

11. Das Aktivitätsfeld Mobilität und Verkehr

Hermann Keimel, Uwe Klann, Claudia Ortmann, Martin Pehnt

11.1 Leitlinien für eine nachhaltige Mobilitätsentwicklung

Die Entwicklungstrends der vergangenen Jahrzehnte insbesondere hinsichtlich Raum- und Entwicklungsplanung, Produktionslogistik, Transportpreisen, Globalisierung oder Liberalisierung haben zu einer wachsenden Entflechtung der gesellschaftlichen Aktivitäten Arbeiten, Wohnen, Einkaufen und Freizeit und zu einer deutlichen Steigerung der Reise- und Transportintensitäten geführt. Auf der anderen Seite hat sich das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer nachhaltigen Ausgestaltung unserer Wirtschafts- und Handlungsweise verschärft.

In diesem Zusammenhang sind auch Nachhaltigkeitsforderungen an den Mobilitätssektor gestellt worden (siehe z. B. [Ernst Basler + Partner AG 1998; Hans-Böckler-Stiftung 2000; BMVBW 2000; OECD 1997]), die sich in folgenden Leitlinien zusammenfassen lassen:

- Die Gewährleistung dauerhaft vergleichbarer Chancen für alle Menschen, Regionen oder Generationen hinsichtlich des Zugangs zu einer Grundversorgung mit Verkehrsdienstleistungen;
- Die schonende Behandlung energetischer und nicht-energetischer Ressourcen ;
- Die Schaffung der Voraussetzungen für einen Erhalt der erhaltenswert eingestuften Stadt- und Landschaftsbilder und die Vermeidung von Zerschneidungseffekten;
- Die Vermeidung von Überlastungen der Regenerations- und Anpassungsfähigkeiten der Ökosysteme und von Gesundheitsgefahren (durch Emissionen von Luftschadstoffen, Schwermetallen usw.);
- Die Minimierung der Risiken im Zusammenhang mit Mobilität (entstehend aus der Verkehrsmittelnutzung - d. h. Unfälle -, den Infrastrukturen oder der Herstellung von Verkehrsmittel);
- Die Beteiligung gesellschaftlicher Gruppen an Entscheidungsprozessen über die Gestaltung der Transportsysteme;
- Die Sicherung einer Wirtschaftlichkeit der Verkehrs- und Transportsysteme in einem umfassenden Sinn: d. h. sie sind möglichst kostengünstig zu erstellen, sie müssen für alle erschwinglich sein und sie müssen die externen ökologischen und sozialen Kosten - soweit diese ermittelbar sind - reflektieren.

Gemäß der konzeptionellen Logik des integrativen Ansatzes der HGF-Regeln sind diese Leitlinien zum einen als Gesamtheit zu betrachten, d. h. jede Leitlinie gilt im Prinzip nur in den Grenzen aller anderen. Zum anderen sind sie als Mindestanforderungen einer nachhaltigen Entwicklung zu sehen. Das bedeutet, dass in einem solchen Konzept Elemente wie Wachstum, Wohlstand, Luxus usw. zwar nicht ausgeschlossen, jedoch insoweit als nachrangige bzw. abhängige Größen zu betrachten sind, als sie nur in dem Maße zulässig sind, wie sie die Einhaltung der Mindestbedingungen für Nachhaltigkeit insgesamt nicht gefährden.

Das HGF-Projekt bietet mit dem Aktivitätsfelderansatz (*Kapitel xxx*) und den in *Kapitel 5* entwickelten Indikatoren einen methodischen Rahmen für die Untersuchung des Aktivitätsfeldes Mobilität und Verkehr.

Die folgenden Ausführungen spiegeln - in stark zusammengefasster Form - die Ergebnisse des Arbeitspakets "Aktivitätsfeld Mobilität und Verkehr" im Rahmen der HGF-Studie "Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland" zur Halbzeit der Projektlaufzeit wider. Dabei wird zunächst eine Abgrenzung des Aktivitätsfeldes vorgenommen, das möglichst alle im Bereich Mobilität und Verkehr anfallenden Tätigkeiten erfassen soll (*Kapitel 11.2*). Die Konkretisierung der Indikatoren für eine nachhaltige Ausgestaltung des Aktivitätsfelds Mobilität (*Kapitel 11.3*) sowie die Darstellung der Top-down- (*Kapitel 11.4*) und Bottom-up-Analyse des Aktivitätsfeldes (*Kapitel 11.5*) sind Voraussetzung sowohl für eine Bestandsanalyse der Entwicklungstendenzen und Nachhaltigkeitsdefizite im Bereich Mobilität (*Kapitel 11.6*) als auch für die Festlegung zukünftiger Entwicklungspfade in Form von Szenarien (*Kapitel 11.7*) und deren Bewertung (*Kapitel 11.8*). Dabei bedient sich die Top-Down-Analyse des Instruments der Input-Output-Analyse. Diese aggregierte Form der Betrachtungsweise wird ergänzt durch Detailanalysen mit verschiedenen Instrumenten, beispielsweise Ökobilanzen und Potenzialanalysen. Die in Kapitel 11.7.2 vorgestellte Vorgehensweise zur quantitativen Festlegung der Szenarien wird an Beispielen erläutert. Anschließend werden die unterschiedlichen Entwicklungspfade mit alternativen Entwicklungen der Verkehrsnachfrage gemäß der Szenariofestlegung zu zwei Szenarioentwürfen kombiniert und am Beispiel der Entwicklung der Kohlendioxid-Entwicklung dargestellt.

11.2 Abgrenzung des Aktivitätsfeldes Mobilität

Um die Einhaltung der Leitlinien zu überprüfen, stellt sich im Aktivitätsfeld Mobilität die Aufgabe, möglichst alle in diesem Bereich anfallenden Tätigkeiten zu erfassen, die Wirkungen dieser Aktivitäten auf Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft zu analysieren und anhand eines Kriterien- und Zielkatalogs hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten. Diesem Anspruch genügen vorliegende Studien im Bereich "Mobilität" in der Regel nicht. Sie befassen sich typischer Weise entweder:

- mit den Verkehrsbewegungen; dabei werden z.B. nur der direkte Verbrauch von Kraftstoffen und die dadurch verursachten Luftschadstoffemissionen erfasst;
- mit der Produktion von Verkehrsmitteln; hier werden z.B. die im Straßenfahrzeugbau und bei der Produktion der Vorprodukte (z.B. beim Abbau von Erzen und in der Eisen- und Stahlindustrie) emittierten Luftschadstoffe erfasst;
- oder den Aktivitäten und Güterkäufen der privaten Haushalte zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse, wiederum unter Berücksichtigung aller Vorprodukte. Hier sind dann z.B. alle mit dem Bau von privaten Garagen, also etwa aus der entsprechenden Zementherstellung, verbundenen Luftschadstoffemissionen und die mit der Produktion von Reifen, die von Haushalten gekauft werden, zu finden.

Das Aktivitätsfeld Mobilität umfasst alle diese Bereiche sowie zusätzlich die Verkehrsinfrastruktur und die staatlichen Dienstleistungen für den Verkehr (**Abb. 11.1**). Diese Bereiche werden einschließlich der dazu nötigen Vorleistungen betrachtet, und sie können auch – wegen der Interdependenzen, die es zwischen den einzelnen Bereichen gibt – nicht unabhängig voneinander bearbeitet werden. In jedem Teilpaket gibt es Anknüpfungspunkte zu anderen Arbeitspaketen, z. B. Energie, Bauen und Wohnen, Freizeit und Tourismus.

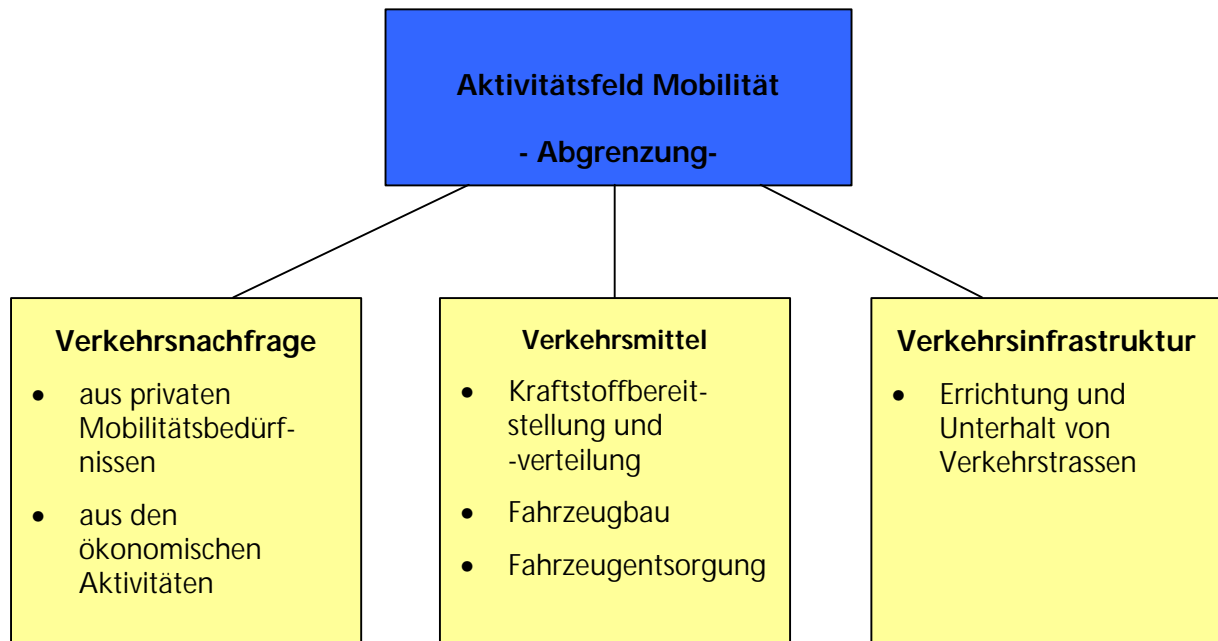


Abb. 11.1: Abgrenzung des Aktivitätsfeldes Mobilität

11.3 Indikatoren einer nachhaltigen Mobilität

Neben einer Abgrenzung des Aktivitätsfelds bedarf es auch der Entwicklung eines geeigneten Indikatorensatzes, der die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit angemessen berücksichtigt. Die im Rahmen des HGF-Projektes entwickelten Regeln und ihrer zugeordneten Indikatoren sind dabei für das Aktivitätsfeld zu konkretisieren und spezifizieren.

Indikatoren für eine nachhaltige Mobilitätsentwicklung werden in der Literatur bereits seit einiger Zeit intensiv diskutiert [z. B. Maibach, u. a. 1997, OECD 1997, Ernst Basler+Partner 1998]. Ihre grundsätzliche Funktion besteht darin, die derzeitige Situation im Aktivitätsfeld Mobilität zu charakterisieren, festzustellen, wo Defizite bei der Einhaltung der Regeln für einen nachhaltigen Zustand auftreten und wie weit die Nachhaltigkeitsziele verfehlt werden. Die Indikatoren sollen weiterhin dazu beitragen, den Gestaltungsprozess in Richtung einer nachhaltigeren Mobilität so zu steuern, dass krisenartige Zustände und Zuspitzungen in ökologischen, ökonomischen und sozialen System weitestgehend vermieden werden und eine möglichst friktionsarmer Umstellung hin zu einer zukunftsfähigen Mobilität möglich wird. Die in **Abb. 11.2** aufgeführten ökologischen, sozialen und ökonomischen Indikatoren mit besonderer Relevanz für das Aktivitätsfeld Mobilität sind unter Beachtung der genannten Funktionen erstellt worden.

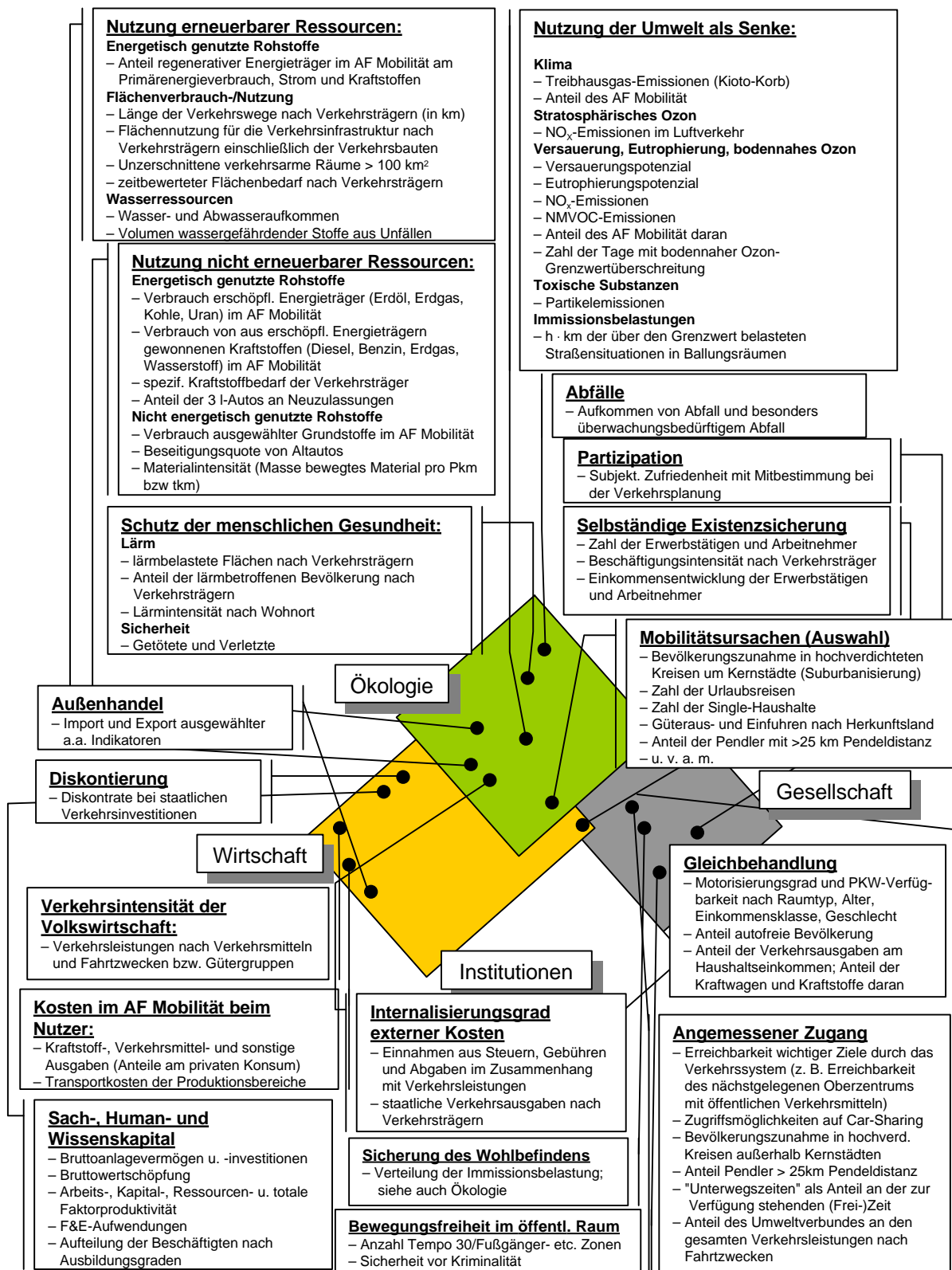


Abb. 11.2: Vorschlag für ein Indikatorenset im AF Mobilität

11.4 Top-Down-Analyse

Die Erfassung des gesamten Aktivitätsfelds Mobilität kann nach seiner Abgrenzung in den einschlägigen statistischen Datensätzen in seiner Gesamtheit quantitativ untersucht werden. Dabei werden auf Basis der Lieferbeziehungen zwischen allen Sektoren und den jeweils in diesen Sektoren selbst entstehenden Beiträgen („direkte Beiträge“) die mit den jeweiligen Vorprodukten verbundenen Beiträge („indirekte Beiträge“) errechnet. Beiträge können hierbei monetäre oder stoffliche Inputgrößen, aber auch Emissionen und Abfallstoffe sein. Die Summe aus direkten und indirekten Beiträgen („kumulierte Beiträge“) gibt an, welchen Einfluss die einzelnen Sektoren durch ihre Vorproduktwahl und ihre Aktivitäten im eigenen Bereich auf die einzelnen Beiträge ausüben. Angewendet werden kann dieses Verfahren nicht nur für Sektoren, sondern auch für jeden beliebigen datentechnisch wohldefinierten Teilbereich – z.B. das Aktivitätsfeld Mobilität. Das Ergebnis ist ein in sich konsistentes Datensystem, das zudem konsistent in nationale Datensysteme und über diese in – sofern vorhanden – Weltdatensysteme eingebunden ist (Kapitel 5). Im folgenden wird nach einer Darstellung des für das Aktivitätsfeld Mobilität resultierenden Datensystems am Beispiel der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) ein Überblick über verschiedene Beiträge des gesamten Aktivitätsfeldes gegeben, um dann in zwei ausgewählten Detailausschnitten aus dem Datensystem die Stellung der Verkehrsbauten – im wesentlichen des Verkehrswegebbaus – im AF Mobilität zu beleuchten und die Struktur der kumulierten THG-Emissionen des Straßenfahrzeugbaus zu diskutieren¹. Das Hauptaugenmerk gilt dabei auffälligen Mustern und relativen Größenordnungen einzelner Beiträge bzw. Teilbereiche des Aktivitätsfeldes. Auf dieser Basis werden dann tiefergehende Analysen empfohlen oder aber als wenig bedeutsam eingeschätzt. Das etwas zurückliegende Bezugsjahr 1993 ist insofern wenig gravierend: Die Muster sind als relativ stabil aufzufassen². Sofern sich wesentliche Sachverhalte inzwischen deutlich geändert haben, wird dies angemerkt.

Die Struktur des Aktivitätsfelds Mobilität als Teilsystem der deutschen Volkswirtschaft wird in **Abb. 11.3** skizziert. Um dabei die Verbindung zwischen dem AF und der gesamten Volkswirtschaft zu verdeutlichen, wird das AF weitgehend nach volkswirtschaftlichen Kategorien geordnet. Da an dieser Stelle Ergebnisse im Vordergrund stehen, wird das System anhand eines konkreten Beispiels – den THG-Emissionen – erläutert. Das Flussdiagramm in **Abb. 11.3** zeigt, wo die THG-Emissionen entstehen (direkte Emissionen) und wofür die entsprechenden Güter – bewertet mit der Masse der Emissionen – letztlich verwendet werden (Endnachfrage). Unmittelbar der Mobilität dienende unternehmerische Leistungen (z.B. Fahrzeugbau und Gütertransporte), die definitionsgemäß kein Teil der Endnachfrage sind, sind unter „Fahrzeugbau u. Verkehrsleistungen“ dazwischengeschaltet. Das THG-Aufkommen des AF Mobilität von 362 Mt/a erhält man, indem man ausgehend von den Güterkäufen der Haushalte für Mobilität, deren Verkehrsbewegungen und staatlichen Verwaltungstätigkeiten für den Verkehr („Konsum“), den Verkehrsbauten (Teil der „Nettoinvestitionen“), dem Fahrzeugbau und den unternehmerischen Verkehrsleistungen („Fahrzeugbau u. Verkehrsleistungen“) den Vorleistungsketten up-stream folgt und dabei sämtliche direkten THG-Emissionen addiert. Folgt man zusätzlich den unternehmerischen

¹ THG enthält CO₂, CH₄ und N₂O in der Gewichtung 1:21:310. Die nicht beachteten, weiteren THG tragen nur ca. 1% zu den deutschen THG-Emissionen bei [Statistisches Bundesamt, 2000b, S.25]. Die später auftauchenden Versauerungsgase (VSG) enthalten SO₂, NO_x und NH₃ in der Gewichtung 1:0,7:1,88.

² Aufgrund der umfangreichen Datenbasis sind time lags von 3-5 Jahren die Regel. Die Daten für 1995 sind seit kurzem verfügbar und werden gegenwärtig bearbeitet.

Leistungen für Mobilität (z.B. Fahrzeugbau) down-stream bis zur Bilanzgrenze, so wird z.B. sichtbar, dass mit dem Export – u.a. von Fahrzeugen – 42 Mt/a verbunden sind. Aus einer konsistenten Zusammenfassung dieser Zusammenhänge resultiert die **Abb. 11.3**.

Aufgrund des konsistenten Bilanzierungssystems kann das Aufkommen von 362 Mt/a sowohl als Summe über alle direkten Emissionen als auch als Summe über die Endnachfrage errechnet werden. Gleiches gilt für die jeweils zueinandergehörenden, durch die Hintergrundfarbe kenntlich gemachten Felder unter direkten Emissionen und Endnachfrage. Z.B. sind die mit den Importen verbundenen THG-Emissionen (82 Mt/a) sowohl unter „Vorleistungen Ausland“ als auch als Summe der im gleichen Grauton gefüllten Felder unter „Endnachfrage“ zu finden. Beispielsweise entstehen die 11 Mt/a unter „Nettoinvestitionen“ im Verhältnis 7:4 im In- und Ausland. Dieses Verhältnis differiert, da je nach Bereich Importgüter in verschiedenem Umfang und in verschiedener Zusammensetzung relevant sind. Damit dürften auch Reduktionsmaßnahmen in einzelnen Bereichen in verschiedenem Maße im In- und Ausland wirken. Aufgrund der globalen Wirkung von THG-Emissionen ist dies ökologisch irrelevant, mag aber gleichwohl politisch von Bedeutung sein.

Im einzelnen setzt sich das THG-Aufkommen von 362 Mt/a wie folgt zusammen:

- 101 Mt/a werden direkt im motorisierten Individualverkehr der privaten Haushalte emittiert („Endnachfrage“, „direkte Emissionen“)
- 104 Mt/a werden vom Fahrzeugbau und dem Straßengüter- und Geschäftsverkehr emittiert („Fahrzeugbau u. Verkehrsleistungen“, „direkte Emissionen“). Davon stammen 99 Mt/a aus dem Kraftstoffverbrauch und 5 Mt/a aus dem Fahrzeugbau (nicht in der Abbildung ersichtlich).
- Hinzu kommen 75 Mt/a durch Vorleistungen aus dem Inland („Vorleistungen Inland“). Diese Position enthält z.B. Emissionen aus der inländischen Stromerzeugung für den Schienenverkehr und aus der Stahlerzeugung für den Fahrzeugbau.
- Schließlich werden 82 Mt/a bei der Produktion von Vorleistungen im Ausland emittiert („Vorleistungen Ausland“). Hier sind z.B. Emissionen aus der Produktion von importierten Straßenfahrzeugen und aus der Gewinnung und dem Transport von Erdöl subsumiert.

Mit 200 Mt/a, die sich aus den 101 Mt/a unter „Konsum“ und 99 Mt/a von den Verkehrsleistungen der Unternehmen ergeben, dominiert der Kraftstoffverbrauch als Quelle. Zieht man diese und zusätzlich die 5 Mt/a direkten THG-Emissionen aus dem Fahrzeugbau vom gesamten Aufkommen (362 Mt/a) ab, so verbleiben 157 Mt/a. Um diese zu untersuchen, muss man sich den Vorleistungen der Mobilitätsbereiche zuwenden – z.B. unter „Fahrzeugbau und Verkehrsleistungen“, „indirekte Emissionen“.

Die Vorleistungen für diese der Mobilität dienenden sog. Kernbereiche sind für 105 (66+39) Mt/a THG-Emissionen verantwortlich. Neben der Straßenfahrzeugproduktion, auf die ca. 62 Mt/a dieser indirekten Emissionen entfallen, sind hier insbesondere die Kraftstoffbereitstellung sowie der Stromverbrauch im Verkehr zu nennen. Der restliche Fahrzeugbau fällt kaum ins Gewicht. Das deutet darauf hin, dass mit dem Energieverbrauch bzw. den direkten Umweltwirkungen für Verkehrsbewegungen und dessen Vorkette sowie dem Straßenfahrzeugbau, inkl. Vorprodukten, bereits ein Großteil der THG-Emissionen erfasst ist und hier detailliertere Überlegungen einsetzen sollten. Dies gilt auch für die anderen Indikatoren (mit Ausnahme des Abfalls).

Weitere mögliche Anknüpfungsmöglichkeiten für Handlungsoptionen erhält man, wenn man berücksichtigt, wofür und von wem diese z.B. von Speditionen erbrachten Leistungen sowie die Straßenfahrzeuge letztlich verwendet werden. Hierzu folgt man diesen Leistungen down-stream und kommt zur Spalte „Endverbrauch“, „indirekte Emissionen“. Dorthin fließen

daneben auch direkt aus dem Ausland bezogene Güter (z.B. von Haushalten gekaufte, im Ausland produzierte Straßenfahrzeuge von „Ausland“ an „Konsum“) oder Güter aus dem Inland, die von ihrer Entstehung her keinen Zusammenhang mit Mobilität aufweisen, wohl aber aufgrund ihrer Verwendung (z.B. Beton für den Straßenbau; „Vorleistungen Inland“ an „Nettoinvestitionen“).

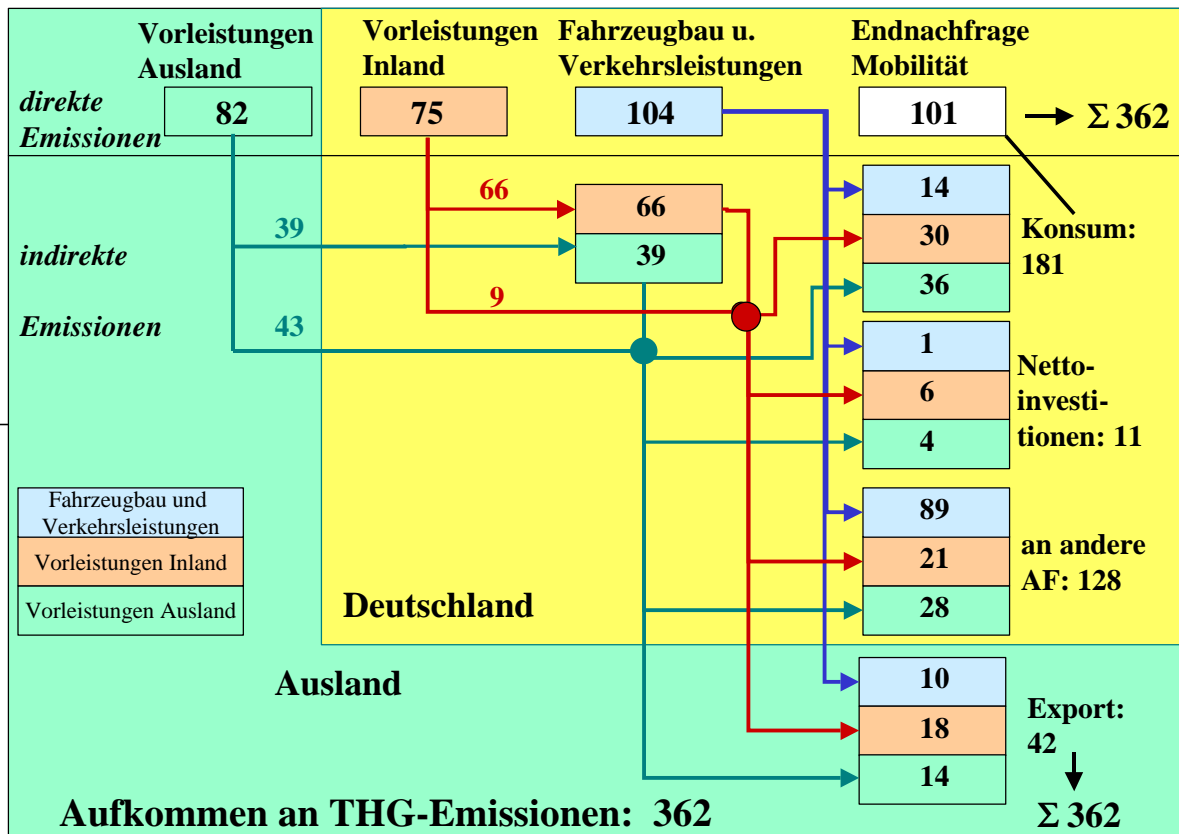


Abb 11.3: Flussdiagramm für das Aktivitätsfeld Mobilität am Beispiel der THG-Emissionen [eigene Berechnungen]

Über die Aufteilung der 261 Mt/a indirekte Emissionen unter „Endnachfrage“ erhält man weitere wichtige Informationen für die Entwicklung von Handlungsstrategien. Auffällig ist dabei, dass auf die Nettoinvestitionen mit 11 Mt/a ein sehr geringer Anteil entfällt. Der Verkehrswegebau hat offensichtlich außer für den Indikator Abfall (inkl. Bauschutt) eine relativ geringe Bedeutung.

Besonders groß sind die Ausweisungen für „an andere Aktivitätsfelder“. Hier handelt es sich überwiegend um Geschäftsverkehr und Gütertransporte von z.B. Nahrungsmitteln oder Baumaterialien für den Wohnungsbau (Aktivitätsfelder „Landwirtschaft & Ernährung“ und „Bauen & Wohnen“). Neben Maßnahmen in Mobilität können die anderen Aktivitätsfelder damit sehr stark zu einer Reduktion der THG-Emissionen in Mobilität beitragen.

Die top-down untersuchten Indikatoren sind in **Abb. 11.4** aufgeführt, in der ein Überblick über das AF Mobilität gegeben wird. Dort ist jeweils die Aufkommensgröße für das AF Mobilität, bezogen auf den entsprechenden Wert im Inland (Deutschland=100), abgebildet. Beispielsweise liegen dem Wert für die THG-Emissionen die 362 Mt aus **Abb. 11.3** zugrunde, die sowohl die im In- als auch im Ausland entstehenden THG-Emissionen umfassen. Dividiert man diese 362 Mt durch die deutschen THG-Emissionen im Jahr 1993 (1072 Mt) und multipliziert das Ergebnis mit 100, so erhält man den Wert 33,8 in **Abb. 11.4**.

Die Indikatoren wurden in drei Blöcke gegliedert: Der erste (von links) Block bietet ökonomisch/soziale Indikatoren, der zweite den Primärenergieverbrauch (PEV) sowie die Luftschadstoffemissionen und der dritte je zwei Wasser- und Abfallgrößen. Dabei enthält die Wasserverwendung z.B. auch Kühlwasserentnahmen von Kraftwerken und aus Bergwerken abgepumptes Wasser. Bei Kreislaufsystemen werden nur die „Auffüllungen“ gezählt. „Abwasser“ ist analog gebildet. „Abfall“ enthält auch Bauschutt. Diese drei Größen sind Indikatoren für Massenbewegungen und können, sobald Daten vorliegen, in einzelne Teile zerlegt werden; dies ist für den Abfall mit dem „besonders überwachungsbedürftigen Abfall“ (Sondermüll) geschehen. Im ersten Block sind nur „Arbeitnehmer“ und „Erwerbstätige“ (Arbeitnehmer sowie Selbständige und deren helfende Familienangehörige) selbsterklärend: „Wertschöpfung“ meint die Nettowertschöpfung zu Marktpreisen, die definitionsgemäß zerlegt werden kann in „Arbeitnehmereinkommen“ und „restliches Einkommen“. Das restliche Einkommen beinhaltet Produktionssteuern und Subventionen („zu Marktpreisen“) und in der Hauptsache die Arbeitsentlohnung für Selbständige und die Kapitalentlohnung.

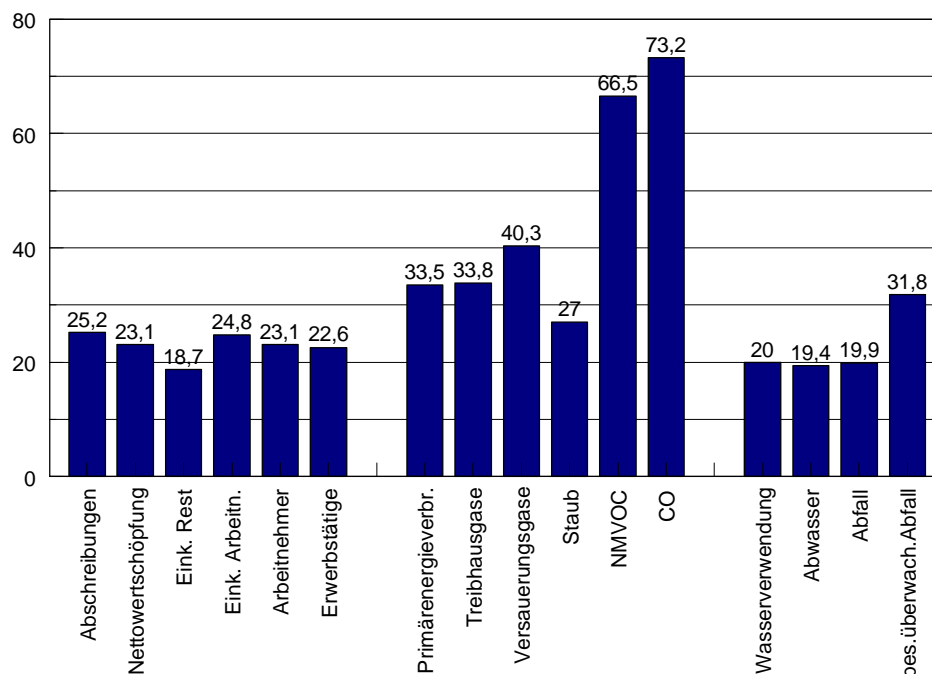


Abb. 11.4: Aufkommen einzelner Indikatoren im Aktivitätsfeld Mobilität bezogen auf den Wert für Deutschland 1993 (=100). Lesebeispiel: Das Aktivitätsfeld Mobilität löst weltweit THG-Emissionen in Höhe von 33,8% der deutschen Emissionen aus. [eigene Berechnungen]

Durch diese Darstellung wird die spezielle Struktur von Mobilität erkennbar: Der PEV und die Luftschadstoffemissionen (außer Staub³) sowie der besonders überwachungsbedürftige Abfall („Sondermüll“) sind unter den untersuchten Indikatoren die wichtigen Größen im AF Mobilität. Dabei sind besonders die NMVOC⁴ und CO hervorzuheben, auch die Versauerungsgas(VSG)-Emissionen ragen hervor. Will man die ersten beiden deutlich reduzieren, so wird man im AF-Mobilität ansetzen müssen. Was die VSG betrifft, so haben

³ „Staub“ fasst Partikel verschiedener Größe zusammen. Weitere Unterteilungen, z.B. kleine Partikel (PM₁₀), konnten aus Datengründen nicht getrennt untersucht werden.

⁴ NMVOC: Flüchtige Kohlenwasserstoffe außer Methan.

sich die VSG-Emissionen seit 1993 zwar stark reduziert, auch durch einen Rückgang der im AF Mobilität besonders bedeutsamen NO_x-Emissionen. Allerdings sind die SO₂-Emissionen insbesondere im Stromerzeugungssektor so stark gefallen, dass sich der Anteil der NO_x-Emissionen an den VSG-Emissionen bis 1998 erhöht hat. D. h.: Die ausgewiesenen 40,3% dürften sich nicht verringert haben. Wenn die VSG-Emissionen weiter reduziert werden sollen, dann ist Mobilität ein zentraler Bereich⁵.

Mit 20-25 % für all diese Größen dient ein beträchtlicher Anteil der wirtschaftlichen Aktivitäten der Mobilität. Die geringeren restlichen Einkommen beruhen auf der - selbst für dessen Verhältnisse - äußerst prekären ökonomischen Situation des Schienenverkehrs in 1993, auf dessen Subventionierung sowie auf der Rezession in 1993, die Produzenten von Investitions- und langlebigen Gebrauchsgütern – hier den Fahrzeugbau – typischerweise besonders stark trifft, was in Mobilität zu einer im Vergleich zur Gesamtwirtschaft relativ großen Amplitude konjunktureller Schwankungen führen dürfte. Der relativ geringe Anteil der restlichen Einkommen ist folglich als vorübergehendes Phänomen einzustufen und der Anteil der Wertschöpfung dürfte in Nicht-Rezessionsjahren etwas höher sein. Für die anderen ökonomisch/sozialen Größen sind keine derartigen konjunkturellen Besonderheiten im Vergleich zur Gesamtentwicklung zu vermuten. Der größere Anteil der Arbeitnehmereinkommen im Vergleich zur Anzahl der Arbeitnehmer ergibt einen relativen hohen Durchschnittslohn, der als ein Indiz für einen relativ human- oder sachkapitalintensiven Bereich angesehen werden kann. Hierbei deutet der im Vergleich zur Wertschöpfung hohe Anteil der Abschreibungen auf eine relativ hohe Kapitalintensität hin. Die unterschiedlichen Anteile für die ökonomischen/sozialen Größen sind abgesehen von den erläuterten, als vorübergehend einzustufenden Sachverhalten insgesamt jedoch als wenig auffällig einzuordnen.

Um die beiden Thesen weiter zu erhärten, wurden sämtliche Indikatoren für die gesamten Verkehrsbauten – inkl. Verkehrswegebau - bestimmt (**s. Abb. 11.5**). Da die Frage beantwortet werden soll, welcher Stellenwert diesen Bautätigkeiten im AF Mobilität zukommt, wurden die Werte auf Aufkommen Mobilität=100 normiert. D.h. es handelt sich um Prozent, *nicht Prozentpunkte*, der in **Abb. 11.4** zu findenden Werte. Ein Beispiel: Die ca. 31 % für „Abfall“ durch den Verkehrsbau in **Abb. 11.5** ergeben durch Multiplikation mit den 19,9 % für Abfall in **Abb. 11.4** einen Anteil der Verkehrsbauten am deutschen Abfallaufkommen in Höhe von ca. 6,1%.

Offensichtlich spielen die Luftschadstoffemissionen und der PEV durch den Verkehrswegebau eine sehr geringe Rolle (um 2,5 %, für Staub ca. 4 %). Ähnlich stellt sich der Sachverhalt für Wasser und Abwasser dar. Für die ökonomischen Indikatoren sowie den besonders überwachungsbedürftigen Abfall sind Werte von ca. 6 % zu veranschlagen. Der höhere Wert für restliche Einkommen ist aufgrund der oben erläuterten geringen Werte für das Aktivitätsfeld Mobilität als irregulär überhöht anzusehen. Damit bleibt der auf Bauschutt beruhende hohe Anteil zurück.

Als Ergebnis einer Bestandsaufnahme beruhen die Thesen auf dem gegenwärtigen Modalsplit. Ob eine Änderung des Modal-splits zu einer anderen relativen Bedeutung der Verkehrsbauten führt, wurde nicht untersucht. Lebenszyklusanalysen für das Schweizer Transportsystem zeigen, dass die relative Bedeutung der Verkehrsbauten im Luftverkehr besonders niedrig ist und im Schienenverkehr besonders hoch. Der Straßenverkehr liegt in

⁵ SO₂, NO_x und NH₃ tragen jeweils ca. ein Drittel zu den VSG-Emissionen bei.

der Mitte (Maibach u.a., 1995). Demnach würde z.B. eine Verschiebung des modal-splits zu den Eisenbahnen, die relative Bedeutung der Verkehrsbauten erhöhen.

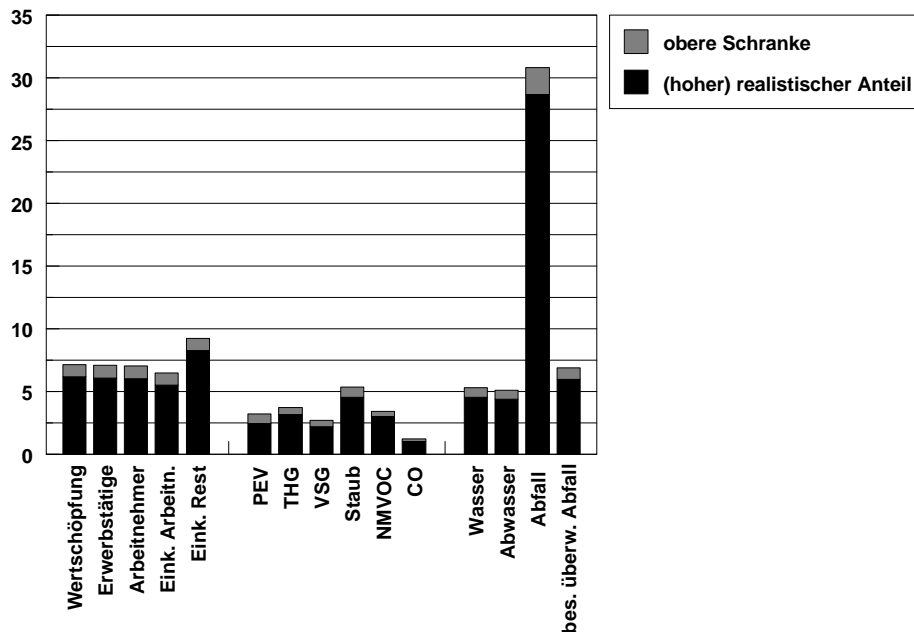


Abb. 11.5: Bedeutung des Verkehrswegebbaus im Aktivitätsfeld Mobilität (in %) [eigene Berechnungen]

Da die Wichtigkeit des Straßenfahrzeugbaus betont wurde, wird für diesen Sektor ein beispielhaftes Ergebnis zu den THG-Emissionen geliefert. Dem Straßenfahrzeugbausektor in Deutschland sind 64 Mt/a kumulierte THG-Emissionen zuzurechnen (**Abb. 11.6**). Als Basis einer Strategieentwicklung ist wichtig zu wissen, wo diese emittiert werden und über welche Vorprodukte, die der Straßenfahrzeugbau selbst bezieht, sie mit ihm verbunden sind. Das zeigen die beiden Kreisdiagramme.

Die 64 Mt/a werden nach zwei verschiedenen Gesichtspunkten aufgeteilt. Dies sei anhand der hervorgehobenen Beiträge von Elektrizität/Fernwärme (38,3 % „nach Quellbereich“; 15,2 % „nach unmittelbarem Liefersektor“) erläutert. Man kann zum einen die Perspektive des Straßenfahrzeugbaus einnehmen. In diesem Sektor kennt man die Produkte, die man kauft; z.B. kann der Stromverbrauch am Zähler abgelesen werden. Auf Basis dieser Informationen ist die naheliegende Frage: Welche THG-Emissionen sind über alle Vorprodukte mit dem Bezug dieses Gutes, also z.B. der Elektrizität verbunden. Hierauf gibt „nach unmittelbaren Liefersektoren“ die Antwort: Für Strom und Fernwärme, die im Straßenfahrzeugbau selbst verbraucht werden sind 15,2 % von 64 Mt/a zu veranschlagen, also knapp 10 Mt/a. Entsprechend sind alle Zahlen in „nach unmittelbaren Lieferbereichen“ aufzufassen.

Wichtig ist aber auch die andere Perspektive: Wie viel trägt die Stromerzeugung zu den kumulierten THG-Emissionen des Straßenfahrzeugbaus bei? Die Antwort ist: 38,3 % („nach Quellbereichen“). Um dieses Ergebnis zu erhalten, werden die gleichen Vorproduktsketten auf eine andere Weise addiert: Man geht alle Vorproduktsketten durch und jedes mal, wenn man auf den gleichen Sektor stößt, zählt man die entsprechenden THG-Emissionen dazu. In den 38,3 % für Strom sind also z.B. auch die THG-Emissionen enthalten, die durch die Stromerzeugung für Nichteisenmetalle entstehen, welche an den Straßenfahrzeugbau

geliefert werden. Offensichtlich gibt es wichtige Emittenten, die kaum direkt an den Straßenfahrzeugbau liefern: z.B. die chemische Industrie mit 6,2 % „nach Quellbereichen“. Andererseits existieren Sektoren, wie sonstige marktbestimmte Dienstleistungen („Dsonstmarkt“), in denen relativ wenig Treibhausgase emittiert werden, die aber THG-intensiv produzierte Güter verwenden und/oder in besonders großem Umfang für den Straßenfahrzeugbau tätig sind.

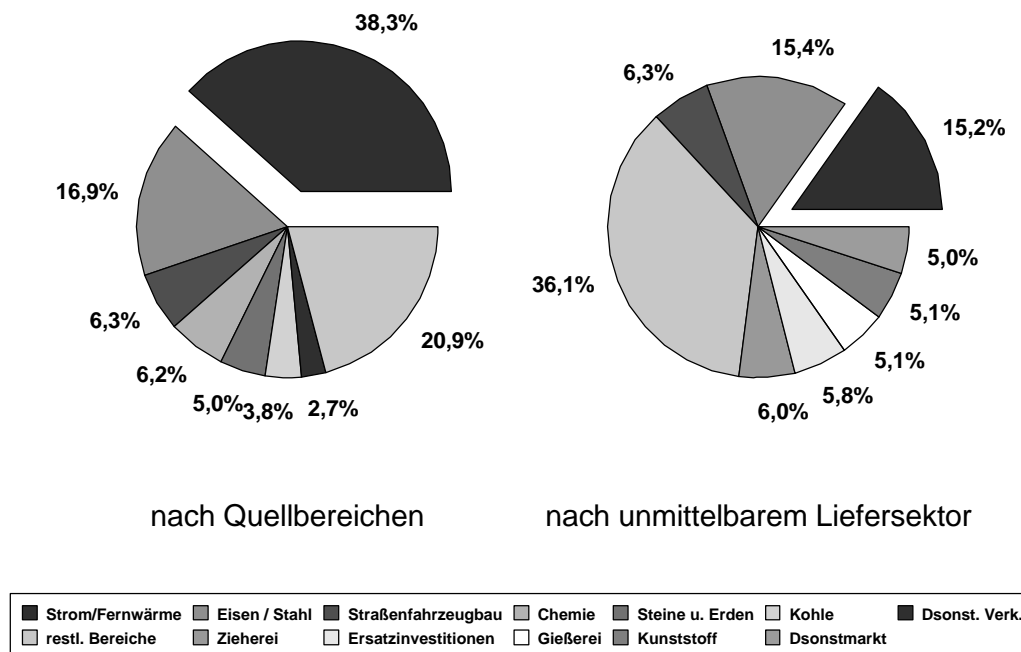


Abb. 11.6: Herkunft der kumulierten THG-Emissionen im Straßenfahrzeugbau [eigene Berechnungen]

In **Abb. 11.6** wurden für die beiden Aufteilungen die 7 bzw. 8 (aus 59) bedeutendsten Sektoren separat ausgewiesen und die jeweils restlichen zusammengefasst. Die beiden Diagramme führen zu folgendem Ergebnissen:

- der Energieträgermix in der Stromerzeugung ist wesentlich wichtiger als der direkte Stromverbrauch im Straßenfahrzeugbau (38,3 % > 15,2 %), was verstärkt in Verbindung mit „Kohle“ auf die Bedeutung der Schlüsseltechnologie „Erneuerbare Energien“ hinweist;
- Dienstleistungen sind ein nicht zu unterschätzendes ökonomisches Bindeglied, über die beachtenswerten Mengen kumulierter Emissionen laufen können (z.B.: Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen („Dsonstmarkt“) mit 5 %),
- die direkten Emissionen sind im Vergleich zu den indirekten relativ klein (6,3 %); ähnliches gilt für die dem Kapitalverschleiß zuzurechnenden Emissionen (5,8 %); das ist typisch für Konsum- und Investitionsgütersektoren, außer für die Indikatoren Abfall, wo aufgrund des Bauschutts der Kapitalverschleiß sehr wichtig ist, und für besonders überwachungsbedürftiger Abfall, wo direkte Abgaben dominieren;
- „nach Quellbereichen“ ist stärker konzentriert als „nach Liefersektoren“ (der achtgrößte Bereich von letzterem weist die gleichen Emissionen auf wie der fünftgrößte Bereich „nach Quellbereichen“, wo gleichzeitig die restlichen Bereiche deutlich kleiner sind); d.h.

die direkten Emissionen sind relativ konzentriert. Man kann sich folglich auch auf die Stellung dieser Bereiche in den Vorleistungsketten konzentrieren.

11.5 Bottom-up-Analysen

Mit der Top-down-Analyse wird das Aktivitätsfeld Mobilität umfassend betrachtet. Sie liefert damit die Ausgangsbasis für die folgenden Szenariofestlegungen. Verschiedene Indikatoren, beispielsweise der ökonomischen Dimension, können sinnvollerweise ausschließlich top-down untersucht werden. Die zugrundeliegenden Daten sind jedoch für technologische Fragen stark aggregiert, stammen aus Zeitreihen und sind deshalb primär für eine Erforschung von Bewegungsmustern des Gesamtsystems geeignet. Sie können daneben auch für eine Bilanzierung von Produktionstechnologien herangezogen werden. Derartige Bilanzierungen reichen jedoch für die Festlegung möglicher zukünftiger Entwicklungen nicht aus. Nicht alle Indikatoren können mit dem Top-down-Ansatz erfasst werden. Dies betrifft für eine Mobilitätsuntersuchung im Hinblick auf Nachhaltigkeit so zentrale Aspekte wie Lärmbelästigung, Sicherheit und soziale Aspekte wie Mitbestimmung oder Erreichbarkeit. Diese Bereiche werden außerhalb dieses Modellrahmens untersucht und in geeigneter Weise in die Arbeit eingebaut.

Zudem ist die Aktualität der Daten durch die zeitliche Verzögerung der Bereitstellung der Statistiken und die nachfolgende analytische Verarbeitung nicht ausreichend für detaillierte und zeitnahe Analysen.

Auch im Bereich der Verkehrsnachfrage erreicht die Top-down-Analyse nicht den erforderlichen Detaillierungsgrad. Unterschiedliche Zusammensetzungen des Fahrzeugbestandes, mit ihren jeweils spezifischen Verbrauchs- und Emissionsdaten, die für eine Beurteilung hinsichtlich Nachhaltigkeit entscheidend sein können, werden davon nicht erfasst. Diese Effekte werden mit dem IKARUS-Verkehrsmodell errechnet.

Die in der hohen Aggregation implizite Mittlung der Informationen über Produktionsbereiche führt zu einem Informationsverlust, der im Einzelfall für die Bewertung einer Option bezüglich ihrer Nachhaltigkeit entscheidend sein kann. Bei der Herstellung von Magnesium als typischem Leichtbaumaterial für Straßenfahrzeuge beispielsweise wird Schwefelhexafluorid eingesetzt. Dieses ist ein hochwirksames Treibhausgas, das in der top-down-Analyse nicht erfasst wird und selbst wenn es erfasst würde, fälschlich gleichmäßig auf alle Nichteisen-Metallen verteilt würde und damit die spezifischen Treibhausgas-Emissionen der Magnesiumherstellung in der Input-Output-Matrix deutlich zu gering ausweisen würde.

Die Top-Down-Analyse wird auf ökologischer Seite daher ergänzt um das Instrument der Ökobilanz, die mit einem Bottom-up-Ansatz sämtliche Prozessschritte der Mobilitätsbereitstellung einer umweltlichen Analyse unterzieht. Gerade die Stärke des Instrumentes Ökobilanz, nämlich die spezifische Erfassung einzelner ökologischer Schwachstellen eines Materials, eines Prozesses oder Systems, verhindert wegen des damit verbundenen hohen Aufwandes dessen Einsatz im Rahmen des HGF-Projektes als *flächendeckendes* Analyseinstrument. Die Analyse von Straßenfahrzeugen beispielsweise, die gemäß des Top-Down-Ansatzes von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist, beschränkt sich bislang auf wenige ausgewählte Fahrzeugtypen einzelner Hersteller. Daher wird eine Kombination von Top-Down- und Bottom-up-Rechnungen vorgenommen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Ergebnisse von Top-Down- und Bottom-up-Analysen aus weiteren Gründen zu unterschiedlichen und mitunter schwer vergleichbaren Ergebnissen führen. Dies kann anhand von **Tabelle 11.1** erläutert werden, die ausgewählte Größen einer

Umweltbilanz für die Herstellung eines VW Lupo 3L („Dreiliterauto“) zeigt. Auffällig sind die zwischen 23 % und 258 % höheren Werte aus der Top-down-Analyse.

Jedoch resultiert der besonders hohe Wert in der top-down-Analyse für die Wasserverwendung aus der sehr weiten Definition, die z.B. auch das Abpumpen von Wasser im Bergbau erfasst. Eine vergleichbar weit definierte Größe kann aus den vorliegenden Ergebnissen der Bottom-up-Analyse nicht erzeugt werden und gegenwärtig kann die Wasserverwendung in der Top-down-Analyse nicht weiter aufgegliedert werden. Aufgrund der Definitionen in der Top-down-Analyse sind auch Abfallgrößen schwierig zu vergleichen. Hierzu ein Beispiel: Abraum und Bergematerial, deren Masse diejenige sonstiger Abfälle um mehr als 10-fache übersteigt, ist top-down nur bei spezifischen Lagerungsarten in der Abfallgröße enthalten. Diese sind aber weder aus der Bottom-up-Bilanz noch aus den Top-down-Daten abschätzbar. Als erstes Problem einer Kombination von bottom-up- und top-down-Ansätzen erweisen sich demnach unterschiedliche, kaum überbrückbare Definitionen einzelner Umweltbelastungen.

Ein zweites Problem kann aus unterschiedlichen Bezugsjahren der beiden Bilanzierungen entstehen. Das Beispielfahrzeug in Tabelle 11.1 wurde bottom-up 1998 auf Basis möglichst aktueller Daten bilanziert. Dagegen ist das Basisjahr der Top-down-Analyse 1993; ein Jahr, in dem der rapide Strukturwandel nach der Wiedervereinigung noch in vollem Gange war. Z.B. wurde der Kraftwerkpark in den neuen Ländern auch nach 1993 noch zügig modernisiert, was die Primärenergieintensität und die spezifischen Emissionen reduzierte. Nimmt man zur Illustration an, dass der bundesdurchschnittliche Rückgang auch im Straßenfahrzeugbau realisiert wurde, dann erhält man folgende Bilanzwerte: Primärenergie 73 GJ; CO₂-Äq. 4,5 t, SO₂-Äq. 17 kg und PO₄³⁻-Äq. 1,4 kg. Trotz aller Vorbehalte bezüglich derartiger Überschlagsrechnungen darf man doch vermuten, dass größere Teile der unterschiedlichen Werte für Luftschadstoffemissionen – besonders für SO₂-Äq. – auf überholten Emissionsfaktoren in der Top-down-Analyse beruhen.

Der dritte und konzeptionell bedeutsamste Punkt betrifft die jeweilige Systemgrenze. In der bottom-up-Analyse werden die vorgelagerten Prozesse berücksichtigt, nicht jedoch Verwaltung, Forschungstätigkeit etc. im Unternehmen selbst und Vorleistungen von Wirtschaftsprüfern, Unternehmensberatern, Werbung für das Produkt etc. Diese Tätigkeiten sind in der top-down-Analyse berücksichtigt. Der Unterschied lässt sich nicht herausrechnen, er kann jedoch an den Ammoniakemissionen aufgezeigt werden, die insbesondere für die unterschiedliche Eutrophierungswerte bedeutsam sind (Bottom-up: 7 g PO₄³⁻-Äq.; Top-down: 280 g PO₄³⁻-Äq.). Die deutschen Ammoniakemissionen entstehen zu über 95 % in der Landwirtschaft - ca. 85 Prozentpunkte kommen aus der Tierhaltung, ca. 10 Prozentpunkte aus dem Düngermiteinsatz. Aus dieser Aufteilung mag man vermuten, dass zwischen den Ammoniakemissionen und dem Straßenfahrzeugbau kaum Verbindungen bestehen. Jedoch stammen von den 280g PO₄³⁻-Äq. (Top-down) ca. 233 g PO₄³⁻-Äq. aus der Landwirtschaft. Hiervon entstehen durch die Erzeugung von Lebensmitteln für Kantinen- und Geschäftsessen in der gesamten Vorleistungskette ca. 130 g. Der in der bottom-up-Analyse für Herstellung des VW Lupo ermittelte Eutrophierungseffekt würde demnach um eine Größenordnung von 15% steigen, wenn man Kantinen- und Geschäftsessen berücksichtigte. Welche Systemgrenze zu wählen ist, ist eine Frage des Untersuchungsziels. Für technologische Fragestellungen sind sicherlich bottom-up-Ansätze notwendig und die Vernachlässigung bestimmter Dienstleistungen dürfte für einen Vergleich alternativer Technologien von eher untergeordneter Bedeutung sein.

Tabelle 11.1: Vergleich der Umweltbilanz der Herstellung eines VW Lupo 3L: Top-Down und Bottom-up

		Top-Down*	Bottom-Up**
Primärenergie	GJ	77,0	62,5
Treibhauseffekt	t CO ₂ -Äq.	5,3	3,5
Versauerung	kg SO ₂ -Äq.	28,5	17,7
Eutrophierung	kg PO ₄ ³⁻ -Äq.	1,75	0,87
Wasserverwendung***	m ³	301	84
Abfall***	t	1,0	0,45
Davon besonders überwachungsbedürftig	kg	121	12-124

*Annahme: a) Sämtliche Bauten und Anlagen in der Vorleistungskette müssen für die Lupoproduktion erstellt werden. b) Zugrundegelegter Preis ab Werk (ohne MwSt): 27381 DM_{1.Vierteljahr 2001} [Quelle: www.volkswagen.de, dort: „Konfigurator“, Modell: Lupo 3L, 1.2 TDI, 45 kW, 5-Gang, Grundausstattung, 16% MwSt subtrahiert]; daraus: 21499 DM₁₉₉₃ (durch Verknüpfung der Indices der Erzeugerpreise für Straßenfahrzeuge (1993-1995) [Statistisches Bundesamt, 1998, S.614] und für Personenkraftwagen und Wohnmobile (1995-1999) [Statistisches Bundesamt, 2000a, S.603] sowie des Preisindex für die Lebenshaltung (1999- 3. Vierteljahr 2000) [Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, 2000, S.381].

** Quelle: [Schweimer, 1999]

*** Die Ergebnisse der bottom-up-Analyse können nur eingeschränkt zu den Kategorien der top-down-Analyse zusammengefasst werden.

11.6 Entwicklungstendenzen und Nachhaltigkeitsdefizite unseres heutigen Verkehrssystems

Eine erste Anwendung erfahren die Analyseinstrumente und der Indikatorensatz durch eine Überprüfung des Status Quo des Aktivitätsfeldes, also einer Analyse der Entwicklungstendenzen und Nachhaltigkeitsdefizite unseres heutigen Mobilitätsbedürfnisse und ihrer Befriedigung.

Eine Reihe divergierender Trends charakterisiert die Entwicklungen der Nachhaltigkeit im Verkehrssektor.⁶ Auf der *Nachfrageseite* ist eine deutliche Expansion zu beobachten, die sich in zunehmendem Fahrzeugbestand, deutlich steigenden Personen- und Güterverkehrsleistungen und einem Modal Split mit Verschiebungen zugunsten des motorisierten Individualverkehrs, des Straßengüterverkehrs und der Luftfahrt manifestiert. Insbesondere der Geschäfts- und Urlaubsverkehr nimmt im Bereich des Personenverkehrs an Bedeutung zu. 80 % der Personenverkehrsleistung wird durch den motorisierten Individualverkehr bereitgestellt. Zudem werden diese Verkehrsleistungen mit zunehmend größeren, stärker motorisierten Fahrzeugen durchgeführt. Dadurch werden die vergangenen Erfolge in der Reduktion des spezifischen Kraftstoffverbrauchs und die Einführung sparsamerer Fahrzeugkonzepte nahezu kompensiert. Im Güterverkehr steigt die Relevanz der LKW-affinen Gütergruppen "Steine und Erden" sowie "Fahrzeuge, Maschinen, Halb- und Fertigwaren". Die Bedeutung dieser beiden Gütergruppen sowie die Marktverluste des Transports von Gütern der Grundstoffindustrie, die besonders bahn- und binnenschiffaffin sind, sind ein Grund für die enorme Zunahme des Straßengüterverkehrs.

⁶ Für eine ausführliche Darstellung vgl. [Pehnt 2001].

Diese Entwicklung korrespondiert auf *ökologischer* Seite mit einem deutlich wachsenden energetischen Ressourcenverbrauch und zunehmenden Treibhausgasemissionen. Inklusive des indirekten ("grauen") Energieverbrauchs durch Herstellung und Wartung von Fahrzeugen und Infrastruktur etc. liegt der Primärenergieverbrauch des Aktivitätsfeldes bei 34 % des gesamten deutschen Verbrauchs mit verschwindend geringen Anteilen erneuerbarer Energieträger. Die Zunahme der absoluten, aber auch relativen Beiträge des Aktivitätsfeldes stehen in deutlichem Widerspruch zu Umwelthandlungszielen und weisen diesen Bereich als ein vordringliches Handlungsfeld für Nachhaltigkeitsmaßnahmen aus.

Deutliche Fortschritte gibt es hingegen in der ökologischen Dimension durch Einführung schadstoffarmer Fahrzeuge bei anderen Umweltwirkungen, die in den vergangenen Jahren um 35 (Versauerung, Eutrophierung) bis 75 % (NMHC-Emissionen) abgenommen haben. Dies manifestiert sich auch in verbesserter Luftqualität, beispielsweise einer deutlichen Abnahme der Tage mit Überschreitung der Ozongrenzwerte. Diese deutliche Abnahme wird aber teilweise durch einen nicht in gleichem Maße rückgängigen Sockel aus indirekten ("grauen") Emissionen gemindert. Während in diesen Umweltwirkungen die Handlungs- und Qualitätsziele zu erreichen sein werden, verschiebt sich die Umweltproblematik auf andere, beispielsweise kanzerogene Substanzen, bei denen zwar Reduktionstrends abzusehen sind, aber die Einhaltung der Handlungsziele noch nicht definitiv abgesichert werden kann.

Das Aktivitätsfeld Mobilität führt zu einem bedeutenden Verbrauch an Grundstoffen. Beispielsweise werden ca. ein Viertel der in Deutschland verfügbaren Stahl- und Nichteisen-Mengen (Produktion und Import) für die Herstellung von Fahrzeugen verbraucht. Ein rückläufiger nicht-energetischer Ressourcenverbrauch durch sinkende Beseitigungsquoten kann den Zuwachs an Materialverbrauch begrenzen.

Trotz steigender Verkehrssicherheit weist die absolute Höhe der Verkehrstoten fast ausschließlich aus dem Straßenverkehr den Bereich Sicherheit als dringliches Handlungsfeld aus. Im Bereich der Lärmbelastigungen durch den (vor allem Straßen-) Verkehr ist eine gewisse Stagnation auf hohem Belästigungsniveau zu erkennen, die durch die gegenläufigen Tendenzen leichter Verbesserungen in der Emissionscharakteristik und deutlich steigender Verkehrsleistungen zu charakterisiert ist. Mehr als die Hälfte der Bevölkerung fühlt sich durch Straßenverkehr beeinträchtigt.

Wesentlicher Handlungsbedarf ist auch beim steigenden Flächenverbrauch und der zunehmenden Flächenzerschneidung durch Verkehrsstrassen und -infrastruktur zu sehen. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche hat in den vergangenen 50 Jahren einwohnerspezifisch von ca. 350 auf knapp 500 m²/Einwohner zugenommen (davon 40 % Verkehrsflächen). Hinzu kommen Gebäudeflächen für die Produktion der im Aktivitätsfeld verbrauchten Güter. Dabei nimmt die Straßennetzlänge kontinuierlich zu, während das Streckennetz der Bundesbahn seit 1991 um 9 % abgenommen hat. Der Trend steigenden Flächenverbrauchs durch den Straßenbau und die Verschiebungen zuungunsten des flächenspezifisch günstigeren Schienenverkehrs sind aus Nachhaltigkeitssicht eine äußerst ungünstige Tendenz und laufen allen Umweltqualitätszielen zuwider (z. B. kein weiterer direkter Flächenverbrauch außerhalb städtischer Gebiete [EST, 1996 #821]).

Nicht nur der absolute Flächenverbrauch, sondern auch die **Flächenzerschneidung** erweist sich durch den irreversiblen Verlust von Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten und den Verlust von Regenerationsflächen für Luftqualität und Trinkwasserversorgung als kritisch. In Deutschland nimmt die Zahl der unzerschnittenen, verkehrssarmen Räume drastisch stark ab, im Zeitraum von 1977 bis 1998 um 18 %.

Die Entwicklung im *ökonomischen Bereich* ist schwerer zu bewerten. Eine arbeitsteilige Ökonomie ist auf ein hohes Maß an Verkehr angewiesen. Zugleich und deshalb dient ein Großteil der Güterproduktion der Bereitstellung von Mobilität. Ersteres spiegelt sich beispielsweise in den steigenden Güterverkehrsleistungen wider. In diesem Zusammenhang ist Mobilität ein vorgeordnetes System – in strengem Sinn darf dann auch nicht mehr von einem Aktivitätsfeld gesprochen werden, da dieses bedürfnisorientiert kategorisiert ist, somit die Transportdienstleistungen den jeweiligen konsumierten Gütern zuzuordnen wären. Die ökonomischen Aktivitäten verschiedener Akteure, beispielsweise die staatlichen Verkehrsausgaben, spiegeln dann die Vorstellungen dieser über die konkrete Ausgestaltung der Realisierung von Mobilität wider. Die staatlichen Investitionsstrategien greifen die kritische Bewertung des Straßenverkehrs derzeit nur ansatzweise auf, indem die Investitionen für Straße und Schiene angeglichen werden. Jedoch ist eine eindeutige, ökologisch motivierte Prioritätensetzung zugunsten der Schiene nicht erfolgt.

Die enorme ökonomische Bedeutung, die durch Mobilität generiert wird, kann z. B. an der Zahl der Arbeitsplätze (8 Millionen im Aktivitätsfeld) oder dem hohen Anteil an der Bruttowertschöpfung (25 % der deutschen Bruttowertschöpfung gehen auf das Aktivitätsfeld zurück) gemessen werden. Dies verweist auf die Sorgfalt, mit der Vermeidungs-/Verminderungsstrategien hinsichtlich ihrer ökonomischen Nachhaltigkeit geprüft werden müssen. Zugleich werden Problemfelder aus dem ökologischen und sozialen Bereich in Form von externen Umwelt-, Verkehrssicherheits-, Stau- und vergleichbaren Kosten in die ökonomische Dimension "importiert".

In der *sozialen Dimension* stehen Fragen der Gleichbehandlung, des angemessenen Zugangs, der Partizipation an der Verkehrsplanung sowie der Bewegungsfreiheit im öffentlichen Raum im Vordergrund. Hier wiederholen sich gesamtgesellschaftliche Benachteiligungsmuster, die z. B. an der ungleichen geschlechts-, raum- oder altersspezifischen Verfügbarkeit des motorisierten Individualverkehrs (beispielsweise verfügen 38 % der Frauen und 71 % der Frauen mit einem Alter zwischen 60 und 80 Jahren nicht über einen Pkw, wohingegen nur 17 % der Männer (27 % der Männer zwischen 60 und 80 Jahren) keinen Pkw-Zugang haben) und an der sozial asymmetrischen Verteilung der Umweltbelastungen (z. B. bis zu 60 mal höhere Schadstoffbelastungen entlang von städtischen, oft von sozial benachteiligten Gruppen bewohnten Hauptverkehrsstrassen im Vergleich zu ländlichen Gebieten) abzulesen sind. Der Trend der Suburbanisierung mit einer überproportionalen Zunahme vor allem in hochverdichteten Kreisen außerhalb der Kernstädte verweist auf eine verstärkte Abhängigkeit von individueller Mobilität. Ein umso größeres Gewicht bekommen Aspekte der raumabhängigen Erreichbarkeit, der Bewegungsfreiheit im öffentlichen Raum (z. B. Sicherheit vor Kriminalität) und der oftmals noch mangelnden Partizipation gerade der benachteiligten Bevölkerungsgruppen an der Verkehrsplanung. Zugleich wird an dem ständig steigenden Stellenwert der Verkehrsausgaben im Budget der privaten Haushalte (von 6,4 % (1950, alte Länder) auf 15,2 % (1998)) die steigende Bedeutung des Aktivitätsfeld ersichtlich.

11.7 Szenarien im Aktivitätsfeld Mobilität

⁷ Genaueres zu den Datensätzen, der datentechnischen Abgrenzung und der Methodik ist in Klann/Schulz (in diesem Band, Kap. 5) zu finden.

Zur Überprüfung unterschiedlicher zukünftiger Entwicklungen im Aktivitätsfeld über den Status Quo und die beschriebenen Nachhaltigkeitsdefizite hinaus ist die Festlegung von Szenarien erforderlich. Die Ausarbeitung von Szenarien und Strategien nachhaltiger Entwicklung in den einzelnen Aktivitätsfeldern und die Markierung der jeweiligen politischen Entscheidungsbedarfe und der Entscheidungsspielräume ist zentraler Bestandteil des HGF-Projekts "Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland" (Kap. 8). Damit wird der Rahmen künftiger Entwicklungsmöglichkeiten aufgespannt, die jeweiligen Nachhaltigkeitslücken aufgezeigt und daraus Strategien zur Überwindung dieser Lücken abgeleitet.

Tabelle 11.2 zeigt schlagwortartig in den Bereichen Politik, Technik und Verkehr, wie sich die einzelnen Szenarien vorbehaltlich der endgültigen Szenario-Festlegung in ihrer Grundausrichtung unterscheiden.

Tabelle 11.2 Szenarien im Gesamtprojekt

	Globalisierungsszenario	Modernisierungsszenario	Welt im Wandel-Szenario
Politik:	Primat der Ökonomie; Vernachlässigung ökologischer, sozialer und entwicklungs-politischer Zielvorgaben	Primat der Ökonomie unter Einbeziehung dringlicher ökologischer Notwendig- keiten	Ausrichtung der Ökonomie an soziale, ökologische und entwicklungspolitische Notwendigkeiten
Technik:	Wettbewerbszentriert	Effizienzorientiert	Naturorientiert
Verkehr:	Verkehrs- und Transport- intensität von Wirtschaft und Gesellschaft steigt.	Verkehrs- und Transport- intensität von Wirtschaft und Gesellschaft ist leicht sinkend.	Verkehrs- und Transport- intensität von Wirtschaft und Gesellschaft sinkt.

11.7.1 Konkretisierung für das Aktivitätsfeld Mobilität

Eine Konkretisierung der allgemeinen Szenarienvorgaben für das Aktivitätsfeld Mobilität muss die zukünftige Entwicklung unterschiedlicher Aspekte berücksichtigen (**Tabelle 11.3**). Auf den vorläufigen Charakter dieser Ausführungen sei nochmals ausdrücklich hingewiesen. Für diese Szenarien werden in den folgenden Arbeitsschritten des Projektes quantitative und qualitative Entwicklungen festgelegt. Basierend auf den Ergebnissen der Szenariorechnung

⁸ THG enthält CO₂, CH₄ und N₂O in der Gewichtung 1:21:310. Die nicht beachteten, weiteren THG tragen nur ca. 1% zu den deutschen THG-Emissionen bei [Statistisches Bundesamt, 2000b, S.25]. Die später auftauchenden Versauerungsgase (VSG) enthalten SO₂, NO_x und NH₃ in der Gewichtung 1:0,7:1,88.

⁹ Aufgrund der umfangreichen Datenbasis sind time lags von 3-5 Jahren die Regel. Die Daten für 1995 sind seit kurzem verfügbar und werden gegenwärtig bearbeitet.

¹⁰ „Staub“ fasst Partikel verschiedener Größe zusammen. Weitere Unterteilungen, z.B. kleine Partikel (PM₁₀), konnten aus Datengründen nicht getrennt untersucht werden.

¹¹ NMVOC: Flüchtige Kohlenwasserstoffe außer Methan.

¹² Inklusive ihrer jeweiligen Gewichtung tragen nun SO₂, NO_x und NH₃ jeweils ca. ein Drittel zu den VSG-Emissionen bei.

¹³ Dieser Abschnitt kann in der Endfassung des Berichts - in einer vorläufigen Fassung - an die Ergebnisse von Kap. 8 angepasst werden.

können Nachhaltigkeitsdefizite identifiziert und darauf aufbauend Teilstrategien für einen optimalen Entwicklungspfad entwickelt werden.

Tabelle 11.3: Konkretisierung der Mobilitätsszenarien

Szenario Parameter	Globalisierungsszenario	Modernisierungsszenario	Welt im Wandel-Szenario
Verkehrsnachfrage			
Personenverkehr			
Verkehrsleistung	Steigt stark	Steigt	Stagnierend bis leicht fallend
Besetzungsgrad	Trendfortsetzung	Trendfortsetzung	Steigt
Modal-split	Trend zur stärkeren Individualisierung des Verkehrs Starkes Wachstum im Luftverkehr	Trend zur stärkeren Individualisierung des Verkehrs Starkes Wachstum im Luftverkehr	Verschiebung zugunsten des Umweltverbundes Stagnation des Luftverkehrs
Güterverkehr			
Transportleistung	Stark steigend	Stark steigend	Trend zur langlebigen und regionalen Produkten senkt die Steigerung der Güterverkehrsnachfrage
Auslastungsgrad	Steigerung	Durch breiten Einsatz von Telematik und Logistiksystemen deutliche Steigerung	Durch geringere Steigerung des Straßengüterfernverkehrs nur moderate Steigerung
Modal-split	Starke Anteilsgewinne des Straßengüterverkehrs	Starke Anteilsgewinne des Straßengüterverkehrs (insb. des gewerblichen Verkehrs)	Modal-split-Gewinne von Eisenbahn und Schiff im Güterfernverkehr
Technik			
Leichtbau	Geringfügiger Einsatz innovativer Werkstoffe Durch steigende Komfortansprüche jedoch insgesamt Gewichtszunahme	Geringfügiger Einsatz innovativer Werkstoffe, dadurch geringfügige Gewichtsabnahme trotz steigender Komfortansprüche	Gewichtsreduktion durch Komponenten-Reduktion und Downsizing. Ökologisch abgestimmter Einsatz von Leichtbaustoffen
Kraftstoffe	Hauptsäule Benzin und Diesel REG marginal	Baldmöglichster Einsatz von Wasserstoff, später auch aus regenerativen Quellen, bis dahin reformuliertes Benzin und Diesel	Regenerative Primärenergieträger vor allem im stationären Sektor und im Schienenverkehr. Verstärkter Einsatz von Biodiesel, Biogas etc. Wasserstoff erst ab 2030
Strommix	Fortsetzung der Kraftwerksentwicklung Moderate Effizienzsteigerung	Vermehrter Erdgaseinsatz Zunahme der Nutzung regenerativer Energieträger Mittlere Effizienzsteigerung	Solares Langfristszenario
Ottomotor	Direkteinspritzung, Ventilsteuerung u. ä. führen zu Anhebung des Antriebswirkungsgrades Durchsetzung der Euro-4-Norm	Maßnahmenpaket zur Effizienzsteigerung (Direkteinspritzung, Ventilsteuerung, Downsizing/Aufladung) führt zu deutlicher Kraftstoffabsenkung Durchsetzung der Euro-4-Norm	Durch Downsizing/Aufladung und Verringerung des mechanischen Energiebedarfs drastische Senkung des Kraftstoffverbrauchs Durchsetzung der Euro-4-Norm
Dieselmotor	Geringe Effizienzsteigerung Einsatz von Partikelfilter Trendfortschreibung im Pkw-Bestand	Geringe Effizienzsteigerung Einsatz von Partikelfilter Steigender Anteil am Pkw-Bestand	Geringe Effizienzsteigerung Einsatz von Partikelfilter Stagnierender bis leicht sinkender Anteil am Pkw-Bestand
Schienenverkehr	Trendfortschreibung	Innovative Antriebe im Fernverkehr	Innovative Antriebe im Fernverkehr und im Nahverkehr
Luftverkehr	Trendfortschreibung	Deutliche Senkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs	Starke Senkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs durch energie-effizientes Fluggerät,

Szenario	Globalisierungsszenario	Modernisierungsszenario	Welt im Wandel-Szenario
Parameter			Erhöhung der Auslastung und durch operationale Maßnahmen
Telematik	Dient vor allem der Komfortsteigerung Marginaler Einfluss auf die Verkehrsleistung	Breiter Einsatz zur Verbesserung des Verkehrsflusses und der zielgenauen Verkehrsführung Einfluss auf die Verkehrsleistung ungewiss	Marginale Bedeutung
Verkehrsinfrastruktur			
Fußgänger- und Fahrradverkehr	Trendfortschreibung	Trendfortschreibung	Ausbau der entsprechenden Infrastruktur durch geschlossene Netze
ÖPNV-Netz	Trendfortschreibung	Ausbau Vorrang für Schiene	Zentrale Bedeutung Ausbau Taktverdichtung Flexible Bedienung Vorrang für Schiene
Eisenbahnnetz	Trendfortschreibung (BVWP)	Ausbau über BVWP hinaus	Flächenbahn Service- und Logistikzentren
Straßennetz	Trendfortschreibung (BVWP)	Trendfortschreibung (BVWP)	Nur die begonnenen Maßnahmen werden zu Ende geführt Weiterer Bau von Umgehungsstraßen
Raumordnungs- und Siedlungsstruktur			
Stadt- und Siedlungsplanung	Kein Bezug zum Verkehr	Kein Bezug zum Verkehr	Verkehrsarme Städte, Stadt der kurzen Wege, stärker polyzentrisch orientierte Raumplanung
Regionale Wirtschaftsstruktur	Globalisierung	Moderate Globalisierung	Regionalisierung der Gütermärkte
Ländlicher Raum	Erschließung durch MIV	Trendfortschreibung	Erschließung durch flexiblen ÖPNV und Ultraleichtfahrzeuge
Tourismus	Trendfortschreibung	Erlebnistourismus	Sanfter Tourismus
Politik			
Ordnungspolitik	Geringe Akzeptanz	Akzeptanz der derzeitigen Planungen	Grenzwerte Ge- und Verbote
Preispolitik	Trendfortschreibung	Unterstützung von Road-pricing	Erhöhung der Steuern auf Kraftstoffe aus nicht erneuerbaren Energiequellen Preissenkungen im ÖPNV

11.7.2 Schritte zur quantitativen Festlegung des Szenarien

Um bei der Vielzahl von Optionen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit eine in den jeweiligen Szenarien konsistente Kombination von Maßnahmen zu erhalten, wird schrittweise in den Bereichen "Technik" und "Verkehrsnachfrage" vorgegangen, durch die die Vollständigkeit des Top-Down-Ansatzes mit dem Detaillierungsgrad der Ökobilanz und der Verkehrsanalyse verzahnt werden. Die quantitative Festlegung umfasst vier Schritte: die Vorauswahl von Optionen, die quantitative Festlegung der Referenzsysteme, die Festlegung der Verteilung der Verkehrsträger nach Antriebskonzepten und Größenklassen sowie die Festlegung der Entwicklung der Verkehrsnachfrage.

Schritt 1: Screening von Optionen

In einem ersten Schritt wird ein Screening der Optionen mit unterschiedlichen Analysemethoden, beispielsweise Ökobilanzen oder Potenzialuntersuchungen vorgenommen. Neben der Frage über das "Ob" verschiedener Technologien und Strategien lassen sich als wesentliche Informationen für die Entwicklung aktivitätsfelderspezifischer Teilstrategien dabei auch Aussagen über das "Wann" und das "Wieviel" ableiten. Einige Beispiele aus dem Teilgebiet "Technische Optimierung" mögen dies verdeutlichen:¹⁵

Beispiel 1: Erneuerbare Energieträger im Verkehr

In einer langfristig orientierten Kraftstoff-Strategie ist der Einsatz von regenerativen Primärenergieträgern vor allem aus Gründen des Klimaschutzes, der Endlichkeit und der Konzentration der fossilen Energieträger notwendig. Neben den – vor allen Dingen langfristigen – Erfordernissen der Einführung regenerativer Kraftstoffe gibt es jedoch auch Argumente gegen ihre zu rasche Einführung, d. h. für eine zeitlich abgestimmte Nutzungsstrategie:

Potenziale und Nutzungskonkurrenz. Die genaue Analyse der Potenziale regenerativer Energien offenbart, dass es zwar ein bedeutendes Potenzial für den Einsatz regenerativer Energien gibt, dass es aber gleichfalls abzuwägen gilt

- zwischen der regenerativen Kraftstofferzeugung und dem Einsatz regenerativer Energieträger in der stationären Strom- und Wärmeversorgung, also beispielsweise der Substitution von Heizöl durch Biomasse oder von Kohlestrom durch regenerativ erzeugte Elektrizität;
- zwischen der Kraftstofferzeugung auf Energiepflanzenbasis und der Extensivierung/Ökologisierung (Freiflächen, Vermeidung von Monokulturen) der Landwirtschaft.

Hinzukommt, dass nicht nur der motorisierte Individualverkehr Kraftstoff in Form von Benzin und Diesel nachfragt. Auch andere "Kraftstoffe" werden eingesetzt. Der *Fahrstrom*bedarf von Bundesbahn, S- und U-Bahnen betrug beispielsweise 1993 über 50 PJ. Der Einsatz von Elektrizität im Aktivitätsfeld Mobilität beschränkt sich aber nicht auf den Einsatz von Strom zum direkten Antrieb. Vielmehr fließt Strom in Form "grauer Energie" auch in die Herstellung der Fahrzeuge (150 PJ), in die Kraftstoffbereitstellung und in Vertrieb und Wartung von Straßenfahrzeugen [Pehnt 2001] (siehe auch Kapitel 11.6). Dies bedeutet für den Einsatz regenerativer Energieträger im Mobilitätssektor vor allem, dass auch ein bedeutendes Potenzial zur Senkung der mit Mobilität verbundenen Umwelteinwirkungen allein durch eine "Ökologisierung" der Strombereitstellung erfolgen kann. U. a. durch Verlagerung von Verkehrsleistung auf die Schiene kann dieser Anteil weiter gesteigert werden.

Auch der Einsatz von Wasserstoff zur Dämpfung der Fluktuation regenerativer Energiebereitstellung ist ein allenfalls langfristig relevanter Aspekt, da zuvor eine Reihe von

¹⁴ Eine Gegenüberstellung von bottom-up und top-down Ergebnissen für CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines VW Golf findet sich in Klann/Nitsch (2000).

¹⁵ Detaillierte Informationen über technische Optimierungspotenziale sind in [Pehnt 2001], sowie im Endbericht zu finden.

Maßnahmen ergriffen werden können, um das Angebot an regenerativem Überschussstrom bzw. den zu deckenden Reststrombedarf zu mindern [Nitsch, Trieb 2000].

"**Ökoeffizienz**". Ein wesentlicher Faktor für den Zeitpunkt des Einsatzes regenerativer Kraftstoffe ist der ökoeffiziente Einsatz der regenerativen Primärenergieträger. Dieser hängt von der Substitutionswirkung des gewählten Einsatzsegmentes ab. Während eine kWh Strom im derzeitigen Erzeugungssystem zu 680 g CO₂ führt, verursacht die Produktion und Verbrennung von 1 kWh Benzin lediglich ca. 300 g. Die Substitution konventionellen Stroms durch regenerative Primärenergieträger ist also unter Klimagesichtspunkten mehr als doppelt so effizient wie der Ersatz von Benzin durch diese. Der optimale Einsatz von regenerativ hergestellten Kraftstoffen im Verkehr ist allerdings eine Funktion der Zeit. Die zunehmende Durchdringung des Kraftwerksparks durch regenerative Primärenergieträger und Erdgas führt zu sinkenden CO₂-Emissionen. Andererseits wird die Benzinherstellung durch zunehmende Ressourcenverknappung und damit verbundenen Mehraufwendungen zu steigenden Emissionen führen.

Kosten regenerativer Kraftstoffe. Der Einsatz regenerativer Kraftstoffe muss sich neben den Potenzialen und der ökologischen Substitutionswirkung auch an der Kostensituation orientieren (**Abb.11.7**).

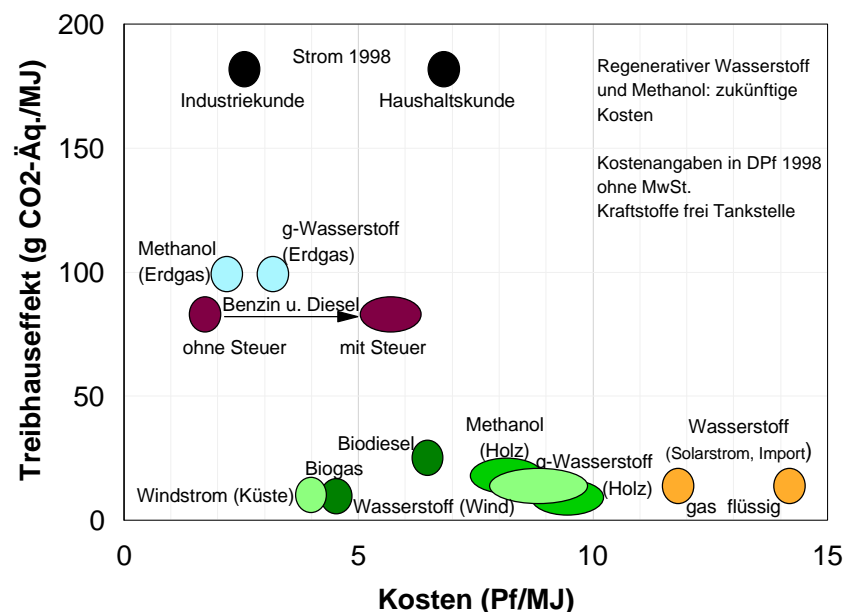


Abb. 11.7: Kosten und Treibhausgas-Emissionen verschiedener fossiler und regenerativer Kraftstoffe

Es ist ersichtlich, dass die Umwandlung – in der Regel teurerer – regenerativer Primärenergieträger in Kraftstoffe auf absehbare Zeit noch einen zusätzlichen Aufpreis bedeutet. Die Kosten von Kraftstoffen auf Biomasse-Basis (ohne Holz aus Kurzumtrieb) bewegen sich in einer Bandbreite zwischen 4 und 11 Pf/kWh und sind somit deutlich höher als die Herstellungs-/Verteilungskosten von Benzin. Zukünftiger regenerativer Strom liegt hingegen durchaus im Bereich der Kosten der Endverbraucherebene (Haushalte). Die Kostenschere regenerativ/fossil ist also bei Kraftstoffen deutlich höher als im Stromsektor.

Von strategischer Bedeutung für die Bewertung des Einsatzes regenerativer Primärenergieträger im Verkehr ist allerdings die zukünftige Preisentwicklung, da sich durch eine relative Verschiebung der Preisentwicklungen im mobilen und stationären Bereich, also beispielsweise durch einen früheren überproportionalen Anstieg der Rohölkosten durch die kürzeren Reichweiten, eine Verschiebung des Zeitpunktes ergeben kann, zu dem der Einsatz im mobilen Sektor attraktiver wird. Prognos geht beispielsweise von einer Verdreifachung der Rohölpreise bis 2050 aus, während der Strompreis bis 2010 leicht fällt und dann moderat ansteigt – in Abhängigkeit von der Erzeugungsstruktur [Prognos, 2001]. Damit wird die Substitution von Rohöl-basierten Kraftstoffen attraktiver.

Für die Festlegung der Szenarien im AF Mobilität bedeutet dies, dass es erst langfristig zu einem Einsatz von regenerativen Primärenergieträgern im Verkehrssektor kommen wird. Abschätzungen zeigen, dass sowohl die Ressourcenlage, die ökologische Effizienz und die Kostenschere eine großflächige Einführung in ca. zwei bis drei Dekaden plausibel machen und zuvor regenerative Energieträger im stationären Bereich zu sehen sind. Diese Einschätzung ist Grundlage für das Welt im Wandel-Szenario. Im Modernisierungsszenario wird hingegen davon ausgegangen, dass aus Imagegründen und zur Unterstützung der Markteinführung von Brennstoffzellen bereits vorher ein Ausbau regenerativer Energie im Aktivitätsfeld erfolgt. Im Globalisierungsszenario werden regenerative Energien insgesamt und mithin auch im Aktivitätsfeld Mobilität nicht ausreichend gefördert.

Beispiel 2: Leichtbau

Eine *Gewichtsverringering* der Fahrzeuge ist aus mehreren Gründen wichtig. Der Rollwiderstand wird verringert, der Energiebedarf reduziert, der zum Beschleunigen und Bergauffahren wichtig ist, und der Motor kann kleiner ausgelegt werden.

Einige realisierte Fahrzeuge zeigen, dass eine Gewichtsreduktion ohne Komfort- und Leistungseinbußen durch Einsatz von Leichtbau, veränderte Karosserie-Bauweisen oder kleinere aufgeladene Motoren ohne weiteres möglich ist. Die Öko-Version des VW Lupo enthält beispielsweise viel Aluminium und erreicht eine Gewichtsverminderung um 15 %. Greenpeace reduzierte im Smile das Originalgewicht um 23 % - ohne exotische Materialien, lediglich durch einen kleineren Motor sowie leichtere Innenausstattung und Räder.

Der Verbrauchsreduktion stehen jedoch unter Umständen erhöhte Umweltwirkungen durch aufwendigere Materialien entgegen (**Abb. 11.8**). Dies wird besonders offensichtlich bei *Faser-Verbundwerkstoffen*, deren Herstellung außerordentlich aufwendig ist. Eine überschlägige Ökobilanz bei optimistischen Annahmen für die Energieaufwendungen von Verbundwerkstoffen zeigt, dass durch Verwendung von Kohlenstofffasern als Substitution für Stahl als Karosserie-Werkstoff die Mehraufwendungen für die Herstellung durch einen verringerten Kraftstoffbedarf wieder amortisiert werden, aber keine "spektakulären" Einsparungen zu erzielen sind [Pehnt 2001]. Bei der Festlegung der Szenarien wird daher der Einsatz von Leichtbaumaterialien bewusst beschränkt.

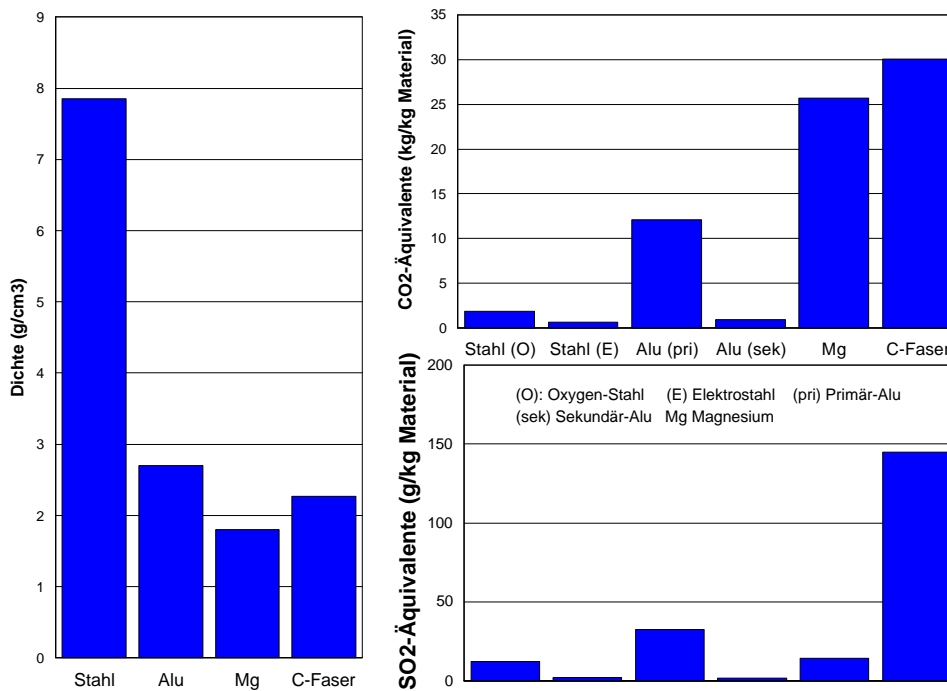


Abb. 11.8: Dichte (links), Treibhauseffekt (rechts oben) und Versauerung (rechts unten) von Leichtbaumaterialien

Schritt 2: Festlegung der Referenzsysteme

Im Rahmen des für die Szenarienberechnungen verwendeten Verkehrsmodells müssen nun die ausgewählten Optionen quantitativ bestimmt werden, beispielsweise hinsichtlich des Kraftstoffbedarfs und zukünftiger Emissionsentwicklungen. Festlegungen basieren z. T. auf Simulationen und Modellberechnungen (z. B. der mechanische Antriebsbedarf bei gegebenen Fahrzeugparametern oder der Kraftstoffbedarf von Brennstoffzellenfahrzeugen). Vielfach müssen diese auf einzelne Parameter zurückgreifen (Fahrwiderstände, Kennfelder, etc.). In diesem Fall werden Parameter von innovativen, gerade in den Markt eintretenden Fahrzeugkonzepten oder Pilotversuchen herangezogen ("Best-case-Transfer"), um das Optimierungspotenzial zu bestimmen. Neben solchen Best-case-Transfers konnte auch auf statistische Auswertung von marktüblichen Komponenten zurückgegriffen werden; z. B. für den Rollwiderstand. Außerdem sind Literaturlauswertungen und Expertenschätzungen gerade für die Wirkungsgrade der konventionellen Antriebssysteme erforderlich, da hier erst sehr vereinzelt verallgemeinerbare Informationen vorliegen. Andere Parameter sind exogen vorgegeben. Die Emissionsentwicklung wird sich beispielsweise an den gesetzlichen Vorgaben orientieren (Euro 4; Euro 5 für Nutzfahrzeuge). Hier werden für die verschiedenen Szenarien unterschiedliche Emissionsniveaus unterstellt, die den unterschiedlichen Fahrmustern in Anlehnung an die TÜV-Datenbank im IKARUS-Verkehrsmodell zugeordnet werden.

Beispielhaft ist in **Tabelle 11.4** die Festlegung und argumentative Ableitung der Referenzfahrzeuge für ein Benzin-Fahrzeug der Kompaktklasse dargestellt. Das Beispiel zeigt u. a. das große Minderungspotenzial, das sich allein im Bereich der Straßenfahrzeuge erschließen lässt (Kraftstoffbedarf um Faktor 2 zwischen Globalisierungs- und Welt im Wandel-Szenario reduziert). Ähnliche Festlegung zukünftiger Entwicklungslinien werden in

[Pehnt 2001] für das gesamte Spektrum an Verkehrsmitteln (MIV, Nutzfahrzeuge, Busse, Schienen- Schiff- und Flugverkehr) für verschiedene Kraftstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin, Erdgas, Wasserstoff, Strom, Biodiesel) getroffen.

Tabelle 11.4: Festlegung der Referenzsysteme (Status 2020) und argumentative Herleitung/Berechnungsstruktur am Beispiel eines kleinen Benzin-PKW (< 1,4l)

Szenario	Globalisierung	Modernisierung	Welt im Wandel
Fahrzeugmasse	1010 kg typische Karosseriemasse	920 kg 5 % Verringerung	720 kg* Reduktion um 25 % wie bei Smile/Renault Twingo
Motorisierung (kW/t)	50 Zusammenstellung nach [Carpetis, 2000]	44	32
Luftwiderstand $c_W \cdot A$ (m²)	0,66	0,6	0,475
	Praxisbeispiele: Lupo: Senkung von 0,64 auf 0,57, Audi A2: Senkung auf 0,544, Planung General Motors Ultralite: 0,33		
Rollwiderstandsbeiwert	0,01	0,009	0,007
	Planung General Motors: 0,007; Hypercar: 0,006; [Weiss, 2000 #751]		
Wirkungsgrad (%) io**/ao/Autobahn	14/26/31	18/28/35	18/28/35
	Auswertung von Fahrzeugtests neuer Fahrzeuge mit Verbesserungen vor allem innerorts	Expertenabschätzungen (siehe [Pehnt 2001]) für zukünftige Direkteinspritzer. Fortschritte vor allem innerorts.	
Fahrverhalten	Hyzem-Fahrzyklus	Hyzem-Fahrzyklus	Hyzem-Fahrzyklus mit reduzierter Höchstgeschwindigkeit
	Hyzem: repräsentativer Fahrzyklus mit höherer Dynamik/höheren Geschwindigkeiten als NEFZ		
Mechan. Energiebedarf (MJ/km) io**/ao/Autobahn	0,35/0,40/0,53	0,31/0,36/0,48	0,24/0,27/0,29
	errechnet aus Fahrzeugparametern mit Modellica-Fahrzeug-Simulationstool		
Kraftstoffbedarf (l Benzin/100 km) io**/ao/Autobahn	8,0/5,0/5,3	5,5/4,0/4,2	4,1/3,0/2,6

* Zusätzlich gibt es im Welt im Wandel-Szenario ein an den Loremo angelehntes Extremfahrzeug (Masse: 540 kg), das vor allem für die Anbindung des ländlichen Raums an den ÖPNV und andere Shuttlefahrten eingesetzt wird. ** io: innerorts mit Kaltstart, ao: außerorts.

Schritt 3: Festlegung der Verteilung der Fahrzeuge nach Antriebskonzepten und Größenklassen

Die Festlegung der Szenarien erfordert nach der Definition der Einzelfahrzeuge eine Aussage über die Verteilung der Fahrzeuge und Verkehrsmittel nach Antriebskonzepten und Größenklassen. Eine Markterschließung mit neuen Antriebskonzepten vor allem im Bereich des motorisierten Individualverkehrs kann je nach den gewählten Parametern sehr unterschiedliche Ausmaße annehmen. Sie hängt wesentlich ab vom

- Zeitpunkt der Markteinführung,

- dem insgesamt erreichbaren Marktpotenzial und
- der Wachstumsrate, mit der dieses Marktpotenzial erschlossen wird.

Diese wiederum sind auf eine Vielzahl von Einflussfaktoren zurückzuführen, z. B.

- die Entwicklung der Kraftstoffpreise und der Kraftstoffbesteuerung;
- die Entwicklung der Fahrzeuginvestitionskosten und die Akzeptanz der Käufer. Nach [Neumann, 2000] nimmt beispielsweise die Bereitschaft, ein voll ausgestattetes Öko-Auto zu kaufen, bei einem Mehrpreis von DM 2000 um 50 % ab;
- die Höhe der Umweltqualitätsziele und damit zusammenhängend die Entwicklung gesetzlicher Grenzwerte;
- die Förderung und Bewerbung der Technologien in der Öffentlichkeit.

Ottomotoren werden nach wie vor als Rückgrat des individuellen Personenverkehrs dienen. Durch technische Fortschritte wird es gelingen, auch bei Ottomotoren den Verbrauch zu senken und vor allen Dingen durch geringere Investitionskosten konkurrenzfähig zu sein. Die Spannweite des Anteils von Ottomotoren reicht in verschiedenen Szenarien des Verkehrs der Zukunft von einem Ottomotoranteil von lediglich gut 30 % bis hin zu 80 %. Die meisten Szenarien liegen bei Anteilen zwischen 60 und 80 % [Pehnt 2001].

Der Anteil des *Dieselmotors* an den Bestandszahlen wird wesentlich davon abhängen, ob es gelingt, flächendeckend Partikelfilter einzuführen. Die vergangene Entwicklung des Anteils von Dieselfahrzeugen am Bestand zeigt, dass Preis- und Verbrauchsdifferenzen zu einer Entwicklung aus einer Nischenanwendung in Nutz- und Flottenfahrzeugen zu einem konkurrenzfähigen Antrieb für den Massenmarkt führen können.

Die Entwicklung von *Brennstoffzellenantrieben* differiert sehr stark [Pehnt, 2000 #713]. Als frühester Zeitpunkt einer Markteinführung von Brennstoffzellenfahrzeugen wird von der Automobilindustrie das Jahr 2004 angestrebt. Angesichts der noch offenen Fragen der Kraftstoffinfrastruktur und der Sinnhaftigkeit eines regenerativen Wasserstoffeinsatzes (siehe oben) sowie der Existenz lediglich einzelner Demonstrationsfahrzeuge zum jetzigen Zeitpunkt ist dies eine sehr ehrgeizige und nur eingeschränkt sinnvolle Zeitmarke.

Im *Modernisierungsszenario* gehen wir davon aus, dass Dieselfahrzeuge im Jahr 2020 auf einen Anteil von 25 % an der Fahrleistung kommen werden (**Tabelle 11.5**), wobei die Dieselfahrzeuge auch in kleineren Fahrzeugen mit Partikelfiltern ausgestattet sind und Euro 4-Grenzwerte erfüllen. Dieselfahrzeuge setzen sich in diesem Szenario überproportional im unteren Leistungssegment durch. In unserem Szenario gehen wir von einem "verzögerten Markt" für Brennstoffzellen-Fahrzeuge aus, d. h. der Markteintritt beginnt erst im Jahr 2008, das Marktwachstum erfolgt jedoch rascher und das erreichbare Marktsegment wird mit 20 % höher angesetzt. Für 2020 gehen wir von einem Anteil an der Fahrleistung von 10 % aus. Als Konsequenz aus der Analyse der Kraftstoffoptionen im Screening-Schritt unterstellen wir zudem Wasserstoff-Brennstoffzellen. Ottomotoren werden den restlichen Anteil von 65 % ausmachen. Wir nehmen die Einführung nahezu schwefelfreien Kraftstoffs als gegeben an und prognostizieren im technologischen Szenario einen stärkeren Anstieg von Down-Sizing/Aufladungs-Konzepten und Direkteinspritzung.

Im *Welt im Wandel-Szenario* hingegen dominieren effiziente konventionelle Antriebe die ersten Dekaden stärker als im Modernisierungsszenario, da der Einsatz regenerativer Energien in den Verkehrssektor erst später, nach einer Ausschöpfung der Nutzungspotenziale im stationären Bereich, erfolgt. Wasserstoff-Brennstoffzellen kommen zuerst im Bussektor zum Einsatz.

Verteilung der Fahrzeuge nach Größenklassen. In den vergangenen Jahren war ein kontinuierlicher Trend zu größeren, stärker motorisierten Fahrzeugen erkennbar, der u. a. auf erhöhte Anforderungen an die Fahreigenschaften, den Komfort und die Sicherheit zurückzuführen ist. Im *Globalisierungsszenario* unterstellen wir eine ungebremste Fortsetzung dieses Trends bis zu einer gegebenen "Gleichgewichtsverteilung". Im *Modernisierungsszenario* erfolgt diese Umstrukturierung mit geringerer Geschwindigkeit. Außerdem liegt die durchschnittliche Motorisierung um zehn Prozent unter der des Modernisierungsszenarios. Im *Welt im Wandel-Szenario* ist der Zuwachs der durchschnittlichen Motorisierung durch Einsicht in die Erfordernisse des Klimaschutzes gebremst und kehrt sich in fünf Jahren um, bis im Jahr 2020 wieder die Ausgangsverteilung von 1980 erreicht ist. Dies ist u. a. auch darauf zurückzuführen, dass eine Vielzahl der Fahrzeuge vor allem für Transferzwecke zu den nächsten Umsteigestellen des öffentlichen Verkehrs dient. Durch verstärktes Car Sharing ist in diesem Szenario zudem ein funktionsorientiertes Ausleihen von Fahrzeugen größerer Leistung möglich, so dass der erforderliche Bestand geringer sein kann.

Schritt 4: Entwicklung der Verkehrsnachfrage

Im Bereich der Verkehrsnachfrage werden den einzelnen Szenarien adäquate Verkehrsleistungen zugeordnet. Die Festlegung erfolgt dabei verkehrsmittel- und fahrzeugspezifisch (Tabelle 11.5).

In einem ersten Schritt wurden für das Modernisierungs- und Globalisierungsszenario verschiedene mögliche Entwicklungspfade der Verkehrsnachfrage unterstellt. Als Grundlage für die Entwicklung im *Modernisierungsszenario* wurden die Prognose der Prognos AG [Prognos 2000] übernommen und der inzwischen erfolgten Revision der Verkehrsleistungen im Eisenbahnpersonenverkehr und im Luftverkehr [BMVBW 2000] angepasst. .

Tabelle 11.5 Eingabedaten für das Globalisierungs- und das Modernisierungsszenario [BMVBW 2000, Prognos 2000, eigene Berechnungen]

	1999	2020 Globalisierung	2020 Modernisierung
Verkehrsleistungen			
Personenverkehr¹⁶ (Mrd. Pkm)	955,6	1.284,8	1.159
Pkw, Kombi	740,8	1.018,3	905,2
Otto (%)	82,0	76,8	64
Diesel (%)	18,0	21,9	25
BZ-H2 (%)	0	0,2	10
Andere (%)	>0	1,1	1,0
Motorisierte Zweiräder	17,1	20,6	16,8
Freizeitfahrzeuge	8	11,0	11,0
Kraftomnibusse	68,2	66,7	72
ÖSPV-Schiene	8	9,3	10
Eisenbahn	73,6	78	82
Luftfahrt	39,9	70,8	62

¹⁶ Ohne Fußgänger- und Fahrradverkehr.

Güterverkehr¹⁷ (Mrd. tkm)	476,5	757	670
Lastkraftfahrzeuge	341,7	596	492
Eisenbahn	71,4	86	95
Binnenschiff	62,7	74	82
Luftfahrt	0,7	1	1
Spez. Verbrauch*			
Personenverkehr (MJ/Pkm)			
Pkw	2,06	1,42	0,99
Otto	2,1	1,46	1,02
Diesel	1,92	1,34	0,94
BZ-H2	-	0,9	0,75
Mot. Zweiräder	1,09	1,09	1,08
Freizeitfahrzeuge	2,28	1,99	1,46
Kraftomnibusse	0,6	0,56	0,46
ÖSPV-Schiene	0,85	0,82	0,67
Eisenbahn	0,69	0,56	0,5
Luftfahrt	8,94	7,64	4,78
Güterverkehr (MJ/tkm)			
Lkfv	2,28	1,64	1,19
Eisenbahn	0,27	0,2	0,18
Binnenschiff	0,36	0,312	0,29
Luftfahrt	8,94	7,64	4,78

Beim Luftverkehr ist zu erwarten, dass sich die Wachstumsdynamik weiter fortsetzen wird, da die Reiselust der Bevölkerung ungebrochen anhält und Flugreisen aufgrund der relativ günstigen Preise weiter an Attraktivität gewinnen werden. Auch wenn die Bahn im innerdeutschen Verkehr Marktanteile vom Luftverkehr zurückgewinnen kann, werden die Zuwachsraten insgesamt nur ganz leicht oberhalb des Durchschnitts der gesamten Verkehrsnachfrage liegen. Dagegen wird der Marktanteil des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) auch weiterhin rückläufig sein. Dies gilt in erster Linie für den Busverkehr, der sowohl im Segment Gelegenheitsverkehr aufgrund der stärker werdenden Konkurrenz der Eisenbahn als auch im Linienverkehr nur unterproportionale Wachstumsraten erreicht. Trotz der steigenden Preise für Kraftstoffe wird der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) an der gesamten Verkehrsleistung nur geringfügig zurückgehen. Ausschlaggebend hierfür sind in erster Linie die auch weiterhin steigende Pkw-Verfügbarkeit, die nach wie vor relativ niedrigen variablen Kosten der Pkw-Nutzung sowie eine unterstellte weitgehende Konstanz des Verhaltens der Bevölkerung [Prognos 2000].

Die modale Verteilung des Güterverkehrs zeigt, dass der Marktanteil des Straßengüterverkehrs bis zum Jahre 2020 auf 73,5 % der gesamten Güterverkehrsleistungen ansteigt. Getragen wird diese Entwicklung durch mehrere Einflussfaktoren. Die Verkehrsmarkoliberalisierung bewirkt, dass die überdurchschnittliche Wettbewerbsfähigkeit trotz politischer Maßnahmen zur Reduktion des Straßengüterverkehrs erhalten bleibt. Darüber hinaus werden durch intelligente Logistik- und Telematiksysteme die schon heute bestehenden Kapazitätsengpässe auf den Straßen abgemildert. Insbesondere die Förderung des kombinierten Verkehrs wird für die Verkehrsträger Binnenschiff und

¹⁷ Ohne Rohrfernleitungen und Seeschifffahrt.

Eisenbahn Wachstumsimpulse auslösen, allerdings sind diese Verkehrsträger durch das unterproportionale Wachstum der Grundstoffindustrie besonders betroffen, so dass die Expansion nur unterdurchschnittlich ausfällt [Prognos 2000].

Im *Globalisierungsszenario* wird von einer stärkeren *Individualisierung des Personenverkehrs* ausgegangen, was sich in einem im Vergleich zum Modernisierungsszenario stärkeren Wachstum des MIV und des Luftverkehrs bei geringerem Wachstum des Eisenbahnpersonenverkehrs und des ÖSPV auswirkt (vgl. **Abb. 11.16**). Insgesamt ist die Personenverkehrsleistung im Globalisierungsszenario um rund 10 % höher als im Modernisierungsszenario¹⁸.

Im *Güterverkehr* zeigt sich die Individualisierung und Globalisierung in einem im Vergleich zum Modernisierungsszenario stärkerem Wachstum des Straßengüterverkehrs bei einem geringerem Wachstum des Schienenverkehrs und der Binnenschifffahrt. Insgesamt ist die Güterverkehrsleistung im Globalisierungsszenario um 13 % höher als im Modernisierungsszenario.

11.7.3 Erste Szenarioergebnisse am Beispiel CO₂

Aus einer Kombination der szenariospezifischen technischen Entwicklungspfade mit dem jeweiligen Verkehrsszenario lassen sich erste vorläufige Szenarien ableiten. Im folgenden werden erste Szenarioergebnisse des Globalisierungs- und Modernisierungsszenarios vorgestellt. Sie werden im weiteren Verlauf des Projektes detailliert und um das Welt im Wandel-Szenario ergänzt, für eine Reihe unterschiedlicher Indikatoren berechnet und interpretiert und sollen hier nur zu einer vorläufigen Illustration der zukünftig zu erwartenden Entwicklungen dienen. Die Ergebnisse werden am *Beispiel* der Entwicklung der Kohlendioxid-Emissionen dargestellt. In selber Form liegen Ergebnisse für andere Umweltwirkungen vor. Eine umfassende Interpretation der verschiedenen Entwicklungen ist nächster Schritt innerhalb des Projektablaufs.

Im *Globalisierungsszenario* steigen die gesamten Kohlendioxid-Emissionen aus dem Verbrauch von Kraftstoffen und Strom einschließlich derer zur Kraftstoffherstellung deutlich an (**Abb. 11.9**).

¹⁸ Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den Szenarien um erste Entwürfe handelt, die im weiteren Verlauf der Untersuchungen noch modifiziert werden können. Insbesondere bedarf die Herleitung der einzelnen Größen noch der Begründung auf der Grundlage der jeweiligen Szenariophilosophie.

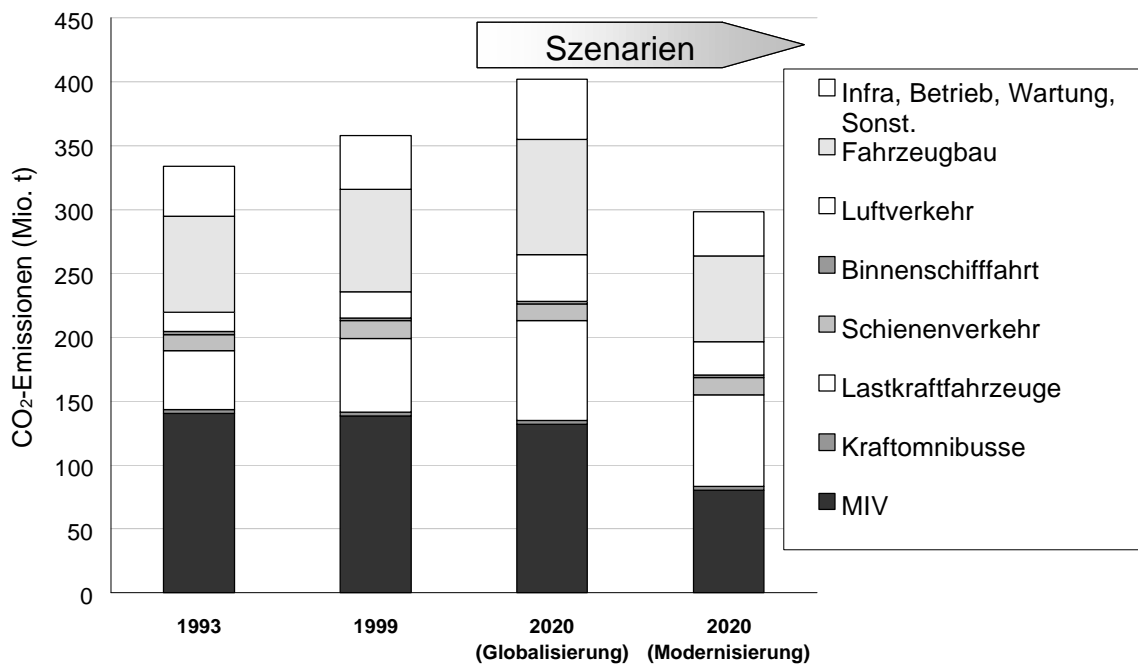


Abb. 11.9: Kohlendioxid-Emissionen des Aktivitätsfeldes

Eine Aufteilung der Emissionen nach Verkehrsmitteln zeigt, dass der motorisierte Individualverkehr mit einem Anteil von fast 50 % der direkten Emissionen der größte Emittent im Verkehrsbereich ist, gefolgt vom Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen, der einen Anteil von nahezu 30 % erreicht. Ein nennenswerter Anteil wird vom Luftverkehr mit rund 14 % verursacht.

Zuwächse erreichen der Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen (+53 %) und die Luftfahrt (+96%) und in geringerem Maße der Kraftomnibusverkehr und die Binnenschifffahrt, wohingegen der motorisierte Individualverkehr (-4 %) und der Eisenbahnverkehr (-10 %) im Jahre 2020 weniger emittieren als 1997.

Ursachen dafür sind die Energieeffizienzsteigerungen im motorisierten Individualverkehr, die dessen steigende Verkehrsleistungen überkompensieren. Im Straßengüterverkehr sind die technischen Minderungspotentiale geringer. Zusammen mit seiner enormen Verkehrszunahme führt dies zu steigenden Kohlendioxid-Emissionen. Obwohl sich der spezifische Verbrauch im Luftverkehr um über 17 % verringert, steigen auch hier wegen der Bedeutungszunahme des Luftverkehrs die Kohlendioxid-Emissionen.

Im *Modernisierungsszenario* sinken die gesamten Kohlendioxid-Emissionen gegenüber 1993 um 11 % ab (**Abb. 11.9**). Auch in diesem Szenario hat der motorisierte Individualverkehr den größten Anteil, gefolgt vom Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen. Ein nennenswerter Anteil wird vom Luftverkehr mit verursacht. Binnenschifffahrt, Schienen- und Kraftomnibusverkehr sind zusammen nur für 10 % des Energieverbrauchs verantwortlich.

Zuwächse erreichen der Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen und die Luftfahrt und in geringerem Maße die Binnenschifffahrt, wohingegen der motorisierte Individualverkehr durch die teilweise Erschließung des Kraftstoffreduktionspotenzials im Jahre 2020 gut 43 % weniger emittiert als 1993 und auch der Kraftomnibusverkehr rund 9 % verliert.

Obwohl sich der spezifische Verbrauch im Luftverkehr im Modernisierungsszenario gegenüber dem Globalisierungsszenario nochmals verringert, steigt auch hier wegen der

Bedeutungszunahme des Luftverkehrs der Energieverbrauch. Im Schienenverkehr führen die zusätzlichen Energieeffizienzsteigerungen zu Energieeinsparungen, während die Binnenschifffahrt auch in diesem Szenario leichte Energiezuwächse verzeichnet.

Selbst im Modernisierungsszenario reicht die Reduktion der CO₂-Emissionen jedoch nicht, um die meisten nationalen (z. B. -40 % (1990-2020) Enquete-Kommission) bzw. verkehrsbezogenen Einsparziele (z. B. Dänemark -25 % (1988 – 2030) oder sogar – 80 % (1990-2030) [OECD 1997]) zu erfüllen.

11.7 Literatur

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), 1999: Verkehr in Zahlen. 28. Jahrgang. Deutscher Verkehrs-Verlag. Hamburg.

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), 2000: Verkehrsbericht 2000. Integrierte Verkehrspolitik: Unser Konzept für eine mobile Zukunft. <http://www.bmvbw.de>.

Carpetis, C., 2000: Globale Umweltvorteile bei Nutzung von Elektroantrieben (mit Brennstoffzellen und/oder Batterien) im Vergleich zu Antrieben mit Verbrennungsmotor. STB-Bericht Nr. 22; DLR-IB-200044417400. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart.

Deutsche Shell AG (Hrsg.), 1999: Mehr Autos - weniger Emissionen. Szenarien des Pkw-Bestands und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020. Hamburg.

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), 1998: Energie-Effizienz-Indikatoren: Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis. Abschlußbericht. Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Wirtschaft Nr. 23/97. Berlin und Karlsruhe.

Ernst Basler+Partner AG, 1998: Nachhaltigkeit. Kriterien im Verkehr. Berichte des Nationalen Forschungsprogramms NFP 41 "Verkehr und Umwelt". Eidg. Drucksachen- und Materialienzentrale (EDMZ). Bern.

Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), 1999: Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle. Symposium zum Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. Stuttgart, 27. 09. 1999.

Hans-Böckler-Stiftung (Hrsg.), 2000: Wege in eine nachhaltige Zukunft. Ergebnisse aus dem Verbundprojekt Arbeit und Ökologie. Bund-Verlag. Frankfurt/Main.

Hautzinger, H., Heidemann, D., Krämer, B., 1996: Inländerfahrleistung 1993. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Mensch und Sicherheit. Heft M 61. Bergisch Gladbach.

Keimel, H., Ortman, C., Pehnt, M., 2000: Nachhaltige Mobilität in einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung. TA-Datenbank-Nachrichten Nr. 4(2000), S. 43-50.

Klann, U., Nitsch, J. 2000: Der Aktivitätsfelderansatz – Ein methodisches Untersuchungsgerüst zur Formulierung von Nachhaltigkeitsstrategien, in: TA-Datenbank-Nachrichten Nr. 2 (2000), S.58-65.

Klann, U., Schulz, V. 2001: Der Aktivitätsfeldansatz – Daten und Methoden, in diesem Band.

¹⁹ Einschließlich der Vorleistungen im Ausland.

²⁰ Einschließlich Strom.

²¹ Einschließlich der Vorleistungen im Ausland.

- Langniß, O. u. a. 1997:** Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung - Ein solares Langfristszenario für Deutschland. Workshop 12. 12. 1997. Forschungsverbund Sonnenenergie.
- Maibach, M., Peter, D., Seiler B. 1995:** Ökoinventar Transporte, SPP Umwelt, Modul 5, INFRAS AG, Zürich.
- Maibach, M. u. a., 1997:** Umweltindikatoren im Verkehr. Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel. INFRAS. Zürich.
- Neumann, K.-H., Schindler, K.-P., 2000:** Zukünftige Fahrzeugantriebe. VDI-Berichte 1565 "Innovative Fahrzeugantriebe". VDI-Verlag. Düsseldorf 2000, S. 3-22.
- Nitsch, J., Trieb, F., 2000:** Potenziale und Perspektiven regenerativer Energieträger. Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 1997:** Towards Sustainable Transportation. Conference organised by the OECD hosted by the Government of Canada. Vancouver, British Columbia, 24 - 27 March 1996. OECD Proceedings. Paris.
- Pehnt, M., 2000a:** Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen in der Energie- und Verkehrstechnik. Dissertation. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart, Druck in Vorbereitung.
- Pehnt, M., 2000b:** Ökobilanzen und Markteintritt von Brennstoffzellen im mobilen Einsatz. VDI-Bericht 1565, S. 323-347. Dresden.
- Pehnt, M., 2001:** Ökologische Nachhaltigkeitspotenziale von Verkehrsmitteln und Kraftstoffen. Stuttgart. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart
- Prognos AG (Hrsg.), 2000:** Energiereport III. Die langfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Schäffer-Poeschel. Stuttgart.
- Prognos AG, 2001:** Schlesinger, M.: Szenarienerstellung - soziodemografische und ökonomische Rahmendaten. Zwischenbericht für die Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung" des Deutschen Bundestages. Basel.
- Quaschnig, V., 1999:** Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. Habilitationsschrift. Technische Universität Berlin.
- Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung 2000:** Chancen auf einen höheren Wachstumspfad, Jahresgutachten 2000/2001, Metzler-Poeschel. Stuttgart.
- Schweimer, G. W., 1999:** Sachbilanz des 3 Liter Lupo. Volkswagen AG. Wolfsburg.
- Statistisches Bundesamt 1998:** Statistisches Jahrbuch 1998 für die Bundesrepublik Deutschland, Metzler-Poeschel. Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt 2000a:** Statistisches Jahrbuch 2000 für die Bundesrepublik Deutschland, Metzler-Poeschel. Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt 2000b:** Umweltökonomische Gesamtrechnung - Material- und Energieflussrechnungen 1999. Fachserie 19. Reihe 5. Metzler-Poeschel. Stuttgart.
- Walter, F., 1999:** Zwischenhalt auf dem Weg zum nachhaltigen Verkehr. Gaia 8 (1999), S. 93-101.
- Weiss, M. A. u. a., 2000:** On the Road in 2020. A life-cycle Analysis of New Automobile Technologies. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge.

