



**Stoffflußbezogene Bausteine für ein
nationales Konzept der nachhaltigen
Entwicklung**

(FKZ Nr. 295 92 148)

Endbericht

für das Umweltbundesamt

vorgelegt durch

**Matthias Buchert, Uwe R. Fritsche, Carl-Otto Gensch, Rainer Griebhammer, Wolfgang
Jenseit, Brigitte Peter, Lothar Rausch**

(unter Mitarbeit von Christian Hochfeld und Hartmut Stahl)

☛ **Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.)**

Büro Darmstadt

Bunsenstr. 14

D-64293 Darmstadt

Tel. 06151-8191-0

FAX 06151-8191-33

Geschäftsstelle Freiburg

Binzengrün 34 a

D-79114 Freiburg

Tel. 0761-45295-0

FAX 0761-475437

Büro Berlin

Friedrichstr. 165

D-10117 Berlin

Tel. 030-2016-5080

FAX 030-2016-5088

Internet <http://www.oeko.de>

Darmstadt/Freiburg/Berlin, April 1998

(erschieden als UBA-Texte 47/99, Berlin)

Einführung in die Thematik

Kein Begriff in der umweltpolitischen Diskussion kann auf eine ähnliche Karriere zurückblicken wie derjenige der Nachhaltigkeit. Vor einigen Jahren nur als Fach-terminus in der scientific community bekannt, ist er nun in aller Munde. Das Attribut „nachhaltig“ und die Zielvorstellung Nachhaltigkeit dürfen nicht fehlen, wo Verantwortungsbewußtsein und Solidität assoziiert werden sollen. Das gilt für Regierungs- und Parteiprogramme genauso wie für Erklärungen der Umweltverbände oder Kirchen. Auch Geschäftsberichte und Leitbilder von Unternehmen kommen ohne diesen Begriff nicht mehr aus. Doch was bedeutet „Nachhaltigkeit“ konkret für die jeweiligen Akteure? Kann das Ziel bzw. das Kriterium Nachhaltigkeit Unternehmern, Konsumenten, Bauherren oder Entscheidungsträgern der Politik konkrete Handlungsempfehlungen an die Hand geben, die die ökologische Richtungssicherheit ihrer Entscheidungen garantieren?

In der Fragestellung liegt bereits die Antwort: ein klares NEIN; denn das Ziel der Nachhaltigkeit ermöglicht nicht die Ableitung eines einzigen, eindeutigen Weges zur Erreichung dieses Zieles. Nachhaltigkeit muß vielmehr „heruntergebrochen“ werden, operationalisiert werden in Konzepte und Programme auf der jeweiligen Handlungsebene.

Weitreichende Nachhaltigkeitsziele für lange Zeitdistanzen zu formulieren, ist vergleichsweise einfach und bleibt folgenlos. Schwierig ist dagegen die Operationalisierung dieser Ziele in Teilschritten und bezogen auf Handlungsfelder, Akteursgruppen, Branchen usw.. Denn dies muß transparent, nachvollziehbar und nachprüfbar geschehen, um zu überzeugen und akzeptiert zu werden. Und es muß orientiert sein an **Etappenzielen**, die die Politik der Gesellschaft setzt und die selbst wieder Ausfluß normativer Überlegungen und prioritärer Setzungen sind.

Nachhaltige zukunftsfähige Entwicklung wurde in den vergangenen Jahren als allgemeines umweltpolitisches Konzept in Deutschland breit und umfassend diskutiert. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ hat sich in den Jahren 1995-1998 intensiv mit diesem Konzept befaßt. Sie hat vor allem versucht, Wege aufzuzeigen, wie die drei „Säulen“ der Nachhaltigkeit - ökologische, wirtschaftliche und soziale Entwicklung - in einem integrierten Gesamtkonzept in Deutschland zu berücksichtigen sind¹. Als allgemeines umweltpolitisches Konzept kann Nachhaltigkeit als hinreichend abgearbeitet und als theoretisch ausgeforscht gelten. Was fehlt, sind **Konzepte für relevante Beispielfelder**, die zeigen, wie nachhaltige Entwicklung mittel- und langfristig perspektivisch umgesetzt und wie das Ausmaß der Umsetzung überprüft werden kann.

Die erklärte Bereitschaft der entscheidenden Akteure eines Beispielfeldes, in einen Pfad der nachhaltigen Entwicklung einschwenken zu wollen, ist eine wichtige und notwendige Voraussetzung. Sie reicht jedoch nicht aus und greift ins Leere, wenn den Akteuren die hierfür erforderlichen Informationen zur **ökologischen Richtungssicherheit** ihrer Entscheidungen und die entsprechenden nachprüfbar und anwendbaren Meßinstrumente fehlen. Hierzu muß das Ausmaß der Umweltinanspruchnahme in dem betrachteten Bereich unter Anwendung des Vorsorgeprinzips mit der Belastbarkeit der Umwelt als Quelle und Senke in Beziehung gesetzt werden. Der vorliegende Forschungsbericht füllt diese Lücken - erstmals für einen wirtschaftlich sehr bedeutenden Sektor - für das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ weitgehend aus.

¹ Deutscher Bundestag (Hg.): Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages: Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung, Zur Sache 4/98, Bonn 1998

II

Die Stoffstromrelevanz dieses Feldes ist evident. So weist beispielsweise die Abfallstatistik jährlich rd. 200 Mio t Bodenaushub und Bauabfälle aus, Gewerbe- und Tiefbau eingeschlossen. Ebenso ist bekannt, daß sich durch eine bessere Wärmedämmung im Altbaubestand und bei Neubauten erhebliche Einsparungen im Energieverbrauch und damit auch bei CO₂-Emissionen erzielen lassen. Nicht beantwortbar, das heißt nicht meßbar, weil ein entsprechendes Werkzeug fehlte, waren bisher Fragen wie z.B.:

- In welcher Höhe verändert sich der gesamte Energieverbrauch, wenn bei 10% der jährlich neu gebauten freistehenden Einfamilienhäuser die Bauweise x durch die energiesparende Bauweise y ersetzt wird?
- In welchem Ausmaß sinkt der gesamte Energieverbrauch, wenn als Folge wärmedämmender Maßnahmen jedes Jahr bei zusätzlich 1% des Altbaubestandes ein K-Wert von z erreicht wird?
- Was bedeutet das im Hinblick auf die gewünschte Verringerung der CO₂-Emissionen?
- Welchen Einfluß kann ein „Kellerloses Bauen“ in Deutschland auf den Materialbedarf und die damit verbundenen Umweltauswirkungen gewinnen?
- In welcher Höhe verringert eine veränderte Einstellung, die in der Bereitschaft zu flächen-, energie- und materialsparenden Bauen und Wohnen zum Ausdruck kommt, wichtige **Umweltindikatoren**, z.B. den Verbrauch von Ressourcen (Gips, Kies, Sand, Ton). Wie kann sie sich auf den Treibhauseffekt, auf Flächeninanspruchnahme oder auf das Volumen der Abfälle und Reststoffe auswirken?
- Wie ist der Beitrag des Bereichs Bauen und Wohnen in Deutschland zur Erreichung wichtiger Umweltziele zu beurteilen?
- Welche Ziele können bis zum Jahre 2005, welche bis zum Jahre 2020 erreicht werden?
- Welche Ziele werden voraussichtlich verfehlt?

Aufgabe des Forschungsvorhabens war es, ein Werkzeug zu schaffen, das solche Zusammenhänge angemessen modellieren kann und in der Lage ist, sie hinreichend exakt und belastbar zu quantifizieren. Es hat diese Aufgabe vorbildlich gelöst - durch zwei innovative Schritte: die Entwicklung der **bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse** als Methodik und durch den Aufbau eines zugehörigen **Stoffstrommodells** als Werkzeug für die Berechnung von Szenarien.

Dabei war die Ausgangslage alles andere als hilfreich:

- Es lag keine nachfrageorientierte Methodik vor, die vom Bedürfnis Wohnen und der dadurch ausgelösten Nachfrage nach unterschiedlichen Wohneinheiten ausgeht.
- Ein vergleichbares dynamisches Stoffstrommodell, auf das sich das Vorhaben als Referenzmodell hätte beziehen können, lag nicht vor.
- Zwar ist die Datenlage zu stoffstromrelevanten Aktivitäten im Bereich Bauen und Wohnen vergleichsweise gut, doch lagen diese Daten nicht in der erforderlichen systematischen Form vor.
- Ebenfalls fehlten modellierbare Abbildungen von unterschiedlichen Entwicklungspfaden, sog. Szenarien, im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen.
- Bis auf eine Ausnahme (CO₂-Emissionen) liegen Ziele und Indikatoren für nachhaltige Entwicklung in Deutschland erst als Diskussionsentwürfe vor. Sektorale Indikatoren für einzelne Bedürfnisfelder fehlen ebenfalls.

III

Diese Ausgangslage zeigt die **einzelnen Aufgaben** auf, denen sich das Forschungsvorhaben in innovativer Weise stellen mußte:

- I. Es mußte ein angemessener **methodischer Ansatz** gefunden werden. Diese Methodik wurde in Form der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse entwickelt, die - bisher unüblich - an der Nachfrageseite ansetzt und von dort aus die stoffstromanalytischen Fragestellungen aufrollt.
- II. Es mußte ein **dynamisches Stoffstrommodell als EDV-Werkzeug** entwickelt werden. Die Lösung dieser Aufgabe ist das Stoffstrommodell **BASiS**, die Abkürzung für „Bedarfsorientiertes Analysewerkzeug für Stoffströme in Szenarien“.
- III. Die Erarbeitung einer **geeigneten Datenstruktur** und einer hinreichend zuverlässigen **Datenbasis** ist die notwendige Voraussetzung, um dieses Werkzeug erfolgreich einsetzen zu können. Beides wurde in diesem Forschungsprojekt für die beiden Teilbereiche Wohnen (Gebäude- und Haustypen) und Bauen (insbes. Baustoffherstellung) geleistet, indem die aus einer Vielzahl von Datenquellen ermittelten stoffstromrelevanten Daten (rd. 100 000) identifiziert und in einer transparenten Datenbasis integriert wurden. Die Entwicklung des Gebäudebestandes für Deutschland wurde mit Hilfe der jährlichen Flußgrößen des Zu- und Abgangs von Gebäuden resp. Wohneinheiten berechnet. Über diese Informationen konnte einerseits die zeitliche Dynamik der drei Szenarien und andererseits die Abhängigkeit der Umweltbelastungen von Entwicklungen der Angebots- und der Nachfrageseite abgebildet werden.
- IV. Um zu ermitteln, welche Stoffströme durch gegenwärtige Aktivitäten und künftig zu erwartende oder gewünschte Entwicklungen im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen ausgelöst werden bzw. werden können und um zu zeigen, wie diese Stoffströme einschließlich der dadurch entstehenden Umweltbelastungen unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit zu beurteilen sind, mußten **realistische Entwicklungspfade (Szenarien)** innerhalb des gesetzten Zeitrahmens 1995-2020 bestimmt werden. Das Forschungsprojekt löste diese Aufgabe durch die Entwicklung von drei Szenarien: Referenzszenario, Effizienzszenario, Struktur- und Bewußtseinswandelszenario.
- V. Die **Indikatoren** für die Bemessung der Umweltinanspruchnahme und die Annahmen für die Berechnung von Szenarien mußten in intensiven Diskussionen zwischen Projektbearbeitern und Auftraggebern sowie in dem für dieses Forschungsprojekt gebildeten Beirat, in dem auch andere Ressorts vertreten waren, erarbeitet werden.

Drei Leistungen des Forschungsprojekts verdienen es, im Hinblick auf künftige Anwendungen besonders hervorgehoben zu werden: erstens die Entwicklung des EDV-gestützten Stoffstrommodells **BASiS**, zweitens die Fähigkeit dieses Werkzeugs, **Wenn-Dann-Aussagen** quantitativ zu erfassen, drittens die **Separierung von Effekten**, die auf Effizienzsteigerungen beruhen, gegenüber Effekten, die auf einen Struktur und/oder Bewußtseinswandel zurückzuführen sind.

Die herkömmlichen Modellierungsmethoden reichen für die oben beschriebene Aufgabenstellung nicht aus. Beispielsweise erfaßt die Ökobilanz-Methodik zwar alle wichtigen Umweltauswirkungen „von der Wiege bis zur Bahre“ für einen zeitlich fixierten Zustand und ein wohldefiniertes Produkt (funktionelle Einheit). Sie ermöglicht aber weder den Bezug zur Nachfragestruktur, noch ist mit ihr die Darstellung zeitlicher Entwicklungen möglich. Für die Operationalisierung von Nachhaltigkeitszielen ist aber gerade die Betrachtung der Veränderung von Bedürfnissen und Nachfrage in ihrer zeitlichen Entwicklung wichtig.

IV

Die zeitliche Entwicklung von Bedürfnissen und entsprechenden Nachfragen wird von unterschiedlichen Einflußfaktoren gesteuert. So sind im Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ die Bevölkerungsentwicklung, die zu erwartenden Sozialstrukturen, Veränderungen von Bewußtsein und Werthaltungen usw. zu berücksichtigen.

Aufgabe des zu entwickelnden Stoffstrommodells war es, diese Daten und ihre komplizierten Abhängigkeiten mit den Daten der Angebotsseite, d.h. den für den Bereich Bauen relevanten Prozeßketten, in geeigneter Form zu verknüpfen, um die Berechnung unterschiedlicher Szenarien zu ermöglichen. Diese Datenfülle ist nur mit Computer-Unterstützung zu bewältigen. Aus diesem Grund wurde BASiS² entwickelt.

BASiS enthält eine „Mini“-Ökobilanz (Sachbilanz), um die Stoffströme in den Prozeßketten zu ermitteln bzw. zu bilanzieren, die durch die **Nachfrage** nach Wohnraum angetrieben werden. Ergänzt wird dies durch eine Zeitdynamik sowohl auf der Angebots- wie auch auf der Nachfrageseite, flexible Möglichkeiten der Szenariodefinition und durch eine branchenbezogene Verflechtung. Die Verknüpfung von Angebots- und Nachfrageseite findet über die modularen Basisgrößen „Haustypen“ und „Bauelemente“ statt. In BASiS lassen sich zeitgleich die oben genannten drei Grund-Szenarien berechnen und gegenüberstellen. Änderungen der Szenario-Definitionen sind sowohl auf der Angebotsseite (z.B.: technische Optimierung) wie auch auf der Nachfrageseite (z.B. ökologisch effizientere Haustypen) möglich. Durch die Zuordnung der Umweltbelastungen nach Verursachergruppen wird es möglich, gezielte Maßnahmenempfehlungen zu erarbeiten und relevanten Akteursgruppen Hinweise für Handlungsalternativen zu geben. Die Visualisierung von Szenarioergebnissen, wie z.B. Verursacheranteilen und Reduktionspotentialen, aber auch von Ressourcenverbräuchen und Umweltbelastungen, kann auf der Grundlage von MS Excel-Tabellen und -Diagrammen erfolgen. BASiS stellt damit eine innovative Bilanzierungssoftware dar, die den gestellten Anforderungen voll entspricht.

BASiS und die Methodik der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse sind auch auf andere Bedürfnisfelder übertragbar, wenn auf der Nachfrageseite des jeweiligen Bedürfnisfeldes eine erfaßbare Zu- und Abgangsentwicklung zu verzeichnen ist und wenn sich für die Nachfrage modulare Basisgrößen definieren lassen. Die Übertragbarkeit auf der Angebotsseite ist bereits gegeben (viele Daten sind direkt nutzbar).

Es ist zu wünschen, daß das vorliegende EDV-Werkzeug den relevanten Akteuren - Bauherren, Architekten, Unternehmen der Baustoffherstellung u.a. - ökologische Richtungssicherheit bei ihren Entscheidungen liefert und daß es nicht nur dort, sondern auch in der Politikberatung, z.B. bei der Prüfung der Effekte einzelner Maßnahmen, verstärkt Anwendung findet. Die konstruktive ressortübergreifende Zusammenarbeit unter Beteiligung wichtiger Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft im Beirat des Projektes läßt hoffen, daß diese Möglichkeiten - gerade auch in anderen Ressorts - genutzt werden. Gegenwärtig gehen Überlegungen in einzelnen Bundesländern dahin, die durch dieses Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse und methodischen Möglichkeiten im regionalen Rahmen anzuwenden oder entsprechend weiterzuentwickeln.

Der Herausgeber

² Bedarfsorientiertes Analysewerkzeug für Stoffströme in Szenarien (BASiS)

Hinweise auf den Materialienband

Der zum Forschungsbericht gehörende Materialienband TEXTE Nr./99 enthält ergänzende Informationen, die als Anhänge bezeichnet sind und im einzelnen wie folgt beschrieben werden:

Anhang 1: Das Konzept der Umweltziele

Begriffe und Definitionen zum Themenkomplex Umweltziele differieren national und international erheblich. Die im Projekt zugrunde gelegten Definitionen sind an die Formulierungen der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages angelehnt.

Im Forschungsvorhaben werden keine standortspezifischen Betrachtungen vorgenommen. Damit wird auch kein Bezug zu Wirkungsorten hergestellt. Aus diesem Grund hat die Betrachtung von solchen Zielkategorien Vorrang, die Angaben über die Obergrenzen von Gesamtemissionen oder Ressourceninanspruchnahmen machen. Sie werden als „Umwelthandlungsziele“ bezeichnet.

Anhang 2: Von der Stoffstromanalyse zur Stoffstromökonomie

Zu diesem Thema wurden im Rahmen des Projektes politisch-ökonomische Vorüberlegungen angestellt, die den Rahmen der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse insofern erweitern, als nach den Chancen und Restriktionen für eine Umsetzung einzelner Szenarien - insbesondere durch den Einsatz ökonomischer Instrumente - gefragt wird. Da diese Fragen innerhalb des Forschungsvorhabens nicht zu untersuchen waren, sind entsprechende Ergebnisse erst durch neue Studien bzw. Forschungsprojekte zu erwarten. Das Diskussionspapier „Von der Stoffstromanalyse zur Stoffstromökonomie“ ist im Öko-Institut Darmstadt auf Anfrage erhältlich.

Anhang 3: Energie und Transportkenndaten in der Datenbasis für Bauen und Wohnen

Dieser Anhang umfaßt den Tabellenteil, der die Grunddaten für die Datenbasis des Stoffstrommodells BASiS enthält. In BASiS liegen die energieerzeugenden Prozesse als Aggregat vor, das Informationen zu den ausgewählten Umweltindikatoren und Ressourcenbedarfen enthält. Die Berechnung wurde außerhalb des Stoffstrommodells mit dem Computerprogramm GEMIS durchgeführt. Dort sind die Energievorketten bis zur Rohstoffentnahme abgebildet. Die den vorgelagerten Energie-Prozeßketten zugeordneten Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen sowie Reststoffanfall und Ressourceninanspruchnahme werden sowohl für das Jahr 1995 als auch für 2020 angegeben. Ebenso werden Daten zu Prozeßketten für Hilfsstoffe und Stoffimporte aufgeführt.

Für die den Szenarien zugrunde gelegten Beheizungsstrukturen und Nutzungsgraden der Heizsysteme wurde eine Trennung nach alten und neuen Bundesländern vorgenommen. Aufgeführt werden auch die wesentlichen Eckdaten zu den in die Berechnung eingegangenen Transportprozessen, die verwendeten Daten zum Gebäudebestand und die für die einzelnen Jahre ermittelten und zugrunde gelegten Daten für die Innen- und Außenwände.

Anhang 4: Detaillierte Definition der Nachfrageseite der Szenarien

Im diesem sehr umfangreichen Anhang werden wichtige Informationen zu allen Details der Nachfrageseite der Szenarien entweder in tabellarischen Übersichten und/oder durch textliche Erläuterungen zusammengestellt.

Die Angaben für den Zugang und Abgang von Wohneinheiten in den alten und neuen Bundesländern werden für die einzelnen Szenarien jeweils in 5-Jahresschritten aufgeführt. Ebenso die Daten zur Haustypenverteilung und die Flächenkenndaten.

Den Annahmen zum Abgang des Bestandes liegt die Klassierung der Häuser unter den Gesichtspunkten Altersklasse, Gebäudeklasse (z.B. Reihenhaus oder Hochhaus) sowie alte und neue Bundesländer zugrunde. Die Definition der im Stoffstrommodell verwendeten Haustypen hinsichtlich Flächen und Geometrie basiert auf der Grundlage der Datenbasis der baden-württembergischen Architektenkammer.

Die den definierten Haustypen zugrunde gelegten Bauelementegruppen orientieren sich an den Festlegungen der DIN 276. Als technische Anlagen wurden nur Heizungsanlagen aufgenommen.

Detaillierte Angaben zum Aufbau der Bauelementegruppen und Bauelemente für den Zubau und den Bestand werden ebenso aufgeführt wie die spezifischen Anteile einzelner Bauelementegruppen für die verschiedenen Haustypen. Über die im Projekt zugrunde gelegten Daten zur Instandhaltung und zur veranschlagten Lebensdauer der Baustoffe sowie zu deren Beschaffenheit (einschließlich Dämmstoffe) wird ebenfalls in der notwendigen Tiefe informiert

Anhang 5: Beschreibung des Stoffstrommodells BASiS

Für die Bilanzierungssoftware BASiS ist in diesem Anhang ein Benutzerhandbuch zu finden, in dem die konzeptionellen Grundlagen von BASiS erläutert und die typischen Arbeitsgänge beschrieben werden.

Eine detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Berechnungsvorschriften, die für die Modellierung und Szenarienberechnung verwendet worden sind, kann hier ebenfalls nachgeschlagen werden.

BASiS ist eine unter Delphi 3.0 entwickelte Bilanzierungssoftware mit graphischer Benutzeroberfläche. Sie ist unter den Betriebssystemen Windows NT 4.0 und Windows 95 mit einem Hauptspeicherbedarf von mindestens 32 MB lauffähig.

Als zugrundeliegende Datenbank wurde MS-Access 7.0 gewählt. Diese relationale Datenbank, die den Grundstock für BASiS bildet, ist ein hierarchisch strukturiertes Datenmodell. Dieses Datenmodell ermöglicht es, die Haustypen individuell für die unterschiedlichen Szenarioannahmen zusammensetzen. Alle Informationen zum Aufbau und zur Struktur der Datenbank entnehmen Sie bitte dem Handbuch.

Durch eine Installationsroutine werden die Datenbank und ggf. eine MS Access- Routineversion wie auch die Software BASiS auf dem PC installiert und es werden die entsprechenden Systemeinstellungen vorgenommen. Eine Beschreibung dieses Vorgangs befindet sich ebenfalls in diesem Anhang.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	v
Vorbemerkung und Danksagung	vi
Einführung: Die bedürfnisfeldorientierte Stoffstromanalyse	1
1 Stoffstromrelevante Umweltindikatoren und Umweltziele für den Bereich „Bauen und Wohnen“	6
1.1 Auswahl der Umweltproblemfelder und Umweltindikatoren	8
1.2 Übersicht zu relevanten Umweltqualitätszielen, Umwelthandlungszielen und Etappenzielen	11
1.3 Unterschiede zwischen nationalen bzw. branchenbezogenen Zielen und dem bedürfnisfeldorientierten Ansatz	13
2 Die Datenbasis der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse	16
2.1 Übersicht wichtiger Datenquellen	20
2.2 Vereinfachungen und Einschränkungen in der Datenbasis	23
2.3 Übertragbarkeit der Datenbasis auf andere Bedürfnisfelder	25
2.4 Zusammenfassung zur Datenbasis	26
3 Konzeption und Erstellung der Szenarien	27
3.1 Die Philosophie der Szenarien	27
3.2 Die Nachfrageseite der Szenarien (Teilbereich „Wohnen“)	34
3.3 Die Angebotsseite der Szenarien (Teilbereich „Bauen“)	40
3.4 Gegenüberstellung der Szenarien	47
4 Das Stoffstrommodell als EDV-Werkzeug	52
4.1 Anforderungen an das Stoffstrommodell	52
4.2 Konzeption und Auslegung des Stoffstrommodells.....	53
4.3 Wahl der geeigneten Modellierungsumgebung.....	60
4.4 Das aktorsorientierte Schalenkonzept des Stoffstrommodells	61
4.5 Zusammenfassung zum Stoffstrom-Modell	61
5 Ergebnisse der Szenariorechnungen	63
5.1 Bedarfe an Ressourcen	63
5.2 Bedarfe an Baumaterialien	66
5.2 Flächenbedarfe in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“.....	72
5.3 Emissionen von Massenschadstoffen in den Szenarien	74

5.4 Reststoffmengen in den Szenarien	79
5.5 Akteursorientierte Disaggregation und Visualisierung der Ergebnisse.....	83
5.6 Branchenübergreifende Stoffflüsse	99
5.7 Maßnahmenorientierte Disaggregation von Szenario-Ergebnissen: Beispiel Struktur- und Bewußtseinswandel (SuB).....	102
5.8 Begrenzende Faktoren für die Bewertung der Ergebnisse	111
5.9 Verifikation der Ergebnisse.....	112
6 Stoffflußbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der Nachhaltigen Entwicklung: Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“	122
6.1 Diskussion der methodischen Ergebnisse	122
6.2 Diskussion der Szenarioergebnisse: Reduktionspotentiale und Umweltziele.....	123
6.3 Umsetzungsrelevante Bausteine zur dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung im Bereich „Bauen und Wohnen“	128
7 Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf	131
7.1 Verbesserung der Datengrundlagen	131
7.2 Anwendungen des Stoffstrommodells	132
7.3 Verbesserungen des Stoffstrommodells	132
Literatur	134
Definitionen wichtiger Begriffe und Abkürzungsverzeichnis	137

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zentrale Umweltproblemfelder und ihre Kategorisierung	8
Tabelle 2 Umweltproblemfelder und Umweltindikatoren für „Bauen und Wohnen“	10
Tabelle 3 Umweltqualitäts-, -handlungs- und Etappenziele für „Bauen und Wohnen“	11
Tabelle 4 Umweltqualitäts-, -handlungs- und Etappenziele...Fortsetzung.....	12
Tabelle 5 Verwendete Kategorien zur Gruppierung von Prozessen in der Datenbasis.....	19
Tabelle 6 Grunddaten der Szenarien Referenz (REF) und Effizienz (EFF)	36
Tabelle 7 Zugang und Abgang von Wohneinheiten (WE) und Wohnflächen (WF) in den Szenarien REF + EFF.....	37
Tabelle 8 Grunddaten des Szenarios Struktur- und Bewußtseinswandel (SuB)	38
Tabelle 9 Wohneinheiten (WE) und Wohnflächen (WF) im SuB-Szenario	38
Tabelle 10 Kenndaten des Zementprodukts für die Szenarien REF und EFF/SuB.....	42
Tabelle 11 Kenndaten des Stahlprodukts (Warmwalzstahl) in den Szenarien REF und EFF/SuB	43
Tabelle 12 Kenndaten von importiertem Eisenerz und Eisenpellets	43
Tabelle 13 Zeitliche Veränderungen der Angebotsprozesse in den Szenarien	46
Tabelle 14 Wesentliche Einflußfaktoren in den drei Szenarien.....	51
Tabelle 15 Bedarfe an mineralischen Ressourcen in den Szenarien.....	64
Tabelle 16 Rohholzbedarf für Bauzwecke im Bereich Bauen und Wohnen.....	65
Tabelle 17 Holzbedarfe für Heizzwecke im Bereich Bauen und Wohnen	66
Tabelle 18 Bedarfe an Baumaterialien der Gruppe „Steine & Erden“	67
Tabelle 19 Bedarfe an metallischen Baumaterialien im Bereich „Bauen und Wohnen“	68
Tabelle 20 Bedarfe an Kunststoffen im Bereich „Bauen und Wohnen“	69
Tabelle 21 Bedarfe an Dämmaterialien im Bereich „Bauen und Wohnen“	70
Tabelle 22 Wohnflächenentwicklung in den Szenarien.....	72
Tabelle 23 Entwicklung der bebauten Flächen in den Szenarien	72
Tabelle 24 Entwicklung der Grundstücksflächen* in den Szenarien.....	73
Tabelle 25 CO ₂ -Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“	74
Tabelle 26 Entwicklung der deutschen CO ₂ -Emissionen in den Szenarien gegenüber 1995.....	74
Tabelle 27 Deutsche SO ₂ -Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“ (in t/a).....	76
Tabelle 28 NO _x -Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“(in t/a).....	77
Tabelle 29 Reststoffmengen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“	79
Tabelle 30 Bauschutt mengen im REF-Szenario für das Jahr 1996 und 2020.....	81
Tabelle 31 Eigenschaften von SuB und seiner Varianten.....	104
Tabelle 32 Flächenbedarfe im Szenario SuB und seinen Varianten.....	105
Tabelle 33 Bedarfe an mineralischen Ressourcen in SuB und seinen Varianten.....	106
Tabelle 34 Ressourcenschonung in SuB durch einzelne Maßnahmen(bündel)	107
Tabelle 35 Rohholzbedarf für Bauzwecke in SuB und seinen Varianten	107
Tabelle 36 CO ₂ -Emissionen im Szenario SuB und seinen Varianten (nur in Deutschland).....	108

Tabelle 37 CO ₂ -Vermeidung in SuB durch einzelne Maßnahmen(bündel)	108
Tabelle 38 Reststoffmengen im Szenario SuB und seinen Varianten.....	109
Tabelle 39 Reststoffvermeidung in SuB durch einzelne Maßnahmen(bündel).....	110
Tabelle 40 Datenverifikation der Stoffstrom-Ergebnisse	113
Tabelle 41 Stoffbedarf der Szenarien durch nicht bilanzierte Infrastruktur	117
Tabelle 42 Endenergiebedarf zum Heizen im Stoffstrommodell (REF-Szenario).....	120
Tabelle 43 Endenergiebedarf der Haushalte zum Heizen (nach Prognos 1996).....	120
Tabelle 44 Struktur des Endenergiebedarf der Haushalte zum Heizen.....	121
Tabelle 45 Reduktionspotentiale im Jahr 2005 für ausgewählte Rohstoffe, Emissionen und Flächen in den Szenarien „Bauen und Wohnen“ gegenüber dem REF-Szenario	123
Tabelle 46 Reduktionspotentiale im Jahr 2020 für ausgewählte Rohstoffe, Emissionen und Flächen in den Szenarien „Bauen und Wohnen“ gegenüber dem REF-Szenario	124
Tabelle 47 Reduktionspotentiale in 2005 und 2020 für ausgewählte Rohstoffe, Emissionen und Flächen in den Szenarien „Bauen und Wohnen“ gegenüber 1995.....	125
Tabelle 48 Erreichung der Umwelthandlungsziele in den Szenarien „Bauen und Wohnen“.....	126

Abbildungsverzeichnis

Bild 1 Die globale Dimension von Stoffströmen - Beispiel Stahl (vereinfachtes Schema)	1
Bild 2 Schema zur Projektstruktur	4
Bild 3 Schritte eines Stoffstrommanagements	7
Bild 4 Grundstruktur der Angebotsseite in der Datenbasis des Stoffstrommodells	16
Bild 5 Grundcharakteristika des Referenz-Szenarios	28
Bild 6 Grundcharakterisierung des Effizienz-Szenarios	30
Bild 7 Grundannahmen des Struktur- und Bewußtseinswandel-Szenarios	32
Bild 8 Zur Szenariostruktur - Bedarfsseite (Wohnen)	34
Bild 9 Entwicklung der Wohnflächen in den Szenarien REF + EFF	37
Bild 10 Entwicklung der Wohnflächen im SuB-Szenario	39
Bild 11 Wohnflächen nach Gebäudeklassen im REF/EFF- und SuB-Szenario	47
Bild 12 Gesamte Wohnflächen im Vergleich von REF/EFF- und SuB-Szenario	48
Bild 13 Ebenen im Stoffstrommodell	54
Bild 14 Prinzip des Modellelements „Stoff- oder Energieextraktor“	56
Bild 15 Prinzip des Modellelements „Stoff- oder Energieumwandler“	56
Bild 16 Prinzip des Modellelements „Transport“	57
Bild 17 Prinzip des Modellelements „Stoff- oder Energiemixer“	57
Bild 18 Prinzip des Modellelements „Heizung/Warmwasser“	57
Bild 19 Grundstruktur der Verknüpfungen im Stoffstrommodell	59
Bild 20 Szenarioergebnisse im Vergleich: Grundstücksflächen (nur Zubau)	73
Bild 21 CO ₂ -Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“	75
Bild 22 SO ₂ -Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“	76
Bild 23 NO _x -Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“	77
Bild 24 Bauschuttmengen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“	80
Bild 25 Bodenaushubmengen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“	82
Bild 26 Verursacheranteile von SO ₂ -Emissionen nach Gruppen	85
Bild 27 Verursacheranteile von NO _x -Emissionen nach Gruppen	87
Bild 28 Verursacheranteile von CO ₂ -Emissionen nach Gruppen	89
Bild 29 Verursacheranteile von Abraum nach Gruppen	91
Bild 30 Verursacheranteile von Produktionsabfällen nach Gruppen	92
Bild 31 Verursacherstruktur für SO ₂ -Emissionen nach Gruppen	94
Bild 32 Verursacherstruktur für NO _x -Emissionen nach Gruppen	95
Bild 33 Verursacherstruktur für CO ₂ -Emissionen nach Gruppen	96
Bild 34 Verursacherstruktur für Abraum nach Gruppen	97
Bild 35 Verursacherstruktur für Produktionsabfälle nach Gruppen	97
Bild 36 Beispiel für branchenübergreifende Stoffflüsse: Holz	99

Vorbemerkung und Danksagung

Das Forschungsprojekt „*Stoffflußbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung*“ wurde von Umweltbundesamt im Rahmen des UFOPLAN gefördert.

Die Arbeit an diesem Vorhaben wurde durch Anregungen, Daten und Kritik vieler Einrichtungen und Personen aktiv unterstützt, unser Dank gilt insbesondere den folgenden Institutionen³:

Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände e.V., Braas Dachsysteme GmbH, Bundesverband der Dt. Mörtelindustrie e.V., Bundesverband der Dt. Ziegelindustrie, Bundesverband Kalksandstein, Bundesverband Porenbeton e.V., Gesamtverband Dämmstoffindustrie, Institut Wohnen&Umwelt (IWU), Überwachungsgemeinschaft Bauen für den Umweltschutz e.V., Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V.

sowie den am projektbegleitenden Beirat beteiligten VertreterInnen folgender Institutionen:

BfLR, Bauhaus-Universität Weimar, BMBau, BMBF, BMU, BMWi, Bauministerium des Landes NRW, ifib Uni Karlsruhe, IG BAU, IIP Uni Karlsruhe, ITAS - FZ Karlsruhe, Philipp Holzmann AG, Sekretariat der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Statistisches Bundesamt,

Den beteiligten MitarbeiterInnen des UBA - insbesondere Jochen Reiche, KarlOtto Henseling, Marina Köhn und Gisela Zimmermann - sei an dieser Stelle für ihre Diskussionsbereitschaft und konstruktive Kritik herzlich gedankt, ebenso den Beta-TesterInnen des Stoffstrommodells.

Projektbeteiligte von Umweltbundesamt und Öko-Institut



v.l.n.r.: H.Stahl, C.Hochfeld, M.Buchert (darunter B. Peter), J.Reiche, U.Fritsche, C.-O.Gensch, G. Zimmermann, K.O.Henseling, M.Köhn (darunter R. Gießhammer), L.Rausch, W.Jenseit

Die Verantwortung für die Ergebnisse liegt jedoch allein bei den Verfassern.

Darmstadt/Freiburg/Berlin, Januar 1998

Die Autoren

³ Wir danken auch den KollegInnen im Öko-Institut für Diskussionsbereitschaft und kritische Begleitung des Projekts.

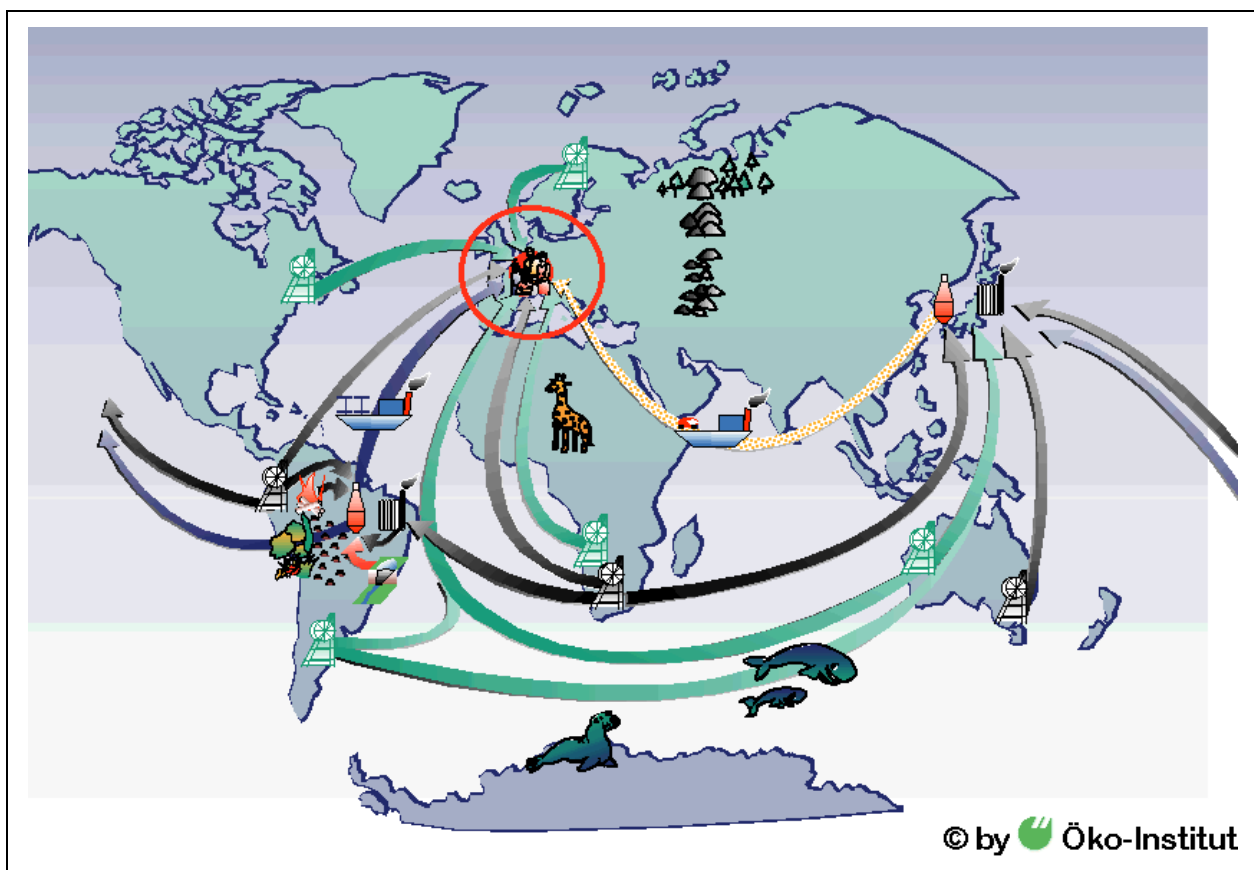
Einführung: Die bedürfnisfeldorientierte Stoffstromanalyse

Seit den Beschlüssen der UN-Konferenz zu Umwelt und Entwicklung in Rio 1992 und der dort verabschiedeten Agenda 21 ist den Industrieländern die Aufgabe gestellt, umweltpolitische Maßnahmen und ihre Umweltpolitik insgesamt auf das Konzept einer **nachhaltigen Entwicklung** zu gründen.

Zentraler Bestandteil einer nachhaltigen Entwicklung ist der ökologische Umbau der Wirtschaft, der mit einer grundlegenden Neuordnung der Inanspruchnahme von Natur als Quelle von Ressourcen und als Senke für Emissionen und Abfällen verbunden werden muß⁴.

Zur Neuordnung der Stoffflüsse zwischen menschlichen Aktivitäten und Natur ist erforderlich, die produktions- und produktinduzierten **Stoffströme** zu erfassen und in geeigneter Weise ökologischen Problembereichen zuzuordnen. Aufgrund der Vielzahl von Umwelteffekten und des grenzüberschreitenden Charakters der Stoffströme ist dies ein komplexes Unterfangen, wie folgendes Bild am Beispiel des Stahlbedarfs zeigt.

Bild 1 Die globale Dimension von Stoffströmen - Beispiel Stahl (vereinfachtes Schema)



⁴ Zur nachhaltigen Entwicklung zählen neben der ökologischen Dimension auch ökonomische und soziale Aspekte, auf die im vorliegenden Forschungsprojekt jedoch nicht näher eingegangen werden konnte (zur einer perspektivischen Diskussion einer „Stoffstromökonomie“ vgl. Anhangband).

Zur Erfassung der Veränderungen umweltrelevanter anthropogener Stoffströme werden als Kenngrößen Umweltindikatoren verschiedenen Umweltproblemfeldern zugeordnet. Mit ihrer Hilfe läßt sich bestimmen, wie weit ein Land von einem erwünschten, von der Politik definierten Zustand entfernt ist und welche Zielwerte anzustreben sind, um diesen Zustand zu erreichen. In Deutschland fehlt bisher ein **methodisches Instrument zur Operationalisierung stoffflußbezogener Zielvorstellungen**.

Um zur Schließung dieser Lücke beizutragen, beauftragte das Umweltbundesamt im Dezember 1995 das Öko-Institut⁵ mit dem Forschungsvorhaben *Stoffflußbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung*, das fachlich durch einen Beirat begleitet wurde. Das Forschungsvorhaben schließt sich der Vorgehensweise des UBA-Berichts *Nachhaltiges Deutschland - Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung* (UBA 1997b) an. Da es nicht den einen „richtigen“ Weg zur Nachhaltigkeit gibt, sondern viele Wege möglich sind, werden für relevante Handlungsfelder Szenarien entworfen und unter Umweltsichtspunkten auf ihre Nachhaltigkeit hin untersucht. Bei den Szenarien handelt es sich nicht um Prognosen, sondern um Zukunftsbilder, die verschiedene denkbare Entwicklungspfade beschreiben. Kernstück des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse und eines zugehörigen EDV-Werkzeugs.

Der vorliegende **Endbericht** informiert über wichtige Grunddaten⁶ und Ergebnisse des Forschungsvorhabens. Das entwickelte **Stoffstrommodell** liegt als lauffähige Software vor⁷.

Die Ziele des Forschungsvorhabens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. **Methodischer Beitrag** zur modellhaften Erfassung und Darstellung umweltrelevanter Stoffströme im Kontext ihrer wirtschaftlichen Bedeutung
2. Entwicklung eines dynamischen **Stoffstrommodells** für die quantitative Darstellung der in Deutschland anfallenden großen Stoffströme anhand eines Anwendungsbeispiels „Bauen und Wohnen“
3. Erstellung von Szenarien für alternative Entwicklungspfade umweltrelevanter **Massenströme** (Rohstoffentnahmen, Luftschadstoffe und Treibhausgase, Reststoffe)
4. Vergleich von Trends für umweltrelevante Massenströme mit umweltpolitisch vorgegebenen Reduktionszielen anhand eines Fallbeispiels

⁵ Die Bearbeitung erfolgte interdisziplinär durch die Bereiche Chemie und Energie des Öko-Instituts. Am Projekt waren die folgenden Personen beteiligt (in Klammern: Hauptaufgabenbereich): Matthias Buchert (Daten & Szenarien), Uwe R. Fritsche (Projektleitung), Carl-Otto Gensch (Daten & Qualitätskontrolle), Rainer Griebhammer (Umweltziele & Szenarien), Wolfgang Jenseit (Daten & Szenarien), Lothar Rausch (Modellierung), Hartmut Stahl (Daten & Szenarien), Anna Bludau + Anette Pohl (Sekretariat). Ergänzend arbeitete Brigitte Peter zu perspektivischen Fragen der Stoffstromökonomie (vgl. Darstellung im Anhangband).

⁶ Eine detaillierte Darstellung zur Datenbasis findet sich im Anhangband (als getrennter Bericht vorgelegt).

⁷ Über die hier und im zugehörigen Anhangband dargestellten Grunddaten und Ergebnisse hinaus liefert das entwickelte Stoffstrommodell eine große Fülle von weiteren Informationen und Detailergebnissen (z.B. Ergebnisse von Einzeljahren), auf deren Darstellung hier aus Gründen der Lesbarkeit verzichtet wurde.

5. Aufzeigen von **Reduktionspotentialen** und Diskussion von Perspektiven für „nachhaltiges Bauen und Wohnen“

Entsprechend dieser Ziele sollte das F&E-Vorhaben *Abschätzungen* liefern zu großen Stoffströmen (insbesondere erneuerbare und nicht erneuerbare Ressourcen) sowie Massen(schad-)stoffen im Hinblick auf ihre Entstehung, ihrer Nutzung in den verschiedenen Bereichen bis zum Eintrag in die Umwelt.

Als Methodik wurde im F&E-Vorhaben die **bedürfnisfeldorientierte Stoffstromanalyse** entwickelt, die mittels Szenarien die möglichen Zukünfte ausleuchtet und Handlungsoptionen mit Akteuren quantitativ in Beziehung setzt.

Hierfür sollte als „Werkzeug“ ein **Stoffstrommodell** entwickelt werden, das die Abbildung und Bilanzierung von Stoffströmen und ihrer zeitlichen Entwicklung leistet, die durch ausgewählte Bedürfnisse entstehen. Das nun vorliegende Instrument⁸ zeigt den Zusammenhang von Veränderungen im Bereich wirtschaftlicher Aktivitäten und Veränderungen umweltrelevanter Stoffströme auf und kann durch Szenarien Reduktionspotentiale derartiger Stoffströme ermitteln sowie diese den betroffenen Akteuren zuordnen.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde als Anwendungs**beispiel** das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ gewählt⁹. Zur Erprobung der Leistungsfähigkeit des zu entwickelnden methodischen Bausteins war hierfür ein **Prototyp** des EDV-Instruments zu erstellen. Die Möglichkeit zur Anpassung des prototypischen Stoffstrommodells an weitere andere Bedürfnisfelder und Sektoren war zu gewährleisten.

Zur Darstellung von alternativen Entwicklungspfaden unter geänderten Rahmenbedingungen für das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ wurden **drei Szenarien** mit einer zeitlichen Perspektive bis zum Jahr 2020 erstellt, mit deren Hilfe sich Effekte technischer Maßnahmen und Verhaltensänderungen im Hinblick auf Stoffströme bzw. Umweltindikatoren simulieren und quantitativ abschätzen lassen.

Es war nicht Aufgabe des Forschungsvorhabens, die stoffstrombezogenen Fragestellungen einer nachhaltigen Entwicklung des Bereichs „Bauen und Wohnen“ erschöpfend zu diskutieren, vielmehr lag die Zielsetzung darin, anhand des gewählten Fallbeispiels das *methodische Vorgehen zu demonstrieren* und grundlegende Aussagen zu den Stoffstromaspekten des Fallbeispiels zu erlauben.

Das Forschungsvorhaben hat damit einen **Doppelcharakter**:

- Es soll einerseits einen auf andere Anwendungsfälle (Bedürfnisfelder) *übertragbaren* methodischen *Baustein* liefern, der auf Basis einer bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse die stoffstrombezogenen Aspekte für ein nationales Konzept zur nachhaltigen Entwicklung behandelt.

⁸ Der Arbeitstitel für den Prototyp lautet „Bedarfsorientiertes Analysewerkzeug für Stoffströme in Szenarien (BASiS)“

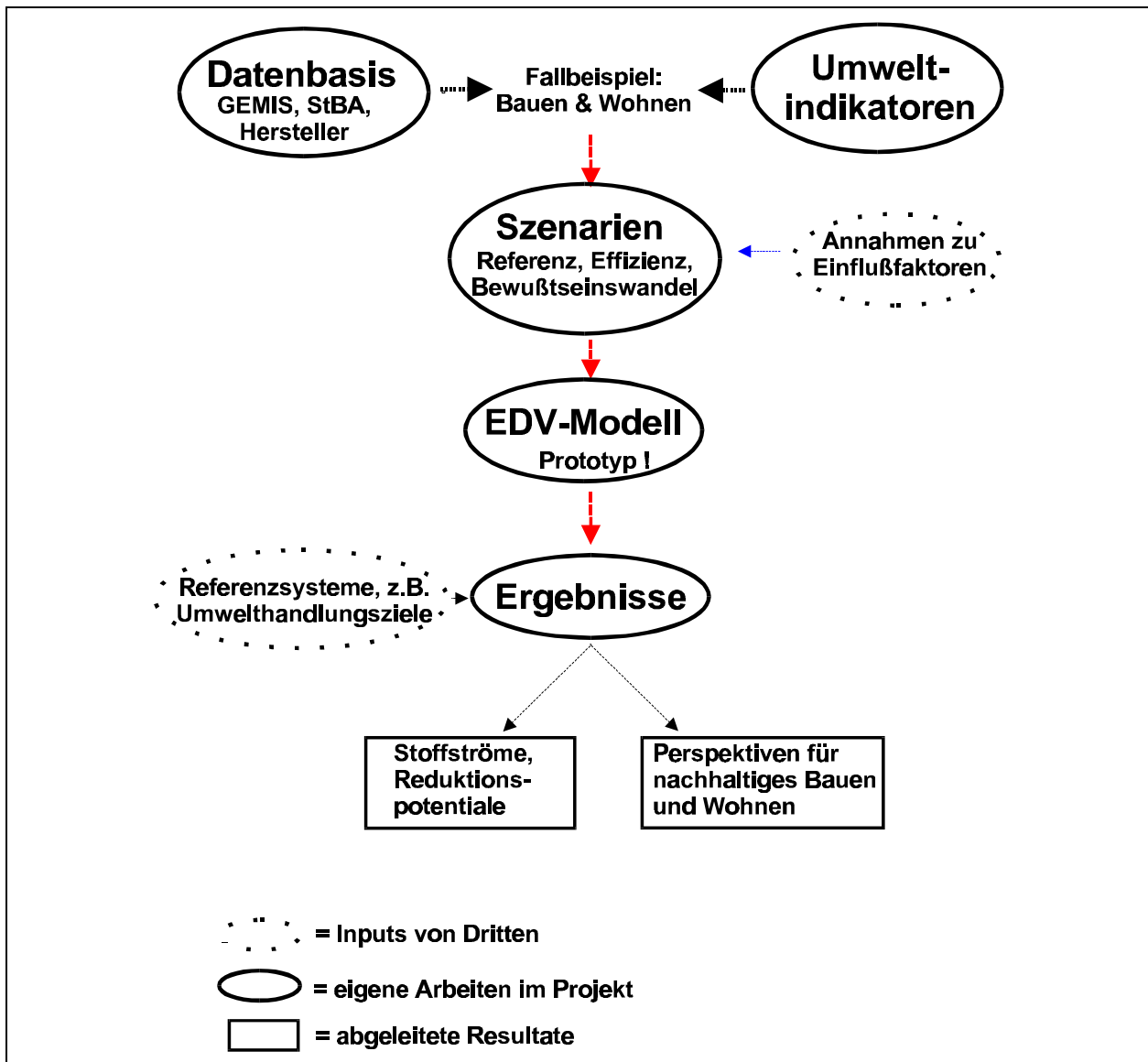
⁹ Dieses Bedürfnisfeld umfaßt in der Abgrenzung des Forschungsvorhabens nur Bestand (inkl. Abriß) und Zubau von **Wohngebäuden** (inkl. Wärmeversorgung und Instandhaltung) und die zugehörige Bauwirtschaft. Es werden hierfür die gesamte Stoff- und Energiebereitstellung mit allen Vorleistungen (inkl. Transporte und Importe) betrachtet.

- Andererseits soll das Vorhaben auch grundlegende Aussagen zu den stoffstrombezogenen Aspekten des gewählten Fallbeispiels „Bauen und Wohnen“ ermöglichen, um die Leistungsfähigkeit des entwickelten Bausteins konkret ermitteln zu können.

Aufgrund des F&E-Charakters des Vorhabens war eine direkte Einbeziehung der betroffenen Akteure im Bedürfnisfeld nicht möglich. Der methodische Baustein sowie das zugehörige Instrument wurden im Zuge des Vorhabens ja erst entwickelt. Vorgehensweise und Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden jedoch mit dem projektbegleitenden Beirat in einem breiten Akteurskontext diskutiert.

Für das F&E-Vorhaben wurden die nachfolgend dargestellten Projektschritte definiert.

Bild 2 Schema zur Projektstruktur



Diese grundlegende Struktur des Forschungsprojekts wurde in enger Absprache mit dem Auftraggeber und mit Zustimmung des projektbegleitenden Beirats entwickelt, wobei alle Beteiligten auch für Dateninputs und Kritik zur Verfügung standen¹⁰.

Die Projektschritte umfaßten:

1. Zusammenstellung von **Umweltindikatoren** für das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“:
Die für das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ relevanten Umweltindikatoren wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber hinsichtlich ihrer Eignung für das Stoffstrommodell und die Szenarienerstellung diskutiert und festgelegt.
2. Analyse der **Stoffflüsse** und Erstellung einer **Datenbasis** zu „Bauen und Wohnen“:
Für die Entwicklung des hierarchisch-dynamischen Stoffstrommodells war als Input ein Grundset an Stoffstromdaten erforderlich. Der Forschungsnehmer griff dazu auf den Basisdatensatz des GEMIS-Programms unter Berücksichtigung spezieller Erfordernisse und zeitlicher Entwicklungen zurück. Dieser Datensatz wurde durch aktuelle Daten des Statistischen Bundesamtes und eigene Recherchen ergänzt.
3. Entwicklung eines **dynamischen Stoffstrommodells**:
Auf Grundlage der Umweltindikatoren wurden die methodischen Elemente für das dynamische Stoffstrommodell erarbeitet. Dabei wurden Fragen nach Allokationsregeln, Umgang mit Kreislaufmaterialien sowie die Zuordnung von Umweltbelastungen zu geographischen Räumen und definierten Wirtschaftssektoren behandelt. Das Modell ist auf konventionellen PC lauffähig.
4. Erstellung von **Szenarien**:
Für die drei Szenarien zur Abbildung zukünftiger Entwicklungsmöglichkeiten im Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ waren bestimmte Eingriffe (Maßnahmen¹¹) im Bau- und Wohnsektor zu simulieren. Über verschiedene Parametersätze konnten so Varianten entwickelt und verglichen werden. Die Szenarien wurden für einen Zeitraum von 25 Jahren entwickelt.
5. **Auswertung** und **Visualisierung** der Ergebnisse
In der Auswertung des Anwendungsbeispiels wurden branchenübergreifende Stoffströme und die Wirksamkeit einzelner Maßnahmenbündel aufgezeigt sowie die Szenarioergebnisse mit Umwelt(handlungs)zielen verglichen. Eine disaggregierte Visualisierung der Verursacheranteile und Reduktionspotentiale und die Auswirkungen der Szenarien im Hinblick auf „nachhaltiges Bauen und Wohnen“ waren darzustellen.
6. Identifizierung des weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarfs.

Der vorliegende Endbericht orientiert sich in seiner Gliederung an diesen Projektschritten. Ergänzend wurde im letzten Abschnitt eine Übersicht mit **Definitionen wichtiger Begriffe** und **Abkürzungen** aufgenommen.

¹⁰ Vgl. Danksagung am Beginn. Die Verantwortung für Datenauswahl sowie Ergebnisse liegt jedoch allein bei den Autoren.

¹¹ Unter „Maßnahmen“ wird hier (anders als im z.B. umweltpolitischen Kontext) die Änderung eines *Einflussfaktors* in einem *Szenario* verstanden, die **unabhängig** von anderen Maßnahmen erfolgen kann (vgl. Begriffsdefinition am Ende dieses Berichts).

Eine Detaildarstellung zu den einzelnen Projektschritten mit ergänzenden Erläuterungen des Datenhintergrunds erfolgt im (getrennt vorgelegten) Anhangband.

Neben der schriftlichen Berichterstattung wurden dem UBA auch die Prototyp-Version des Stoffstrommodells (inkl. Quellcode), ein Visualisierungswerkzeug unter EXCEL[®] sowie Detailberechnungen zur Datenbasis und Szenarien (unter EXCEL[®]) auf Diskette übergeben.

1 Stoffstromrelevante Umweltindikatoren und Umweltziele für den Bereich „Bauen und Wohnen“

Die Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 12. Deutschen Bundestags hat vorgeschlagen, das allgemeine Leitbild der **Nachhaltigen Entwicklung** durch nationale und branchenbezogene Konzepte zu konkretisieren¹². Dabei sollen in einem integrativen Ansatz ökologische, ökonomische und soziale Ziele akteursübergreifend festgelegt und mit Hilfe eines aktiven Stoffstrommanagement umgesetzt werden:

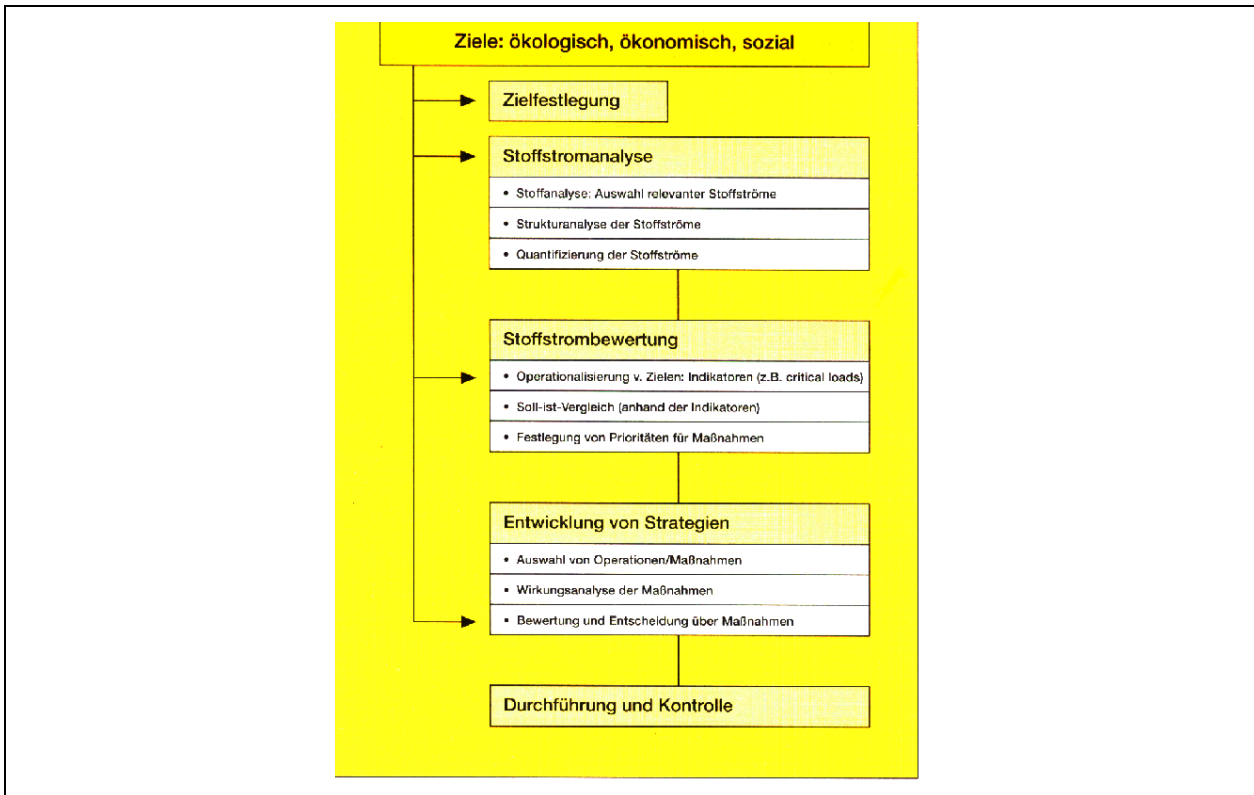
"Stoffstrommanagement ist das aktive und effiziente, an anspruchsvollen Umweltzielen orientierte, produktlinien- und medienübergreifende Beeinflussen von Stoffströmen. Stehen die Ziele fest, umfaßt das Stoffstrommanagement im engeren Sinne die Schritte Stoffstromanalyse, Stoffstrombewertung, Strategieentwicklung, Umsetzung und Erfolgskontrolle, wobei die Aufgaben den beteiligten Akteuren klar zugeordnet sind bzw. werden." (Enquête 1994)

Die Schritte des Stoffstrommanagements zeigt das folgende Bild, aus dem sich die Bedeutung der **Stoffstromanalyse** entnehmen läßt: Sie dient zur akteursspezifischen bzw. -übergreifenden Analyse und Bewertung von Stoffströmen und Szenarien und **hilft** damit bei Zielfindung und Strategieentwicklung¹³.

¹² Die Nachfolge-Enquête will dies u.a. am Beispiel „Bauen und Wohnen“ prototypisch beschreiben (Enquête 1997).

¹³ Die eigentliche Zielfindung und die Strategieentwicklung waren dagegen **nicht** Aufgabe des vorliegenden Projekts.

Bild 3 Schritte eines Stoffstrommanagements (Enquête 1994, S. 556)



1.1 Auswahl der Umweltproblemfelder und Umweltindikatoren

Stoffflußanalysen beziehen sich auf Umweltproblemfelder, die über Umweltindikatoren abgebildet werden. Im folgenden werden die für das Fallbeispiel relevanten Aspekte diskutiert.

1.1.1 Zentrale Umweltproblemfelder und Umweltindikatoren

Im Rahmen von nationalen und internationalen Umweltgutachten und Arbeiten verschiedener Gremien¹⁴ zur Methodikentwicklung von Ökobilanzen und zur Bestimmung von Umweltproblemfeldern und Umweltindikatoren werden übereinstimmend die in der folgenden Tabelle aufgeführten zentralen Umweltproblemfelder genannt¹⁵.

Tabelle 1 Zentrale Umweltproblemfelder und ihre Kategorisierung

Umweltproblemfeld	Kategorie	Umweltproblemfeld	Kategorie
Ressourcen-Inanspruchnahme	A	Humantoxische Belastungen	C
Treibhauseffekt	B	Belastungen am Arbeitsplatz	C
Ozonabbau in der Stratosphäre*	B	Ökotoxische Belastungen	C
Versauerung von Ökosystemen	B	Belästigungen (Geruch, Lärm)	D
Bildung von Photooxidantien*	B	Flächeninanspruchnahme	D
Eutrophierung von Ökosystemen**	B	Strahlenbelastung und Abwärme	D
Abfallaufkommen	B	Reduktion von Artenvielfalt und Naturschönheit	D

* = relevant, jedoch wegen Datenproblemen später ausgeklammert (s. unten) ** = im Fallbeispiel nicht relevant (s. unten)

Umweltproblemfelder können nach Problem- und Einwirkungsart in vier Kategorien gruppiert werden (siehe Tabelle oben), wobei die Übergänge zwischen Kategorie B und C teilweise fließend sind (vgl. ÖKO/RWI 1994):

Kategorie A: *Ressourcen* (biotische und abiotische Rohstoffe, erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergien), deren Inanspruchnahme entweder zu einem Substanzverzehr (Lagerabbau) führt oder deren *Nutzungsrate* beschränkt ist

Kategorie B: *Massenschadstoffe* (wie CO₂), *Abfall* und *Massennährstoffe* (wie N, P)

Kategorie C: *Schadstoffe* (Dioxine, Cadmium)

Kategorie D: *nicht stoffbezogene* Umweltprobleme (Lärm, Flächenverbrauch, Artenvielfalt etc.), deren Auftreten und Intensität kaum mit dem Stoffumsatz verknüpft ist.

¹⁴ vgl. CML 1992a+b, ISI 1996, OECD 1994, SETAC 1996, UBA/CAU/IFEU 1995

¹⁵ Abweichungen gibt es allenfalls bei der formalen Zusammenfassung - so werden etwa toxische und ökotoxische Belastungen als *ein* Umweltproblemfeld zusammengefaßt. Es werden auch generelle Indikatoren der Umweltbelastung vorgeschlagen, die problemübergreifend eine pauschale Umweltbelastung widerspiegeln (OECD 1994, ISI 1996). Beispiele sind Gesamtenergieverbrauch oder „Materialintensität“ (MIPS-Konzept des Wuppertal-Instituts).

Von diesen Kategorien können in Stoffstromanalysen die ersten beiden (A+B) weitgehend problemlos adressiert werden, da sie Input (Ressourcen) und Output (Produkte, Emissionen, Abfall) von Stoffströmen medien-, produktlinien- und länder- bzw. ortsübergreifend erfassen.

Dabei erfolgt in der Regel keine Expositionsanalyse, da diese meist schon an der Datenlage bzw. dem Umfang der zu erhebenden Daten scheitert und andererseits Analyse und Bewertung überkomplex würden¹⁶. Umweltproblemfelder der Kategorie C können in Stoffstromanalysen kaum adäquat behandelt werden.

Das UBA hat in Anlehnung an die Diskussion zur internationalen Normung für die Durchführung von Ökobilanzen bzw. darin enthaltener Sachbilanzen folgende Pflicht-Kategorien vorgeschlagen (UBA 1995, S. 63ff.):

Ressourceninanspruchnahme	Treibhauseffekt
Versauerung	Abfall
Flächenbedarf	Human- und Ökotoxizität

Für die beiden letztgenannten Kategorien wird - in Übereinstimmung mit der o.g. Argumentation - konzidiert, daß deren Einbezug noch einer erheblichen methodischen Entwicklung bedarf.

Die für die Kategorie C genannten Einschränkungen gelten vergleichbar auch für die Kategorie D, also für die nicht stoffbezogenen Umweltprobleme Fläche, Lärm, Strahlenbelastung sowie Naturschönheit bzw. Naturvielfalt.

Von den nicht stoffbezogenen Umweltparametern werden bei Ökobilanzen bislang in der Regel keine oder allenfalls einfache Flächenparameter mit erfaßt (z.B. Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe).

1.1.2 Ausgewählte Umweltindikatoren für den Bereich „Bauen und Wohnen“

Da Stoffstromanalysen auf einem noch stärker aggregierten Niveau ansetzen als Produktökobilanzen, gelten die o.g. Schwierigkeiten des Einbezugs von Umweltproblemfeldern der Kategorien C und D noch verstärkt: Durch den notwendigerweise betriebs- und produktübergreifenden Ansatz von Stoffstromanalysen ist eine sinnvolle Erfassung expositionsabhängiger Schadstoffrisiken und nicht stoffbezogener Umweltprobleme in quantitativer Form praktisch unmöglich¹⁷.

Im Forschungsvorhaben wurden daher nur Umweltprobleme bzw. zugehörige Umweltindikatoren der *Kategorie A und B* sowie *Flächenverbrauch* erfaßt (vgl. Tab.1).

¹⁶ Allenfalls bei Produktökobilanzen ist es vereinzelt bzw. unter günstigen Umständen möglich, begleitend Expositionsanalysen - bzw. genauer *Expositionspotential*-Analysen - durchzuführen (vgl. ÖKO 1996b).

¹⁷ Allerdings kann eine „hot-spot“-Analyse für die Umweltproblemfelder erfolgen und diese in **qualitativer** Hinsicht ausgewertet werden.

Im Verlauf des Forschungsvorhabens zeigte sich, daß Datenlage und -qualität für **Photooxidantien** im Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ außerordentlich lückenhaft sind, sodaß dieses Umweltproblemfeld nicht einbezogen werden konnte¹⁸. Die Datenrecherchen zeigten weiterhin, daß eutrophierende Stoffe für das Fallbeispiel kaum relevant sind, daher wurde das Umweltproblemfeld „Eutrophierung von Ökosystemen“ ebenfalls ausgeklammert. Schließlich wurde entschieden, auch das Umweltproblemfeld „Abbau des stratosphärischen Ozons“ nicht einzubeziehen. Hierfür waren drei Gründe ausschlaggebend:

- Die Datenlage ist unbefriedigend: FCKW-Emissionen stammen im wesentlichen aus dem Bestand und hier aus FCKW-geschäumten Kunststoffen, zum Beispiel aus Dämmstoffen. Die Daten über die Menge FCKW-geschäumter Produkte (differenziert nach den jeweils verwendeten FCKW) im Hausbestand bzw. im Lager sind eher dürftig.
- Die Modellierung ist unbefriedigend: Zu den zeitlich differenzierten Freisetzungsraten der FCKW aus den geschäumten Kunststoff-Bauprodukten gibt es nur grobe Modellierungen bzw. Schätzungen.
- Bei Neubau und Renovierung werden nur noch in geringem Ausmaß ozonzerstörende H-FCKW verwendet. Ihre Verwendung ist sowohl durch gesetzliche Regelungen wie auch durch Freiwillige Selbstverpflichtungen zeitlich und produktspezifisch befristet¹⁹.

Für das Forschungsvorhaben wurden in Anlehnung an den Stand der Ökobilanz-Methodik und in Abstimmung mit dem Auftraggeber die in der folgende Tabelle aufgeführten Umweltproblemfelder sowie die zugehörigen Einzel- und Leitindikatoren festgelegt, die für das Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ relevant sind.

Tabelle 2 Umweltproblemfelder und Umweltindikatoren für „Bauen und Wohnen“

Umweltproblemfeld	Ausgewählte Umweltindikator(en)
Inanspruchnahme von Ressourcen	Rohstoffbedarf (Energieträger, Erze, Mineralien, Holz)
Treibhauseffekt	Emission von Treibhausgasen (insb. CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)
Versauerung von Ökosystemen	Emission von Säurebildnern (SO ₂ , NO _x)
Abfallaufkommen	Abfälle/Reststoffe (Abraum, Produktionsabfälle, Bodenaushub, Baustellenabfälle, Bauschutt) ²⁰
Flächeninanspruchnahme	Flächen für Gebäude und Grundstücke

¹⁸ Diese Erfahrung mußte auch in anderen Untersuchungen gemacht werden; zum Beispiel bei Waschmittel und Waschmittelinhaltsstoffen (vgl. ÖKO 1996b).

¹⁹ Dies betrifft im wesentlichen extrudierte Polystyrol-Wärmedämmstoffe, bei denen zur Schäumung der H-FCKW R 142b und - in geringerem Umfang - R 22 verwendet werden. Die beiden deutschen Hersteller von XPS-Dämmplatten, haben sich verpflichtet, spätestens bis zum 30. Juni 1998 mindestens 80% der auf dem deutschen Markt angebotenen XPS-Dämmplatten H-FCKW-frei herzustellen und die restlichen 20% bis spätestens zum 1. Januar 2000 umzustellen.

²⁰ Sonderabfälle werden nicht getrennt erfaßt, da die Datenlage hierzu nicht ausreicht Dies gilt sinngemäß auch für die Belastung einzelner Abfallarten (z.B. Bauschutt) mit Problemstoffen.

1.2 Übersicht zu relevanten Umweltqualitätszielen, Umwelthandlungszielen und Etappenzielen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Zusammenstellung bereits existierender oder vorgeschlagener nationaler bzw. auf den Bereich „Bauen und Wohnen“ bezogener Ziele erarbeitet, die als Referenzsysteme für die Bewertung von Szenarioergebnissen (vgl. Abschnitt 5) dienen²¹. Eine Übersicht hierzu gibt nachfolgende Tabelle, in der Umweltqualitätsziele nur dann angeführt sind, wenn sie in direktem Bezug zu Umwelthandlungszielen oder Etappenzielen stehen²². Bei Umwelthandlungszielen/Etappenzielen werden *vorrangig* normativ gesetzte Ziele für den Baubereich angeführt. Wenn solche nicht gesetzt wurden, wird auf nationale Ziele, Freiwillige Vereinbarungen o.ä. zurückgegriffen.

Tabelle 3 Umweltqualitäts-, -handlungs- und Etappenziele für „Bauen und Wohnen“

	Umweltqualitätsziel	Umwelthandlungsziel	Etappenziel
Ressourcen (exemplarisch dargestellt für Erdöl, Gips und Holz)	1. Erdöl. Bezug weltweit. Kein Ziel festgelegt. 2. Gips. Bezug regional. Umweltqualitätsziele in Vorb. ²³ 3. Holz. Bezug tropische, boreale und temperierte Waldzonen: Nachhaltige Waldbewirtschaftung und standortgerechter Mischwald (Agenda 21; Kapitel 11 und Walderklärung)	1. Erdöl: Kein Ziel festgelegt 2. Gips. Bezug regional. Umwelthandlungsziele in Vorbereitung. 3. Holz. Kein Ziel festgelegt Allgemein: Bestandserhaltung und standortgerechter Mischwald; Verminderung des Verbrauchs kurzlebiger Holz/Zellstoffprodukte und verstärktes Recycling, sowie verstärkte Nutzung langlebiger Holzprodukte (Enquête 1994b)	1. Erdöl: Kein Ziel festgelegt 2. Gips. Bezug regional. Etappenziele in Vorbereitung. 3. Holz. Bezug national: wie bei Umwelthandlungsziel.
Treibhauseffekt (exemplarisch dargestellt für Kohlendioxid)	Bezug: weltweit. Erhöhung der mittleren Erdtemperatur seit der Industrialisierung bis 2100 um max. 2°C; max. Änderung um 0,1°C pro Dekade.	Bezug: national. Reduktion der energiebedingten CO ₂ -Emissionen um 50% bis 2030 und um 80% bis 2050 (Klima-Enquête).	Bezug: national. Reduktion der energiebedingten CO ₂ -Emissionen (Bezugsjahr 1990) um 25% bis 2005 (Bundesregierung).
Versauerung von Ökosystemen (exemplarisch behandelt an SO ₂ und NO _x)	Bezug: Europa und differenziert nach Regionen. Critical-Load-Konzept.	Bezug: Europa und differenziert nach Regionen. Critical-Load-Konzept.	1. SO₂. Bezug: national. Reduktion um 87% bis 2005, bezogen auf das Basisjahr 1980 (UN/ECE-Kommission, Oslo-Protokoll) 2. NO_x. Bezug: national. Reduktion um 30% bis 1998; bezogen auf das Basisjahr 1989 (UN/ECE-Kommission, deutsche Zusatzverpflichtung).

²¹ Bei Anwendung des hier entwickelten Instrumentariums können diese auch Zielfindung und Strategieentwicklung der beteiligten Akteure unterstützen.

²² Eine Diskussion der Begriffe Umwelt-, Umweltqualitäts-, Umwelthandlungs- und Etappenziel gibt der Anhangband.

²³ Bei Gips und vergleichbaren, für den Baubereich bedeutsamen Massenrohstoffen wird derzeit weniger über eine Reduktion des nationalen Verbrauchs als vielmehr über regionale Beschränkungen aufgrund von Landschafts- und Naturschutz diskutiert (vgl. ÖKO 1997b, UBA 1997a)

Tabelle 4 Umweltqualitäts-, -handlungs- und Etappenziele...Fortsetzung

	Umweltqualitätsziel	Umwelthandlungsziel	Etappenziel
Abfälle/Reststoffe	keine direkt zu den Etappenzielen formulierten Umweltqualitätsziele.	Keine internationalen Umwelthandlungsziele.	<u>Bezug national und Bereich Bau und Tiefbau</u> . 50%ige Verwertung der derzeit in einer Höhe von 26 Mio t/a anfallenden verwertbaren, aber nicht verwerteten <u>Bauabfälle</u> ²⁴ - bis zum Jahr 2005 (Freiwillige Selbstverpflichtung der AG Kreislaufwirtschaftsträger Bau). Keine Ablagerung von <u>Bodenaushub</u> (Zielfestlegungen der Bundesregierung von 1996). Keine Festlegungen für <u>Produktionsabfälle</u> .
Flächeninanspruchnahme	<u>Bezug: national</u> . Begrenzung bzw. Reduktion des Flächenverbrauchs (Enquête 1997)	Langfristig (ab dem Jahr 2010) soll die Umwandlung von unbebauten Flächen in bebaute durch gleichzeitige Erneuerung (Entsiegelung u.a.) vollständig kompensiert werden (Enquête1997).	Entkopplung des Flächenverbrauchs von Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum; deutliche Verlangsamung der Umwandlung von unbebauten Flächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen: Anzustreben ist Verringerung der Umwandlungsrate bis 2010 auf <u>10 %</u> der Rate, die für die Jahre 1993 bis 1995 festgestellt wurde (Enquête 1997, S. 55).

Diese Zusammenstellung zeigt, daß *quantitative* Umwelthandlungs- bzw. Etappenziele für das Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ vor allem für Umweltproblemfelder der Kategorie B existieren, während für Kategorie A nur der Nachhaltigkeitsgrundsatz der Forstwirtschaft und für Kategorie D ein vergleichsweise weiches Ziel formuliert wurden („...anzustreben“).

Für die Kategorie C finden sich keine Umwelthandlungs- bzw. Etappenziele, womit sich die im Projekt getroffene Abgrenzung der zu behandelnden Umweltproblemfelder und Umweltindikatoren indirekt bestätigt.

Von Bedeutung für das Forschungsvorhaben ist außerdem, daß die Umwelthandlungs- bzw. Etappenziele **ganz überwiegend** entweder für ein Territorium (Deutschland) oder für **eine** Branche (Forst- oder Bauwirtschaft) gelten²⁵.

Vor der Anwendung der Umwelthandlungs- bzw. Etappenziele als Referenzsysteme zum Vergleich mit Szenarioergebnissen (vgl. Abschnitt 5) ist zu fragen, ob sie durch diese Orientierung für stoffflußbezogene Problemstellungen geeignet sind.

Interessant ist hier, inwieweit die im Forschungsprojekt vorliegende Orientierung am **Bedürfnisfeld** „Bauen&Wohnen“ mit der Bezugsbasis der Referenzsysteme kompatibel ist.

²⁴ Bauabfälle: Bauschutt, Baustellenabfälle und Straßenaufbruch

²⁵ Die Flächenziele beziehen sich sowohl auf ein Territorium (BRD) als auch auf eine Mischung von Wirtschaftssektoren (Siedlungs- und Verkehrsfläche). Hier stellt sich ein Zuordnungsproblem für die betroffenen Akteure.

1.3 Unterschiede zwischen nationalen bzw. branchenbezogenen Zielen und dem bedürfnisfeldorientierten Ansatz

In der Produktionsstatistik werden Ressourceninanspruchnahme, Güterumsätze und neuerdings auch Emissionen branchenspezifisch und national erfaßt. Dies gilt entsprechend für die Umweltberichterstattung und für die Festlegung von Umweltzielen sowie für Freiwillige Selbstverpflichtungen.

Dies bedeutet, daß z.B. der Branche „Steine und Erden“, die als Vorlieferant der Bauwirtschaft im engeren Sinn fungiert, die *direkten* Ressourcenbedarfe im *Inland* (z.B. Kies- oder Sandbedarf) und die *direkten* Emissionen im *Inland* (z.B. durch Betrieb von Heizkesseln oder Dieselmotoren) zugeordnet werden. Für alle anderen Branchen läßt sich sinngemäß verfahren: jeweils werden direkt im Inland verursachte Ressourcenbedarfe bzw. Emissionen erfaßt.

Für die **insgesamt** national verursachten Ressourcenbedarfe und Emissionsmengen existieren somit Daten, die periodisch fortgeschrieben und auch einzeln verifiziert werden können²⁶. Entsprechend können nationale bzw. branchenbezogene Umwelthandlungs- oder Etappenziele auf Basis dieser Daten formuliert bzw. überprüft werden, soweit die Datengrundlage hierzu ausreichend differenziert vorliegt

Bei der **Aufstellung** von Umwelthandlungs- bzw. Etappenzielen bedeutet dies jedoch, daß die bestehende **Verflechtung zwischen** den Branchen nicht erfaßt wird - das markanteste Beispiel hierfür ist sicher die Energiewirtschaft, deren Produkte (Output) für eine Vielzahl von Branchen und Sektoren eine wesentliche Inputgröße darstellt.

Dies ist ein **fundamentales** Problem, das bei der Abschätzung der **zukünftigen** Entwicklung von Branchen (und den damit verbundenen Umweltinanspruchnahmen) notwendig gelöst werden muß:

Umwelthandlungs- bzw. Etappenziele beziehen sich ja nicht nur auf ein Territorium bzw. eine Branche, sondern auch auf einen **Zeitpunkt** (oder mehrere) in der Zukunft, zu dem ein Zielwert der Umweltinanspruchnahme definiert wird.

Für viele Branchen ist jedoch aufgrund der ökonomischen Verflechtung nicht unabhängig von der Entwicklung der anderen Branchen zu entscheiden, welches Produktionsniveau sich einstellen wird - und damit wird es aus Branchensicht sehr unsicher, welche Umweltinanspruchnahmen künftig auftreten werden bzw. wie groß die Minderungspotentiale sind.

Als potentielle Lösung für branchenbezogene Ziele bietet sich an, anstelle von absoluten Zielen nur *spezifische* Kenngrößen anzustreben, also z.B. die Senkung der Umweltinanspruchnahme *pro Tonne* Produkt oder *pro Einheit* Wertschöpfung.

Diese Option umgeht offenkundig die Problematik der Verflechtung *innerhalb* der nationalen Ökonomie, sie hat aber notwendigerweise zwei wesentliche Nachteile:

- Sie adressiert nicht die Erreichung bestimmter Niveaus der Umweltinanspruchnahme insgesamt, wie sie aus ökologischer Sicht für viele Umweltproblemfelder erforderlich ist
- Sie klammert die territoriale Problematik (internationale Verflechtung) aus.

²⁶ Dies gilt nur mit der Einschränkung, daß tatsächlich Messungen erfolgen. Oft sind entsprechende Daten jedoch nur über Schätzungen anhand von Emissionsfaktoren oder Hochrechnungen auf Basis kleiner Datenkollektive möglich.

Eine adäquate Methodik zur Operationalisierung eines *nationalen* Konzepts der nachhaltigen Entwicklung muß gerade - und tendenziell zunehmend - *auch* dem Aspekt der *internationalen* Arbeitsteilung gerecht werden - Stichwort Globalisierung:

Durch „Auslagerung“ von Teilen der Wertschöpfungskette in das Ausland können die damit verbundenen Umweltinanspruchnahmen sowohl in der nationalen Bilanz wie auch in produkt-spezifischen Kenngrößen „vermieden“ werden, eben jedoch nur auf Kosten der Verlagerung auf Dritte²⁷.

Eine Antwort hierauf mag im dynamischen Charakter der Umweltzieldiskussion liegen, der - so die Hoffnung - längerfristig zu einer Festlegung von nationalen und branchenbezogenen Umweltzielen in allen Staaten führen soll, die am Weltmarkt teilnehmen²⁸.

Für die hier zu entwickelnde Methodik zur Operationalisierung ist es jedoch nicht genug, nur auf einen (vermuteten) Trend zu setzen - und dabei auch die Anzahl der beteiligten Akteure nochmals deutlich auszuweiten²⁹. Vielmehr muß der Option zur Problem“verschiebung“ über territoriale Grenzen hinweg auch konzeptionell begegnet werden.

Mit dem im vorliegenden Forschungsvorhaben verfolgten Ansatz der **Stoffstromanalyse für Bedürfnisfelder** lassen sich die genannten Probleme im Bereich der nationalen und branchenbezogenen Umweltziele lösen: Er setzt, ausgehend von einem Bedürfnisfeld, produktlinien- und branchenübergreifend an und ermittelt so neben den direkten Umweltinanspruchnahmen auch indirekte Ressourcenbedarfe und Emissionen in den *Vorketten* (z.B. bei der Stromproduktion) aller betroffenen Branchen und Produkte.

Neben der Erfassung der *indirekten* Ressourcenbedarfe und Umweltbelastungen in anderen Branchen (z.B. Produktion von Baustahl) können damit **auch** die Ressourcenbedarfe und Umweltbelastungen im *Ausland* (z.B. bei Gewinnung und Transport von Bauxit) erfaßt werden, soweit sie letztlich aus nationalen Stoff- und Energienachfragen herrühren oder über Produktimporte vermittelt werden.

Die hier vorgelegte Stoffstromanalyse erlaubt mithin, die Gesamtstoffströme von Bedürfnisfeldern nach in- **und** ausländischen Anteilen sowie nach **allen beteiligten** Branchen zu differenzieren.

Damit ist eine Ankopplung der Ergebnisse an die bisherige Umweltstatistik gewährleistet, d.h. es können branchenbezogene oder nationale Umweltziele untersucht werden, soweit **alle** Bedürfnisfelder eines Landes berücksichtigt werden.

Gleichzeitig können die ausländischen Wirkungen abgeschätzt und - zumindest von der Methodik her - auch gezielte Strategien einer internationalen Kooperation zur Senkung von Umweltinanspruchnahmen untersucht werden.

²⁷ Es gibt jedoch **auch** Situationen, in denen die Umweltinanspruchnahme durch Auslagerung nicht nur umverteilt, sondern auch insgesamt gesenkt werden kann - z.B. dann, wenn durch die Nähe zu Lagerstätten oder Absatzmärkten sonst notwendige Transporte vermieden oder ökologisch günstige Energiequellen genutzt werden können.

²⁸ Ergänzend wird auch auf die potentielle Rolle supranationaler Umweltvereinbarungen unter UN- oder WTO-Federführung verwiesen. Dies kann hier aus Aufwandsgründen nicht weiter diskutiert werden.

²⁹ Wobei offen bleiben muß, ob eine adäquate Beteiligung der Betroffenen in diesem Kontext überhaupt erfolgen kann - neben dem Problem der verfügbaren Ressourcen, die zur Teilnahme am Umweltzielprozeß erforderlich sind stellt sich in vielen Entwicklungsländern für viele Betroffene die Frage des Zugangs und der Teilhabe am politischen Prozeß.

Die hier entwickelte Methodik hat jedoch im konkreten Fallbeispiel auch einen *Nachteil*:

Werden nicht **alle** Bedürfnisfelder abgebildet, so liefern die Ergebnisse der Stoffstromanalyse nur einen „Querschnitt“ durch die betroffenen Branchen, der je nach Bedürfnisfeld sehr unterschiedliche Wirtschaftssektoren in jeweils verschiedener Weise betrifft³⁰.

Ein Vergleich mit Umwelthandlungs- oder Etappenzielen, die sich in der Regel ja auf die Gesamtheit einer Branche oder eines Landes beziehen, ist damit nur in dem Umfang möglich, wie sich die jeweiligen Ziele auf Bedürfnisfelder „herunterbrechen“ lassen.

Da im vorliegenden Forschungsvorhaben nur das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ als Fallbeispiel untersucht wurde, können die Ergebnisse entsprechend auch nur insoweit mit Umweltzielen verglichen werden, wie sich eine plausible Umrechnung der (territorialen oder branchenbezogenen) Gesamtziele auf den **durch das Bedürfnisfeld betroffenen Ausschnitt** (des Territoriums oder der Branche) durchführen läßt.

Diese Problematik ist daher bei der Ergebnisdiskussion (vgl. Abschnitt 5) zu beachten.

Der oben formulierte Nachteil der hier entwickelten Methodik läßt sich jedoch auch anders ausdrücken:

Zur Operationalisierung eines *nationalen* Konzepts der nachhaltigen Entwicklung ist die Erarbeitung von Umwelthandlungs- bzw. Etappenzielen für produkt- und branchenübergreifende Bedürfnisfelder notwendig, die *auch* den *internationalen* Kontext der Umweltinanspruchnahme berücksichtigen.

Aus Sicht des Öko-Instituts ist die derzeitige Praxis der Aufstellung von Umwelthandlungs- bzw. Etappenzielen somit **defizitär** - eine Weiterentwicklung im Sinne der hier entwickelten Bedürfnisfeldorientierung erscheint notwendig.

Im Forschungsvorhaben wurden die dafür notwendigen methodischen Schritte entwickelt und die erforderlichen Daten - anhand des ausgewählten Fallbeispiels - zusammengestellt.

Die Anwendung dieses „stoffflußbezogenen Bausteins“ zur Erarbeitung eines nationalen Konzepts der nachhaltigen Entwicklung kann somit für den Bereich „Bauen und Wohnen“ erfolgen³¹.

³⁰ Dieser Nachteil ist solange gegeben, wie sich die Diskussion zu Umweltzielen nicht an Bedürfnisfeldern orientiert.

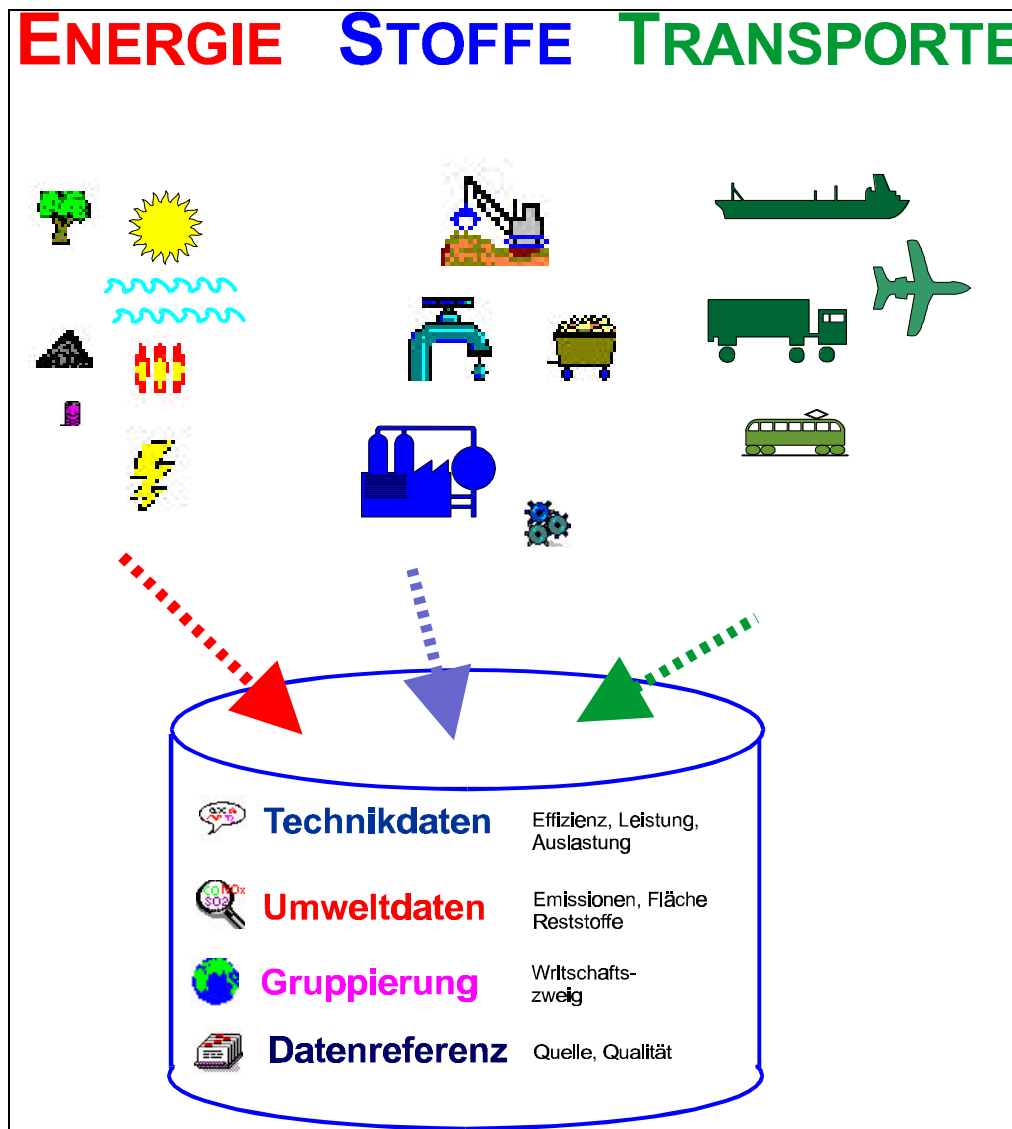
³¹ Hierbei ist neben der genannten Orientierung an Bedürfnisfeldern auch die adäquate Beteiligung der relevanten Akteure in einem Prozeß notwendig (vgl. dazu näher ÖKO 1995).

2 Die Datenbasis der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse

Der im vorigen Abschnitt dargestellte methodische Ansatz dieses Forschungsvorhabens, produktlinien- und branchenübergreifende Stoffstromanalysen für Bedürfnisfelder durchzuführen, die auch indirekte Umweltinanspruchnahmen über Vorketten ermitteln und die Stoffströme nach in- und ausländischen Anteilen sowie nach beteiligten Branchen differenzieren, erfordert eine entsprechend ausgelegte Datenbasis.

Die Anforderungen gelten insbesondere für die **Angebotsseite**, also die Bereitstellung von Energieträgern, Stoffen und Transportdienstleistungen durch wirtschaftliche Aktivitäten. Die Datenbasis, die diese Aktivitäten abbildet, muß alle wichtigen Grundinformationen dazu erfassen und speichern, wobei auf der Angebotsseite insbesondere Daten zur Energieeffizienz, zu stofflichen Umsetzungsraten, Emissionsfaktoren, Transportmodi etc. von Relevanz sind. Das folgende Bild zeigt schematisch die Grundelemente der Datenbasis für die Angebotsseite.

Bild 4 Grundstruktur der Angebotsseite in der Datenbasis des Stoffstrom-Modells



Die Auslegung der Angebotsseite in der Datenbasis des Stoffstrommodells erfolgte in Anlehnung an Struktur und Nomenklatur von GEMIS (vgl. ÖKO 1996a), wobei jedoch softwareseitig eine erhebliche Überarbeitung erfolgte³². Das Stoffstrommodell ist im Gegensatz zu GEMIS **dynamisch** ausgelegt, kann also zeitvariable Entwicklungen abbilden. In Ergänzung zur Darstellung im vorigen Bild geht daher auch eine **Zeitdimension** in die Datenbasis ein.

Die Datenbasis bezieht sich vor allem auf das im Forschungsvorhaben gewählte Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“, d.h. es werden die hierfür relevanten Daten identifiziert³³.

Im folgenden werden in einer kurzen Übersicht die wichtigsten Grunddaten aufgeführt, mit denen die Datenbank des Stoffstrommodells ausgestattet wurde.

Diese Daten wurden - soweit nicht bereits in GEMIS 3.0 verfügbar - mit Unterstützung des Projektbeirats, aus der Literatur sowie durch Herstellerbefragung eruiert (vgl. dazu näher Abschnitt 2.1).

Bei der Auswahl der relevanten Stoffströme wurde als wesentliches Kriterium die Produktmasse verwendet, die im Bereich „Bauen und Wohnen“ umgesetzt wird. Nach diesem Filter wurden u.a. die folgenden Stoffe und Stoffströme als relevant für das Fallbeispiel identifiziert:

- Mauerwerk- und Dachmaterialien, Kies, Sand, Zement, (Branche Steine & Erden)
- Aluminium, Kupfer (Branche NE-Metalle)
- (Bau)Stahl, Bleche (Branche Eisen & Stahl)
- Kunststoffe - PVC, PE, PS - und Grundchemikalien - Chlor, NH₃, etc. (Branche Chemie)
- Flachglas, Glas- und Steinwolle (Branche Glas & Keramik)
- Bauholz, Bretter, Spanplatten (Branchen Forstwirtschaft und Holzverarbeitung)
- fossile Energieträger, Elektrizität, Biomasse (Branchen Energie- und Forstwirtschaft)

Über vorgelagerte Prozesse (z.T. im Ausland) sind außerdem weitere Stoffflüsse betroffen, die ebenfalls berücksichtigt wurden. Schließlich wurden die relevanten Gütertransportprozesse (per Bahn, Lkw, Schiff) mit in die Datenbank einbezogen.

Neben den Grunddaten zu Energie, Stoffen und Transporten müssen auch Daten über zeitlich variable und szenariospezifische Prozesse - insbesondere zur Baustoffherstellung - in der Datenbasis enthalten sein, um Informationen über die **künftige** Entwicklung der Stoffströme anzubieten. Eine nähere Darstellung dieser Daten erfolgt im Zusammenhang mit der Definition der Szenarien (vgl. Abschnitt 3).

Die im Forschungsvorhaben durchgeführte Stoffstromanalyse eines ausgewählten Bedürfnisfeldes umfaßt jedoch nicht nur die Angebotsseite, also die Bereitstellung von Gütern, Dienstleistungen und Produkten, sondern betrifft auch die im Bedürfnisfeld vorhandene bzw. künftige **Nachfrage**.

³² Während GEMIS mit einer objektorientierten Datenbasis im 16-Bit-Modus unter DELPHI[®] arbeitet, wurde hier eine Datenbank unter MS-ACCESS[®] im 32-Bit-Modus erstellt (siehe dazu die nähere Darstellung im Abschnitt 4).

³³ Die Angebotsseite der Datenbasis wurde zudem so strukturiert, daß sie den Anforderungen des gewählten Fallbeispiels „Bauen und Wohnen“ genügt, sie jedoch auch für Anwendungen in anderen Bedürfnisfeldern nutzbar ist. Neben den speziell für das Fallbeispiel definierten Prozessen umfaßt die Angebotsseite der Datenbasis daher auch eine große Zahl von allgemein wichtigen Prozessen.

Der hier entwickelte methodische Ansatz erfordert, neben Stoffströmen auch **gleichrangig** die sie verursachende *Bedarfsstruktur* im Bedürfnisfeld abzubilden, was im folgenden kurz mit „Nachfrageseite“ bezeichnet werden soll.

Während herkömmliche Produkt- und Ökobilanzen jeweils **eine** funktionelle Einheit als Bezugsgröße wählen³⁴ und diese typischerweise **zeitlich invariant** betrachten, erfordert die bedürfnisfeldorientierte Stoffstromanalyse eine wesentlich tiefere Behandlung der Nachfrageseite:

- Nutzen im Bedürfnisfeld kann aus einer Vielzahl unterschiedlicher Einzelnachfragen bestehen.
- Die Einzelnachfragen können untereinander konkurrieren, sind also ggf. komplementär.
- Die Bedürfnisstruktur kann sich über die Zeit ändern.
- Die Nachfrage kann sich unterschiedlich für einen gegebenen Bestand und erst künftig entstehende Teilbedarfe entwickeln.

Die Komplexität der Nachfrageseite steht somit der auf der Angebotsseite keineswegs nach.

Für das Stoffstrommodell bedeutet dies, daß weit über bislang realisierte Modelle hinaus auch eine dynamische Abbildung der Nachfrage - in verschiedenen Szenarien - erfolgen muß und so eine große Zahl von Daten auch für die Nachfrageseite in die Datenbasis eingeht.

Im Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ wird die Nachfrageseite in der Datenbasis folgendermaßen strukturiert³⁵:

- Als grundlegende funktionelle Einheit wird eine **Wohneinheit** gewählt.
- Wohneinheiten werden über **Haustypen** abgebildet, die neben der Wohneinheitenzahl auch wichtige Flächendaten sowie Energiebedarfe (**Raumwärmenachfrage**) enthalten.
- Die Haustypen bestehen aus Gruppen von **Bauelementen (Bauelementgruppen)**, die wiederum in ihrer stofflichen Zusammensetzung variabel sind.
- Die Nachfrage nach Wohnraum wird über den Bestand und seine **Abgänge** (Umwidmung und Abriß) sowie **Neubauten** von Haustypen zeitlich strukturiert.
- Jedes Bauelement hat neben der stofflichen Charakterisierung auch Kenngrößen zur Lebensdauer und stofflichen Aufwendungen zur **Instandhaltung**.

Neben diesen Kenngrößen enthält die Nachfrageseite der Datenbasis auch **gebäudeseitige** Effizienzpotentiale und Kenndaten zur Gebäude- und Grundstücksfläche.

³⁴ Dies liegt an der Normierung der vergleichenden Betrachtung auf eine spezifische Nutzeinheit. Ökobilanzwerkzeuge oder stoffstromanalytische Instrumente können zwar durchaus mehrere verschiedene Nutzen gleichzeitig betrachten, jedoch sind die entsprechenden Grundgrößen vergleichsweise trivial (z.B. Einheit Energie-, Stoff- oder Transportnachfrage) und die Abbildung der Bedarfe erfolgt **nur** über diese Grundgrößen.

³⁵ Hier erfolgt dazu nur eine kurze Darstellung, da die Trennung zwischen Datenbasis und Stoffstrommodell fließend ist und nähere Ausführungen zur Strukturierung des Modells insgesamt im Abschnitt 4 erfolgen.

Um dem in Abschnitt 1.3 genannten Problem der in diesem Forschungsvorhaben gegenüber der Statistik *weitergehenden* Definition von Prozeßgruppen und -ketten zu begegnen, wurde *zusätzlich* zur bottom-up-orientierten **funktionalen** Gliederung der Datenbasis auch eine top-down-orientierte statistische Gliederung der Prozesse ermöglicht, die eine an der SIO-Statistik angelehnte Aggregation *mehrerer* Prozesse in sog. **Gruppierungen** erlaubt. Damit können die auf Einzelprozeßebene disaggregierten Ergebnisse von Szenariorechnungen nicht nur funktional³⁶ zusammengefaßt werden, sondern auch auf einer der Statistik ähnlichen Aggregationsebene (vgl. dazu näher Abschnitte 5.6 und 5.8). Die folgende Tabelle zeigt die in der Datenbasis verfügbaren Kategorien dieser Gruppierungen³⁷.

Tabelle 5 *Verwendete Kategorien zur Gruppierung von Prozessen in der Datenbasis*

Gruppierung	SIO	Produkte, Baustoffe (Beispiele)
Bearb. v. Holz	30 / 31	Sägewerke, Faserplattenherstellung
Bergbau o. Energie	7	Salz- und Erzbergbau
Chemie	9	Basischemikalien
Eisen & Stahl	16	Eisen- und Stahlerzeugung
Elektrizität, Energie	3, 4, 6, 8, 10	Elektrizitäts-, Energiegewinnung, Industriewärme
Forstwirtschaft	1	Holzanbau
Glas	15	Flachglas, Mineralwolle
Haushalte	60	Heizungen, Warmwasser
Hoch- u. Tiefbau	41 / 42	Bauleistungen
Import		alle Importleistungen
Kunststoffe	11	Kunststoffherstellung
NE-Metalle	17	Aluminium, Kupfer
sonstige		
Steine & Erden	13	Mauerwerk, Zement, Sand- und Kiesabbau
Verkehr	45 / 46 / 48	LKW-Nah-, Fernverkehr, Bahn, Binnenschifffahrt
Zellstoff, Papier, Pappe	32 / 33	Verpackungspapiere etc.

Neben den direkten Emissionen, d.h. Emissionen, die dem Kernbereich der Gliederungseinheit entstammen, werden auch Vorleistungsemissionen aus vorgelagerten Prozeßketten bilanziert. **Damit werden wichtige Analysemöglichkeiten in Richtung Akteursrelevanz geschaffen.**

³⁶ z.B. nach Angebots- und Nachfrageseite sowie nach Energie, Stoffen und Transporten

³⁷ Das Stoffstrommodell erlaubt, die aufgeführten Gruppierungen beliebig zu erweitern bzw. zu differenzieren.

2.1 Übersicht wichtiger Datenquellen

Nach der generellen Charakterisierung der Datenbasis soll im folgenden eine kurze Darstellung der wesentlichsten Datenquellen³⁸ erfolgen, die für die „Füllung“ der Datenbank des Stoffstrommodells verwendet wurden.

Energieprognose von Prognos für den Bundeswirtschaftsminister

Die Prognos AG hat Ende 1995 eine Fortschreibung ihrer Energieprognose für den Bundeswirtschaftsminister vorgelegt (Prognos 1996), die die energetische Entwicklung aller Wirtschaftszweige und Nachfragesektoren sowie die entsprechende Bedarfsdeckung unter „Trend“-Bedingungen bis zum Jahr 2020 abbildet und eine Differenzierung zwischen alten und neuen Bundesländern leistet. Diese Studie lieferte die Grunddaten für die zeitliche Entwicklung der Effizienzdaten von Heizungen und Kraftwerken sowie die Grobstruktur der Entwicklungen im Wohnungssektor (Zu- und Abgänge, Wohnflächenentwicklung)³⁹. Auf Basis dieser Studie wurde zudem das Referenz-Szenario definiert (vgl. näher Abschnitt 3).

Raumordnungsprognose der BfLR

Die Raumordnungsprognose der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (BfLR 1996) bietet wichtige Daten zum zukünftigen Verbrauch an Nettowohnbauland in Deutschland. Diese Daten wurden zur **Verifikation der Ergebnisse** des Stoffstrommodells herangezogen⁴⁰.

Studie der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“

Die Studie „Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen“ der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ (Enquête 1996) liefert insbesondere wichtige Daten zur **Verteilung der Haustypen** (nach Alters- und Nutzungsklassen) **im bundesdeutschen Bestand**. Weiterhin können eine Reihe von Detailinformationen (z.B. Einsatzverteilung von Dämmstoffen) zum Abgleich der Datenbank des Stoffstrommodells herangezogen werden.⁴¹

Daten des Statistischen Bundesamtes

Daten des Statistischen Bundesamtes liefern wertvolle Hinweise zur aktuellen Verteilung von Konstruktionsarten und Baustoffen im deutschen Wohnungsbau (StBA 1994 + 1995).

³⁸ vgl. ausführliche Datendokumentation im Anhangband.

³⁹ Die Daten zur Wohnungs- und Wohnflächennachfrage sind im Anhang aufgeführt, wobei auch die Aufteilung der Daten nach alten und neuen Bundesländern dokumentiert wurde.

⁴⁰ Die Daten der BfLR zum Nettowohnbauland werden dabei mit den auf anderem Weg (Verwendung von Haustypen mit normierten Grundstücksflächen) erhaltenen Ergebnissen des Stoffstrommodells verglichen (siehe auch die Ausführungen in Abschnitt 3 und 5).

⁴¹ Beachtet werden muß, daß diese Studie auch den Nichtwohnbereich des Hochbaus erfaßte.

Durch eine ex-post-Analyse der letzten zwanzig Jahre⁴² können zudem Rückschlüsse auf die zukünftige Entwicklung des Wohnungsbaus nach diesen Gesichtspunkten getroffen werden.

Relevante DIN-Normen „Hochbaukosten, Flächen, Rauminhalte“

Zu einschlägigen Normen im Baubereich wurde ein anerkanntes Standardwerk (Winkler 1994) zur Definition wichtiger Flächenkenngrößen herangezogen.

Forschungsbericht der Philip Holzmann AG „Gebäude von morgen“

Die Philip Holzmann AG hat kürzlich einen Forschungsbericht über „Gebäude von morgen“ (Kornadt 1996) veröffentlicht. Diese Arbeit behandelt die verschiedensten Gesichtspunkte für zukünftiges Bauen und liefert sowohl für allgemeine Entwicklungstendenzen des Bauens als auch für Detailspekte bei der Ausfüllung der Datenbank wichtige Impulse.

Baukostenberatung der Architektenkammer Baden-Württemberg

Die Datenbank der baden-württembergischen Architektenkammer (BKB 1996) zur Baukostenberatung ist **die wesentliche Datenquelle zur Konzeption der Haustypen** (Reihenhaus, freistehendes EFH usw.) in der Datenbank des Stoffstrommodells.

Sie liefert fundierte Informationen zum quantitativen Zusammenhang zwischen der Hauptnutzfläche (Wohnfläche) der einzelnen Haustypen und den anderen Flächen (Verkehrsfläche, Funktionsfläche, Flächen der Bauelementgruppen usw.), die den Haustyp jeweils charakterisieren. Die Ergebnisse dieser Auswertung⁴³ und die Beschreibung der normierten Haustypen finden sich im Anhang. Weiterhin liefert die Datenbank zahlreiche Detailinformationen hinsichtlich des Aufbaus diverser Bauelemente (vgl. Anhang).

Datenbank des Prognosemodells zur Ermittlung von Baurestmassen

Daten zur **stofflichen Charakteristik des Gebäudebestandes** wurden aus der Datenbank eines neuen Prognosemodells entnommen, das speziell für die Prognose von Baurestmassen entwickelt wurde (Jäger 1995, Görg 1996).

IKARUS Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“

Eine Studie im Rahmen des IKARUS-Projekts⁴⁴ (Erhorn 1994) lieferte die Informationen für die Haustypisierung (Doppelhaushälfte, Zweifamilienhaus usw.).

⁴² Es wurden die Jahrgänge 1976-1995 der Fachserie 5, Reihe 1, Bautätigkeit und Wohnungen, des StBA ausgewertet

⁴³ Insgesamt wurden die Daten von 97 im Detail charakterisierten Wohngebäuden aus verschiedenen Bundesländern ausgewertet

⁴⁴ IKARUS: Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien. Entwicklungsvorhaben des Forschungszentrums Jülich im Auftrag des BMBF.

Studie „Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten“

Der Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA) hat 1995 eine umfangreiche Arbeit (SIA 1995) veröffentlicht, die detaillierte Angaben zu dem Aufbau und der stofflichen Zusammensetzung von zahlreichen Bauelementen⁴⁵ liefert.

Diese Studie lieferte wichtige Informationen zum Aufbau der Bauelemente, welche die Schnittstelle der Nachfrage- und der Angebotsseite im Stoffstrommodell darstellen.

Ökobilanzdaten zu Baustoffen

Für die Datenbasis zu Bauelementen sowie der Angebotsseite der Baustoffe wurden zahlreiche Studien ausgewertet (vgl. Datendokumentation im Anhang). Wichtige Beispiele sind Ökobilanzen zu Mauerziegeln (Bruck 1996), zu Kalksandsteinen (KSS 1994+1995) sowie zu Porenbeton (IÖW 1996). Daten für andere Baustoffe entstammen u.a. GEMIS (vgl. ÖKO 1996a).

Arbeiten des Öko-Instituts zu GEMIS 3.0

Die Datenbank von GEMIS 3.0 (ÖKO 1996a) wurde zu großen Teilen in die Datenbasis des Stoffstrommodells übernommen, wobei insbesondere Prozessschritte auf der Angebotsseite (Metalle, Energieträger, Verkehrsträger, Kunststoffe etc.) abgedeckt wurden.

Arbeiten des Öko-Instituts für das Statistische Bundesamt

Durch Arbeiten des Öko-Instituts im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) des Statistischen Bundesamtes wurden für wichtige Prozesse zur Grundstoffherstellung technische Effizienzpotentiale und die entsprechenden Vermeidungskosten bilanziert (ÖKO 1997a). Die ermittelten Daten für die Grundstoffe Stahl und Zement bilden die Grundlage für die Bewertung der zukünftigen Entwicklung dieser Prozesse und waren somit wichtige Grundlage für die Konkretisierung der Szenarien auf der Angebotsseite.

Informationen der betroffenen Industrien

Neben den o.g. Studien und Datenbasen Dritter wurden auch Vertreter einschlägiger Industrien befragt, wobei angesichts des Fallbeispiels vor allem Informationen von Baustoffherstellern interessierten. Schwerpunkte der Befragungen waren Daten zu aktuellen und zukünftig erwarteten Marktanteilen von Baustoffen sowie zu innovativen Entwicklungen. Näheres hierzu findet sich in der Datendokumentation im Anhang. Die im Rahmen der Recherche kontaktierten Institutionen sind im Abschnitt „Vorbemerkung und Danksagung“ explizit aufgeführt.

⁴⁵ Die Daten dieser Studie konnten jedoch nicht ungeprüft übernommen werden, da sie auf die Situation in der Schweiz zugeschnitten sind.

2.2 Vereinfachungen und Einschränkungen in der Datenbasis

Bevor im nachfolgenden Abschnitt 3 näher auf die Szenarien eingegangen und damit die Datenbasis weiter konkretisiert wird, soll im folgenden eine zusammenfassende Diskussion der Vereinfachungen und Einschränkungen erfolgen, die in der Datenbasis zum Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ enthalten sind. Diese waren zur Eingrenzung der Datenfülle sowie des Rechercheaufwands erforderlich.

Sie beruhen auf der Notwendigkeit, ein *Fallbeispiel* mit übertragbaren Grundinformationen zu kombinieren und die entwickelte Methodik *exemplarisch* bei gegebenem zeitlichen Projektumfang anzuwenden⁴⁶.

2.2.1 Vereinfachungen und Einschränkungen auf der Angebotsseite

Bei der Abbildung der Prozesse zur Bereitstellung von Energie, Stoffen und Transporten in der Datenbasis wurden generell zwei wesentliche Vereinfachungen getroffen:

- Die öffentliche Infrastruktur wurde mit Ausnahme der Energietechnologien nicht abgebildet, d.h. es fehlen übergreifende Prozesse zur Beschreibung der Verkehrswege, öffentlicher Einrichtungen (z.B. Verwaltungsgebäude, Schulen, Krankenhäuser) sowie der informationellen Versorgung (Kommunikation) und materiellen Entsorgung (Müll- und Abwassererfassung und -behandlung).
- Es erfolgte keine Betrachtung der Materialvorleistungen in Herstellungsanlagen und Geräteparks bei der Grundstoffherstellung (nur bei Energie- und Transportprozessen).

Weitere Vereinfachungen betreffen die Detailliertheit der Prozesse:

- Bei den Prozessen zur Bereitstellung von Baustoffen wurden *gemittelte* Ökobilanzdaten für Baustofftypen verwendet (z.B. nach Gewicht gemittelte Daten für die Mauerziegelsteinproduktion), es erfolgte somit keine spezifische Analyse zur Herstellung von *Einzelbaustoffen*⁴⁷.
- Bei der Einbeziehung von Hilfsstoffen wurde für alle Prozesse ein Abschneidekriterium von rd. 5% des Massenumsatzes verwendet.
- Der Einsatz von H-FCKW bei Prozessen zur Herstellung von Dämmstoffen (extrudiertes PS) wurde wegen des zeitlichen Auslaufens vernachlässigt.
- Auslandsprozesse im Bereich der Baustoffe und ihrer Vorketten wurden nur bei hoher Marktdurchdringung berücksichtigt (z.B. Aluminium).
- Bei den Stofftransporten wurden vereinfacht pauschalisierte (gemittelte) Transportentfernungen für die Stufen Förderung/Umwandlung und Umwandlung/Verteilung angesetzt.

⁴⁶ Die Problematik der Datenverfügbarkeit wird nochmals im Abschnitt 7 unter der Perspektive des künftigen Forschungsbedarfs aufgegriffen.

⁴⁷ Dies bedeutet, daß z.B. keine differenzierten Daten für diverse Mauerziegelstein- oder Kalksandsteintypen u.ä. in der Datenbasis vorkommen, sondern nur „gemittelte“ Daten für entsprechende Baustoffe.

2.2.2 Vereinfachungen und Dateneinschränkungen auf der Nachfrageseite

Auch auf der Nachfrageseite waren Vereinfachungen notwendig, um die Fülle der zu behandelnden Daten einzugrenzen.

Die grundlegende Einschränkung auf der Nachfrageseite liegt in der Konzentration des Fallbeispiels auf den *reinen Wohnbau*, es erfolgte somit keine Ausweisung von Mischnutzungen (Kombination von Wohnen und Handel/Gewerbe im gleichen Gebäude).

Bei den Häusern und Wohnungen wurden nur die reinen Gebäude und die installierten Heizungen betrachtet⁴⁸, nicht jedoch sonstige Installationen wie Wasser- und Abwassersysteme, sanitäre Einrichtungen sowie die gebäudeseitigen Anschlüsse an die Ver- und Entsorgung. Ebenso wurden Wohntextilien, Wohnungseinrichtungen und andere langlebige Konsumgüter (z.B. Haushaltsgeräte) *nicht* berücksichtigt⁴⁹. Beim Betriebs- und Instandhaltungsaufwand der Gebäude wurde nur der Heizbedarf⁵⁰ (inkl. Hilfsstrombedarfe) sowie die stoffliche Erneuerung der Bauelemente betrachtet, nicht aber andere Betriebsaufwendungen wie z.B. Beleuchtung oder Reinigung.

Bei den **Haustypen** war als geographische Differenzierung nur die Unterscheidung in alte und neue Bundesländer (ABL/NBL) möglich, und zur Verwendung einer bundesweit anwendbaren Systematik auch nur eine vereinfachte Typisierung nach Baualtersklassen im Bestand⁵¹. Der Aufbau der Bestands Häuser wurde analog zum Neubau mit den gleichen **Bauelementgruppen** angesetzt⁵², da hier aufgrund von Datenmangel nur eine synthetische Beschreibung erfolgen konnte.

Bei den **Bauelementen** erfolgte eine Konzentration auf ein Bauelement je Merkmalseigenschaft (z.B. eine Wanddicke und -dicke für Kalksandstein-Innenwände), Kleinteile und Bauchemikalien (z.B. Nägel, Dübel, Farben, Betonhilfsmittel etc.) wurden dabei nicht berücksichtigt.

Generell wurde auf eine Quantifizierung des Aufwands zur „Fügung“ von Bauelementen aus Baumaterialien (z.B. Zusammenbau von Fenstern aus Glas und Holz) sowie des Baustellenaufwands (Maschinen, Maschinentransport, Personentransport, Hilfsstoffe) verzichtet, da hierzu keine belastbaren Informationen ermittelbar waren.

⁴⁸ Bei Heizungen wurden aus systematischen Gründen die Materialvorleistungen vernachlässigt. Der hierdurch entstehende Fehler liegt um rd. 2 Größenordnungen unter der Bandbreite des direkten Heizbedarfs bzw. den dadurch ausgelösten Stoffströmen.

⁴⁹ Mit dem hier entwickelten Instrumentarium können jedoch solche Fragestellungen bearbeitet werden, soweit die Datenbasis entsprechend ergänzt wird.

⁵⁰ Im Stoffstrommodell stehen Felder für die Eingabe des Energieeinsatzes für Warmwasser zur Verfügung. Sie wurden im laufenden Projekt jedoch nicht ausgefüllt, da das Verhältnis zwischen Energiebedarf zum Heizen gegenüber Energiebedarf zur Warmwasserbereitstellung (ca. 10 : 1) bereits hinlänglich bekannt ist und somit das Stoffstrommodell hier für das laufende Projekt keine neuen Erkenntnisse liefern konnte.

⁵¹ Einzelne Teile in Bauelementgruppen (z.B. Schornstein, Treppenhaus) konnten aufgrund von Datenmangel nicht bearbeitet werden, ebenso fehlt die Abbildung von Sonderbauformen (z.B. 1-FH mit Hallenbad).

⁵² Tatsächlich weisen Bauelemente im Bestand im Vergleich zum Zubau andere Wanddicken auf und es wurde z.T. Baumaterial mit anderen Dichten verwendet. Diesem Sachverhalt wurde in der Datenbank des Stoffstrommodells Rechnung getragen.

Bei den **Baumaterialien** wurden nur heute marktfähige und -gängige Produkte aufgenommen und auf Baustoffe mit geringer nationaler Marktdurchdringung verzichtet⁵³.

2.2.3 Sonstige Vereinfachungen und Einschränkungen

Die aus den Gebäudedaten beim Abriß oder der Instandhaltung vom Stoffstrommodell ermittelten Bauschuttmengen stellen **Bruttoanfallsmengen** dar, die inklusive Fundamenten u.a. berechnet werden und keine direkte Weiterverwendung oder Recycling auf der Baustelle annehmen. Bauschutt wird zudem undifferenziert als Summe bilanziert, d.h. es erfolgt keine weitere Aufteilung in anorganische Mineralien (dem eigentlichen Bauschutt) und organische Reststoffe und Metalle.

Bei der Instandhaltung und dem Zubau werden keine sonstigen Reststoffe (Überreste und Verpackungen, Baustellenabfälle) bilanziert, da hierzu die Datengrundlage fehlt⁵⁴.

2.3 Übertragbarkeit der Datenbasis auf andere Bedürfnisfelder

Wie zu Beginn von Abschnitt 2.2 erwähnt, lag eine wesentliche Zielsetzung des Forschungsvorhabens in der Bereitstellung einer grundsätzlich auf andere Fallbeispiele übertragbaren Methodik und Instrumentierung, worin ein wichtiger Grund für die o.g. Einschränkungen in der Detaillierung der Datenbasis für das gewählte Fallbeispiel liegt⁵⁵. Der Auflistung der notwendigen Vereinfachungen und Einschränkungen ist nun die damit erreichte Übertragbarkeit gegenüberzustellen.

Generell kann die **komplette Struktur** der Angebotsseite in der Datenbasis *ohne Änderung auf alle* anderen Anwendungsfälle direkt übertragen werden. Bei der **Ausfüllung** der Datenbasis sind die folgenden Angebotsprozesse allgemein verwendbar:

- Bereitstellung von Strom und fossilen Energieträgern (schweres und leichtes Heizöl, Erdgas für Groß- und Kleinabnehmer, Stein- und Braunkohleprodukte)
- Bereitstellung von Roh- und Grundstoffen (Grundchemikalien, Metalle, Mineralien)
- Bereitstellung von Gütertransportdienstleistungen (Bahn, Lkw, Schiff)
- Daten zum Mix von Importen und inländischer Produktion

Auf der **Nachfrageseite** kann die gesamte Struktur für solche Bedürfnisfelder übernommen werden, die durch Zu- und Abgangsentwicklung langlebiger Güter charakterisiert wird und in denen die Nachfragen sich stofflich modular aufbauen lassen und in erster Näherung flächenproportionale Beschreibungen erlauben (z.B. langlebige Konsumgüter).

Bei einer Änderung der implementierten Umrechnungen von Flächen zu Stoffnachfragen (über Bauelemente) auf andere Kenngrößen (z.B. Stückzahl) kann die Datenbasis auch zur Modellierung anderer Nachfragen Verwendung finden (z.B. bei Fahrzeugen).

⁵³ Beispiele dazu sind Schiefer bei der Dachdeckung, biogene Produkte wie Isoflock, Wolle oder Kork bei der Wärmedämmung und Lehm bei Außenwänden.

⁵⁴ Im Stoffstrommodell sind jedoch entsprechende Eingabefelder enthalten.

⁵⁵ Der andere Grund liegt in der begrenzten Zeit- und Kostenbasis des Forschungsvorhabens.

Die grundsätzliche Übertragbarkeit der Datenbasis ist somit sowohl von der Struktur als auch von den Inhalten gegeben, in weiten Bereichen kann sogar eine direkte Nutzung erfolgen. Eine anwendungsspezifische Anpassung ist jedoch ggf. bei den verwendeten Umweltindikatoren, den internen Umrechnungen sowie den Prozeßdaten erforderlich.

2.4 Zusammenfassung zur Datenbasis

Die Arbeiten zur Datenbasis bestätigten, daß das im Forschungsvorhaben gewählte Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ ein geeignetes Bedürfnisfeld darstellt, um stoffstrombezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung zu ermitteln.

Dies gilt insbesondere für die **Datenlage** über in Deutschland stattfindende stoffstromrelevante Aktivitäten, die durch eine Vielzahl ausführlicher Studien und Forschungsprojekte als vergleichsweise gut bezeichnet werden kann. Die Auswertung dieser Arbeiten ergab zudem, daß der vermutete Forschungsbedarf hinsichtlich einer systematischen, stoffstrombezogenen Datenbasis tatsächlich bestand und durch die Arbeiten im Forschungsvorhaben weitgehend erbracht werden konnte:

- Die Identifikation und **Integration** stoffstromrelevanter Daten aus den Teilbereichen „Wohnen“ (Gebäude- und Haustypen) und „Bauen“ (vor allem Baustoffherstellung) in einer **transparenten Datenbasis** wurde modellhaft geleistet.
- Die ermittelte Datenlage ergab ein praktisch **weitgehendes** Fehlen konsistenter Daten zur stofflichen Charakterisierung des **Gebäudebestands**. Während für neue Gebäude eine zumindest teilweise statistisch und empirisch gestützte Definition der Stoffzusammensetzungen möglich ist, existiert bislang **keine Grundlagenarbeit** für die bestehende Bausubstanz⁵⁶. Die daraus abgeleitete Konsequenz einer **synthetischen** Definition der Stoffdaten zum Gebäudebestand hat entsprechende Konsequenzen für die Ergebnisse der Szenariorechnungen (vgl. unten).
- Als Reaktion auf die Vielzahl von Einzeldaten, die bei der Erstellung der Datenbasis und Szenariodefinition betroffen sind, sowie deren jeweils spezifische Kontexte zur Datenqualität wurde vom Forschungsnehmer eine DV-mäßige Behandlung der Datenbasis entwickelt, die dieser Problematik gezielt Rechnung trägt. Das **akteursorientierte Schalenkonzept** der Datenbasis im Stoffstrommodell ist eine Neuentwicklung, die als originäres Ergebnis des Forschungsvorhabens gelten kann (vgl. dazu näher Abschnitt 4).
- Die Datenbasis gibt wichtige Grunddaten auch für **andere** stoffstromrelevante Bedürfnisfelder (z.B. Mobilität, Konsumgüter).

Die im Rahmen des Vorhabens erstmals in Deutschland geleistete Systematisierung der stoffstromrelevanten Datenbestände auf Angebots- **und** Nachfrageseite (also Bauen **und** Wohnen) konnte auf eine breite Unterstützung bauen, wobei insbesondere Kontakte aus dem Projektbeirat sehr hilfreich waren.

⁵⁶ Im Rahmen der Studie für die Enquête-Kommission konnte von ifib eine exemplarische Charakterisierung der stofflichen Zusammensetzung **ausgewählter Einzelgebäude** geleistet werden (vgl. Enquête 1996), die jedoch aufgrund fehlender Typisierung nicht für eine nationale Betrachtung geeignet ist. Der Aufwand zur Weiterentwicklung dieses detaillierten „bottom-up“-Ansatzes in Richtung einer systematisch nutzbaren Datenbasis wäre beträchtlich.

3 Konzeption und Erstellung der Szenarien

Während der vorige Abschnitt mit der Datenbasis die Grundinformationen beschrieb, auf die das Forschungsvorhaben aufsetzt, wird im folgenden Abschnitt auf die verschiedenen *künftigen* Entwicklungsmöglichkeiten des Bedürfnisfelds „Bauen und Wohnen“ und der dadurch ausgelösten Stoffströme eingegangen.

Die Beschreibung dieser Entwicklungsoptionen erfolgt in sog. **Szenarien**, die *postulierte* Änderungen einer Entwicklung innerhalb eines Betrachtungszeitraums durch szenario-spezifische *Annahmen* enthalten. Szenarien stellen **keine Prognosen** dar, sondern liefern im Kern „Wenn-Dann“-Aussagen, die insbesondere die (zeitliche) Änderung von Energie- und Stoffströmen betreffen, die Umweltindikatoren zugeordnet werden können.

Als methodischer Teilaspekt des im Forschungsvorhaben entwickelten Ansatzes der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse dienen die Szenarien zur Auffächerung des **potentiellen** Entwicklungsraums im Hinblick auf die **Gesamteffekte** möglicher Maßnahmen sowohl auf der Angebots- wie auch auf der Nachfrageseite.

Wie in der Datenbasis wird in den Szenarien daher grundsätzlich zwischen dem Teil „Wohnen“ (Nachfrageseite) und dem Teil „Bauen“ (Angebotsseite) unterschieden.

3.1 Die Philosophie der Szenarien

Bevor näher auf die in den Szenarien angenommenen Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel⁵⁷ eingegangen wird, sollen vorab die grundsätzlichen Überlegungen zu den jeweiligen Einflußfaktoren erläutert werden. Diese Überlegungen lassen sich in sog. Szenario-Philosophien zusammenfassen. In allen Szenarien wird dabei dieselbe Entwicklung der Bevölkerung und der Haushalte zugrunde gelegt.

Bevölkerung und Haushalte: Die Wohnbevölkerung in der Bundesrepublik steigt bis zum Jahr 2000 und fällt aufgrund der demographischen Entwicklung trotz Nettozuwanderung anschließend moderat ab. Dem langjährigen Trend der Reduzierung der Haushaltsgößen folgend steigt die Zahl der Privathaushalte bis 2020 kontinuierlich an.

3.1.1 Philosophie des Szenarios Referenz (REF)

Das Szenario Referenz⁵⁸ (REF) basiert auf der Annahme, daß sich bis zum Jahr 2020 sowohl bei Politik und Wirtschaft als auch bei den Konsumenten in Deutschland **keine signifikanten** Verhaltensänderungen einstellen werden.

Das REF-Szenario zeigt die Auswirkungen eines **ungestörten „weiter so“** im Bereich Bauen und Wohnen auf und bildet damit **eine Meßlatte** für die Wirkung von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln bei den anderen Szenarien.

⁵⁷ Zur Definition dieser Begriffe siehe den Abschnitt am Ende dieses Berichts.

⁵⁸ Referenz meint hier ebenso „Trend“; im Englischen werden solche Szenarien treffender mit „business as usual“ (BAU) bezeichnet.

Damit entspricht die Philosophie des REF-Szenarios einer Tradition, wie sie vor allem im Energiesektor seit längerem entwickelt wurde und der Studie von Prognos (1996), die eine wichtige Datenbasis (s. Abschnitt 2) für die Erstellung des REF-Szenarios liefert.

Das folgende Bild zeigt nochmals die Hauptstichworte der REF-Philosophie.

Bild 5 Grundcharakteristika des Referenz-Szenarios

Szenariophilosophie - Referenz -

Eingriffslose Trend-Fortschreibung

- **Keine signifikanten Verhaltensänderungen bei Politik, Wirtschaft und Konsumenten**
- **Konstanter Zubau an Wohnfläche**
- **Bauweise ohne große Veränderungen**

© by Öko-Institut 1997

Die Philosophie des REF-Szenarios - eingriffslose Fortschreibung als Referenzentwicklung - ist durch folgende Grundannahmen gekennzeichnet:

Nachfrage nach Wohneinheiten bzw. Wohnfläche: Die Zahl der Wohneinheiten und die zur Verfügung stehende Wohnfläche steigen nahezu kontinuierlich. Die zugrundeliegende unterstellte Nachfrage nach Wohnraum kann gedeckt werden. Über den langen Szenariozeitraum (25 Jahre) ergibt sich absolut eine beträchtliche Erhöhung der Wohnraumkapazität in der Bundesrepublik.

Wirtschaftsentwicklung: Die Wirtschaftsentwicklung der letzten Jahre setzt sich - ausgedrückt durch ein moderates jährliches Wachstum (ca. 2% p.a.) - bis 2020 weitgehend fort.

Bauvolumen: Das Bauvolumen des Wohnungsbaus wird durch die ungebremste Nachfrage nach weiterem Wohnraum (Deckung vor allem durch Neubau) bestimmt. Hinzu kommen gebäude- und energietechnische Sanierungen, die jedoch die bisherige Intensität nicht übersteigen.

Bauweise: Die Bauweise im Bereich Wohnungsbau zeichnet sich durch eine große Kontinuität aus. Die vorherrschende Massivbauweise (Ziegel etc.) wird trotz einzelner neuer Akzente nicht abgelöst. Die Baustoffindustrie und der angeschlossene Baustoffhandel unterliegen keinen entscheidenden Veränderungen.

Technologietrends: Neue Basistechnologien auf der Angebotsseite werden nicht erschlossen. Es findet lediglich eine weitgehend stetige Fortentwicklung bestehender Technologien statt.

Weitergehende Maßnahmen zur Emissionsminderung bei der Grundstoffherstellung werden nicht durchgeführt. Neue Heizanlagen zur Befriedigung der Raumwärmenachfrage sind deutlich effizienter als der aktuelle Marktdurchschnitt⁵⁹.

Energiepolitik und Energiepreise: Die Entwicklung der Energiepreise erfolgt ohne gravierende Änderungen. Eingriffe des Staates über fiskalische Instrumente bleiben aus. Die Wärmeschutzverordnung 1995 und die Heizungsanlagenverordnung werden umgesetzt und im Rahmen des technischen Fortschritts angepaßt. Die Altbausubstanz wird nicht gesetzlich in die Wärmeschutzverordnung integriert.

3.1.2 Philosophie des Szenarios Effizienz (EFF)

Das Szenario **Effizienz** unterscheidet sich vom REF-Szenario durch die **Annahme einer forcierten Energiesparstrategie** in Deutschland. Es wird als Grundannahme unterstellt, daß in weiten Kreisen von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft über die Notwendigkeit einer massiven Reduzierung des Energieverbrauchs - insbesondere im Bereich Bauen und Wohnen - Einigkeit erzielt wird. Auf der politischen Ebene ist entscheidend, daß Ende des 20. Jahrhunderts aufgrund von wissenschaftlichen Erkenntnissen zur steigenden Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre verstärkte Anstrengungen zum Klimaschutz in den Industriestaaten als unabdingbar eingestuft werden.

Aus den Erfahrungen der Wärmeschutzverordnung 1995 wird weiterhin deutlich, daß die Realisierung einer höheren Energieeffizienz im Bereich Bauen und Wohnen in Deutschland einerseits wichtige Branchen (Dämmstoffindustrie, Handwerk, Hersteller energieeffizienter Anlagen) zu wirtschaftlichen Gewinnern werden läßt und andererseits die wirtschaftliche Tragbarkeit von Niedrigenergiehäusern für den privaten Verbraucher gegeben ist.

Schließlich werden Politik, Wirtschaft und Privatverbraucher zunehmend von der Sorge bestimmt, daß zukünftig die Preise für die Energieträger Gas und Öl deutlich steigen könnten.

Das **Konsummuster** im Bereich Wohnen ändert sich im Szenario Effizienz gegenüber dem REF-Szenario nicht, d.h. es stellt sich abgesehen von dem Grundkonsens des intensivierten Klimaschutzes kein umfassender Struktur- und Bewußtseinswandel ein.

⁵⁹ Fortschreibung des bereits heute vorliegenden Trends.

Demnach unterscheiden sich die beiden Szenarien **nicht** bei der Entwicklung der Bevölkerung, der Haushalte, der Nachfrage nach Wohneinheiten und Wohnflächen, der allgemeinen Wirtschaftsentwicklung⁶⁰ und dem Bauvolumen.

Bild 6 Grundcharakterisierung des Effizienz-Szenarios



Erhebliche Unterschiede gegenüber REF zeichnen das EFF-Szenario bei **Energiepolitik**, der **Bauweise** sowie den **Technologietrends** aus. Durch folgende Grundannahmen hebt sich das Szenario Effizienz von dem Szenario Referenz ab:

Energiepolitik und Energiepreise: Die Politik ergreift weitgehende energiepolitische Maßnahmen, deren Auswirkungen den Bereich Bauen und Wohnen in Deutschland signifikant verändern. Im Jahr 2000 wird eine **neue Wärmeschutzverordnung** erlassen, die gegenüber der Wärmeschutzverordnung 1995 **massive Verschärfungen** enthält.

Für Neubauten wird zur Senkung des Raumwärmebedarfs der Niedrigenergiehaus-Standard (NEH) ab dem Jahr 2015 verbindlich eingeführt. Flankierend werden für Bauherren, die zwischen 2000 und 2015 Häuser in Niedrigenergiebauweise errichten lassen, durch spezielle Abschreibungsmöglichkeiten finanzielle Anreize geschaffen.

⁶⁰ Es ergeben sich durch die Forcierung der Energieeffizienz allerdings Gewinner- und Verliererbranchen in der Bundesrepublik.

Ab dem Jahr 2000 wird durch die neue Wärmeschutzverordnung **auch der Altbestand der Gebäude mit verschärften Anforderungen** hinsichtlich des Raumwärmebedarfs belegt. Ebenso wie bei den Neubauten unterstützt der Staat energietechnische Sanierungen des Altbestandes mit umfangreichen Förderprogrammen.

Die Energiepreise steigen während des Prognosezeitraums nicht entscheidend an. Allerdings wird ab ca. 2000 die Energiediskussion zunehmend von der Möglichkeit einer Energieverknappung bzw. Energieverteuerung bestimmt, da die Abhängigkeit Deutschlands von politisch unsicheren Lieferländern⁶¹ zunimmt.

Im Bereich der Grundstoffindustrie und der großtechnischen Energieumwandlung werden von Bund und Ländern Anstrengungen zur schnellstmöglichen Erschließung neuer Effizienzpotentiale durch Bereitstellung von Forschungs- und Fördermitteln unterstützt. Ab 2000 tritt für Altanlagen eine neue Verordnung in Kraft, die die Umrüstungs- bzw. Stilllegungsfristen für ineffiziente Großanlagen, die produktbezogene Grenzwerte für Kohlendioxid (CO₂-Emission pro Tonne Produkt bzw. MWh elektrische Energie) überschreiten, zum Gegenstand hat.

Technologietrends: Durch die gegenüber dem Referenz-Szenario deutlich unterschiedliche Energiepolitik werden Technologietrends hinsichtlich effizienter Energie- und Grundstoff-erzeugung sowie effizienter Raumwärmebereitstellung zeitlich forciert bzw. initiiert.

Bauweise: Im EFF-Szenario rückt der Aspekt Energieeinsparung im Bereich Architektur und Konstruktion von Neubauten stark in den Mittelpunkt. Die bereits seit Anfang der 90er Jahre technisch realisierte Niedrigenergiebauweise setzt sich nach 2000 (gesetzlich flankiert) kontinuierlich zum energietechnischen Hochbaustandard durch. Darüber hinaus finden die nochmals energieeffizienteren Passivhäuser eine steigende Nachfrage und erfüllen nach 2000 die Rolle, die die Niedrigenergiehäuser in den 90er Jahren innehaben.

Als Konsequenz ergibt sich im EFF-Szenario eine Verschiebung der in Deutschland bislang dominierenden Massivbauweise hin zu anderen Bauweisen (dünnere konstruktive Elemente), die in Kombination mit geeigneten Dämmstoffen den hohen Wärmeschutzanforderungen einfacher und praktikabler gerecht werden.

3.1.3 Philosophie des Szenarios Struktur- und Bewußtseinswandel (SuB)

Die Philosophie des SuB-Szenarios unterscheidet sich fundamental von der im REF- und EFF-Szenario. Das Szenario SuB unterstellt für die nächsten 25 Jahre **umfangreiche Veränderungen der gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen** in Deutschland. Die Energiesparstrategie des EFF-Szenario wird übernommen, jedoch durch *stoffstrom- und flächenpolitische* Aspekte ergänzt und erweitert.

Das SuB-Szenario geht von den folgenden Voraussetzungen aus:

Gesellschaft und Politik erfahren zunehmend eine deutlich veränderte Einstellung zum Bereich Bauen und Wohnen. Dieser *Paradigmenwechsel* fußt darauf, daß in Deutschland Lebensformen im Einklang mit einer nachhaltigen Entwicklung für breite Bevölkerungsschichten große Bedeutung gewinnen.

⁶¹ Langsames Versiegen der Nordseeölvorräte und politisch schwer kalkulierbare Entwicklungen in Nah- und Mittelost sowie der GUS bringen das Thema Energiesparen in hohe politische Priorität.

Der gesellschaftliche Trend der achtziger und neunziger Jahre, immer größere und aufwendigere Häuser und Wohnungen besitzen zu wollen, die nicht zuletzt als Statussymbol dienen, **kehrt sich** in SuB **um** zu einem Anspruch nach **flächen-, energie- und materialsparendem** Bauen und Wohnen als Ausdruck kosten-, sozial- und umweltadäquater Werthaltungen.

Bild 7 Grundannahmen des Struktur- und Bewußtseinswandel-Szenarios

Szenariophilosophie - Struktur- und Bewußtseinswandel -

Paradigmawechsel im Bereich Bauen + Wohnen

- **Änderung von Konsummustern**
- **Neue gesellschaftliche Trends**
- **Kleinere Wohneinheiten**
- **Energieeffizienz wie Effizienzscenario**
- **Andere Baustoffe**

© by Öko-Institut 1997

Die Wirtschaft reagiert auf das sich ändernde Konsumverhalten und bietet entsprechende Bau- und Wohnformen an. Die sich deutlich verändernden Bedürfnisse der Bevölkerung treffen sich auch mit den originären Interessen wichtiger Branchen: dem Absatz von Effizienztechniken, der Verringerung von Abhängigkeiten von knapper werdenden mineralischen Rohstoffen sowie den lukrativen Vermarktungsmöglichkeiten der heimischen Überschubressource Holz. Die Politik reagiert unterstützend auf die sich ändernden gesellschaftlichen Strömungen, die mit langfristigen Zielen wie

- der Modernisierung und Stärkung heimischer Wirtschaftszweige (Bau- und Forstwirtschaft),
- der Weiterentwicklung und Umsetzung von Forschung und Entwicklung
- sowie der Bereitstellung bezahlbarer Wohneinheiten für breitere Bevölkerungsschichten in Einklang gebracht werden können.

Das SuB-Szenario stimmt mit REF und EFF **lediglich bei den Grundannahmen zur Haushalts- und Bevölkerungsentwicklung überein**. Die Philosophie des SuB-Szenarios wird durch die folgenden Grundannahmen ausgedrückt:

Nachfrage nach Wohnungen bzw. Wohnfläche: Die Nachfrage nach absoluten Wohneinheiten bleibt gegenüber den anderen Szenarien unverändert. Da sich jedoch aus finanziellen (u.a. durch politische Maßnahmen bedingtes knappes und teures Bauland) und gesellschaftspolitischen Gründen sowohl der Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser (< 3 WE pro Gebäude) als auch die durchschnittliche Größe der Wohneinheiten verringert, ist die absolute Nachfrage nach Wohnfläche deutlich geringer als in den beiden anderen Szenarien.

Der gesellschaftliche Bewußtseinswandel bewirkt, daß zunehmend alleinstehende Senioren ihren Lebensabend⁶² in neuen Wohnformen verbringen, die unter die Rubrik Mehrfamilienhäuser (Neubau) fallen. Der freiwerdende Altbestand (Einfamilienhäuser, große Wohnungen) wird von Familien mit Kindern bezogen. Im Resultat wird der bestehende Bestand an Wohnraum innerhalb der Gesellschaft anders verteilt, mit Auswirkungen auf die Neubauaktivitäten.

Die Verringerung der durchschnittlichen Wohnflächengröße ist nicht zuletzt finanziell bedingt und wirkt sich am stärksten bei den 1- 2 Familienhäuser (höherer Anteil an Reihenhäusern zu Lasten freistehender Immobilien) aus.

Bauweise: Der gesellschaftliche Bewußtseinswandel bewirkt deutliche Veränderungen hin zu nachwachsenden Rohstoffen wie Holz (direkte Folge der Nachhaltigkeitsdebatte), zu einem verstärkten Einsatz von Recyclingmaterialien sowie hin zu einfacheren und kostengünstigeren Bauformen („Swatchhaus“ ohne Keller). Die starken Einflüsse der energetischen Effizienzstrategie (vgl. EFF-Szenario) auf die Bauweise werden übernommen und mit den weitergehenden Anforderungen (insb. verstärkte Holzbauweise) in Einklang gebracht.

Bauvolumen: Das Bauvolumen verändert sich nicht hinsichtlich der Quantität der Wohneinheiten. Es verändert sich jedoch in qualitativer Hinsicht, da in stärkerem Maße Mehrfamilienhäuser sowie generell kleinere Wohneinheiten nachgefragt werden.

Technologiestandards: Der Technologiestandard im Bereich Bauen und Wohnen ändert sich im SuB-Szenario grundlegend. Neue Bauformen und -materialien erfordern die Neu- bzw. Weiterentwicklung zahlreicher Technologien.

Nach dieser kurzen Darstellung der Grundlagen der Szenarioformulierung werden im folgenden die einzelnen Annahmen näher beschrieben.

Eine detailliertere Darstellung der jeweiligen Datenhintergründe wurde aus Umfangsgründen in den (getrennt vorgelegten) Anhang aufgenommen.

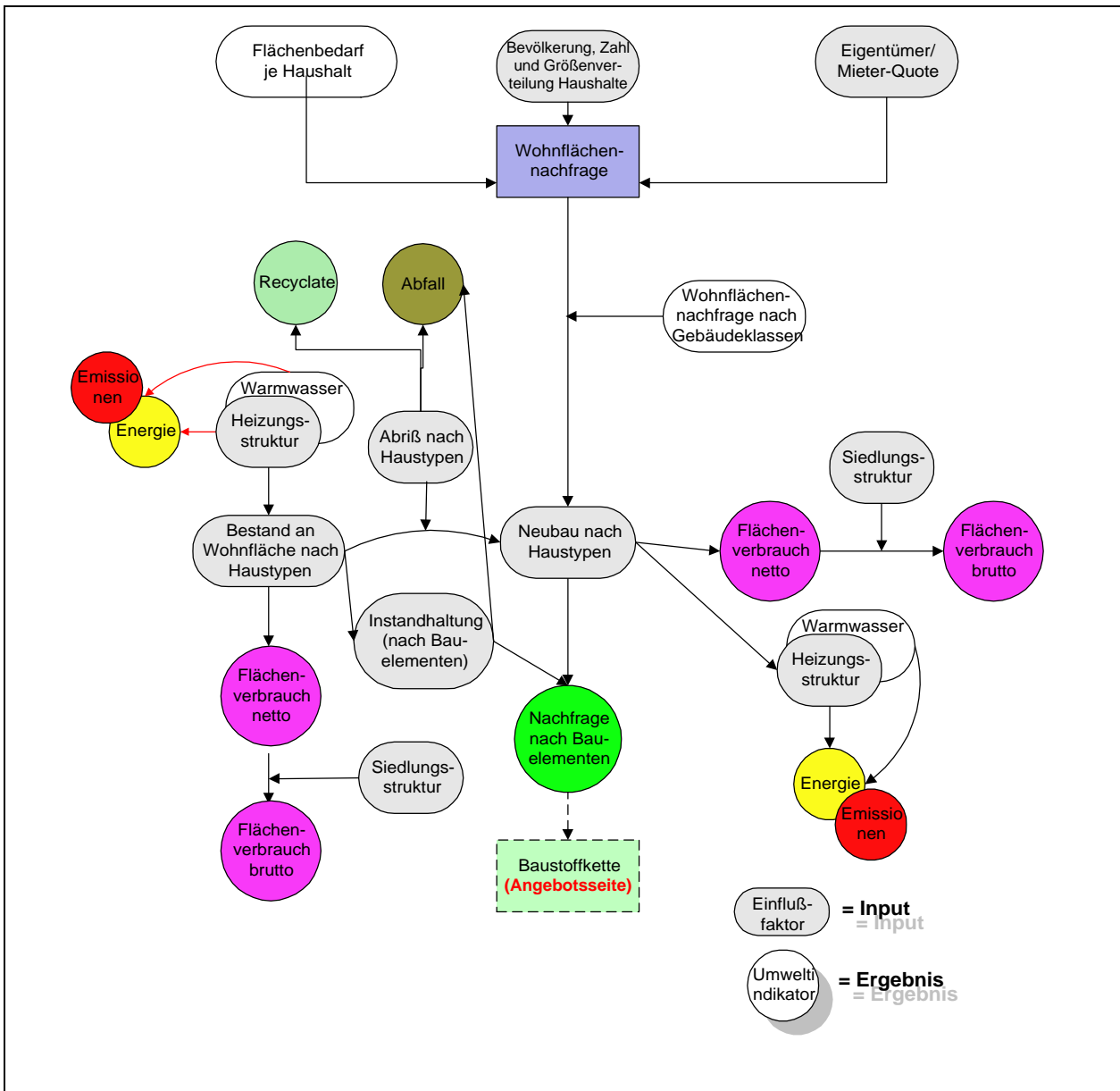
⁶² Entsprechende Einrichtungen wurden in jüngster Zeit insbesondere für Senioren mit überdurchschnittlichen finanziellen Möglichkeiten bereits vereinzelt realisiert. Für das Szenario Struktur- und Bewußtseinswandel wird unterstellt, daß Angehörige einer Generation, die im Gegensatz zur vorherigen Generation in jüngeren Jahren häufig neue Wohn- und Lebensformen erlebt haben, im Alter einer bedingt gemeinschaftlichen Wohnform weitgehend aufgeschlossen gegenüber stehen.

3.2 Die Nachfrageseite der Szenarien (Teilbereich „Wohnen“)

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die Philosophien der drei Szenarien beschrieben wurden, soll im folgenden eine Übersicht zur Nachfrageseite („Wohnen“) gegeben werden. Detailliertere Informationen hierzu finden sich im Anhang, in dem zusätzlich eine Unterteilung in neue und alte Bundesländer (NBL + ABL) erfolgt.

Die potentiellen Eingriffspunkte (Einflussfaktoren) für die Szenarioformulierung im Teilbereich „Wohnen“, d.h. der Nachfrageseite, zeigt die folgende Abbildung.

Bild 8 Zur Szenariostruktur - Bedarfsseite (Wohnen)



Gebäudeklasse = 1-2 oder 3+x Wohnungen pro Wohngebäude; Haustyp = Standard, Niedrigenergiehaus (NEH) etc.

Entscheidend für die Szenarien im Teil „Wohnen“ ist die Differenzierung der Haustypen, in denen die Wohnungen enthalten sind. Die im Projekt anfangs unterstellte Aufspaltung der Häuser in nur zwei Gebäudeklassen (1-2 Familienhäuser und 3+x Mehrfamilienhäuser) zeigte sich im Verlauf der Forschungsarbeiten als zu grob und wurde durch eine weitere Unterteilung in jeweils mehrere Haustypen vertieft.

Es wurde hierbei eine allgemein übliche Differenzierung (vgl. Enquête 1996, Erhorn 1994, BKB 1996) verwendet, die den Nutzungsklassen der Gebäude⁶³ Rechnung trägt. Folgende Haustypen wurden festgelegt:

Gebäudeklassen 1-2 Familienhäuser:

- EFH = Freistehendes Einfamilienhaus
- DHH = Doppelhaushälfte
- RHH = Reihenhaus
- ZFH = Zweifamilienhaus

Bei diesen Haustypen wird zudem zwischen neuen (NBL) und alten (ABL) Bundesländern unterschieden, da die jeweiligen Grundflächen unterschiedlich sind.

Gebäudeklasse 3+x Familienhäuser:

- MFH-3-6 = Mehrfamilienhaus der Kategorie 3-6 Wohneinheiten
- MFH-7-12 = Mehrfamilienhaus der Kategorie 7-12 Wohneinheiten
- MFH-13+x = Mehrfamilienhaus der Kategorie 13+x Wohneinheiten

Zusätzlich wird durch Einstellungen auf der Ebene der Bauelemente (siehe Anhangband) als weiterer Haustyp⁶⁴ noch das sogenannte „Swatch-Haus“ als ein besonders material- und flächensparend konzipiertes Einfamilienhaus (Holzbauweise, ohne Keller) für das SuB-Szenario definiert.

Den jeweiligen Haustypen entsprechen definierte Flächenelemente und Planungskennzahlen⁶⁵. Eine ausführliche Herleitung der Daten der vorgestellten Haustypen durch Auswertung der Gebäude-CD 2.0 der baden-württembergischen Architektenkammer (BKB 1996) findet sich im Anhang.

Die Szenarien Referenz und Effizienz einerseits sowie SuB andererseits unterscheiden sich u.a. durch einen unterschiedlichen **Mix** im **Zubau** an Wohneinheiten in den einzelnen Gebäudeklassen (1-2 FH oder 3+x MFH, vgl. Anhangband) sowie einen daraus resultierenden Unterschied im **Zubau an Wohnfläche**.

⁶³ Für den Gebäudebestand wird zusätzlich noch nach den üblichen Baualtersklassen (Enquête 1996) differenziert.

⁶⁴ Eine weitere Aufspaltung der Haustypen nach Konstruktionsmerkmalen, Baustoffen, Wärmedämmstandards etc. wird für das Stoffstrommodell nicht vorgenommen werden, da hierbei eine unüberschaubare Aufsplitterung in mehrere hundert Haustypen einträte. **Die zeitliche und szenarioabhängige Differenzierung nach Konstruktionsmerkmalen etc. erfolgt vielmehr auf der Stufe der Bauelementgruppen.**

⁶⁵ Planungskennzahlen z.B. Wohnfläche, Nebennutzfläche, Bruttogrundfläche, Bruttorauminhalt, Flächenelemente, z.B. Außenwandfläche Obergeschoß, Innenwandfläche etc.

Diese Zusammenhänge werden im Stoffstrommodell durch geeignete Änderung des prozentualen Verhältnisses der Haustypen über die Zeit und zwischen den Szenarien eingestellt⁶⁶.

Eine Verringerung der durchschnittlichen Wohnfläche pro zugebauter Wohneinheit kann beispielsweise durch Erhöhung des Anteils von Reihenhäusern zuungunsten des Anteils der im Vergleich größeren freistehenden Einfamilienhäuser erreicht werden. Alle die anderen, an die Haustypen gekoppelten Parameter (m² Fenster etc.) ändern sich über die Summe der zugebauten Wohneinheiten im Mittel entsprechend mit.

3.2.1 Die Nachfrageseite der Szenarien REF und EFF

Wie schon oben unter 3.1 erläutert, wird in REF entsprechend der Szenariophilosophie der heute erkennbare Trend der Wohnungsnachfrage ohne nennenswerte politische oder wirtschaftliche Änderung fortgeschrieben.

Zahlenmäßig wird dies insbesondere durch die in Prognos (1996) vorgelegte Entwicklung der Wohnungs- und Wohnflächennachfragen beschrieben, die weiter auf die Ebene der differenzierteren Haustypen hin disaggregiert wurde⁶⁷.

Da in der EFF-Philosophie **nur energiebezogene** Verbesserungen angenommen werden (vgl. oben), sind die Grunddaten des Zu- und Abgangs denen in REF **gleich angesetzt**.

Tabelle 6 Grunddaten der Szenarien Referenz (REF) und Effizienz (EFF)

Parameter	Einheit	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Bevölkerung	1000	81328	82299	82082	81831	81469	80850
Wohnungen	1000	35565	37847	40068	41807	43277	44489
davon in 1+2 FH	1000	15848	16788	17727	18415	18996	19461
davon in 3+x FH	1000	19717	21059	22341	23392	24281	25028
Wohnfläche	m ² /Einw.	37,6	39,8	42,7	45,1	47,4	49,7
Wohnfläche	Mio m ²	3058	3276	3501	3691	3865	4020
davon in 1+2 FH	Mio m ²	1720	1838	1957	2050	2133	2204
davon in 3+x FH	Mio m ²	1338	1438	1544	1641	1732	1816

Diesen summarischen Grunddaten stehen bei den Wohnungen (Wohneinheiten) und den darin bereitgestellten Wohnflächen Zu- und Abgänge gegenüber, die sich unterschiedlich in den Zeiträumen und Gebäudeklassen ausprägen (vgl. folgende Tabelle).

⁶⁶ vgl. die entsprechenden Datenblätter im Anhangband.

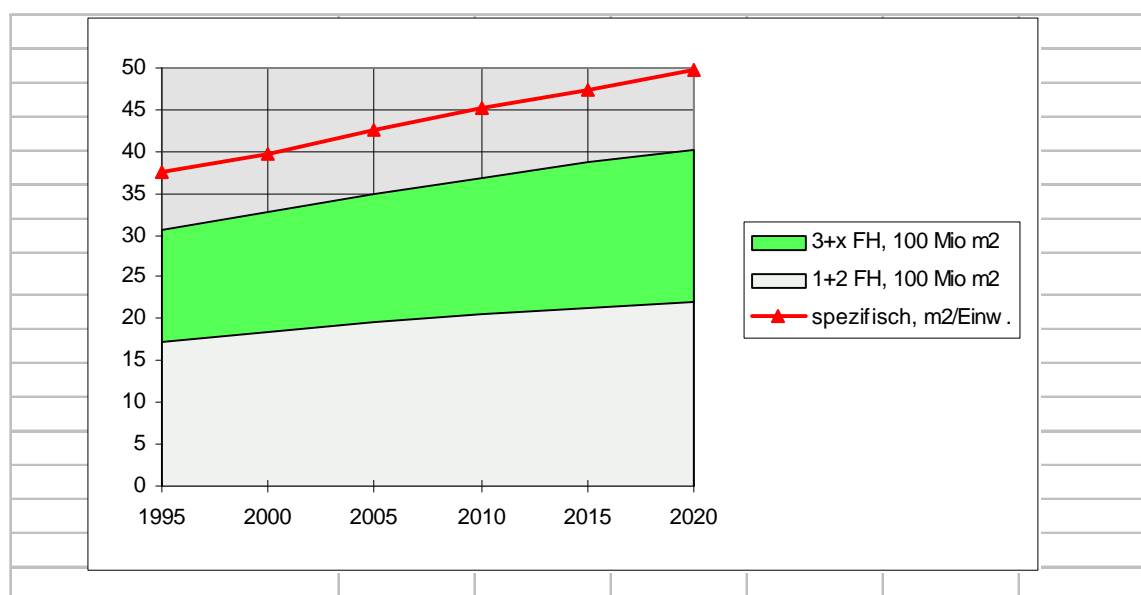
⁶⁷ siehe dazu näher im Anhangband.

Tabelle 7 Zugang und Abgang von Wohneinheiten (WE) und Wohnflächen (WF) in den Szenarien REF + EFF

	Einheit	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	S
Zugang WE	1000	2502	2519	2459	2377	2317	12174
Zugang WE in 1-2 FH	1000	1006	1040	1003	970	931	4951
Zugang WE in 3+x FH	1000	1496	1479	1456	1407	1386	7223
Abgang WE	1000	220	298	720	907	1105	3250
Nettozugang WE	1000	2282	2221	1739	1470	1212	8924
Æ Zugang	m²	94	98	101	104	105	100,4
Æ Zugang 1-2 FH	m²	124	124	124	125	127	124,8
Æ Zugang 3+x FH	m²	73,8	80	85	89	91	83,7
Zugang WF	Mio m²	235,2	248,0	248,0	247,0	244,0	1222
Zugang WF in 1-2 FH	Mio m²	124,7	129,0	124,4	121,2	118,3	618
Zugang WF in 3+x FH	Mio m²	110,5	119,0	123,6	125,8	125,7	605
Abgang WF	Mio m ²	17,0	23,0	58,0	73,0	89,0	260
Nettozugang WF	Mio m ²	218	225	190	174	155	962

Diese Entwicklung zeigt die folgende Grafik nochmals in der Übersicht.

Bild 9 Entwicklung der Wohnflächen in den Szenarien REF + EFF



3.2.2 Die Nachfrageseite des Szenarios SuB

Nach der Philosophie des Szenarios SuB werden über die **energiebezogenen** Verbesserungen des EFF-Szenarios hinaus Maßnahmen beim Wohnungszu- und Abgang angenommen.

Tabelle 8 Grunddaten des Szenarios Struktur- und Bewußtseinswandel (SuB)

Parameter	Einheit	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Wohnungen	1000	35565	37847	40068	41807	43277	44489
davon in 1+2 FH	1000	15848	16788	17701	18338	18848	19218
davon in 3+x FH	1000	19717	21059	22367	23469	24429	25271
Wohnfläche	m ² /Einw.	37,6	39,8	42,4	44,4	46,2	47,7
Wohnfläche	Mio m ²	3058	3276	3481	3636	3760	3854
davon in 1+2 FH	Mio m ²	1720	1838	1948	2024	2081	2119
davon in 3+x FH	Mio m ²	1338	1438	1533	1612	1679	1735

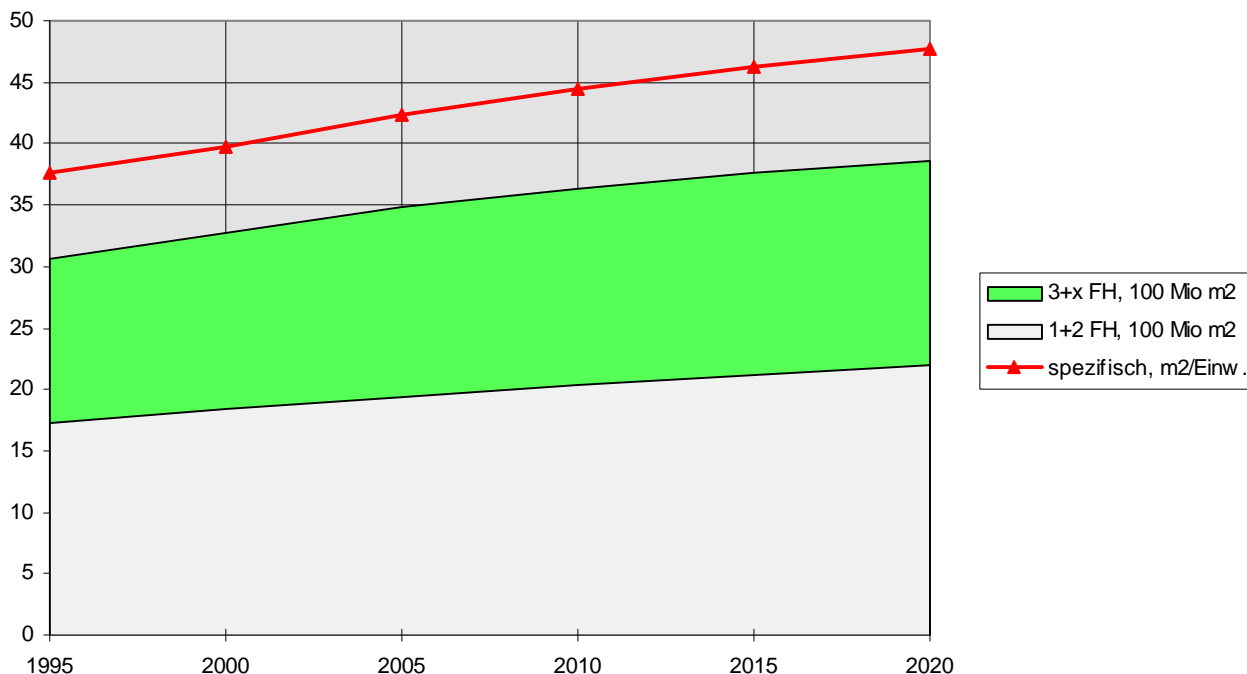
Diese Unterschiede gelten insbesondere für die Verteilung der Wohneinheiten zwischen 1-2-FH und 3+x-FH und deren spezifischen Wohnflächen, wie die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 9 Wohneinheiten (WE) und Wohnflächen (WF) im SuB-Szenario

	Einheit	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	S
Zugang WE	1000	2502	2519	2459	2377	2317	12174
Zugang WE 1-2 FH	1000	1006	1014	953	897	838	4708
Zugang WE 3+x FH	1000	1496	1505	1506	1480	1479	7466
Abgang WE	1000	220	298	720	907	1105	3250
Nettozugang WE	1000	2282	2221	1739	1470	1212	8924
Æ Zugang	m²	94,0	90,4	86,4	82,8	79,2	86,7
Æ Zugang 1-2 FH	m²	124	118,0	112,0	107,0	102,0	113,0
Æ Zugang 3+x FH	m²	73,8	72,0	70,1	68,3	66,4	70,1
Zugang WF	Mio m²	235,2	227,8	212,6	196,9	183,4	1056
Zugang WF 1-2 FH	Mio m²	124,7	119,5	107,0	95,8	85,2	532
Zugang WF 3+x FH	Mio m²	110,5	108,3	105,6	101,0	98,2	524
Abgang WF	Mio m²	17,0	22,8	57,6	72,9	89,4	260
Nettozugang WF	Mio m²	218	205	155	124	94	796

Diese Entwicklung zeigt die folgende Grafik nochmals in der Übersicht.

Bild 10 Entwicklung der Wohnflächen im SuB-Szenario



Die Unterschiede zwischen den Szenarien auf der Nachfrageseite werden weiter unten (Kapitel 3.4) in einer Gegenüberstellung nochmals verdeutlicht.

Die Einstellung der durchschnittlichen Wohnfläche in den Gebäudeklassen 1-2 FH und 3+x MFH wird durch den jeweiligen Haustypenmix realisiert (siehe Anhangband).

Der Abgang von Wohnfläche und Wohneinheiten basiert auf Daten der Prognos AG (Prognos 1996). Die Aufteilung in Umwidmung und Abriß sowie deren Zuordnung zu Haustypen des Bestandes wird im Anhangband dokumentiert.

3.3 Die Angebotsseite der Szenarien (Teilbereich „Bauen“)

Generelle Strategie auf der Angebotsseite (Bereich Bauen) ist es, die szenariobezogenen Maßnahmen in ihrer Anzahl überschaubar zu halten. Gleichzeitig sollen diese Maßnahmen eine solche Tragweite aufweisen, daß sie einen merklichen Einfluß auf die Ergebnisse der Szenariorechnungen haben. Die Szenarien unterscheiden sich daher auf der Angebotsseite vor allem bei den Daten der massenrelevanten Grundstoffe bzw. Baustoffprozesse.

Diese Unterschiede können durch Veränderungen der Erzeugerstruktur (z.B. veränderter Importmix von Grundstoffen), durch veränderte Prozeßqualität (z.B. vorgezogener Einsatz der best available technologies), durch veränderte Anteile von Recyclingmaterial (insb. bei Stahl, siehe weiter unten) oder auch durch Veränderungen von Transportwegen oder Transportmitteln (z.B. von LKW auf Binnenschiff) abgebildet werden. Auf die Veränderung des Transportaufwandes wurde aufgrund der schlechten Datenlage verzichtet.

Die diesen Veränderungen zugrunde liegenden Maßnahmen und Annahmen müssen dabei konsistent zu den vorgestellten Szenariophilosophien sein. In den Szenarien Effizienz und SuB wird die Angebotsseite daher identisch abgebildet.

Zuordnung der Grundstoffe

Grundstoffe sind die industriell erzeugten Produkte wie Zement, Sand, Kies, Stahl oder Aluminium, die auf der Baustelle oder in spezialisierten Zulieferbetrieben zu Baustoffen zusammengesetzt werden. Sie können teilweise mit den Baustoffen identisch sein.

Die Herstellung der Grundstoffe und der daraus gefertigten Baustoffe bzw. Bauelemente verursacht im Bereich „Bauen und Wohnen“ einen wichtigen Teil der Emissionen.

Die Emissionsdaten zur Herstellung basieren auf GEMIS-Daten und wurden für einzelne Grundstoffe durch die Recherche zur Datenbasis (vgl. Abschnitt 2) noch ergänzt.

Es ist davon auszugehen, daß Grundstoffe zukünftig effizienter hergestellt werden, sodaß eine **zeitliche Fortschreibung** der Emissionen und Energiebedarfe in den Szenarien notwendig war. Durch Verknüpfung der Fortschreibung mit den Herstellungsprozessen werden die Emissionen der Grundstoffe zeitlich fortgeschrieben.

Für die in 5-jährigen Intervallen bestehenden Stützwerte werden allgemeine Daten zur Energieversorgung bis zum Jahr 2020 aus Prognos (Prognos 1996) übernommen⁶⁸.

Für einen Teil der Grundstoffindustrie wird erwartet, daß sich der prozeßspezifische Energieeinsatz und die damit verbundenen Emissionen deutlich ändern und daß dies entsprechend in den Szenarien variiert werden muß.

Die hohe Anzahl unterschiedlicher Grundstoffe und ihre zeitliche Veränderung in unterschiedlichen Szenarien erfordern eine Einschränkung der Bearbeitungstiefe. Daher wurden in einem ersten Schritt die Grundstoffe hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Wohnbau sowie nach der zu erwarteten Veränderung charakterisiert und nach ihrer Relevanz unterschieden.

⁶⁸ zu Nutzungsgrad, Versorgungsmix der Stromversorgung und dem Heizungsmix siehe Anhangband.

Effizienzsteigerung bei Industrieprozessen

Für emissionsseitig relevante Industrieprozesse wird ihre zukünftige Effizienzsteigerung unter Beachtung gesellschaftlicher Faktoren für die drei Szenarien beschrieben. Um dem Nutzer des Stoffstrommodells eigene Gestaltungsmöglichkeiten zu bieten, wird ein Mix von zukünftigen Technologien angeboten, aus denen der Nutzer durch Veränderung des Mixes den Anteil an moderner Technologie einstellen kann. Die einzelnen Technologien werden in einem Datenformat dargestellt, das Zulieferungen und Dienstleistungen anderer Wirtschaftssektoren als Inputgröße erfaßt und damit Effizienz-Entwicklungen in anderen Produktionsbereichen separat ausweisen kann. Zudem kann damit der Nutzer eigene Vorstellungen, wie zum Beispiel besondere Veränderungen im Gütertransport, einfach integrieren.

Zement

Zement besteht aus Zementklinker und Zuschlagstoffen unterschiedlichster Herkunft. Die eigentliche Zementproduktion ist dabei das Brennen des Klinkers in Drehrohröfen. Die Erneuerung der Anlagen zur Zementklinkerherstellung erfolgt in langen Zyklen. Die heutigen Anlagen sind zum größten Teil älter als 15 Jahre.

Die Daten für die Vorkette und die Prozeßemissionen sind GEMIS 3.0 entnommen worden (vgl. ÖKO 1996a). Es werden drei Technologiestandards betrachtet:

- 1995 repräsentiert die zur Zeit laufenden Zementwerke mit ihren jetzigen Emissionen.
- 2020-REF stellt die zur Zeit am weitesten energetisch optimierte Technologie der Klinkerproduktion dar. Es ist zu erwarten, daß innerhalb von 25 Jahren die jetzigen Klinkeröfen gegen diese Technologie ersetzt wird. Die Substitution wird dabei langsam verlaufen. Es wird zusätzlich erwartet, daß keine Erhöhung von Zuschlagstoffen erfolgt.
- 2020-EFF zeigt gegenüber 2020-REF weitergehende Optimierungen. Der Brennstoffeinsatz bei der Klinkerproduktion soll gleich bleiben, da hier das thermodynamische Minimum fast erreicht ist. Zusätzliche Einsparungen von 20 %, bezogen auf „Zement 2020-REF“, werden bei dem Strombedarf zur Aufmahlung des Klinkers geschätzt. Weiterhin soll der Einsatz von nachgeschalteten Entstickungstechnologien (SCR) angenommen werden. Der Einsatz an Zuschlagstoffen soll sich deutlich erhöhen. Als Zuschlagstoffe mit hydraulischer Bindekraft können wie bisher Hochofenschlacken, puzzolanische Erden und Filterstäube eingesetzt werden.

In den drei Datensätzen sind die Prozesse Gewinnung und Aufbereitung von Klinker- und Zementrohstoffen, Klinkerbrand und Zementmahlung zusammengefaßt.

Nennenswerte **Importe werden nicht** berücksichtigt, da nach der Preisnivellierung in den östlichen Nachbarländern die Transportpreise einen großen Einfluß auf den Gesamtpreis von ca. 100 DM/t ausüben.

Tabelle 10 Kenndaten des Zementprodukts für die Szenarien REF und EFF/SuB

	Einheit	1995	2020-REF	2020-EFF
Strom	MJ/t	502,6	433,0	323,7
Erdgas	MJ/t	9,2	7,6	6,4
Öl	MJ/t	313,5	256,7	217,0
Braunkohle	MJ/t	1043,8	853,3	721,2
Steinkohle	MJ/t	1644,0	1344,5	1136,4
Kraft (Diesel)	MJ/t	48,0	48,0	45,6
Mineralien	t/t	2,03	2,03	1,59
Reststoffe (Input)	t/t	0,05	0,05	0,2
Transport	t*km/t	5	5	15
CO ₂	kg/t	711,5	661,1	558,8
NO _x	kg/t	1,764	1,008	0,192
SO ₂	kg/t	0,126	0,101	0,085

Die zeitliche Umsetzung soll für das REF-Szenario mit einer Substitutionsrate von 4 % pro Jahr erfolgen. Für EFF- und SuB-Szenarien sollen innerhalb von 10 Jahren die bisherigen Anlagen auf Zement-2020-EFF umgerüstet sein, also einer Rate von 10 % pro Jahr folgen. Danach soll keine weitere Optimierung stattfinden.

Stahlproduktion

Für die Stahlproduktion sind zwei große technologische Veränderungen erkennbar. Für den eigentlichen Stahlherstellungsprozeß ist eine weitgehende Substitution der Hochofen-Produktion durch Elektrostahl möglich. Studien über den Schrottanfall in den Industrieländern zeigen eine hohe Steigerungsrate für das zukünftige Schrottaufkommen, womit das Schrottaufkommen weitgehend als limitierender Faktor für den Einsatz von Elektrostahl entfällt.

Als weitere technische Innovation wird derzeit das endabmessungsnahe Gießen in Verbindung mit einer Warmwalzstraße eingeführt. Als besonders effektiv wird dabei die Kombination aus Elektrostahl und integriertem Warmwalzwerk, die sogenannten „mini-mills“, angesehen.

Es werden drei Technologien betrachtet:

- 1995 repräsentiert den heutigen Stahlmix mit einem Anteil an Elektrostahlwerken von ca. 20 %, d.h. 80 % des Stahls werden über die konventionelle Hochofenroute gewonnen.
- In 2020-REF ist die optimierte Gieß- und Walztechnologie umgesetzt. Die Effizienz der Hochofenroute bleibt auf heutigem Niveau, da Einsparungen hier nur in geringem Umfang möglich erscheinen. Die Elektrostahlwerke besitzen die heute verfügbare optimierte Technologie, ihr Anteil soll 30 % betragen.

- In 2020-EFF werden dieselben Technologien wie im REF-Szenario angewendet. Der Anteil an Elektrostahl soll dagegen 50 % betragen.

Tabelle 11 Kenndaten des Stahlprodukts (Warmwalzstahl) in den Szenarien REF und EFF/SuB

	Einheit	1995	2020- REF	2020- EFF
Strom	MJ/t	188	355	875
Erdgas	MJ/t	2122	622	628
Öl	MJ/t	698	610	436
Steinkohlekoks	MJ/t	10414	9173	6703
Mineralien	t/t	0,240	0,216	0,168
Pellets	t/t	0,335	0,293	0,209
Fe-Erz	t/t	0,732	0,640	0,457
Schrott	t/t	0,250	0,375	0,625
Transport	t*km/t	200	200	200
CO ₂	kg/t	1228,1	1005,5	728,5
NO _x	kg/t	1,012	0,813	0,592
SO ₂	kg/t	0,739	0,647	0,463

In der obigen Tabelle müssen Eisenerz (Fe-Erz) und Pellets noch mit ihren Umwelteinwirkungen integriert werden, da sie vollständig aus dem Ausland bezogen werden.

Tabelle 12 Kenndaten von importiertem Eisenerz und Eisenpellets

Umweltaspekt	Einheit	Import Fe-Erz	Import Fe-Pellets
Mineralien (Ressource)	t/t	1,1	1,1
CO ₂	kg/t	160,8	158,8
NO _x	kg/t	1,603	1,147
SO ₂	kg/t	1,557	1,259

Für das REF-Szenario wird eine lineare Substitution des heutigen Technologiestandards durch den Standard „2020-REF“ mit einer Rate von 4 % pro Jahr als wahrscheinlich angesehen. Das Effizienz-Szenario weist eine Substitutionsrate von 6 % auf, die Umstellung wäre demnach im Jahr 2010 abgeschlossen. Diese Umsetzung würde nach dem heutigen Produktionsniveau ein außerordentliches hohes Investitionstempo von einem Mini-Elektrostahlwerk pro Jahr bedeuten.

Mauersteine

Von den drei Steinarten, Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton, werden nur Ziegel in einem Hochtemperaturbrennprozeß hergestellt. Für die anderen Steintypen wird im Herstellungsprozeß nur Niedertemperaturwärme benötigt, um den Stein auszutrocknen bzw. zu härten. Daher werden dort die möglichen Effizienzsteigerungen im Produktionsprozeß für deutlich geringer erachtet. Effizienzsteigerungen sind allerdings in der vorgelagerten Produktionskette (z.B. Zement) enthalten.

Ziegel

Die Ziegelproduktion findet überwiegend in kleineren Einheiten statt. Es ist aber anzunehmen bzw. zur Zeit schon sichtbar, daß aufgrund des herrschenden Kostendrucks ein Konzentrationsprozeß stattfindet. In größeren Einheiten kann die Auslastung der Öfen erhöht und der Einsatz von effizienteren Produktionstechniken erwartet werden. Insgesamt wird die Effizienz der Ziegelwerke ansteigen. Verbandsvertreter sehen ebenfalls ein Minderungspotential für den Energieeinsatz von 10 bis 15 %. Da das Ziegelbrennen ein Hochtemperaturprozeß ist, können unter Effizienzgesichtspunkten weitere Potentiale genutzt werden (Erhöhung der Abwärmenutzung zur Ziegelvorwärmung).

Im Modell wird daher ein effizienter Prozeß mit einem Reduktionspotential von 20 % der thermischen Leistung (Ziegel-2020-EFF) angenommen, der entsprechend dem verringerten Energieeinsatz ebenfalls um 20 % reduzierte Emissionen aufweisen soll. Für das Referenz-Szenario wird ein Anteil von 50 % der neuen Technik im Jahr 2020 angesetzt, für das Effizienz- und das SuB-Szenario ein Anteil von 100%. In allen Szenarien soll der Anstieg der effizienteren Technik linear erfolgen.

Kalksandstein, Porenbeton und Betonsteine

Der thermische Wärmebedarf zur Herstellung dieser Steintypen wird zur Zeit durch unterschiedliche Brennstoffe befriedigt. Für das Effizienz- und SuB-Szenario wird unterstellt, daß im Jahr 2020 der jetzige Brennstoffmix vollständig auf Erdgas umgestellt wird.

NE-Metalle

Aluminium

Primäraluminium wird zur Zeit zu etwa einem Drittel im Inland hergestellt. Dabei kann im letzten Jahrzehnt ein weiterer Abbau der inländischen Hüttenkapazitäten festgestellt werden. Zur Zeit wird noch in zwei größeren Hütten produziert.

Es wird erwartet, daß nach Ablauf der bestehenden Lieferverträge mit der Stromwirtschaft die Primäraluminiumproduktion in Deutschland weiter absinken wird. Dieser Prozeß kann durch Stromlieferungen aus dem Ausland verzögert werden. Im Referenzszenario wird angenommen, daß die Anteile der Inlandshütten von 33 % auf 15 % im Jahr 2020 linear abnehmen. Im EFF- und SuB-Szenario wird der Produktionsanteil der inländischen Primäraluminiumproduktion linear auf 0 % im Jahr 2020 gesenkt.

Für die Produktion von Tonerde aus Bauxit wird Prozeßwärme, zum Teil aus Schweröl, eingesetzt. Für das Effizienz-Szenario wird von einer linearen Erhöhung des Gasanteils zur Deckung des Wärmeeinsatzes ausgegangen. Die gleichzeitige Reduktion der Primäraluminiumproduktion in Deutschland muß dabei kein Hindernis sein, da die Metallherstellung und Tonerdeproduktion, wie am Beispiel des großen Tonerdeproduzenten Irland gesehen werden kann, weitgehend entkoppelt ist.

Die Produktion an Sekundäraluminium resultiert zur Zeit hauptsächlich aus Produktionsabfällen und ist daher für diese Betrachtung nur in dem Maße relevant, in dem auch Produktionsabfälle anfallen. Da die nachgelagerten Prozeßschritte wie Walzen, Gießen und Endfertigung nicht berücksichtigt werden, ist die Betrachtung von Sekundäraluminium nicht relevant. Recyclingaluminium aus dem Bausektor wird hauptsächlich aus dem Gewerbebau anfallen, da dort sehr viel mehr Aluminium, z.B. in Fassaden, eingesetzt wurde. Für den Wohnungsbau wird dieser Stoffstrom nicht betrachtet.

Kupfer

Kupfer wird in Deutschland nur an wenigen Standorten produziert. Dabei wird ca. die Hälfte aus importierten Erzen und die andere Hälfte aus Recyclingmaterial geschmolzen. Es wird erwartet, daß der Anteil des Recyclingmaterials weiter ansteigen wird. Als Quellen aus dem Bausektor können erneuerte Installationen und Dachdichtungen anfallen.

Da der Anfall an Recyclingmaterial weitgehend unabhängig von den Szenarien ist, wird für alle drei Szenarien mit einem linearen Anstieg des Sekundärkupfers auf 70 % im Jahr 2020 gerechnet.

Tabelle 13 Zeitliche Veränderungen der Angebotsprozesse in den Szenarien

Szenarien	alle	REF	EFF/SuB	Bemerkungen
Material/Prozeß	1995	2020	2020	
Aluminium				
Alu-Herstellung-D	33%	15%	-	Reduktion Primär-Aluherstellung in D
Alu-Import	67%	85%	100%	Aufgabe Produktion in D
Alu - Tonerde - Energie				
Energie - Öl	86%	86%	-	Erhöhung Gaswärmeanteil in EFF
Energie - Gas	14%	14%	100%	
Kupfer				
Cu-primär	50%	30%	30%	Substitution von Primär- durch Sekundär-Kupfer
Cu-sekundär	50%	70%	70%	
Kalksandstein				
Energie- Gas	42%	42%	100%	Erhöhung Gaswärmeanteil in EFF
Energie - Öl	58%	58%	-	Komplementärprozeß zu Gaswärme
Porenbeton				
Energie- Gas	44%	44%	100%	Erhöhung Gaswärmeanteil in EFF Komplementärprozeß zu Gaswärme
Energie - Öl	56%	56%	-	
Ziegel				
Ziegelwerk - heute	100%	50%	-	unterschiedliche Effizienzsteigerung in den Szenarien
Ziegelwerk - 2020 - EFF	-	50%	100%	
Stahl				
Oxygenstahl	80%	70%	50%	Ersatz von Oxygenstahl (Hochofen) durch Elektrostahl hoher Effizienz
Elektrostahl - 1995	20%	-	-	
Elektrostahl - 2020	-	30%	50%	Einführung von moderner Walztechnologie in EFF schon im Jahr 2010 abgeschlossen
Walzwerk - 1996	100%	-	-	
Walzwerk - 2020	-	100%	100%	
Zement				
Zementwerk - heute	100%	-	-	Einführung effizienterer Technologie
Zementwerk - 2020 - REF	-	100%	-	
Zementwerk - 2020 - EFF	-	-	100%	in EFF schon in 2005 abgeschlossen

Die Tabelle zeigt Änderungen aufgrund von Produktbezügen (Recycling, Import), Technologieeinführungen (Prozeß) oder der Wärmebereitstellung (Brennstoffmix)

3.4 Gegenüberstellung der Szenarien

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Philosophie und datenseitige Ausrichtung der Szenarien diskutiert⁶⁹. Im folgenden werden die Szenarien in einer Übersicht direkt gegenübergestellt, um ihre wesentlichen Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten sichtbar zu machen.

Bevölkerungsentwicklung und Zahl von zugebauten Wohnungen

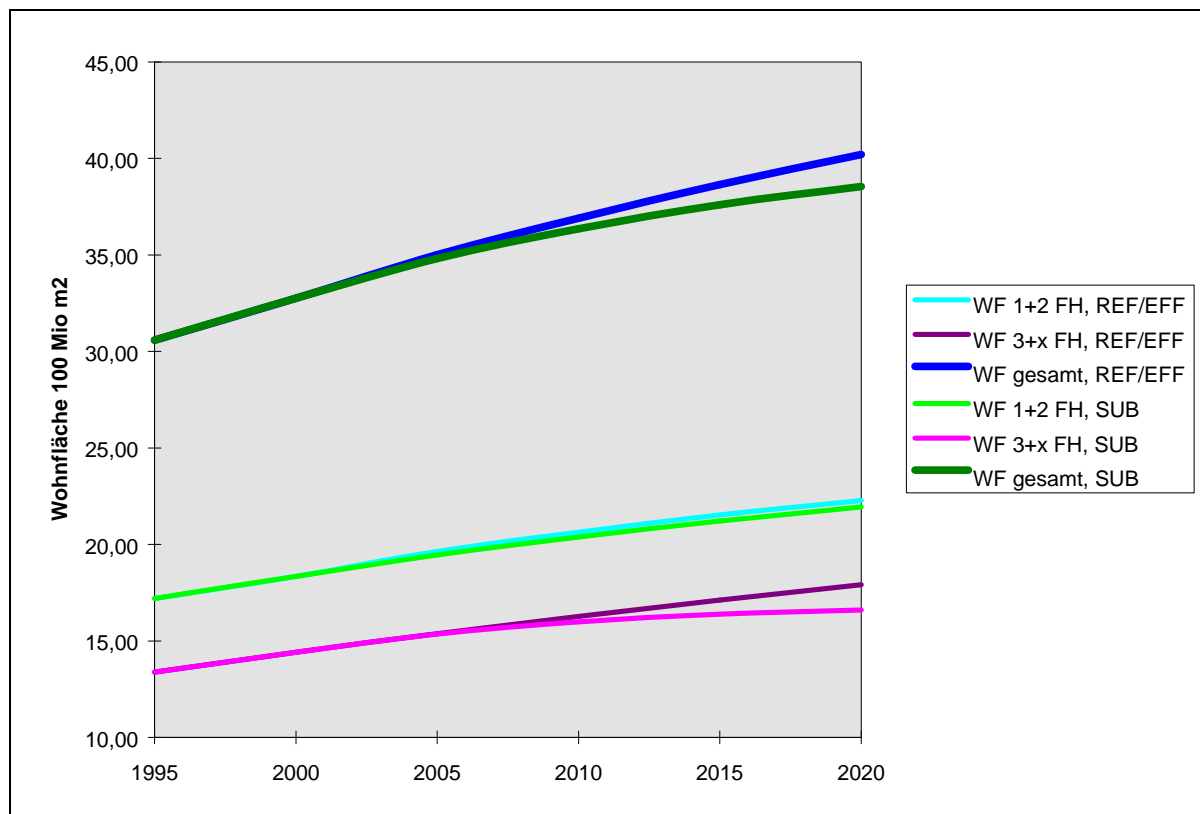
Die angenommene Bevölkerungsentwicklung ist bei **allen drei Szenarien gleich**, ebenso wird in allen Szenarien für den Zubau die **gleiche Zahl von Wohneinheiten** verwendet.

Verteilung der Wohneinheiten des Zubaus nach Gebäudeklassen

- Die Verteilung der Wohneinheiten des Zubaus zwischen den Gebäudeklassen 1-2 Familienhäuser und 3+x Mehrfamilienhäuser ist in den Szenarien **REF** und **EFF** **gleich**.
- Im **SuB**-Szenario verläuft der Zubau an Wohneinheiten in der Gebäudeklasse **1-2 FH moderater** (bis - 10% im letzten Jahrzehnt gegenüber dem Zubau in den beiden anderen Szenarien) **zugunsten** des Zubaus an WE in der Gebäudeklasse 3+x MFH (bis + 10%).

Dies zeigt die folgende Abbildung nochmals im Vergleich.

Bild 11 Wohnflächen nach Gebäudeklassen im REF/EFF- und SuB-Szenario



⁶⁹ Zu einzelnen Details der Szenarien vgl. die umfangreichen Datenlisten im Anhangband.

Größe des Zubaus an Wohneinheiten in der Gebäudeklasse 1-2 Familienhäuser

- Die durchschnittliche Größe der Wohneinheiten des Zubaus (in m²) in der Gebäudeklasse 1-2 Familienhäuser ist in den Szenarien **REF** und **EFF** **gleich**.
- Die durchschnittliche Größe der Wohneinheiten des Zubaus in der Gebäudeklasse 1-2 Familienhäuser **verringert sich im SuB-Szenario** nach 2000 bis zum Ende des Szenariozeitraums **kontinuierlich um bis zu 20% gegenüber dem REF-Szenario**⁷⁰.

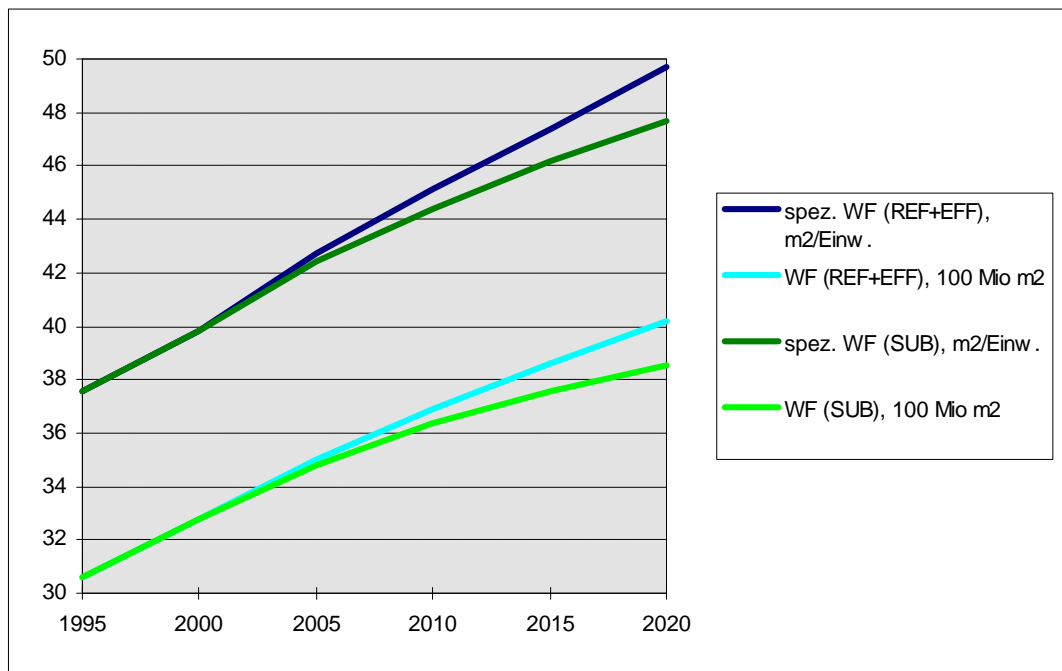
Größe des Zubaus an Wohneinheiten in der Gebäudeklasse 3+x Mehrfamilienhäuser

- Die durchschnittliche Größe der Wohneinheiten des Zubaus (in m²) in der Gebäudeklasse 3+x MFH ist in den Szenarien **REF** und **EFF** **gleich**.
- Die durchschnittliche WE-Größe des Zubaus von 3+x MFH **verringert sich im SuB-Szenario** nach 2000 **kontinuierlich um bis zu 10% gegenüber dem REF-Szenario**.

Zubau an Wohnfläche absolut

- Der absolute Zubau an Wohnfläche bis 2020 ist in den Szenarien **REF** und **EFF** **gleich**, er ergibt sich als Rechengröße aus den vorgenannten Daten.
- Der absolute Zubau an Wohnfläche bis 2020 ist im **SuB-Szenario geringer** als in den beiden anderen Szenarien⁷¹.

Bild 12 Gesamte Wohnflächen im Vergleich von REF/EFF- und SuB-Szenario



⁷⁰ Im Falle der neuen Bundesländer (NBL) wird diese Reduzierung aufgrund des deutlich geringeren Ausgangswertes im Vergleich zu den alten Bundesländern (ABL) nur bis - 6% ausmachen.

⁷¹ Zu den einzelnen Daten des Zubaus in den Szenarien vgl. den Anhangband.

Raumwärmebedarf im Zubau und im Bestand

- Für den Raumwärmebedarf wird die Entwicklung bis 2020 im Referenz-Szenario nach der Studie von PROGNOS(1996) zugrunde gelegt.
- Der Raumwärmebedarf bis 2020 entwickelt sich im **EFF-Szenario** durch Maßnahmen im Zubau und im Bestand (stark verbesserte Effizienz) **deutlich geringer** im Vergleich zum Szenario Referenz.
- Die zahlreichen Maßnahmen und Annahmen zur **Verbesserung der energetischen Effizienz**, welche das Szenario Effizienz auszeichnen, werden **in das SuB-Szenario integriert**. Änderungen gegenüber dem Szenario Effizienz ergeben sich **automatisch als Rechengrößen aufgrund der unterschiedlichen Annahmen zum Zubau**.

Haustypenverteilung des Bestandes

Die Haustypenverteilung des Bestandes (nach Alters- und Nutzungsklassen) wird in allen **drei Szenarien gleich** (nach Prognos 1996 bzw. Enquête 1996) angesetzt.

Konstruktionsmerkmale des Zugangs

- Die Konstruktionsmerkmale des Zugangs⁷² **unterscheiden sich in den Szenarien Referenz und Effizienz im Bereich der Wärmedämmmaßnahmen** (andere Baustoffe, zusätzliche Dämmstoffe, andere Fenster etc.).
- Die Konstruktionsmerkmale des Zugangs im Szenario Struktur- und Bewußtseinswandel decken sich mit dem Effizienzscenario im Bereich Wärmeschutz. Unterschiede zu den beiden anderen Szenarien ergeben sich darüber hinaus durch einen **deutlichen höheren Anteil der Holzbauweise** sowie durch den Einsatz materialarmer „Swatch-Häuser“.

Allgemeine und wärmetechnische Altbausanierung

- Die allgemeine Sanierungsrate für Bauelemente ist in allen Szenarien gleich und wird über die festgesetzte Lebensdauer der Bauelemente und Baustoffe berechnet. Die Ableitung der Lebensdauer findet sich detailliert im Anhangband.
- Im Szenario Referenz werden die Bestandsgebäude mit einer Rate von 1 %/a wärmetechnisch nachgedämmt. Die Dämmstoffdicken orientieren sich an dem vom Institut für Wohnen und Umwelt abgeleiteten als wirtschaftlich eingestuften Dämmstoffeinsatz. Detaillierte Angaben finden sich im Anhangband.
- Die wärmetechnischen Sanierungsraten der Szenarien EFF sowie SuB sind **gleich und betragen 2,5 %/a**. Die Dämmstoffdicken orientieren sich an dem vom Institut für Wohnen und Umwelt abgeleiteten als technisch realisierbar eingestuften Dämmstoffeinsatz. Detaillierte Angaben finden sich im Anhangband.

⁷² Abgeleitet aus der Auswertung der Bautätigkeitsstatistik und weiterer Recherchen.

Abgang Altbau

Der Abgang an Wohneinheiten und Wohnfläche ist in **allen drei Szenarien gleich** (siehe Anhangband).

Nachfrage nach Bauelementgruppen durch Sanierung und Zubau

Die Nachfrage nach Bauelementgruppen in den einzelnen Szenarien ergibt sich als Rechengröße aus Zubau und Sanierung Altbau. Die drei Szenarien unterscheiden sich dementsprechend in der Nachfrage nach den Bauelementgruppen.

Bauelementauswahl aus Bauelementgruppen

Die drei Szenarien unterscheiden sich bei der Auswahl der jeweiligen Bauelemente durch unterschiedliche wärmetechnische, bautechnische und sonstige Anforderungen **stark**⁷³.

Bauelementaufbau

Die Zusammensetzung der einzelnen (definierten) Bauelemente aus Baustoffen unterscheidet sich in den einzelnen Szenarien **nicht**. Unterschiedlich ist jedoch die jeweilige Ausprägung der Bauelementnachfrage in den einzelnen Szenarien.

Baustoffe

In den Szenarien unterscheiden sich die eingesetzten Baustoffe **nicht**.

Grundstoffe

Im Szenario **REF** werden die Grundstoffprozesse im Anlehnung an die Arbeit von Prognos (**moderate** Effizienzsteigerung) bis 2020 fortgeschrieben. In den Szenarien **EFF** und **SuB** werden Maßnahmen zur Effizienzsteigerung **zeitlich forciert und Potentiale stärker ausgeschöpft**.

Strombereitstellung/Industriewärme

- Im REF-Szenario erfolgt eine **Fortschreibung** in GEMIS anhand von **Prognos**.
- Aus Konsistenzgründen erfolgten **keine** Änderungen für EFF + SuB gegenüber REF.

Die folgende Tabelle gibt nochmals einen Gesamtüberblick zu den drei Szenarien und den relevanten Einflussfaktoren sowie deren Quellen.

⁷³ Durch diese Unterschiede werden gleichfalls starke Unterschiede bei den vorgelagerten Baustoffen, Grundstoffen, Ressourcen etc. in den Szenarien induziert.

Tabelle 14 Wesentliche Einflußfaktoren in den drei Szenarien

Einflußfaktor	REF	EFF	SuB
Bevölkerungsentwicklung	Prognos	wie REF	wie REF
Wohneinheiten (WE) absolut, Zubau	aus Prognos, linearer Zubau angenommen	wie REF	wie REF
Verteilung WE nach 1-2 FH und 3+x FH, Zubau	Prognos	wie REF	erhöhter 3+x-FH-Anteil
Größe 1-2 FH, Zubau	Prognos	wie REF	minus 20% bis 2020
Größe 3+x FH, Zubau	Prognos	wie REF	minus 10% bis 2020
Raumwärmebedarf	Prognos	höhere Effizienz	wie EFF
Nettowohnbauland (NWBL) aus WE	Berechnung	wie REF	Berechnung
Bruttowohnbauland aus NWBL	Abschätzung außerhalb Modell nach BfLR	wie REF	Abschätzung außerhalb Modell nach BfLR
Haustypenverteilung Bestand	Prognos/IWU	wie REF	wie REF
Haustypenverteilung Zugang	nach Bautätigkeitsstatistik extrapoliert	wie REF	mehr Holzbau, RH + Swatch-Häuser
Konstruktion ⁷⁴	moderater Anstieg NEH	mehr Dämmung + NEH	wie EFF/Holzbau
Sanierung Altbau	nach Prognos	höhere Sanierungsrate	wie EFF
Abgang Altbau	nach Prognos	wie REF	wie REF
Bauelementaufbau	Recherche, Schätzung	wie REF	wie REF
Baustoffe	berechnet vom Modell	wie REF	wie REF
Transportleistung	Recherche, GEMIS	wie REF	wie REF
Grundstoffe	GEMIS + Ökobilanzen, Prognos/IKARUS für Metalle, Steine/Erden, Prozeßwärme + Strom nach GEMIS	forcierte Umsetzung der REF Maßnahmen, Potential weiter ausgeschöpft	wie EFF

⁷⁴ Ziegel, Kalksandstein etc. Niedrigenergie- (NEH), Passivhaus etc.

4 Das Stoffstrommodell als EDV-Werkzeug

Im Forschungsvorhaben wurde zur Umsetzung des methodischen Ansatzes der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse das sog. **Stoffstrommodell**⁷⁵ als EDV-Programm entwickelt, das die Einflußfaktoren (Szenariodaten, vgl. Abschnitt 3) mit der Datenbasis (vgl. Abschnitt 2) in geeigneter Form verknüpft, um hieraus über die Zeit veränderliche (*dynamische*) Entwicklungen im Bereich „Bauen und Wohnen“ zu beschreiben.

Dieses Modell ist ein **internes Werkzeug** für den Auftraggeber, d.h. es wurden keine gesonderten Anforderungen an die Nutzerschnittstelle gestellt⁷⁶. Es handelt sich um einen *Prototyp*, der als Grundmodell wichtige Kenndaten für Deutschland sowie relevante Importländer umfaßt, jedoch spezifisch für das Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ entwickelt wurde.

Eine spätere Erweiterbarkeit des Stoffstrommodells auf andere Bereiche wurde gewährleistet, entsprechende Anwendungen bzw. dazu notwendige Weiterentwicklungen waren jedoch *nicht* Gegenstand des Forschungsvorhabens.

Nach Vorstellung einer **Demo-Version beim Auftraggeber** wurde die **Beta-Version** entwickelt und von einem ausgewählten Personenkreis extern getestet. Die Rückmeldungen aus diesem Betatest gingen in die Erstellung des endgültigen Prototyps ein.

Das Modell stellt neben der Benutzeroberfläche und den gesamten Verknüpfungen auch eine Dokumentationsfunktion über eine Druckerschnittstelle sowie ein komplettes Installationsprogramm unter WINDOWS 95[®] bzw. WINDOWS-NT[®] 4.0 bereit.

4.1 Anforderungen an das Stoffstrommodell

Das Modell sollte auf konventionellen PC lauffähig sein⁷⁷ und das nachfolgend genannte Funktionspotential umfassen:

- eine Stoffstrombilanzierung von ca. 100 Stoffen über bis zu 500 Prozeßschritte in rd. 50 Prozeßgruppen,
- die Definitionsmöglichkeit für Szenarien zum Variantenvergleich,
- eine Dokumentationsfunktion zur Beschreibung von Prozeßschritten
- eine Zuordnung der Datenqualität zu Prozessen zur Beurteilung der Belastbarkeit der Szenarioergebnisse,
- eine akzeptable Rechengeschwindigkeit (Zielgröße: unter 5 Minuten pro Szenario).

Zur systematischen Einordnung möglicher Modellierungen von Stoffströmen wurden im Forschungsvorhaben verschiedene Alternativen diskutiert:

⁷⁵ Der Arbeitstitel für den Prototyp lautet „**B**edarfsorientiertes **A**nalysewerkzeug für **S**toffströme **i**n **S**zenarien (BASiS)“

⁷⁶ Insbesondere wurde keine modellseitige Unterstützung zu speziellen kausalen Abhängigkeiten, wie sie z.B. zwischen gebäudeseitigen Wärmebedarfen und Hausgeometrien bestehen, im Prototyp integriert (vgl. auch Abschnitt 7.3)

⁷⁷ Intel[®] Prozessor 486/66 MHz oder höher, 16 MB Hauptspeicher, 50 MB freier Plattenspeicher, Farbbildschirm, Maus, Betriebssystem: Windows 95[®] oder Windows NT[®] 4.0

Statisch vs. dynamisch

Vorhandene Modelle wie z. B. GEMIS, UMBERTO oder KCL⁷⁸ sind statisch, das heißt sie bilden einen zeitlich fixierten Systemzustand ab. Zeitliche Änderungen sind nur als geänderte Systemzustände modellierbar, die aber unabhängig von dem ursprünglichen Zustand abgebildet werden. Dynamische Modelle, wie sie etwa mit dem „System-Dynamics“-Ansatz formuliert werden, haben eine sehr genaue zeitliche Auflösung. Dazu werden Systemgrößen über Differentialgleichungssysteme miteinander verknüpft.

Die mit diesen Modellen erzielbaren Ergebnisse gehen über die mit dem Forschungsvorhaben verbundenen Anforderungen hinaus, so daß der Modellierungsaufwand für System-Dynamics-Ansätze nicht gerechtfertigt ist.

Zur Realisierung einer zeitlichen Auflösung des Stoffstrommodells in Jahresschritten sind bei den vom Modell zu beschreibenden realen Vorgängen zeitvariable lineare Funktionen ausreichend.

Hierarchisch vs. „flach“

Bei „flachen Modellen“ werden einzelne Elemente getrennt voneinander definiert. Dies bedeutet einen erhöhten Aufwand bei der Pflege der Modelle, da Änderungen jeweils bei allen Komponenten einzeln durchgeführt werden müssen.

Teilhierarchische Modelle wie GEMIS oder CARA erlauben die Definition von Komponenten, die im Modell mehrfach verwendet werden können. Modellierungssysteme wie KCL oder UMBERTO erlauben die Definition von Komponentendatenbanken, aus denen bei Bedarf einzelne Objekte ausgewählt werden. Umgekehrt können definierte Objekte wieder in die Komponentendatenbanken aufgenommen werden.

Bei der Modellierung wurde ein Kompromiß zwischen Hierarchisierung und Entwicklungsaufwand realisiert, der den gewünschten Rationalisierungseffekt bei der Datenhaltung teilweise ermöglicht, ohne jedoch eigene Bibliotheksfunktionen zu implementieren.

4.2 Konzeption und Auslegung des Stoffstrommodells

Das Stoffstrommodell gliedert sich in drei wesentliche Bestandteile:

- die extern vorgegebenen (exogenen) Größen,
- die Angebotsseite für Stoffe, Energieträger und Transporte (inkl. vorgelagerter Prozesse),
- die Nachfrageseite von Baustoffen (Gebäude- und Haustypen) und Energieträgern.

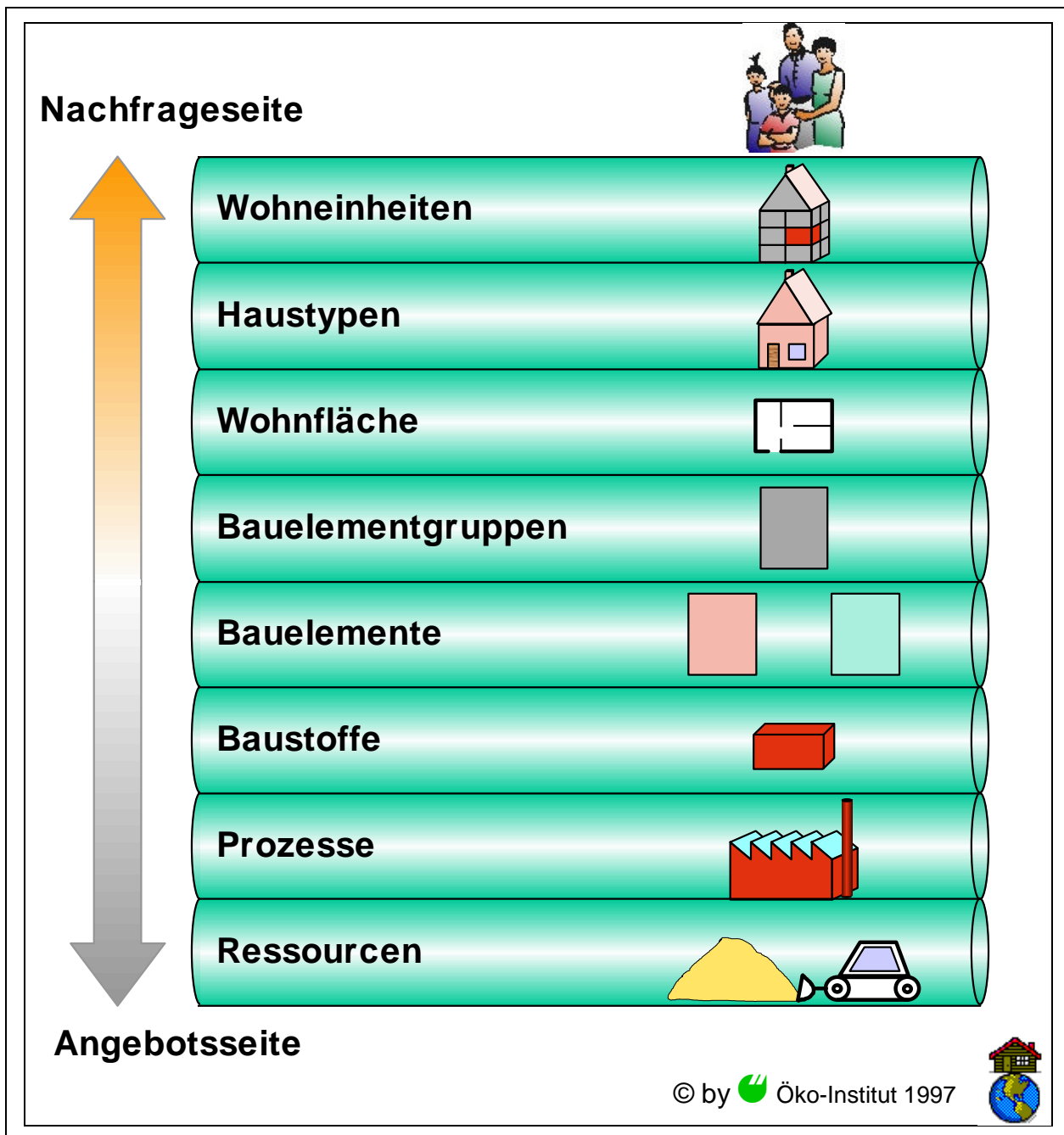
Als Schnittstelle zwischen der Angebots- und Nachfrageseite des Modells dienen sog. *Bauelemente* (vgl. Abschnitt 2).

Zu den o.g. Bestandteilen kommen Datenhaltungs- und Ergebnisanzeige-Elemente (Datenmanagement, Analysetools, Visualisierung, Export von Daten) hinzu.

Das folgende Bild gibt einen Überblick zu den Ebenen im Stoffstrommodell.

⁷⁸ vgl. zu den Abkürzungen den Abschnitt am Ende dieses Berichts.

Bild 13 Ebenen im Stoffstrommodell



Das Modell verknüpft die Projektschritte „Datenbasis“ und „Szenarien“ und greift in seiner konkreten Auslegung auch auf den Projektschritt „Umweltindikatoren“ zurück. Es liefert zudem die Outputs für den Projektschritt „Ergebnisse“ und die daran anschließenden Arbeiten.

Insgesamt stellt das Stoffstrommodell die Brücke zwischen allen Projektschritten dar und kann als integratives „Herz“ des Forschungsvorhabens bezeichnet werden.

4.2.1 Exogene Modellkenngrößen

Als exogene Größen werden im Stoffstrommodell die Angebote von

- nach Deutschland **importierten** Stoffen (Rohstoffe, Materialien),
- **inländischen** Energieträgern (Strom, Öl, Gas, Fernwärme...) und
- **inländischen** Transportdienstleistungen (Lkw, Schiff, Bahn)

aufgefaßt.

Diese Größen werden nicht weiter untersucht, sondern basieren auf aggregierten GEMIS-3.0-Prozeßketten, deren Ergebnisse im Stoffstrommodell nur ausgewertet werden, also feste Bestandteile der Datenbasis bilden.

Der **Bedarf an Wohnflächen** ergibt sich aus der Bevölkerungsprognose und dem unterstellten Wohnungsbedarf, aufgeteilt nach Gebäudeklassen und Haustypen (vgl. näher Abschnitt 3).

So lassen sich etwa Aussagen über Strom aus dem zukünftigen **bundesdeutschen** Kraftwerkspark in der Prognos-Studie (Prognos 1996) treffen, während die Angaben über die zeitliche Entwicklung der Emissionsstruktur **ausländischer** Prozeßketten auf Basis der in GEMIS 3.0 enthaltenen Daten und Abschätzungen aus Ergebnissen des IKARUS-Projekts zur Industrie entwickelt wurden (vgl. Abschnitt 2).

Die Größen werden bewußt für alle Szenarien im Stoffstrommodell **konstant** gelassen, um gezielt nur den Einfluß stoffstrompolitischer Maßnahmen in Deutschland im Modell zu untersuchen⁷⁹.

4.2.2 Die Angebotsseite des Modells

Die Angebotsseite läßt sich als Prozeßkettenmodell abbilden. Nachfragen nach Stoffen (Baustoffe, Grundstoffe,...) werden direkt oder indirekt von den exogenen Inputs bereitgestellt. Allerdings müssen die Stoffe oft über mehrere Stufen transportiert oder umgewandelt werden. Bei diesen Umwandlungen werden direkt Umwelteinflüsse zugeordnet. Bei den Transporten wird über die Inanspruchnahme von Transportdienstleistung der Umwelteinfluß bilanziert.

Weiterhin wurden aus Gründen der Modellvereinfachung umweltneutrale „Stoffmischer“ implementiert, die einen Stoffstrom entsprechend der eingestellten Anteile auf andere Prozesse verteilen - durch ihre zeitliche Dynamik bilden sie den Szenarioanteil ab.

Die Grundelemente der Angebotsseite im Modell zeigen schematisch die folgenden Abbildungen.

⁷⁹ Als Szenariovarianten können Effekte von geänderten exogenen Größen dennoch untersucht werden, indem entsprechend angepaßte Kenndaten in den Modellläufen verwendet werden.

Bild 14 Prinzip des Modellelements „Stoff- oder Energie-Extraktor“

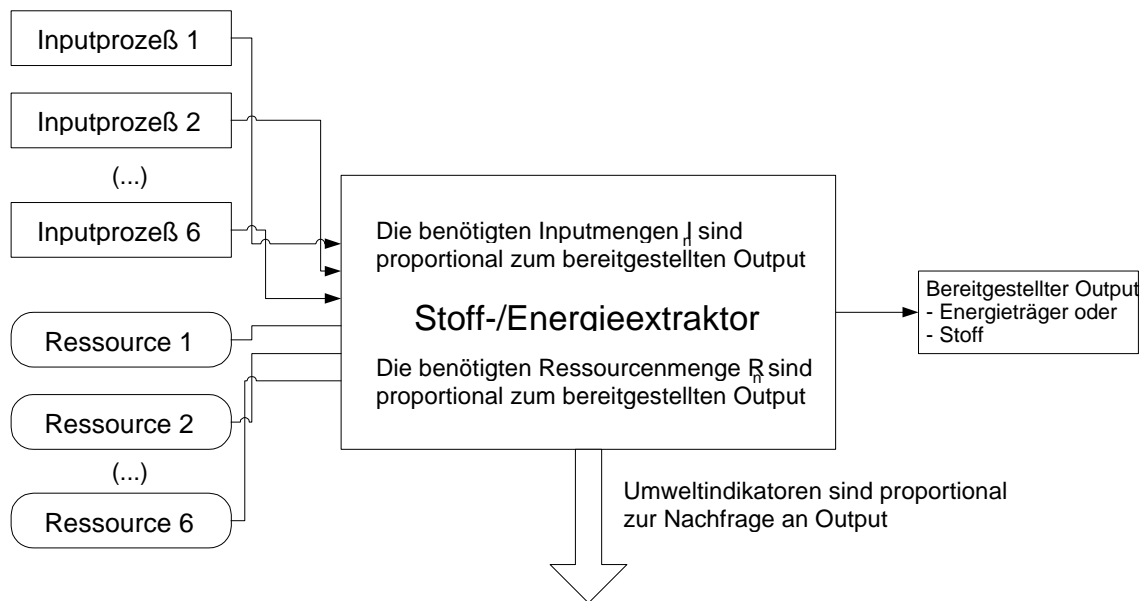


Bild 15 Prinzip des Modellelements „Stoff- oder Energiewandler“

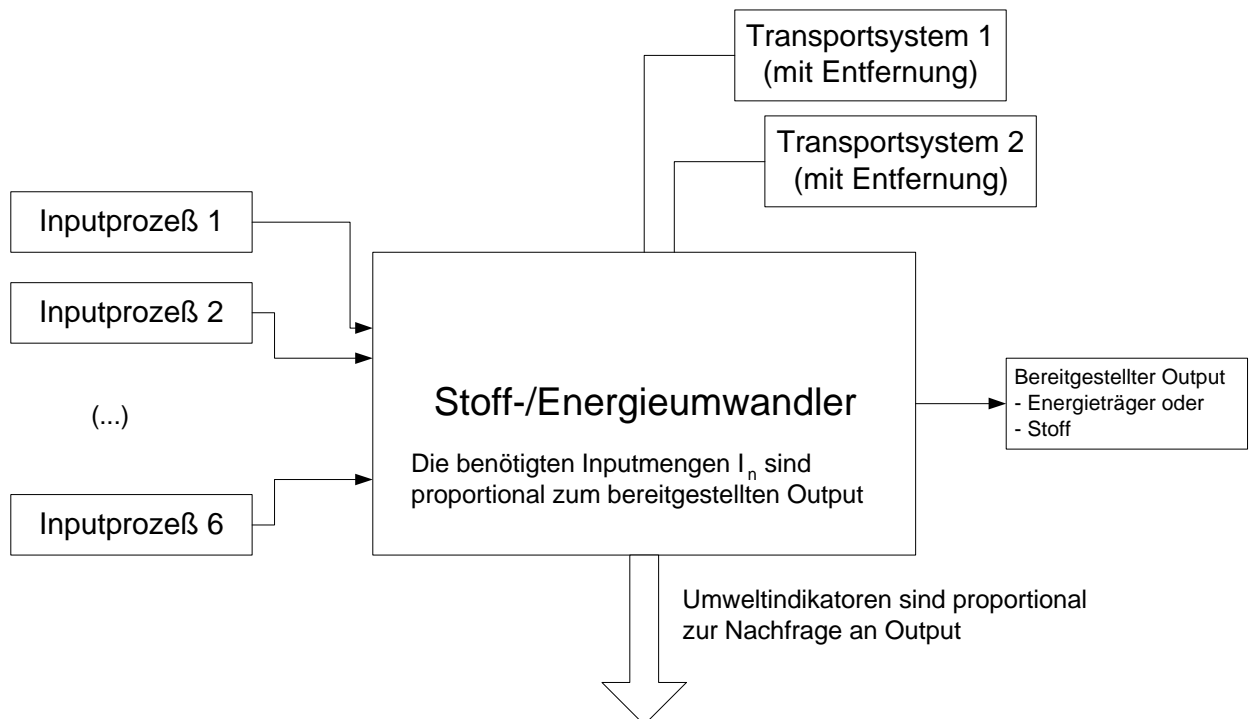


Bild 16 Prinzip des Modellelements „Transport“

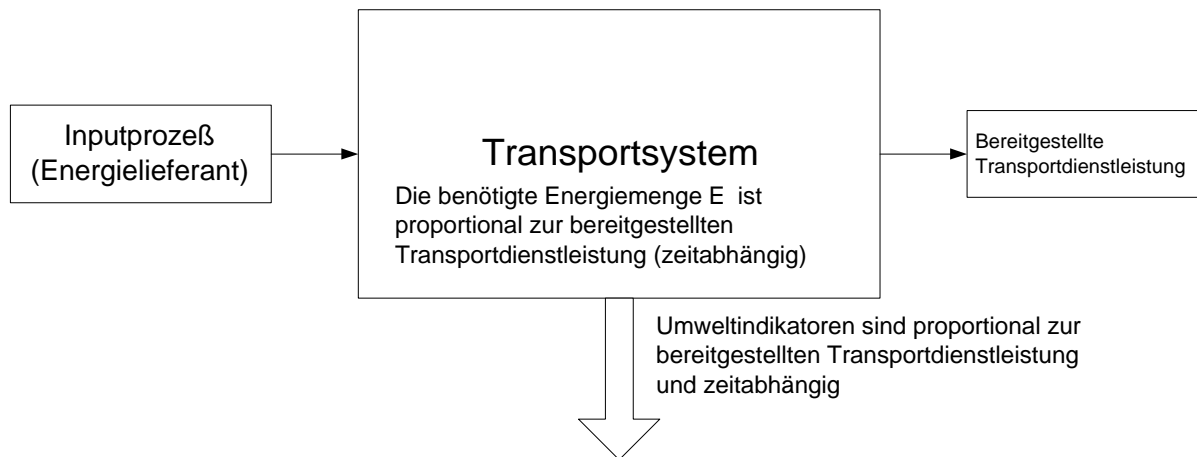


Bild 17 Prinzip des Modellelements „Stoff- oder Energiemixer“

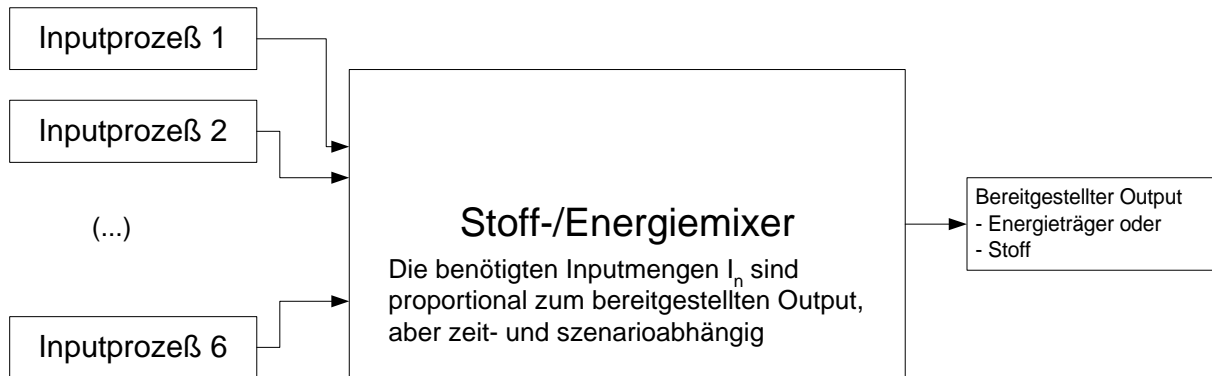
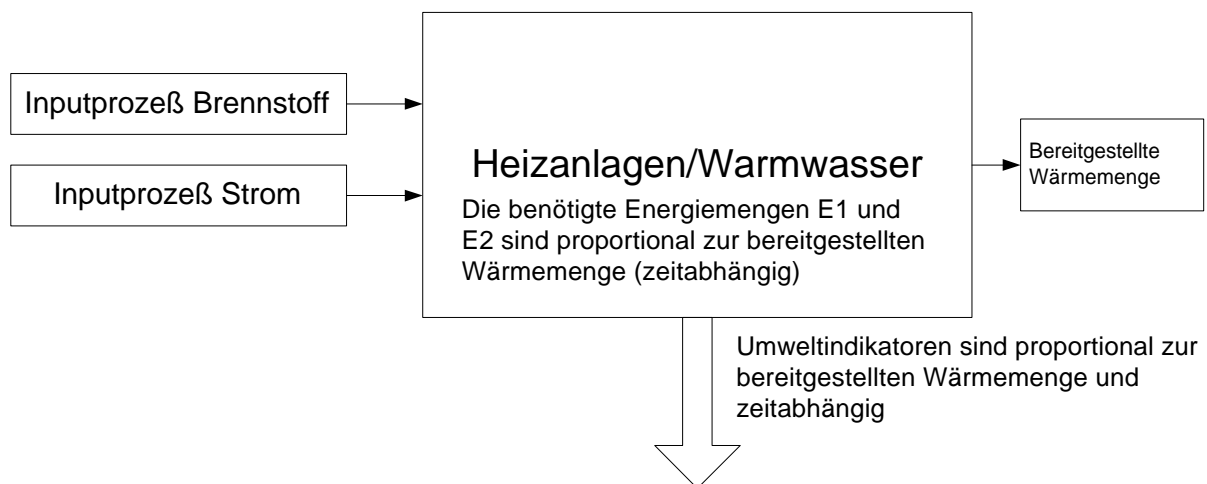


Bild 18 Prinzip des Modellelements „Heizung/Warmwasser“



4.2.3 Die Nachfrageseite des Modells

Die Nachfrage nach Baustoffen ergibt sich zum einen aus dem Sanierungs- und Modernisierungsbedarf des Bestandes und aus dem Zubau von neuer Bausubstanz. Der Bestand im Basisjahr ändert sich durch den Abgang (Abriß und Umnutzung). Die Umwelteinflüsse des Bestands ergeben sich durch die vorhandene Heizungsstruktur, die Instandhaltungsaufwendungen sowie die anfallenden Reststoffe beim Abriß.

Der Zubau ist durch die Differenz aus Gesamtbedarf und bestehendem Wohnraum bestimmt. Umwelteinflüsse ergeben sich durch die zusätzliche Flächeninanspruchnahme, den Baustoffbedarf, Instandhaltungsaufwendungen und die anschließende Beheizung der Gebäude.

4.2.4 Modellierung von Stoffwandlern

Um Stoffwandler flexibel modellieren zu können, wurde die folgende Struktur vorgesehen:

Alle Input- und Outputgrößen stehen in einem funktionalen Zusammenhang mit dem sog. **Umsatz** der Wandler. Im einfachsten Fall ist dies eine Proportionalität, aber immer ist es eine umkehrbare Funktion. Das heißt, daß sich aus dem Umsatz eindeutig der Zu-/Abfluß errechnen läßt und umgekehrt. Die Funktionen lassen sich abhängig vom eingestellten Szenario und der damit gewählten Maßnahmen mit unterschiedlichen Parametersätzen versehen.

Mathematisch ausgedrückt ergibt sich der Input als Funktion des Umsatzes und verschiedener (zeitabhängiger) Parameter entsprechend

$$\text{Input}_i = f(\text{Umsatz}, P_1(t), P_2(t), \dots).$$

Die Parameter P_i lassen sich als

- zeitinvariante Konstanten,
- lineare Interpolation von 2 Werten,
- Stufenfunktion oder als
- Tabellenfunktion

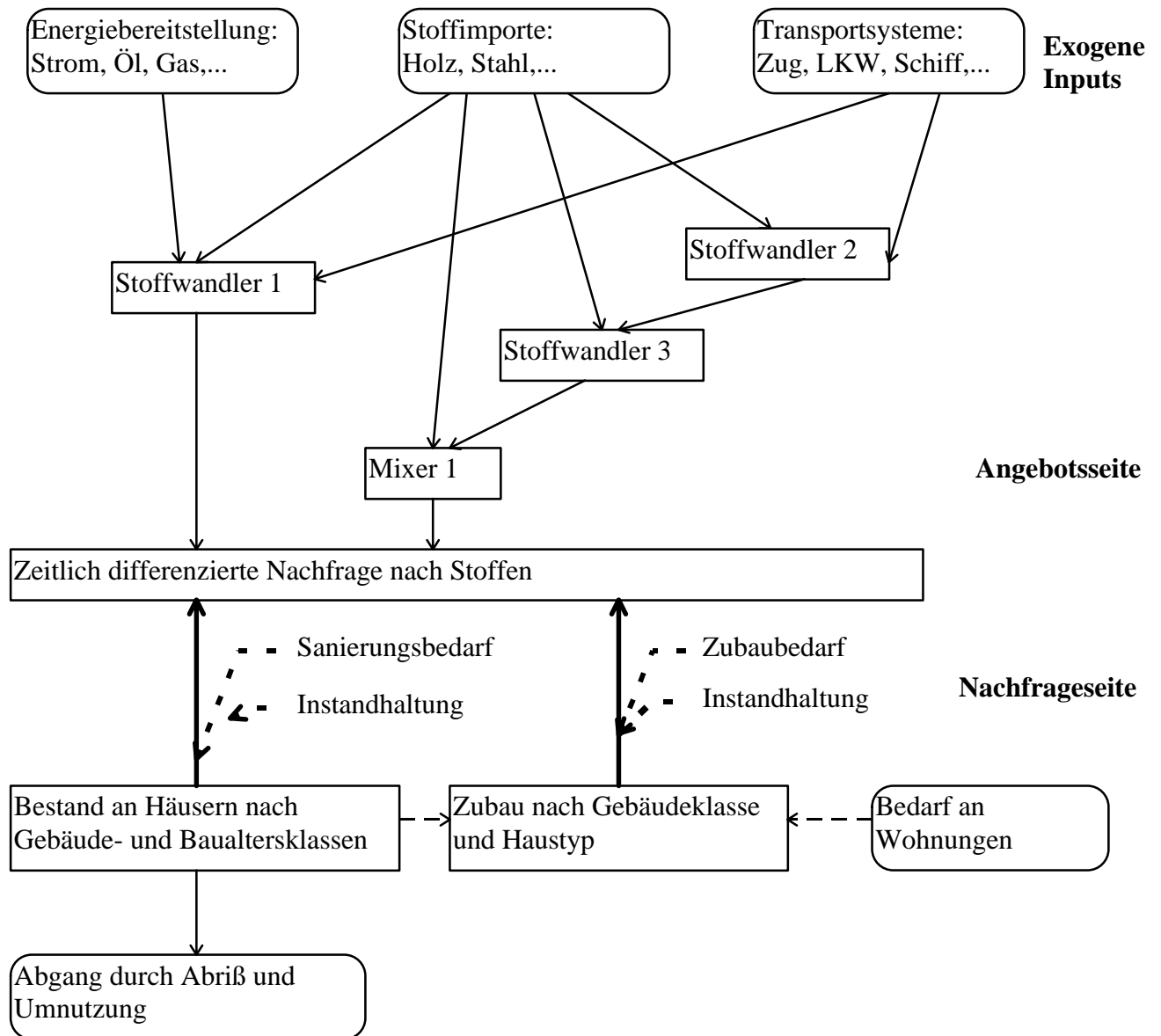
darstellen.

Die Umwelteinflüsse - ausgedrückt über Umweltindikatoren - sind immer proportional zum Umsatz der Stoffwandler (Ausnahme: Flächenbedarfe der Häuser).

Der besondere Vorteil der parametrisierten Stoffwandlereigenschaften liegt in der Modellvereinfachung. Zeitliche Änderungen im Bestand von realen Stoffumwandlern lassen sich durch einfache Parameterdefinitionen darstellen.

Die gewählte Struktur zur Modellierung zeigt das folgende Bild im Überblick.

Bild 19 Grundstruktur der Verknüpfungen im Stoffstrom-Modell



4.3 Wahl der geeigneten Modellierungsumgebung

Die verschiedenen Modellteile haben unterschiedliche Anforderungen an die Modellierungsumgebung. Während die exogenen Inputs z.B. als einfache Tabellenfunktion über die Zeit dargestellt werden können, sind die anderen Modellteile wesentlich anspruchsvoller in der Wahl der Mittel. Folgende Aufgaben waren in der Modellierung zu lösen:

- Abbildung des Bestandes, der sich jeweils aus dem Bestand im Basisjahr (Startzeitpunkt) und den jährlichen Zugängen und Abgängen ergibt,
- Abbildung der Stoffströme, die durch die Nachfragen, die Stoffbereitstellung sowie exogene Inputs bestimmt werden,
- Bestimmung der Umwelteinflüsse (ausgedrückt über Umweltindikatoren) durch den „Betrieb“ der Häuser und der Stoffbereitstellungsprozesse,
- Aggregation und Disaggregation von Beständen und Stoffströmen.

Viele Parameter bei den Stoffwandlern oder bei anderen Modellteilen sind zeitvariabel und abhängig vom gewählten Szenario. Daher müssen für den Betrachtungszeitraum entsprechende Tabellenfunktionen oder Übergangsfunktionen definiert werden.

Als Mittel zur Modellierung stehen für PC-Anwendungen zur Verfügung:

1. Programme zur Tabellenkalkulation, wie z.B. EXCEL[®]
2. Allgemeine Programmierumgebungen mit leichter Programmierbarkeit der Benutzeroberfläche wie MS-Visual Basic[®] oder Borland DELPHI[®]
3. Modellierungsumgebungen für den System-Dynamics-Ansatz wie Stella oder Vensim

Die Vor- und Nachteile dieser Systeme werden im folgenden kurz genannt:

Tabellenkalkulationsprogramme sind schnell einsetzbar und bieten ein Höchstmaß an Nachvollziehbarkeit der Rechenschritte. Leider tendieren größere Modelle zu Unübersichtlichkeit. Der Endanwender hat aber die Möglichkeit, leicht eigene Änderungen oder Ergänzungen vorzunehmen.

Allgemeine Programmierumgebungen erlauben die Programmierung selbst sehr komplizierter Sachverhalte. Ihr Nachteil ist der wesentlich höhere Aufwand für die Modellerstellung und die schlechte Wartbarkeit des erstellten Produkts durch den Endanwender.

Modellierungsumgebungen sind meist auf einen speziellen Anwendungsfall zugeschnitten. So könnte man mit den Softwareprodukten Vensim oder Stella den Nachfrageteil mit den Bestandsgrößen leicht abbilden, aber bei der Angebotsseite oder den Auswerteschritten müssen diese Programme ergänzt werden. Die Nutzeroberflächen dieser Systeme sind gut dazu geeignet, Modellzusammenhänge grafisch darzustellen, allerdings sinkt bei höherer Komplexität die Übersichtlichkeit.

Nach ausführlichen Tests der verschiedenen Varianten wurde im Forschungsvorhaben die Verwendung einer allgemeinen Programmierumgebung (DELPHI[®] 3.0) in Kombination mit einem Datenbank-Programm (MS-ACCESS[®] 7.0) gewählt.

4.4 Das aktorsorientierte Schalenkonzept des Stoffstrommodells

Bei der Implementierung des Stoffstrommodells zeigte sich, daß eine Notwendigkeit zu einer nutzerorientierten Systematisierung der Datenhaltung besteht, da **über 100.000 Einzeldaten** in der Datenbasis kaum ohne anwendungsorientierte Strukturierung bewältigt werden können.

Hierzu wurde im Projekt das *aktorsorientierte Schalenkonzept* für Datenbasis und Szenarien entwickelt, das eine sinnvolle (d.h. nutzerfreundliche) Strukturierung ermöglicht.

Dieses Konzept unterstellt, daß ein Werkzeug für stoffstromanalytische und stoffstrompolitische Strategiebildung die folgenden Bedingungen erfüllen muß:

- Strukturierung der Datenbasis anhand des jeweiligen **Akteursbezugs**,
- Aufteilung der Szenarien in eine Mikro- und Makro-Ebene bzw. „Schale“.

Die *Mikroebene* der Szenarien umfaßt **jeweils** die potentiellen Maßnahmen und Einflußfaktoren, die **einzelnen Akteuren** auf der Angebots- und Nachfrageseite von Stoffen, Energieträgern und Transportdienstleistungen zugeordnet werden können.

Die *Makroebene* der Szenarien betrifft dagegen die **übergreifenden** Maßnahmen und Einflußfaktoren, die mehrere Akteure betreffen und Gegenstand nationaler Politiken sind.

Das aktorsorientierte Schalenkonzept bedeutet konkret,

- daß im Stoffstrommodell eine Vielzahl von Detailinformationen über die zeitliche Entwicklung von Kenndaten **szenariospezifisch** auf einer unteren Ebene (Schale) „mikroskopisch“ behandelt wird, während nur wenige Daten zur „makroskopischen“ Definition und Beschreibung von Szenarien erforderlich sind,
- daß die „mikroskopische“ Ebene der Szenarien sich an den jeweiligen Akteuren orientiert und die entsprechenden Informationen auf der untersten Ebene (Schale) in **getrennten Modellobjekten** der Datenbank abbildet (z.B. Architekten/Bauherren bei der Haustypen-Definition, Gerätehersteller bei den Heizungsanlagen; Importeure/Hersteller von Baustoffen, Anbieter von Transportdienstleistungen usw.),
- daß die „makroskopische“ Ebene (Schale) der Szenarien im Modell sich an den übergreifenden Fragen von Stoffströmen orientiert und hierbei auf der **Nachfrageseite** die Zu- und Abgänge von Wohneinheiten sowie deren konkrete Ausgestaltung über Haustypen-Auswahl möglich sind, während auf der **Angebotsseite** die Auswahl von Transportmodi für Stoffe (Bahn, Lkw, Schiff) sowie die Quoten für heimisch bereitgestellte und importierte Stoffe erfolgen kann.

Der Beta-Test des Modells ergab, daß die Umsetzung dieses Konzepts eine relativ leichte Orientierung in der notwendigerweise komplexen Datenstruktur des Modells erlaubt.

4.5 Zusammenfassung zum Stoffstrom-Modell

Die Datenbasis und Szenario-Annahmen wurden mit der Entwicklung des Stoffstrommodells methodisch verknüpft und bilanzierbar gemacht. Im Forschungsvorhaben wurde dabei ein prototypisches Werkzeug entwickelt, das am Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ das Vorgehen und die möglichen Ergebnisse von stoffstromanalytisch-strategischen Ansätzen aufzeigt.

Die Arbeiten zum Stoffstrommodell ergaben:

- Die bislang in anderen Forschungsprojekten versuchten Modellierungen sind nach heutigem Kenntnisstand **nicht geeignet** als „Werkzeug“ für den Auftraggeber zu dienen. Gründe hierfür liegen neben ungelösten Softwareproblemen vor allem in der fehlenden Abstimmung von Datenbasis, Szenarioansatz und EDV-Modellierung für die „praxisnahen“ und politikrelevanten Fragestellungen im Bereich Stoffströme.
- Die daraus abgeleitete, weitgehend eigenständige Modellierung erfolgte in enger und sehr kooperativer Abstimmung mit ExpertInnen des Auftraggebers und des Projektbeirats.
- Die Modellierungsumgebung mit DELPHI[®] 3.0 als objektorientierte Programmierumgebung erlaubt die Bereitstellung moderner 32-bit-Anwendungen.
- Die Implementierung der Datenbasis unter MS-ACCESS[®] 7.0 entspricht den internen DV-Standards des Auftraggebers und erlaubt auch Dritten externen Zugriff auf die Datenbasis.
- Hinsichtlich der Datenhaltung und Systematisierung von **über 100.000 Einzeldaten** wurde im Projekt das „akteursorientierte Schalenkonzept“ für Datenbasis und Szenarien entwickelt, um eine sinnvolle (d.h. nutzerfreundliche) Strukturierung zu erlauben.

5 Ergebnisse der Szenariorechnungen

Nach der Vorstellung von Datenbasis, Szenarien und Stoffstrommodell gibt der folgende Abschnitt eine Zusammenfassung der wichtigsten Resultate aus den Szenariorechnungen.

Dabei werden insbesondere die Ergebnisse für Umweltindikatoren dargestellt, die für das Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ als relevant ermittelt wurden⁸⁰. Sie werden mit den identifizierten Referenzsystemen - also Umwelthandlungs- und Etappenzielen - verglichen.

Hier müssen die Einschränkungen in der bisherigen Definition dieser Ziele beachtet werden (vgl. dazu näher Abschnitt 1.3).

Die Ergebnisdarstellung beschränkt sich dabei in den Tabellen aus Platzgründen⁸¹ nur auf die Ausweisung der Resultate für die Jahre 1995, 2005 und 2020, während bei den Abbildungen stets der gesamte Zeitverlauf, d.h. alle Szenariojahre, einbezogen wurden⁸².

5.1 Bedarfe an Ressourcen

Das Stoffstrommodell liefert eine disaggregierte Darstellung aller Ressourcenbedarfe, d.h. der Bedarfe an Rohstoffen und Primärenergieträgern, die sich in den jeweiligen Szenarien über den Szenariozeitraum ergeben.

Da für die Primärenergieträger keine eigenen Umwelthandlungs- bzw. Etappenziele identifiziert wurden (vgl. Abschnitt 1.1), werden im folgenden nur die mineralischen Rohstoffe sowie der Bedarf an Holz dargestellt⁸³.

5.1.1 Mineralische Rohstoffe

Aus der Gesamtliste aller mineralischen Rohstoffe wurden für die Ergebnisdarstellung diejenigen ausgewählt, die einen direkten Bezug zum Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ aufweisen.

Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden Resultate im Überblick.

⁸⁰ Das Stoffstrommodell ermittelt neben den in Abschnitt 1 dargestellten Umweltindikatoren auch noch die Emissionen von Staub, CO und NMVOC.

⁸¹ Das Stoffstrommodell gibt die Ergebnisse als Zeitreihen über alle Szenariojahre aus. Die hier erfolgte aggregierte Darstellung beruht auf dem Export der Ergebnisdaten in EXCEL[®]-Tabellen, in denen eine gezielte „Ausblendung“ der Zwischenjahre erfolgte. Die entsprechenden Tabellen liegen dem Auftraggeber vor.

⁸² Auch die Grafiken wurden durch Export der Ergebnisdaten in EXCEL[®]-Tabellen und die Weiterverarbeitung dieser Daten zu den hier gezeigten Abbildungen erstellt. Auch diese Tabellen liegen dem Auftraggeber zusammen mit der Modellsoftware vor.

⁸³ Die anderen Ergebnisse - insbesondere zu den Primärenergieträgern - können direkt aus dem Stoffstrommodell entnommen werden.

Tabelle 15 Bedarfe an mineralischen Ressourcen in den Szenarien

	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
Gips				
1995	1,3	1,3	1,3	
2005	1,3	1,3	1,4	6%
2020	1,3	1,3	1,4	10%
Ton				
1995	15,7	15,7	15,7	
2005	16,1	15,4	13,7	-15%
2020	15,1	13,2	9,5	-37%
Kies				
1995	37,6	37,6	37,6	
2005	39,3	39,3	34,6	-12%
2020	37,5	37,5	26,3	-30%
Sand (ohne Quarzsand)				
1995	66,0	66,0	66,0	
2005	68,9	70,0	62,6	-9%
2020	65,4	65,2	48,5	-26%
Kalkstein				
1995	6,7	6,7	6,7	
2005	6,9	7,7	7,6	10%
2020	6,5	7,0	6,3	-3%

(Angaben in Mio t/a)

Wie diese Tabelle zeigt, ändern sich die Bedarfe an den mineralischen Rohstoffen Gips, Ton, Kies, Sand und Kalkstein in den REF- und EFF-Szenarien nur unwesentlich. Im SuB-Szenario tritt dagegen bei Ton, Kies und Sand eine Abnahme um rd. 10% bis 2005 und danach um jeweils rund 30% bis 2020 auf, während der Bedarf an Gips um rd. 10% **steigt** und auch der Kalksteinbedarf bis 2005 um diese Größenordnung wächst und erst danach wieder unter das Niveau von REF und EFF absinkt.

Diese Ressourcenbedarfe werden überwiegend in Deutschland gedeckt. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Tonnen-Preise ist auch für die Zukunft nicht zu erwarten, daß die mineralischen Rohstoffe weiträumig, d.h. überregional, gehandelt bzw. transportiert werden.

In den letzten Jahren haben sich die Nutzungskonflikte (Rohstoffabbau versus Landschafts- und Naturschutz) bei den o.g. einheimischen mineralischen Rohstoffen deutlich verschärft (vgl. HHU/DIW 1996, ÖKO 1997b)⁸⁴.

Die Stoffstromanalyse des Bereichs Bauen und Wohnen zeigt, daß vom Rohstoffbedarf her in den nächsten Jahren zwar in den Szenarien REF und EFF keine signifikante Steigerung des Gesamtbedarfs auftreten wird, jedoch ist auch bei gleichbleibendem Bedarfsniveau eine *Verschärfung der regionalen Konflikte* zu erwarten. Durch Realisierung des SuB-Szenarios könnte dagegen ein langfristiger Nachfragerückgang um ca. 1/3 erreicht werden und so das regionale Konfliktpotential tendenziell sinken.

Die Reduktion des Ressourcenbedarfs im SuB-Szenario beruht ganz überwiegend auf der geänderten Zubauphilosophie von Häusern - hier zeigt sich klar die Wirkung einer verstärkten Holzbauweise sowie der Einführung materialsparender Haustypen⁸⁵.

Bei der Ergebnisdiskussion muß beachtet werden, daß in der Szenarioformulierung kein direktes Recycling von Baureststoffen im Hochbau angenommen wurde, da die entsprechenden Technologien sich noch in der Entwicklung befinden bzw. logistische und ökonomische Probleme ihren Marktzutritt verhindern.

5.1.2 Bedarfe an Holz

Die Resultate der Szenariorechnungen für den Bedarf am nachwachsenden Rohstoff Holz in den Szenarien zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 16 Rohholzbedarf für Bauzwecke im Bereich Bauen und Wohnen

Jahr	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
1995	5,0	5,0	5,0	
2005	5,1	5,4	6,7	32%
2020	4,8	5,0	6,6	37%

(Angaben in Mio t/a)

Beim Rohstoff Holz steigt der Bedarf im SuB-Szenario deutlich an, was ganz überwiegend auf der o.g. Verschiebung in der materialbezogenen Haustypenwahl im Zubau sowie auf dem verstärkten Einsatz von Holzfenstern sowohl im Zubau wie auch im Bestand beruht.

⁸⁴ Da die Konflikte in der Regel regional ausgetragen werden, wird die Bedeutung der Konflikte insgesamt eher unterschätzt oder sie werden durch Großkonflikte auf der nationalen Ebene (wie etwa Braunkohleabbau/Garzweiler) gar in den Hintergrund gedrängt.

⁸⁵ Vgl. zur Diskussion der „Ergebniswirksamkeit“ näher Abschnitt 5.7.

Im SuB-Szenario wird - wie auch in EFF - Holz **auch** als strategischer Energieträger für *Heizzwecke* im Bereich Wohnen verwendet, der Öl und (in geringerem Umfang) Erdgas ersetzt. Die entsprechenden Mengen zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 17 Holzbedarfe für Heizzwecke im Bereich Bauen und Wohnen

Jahr	REF	EFF	SuB
2005	0	4,1	4,1
2020	0	7,0	6,7

(Angaben in Mio t/a)

Bei diesen Ergebnissen ist zu berücksichtigen, daß

- nur die *zusätzlich* zum heute schon erfolgenden (allerdings geringen) Holzeinsatz im Heizbereich angenommenen Mengen in die Szenariodefinition eingingen - im REF-Szenario ist dieser strategische Mehreinsatz definitionsgemäß gleich Null,
- dieses Holz ganz überwiegend als Restholz bereitgestellt wird, also keine zusätzlichen Anbauflächen und -aufwendungen erfordert.

Die Steigerung des Bauholzabsatzes um rd. 1/3 bis zum Jahr 2020 im SuB-Szenario kann schon mit der heute bewirtschafteten Waldfläche bereitgestellt werden⁸⁶.

Diese Aussage gilt allerdings nur insoweit, als daß sich außerhalb des hier betrachteten Bedürfnisfelds „Bauen und Wohnen“ *keine* deutlich gesteigerten Holznachfragen bzw. Absatzmärkte entwickeln.

5.2 Bedarfe an Baumaterialien

Als Ergänzung zu den Rohstoffen sollen im folgenden auch noch Ergebnisse zu ausgewählten „verarbeiteten Ressourcen“ dargestellt werden, die für das Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ von Interesse sind.

Die Stoffstromanalyse stellt im allgemeinen ökologische Informationen bereit. Im Hinblick auf den Bedarf an Baumaterialien und -produkten liefert sie darüber hinaus für die Marktteilnehmer auch ökonomisch bedeutsame Informationen. Es zeigt sich, daß die Bedarfe an Baumaterialien und -produkten je nach Szenario erheblich variieren.

Zuerst werden die Entwicklungschancen der Baustoffe aus der Branche „Steine und Erden“ analysiert.

⁸⁶ Inwieweit dies auch bei einer stärker ökologisch orientierten Forstwirtschaft gilt, konnte hier nicht untersucht werden

Tabelle 18 Bedarfe an Baumaterialien der Gruppe „Steine & Erden“

	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
Kalksandstein				
1995	14,8	14,8	14,8	
2005	15,3	15,3	14,0	-8,3%
2020	14,5	14,5	11,7	-19,4%
Porenbeton				
1995	2,7	2,7	2,7	
2005	2,8	2,8	2,3	-18,9%
2020	2,6	2,6	1,4	-48,2%
Ziegel				
1995	9,0	9,0	9,0	
2005	9,3	8,8	7,6	-18,6%
2020	8,7	7,3	4,7	-45,4%
Zement				
1995	19,6	19,6	19,6	
2005	20,4	20,4	18,0	-11,5%
2020	19,4	19,5	13,9	-28,1%

(Angaben in Mio t/a)

Aus der obigen Tabelle geht hervor, daß für die aufgeführten wichtigen Baustoffe zwischen den Szenarien Referenz und Effizienz nur geringe Unterschiede erkennbar sind. Das Referenz-Szenario weist über den Szenariozeitraum keine wesentlichen Veränderungen auf. Dies erklärt sich aus der unveränderten Bauweise und dem weitgehend konstanten Neubausvolumen. Im Effizienz-Szenario sinkt bis zum Jahr 2020 der Bedarf an Mauerziegeln moderat auf 7,3 Mio t/a. Um den höheren energietechnischen Standards in diesem Szenario zu genügen, werden Außenwände auf Ziegelbasis tendenziell mit geringeren Wandstärken, aber höheren Dämmstoffdicken, realisiert.

Deutlich sichtbar ist hingegen, daß im SuB-Szenario die Nachfrage nach „traditionellen“ Baustoffen gegenüber REF um 10-20% bis 2005 und um 30-50% bis 2020 abnimmt. Eine solche Entwicklung ist daher auch aus stoffstromökonomischer Sicht interessant⁸⁷. Diese Verminderungen sind auf die unterschiedliche Haustypenentwicklung (geringerer Wohnflächenzubau) und die tendenziell veränderte Bauweise (Holzhäuser ohne Keller) gegenüber den anderen beiden Szenarien zurückzuführen.

⁸⁷ Vgl. dazu näher die Darstellung zur Stoffstromökonomie im Anhangband.

Die nächste Tabelle zeigt die entsprechende Entwicklungsbandbreite für ausgewählte metallische Baustoffe.

Zu beachten ist hier, daß aufgrund des methodischen Ansatzes vom Stoffstrommodell hier nur die Mengen ausgewiesen werden, die mit dem Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ verknüpft sind.

Tabelle 19 Bedarfe an metallischen Baumaterialien im Bereich „Bauen und Wohnen“

	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
Aluminium				
1995	53.159	53.159	53.159	
2005	54.238	52.201	62.310	14,9%
2020	51.126	25.401	35.319	-30,9%
Stahl				
1995	2.209.175	2.209.175	2.209.175	
2005	2.296.204	2.457.223	1.981.102	-13,7%
2020	2.186.616	2.230.564	1.415.881	-35,2%
Zink				
1995	131.856	131.856	131.856	
2005	133.002	133.002	128.970	-3,0%
2020	124.165	124.165	113.626	-8,5%

(Angaben in t/a)

Bei der Entwicklung der Nachfrage⁸⁸ nach metallischen Baustoffen zeigen sich vor allem für Aluminium und Stahl relevante Unterschiede zwischen den Szenarien.

Während Aluminium im SuB-Szenario kurzfristig noch leicht gegenüber REF und EFF gewinnen kann, sinkt der Bedarf an Aluminium im SuB- sowie im EFF-Szenario bis 2020 um rd. 30% bzw. 50% ab. Der starke Rückgang wird bedingt durch die Substitution von Aluminiumfenstern durch hochgedämmte PVC- oder Holzfenster. Dieser Effekt wirkt sich im SuB-Szenario weniger stark aus, da die hochgedämmten Holzfenster auch Aluminiumkomponenten enthalten.

Bei (Bau)Stahl ist der Bedarf im SuB-Szenario bereits bis 2005 rückläufig und sinkt danach ebenfalls um rd. 1/3 gegenüber dem REF-Szenario ab. Ein wesentlicher Einflußfaktor ist in diesem Fall die geringere Nachfrage nach Stahlbeton durch veränderte Bauweise.

⁸⁸ Das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ weist für die metallischen Baustoffe einen erheblich geringeren Marktanteil aus als für die mineralischen Baustoffe.

Zink als „Hilfsstoff“ im Bausektor verzeichnet dagegen im SuB-Szenario nur eine leicht negative Bedarfsentwicklung gegenüber REF und EFF. Hier sind die Wirkungen der unterstellten Änderungen im Wohnungsbau nur gering spürbar⁸⁹.

Eine wesentlich deutlichere Verschiebung von Stoffströmen zwischen den Szenarien ist dagegen bei den **Kunststoffen** möglich, wobei auch hier aufgrund der Methodik nur die Mengen in der folgenden Tabelle ausgewiesen sind, die als Baumaterial vom Bereich „Bauen und Wohnen“ nachgefragt werden.

Der Grund für die deutlichen Unterschiede zwischen den Szenarien liegt einerseits an der unterstellten „Fensterpolitik“ im SuB-Szenario, nach der PVC-Fenster nach und nach auch im Bestand durch Holzfenster ersetzt werden.

Andererseits führt die in EFF und SuB gegenüber REF verstärkte Wärmedämmung zu einer gesteigerten Nachfrage für einzelne Kunststoffe.

Tabelle 20 Bedarfe an Kunststoffen im Bereich „Bauen und Wohnen“

	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
LDPE				
1995	74.683	74.683	74.683	
2005	201.649	387.180	383.844	90%
2020	188.339	357.120	348.772	85%
PS				
1995	193.911	193.911	193.911	
2005	294.288	591.925	549.013	87%
2020	288.847	620.161	508.485	76%
PVC				
1995	403.023	403.023	403.023	
2005	406.112	661.270	236.584	-42%
2020	381.342	454.447	-	-100%

(Angaben in t/a)

LDPE und PS sind nach diesen Ergebnissen somit klare „Gewinner“ in EFF und SuB, während PVC im SuB-Szenario der klare „Verlierer“ ist. Im EFF-Szenario, bei dem keine gezielte Stoffpolitik unterstellt wurde, steigt der PVC-Bedarf gegenüber heute und gegenüber REF deutlich an.

⁸⁹ Bedingt durch das Haupteinsatzgebiet für Zink (Regenrinnen), hat eine veränderte Bauweise nur einen geringen Effekt auf die Zinknachfrage.

Wie schon angedeutet, liegt ein wesentlicher Grund für die unterschiedlichen Kunststoffbedarfe in den Szenarien auch in den verschiedenen Annahmen zum gebäudeseitigen Wärmeschutz.

Hier sind in EFF und SuB gegenüber REF einerseits erheblich bessere Dämmstandards angenommen, andererseits werden diese auch schneller durch wärmetechnische Sanierungen im Bestand umgesetzt.

In SuB kommt noch eine spezifische Stoffpolitik hinzu, die Schaumglas und extrudiertes PS gegenüber den anderen Dämmmaterialien durch nachfrageseitige Maßnahmen reduziert.

Die entsprechenden Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle im Überblick.

Tabelle 21 Bedarfe an Dämmmaterialien im Bereich „Bauen und Wohnen“

	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
Glaswolle				
1995	90.670	90.670	90.670	
2005	153.075	370.015	385.394	152%
2020	147.684	369.619	387.010	162%
PS-exp				
1995	104.496	104.496	104.496	
2005	190.121	475.560	455.846	140%
2020	188.109	507.703	445.916	137%
PS-extr.				
1995	74.473	74.473	74.473	
2005	88.110	98.368	76.762	-13%
2020	85.270	94.909	48.897	-43%
Schaumglas				
1995	46.770	46.770	46.770	
2005	52.031	52.031	37.313	-28%
2020	50.519	50.519	19.467	-62%
Steinwolle				
1995	248.827	248.827	248.827	
2005	290.666	421.195	425.976	47%
2020	277.916	426.694	422.041	52%

(Angaben in t/a)

Neben den direkten Ressourcenbedarfen liefert die bedürfnisfeldorientierte Stoffstromanalyse somit insbesondere auch interessante Ergebnisse für Baumaterialien, die bei der akteursbezogenen Diskussion der unterstellten Maßnahmen sicher nicht unkommentiert blieben.

Gerade hier kann das entwickelte Stoffstrommodell sinnvolle Hilfe anbieten: durch weitere Analysen der Ursachen für die Ergebnisse sowie durch die Option, gezielt auch Varianten zu Szenarien „durchzuspielen“ und so die Vorstellungen einzelner Akteure im Hinblick auf ihr Konzept zur nachhaltigen Entwicklung zu operationalisieren.

5.2 Flächenbedarfe in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“

Die Flächeninanspruchnahme ist einer der wesentlichen Umweltindikatoren im Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ (vgl. Abschnitt 1.2), wobei hier neben der eigentlichen Wohnfläche (als eher ökonomisch-sozialem Indikator) insbesondere die bebaute und die Grundstücksfläche interessieren. Die entsprechenden Werte zeigen die folgenden Tabellen als Übersicht.

Tabelle 22 Wohnflächenentwicklung in den Szenarien

	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
1995	3.058	3.058	3.058	
2005	3.502	3.502	3.486	-0,4%
2020	4.021	4.021	3.882	-3,5%

Angaben in Mio m²

Bei den Wohnflächen sind REF und EFF definitionsgemäß gleich, während sich im SuB-Szenario aufgrund des veränderten Zubaumixes von Haustypen eine geringfügig geringere Wohnfläche ergibt - allerdings bei **gleicher Zahl der Wohnungen**.

Etwas größere Unterschiede zeigen sich bei den bebauten Flächen.

Tabelle 23 Entwicklung der bebauten Flächen in den Szenarien

	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
1995	2.275	2.275	2.275	
2005	2.588	2.588	2.577	-0,4%
2020	2.938	2.938	2.810	-4,4%

Angaben in Mio m²

Auch hier sind REF/EFF wiederum definitionsgemäß gleich, während in SuB eine leichte Reduktion gegenüber REF/EFF erzielt wird. Gegenüber dem Ausgangsjahr stellt sich aber auch in SuB bis zum Jahr 2020 noch eine Steigerung der bebauten Fläche von rd. 25% dar.

Wird das in Abschnitt 1.2 genannte Umwelthandlungsziel für die Siedlungs- und Verkehrsflächen vereinfachend auf die bebaute Fläche übertragen, so zeigt sich, daß in SuB bis 2010 die Versiegelungsrate **im Neubau** zwar *gesenkt*, nicht aber bis auf 10% des Wertes von 1993-1995 reduziert werden kann. Das Umwelthandlungsziel wird somit zwar in der Tendenz, nicht aber im Zielwert selbst eingehalten.

Bei den *Grundstücksflächen* sind wiederum REF/EFF definitionsgemäß gleich, während in SuB eine Reduktion bis 2020 von immerhin über 6 % gegenüber REF/EFF erreicht wird und der absolute Grundflächenbedarf „nur“ um rund 20% ansteigt⁹⁰.

Tabelle 24 Entwicklung der Grundstücksflächen* in den Szenarien

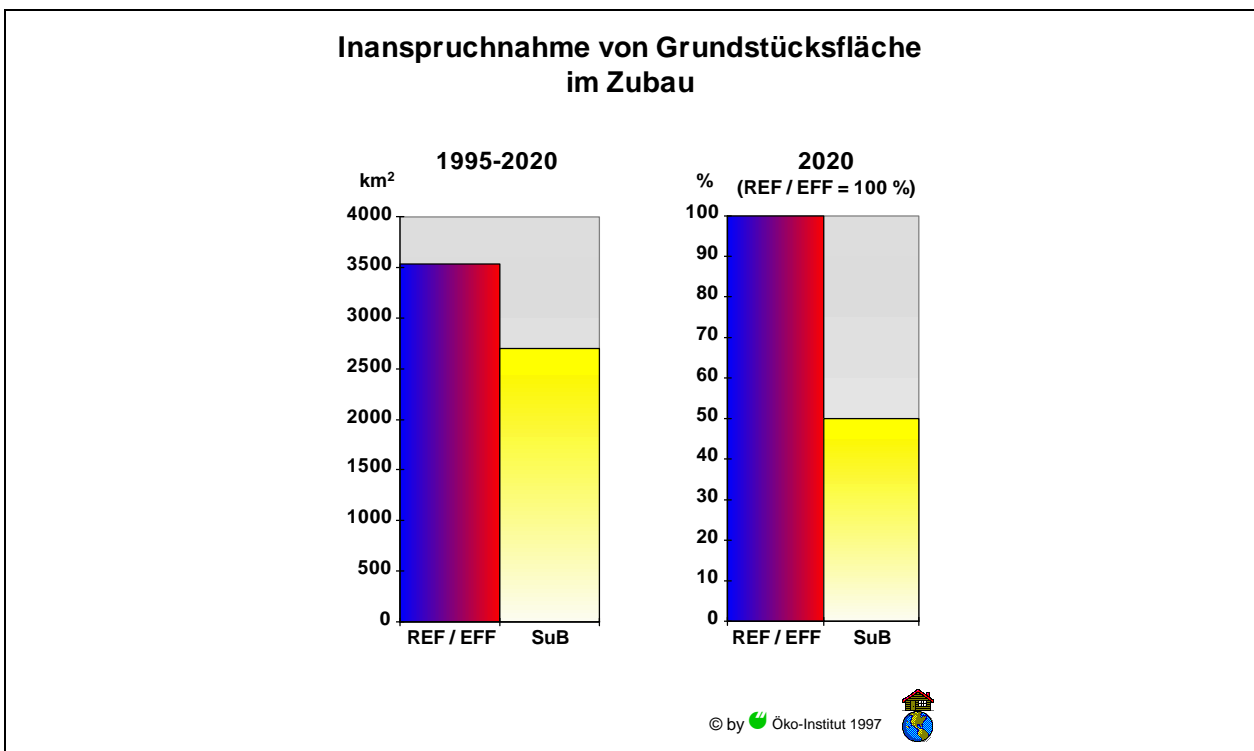
	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
1995	10.208	10.208	10.208	
2005	11.479	11.479	11.414	-0,6%
2020	12.908	12.908	12.087	-6,4%

Angaben in Mio m²

Auf den ersten Blick ist es überraschend, daß im SuB-Szenario die Rückgänge im Flächenbedarf gegenüber der REF- und EFF-Entwicklung eher bescheiden ausfallen.

Wie das folgende Bild zeigt, ist dies in erster Linie auf die "bremsende" Wirkung des Bestands zurückzuführen. Selbst große Reduktionen des Flächenbedarfs bei Neubau bzw. Zubau können sich aufgrund der hohen Bestands- bzw. Lagergröße nur bedingt auswirken.

Bild 20 Szenarioergebnisse im Vergleich: Grundstücksflächen (nur Zubau)^{*}



* = ohne Verrechnung mit nach Abriß freiwerdenden Bestandsflächen (Bruttobilanz)

⁹⁰ Zu beachten ist, daß indirekte verkehrsinduzierende Effekte des Bau- und Wohnbereichs nicht mit erfaßt wurden.

5.3 Emissionen von Massenschadstoffen in den Szenarien

Wie die Diskussion im Abschnitt 1.2 zeigte, liegen die meisten quantifizierten Umwelthandlungs- und Etappenziele für den Bereich Bauen und Wohnen bei den Massenschadstoffen (Treibhausgase und Saure Schadgase) vor. Die Ergebnisse der Szenarien interessieren daher besonders für diese Umweltindikatoren. Aufgrund der in Abschnitt 1.3 dargestellten Zuordnungsproblematik von nationalen und ausländischen Emissionen werden die Ergebnisse für diese Umweltindikatoren getrennt nach „deutschen“ und „gesamten“ Werten ausgewiesen, um den direkten Vergleich mit den national orientierten Referenzsystemen zu erleichtern, aber auch die gesamten (global relevanten) Effekte aufzuzeigen.

Bei den **Treibhausgasen** ergibt sich in absoluten Größen in allen Szenarien ein Rückgang gegenüber dem Basisjahr 1995, wie die folgende Tabelle für CO₂ zeigt.

Tabelle 25 CO₂-Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“

	nur in Deutschland			Deutschland + Import		
	REF	EFF	SuB	REF	EFF	SuB
1995	208,9	208,9	208,9	215,3	215,3	215,3
2005	198,5	157,0	153,5	205,1	162,7	159,1
2020	168,7	85,1	77,1	175,1	88,5	80,5

(Angaben in Mio t)

In REF ist dieser Rückgang kaum ausgeprägt, während EFF und SuB eine drastische Reduktion erzielen. Die relative Entwicklung der CO₂-Emissionen in Deutschland, die durch den Bereich „Bauen und Wohnen“ bedingt werden, zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 26 Entwicklung der deutschen CO₂-Emissionen in den Szenarien gegenüber 1995

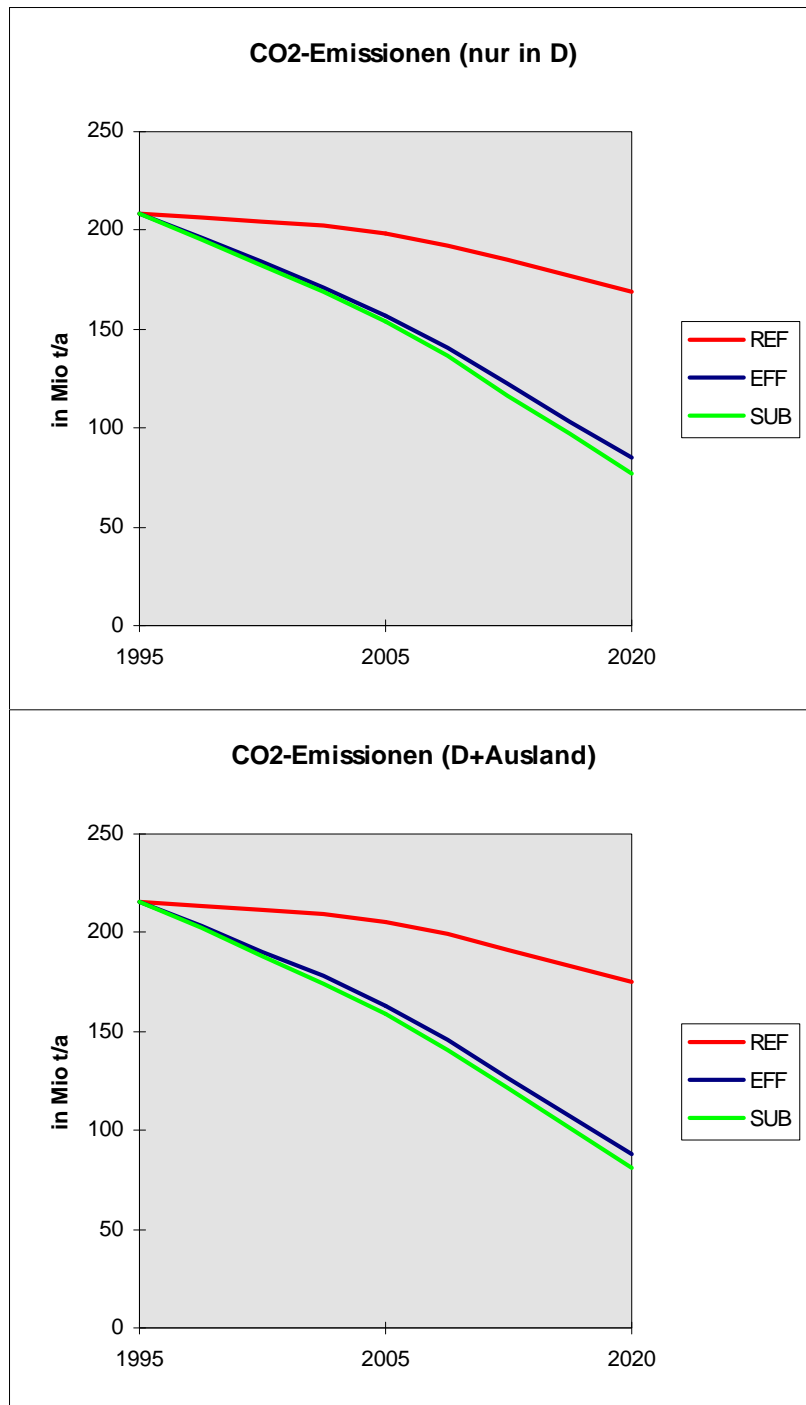
	REF	EFF	SuB
2005	-5%	-25%	-27%
2020	-19%	-59%	-63%

Hier ist deutlich zu erkennen, daß in REF kurzfristig nur eine leichte und bis 2020 eine moderate Reduktion möglich ist, während in EFF und SuB schon bis 2005 rund ¼ der nationalen CO₂-Emissionen des Bereichs „Bauen und Wohnen“ gegenüber dem Startjahr erspart werden können und diese Einsparung bis 2020 auf knapp 2/3 ansteigt.

Wird das Umwelthandlungsziel der Bundesregierung (mit Bezugsjahr 1990) proportional auf das Anwendungsbeispiel umgerechnet, so verfehlt das REF-Szenario deutlich die Zielmarke, während EFF und SuB klar im „grünen Bereich“ liegen.

Bei den (global wirksamen) Treibhausgasen ist auch die Gesamtbilanz von Interesse, bei der auch die durch den Bereich „Bauen und Wohnen“ induzierten Emissionen im Ausland mit berücksichtigt werden. Die entsprechenden Ergebnisse zeigt das folgende Bild für CO₂, wobei die nationale und die Gesamtbilanz gegenübergestellt wurden.

Bild 21 CO₂-Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“



Es ist hier klar erkennbar, daß die deutliche Reduktion der nationalen CO₂-Emissionen nicht durch eine Verlagerung ins Ausland erreicht wird, sondern auch die Gesamtbilanz den gleichen Verlauf wiedergibt - allerdings auf leicht höherem Niveau.

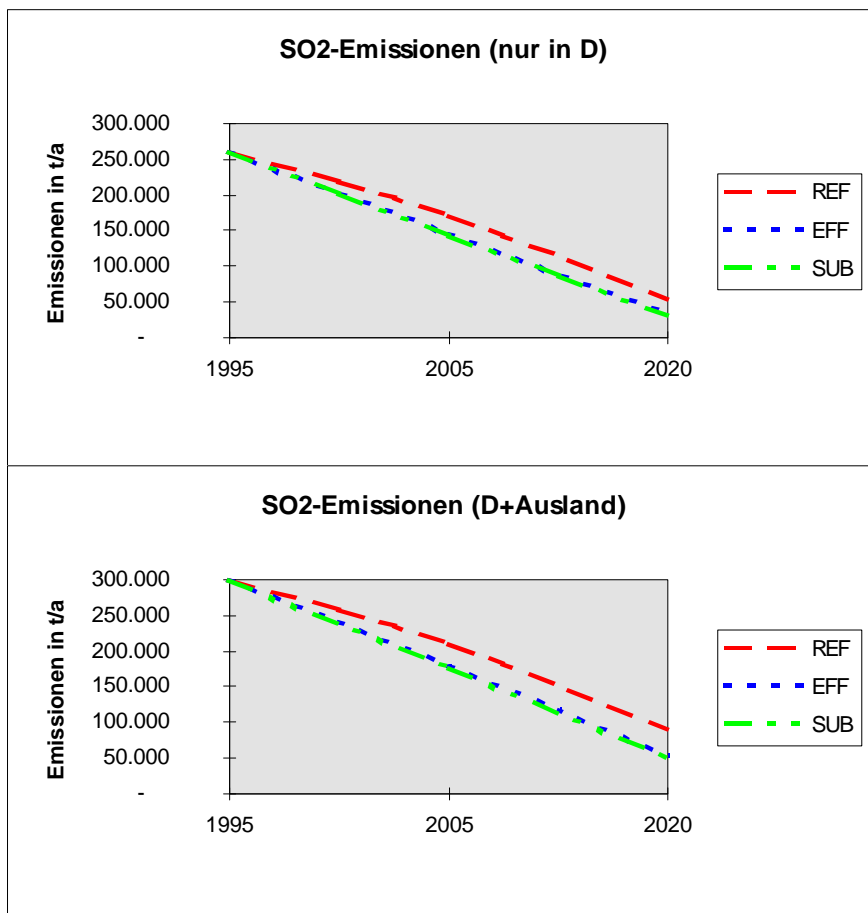
Neben den Treibhausgasen wurden mit dem Stoffstrommodell auch die sauren Schadgase SO₂ und NO_x bilanziert. Die folgende Tabelle zeigt die absoluten und relativen Werte.

Tabelle 27 Deutsche SO₂-Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“ (in t/a)

	nur in Deutschland			Deutschland + Import		
	REF	EFF	SuB	REF	EFF	SuB
1995	261.005	261.005	261.005	299.683	299.683	299.683
2005	170.123	145.448	143.834	209.557	179.193	177.446
2020	52.776	33.391	30.223	90.120	53.412	49.546
bezogen auf 1995:						
2005	-35%	-44%	-45%			
2020	-80%	-87%	-88%			

Das folgende Bild zeigt diese Entwicklungen nochmals grafisch.

Bild 22 SO₂-Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“



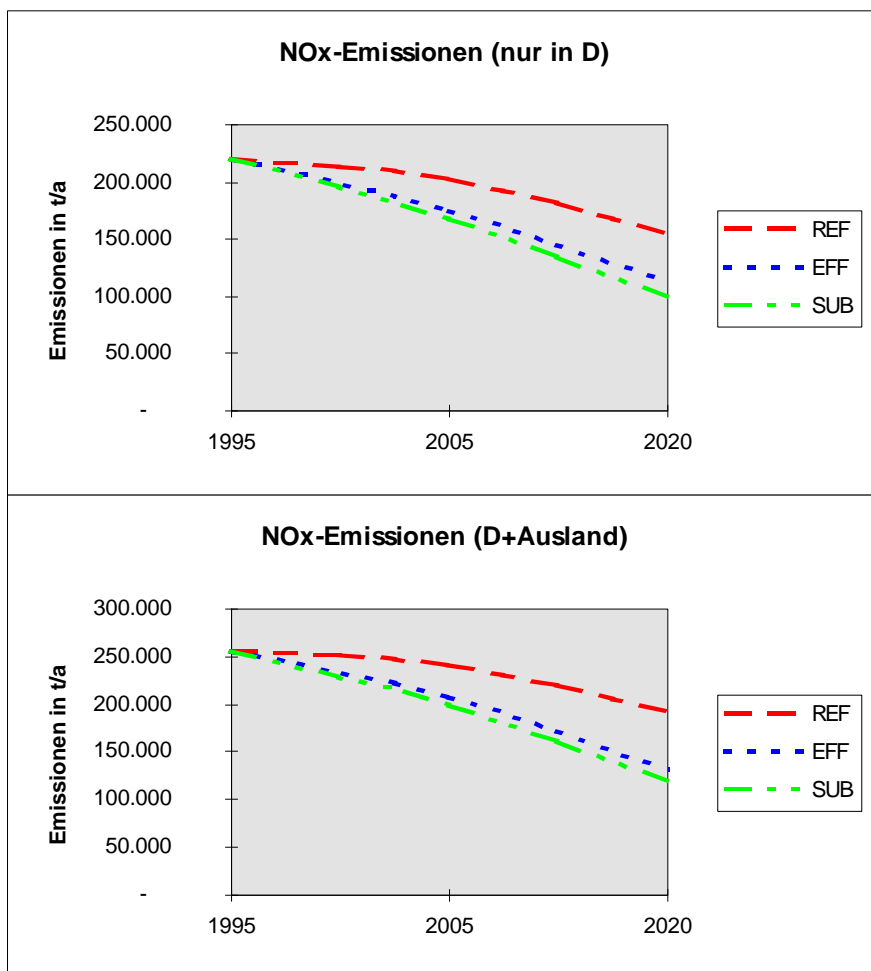
Bei Stickoxiden zeigt sich ein zu SO₂ vergleichbares Bild, aber mit geringeren Reduktionen.

Tabelle 28 NO_x-Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“ (in t/a)

	nur in Deutschland			Deutschland + Import		
	REF	EFF	SuB	REF	EFF	SuB
1995	219.570	219.570	219.570	256.726	256.726	256.726
2005	203.637	174.768	168.594	242.007	207.133	200.270
2020	156.295	113.029	100.305	193.046	132.746	118.592
bezogen auf 1995:						
2005	-22%	-33%	-35%			
2020	-40%	-57%	-62%			

Auch hier zeigt sich keine Verlagerung ins Ausland (vgl. folgendes Bild).

Bild 23 NO_x-Emissionen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“



Bei den sauren Schadstoffen ergibt sich damit in REF eine kurzfristige Senkung um 25-35% gegenüber 1995, während längerfristig 40% (NO_x) bis 80% (SO₂) Minderung erzielt werden.

Das Umwelthandlungsziel für SO₂ (mit Basisjahr 1980) kann bei proportionaler Umlegung auf das Fallbeispiel in REF damit knapp eingehalten werden (überwiegend durch Brennstoffwechsel in den neuen Bundesländern), während das NO_x-Ziel bei entsprechender Umlegung nicht erreicht wird.

In EFF und SuB dagegen werden kurzfristig 35-45% der sauren Schadstoffe gegenüber 1995 reduziert und längerfristig Reduktionen um rd. 60% (NO_x) bis knapp 90% (SO₂) gegenüber dem Basisjahr erzielt.

Werden die Umwelthandlungsziele für die sauren Schadstoffe wiederum proportional auf den Bereich „Bauen und Wohnen“ umgelegt und die Bezugsjahre berücksichtigt, so wird das SO₂-Ziel relativ sicher erreicht und der NO_x-Zielwert in etwa getroffen.

Die Reduktionseffekte werden in allen Szenarien zum größten Teil durch die angenommene Wärmedämmung vor allem im Bestand erreicht, die Unterschiede bei den Neubauten sind dagegen im Betrachtungszeitraum *vergleichsweise* gering.

5.4 Reststoffmengen in den Szenarien

Abschließend zu den quantifizierten Umweltindikatoren sollen die Entwicklungen beim Abfall- und Reststoffaufkommen in den Szenarien dargestellt werden.

Auch hier wurde eine Unterscheidung in „nationale“ und „gesamte“ Mengen vorgenommen, die jedoch nur bei Abraum und den Produktionsabfällen tatsächlich interessant ist, da Bauschutt und Bodenaushub definitionsgemäß nur „auf deutschem Boden“ anfallen - das Fallbeispiel unterstellte keine Verlagerung des Wohnungsbaus ins Ausland.

Die folgende Tabelle gibt einen Gesamtüberblick zu den Reststoffen in den Szenarien.

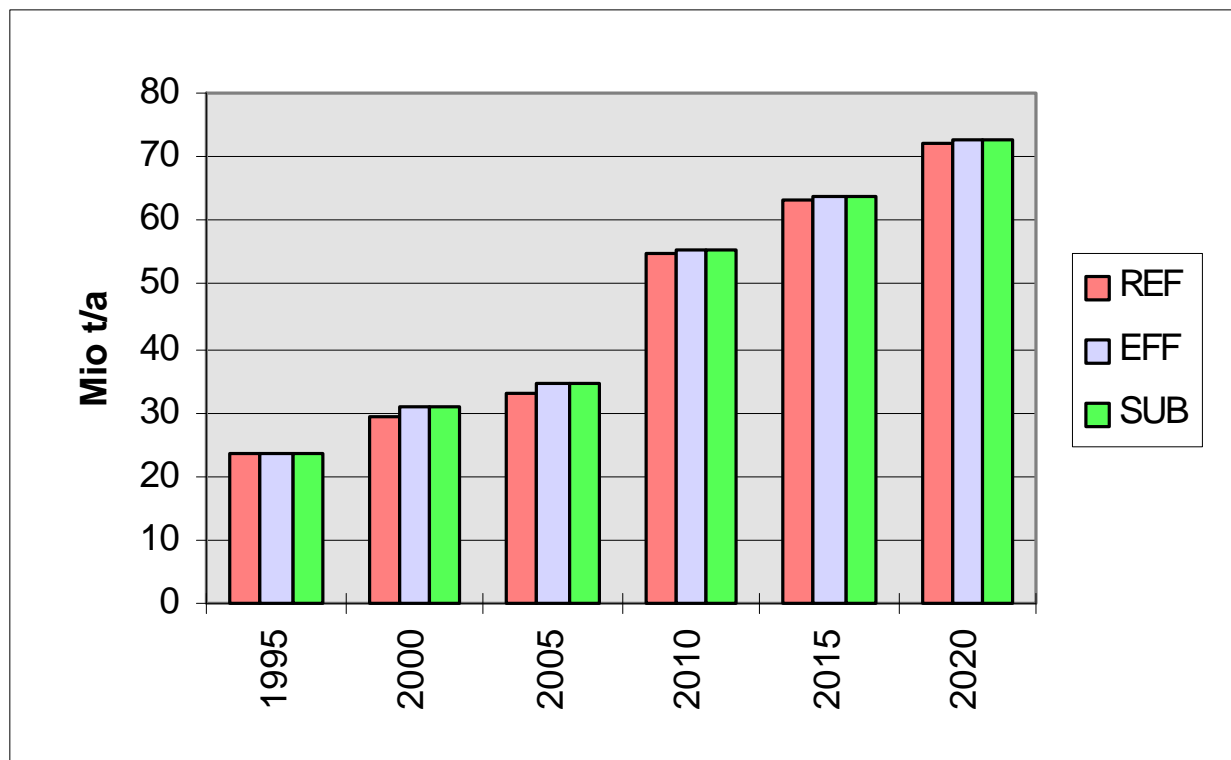
Tabelle 29 Reststoffmengen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“

Bauschutt	REF	EFF	SuB	SuB zu REF
1995	23,7	23,7	23,7	
2005	33,2	34,3	34,3	3%
2020	72,0	72,5	72,4	1%
Bodenaushub				
1995	86,6	86,6	86,6	
2005	91,0	91,0	72,5	-20%
2020	86,7	86,7	47,0	-46%
Produktionsabfall				
1995	7,5	7,5	7,5	
2005	6,5	4,8	4,6	-29%
2020	4,8	2,0	1,6	-66%
Abraum				
1995	178,9	178,9	178,9	
2005	160,9	102,2	99,4	-38%
2020	124,7	43,3	36,2	-71%

(Angaben in Mio t/a)

Für **Bauschutt** kann als wichtigstes Ergebnis festgestellt werden, daß die anfallende Menge in allen Szenarien *erheblich* zunehmen wird - bis zum Jahr 2020 um **mehr als das Dreifache** des Wertes im Basisjahr (!). Die gegenüber REF geringfügig höheren Werte von EFF und SuB sind auf die verstärkte wärmetechnische Sanierung des Wohnungsbestands zurückzuführen, bei der naturgemäß Bauschutt anfällt. Die erhebliche Zunahme des Bauschutttaufkommens resultiert aus den Annahmen der Prognos-Studie (Prognos 1996), die ein starkes Anwachsen der Abrißquoten⁹¹ unterstellt.

Bild 24 Bauschuttmengen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“



Das Stoffstrommodell analysiert nicht nur die Gesamtmenge des Bauschutts, sondern auch seine **Herkunft** - ob aus der Gebäudeinstandhaltung bzw. dem Abriß.

Außerdem kann die **Zusammensetzung** der „abgehenden“ Baustoffe vom Modell ermittelt werden.

Die entsprechenden Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle.

⁹¹ Dezierte Angaben zu den Abrißquoten finden sich im Anhangband.

Tabelle 30 Bauschuttmengen im REF-Szenario für das Jahr 1996 und 2020

Jahr	Bauschutt (mineralische Bestandteile)		Bauschutt (Metalle, Glas, organische Anteile)	
	1996	2020	1996	2020
Abriß	5,6	48,2	0,3	2,1
Instandhaltung	20,8	19,1	2,9	2,6
Summe	26,5	67,3	3,2	4,7

(Angaben in Mio t/a)

Die obige Tabelle⁹² weist aus, daß zu Beginn des Szenariozeitraums der Anteil der Instandhaltung am Bauschutt aufkommen dominiert. Durch die in den Szenarien unterstellten anwachsenden Abrißaktivitäten⁹³ geht die relative Bedeutung der Instandhaltung am Gesamtbauschutt aufkommen zurück, bleibt jedoch absolut gesehen weitgehend konstant. Aus der Tabelle geht weiterhin hervor, daß bei Abrißaktivitäten der Anteil der mineralischen Fraktion größer ist als im Falle der Instandhaltung.

Das im Abschnitt 1.2 dargestellte Umwelthandlungsziel für Bauschutt konnte im vorliegenden Forschungsvorhaben nicht näher untersucht werden, da Angaben zum Recycling von Bauschutt in ausreichender Differenzierung nicht vorlagen - derzeit findet überwiegend „downcycling“ statt, bei dem die Bauabfälle außerhalb des Bereichs „Bauen und Wohnen“ vorwiegend im Tiefbau (Straßenbau) verwertet werden.

Beim **Bodenaushub** zeigen REF und EFF kurzfristig eine leichte Steigerung, während sich längerfristig die anfallende Menge auf dem Niveau des Basisjahres stabilisiert.

In SuB kann dagegen vor allem durch die Einführung des „Swatchhaus“-Typs und die generell verringerte bebaute Fläche im Zubau eine deutliche Reduktion von kurzfristig 1/5 und längerfristig knapp der Hälfte - jeweils gegenüber REF - erzielt werden.

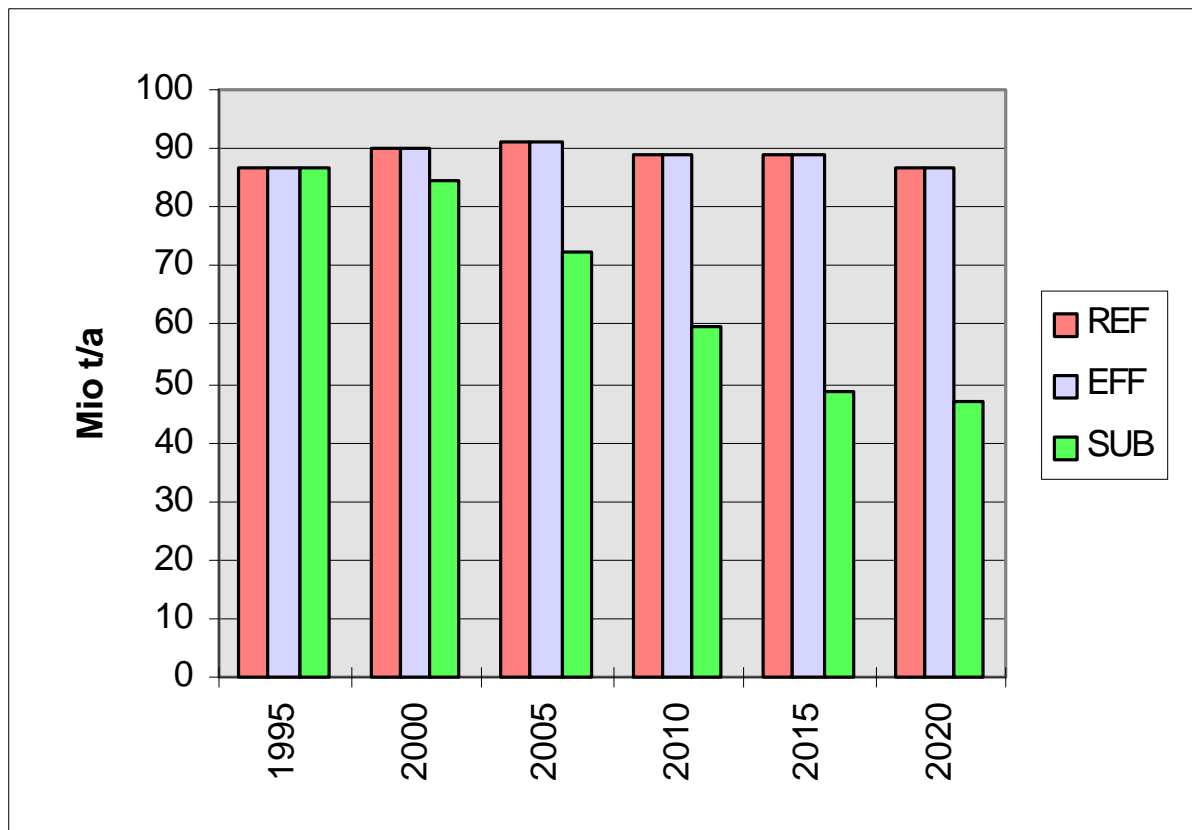
Gegenüber dem Basisjahr wird sowohl kurz- wie auch längerfristig eine signifikante Reduktion auch in den absoluten Mengen erreicht.

Dies zeigt das folgende Bild nochmals im Überblick.

⁹² Im Modell werden die Bauschuttmengen zum einen nach ihrem Anfall pro Bauelement und zum anderen pro Baustoff, getrennt nach den Aktivitäten Abriß und Instandhaltung ausgewiesen. Durch Ausweisung der Bauschuttmengen auf der Baustoffebene sind Aussagen über die Zusammensetzung möglich.

⁹³ Sollten sich im Szenariozeitraum die Abrißaktivitäten moderater entwickeln als für die Szenarien unterstellt, sind zwei Auswirkungen absehbar. Die Bauschuttmenge durch Abriß wird weniger stark ansteigen. Demgegenüber wird der Bauschuttanfall aus der Gebäudeinstandhaltung erkennbar zunehmen.

Bild 25 Bodenaushubmengen in den Szenarien zu „Bauen und Wohnen“



Bei **Abraum** und **Produktionsabfall** ergibt sich für alle drei Szenarien eine Reduktion der anfallenden Mengen. Im Referenzszenario wurden folgende relevante Prozesse für die Abnahme identifiziert:

1. Stromerzeugung: Durch Veränderung des Erzeugungsmixes von abfallintensiver Braunkohle hin zur Erzeugung aus Erdgas sowie Erhöhung der Kraftwerksnutzungsgrade,
2. Durch Erhöhung des Anteils an abfallarmer Elektrostahlerzeugung,
3. Durch verminderte Verwendung von Festbrennstoffen (Steinkohle, Braunkohle) zur Hausheizung inklusive der vorgelagerten Kohle-Bereitstellungsketten.

In den Szenarien EFF und SuB wird dieser Trend nochmals verstärkt durch die Reduktion der Stromnachfrage (Substitution von elektrischer Heizung) und forciertem Ausbau der Elektrostahlerzeugung. Die Energiesparstrategie in EFF und SuB führt zudem entlang der Erdgas- und Erdöl- Prozeßkette zu weiteren Reduktionen an Abraum und Produktionsabfall.

5.5 Akteursorientierte Disaggregation und Visualisierung der Ergebnisse

Als Erweiterung der rein datenorientierten Ergebnisermittlung wurde im Forschungsvorhaben *auch* untersucht, wie die gefundenen Ergebnisse sinnvoll visualisiert werden können, also sich in grafischer Form aufbereiten und durch Bildschirm bzw. Drucker ausgeben lassen.

Die klassischen Visualisierungsmittel von Linien- und Balkendiagrammen zur Darstellung von *Einzel*ergebnissen (z.B. Umweltindikatoren) über die *Zeit* *und* über die *Szenarien* wurden im Stoffstrommodell implementiert. Hierbei sind auch Kombinationsgrafiken sowie Kreisdarstellungen für Anteile („Kuchen“) möglich.

Für die spezielle Problematik der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse, Angebots- **und** Nachfrageseite gleichgewichtig und *jeweils akteursorientiert* zu behandeln, reichen diese Visualisierungsmittel jedoch nicht aus, da die dafür abzubildenden **Datenstrukturen** zu komplex sind.

Im Forschungsvorhaben wurde daher im Rahmen der Arbeiten zum Stoffstrommodell gezielt untersucht, in welcher Form die Besonderheiten des hier entwickelten methodischen Ansatzes auch visuell repräsentiert werden können.

Im Zuge dieser Arbeiten, die z.T. im Dialog mit dem Auftraggeber und interessierten Dritten durchgeführt wurden, zeigte sich, daß die derzeit verfügbaren bzw. direkt im Modell implementierbaren Visualisierungshilfsmittel nicht ausreichen, um die komplexen Datenstrukturen, insbesondere die der Angebotsseite, visuell umzusetzen.

Jedoch ergaben diese Arbeiten, daß

- einerseits die Verknüpfungsstrukturen von Prozessen auf der Angebotsseite durch **andere Modelle** schon in hilfreicher Form visualisiert werden können⁹⁴ und
- andererseits verfügbare Office-Software in der Lage ist, **außerhalb** des Stoffstrommodells eine grafische Aufarbeitung von Ergebnistabellen dergestalt zu leisten, daß wichtige Datenstrukturen und -entwicklungen zumindest in rudimentärer Form visualisiert werden können.

Daher wurde im Forschungsvorhaben eine **Grundkonzeption** zur Visualisierung entwickelt und im Stoffstrommodell die entsprechenden Ergebnisausgaben über Tabellen implementiert.

Diese Ergebnisse wurden anschließend an ein unter MS-EXCEL[®] (Version 7.0) realisiertes Werkzeug⁹⁵ übergeben und dort - in automatischer Form - grafisch weiterverarbeitet.

Als wesentliche zu visualisierende Datenstrukturen und -entwicklungen wurden dabei Aggregationen von Szenarioergebnissen in Richtung „Akteure“ behandelt:

⁹⁴ Grundsätzlich sind Prozeßverknüpfungen durch „Baum“- und Netzdarstellungen visualisierbar. Aufgrund der spezifischen Implementierungsvoraussetzungen und Nutzungsrechtsituationen der bestehenden Modelle Dritter ist jedoch eine Verwendung dieser recht nützlichen Darstellungen im Stoffstrommodell nicht möglich. Eine *Fortentwicklung* des hier prototypisch implementierten Stoffstrommodells in diesem Sinn ist jedoch, entsprechende Entwicklungsarbeiten und -zeiten angenommen, durchaus anzustreben (vgl. näher Abschnitt 7.3).

⁹⁵ Die Verwendung von MS-EXCEL[®] liegt in der Verfügbarkeit dieser Software im UBA begründet. Generell können auch andere übliche grafische Software-Produkte hierfür Verwendung finden.

- die zeitliche Entwicklung der Umweltinanspruchnahmen durch in **Gruppierungen** zusammengefaßte *Teilmengen aller* Prozesse auf der Angebotsseite,
- die absoluten Verursacheranteile dieser Gruppierungen in den Szenarien über die Zeit sowie
- die spezifischen Verursacherstrukturen der Gruppierungen über die Szenarien und über die Zeit.

Durch die geeignete Definition der „Gruppierungen“, mit denen mehrere Prozesse z.B. unter dem Gesichtspunkt der umweltökonomischen Statistik in einer *Branche* zusammengefaßt werden können (vgl. Abschnitt 2), lassen sich so die vom Modell gelieferten, detaillierten Datenlisten für alle Ergebniskategorien in übersichtlicher Form wichtigen Akteuren (im volkswirtschaftlichen Sinn) zuordnen.

Wie die Darstellung zur im Stoffstrommodell gewählten Gruppierungsliste zeigt (vgl. Abschnitt 2), werden derzeit 16 solcher Gruppierungen im Modell vorgesehen⁹⁶.

Die Visualisierung der entsprechend aggregierten Ergebnisse zeigte, daß für viele Umweltindikatoren die jeweiligen Verursacheranteile der einzelnen Gruppierungen *extrem stark streuen*, also oft wenige Gruppierungen das Ergebnis dominieren, während der Mehrzahl der anderen Gruppierungen nur sehr kleine Beiträge zugerechnet werden. Eine Visualisierung erscheint unter diesen Bedingungen nur durch eine *weitere Aggregation* sinnvoll, die mehrere der im Modell implementierten Gruppierungen nochmals zusammenfaßt.

Diese zusätzliche Aggregation erfolgte nicht im Modell, sondern in dem extern entwickelten EXCEL[®]-Werkzeug, womit eine große Flexibilität bei gleichzeitig einfacher Nutzung gegeben ist⁹⁷.

Im folgenden sollten die visuellen Ergebnisse dieses Arbeitspunktes grafisch dargestellt werden⁹⁸.

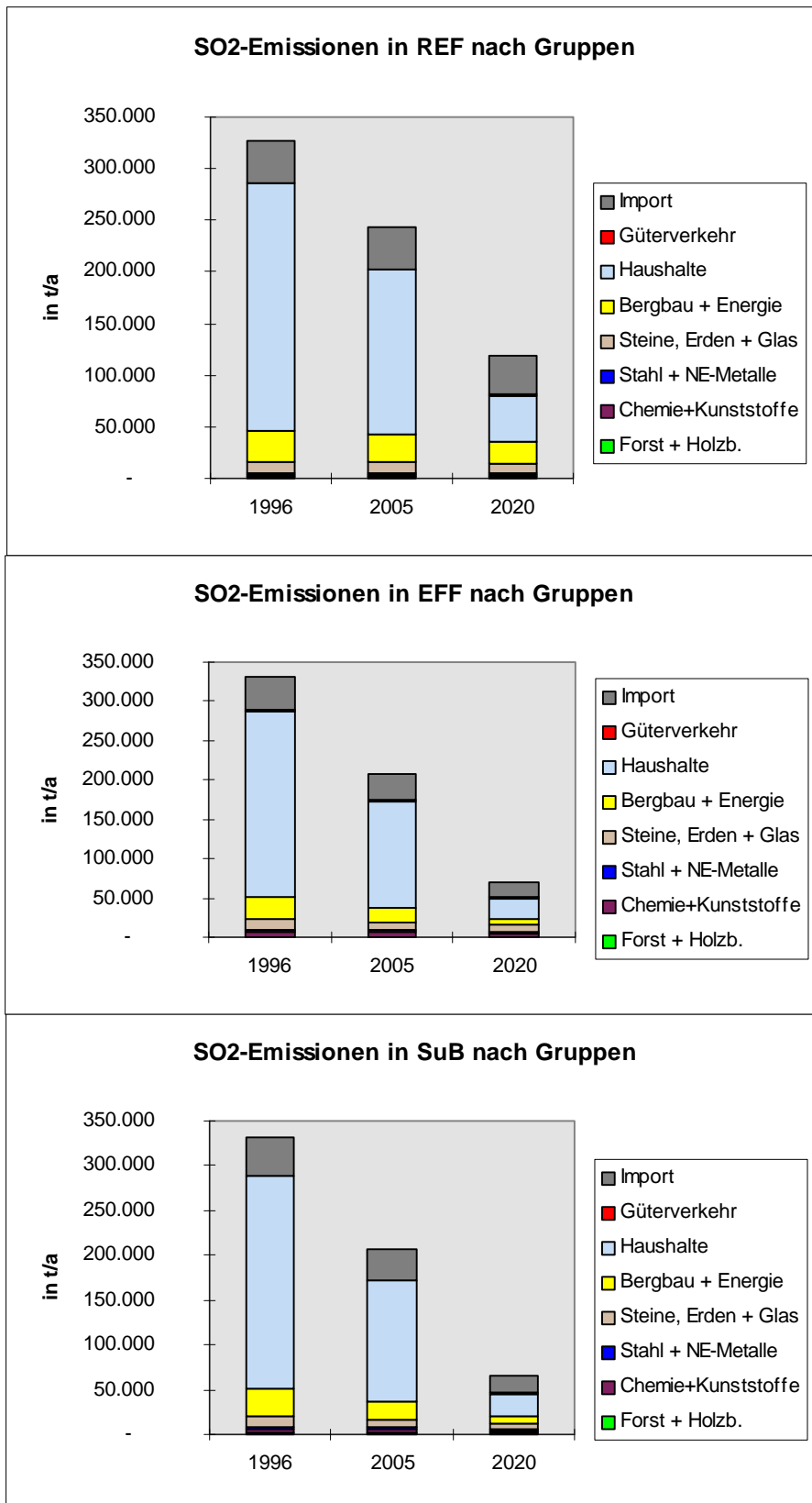
⁹⁶ Eine Erweiterung oder grundsätzliche Änderung dieser Gruppierungen ist im Modell ohne weiteres möglich.

⁹⁷ Da die jeweils zusammenfassenden Gruppierungen abhängig von Umweltindikator, Szenario, Zeitbezug und betroffenem Bedürfnisfeld sind, wurde zugunsten der allgemeinen Anwendbarkeit des Modells auf die Implementierung einer zusätzlichen Aggregationsoption *im Modell* verzichtet.

⁹⁸ Das entwickelte EXCEL[®]-Werkzeug wurde dem Auftraggeber zusammen mit dem Stoffstrommodell zur Verfügung gestellt.

Als erste Visualisierung zeigt das folgende Bild eine Darstellung der absoluten Mengen, die von den Gruppierungen in allen drei Szenarien über die Zeit verursacht werden.

Bild 26 Verursacheranteile von SO₂-Emissionen nach Gruppen



Diese Darstellung zeigt deutlich, daß die Gruppierungen „Import“, „Haushalte“ sowie „Bergbau + Energie“ die SO₂-Emissionen in allen Szenarien dominieren, jedoch die absoluten Anteile von Haushalten und „Bergbau + Energie“ sich in EFF und SuB *erheblich stärker reduzieren* als in REF.

Demgegenüber liegen in REF die absoluten Anteile der über Importe vermittelten SO₂-Emissionen nach 2000 *über denen* von EFF und SuB.

Die anderen Gruppierungen wie Güterverkehr, Metalle, Chemie sowie die Holzwirtschaft spielen **bei SO₂** eine so geringe Rolle, daß ihre Beiträge in den Grafiken nicht einzeln erkennbar sind.

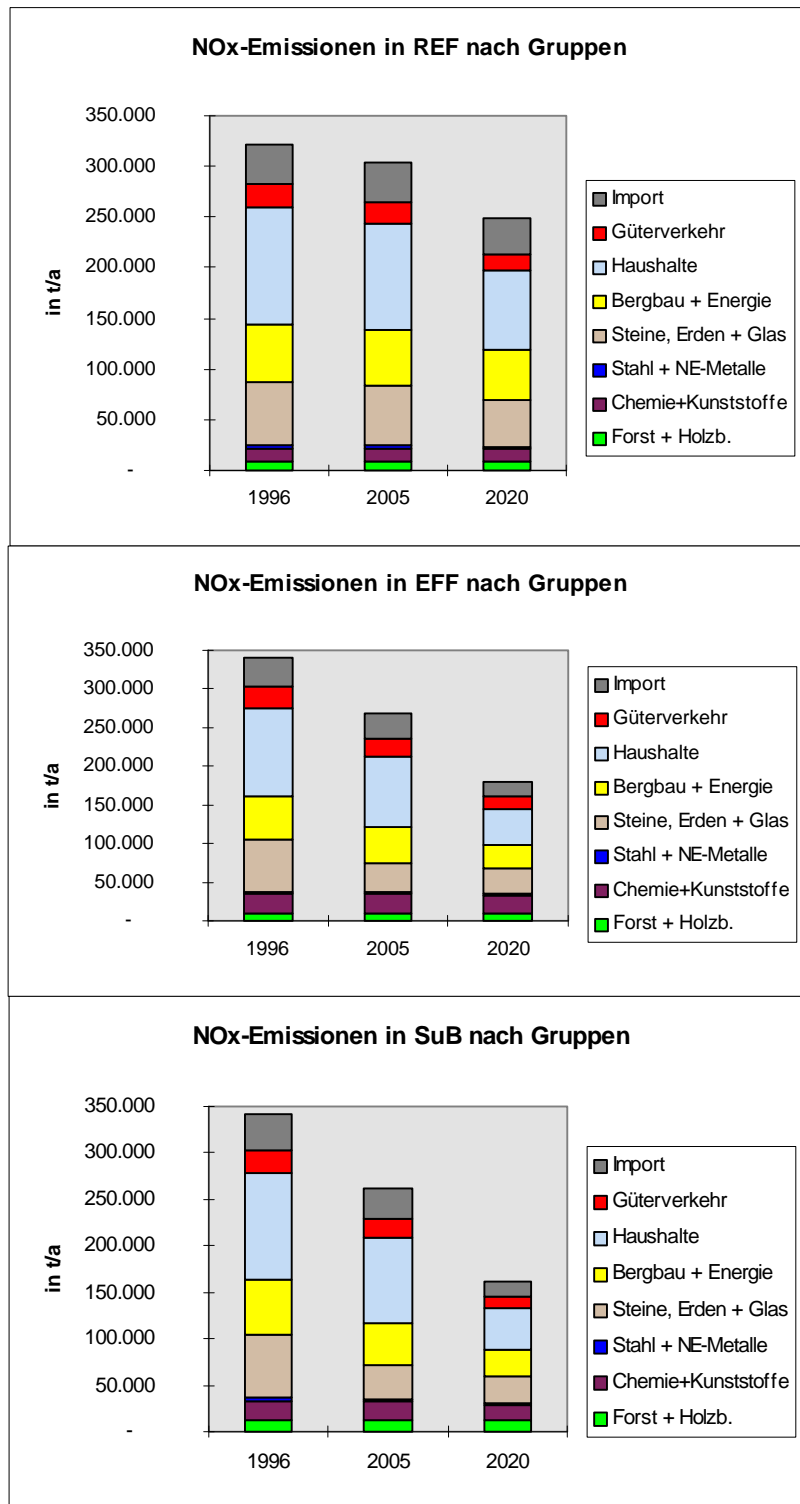
Die oben gezeigte Visualisierungsoption „Verursacheranteile nach Gruppen“ dient somit dazu, die für einen bestimmten Umweltindikator **aus Verursachersicht relevanten Akteure** in einem Bedürfnisfeld schnell zu identifizieren, ohne daß die von diesen Akteuren ausgehenden vorleistungsbedingten Anteile in anderen Gruppierungen vernachlässigt werden.

Wie zu Beginn des Abschnitts 5.5 erwähnt, sind die Verursacheranteile der Gruppierungen an den verschiedenen Umweltinanspruchnahmen in der Regel sehr unterschiedlich, es herrscht also eine **breite Streuung** über die jeweiligen Umweltindikatoren.

Daher reicht es *nicht*, die Ergebnisse nach diesem Visualisierungskonzept für **einen** Umweltindikator darzustellen - es müssen parallel auch die anderen Indikatoren berücksichtigt werden.

Das folgende Bild zeigt die analoge Betrachtung für die NO_x-Emissionen der Gruppierungen über die Zeit und die Szenarien.

Bild 27 Verursacheranteile von NO_x-Emissionen nach Gruppen



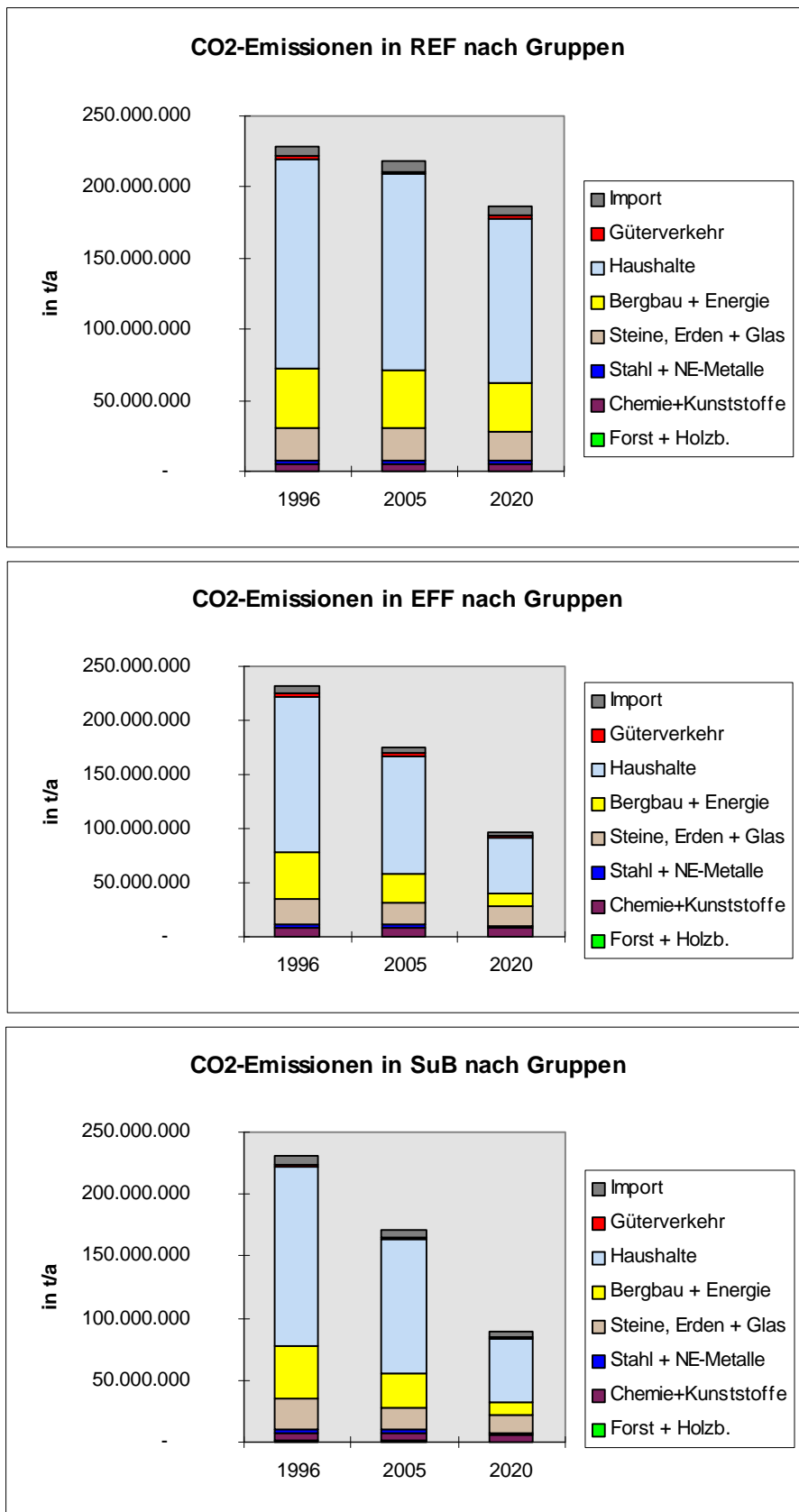
Im Vergleich zu den SO₂-Emissionen ergibt sich bei NO_x in der Gesamtmenge zwar ein ähnliches, jedoch in den verursachenden Gruppen ein ganz anderes Bild.

Deutlich sichtbar sind nun die absoluten Beiträge der Gruppen Güterverkehr, „Steine, Erden + Glas“, „Chemie + Kunststoffe“ sowie „Forst und Holzbearbeitung“, während die NO_x -Beiträge der Haushalte und der Gruppierung „Bergbau + Energie“ deutlich unter denen für SO_2 liegen.

In den Szenarien EFF und SuB können zudem die Beiträge *aller Gruppierungen* weitgehend gleichmäßig reduziert werden, während in REF die (vergleichsweise geringe) Gesamt-reduktion bis 2020 überwiegend durch Haushalte, Metalle sowie „Steine, Erden + Glas“erreicht wird.

Das folgende Bild zeigt die entsprechende Darstellung für die CO_2 -Emissionen der Gruppierungen über die Zeit und die Szenarien.

Bild 28 Verursacheranteile von CO₂-Emissionen nach Gruppen



Die nach absoluten Beiträgen erfolgende Visualisierung ergibt hier ähnlich wie bei SO₂ eine Dominanz der Haushalte sowie (abnehmend) der Gruppierung „Bergbau + Energie“.

„Steine, Erden + Glas“ sowie „Chemie + Kunststoffe“ und Importe weisen demgegenüber eine geringere Bedeutung für das Bedürfnisfeld auf. Die Gruppen „Stahl+NE-Metalle“, Güterverkehr sowie „Forst+Holzbearbeitung“ sind mengenmäßig nicht in der Abbildung sichtbar.

Für die festen Reststoffe zeigen die folgenden Bilder die analogen Visualisierungen, bezogen auf anfallende Mengen an Abraum und Produktionsabfällen.

Gegenüber den sauren Emissionen und Treibhausgasen sind die Beiträge nach Gruppierung deutlich verschoben.

Bild 29 Verursacheranteile von Abraum nach Gruppen

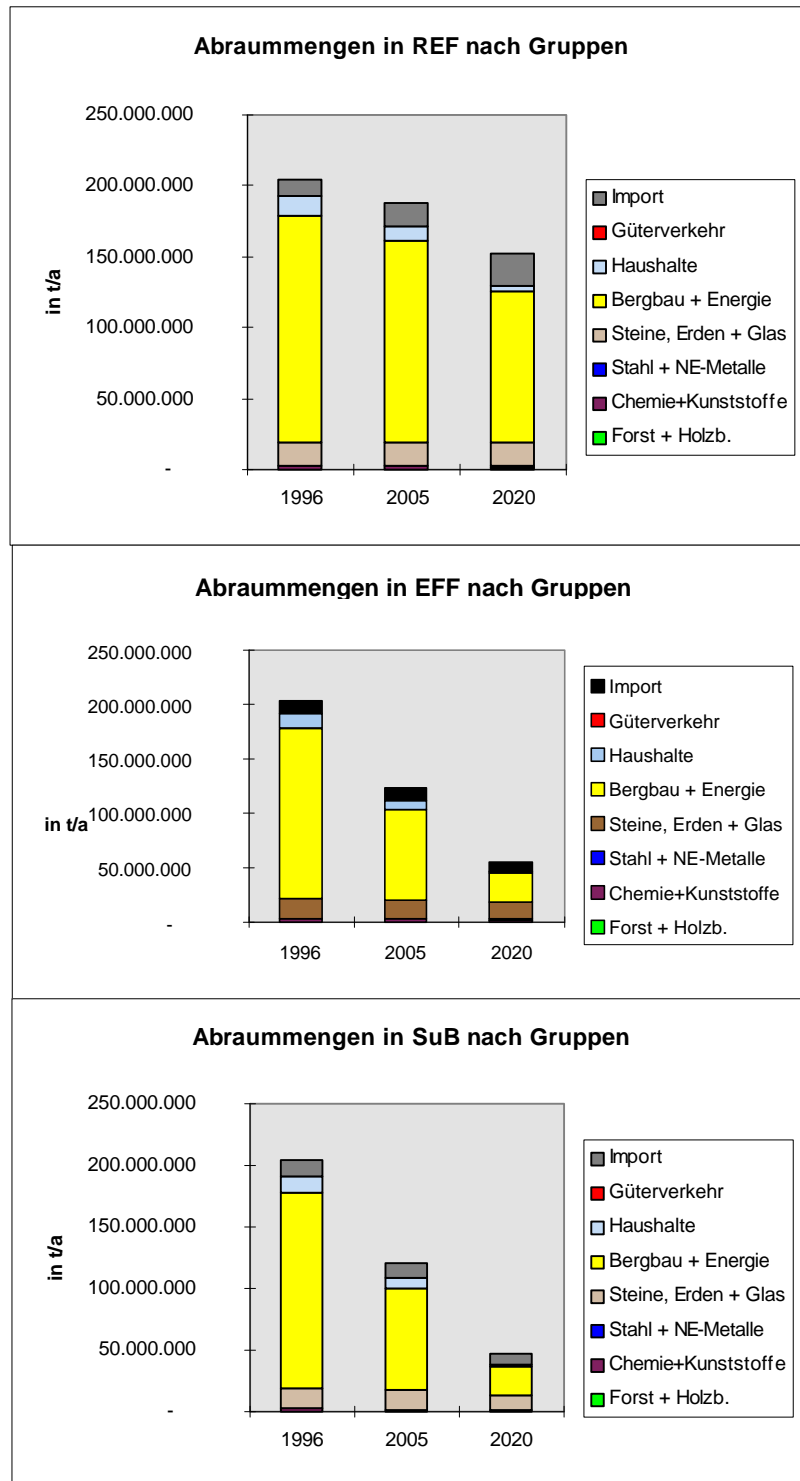
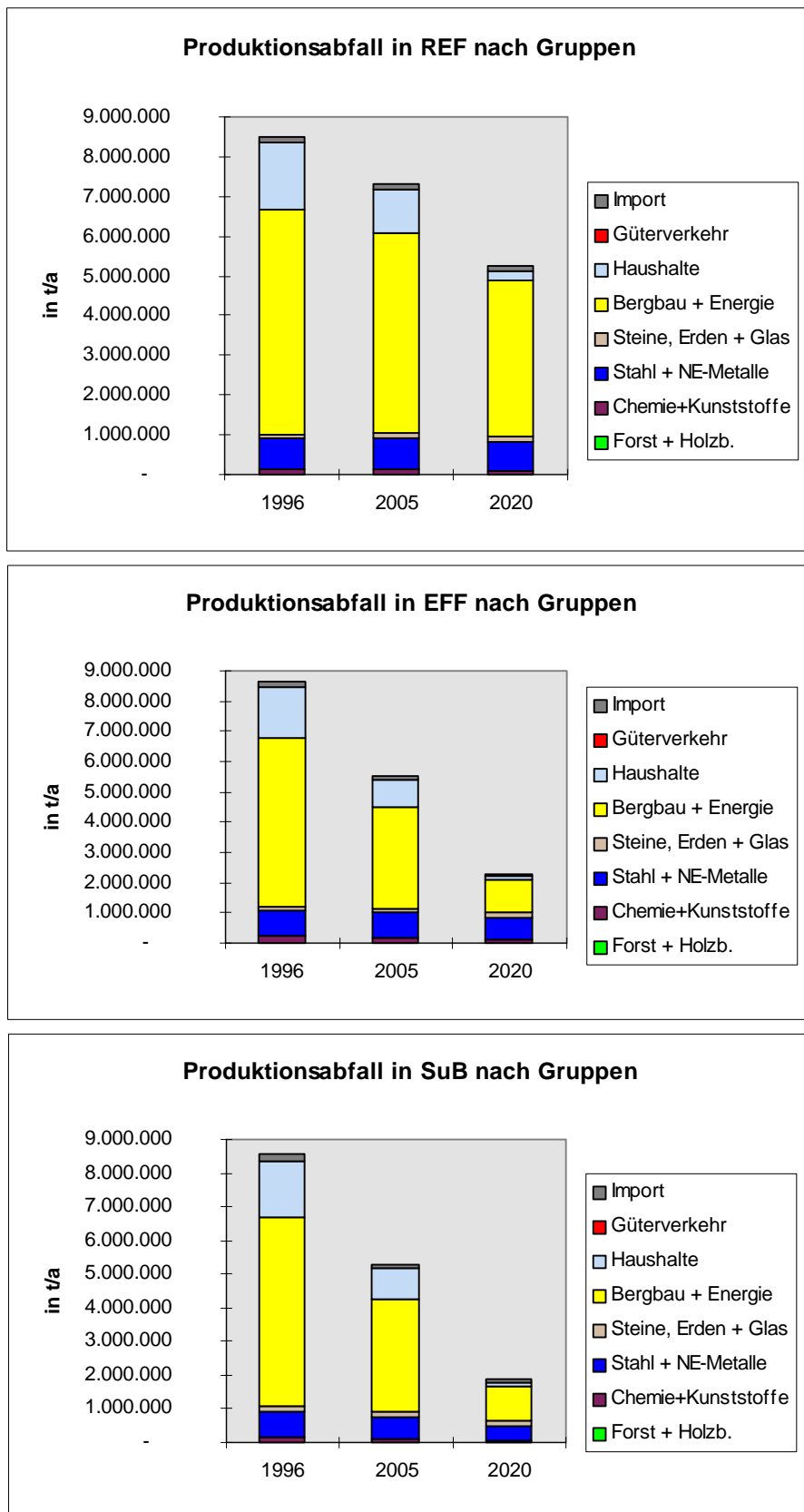


Bild 30 Verursacheranteile von Produktionsabfällen nach Gruppen



Haushalte, Importe (in EFF+ SuB) sowie die meisten Industriebranchen spielen als Gruppen bei den festen Reststoffen keine signifikante Rolle mehr, es dominieren „Bergbau + Energie“.

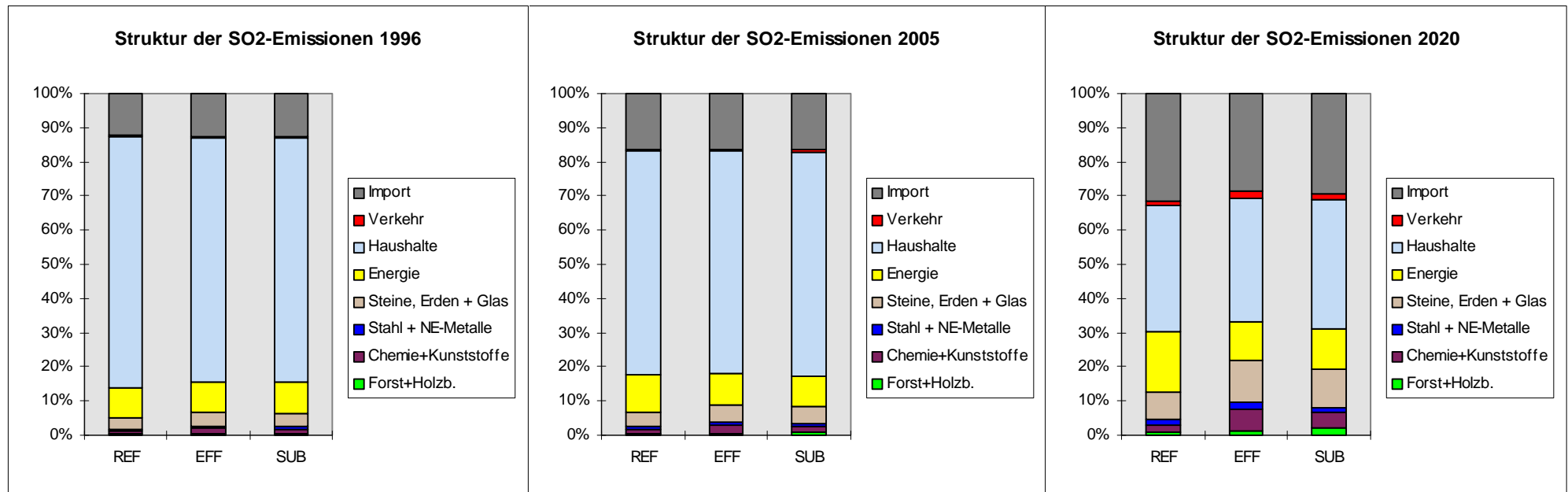
In REF ist jedoch auch der Import wichtig und bei den Produktionsabfällen kommt der Gruppierung „Stahl + NE-Metalle“ eine große Rolle zu.

Insgesamt zeigt die obige Visualisierung der Verursacherbeiträge von Gruppierungen, daß die möglichst **parallele** Darstellung der Entwicklung über die Zeit **und** über die Szenarien wichtig ist, um ein differenziertes Bild der Relevanz einzelner Akteure (oder Akteursgruppen) für die **absolute** Umweltinanspruchnahme zu erlangen.

Bei insgesamt rückläufigen absoluten Mengen ist es jedoch nicht einfach, die ggf. stattfindenden Verschiebungen **zwischen** den Gruppierungen über die Zeit und über die Szenarien zu verfolgen. Daher ist als ergänzende Information die Visualisierung der **Verursacherstrukturen** wichtig.

Die folgenden Bilder zeigen die entsprechend grafisch aufbereiteten Ergebnisdaten, in denen *relative* Anteile der Gruppierungen am jeweiligen Umweltindikator ausgewiesen werden.

Bild 31 Verursacherstruktur für SO₂-Emissionen nach Gruppen



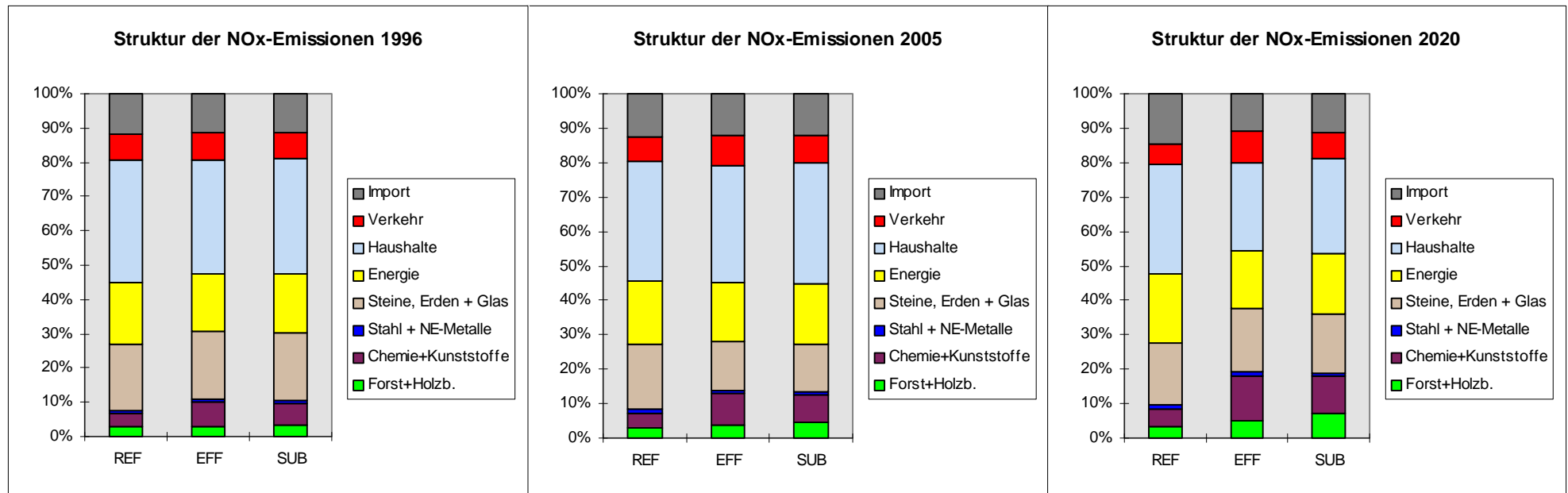
Bei SO₂ ergibt sich in EFF und vor allem SuB gegenüber REF eine bis 2020 ansteigende Bedeutung der „bauspezifischen“ Gruppierungen „Steine, Erden + Glas“ sowie „Chemie + Kunststoffe“, und auch die in EFF und SuB (allerdings gering) zunehmende Bedeutung des Güterverkehrs und von „Forst + Holzbearbeitung“ ist in der Grafik gerade noch zu erkennen.

Bis 2020 steigt außerdem die Bedeutung des über Importe vermittelten Anteils an SO₂-Emissionen in allen Szenarien an, während die der Haushalte zurückgeht⁹⁹.

⁹⁹ Zu beachten ist dabei, daß die absolute Menge an über Importe vermitteltem SO₂ sinkt.

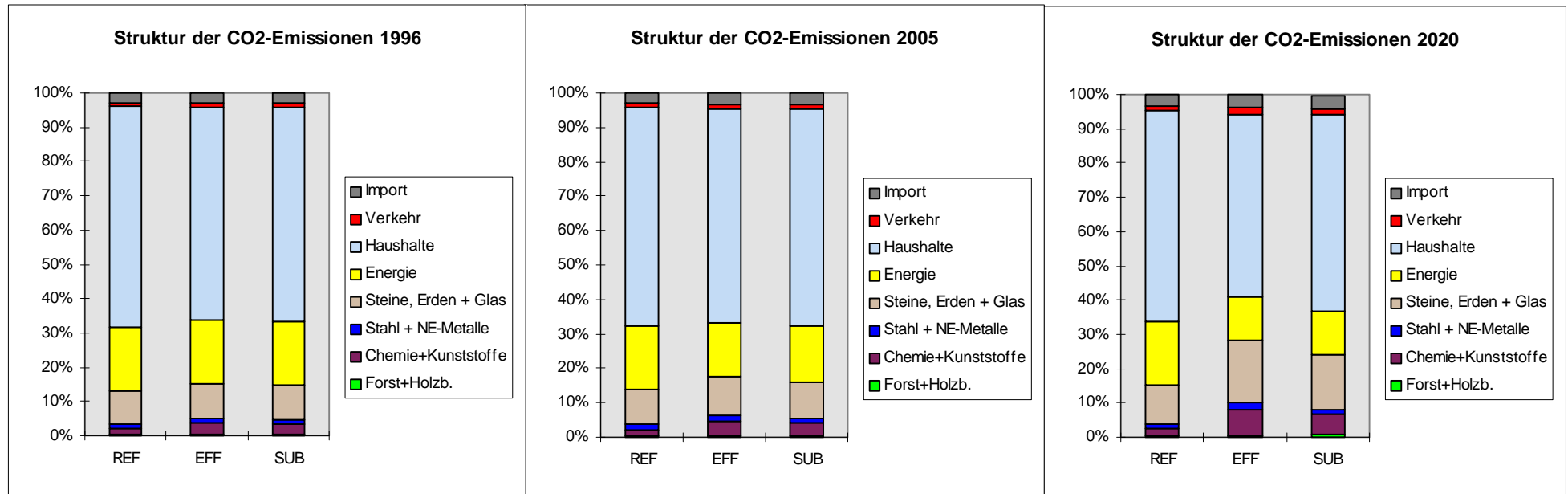
Bei den NO_x-Emissionen ist tendenziell der Verlauf der relativen Anteile der Gruppierungen ähnlich, jedoch ist der Anstieg des Verkehrsanteils sowie der von „Forst + Holzbearbeitung“ klarer ausgeprägt.

Bild 32 Verursacherstruktur für NO_x-Emissionen nach Gruppen



Auch bei CO₂ steigen in EFF und SuB die **Anteile** der „bauspezifischen“ Gruppierungen leicht an, jedoch dominieren hier die Haushalte über alle Szenarien und Zeitpunkte.

Bild 33 Verursacherstruktur für CO₂-Emissionen nach Gruppen



Bei den festen Reststoffen verschieben sich die Verursacheranteile in EFF und SuB über die Zeit deutlicher:

Die Gruppierung „Steine, Erden + Glas“ (bei Abraum) bzw. „Stahl + NE-Metalle“ (bei Produktionsabfällen) steigen im Gewicht in beiden Szenarien gegenüber REF klar an, während die Haushalte und „Bergbau + Energie“ anteilig zurückgehen.

Bild 34 Verursacherstruktur für Abraummengen nach Gruppen

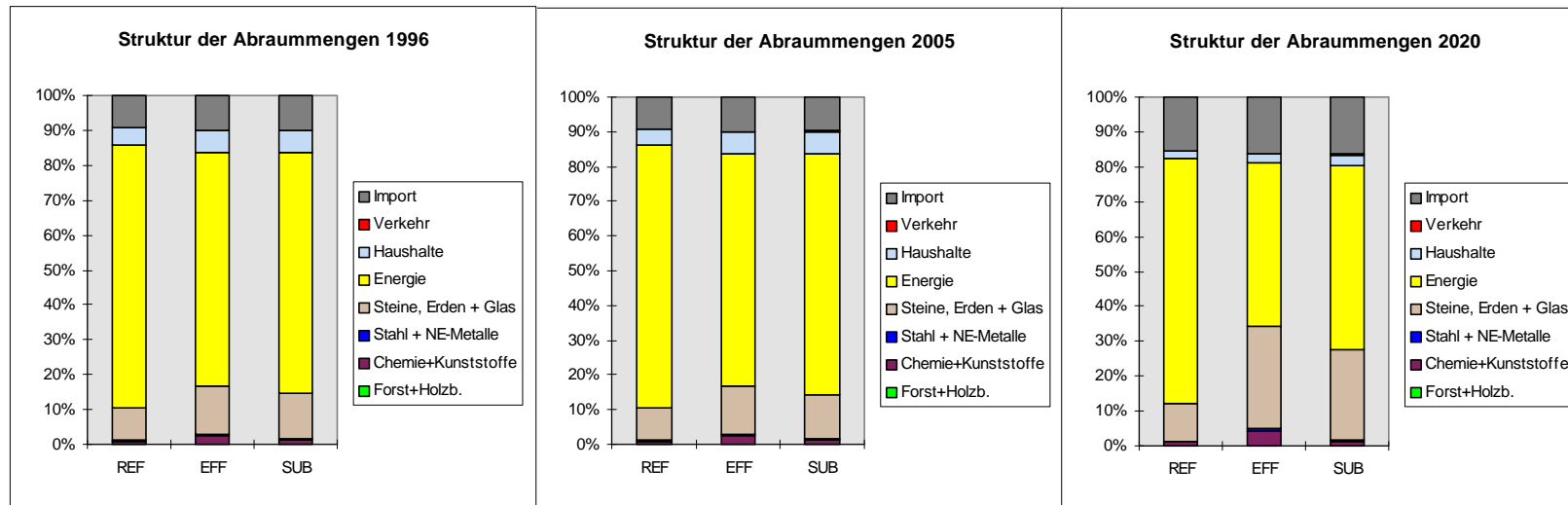
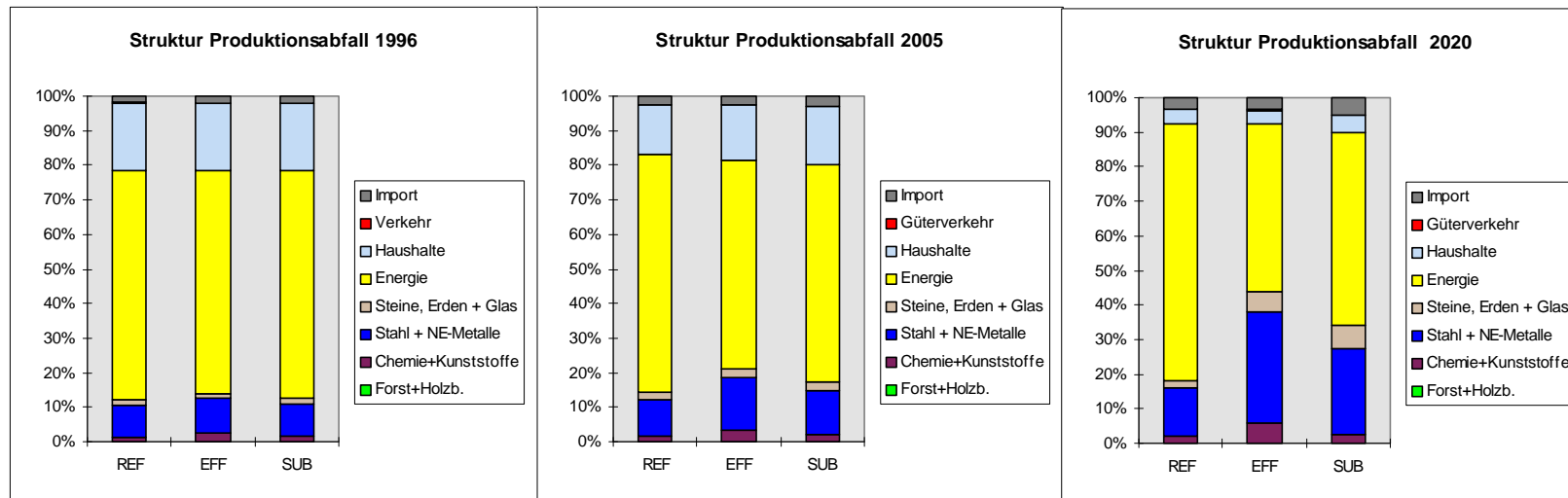


Bild 35 Verursacherstruktur für Produktionsabfälle nach Gruppen



Diese kurze Darstellung der Visualisierungsoptionen zur Identifizierung der insbesondere für Akteure wichtigen Szenarioergebnisse zeigt, daß die im Forschungsvorhaben entwickelte Grundkonzeption auch in ihrer rudimentären Implementierung über ein EXCEL[®]-Werkzeug eine schnelle Orientierung zu den „gruppierten“ Teilergebnissen erlaubt.

Der Schlüssel zu dieser Darstellung liegt im Konzept der „Gruppierung“, die sich damit über die rein tabellarische Ausgabe hinaus auch in visueller Hinsicht als nützliche Aggregationsstufe erweist.

Bei zukünftigen Weiterentwicklungen des im Forschungsvorhaben implementierten Stoffstrommodells kann der hier vorgestellten Grundkonzeption entsprechend eine vertiefte Behandlung der Visualisierung erfolgen, die vor allem auf eine Darstellung von trade-offs *zwischen* Umweltindikatoren sowie auf eine direkte Einbindung der verwendeten Visualisierungswerkzeuge in das Modell selbst setzen sollte (vgl. Abschnitt 7.2).

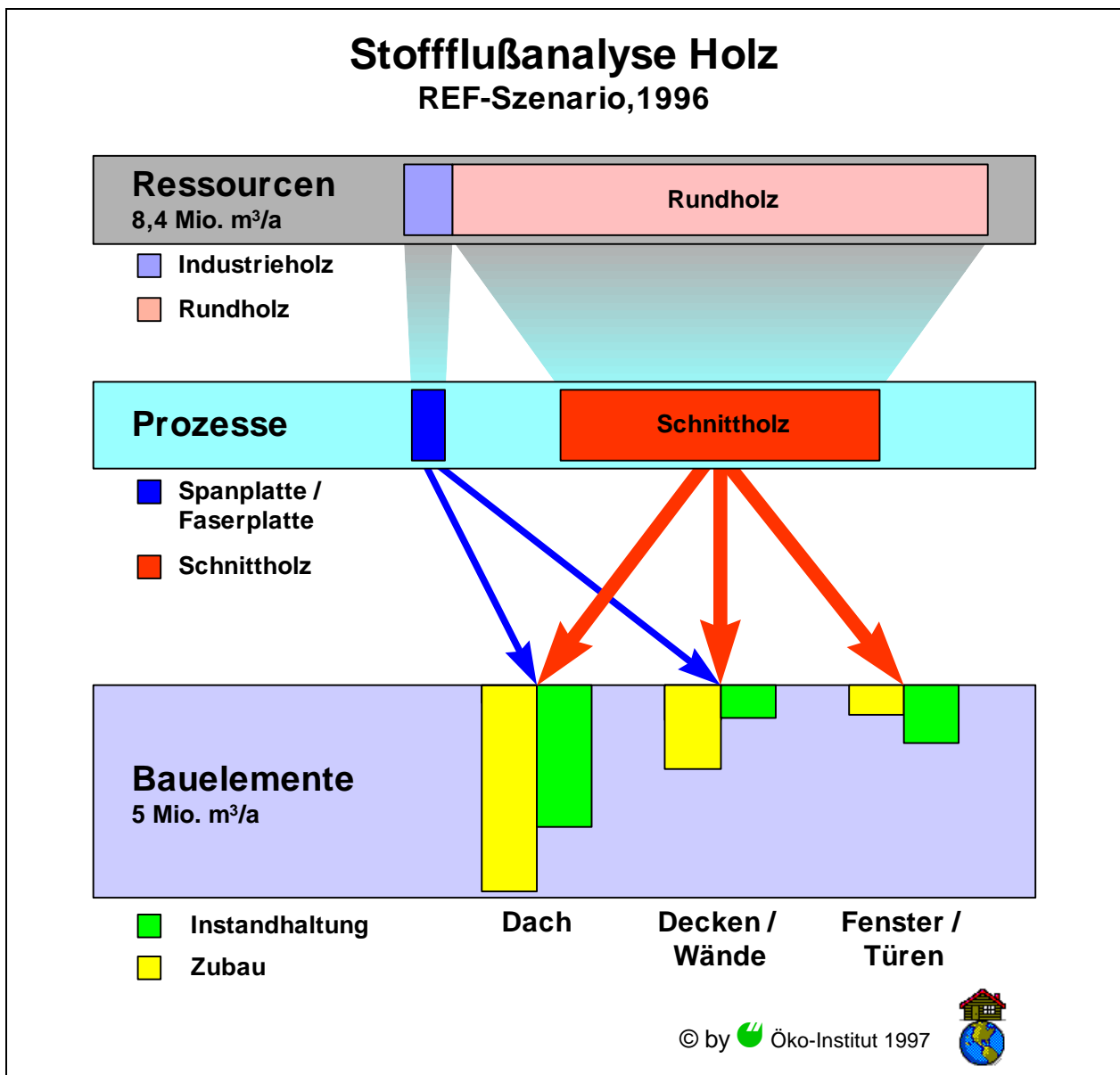
Die im Modell realisierte „Gruppierung“ orientiert sich aufgrund des Akteursbezugs an der wirtschaftlichen Gliederung (vgl. Abschnitt 2), mithin also an Branchenstrukturen.

Das Stoffstrommodell liefert jedoch „unterhalb“ dieser Aggregationsebene auch funktionale Beziehungen zwischen Prozessen, die von den direkten ökonomisch bzw. ökologisch orientierten Flüssen abstrahieren und eine Verfolgung der „primären Stoffflüsse“ **über Branchen hinweg** erlauben und dabei einen funktionalen Bezug zwischen der *Angebots- und der Nachfrageseite* herstellen.

5.6 Branchenübergreifende Stoffflüsse

Die Verfolgung von konkreten branchenübergreifenden Stoffflüssen stellt einen besonderen Vorzug der Prozeßkettenanalyse gegenüber makroökonomischen Ansätzen wie der Input-Output-Analyse dar. Am Beispiel Holz werden die branchenübergreifenden Stoffflüsse in der folgenden Abbildung skizziert.

Bild 36 Beispiel für branchenübergreifende Stoffflüsse: Holz



Dabei wird der Stofffluß nur soweit betrachtet als Holz als Werkstoff im Haus verbleibt. Der Einsatz von Holz als Verpackungsmaterial oder als Hilfsstoff zur Assemblierung (Schalungsholz) wird nicht berücksichtigt.

Grundsätzlich ist es in dem Modell möglich, neben dem quantitativen Stofffluß auch qualitative Aspekte über Branchen bis zur Ressource zu verfolgen. Gerade für den Baustoff Holz können qualitative Aspekte wie Holzart, Herkunft, Einsatzzweck entscheidend für die Beurteilung sein.

Der Holzstofffluß wird im folgenden beispielhaft über folgende Branchen analysiert:

1. Forstwirtschaft (Ressource und Ernte),
2. holz**be**arbeitende Industrie (Herstellung von Faserplatten (Spanplatte etc.), Schnittholz (Kantholz, Bretter),
3. holz**ver**arbeitende Industrie / Ausbaugewerbe (Tischler, Zimmermann),
4. Bauherr / Haushalte (Verbleib des Holzes in Bauelementen).

Zur Vereinfachung der Darstellung sind die Branchen holzbearbeitende und holzverarbeitende Industrie und Ausbaugewerbe zu Prozessen zusammengezogen worden.

Als qualitativer Aspekt wird zwischen Schnittholz (Ressource Rundholz) und Faserplatte (Ressource Industrieholz) unterschieden.

Der Einsatz von Holz in Bauelementen kann in drei Kategorien, Dachkonstruktion, tragende Elemente (Decken und Wände) sowie Fenster und Türen zusammengefaßt werden.

Der größte Teil des Holzes wird im Dachstuhl eingesetzt, wobei wiederum der mit Abstand größte Anteil aus Kantholz besteht. Neben dem Zubau trägt auch die Instandhaltung nennenswert zum Gesamtverbrauch bei. Als qualitativer Aspekt ist der Einsatz von Fichtenholz in Form von Rundhölzern größeren Durchmessers zu vermerken.

Für die Bauelemente Decken und Wände sind als Einsatzarten die herkömmliche Holzdecke im traditionellen 1-2 Familienhausbau und der Einsatz in Holzhäusern zu betrachten. Aus der Unterscheidung zwischen Zubau und Ersatz im Altbau wird die tragende Rolle des Zubaus deutlich, da Holzdecken wegen ihrer geschützten Lage nur geringen Erneuerungsbedarf aufweisen.

Qualitativ ist hier der Aspekt sowohl auf tragende Holzkonstruktionen (Balken in Decken und Kanthölzer in Wänden) als auch auf nichttragende Teile (Spanplatte zur Wandversteifung und als Deckenauflage) zu ungefähr gleichen Teilen zu vermerken.

Dieser Sektor wird auch durch die im SuB-Szenario massiv eingeführten Holzhäuser berührt. Durch den Einsatzmix an Fichten-Rundholz unterschiedlicher Qualität wie an Erzeugnissen aus der Ressource Industrieholz würde eine Steigerung in diesem Segment des Wohnungsbaus dem Produktmix der Forstwirtschaft weitestgehend entsprechen.

Der Einsatz von Holz in den Bauelementen Fenster und Türen ist durch eine Dominanz des Altbaus geprägt.

Diese Situation findet sich ansonsten in keinem anderen Bereich. Qualitativ ist der Fensterbau vom Einsatz sehr hochwertiger spezieller Holzsorten gekennzeichnet, die durch Importe¹⁰⁰ befriedigt werden.

Auf der Prozeßstufe werden aus den Rohhölzern in Sägewerken, Faserholzfabriken und weiteren Verarbeitungsprozessen die einsatzfähigen Produkte gewonnen.

Die Ausbeute ist dabei sehr unterschiedlich. Für Kanthölzer als Einsatz in Balken ist eine materielle Ausbeute von 63% bezüglich Rundholz, für Fensterholz im Bauelement Fenster hingegen eine Ausbeute von nur 33% bilanziert worden.

Aus der Summenbetrachtung wird deutlich, das im Bausektor Schnittholz gegenüber Faserplatten¹⁰¹ dominiert, sowohl absolut als auch relativ zum Produktionsvolumen der gesamten Branche.

Die Forstwirtschaft stellt die Ressource Holz bereit. Aus der Grafik wird die Dominanz der Rundholznachfrage, die der Bausektor auslöst, deutlich.

Insgesamt stellt der Bausektor (ohne Innenausbau) mit einer Nachfrage von 8,4 Mio. m³ einen bedeutenden Sektor der Nachfrage an der durchschnittlichen Gesamtproduktion von ca. 40 Mio. m³ dar.

¹⁰⁰ Es werden hauptsächlich Tropenholz und nordamerikanische Hölzer aufgrund ihrer Witterungsbeständigkeit eingesetzt. Wegen fehlender Informationen ist im Modell kein Import berücksichtigt.

¹⁰¹ Der Einsatz von Faserplatten etc. im Bereich des Innenausbau (Fußboden, Verkleidungen, Paneele) wird nicht betrachtet.

5.7 Maßnahmenorientierte Disaggregation von Szenario-Ergebnissen: Beispiel Struktur- und Bewußtseinswandel (SuB)

Mit dem Stoffstrommodell können, über die bisher dargestellten Ergebnisse hinaus, auch sehr wichtige weitere Analysen der Szenarien durchgeführt werden, die insbesondere für die künftige Anwendung der hier entwickelten Methodik und des Werkzeugs von großer Bedeutung sind: die Analyse der „Wirksamkeit“ einzelner Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel, die in den Szenarien angenommen wurden.

Während bisher Gesamtergebnisse **aller Annahmen** in den Szenarien sowie die Disaggregation hin auf branchenorientierte Verursachergruppen und branchenübergreifende Stoffflüsse erläutert wurden, soll nun auch exemplarisch gezeigt werden, wie sich die **Szenarien selbst** disaggregieren lassen.

5.7.1 Vorgehen bei der Wirksamkeitsanalyse

Der Schlüssel zur Bestimmung der „Wirksamkeit“ von Maßnahmen bzw. Maßnahmebündeln liegt in der Fähigkeit des Stoffstrommodells, ein einmal definiertes Szenario so verändern zu können, daß eine bestimmte, für die Wirksamkeit interessierende Maßnahme (bzw. ein Maßnahmenbündel) „abgeschaltet“ wird, also nicht mehr zum Szenarioumfang gehört.

Aus dem Vergleich der daraus resultierenden Ergebnisse mit denen des ursprünglichen Szenarios kann dann die Ergebniswirksamkeit der Maßnahme bzw. des Maßnahmenbündels bestimmt werden.

Dies ist prinzipiell für **jede** einzelne Maßnahme (bzw. Maßnahmebündel) für **jeden** Zeitpunkt möglich. Ein Szenario kann daher sequentiell¹⁰² bis in seine „kleinsten Bestandteile“ zerlegt und die jeweiligen Ergebnisse (z.B. gegenüber REF) ermittelt werden¹⁰³.

Dieses - durchaus arbeitsaufwendige - Verfahren zur Analyse der Wirksamkeit einzelner, im jeweiligen Szenario angenommener Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel soll im folgenden am Beispiel einer Einzelmaßnahme und eines Maßnahmenbündels im Szenario SuB demonstriert werden. SuB wurde gewählt, weil die hierin angenommenen Maßnahmen weit über die rein energetisch orientierten Maßnahmen im EFF-Szenario hinausgehen und bisher noch nicht in ihrer jeweiligen Einzelwirkung diskutiert wurden¹⁰⁴.

¹⁰² Praktisch können im derzeitigen Prototyp des Stoffstrommodells in einem Datensatz jeweils vier Szenarien gleichzeitig definiert, berechnet und gespeichert werden. Durch **sukzessives** Speichern eines solchen „Quartetts“ in jeweils verschieden benannten Datensätzen können jedoch tatsächlich beliebig viele Szenarien oder auch Szenariovarianten erstellt und - durch Speichern der Ergebnisse in EXCEL - auch untereinander verglichen werden.

¹⁰³ AnwenderInnen des Modells können auch umgekehrt vorgehen: Ausgehend vom REF-Szenario lassen sich **inkrementelle Szenarien** definieren, in denen - jeweils kumulativ - mehr und mehr Maßnahmen bzw. Maßnahmebündel unterstellt werden. Die praktische Arbeit wird dabei durch die Modelloption zum Kopieren von Szenarien erleichtert. Diese „aufsteigende“ Logik der Szenariodefinition wurde im vorliegenden Projekt aus Aufwandsgründen nicht verfolgt - vielmehr wurden von vornherein möglichst „komplette“ Szenarien mit jeweils unterschiedlichen Philosophien aufgestellt (vgl. Abschnitt 3).

¹⁰⁴ Die Wärmedämm-Maßnahmen und Annahmen zum Heizungsmix in EFF (und damit auch SuB) sind schon seit mehreren Jahren in der Diskussion und wurden in verschiedensten Studien auf ihre Wirksamkeit hin untersucht.

5.7.2 Wirksamkeit von Maßnahmen und Maßnahmebündeln im SuB-Szenario

Das SuB-Szenario unterscheidet sich gegenüber dem Effizienz-Szenario in der Nachfrage nach Wohnfläche und Haustypen (Zubau) sowie in der Ausgestaltung der Baugruppen durch verschiedene Bauelemente, wodurch die Holzbauweise, „Kellerloses Bauen“ und eine andere Auswahl an Baustoffen abgebildet werden.

Ausgehend von der Definition des Szenarios SuB (vgl. Abschnitt 3.1.3 sowie 3.2.2) wurden zwei **Varianten** dieses Szenarios erzeugt, in denen

- in der Variante SuB' (SuB-Strich) nur die Maßnahme „Haus ohne Keller“ und
- in der Variante SuB'' (SuB-Strich-Strich) nur das Maßnahmebündel „Flächensparende Haustypen“

isoliert und „auf Null gesetzt“ wurden, also aus der jeweiligen Szenario-Variante zu SuB entfernt wurden.

Durch diese Variationen sollten zwei Fragestellungen beantwortet werden:

1. Wie hoch ist der Einfluß des „Kellerlosen Bauens“ auf den Materialbedarf und die damit verbundenen Umweltauswirkungen (Szenario SuB-Strich)?
2. Wie hoch ist der Einfluß der veränderten Nachfrage nach Wohnfläche und Haustypen im SuB-Szenario (Szenario SuB-Strich-Strich)?

Die Szenariovarianten lassen sich wie folgt beschreiben:

SuB' (Sub-Strich)

Im Szenario SuB ist der teilweise Verzicht auf eine Erstellung von Kellerräumen im Zubau als eine Maßnahme zur Ausgestaltung der Haustypen formuliert worden. Am Ende des Szenariozeitraums wird bei 50 % aller 1-2 Familienhäuser auf einen Bau des Kellers verzichtet. Mehrfamilienhäuser sind von dieser Maßnahme nicht betroffen. Im SuB'-Szenario **entfällt** der anteilige Zubau von Kellerboden und Kelleraußenwände sowie das Ausheben der Baugrube **nicht**.

SuB'' (Sub-Strich-Strich)

Die Nachfrage nach der gleichen Anzahl an **Wohneinheiten** wird im SuB-Szenario gegenüber REF/EFF durch **andere Haustypen** und damit verbunden durch eine geringere Wohnfläche befriedigt. Insgesamt findet im SuB-Szenario ein Transfer der Nachfrage von Einfamilienhäusern zu Mehrfamilienhäusern statt. Werden im Jahr 2020 im REF- und EFF-Szenario 182.200 Wohneinheiten in 1-2-Familienhäusern zur Verfügung gestellt, beträgt ihre Anzahl im SuB-Szenario nur 169.100 Wohneinheiten. Innerhalb des Nachfragesektors der 1-2-FH wird der Nachfrageschwerpunkt von den großen freistehenden Einfamilienhäusern im REF- und EFF-Szenario zu den kleineren Reihenhäusern im SuB-Szenario verschoben.

In SuB'' (SuB-Strich-Strich-Szenario) werden bei gleicher Ausgestaltung der Nachfrage hinsichtlich Wohneinheiten, Haustypen und Wohnfläche **wie im REF/EFF-Szenario** die besonderen Nachfragebedingungen des SuB-Szenarios auf der Ebene der **Bauelemente** („Kellerloses Bauen, Holzbauweise) realisiert.

Die Grundunterschiede der Varianten SuB' und SuB'' gegenüber dem SuB-„Original“ zeigt nochmals die folgende Tabelle im Überblick

Tabelle 31 Eigenschaften von SuB und seiner Varianten

Maßnahme bzw. Bündel	SuB	SuB-Strich	SuB-Strich-Strich
Nachfrage Haustypen	SuB	wie SuB	wie EFF/REF
Bauelemente	SuB	wie SuB, jedoch <u>ohne</u> „Kellerloses Bauen“	wie SuB
spezifischer Wärmebedarf bei Zubau und Bestand	wie EFF	wie EFF	wie EFF
Baustoffe und Prozesse	wie EFF	wie EFF	wie EFF

Zelle mit grauem Hintergrund: die in der Variante geänderte Maßnahme bzw. Maßnahmebündel

5.7.3 Ergebnisse der Wirksamkeitsanalyse für Maßnahmen in SuB

Die o.g. Varianten zu SuB wurden als eigene Datensätze gespeichert und ihre jeweiligen Ergebnisse mit dem Stoffstrommodell ermittelt.

Danach wurden jeweils die Ergebnisse in EXCEL®-Tabellen exportiert und dann gegenübergestellt.

Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Analyse dargestellt, wobei aus Platzgründen nur auf die Umweltindikatoren Fläche, CO₂, Reststoffe und Ressourceninanspruchnahmen jeweils für die ausgewählten Jahre 1995, 2005 und 2020 abgestellt wurde.¹⁰⁵

¹⁰⁵ Der Auftraggeber erhält die Datensätze mit den SuB-Varianten sowie die entsprechenden EXCEL®-Tabellen zusammen mit den Originaldaten auf Disketten. Über die hier im Text dargestellten ausgewählten Ergebnisse hinaus enthalten diese Dateien auch die Ergebnisse für **alle** Szenariojahre.

Tabelle 32 Flächenbedarfe im Szenario SuB und seinen Varianten

	SuB	SuB'	SuB''	Delta zu SuB		relativ zu SuB	
				SuB'	SuB''	SuB'	SuB''
Wohnfläche							
1995	3.058	3.058	3.058	0,0	0,0	100%	100%
2005	3.486	3.486	3.502	0,0	15,5	100%	100%
2020	3.882	3.882	4.021	0,0	139,4	100%	104%
bebaute Fläche							
1995	2.275	2.275	2.275	0,0	0,0	100%	100%
2005	2.577	2.577	2.588	0,0	10,9	100%	100%
2020	2.810	2.810	2.938	0,0	128,2	100%	105%
Grundstücksfläche							
1995	10.208	10.208	10.208	0,0	0,0	100%	100%
2005	11.414	11.414	11.479	0,0	65,8	100%	101%
2020	12.087	12.087	12.908	0,0	821,4	100%	107%

Angaben in Mio m²

Diese Gegenüberstellung der Flächenbedarfe zeigt, daß **definitionsgemäß** die Szenariovariante SuB' keine Abweichungen gegenüber SuB zeigt, während in SuB'' die Flächenbedarfe identisch zu denen von REF/EFF sind (vgl. Abschnitt 5.2).

Bei der Inanspruchnahme von Ressourcen ist dagegen zu erwarten, daß sich die Varianten zu SuB deutlich vom „Original“ unterscheiden - durch die Eliminierung der Maßnahme „Kellerloses Bauen“ in SuB' werden ja mehr Ressourcen benötigt, und durch die Entfernung des speziellen SuB-Haustypenmixes in SuB'' werden andere Häuser gebaut als im „Original-SuB“.

Die folgende Tabelle zeigt die Resultate der Wirksamkeitsanalyse für die mineralischen Ressourcen, die in SuB und seinen Varianten jeweils benötigt werden.

Tabelle 33 Bedarfe an mineralischen Ressourcen in SuB und seinen Varianten

	SuB	SuB'	SuB''	Delta zu SuB		relativ zu SuB	
				SuB'	SuB''	SuB'	SuB''
Gips							
1995	1,3	1,3	1,3	0,0	0,0	100%	100%
2005	1,4	1,4	1,5	0,0	0,1	100%	104%
2020	1,4	1,4	1,6	0,0	0,3	100%	118%
Ton							
1995	15,7	15,7	15,7	0,0	0,0	100%	100%
2005	13,7	13,8	14,5	0,1	0,8	101%	106%
2020	9,5	9,7	10,8	0,2	1,3	102%	114%
Kies							
1995	37,6	37,6	37,6	0,0	0,0	100%	100%
2005	34,6	35,9	37,4	1,3	2,8	104%	108%
2020	26,3	28,5	32,9	2,2	6,6	108%	125%
Sand (o. Quarzsand)							
1995	66,0	66,0	66,0	0,0	0,0	100%	100%
2005	62,6	64,3	66,5	1,7	4,0	103%	106%
2020	48,5	51,4	56,7	2,9	8,2	106%	117%
Kalkstein							
1995	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	100%	100%
2005	7,6	7,7	8,0	0,0	0,3	101%	105%
2020	6,3	6,4	7,2	0,1	0,9	101%	115%

Angaben in Mio t/a

Diese Gegenüberstellung zeigt deutlich, wie in SuB' gegenüber SuB durch die zusätzlich benötigten Keller etwas mehr Ton und Kalkstein, vor allem aber mehr Kies und Sand benötigt werden. Hieraus gilt im Umkehrschluß, daß die Maßnahme „Kellerloses Bauen“ in SuB eine Einsparung von rund 2 Mio t Kies und 3 Mio t Sand (jeweils im Jahr 2020) bewirkt.

In SuB'' werden gegenüber SuB bis 2020 zwischen **15 und 25% mehr** mineralische Rohstoffe benötigt, daraus folgt umgekehrt, daß in SuB durch das flächensparende Haustypenmix bis 2020 die entsprechende Inanspruchnahme mineralischer Rohstoffe **entfällt**.

Beide Ergebnisse können so ausgedrückt werden, daß der Unterschied in den Ergebnissen der SuB-Varianten gegenüber dem SuB-Original auf der Wirkung der jeweiligen Maßnahme (bzw. des Maßnahmebündels) beruht, die in den Varianten gegenüber SuB „eliminiert“ wurden. Damit kann die **isolierte** Wirkung der Maßnahmen im SuB-Original bestimmt werden, wie die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 34 Ressourcenschonung in SuB durch einzelne Maßnahmen(bündel)

mineralische Ressource	Kellerloses Bauen	flächensparender Haustypenmix
Gips	0,0	-0,3
Ton	-0,2	-1,3
Kies	-2,2	-6,6
Sand (ohne Quarzsand)	-2,9	-8,2
Kalkstein	-0,1	-0,9

Angaben in Mio t/a für das Jahr 2020

Die Wirksamkeit ergibt sich somit durch die zahlenmäßigen Unterschiede der SuB-Varianten gegenüber dem SuB-Original.

Entsprechend dieser Konzeption kann auch die Wirksamkeit der SuB-Maßnahmen hinsichtlich des Bedarfes an Rohholz für Bauzwecke untersucht werden. Die folgende Tabelle zeigt die Einzelergebnisse von SuB und seinen Varianten.

Tabelle 35 Rohholzbedarf für Bauzwecke in SuB und seinen Varianten

	SuB	SuB'	SuB''	Delta zu SuB		relativ zu SuB	
				SuB'	SuB''	SuB'	SuB''
1995	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	100%	100%
2005	6,7	6,7	7,1	0,0	0,4	100%	105%
2020	6,6	6,6	8,1	0,0	1,5	100%	123%

Angaben in Mio t/a, ohne Holz als Energieträger

Wie zuvor können nun die Unterschiede der Varianten gegenüber SuB der Wirksamkeit der jeweiligen Maßnahmen in SuB zugeordnet werden: Im Jahr 2020 reduziert das flächensparende Haustypenmix in SuB den Rohholzbedarf um rd. 1,5 Mio t.

Bei den Treibhausgasemissionen (hier: CO₂) sind ebenfalls die Unterschiede der Varianten deutlich sichtbar:

Tabelle 36 CO₂-Emissionen im Szenario SuB und seinen Varianten (nur in Deutschland)

	SuB	SuB'	SuB''	Delta zu SuB	
				SuB'	SuB''
1995	209	209	209	-	-
2000	185	185	186	0,3	0,5
2005	154	154	156	0,7	2,1
2010	124	125	128	0,9	3,9
2015	97	98	103	1,0	5,8
2020	77	78	82	1,1	5,3

Angaben in Mio t/a

bezogen auf 1995:				relativ zu SuB	
2005	-27%	-26%	-26%	100,5%	101,4%
2020	-63%	-63%	-61%	101,4%	106,8%

Aus diesen Daten (Spalten „Delta“ zu SuB) kann nun die Wirksamkeit der SuB-Maßnahmen hinsichtlich der CO₂-Emission ermittelt werden:

Tabelle 37 CO₂-Vermeidung in SuB durch einzelne Maßnahmen(bündel)

Jahr	Kellerloses Bauen	flächensparender Haustypenmix
2000	-0,3	-0,5
2005	-0,7	-2,1
2010	-0,9	-3,9
2015	-1,0	-5,8
2020	-1,1	-5,3

Angaben in Mio t/a für das Jahr 2020

Bei der ermittelten Wirksamkeit des SuB-Maßnahmenbündels „flächensparender Haustypenmix“ ist zu beachten, daß die CO₂-Reduktion gegenüber den energetisch optimierten Gebäuden des SuB-Szenarios ermittelt wurde, die auf den gleichen Annahmen beruhen wie in EFF.

Gegenüber dem REF-Szenario, in dem ja auch schon eine leicht verschärfte Wärmeschutz-Verordnung für Bestand und Neubau unterstellt wurde, wären die CO₂-Einsparungen signifikant höher¹⁰⁶.

Abschließend soll die Wirksamkeit der einzelnen SuB-Maßnahmen auch gegenüber den Reststoff-Umweltindikatoren gezeigt werden.

Tabelle 38 Reststoffmengen im Szenario SuB und seinen Varianten

	SuB	SuB'	SuB''	Delta zu SuB relativ zu SuB			
				SuB'	SuB''	SuB'	SuB''
Bauschutt							
1995	23,7	23,7	23,7	0,0	0,0	100%	100%
2005	34,3	34,3	34,3	0,0	0,0	100%	100%
2020	72,4	72,4	72,4	0,0	0,0	100%	100%
Bodenaushub							
1995	86,6	86,6	86,6	0,0	0,0	100%	100%
2005	72,5	82,8	79,5	10,3	6,9	114%	110%
2020	47,0	64,2	59,7	17,1	12,7	136%	127%
Produktionsabfall							
1995	7,7	7,7	7,7	0,0	0,0	100%	100%
2005	4,7	4,8	4,9	0,0	0,1	101%	102%
2020	1,7	1,8	2,0	0,1	0,3	104%	115%
Abraum							
1995	190,8	190,8	190,8	0,1	0,1	100%	100%
2005	111,2	112,2	114,0	1,1	2,8	101%	103%
2020	43,9	45,5	50,4	1,6	6,5	104%	115%

Angaben in Mio t/a

¹⁰⁶ Dieser Umstand beleuchtet das Problem des Bezugspunkts bei der Wirksamkeitsanalyse: **Innerhalb** eines Szenarios muß stets ceteris paribus gerechnet werden, während **zwischen** Szenarien auch kombinierte Effekte eine Rolle spielen.

Diese Daten ergeben über die Deltas die folgenden Einsparungen an Reststoffen durch Maßnahmen in SuB:

Tabelle 39 Reststoffvermeidung in SuB durch einzelne Maßnahmen(bündel)

Reststoff	Kellerloses Bauen	flächensparender Haustypenmix
Bauschutt	0,0	0,0
Bodenaushub	-17,1	-12,7
Produktionsabfall	-0,1	-0,3
Abraum	-1,6	-6,5

Angaben in Mio t/a für das Jahr 2020

Als wichtiges Resultat dieser Analyse bleibt festzuhalten, daß die Einzelmaßnahme „Kellerloses Bauen“ bei der Einsparung von Bodenaushub deutlich wirksamer ist als das Maßnahmenbündel „flächensparender Haustypenmix“, letzteres aber 3-4 mal soviel Kies **und** Sand **sowie** 5 mal soviel CO₂ **und** Abraum reduziert wie erstere¹⁰⁷.

Bei der Wirksamkeitsanalyse von Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündeln sind neben dem reinen **Umfang** der Reduktion von Umweltinanspruchnahmen auch die Kosten von Maßnahmen sowie deren Umsetzungseffizienz zu berücksichtigen - dies geht jedoch über den derzeitigen Datenstand des Stoffstrommodells hinaus¹⁰⁸.

¹⁰⁷ Würden die Maßnahmen nicht ceteris paribus auf die Heizungs-, Prozeß- und Transportemissionen von SuB bezogen, sondern auf die im REF-Szenario, wären die Effekte deutlich höher, in ihrer Relation jedoch unverändert.

¹⁰⁸ Generell kann die Datenbasis des Modells auch Kostendaten beinhalten und verarbeiten. Aus Aufwandsgründen und z.T. unklarer methodischer Abgrenzung der Kosten im Bereich der Stoffströme wurde im vorliegenden Projekt jedoch hierauf verzichtet (vgl. aber zur Stoffstromökonomie auch den Exkurs von Brigitte Peter im Anhangband).

5.8 Begrenzende Faktoren für die Bewertung der Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse der Szenario-Rechnungen sind, neben den schon bei der Datenbasis erläuterten Einschränkungen (vgl. Abschnitt 2.2), auch vor dem Hintergrund der generellen Szenario-Fragestellungen zu bewerten. Aufgrund des Charakters eines exemplarischen Fallbeispiels wurden die Szenarien so konzipiert, daß sie neben der Referenz-Entwicklung als „Meßlatte“ die grundsätzlichen Entwicklungsoptionen des Bedürfnisfelds Bauen und Wohnen abbilden. Bei dieser Konzeption gingen vorwiegend Maßnahmen ein, die **stoffstrombezogen** eine *signifikante* Wirkung versprechen und sich im zeitlichen Betrachtungshorizont nennenswert umsetzen lassen.

Weiterhin wurden nur Maßnahmenbündel in die Formulierung der Szenarien EFF und SuB aufgenommen, die schon heute *Möglichkeiten* zur politischen Umsetzung aufweisen.

Mit diesen Einschränkungen wurden Optionen, die heute unter den Stichworten „Ökologisch Bauen“ und „Ökologisch Wohnen“ diskutiert werden, **nicht** in den Szenarien abgebildet:

- Verwendung biogener Dämmmaterialien wie Zellulose, Wolle oder Kork,
- Verwendung energiearm hergestellter Baustoffe wie Lehm,
- massive Nutzung von Solarenergie in Neubauten („Null-Energie-Häuser“),
- Nutzung naturnaher Bauchemikalien (Lacke, Farben, Kleber, Dichtmittel).

Damit soll keinesfalls intendiert werden, daß diese Optionen keinen Platz in einer nachhaltigeren Entwicklung des Bereichs Bauen und Wohnen hätten - ihre Bedeutung liegt jedoch nicht auf der Ebene der großen nationalen Stoffströme, deren Adressierung das vorrangige Ziel der hier vorgestellten Arbeiten war.

Ebenfalls wurden „radikalere“ Vorstellungen zu in großem Stil geänderten Wohnformen aufgrund *heute* fehlender Umsetzungsperspektiven aus dem SuB-Szenario ausgeklammert¹⁰⁹.

Die Szenarioformulierung geht zudem nicht ein auf die potentiell wichtigen Optionen zur *Verlängerung der Nutzungs- und Lebensdauern* von (Wohn)Gebäuden sowie die Möglichkeiten zur *Umwidmung von gewerblichen Gebäuden* in Wohngebäude.

Der Grund hierfür liegt nicht in fehlender Einsicht, sondern in der für die Vergleichbarkeit notwendigen Beschränkung auf ceteris-paribus-Annahmen zu Wohnungsabgängen (Abriß und Umwidmung) bei **allen** Szenarien.

Das entwickelte Instrumentarium kann durchaus mit geänderten Nutzungsdauern für Gebäude sowie mit „ungleichen“ Änderungen bei Zu- und Abgängen rechnen - für eine realistische Einschätzung der (Netto-)Wirkung solcher Maßnahmen ist jedoch eine Ausweitung des zeitlichen Betrachtungshorizonts über das Jahr 2020 hinaus sowie die Ausweitung der Datenbasis auf den Bereich der Nichtwohngebäude erforderlich.

Beides ist möglich, bewegt sich jedoch außerhalb der für das vorliegende Forschungsvorhaben gesetzten Grenzen.

¹⁰⁹ Die unterstellten Änderungen in SuB sind im Vergleich zum historischen Trend und der Referenzentwicklung durchaus „radikal“ und erfordern einen erheblichen gesellschaftlichen Änderungsprozeß.

5.9 Verifikation der Ergebnisse

Abschließend zur Ergebnisdiskussion ist auf die „Güte“ der mit dem Stoffstrommodell ermittelten Resultate einzugehen¹¹⁰.

5.9.1 Vergleich der Ergebnisse zu Flächen mit anderen Studien

Da zu den charakteristischen Parametern der Haustypen auch die Flächen der Baugrundstücke zählen, kann durch Vergleich der Ergebnisse zum absoluten Flächenbedarf nach der hier vorgestellten Methodik mit den Werten, die sich aus den durchschnittlichen Kennzahlen der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (BfLR 1996) ergeben, eine **Verifikation des Stoffstrommodells** vorgenommen werden:

So ergibt sich aus den Daten für das Referenz-Szenario ein absoluter Bedarf von Baugrundstücken (Nettowohnbauland) bis 2020 von 2630 qkm für 1-2 Familienhäuser sowie 919 qkm für Mehrfamilienhäuser, also in der Summe 3549 qkm.

Die *unabhängige Ermittlung* entsprechender Daten durch Division des von Prognos unterstellten Wohnflächenzugangs durch die gemittelten Wohnflächendichten (0,21 für 1-2 FH bzw. 0,48 für 3+x MFH) nach BfLR (1996) ergibt für die 1-2 Familienhäuser 2943 km² sowie für die 3+x Familienhäuser 1260 km² Flächenbedarf an Nettowohnbauland (Summe: 4203 km²).

Die Abweichung der auf unterschiedlichem Weg ermittelten Werte beträgt nur 18 %. Diese durchaus gute¹¹¹ Übereinstimmung stützt die Umrechnungsformeln für die Flächenparameter der einzelnen Haustypen (vgl. Anhangband) und bestätigt die generelle Vorgehensweise.

5.9.2 Vergleich der Baustoff-Ergebnisse mit „top-down“-Daten

Ein Vergleich der Modellergebnisse mit allgemeinen „top-down“-Daten¹¹² kann nicht durchgeführt werden. Das im Modell betrachtete Gebiet Bauen und Wohnen wird auf aggregierter statistischer Ebene nicht abgebildet. Im Rahmen der Statistik stehen allein Zuordnungen für den gesamten Hoch- und Tiefbau (Wohnungsbau, Nichtwohnungsbau und Tief-[Ingenieur-]bau) zur Verfügung. Das Splitten der wirtschaftlichen Aktivitäten im Bereich Hoch- und Tiefbau auf den Wohnungsbau kann nicht durchgeführt werden, da entsprechende Ansätze über die Zuordnung fehlen.

Statt dessen werden relevante Stoffflüsse für den Wohnungsbau aus dem Modell mit Angaben aus der Produktionsstatistik oder Angaben von Fachverbänden verglichen. Hierdurch kann das Modellergebnis insoweit bestätigt werden, als daß Gesamtangaben für spezifische Materialflüsse für den Hochbau größer als das nur den Wohnungsbau betreffenden Modellergebnis sein sollten. Durch Nachfrage bei Verbänden kann das Ergebnis weiter eingegrenzt werden.

¹¹⁰ Unter „Verifikation“ ist dabei nicht eine Fehlerabschätzung im Sinne der Sensitivität zu verstehen, sondern eine Überprüfung der **Abbildungstreue** von Modell und Datenbasis anhand *unabhängig gewonnener Kenndaten*.

¹¹¹ Die hier angesetzten durchschnittlichen Wohnflächendichten der BfLR sind grobe Mittelwerte, so daß eine Abweichung um 18 % im Rahmen der üblichen Unschärfe anzusedeln ist

¹¹² Eine „Richtigkeit“ der statistischen Basis von top-down-Daten ist ohnehin nicht per se gegeben..

Alle Angaben von Verbänden und des StBA beziehen sich, soweit nicht anders vermerkt, auf den gesamten Hochbau.

Tabelle 40 Datenverifikation der Stoffstrom-Ergebnisse

Baustoff	Einheit	Modell-	Statistik / Verband		Bemerkungen
		ergebnis	Quelle	Summe	
Mauerwerke					
Ziegel	1000 m ³	10109	15090	StBA / 1994	
Kalksandstein	1000 m ³	8707	12000	StBA / 1994	
Porenbeton	1000 t	2701	3641	StBA / 1995	
Leichtbetonstein	1000 t	1717	2217	StBA / 1995	
Beton, insgesamt	Mio m ³	33	50	StBA / 1995	StBA nur Transportbeton
Zement, insgesamt	Mio t	19,6	34	Schätzung nach P.H.	
Putz					
Mörtel, insgesamt	Mio m ³	3,66	4,67	BDM / 1995	
Außenputz	Mio m ³	3,43	2,67	BDM / 1995	
Innenputz	Mio m ³	2,81	3,91	BDM / 1995	
Estrich	Mio m ³	5,25	5,21	BDM / 1995	
Dachbedeckungen	1000 t	5150	6578	StBA / 1995	
Dämmstoffe					
Mineralwolle	1000 m ³	10870	18600	GDI / 1995	
PS, PUR	1000 m ³	11580	11469	GDI / 1995	
Gipskartonplatte	Mio t	1,4	1,3	StBA / 1993	
Holz					
Bretter, Kantholz	1000 t	2548			
Faserplatte	1000 t	279			
Summe Holz	Mio m ³	5	3-18	Schätz. P.H.	Wohnungsbau: ges. Hochbau
Mineralien					
Sand und Kies	Mio t	104	200	Schätzung nach P.H.	

Quellen: GDI- Dämmstofffachverband; BDM - Bund Deutsche Mörtelindustrie, P.H. Philipp Holzmann AG, StBA - Statistisches Bundesamt

Insgesamt zeigt das „benchmarking“ eine gute Übereinstimmung von Modellergebnis und statistischen Angaben.

Für die einzelnen Materialströme kann der Vergleich weiter eingengt werden:

Für Mauerwerke ist die traditionelle Angabe die Raumangabe der Mauersteine. Um den Vergleich¹¹³ zu erleichtern, ist für Kalksandstein und Ziegel auf die Raumangabe für das Jahr 1994 zurückgegriffen worden. Vom Gesamtabsatz der Mauerwerke werden im allgemeinen nur 20 % im Nichtwohnungsbau eingesetzt (Faustformel Kalksandsteinverband). Legt man diese Annahme zugrunde und berücksichtigt man ferner die hohe Bauleistung im Jahr 1994, so stimmt das Modellergebnis sehr gut mit den statistischen Angaben überein. Bei Porenbeton- und Leichtbetonsteinen ist ebenfalls eine gute Übereinstimmung gegeben. Die Abweichungen betragen für alle Mauerwerke ca. 23 % (Leichtbeton) bis 33 % (Ziegel). Die höhere Abweichung bei Ziegeln kann durch die sehr gute Baukonjunktur bei Einfamilienhäusern im Jahr 1994 erklärt werden.

Für den gesamten Betoneinsatz im Modell liegen nur Vergleichsdaten zum Aufkommen an Transportbeton aus statistischen Quellen vor.

Der Zementeinsatz für den Bereich Bauen umfaßt im Modell auch den Einsatz in vorgelagerten Prozessen, z.B. Betonsteine. Als Vergleichsangabe wurde die Schätzung der Philipp Holzmann AG für den gesamten Hochbau herangezogen. Da im Nichtwohnbereich Beton im konstruktiven Bereich (Skelettbauweise) bevorzugt eingesetzt wird, ist der erhöhte Bedarf des Nichtwohnbereiches an Zement im Gegensatz zu Mauerwerken erklärbar.

Für Putze liegen Hochrechnungen des Bundes Deutsche Mörtelindustrie vor. Putze werden in Betrieben mit geringer Mitarbeiterzahl¹¹⁴ hergestellt, so daß die statistischen Angaben die Herstellung deutlich unterschätzen. Für Mörtel (Normalmörtel und Dünnbettmörtel) beträgt die Abweichung 22 % und liegt damit im Bereich der Abweichungen für die Mauersteine. Beide Angaben zusammen zeigen dieselbe Abweichung und sind daher als konsistent anzusehen.

Bei Außenputzen weisen die Angaben des BDM deutlich geringere Mengen trotz Einbezug des Nichtwohnbereiches auf. Als Erklärung kann angeführt werden, daß im Modell alle Außenwände verputzt werden. Traditionell sind andere Verkleidungen, z.B. Klinker, Holz u.a.) im Wohnungsbau üblich, im Modell aber nicht betrachtet. Diese Annahme erscheint im Vergleich als zu vereinfachend.

Im Gegensatz zum Außenputz sind die Angaben des BDM zu dem Verbrauch zum Innenputz deutlich höher. Die Abweichung von 28 % liegt in der Größenordnung der Abweichung bei Mauerwerken.

Der Vergleich von Estrich zwischen den Angaben des BDM und dem Modellergebnis zeigt eine Überschätzung des Estrichbedarfes im Modellergebnis an. In die Berechnung des Estrichbedarfes fließt die Deckenfläche, Dicke der Estrichschicht und der Sanierungsbedarf ein. So sind die Angaben zur Deckenfläche bzw. Kellerfläche, die mit Estrich belegt werden, sehr ungenau. Empfehlungen zu Estrichdicke schwanken zwischen 3,5 und bis zu 7 cm (Modell 4,5 cm). Im Rahmen der Modellierung kann die Übereinstimmung somit als befriedigend eingestuft werden.

¹¹³ Durch Umstellung der Statistik 1995 ist der Raumvergleich nicht mehr möglich. Ab 1995 liegen Raumangaben nur für Ziegel und für andere Mauersteine nur noch als Gewichtsangaben vor. Da Mauersteine je nach Einsatz unterschiedliche Wichte aufweisen, wird dadurch der Vergleich unmöglich gemacht.

¹¹⁴ In der bundesweiten Statistik des StBA werden kleinere Betriebe nicht mit erfaßt, obwohl sie gerade im „Baustoff“-Bereich einen großen Teil der Produktion ausmachen können - die „top-down“-Daten der Statistik sind daher auch hier nicht „richtig“, da sie einen Teil der Realität definitionsgemäß nicht erfassen.

Für die Dachbedeckungen ergibt sich eine Abweichung des Modellergebnisses von statistischen Angaben von 22 %. Die Abweichung liegt damit in dem Bereich, der dem Nichtwohnbereich zugeschätzt werden kann.

Das Gesamtdämmstoffvolumen von 30 Mio m³ steht einem Modellergebnis von 22,5 Mio m³ gegenüber. Zieht man die Abweichung von 22 % in Betracht und vergleicht die Differenz mit der Abweichung der Mauersteine, so kann das Ergebnis als gute Übereinstimmung gewertet werden. Betrachtet man die Teilsegmente Mineralwolle und Polystyrol, so zeigt das Modellergebnis eine Verschiebung zum Polystyrol. Die marktgängigen Dämmstoffe sind teilweise gegeneinander austauschbar, wobei nach Verbandsangaben Mineralwolle im Nichtwohnbereich bevorzugt wird. Als Ergebnis des Vergleiches kann somit festgehalten werden, daß der Gesamtverbrauch vom Modell sehr gut wiedergegeben wird, der Einsatzschwerpunkt von EPS/XPS (Polystyrol) tendenziell richtig, aber überbetont abgebildet wird.

Gipskartonplatten werden im Modell hauptsächlich im Sanierungsbereich eingesetzt. Aus dem Vergleich mit der Produktionsstatistik wird die Überschätzung des Einsatzes von Gipskartonplatten im Modell deutlich.

Der Holzeinsatz im Modell beträgt ca. 5 Mio m³. Differenzierte Angaben zum Einsatz von Holz im Wohnungsbau liegen nicht vor. In der Studie von Philipp Holzmann werden unterschiedliche Schätzungen diskutiert. Sie reichen von 3 Mio m³ für den Wohnungsbau, abgeleitet über grobe Einsatzfaktoren, bis zu 18 Mio m³ für den gesamten Hochbau. Eine vertiefende Diskussion für diesen Baustoff wird erschwert durch die fehlende Abgrenzung des Einsatzbereiches (Hilfsmaterial, Bodenbelag).

Das Modellergebnis weist einen Bedarf von ca. 104 Mio t/a an Sand und Kies aus. Vergleichsangaben der Verbände, zitiert nach Philipp Holzmann, geben einen Verbrauch für den gesamten Hochbau von ca. 200 Mio t/a an. Die Abweichung ist damit deutlich höher als bei den anderen Materialien (Mauersteinen). Durch die Ausgrenzung von Kanalarbeiten im Modell und die Konstruktionsarten des Nichtwohnbaues (Lagerhalle mit großer Grundfläche und spezifisch geringem Einsatz an Mauersteinen, viel Beton) kann die Abweichung allerdings befriedigend erklärt werden.

Insgesamt zeigt der Vergleich bei Beachtung der Faustformel für den Einsatz von Materialien im Nichtwohnbereich eine sehr gute Übereinstimmung für die meisten stoffstromrelevanten Baustoffe. Die Abweichung für den Wohnbereich kann auf 10 % eingeschätzt werden. Bei einigen Baustoffen können Alternativen eingesetzt werden. So findet bei Dämmstoffen eine Substitution von Mineralwolle und Polystyrolen statt. An diesen Stellen könnte das Modell spezifisch angepaßt werden. Überschätzungen finden im Modell für die Baustoffe Außenputze und Estriche statt. Eine weitergehende Abschätzung des möglichen Fehlers ist aber nicht möglich, da die Angaben des BDM zwar auf hohem fachlichen Wissen fußen, detaillierte Vergleiche aber aufgrund der pauschalierten Vorgehensweise nicht möglich sind.

Für Holz bleibt der Vergleich unbefriedigend, da konkrete Vergleichsangaben nicht vorliegen.

Für Metalle liegen ebenfalls keine geeigneten statistischen Vergleichswerte vor, da das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ kein alleiniger Haupteinsatzbereich der Metalle Stahl, Aluminium und Zink ist und damit Rückschlüsse aus den Branchenstatistiken über Produktionsmengen nicht eindeutig möglich sind.

5.9.3 Materialbedarfe durch Vorleistungen in Infrastruktur

Bei der Abgrenzung der „Reichweite“ der Datenbasis des Stoffstrommodells wurde, in Abstimmung mit dem Auftraggeber, aus Gründen der Datenvereinfachung eine Konzentration vorgenommen auf die *direkten* Stoff- und Energieflüsse sowie Gütertransportdienstleistungsnachfragen, die sich aus dem gewählten Bedürfnisfeld ergeben. Diesem Kriterium entsprechend wurden die Systemgrenzen gewählt.

Eine potentiell große Nachfrage nach vor allem mineralischen Stoffen - und damit *zusätzliche Ressourcenbedarfe* - besteht für die Bereitstellung von Vorleistungen in allgemeine **Infrastruktur**, die durch Prozesse im ausgewählten Bedürfnisfeld sowie deren Vorketten in Anspruch genommen wird¹¹⁵.

Für die meisten Herstellungswege von Produkten und Baustoffen kann der direkte Aufwand zur *Erstellung* der Infrastruktur *vernachlässigt* werden, da der Massen- und Energieumsatz der Produktionsprozesse demgegenüber vergleichsweise hoch ist.

Für den Wohnungsbau wurden jedoch drei Bereiche identifiziert, in denen durch Infrastrukturvorleistungen hohe Bedarfe an mineralischen Stoffen bestehen, die aber aufgrund der gezogenen **Systemgrenzen** nicht im Stoffstrommodell bilanziert wurden¹¹⁶:

1. Transportsektor (Straßenbau)
2. Anliegerstraßen der Häuser
3. Einrichtung und Unterhalt in der Forstwirtschaft

Da der Transportsektor mit den öffentlichen Straßen-, Schienen- und Wasserstraßennetzen sehr komplex ist und keine allgemein akzeptierte Zuordnung von Herstellungsaufwand zu Transportleistung existiert¹¹⁷, wird für diesen Sektor keine Abschätzung vorgenommen.

Für die beiden anderen Infrastrukturvorleistungen soll an dieser Stelle der Bedarf an mineralischen Stoffen grob abgeschätzt werden, um die durch die Systemgrenze bedingten Abbildungsfehler zumindest größenordnungsmäßig zu identifizieren (vgl. auch Abschnitt 7.1).

¹¹⁵ Mit Infrastruktur sind hier die „passiven“ Elemente der Transport- und Produktionsprozesse gemeint, die *nicht notwendig* proportional zum Umsatz der Prozesse betrachtet werden können, also insbesondere die Materialvorleistung zur Herstellung der Transport- und Produktionsmittel inklusive der Wege (Trassen). Andere Beispiele sind Entsorgungssysteme (inkl. Trassen) und die Prozesse zur Bereitstellung „immaterieller“ Dienstleistungen wie Kommunikation, Kultur, Aus- und Weiterbildung sowie Soziales.

¹¹⁶ Demgegenüber werden vom Stoffstrommodell die Energieprozesse mit ihrer kompletten Infrastruktur (inkl. Trassen) bilanziert, da die hierzu notwendigen Daten im GEMIS-Modell (vgl. ÖKO 1996a) enthalten sind.

¹¹⁷ Vgl. dazu die noch immer gültige Diskussion der verschiedenen Ansätze zur Verkehrswegekostenrechnung im Endbericht zu GEMIS 2.1 (ÖKO 1994). Dieser Bericht ist als „virtueller Nachdruck“ auf der CDROM zu GEMIS 3.0 (vgl. ÖKO 1996a) und im Internet unter <http://www.oeko.de/service/gemis> erhältlich.

5.9.3.1 Materialbedarfe Anliegerstraße

Anliegerstraßen stellen den Übergang von Wohnung/Privatgrundstück zum öffentlichen Verkehrssystem dar und sind integraler Bestandteil eines Siedlungsgebietes. Für unsere Abschätzung gelten folgende Annahmen:

- Die Baugebiete sind nach Schachbrettmusterart in Blöcken von 5000 m² unterteilt, jeder Block besteht aus den einzelnen Bauparzellen und wird von einer Straße umgeben. Aus der Grundstücksgröße der Modell-Haustypen wird so der Straßenanteil je Grundstück und damit je Haustyp bzw. Wohnung ermittelt.
- Jedem Block wird die *anteilige Hälfte* der dem Block umschließenden Straße angerechnet. Die Straße ist 5 m breit und aus diversen Tragschichten¹¹⁸ mit einer Dicke von insgesamt 1,4 m aufgebaut. Bei einer durchschnittlichen Dichte von 2100 kg/m² resultiert ein Stoffaufwand von 2,9 t/m².

Für den Zubau ist der bilanzierte Stoffbedarf in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 41 Stoffbedarf der Szenarien durch nicht bilanzierte Infrastruktur

Zubau	Einheit	1995	REF 2020	SuB 2020
Grundstücksfläche	Mio m ² /a	132	142	77
Straßenfläche	Mio m ² /a	19	21	11,2
Stoffbedarf	Mio t/a	55	61	33

Das Verhältnis Straßen- zu Grundstücksfläche bleibt in allen Szenarien mit ca. 15 % relativ konstant. Der berechnete Stoffbedarf liegt zwischen rd. 30 und 60 Mio t/a *allein für den Zubau*¹¹⁹. Betrachtet man das Ergebnis im Verhältnis zum Sand- und Kiesbedarf von 104 Mio t/a (1995), so wird die Relevanz des Stoffbedarfes der Anliegerstraße für den Zubau deutlich.

Überträgt man das Verhältnis von Grundstücks- zu Straßenfläche auf den *Häuserbestand* in 1995, so kann aus der im Modell bilanzierten Grundstücksfläche von ca. 10.000 Mio m² eine Straßenfläche von 1.500 Mio m² und eine darin gespeicherte Stoffmenge von 4.500 Mio t abgeschätzt werden. Bei einer Lebensdauer von 20 bis 40 Jahren wird daher rechnerisch jedes Jahr eine Stoffmenge von 100 bis 200 Mio t/a potentiell rezykliert, entsorgt oder erneuert¹²⁰.

Die Abschätzung zeigt, daß dem Stoffeinsatz im Wohnungsbau (Hochbau) eine Stoffmenge **in der gleichen Größenordnung** gegenübersteht, die für die Erstellung der direkten Anbindung des Grundstücks aufgewendet werden muß. Neben der Betrachtung der Haustypen kommt daher der Siedlungsstruktur unter Mengengesichtspunkten eine ähnliche Bedeutung zu.

¹¹⁸ Zur Berechnung der Tragschichten siehe Öko-Institut (ÖKO1997a).

¹¹⁹ Je nach Aufbau der Straße kann der Stoffbedarf auch höher ausfallen.

¹²⁰ Der Anteil der bituminösen Tragschicht kann auf ca. 10 % abgeschätzt werden.

5.9.3.2 Materialbedarfe Forstwirtschaft

Der Zubau von Holzhäusern stellt eine Option des „materialextensiven“ Bauens dar, die im SuB-Szenario berücksichtigt wird. Für die Aufwendungen der Forstwirtschaft zur Errichtung und Pflege ihrer Infrastruktur liegen leider keine verfügbaren Daten¹²¹ vor. Zum Aufbau des Bestandes, der Pflege sowie dem Abtransport der Hölzer muß die Forstwirtschaft jedoch ein umfangreiches Netz an Wirtschaftswegen einrichten und unterhalten.

Diese Aufwendungen sollen hinsichtlich ihres Stoffbedarfs abgeschätzt und - vereinfacht - insgesamt dem Produkt Holz zugeordnet werden. Diese Allokation ist nicht unstrittig, da das Wegenetz auch weiteren Nutzungen (Erholung, Jagd etc.) direkt zur Verfügung steht. Für diese grobe Abschätzung gelten folgende Annahmen:

- Die Wirtschaftswegen sollen wiederum schachbrettartig angeordnet sein und Parzellen mit einer Rasterlänge von 300 m umfassen. Damit beträgt die Länge¹²² der Wirtschaftswegen 67 m/ha. Bei einem Abstand von 500 m ergibt sich pro Hektar eine Straßenlänge von 40 m. Für diese Abschätzung wird eine Länge von 50 m/ha angesetzt.
- Die Straßen sollen eine Breite von 3 m, eine Tiefe von 0,5 m und das Baumaterial eine Dichte von 2 t/m³ aufweisen. Die Straßen sollen alle 20 bis 40 Jahre erneuert werden.

Damit ergibt sich insgesamt ein Materialverbrauch von 7,5 t/(ha*a). Für Deutschland läge der Materialbedarf bei 40 bis 75 Mio t/a für die gesamte Forstwirtschaft, der aufgrund von Datenmangel leider nicht verifiziert werden konnte.

Die mittlere Erntemenge beträgt 4 m³/(ha*a), sodaß sich für das Produkt Holz ein Materialaufwand von 0,9 bis 1,8 t/m³ ergibt. Für das Jahr 1995 wurde ein Holzbedarf in den Szenarien von ca. 8 Mio m³/a berechnet, der damit indirekt einen Materialbedarf von 7 bis 14 Mio t/a herbeiführen könnte.

Der Holzbedarf für die im Modell bilanzierte Holzaußenwand von Wohnhäusern beträgt für Kantholz 27 kg/m² und für Faserplatten 18 kg/m². Werden die Verarbeitungsverluste mit einbezogen, berechnet sich ein Bedarf von 0,14 m³ Holz (Wald) pro m² Außenwand. Bezieht man jetzt den so kalkulierten Materialaufwand für den Wegebau auf die Außenwand, so errechnet sich ein spezifische Aufwand von 130 bis 255 kg/m².

Im Vergleich mit dem Materialaufwand¹²³ herkömmlicher Mauerwerke von 270 kg/m² (Porenbeton) bzw. 400 kg/m² (Kalksandstein), liegt auch hier der Stoffaufwand durch die Infrastrukturvorleistung in der gleichen Größenordnung wie der direkte stoffliche Bedarf.

Insgesamt besteht ein weitergehender Bedarf an Recherchen zum Bereich Infrastruktur.

¹²¹ Eine Berücksichtigung der Infrastruktur liegt explizit außerhalb der Systemgrenze des Prototyp-Modells (vgl. auch Abschnitt 7.1).

¹²² Für ein Quadrat der Länge 300m ergibt sich eine Fläche von 9ha und eine Straßenlänge von 4x300m zur Hälfte (4x300x0,5/9m/ha)

¹²³ jeweils ohne vorgelagerte Produktionskette, aber inklusive Mörtel und Putz

5.9.4 Indirekte Umweltbelastungen durch Transporte

Die direkten und indirekten Gütertransportnachfragen, die mit dem Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“ verknüpft sind, konnten im Rahmen des Forschungsvorhabens nur grob abgeschätzt werden. Damit sind auch die durch diesen Gütertransport bedingten Umwelt- und Ressourceninanspruchnahmen nur entsprechend vereinfacht ermittelbar, obwohl die *transportspezifischen* Kennwerte vergleichsweise gut bekannt sind¹²⁴.

Für den Fernverkehr¹²⁵ wird vom DIW aus statistischen Größen für die Branche „Steine und Erden“ eine Transportleistung von 49.000 Mio t*km angegeben, Angaben zur Branche „Hoch- und Tiefbau“ fehlen.

Die hier durchgeführte Modellierung weist inklusive der Transportleistung anderer Branchen¹²⁶ nur eine Leistung des Güterfernverkehrs inklusive Bahn und Binnenschiff von 4.364 Mio t*km aus (vgl. dazu näher im Anhangband).

Der Güternahverkehr wird vom Modell mit 17.600 Mio t*km bilanziert. Für den Güternahverkehr liegen keine Vergleichsdaten vor.

Der Vergleich zeigt eine deutliche Unterschätzung des Güterfernverkehrs im Modell.

Höherwertige Produkte der Branche Steine und Erden werden zum größten Teil im Wohnungsbau eingesetzt und im Modell (siehe Kap. 5.8.1) erfaßt. Außen vor bleiben allerdings fein- und grobkeramische Produkte und Betonfertigteile.

Einen Hinweis auf den Transport von den mengenmäßig relevanten Stoffen Sand und Kies im Fernverkehr gibt die Studie für den Regierungsbezirk Darmstadt (HLT 1997). Für diesen Bezirk werden ca. 60 % der Mengen importiert, d.h. aus anderen Bezirken, insbesondere Bayern und Baden-Württemberg (Karlsruhe) bezogen.

Eine Übertragung dieser Transportleistung auf die gesamte Bundesrepublik und damit in das Modell wurde zum einen wegen fehlender Daten anderer Gebiete und zum anderen aufgrund der besonderen Frankfurter Situation mit ihrer guten Schiffsanbindung verworfen.

¹²⁴ Die direkten Emissionsfaktoren für z.B. Lkw wurden nach GEMIS 3.0 angesetzt, dessen Werte aus einer gut abgesicherten Datenbank des Umweltbundesamts stammen. Auch die spezifischen Energiebedarfe der Gütertransportsysteme sowie die Umweltinanspruchnahme der Energiebereitstellung sind vergleichsweise gut bekannt.

¹²⁵ Gilt für Deutschland gesamt, Basisjahr 1988.

¹²⁶ z.B. Forstwirtschaft, Eisen und Stahl, Chemie, jedoch *ohne* Transportleistungen im Energiesektor und der dazu vorgelagerten Brennstoffbereitstellung im In- und Ausland.

5.9.5 Verifikation der Energiedaten im Stoffstrommodell

Neben Flächen- und Baustoffdaten kann auch der mit dem Stoffstrommodell berechnete Energiebedarf zum Heizen sowie die berechneten CO₂-Emissionen verifiziert werden.

Hierzu dient der Vergleich der berechneten Werte im Basisjahr sowie in den Szenario-Jahren für REF mit den Werten, die sich aus dem Szenario nach Prognos (1996) ergeben. Die folgende Tabelle zeigt zuerst den Endenergiebedarf zum Heizen im REF-Szenario, differenziert nach Energieträgern.

Tabelle 42 Endenergiebedarf zum Heizen im Stoffstrom-Modell (REF-Szenario)

Angaben in PJ	1995	2005	2020
Heizöl EL	684	686	650
Gas	602	757	912
Kohle*	119	69	5
Fernwärme	157	161	163
Strom	146	146	140
Summe*	1.708	1.819	1.870

* = ohne biogene Brennstoffe (Holz etc.)

Diese Werte können nun mit denen von Prognos (vgl. folgende Tabelle) verglichen werden.

Tabelle 43 Endenergiebedarf der Haushalte zum Heizen (nach Prognos 1996)

Angaben in PJ	1992	2005	2020
Heizöl EL	750	707	612
Gas	647	851	772
Kohle*	161	37	8
Fernwärme	140	150	143
Strom	116	143	143
Summe*	1.814	1.888	1.678

* = ohne biogene Brennstoffe (Holz etc.)

Wie diese Gegenüberstellung zeigt, liegt der Endenergiebedarf von REF gegenüber Prognos um kurz- und mittelfristig etwa 10% niedriger, langfristig (bis 2020) knapp 10% höher .

Bei der Struktur liegen REF und Prognos dicht beieinander, auch die Werte für Strom und Fernwärme werden tendenziell „richtig“ abgebildet.

Diese Unterschiede sind erklärbar:

- die im Stoffstrommodell verwendete, gegenüber Prognos differenziertere Haustypologie führt insgesamt zu einer **höheren** Endenergienachfrage und
- die im REF-Szenario gegenüber Prognos vereinfachte Zu- und Abgangsbetrachtung bei den Heizsystemen (Substitution) erhöht den Gasanteil zu Lasten von Kohle und Strom.

Die *strukturelle* Abbildungstreue des REF-Szenarios gegenüber Prognos zeigt sich nochmals deutlich, wenn die *Anteile* der Energieträger gegenübergestellt werden:

Tabelle 44 Struktur des Endenergiebedarf der Haushalte zum Heizen

	2005			2020	
	Prognos	REF		Prognos	REF
Heizöl EL	37%	38%		36%	35%
Gas	45%	42%		46%	49%
Kohle*	2%	4%		0%	0%
Fernwärme	8%	9%		9%	9%
Strom	8%	8%		9%	7%

* = ohne biogene Brennstoffe (Holz etc.)

In Ergänzung zu dieser Analyse können auch die heizungsbedingten CO₂-Emissionen als Gütemaßstab herangezogen werden.

Hierzu liegen aus dem UBA Berechnungen vor, die auf vollständig unabhängigen Datengrundlagen beruhen¹²⁷ - danach waren in 1992 rd. 145 Mio t CO₂ den Hausheizungen anzurechnen.

Das Stoffstrommodell ergibt für das Jahr 1995 demgegenüber rd. 148 Mio t CO₂, also eine durchaus vergleichbare Größenordnung.

¹²⁷ Diese unveröffentlichten Berechnungen von Herrn Rosolski (UBA- FG III 2.2) verwenden Daten der Energiebilanz, CORINAIR-Daten sowie eigene Abschätzungen und beruhen nicht auf „bottom-up“-Analysen.

6 Stoffflußbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der Nachhaltigen Entwicklung: Fallbeispiel „Bauen und Wohnen“

Nach der ausführlichen Ergebnisdarstellung im vorigen Abschnitt wird im folgenden eine Diskussion der Ergebnisse vor dem Hintergrund der Projektfragestellung gegeben.

6.1 Diskussion der methodischen Ergebnisse

Die im Forschungsvorhaben entwickelte Methodik der bedürfnisfeldorientierten Stoffstromanalyse und modellgestützten Szenarienberechnung wurde anhand des Fallbeispiels „Bauen und Wohnen“ auf seine Anwendbarkeit und Aussagekraft hin überprüft. Bezogen auf die Modellierung und die Szenariodefinition ergeben sich folgende wesentliche Ergebnisse:

- Das „akteursorientierte Schalenkonzept“ der Datenbasis des Stoffstrommodells ist als Struktur geeignet, auch komplexe Sachverhalte in übersichtlicher Form dem jeweiligen Spezialwissen einzelner Akteursgruppen gemäß aufzubereiten und bei Bedarf gezielt anzupassen. Durch die Unterscheidung in die *Mikroebene* für Details auf der Angebots- und Nachfrageseite sowie die *Makroebene* für übergreifende Annahmen sind auch gewünschte Änderungen von Szenarien im Modell vergleichsweise einfach zu realisieren¹²⁸.
- Das vorgelegte Referenz-Szenario als „Meßlatte“ für alternative Entwicklungen im Bedürfnisfeld kann aufgrund der Datenbasis für die ersten Jahre (bis max. 2000) sinnvolle *prognostische* Aussagen liefern. Danach leidet die Aussagegüte vor allem an der Datenlage zur stofflichen Zusammensetzung des Gebäudebestands.
- Ein Vergleich der Stoffflüsse auf der Ebene der Baustoffe für das Referenzszenario im Jahr 1995 zeigt für viele Baustoffe gute Übereinstimmungen mit statistischen Daten oder Verbandsangaben und damit eine hohe Aussagegüte an.
- Das Stoffstrommodell liefert auf Grundlage der verfügbaren Datenbasis vor allem **komparative Aussagen zwischen** den Szenarien als belastbare Ergebnisse.
- Die Resultate der Szenarien lassen sich mit dem Modell beliebig genau disaggregieren, sodaß sogar die Effekte **einzelner Maßnahmen bei einzelnen Haustypen oder einzelnen Prozessen in einzelnen Jahren** ermittelt werden können. Am Beispiel einer Einzelmaßnahme sowie eines Maßnahmebündels auf der Nachfrageseite des SuB-Szenarios wurde gezeigt, daß diese Möglichkeit der entwickelten Methodik auch für die **Wirksamkeitsanalyse** von „Eingriffen“ verwendbar ist und dort interessante Aussagen liefert.
- Als **akteursorientierte** Disaggregation bietet das Stoffstrommodell die Option, alle Ergebnisse von Szenarien einzelnen Gruppierungen zuzurechnen, wobei sich die Gruppierungen derzeit an der üblichen nationalen Branchenuntergliederung orientieren.

Insgesamt hat sich die entwickelte Methodik und das als Prototyp realisierte Stoffstrommodell als anwendbar gezeigt und seine Nützlichkeit bei der Operationalisierung eines nationalen Konzepts der nachhaltigen Entwicklung am Beispiel „Bauen & Wohnen“ demonstriert.

¹²⁸ Die im Projekt identifizierten Möglichkeiten zur Verbesserungen der NutzerInnen-Schnittstelle wird im Abschnitt 7.3 eingegangen.

6.2 Diskussion der Szenarioergebnisse: Reduktionspotentiale und Umweltziele

Die im vorigen Abschnitt ausführlich dargestellten Einzelergebnisse der Szenarien sollen im folgenden kurz unter dem Aspekt der Reduktionspotentiale für Umweltinanspruchnahmen diskutiert werden¹²⁹. Hierzu werden die Unterschiede bei der Umwelt- und Ressourceninanspruchnahme zwischen den Szenarien bestimmt und tabellarisch dargestellt.

Da die Reduktionspotentiale vom Bezugszeitpunkt abhängen, werden sie getrennt für die Jahre 2005 und 2020, jeweils bezogen auf das REF-Szenario, wiedergegeben.

Tabelle 45 Reduktionspotentiale im Jahr 2005 für ausgewählte Rohstoffe, Emissionen und Flächen in den Szenarien „Bauen und Wohnen“ gegenüber dem REF-Szenario

	EFF	SuB	Einheit
bebaute Fläche	0	-10,9	Mio m ²
Grundstücksfläche	0	-65,8	Mio m ²
Gips	0	0,1	Mio t/a
Ton	-0,7	-2,4	Mio t/a
Kies	0,0	-4,7	Mio t/a
Sand (ohne Quarzsand)	1,0	-6,3	Mio t/a
Kalkstein	0,8	0,7	Mio t/a
Holz (nur Bauholz)	0,3	1,6	Mio t/a
CO ₂	-42,5	-46,0	Mio t/a
SO ₂	-30,4	-32,1	1.000 t/a
NO _x	-34,9	-41,7	1.000 t/a
Bauschutt	1,1	1,1	Mio t/a
Bodenaushub	0,0	-18,5	Mio t/a
Produktionsabfälle	-1,7	-1,9	Mio t/a
Abraum	-63,2	-66,8	Mio t/a

Bis zum Jahr 2005 vermeidet das EFF-Szenario keine Flächeninanspruchnahme gegenüber REF, während SuB bei der bebauten Fläche immerhin knapp 11 Mio m² und bei der Grundstücksfläche rund 66 Mio m² gegenüber REF einspart.

¹²⁹ Zur Darstellung der Reduktionspotentiale einzelner Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel am Beispiel des Szenarios SuB vgl. Abschnitt 5.7.

Durch das EFF-Szenario können bis 2005 gegenüber REF knapp 1 Mio t/a Ton eingespart werden, in SuB steigt dies auf über 2 Mio t/a an, wobei noch rund 5 Mio t/a Kies und 6 Mio t/a Sand hinzukommen. Dem steht in SuB ein Mehrbedarf an Bauholz von 1,6 Mio t/a gegenüber, während EFF nur 0,3 Mio t/a mehr als REF benötigt.

Beim Treibhausgas CO₂ und den sauren Schadstoffen kann EFF gegenüber REF im Jahr 2005 über 42 Mio t/a CO₂ und 30.000 t/a SO₂ bzw. 35.000 t/a NO_x reduzieren, während in SuB diese Werte auf knapp 46 Mio t/a an CO₂, rund 32.000 t/a SO₂ sowie rund 42.000 t/a NO_x ansteigen.

Bei den festen Reststoffen erzielt EFF gegenüber REF im Jahr 2005 keine Einsparung beim Bodenaushub, dagegen aber knapp 2 Mio t/a beim Produktionsabfall und über 63 Mio t/a beim Abraum, während beim Bauschutt eine leichte Zunahme um 1,1 Mio t/a auftritt. Das SuB-Szenario liegt bei den Reduktionspotentialen gegenüber REF im Jahr 2005 etwa gleich wie EFF bei Bauschutt, Produktionsabfall und Abraum, erzielt aber beim Bodenaushub eine Reduktion um 18,5 Mio t/a.

Die Ergebnisse für das Jahr 2020 als Endpunkt des Szenariohorizonts zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 46 Reduktionspotentiale im Jahr 2020 für ausgewählte Rohstoffe, Emissionen und Flächen in den Szenarien „Bauen und Wohnen“ gegenüber dem REF-Szenario

	EFF	SuB	Einheit
bebaute Fläche	-	-128	Mio m ²
Grundstücksfläche	-	-821	Mio m ²
Gips	-	0,1	Mio t/a
Ton	- 1,9	-5,6	Mio t/a
Kies	0,1	-11,2	Mio t/a
Sand (ohne Quarzsand)	- 0,1	-16,9	Mio t/a
Kalkstein	0,5	-0,2	Mio t/a
Holz (nur Bauholz)	0,2	1,8	Mio t/a
CO ₂	-86,5	-94,6	Mio t/a
SO ₂	- 36,7	-40,6	1.000 t/a
NO _x	-60,3	-74,5	1.000 t/a
Bauschutt	0,5	0,5	Mio t/a
Bodenaushub	-	- 39,7	Mio t/a
Produktionsabfall	- 2,9	-3,3	Mio t/a
Abraum	- 96,2	- 104,6	Mio t/a

Auch im Jahr 2020 vermeidet das EFF-Szenario keine Flächeninanspruchnahme gegenüber REF, während SuB bei der bebauten Fläche rund 128 Mio m² und bei der Grundstücksfläche rund 821 Mio m² gegenüber REF einspart.

Das EFF-Szenario vermeidet in 2020 gegenüber REF rund 2 Mio t/a Ton, in SuB steigt dies auf knapp 6 Mio t/a, wobei noch über 11 Mio t/a Kies und knapp 17 Mio t/a Sand hinzukommen. Dem steht in SuB ein Mehrbedarf an Bauholz von rd. 2 Mio t/a gegenüber.

Beim Treibhausgas CO₂ und den sauren Schadstoffen reduziert EFF gegenüber REF im Jahr 2020 über 85 Mio t/a CO₂ und 37.000 t/a SO₂ bzw. 60.000 t/a NO_x, während in SuB diese Werte auf knapp 95 Mio t/a an CO₂, rund 40.000 t/a SO₂ sowie rund 74.000 t/a NO_x steigen.

Bei den festen Reststoffen erzielt EFF gegenüber REF im Jahr 2020 keine Reduktion beim Bodenaushub, dagegen aber rund 3 Mio t/a beim Produktionsabfall und über 96 Mio t/a beim Abraum, während beim Bauschutt eine leichte Zunahme um 0,5 Mio t/a auftritt. Das SuB-Szenario liegt bei den Reduktionspotentialen gegenüber REF im Jahr 2020 etwa gleich wie EFF bei Bauschutt, Produktionsabfall und Abraum, erzielt aber beim Bodenaushub eine Reduktion um fast 40 Mio t/a.

Die o.g. Reduktionspotentiale bezogen sich stets auf die Werte, die im jeweiligen Jahr im Referenz-Szenario ermittelt wurden. Reduktionspotentiale im engeren Sinne beziehen sich jedoch auf das Basisjahr, d.h. die Ausgangssituation im Jahr 1995.

Tabelle 47 Reduktionspotentiale in 2005 und 2020 für ausgewählte Rohstoffe, Emissionen und Flächen in den Szenarien „Bauen und Wohnen“ gegenüber 1995

	in 2005 bez. auf 1995			in 2020 bez. Auf 1995			Einheit
	REF	EFF	SuB	REF	EFF	SuB	
bebaute Fläche	444	444	428	963	963	823	Mio m2
Grundstücksfläche	1.272	1.272	1.206	2.700	2.700	1.879	Mio m2
Gips	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,1	Mio t/a
Ton	0,4	-0,3	-2,0	-0,7	-2,5	-6,2	Mio t/a
Kies	1,7	1,7	-3,0	-0,1	-0,1	-11,3	Mio t/a
Sand (o. Quarzsand)	2,9	4,0	-3,4	-0,6	-0,7	-17,5	Mio t/a
Kalkstein	0,2	1,0	0,9	-0,2	0,3	-0,4	Mio t/a
Holz (nur Bauholz)	0,1	0,4	1,7	-0,2	0,0	1,6	Mio t/a
CO ₂	-10	-53	-56	-40	-127	-135	Mio t/a
SO ₂	-90	-120	-122	-210	-246	-250	1000 t/a
NO _x	-15	-50	-56	-64	-124	-138	1000 t/a
Bauschutt	9,5	10,6	10,6	48,3	48,8	48,7	Mio t/a
Bodenaushub	4,4	4,4	-14,0	0,2	0,2	-39,6	Mio t/a
Produktionsabfälle	-1,0	-2,7	-2,9	-2,6	-5,5	-5,9	Mio t/a
Abraum	-12,8	-76,0	-79,6	-42,3	-138,5	-146,9	Mio t/a

Diese Darstellung zeigt sehr deutlich, daß bei den Flächen und bei Bauschutt bei **keinem** Szenario eine Reduktion **gegenüber dem Basisjahr** auftritt, also keine Netto-Entlastung. Dagegen findet in allen Szenarien eine Reduktion von CO₂-, SO₂- und NO_x-Emissionen statt, die allerdings sehr unterschiedlich ausgeprägt ist.

Neben der quantitativen Darstellung der Reduktionspotentiale interessiert die Erreichung der Umwelthandlungsziele durch die Szenarien (vgl. Abschnitt 1.2). Hierzu gibt die folgende Tabelle nochmals einen Überblick.

Tabelle 48 Erreichung der Umwelthandlungsziele in den Szenarien „Bauen und Wohnen“

Umwelthandlungsziel	REF	EFF	SuB
Ressourcen: - Gips regional (noch offen)	geringe Reduktion bis 2020	geringe Reduktion bis 2020	geringe Steigerung bis 2020
Ressourcen: - Kies, Sand, Ton (keine)	geringe Reduktion bis 2020	geringe Reduktion bis 2020	<u>starke</u> Reduktion bis 2020
Treibhauseffekt: - CO ₂ -Reduktion 25% bis 2005	wird <u>nicht</u> erreicht ! (< 10% bis 2005)	wird erreicht, bis 2020 rund 60% !	wird erreicht, bis 2020 über 60% !
Versauerung: SO ₂ -Reduktion 87% bis 2005 NO _x -Reduktion 30% bis 1998	wird erreicht wird <u>nicht</u> erreicht	wird erreicht wird <u>knapp</u> erreicht	wird erreicht wird <u>knapp</u> erreicht
Abfälle/Reststoffe: Bauabfälle 50% Recycl. bis 2005	<i>nicht ermittelt</i> Bauschutt steigt Bodenaushub + Produktionsabfälle sinken leicht, Abraum <u>sinkt stark</u>	<i>nicht ermittelt</i> Bauschutt steigt Bodenaushub + Produktionsabfälle sinken leicht, Abraum <u>sinkt stark</u>	<i>nicht ermittelt</i> Bauschutt steigt Bodenaushub + Produktionsabfälle + Abraum <u>sinken stark</u>
Flächeninanspruchnahme: Reduktion Versiegelung auf 10% bis 2010	wird <u>nicht</u> erreicht	wird <u>nicht</u> erreicht	wird <u>nicht</u> erreicht, aber Senkung gegenüber REF/EFF

Damit lassen sich die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Im **Referenz-Szenario** wird keines der herangezogenen Umwelthandlungsziele erreicht, die Nachhaltigkeit der „weiter-so“-Entwicklung im Bereich Bauen und Wohnen ist damit **grundsätzlich nicht** gegeben.
- Im **Effizienz-Szenario** können *einige* der als Referenzsysteme herangezogenen Umwelthandlungsziele erreicht werden, insbesondere die zur Versauerung und zum Treibhauseffekt, jedoch sind im Bereich der mineralischen Rohstoffe sowie der Flächennutzung und Reststoffe **keine nennenswerten Entlastungen** erreichbar.
- Das **SuB-Szenario** erreicht über EFF hinaus auch im Bereich der Flächen, Reststoffe und Ressourcen einen hohen Zielerfüllungsgrad, ohne Umweltbelastungen ins Ausland zu exportieren.

- Alle Szenarienergebnisse sind durch die hohe Trägheit des Gebäudebestands gekennzeichnet, durch die selbst relativ weitgehende Maßnahme erst mittel- und längerfristig wirken.
- Die Maßnahmen zum **verstärkten gebäudeseitigen Wärmeschutz auch im Bestand** sind das wesentlichste Element zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“, während die Maßnahmen zur Änderung der stofflichen Charakteristik des Neubaus den spürbarsten Effekt **auf die Ressourcenbedarfe** aufweisen.
- Die Änderung der Haustypen im Zubau in Richtung flächensparender Varianten sowie die „Umverteilung“ von Wohnraum zwischen älteren alleinstehenden BürgerInnen und jüngeren, größeren Haushalten im SuB-Szenario wirkt sich **dämpfend** auf die Flächeninanspruchnahme aus, kann jedoch den absoluten Anstieg durch die gesamte Nachfrageentwicklung **nicht** kompensieren.

Der Vergleich der Reduktionspotentiale mit Umwelthandlungszielen zeigt, daß weder das REF- noch das EFF-Szenario geeignet sind, eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung des Bedürfnisfeldes „Bauen und Wohnen“ zu erreichen. Nur das SuB-Szenario stellt wesentliche „Bausteine“ einer solchen Entwicklung bereit.

Da einerseits quantifizierte Umwelthandlungsziele für wesentliche Umweltproblemfelder noch fehlen (Ressourcen) oder erst ansatzweise diskutiert werden (Flächen) und andererseits die bestehenden Umwelthandlungsziele nur **erste Etappenziele** darstellen, ist die im vorliegenden Forschungsvorhaben durchgeführte exemplarische Anwendung der Methodik und des Modells als Werkzeug im Prozeß der Diskussion mit beteiligten Akteuren **nur als Einstieg in die Debatte** um ein nationales Konzept zur nachhaltigen Entwicklung im Fallbereich „Bauen und Wohnen“ zu verstehen:

- Umwelthandlungsziele müssen hinsichtlich der „vorgelagerten“ Umweltinanspruchnahmen durch Importe erweitert werden, zumindest bei den global wirksamen Treibhausgasemissionen. Unter dem Gesichtspunkt der Gerechtigkeit sollten jedoch auch solche durch nationale Nachfragen bewirkte Umweltinanspruchnahmen im Ausland einbezogen werden, die eher regionalen Charakter aufweisen (Reststoffe, saure Schadgase).
- Die Ressourceninanspruchnahme muß einerseits regionalisiert werden (Konflikte um mineralische Lagerstätten), andererseits differenzierter auf Qualitäten eingehen (z.B. Holz aus „nachhaltigem Anbau“).
- Die Maßnahmen zur **Senkung des Anstiegs** beim Flächenbedarf im SuB-Szenario können nur der Beginn einer „nachhaltigeren“ Bauwirtschaft sein, da sie den nachfragebedingten Anstieg der Flächenversiegelung nicht kompensieren, sondern nur reduzieren können. Es ist unbedingt erforderlich, eine gezielte Strategie zum Ersatz von Wohnraumbedürfnissen im Neubaubereich durch Sanierung und „Aktivierung“ des Bestands zu entwickeln.

In Anbetracht der vergleichsweise langfristigen Bindungen durch Wohnbautätigkeiten müssen diese Überlegungen und Politikentwicklungen möglichst bald erfolgen, um eine mittelfristige Wirkung im Bereich Bauen und Wohnen entfalten zu können.

6.3 Umsetzungsrelevante Bausteine zur dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung im Bereich „Bauen und Wohnen“

Abschließend soll diskutiert werden, welche der in den Szenarien angenommenen Maßnahmen und Maßnahmenbündel vor dem Hintergrund ihrer Relevanz für die o.g. Ergebnisse als umsetzungsrelevant betrachtet werden können.

Wesentlich ist dabei, daß mit dem Stoffstrommodell alle Ergebnisse den Akteursgruppen in- und außerhalb des Bedürfnisfelds „Bauen und Wohnen“ zugerechnet werden können, wobei das Stoffstrommodell eine Zuordnung zu den wirtschaftlichen Gruppen anbietet¹³⁰.

Als wichtige „Bausteine“ und Handlungsschwerpunkte konnten aus der Szenarioanalyse für das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ folgende Punkte identifiziert werden:

6.3.1 Erhöhung der Energieeffizienz

Neben der Effizienzsteigerung bei der Herstellung von Baustoffen bleibt die Verringerung des Energieeinsatzes zur Wärmebereitstellung in Wohnungen das wichtigste Instrument zur Reduktion von Treibhausgasen - die Szenarioanalyse auf der disaggregierten Ebene der wirtschaftlichen Gruppierungen zeigt dies sehr deutlich (vgl. Abschnitt 5.5).

Beim Neubau kann eine weitere Senkung des Heizwärmebedarfes durch Einführung des NEH-Standards erzielt werden, die dahingehenden Überlegungen zur Novellierung der Wärmeschutzverordnung sollten entsprechend zügig umgesetzt werden. Dabei ist zu beachten, daß durch erhöhten Wärmeschutz **im Neubau** keine nennenswerte Absatzeinbuße bei einzelnen Baustoffen (z.B. Ziegel) eintritt, sondern durch verbesserte Materialien und Kombinationsangebote *grundsätzlich alle Hersteller* Optionen haben, ihren Marktanteil zu stabilisieren.

Zur **mittelfristig notwendigen Reduktion von Treibhausgasemissionen ist allerdings die wärmetechnische Sanierung und Nachrüstung des Wohnungsbestandes unumgänglich**. Aufgrund der Trägheit des Bestandes durch lange Sanierungszyklen sollte hier ein **Handlungsschwerpunkt** gesetzt werden: sowohl die Eigentümer von Mietwohnungen als auch die privaten Eigentümer von Ein- und Zweifamilienhäusern müssen durch attraktive Angebote (z.B. zinsvergünstigte Darlehen, „NegaWatt“-Contracting, verstärkte Beratung durch Handwerk) unterstützt werden, da die derzeitige und absehbare Energiepreissituation keinen eigenen Anreiz zu verstärktem Wärmeschutz im Bestand bietet.

Bei den Heizanlagen ist der zügige Ersatz von Heizanlagen mit fossilen Festbrennstoffen durch solche, die Erdgas und Fernwärme nutzen, voranzutreiben.

6.3.2 Einsatz „neuer“ Baustoffe

Unter dem Gesichtspunkt „Einsparung endlicher Ressourcen“ ergibt sich ein klarer Bonus für den Einsatz von **Holz** als Baustoff.

¹³⁰ Zu den ökonomischen Aspekten der Umsetzung von Maßnahmen durch Akteure vgl. auch den Exkurs von Brigitte Peter zur Stoffstromökonomie im Anhangband.

Holz wird im traditionellen Wohnungsbau zur Errichtung von Dachstühlen und in Decken verwendet. Für den 1-2-Familienhausbau besteht über die bisherigen Ansätze hinaus die Perspektive der Ausweitung des Holzbaus. Da die hierdurch hervorgerufene Nachfrage dem qualitativen Mix des deutschen Wirtschaftswaldes entspricht, könnte die in SuB unterstellte zusätzliche Bauholznachfrage aus heimischen Beständen gedeckt werden. Quantitativ erhöht sich die Nachfrage entsprechend der Szenarienrechnung um ca. 10-15 %.

Die wichtigsten Akteure in diesem Bereich sind einerseits die Forstwirtschaft, die durch entsprechende Angebote und Logistik die potentielle Nachfrage mobilisieren kann - andererseits sind aber **Pioniermärkte** für Holzständerbauweise notwendig, um zumindest regional die Vorteile einer solchen „neuen“ Bauweise auch für die Rohstofflieferanten tatsächlich zu realisieren. Hier können Wohnungsbaugesellschaften sowie entsprechende Maßnahmen der Kommunen helfen, den Absatz hochwertiger Holzprodukte regional abzusichern und dabei gleichzeitig Arbeitsplätze in dieser Branche zu erhalten.

6.3.3 Nutzungserhalt und Recycling statt Downcycling

Bei **Bauschutt** resultiert das Aufkommen von zur Zeit ca. 24 Mio t/a zu ca. 70 % aus Sanierungsmaßnahmen und nur zu 30 % aus Abrißtätigkeiten. Treten die in den Szenarien angesetzten Abrißraten ein, wird sich mittelfristig das Bauschutttaufkommen auf mit ca. 72 Mio t/a **mehr als verdreifachen**.

Für Bauschutt ist neben der Deponierung derzeit nur ein Recycling als Straßenbaumaterial durchführbar - also eine Verwertung außerhalb des (Hoch)Bausektors.

Als mögliche Maßnahmen sind prioritär die Sanierung und damit **Erhalt von zum Abriß bestimmten Häusern** sowie das weitergehende Recycling der Baumaterialien erforderlich.

Die von der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ geforderte Erhaltung von Bausubstanz **anstelle** von Neubau geht in diese Richtung, kann jedoch aufgrund offener Umsetzungs- und Akzeptanzfragen sowie fehlendem Datenhintergrund zur Abrißtätigkeit derzeit nicht quantitativ in Szenariorechnungen berücksichtigt werden.

Um die Reichweite der Bestandserhaltung im Sinne von Umwelthandlungszielen zu ermitteln, ist hier unbedingt **weitere Forschungsarbeit** notwendig, die schnell zur Klärung der offenen Fragen führen sollte.

Im Bereich des Recyclings von Baustoffen sind alle Hersteller derzeit bemüht, Technologien und Logistik zu entwickeln, um **künftig** anfallende Reststoffe direkt weiterzuverarbeiten.

Mittelfristig stellen jedoch die Abgänge aus Nachkriegsbauten die Hauptmenge des anfallenden Bauschutts dar, die durch diese neuen Technologien kaum reduziert werden kann.

Daher sollten Maßnahmen zum Bestandserhalt und zur Wohnraumaktivierung aus dem Bestand (Um- und Ausbau) eine klare Priorität erhalten.

6.3.4 Material- und flächenextensiver Neubau

Im Rahmen des SuB-Szenarios wurden verschiedene Möglichkeiten zur **Einsparung von Baustoffen und Ressourcen** angenommen, die überwiegend auf einer Kombination aus kompakterer Bauweise, „kellerlosem“ Bauen und Ausdehnung des Holzbaus bestehen.

Diese Maßnahmen führen im Neubau zu einer deutlichen Reduktion des Bedarfs an Baumaterialien und damit indirekt auch zur Senkung der Inanspruchnahme mineralischer Rohstoffe.

Die exemplarische Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen im SuB-Szenario zeigte klar, daß im Neubaubereich die Option „Kellerloses Haus“ eine erhebliche Wirkung erzielen könnte, selbst wenn vorsichtige Annahmen zur Umsetzung verwendet werden (vgl. Abschnitt 5.7).

Diese - im benachbarten Ausland durchaus übliche - Bauweise setzt geändertes Nutzerverhalten voraus, geht aber tendenziell in Richtung „kostengünstiges Bauen“. Die potentiell erfolgreichen kompensatorischen Maßnahmen von Bewohnern solcher „kellerlosen“ Häuser (z.B. verstärkte Errichtung/Nutzung von Nebengebäuden) konnten im vorliegenden Projekt nicht näher untersucht werden, sollten aber bei einer entsprechenden Politik zur Förderung materialarmer Neubauten unbedingt parallel ermittelt werden.

6.3.5 Per „Umzug“ zum flächenarmen Haustypen-Mix ?

Die traditionelle Bevorzugung des freistehenden Einfamilienhauses macht bei Beibehaltung dieses Trends eine weitere **Flächeninanspruchnahme** unumgänglich - dies zeigen die Szenarien REF und EFF sehr deutlich.

Möglichkeiten zur Verminderung der Flächeninanspruchnahme bietet die Ausweisung einer kompakteren Bebauung. Zusätzlich können weitere Maßnahmen helfen, die Nachfrage nach Einfamilienhäusern zu dämpfen: Der zukünftig weiter wachsende Anteil an alleinstehenden, älteren Bewohnern von großen Einfamilienhäusern läßt den Wohnungsbedarf immer weiter ansteigen. Der Anstieg ist dabei mehr durch Tradition und fehlende Alternative bedingt als durch „echte“ Nachfrage. Hier bietet sich die Gelegenheit, durch entsprechende Angebote¹³¹ Mobilität im Sinne von Umzug zu erzeugen und Neubau zu vermeiden.

6.3.6 Nachhaltiges Bauen und Wohnen: Mehr als Haus und Heizung

Schließlich wird „nachhaltiges Bauen und Wohnens“ nicht nur durch Eigenschaften des „Rohbaus“ und des installierten Heizsystems erreicht. Auch die Problematik von Umwelt Risiken durch Wohntextilien, Bauhilfsstoffe (z.B. Kleber, Farben) sowie das sozial-kulturelle Wohlbefinden sind von großer Bedeutung. Diese Gesichtspunkte konnten im Rahmen des Projekts nicht betrachtet werden. Eine dauerhaft-umweltgerechte Strategie im Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ erfordert jedoch auch eine Mikroanalyse, die mehr umfaßt als die Betrachtung der großen Stoffströme. Human- und Ökotoxizität, Nachbarschaft und kulturelle Infrastruktur sind wichtige Fragen in einem ganzheitlichen, bedürfnisfeldorientierten Ansatz, den es in den nächsten Jahren aktiv auszugestalten gilt.

¹³¹ Siehe auch „Altersgerechtes Wohnen - Kundenbefragung“ in Hannoversche Berichte, Heft 76, Hannoversche Leben, Hannover Oktober 1997.

7 Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Der weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarf konnte direkt aus der Arbeit mit dem Modell und der fruchtbaren Diskussion mit Projektbeteiligten, Beiratsmitgliedern und Verbandsvertretern abgeleitet werden. Hierbei ergaben sich drei Schwerpunkte:

- Verbesserung der Datengrundlage des Modells
- Anwendungen des Modells
- Verbesserungen des Modells

Im folgenden wird der identifizierte F&E-Bedarf für diese Schwerpunkte näher dargestellt.

7.1 Verbesserung der Datengrundlagen

Für den Bestand an Wohnraum besteht eine statistische Gliederung sowie eine erste Systematisierung hinsichtlich ihres Heizwärmebedarfes. Die stoffliche Charakterisierung des Bestandes mußte sich innerhalb dieses Projektes an die bestehende Klassifizierung anlehnen und konnte nur auf rudimentäre Daten zurückgreifen. Die (bau)stoffliche Beschreibung des Bestandes bleibt daher in ihrer Qualität deutlich hinter den anderen Teilen der Datengrundlage zurück. Hier wird dringender Forschungsbedarf gesehen.

Der Einbezug der für den Wohnungsbau notwendigen Infrastruktur war nicht Bestandteil des Projektes - erste Abschätzungen zeigen jedoch, daß sowohl für die Flächen- als auch für die Materialintensität die Infrastruktur eine hohe, wenn nicht sogar in Einzelfällen die maßgebende Rolle zufällt. Dies sollte in naher Zukunft intensiver erforscht werden.

Zu den Transportaufwendungen der Baustoffe liegen keine umfassenden Angaben vor. Einzig für den Fernverkehr sind die Aufwendungen für Branchen verfügbar. Für den Bausektor sind allerdings insbesondere die Transporte der Massengüter im Nahbereich entscheidend, um den Gesamtumfang der Verkehrsleistung zu beurteilen. Hier fehlt es an einer dezidierten Aufstellung der Transportleistungen für einzelne Massenbaustoffe.

Die Beschreibung der Effizienzsteigerung bei allen Prozessen basiert bislang auf allgemein zugänglichen Literaturdaten. Dabei sind nur die für die Volkswirtschaft maßgebenden Bereiche hoher Energieintensität betrachtet worden. In Verbandsgesprächen konnte aber durchaus die Erkenntnis gewonnen werden, daß auch für Baustoffe **Zukunftstechnologien** entwickeln werden, die sowohl die Energieeffizienz erhöhen als auch insbesondere die Materialintensität gegenüber den heute gebräuchlichen Baustoffen verringern und zu einer anderen Bewertung führen können. Hier können neue Entwicklungen zu hochwärmedämmenden, sehr leichten Steinen sowie ein baustoffadäquates Recycling wichtige Impulse geben.

Unter dem Stichwort „Regionalisierung“ kann sowohl die Teilbetrachtung von Regionen angeführt werden als auch die weitere Disaggregation von Daten. Die Stoffstromanalyse sollte im Hinblick auf eine **regionenspezifische Differenzierung** weiterentwickelt werden, da eine Reihe von Ressourcenproblemen und Umweltproblemen regional deutlich unterschiedlich ausgeprägt sind (z.B. Flächeninanspruchnahme, einheimische Ressourcen).

Bei Rohstoffen sollte bei der Datenerfassung und -darstellung stärker differenziert werden, sowohl regionenspezifisch (z.B. Holz aus tropischen, borealen, temperierten Zonen) als auch zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen (z.B. Naturgips, REA- und synthetische Gipse)

7.2 Anwendungen des Stoffstrommodells

Durch die starke Aufgliederung der Datengrundlage mit ihrer hohen Flexibilität kann das vorliegende Stoffstrommodell als **Instrument zur Beratung von Akteuren** auf nationaler oder regional/lokaler Ebene dienen. Hier ist insbesondere eine Verknüpfung mit dem oben (Abschnitt 7.1) aufgeführten Punkt Zukunftstechnologien sinnvoll.

Da branchenübergreifende Stoffströme analysiert werden können und das Modell einen hohen integrativen Charakter aufweist, ist es für akteursbezogene Anwendungen, z.B. als Unterstützung von Akteursgruppen bei der Aufstellung eigener Umwelt(handlungs-)ziele sowie beim prospektiven Monitoring von branchenbezogenen Selbstverpflichtungen geeignet.

Nach der erfolgreichen Durchführung einer Stoffstromanalyse für das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ ist eine Anwendung auf weitere Bedürfnisfelder in Betracht zu ziehen, wobei hinsichtlich Umweltrelevanz und Datenlage insbesondere die Bereiche (private) Mobilität, langlebige Konsumgüter sowie Ernährung/Landwirtschaft als interessante Anwendungsfelder in Frage kommen.

7.3 Verbesserungen des Stoffstrommodells

Das Stoffstrommodell wurde als Prototyp entwickelt und ist voll funktionsfähig. Es wurde jedoch nur für den Expertengebrauch („In-Door“-Phase) mit interner Modellkenntnis konzipiert. Derzeit ist es Nutzern nur mit erheblichem Einarbeitungsaufwand möglich, konsistente neue (eigene) Szenarioannahmen in das Modell einzufügen. Um der Umsetzungsorientierung des Modells in Richtung Akteure gerecht zu werden, ist jedoch eine möglichst gute Verbreitung in Fachkreisen notwendig, die nicht alleine auf erfahrene Spezialisten zielt. Zur Unterstützung von weiteren Anwendern ist daher eine Erweiterung des EDV-Instrumentes notwendig.

Die hier vorgeschlagenen Verbesserungen am Modell dienen auch dazu, den derzeitigen Status eines Prototyps zu verlassen.

7.3.1 Verbesserung der Nutzerschnittstelle

Zur Unterstützung der erweiterten Modellnutzung sind eine Reihe von Verbesserungen notwendig, die Ein- und Ausgaberroutinen sowie die Handhabung betreffen:

- benutzerfreundliche Parametersetzung zur Szenariendefinition: Alle Annahmen und gesetzten Parameter sollen in einer Anzeige aufgelistet werden.
- benutzerfreundlicher Vergleich eigener Daten mit Originalwerten: Bei Änderung der Eingabedaten werden Szenarienergebnisse im REF, EFF und SuB mit den 3 Original-Szenarien vergleichend dargestellt und Veränderungen farblich markiert.
- direkte Hilfe zum Umgang mit dem Programm: Eine Online-Hilfe soll in allen wesentlichen Bereichen zur Verfügung gestellt werden, Beispiele und Hilfestellungen sollen durch das Programm führen.

- Unterstützung bei der Schwachstellenanalyse: Mit Hilfe von **Analysetools** (z.B. Prozeßbaum zur Identifizierung von Prozeßabhängigkeiten) sollen wichtige Verknüpfungen entlang der Prozeßketten in ihrer Tiefe dargestellt werden, womit auch die Transparenz für NutzerInnen erhöht würde.
- Neben der Verbesserung des **Datentransfers** zu anderen Programmen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation) sollte auch eine Schnittstelle zu Im- und Export der Daten zur UBA-Datenbank „Ökobilanzen“ implementiert und deren Struktur der Datenbeschreibung weitestgehend übernommen werden.
- Die Szenarioergebnisse sowie alle graphischen Darstellungen sollen über eine **Reportfunktion** ausgegeben werden können.

7.3.2 Verbesserungen der Wissensverarbeitung im Modell

Im Modell-Prototyp wurden die Treibergrößen „Haustypen“ und „Heizenergiebedarf“ zunächst getrennt voneinander abgebildet, die entsprechenden Daten sind ebenfalls getrennt einzugeben, obwohl diese Größen real nicht unabhängig voneinander sind. Dies stellt eine potentielle Gefahrenquelle dar, da NutzerInnen unplausible Daten eingeben können, etwa Änderungen der Hausgeometrien ohne automatische Änderung des Nutzwärmebedarfs.

Da zwischen diesen Treibergrößen jedoch kausale Zusammenhänge bestehen, sollen sie mittels Modellerweiterungen abgebildet werden¹³². Durch diese **erweiterte Wissensverarbeitung innerhalb** des Stoffstrommodells wird nicht nur die Kontrolle der Datenplausibilität erleichtert, sondern sie dient auch zur starken Vereinfachung bei der Parametersetzung für die Szenariendefinition und ggf. auch für die Ergebniserzeugung¹³³. Alle künftigen NutzerInnen werden somit entsprechend entlastet.

7.3.3 Verbesserung der Abbildungseigenschaften des Modells

Abschließend ist die mögliche Erweiterung des Modells um sozio-ökonomische Indikatoren zu nennen, die insbesondere im Zuge der akteursnahen Anwendung an Bedeutung gewinnen wird. Die mit Hilfe des entwickelten Werkzeugs relativ schnell identifizierbaren Reduktionspotentiale werden aus Akteurssicht stets mit Fragen nach den direkten oder indirekten ökonomischen verknüpft, wobei gerade „win-win“-Situationen interessieren.

Unter regionalen und nationalen Gesichtspunkten sind aber auch Indikatoren wie Arbeitsplatzzahl und Wertschöpfung von Bedeutung, sodaß eine Erweiterung des Indikatoren-spektrums im Modell über die rein „ökologische Säule“ der Nachhaltigkeit hinaus mittelfristig eine sinnvolle Verbesserung darstellt, mit der die Attraktivität des Modells für potentielle Anwender verbessert sowie das Einsatzgebiet erheblich verbreitert werden könnte.

¹³² Der Nutzwärmebedarf läßt sich aus dem Aufbau der Häuser ableiten. Durch die Geometrie der Haustypen, k-Werte der Bauelemente und typische Nutzergewohnheiten kann der Nutzwärmebedarf näherungsweise berechnet werden. Folgende Heizenergie-Bilanzprogramme sollen dabei mindestens untersucht werden: STATBIL von Wolfgang Feist, Enerplan 2.0 der hessenEnergie GmbH und EPASS 3.1 von Prof. Hauser an der Gesamthochschule Kassel.

¹³³ Wird die unter 7.1 genannte Erweiterung der Modelldatenbasis um „Infrastruktur“ realisiert, sollte die modellinterne Wissensverarbeitung ebenfalls entsprechend erweitert werden. Derzeit bilanziert das Modell nur den Grundstücksflächenbedarf der Häuser. Über verschiedene Rechenschritte können jedoch Länge der Ver- und Entsorgungssysteme, Flächenbedarf der Straßen und weitere Infrastrukturgrößen ebenfalls modellintern bestimmt werden.

Literatur

- BfLR (Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung) 1996: Raumordnungsprognose 2010, Bonn
- BKB 1996: Baukostenberatung „Gebäude-CD 2.0 - Basispaket + Erweiterungspaket 1: Wohnungsbau“ (Stand Sept. 1996) der Architektenkammer Baden-Württemberg, Stuttgart
- Bruck 1996: Ökobilanz Ziegel, M. Bruck, D A CH Bericht: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., Bonn, Verband Österreicherischer Ziegelwerke, Wien, Verband Schweizerische Ziegelindustrie, Zürich
- CML (Centrum voor Milieukunde) 1992a: Environmental life cycle assessment of products. Band 1: Guide. Final Editor: R. Heijungs, Leiden
- CML (Centrum voor Milieukunde) 1992b: Environmental life cycle assessment of products. Band 2: Backgrounds. Final Editor: R. Heijungs, Leiden
- EMPA (Eidgenössische Materialprüfungsanstalt) 1995a: Energie und Stoffbilanzen bei der Herstellung von Wärmedämmstoffen, K. Richter, M. Fischer, H. Gahlmann, A. Huser, M. Menard, EMPA Abteilung Holz, Düberndorf/CH
- EMPA (Eidgenössische Materialprüfungsanstalt) 1995b: Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien, R. Richter, T. Künniger, K. Brunner, EMPA Abteilung Holz, Düberndorf/CH
- Enquête (Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“) 1994a: Die Industriegesellschaft gestalten - Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen, Bonn
- Enquête (Enquête-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“) 1994b: Schutz der Grünen Erde - Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder, Bonn
- Enquête (Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“) 1996: Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen, Studie für die Enquête-Kommission, H. Paschen, (ITAS), N. Kohler, (ifib), W. Ebel, (IWU) et al., Karlsruhe (unveröffentlicht)
- Enquête (Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“) 1997: Zwischenbericht „Konzept Nachhaltigkeit - Fundamente für die Gesellschaft von morgen“, Deutscher Bundestag, Zur Sache 1/97, Bonn
- Erhorn 1994: Stand und Tendenzen der Neubautätigkeit in Deutschland, IKARUS Teilprojekt 5-13, H. Erhorn, J. Reiß, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart
- ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) 1995 Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien, T. Weibel, A. Stritz, ESU-Reihe Nr. 1/95, Zürich (Bezugsquelle ENET, Bern)
- Görg 1996: Zeichen aus der Wand - mit einem neuen Prognosemodell können aus Gebäudedaten die zukünftigen Mengen an Baureststoffen geschätzt werden, H. Görg (Überwachungsgemeinschaft BU - Bauen für den Umweltschutz e.V.), U. Müller (ITU system Umweltmanagement GmbH), in: *Müllmagazin* 4/96 S. 55, Berlin
- HHU (Heimer+Herbstreit Umweltplanung)/DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) 1996: Nutzungskonflikt Kalksteinabgrabung - Naturschutz, Bochum/Berlin

- IÖW (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung) 1996: Ökobilanz für typische YTONG-Produktanwendungen, K. Ankele, M. Steinfeldt, im Auftrag der YTONG AG, Schrobenhausen
- ISI (Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung) 1996: Weiterentwicklung von Indikatorensystemen für die Umweltberichterstattung, Forschungsvorhaben 101 05 016 des Umweltbundesamts, Vorläufiger Abschlußbericht, Karlsruhe
- Jäger 1995: Prognosemodell zum Aufkommen und zur Zusammensetzung von Bauschutt, J. Jäger, H. Görg, (Institut WAR Wasserversorgung - Abwassertechnik - Abfalltechnik - Raumplanung, TH Darmstadt), in: Tagungsband des 8. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft im Dezember 1995
- Kornadt 1996: Gebäude von morgen - Forschungsbericht der Philipp Holzmann AG, O. Kornadt (Philip Holzmann AG) et al., Frankfurt am Main
- KSS 1994: Kalksandstein - Planung, Konstruktion, Ausführung, Kalksandstein Information GmbH + CO KG, Hannover (3. Auflage)
- KSS 1995: Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein und Kalksandstein-Wandkonstruktionen, H. Zapf et al. (AGIMUS Umweltberatungsgesellschaft mbH, Braunschweig), P. Steiger (ETH Zürich), Forschungsbericht Nr. 82 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., Hannover
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) 1994: Environmental Indicators, Paris
- ÖKO (Öko-Institut e.V.) 1994: Umweltanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen - Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) - Version 2.1, aktualisierter und erweiterter Endbericht, i.A. des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, und Bundesangelegenheiten, Darmstadt/Kassel
- ÖKO (Öko-Institut e.V.) 1995: Umweltziele statt Last-Minute-Umweltschutz - Nationale und internationale stoffbezogene Zielvorgaben, D. Bunke, U. Eberle, R. Griebhammer, Eigenprojekt des Öko-Instituts, Freiburg
- ÖKO (Öko-Institut e.V.) 1996a: Umweltanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) Version 3.0, Computermodell und Datenbasis, i.A. des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Darmstadt/Freiburg/Berlin (kostenloser Bezug über das Internet: <http://www.oeko.de/service/gemis>)
- ÖKO (Öko-Institut e.V.) 1996b: Produktlinienanalyse Waschmittel, R. Griebhammer et al., Freiburg
- ÖKO (Öko-Institut e.V.) 1997a: Emittentenstruktur / Material- und Energieflußrechnung und Vermeidungskosten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR), W. Jenseit, M. Buchert, H. Stahl, R. Fendler, S. Kurth, V. Wollny, J. Dopfer, im Auftrag des Statistischen Bundesamts (unveröffentlicht)
- ÖKO (Öko-Institut e.V.) 1997b: Stoffstrommanagement Gips als Beitrag zum nachhaltigen Ressourcenschutz in Niedersachsen, U. Eberle, R. Griebhammer, G. Lücking, Freiburg/Darmstadt/Berlin

- ÖKO (Öko-Institut e.V.)/RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung) 1994: Stoffstrommanagement und Instrumente - Monitoring-Bericht zum Studienprogramm der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, D. Bunke, R. Griebhammer, P. Klemmer, G. Benzler, im Auftrag des Deutschen Bundestages, Freiburg/Essen
- Prognos (Prognos AG) 1996: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020, Studie i.A. des Bundesministers für Wirtschaft, Basel
- SETAC 1996: Towards A Methodology For Life Cycle Impact Assessment (final draft), SETAC Europe Workgroup on Life Cycle Impact Assessment, Leiden
- StBA (Statistisches Bundesamt) 1994: Produzierendes Gewerbe 1993, Fachserie 4, Reihe 3.1, Wiesbaden
- StBA (Statistisches Bundesamt) 1995: Bautätigkeit und Wohnungen 1993, Fachserie 5, Reihe 1, Wiesbaden
- SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein) 1995: Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, P. Steiger, Intep AG, SIA-Dokumentation D 0123, Zürich
- UBA (Umweltbundesamt)/C.A.U./IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung) 1995: Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen - Wirkungsbilanz und Bewertung, UBA-Texte 23/1995, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt) 1997a: Umweltverträgliche Nutzung der Gipskarstlandschaft, Kati Mattern, Beitrag auf dem Workshop „Stoffstrommanagement Gips“ am 4. Juni 1997 in Hildesheim
- UBA (Umweltbundesamt) 1997b: Nachhaltiges Deutschland - Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung, Berlin
- Winkler 1994: Hochbaukosten, Flächen, Rauminhalte - mit DIN 226, 277, 18022, 18960 Teil 1 (8. Auflage), W. Winkler, Braunschweig/Wiesbaden

Definitionen wichtiger Begriffe und Abkürzungsverzeichnis

ABL: Alte Bundesländer

Annahmen: Begriff für die Gruppe aller in einem *Szenario* verwendeten *Parameter*, die als veränderbare *Einflußgrößen* das Ergebnis beeinflussen

BAU: business-as-usual, englische Bezeichnung für ein *Szenario* des Typs *Referenz*, mit dem eine eingriffslose Trend-Entwicklung abgebildet wird

BDM: Bund Deutsche Mörtelindustrie

BfLR: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn

BMBF: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (sog. Zukunftsministerium), Bonn

BMBau: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn

BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn

bottom-up: Bezeichnung für einen Modellierungsansatz „von unten“, bei dem ein **technisches** Modell zur Abbildung eines (linearen) Funktionszusammenhangs gewählt wird und das in der Regel einen hohen Differenzierungsgrad aufweist. Bottom-up-Modelle sind insoweit **erklärend**, als daß direkt bestimmt werden kann, welcher Parameter wie auf ein Ergebnis wirkt.

Bruttowohnbauland: Bezeichnung für die gesamte vom Wohnbau betroffene Fläche. Zu ihr gehören neben den Grundstücksflächen (*Nettowohnbauland*) auch die Flächen zur inneren Erschließung der Grundstücke (Verkehrsfläche), die Grünflächen und die Flächen für die Folge- und die Versorgungseinrichtungen.

BUWAL: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern/Schweiz

CARA: internes Datenbank-Modell für Materialflußanalysen (u.a. zur MIPS-Berechnung) des Wuppertal-Instituts, unveröffentlicht

Datenbasis: Gruppe *exogener Parameter* für das *Stoffstrommodell*

DHH: Doppelhaushälfte

DIN: Deutsches Institut für Normung

EDV: elektronische Datenverarbeitung

EFF: Abkürzung für das *Szenario* „Effizienzsteigerung“, das die Wirkungen verbesserter Heizsysteme und erhöhten Wärmeschutzes (Nachfrageseite) sowie energieeffizienterer Stoffbereitstellung (Angebotsseite) abbildet.

EFH: Ein-Familienhaus

FCKW: Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe

FKW: Teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe, bei denen der Chloranteil substituiert wurde

Fe: Eisen

Einflußfaktor: In *Szenarien* beeinflubarer (veränderbarer) *Parameter*, der eine Wirkung auf das Ergebnis vermittelt, z.B. Zahl wärmegeämmter Gebäude, Anteil effizienterer Zementwerke, Zeitpunkt und Ausmaß des Ersatzes von PVC- durch Holzfenster. Die Gesamtmenge aller beeinflussten *Parameter*, die ein *Szenario* bestimmen, bilden dessen *Annahmen*.

exogener Parameter: EingabegröÙe, die auÙerhalb des *Stoffstrommodells* bestimmt wird und zur Berechnung von *Umweltindikatoren* dient. Die Gesamtheit aller exogenen Parameter bildet die *Datenbasis* des *Stoffstrommodells*.

GDI: Gesamtverband Dämmstoffherstellender Industrie (Fachverband)

GEMIS: „Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme“, Computermodell und Datenbasis des Öko-Instituts für Energie-, Stoff- und Transportsysteme

Grundmodell: EDV-mäßige Realisierung des *Stoffstrommodells*, mit dem eine Abbildung von *Szenarien* und Berechnung ausgewählter *Umweltindikatoren* für einen bestimmten Fall (bzw. Anwendung oder Sektor) möglich ist und das keine besonderen Anforderungen an die Nutzeroberfläche aufweist (vgl. auch *Prototyp*).

ifib: Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe

IKARUS: „Instrumente für Klimagas-Reduktions-Strategien“, Forschungsprojekt des BMBF

ISI: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung

KCL: kommerzielles Ökobilanz-Modell des finnischen Papierherstellers KCL, unter WINDOWS lauffähiges EDV-Programm mit grafischer Oberfläche, die Datenbasis beruht überwiegend auf Daten aus BUWAL (1990) sowie firmeninternen Informationen

ITAS: Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (am Forschungszentrum Karlsruhe)

IWU: Institut Wohnen und Umwelt (Darmstadt)

KS: Kalksandstein

MaÙnahme: definierte Änderung eines *Einflußfaktors* in einem *Szenario*, die **unabhängig** von anderen MaÙnahmen erfolgen kann.

MaÙnahmenbündel: Gruppe definierter Änderungen von *Einflußfaktoren*, die aufgrund einer wechselseitigen Abhängigkeit **nur zusammen** in einem *Szenario* verwendet werden dürfen.

MJ: Mega Joule (10^6 Joule)

Modell: mathematisches Abbildungskonzept für einen realen Zusammenhang

N: Stickstoff

NBL: Neue Bundesländer

NEH: „Niedrig-Energie-Haus“, Bezeichnung für einen Haustyp, der in der Gebäudeklasse 1-2-FH einen Nutzwärmebedarf von 30-50 kWh/m²*a aufweist.

NWBL: Nettowohnbauland, Bezeichnung für die Grundstücksflächen, die von einer Wohnbebauung direkt betroffen sind (vgl. auch *Bruttowohnbauland*)

- ÖKO: Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.)
- P: Phosphor
- PC: „Personal Computer“, Bezeichnung für einen Arbeitsplatz-Rechner
- PE: Polyethylen
- PH: Passivhaus, d.h. ein Gebäude, das gegenüber *NEH* durch verbesserten Wärmeschutz und passiv-solare Bauweise einen weiter reduzierten Nutzwärmebedarf von ca. 10-20 kWh/m²*a aufweist.
- PP: Polypropylen
- Prototyp: Exemplarische Auslegung des *Grundmodells* für eine bestimmte **Anwendung** (Fallbeispiel). Im vorliegenden Forschungsvorhaben ist das Fallbeispiel der Bereich „Bauen und Wohnen“, sodaß der Prototyp des *Stoffstrommodells* spezifisch für die **dabei interessierenden** Fragen ausgelegt wird. Der Prototyp dient zur exemplarischen Darstellung der Möglichkeiten, die ein *Stoffstrommodell* mit entsprechender *Datenbasis* und *Szenarien* hinsichtlich der Ergebnisse bietet.
- PS: Polystyrol
- PVC: Polyvinylchlorid
- REA: Rauchgas-Entschwefelungs-Anlage
- REF: Abkürzung des *Szenarios* Referenz in diesem Forschungsprojekt, mit dem eine eingriffslose Trend-Fortschreibung beschrieben wird
- RH: Reihenhaus
- SCR: selektive katalytische Reduktion (DeNOx-Verfahren)
- SIA: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
- StBA: Statistisches Bundesamt
- Stoffstrommodell: EDV-System zur mathematischen Abbildung von *Szenarien* und den durch sie verursachten *Stoffströmen* sowie den davon abhängigen *Umweltindikatoren*. Die *Datenbasis* des Stoffstrommodells und die gewählte Form der Szenarioformulierung bestimmen seinen **Anwendungsbereich**.
- SuB: Abkürzung des *Szenarios* Struktur- und Bewußtseinswandel in diesem Forschungsprojekt, bei dem **zusätzlich** zu den Annahmen im *EFF*-Szenario auch das Konsumentenverhalten als veränderbarer *Einflußfaktor* aufgefaßt wird (z.B. Senkung des Flächenbedarfs je Wohnung)
- Szenario: **Postulierte** Änderung einer Entwicklung innerhalb eines Betrachtungszeitraums durch szenariospezifische *Annahmen*. Zusammen mit einer adäquaten *Datenbasis* und einem geeigneten *Modell* lassen sich „Wenn-Dann“-Aussagen treffen, die insbesondere die (zeitliche) Änderung von *Umweltindikatoren* betreffen.
- t: Tonne (1000 kg)
- t*km: Tonnen-Kilometer (auch: tkm)

top-down: Bezeichnung für einen Modellierungsansatz „von oben“, bei dem ein **mathematisches** bzw. **statistisches** Modell zur Abbildung eines Funktionszusammenhangs gewählt wird und das in der Regel einen hohen Aggregationsgrad aufweist. Top-down-Modelle sind oft **ökonomisch**, beruhen also auf einem Wirkungszusammenhang, der über Kosten oder Preise vermittelt wird (z.B. Preiselastizitäten). Durch dann stattfindende hohe Aggregation realer Abläufe zu ökonomischen Parametern ist der Differenzierungsgrad von Ergebnissen in der Regel gering.

UBA: Umweltbundesamt, Berlin

UGR: „Umweltökonomische Gesamtrechnungen“, statistisches Informationssystem des StBA zur Verknüpfung von statistischen Daten über Wirtschaftsaktivitäten mit Daten zu *Umweltindikatoren*

UMBERTO: kommerzielles Ökobilanz-Modell von IFEU/IFU, unter WINDOWS lauffähiges EDV-Programm mit nutzerfreundlicher grafischer Oberfläche, die Datenbasis beruht überwiegend auf Daten aus BUWAL (1990), ETH (1995) und ÖKO (1994)

Umweltindikator: Parameter, mit dem die Umweltbelastung für ein **Umweltproblemfeld** quantitativ erfaßt wird. Umweltindikatoren dienen als Fokus zur Bestimmung von Reduktionspotentialen in *Szenarien*. Ihr Vergleich mit Referenzsystemen (z.B. *Umwelthandlungszielen*) dient zur Interpretation der Szenarioergebnisse.

Umwelthandlungsziel: Quantitative Formulierung einer **politisch gewünschten** Veränderung in einem Umweltproblemfeld, ausgedrückt über *Umweltindikatoren*. Umwelthandlungsziele weisen oft einen **Zeitbezug** aus, z.B. Reduktion der Emission eines Stoffes X um Y % bis zum Jahr t, ausgehend vom Basisjahr t_0 .

WE: Wohneinheit (Wohnung)

WF: Wohnfläche

Wohnflächendichte: Kennzahl zur Beschreibung der Verdichtung einer Bebauung. Sie ergibt sich als Quotient aus Wohnfläche und Grundstücksfläche.

WSVO 95: Wärmeschutzverordnung 1995, Regelwerk zur Festlegung von Energiekennzahlen für Neubauten

WTO: World Trade Organization (Welthandelsorganisation)

XPS: extrudiertes Polystyrol