Mit dem „Flottenverbrauch“ entwickelte sich ein Kennwert, der die spezifischen Verbräuche des Bestandes bzw. einer Fahrzeugklasse widerspiegelt und über dessen Zeitverlauf sich auch die technologische Entwicklung ablesen lässt. Wie Abb. 5 illustriert, stieg der durchschnittliche Verbrauch bei Benzin-Antrieben durch die starke Übermotorisierung noch bis 1984-1986 auf über 10 Liter/100 km an, um dann bis zum Jahr 2008 bei ca. 8 Litern/100 km zu stagnieren. Den technologischen Sprung schafften die Diesel-Antriebe schon am Beginn der 80er Jahre, die den durchschnittlichen Verbrauch ab dem Zeitpunkt von 9 Liter/100 km auf ca. 7 Liter/100 km im Jahr 2008 reduzierten.

Abb. 5: Entwicklung des Flottenverbrauchs in Deutschland nach Benzin- und Diesel-Antrieben in [Liter pro 100 Kilometer]



Quelle: DIW (2009)

Bei der Quantifizierung der wichtigen Leitindikatoren sind bei den beiden Bedarfswerten „Warmer Wohnraum“ und „Mobilität“ gewisse Parallelen feststellbar. So kann an ihnen eine „Aufwandszahl“ als Bewertungssystem abgeleitet werden, die direkt für den Aufwand bzw. für die (technische) Effizienz zur Deckung einer Serviceleistung steht und die den Übergang einer nicht-energetischen Größe (Quadratmeter beheizter Wohnraum bzw. zurückzulegende Personen- oder Tonnenkilometer) zu einer energetischen Größe modellierbar macht (Tab. 1). Auf dieser in beiden Bedürfnisfeldern möglichen Bestimmung der direkten Endenergienachfrage kann aufgesetzt werden, um in einer weitergehenden Analyse auch lebenszyklusweite Umweltwirkungen zu betrachten.

Ernährung

Die Wahrnehmung und Beschreibung eines direkten Wirkungszusammenhangs zwischen Serviceleistung und energetischem Aufwand hat sich dagegen im Bedarfswert „Ernährung“ bisher nicht etabliert: Während beispielsweise PKW und Immobilien auf Grund gesetzlicher Vorgaben mit einer Energieeffizienz-Kennzahl versehen werden müssen, gibt es für Lebensmittel keine vergleichbare Kennzeichnungspflicht. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass der Verzehr von Nahrungsmitteln für den Verbraucher erkennbar nur geringen Energie- oder Ressourcenaufwand verursacht. Der Großteil des energetischen und stofflichen Aufwandes wird hier erst unter Berücksichtigung von Bereitstellungsvorketten sichtbar – und somit etwa unter Einbeziehung der Düngemittelproduktion, des Anbaus pflanzlicher Nahrungsmittel, der Viehzucht und der verarbeitenden Industrie. Nur vereinzelt werden daher bisher Effizienzkennzahlen für Lebensmittel bestimmt, die etwa den Primärenergieaufwand pro kg Produkt oder pro Nahrungsenergieertrag bewerten (vgl. z.B. Weitowitz 2007).

Für die Übertragbarkeit bedeutet dies, dass im Bedarfsfeld Ernährung mit einem deutlich erhöhten Aufwand in der Datenerhebung und der Bestimmung quantitativer Aufwands-Kennzahlen zu rechnen ist.

Tab. 1: Historische Betrachtung der „Aufwandszahl“ zur Deckung der Bedarfsfelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“

Bedarfsfeld	Entstehung und Quantifizierung der Aufwandszahl zur Deckung des Bedürfnisses als Bewertungssystem für Ressourceneffizienz	Erforderliche (erweiterte) Blickweite unter Einbeziehung der gesamten Lebenszyklen
Warmer Wohnraum	<p>1. Quadratmeterbezogener Energieverbrauch</p> $\frac{\text{Verbrauch [kWh]}}{\text{Wohnfläche [m}^2\text{]}}$	<p>MIPS (TMR):</p> $\frac{\text{Materialinput}}{\text{Serviceleistung}}$
Mobilität (Individualverkehr)	<p>1. Entfernungsbezogener Verbrauchskennwert</p> $\frac{\text{Verbrauch [Liter]}}{\text{Gefahrene Strecke [km * 100]}}$ <p>2. Personenbezogener Verbrauchskennwert</p> $\frac{\text{Verbrauch [Liter]}}{\text{Gefahrene Strecke * Personen [km * Pers]}}$ <p>3. Güterbezogener Verbrauchskennwert</p> $\frac{\text{Verbrauch [Liter]}}{\text{Gefahrene Strecke * Güteraufkommen [km * Tonnen]}}$	
Ernährung	<p><i>Fehlender Kennwert als Bewertungszahl</i></p>	

Quelle: Eigene Darstellung.

4.1.2 Verfügbarkeit von Technologiemoellen

Warmer Wohnraum

In der Modellierung des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“ ist der zuvor beschriebene Wirkungszusammenhang zwischen nichtenergetischer Dienstleistung und energetischer Größe zentral für die Entwicklung des Technologiemoells HEAT (vgl. Kapitel 3.2). Die Wege von Energieträgern und anderen Materialien fließen im untersuchten System rein *mengenmäßig* von der Ressource zu den Dienstleistungen, die von den Akteuren der Endnachfrage genutzt werden. Modellierungsrichtung und -ansatz des Modells erfolgen dagegen in der entgegen gesetzten Richtung, was in Abb. 6 verdeutlicht wird. Über die eigentliche Nachfrage (Dienstleistung) nach einer verträglichen Rauminnentemperatur (nicht zu heiß und nicht zu kalt) wird durch verschiedene Tech-

nologieeinsätze (hier verschiedene Heizungssysteme) die nicht-energetische Dienstleistung in eine Energieeinheit bzw. in eine Ressource überführt.

Abb. 6: Ebenen und Modellierungsrichtung der Energieumwandlungskette am Beispiel des Bedarfes des „Warmer Wohnraum“



Quelle: Eigene Darstellung

Mobilität

Das Bedarfesfeld „Mobilität“ lässt sich nach dem gleichen Prinzip modellieren. Über die technologiebasierten Eingangsgrößen des Modal-Split (Verteilung des Transportaufkommens auf verschiedene Verkehrsmittel) können die Ausgangsgrößen der Fahrleistungen und Besetzungsgrade von den nicht-energetischen Leitindikatoren in die Nutz- bzw. Endenergienachfrage überführt werden.

Ein solches Technologiemoell im Verkehrsbereich stellt das „Transport Emission Model“ (TREMOM) dar, das seit 1993 im Auftrag des Umweltbundesamtes durch das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) entwickelt wird. Ziel dieses Projektes ist die Beschreibung des motorisierten Verkehrs in Deutschland, seiner Fahrleistungen, seiner Energieverbräuche und seiner Emissionen. Dabei werden alle in Deutschland betriebenen Personenverkehrsträger (Pkw, motorisierte Zweiräder, Busse, Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) und Güterverkehrsträger (Lkw und Zugmaschinen,

Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) sowie der sonstige Kfz-Verkehr ab dem Basisjahr 1960 in Jahresschritten bis zum Jahr 2008 erfasst. Zusätzlich wird in einem Trendszenario eine Fortschreibung bis zum Jahr 2030 vorgenommen, wobei die räumliche Abgrenzung und die Differenzierung für alle Verkehrsträger der Modellierung mit Realdaten entspricht. Betrachtet werden der Energieverbrauch sowie Luftschadstoff- und Klimagasemissionen. Die Ergebnisse werden auf der Grundlage von sozioökonomischen Rahmendaten, Fahr- und Verkehrsleistungen, Auslastungsgraden, technischen Eigenschaften der Bestände sowie spezifischen Energie- und Emissionsfaktoren verschiedener Technologien berechnet. Neben den direkten Emissionen am Fahrzeug einschließlich der Verdunstungsemissionen werden auch diejenigen Emissionen bilanziert, die in der energetischen Vorkette entstehen. Hierzu gehören Förderung und Transport der Primärenergieträger, Umwandlung in Kraftwerken und Raffinerien sowie Transport bis zum Stromabnehmer bzw. zur Tankstelle (ifeu 2010).

TREMODO beinhaltet damit neben einem Äquivalent zum Technologiemo- dell HEAT, das eine nichtenergetische Dienstleistung über einen Technologiemi- x in die Nachfrage nach einer begrenzten Zahl an Endenergieträgern umsetzt, durch die Berücksichtigung der energetischen Vorkette auch bereits Elemente einer umfassenden lebenszyklus- weiten Umweltwirkungsanalyse. Nicht berücksichtigt werden dabei bisher Aspekte der Ressourcenschonung sowie ökobilanzielle Betrachtungen von technischer Infrastruktur wie Verkehrswege, Fahrzeugherstellung oder Batterieherstellung für elektrische An- triebe.

Ernährung

Auch im Bedarfsfeld „Ernährung“ lässt sich das zuvor schon beschriebene Prinzip der Upstream-Modellierung (von der Nachfrage nach einer originären Dienstleistung bis zur Bereitstellung von Primärenergie bzw. Ressourcen) grundsätzlich anwenden: Durch die Nachfrage nach Lebensmitteln werden alle damit verbundenen Nachfrage- schritte wie Verkehrsleistungen, Verpackungen, Kocheinsätze bis zur Gewinnung der Rohstoffe ausgelöst. Insofern lassen sich sowohl Energie- als auch Ressourceneinsät- ze auf spezifische Dienstleistungs- bzw. Serviceeinheiten (etwa die Deckung des tägli- chen Kalorienbedarfes eines Erwachsenen) beziehen.

Ein mit HEAT oder TREMOD vergleichbares differenziertes Technologiemo- dell ist hier dagegen nicht verfügbar, aber auch weniger relevant: Die Notwendigkeit, die Nachfra- ge nach einer nicht-energetischen Dienstleistung zu ermitteln und in energetische Kennwerte umzusetzen, besteht hier nur für die Lagerung und Zubereitung von Nah- rungsmitteln in privaten Haushalten, die voraussichtlich nur einen geringen Anteil an den lebenszyklusweiten Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln haben. Hierbei ist die Nachfrage nach der Dienstleistung „Bereitstellung gekühlter oder erhitzter Lebens- mittel“ über einen Technologiemi- x benötigter Haushaltsgeräte (z.B. Gas- und Elektro- herde, Kühl- und Gefrierschränke, Mikrowellen, Wasserkocher, Toaster), deren Nut- zungsintensitäten und Effizienzkennwerte in die Nachfrage nach Strom und Erdgas zu übersetzen. Alle weiteren Nachfragen nach Energie und Ressourcen sind dagegen von der konkreten Ausgestaltung der Herstellungsvorketten (unter Berücksichtigung ver- schiedener Ernährungs- und Herstellungsweisen) abhängig.

Im Vergleich zu den Bedarfsfeldern „Warmer Wohnraum“ und „Verkehr“ steht deshalb hinsichtlich der Ernährung die umfassende Berücksichtigung des LCA-Ansatzes im Vordergrund (vgl. Kapitel 4.1.3).

4.1.3 Verfügbarkeit von Lebenszyklusdaten

Warmer Wohnraum

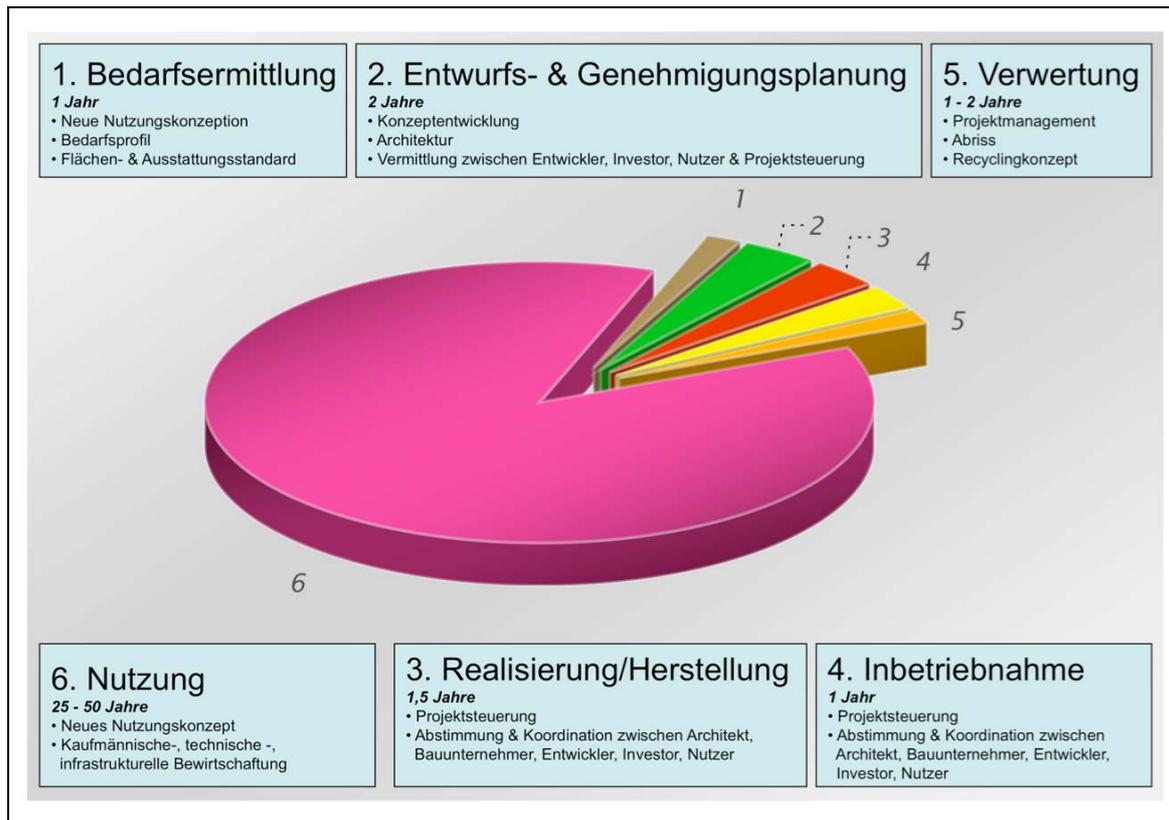
Für die ganzheitliche Analyse der Ressourceneffizienz ist der Fokus auf die reine Nutzungsphase zu eng. In der Regel werden bei der Bewertung von Umwelteinflüssen von Technologien zur Deckung von Bedürfnissen indirekte Einflüsse und Effekte bisher vernachlässigt – dies betrifft sowohl den reinen Gebäude-Nutzungszyklus als auch den Lebenszyklus aller verwendeten Materialien und Energieströme. Stattdessen sollten alle Lebenszyklusphasen von der Förderung der Rohstoffe bis hin zur Nachsorgungsphase (Verwertung/Rückbau/Recycling) betrachtet werden.

Steht die Betrachtung des Ressourcenverbrauches durch die Nutzung einer Technologie, etwa der Raumheizung, im Vordergrund, werden in der Regel zwei Aspekte damit assoziiert und in den Vordergrund gerückt:

- erstens die *direkten (Verbrauchs-)Kosten bzw. Aufwendungen* der Anwendung (Energiekosten, Technologiekosten) und
- zweitens die *Dauer* der direkten Nutzungsphase in Relation der Gesamtlebensdauer.

Vergleicht man im Bereich „Bauen & Wohnen“ die einzelnen Lebenszyklusphasen des Gebäude-Nutzungszyklus' (siehe Abb. 7), ergibt sich eine zeitliche Spreizung zwischen einem Jahr (Realisierung und Herstellung) und der Nutzungsphase von bis zu 50 Jahren. Eine solche Gewichtung der Lebenszyklusphasen ist aber nicht zwangsläufig repräsentativ für die Bewertung von Nachhaltigkeitszielen. So kann etwa die kurze Entsorgungsphase an ökologischer Bedeutung gewinnen, wenn nachhaltige Lösungen für die Verwertung von mit Fungiziden und Flammschutzmitteln versetzten Dämmstoffen gefunden werden müssen.

Abb. 7: Lebenszyklus eines Gebäudes (sortiert nach Nutzungsart in Jahren)



Quelle: Hanke und Richter (2007)

Im Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modell „Warmer Wohnraum“ wurde wie in Kapitel 3.2 beschrieben die Berücksichtigung von Bereitstellungs-Vorketten erreicht durch die Kopplung mit einem Stoffstrommodell. Hierdurch wurde z.B. ermöglicht, die Herstellung von Heizungssystemen und Dämmstoffen, die Vorketten der Deckung des Bedarfs an Heizstrom und Hilfsenergie in die Bilanzierung einzubeziehen – und das Untersuchungssystem so an Hand verschiedener Umweltwirkungskategorien bewerten zu können.

In dieser Bewertung wurden bisher allerdings nicht alle Bestandteile des Gebäude-Nutzungszyklus' einbezogen (z.B. fehlt die Bilanzierung des Entsorgungsaufwandes und von Baumaterialien abseits der Dämmstoffe). Die Auswertung der LCA-Rechnungen hat allerdings für den bisher betrachteten Ausschnitt bereits gezeigt, dass viele Umweltwirkungen von den direkten Emissionen der Nutzung von Heizenergie (bzw. deren Einsparung) dominiert werden, während die Bereitstellungsaufwendungen für Dämmstoffe vergleichsweise gering sind. Insofern sind vor einer zukünftigen Ausweitung des zu Grunde liegenden Stoffstrommodells mögliche Hot-Spot-Bereiche für verschiedene Umweltkategorien zu identifizieren (vergleichbar z.B. mit dem Einfluss des für die Herstellung von XPS-Dämmstoffen verwendeten Treibmittels auf das Ozonabbaupotenzial des Systems), um so Untersuchungsschwerpunkte gezielt setzen zu können.

Im Rahmen der Modellierung in AS6.2 hat sich zudem gezeigt, dass die Bestimmung des Gesamtumfangs abiotischer und biotischer Ressourcenentnahme auf Basis z.B. von Sachbilanzdaten der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent in der Software für die Ökobilanzierung nicht ausreichend verankert ist. Der Bedarf zur Harmonisierung der softwaregestützten Durchführung von Materialintensitäts- (MI) und LCA-Analysen, der hier deutlich geworden ist, besteht in gleicher Weise für alle Bedarfsfelder, in denen mit Hilfe von Stoffstrommodellen und Standard-Software für Ökobilanzen umfassende input- und output-seitige Umweltbelastungen bestimmt werden sollen.

Mobilität

TREMODO beinhaltet durch die Berücksichtigung der energetischen Vorketten auch bereits Elemente einer umfassenden lebenszyklusweiten Umweltwirkungsanalyse.

Nicht berücksichtigt werden dabei bisher Aspekte der Ressourcenschonung sowie ökobilanzielle Betrachtungen von technischer Infrastruktur wie Verkehrswege, Fahrzeugherstellung oder Batterieherstellung für elektrische Antriebe. Um auch diese Elemente vollumfänglich in eine Umweltwirkungsanalyse einbeziehen zu können, ist auch hier die Kopplung eines Technologiemo­dells mit einem Stoffstrommodell möglich. Bei der Entwicklung des Stoffstrommodells kann dabei auf Datensätze für Verkehrssysteme der ecoinvent-Datenbank zurückgegriffen werden, die beispielsweise im Bereich des Personenverkehrs Sachbilanzen für PKW, Busse oder Straßenbahnen beinhaltet (vgl. ecoinvent Centre 2007). Die Verfügbarkeit von Äquivalenztechnologien in LCA-Datenbanken für die im Technologiemo­dell vorhandenen Fahrzeugbestände ist im Einzelnen zu prüfen, woraus sich gegebenenfalls Bedarf an zusätzlicher Datenerhebung (z.B. für Elektro-Pkw) ergeben kann.

Wie im Bereich „Warmer Wohnraum“ gilt auch hier, dass durch den Treibstoffbedarf der Fahrzeugflotte eine Dominanz der Nutzungsphase und hier des Treibstoffbedarfs, dessen direkter Emissionen und induzierter Materialaufwendungen zu erwarten ist. Der Nutzen von Stoffstromanalysen, die über den geschilderten Bewertungshorizont innerhalb von TREMOD hinausgehen, ist daher zunächst im Einzelnen zu prüfen.

Ernährung

Die Zusammenstellung und Bewertung von Lebenszyklusdaten ist für das Bedarfsfeld „Ernährung“ essenziell und ermöglicht erst die Bestimmung aussagekräftiger Energie- und Ressourceneffizienz-Kennzahlen (z.B. MJ Primärenergieaufwand pro kg Produkt).

Die Beschreibung einer umfangreichen LCA des Bedürfnisfeldes findet sich z.B. in Öko-Institut (2005): Berücksichtigt wurden hier die Bereitstellungsvorketten und durch sie verursachte Emissionen einzelner Produkte sowie sieben verschiedener Ernährungsstile mit unterschiedlicher Wertschätzung für gesunde Ernährung und nachhaltigen Konsum, woraus sich etwa verschiedene Anteile tierischer und pflanzlicher sowie ökologisch bzw. konventionell erzeugter Produkte ergeben. Die Studie vergleicht emissionsbezogene Umweltwirkungen wie Treibhaus- und Versauerungspotenzial – Ressourcenbetrachtungen sind dagegen nicht Bestandteil der Untersuchung.

Für die Erstellung eines eigenen Stoffstrommodells könnte auch in diesem Bedarfsfeld ähnlich wie oben beschrieben vorgegangen werden. Die in einem Technologiemodell vorgegebene Nachfrage nach Strom und Gas sowie die Bedarfe an unterschiedlichen Nahrungsmitteln könnten dabei als Eingangsgrößen mit dem Stoffstrommodell verknüpft werden. Aus der ecoinvent-Datenbank könnte hierfür auf Datensätze für die Bereitstellung von Endenergieträgern, für Verpackung, Transporte, landwirtschaftliche Produktionsprozesse und Abfallentsorgung zurückgegriffen werden.

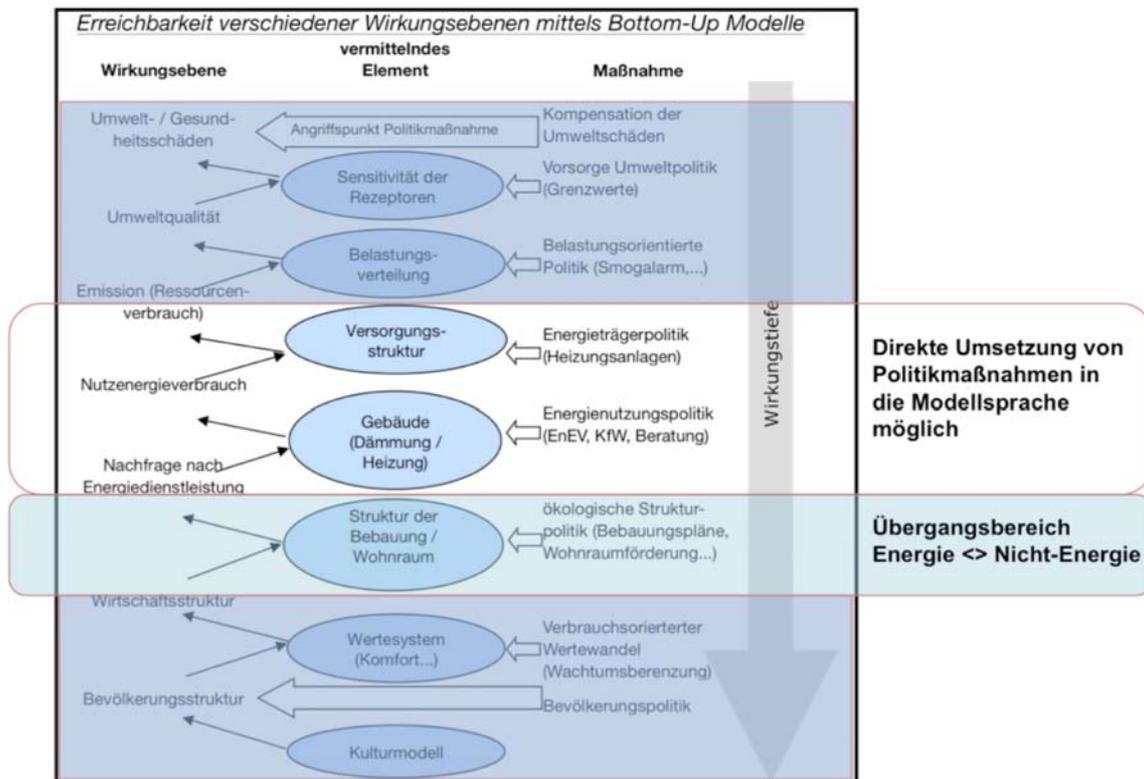
4.1.4 Verfügbarkeit quantifizierbarer Politikinstrumente zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs

Warmer Wohnraum

Sowohl der Gesetzgeber als auch die wissenschaftliche Politikberatung benötigen verlässliche Daten zur Entscheidungsfindung. Ferner sind zuverlässige Planungsinstrumente eine wichtige Voraussetzung sowohl für die Entwicklung und Planung von energieeffizienten Gebäuden (einschließlich der Sanierung bestehender Bauten) als auch für die konzeptionelle Entwicklung und Evaluierung von Maßnahmenprogrammen zur Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudesektor. Dabei müssen sich Politikansätze und die jeweiligen Methodenansätzen hinsichtlich der gewählten Analyseverfahren, der verfügbaren bzw. erforderlichen Daten als auch des gewählten Modellausschnitts entsprechen.

Die verschiedenen Ebenen der Eingriffstiefe am Beispiel der Raumwärme illustriert Abb. 8. So sind Maßnahmen zur Kompensation von Umweltschäden (beispielsweise die Kurierung von Krankheiten in Folge von Asbestverseuchung oder Dioxin-Belastungen durch Dämmmaterialien usw.) auf einer geringen Eingriffstiefe angesiedelt, während die Veränderung eines Komfortanspruchs (der sich etwa durch die Innentemperaturen in Gebäuden sowie die steigenden Wohnflächenbedarfe ausdrückt) über das Wertesystem zu erreichen und damit auf einer tieferen Wirkungsebene angesiedelt sind. Ein Instrumentarium zur Abbildung dieser Wirkungstiefen muss hinsichtlich des Modellausschnitts, der Methode sowie der Datenbestände angepasst sein.

Abb. 8: Wirkungsebenen von Politikinstrumenten und deren Erreichbarkeit durch Bottom-Up Modelle (hier am Beispiel des Bedarfesfeldes „Warmer Wohnraum“)



Quelle: Eigene Darstellung nach Prittwitz (1994)

Im Bedarfesfeld „Bauen & Wohnen“ sind die modellimmanenten Parametrisierungen und Schnittstellen durch entsprechende Politikfelder abgedeckt. Im Bereich von Maßnahmen und Instrumenten zur Beeinflussung der Versorgungsstruktur und der Gebäudehülle sind entsprechende Maßnahmen in Politikfeldern wie Energieträgerpolitik und Energienutzungspolitik (EnEV, KfW usw.) zu finden. Benachbarte Politikfelder, wie etwa eine ökologische Strukturpolitik, die die jeweilige Bebauungsstruktur tangiert, liegen auf Modellbereichen, die schlechter zu quantifizieren bzw. schwerer in eine Modellnomenklatur zu übertragen sind, da sie den Grenzbereich zwischen der Energieebene (hier „Warmer Wohnraum“) und der Nicht-Energieebene (Abrissrate, Wohn-Komfort usw.) betreffen.

In Hinblick auf die Anknüpfung von Ressourcenpolitikansätzen hat sich allerdings gezeigt, dass keine der von den Politik-AP des MaRes-Projekts identifizierten Optionen direkt auf den hier modellierten Bereich der Sanierung von Wohngebäuden angewendet werden konnte. Es wurde deutlich, dass hinsichtlich der Verbindung der Szenarientwicklung und der Stoffstrommodellierung mit der Konkretisierung von wohnraum-spezifischen Instrumenten weiterer Forschungsbedarf besteht. Aufgrund der Schwierigkeiten, konkrete Ressourcenziele und Instrumente zu deren Erreichbarkeit zu definieren, wurde der Rückgriff auf bestehende klimapolitische Ziele und Szenarien vorgenommen, deren in die Modellsprache übersetzbare Zielsetzung beispielsweise einer

Begrenzung der energiebedingten CO₂-Emissionen implizit auch den Ressourcenbedarf beeinflusst.

Mobilität & Ernährung

Die geschilderte Problematik der Umsetzung von Politikansätzen kann sich auch in gleicher oder ähnlicher Form an der Schnittstelle zu einem Bottom-Up Modell der Bedarfsebene „Mobilität“ oder „Ernährung“ ergeben. Bei der Entwicklung von Politikansätzen sollte daher von Anfang an gemäß der Darstellung in Abb. 8 berücksichtigt werden, dass ihre Quantifizierbarkeit hinsichtlich der im Technologiemaßstab verwendeten Kennzahlen gegeben ist.

Als Beispiel für eine direkt in die Modellsprache umsetzbare Modellpolitik eines Verkehrsmodells sei die Festlegung eines „Fahrplans“ für die schrittweise Einführung und Verschärfung von Verbrauchsgrenzwerten für Neufahrzeuge genannt, die sich über die Einbindung der Werte in ein Bestandsmodell direkt auf die Berechnung des zukünftigen Flottenverbrauchs auswirken würde.

4.2 Exemplarische Parametrisierung von Bedürfnisfeldern

Tab. 2 zeigt abschließend eine exemplarische Parametrisierung der hier schwerpunktmäßig behandelten Bedarfsebenen „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“. Sie verdeutlicht, welche exogene Eingangsgrößen, Leitindikatoren und im Rahmen der modellhaften Abbildung der Bedürfnisfelder zur Anwendung kommen können und welche endogenen Größen jeweils ausgewiesen werden könnten.

Tab. 2: Vergleich einer (exemplarischen) Parametrisierung der Bedarfsebenen „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“

	Warmer Wohnraum	Mobilität	Ernährung
Exogene Eingangsgrößen (Service-Indikatoren)	<ul style="list-style-type: none"> • Bevölkerung • Haushaltsgrößen • Wohnflächen 	<ul style="list-style-type: none"> • Sättigungsrate • Gefahrene Personenkilometer 	<ul style="list-style-type: none"> • Bevölkerung • Haushaltsgrößen
Verteilungsindikatoren; Technologie Mix(e)	<ul style="list-style-type: none"> • Haustypenverteilung • Heizungsanlagen (Energimix)-Verteilungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Modal Split (MIV, ÖPNV) 	HZE-Index: <ul style="list-style-type: none"> • Herstellungsweisen (Ökoherstellung, konventionell u.a.) • Zubereitungsweisen (Convenience-Produkte u.a.) • Ernährungsweisen (Anteile Fleisch/Fisch u.a.)

Spezifische (direkte) Leitindikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Wohnflächenspezifischer Energieverbrauch (kWh/m²) • Anlagenspezifischer Energieverbrauch (kWh_{OUT}/kWh_{IN}) 	<ul style="list-style-type: none"> • Flottenverbrauch 	<ul style="list-style-type: none"> • Stromverbrauchsdaten für elektrische Haushaltsgeräte • Mix aus Strom- und Gasanwendungen
Spezifische (indirekte) Leitindikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Transportaufkommen • Primär-/Sekundärenergie • Rahmendaten (Kraftwerksmix, REG-Anteile usw.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von alternativen Antriebstechnologien (Diesel/Benzin/Elektro/Wasserstoff/"Bio-Fuels") • Recyclingrate 	<ul style="list-style-type: none"> • Transportaufkommen • Kühleinsatz
Endogene Parameter	<ul style="list-style-type: none"> • Energieverbrauch • Ressourcenaufkommen • THG strukturiert nach Leitindikatoren, Gebäudetypen und Heizungsanlagenmix 	<ul style="list-style-type: none"> • Energieverbrauch • Materialentnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Energieverbrauch • Ressourcenaufkommen • THG strukturiert nach <i>Herstellungsweisen, Zubereitungsweisen, Ernährungsweisen</i>

Quelle: Eigene Darstellung

5 Fazit

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass sich Bedarfswelder, die sich grundsätzlich auf ihre originären Dienstleistungen zurückführen lassen und die weitgehend über empirische Annäherungen quantifizierbar sind, in die dargestellte Bottom-Up Methodik übertragen lassen. Hinsichtlich der hier untersuchten Bedarfswelder „Mobilität“ und „Ernährung“ zeigt sich zudem, dass bereits geleistete Vorarbeiten und Entwicklungen (von Indikatoren und Modellen) im Mobilitätsbereich für die Übertragbarkeit des Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells aus MaRes AS6.2 förderlich sind, während im Bedarfsweld „Ernährung“ entsprechend mit einem Zusatzaufwand für die Bestimmung von Indikatoren und die Entwicklung von Modellen zu rechnen ist.

Für die erfolgreiche Bestimmung der Auswirkungen von Politikmaßnahmen sowohl auf LCA-typische Wirkungsindikatoren als auch auf den stofflichen Materialverbrauch ist grundsätzlich die Harmonisierung der softwaregestützten Durchführung von MI- und LCA-Analysen wesentlich für alle Bedarfswelder. Eine weitere Herausforderung besteht zudem Bedarfsweld-übergreifend darin, die Wirkung von Ressourcenpolitikanalysen zu quantifizieren und diese so innerhalb quantitativer Modelle nutzbar zu machen.

Zukünftig sollten zudem grundsätzlich (und insbesondere im hier betrachteten Bedürfnisfeld „Ernährung“) vollständige Lebenszyklen des Ressourcen- und Energiebedarfs bilanziert werden. Dies entspräche einer Erweiterung des bisherigen Blickwinkels, der sich meist nur auf den direkten Energiebedarf richtet und weder die Ressourcen noch die Vorketten zur Bereitstellung von Energie und Ressourcen mit einbezieht.

6 Literatur

- Acosta-Fernandez, José / Bleischwitz, Raimund / Krause, M. / Ritthoff, Michael / Scharp, M. / Stürmer, M. / Wilts, Henning et al. (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung; Teilvorhaben 1: Potenzialermittlung, Maßnahmenvorschläge und Dialog zur Ressourcenschonung, Forschungsprojekt von Wuppertal Institut und Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung im Auftrag des Umweltbundesamtes; Berlin.
- DIN (2006a): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- DIN (2006b): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitung (ISO 14044:2006)
- DIW [Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung] (2009): Verkehr in Zahlen 2008/2009. Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).
- Ecoinvent Centre (2007): Transport Services – ecoinvent report No. 14; Villigen/Uster
- Enquete-Kommission (1995): Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.). Bonn.
- Guinée, Jeroen B. (Hrsg.) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards; Band 7; Eco-efficiency in industry and science; Dordrecht u.a.: Kluwer Academic Publishers
- Hanke, Thomas / Richter Klaus (2007): Bewertung von CO₂-Reduktions-Szenarien – Teilbericht: Datengrundlage zukünftiger Klimaschutzberichte; Endbericht an das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; Bonn.
- ifeu (2010): Fortschreibung und Erweiterung: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOD, Version 5); Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes; Heidelberg.
- Mötzel, Hildegund; Zelger, Thomas (2000): Ökologie der Dämmstoffe; Grundlagen der Wärmedämmung, Lebenszyklusanalyse von Wärmedämmstoffen, Optimale Dämmstandards. IBO-Österreichisches Institut für Baubiologie und – Ökologie Donau-Universität Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt (Hrsg.). Springer Wien New York.
- Öko-Institut (2002): Nachhaltige Stadtteile auf innerstädtischen Konversionsflächen: Stoffstromanalyse als Bewertungsinstrument. www.oeko.de/service/cities Freiburg.
- Öko-Institut (2005): Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien; Darmstadt/Hamburg.
- Prittwitz, Volker von; Wegrich, Kai; Bratzel, Stefan; Oberthür, Sebastian (1994): Politikanalyse, Opladen (Leske+Budrich/UTB 1707).
- Wallbaum, H. (2002): Denk- und Kommunikationsansätze zur Bewertung des nachhaltigen Bauens und Wohnens. Ein Beitrag zur Erfassung des gegenwärtigen Standes der Diskussion und zur Anwendbarkeit auf ein konkretes Beispiel. Dissertation.
- Woitowitz, Axel (2007): Auswirkung einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren – dargestellt am Beispiel konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweise; Dissertation; München.
- Wuppertal Institut (2000): Lehmann, Harry ; Stanetzky, Christoph. Stoffströme beim Modernisieren : Einsparpotenzial, Konstruktionsvergleiche, Rechenbeispiele. - Aachen : Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen, (2000). S. 255

Wuppertal Institut (2003): Meier, Stefan; Rohn, Holger; Orbach, Thomas; Busch, Timo; Rey, Uwe: Entwicklung von Einführungskonzepten für die Ressourceneffizienz-Rechnung : Ergebnisbericht - Grundlagen der organisatorischen Einbindung der Ressourceneffizienz-Rechnung. - Wuppertal : Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie.