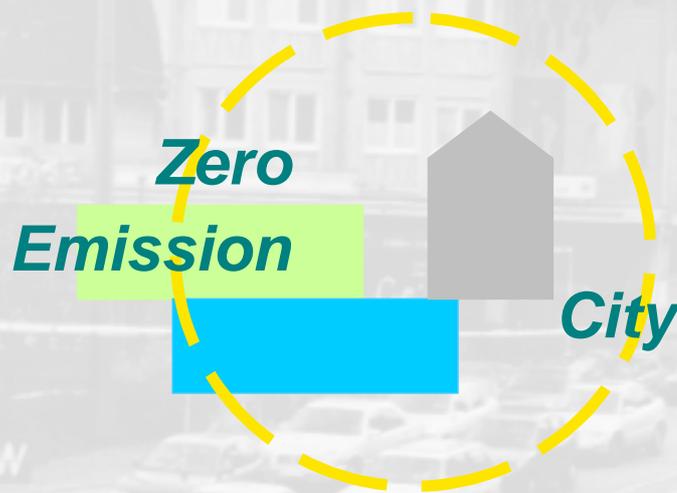


Null-Emissions-Stadt



**Sondierungsstudie im Auftrag des
Bundesministeriums für Bildung und Forschung**

vorgelegt vom

IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt

in Zusammenarbeit mit dem

ZIV – Zentrum für integrierte Verkehrssysteme, Darmstadt

Darmstadt, Oktober 2002

Bearbeiter IWU:

**Nikolaus Diefenbach
Andreas Enseling
Peter Werner**

Unter Mitwirkung von:

**Antje Flade
Rainer Greiff
Detlef Hennings
Eberhard Mühlich
Uwe Wullkopf**

Bearbeiter ZIV:

**Peter Sturm
Wolfgang Kieslich**

Sachbearbeitung/Redaktion/Layout:

Rolf Born
Marc Großklos
Reda Hatteh
Konny Müller
Andrea Ratschow
Conny Valouch-Fornoff

Darmstadt, Oktober 2002

Vorwort

Als unser Institut zum ersten Mal mit dem Thema „Null-Emissions-Stadt“ konfrontiert wurde, herrschte zunächst bei vielen Kolleginnen und Kollegen eine skeptische Einstellung vor. Die Vorstellung einer emissionsfreien Stadt wurde eher in die Kategorie Science Fiction eingeordnet, in der Bilder einer zwar schönen und neuen, aber unrealistischen Welt präsentiert werden.

Nach einigen Projektgruppendifkussionen und Recherchen ist den Beteiligten jedoch deutlich geworden, dass das Thema „Null-Emissions-Stadt“ nicht nur eine interessante Herausforderung darstellt, sondern auch eine realistische und zukunftsweisende Perspektive beinhaltet. Darüber hinaus sahen wir, wie auch in der Ausschreibung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zu dieser Sondierungsstudie bereits deutlich ausgeführt, dass in dem Thema innovative Forschungs- und Handlungspotenziale zu finden sind. Die Erstellung der Sondierungsstudie wurde für uns ein spannendes und außerordentlich interessantes Projekt.

Für die Bearbeitung der Studie wählten wir neben einer umfangreichen Literatur- und Internetrecherche folgendes Vorgehen. Einer Kernarbeitsgruppe, die die nachstehenden Unterzeichner bildeten, wurde eine erweiterte interdisziplinäre Arbeitsgruppe zur Seite gestellt. Dadurch konnten folgende Fachdisziplinen in das Projekt einbezogen werden: Physik, Energietechnik, Umweltökonomie, Volkswirtschaft, Stadtsoziologie, Umweltpsychologie, Architektur, Verkehrstechnik und Stadtökologie. Eine besondere Aufgabe dieser erweiterten Arbeitsgruppe bestand darin, in drei eintägigen interdisziplinären Diskussionsrunden wichtige Schwerpunktthemen gemeinsam mit hierfür gezielt eingeladenen Experten sowie mit den Vertretern vom Bundesforschungsministerium und vom Projektträger TÜV-Akademie Rheinland zu diskutieren. Die Themen waren: Eckpunkte und Grundsätze einer „Null-Emissions-Stadt“; Bedeutung von Siedlungs- und Verkehrsstrukturen; innovative Netzwerke, Milieus und Bürger. Ergänzend führten wir Gespräche mit einzelnen Experten zu verschiedensten Themenstellungen. Den Abschluss des Projektes bildeten eine schriftliche Expertenbefragung und ein anschließender Workshop, der im Juni 2002 stattfand. In der schriftlichen Befragung und auf dem Workshop wurden Thesen und Schlussfolgerungen der Projektarbeitsgruppe zur Diskussion gestellt.

Unser Dank gilt allen Experten

Björn Becker (Fachhochschule Trier)
Prof. Dr. Norbert Fisch (Technische Universität Braunschweig)
Uwe Fritsche (Öko-Institut, Darmstadt)
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. e. h. mult. Karl Gertis (Fraunhofer-Institut, Stuttgart)
Manfred Görg (ProKlima - Der enercity Klimaschutzfonds, Hannover)
Prof. Dr. Peter Heck (Fachhochschule Trier)
Prof. Dr. Hubert Heinelt (Technische Universität Darmstadt)
Helmut Jäger (Solvis GmbH+CoKG, Braunschweig)
Dr. Kristine Kern (Wissenschaftszentrum Berlin)
Prof. Dr. Rolf Kreibich (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin)

Rüdiger Kühr (European Focal Point, Zero Emissions Forum & Inter-Linkages, United Nations University, Berlin)
Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kutter (Technische Universität Hamburg-Harburg)
Jens Libbe (Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin)
Prof. Dr. Günter Liesegang (Universität Heidelberg)
Prof. Dr. Volker Linneweber (Universität Magdeburg)
Barbara Locher (Umweltbundesamt, Berlin)
Dr. Norbert Mayer (Universität Oldenburg)
Christian Neuhaus (Daimler-Chrysler AG, Berlin)
Uwe Nienstedt (ISAR-SÜD Grundstücksentwicklungs GmbH, München)
Prof. Dr. Rudolf Petersen (Wuppertal-Institut)
Prof. Dr. Reinhard Pfriem (Universität Oldenburg)
Prof. Dr. Walter Siebel (Universität Oldenburg)
Dr. Stefan Siedentop (Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden)
Dr. Bernd Steinmüller (BSMC - Sustainability Management Consulting, Paderborn)
Dr. Thomas Sterr (Universität Heidelberg)
Dr. Utz Tillmann (European Chemical Industry Council – CEFIC, Brüssel)
Dr. Gerhard Wagner (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn)
Axel Welge (Deutscher Städtetag, Köln)
Marc-Andree Wolf (Universität Stuttgart)
Thomas Wüst (Universität Dortmund),

die mit ihren Beiträgen einen wichtigen Anteil für das Gelingen der Sondierungsstudie geleistet haben.

Unser besonderer Dank gilt den verantwortlichen Vertretern des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Dr. Rainer Jansen
Dr. Brunhild Spannhake

und den verantwortlichen Vertretern des Projektträgers TÜV-Akademie Rheinland

Bernd Meyer
Dr. Klaus Stroink

sowie allen anderen nicht namentlich genannten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des BMBF und des Projektträgers, die intensiv und konstruktiv die Arbeit der Projektgruppe begleitet haben.

Und letztendlich möchten wir an dieser Stelle allen Kolleginnen und Kollegen sowohl des Zentrums für integrierte Verkehrssysteme und des Instituts Wohnen und Umwelt danken, ohne die diese Studie nicht hätte erstellt werden können.

Darmstadt im Oktober 2002

Dr. Nikolaus Diefenbach

Dr. Andreas Enseling

Peter Werner

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
Zusammenfassung	11
1 Einleitung	17
1.1 Aufbau der Studie	18
2 Bisherige Null-Emissions-Ansätze	19
2.1 Null-Emissions-Industrie/Zero Emission Industries	19
2.2 Nullenergiehäuser	20
2.3 Zero Emission Vehicles	21
2.4 Zero Emission Villages	21
3 Ausgangsbedingungen	22
3.1 Null-Emissions-Stadt spezifiziert nachhaltige Stadtentwicklung	22
3.1.1 Der Blickwinkel der „Null-Emissions-Stadt“ Strategie	22
3.1.1.1 „Starke“ Nachhaltigkeit als Leitlinie	22
3.1.1.2 Emissionen – Ergebnis menschlicher Aktivitäten	23
3.2 Leitmissionen	27
3.2.1 Entwicklungstendenzen der Luftschadstoffe in Deutschland	29
3.2.2 Entwicklungstendenzen von Nährstoff (Phosphor, Stickstoff) - und Schwermetalleinträgen in Gewässer	30
3.2.3 Entwicklungstendenzen Abfälle	30
3.2.4 Lärm	32
3.2.5 Zusammenfassung	33
3.3 Der Wert Null	34
4 Die Vision einer Null-Emissions-Stadt	35
4.1 Trends	35
4.2 Die Eckpunkte einer Null-Emissions-Stadt	37
5 Siedlungsstrukturen und Stadt-Umland-Prozesse	39
5.1 Nachhaltige Stadt- bzw. Stadt-Regionsmodelle	39
5.1.1 Die kompakte Stadt	39
5.1.2 Dezentrale Konzentration	40
5.1.3 Zwischenstadt	40

5.1.4	Netzstadt/Netzstadt-Methode	41
5.1.5	Stadtstruktur und Emissionen.....	42
5.1.6	Bewertung der Frage Siedlungsstruktur in Bezug auf das Ziel „Null-Emissions-Stadt“ ...	44
5.2	Stoffwechsel Stadt-Umland.....	45
5.2.1	Raum- und Maßstabebenen.....	46
5.2.2	Theoretische Konzepte von Mensch-Umwelt-Beziehungen	49
5.2.3	Stoffflussbilanzierungen von Städten und Siedlungsräumen	52
5.3	Dynamik von Stadtveränderungen	53
6	Energieversorgung und Energieeinsparung in der „Null-Emissions-Stadt“	55
6.1	Allgemeiner Rahmen.....	55
6.1.1	Energieverbrauch und Energieversorgung der Stadt	55
6.1.2	Klimaproblem.....	55
6.1.3	„Null-Emission“ bedeutet Energieeinsparung und emissionsfreie Energieerzeugung	56
6.1.4	Weitere direkte Emissionen.....	56
6.1.5	Indirekte Emissionen	57
6.1.6	Zukunftsvision und Gegenwartsbezug	57
6.2	Kenntnisstand	58
6.2.1	Nutzwärmebedarf in Gebäuden.....	59
6.2.1.1	Neubau-Wohngebäude	59
6.2.1.2	Neubau-Bürogebäude.....	59
6.2.1.3	Gebäudebestand.....	60
6.2.2	Stromverbrauch in Gebäuden.....	60
6.2.3	Wärmeversorgungstechnik	61
6.2.3.1	Überblick	61
6.2.3.2	Einzelhausversorgung.....	62
6.2.3.3	Nahwärmeversorgung.....	63
6.2.3.4	Fernwärmeversorgung.....	65
6.2.4	Regenerative Stromerzeugung in der Stadt und im Umland	65
6.2.5	Regenerative Energieerzeugung auf nationaler und internationaler Ebene.....	67
6.2.6	Vorgelagerter Energieaufwand.....	68

6.2.7	Verhaltensweise der Energienutzer und Energieverbrauch.....	68
6.2.8	Demonstrations- und Forschungsprojekte.....	69
6.2.8.1	Gebäudekonzepte	69
6.2.8.2	Wohngebiete/Stadtteile/Siedlungen/Gewerbe.....	71
6.2.8.3	Stadtbezogene Ansätze.....	72
6.3	Forschungsfragen	73
6.3.1	Grundsatzfragen	73
6.3.2	Praktische Ansätze	77
7	Kreislaufwirtschaft.....	80
7.1	Das Leitbild „Null-Emissionen“ für Industrie und Gewerbe – Stand der Forschung	80
7.1.1	Bestehende Ansätze aus Sicht der ökologisch orientierten Betriebswirtschaftslehre.....	81
7.1.1.1	Kreislaufwirtschaft als konstituierendes Prinzip	81
7.1.1.2	Produktbezogener Umweltschutz.....	84
7.1.1.3	Das ZERI-Konzept der United Nations University.....	89
7.1.2	Die „Null-Emissions-Stadt“ und ihr Bezug zur Kreislaufwirtschaft.....	93
7.1.2.1	Regionale Kreislaufwirtschaft.....	93
7.1.2.2	Wesentliche Stoffströme der Stadt	95
7.1.2.3	Schnittstellen zwischen Produktion, Konsum und kommunaler Verwaltung	100
7.1.3	Zusammenfassung und Fazit.....	102
8	Verkehr.....	105
8.1	Wechselwirkungen von Raum und Verkehr.....	105
8.1.1	Einleitung	105
8.1.2	Kenntnis- und Diskussionsstand	105
8.1.3	Handlungsfelder und Forschungsbedarf.....	109
8.2	Verkehrssysteme	111
8.2.1	Antriebstechnik	111
8.2.1.1	Elektroantrieb	112
8.2.1.2	Brennstoffzelle	113
8.2.2	Lärmemissionen	114
8.2.2.1	Lärmreduzierung	114
8.2.3	Verkehrsmittel.....	117

8.2.3.1 PRT „Personal Rapid Transit“	117
8.2.3.2 Schienenauto „RUF“	119
8.2.3.3 CargoCap („Rohrpost“)	121
8.2.3.4 Luftschiffe	123
8.2.3.5 Velotaxi	125
8.2.4 Handlungsfelder und Forschungsbedarf	126
8.3 Verkehrsmanagement	128
8.3.1 Verkehrsmittelwahl Verbesserung des Verkehrsangebots (Pull)	128
8.3.1.1 Car-Sharing	128
8.3.1.2 Wohnen ohne Auto	129
8.3.1.3 Öffentlicher Nahverkehr (ÖPNV)	130
8.3.2 Verkehrsmittelwahl Bewirtschaftung von Ressourcen (Push)	132
8.3.2.1 Parkraumbewirtschaftung	132
8.3.2.2 Straßenbenutzungsgebühr (road pricing)	134
8.3.3 Verkehrsvermeidung	135
8.3.3.1 Telearbeit	135
8.3.3.2 Ersatzziele	138
8.3.4 Handlungsfelder und Forschungsbedarf	138
9 Forschungs- und Projektrahmen für die „Null-Emissions-Stadt“ - Zusammenfassung und Empfehlungen	141
9.1 Ausrichtung eines Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“ - Grundsätze	141
9.2 Herausforderungen und Handlungsrahmen für Forschungsprojekte	143
9.3 Projektebenen und Kriterien für Projekte im Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“	148
9.3.1 Projektebenen für Forschungsprojekte	149
9.3.2 Kriterien für Forschungsprojekte	150
9.4 Forschungsfragen aus den Handlungsfeldern	152
9.4.1 Handlungsfeld Siedlungsstrukturen	152
9.4.2 Handlungsfeld Energieversorgung und -nutzung	154
9.4.3 Handlungsfeld Produktionsprozesse (Kreislaufwirtschaft)	156
9.4.4 Handlungsfeld Verkehr	157
9.4.5 Übergreifende Forschungsfragen aus den Handlungsfeldern	159

9.5	Empfehlungen für die Strukturierung eines Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“	161
10	Literatur	165

Zusammenfassung

Ziele, Ausgangsbedingungen und Aufbau der Sondierungsstudie

Die von den Städten der Industrieländer ausgehenden Emissionen stellen im Hinblick auf die globalen Belastungen wie z. B. Treibhauseffekt, Ozonabbau und Versauerung das Hauptproblem dar. Aus diesem Grunde bietet es sich an, den Gedanken der „Null-Emissions-Stadt“, der Vision einer möglichst emissionsfreien Stadt, aufzugreifen und auf seine Tragfähigkeit für innovative Handlungsmodelle forschungsstrategisch zu überprüfen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat das Institut Wohnen und Umwelt beauftragt, in einer Sondierungsstudie dieser Fragestellung nachzugehen.

Die Vision der „Null-Emissions-Stadt“ stellt das Paradigma der nicht-emissionsfreien Stadt bewusst in Frage, um darauf hinzuweisen, dass es nicht ausreicht, in kleinen Schritten den Output von Städten zu reduzieren, sondern dass ein „Quantensprung“ notwendig ist. Die in der Sondierungsstudie gewählte Herangehensweise orientiert sich an dem Konzept der starken Nachhaltigkeit, stellt die ökologischen Nachhaltigkeitsregeln in den Mittelpunkt, greift die Prinzipien nachhaltiger Stadtentwicklung auf und prüft am Beispiel der Emissionsproblematik, inwieweit Städte für eine Konsistenzstrategie geeignet sind. Das Ziel einer „Null-Emissions-Stadt“ ist in diesem Kontext dann erreicht, wenn die Emissionen, die eine Stadt an ihre Umgebung abgibt, die Aufnahmekapazität der lokalen, regionalen und globalen Umwelt nicht überschreitet.

Da Emissionen und Abfall vor allem Ergebnisse technisch-industrieller Umwandlungsprozesse sind, ist in der vorliegenden Studie neben den siedlungsstrukturellen Aspekten die Auseinandersetzung mit den technisch-industriellen Prozessen als Herangehensweise gewählt worden. Energienutzung, Produktionsprozesse zur Herstellung von Gütern und Verkehr tragen wesentlich zur Entstehung von Emissionen und Abfall bei und sind deshalb als beispielhafte Handlungsfelder ausgewählt worden, die bezüglich ihrer Effizienzpotenziale zur Emissionsreduktion analysiert werden.

Die vorrangige Betonung der Effizienzpotenziale ist bewusst vorgenommen worden. Das Aufzeigen einer zukunftsfähigen und optimistischen Perspektive – nämlich, dass der Weg einer „Null-Emissions-Stadt“ begehbar ist und mit welchen technischen, prozessualen und infrastrukturellen Innovationen dieser Weg verbunden ist – bildet die Voraussetzung, um Vertrauen in das „Null-Emissions-Stadt“-Konzept herzustellen und eine zielorientierte Ausrichtung darauf vornehmen zu können. Erst wenn diese Sicherheit gegeben ist, können Vorschläge für und Forderungen nach Veränderungen im Handeln von gesellschaftlichen Akteuren gemacht bzw. erhoben werden, um Einfluss auf die Aktivitäten und Bedürfnisse der städtischen Akteure auszuüben, die als „Driving Forces“ die Auslöser für emissionsrelevante Prozesse sind. Denn es ist davon auszugehen, dass die Erschließung der technischen Effizienzpotenziale nicht ausreichen wird, sondern letztlich auch die Suffizienzpotenziale erschlossen werden müssen, um das Ziel „Null-Emissions-Stadt“ zu erreichen.

Nach der Festlegung der Ausgangsbedingungen und Eckpunkte der Vision „Null-Emissions-Stadt“ und der Analyse der vier Handlungsfelder Siedlungsstrukturen, Energieversorgung, Produktionsprozesse

(Kreislaufwirtschaft) und Verkehr werden diese aufgegriffen und mit der kommunalen Handlungsebene verknüpft und zu einem Forschungs-, Handlungs- und möglichen Aktionsrahmen zusammengefügt. Die Studie schließt mit Hinweisen für die Gestaltung eines Forschungsprogramms „Null-Emissions-Stadt“.

Eckpunkte der Vision „Null-Emissions-Stadt“

Folgende Eckpunkte und Rahmenbedingungen sollten die Vision einer „Null-Emissions-Stadt“ leiten:

- Das Ziel Nullemissionen ist erreicht, wenn die Emissionen, die eine Stadt an ihre Umgebung abgibt, die Aufnahmekapazität der Umwelt nicht überschreitet.
- Die Siedlungsform Stadt wird nicht in Frage gestellt.
- Kreislaufwirtschaft muss zur bestimmenden Wirtschaftsform werden.
- Der Energieverbrauch ist soweit zu senken und anzupassen, dass die Bedarfsdeckung über regenerative (solare) Energiequellen ermöglicht wird.
- Der Zielwert Nullemissionen ist nicht innerhalb der stadträumlichen Grenzen sondern innerhalb stadtreionaler Grenzen zu erreichen.
- Keine Verlagerung von Emissionen in Vorketten, in andere Handlungsfelder oder in andere regionale und überregionale Räume, die nur eine Umverteilung zur Folge haben.
- Emissionen sind das Ergebnis von Aktivitäten und Bedürfnisbefriedigungen, die Verursacher und Auslöser der Emissionen sind. Null-Emissions-Strategien setzen daran an und nicht erst am „Endprodukt“ den Emissionen.

Ergebnisse aus den Handlungsfeldern

Das in der Nachhaltigkeitsdiskussion dominante Leitbild der kompakten Stadt ist in Bezug auf ökologische Tragfähigkeit bisher nicht ausreichend analysiert worden. Dieses Leitbild ist auch nicht mehr unangefochten, sondern die Tendenz geht dahin, dass für die vielfältigen Siedlungsformen jeweils spezifische Wege für eine nachhaltige Stadtentwicklung zu suchen sind. Die Zusammenhänge zwischen Siedlungsstrukturen und Emissionen bedürfen einer differenzierten Betrachtung. Es fehlt an zufriedenstellenden Modellen und qualifizierten Daten, um die verschiedenen Siedlungsstrukturen und die Stadt-Umland-Beziehungen in Bezug auf ihre emissionsfördernden oder –reduzierenden Wirkungen beurteilen zu können. Das Verständnis darüber, wie sich über einen längeren Zeithorizont die Potenziale, Dynamik und akkumulativen Effekte der vielen kleinteiligen Maßnahmen der Stadtsanierung und Gebäudemodernisierungen auf die Siedlungsstrukturen auswirken bzw. auswirken können, ist nur ansatzweise vorhanden. Auch die Bedeutung der Quartiers- bzw. Stadtstrukturtypenebene als eine Art Zwischenebene für innovative emissionsreduzierende Veränderungen lässt sich zurzeit nur unzureichend einschätzen.

Die mit dem Energieverbrauch zusammenhängenden Emissionen, vor allem die CO₂-Emissionen nehmen in der Null-Emissions-Diskussion eine Leitposition ein. Viele Null-Emissions-Ansätze (Null-

Emissions-Häuser, Null-Emissions-Fabrik, Zero Emission Village) definieren sich über diese Zielgröße. Die Absenkung der CO₂-Emissionen um den Faktor 10 bedeutet den Übergang zu einer völlig neuen, weitgehend solaren Energiewirtschaft. Eine wesentliche Frage lautet dabei, ob wir zukünftig eine dezentrale Energiewirtschaft haben werden, die insbesondere unsere heutige zentralisierte Stromwirtschaft mit ihren Großkraftwerken ablöst. Erhebliche Anstrengungen zur Verbrauchssenkung müssen unternommen werden. Die technischen Potenziale für diese ehrgeizigen Ziele zeichnen sich bereits ab. Die komplexen innerstädtisch ablaufenden Prozesse, das Leben und Arbeiten der Bewohner, liefern ein sehr weitgehendes Abbild der Tätigkeiten und auch der Technologien, die den Energiebedarf unserer Industriegesellschaft insgesamt bestimmen. Insbesondere im Handlungsfeld Energie kann daher der städtische Bereich als „Labor“ zur Untersuchung vieler wesentlicher Problemstellungen angesehen werden.

Für die „Null-Emissions-Stadt“ ist die Ausgestaltung regionaler Kreislaufwirtschaftsprozesse von Bedeutung. Eine regionale Anbindung des Ressourcen-, Produktions- und Reduktionssystems an das lokale bzw. regionale Konsumtionssystem ist erforderlich. Eine hundertprozentig lokale bzw. regionale Kreislaufwirtschaft kann jedoch nicht als Leitbild fungieren. Gerade der Bereich „Bauen und Wohnen“ macht deutlich, dass Stoffströme nicht nur an Hand von Massenbilanzen beurteilt werden dürfen, sondern vielmehr auch die dabei bewegten Produktwerte analysiert werden müssen. Schnittstellen zwischen emissionsrelevanten betrieblichen Prozessen und der „Stadt“ sind zu erkennen und hierzu Konzepte zu erarbeiten bzw. weiterzuentwickeln. Solche Schnittstellen sind vor allem in der Beziehung zwischen Produktion - Konsum - Reduktion und kommunalem Management zu sehen. Stadtspezifische Besonderheiten (Stoffströme, Akteure, Netzwerke, Kooperationen etc.) sind hierbei zu nutzen. Gerade für das Zusammenspiel zwischen der Stadt und ihren Industrie- und Gewerbebetrieben sind akteursbezogene Ansätze zu verfolgen. Neben staatlicher und marktlicher Steuerung kommt der Bildung effizienter Netzwerke große Bedeutung zu. Hierbei besteht Bedarf nach intermediären Strukturen und Agenten, die zwischen Akteuren und ihren verschiedenen Handlungsbereichen vermitteln.

Verkehrsbedingte Emissionsprobleme treten im dicht bebauten städtischen Bereich besonders prägnant auf. Zentrales Thema ist die Frage der Verkehrsvermeidung. Hierzu wurden verschiedene städtebauliche Ansätze entwickelt. Es ist noch nicht hinreichend geklärt, welche stadtstrukturellen Parameter den wesentlichen Einfluss auf das Verkehrsaufkommen ausüben. Der „Verkehr in der Dienstleistungsgesellschaft“ sollte ein Untersuchungsschwerpunkt im Rahmen der Null-Emissions-Stadt sein. Aufgrund der langfristigen Perspektive der Null-Emissions-Stadt bietet sich eine Diskussion über die Einführung neuartiger Verkehrssysteme an, die in der Regel mit erheblichen Infrastrukturaufwendungen verbunden sind. Eine Realisierung des Null-Emissions-Ziels erfordert die Verwendung regenerativer Energiequellen für den Antrieb. Hier gibt es erhebliche technische Fortschritte mit unterschiedlicher Umsetzungsreife. Ebenfalls liegen interessante Entwicklungen und Lösungsansätze im Bereich des Verkehrsmanagements vor. Weitere Ansatzpunkte bestehen in der verstärkten Nutzung der Informationstechnologie im Verkehrsbereich. Angesichts des geringen Erfolgs bisheriger Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und Verkehrsverlagerung muss jedoch die Aufmerksamkeit auf die Effizienz der Handlungsalternativen also auf die Veränderung staatlicher Rahmenbedingungen, den Wertewandel beim Verbraucher, technische oder planerische Ansätze und neue Informationssysteme gerichtet wer-

den. In der Studie werden zahlreiche innovative technische, organisatorische und strukturelle Beispiele gezeigt.

Herausforderungen und Handlungsrahmen für Forschungsprojekte

Die Prüfung der Vision „Null-Emissions-Stadt“ hat gezeigt, dass mit ihr durchaus ein realisierbares Ziel verknüpft werden kann, wenn konsequentes emissionsminderndes kommunales und vor allem regionales Handeln strategisch geplant und umgesetzt wird. Nach dem heutigen Erkenntnisstand bedeutet dies, dass die Schadstoffe, die eine Stadt an ihre Umwelt abgibt, um mehr als 80 – 90 % reduziert werden müssen. Dies ist nur möglich, wenn der Ressourcenverbrauch, aber insbesondere der Energiebedarf um den Faktor 10 reduziert werden kann. Zur Realisierung einer solchen „Null-Emissions-Stadt“ ist ein Zeitraum von mehreren Jahrzehnten notwendig, das Jahr 2050 bietet sich dabei als Zieljahr an. Trotz dieses langen Zeithorizontes darf die Thematik nicht ausschließlich theoretisch analysiert werden. Zum Einen sind belastbare Aussagen zur „Null-Emissions-Stadt“ längerfristig nur dann zu erwarten, wenn auch praktische Erfahrungen vorliegen, zum Anderen werden jetzt und heute Weichenstellungen über Siedlungsentwicklung, Verkehrs- und Energieinfrastrukturen getroffen, die sich langfristig im Hinblick auf zukünftige Reduktionspotenziale auswirken. Das Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“ sollte daher sowohl theoretische als auch praktische Projekte fördern, die für heutige Umsetzungsaufgaben im Bereich Stadtentwicklung beispielhafte und zukunftsweisende Lösungen zur Verminderung von Emissionen entwickeln.

Die „Null-Emissions-Stadt“ ist nur möglich, wenn sowohl sektorale Handlungsebenen verlassen und technologische zukunftsfähige Entwicklungen an gesellschaftliche „Fortschrittsprozesse“ angekoppelt werden können. Zentrale Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung einer „Null-Emissions-Stadt“, deren Wechselwirkung in verschiedenen Kombinationen Gegenstand des Forschungsfeldes sein können, sind in der gesellschaftlichen, technologischen, ökonomischen und räumlichen Entwicklung zu sehen. Insbesondere der theoretische oder praktische Einsatz von innovativen Technologien und die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den räumlichen Strukturen sollte obligatorischer Bestandteil der geförderten Projekte sein.

Auf technologischer Seite liegen die entscheidenden Schritte zur Emissionsminderung nicht mehr in der Reduktion von Emissionen bei Großemittenten und großen Punktquellen, sondern in der Reduktion der Emissionen von diffusen Quellen. Ein spezifisches Merkmal von Städten ist, dass sie durch eine hohe Dichte diffuser Quellen gekennzeichnet sind. Das Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“ sollte daher in der Beeinflussung der diffusen Quellen eine besondere Herausforderung sehen und entsprechende Projekte fördern.

Strategien und Maßnahmen, die in den Forschungsprojekten entwickelt und getestet werden sollen, müssen darüber hinaus deutlich machen, für welche städtebaulichen und siedlungsstrukturellen Situationen sie geeignet sind und wo unter Umständen ihre Grenzen liegen bzw. ob und warum sie unabhängig davon sind. Dabei sind auch die Wechselbeziehungen zwischen Stadt und Umland, insbesondere zum regionalen Umland von besonderer Bedeutung. Vor dem Hintergrund der vorhandenen Stadtteile, Städte und Stadtregionen, für die in den nächsten Jahrzehnten Umbau- und Erneuerungstrategien anstehen, sollten Vorschläge entwickelt werden, wie gerade diese Bedingungen vorteilhaft für emissi-

onsmindernde Strategien und Maßnahmen genutzt werden können. Die räumliche Dichte wird dabei als zu nutzendes Effizienzpotenzial betrachtet.

Neben der städtebaulichen Dichte gilt es Konzepte zu befördern, die die Akteursdichte in besonderer Weise für das Ziel der „Null-Emissions-Stadt“ nutzen. Denn die Bewältigung der komplexen Probleme verlangt das Zusammenwirken einer Vielzahl von Akteuren. Die soziale Dichte (Akteursdichte) stellt in diesem Zusammenhang erhebliche Effizienz- und Suffizienzpotenziale für eine „Null-Emissions-Stadt“ bereit.

Insgesamt gesehen bietet der kommunale Raum die Möglichkeit, einzelne Quartiere als Innovations- und Modellgebiete zu benennen, um in diesen beispielhaft neue Technologien und Konzeptionen für eine „Null-Emissions-Stadt“ zu prüfen und zu analysieren. Komplexität wird so auf einen überschaubaren Handlungsraum reduziert und Lösungsstrategien werden dort konzentriert entwickelt und getestet. Mit Hilfe von kommunalen Szenarien können wichtige qualitative und quantitative Schlüsselfaktoren unter Beachtung ihrer kausalen Wirkungszusammenhänge miteinander verknüpft werden, um eine Bandbreite möglicher Zukunftsentwicklungen sichtbar zu machen.

Projektebenen und Projektkriterien

Vor dem Hintergrund der obigen Aussagen ist es sinnvoll, unterschiedliche Ebenen zu definieren, auf denen sich die Forschungsprojekte bewegen können. Diese verschiedenen Ebenen können sowohl durch wissenschaftlich-theoretische als auch durch praxisorientierte Projekte besetzt werden. Die Projektebenen sind:

1. Forschung über Visionen und Szenarien zukunftsfähiger Stadtentwicklung.
2. Forschung über koordinierte Strategien in den zentralen Handlungsfeldern.
3. Forschung über die Entwicklung langfristiger Entscheidungsstrukturen.
4. Forschung über experimentelle Bausteine mit Hilfe innovativer Teilprojekte.

Mögliche Kriterien für Projekte im Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“ können aus den Herausforderungen und dem Handlungsrahmen sowie den Projektebenen des Forschungsfeldes abgeleitet werden. In der folgende Liste sind Kriterien aufgezählt, an denen sich Projekte des Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“ orientieren sollten. Sie können im Einzelnen noch durch konkretisierte Forschungsfragen aus den Handlungsfeldern Siedlungsstrukturen, Energieversorgung, Produktionsprozesse und Verkehr ergänzt werden. Die Kriterien - hier verkürzt wiedergegeben - sind nicht gewichtet und sollen auch nicht von jedem Projekt vollständig erfüllt werden:

- Die Auseinandersetzung mit städtischen Räumen steht im Mittelpunkt. Es kann die Ebene des Stadtquartiers, der Stadt oder einer Stadtregion gewählt werden.
- Die Eigenheiten städtischer Räume, nämlich bauliche Dichte und Akteursdichte, sind unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklungen explizit aufzugreifen.

- Die Beschäftigung mit baulicher Struktur und Siedlungsstruktur sowie der Dynamik von städtebaulichen Veränderungsprozessen sollten leitend sein. Strategien und Maßnahmen sollten benennen, für welche Stadt- und Siedlungsstrukturen sie geeignet sind.
- „Null-Emissions-Stadt“-Projekte bereiten einen Quantensprung in der Emissionsminderung vor oder demonstrieren dieses in Einzelprojekten und Modellgebieten. Reduktionen der Leitmissionen in den Größenordnungen von 80 – 90 % sind Orientierungen für Zielwerte.
- Die Orientierungswerte für die Minderung der Leitmissionen können angepasst und variiert werden, wenn dargestellt werden kann, dass die Aufnahmekapazität der natürlichen Umwelt lokal, regional und global nicht überschritten wird.
- Die optimalen ökologisch-funktionalen Handlungs-, Analyse-, Bilanz- und Bezugsräume sind für die jeweiligen Problemlagen sachgerecht zu definieren. Dies sollte hinreichend begründet werden.
- Der anvisierte Quantensprung und die Orientierungswerte werden theoretisch oder praktisch bilanziert. Die Bilanzierbarkeit der Emissionsminderung muss gewährleistet sein.
- Die Projekte sollten sich bewusst dem Spannungsfeld zwischen Effizienz- und Suffizienzstrategien stellen. Der theoretische oder praktische Einsatz innovativer technologischer, infrastruktureller oder prozessualer Entwicklungen ist Bestandteil der Forschungsprojekte.
- Das Potenzial, welches sich aus der besonderen Akteursdichte und –vielfalt einer Stadt ergibt, ist gezielt zu nutzen und auszubauen. Die Integration wichtiger Akteure und Akteursgruppen in das Projektgeschehen ist einzuplanen, ein vorrangig transdisziplinärer Forschungsansatz ist zu wählen.
- Das Ziel einer „Null-Emissions-Stadt“ ist an langfristige – hier 50 Jahre – Umgestaltungsprozesse gebunden. Spezielle Strategien und Maßnahmen zum Erhalt der Richtungssicherheit werden gebraucht bzw. können als spezielles Problemfeld entwickelt werden.
- Für Akteursnetzungen und -interventionen ist eine sachgerechte Auswahl der Ebenen (lokal, regional, national, global) und Konstellationen vorzunehmen. Ebenen und Konstellationen sind so zu wählen, dass sie in den Problemfeldern eine effiziente Zielerreichung erwarten lassen.
- Die „Null-Emissions-Stadt“ orientiert sich an dem Ziel einer emissionsfreien bzw. CO₂-neutralen Energiewirtschaft, d. h. die drastische Reduktion des Energieverbrauchs und die Bereitstellung ausreichender Energie aus regenerativen Quellen sind zentrale Rahmenbedingungen.
- Die „Null-Emissions-Stadt“ basiert auf Kreislaufwirtschaftsprozessen. Ebenso wie im Bereich Energie sollten die Forschungsprojekte einen Beitrag zur Entwicklung der Kreislaufwirtschaft leisten.

Ein Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“ sollte Grundlagenforschung und Modellprojekte fördern und diese strategisch miteinander verbinden. Für die Organisation einer gezielten Forschung auf diesem Gebiet sollte ein Ansatz gesucht werden, der diesen beiden Aspekten gleichzeitig Rechnung trägt.

1 Einleitung

„There is now a growing realisation that much of the sustainability debate has an urban focus. The world's cities are the major consumers of natural resources and the major producers of pollution and waste. Thus, if cities can be designed and managed in such way that resource use and pollution are reduced, then a major contribution to the solution of the global problem can be achieved. The role of cities in the debate is seen to be greater still if we appreciate that they are the focus of most human activities. Thus, if the relationship – and possibly trade off – between environmental and social, economic and cultural aspirations is part of the debate, then the role of cities looms large.“

[Breheny 1992]

Das Bundesforschungsministerium hat mit Beginn des Jahres 2000 das Forschungsprogramm "Bauen und Wohnen" aufgelegt. Es soll neues grundlegendes Orientierungswissen bereitstellen und innovative Wege und Modelle für das Bauen und Wohnen im 21. Jahrhundert entwickeln und erproben, vor allem unter dem Leitbild einer zukunftsverträglichen nachhaltigen Entwicklung. In der im Forschungsprogramm beschriebenen Ausgangslage und den Leitzielen wird sowohl auf das vielfältige Beziehungsgeflecht des Themas „Bauen und Wohnen“ zum Arbeitsmarkt, zu Lebensstilfragen, zur Mobilität und zum Verkehr, zu den Umweltressourcen usw. als auch auf die anhaltende Tendenz der Verstädterung hingewiesen. Die Innovationen für eine integrative und nachhaltige Entwicklung in dem Bereich „Bauen und Wohnen“ sollen auf den unterschiedlichsten räumlichen Ebenen stattfinden, darunter auch die Ebene der Stadt.

„Unsere Welt wird immer stärker durch Städte geprägt. Der Anteil der Menschen, die in Städten leben, wächst ständig. Diese Entwicklung geht mit gravierenden demografischen, ökonomischen und sozialen Veränderungen einher. Deshalb sind die Städte die Brennpunkte der Probleme der Gegenwart“ [Hall & Pfeiffer 2000]. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen werden bis zum Jahre 2025 mehr als 60 % der Weltbevölkerung in Städten leben [UNCHS 1996]. Die bereits schon jetzt explosionsartig wachsenden Städte in Asien, Afrika und Lateinamerika tragen hierzu wesentlich bei. Die Probleme der ‚Megacities‘ und die Befriedigung der elementarsten menschlichen Bedürfnisse in diesen Städten stehen im Vordergrund der globalen Diskussionen über Urbanität. Aber im Hinblick auf die globalen Belastungen wie Treibhauseffekt, Ozonabbau, Versauerung usw. stellen die von den Städten der Industrieländer ausgehenden Emissionen das Hauptproblem dar.

In diesem Zusammenhang bietet es sich an, den Gedanken der "Null-Emissions-Stadt", der Vision einer möglichst emissionsfreien Stadt, aufzugreifen und auf seine Tragfähigkeit für innovative Handlungsmodelle forschungsstrategisch zu überprüfen.

Die "Null-Emissions-Stadt" bezieht sich auf das Leitbild der nachhaltigen Stadtentwicklung. Die Europäische Umweltagentur hat für eine nachhaltige Stadtentwicklung folgende Grundsätze formuliert:

- minimising the consumption of space and natural resources;
- rationalising and efficiently managing urban flows;
- protecting the health of the urban population;

- ensuring equal access to resources and services;
- maintaining cultural and social diversity.

Es wird fortgeführt, um diese Ziele zu erreichen, müssen Stadtgestaltung und –management von Prinzipien nachhaltiger Stadtentwicklung geleitet werden. Das bedeutet eine Orientierung an Prinzipien der ökologischen Verträglichkeit, Reversibilität, Elastizität, Effizienz und Gleichheit. Die Kapazität der Umwelt Ressourcen zur Verfügung zu stellen, Emissionen zu absorbieren und Abfälle aufzunehmen sind absolut begrenzt [EEA 2001, Chapter 37, Urban Stress].

1.1 Aufbau der Studie

In der Studie werden zunächst einmal Ausgangsbedingungen und Prämissen der Vision einer „Null-Emissions-Stadt“ dargelegt. Zu den Ausgangsbedingungen zählen eine knappe Darstellung bisheriger Ansätze, eine Erläuterung des Bezugs zur nachhaltigen Stadtentwicklung, eine kurze Charakteristik der zu beachtenden Emissionen und deren Verursacher sowie eine Eingrenzung der Zielgröße „Null-Emissionen“. Danach werden die Eckpunkte der Vision aufgezählt. Im Weiteren werden verschiedene Handlungsfelder genauer analysiert. Es sind die Handlungsfelder: Siedlungsstrukturen, Energieversorgung, Wirtschaftsprozesse (Kreislaufwirtschaft) und Verkehr. Zum Abschluss werden noch einmal die Ausgangsbedingungen aufgegriffen und mit den Erkenntnissen, die sich aus der Darstellung der Handlungsfelder und der Verknüpfung dieser mit der kommunalen Handlungsebene ergeben, zu einem Forschungs-, Handlungs- und möglichen Aktionsrahmen zusammengefügt. Letzteres schließt auch Hinweise für eine mögliche Gestaltung eines Forschungsprogramms „Null-Emissions-Stadt“ ein.

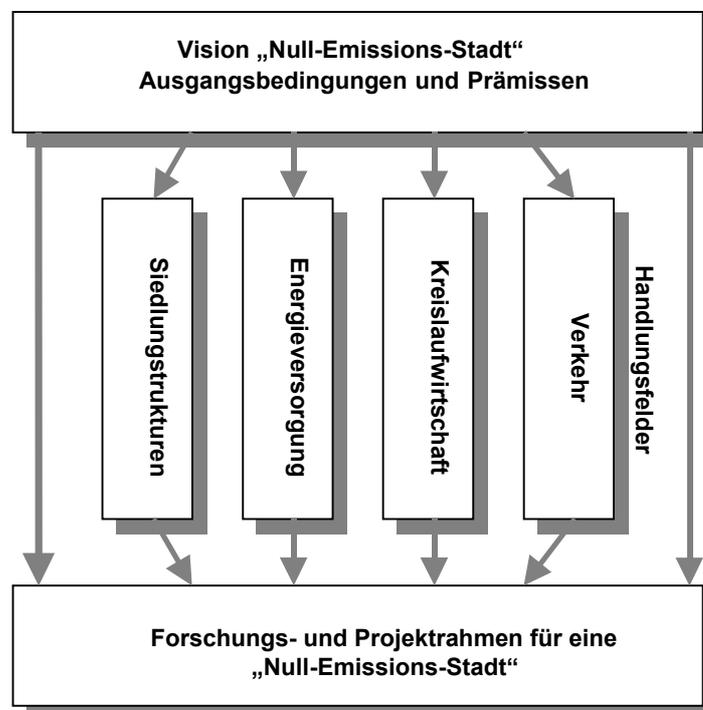


Abb. 1-1: Aufbau der Sondierstudie.

2 Bisherige Null-Emissions-Ansätze

Zum Thema Null-Emissionen oder Zero-Emission existieren bereits eine Reihe von Forschungs- und Aktionsansätzen in den verschiedensten Handlungsfeldern. Im Folgenden werden einige aktuelle Ansätze aufgeführt, auf die das Konzept „Null-Emissions-Stadt“ Bezug nehmen kann und muss. Diese Ansätze lassen sich in folgende vier Themenbereiche gliedern:

- Null-Emissions-Industrie/Zero Emission Industries,
- Nullenergiehäuser,
- Null-Emissions-Fahrzeuge/Zero Emission Vehicles,
- Null-Emissions-Siedlungen/Zero Emission Villages.

2.1 Null-Emissions-Industrie/Zero Emission Industries

Die Zero Emission Research Initiative (ZERI), die Mitte der 90er Jahre von dem belgischen Unternehmer Gunter Pauli an der Universität der Vereinten Nationen (UNU) in Tokio ins Leben gerufen wurde, zählt zu den bekanntesten Initiativen auf dem Gebiet von Zero Emission. In der Zwischenzeit sind die Verbindungen gelöst worden und UNU betreut ein internationales Netzwerk mit dem Namen „Zero Emissions Forum“ (ZEF), welches auch eine eindeutige wissenschaftliche Ausrichtung verfolgt. Im Mittelpunkt der ZERI-Aktivitäten und jetzt auch von ZEF steht die Ausrichtung von Produktionsprozessen auf eine „Zero Emission Methodology“, bei der durch eine vollständige Output-Input-Erfassung und der Verwendung des Outputs für andere Produktionsprozesse keine Abfallprodukte mehr entstehen sollen („No waste, 100 % recycling“). Vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern sowie in Japan (s. folgende Abb.) wurden und werden entsprechende Projekte von den Vereinten Nationen gefördert und praktisch durchgeführt. Die Ansprüche von ZEF gehen aber über eine Betrachtung der Produktionsprozesse hinaus, denn „Zero Emission means the realization of a sustainable lifestyle and the development of ecological ethics“¹. Wichtiger Forschungspartner von ZERI ist das Institute for Industrial Science (IIS) der Universität Tokio. Das UNU, IIS und andere japanische Institutionen verfolgen darüber hinaus auch das Ziel, Strategien für Zero Emission Regionen und Gemeinden zu implementieren (z. B. Insel Yakushima, Präfektur Saltama).

In Deutschland hat die Forschungsstelle Japan der Universität Osnabrück (Rüdiger Kühr) und das Institut für Chemische Technologie der Fraunhofer Gesellschaft in Stuttgart (Prof. Dr. Peter Eyerer) die Idee von ZERI aufgegriffen. Die Universität Osnabrück organisierte 1997 einen ersten Europäischen Zero Emission Kongress, der allerdings keine Nachfolgekonferenzen mehr fand. Rüdiger Kühr ist mittlerweile Kontaktperson von ZEF in Europa.

¹ http://www.ias.unu.edu/research_prog/moreinfo.html

Im Jahr 2000 legte das Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik der Universität Graz einen Projektbericht „Zero Emission Research in Austria“ vor, der im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr veröffentlicht wurde. Dieser Bericht bezieht sich ebenfalls fast ausschließlich auf die Ursprungsaktivitäten von ZERI. In dem Einleitungsteil werden einige grundsätzliche Ausführungen zu Begriffen und Definitionen gemacht, auf die sich zum Teil im Folgenden bezogen wird. Auch hier sind keine Nachfolgeaktivitäten bekannt.

Zero Emissions Projects in Japan

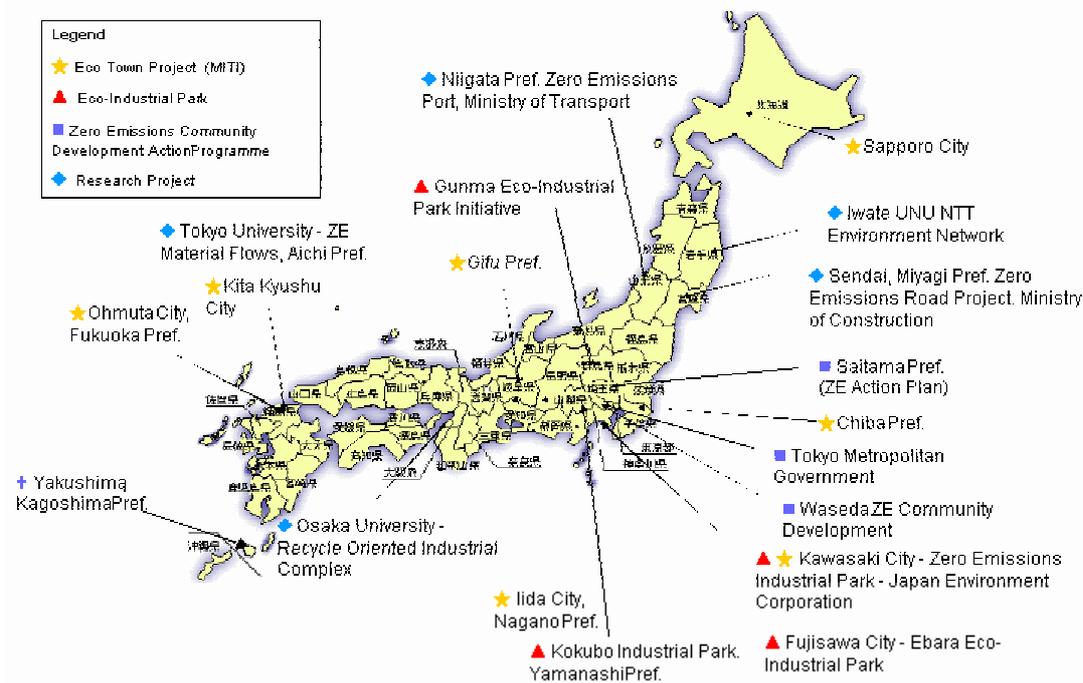


Abb. 2-1: Übersicht von Zero-Emission-Projekten in Japan

(Quelle: www.ias.unu.edu/ecology/g_economy/ze_japan.htm).

Eine Null-Emissions-Fabrik plant die Firma Solvis Energiesysteme in Braunschweig zu bauen. Der Neubau der Firma soll vollständig „emissionslos“ sein, das heißt, Wärme und Elektrizität für Produktion und Verwaltung werden ausschließlich mit Hilfe von regenerativen Energieträgern erzeugt. Im Mai soll der Bau fertig gestellt sein.

2.2 Nullenergiehäuser

Der Begriff von Nullenergiehäusern ist vielleicht von den hier erwähnten Null-Emissions-Ansätzen am bekanntesten. Die sogenannten Nullenergiehäuser haben zum Ziel, in der Nutzungsphase eine neutrale Emissionsbilanz bezüglich CO₂-Emissionen aufzuweisen – meist über den Weg, das Lasten und Überschüsse zeitlich verschoben gegeneinander aufgerechnet werden. Durch Absenkung des Energiebedarfs

soll die Möglichkeit bestehen, die Deckung des Restbedarfs allein über regenerative Energiequellen abdecken zu können.

2.3 Zero Emission Vehicles

Projekte wie „Zero Emission Vehicles“ werden in den USA, speziell in Kalifornien gefördert. Als Zero Emission Vehicles werden Elektroautos bezeichnet. Der Begriff Zero Emission bezieht sich allein darauf, dass diese Fahrzeuge im direkten Betrieb keine Schadstoffe über einen Auspuff an die Umwelt abgeben. Von welchen Energiequellen der Strom bezogen wird und wie die Emissionsbilanz bei der Fahrzeugherstellung aussieht, wird nicht betrachtet. Ein von der Europäischen Union gefördertes Projekt lief unter dem Namen „Zero and Low Emission for the Urban Society (ZEUS)“. Dieses Projekt wurde in mehreren europäischen Städten durchgeführt, et al. in Bremen. Das Projekt war auf den öffentlichen Personenverkehr und auf das Car-Sharing Konzept fokussiert. Emissionsfreie Technologien konnten nicht eingesetzt werden.

Im Verkehrsbereich wird große Hoffnung in die Entwicklung der Brennstoffzelle gelegt. Ab 2020, schätzen weltweit Fachleute, wird sich diese Technologie bei Fahrzeugen durchsetzen. Eine Reduktion allein auf die Antriebstechnologie wird dem Zero-Emission-Gedanken nicht gerecht.

Untersuchungen zeigen, dass über das Gesamtverkehrsgeschehen einer Stadt bezüglich Bedürfnisse und Notwendigkeiten wenig klares Wissen besteht und viele Probleme nicht bei der Antriebstechnologie gelagert sind.

2.4 Zero Emission Villages

Kleine Siedlungen im ländlichen Raum bieten günstige Bedingungen um Zero Emission über Nutzung von regenerativen Energiequellen zu erreichen. Von daher wurden und werden hier erste Ansätze einer emissionsfreien Siedlung getestet. In China wurden bereits in den 70er Jahren in einer Modellkommune (Liu Min Ying) in der Nähe von Beijing entsprechende Versuche gestartet, mit dem Ziel die Nutzung von Biomasse zu optimieren. In Deutschland startete in diesen Monaten ein Projekt „Zero Emission Village“ in Weilerbach in Rheinland-Pfalz. Durch Umstrukturierungen sollen bisherige Reststoffe wieder als Wertstoffe in den Nutzungskreislauf eingeführt werden. Im Mittelpunkt steht eine kohlendioxidneutrale Energiebereitstellung.

Diese hier vorgestellten Beispiele sollen nur demonstrieren, dass mittlerweile verschiedene Projektvorhaben existieren, die mit den Begriffen „Null-Emissionen“ oder „Zero Emission“ operieren und auf die das Projekt „Null-Emissions-Stadt“ Bezug nehmen muss.

3 Ausgangsbedingungen

3.1 *Null-Emissions-Stadt* spezifiziert nachhaltige Stadtentwicklung

Die Vision der „Null-Emissions-Stadt“ stellt das Paradigma der nicht-emissionsfreien Stadt [Haber 1992] bewusst in Frage, um darauf hinzuweisen, dass es nicht ausreicht, in kleinen Schritten den Output von Städten zu reduzieren, sondern dass ein „Quantensprung“ notwendig ist. Die Vision „Null-Emissions-Stadt“ ist in der Lage dem Leitbild der nachhaltigen Stadtentwicklung ein anschauliches und eindeutiges Bild hinzuzufügen, welches fassbarer ist als das mit dem abstrakten Begriff Nachhaltigkeit unterlegte Leitbild. Eine klarere Zielvorgabe und größere Richtungssicherheit sind gegeben.

Lokale Leitbilder und Identitäten haben ihre Aufgaben und Funktionen, die zur Aktivierung lokaler Entwicklungspotenziale, zur Herstellung neuer Verbindlichkeiten zwischen lokalen Akteuren und zur Wiederherstellung einer aktiven Bürgergesellschaft beitragen [Bürkner 2002]. Anknüpfungen an allgemeine Leitbilder und Visionen, wie nachhaltige Stadtentwicklung oder „Null-Emissions-Stadt“, binden Städte und Gemeinden in die globale Verantwortung mit ein und sind somit in der Lage eine „Solidargemeinschaft“ zwischen Städten und Gemeinden zu befördern (z. B. wie die Charta von Aalborg 1994). Ausschließlich lokale Leitbilder können dies nicht. Denn diese sind auf eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Städten und Gemeinden in Konkurrenz zu anderen Städten und Gemeinden ausgerichtet.

Städte sind Konzentrationen von Menschen, Waren und Kommunikationssystemen. Sichtbares Merkmal ist die bauliche Dichte. Daraus ergibt sich, dass ein „Belastungsüberschuss“ [Arlt 1997] der Stadt bestehen bleiben wird und dass eine Stadt nur als Bestandteil einer Region nachhaltig emissionsfrei gestaltet werden kann. Das bedeutet als Ziel, dass der Belastungsüberschuss so klein zu halten ist, dass er im Rahmen einer stadtrégionalen räumlichen Zuordnung kompensierbar ist. Es bleibt zu prüfen, ob diese Herangehensweise, nämlich den Zielwert Nullemissionen nicht innerhalb der stadträumlichen Grenzen, sondern innerhalb stadtrégionaler Grenzen anzulegen, die einzig sinnvolle ist.

3.1.1 Der Blickwinkel der „Null-Emissions-Stadt“ Strategie

3.1.1.1 „Starke“ Nachhaltigkeit als Leitlinie

Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung orientiert sich an einer dreidimensionalen Perspektive, bei der die drei Dimensionen Ökonomie, Soziales und Ökologie zu einem Gesamtkonzept integriert werden [Enquete 1998]. Allerdings gibt es mit Blick auf den Umgang mit den natürlichen Ressourcen und mit Blick auf die Aufnahmekapazität der Umwelt zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen darüber, in welchem Verhältnis diese drei Dimensionen zueinander stehen. Auf der einen Seite wird in der Beziehung zwischen der ökologischen Dimension mit den beiden anderen Dimensionen ein gleichwertiges und konvertierbares Verhältnis gesehen (Humankapital kann natürliches Kapital ersetzen),

während auf der anderen Seite von einer Begrenztheit der natürlichen Ressourcen- und Senkenkapazität ausgegangen wird, die ein absolutes Limit setzt (der Verlust natürlicher nicht-regenerativer Ressourcen ist unersetzlich). Die erste Position wird von Umweltökonomern als „schwache“ und die zweite als „starke“ Nachhaltigkeit bezeichnet. Bei der „starken“ Nachhaltigkeit ist es vorrangiges Ziel, die Umwelt zu erhalten und zu sichern, und die Spitze des Dreiecks bildet die ökologische Dimension, auf der die ökonomische und soziale Dimension auszurichten sind. Damit nehmen die ökologischen Nachhaltigkeitsregeln, die dieses Ziel operationalisieren sollen, eine herausragende Position ein. Sie lauten [Enquete 1998]:

- Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll deren Regenerationsrate nicht überschreiten.
- Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.
- Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die „stille“ und empfindlichere Regelungsfunktion.
- Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muss im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten Prozesse stehen.

Das Umweltbundesamt [UBA 2001b] wählt das Bild der Fahrinne, für die die ökologischen Regeln, Leitlinien und Ziele Bojen sind, die gewährleisten, dass das sichere Fahrwasser nicht verlassen wird.

In Bezug auf nachhaltige Stadtentwicklung liefern die Prinzipien zur umweltverträglichen Stadtentwicklung eine weitere Hilfe, an der sich die „Null-Emissions-Stadt“ orientieren kann [Sukopp & Wittig 1998]:

- Prinzip des Schutzes aller Lebensmedien,
- Prinzip der Reduzierung des Energieeinsatzes,
- Prinzip der Vermeidung bzw. Zyklisierung von Stoffflüssen,
- Prinzip der Erhaltung und Förderung von Natur,
- Prinzip der kleinräumigen Strukturierung und reichhaltigen Differenzierung.

Die in der hier vorliegenden Sondierungsstudie gewählte Herangehensweise orientiert sich an dem Konzept der starken Nachhaltigkeit, stellt die ökologischen Nachhaltigkeitsregeln in den Mittelpunkt, greift die Prinzipien umweltverträglicher Stadtentwicklung auf und prüft am Beispiel der Emissionsproblematik, inwieweit Städte für eine Konsistenzstrategie geeignet sind.

3.1.1.2 Emissionen – Ergebnis menschlicher Aktivitäten

„Emissionen sind die Begleiterscheinungen menschlicher Tätigkeit.....Eine emissionsfreie Tätigkeit des Menschen ist nach aller bisherigen Erfahrung eine Utopie. Sie vermag jedoch als weitgestecktes Ziel dienen, dem wir uns in kleinen Schritten nähern,...“

[Aus dem Vorwort von H. Brauer (Hrsg.) Handbuch des Umweltschutzes und der Umwelttechnik, Bd. 1, 1997]

Um der Vision „Zero Emission City“ eine hinreichend sinnhafte und operationalisierbare Basis zu geben, wird der Begriff Emissionen nicht mit dem physikalisch darstellbaren Output einer Stadt gleichgesetzt, sondern es geht um Emissionen im engeren Sinne. Denn letztere verkörpern die eigentlichen Umweltprobleme. Dabei kann es aber auch nicht nur um Schadstoffe gehen - natürliche und syntheti-

sche Stoffe, die das Potenzial haben, direkte und indirekte schädigende Wirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen, Ökosysteme und Sachgüter auszuüben -, sondern auch um alle Formen von Output, die ohne weiteren Nutzen im Umland entsorgt werden müssen (Abfälle).

Neben der Reduktion der Ressourceninanspruchnahme ist die Vermeidung der Übernutzung der Aufnahmekapazitäten unserer Ökosysteme die große umweltpolitische Herausforderung unserer Gesellschaft. Treibhauseffekt, Ozonloch und andere Symptome sind die dramatischen Anzeichen dieser Übernutzung. Die „Null-Emissions-Stadt“ setzt an dieser Aufgabe an und macht die radikale Verminderung des Ausstoßes an Emissionen und Abfall zum Maßstab, ob eine nachhaltige Stadtentwicklung erreicht werden kann.

Emissionen und Abfall sind an Material- und Energieflüsse gebunden und somit Kenngrößen, die sich gut physikalisch beschreiben und messen lassen. Beide Kenngrößen können bilanziert werden und eignen sich dementsprechend als Indikatoren. Vorher- und Nachherbilanzen ermöglichen Aussagen darüber, ob die eingeschlagenen Strategien überhaupt zur Emissionsminderung beitragen und inwieweit sie dem Zielwert „Null-Emissionen“ nahe kommen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um Effekte von Handlungsstrategien sachlich abbilden zu können. Es wird damit ein Beitrag zur Richtungssicherheit geleistet. An diesen Punkten knüpft die oben erwähnte Aussage an, dass die „Null-Emissions-Stadt“ das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung um ein eindeutigeres Bild ergänzen kann.

Das in der folgenden Abbildung (Abb. 3-1) dargestellte vereinfachte In- und Output-Modell, welches sich an zentralen und umweltpolitisch bedeutenden Kategorien orientiert [Giljum & Hinterberger 2000], zeigt, dass über die Output-Kategorien wie Luftschadstoffe und Abfall letztlich die Ressourceneffizienz und Umweltverträglichkeit unseres sozio-ökonomischen Systems beschrieben werden kann.

Zudem demonstriert das abgebildete Modell anschaulich, dass zwar eine „Null-Emissions-Stadt“ den Output zum Maßstab machen kann, aber dass Handlungsstrategien bei den Eingangsgrößen und in der Ausgestaltung des sozio-ökonomischen Systems ansetzen müssen.

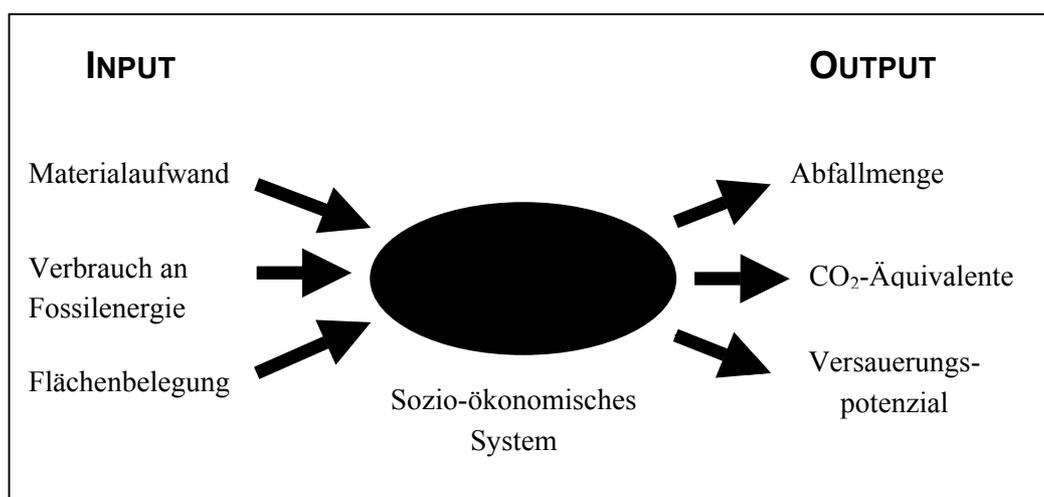


Abb. 3-1: Vereinfachtes Stoffwechselflussmodell als Orientierungshilfe (aus: Giljum & Hinterberger 2000).

Im Folgenden wird das Modell weiter entwickelt, um den allgemeinen Ansatz des Konzeptes „Null-Emissions-Stadt“, wie er in der hier vorliegenden Sondierungsstudie verwendet wird, zu verdeutlichen.

Material- und Energieflüsse stehen in einer direkten Beziehung zur Flächennutzung. Aktivitäten finden an definierten Standorten statt und Städte sind – wie schon verschiedentlich erwähnt - Verflechtungsräume und Dichtepunkte menschlicher Handlungen. Von daher sind Methoden und Handlungsstrategien vorwärts weisend, die Flächennutzungen und Flächeninanspruchnahmen mit Material- und Energieflussanalysen kombinieren. Giljum & Hinterberger 2000 sehen in dieser Kombination die Möglichkeit, dass nicht nur Produkte sondern auch Regionen und sektorale Handlungsfelder hinreichend analysiert werden können. Die „Null-Emissions-Stadt“ greift die Raumbezogenheit von Prozessen als zukunftsweisendes Konzept auf und wendet sich bewusst einem definierten Raum, nämlich der Stadt als dem dominanten Siedlungstyp zu. Das sozio-ökonomische System aus Abb. 3-1 bekommt somit eine konkrete räumliche Dimension und wird selber über das Handlungsfeld Siedlungsstrukturen zum Gegenstand der Prüfung im Hinblick auf Null-Emissions-Strategien (s. Abb. 3-2).

Darüber hinaus nimmt das Konzept „Null-Emissions-Stadt“ explizit eine Perspektive ein, bei der – entsprechend des Syndromansatzes des WBGU 1996 - von dem Syndrom der Übernutzung der Aufnahmekapazitäten ausgegangen wird. Eine Stadt, die keine Emissionen an die Umwelt abgibt, kann auch die Aufnahmekapazitäten der Umwelt nicht übernutzen. Aus dieser Perspektive heraus wird die Verflechtung verschiedener Handlungsfelder innerhalb einer Stadt analysiert. Darüber hinaus wird untersucht, welchen Beitrag die Handlungsfelder zur Übernutzung leisten bzw. umgekehrt über welche Potenziale zur Reduktion von Emissionen sie verfügen. Die ausgewählten Handlungsfelder sind zentrale Kompartimente des sozio-ökonomischen Systems Stadt.

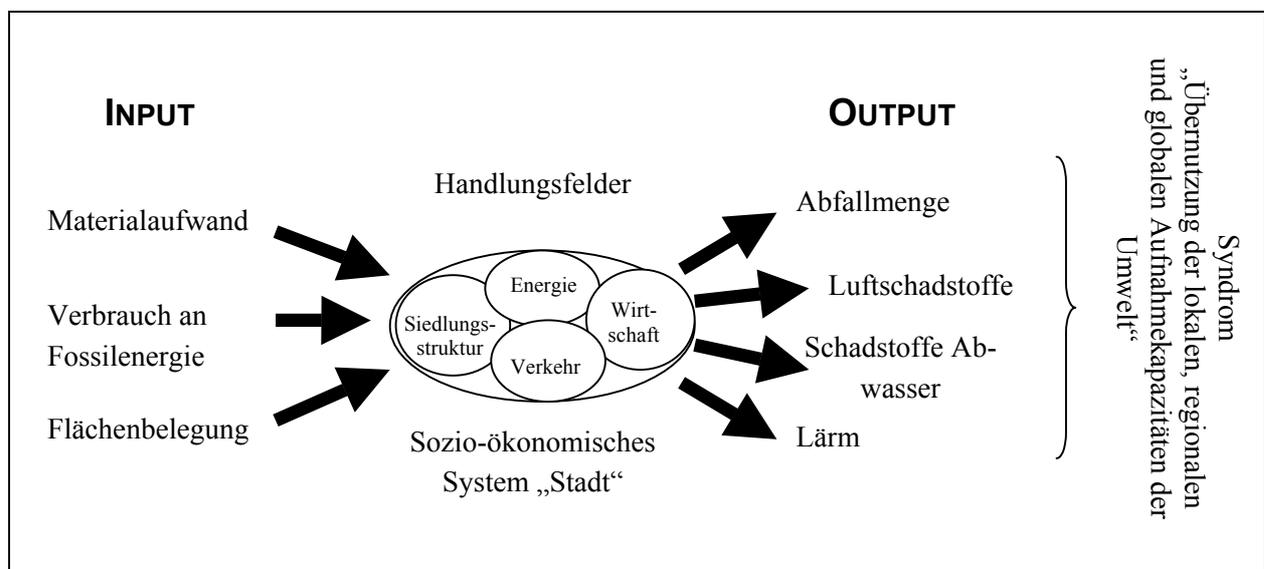


Abb. 3-2: Erweitertes Stoffwechselflussmodell zur Charakterisierung des Ansatzes der Sondierungsstudie.

Da Emissionen und Abfall vor allem Ergebnisse technisch-industrieller Umwandlungsprozesse sind, ist in der vorliegenden Studie neben den siedlungsstrukturellen Aspekten die Auseinandersetzung mit den

technisch-industriellen Prozessen als Herangehensweise gewählt worden. Energienutzung, Verkehr und Produktionsprozesse zur Herstellung von Gütern tragen wesentlich zur Entstehung von Emissionen und Abfall bei und sind deshalb als beispielhafte Handlungsfelder ausgewählt worden.

Die im Folgenden singular bearbeiteten Handlungsfelder werden bezüglich ihrer Bedeutung für die Reduktion von Emissionen analysiert, indem der jeweilige Stand des Wissens und die derzeitig fachlich diskutierten Innovations- und Reduktionspotenziale dargestellt werden. Diese Darstellung der Innovations- und Reduktionspotenziale ist im Wesentlichen eine Darstellung der Effizienzpotenziale innerhalb der ausgewählten Handlungsfelder. Dabei werden Fragen der strategischen Ausrichtung (z. B. kompakte Stadt, solare Energiewirtschaft), der technischen und prozessualen Entwicklungsmöglichkeiten (z. B. neue Antriebssysteme Fahrzeuge, Stoffstrommanagement) und der strukturellen Bedingungen bzw. strukturellen Veränderungsmöglichkeiten (z. B. dezentrale Entwicklung, beteiligte Akteure) erläutert. Diese Effizienzpotenziale lassen sich in der Regel auch gut in Emissionsminderungspotenziale übertragen. Sie sind über physikalische Kenngrößen bilanzierbar und damit überprüfbar. Da sich in den verschiedenen Handlungsfeldern eigenständige Entwicklungen bezüglich Innovations- und Reduktionspotenziale vollziehen und da die Komplexität des städtischen Systems zu unüberschaubaren Verflechtungen sowohl zwischen den verschiedenen Handlungsfeldern als auch zwischen den technischen, ökonomischen, sozialen und auch ökologischen Dimensionen führt, beschränkt sich die Sondierungsstudie in der Darstellung des Stands des Wissens zunächst aus pragmatischen Gründen auf die einzelnen Handlungsfelder. Danach werden sowohl grundsätzliche als auch speziellere Forschungsfragen aus den Handlungsfeldern extrahiert und Konsequenzen für ein Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“ gezogen. Das heißt, erst zum Schluss werden die Erkenntnisse zusammenfassend reflektiert und es wird auf die Suffizienzpotenziale hingewiesen, ohne dass diese ausführlich behandelt werden.

Tab. 3-1: Verknüpfung der drei Nachhaltigkeitsstrategien. In der Sondierungsstudie bilden die Effizienzstrategien und –potenziale der ausgewählten Handlungsfelder die Mittelachse, die das vorliegende Konzept „Null-Emissions-Stadt“ tragen.

Effizienzstrategie			
Potenziale (technisch, prozessual, infrastrukturell)			
Konsistenz – Ziel und Strategie		Suffizienzstrategie	
Emissionen	Handlungsfelder	Bereiche	Aktivitäts- bzw. Bedürfnisfelder
Luftschadstoffe Abwasser Abfall Lärm	Verkehr Produktion Energie Siedlungsstruktur	Wirtschaft Haushalte Politik	Wohnen Freizeit Arbeiten/Produzieren Ernähren Transportieren/Mobilität Kommunizieren

Die vorrangige Betonung der Effizienzpotenziale ist bewusst vorgenommen worden. Das Aufzeigen einer zukunftsfähigen und optimistischen Perspektive – nämlich, dass der Weg einer „Null-Emissions-Stadt“ begehbar ist und mit welchen technischen, prozessualen und infrastrukturellen Innovationen dieser Weg verbunden ist – bildet die Voraussetzung, um Vertrauen in das „Null-Emissions-Stadt“-Konzept herzustellen und eine zielorientierte Ausrichtung darauf vornehmen zu können. Erst wenn diese Sicherheit gegeben ist, können Vorschläge für und Forderungen nach Veränderungen im Handeln von gesellschaftlichen Akteuren gemacht bzw. erhoben werden, um Einfluss auf die Aktivitäten und Bedürfnisse der städtischen Akteure auszuüben, die als Driving Forces die Auslöser für emissionsrelevante Prozesse sind. Denn es ist davon auszugehen, dass die Erschließung der technischen Effizienzpotenziale nicht ausreichen wird, sondern letztlich auch die Suffizienzpotenziale erschlossen werden müssen, um das ehrgeizige Ziel einer „Null-Emissions-Stadt“ zu erreichen, einer Stadt, die sich konsistent zu den Aufnahmekapazitäten der natürlichen Systeme unserer Erde verhält.

3.2 Leitmissionen

Zur Veranschaulichung einige konkrete Daten. Eine europäische Stadt in der Größenordnung von Dresden (ca. 500.000 Einwohner) stößt täglich folgende Mengen an die Umgebung aus [Basiszahlen Ende der 80er bzw. Anfang der 90er Jahre nach EEA 2001, Baccini & Bader 1996, oneworld.org]:

- zwischen 9.500 und 14.000 t CO₂,
- um die 0,7 t Phosphor und um die 5 t Stickstoff über das Abwasser,
- zwischen 200 und 1.900 t feste Abfälle.

Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass nicht nur exportierte Emissionen Gegenstand der Betrachtung sind, sondern auch diejenigen die innerhalb der räumlichen Grenzen der Stadt auftreten und verbleiben und die Lebensqualität der Stadtbewohner wesentlich beeinträchtigen.

Grundsätzlich lassen sich folgende wichtige Emissionsgruppen unterscheiden [Brauer 1997]:

- stoffliche Emissionen,
- thermische Emissionen,
- radiative Emissionen,
- akustische Emissionen,
- optische Emissionen.

Verursacher für diese Emissionen sind technische (anthropogene) Emissionsquellen wie:

- Kraftwerke und Heizwerke,
- Abfallverbrennungsanlagen,
- Industrieanlagen,
- Haushaltungen,
- Verkehr (vor allem Straßenverkehr),
- Landwirtschaft.

Die weitere Diskussion über Zero Emission City sollte sich auf folgende Emissionen konzentrieren, die zurzeit von vorrangiger Bedeutung sind.

1. Stoffliche Emissionen, die gasförmig, flüssig oder fest in Erscheinung treten können.

a) Luft- und klimarelevante Schadstoffe

Nach einer Experten-Umfrage von Eurostat sind die folgenden Schadstoffe, aufgezählt in der Reihenfolge ihrer Bedeutung, die wichtigsten Schadstoffe [zitiert nach Morosini et al. 2001]:

- CO₂ – Kohlendioxid,
- CH₄ – Methan,
- N₂O – Distickstoffoxid,
- FCKW bzw. HFKW – Fluorkohlenwasserstoffe bzw. teilflourierte Kohlenwasserstoffe,
- NO_x – Stickoxide,
- SO_x – Schwefeloxide,
- Stäube
- NMVOC – flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (volatile organic compounds).

Die vier erst genannten Schadstoffe sind gleichzeitig im Protokoll der Klimakonferenz von Kyoto aufgeführt.

Da Methan und Distickstoffoxid für die Stadt von geringer Bedeutung sind, werden sie im Folgenden nicht weiter behandelt.

b) Schadstoffe, die als Abwässer die Stadt verlassen.

Leitschadstoffe für den Wasserpfad sind nach Folke et al. 1997:

- N - Stickstoff und
- P - Phosphor.

c) feste Abfälle

- Siedlungs- und gewerbliche Abfälle.

2. Nicht-stoffliche Emissionen. Hier wird nur eine Emissionsart weiter betrachtet:

a) Lärm, und zwar vorrangig Verkehrslärm.

Lärm ruft vor allem negative Wirkungen innerhalb der Stadt selber hervor und unterscheidet sich deshalb von den anderen genannten Emissionen.

3.2.1 Entwicklungstendenzen der Luftschadstoffe in Deutschland

(nach www.umweltbundesamt.de, Daten zur Umwelt, Stand Januar 2001)

Kohlendioxid (CO₂)

Von 1990 bis 1999 ist ein Rückgang der Emissionen um – 15,4 % zu verzeichnen. Gründe dafür sind der stark rückläufige Energiebedarf resultierend aus den Betriebsstilllegungen und der wirtschaftlichen Umstrukturierung in den neuen Ländern, der Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe zur Energieerzeugung und die Änderung von Verbrauchsgewohnheiten der Bevölkerung. Diese erreichte Minderung ist dabei durch 2 gegenläufige Tendenzen charakterisiert: Im Bereich der stationären Verbrennungsprozesse konnten mit Ausnahme des Haushaltsbereiches gegenüber 1990 sehr deutliche Minderungen erreicht werden (Kraft- und Fernheizwerke: – 17,9 %, Industriefeuerungen: – 32,4 %, Kleinverbraucher: – 39,5 %). Demgegenüber erhöhten sich die Emissionen aus dem Verkehrsbereich (+ 11,0 %) durch den starken Anstieg im Straßenverkehr.

Stickstoffoxide (NO_x)

Von 1990 bis 1999 ist ein Rückgang der Emissionen um über – 40 % zu verzeichnen. Dieser Rückgang erfolgte in allen Emittentengruppen – mengenmäßig am deutlichsten im Bereich des Straßenverkehrs (– 35 %). Trotz dieser Minderung ist der Verkehrsbereich insgesamt mit einem Emissionsanteil von über 60 % der Hauptverursacher der NO_x-Emissionen. Weitere Ursachen für den Emissionsrückgang sind der Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe sowie die Folgen der wirtschaftlichen Umstrukturierung insbesondere in den neuen Bundesländern.

Schwefeldioxid (SO₂)

Von 1990 bis 1999 ist ein Rückgang der Emissionen um fast 4,5 Mio. t (– 84 %) zu verzeichnen. Gründe hierfür sind insbesondere im Bereich der neuen Länder der Vollzug der Großfeuerungsanlagenverordnung, der mit Betriebsstilllegungen und der wirtschaftlichen Umstrukturierung verbundene stark rückläufige Energiebedarf, der Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe zur Energieerzeugung und die Änderung von Verbrauchsgewohnheiten der Bevölkerung. Hauptverursacher der SO₂-Emissionen sind die stationären Feuerungsanlagen im Bereich der Kraft- und Fernheizwerke (49 %) und die Industriefeuerungen (25 %), obwohl gerade in diesem Bereich die Emissionen seit 1990 um über 3 Mio. t gemindert werden konnten.

Stäube

Von 1990 bis 1999 ist ein Rückgang der Staubemissionen um nahezu 1,6 Mio. t zu verzeichnen. Diese Minderung wurde weit überwiegend durch die Emissionsentwicklung in den neuen Ländern verursacht. Hier wurden eine Vielzahl veralteter Feuerungs- und Industrieanlagen stillgelegt sowie die vorhandenen Entstaubungsanlagen in den Kraft- und Fernheizwerken kurzfristig in ihrer Wirksamkeit verbessert. Weiteren Einfluss hatte die Umstellung von festen auf emissionsärmere flüssige und gasförmige Brennstoffe insbesondere in den kleineren Feuerungsanlagen. Hauptverursacher der Staubemissionen sind bei stark zurückgegangenen Gesamtemissionen die Industrieprozesse. Ihr relativer Emissionsanteil stieg auf über 38 %.

NMVOG

Von 1990 bis 1999 ist ein Rückgang der Emissionen um fast – 49 % zu verzeichnen. Dieser wurde hauptsächlich durch die Abnahme der Emissionen aus dem Straßenverkehr aufgrund gesetzlicher Abgasregelungen verursacht (– 1,1 Mio. t). Unterstützend wirkte in den neuen Ländern der Austausch der 2-Takt-Fahrzeuge durch Fahrzeuge mit modernerer Antriebstechnik. Der Anteil der Emissionen aus dem Straßenverkehr betrug 1990 noch etwa 45 %, dieser sank bis 1999 auf 20 %. Im Gegensatz dazu stieg der Emissionsanteil der Lösemittelverwendung in diesem Zeitraum von etwa 36 % auf über 60 %. Ebenfalls emissionsmindernd wirkten die gesetzlichen Regelungen zur Begrenzung der Emissionen aus der Kraftstoffverteilung.

3.2.2 Entwicklungstendenzen von Nährstoff (Phosphor, Stickstoff) - und Schwermetalleinträgen in Gewässer

Nährstoffe

Die Emissionen von Gesamtphosphor in die deutschen Oberflächengewässer betragen im Zeitraum 1993 – 1997 etwa 37 kt/a. Verglichen mit dem Zeitraum 1983 – 1987 wurden die Emissionen um 60 % reduziert. Durch Nutzung phosphatfreier Waschmittel und die Phosphatfällung wurden die Einträge über kommunale Kläranlagen um 80 % reduziert. Dieser Eintragspfad beträgt heute nur noch 31 % der P-Emissionen.

Die Emissionen von Gesamtstickstoff in die Oberflächengewässer betragen im Zeitraum 1993 – 1997 820 kt/a und waren somit um 25 % kleiner als eine Dekade zuvor. Auch beim Stickstoff wurden vor allem die punktförmigen Emissionen (um 45 %) reduziert. Ihr Anteil beträgt nur noch 28 %.

Das Schwergewicht der Nährstoffeinträge verschiebt sich immer mehr zu den diffusen Quellen.

Schwermetalle

Derzeit stehen die diffusen Schwermetallquellen im Blickpunkt des Interesses, nachdem deutlich wurde, dass trotz bis zu 95 %iger Reduktion der Punktquellen und starker Reduktion der Konzentrationen im Fluss, geplante Zielvorgaben nicht eingehalten werden konnten. Probleme bestehen insbesondere bei Kupfer, Zink, Quecksilber, Cadmium und Blei.

Die diffusen Quellen haben, hier beispielhaft bezogen auf das deutsche Rheineinzugsgebiet, einen Anteil von etwa 80 % bei Cd, 65 % bei Pb, 60 % bei Hg, Cu und Ni, 50 % bei Zn und 45 % bei Cr. Im Durchschnitt entfällt etwa die Hälfte aller diffusen Einleitungen auf die Regenabwässer von Straßen und Dächern der Städte. Die Konzentrationen fast aller Schwermetalle sind im Regenabwasser höher als im städtischen Schmutzwasser, dem „eigentlichen“ Abwasser.

3.2.3 Entwicklungstendenzen Abfälle

Die Abfallstatistik zeigt für die Mitte der Neunziger Jahre ein nahezu konstantes Abfallaufkommen. Das gesamte Abfallaufkommen in Deutschland lag 1996 bei etwa 391 Mio. t und sank im folgenden Jahr um 1,1 % auf etwa 387 Mio. t.

Bauschutt, Bodenaushub, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle machten mit 60 % (1996) bzw. 57 % (1997) den Großteil des Abfallaufkommens aus. Den größten Anteil an dieser Abfallgruppe hat der Bodenaushub, der überwiegend verwertet wird. Auch die restlichen mineralischen Bauabfälle werden zu einem erheblichen Teil verwertet.

Die zweitgrößte Abfallgruppe sind die Abfälle aus dem Produzierenden Gewerbe und sonstigen Abfälle. Sie nahmen von 1996 zu 1997 um rd. 9 % zu.

Das Aufkommen an Siedlungsabfällen setzt sich im wesentlichen aus den Abfallarten Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Sperrmüll, Marktabfälle, Garten- und Parkabfälle, Kehricht und getrennt gesammelte, verwertbare Abfälle wie Bioabfall, Papier, Pappe, Glas, Kunststoffe usw. zusammen. Es blieb im betrachteten Zeitraum fast konstant.

Haushaltsabfälle

Haushaltsabfälle sind eine Untermenge der Siedlungsabfälle. Den Haushaltsabfällen werden zugerechnet:

- im Rahmen der öffentlichen Müllabfuhr eingesammelte Mengen an Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen (Restmüll)
- Sperrmüll
- Kompostierbare Abfälle aus der Biotonne
- Verpackungsabfälle der privaten Endverbraucher
- Grafische Papiere
- Glas.

Die durch die öffentliche Müllabfuhr eingesammelten Restmüllmengen nehmen seit Jahren kontinuierlich ab, zuletzt zwischen 1996 und 1997 um fast 2 Mio. t. 1996 ergab das ein Restmüllaufkommen von 243 kg/Ew, 1997 waren es nur noch 219 kg/Ew. Das Sperrmüllaufkommen hat dagegen von rd. 37 auf rd. 39 kg/Ew leicht zugenommen. Hinzu kamen 1996 pro Einwohner 149 kg getrennt zur Verwertung eingesammelte Abfälle (Kompostierbare Abfälle und Sonstige Getrenntsammlung). Diese Menge erhöhte sich 1997 auf 177 kg/Ew.

Insgesamt machten diese Abfallarten 1996 rd. 429 kg/Ew und 1997 rd. 435 kg/Ew aus. Danach ist festzustellen, dass Mitte der Neunziger Jahre das Aufkommen an Abfällen aus privaten Haushalten insgesamt zwar nahezu konstant blieb, jedoch ein beachtlicher, rasch wachsender Anteil dieser Abfälle der Verwertung zugeführt wurde (1996 waren es 35 %, 1997 rd. 41 %).

Sonderabfälle

Den größten Anteil an den besonders überwachungsbedürftigen Abfällen haben die Abfälle mineralischen Ursprungs, die vor allem aus dem Baugewerbe und wesentlich aus Altlastensanierungen stammen. Daneben fallen Säuren, Laugen und Konzentrate sowie Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredlungsprodukten in größeren Mengen an.

Tab. 3-2: Aufkommen an Primärabfällen¹⁾ 1996 und 1997 in Tsd. T (vorläufiges Ergebnis)

Abfallart	1996	1997
Siedlungsabfälle (Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Kehricht)	44 390	44 996
Bergematerial aus dem Bergbau	54 308	57 590
Abfälle aus dem Produzierenden Gewerbe und sonstige Abfälle	57 006	62 071
Bauschutt, Bodenaushub, Straßenaufbruch, Baustellenabfälle	235 202	222 219
Insgesamt	390 906	386 876

1) Summe der bei Produktions- und Verbrauchsprozessen entstandenen Abfälle

Quelle: Statistisches Bundesamt

3.2.4 Lärm

Lärm ist Schall, der stört, belästigt, die Gesundheit gefährdet oder schädigt. Demzufolge ist Lärm ein subjektiver Begriff und wird von daher im Folgenden über seinen Belästigungsgrad beschrieben. Kaum ein Bürger oder eine Bürgerin bleibt in Deutschland von Lärm verschont. Das geht aus einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage an 2000 Erwachsenen zum „Umweltbewusstsein in Deutschland 1998“ hervor (siehe Tab.).

Verkehrslärm

Die dominierende Lärmquelle im Wohnumfeld ist wie in den früheren Jahren der Straßenverkehr, durch den sich immer noch mehr als die Hälfte der Bevölkerung belästigt und gut 15 % (etwa 12 Millionen Bürger) „stark belästigt“ fühlt. Differenziert nach Bundesländern wird die Lärmbelästigung durch Straßenverkehr teils sehr unterschiedlich eingeschätzt.

Nach Ortsgrößen ist das Umfrageergebnis allerdings nahezu identisch, lediglich in Städten mit mehr als 50 000 Einwohnern wird der Straßenverkehr etwas häufiger als Lärmbelästigung empfunden.

Nach dem Straßenverkehr ist der Luftverkehr die bedeutendste Verkehrsursache für Lärmbelästigungen in Deutschland: Bundesweit fühlt sich mehr als jeder Fünfte durch Fluglärm belästigt, wobei die Einwohner in den alten Ländern häufiger Probleme mit dem Fluglärm haben als Bürger und Bürgerinnen in den neuen Ländern.

Durch Schienenverkehr fühlt sich etwa ein Sechstel der Bevölkerung belästigt. In den neuen Ländern ist der Anteil der Bevölkerung, der sich durch Schienenverkehr und Flugverkehr belästigt fühlt, etwa gleich hoch wie in den alten Ländern.

Industrie- und Gewerbelärm

Industrie und Gewerbe belästigen ein knappes Fünftel der Bevölkerung, wobei die Belästigung in den neuen Ländern etwas häufiger als in den alten Ländern empfunden wird.

Nachbarschaftslärm

Der Umfrage zufolge zählen auch Geräusche durch Nachbarn zu den bedeutendsten Lärmbelastigungsursachen. So fühlt sich dadurch jeder Dritte sowohl in den alten als auch in den neuen Ländern belästigt. Besonders ausgeprägt ist dies in den dichter besiedelten Ballungsräumen.

Tab. 3-3: Lärmbelastigung der Bevölkerung nach Geräuschquellen 1998, Vergleich der alten und neuen Bundesländer

Geräuschquelle	Bevölkerung fühlt sich					
	Stark belästigt (%)			Nicht so stark belästigt (%)		
	Gesamt	AL	NL	Gesamt	AL	NL
Schienenverkehr	2,5	2,7	2,1	12,2	12,9	11,1
Straßenverkehr	15,4	14,5	16,9	42,9	41,3	45,5
Industrie und Gewerbe	1,7	2,1	1,1	14,6	15,2	13,8
Flugverkehr	3,2	4,3	1,5	19,3	23,3	13,3
Nachbarn	3,7	4,2	3	28,5	28,3	28,8

Quelle: www.umweltbundesamt.de

3.2.5 Zusammenfassung

Die Emissionsentwicklung lässt sich folgendermaßen knapp und zusammenfassend charakterisieren. Für die meisten Emissionen kann eine rückläufige Tendenz festgestellt werden. Allerdings bleiben die bisherigen Emissionsreduktionen hinter den ursprünglichen Erwartungen zurück. Besonders die Verursacherbereiche Verkehr, und dieser in erster Linie, und Haushalte zeigen eher verhaltende oder sogar gegenläufige (CO₂-Emissionen durch Verkehr) Tendenzen. Die Bedeutung diffuser Quellen steigt. Lärm ist insbesondere in Großstädten noch ein großes ungelöstes Problem. In der öffentlichen Wahrnehmung steht diese Umweltbelastung an erster Stelle.

Neben den oben im Sinne einer Minimalliste und ersten Diskussionsgrundlage genannten Luft- und Klimaschadstoffen, Wasserschadstoffen, Abfall und Lärm müssen möglicherweise weitere Emissionen in die Betrachtung einbezogen werden: z. B. Stäube und Partikel, Luftqualität in Innenräumen, elektromagnetische Strahlen ebenso der Flächen- und Ressourcenverbrauch.

An dieser Stelle muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass eine immer stärkere „Verbreiterung“ des Themengebiets mit der Gefahr verbunden ist, dass dann keine ausreichende Tiefe und Genauigkeit mehr erreicht werden kann. Ein „Vollständigkeitsanspruch“ ist hier nicht hilfreich, wichtig ist die mo-

bilisierende Zuspitzung auf den Emissionsbegriff, wobei natürlich andere Aspekte (z. B. Flächenverbrauch) im Sinne gegebener Rahmenbedingungen nicht außer Acht gelassen werden dürften.

3.3 Der Wert Null

Die obigen Aussagen zum stadtreionalen Kontext der „Null-Emissions-Stadt“ machen deutlich, dass es nicht um einen physikalischen, absoluten Wert Null gehen kann (ZERI, ZERIA u. ä.).

Erler et al. 2000 nennen drei Möglichkeiten der Definition (im Folgenden mit Ergänzungen von Fürst & Scholles 2001). Das Ziel Null ist erreicht, wenn die Emissionen

- unterhalb analytischer Nachweisbarkeit/No Observed Effect-Level (NOEL),
- unterhalb von schadens- bzw. wirkungsbezogenen Grenzwerten (z. B. Critical Level/Critical Load Konzept²)
- unterhalb von natürlichen Massenströmen

liegen.

Die beiden letzteren sind die Definitionen, um die es vorrangig geht. Beide setzen einen Bezugs- oder Bilanzraum voraus, für den Schadensgrenzwerte (Critical Load) und Massenbilanzen ermittelt werden können. Damit lehnen sie sich auch an den Begriff der ökologischen Tragfähigkeit an und orientieren sich an den ökologischen Nachhaltigkeitsregeln. Auf Grund der oben genannten Prämissen ist der Bezugs- und Bilanzraum der Null-Emissions-Stadt die Region, in die die Stadt eingeordnet werden kann.

² Mit dem Konzept werden Schwellenwerte definiert, unterhalb derer keine Wirkungen von Schadstoffkonzentrationen und Schadstoffeinträgen entstehen. Schwellenwerte für den direkten Wirkungspfad sind die Critical Levels, die für den indirekten Wirkungsgrad werden als Critical Loads bezeichnet [UBA 1997].

4 Die Vision einer Null-Emissions-Stadt

Die Vision einer Null-Emissions-Stadt ist eine Zukunftsvision. Die nationale Nachhaltigkeitsstrategie von Deutschland, die im Frühjahr 2002 beschlossen wurde, nennt folgende Ziele und Zeithorizonte:

- Bis 2020 soll die Energie- und die Rohstoffintensität gegenüber 1990 bzw. 1994 um rund die Hälfte reduziert werden. Dadurch soll die Ressourcen-Inanspruchnahme absolut verringert werden.
- Die Klimaschutzpolitik Deutschlands zielt darauf ab, die Emissionen des wichtigsten Treibhausgases CO₂ bis 2005 gegenüber 1990 um 25 % zu senken. Langfristig ist eine drastische Senkung der gegenwärtigen Treibhausgasemissionen erforderlich.
- Der Flächenverbrauch soll von derzeit etwa 130 auf maximal 30 ha pro Tag in 2020 reduziert werden.

Die hier genannten Zielwerte sind noch weit von den Zielwerten der Null-Emissions-Stadt entfernt, wenn die unter dem obigen Abschnitt genannten aber nicht näher quantifizierten „Nullwerte“ zur Grundlage genommen werden. Unter Berücksichtigung dieser bereits ehrgeizigen Einsparungsziele erscheint ein Zeitraum angemessen, der für die Verwirklichung der Vision einer Null-Emissions-Stadt das Jahr 2050 als Orientierungsjahr nimmt.

4.1 Trends

Im Folgenden werden drei Gebiete mit derzeitigen Trendeinschätzungen kurz umrissen, um auf einige zu beachtende zukünftige Entwicklungen hinzuweisen, da ja die Null-Emissions-Stadt eine Stadt der Zukunft sein wird.

Trend - Innovationen

Die Auswertung der Expertenbefragung im Rahmen der Delphi-Studie 1998 kommt in Bezug auf die Zeitachse der wichtigsten Innovationsgebiete zu folgenden Ergebnissen.

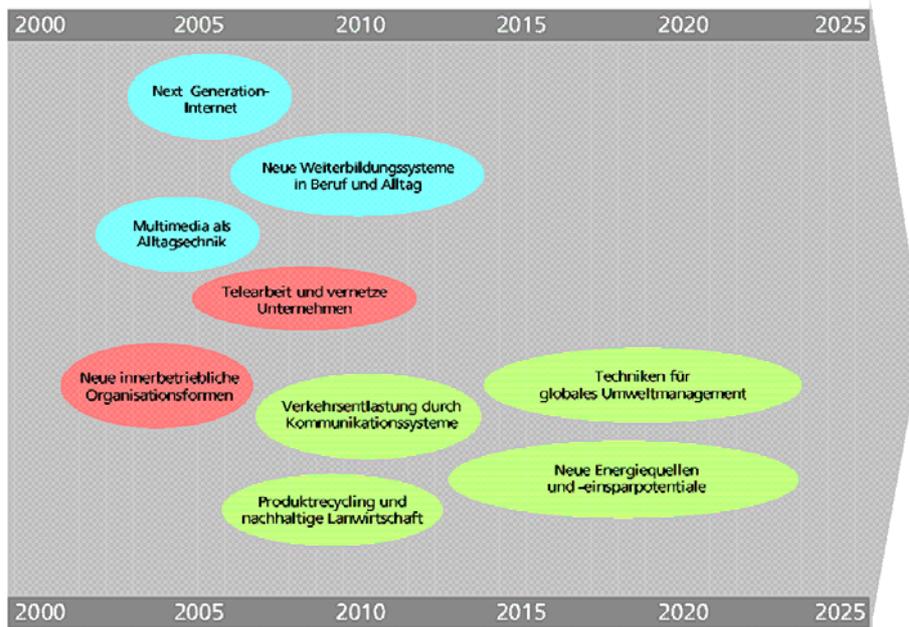


Abb. 4-1: Zeitachse der wichtigsten Innovationsgebiete (Quelle: Delphi 98)

Trend - Stadtentwicklung in Deutschland

Auf Grund des demografischen Wandels - Rückgang der Bevölkerungszahlen und zunehmender Anteils von älteren Menschen - müssen sich die Städte neuen Herausforderungen stellen. Unsere Städte werden in ihrer Gesamtheit eher schrumpfen als wachsen. Der Unterschied zwischen Wohn- und Arbeitsfunktionen wird verschwinden [Streich 2000], die städtebaulichen Nutzungsgrenzen werden verschwimmen. Bezüglich der Auswirkungen neuer Arbeitsformen und der Telekommunikation auf die zukünftige Siedlungsentwicklung gibt es sehr gegensätzliche Annahmen. Die eine Seite geht von einer verstärkten Entwicklung in Richtung disperser Siedlungen aus, die andere Seite hält eine Rückorientierung auf die Kernstädte, insbesondere wenn diese sich attraktiv umgestalten, für wahrscheinlicher (s. Diskussion im Netzwerk www.futur.de). Im Gegensatz zu den Einschätzungen über technologische Entwicklungen, die eher die Frage nach dem ‚wann‘ aber nicht nach dem ‚ob‘ offen lassen, werden hier die Zukunftsbilder schon deutlich ungenauer und gegensätzlicher. Die UNCHS hat kürzlich mit der UNEP ein Human Settlement Project gestartet, um zu diesen Fragen verbesserte Szenarien (Zieljahr 2050) zu erarbeiten. Bezüglich genereller globaler Trends und zwar im Hinblick auf die Entwicklung der Stadtbevölkerung und dem Wachstum der so genannten Megastädte, sind die Einschätzungen weitgehend einvernehmlich. [Hall & Pfeiffer 2000].

Trend – gesellschaftliche Bedingungen

Es gibt zahlreiche Bücher, die unsere Zukunft generell als global vernetzte Gesellschaft beschreiben und wie wir mit Hilfe der neuen Technologien arbeiten, wohnen und unsere Freizeit gestalten werden [z. B. Kaku 2000]. Welche gesellschaftlich-politischen Rahmenbedingungen, mit welchen politischen Steuerungsformen internationale, nationale und lokale Politik betrieben werden wird, dazu gibt es keine einigermaßen solide Aussagen. Die zukünftige Rolle der kommunalen Ebene und wie kommunale

Politik bzw. Verwaltung und städtische Bürger in Zukunft miteinander umgehen werden und welche Verantwortung der einzelne Bürger wie für den Erhalt der Umwelt wahrnehmen muss, das liegt noch vollkommen im Dunkeln.

4.2 Die Eckpunkte einer Null-Emissions-Stadt

Die Eckpunkte der Vision einer „Null-Emissions-Stadt“, von denen die Bearbeiter dieser Studie ausgehen, sind folgende:

- Die Siedlungsform Stadt wird nicht Frage gestellt. Auch unter Berücksichtigung der Entwicklung der neuen Medien werden Konzentrationen von sozialen, kulturellen, politischen und ökonomischen Strukturen und Prozessen Bestand haben. Es wird weiterhin großstädtische bauliche Dichte, Bevölkerungskonzentrationen und großstädtisches Leben geben. In der Stadt sind und werden die treibenden Kräfte für nachhaltige Entwicklung zu finden sein.
- Kreislaufwirtschaft muss zur bestimmenden Wirtschaftsform werden. Ob es eine hundertprozentige lokale und regionale Kreislaufwirtschaft sein muss (Eyerer, ICT Stuttgart), ist jedoch zu hinterfragen.
- Wichtigste Voraussetzung ist, dass die Energiebereitstellung ausschließlich aus solarer Energieversorgung erfolgt. Das heißt, der Energieverbrauch in den Bereichen Verkehr, Gebäude, Industrieprozesse ist soweit zu senken und anzupassen, dass die Bedarfsdeckung über ausschließlich regenerative Energiequellen ermöglicht wird.
- Ein „Belastungsüberschuss“ [Arlt 1997] der Stadt wird bestehen bleiben. Dieser ist aber so klein zu halten, dass er im Rahmen einer stadtreionalen räumlichen Zuordnung kompensierbar ist, das bedeutet, dass der Zielwert Zero-Emission nicht innerhalb der stadträumlichen Grenzen, sondern innerhalb stadtreionaler Grenzen zu erreichen ist.
- Es erfolgt keine Verlagerungen von Emissionen in Vorketten, in andere Handlungsfelder oder in andere regionale und kontinentale Räume sowie in den globalen Raum, die nur eine Umverteilung aber keine Reduktion der Emissionen zur Folge haben.
- Emissionen sind das Ergebnis von Aktivitäten und Bedürfnisbefriedigungen, die Verursacher und Auslöser der Emissionen sind. Null-Emissions-Strategien setzen daran an und nicht erst am „Endprodukt“ den Emissionen. Städtische Emissionsbilanzen bilden über physikalisch darstellbare Größen den Grad der Zielerreichung ab.

Die Abbildung (Abb. 4-2) des Institute for Industrial Science (IIS) der Universität Tokio zeigt anschaulich, dass zur Verwirklichung des Ziels einer Null-Emissions-Stadt bzw. –Region gesellschaftliche, technologische und strukturelle Veränderungsprozesse ineinandergreifen müssen.

Ausgehend von diesen Eckpunkten und auf Basis der sektoralen Analysen der ausgewählten Handlungsfelder werden im Kapitel 9 weitere Kriterien für eine „Null-Emissions-Stadt“ entwickelt.

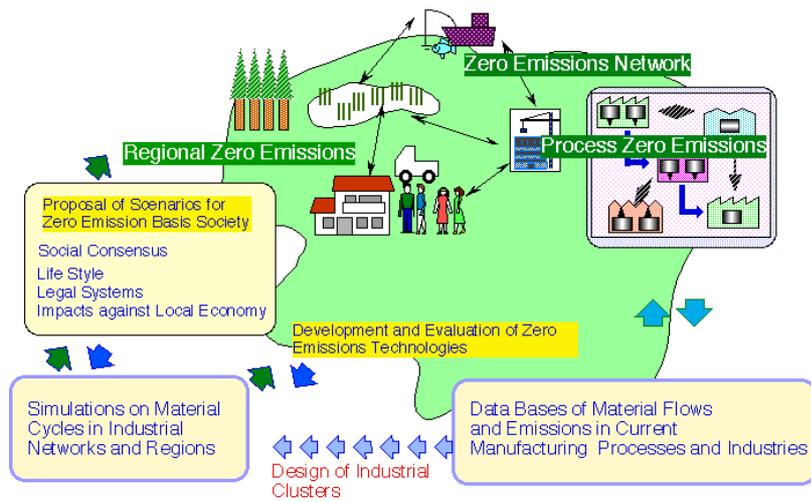


Abb. 4-2: Bestandteile eines regionalen Zero-Emission Konzepts (Quelle: <http://envchem.iis.u-tokyo.ac.jp/ZeroEm/img/eng22.GIF>).

5 Siedlungsstrukturen und Stadt-Umland-Prozesse

Die ökologische Forschung geht von einer wechselseitigen Beziehung zwischen Landschaftsstrukturen und -funktionen (Stoff-, Energie- und Informationsflüssen) aus und kann dies über Analysen von Ökosystemen ausreichend belegen. Die landschaftsökologische Forschung begründet sich darauf. Für die ökologische Stadtforschung ergibt sich daraus die Fragestellung: „How does the spatial structure of ecological, physical and socio-economic factors in the metropolis affect ecosystem function?“ [Baltimore Urban LTER 2000]. Auch die Europäische Umweltagentur formuliert im Dobris-Bericht, dass die Ursachen städtischer Umweltbelastungen nur verstanden werden können, wenn erklärt werden kann, „how cities work and how their spatial organisation affects their environmental performance“ [EEA 2001].

Die Forschungsgruppe der Universität in Baltimore gibt auch gleich eine Antwort über den derzeitigen Wissenstand zu diesem Thema, nämlich „poorly known“. In Schweden [Bjur & Gavatin 1997] und in den USA [Baltimore Urban LTER 2000] ist die Konsequenz gezogen worden, dass diese komplexen Zusammenhänge über besondere langzeitorientierte Forschungsprogramme und –projekte analysiert werden sollen.

Da die Null-Emissions-Stadt auf eine Veränderung von emissionsrelevanten Stoff- und Energieflüssen hinwirken muss, ist eine Klärung der Beziehungen zwischen den Stadt- bzw. stadtreionalen Strukturen und Emissionen notwendig. Deswegen werden im Folgenden die stadtstrukturellen Modelle, die diskutiert und als nachhaltig angesehen werden, und der methodische Wissenstand über die Stoffflussbeziehungen zwischen Stadt und Umland dargestellt und in Bezug auf ihre Aussagefähigkeit im Hinblick auf Emissionen und des Zielwertes Nullemissionen geprüft.

5.1 Nachhaltige Stadt- bzw. Stadt-Regionsmodelle

5.1.1 Die kompakte Stadt

Das zurzeit dominante stadtstrukturelle Leitbild nachhaltiger Stadtentwicklung ist das der kompakten Stadt, The Compact City [Jenks et al. 1996, Williams et al. 2000]. Dieses Leitbild orientiert sich an der historisch gewachsenen europäischen Stadt, denn das Konzept der europäischen Stadt wird mit der kompakten Stadt gleichgesetzt [EG 1990]. Der städtebauliche Bericht der Bundesrepublik zur Habitat II Konferenz in Istanbul schließt sich daran nahtlos an und bindet nachhaltige Stadtentwicklung explizit an die kompakte, nutzungsgemischte Stadt [BfLR 1996]. Es findet eine entsprechende Fortsetzung in dem Programm des Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus „Städte der Zukunft“ und den dazu entwickelten Nachhaltigkeitsindikatoren [<http://www.staedte-der-zukunft.de>]. In diesen Berichten wird der kompakten Stadt explizit eine ökologische Ausrichtung unterstellt.

Bereits 1988 haben Deutscher Städtetag und Deutsches Institut für Urbanistik in einer gemeinsamen Stellungnahme die ökologischen Vorteile einer kompakten Stadt zusammengefasst [DST & Difu 1988] wie:

- nimmt am wenigsten Fläche in Anspruch,
- kurze Entfernungen zwischen den Funktionen von Wohnen, Arbeiten, Ausbildung, Einkauf, Freizeit und Erholung,
- Einsatz linien- und spurgebundener Verkehrsmittel und damit umweltfreundliche Verkehrstechnologien für den Individualverkehr wie für den öffentlichen Verkehr,
- bandartige und damit flächensparende Kommunikationssysteme unter den Städten,
- Einsatz leitungsgebundener Versorgungssysteme, Nah- und Fernwärmenutzung, Kraft-Wärme-Kopplung ist wirtschaftlich tragfähig und der Einsatz auf Wiederverwendung ausgelegte Entsorgungstechnik sowie moderner Abwasserklärtechniken wird erleichtert.

Die kompakte europäische Stadt wird im Gegensatz zum „urban sprawl“ nordamerikanischer Städte gesehen [Rietdorf 2001]. Ein ökologischer Vergleich zwischen diesen beiden Stadttypen liegt mit Ausnahme des Städtevergleichs von Newman & Kenworthy 1989, bei dem Kraftstoffverbrauch mit baulicher Dichte in Bezug gesetzt werden, nicht vor.

5.1.2 Dezentrale Konzentration

Ein siedlungsstrukturelles Leitbild, welches an dem der kompakten Stadt ansetzt, ist das der dezentralen Konzentration [BfLR 1996]. Das Leitbild der dezentralen Konzentration kann sowohl auf Regionen als auch auf einzelne Städte angewandt werden. Es bedeutet, dass Nutzungen an bestimmten Orten im Raum (Städte oder Stadtteile) konzentriert werden, um städtebauliche Dichte, Nutzungsmischung und Knotenpunkte für leistungsfähige Verkehrsträger zu erhalten.

In ökologisch begründeten Darstellungen wird in der Konzentration von Belastungen auf einzelne Standorte und in der klaren Abgrenzung dieser zum ländlichen Umland [BUND/Misereor 1996], welches die Zwischenräume ausfüllt, ein besserer Schutz der naturräumlichen Funktionen und Kulturlandschaftsfunktionen gesehen als bei einer relativ großflächigen aufgelockerten Bebauung, die das Land fast vollständig überzieht. Ein funktional optimierter Wechsel zwischen Belastungs- und Ausgleichsräumen [Ahuis et al. 1993], bei dem sowohl quantitativ als auch qualitativ die umgebenden Ausgleichsräume den Belastungsüberschuss der Städte puffern, wäre somit eine Perspektive, um überörtliche (Emissions-)Belastungen zu reduzieren.

5.1.3 Zwischenstadt

Sieverts 1997 hat mit dem Konzept der Zwischenstadt eine neue Sichtweise eingenommen bzw. übernommen, bei der die beiden oben genannten Siedlungsmodelle in Frage gestellt werden. Urban Sprawl wird zum Einen als eine zu akzeptierende Entwicklung, der sich nicht entgegengestellt werden kann, und zum Anderen als eine neue positive gegenseitige Durchdringung von Freiraum und Siedlung angesehen. Die Stadt in Verdichtungsräumen wie Ruhrgebiet oder Rhein-Main wird zur Stadtregion oder Regionalstadt und die Landschaft wird zu einer Stadtkulturlandschaft, bei der ökologische Funktionen, Entsorgungsfunktionen, Freizeitfunktionen usw. diese Landschaft „gleichwertig“ ausfüllen. Ökologische Funktionen werden von durchgrünter Stadtgebieten genauso oder nach seiner Meinung zum Teil

sogar besser wahrgenommen, als von der agrarindustriell geprägten Landschaft [IWU 1999]. Damit entsteht seiner Meinung nach ein Natur-Technik-Verbund, bei dem die ökologische Stabilisierung auch durch die Siedlungsstrukturen hergestellt wird [Sieverts 1998].

5.1.4 Netzstadt/Netzstadt-Methode

Unter Netzstadt wird die flächenextensive Stadtlandschaft von verstädterten urbanen Kulturlandschaften verstanden, die dem obigen Zwischenstadt-Konzept entspricht, aber von einigen Autoren einer höheren Maßstabebene zugeordnet wird [Kühn 2001]. Baccini und Oswald 1998 haben der Netzstadt eine Methode hinzugefügt, um regionale Strukturen einer verstädterten Landschaft lesen zu können. Die urbane Kulturlandschaft wird danach als ein Netzwerk und offenes System angesehen. Dieses Netzwerk besteht aus Knoten (verdichtete Stadträume) und Verbindungen (linearen Strukturen wie Verkehrs- und Kommunikationssysteme). Damit ist diese Landschaft überführbar in andere systemtheoretische Modelle, bei der Systemeigenschaften, Interaktionen usw. erfasst und wissenschaftlich bearbeitet werden können, und zwar inter- und transdisziplinär. Mit diesem Modell kommt Baccini 2000 u. a. zu folgenden ökologischen Strategien/Überlegungen: Eine urbane solare Gesellschaft liegt bei den pro Kopf-Verbräuchen an Energie und Baumaterialien um den Faktor 2 - 3 niedriger als die heutige Gesellschaft, Langzeitperspektiven sind notwendig, die Region ist die minimale Skalengröße. Vergleiche zwischen verschiedenen existierenden Stadtlandschaften liegen nicht vor.

Die Darstellung in idealisierten Raumbeziehungen von Netzen mit Linien und Knoten wird auch von Verkehrswissenschaftlern herangezogen, um Distanz optimierte Verkehrsbeziehungen zu demonstrieren [Ciuffini 1995].

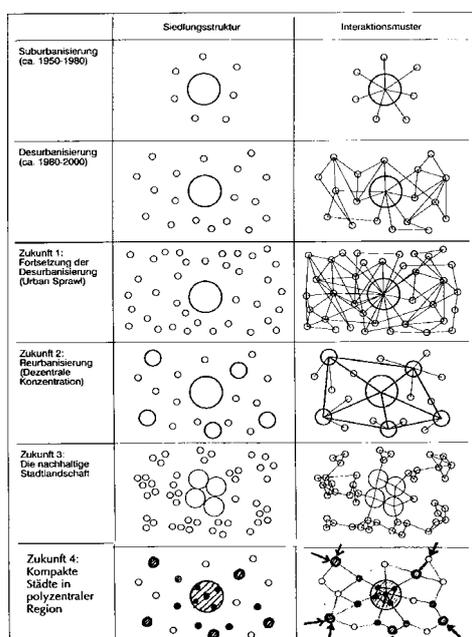


Abb. 5-1: Alternative Modelle zukünftiger Siedlungsstrukturen und Interaktionsmuster (aus: Apel et al. 2000).

5.1.5 Stadtstruktur und Emissionen

Nachfolgend werden einige Ergebnisse kurz vorgestellt, bei denen explizit der Zusammenhang zwischen Emissionen und Stadtstrukturen untersucht oder in Reviews zusammengefasst wurde.

Verkehrsemissionen und Stadtstruktur (s. auch Kap. 8)

Verkehrsemissionen und Stadtstrukturen stehen bei diesen Untersuchungen eindeutig im Mittelpunkt. Auch Reviews, die einen allgemeineren Titel (z. B. „Urban Form, Energy and Environment“) tragen, behandeln fast ausschließlich diesen Aspekt. Ausgangspunkt für viele Studien sind die Aussagen von Newman & Kenworthy 1989, die durch einen weltweiten Vergleich verschiedener Städte zu der eindeutigen Aussage kommen, dass je dichter und kompakter eine Stadt ist, umso weniger Treibstoff pro Einwohner verbraucht wird. Wird das Mobilitätsgeschehen jedoch differenzierter betrachtet, dann relativieren sich diese Ergebnisse erheblich. Die Aktivitäts- und Mobilitätsmuster sind großräumiger und vielschichtiger angelegt, so dass zum Teil Bewohner von Stadtrandsiedlungen oder Satellitenstädten kürzere Wege insgesamt zurücklegen, als Bewohner der Kernstadt [Crane 2000]. Zum Beispiel stellt Kagermeier 1997 fest, dass Bewohner von Einfamilienhäusern mit Gärten weniger Ausflüge machen als Bewohner, denen kein Garten zur Verfügung steht. Es ist methodisch ein schwieriges Problem, das gesamte Mobilitätsverhalten von Einwohnern einer Stadt oder Stadtrandsiedlung abzubilden. Hesse 2000 benennt in der Tendenz mehr Gutachten, die belegen, dass Einwohner kompakterer Städte und kompakterer traditioneller Quartiere weniger häufig das Auto benutzen und weniger Verkehrsemissionen erzeugen als andere. Holtzclaw [zitiert in Hesse 2000] beispielsweise kommt zu folgenden Zahlen: in einem traditionellen Quartier sind die CO-Emissionen um 40 % und die NO_x-Emissionen um 5 % im Vergleich zu einem Vorortquartier reduziert. In der Auswertung des ExWoSt-Forschungsfeldes „Schadstoffminderung im Städtebau“ werden durch Maßnahmen wie Nutzungsmischung und Verbesserung des Modal-splits zugunsten des Umweltverbundes CO₂-Reduktionspotenziale von 4 – 8 % erreicht [Dütz et al. 2001]. Crane 2000 dagegen nennt mehrere Studien, die dies eher in Frage stellen bzw. offen lassen.

Davon zu trennen ist allerdings der Aspekt, inwieweit durch zukünftige Steuerung der Siedlungsentwicklung der Verkehr so beeinflusst werden kann, dass durch eine verstärkte Wahl umweltfreundlicher Verkehrsmittel und durch Verkehrswegereduktionen Emissionsminderungen erzeugt werden können. Hesse 2000 kommt zu der Aussage, dass Dichte und Mischung allein nicht ausreicht, sondern dass das spezifische Verhältnis zwischen Wohnstandort und Arbeitsplatzstandort wesentlich ist. Der distanzintensive Freizeitverkehr wird dabei nicht beachtet. Er kommt außerdem zum Schluss, dass die Siedlungsstruktur zwar einen Beitrag zur Verkehrsreduktion leisten kann aber nicht dominant ist. Ingram 1998 geht sogar von einem negativen Beitrag aus und spricht sich gegen eine Förderung der kompakten Stadt aus. Die Umorientierungsprozesse von Bewohnern bei veränderten Siedlungsstrukturen werden als schwerfällig angesehen [Kagermeier 1997]. In dem Komplex von Raumstruktur, Zeitstruktur, Verkehrsangebote und sozio-ökonomischen Bedingungen [Holz-Rau & Hesse 2000] bieten die Untersuchungen bisher wenig treffsichere Aussagen über das Gewicht der verschiedenen Bereiche. [Anderson et al. 1996] mahnen bei dem derzeitigen Wissenstand zur Vorsicht, über siedlungsstrukturelle Maßnahmen einen Beitrag zur Verkehrsvermeidung leisten zu wollen. Stead et al. 2000 treffen die

klare Aussage, dass die Analyse sozio-ökonomischer Daten genauere Informationen über Mobilitätsverhalten liefern als siedlungsstrukturelle Daten.

Schadstoffminderung durch städtebauliche Maßnahmen

Im Folgenden wird sich wesentlich auf das Gutachten von Dütz et al. 2001 bezogen, in dem die Ergebnisse des Forschungsfeldes „Schadstoffminderung im Städtebau“ ausgewertet worden sind. Es geht darum darzustellen, inwieweit durch kombinierte Maßnahmen in den Feldern Bebauung, Verkehr und Energieversorgung bzw. hier vorrangig durch nicht-verkehrliche Maßnahmen der Schadstoffausstoß verringert werden kann und welche Maßnahmen und Instrumente besonders geeignet sind.

Das Gutachten kommt u. a. zu folgenden Aussagen. Den direkten verkehrlichen Maßnahmen können nur zu einem geringen Umfang Schadstoffminderungen zugerechnet werden. Erst durch ergänzende Maßnahmen (Verbesserung der Wohnqualität, Verkehrssicherheit) werden höhere Reduktionswerte erzielt. Die Nutzung der Potenziale im baulichen und baulich-stadtstrukturellen Bereich bzw. in der Art der Energieversorgung führen zu deutlich höheren Minderungen des Schadstoffausstoßes. Hier werden je nach Maßnahmen und Ausgangsbedingungen Minderungspotenziale von 8 bis 50 % rechnerisch erreicht. Es wird betont, dass die Minderungsmaßnahmen durch Synergieeffekte im Rahmen ganzheitlicher Planungen von Gewicht sind. Ausschöpfung planungsrechtlicher Möglichkeiten, Akteursbeteiligung, Angebot von Finanzierungsmodellen, Marketing für emissionsarme Siedlungen, Beratungshilfen usw. waren wichtige erfolgsunterstützende Maßnahmen.

In einem Siedlungsprojekt, bei dem in 20 Jahren für 20.000 Einwohner neue Häuser und Wohnungen gebaut werden sollen, hat sich die Stadt Stockholm zum Ziel gesetzt, durch Einsatz verschiedenster städtebaulicher und sonstiger Maßnahmen, die derzeitigen nach dem Stand der aktuellen Technik noch gegebenen Umweltbelastungen um 50 % zu unterschreiten. Mit Hilfe von Simulationsmodellen konnte gezeigt werden, dass dieses Ziel in einer Reihe von Handlungsfeldern erreicht werden kann [Frostell & Jonsson 2000].

Verteilung von Emissionen und Immissionsbelastung in der Stadt

Die innerörtlichen Stadtstrukturen und Aktivitäten führen zu Emissionen, die zu erheblichen Teilen als Immissionen die in der Stadt lebenden Bewohner selber belasten. Wie schon erwähnt, stellen sowohl Newton 1997 als auch Ingram 1998 auf Grund der Auswertung verschiedener Untersuchungen und mit Hilfe von Simulationen fest, dass durch kompakte Stadtstrukturen die Luftschadstoffbelastung erhöht wird. Die Verteilung der Immissionen teilt sich ungleichmäßig auf, so dass Gebiete mit besonders starker Immissionsbelastung (pollution pockets) und mit geringerer Belastungen entstehen. Die Belastungsgebiete sind neben Gewerbegebieten vor allem auch Stadtgebiete, in denen Menschen mit geringerem Einkommen leben. Soziale Brennpunkte zählen häufig dazu [Dangschat 1997].

Bundesweite Befragungen belegen, dass Lärm von Seiten der Bevölkerung als Umweltbelästigung ersten Ranges eingeschätzt wird und dass an erster Stelle der Straßenverkehrslärm steht (UBA-Umfrage 2000). Nur 20 % der Bürger können in der Bundesrepublik völlig frei von Lärmbelästigungen leben. Nach § 47a des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sind Lärminderungspläne aufzustellen, wenn in Wohngebieten und anderen schutzwürdigen Gebieten schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche hervorgerufen werden. Für die verschiedenen Nutzungsgebiete in einer Stadt existieren

Richtwerte für Tages- und Nachtzeiten. Diese Richtwerte orientieren sich an Bedürfnissen der Nachtruhe und der Vermeidung von Gesundheitsschäden. Erst in den letzten Jahren haben die Städte mit entsprechenden Planungen begonnen. Da Lärm zu einem hohen Maße von subjektiven Wahrnehmungen abhängt, führen einzelne Städte Befragungen oder Bürgerbeteiligungsverfahren durch. Sowohl Ursachen als auch Wirkungen von Lärmbelastung können vielfältig sein und interagieren mit dem sozialen und geographischen bzw. stadtgestalterischen Kontext.

Die folgende Grafik über Lärmbelastung von Bewohnern verschiedener europäischer Städte zeigt, dass zum Einen ein erheblicher Teil der Bevölkerung extremen Lärmpegeln (> 70 dB) ausgesetzt ist und zum Anderen, dass die Variationsbreite zwischen den Städten erheblich ist, wobei insbesondere Städte aus Osteuropa, Spanien und Italien durch hohe Werte auffallen.

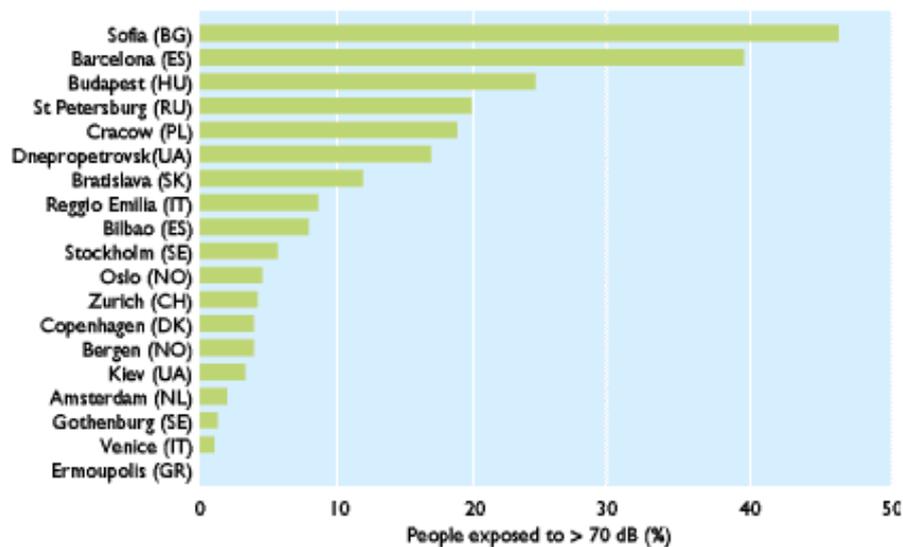


Abb. 5-2: Prozentanteil der Bevölkerung verschiedener europäischer Städte, die mit einem Lärmpegel von mehr als 70 dB belastet sind [EEA 2001].

5.1.6 Bewertung der Frage Siedlungsstruktur in Bezug auf das Ziel „Null-Emissions-Stadt“

Die Gestaltung des städtischen Raumes steht in Wechselwirkung zu folgenden emissionsrelevanten Handlungs- bzw. Aktivitätsbereichen:

- Güter- und Personenverkehr, Mobilität,
- Energiebedarf,
- Lebensstile, Aktivitätsmuster,
- Umweltbelastungen.

Die bisher diskutierten Vorteile der kompakten Stadt sind nur zum geringen Teil empirisch begründet (z. B. Flächenverbrauch oder Primärenergiebedarf für Raumwärme). Es wird leicht übersehen, dass

diese Vorteile auch mit Nachteilen einhergehen können. Beispielsweise sind Verlagerungen von Belastungen ins Umland (z. B. Leistungen der Grundwasseranreicherung sind in hoch versiegelten Gebieten reduziert und müssen regional durch Grundwasseranreicherungen im Umland ausgeglichen werden), Nutzbarkeit und Einschränkung technischer Alternativen (z. B. Einsetzbarkeit von Pflanzenkläranlagen) und Verlagerungen im sozialen Kontext (z. B. erhöhter Wochenendverkehr als Kompensation für fehlenden Hausgarten) mit in Rechnung zu stellen. Versuche, diese Vor- und Nachteile über Umweltbilanzen zu objektivieren sind nicht bekannt.

In den verschiedensten zitierten Reviews [Crane 2000, Hesse 2000, Ingram 1998] oder auch in Diskussionen von aktuellen Forschungsnetzwerken wie BEQUEST wird relativ einvernehmlich festgehalten, dass das Verständnis über die Zusammenhänge zwischen Siedlungsstrukturen und den oben genannten Handlungs- bzw. Aktivitätsbereichen unzureichend ist. Als Grund wird genannt, dass das hohe Maß an Komplexität die Zugänglichkeit für Analysen und Handlungsvorschläge erschwere. Es existiert kein eindeutiges Bild darüber, inwieweit Siedlungsstrukturen mehr oder weniger nur ein Abbild (passive Funktion) oder selber Auslöser von Umweltproblemen (aktive Funktion) sind. Vielfach zitierte Korrelationen zwischen Siedlungsstrukturen und z. B. Verbrauch von fossilen Brennstoffen [Newman & Kenworthy 1989] geben nur wenig Aufschluss über Ursachen. Hinzu kommt, dass die zum Teil angegebenen Reduktionswerte von 4 – 8 % weit entfernt von den Reduktionswerten liegen, die für das Ziel „Null-Emissions-Stadt“ erreicht werden müssten.

Lärm- und Immissionsbelastungen mit Luftschadstoffen sind auf Grund der Aktivitäts-, Nutzungs- und Verkehrsdichte in großen Städten höher als in Kleinstädten [Newton 1997, UBA 2001]. Hier existiert eine eindeutig negative Beziehung zwischen Kompaktheit und Umweltqualität [Ingram 1998].

Williams et al. 2000 nehmen mittlerweile ebenfalls Abstand davon, die kompakte Stadt als die einzig nachhaltige Stadtgestalt zu präsentieren. Sie plädieren dafür, Anstrengungen zu unternehmen, die Untersuchungen über die Zusammenhänge von Stadtstruktur und Nachhaltigkeit auf eine breitere Basis zu stellen und Wege aufzuzeigen, wie nachhaltige siedlungsstrukturelle Potenziale für die Vielzahl von vorhandenen lokalen Stadtstrukturen identifiziert werden können (unter Beachtung der verschiedenen Ebenen Block, Quartier, Stadtteil, Stadt, Region).

Das bedeutet zusammengefasst, dass bei dem derzeitigen Kenntnisstand der Sinn und die Effizienz von raumstruktureller Steuerung oder von raumstrukturell orientierten Leitbildern nicht ausreichend beurteilt werden kann. Es bleibt ohne Verbesserung dieses Wissens offen, wie stark die Vision einer „Null-Emissions-Stadt“ von bestimmten Siedlungsstrukturen abhängig ist.

5.2 Stoffwechsel Stadt-Umland

In dem vorhergehenden Kapitel sind vor allem Beziehungen zwischen Emissionen und Siedlungsstrukturen betrachtet worden, in dem folgenden geht es um Methoden und Modelle, die stoffliche Austauschprozesse zum Gegenstand haben. Die vorhergehenden Kapitel haben zwei Fragen in den Raum gestellt.

- 1) Was ist der Bezugs- und Bilanzraum, auf den sich der zu definierende Nullwert beziehen soll? Hier geht es zum Einen um die Festlegung eines Zielwertes für Null-Emissionen, das heißt der

Emissionswert, bei dem an den zu bestimmenden Einwirkungsraum die Belastungen unterhalb eines schadens- und wirkungsbezogenen Grenzwertes liegen, und zum Anderen um die Region als die Raumeinheit, von der ausgehend dieser Zielwert zu bestimmen ist.

- 2) Mit welchen Methoden ist eine Bewertung möglich? Für die Bewertung ist nicht nur eine Zielvorgabe notwendig, sondern auch eine Abbildung und Quantifizierung der emissionsrelevanten Vorgänge und Austauschprozesse zwischen Stadt und Umland, um die Erreichung oder die Distanz zu dem Zielwert bestimmen zu können.

Die folgenden Ausführungen können keine Antworten bieten, sondern nur auf Ansätze hinweisen, aus denen heraus methodisch-theoretische Forschungsvorhaben und Grundlagen für die „Null-Emissions-Stadt“ entwickelt werden könnten.

5.2.1 Raum- und Maßstabebenen

Prozesse und Wechselbeziehungen finden auf und zwischen den verschiedensten Maßstabebenen statt. Die bisherigen Ausführungen bezogen sich relativ isoliert auf die Stadt als mehr oder weniger homogene Gesamteinheit und auf die Region. Politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Rahmenbedingungen werden sehr stark international und national determiniert. Ob es zu einem Lizenzhandel für Emissionen kommt, der letztlich auch die Kommunen direkt und konkret einbezieht, wird auf den Welt-Klimakonferenzen entschieden und nicht in einzelnen Städten. Darüber hinaus ist es ein wesentliches Kennzeichen von Städten, insbesondere Großstädten, dass sie funktional und materiell in einem internationalen Beziehungsgeflecht – „node in a global ‚hypergrid‘“ [Ravetz 2000] – eingebunden sind. Ein Blick auf die andere Maßstabsseite wiederum zeigt, dass einzelne Personen und ihr sozio-ökonomischer Status entscheiden, welcher Lebensstil verfolgt wird, ob sie mit natürlichen Ressourcen eher sparsam umgehen und umweltbewusst leben oder einen verschwenderischen Konsum bevorzugen. Die Gesamtheit der in einer Stadt lebenden Personen und Haushalte bestimmen mit ihren Aktivitäten wie Wohnen, Freizeit, Mobilität, welche konkreten Stoffwechselprozesse in Gang gesetzt werden [Baccini & Bader 1996]. Die Maßstabs- und Raumebenen Stadt und Region befinden sich quasi im Mittelfeld (s. folgende Abb.).

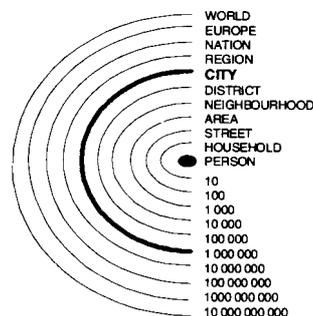
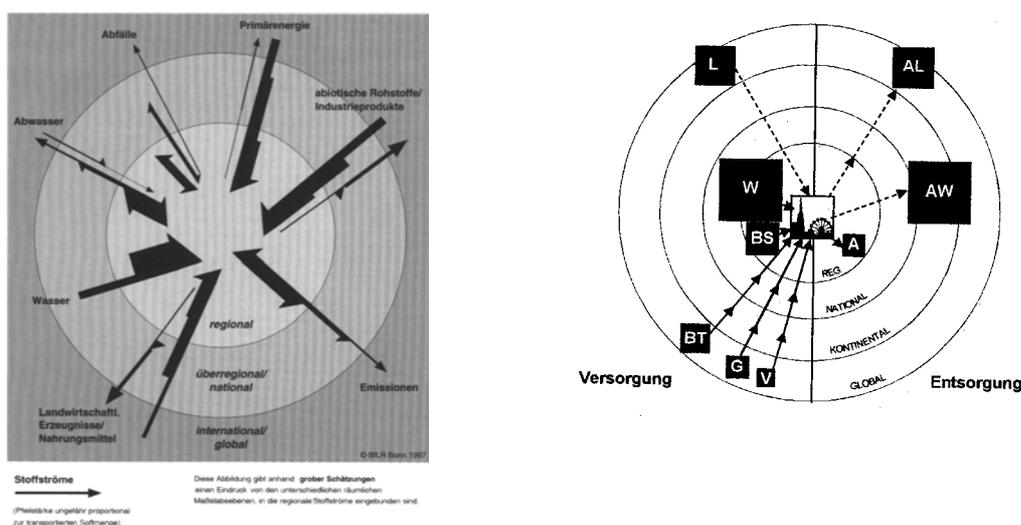


Abb. 5-3: Die Einordnung der Stadt in die verschiedenen Raum- und Maßstabebenen [Ravetz 2000].

Bereits im Kapitel Vision einer „Null-Emissions-Stadt“ ist auf eine Erweiterung der Stadt auf die räumliche Ebene Region bzw. Stadtregion als Eckpunkt hingewiesen worden, um das Ziel Nullemissionen operationalisierbar zu machen. Diese Erweiterung stellt in Rechnung, dass der Belastungsüberschuss nicht innerhalb der städtischen Baugrenzen vollständig bewältigt werden kann. Es sollte noch erwähnt werden, dass noch nicht einmal die Siedlungsgrenzen in Stadtregionen scharf abgegrenzt werden können [Sieverts 1997, Alberti 2000].

Xu & Madden 1989 haben ein Modell vorgeschlagen, welches die Stadt verschiedenen Raumsphären zuordnet. Sie schlagen 3 Sphären vor, die sich an den baulichen Grenzen (die Stadt im engeren Sinne), an den wesentlichen Ver- und Entsorgungsgrenzen (die Stadt im regionalen Kontext) und an den funktional-wirtschaftlichen Grenzen (von der Region bis zur globalen Ebene) orientieren. Der Vielschichtigkeit der Beziehungen wird ein vielschichtiges Stadtraum-Modell zur Seite gestellt. Das heißt, dass sich der Bezugs- und Bilanzraum jeweils verschieben kann, je nachdem welche Prozesse beobachtet und beeinflusst werden sollen.

Bemerkenswert ist, dass bezüglich der stofflichen Austauschprozesse die Region immer noch der wichtigste Ver- und Entsorgungsraum ist [Adam 1997, Brunner 2000]. Dies gilt insbesondere für Wasser, Baustoffe und auch für Nahrungsmittel (s. folgend Abb.). Damit wird unterstrichen, dass für Null-Emissions-Strategien in diesen genannten Bereichen die Region die zentrale Raumebene ist.



a) aus Adam 1997, Grundlage Daten des Statistischen Bundesamtes.

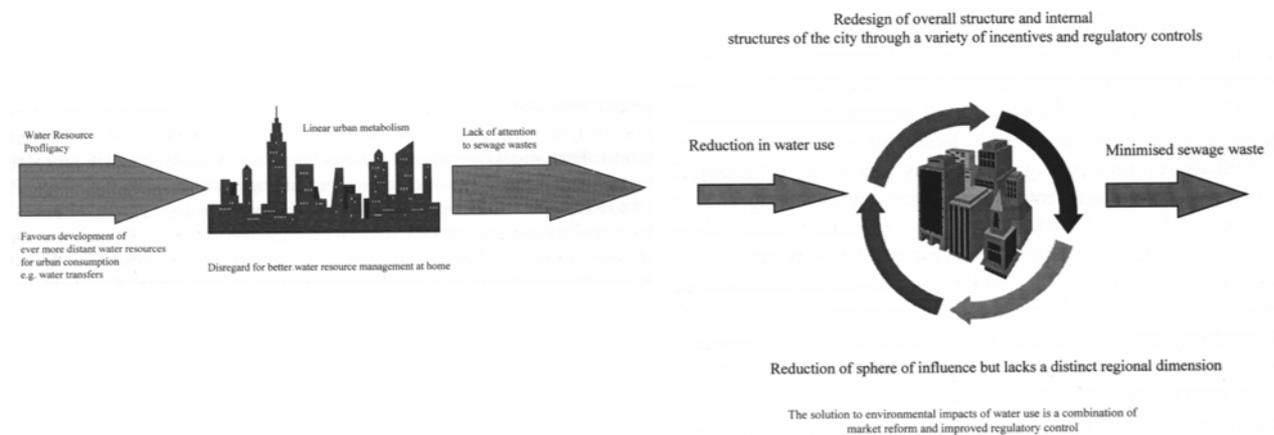
b) aus Brunner 2000, Daten der Stadt Wien.

Abb. 5-4: Stoffströme und ihre Maßstabsebenen.

Allerdings ist die Region kein geographisch festgeschriebener Raum, sondern unterliegt je nach Zugang einem unterschiedlichen Raumzuschnitt (Wirtschaftsregion, Identitätsregion usw.). Bei der Frage-

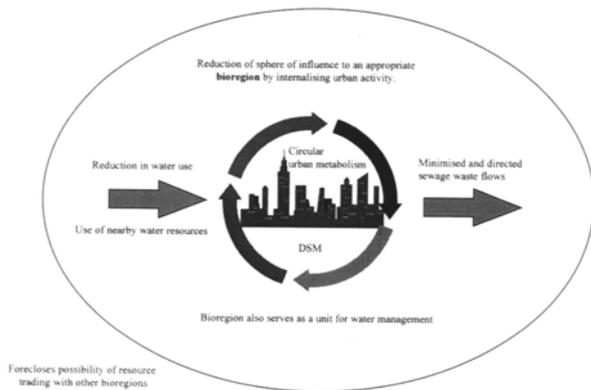
stellung Null-Emissionen stehen Beeinträchtigungen der Umwelt und somit ökologisch funktionale Prozesse im Mittelpunkt, für die dann geeignete landschaftsökologische Raumeinheiten als Bezugsräume zu wählen sind. Bei dem Bereich Wasser wären als Bilanzräume die Wassereinzugsgebiete zu wählen. Aber auch hier muss unter Umständen mit mehrschichtigen Raummodellen gearbeitet werden. Geogene Empfindlichkeiten für Einträge von Säurebildnern lassen sich nicht mit Wassereinzugsgebieten in Deckung bringen.

Haughton 1997 bietet drei interessante Modelle an, die demonstrieren sollen, dass nachhaltige Stadtentwicklung theoretisch über unterschiedliche Strategien erreichbar ist. Diese Strategien lassen sich unmittelbar auf das Thema Nullemissionen übertragen.



A: Externally Dependent City

B: Re-Designing City



C: Self-Reliant City

Abb. 5-5: Modelle für nachhaltige Stadtentwicklung [Haughton 1997 aus Guy & Marvin 2000].

Für die Modelle 1 und 2 ist der Bilanzraum, auf den sich der Zielwert Nullemissionen beziehen müsste, der globale Raum. Die beiden Modelle unterscheiden sich dadurch, dass in dem ersten Modell lineare Durchflussprozesse überwiegen, die im globalen Maßstab auszugleichen und zu kompensieren sind, wogegen in dem zweiten Modell stadtnahe Kreislaufprozesse diese linearen Prozesse ergänzen. Nach

Brunner 2000 sind ca. 90 % der Stoffflüsse der Stadt Wien linear ausgerichtet. Das dritte Modell greift die Strategie auf, dass Stadt und Region einen ausgeglichenen Bilanzraum darstellen.

Das zweite und dritte Modell mit ihren stark intern organisierten Kreislaufprozessen weisen auf einen weiteren grundsätzlichen Aspekt hin. Nämlich, dass Nullemissionsstrategien und –prozesse auf untere Maßstabebenen übertragen werden können. Denn wenn Nullemissionen bei Gebäuden oder Haushalten erreicht werden würden, dann würde sich bei einer Aggregation auf die Stadtebene ebenfalls eine Nullbilanz ergeben.

Ein Ergebnis der Berliner stadtökologischen Forschung in den 70er und 80er Jahren ist, dass Stadtstrukturtypen geeignete ökologische Raumeinheiten sind, um eine Stadt ökologisch zu strukturieren [Sukopp & Wittig 1998]. Die Stadtstrukturtypen zeigen sowohl charakteristische Umweltbelastungen als auch ökologische Leistungspotenziale (services) zur „Vermeidung“ und Kompensation von Emissionen [Pauleit & Duhme 1999]. Da sie auch häufig mit städtebaulich und sozial abgrenzbaren Räumen übereinstimmen, bieten sie sich als Ansatzorte für Nachhaltigkeitsstrategien [Brandt & Heller 1997, Werner 2000] und Nullemissionstrategien an. Das Öko-Institut hat in einem Forschungsprojekt geprüft, inwieweit Stoffstromanalysen, die eine wichtige Analysemethode für eine Nullemissionsstrategie sind, auf dieser Raumebene sinnvoll eingesetzt werden können [Öko-Institut 2001].

Somit ist es auch eine Aufgabe herauszuarbeiten, welche „Raum“-Einheiten der unteren Maßstabebene (Stadtteil, Quartier, Gebäude, Haushalt, Individuum) für welche Nullemissionsstrategien besonders geeignete Ansatzpunkte bieten.

5.2.2 Theoretische Konzepte von Mensch-Umwelt-Beziehungen

Die „Null-Emissions-Stadt“ soll den Stoffaustausch zwischen Mensch und Umwelt so gestalten, dass die durch die Aktivitäten der Stadtbewohner hervorgerufenen Emissionen sowohl quantitativ als auch qualitativ für die Umwelt unschädlich bleiben. Stoffaustausch ist ein wesentliches Merkmal der Mensch-Umwelt-Wechselwirkungen. Verschiedene Konzepte versuchen diesen Wechselwirkungsprozess so abzubilden, dass Strategien für ein umweltverträgliches Handeln entwickelt werden können. Auf diese Konzepte wird die Forschung für eine „Null-Emissions-Stadt“ eingehen müssen und diese gegebenenfalls weiterentwickeln.

Im Folgenden ist eine Liste von Rahmenkonzepten wiedergegeben, die Murcott 1997 für eine Tagung zur nachhaltigen Entwicklung zusammengestellt hat.

Human/Environment Interaction Conceptual Frameworks

- Net Primary Production [Vitousek et al. 1986]
- Biogeophysical Sustainability [Vernadsky 1926]
- Environmental Utilization Space [Siebert 1982]
- Ecological Footprint [Wackernagel & Rees 1996]
- Adaptive Environmental and Resource Management [Holling 1978]
- Ecosystem Health [Lovelock 1991]

Economy/Environment Interaction Conceptual Frameworks

- Steady State Economy [Daly 1977]
- Natural Resource Accounting/Green GDP [Nordhaus & Tobin 1972]
- Capital Conservation [World Bank 1995]
- Eco-efficiency [World Business Council for Sustainable Development 1992]
- Energy Accounting [Odum 1996]

Environment/Human/Economy Interaction Conceptual Frameworks

- Firey's Natural Resource Accounting [Firey 1960]
- Carrying Capacity [Hardin 1975]
- Limits to Growth [Meadows et al. 1972]
- Stress/Response Conceptual Frameworks [Rapport & Friend 1979, OECD 1991]

3 Konzepte sollen aus dieser Liste beispielhaft herausgegriffen werden.

Umweltraum – Environmental Utilization Space [BUND/Misereor 1996, Carley & Spagans 1997]

Der Umweltraum nimmt den globalen Raum als Bilanzraum. Ressourcen (z. B. regenerative Energiequellen) und Assimilationspotenziale (z. B. CO₂-Bindung) werden global geschätzt. Die Bestimmung dieser Ausgangsgrößen erfolgt auf Basis wissenschaftlicher Daten und politisch-gesellschaftlicher Bewertungen. Diese quantitativen Werte werden durch die Zahl der Weltbevölkerung geteilt, so dass ein durchschnittlicher Wert pro Kopf errechnet werden kann.

Dieser hypothetische Pro-Kopf-Wert spiegelt die Größenordnung wider, die global gesehen eine ökologisch verträgliche Nutzung sichern würde. Wenn der Zielwert Nullemissionen darauf Bezug nimmt, dann wäre eine Stadt eine „Null-Emissions-Stadt“, wenn der Durchschnittswert der Stadtbewohner diesen nicht überschreiten würde. Die Studie von BUND/Misereor kommt auf der Basis der Umweltraumanalyse zu Reduktionszielen von 80 – 90 % bis zum Jahre 2050.

Bisher gibt es keine Studien, die sich auf einzelne Städte beziehen oder regionalbezogene Werte ermitteln. Für einzelne Länder sind beanspruchter Umweltraum und global verträglicher Umweltraum miteinander verglichen worden (Deutschland, Niederlande). Theoretisch lässt sich auch ein regionalisierter ökologisch tragfähiger Umweltraum errechnen.

Ökologischer Fußabdruck – Ecological Footprint [Wackernagel & Rees 1996]

Auch der ökologische Fußabdruck bezieht sich auf Ressourcen-Inanspruchnahme und Kompensationsbedarf für Umweltbelastungen durch Emissionen. Statistische Verbrauchs- und Produktionsdaten einer Stadt, einer Region oder eines Landes werden zu ökologischen Leistungen von Landschaftsräumen in Bezug gesetzt und in Flächengrößen, die für die Bereitstellung dieser Leistungen gebraucht werden, umgerechnet. Das heißt, es wird z. B. berechnet, wieviel ha landwirtschaftliche Fläche benötigt wird, um den Jahresbedarf an Nahrung für eine Person zu decken oder, wieviel ha Wald gebraucht werden, um die CO₂-Emissionen zu kompensieren, die pro Kopf erzeugt werden. So benötigt ein Niederländer ungefähr 4 ha, um seinen Konsumbedarf und seine erzeugten Umweltbelastungen zu decken bzw. auszugleichen. Die Bindung von CO₂-Emissionen schlägt dabei rechnerisch am stärksten zu Buche.

Durch diese anschauliche Darstellungsform hat der Ökologische Fußabdruck eine hohe Aufmerksamkeit und eine weite Verbreitung erreicht. Bemerkenswert ist auch, dass mittlerweile zahlreiche Städte mit Hilfe dieses Konzepts analysiert worden sind (s. folgende Tabelle). Bei diesen Stadtanalysen wurden teilweise regionale Besonderheiten, wie z. B. Produktivität der Böden, mit einbezogen. Wackernagel 1998 hat am Beispiel Santiago de Chile auch nach Einkommensklassen differenziert und somit unterschiedliche Pro-Kopf-Werte berechnet und aggregiert. Damit ist eine soziale Komponente mit integriert worden. Bemerkenswert ist außerdem, dass Millionenstädte offensichtlich einen relativ größeren Fußabdruck haben als Mittelstädte (Rees mündlich auf der Berlin-Konferenz über nachhaltige Stadtentwicklung im März 1996).

Tabelle 5-1: Ökologischer Fußabdruck verschiedener Millionenstädte [Daten nach oneworld.org, Srinivas 1999, Wackernagel 1998, Folke et al. 1997].

	Einwohner in Mill.	Fläche des ökologischen Fußabdrucks in km ²	% der produktiven Fläche des Landes
London	6,8	197.000	(GB) 94 %
Tokio (Großraum)	26,8	1.675.000	92 %
Santiago de Chile	4,75	126.051	41 %
Baltische Städte (29)	22,1	443.200	(Baltic Sea Drainage Basin) 75 - 150 %

Beim Ökologischen Fußabdruck wäre der Zielwert für Nullemissionen danach der Wert, bei dem entweder - wieder über Pro-Kopf-Werte dargestellt - die global oder regional durchschnittlich zur Verfügung stehenden Flächenpotenziale nicht überschritten werden. Wenn für eine Stadt das zur Verfügung stehende Flächenpotenzial definiert werden würde, dann könnte auf dieser Basis der Zielwert für eine „Null-Emissions-Stadt“ dargestellt werden. Allerdings gibt es zurzeit keine Antwort darauf, was der angemessene Fußabdruck z. B. der Stadt London wäre. Am Beispiel der Isle of Wight ist ein Reduktionsbedarf von 56 % ermittelt worden [Mofatt et al. 2001].

Ökologische Tragfähigkeit – Carrying Capacity [Hardin 1993]

Von den drei ausgewählten Konzepten ist das Konzept der ökologischen Tragfähigkeit nicht nur das älteste, sondern wird von Umweltökonomern seit gut 20 Jahren intensiv diskutiert und ist als Begriff und Handlungskonzept in der ökologischen Literatur und Umweltplanung am weitesten verbreitet. Die ökologische Tragfähigkeit wird ganz allgemein über die maximale Populationsdichte, die eine Landschaft dauerhaft aufnehmen kann, definiert. Planerisch charakterisiert die ökologische Tragfähigkeit den Spielraum, der für eine mögliche Inanspruchnahme einer Landschaft durch Nutzungen besteht [Bastian & Schreiber 1999].

In der Umweltplanung findet sich eine praktische Umsetzung des Konzepts in der ökologischen Risikoanalyse wieder. Empfindlichkeit, Vorbelastung und Belastbarkeit eines Raumes werden bestimmt, um die Auswirkungen weiterer menschlicher Eingriffe beurteilen zu können. Auch über das Critical

Level/Critical Load-Konzept geht die Tragfähigkeit ein, hier die Bindungs-, Puffer- und Abbaufähigkeit eines Raumes für Immissionen.

Probleme bei dem Konzept bestehen darin, dass einerseits die ökologische Tragfähigkeit nicht eindeutig bestimmt werden kann – eine Ausnahme bildet das Critical Level/Critical Load Konzept, da es für einige Schadstoffe recht genaue regionalisierte Belastungsgrenzen benennt – und andererseits treten auch hier wieder Probleme mit der Abgrenzung des Bilanzraumes auf.

Das Konzept der ökologischen Tragfähigkeit bietet zurzeit sowohl die wissenschaftlich weitestgehenden Ansätze als auch die besten Ansatzmöglichkeiten für eine Regionalisierung an. Zielwerte wie bei den anderen beiden Konzepten lassen sich bisher nicht ableiten. Brand 1997 stellt allerdings die berechnete Frage, ob Grenzen der Tragfähigkeit überhaupt bestimmbar sind

- „angesichts der komplexen Vernetzung von Ökosystemen, der bisher noch sehr unzureichend erklärten Entstehungszusammenhänge ökologischer Belastungspfade und der unzureichenden Kenntnis über ihre zeitliche Wirkung,
- angesichts des naturwissenschaftlichen Konstruktcharakter entsprechender Annahmen, die in hohem Maße von den jeweiligen Methoden, Modellen und Wertentscheidungen abhängen,
- angesichts der Abhängigkeit der Grenzbestimmung von der technischen Entwicklung und der Substituierbarkeit von Ressourcen,
- angesichts der in solche Grenzbestimmungen jeweils einfließenden normativen Vorstellungen über das wünschenswerte Verhältnis von Gesellschaft und Natur?“

5.2.3 Stoffflussbilanzierungen von Städten und Siedlungsräumen

Eine Stadt kann als ein offenes System beschrieben werden, das sowohl einen natürlichen als auch anthropogenen Stoffwechsel aufweist. Nach Baccini und Brunner 1996 bestimmen Bevölkerungsdichte und der Ressourcenbedarf pro Einwohner diesen Stoffwechsel. Mit Stoffflussanalysen kann dieser Stoffwechsel abgebildet werden [Fischer-Kowalski 1999a und b]. Aus diesem Abbild können Anknüpfungspunkte für Stoffflussreduktionsstrategien und bei toxischen Stoffen für Vermeidungsstrategien ermittelt werden.

1974 legte Duvigneaud eine erste Stoff- und Energieflussbilanz einer Großstadt, hier Brüssel vor. In den folgenden Jahren wurden entsprechende Bilanzen für Hongkong, Sydney oder für die Insel Gotland veröffentlicht. Es handelte sich um relativ einfache In- und Output-Modelle, die aber ein eindrucksvolles Bild über Massenumsätze, Energieverbrauch und Emissionen einer Stadt vermittelten. Diese Stadtmodelle und ihre Ergebnisse wurden von der Wissenschaft und zum Teil auch von der Öffentlichkeit interessiert zur Kenntnis genommen. Sie konnten aber keine besondere Wirkung auf Planung und Umsetzung hervorrufen. Dies lag unter anderem daran, dass die Analysen sehr grob waren und dass es mehr oder weniger darum ging, das Modell von Ökosystemen direkt auf die Stadt zu übertragen. Beides erschwerte die Möglichkeit, Bezüge zu Handlungsstrategien zu entwickeln. Es kam zu einem Stillstand. Erst mit der methodischen Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Stofffluss- und Energieflussanalysen [Fischer-Kowalski 1999b, Haberl 2001 u. 2002], die für die Erstellung von Öko-

bilanzen und Life Cycle Assessments von Produkten bzw. Produktionsprozessen entwickelt wurden, wurde dieses Thema auch wieder für Städte und Siedlungsräume aktuell. An diesem Beispiel werden Potenziale für die Übertragbarkeit von Theorie- und Methodenentwicklung zwischen der Umweltökonomie auf der einen Seite, die sich mit umweltverträglichen Produktionsprozessen und Kreislaufwirtschaft beschäftigen (s. auch Kapitel Kreislaufwirtschaft), und der „Stoffwechselökologie“ für Siedlungslandschaften auf der anderen Seite deutlich.

Beispielhaft für diese Entwicklung sind die Arbeiten von Baccini & Brunner 1991 bzw. Baccini & Bader 1996. Das besondere bei den Bilanzmodellen von Baccini & Brunner ist, dass sie die Stoff- und Energieflüsse ausgehend von Aktivitätsfeldern wie Wohnen, Ernähren, Transportieren usw. aufbauen. Damit sind direktere Zuordnungen zu Verursachern und konkreten Prozessen möglich.

Am Beispiel der Stadt Stockholm sind sogenannte Metabolimus-Studien, also Stoff- und Energieflussuntersuchungen durchgeführt worden, um ein Monitoringsystem für Stoffströme zu entwickeln, aufzubauen und zu erproben. Für die ersten allgemeinen Testphasen wurden die Stoffströme von Schwermetallen abgebildet und analysiert. Die Ergebnisse des Monitorings zeigten einige Überraschungen. So war der Anteil der Schwermetallemissionen, die aus Haushalten in das Abwasser eingeleitet wurden, mit bis zu 50 % am Gesamtanteil deutlich höher als vermutet [Frostell & Jonsson 2000]. Die Bedeutung, dass Emissionsreduktion heute vor allem bei den diffusen Quellen ansetzen muss, wird damit unterstrichen. Das Beispiel Stockholm zeigt, dass die Entwicklung von Monitoringsystemen unter Umständen entscheidend ist, um die richtigen Handlungsstrategien für Maßnahmen zur Emissionsminderung entwickeln zu können.

Hier noch eine Anmerkung beigefügt. In Deutschland werden zurzeit zahlreiche Nachhaltigkeitsindikatorenssysteme aufgestellt, die die wichtige Rolle des Monitorings übernehmen sollen. Sie sollen ein Abbild der Entwicklung liefern, sie sollen den Zielerreichungsgrad widerspiegeln und Hilfestellungen für Umsetzungsmaßnahmen leisten. Die bisherigen lokalen Nachhaltigkeitsindikatorenssysteme können aber nicht auf ausreichend methodische Erkenntnisse über Stoffwechselprozesse zurückgreifen. Außerdem orientieren sich die Indikatoren, die die siedlungsstrukturellen Entwicklungen abbilden sollen (z. B. die Indikatoren der „Städte der Zukunft“), ausschließlich an dem Leitbild der kompakten Stadt. Von daher ist fraglich, ob die bisherigen Systeme ihrer Aufgabe hinreichend gerecht werden können, wenn die fachlichen Grundlagen unzureichend sind.

5.3 Dynamik von Stadtveränderungen

Das Thema Dynamik von Stadtveränderungen kann zurzeit nur knapp angerissen werden. Er soll jedoch erwähnt werden, um wichtige Hinweise zu geben, die noch einer systematischeren Prüfung bedürfen. Es herrscht das Bild vor, dass wir zwar mit wachsenden und in Zukunft auch vermehrt mit schrumpfenden Städten, das heißt weiterhin mit dynamischen Stadtveränderungsprozessen konfrontiert sein werden, dass aber die Stadt des Jahres 2030 schon zu 85 % gebaut ist [Sieverts 1998], also im Grunde kaum noch strukturell zu ändern ist. Nicht nur die Gebäude, sondern auch die infrastrukturelle Grundstruktur, die zum Beispiel durch das Straßennetz oder die Abwasserkanalisation geprägt wird, ist über Jahrzehnte und zum Teil über Jahrhunderte gewachsen. Dieses Bild wird leicht gleichgesetzt damit, dass Änderungsprozesse, die zum Beispiel Umbauprozesse in Richtung einer „Null-Emissions-

Stadt“ verfolgen, nur extrem langsam von statten gehen können. Baccini 2000 geht davon aus, dass wir 2 bis 3 Generationen brauchen, um einen nachhaltigen Stadtumbau verwirklichen zu können. Für die Netzstadt ist dementsprechend auch ein Zeithorizont bis zum Jahre 2050 ins Auge gefasst worden [Baccini & Oswald 1998]. Newman & Kenworthy 2000 meinen, dass die Aufstellung eines 30 Jahresplan erforderlich ist, um die notwendigen Schritte organisieren und umsetzen zu können.

Das Australian Housing and Urban Reserach Institute hat bemerkenswerter Weise darauf hingewiesen, dass die Wirkungen der kumulativen Effekte, die durch die vielfältigen kleineren Umbau- und Umstrukturierungsmaßnahmen zustande kommen, bisher wenig erfasst und analysiert wurden und dass hier eine größere Dynamik verborgen ist, als bisher angenommen [Newton 1997]. Die Wandlungsdynamik im Bestand und ihre Potenziale für die Nutzbarkeit von Stadtumbaustراتيجien bedarf offensichtlich einer systematischen Analyse. Hieraus können sich wichtige Handlungsspielräume eröffnen, die unter Umständen bisher unterschätzt wurden.

6 Energieversorgung und Energieeinsparung in der „Null-Emissions-Stadt“

6.1 Allgemeiner Rahmen

6.1.1 Energieverbrauch und Energieversorgung der Stadt

Menschliche Tätigkeit ist heute fast immer an energieverbrauchende Hilfsmittel geknüpft, welche jeweils einen bestimmten Zweck, nämlich die Durchführung einer sogenannten „Energiedienstleistung“ verfolgen. Darunter versteht man z. B. das Bereitstellen von warmem Wasser zur Körperpflege, das Gewährleisten behaglicher Raumtemperaturen im Winter, das Zurücklegen eines bestimmten Weges. Betrachtet man eine Stadt, insbesondere im Zusammenhang mit ihrer Stadtregion, so wird man feststellen, dass der Großteil dieser Energiedienstleistungen hier, wo eine Vielzahl von Menschen leben und arbeiten, vertreten ist. Die Stadt und ihre Umgebung liefern damit ein sehr weitgehendes Abbild der Tätigkeiten und auch der Technologien, die den Energiebedarf der heutigen Lebensweise unserer Industriegesellschaft bestimmen.

Verfolgt man ausgehend von dem Ziel des Energieeinsatzes, der Energiedienstleistung, die Energieumwandlungskette rückwärts bis zu ihren Quellen, so sieht man, dass der Bereich der Stadt irgendwann verlassen wird: Öl und Gas werden in entfernten Regionen gewonnen. Elektrischer Strom wird ebenfalls vorwiegend außerhalb der Stadt „auf der grünen Wiese“ in Großkraftwerken erzeugt. Die dazu notwendigen fossilen und nuklearen Energieträger entstammen zumeist heimischen oder ausländischen Bergwerken und Tagebauen. Die Quellen des Energieverbrauchs liegen also weitgehend außerhalb der Stadt und ihrer Region.

Beim Themenfeld Energieverbrauch/Energieversorgung liegt somit ein Beispiel für eine intensive, geographisch weit ausgedehnte Wechselbeziehung der Stadt mit ihrer Umwelt vor. Eine Analyse der Energieproblematik kann auf der Verbrauchsseite die Stadt/Stadtregion als ein „Labor“ verwenden. Bei der notwendigen ganzheitlichen Sichtweise, die die Versorgungsseite mit einbezieht, muss der Blick aber über die gewählten Grenzen hinausgehen und die unterschiedlichen Optionen, die sich bei Veränderungen der Energieversorgungssysteme ergeben können, in den Überlegungen mit berücksichtigen.

6.1.2 Klimaproblem

Direkt mit dem Energieverbrauch verknüpft ist eines der größten globalen Umweltprobleme, die drohende Erderwärmung und die damit zusammenhängenden befürchteten Klimaänderungen [Enquete 1990a, Enquete 1995, IPCC 2001a, b]. Das wichtigste Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) entsteht hauptsächlich durch Verbrennung fossiler Energieträger. Um den Temperaturanstieg und die damit verbundenen Klimaänderungen zumindest in Grenzen zu halten, wird eine Halbierung der weltweiten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 (bezogen auf ca. 1990) von ca. 20 Mrd t/a auf ca. 10 Mrd t/a für notwendig gehalten [Enquete 1990a]. Da die Emissionen im weltweiten Vergleich in den Industrielän-

dern besonders hoch sind, wird für diese eine überproportionale Senkung des CO₂-Ausstoßes von mindestens 80 % vorgeschlagen. Für Deutschland würde das eine Reduzierung der Pro-Kopf-Emission von ca. 10 t/a auf 2 t/a bedeuten. Dieser Wert liegt immer noch doppelt so hoch wie der Zielwert für den weltweiten Durchschnitt, der unter Annahme einer Weltbevölkerung von 10 Mrd Menschen im Jahr 2050 1 t/a beträgt [Steinmüller 2001]. Zur Erreichung dieses Niveaus wäre in Deutschland eine Emissionsminderung von 90 % notwendig.

6.1.3 „Null-Emission“ bedeutet Energieeinsparung und emissionsfreie Energieerzeugung

Angesichts der Risiken von Klimaänderungen, die selbst bei Einhaltung der oben genannten weltweiten Reduktionsziele für 2050 nicht auszuschließen sind, kann von „Null-Emissionen“ (im Sinne der in Kap. 3 u. 9 gegebenen Definition) im deutschen Energiesektor nur dann gesprochen werden, wenn die CO₂-Emissionen auf Null oder doch auf einen minimalen Wert unter 10 % des heutigen Verbrauchs gesenkt werden. Dazu muss die Verwendung fossiler Brennstoffe entsprechend reduziert werden³. Dies heißt nichts anderes, als dass erhebliche Energieeinsparmaßnahmen notwendig sind und unsere heutige, auf fossilen Energieträgern aufbauende Energiewirtschaft durch eine neue, vermutlich weitgehend „solare“ Energiewirtschaft auf Basis regenerativer Energieträger abgelöst werden muss⁴.

Die Energieversorgung der Null-Emissions-Stadt wirft damit neue Fragestellungen auf, die bisher nur in sehr begrenztem Umfang untersucht wurden. Dass eine weitreichende Ausschöpfung von Energieeinsparpotenzialen erst die Voraussetzungen für den Einsatz teurer solarer Energieträger schafft, ist nach heutigem Kenntnisstand kaum zu bezweifeln. Wie das Zusammenspiel aber im Detail funktioniert, muss noch geklärt werden. Insbesondere im Hinblick auf die Energieversorgung der Stadt stellt sich die Frage nach den Energieversorgungsstrukturen: Gas- und Ölversorgung entfallen in der solaren Energiewirtschaft. Werden diese Brennstoffe durch solar erzeugten Wasserstoff ersetzt? Oder ist es ökonomisch vernünftiger, den Energietransport weitgehend auf das Stromnetz zu beschränken und auf ein zusätzliches Verteilsystem zu verzichten? Welche Rolle kann die Nah- und Fernwärmeversorgung spielen? Dies sind nur einige der interessierenden Fragestellungen, die hier, im Vorgriff auf die ausführlichen Betrachtungen in Kapitel 6.2 und 6.3, erwähnt sein sollen.

6.1.4 Weitere direkte Emissionen

Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen neben dem CO₂ weitere umwelt- und gesundheitsschädliche Emissionen unter anderem Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, flüchtige organische Verbindungen und kleine Partikel (Stäube, Aerosole). Hier handelt es sich also insbesonde-

³ Technische Möglichkeiten einer CO₂-Entsorgung werden zwar in Fachkreisen ebenfalls diskutiert [Enquete 1990a (S. 573 ff), IPCC 2001b, Tetzlaff 1999, FZ/ISI 2001], nach heutigem Kenntnisstand ist aber kaum abzusehen, ob ein solches Vorgehen im Sinne einer konsequenten Problemlösung sinnvoll anwendbar sein kann. Diese Option wird daher im Folgenden nicht näher untersucht.

⁴ Die Option der Kernenergie wird im vorliegenden Text aufgrund ihrer anders gearteten, in der Gefährlichkeit radioaktiver Strahlung begründeten Emissions- und Gesundheitsrisiken nicht als Option für eine „Null-Emissions-Energiewirtschaft“ betrachtet.

re um die „klassischen“ Luftschadstoffe, die die Diskussion über die Luftverschmutzung dominiert haben, bevor die Erkenntnisse über drohende Klimaveränderungen bekannt wurden. Zu deren Reduzierung werden verschiedene technologische Maßnahmen ergriffen (z. B. schwefelarmer Brennstoff, Filterung, Entstickungs- und Entschwefelungsanlagen, Katalysatoren, Steuerung von Verbrennungsprozessen) [Wagner 1997]. Trotz der in der Vergangenheit erzielten Erfolge besteht auch gegenwärtig noch ein erheblicher Bedarf zur weiteren Senkung der Emissionen, der sich auch in entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen widerspiegelt (z. B. Brennstoffzelle als emissionsarme Alternative zu Verbrennungsmotoren).

Dadurch, dass eine „Null-Emissions“-Energiewirtschaft ohnehin fast vollständig auf fossile Energieträger verzichten müsste, würde dort die Emissionsproblematik bei den genannten Luftschadstoffen auch ohne weitere Anstrengungen bei der Filterung und anderen „End-of-Pipe“-Technologien deutlich entschärft. Allerdings können auch in einer regenerativen Energiewirtschaft Verbrennungsprozesse auftreten, die im Hinblick auf Schadstoffemissionen beachtet werden müssen. Dies gilt insbesondere bei Verwendung von Biomasse und Wasserstoff als Energieträger.

6.1.5 Indirekte Emissionen

Neben den unmittelbar bei der Verbrennung stattfindenden Emissionen sind auch die Emissionen zu beachten, die davon unabhängig vor allem bei der Gewinnung der Energieträger, der Herstellung der Energieversorgungssysteme, der Bereitstellung und dem Verbrauch von Betriebsstoffen (z. B. Schmierstoffe) und der Entsorgung der betroffenen Anlagen und Stoffe auftreten. Auf Grund der Vielzahl der betroffenen Prozesse und Stoffe handelt es sich hier um eine komplexe und weitreichende Fragestellung, die nicht zuletzt den industriellen Sektor betrifft und hier nicht im Einzelnen diskutiert werden kann.

Bereits die Bilanzierung des Energieverbrauchs für sich genommen ist eine schwierige Aufgabe, wenn alle vor- und nachgelagerten Prozesse berücksichtigt werden sollen. Hier finden daher Forschungsanstrengungen statt, bei denen unter anderem der Begriff des „kumulierten Energieaufwands“ eine wesentliche Rolle spielt [VDI 4600]. Zwar gilt, dass auch dieser Energieaufwand unter dem Postulat einer zukünftigen nicht-fossilen Energiewirtschaft „per definitionem“ keine CO₂-Emissionen mehr zur Folge hätte. Aber wie dargestellt können vorgelagerte Energieverbräuche das Ziel der Energieeinsparung konterkarieren und damit eine erhebliche ökonomische Hürde darstellen. Die umfassende Bilanzierung von energetischen Prozessen stellt daher in jedem Fall eine wichtige Problemstellung dar. In Kap. 6.2.6 wird die Thematik aufgegriffen.

6.1.6 Zukunftsvision und Gegenwartsbezug

Genau wie für die Null-Emissions-Stadt insgesamt gilt auch speziell für deren Energieversorgung, dass hier über ein Ziel gesprochen wird, das weit, d. h. vielleicht 50 Jahre in der Zukunft liegt (wenn man den Zeithorizont der Klimaschutzdebatte zugrunde legt), so dass die Entwicklung dorthin angesichts unseres begrenzten Wissens nicht eigentlich geplant werden kann.

Dennoch ist gerade auch im Energiebereich zu beachten, dass mit heutigen Entscheidungen die Weichen für Jahrzehnte gestellt werden: Der Erneuerungszyklus von Maßnahmen an Gebäuden beträgt zwischen 20 und 50 Jahren [Ebel et al. 1996], bei den Gebäuden selber ist von Standzeiten „in der Größenordnung“ von 100 Jahren auszugehen. Große Kohlekraftwerke haben inklusive Planung und Bau eine Lebensdauer von etwa 40 Jahren [Wehowsky et al. 1994], hohe Nutzungsdauern sind auch bei der Versorgungsinfrastruktur (Strom-, Gas-, Fernwärmenetze) anzunehmen. Mindestens als genauso wichtig wie die Standzeit der einzelnen Systeme ist aber wahrscheinlich der Zeitbedarf für die Durchführung eines Systemwechsels anzusehen: Die Umstellung unserer heutigen Energieversorgung auf ein völlig neues System kann nicht aus dem Stand erfolgen. Vielmehr müssen in langjährigen Prozessen Forschungen und Entwicklungen durchgeführt, Technologien vom Labor über die Pilotphase in den Markt eingeführt und über viele Jahre Erfahrungen gesammelt werden. Ein neues Fachpersonal muss herangebildet, neue Organisationsstrukturen müssen etabliert werden.

Dies alles zeigt die hohe Relevanz des Themas „Null-Emissions-Stadt“ für die heutige Situation. In Anbetracht der langfristigen Auswirkungen heutiger Entscheidungen und Versäumnisse erscheint es als dringend erforderlich, die Ziele nicht aus den Augen zu verlieren und bereits jetzt so viele Informationen wie möglich über die Optionen für eine wirklich zukunftsfähige Energiewirtschaft zusammenzutragen. Eine Handlungsweise, die sich nur an Nahzielen orientiert, brächte die Gefahr mit sich in „Sackgassen“ zu geraten, d. h. spätere Entwicklungsmöglichkeiten zu verbauen.

6.2 Kenntnisstand

Im Folgenden werden die mit der Energieversorgung zusammenhängenden Fragen detaillierter betrachtet. Angesichts der Vielfalt betroffener Aspekte ist eine Konzentration der Darstellung notwendig.

Bei den dargestellten Technologien wird der Schwerpunkt auf diejenigen Systeme gelegt, die im Hinblick auf eine erhebliche Reduzierung des Energieverbrauchs und eine solare Energiewirtschaft relevant sind. Es wird hier vor allem auf solche Lösungen eingegangen, die so weit ausgereift sind, dass sie in der gegenwärtigen energiepolitischen Strategiediskussion als Optionen angesehen werden.

Als Schwerpunkt wird der Bereich der Haushalte betrachtet. Damit werden die für den Energieverbrauch sehr wesentlichen Bereiche der Heizung und Warmwasserbereitung sowie der elektrischen Haushaltsanwendungen mit ihren grundlegenden Fragestellungen erfasst. Auch übergreifende Probleme der allgemeinen Energieversorgung werden dabei angerissen.

Der Kleinverbrauchssektor zerfällt in viele unterschiedliche Bereiche (z. B. Verwaltung, Geschäfte, Kleinbetriebe), die hier nicht im Detail analysiert werden können. Zumindest bei der Heizung und Warmwasserbereitung sind keine wesentlich anderen Fragestellungen aufgeworfen als bei den Haushalten. Bürogebäude mit ihrem hohen elektrischen Betriebsenergieverbrauch werden gesondert betrachtet. Die Sektoren Industrie und Verkehr werden dagegen hier ausgeklammert (s. Kap. 7 und 8).

Neben der Darstellung des Kenntnisstandes werden im vorliegenden Kapitel 6.2 auch Kenntnislücken und somit auch einzelne Fragestellungen zukünftiger Forschungstätigkeit angesprochen. Eine übergreifende Sicht auf den Themenbereich der Forschungsfragen wird in Kapitel 6.3 gegeben.

6.2.1 Nutzwärmebedarf in Gebäuden

6.2.1.1 Neubau-Wohngebäude

Die Wärmeschutz-Anforderungen für Neubauten wurden in Deutschland im Laufe der Jahre schrittweise angehoben. Allerdings wird der Niedrigenergiehausstandard, der in Schweden und in Dänemark bereits Mitte der 80er Jahre bei der Mehrzahl der Gebäude realisiert wurde [Feist et al. 1998], hierzulande auch durch die neue, seit Februar 2002 gültige Energieeinsparverordnung noch nicht ganz erreicht [Loga et al. 2001].

Als zukunftsweisender Baustandard, der im Zusammenhang mit der Null-Emissions-Stadt von besonderem Interesse ist, ist das Passivhaus mit einem Heizwärmebedarf von 15 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr anzusehen. Gegenüber dem Mittelwert im Gebäudebestand von 170 kWh/m²a [Ebel et al. 1996] ist dies ungefähr eine Reduzierung um den Faktor 10. Auch gegenüber typischen Neubauten mit noch etwa 100 kWh/m²a und Niedrigenergiehäusern mit ca. 60 – 70 kWh/m²a bedeutet dies eine erhebliche Einsparung. Energiesparende Gebäudekonzepte im Bereich zwischen Niedrigenergie- und Passivhaus werden, je nach Standard, z. B. als Ultra-Niedrigenergiehaus oder „3-Liter-Haus“ bezeichnet (s. z. B. [Kluttig et al. 2001a])⁵.

Besondere Eigenschaften des Passivhauses sind u. a. hohe Dämmstoffstärken, 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit hoch wärmedämmendem Rahmen und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Das erste Passivhaus in Deutschland wurde 1990 errichtet. Inzwischen hat eine intensive Forschung und Weiterentwicklung stattgefunden⁶, und es sind erhebliche Fortschritte bei der Markteinführung zu verzeichnen. Bis heute wurden mehr als 1000 Wohnungen im Passivhausstandard errichtet [Feist 2001]. Der praktische Erfolg dieses Konzepts ist wahrscheinlich nicht zuletzt auf die (gegenüber vergleichbar ehrgeizigen Energiesparmaßnahmen auf der Wärmeversorgungsseite) moderaten Mehrkosten zurückzuführen. Insbesondere ist zu beachten, dass im Passivhaus bei geeigneter Planung der Verzicht auf ein konventionelles Wärmeverteilungssystem mit Heizkörpern möglich ist, da der Restwärmebedarf mit der Zuluft zugeführt werden kann.

6.2.1.2 Neubau-Bürogebäude

Bei Bürogebäuden sind etwas andere Rahmenbedingungen als bei Wohngebäuden zu beachten, da auf Grund der Büro-Elektronik besonders hohe interne Wärmelasten vorliegen, die in der heutigen Praxis häufig zum Einbau von Klimaanlage führen, welche einen zusätzlichen Energieverbrauch mit sich bringen⁷. Die Stromeinsparung ist also von erheblicher Bedeutung für die gesamte Gebäudekonzeption (s. Kap. 6.2.2). Bei geeigneter Planung lassen sich auch hier dem Passiv-Wohnhaus ähnliche Lösungen finden und es ergeben sich beim Heizwärmebedarf und durch Verzicht auf überflüssige Klimatechnik

⁵Dabei ist zu beachten, dass das 3-Liter-Haus nicht über den Heizwärmebedarf, sondern über den Primärenergiebedarf der Heizwärmeerzeugung definiert ist.

⁶ Umfangreiche Berichtssammlungen sind beim Institut Wohnen und Umwelt und beim ebenfalls in Darmstadt ansässigen Passivhaus-Institut erschienen.

⁷ Als Alternative zu herkömmlichen Klimaanlage werden Möglichkeiten der solaren Kühlung erforscht und entwickelt [Luther 2001].

erhebliche Möglichkeiten zur Kosteneinsparung. Die Entwicklung entsprechender Konzepte ist aktueller Forschungsgegenstand. Gegenüber heutigen Durchschnittswerten ergibt sich für den Heizenergiebedarf⁸ ein Einsparpotenzial von ungefähr 80 % [Knissel 1999]. Besonders energiesparende Bürogebäude wurden in Deutschland bereits errichtet, allerdings bisher in begrenzter Anzahl [Hennings & Knissel 2000]. Als wichtiges internationales „Vorreiterprojekt“, nicht nur für Bürohäuser sondern für energiesparende Gebäude überhaupt, ist insbesondere das in den USA errichtete Rocky Mountains Institute zu erwähnen [Weizsäcker et al. 1995].

6.2.1.3 Gebäudebestand

Der Energieeinsparung im Gebäudebestand kommt eine Schlüsselposition bei der Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele zu. Im Auftrag der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ wurden die langfristigen Einsparpotenziale im Altbau untersucht [Ebel 1990, Ebel et al. 1996]⁹. Dabei ging man davon aus, dass im Jahr 2050 immer noch 65 % der Wohnfläche durch Gebäude aus dem Bestand von 1989 gebildet werden. Die Einsparmöglichkeiten beim Heizwärmebedarf für alle Gebäude bis 2050 wurden, unter Berücksichtigung einer zunehmenden Wohnfläche, zu etwa 50 % ermittelt. Voraussetzung sind Wärmeschutzmaßnahmen oberhalb des heutigen Qualitätsniveaus, die aber verhältnismäßig geringe Mehrkosten verursachen und bei steigenden Energiepreisen wirtschaftlich sind. Berücksichtigt man ferner noch aufwendigere, teurere Maßnahmen und Möglichkeiten des technischen Fortschritts (z. B. Vakuumdämmung), so ergibt sich ein Einsparpotenzial von 80 %. Der resultierende Heizwärmebedarf für heutige Altbauten betrüge im Mittel 30 kWh/m²a. Diese theoretischen Optionen sind aber noch weit von der gegenwärtigen Praxis, in der wesentliche Einsparpotenziale im Altbau ungenutzt bleiben, entfernt.

6.2.2 Stromverbrauch in Gebäuden

Es gibt verschiedene Studien und auch praxisorientierte Leitfäden, die sich mit dieser Thematik befassen und teilweise auch Dienstleistungsgebäude mit einbeziehen [Feist 1987, Ebel 1989, Ebel & Feist 1997, Hörner 1999, Hennings 2000b]. Ebenso wie beim Wärmebedarf werden auch im Strombereich sehr hohe Einsparpotenziale gesehen, die gemäß Szenarienuntersuchungen in [Ebel 1989] für den Zeitraum 1990-2010 etwa 50 % betragen. Im Vergleich zu anderen Systemen im Energiesektor liegen bei vielen stromverbrauchenden Geräten, insbesondere im Haushalt, verhältnismäßig kurze Erneuerungszyklen (typischerweise unter 15 Jahren [Ebel 1989]) vor, so dass neue energiesparende Lösungen schneller zur Breitenanwendung kommen können.

Der Stromverbrauch in den Haushalten ist zwar im Allgemeinen deutlich geringer als der Wärmebedarf, hat aber bei gut gedämmten Gebäuden auf Grund des höheren Aufwands der Strom- gegenüber der Wärmeerzeugung¹⁰ eine vergleichbare Bedeutung. Bezogen auf die Wohnfläche beträgt der Ver-

⁸ Hier ist nicht nur ein besserer Wärmeschutz, sondern auch eine effizientere Heiztechnik berücksichtigt. Bezieht man zusätzlich den Stromverbrauch in die Betrachtung ein, ergibt sich eine Gesamteinsparung beim Primärenergiebedarf von etwa 70 %.

⁹ Weitere langfristige Szenarienuntersuchungen für den Gebäudebestand liegen in [Kleemann et al. 2001] vor.

¹⁰ Die Energieverluste bei der Stromerzeugung betragen rund zwei Drittel des eingesetzten Brennstoffs, s. z. B. [Fritsche et al. 1994].

brauch zurzeit etwa $25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (ohne direkte Wärmeerzeugung¹¹). Damit wäre z. B. in einem Passivhaus der Stromverbrauch ohne energiesparende Maßnahmen fast so hoch wie der Nutzwärmebedarf ($15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für Heizung und weitere $15 - 20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für Warmwasser). Aus diesem Grund wurde bereits im ersten Passivhaus dem Einsatz energiesparender Geräte eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Gegenüber einem üblichen Haushalt konnte der Stromverbrauch ungefähr um die Hälfte gesenkt werden [Feist 1995, Ebel 1997].

Die Möglichkeiten sehr weitgehender Einsparungen beim Stromverbrauch wurden auch für Bürogebäude untersucht [Knissel 1999]. Typische Verbräuche von heute $40 - 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (bezogen auf die Netto-Grundfläche) könnten demnach um die Hälfte bzw. zwei Drittel auf etwa $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ reduziert werden.

6.2.3 Wärmeversorgungstechnik

6.2.3.1 Überblick

Die in Kapitel 2.1.1 dokumentierten Erkenntnisse zeigen, dass trotz enormer Einsparpotenziale eine Reduzierung des Energieverbrauchs auf deutlich unter 10 % oder gar auf „Null“ allein durch Wärmeschutzmaßnahmen kaum möglich erscheint. Dies gilt erst recht, wenn man zusätzlich zum Heizwärmebedarf den Warmwasserbedarf in Betracht zieht, der (ohne Verluste von Verteilungsleitungen) etwa $15 - 20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ [Loga & Imkeller-Benjes 1997] beträgt und damit höher liegt als der Heizwärmebedarf eines Passivhauses.

Eine systematische Untersuchung der Optionen zur Energieeinsparung bei Wärmeschutz und Wärmeversorgung zeigt, dass bereits zur Erreichung einer 80prozentigen Brennstoffeinsparung bei Heizung und Warmwasserbereitung im Gebäudebestand die anteilige Einbindung regenerativer Energieträger (thermische Solaranlagen, Biomasse, regenerativ erzeugter Strom für Elektrowärmepumpen) ökonomisch sinnvoll ist [Boese & Diefenbach 2000]. Dabei wird insbesondere das Zusammenspiel von Energieeinsparung und solarer Energieversorgung deutlich: Die Kosten der Solarenergie sind erst dann „bezahlbar“, wenn der Energieverbrauch des Gebäudes durch Einsparmaßnahmen sehr weit abgesenkt ist.

Die Option einer im Rahmen der „Null-Emissions-Stadt“ relevanten Reduzierung des Energieverbrauchs bzw. CO_2 -Ausstoßes auf annähernd Null durch Energieeinsparung und regenerative Deckung des Restbedarfs wurde nach den vorliegenden Informationen noch nicht umfassend und in ihrer vollen Konsequenz untersucht.

Systematische Studien, die in diese Richtung gehen, befinden sich im Moment noch auf einem abstrakten Niveau: Es wird versucht, grundsätzliche Aussagen über die Struktur der zukünftigen deut-

¹¹ Der Stromverbrauch in den deutschen Haushalten betrug in den letzten Jahren ca. 130 Mrd kWh [Energiedaten 2000]. Etwa 37 % betreffen nach [Ebel 1997] die als sehr ineffizient anzusehende direkte Erzeugung von Niedertemperaturwärme (Nachtspeicherheizungen, elektrische Warmwasserbereitung), für die Substitutionsmöglichkeiten in Kap. 2.3 beschrieben sind. Der Rest, also ca. 80 TWh, wird weitgehend in den typischen Haushaltsgeräten (z. B. Kühlgeräte, Elektroherd, Fernseher, Beleuchtung) verbraucht. Bei einer Wohnfläche von etwa $3,2 \text{ Mrd m}^2$ in Deutschland [Statistik 2001] ergeben sich rund $25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

schen und europäischen Energieversorgung zu machen, ohne dass die bestehenden Optionen im Detail betrachtet und gegeneinander abgewogen werden. Der Rahmen des Themengebietes „Null-Emissions-Stadt“ wird zwar auf Grund des nationalen oder sogar internationalen Ansatzes gesprengt. Dennoch sind diese Fragestellungen auch hier von erheblicher Bedeutung, so dass in Abschnitt 2.5 näher darauf eingegangen wird.

Im Folgenden werden die Einzelelemente einer regenerativen Energieversorgung für unterschiedliche Zentralisierungsgrade des Wärmeversorgungssystems diskutiert.

6.2.3.2 Einzelhausversorgung

Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung, die in letzter Zeit auch vermehrt mit einer Heizungsunterstützung kombiniert werden, sind als etablierte technische Lösungen zu betrachten. Ihr Marktanteil ist zurzeit noch sehr begrenzt, allerdings sind stetige Wachstumswahlen zu verzeichnen [Kaltschmitt 2001]. Im Fall der Warmwasserbereitung werden Deckungsgrade von typischerweise 50 % - 60 % erreicht. Bei zusätzlicher Heizungsunterstützung betragen typische Deckungsgrade an der Gesamtwärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) 20 - 30 % [Schüle et al. 1997]. Eine sehr gute Gebäudedämmung kommt der Erhöhung des Deckungsgrads stark entgegen, da dadurch der winterliche gegenüber dem sommerlichen Wärmebedarf an Gewicht verliert. Deckungsgrade bis etwa 50 % erscheinen in diesem Fall mit üblichen Wärmespeichern erreichbar [Boese & Diefenbach 2000]. Deutlich höhere Werte lassen sich nur durch saisonale Wärmespeicherung mit entsprechend großen Wärmespeichern realisieren, welche die Nutzung der sommerlichen Solarstrahlung in der kalten Jahreszeit ermöglichen. Bei sogenannten „Null-Heizenergiehäusern“ mit sehr gutem Wärmeschutz und (in der Regel im Gebäude integrierten) großem Wärmespeicher wird die vollständige Deckung des Heizenergiebedarfs durch die Solaranlage erreicht [Erhorn 1998]. Auf Grund des großen Speichers im Gebäude (typisch: 10 - 20 m³ für ein Einfamilienhaus) muss dieses Konzept als sehr aufwendig gelten¹². Darüber hinaus erscheint eine Übertragbarkeit auf den Gebäudebestand zumindest für die gebäudeintegrierte Wärmespeicherung kaum möglich.

Im Fall der heute üblichen Speicherkonzepte, bei denen die fühlbare Wärme (d. h. zumeist heißes Wasser) gespeichert wird, sind bei kleinerem Speichervolumen auf Grund eines ungünstigeren Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnisses die spezifischen Wärmeverluste sehr hoch und daher verhältnismäßig große Speicher notwendig. In dieser Hinsicht weist die Versorgung mehrerer Gebäude über einen sehr großen Wärmespeicher Vorteile auf (s. Nahwärme).

Andere Arten der Wärmespeicherung (z. B. Latentwärmespeicher, thermochemische Speicher) könnten eventuell neue Optionen für Einzelgebäude eröffnen [Luther et al. 2001, Voss 2000]. Diese Fragen sind aber noch Gegenstand der technologischen Forschung. Marktreife Konzepte sind hier bisher nicht bekannt.

In den letzten Jahren wird der Brennstoffzellentechnologie eine wachsende Aufmerksamkeit geschenkt. Brennstoffzellensysteme werden in der Regel mit Wasserstoff oder Erdgas betrieben und er-

¹² Eine vollständige solare Deckung von Heizwärme- und Warmwasserbedarf wurde außerdem in zwei vermessenen Demonstrationsprojekten nicht ganz erreicht [Hinz 1994, IBP 1998]

zeugen daraus Strom und, bei entsprechender Auslegung, gleichzeitig Wärme [Ledjeff 1995]. Anwendungsmöglichkeiten werden sowohl im Bereich der Verkehrstechnik (s. Kap. 8) als auch bei der Strom- und Wärmeerzeugung von Gebäuden gesehen. Von besonderer Bedeutung ist die Tatsache, dass sich hier auch die Möglichkeit eröffnen könnte, kleinere Gebäude, z. B. Einfamilienhäuser, mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zu versorgen. Verschiedene Heizanlagenhersteller geben an, in den nächsten Jahren mit entsprechenden Geräten in den Markt gehen zu wollen. Gegenwärtig wird vor allem der Einsatz von Erdgas in Betracht gezogen¹³. Brennstoffzellen weisen gegenüber anderen Technologien vergleichsweise hohe elektrische Wirkungsgrade auf und ermöglichen vor allem auch eine deutliche Reduzierung der „klassischen“ Luftschadstoffe. Darüber hinaus ist die Brennstoffzelle aber vor allem auch als Schlüsseltechnologie für eine „solare Wasserstoffwirtschaft“ zu sehen, in der aus Solarenergie erzeugter Wasserstoff die Rolle des Energiespeicher- und Transportmediums übernimmt (s. Kap. 2.5). In dieser Rolle ist sie für die Null-Emissions-Stadt von besonderem Interesse. Gegenwärtig befindet sich die Brennstoffzellentechnologie noch nicht in der Markteinführungsphase, so dass insbesondere verallgemeinerbare Kostenaussagen nur schwer möglich sind.

Eine verhältnismäßig kostengünstige Art der regenerativen Energieerzeugung ist die Verwendung von Biomasse [Boese & Diefenbach 2000]. Bei Einzelhausheizungen kommt gegenwärtig vor allem die traditionelle Verwendung von Brennholz beziehungsweise, als neue Variante, die Verwendung von sogenannten Holzpellets in Frage. Als grundsätzliches Problem ist aber das begrenzte Biomassepotenzial zu sehen (s. u.). Die Frage der Verwendung von Biomasse als Energieträger wird daher in Kap. 6.3 gesondert diskutiert.

Eine weitere Möglichkeit, Einzelhäuser „solar“ zu beheizen, besteht in der Verwendung von Strom aus regenerativen Energiequellen zum Betrieb elektrischer Wärmepumpen. Wie in Boese & Diefenbach [2000] dargestellt wird, handelt es sich hier, im Vergleich zu anderen Alternativen, um einen ökonomisch gangbaren Ansatz: Unter der Annahme eines sehr gut gedämmten und teilweise über eine solarthermische Anlage versorgten Gebäudes und einer hohen Effizienz der Wärmepumpe ist der notwendige Strombezug zur Wärmeversorgung relativ gering, so dass (im Vergleich zu anderen Alternativen zur Senkung des Brennstoffverbrauchs) ein Solarstrompreis deutlich oberhalb üblicher Stromtarife toleriert werden kann. Damit zeichnet sich bereits hier eine für die Null-Emissionsstadt wesentliche Fragestellung ab: Wenn man (im Sinne einer „zugespitzten“ Sichtweise) Brennstoffzellen und elektrische Wärmepumpen als konkurrierende Systeme auffasst, so stellt sich die Frage, ob entweder, wie von vielen erwartet, die Brennstoffzelle zukünftig eine Schlüsselstellung bei der Gebäudeversorgung einnehmen wird, oder ob durch Einsatz der Wärmepumpe ein Wasserstoff-Gasnetz als weiteres Verteilungssystem in der Stadt überflüssig gemacht werden kann.

6.2.3.3 Nahwärmeversorgung

Wenn eine größere Anzahl von Gebäuden über ein zentrales Verteilnetz mit Wärme versorgt wird, spricht man von einem „Nahwärmesystem“. Ein Nahwärmenetz ist häufig die Voraussetzung für den Betrieb von Motorheizkraftwerken, die insbesondere in kleinen Gebäuden kaum einsetzbar sind. Oft

¹³ Je nach Bauart der Brennstoffzelle wird aus dem Erdgas gegebenenfalls in einem vorgeschalteten Prozess Wasserstoff erzeugt.

werden aber allein Heizkesselanlagen zur Wärmeerzeugung eingesetzt, so dass sich kein Effizienzvorteil ergibt. In seltenen Fällen wurden brennstoffmotorische Wärmepumpen realisiert [Lutz et al. 1993, Lux & Herrmann 1995]. Ein Vorteil des Nahwärmesystems gegenüber Einzelhausheizungen besteht darin, dass die (auf die Leistung bezogenen) Kosten der eigentlichen Wärmeerzeugungsanlage bei größeren Einheiten geringer sind. Allerdings muss zusätzlich das Verteilsystem und unter Umständen ein separates Gebäude für die Heizzentrale errichtet werden.

Auch bei Wärmeversorgungssystemen, die im Rahmen der „Null-Emissions-Stadt“ eine Rolle spielen, bringt ein Nahwärmesystem die Möglichkeit mit sich, größere Einheiten einzusetzen. Dies gilt insbesondere für Brennstoffzellen und Biomasseanlagen. Über Kostenunterschiede zur Einzelhausheizung kann keine allgemeine Aussage getroffen werden. Im Fall der Biomasse ist zu beachten, dass die Möglichkeit der Kraft-Wärme-Kopplung erst bei größeren Anlagen besteht, so dass ein Nahwärmesystem als notwendige Voraussetzung für deren Anwendung anzusehen ist.

Eine besondere Bedeutung kommt den Wärmeverlusten im Verteilnetz zu. Diese können je nach Siedlungstyp und Bebauungsdichte umgerechnet auf die Wohnfläche zwischen 5 kWh/m²a und 40 kWh/m²a betragen [Boese & Diefenbach 2000]. Bei heute typischen Wärmeverbräuchen im Bestand von 200 kWh/m²a für Heizung und Warmwasser fallen diese Werte meist nicht entscheidend ins Gewicht. Im Fall von Gebäuden mit hohem Wärmeschutzstandard, wie sie in der „Null-Emissions-Stadt“ voraussichtlich die Regel sein werden, können die Verluste des Verteilsystems dagegen durchaus in der Größenordnung des Gesamt-Wärmebedarfs der Gebäude liegen. Eine Reduzierung dieser Verluste erscheint bei Verwendung konventioneller Dämmstoffe auf Grund der ungünstigen Geometrie von Rohrleitungen nicht beliebig möglich. Es stellt sich also die grundsätzliche Frage, unter welchen Voraussetzungen eine zentrale Wärmeversorgung in der „Null-Emissions-Stadt“ überhaupt sinnvoll sein kann.

Im Fall der thermischen Solarenergienutzung in Nahwärmesystemen („solare Nahwärme“) sind, wie bereits erwähnt, Anlagen mit saisonalem Wärmespeicher, die für hohe Deckungsgrade ausgelegt sind, von besonderem Interesse für die Null-Emissions-Stadt. Entsprechende Systeme wurden zunächst u. a. in Schweden erprobt [Zinko 1993]. Auch in Deutschland liegen für unterschiedliche Konzepte Erfahrungen in mehreren Neubau-Wohngebieten vor [Hahne et al. 1998, Fisch 2001]. Die solaren Deckungsgrade der realisierten Systeme betragen maximal etwa 50 %. Rechnerisch wurden Auslegungsvarianten bis ca. 80 % Deckungsgrad untersucht [Hahne et al. 1992, Nast & Nitsch 1994]. Als zusätzlicher Kostenfaktor ist der Großwärmespeicher zu berücksichtigen. Hierfür gibt es unterschiedliche technische Konzepte [Kübler & Fisch 1998]. Grob gesprochen kann man zwischen künstlich angelegten Speichern (z. B. Erdbecken-Heißwasserspeicher, Kies-Wasser-Speicher), und natürlichen Speichern, die z. B. die Wärmespeicherfähigkeit des vorhandenen Erdreichs nutzen und über Sondenbohrungen erschlossen werden, unterscheiden. Neben den Kosten ist auch der Platzbedarf zu beachten. Insbesondere im Hinblick auf den städtischen Bereich und den Gebäudebestand ist daher zu fragen, inwieweit solche Konzepte verallgemeinerungsfähig sind bzw. ob eventuell bei einer Anwendung im größeren Maßstab Speichersysteme in größerer Entfernung von der Wohnbebauung eine realistische Alternative darstellen. Bei hohen solaren Deckungsgraden ist als weiteres Thema die Größe der nutzba-

ren solaren Dachfläche zu behandeln. Dabei ist zu beachten, dass neben thermischen Solaranlagen auch Solarstromanlagen Dachflächen beanspruchen¹⁴. Wie bei diesen besteht aber auch bei solaren Nahwärmesystemen grundsätzlich die Option die Systeme, in Feldern angeordnet, „auf der grünen Wiese“ zu installieren [Nast 1997]. Auch in diesem Fall sind aber die Auswirkungen auf die Flächennutzung in der Stadt und deren Umgebung zu untersuchen.

6.2.3.4 Fernwärmeversorgung

Mit dem Begriff „Fernwärme“ werden hier große zentrale Wärmeversorgungssysteme bezeichnet, die sich über weitere Bereiche einer Stadt oder sogar mehrere Städte erstrecken können. Als Wärmeerzeuger dienen typischerweise mit fossilen Brennstoffen befeuerte, große Heizkraftwerke, teilweise auch Heizkesselanlagen [Winkens 1994].

Obwohl grundsätzlich in Deutschland ein hohes wirtschaftliches Potenzial für die Fernwärme und hohe CO₂-Einspareffekte durch den damit verbundenen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung gesehen werden [Schulz et al. 1994], beträgt der Anschlussgrad deutscher Wohnungen zurzeit nur ca. 12 % [Rapp & Müller 1998]. Dass höhere Fernwärmeanteile durchaus möglichen sind, zeigen z. B. die Städte Flensburg mit 80 % und Mannheim mit 50 % [Gruber et al. 1990, ZFK 1999]. Von besonderem Interesse ist das Beispiel Dänemark, wo landesweit eine Deckung von ca. 50 % über Nah- und Fernwärme erreicht wird. Dies ist unter anderem im Zusammenhang damit zu sehen, dass in Dänemark in der Vergangenheit eine landesweit organisierte, flächendeckende Planung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung stattgefunden hat [Krawinkel 1987, Daenag 1998, Dehli 1999].

Im Kontext der Null-Emissions-Stadt stellt sich die grundsätzliche Frage, ob sehr große zentrale Wärmeerzeugungs- bzw. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in einer solaren Energiewirtschaft überhaupt noch eine Rolle spielen werden. Im Fall von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen, die sich ohnehin modular aus kleinen Einheiten zusammensetzen, sind unmittelbar keine Argumente für die Errichtung von Großkraftwerken zu erkennen. Im Fall von biomassegefeuerten Anlagen stellt sich die Situation möglicherweise anders dar: Hier werden bei der Verbrennung „klassische Luftschadstoffe“ wie z. B. Stickoxide erzeugt. Unterstellt man, dass sich eine Abgasreinigung, wie bisher bei fossilen Kraftwerken, im größeren Maßstab technisch und ökonomisch effizienter durchführen lässt, so würde dies tendenziell für die Errichtung größerer Biomasse-Anlagen sprechen¹⁵.

6.2.4 Regenerative Stromerzeugung in der Stadt und im Umland

Zur Stromerzeugung in bebauten Gebieten kommen vor allem Photovoltaikanlagen auf Gebäudedächern in Frage. Das Stromerzeugungspotenzial auf Basis der in den alten Bundesländern zur Verfügung stehenden Dachfläche kann nach [Räuber 1990] auf ca. 15 % des damaligen Strombedarfs abgeschätzt werden. Die autarke Stromversorgung einer Stadt erscheint daher auch bei Ausschöpfung hoher Energieparpotenziale nicht als realistische Option.

¹⁴ Die Frage der solar nutzbaren Dachflächen wurde bereits in einigen Untersuchungen behandelt s. z. B. [Räuber 1990, Nast 1994]

Durch weitreichende Energiesparmaßnahmen, Solarenergiegewinnung, gebäudeinterne Wasserstoffproduktion und –speicherung sowie Brennstoffzelleneinsatz ist immerhin die autarke Versorgung eines einzelnen Wohngebäudes (und zwar sowohl im Hinblick auf die Strom- als auch auf die Wärmeversorgung) durchaus möglich, wie vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme durch die Errichtung des „energieautarken Solarhauses“ gezeigt wurde [Stahl et al. 1997] (s. auch Kap. 6.2.8). Mit diesem Pilotvorhaben wurde vor allem die prinzipielle Machbarkeit einer solchen Lösung demonstriert. Von einem verallgemeinerungsfähigen Modell kann hier aus heutiger Sicht angesichts des hohen technischen Aufwands nicht gesprochen werden.

Erheblich einfacher als die Errichtung eines energieautarken Gebäudes oder eines „Null-Heizenergiehauses“ (s. o.) ist es, auf eine derartig aufwendige Speichertechnologie zu verzichten und eine im Jahresmittel ausgeglichene Energiebilanz anzustreben: Durch entsprechende Auslegung einer auf dem Gebäude installierten Solarstromanlage kann erreicht werden, dass diese im Sommer (mindestens) soviel überschüssige Energie ins Netz einspeist, wie das Gebäude im Winter zusätzlich benötigt¹⁶. Solche Lösungen werden verschiedentlich als „Null-Energiehäuser“ bzw. „Null-Emissionshäuser“ bezeichnet [Gertis 2001, Voss 2000].

Tatsächlich handelt es sich hier um ein interessantes Konzept, das insbesondere geeignet ist, den Blick auf den Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes (Wärme und Strom) und die Möglichkeiten der solaren Stromerzeugung zu lenken und die interessierten Bauherren zu sehr weitgehenden Energiesparmaßnahmen anzuregen¹⁷. Im Hinblick auf das Ziel einer Null-Emissionsstadt bzw. einer solaren Energiewirtschaft kann aber nicht von einer konsequenten Problemlösung gesprochen werden, denn im Winter verursachte CO₂-Emissionen lassen sich letztlich nicht mehr zurückholen: Die Angleichung des zeitlichen Verlaufs von Energieerzeugung und Energieverbrauch ist ein zentrales Problem einer regenerativen Energiewirtschaft, das langfristig einer Lösung zugeführt werden muss.

Aus einem Wasserstoffnetz versorgte Brennstoffzellen zur Stromerzeugung würden ebenfalls innerhalb der Stadt eingesetzt werden, es ist aber zu beachten, dass es sich hier um einen nachgeordneten Energieumwandlungsprozess handelt. Die eigentliche Energiegewinnung findet dort statt, wo aus regenerativen Energiequellen der Wasserstoff zum Betrieb der Brennstoffzellen erzeugt wird (s. Kap. 6.2.5).

Zur Energiegewinnung im Umland der Stadt kommen vor allem die Windenergie, Photovoltaikanlagen in Feldaufstellung und die Biomassenutzung in Frage. Wie bei Einzelgebäuden ist auch hier nach gegenwärtigem Kenntnisstand davon auszugehen, dass insbesondere größere Städte nur einen Teil ihres Strombedarfs aus ihrer Region decken können [Mohr 1995].

¹⁵ Die Frage, ob dies in Nahwärme- oder Fernwärmesystemen erfolgt, ist hier von geringer Bedeutung. Eine exakte Grenzziehung zwischen Nah- und Fernwärme ist ohnehin nicht möglich, die Übergänge sind fließend.

¹⁶ Eine Verrechnung des im Sommer produzierten Stroms mit im Winter zur Wärmeerzeugung benötigtem Brennstoff kann z. B. dadurch erfolgen, dass der Primärenergieinhalt oder die CO₂-Emissionen des im Sommer durch Solarenergie substituierten Stroms aus dem öffentlichen Netz dem winterlichen Aufwand gegenübergestellt wird.

¹⁷ Dabei ist zu beachten, dass der Substitutionsgedanke auch auf Maßnahmen außerhalb des Gebäudes erweitert werden kann, z. B. indem in einen Windenergiepark statt in die Solaranlage auf dem eigenen Haus investiert wird. Falls derartige Bilanzbetrachtungen zu einer wesentlichen Verschlechterung des energetischen Gebäudestandards (insbesondere im Hinblick auf den Wärmeschutz der langlebigen Gebäudehülle) führen würden, könnte hier nicht mehr von einem vorbildlichen Ansatz gesprochen werden.

Grundsätzlich ist eine Selbstversorgung der Stadt mit Strom bzw. Wasserstoff keine unbedingte Notwendigkeit, da diese Energieträger, anders als Wärme, mit tolerierbaren Verlusten über große Entfernungen transportiert werden können. Die Frage der zukünftigen Energieversorgung wird demnach nicht allein im Rahmen der betrachteten Stadt bzw. Stadtregion entschieden, sie muss daher auch auf übergeordneter Ebene betrachtet werden.

6.2.5 Regenerative Energieerzeugung auf nationaler und internationaler Ebene

Verschiedene Arbeiten und Studien befassen sich mit der Frage einer zukünftigen klimaverträglichen Energieversorgung. Diese reichen von Potenzial- und Kostenstudien für verschiedene, insbesondere regenerative Energieerzeugungstechnologien [Studprog 1990, Kaltschmitt & Wiese 1993, Hake & Schultze 1997, Nitsch et al. 1997] bis hin zu Szenarienuntersuchungen auf nationaler [Enquete 1990b, Langniß et al. 1998, Quaschnig 2000, UBA 2001b, Enquete 2002, Prognos/IER/WI 2002] bzw. europäischer [LTI 1998] Ebene.

Die Studien geben erste Einblicke in die Zusammensetzung einer möglichen zukünftigen Energieversorgung. Bei den in Deutschland nutzbaren erneuerbaren Energieträgern (vor allem Sonne, Wind, Wasser und Biomasse) ist teilweise das Problem begrenzter Potenziale zu beachten. Zum Beispiel gelten die deutschen Wasserkraftpotenziale als weitgehend ausgeschöpft [Kaltschmitt 2001] und kann die Biomasse in einem Szenario in [Langniß et al. 1998] für das Jahr 2050 trotz angenommener deutlicher Energieeinsparungen nur zu etwa 15 % zur Energieerzeugung beitragen¹⁸.

Daher, aber auch aus Kostengründen und Gründen der Optimierung des zeitlichen Verlaufs der Energieproduktion (s. u.) treten auch Möglichkeiten des Imports von regenerativen Energieträgern in den Blickpunkt. Eine besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Möglichkeit großer „Offshore“-Windparks auf dem Meer¹⁹ und dem Bezug von Solarstrom aus dem Mittelmeerraum geschenkt. Im letzteren Fall kommt außer der Photovoltaik vor allem auch die Stromerzeugung in solarthermischen Kraftwerken²⁰ (insbesondere Parabolrinnenkraftwerke, Solarturmkraftwerke) in Betracht [Geyer 1995, Nitsch et al. 1997, Trieb et al. 2001]. Der Transport kann über Stromleitungen oder, bei der Vision einer internationalen „Wasserstoffwirtschaft“, in Form von Wasserstoffgas erfolgen, welches zuvor z. B. durch Elektrolyse erzeugt wird und am Bestimmungsort beispielsweise durch Brennstoffzellen wieder in Strom und gegebenenfalls auch in Wärme umgewandelt wird [Enquete 1990b, Winter 1995, Hennicke 1995, Dreier & Wagner 2000/2001].

Da die Energieerzeugung aus Sonne und Wind zeitlich stark variiert und die Speicherung insbesondere elektrischer Energie aufwendig und teuer ist, kommt dem Problem der zeitlichen Angleichung von

¹⁸ Auf europäischer Ebene sind, prozentual gesehen, wahrscheinlich größere Potenziale vorhanden, vgl. [LTI 1998].

¹⁹ Erste Projekte vor der deutschen Küste befinden sich in Planung und es existieren bereits Vorstellungen über einen längerfristigen Ausbau [BMU 2002].

²⁰ Trotz der Vorteile dieser Technologie, die in moderaten Stromerzeugungskosten und einem günstigen zeitlichen Erzeugungsprofil (Die Speicherbarkeit der zunächst erzeugten Hochtemperaturwärme erlaubt in Grenzen eine zeitlich kontrollierte Stromerzeugung unabhängig von der aktuellen Solarstrahlung) gesehen werden, ist bisher kein größeres Kraftwerk in Europa oder Nordafrika errichtet worden. Forschungen unter deutscher Beteiligung wurden an Versuchsanlagen in Spanien durchgeführt.

Energieangebot und Energienachfrage eine besondere Bedeutung zu. In einzelnen Studien wurde diese Frage durch Betrachtung des stündlichen Verlaufs von Stromverbrauch und Stromerzeugung berücksichtigt [Langniß et al. 1998, Quaschnig 2000].

Insgesamt gesehen wurden durch die unterschiedlichen Szenarienuntersuchungen wichtige Erkenntnisse geliefert und u. a. mögliche Wege in eine zukünftige Energieversorgung ohne fossile und nukleare Energieträger (bzw. mit einem nur geringen Restanteil) aufgezeigt. Angesichts der Breite und Komplexität des Themas kann aber nicht davon gesprochen werden, dass es gegenwärtig bereits möglich wäre, ein Gesamtbild einer zukünftigen Energieversorgung zu zeichnen bzw. unterschiedliche Pfade, die dorthin führen, endgültig vergleichend zu bewerten. Neben den Unsicherheiten über zukünftige technologische Entwicklungen und Kosten sind viele grundsätzliche Fragestellungen, die gerade auch für die Zero-Emission-City von wesentlicher Bedeutung sind, noch offen. Insbesondere kann in zukünftigen Forschungsprojekten ein differenzierteres Verständnis des Zusammenspiels der unterschiedlichen Energiespar- und Energieversorgungsmaßnahmen, sowohl im Hinblick auf den zeitlichen Verlauf als auch im Hinblick auf die unterschiedlichen Maßnahmenkosten angestrebt werden.

6.2.6 Vorgelagerter Energieaufwand

Zur Ermittlung des vorgelagerten Energieverbrauchs bei der Herstellung von Systemen zur Energieeinsparung und Energieerzeugung wurden bereits vielfältige Untersuchungen durchgeführt. Besonders günstig schneiden in dieser Hinsicht z. B. Wärmedämmstoffe und Windkraftanlagen ab [Feist 1986, Wagner 1997]. In anderen Fällen, wie z. B. bei Photovoltaikanlagen, liegt der Herstellungsenergieaufwand im Vergleich zum Ertrag zwar weniger günstig, aber im Allgemeinen immer noch deutlich in einem akzeptablen Bereich [Hagedorn et al. 1989, Wagner 1997]. Bei besonders aufwendigen Lösungen, z. B. beim genannten energieautarken Solarhaus mit seiner umfangreichen Anlagentechnik, verlangt die Problematik des vorgelagerten Verbrauchs dagegen eine sehr sorgfältige Kosten/Nutzen-Abwägung (vgl. [Stahl et al. 1997]). Grundsätzlich gilt also, dass vorgelagerte Energieverbräuche soweit möglich auch bei Untersuchungen zur Null-Emissions-Stadt berücksichtigt werden sollten. Inwieweit dies bei der jeweiligen Fragestellung realisiert werden kann, hängt davon ab, ob zu den jeweiligen vorgelagerten Prozessen Daten verfügbar sind bzw. ob derartige Prozesse auch im Rahmen der Forschungen zur Null-Emissions-Stadt thematisiert werden (vgl. Kap. 7, Kreislaufwirtschaft)

6.2.7 Verhaltensweise der Energienutzer und Energieverbrauch

Die bisherigen Betrachtungen, in denen Energiesparmaßnahmen, Energieversorgungsmaßnahmen und deren Kosten die wesentliche Rolle spielten, stellten den technischen Blickwinkel in den Mittelpunkt. Dabei ist aber zu beachten, dass hinter jeder Energieanwendung (zumindest in der Regel) eine menschliche Absicht steht. Man spricht, wie bereits erwähnt, von Energiedienstleistungen, zum Beispiel „Erzeugung eines behaglichen Raumklimas“, „Bereitstellung von warmem Wasser zur Körperpflege“, „Gewährleistung der Haltbarkeit von Lebensmitteln durch Kühlung“, „Erreichen einer hohen Bequemlichkeit bei der Gerätebedienung durch Stand-By-Modus“.

Wenn nun von einem geradezu „revolutionären“ Ziel wie der Realisierung einer „Null-Emissions-Stadt“ gesprochen wird, erscheint es als notwendig, den eigentlichen Zweck des Energieverbrauchs zu

thematisieren: Die Frage lautet, welche Konsequenzen damit verbunden sind, wenn wir die heute in Anspruch genommenen Energiedienstleistungen weiterhin und weiterhin im gleichen Umfang beanspruchen, unter welchen Bedingungen der Verzicht oder die Einschränkung bestimmter Energiedienstleistungen möglich ist und welche neuen Energiedienstleistungen für die Zukunft zu erwarten sind. In diesem Themenbereich liegen bisher nur in begrenztem Umfang Erkenntnisse vor.

Mit der Thematisierung des Verhaltens der Bewohner werden nicht nur essentielle Wertvorstellungen, sondern durchaus auch „praktische“ Fragen berührt. Dazu gehören Ursachen für Energieverschwendung im Alltag ebenso wie strukturell angelegte Probleme. Zum Beispiel wird in der Architektur über flexible Bauweisen diskutiert, die die Möglichkeit der „Abtrennung“ und Vermietung eines Gebäudeteils vorsehen, wenn die Eltern nach Fortgang der Kinder allein in einem Einfamilienhaus verbleiben. Der Umgang mit neuen Techniken (z. B. Energie- und Papier-Verschwendung bei Computerarbeit statt erhofftes „papierloses Büro“) gehört ebenfalls zu diesem Themenkomplex. Allgemeine Untersuchungen, die energiesparendes Verhalten behandeln, beziehen sich auf den Umgang mit Energie im Alltag bzw. thematisieren vorhandene Hemmnisse wie beispielsweise Informationsdefizite [Suding et al. 1990, Brohmann 2000, Böde 2000]. Dabei werden in der Regel eher moderate Verhaltensänderungen der verschiedenen Akteure betrachtet. Systematische, quantifizierbare Erkenntnisse zu „suffizienzorientierten“ Einsparpotenzialen, bei denen tiefgreifende Verhaltensänderungen, insbesondere auch eine Einschränkung der Bedürfnisse der Akteure in Betracht gezogen werden, liegen bisher nur in geringem Umfang vor [Anhörung 2002].

Der Stadtbewohner und der Einfluss seines Verhaltens auf den Energieverbrauch sollte also mitbetrachtet werden, wenn das Gesamtbild einer zukünftigen Stadt gezeichnet werden soll. Die Übergänge zwischen moralischen Fragen („Einschränkung der eigenen Bedürfnisse“ und praktischen Problemen („Energieverschwendung durch Gedankenlosigkeit“) sind dabei häufig fließend und schwer zu fassen. Diese Thematik aufzugreifen, ein differenzierteres Bild zu zeichnen und die unmittelbar lösbaren von den grundlegenden Problemen zu separieren, kann als ein wichtiges Ziel zukünftiger Energieforschung begriffen werden. Auch wenn hier vielfach keine eindeutige Lösung möglich ist, so ist zumindest die Berücksichtigung der möglichen „Bandbreite“ menschlichen Verhaltens in Form unterschiedlicher „Szenarien“ vorzusehen, um alle Möglichkeiten einer zukünftigen Entwicklung berücksichtigen zu können.

6.2.8 Demonstrations- und Forschungsprojekte

Im Folgenden wird ein Überblick über verschiedene, zumeist in Deutschland durchgeführte oder laufende Demonstrations- und Forschungsvorhaben gegeben, die im Zusammenhang mit dem Thema „Energieversorgung der Null-Emissions-Stadt“ von besonderem Interesse sind. Auf einzelne Projekte wurde bereits in den vorangehenden Kapiteln hingewiesen.

6.2.8.1 Gebäudekonzepte

Passivhaus- und „3-Liter“-Neubauten/Energiesparende Altbauten

Das erste Passivhaus wurde 1990 in Darmstadt Kranichstein errichtet [Feist 1995]. Bis heute sind mehr als 1 000 Wohnungen in Passivhausbauweise entstanden [Feist 2001], das Passivhaus ist also in die

Phase der Markteinführung eingetreten. Für Passivhaus-Bürogebäude gibt es bisher erst wenige gebaute Beispiele [Hennings & Knissel 2000, BINE 2001]. Unterschiedliche Konzepte zur Realisierung des „3-Liter-Haus“-Standards wurden in einer Siedlung in Celle demonstriert [Kluttig et al. 2001a]. Auch hier ist damit zu rechnen, dass Gebäude in diesem Qualitätsbereich, bei dem das Wärmeschutzniveau von Passivhäusern im Allgemeinen nicht erreicht wird, zukünftig bei den Bauherren auf einiges Interesse stoßen werden.

Es existieren viele Beispiele für vorbildlich sanierte Altbauten, bei denen hohe Einsparungen erzielt wurden [LBS 1994, Hessen 2001, Hinz & Feldmann 2001, Kluttig & Erhorn 2001b, Großklos 2002]. Das Passivhausniveau, das im Bestand auf Grund des vorgegebenen Baukörpers (z. B. Wärmebrücken) schwieriger zu erreichen ist als im Neubau, wurde und wird in einigen Pilotvorhaben angestrebt, in einigen Fällen war es aber nicht ganz oder nur mit erheblichen Umbaumaßnahmen realisierbar [Hessen 2001, Müller & Schüter 2002, Oesen 2002, Otte 2002, Schnieders 2002, Viriden 2002].

Null-Heizenergiehäuser

Null-Heizenergiehäuser zeichnen sich durch einen hohen Wärmeschutzstandard aus, der Rest-Wärmebedarf der Heizung wird durch eine thermische Solaranlage in Verbindung mit einem im Gebäude integrierten saisonalen Wärmespeicher gedeckt. Demonstrationsgebäude wurden in Copenbrügge-Dörpe bei Hannover und in Berlin realisiert und messtechnisch untersucht [Hinz & Werner 1994, IBP 2001]. Das Konzept wird trotz des erheblichen technischen Aufwands für die Wärmespeicherung am Gebäudemarkt angeboten [Weberhaus 2001].

Null-Energie-/Null-Emissionshäuser

Realisierte Null-Energie- bzw. Null-Emissionshäuser im Sinne von besonders energiesparenden Gebäuden mit zusätzlicher Solarstromanlage, die für eine ausgeglichene oder sogar „positive“ Jahres-Energiebilanz sorgt, sind in einigen Fällen dokumentiert [Voss 2000, Fellbach 2002, Solarsiedlung 2002]. Auf Grund der Förderung des eingespeisten Solarstroms durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz und das „Hunderttausend-Dächer“-Kreditprogramm sind die Bedingungen für derartige Konzepte zurzeit besonders günstig [EEG 2000, IWR 2002].

Energieautarkes Solarhaus

Mit dem 1992 in Freiburg errichteten Einfamilienhaus [Stahl et al. 1997] wurde die technische Möglichkeit der autarken Energieversorgung durch Sonnenenergie in unserem Klima demonstriert. Außer durch einen minimierten Energiebedarf ist das Gebäude vor allem durch die technisch anspruchsvolle gebäudeinterne Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff und dessen Einsatz in einer Brennstoffzelle charakterisiert. Bei einem 1989 in der Schweiz realisierten, von der technologischen Seite her wenig zukunftsweisenden energieautarken Einfamilienhaus kamen dagegen ein sehr großer saisonaler Warmwasser-Wärmespeicher (92 m³) und Batterien zur Stromspeicherung zum Einsatz [Jenni 1994, Stahl et al. 1997].

6.2.8.2 Wohngebiete/Stadtteile/Siedlungen/Gewerbe

Solare Nahwärmesysteme

Bei der solaren Nahwärme mit saisonaler Speicherung gibt es in Deutschland einige Demonstrationsprojekte, die z. B. in [Hahne et al. 1998, Fisch 2001] dokumentiert sind. Eins dieser Projekte entstand im Rahmen der „50 Solarsiedlungen“ [Landesinitiative 2002], ein weiteres in Hannover-Kronsberg (s. u.). Auch in anderen europäischen Ländern, insbesondere in Schweden, gibt es Erfahrungen mit solarer Nahwärme [Zinko 1993].

50 Solarsiedlungen NRW: Konzept und realisierte Projekte

Das Bundesland Nordrhein-Westfalen plant die Errichtung von insgesamt 50 „Solarsiedlungen“ anzuregen und zu fördern [Grauthoff 1998, Landesinitiative 2002]. Auch die Sanierung von Altbau-Wohngebieten ist berücksichtigt. In einem umfangreichen Planungsleitfaden sind die Bedingungen für den Status einer Solarsiedlung festgelegt. Die energetischen Kriterien, von denen nicht alle gleichzeitig erfüllt sein müssen, sehen unter anderem einen nach Solarenergie-Gesichtspunkten optimierten Bebauungsplan, einen Mindest-Wärmeschutz jenseits der gesetzlichen Anforderungen, Mindestbeiträge thermischer und photovoltaischer Solaranlagen sowie maximale CO₂-Emissionen von Heizanlagen vor. Auch hinsichtlich anderer ökologischer und sozialer Aspekte bestehen Planungsvorgaben (z. B. Wasserkonzept, Anbindung an öffentlichen Nahverkehr). Zwar wird durch diese Anforderungen noch keine annähernd solare Gesamtversorgung des Wohngebiets im Sinne einer „Null-Emissions-Lösung“ erreicht. Das Konzept der Solarsiedlungen ist aber insbesondere auch durch seinen umfassenden Planungsansatz von Interesse. Bisher sind Dokumentationen über drei Siedlungen veröffentlicht, eine davon im Bestand, die in ihren energetischen Lösungsansätzen teilweise noch über die Vorgaben des Planungsleitfadens hinausgehen. Mehr als 20 weitere Projekte befinden sich in der Planung oder im Bau.

Hannover-Kronsberg

Der neue Stadtteil Hannover-Kronsberg stellt ein Beispiel für ein sehr umfangreiches Planungs- und Bauvorhaben dar, bei dem sowohl ökologischen als auch sozialen Aspekten ein hoher Stellenwert eingeräumt wurde [Hannover 2000]. Mit einer geplanten CO₂-Einsparung gegenüber üblichen Neubauvorhaben von 60 %, die voraussichtlich zu einem großen Teil realisiert werden kann [Hertle et al. 2001], wurde ein relativ ehrgeiziges Ziel verfolgt. Im Hinblick auf Energiespartechnologien, die auch für eine „Null-Emissions-Lösung“ interessant wären, sind Teilbereiche des Baugebiets, in denen Passivhäuser bzw. ein solares Nahwärmesystem errichtet wurden, besonders zu erwähnen.

„Das Bioenergiedorf“

Hier handelt es sich um ein Forschungsvorhaben, an dem u. a. die Universität Göttingen und die Universität/Gesamthochschule Kassel beteiligt sind. In dem Projekt wird angestrebt, die Umstellung der

Strom- und Wärmeversorgung eines Dorfes in Niedersachsen auf Biomasse-Energieträger unter wissenschaftlicher Beteiligung durchzuführen. Dabei soll ein Biomasse-Blockheizkraftwerk in Kombination mit einem Nahwärmesystem für die Wärmeversorgung zum Einsatz kommen. Eine autarke Stromversorgung ist (ähnlich wie beim Null-Energiehaus, s. o.) nicht geplant, vielmehr soll das Blockheizkraftwerk im Jahresverlauf ungefähr so viel Strom erzeugen, wie das Dorf verbraucht. Das Projekt befindet sich derzeit noch in der Konzeptphase [Toben 2001].

„Zero Emission Village“

Bei diesem Forschungsvorhaben der Fachhochschule Trier (Umweltcampus Birkenfeld) wird die rheinland-pfälzische Verbandsgemeinde Weilerbach im Hinblick auf die Realisierung eines „Null-Emissions-Dorfes“ betrachtet [Heck 2002]. Es wird vor allem der Themenbereich Energieverbrauch/CO₂-Emissionen untersucht. Der Verkehr ist dabei weitgehend ausgeklammert. Biologische Stoffkreisläufe (inklusive Abfällen) werden insbesondere im Hinblick auf ihre Nutzbarkeit zur Energiegewinnung ausführlich behandelt. Neben der theoretischen Betrachtungsebene, die die langfristigen Möglichkeiten der tatsächlichen Erreichung des Null-Emissions-Ziels behandelt, liegt der Schwerpunkt des Projekts sehr stark auch in der Umsetzung konkreter Einzelmaßnahmen in Zusammenarbeit mit den Akteuren vor Ort. Dies beinhaltet auch die Durchführung von Informationsveranstaltungen und Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit.

Gewerbegebiet Aachen-Heerlen

Mit der energetischen Vorstudie zu dem geplanten grenzüberschreitenden deutsch-niederländischen Gewerbegebiet liegt ein Beispiel für ein gewerbliches Energiekonzept vor, das, ähnlich wie die genannten „Null-Emissions-Häuser“, auf CO₂-Neutralität abzielt [Kluttig et al. 1995]. Wesentliche Elemente sind Energieeinsparmaßnahmen bei den Gebäuden und im Elektrizitätsbereich, der Einsatz nachwachsender Rohstoffe zur Energiebereitstellung (Biogas/Holz) und die Solar- und vor allem Windstromerzeugung, deren Beitrag in der Jahressumme den fossilen Energieverbrauch eines Erdgas-Heizkraftwerks kompensiert.

„Null-Emissions-Fabrik“

Eine Fabrik mit CO₂-neutraler Energieversorgung in Braunschweig wird in Kap. 2 u. 7 dargestellt.

6.2.8.3 Stadtbezogene Ansätze

IEA-Projekt „Solar City“

Unter dem Titel „Solar City“ wurde von der Internationalen Energieagentur (IEA) ein Projekt zur Forschung und Marktentwicklung initiiert, welches von der Universität Sydney koordiniert wird [Solarcity

2002, Fisch 2002]. Dabei handelt es sich um eine Initiative für die Breitenanwendung solarer Energiesysteme in Städten. Verschiedene ausländische Städte haben ihre Teilnahme bisher zugesagt. In Deutschland hat sich das Bundeswirtschaftsministerium gegen eine Unterstützung entschieden, die Stadt Gelsenkirchen strebt eine Teilnahme mit Unterstützung des Landes Nordrhein-Westfalen an. Die Programminhalte sind, so wie sie gegenwärtig formuliert werden, relativ breit angelegt. Sie beinhalten neben Solarsystemen auch das CO₂-Problem im Allgemeinen und streben hier die Entwicklung kommunaler Strategien, die Festlegung von Zielwerten und die Untersuchung von Szenarien an. Der offizielle Start des Programms wird zurzeit für Mitte 2002 erwartet.

Die Optionen für eine Teilnahme von deutscher Seite wurden an der Technischen Universität Braunschweig untersucht [Fisch 2002]. Insbesondere wurden die Klimaschutzaktivitäten unterschiedlicher, für eine Teilnahme in Frage kommender deutscher Städte ausgewertet. Auf Grund der Ergebnisse wurden 5 Städte in die engere Wahl aufgenommen.

6.3 Forschungsfragen

Da das Thema „Null-Emissions-Stadt“ im vorliegenden Bericht in seinem interdisziplinären Kontext behandelt wird, ist im Folgenden das Augenmerk auf übergreifende Fragestellungen gerichtet, die dem Gesamtverständnis der zukünftigen Energieversorgung dienen. Probleme der technischen Spezialforschung (z. B. Entwicklung neuer und kostengünstiger Energieerzeugungs- und Energiespartechnologien), die natürlich ebenfalls von entscheidender Bedeutung sind, werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Das Kapitel unterscheidet zwischen Grundsatzfragen, die vornehmlich auf theoretischer Ebene zu behandeln sind und in denen das Null-Emissions-Ziel in seiner vollen Konsequenz thematisiert werden kann (Kap. 6.3.1) und praktischen Lösungsansätzen, bei denen z. B. eine Realisierung in Modellprojekten angestrebt werden kann, eine konsequente Null-Emissions-Lösung aber häufig nicht möglich sein wird (Kap. 6.3.2).

6.3.1 Grundsatzfragen

Technisch wäre die Null-Emissions-Stadt im Sinne einer „Null-Primärenergie-Stadt“, also einer Stadt ohne Energieeinsatz auf Basis fossiler und nuklearer Energieträger, bereits nach heutigem Kenntnisstand zu realisieren. Hierfür stehen, wie oben dargestellt, viele unterschiedliche Systeme zur Verfügung²¹. Dabei ist aber die Frage völlig offen, auf welche Weise ein solches Ziel tatsächlich erreicht werden kann, denn alle Lösungen führen in eine völlig andere als die heutige Energiewirtschaft und erfordern nach heutigem Kenntnisstand erhebliche Investitionen. Das zentrale Problem liegt damit nicht in der Frage der prinzipiellen Realisierbarkeit, sondern in den Kosten und den gesellschaftlichen Auswirkungen der jeweiligen Lösung. Jeder Lösungsansatz ist dabei als ein „Mix“ unterschiedlicher Technologien und Maßnahmen mit jeweils unterschiedlichen gesellschaftlichen Auswirkungen und Kosten anzusehen.

²¹ Zum Beispiel wäre eine solare Stromerzeugung in Afrika in Kombination mit großen Wasserstoff-Speicher- und Transportsystemen und Brennstoffzellen zur Rückumwandlung des Wasserstoffs in Strom denkbar. Auf diese Weise ließe sich rein theoretisch der gesamte Welt-Energiebedarf decken (vgl. Potenzialabschätzung in [Bloss & Pfister 1989]).

Ein differenziertes Verständnis dieser Zusammenhänge fehlt bisher, d. h. es besteht ein erheblicher Forschungsbedarf. Zwar wurden, auf allgemeiner energiewirtschaftlicher Ebene, einzelne Szenarienuntersuchungen durchgeführt (vgl. Kap.6.2.5). Diese können aber nur als erste Schritte auf diesem komplexen Themenfeld gewertet werden.

Ein sinnvoller, langfristig angelegter Forschungsansatz kann und sollte die Ermittlung unterschiedlicher, in sich konsistenter Lösungen für eine zukünftige Energiewirtschaft beinhalten. Nur auf einen einzigen, „optimalen“ Lösungsansatz abzielen, erscheint angesichts der Themenbreite und des erheblichen betroffenen Zeithorizonts von mehreren Jahrzehnten kaum möglich.

Insgesamt wäre ein möglichst umfassendes Gesamtbild anzustreben. Der Anteil der unterschiedlichen Techniken, die Kosten und die gesellschaftlichen Voraussetzungen und Auswirkungen wären zu berücksichtigen. Die Charakteristika der unterschiedlichen Lösungsansätze wären, in prägnanter Weise ausformuliert, einander gegenüberzustellen und die Konsequenzen für heutige Weichenstellungen aufzuzeigen.

Eine vollständige Beschränkung auf autarke Lösungen innerhalb einer Stadt oder auch einer Stadtregion kann angesichts der weiträumigen Verknüpfungen der Energieversorgung nicht als sinnvoll erscheinen. Der Bezug zur Stadt kann aber als ein möglicher Schwerpunkt verfolgt werden.

Vor dem Hintergrund dieses bis hierhin in allgemeiner Weise skizzierten, langfristig zu verfolgenden Forschungsthemas stellt sich die Frage, ob auch konkretere Problemstellungen formuliert werden können, die z. B. besonders interessante Einzelbereiche behandeln, das Thema Stadt in besonderer Weise betreffen und als überschaubare Unterkapitel bzw. Zwischenziele dieses komplexen Forschungsbereichs dienen können. In den folgenden Abschnitten werden einige Ansatzmöglichkeiten dargestellt.

Gemeinsame Optimierung von Energieversorgung und Energieverbrauch

Die Tatsache, dass in einer solaren Energiewirtschaft „per definitionem“ keine CO₂-Emissionen mehr auftreten, darf nicht dazu verleiten, den Fokus des Interesses allein auf die Energieversorgung zu lenken und die Energieverbrauchsseite zu vernachlässigen. Beide Bereiche hängen eng miteinander zusammen: So ist vielfach festzustellen, dass eine weitreichende Ausschöpfung von Energiesparmaßnahmen als notwendige Voraussetzung für den Einsatz teurer energieeffizienter bzw. solarer Versorgungssysteme anzusehen ist [Boese & Diefenbach 2000]. Darüber hinaus sind Stadt und Stadtregion durch Fragen der Energieeinsparung (z. B. bei Gebäuden und Verkehrssystemen) möglicherweise sogar stärker unmittelbar betroffen als durch die Energieversorgung, bei der die nationale und internationale Ebene mitbetrachtet werden muss.

Eine grundsätzliche Fragestellung lautet daher, wie der Energieverbrauch und die Energieversorgung in einer Null-Emissions-Stadt aufeinander abgestimmt sein müssen.

Zukunft der Fernwärme

Mit einem Ausbau der Fernwärmeversorgung (und dem damit verbundenen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland) werden häufig hohe, wirtschaftlich zu erschließende Energieeinsparpotenziale verbunden [Schulz et al. 1994]. Diese Thematik wird auch im Rahmen der Klimaschutzdebatte intensiv und kontrovers diskutiert [Henricke 1995].

Die Fernwärmeversorgung betrifft vor allem Städte und Siedlungen. Mit der Verlegung neuer Versorgungssysteme würden langfristige Weichenstellungen für die kommunale Energieversorgung vorgenommen. Im Hinblick auf das Null-Emissions-Ziel stellt sich damit die Frage, welche Rolle die Fernwärmeversorgung in einer zukünftigen, durch regenerative Energieerzeugung geprägten Energiewirtschaft spielen kann (vgl. auch Anmerkungen zur Fernwärmeversorgung in Kap. 2.3). Die Energieerzeugung in fossil befeuerten Heizkraftwerken würde entfallen, und zwar unabhängig davon, ob es sich um Fernwärme-Großkraftwerke oder kleinere Nahwärme-Blockheizkraftwerke handelt. Gleichzeitig sind die nicht unerheblichen Wärmeverluste der Rohrnetze zu beachten, die bei durch Wärmeschutzmaßnahmen sinkendem Wärmebedarf der versorgten Gebäuden immer stärker ins Gewicht fallen.

Auf der anderen Seite bieten leitungsgebundene Wärmeversorgungssysteme die Voraussetzung für den Einsatz von biomassegefeuerten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und solaren Nahwärmesystemen mit saisonaler Wärmespeicherung.

Je nachdem, welche Rolle den unterschiedlichen Systemen in einem zukünftigen „Energimix“ zukommt, kann der Ausbau der Fernwärme also ein Vorteil oder ein Hemmnis für eine nachhaltige Entwicklung sein. Dies kann unter Umständen auch von der Größe und der technischen Auslegung des Verteilungsnetzes abhängen. Für die heutige Verlegung neuer Nah- und Fernwärmesysteme ist zu klären, unter welchen Bedingungen sie mit einer künftigen Ablösung der fossilen durch regenerative Energieerzeuger und einer Energieverbrauchsminderung der versorgten Gebäude kompatibel sind.

Solarstromwirtschaft oder Solarwasserstoffwirtschaft?

Die solar-erzeugte Energie, insbesondere der Strom, muss zu den Verbrauchern transportiert werden. Zurzeit „leisten“ wir uns gleichzeitig mehrere Energieverteilungssysteme: Ein Stromanschluss ist in unseren Gebäuden fast immer vorhanden, sehr häufig auch ein Erdgasanschluss, manchmal Fernwärme. Heizöl und Kraftstoffe werden nicht leitungsgebunden, sondern über Transportfahrzeuge an den Bestimmungsort gebracht. Hier stellt sich, in engem Bezug zur künftigen städtischen Infrastruktur, die Frage, welche Übertragungssysteme in einer emissionsfreien Energieversorgung eine Rolle spielen werden.

In zugespitzter Weise ließe sich z. B. eine reine „Solarstromwirtschaft“ postulieren, in der das Stromnetz als einziges Übertragungssystem bestehen bleibt und durch den Wegfall aller anderen Systeme erhebliche Kosteneinsparungen möglich werden. Die Wärmeerzeugung in den Gebäuden würde dann z. B. größtenteils über elektrische Wärmepumpen erfolgen. Wasserstoff würde lediglich als Speichermedium zum Ausgleich des zeitlichen Verlaufs von Energieangebot und -nachfrage im Stromnetz und eventuell noch als Antriebsstoff von Kraftfahrzeugen fungieren. Die Wasserstoffproduktion aus Strom

könnte dabei vor Ort, d. h. beispielsweise in dem Brennstoffzellen-Kraftwerk mit Wasserstoffspeicher bzw. in der Wasserstofftankstelle selbst erfolgen.

Im Gegensatz dazu sehen andere Zukunftsvisionen Wasserstoff als einen dominierenden Energieträger der Zukunft, so dass in diesem Fall der weiträumige Betrieb von Wasserstoff-Versorgungsnetzen ähnlich der heutigen Erdgasversorgung notwendig wäre.

Ob nun die eine oder die andere Vision oder eine Zwischenstufe Realität werden kann: In jedem Fall hat der Übergang zu einer Null-Emissions-Energieversorgung weitreichende Konsequenzen für die städtische Infrastruktur der Energieverteilung.

Zentrale oder dezentrale Energieerzeugung?

Die Energieerzeugung aus regenerativen Energieträgern erfolgt auf Grund der geringen Energiedichte notwendigerweise großflächig und weiträumig. Falls doch größere Kraftwerke vorliegen, sind diese häufig modular aufgebaut. Zum Beispiel bestehen größere Photovoltaik-Kraftwerke aus Einzelmodulen, die in der Regel auch auf Gebäudedächern eingesetzt werden könnten, Windkraftanlagen funktionieren einzelnstehend nicht viel anders als im Windpark). Auch Brennstoffzellen sind in kleineren ebenso wie in größeren Einheiten vorstellbar. Die zukünftige Energieversorgung scheint demnach für eine dezentrale Erzeugung günstig zu sein. Möglicherweise kann damit ein viel höherer Anteil der Energieerzeugung als bisher innerhalb der Stadt oder Stadtregion in dezentralen Strukturen erfolgen.

Einer solchen Vision steht das Bild einer international tätigen Energiewirtschaft gegenüber, die auf solare „Großtechnologien“ wie etwa thermische Solarkraftwerke im Mittelmeerraum und Off-Shore-Windparks in der Nord- und Ostsee setzt und dabei die günstigen Erzeugungskosten und, u. a. auf Grund der großräumigen Verteilung, zeitliche Ausgleichseffekte ausnutzt.

Aus heutiger Sicht ist völlig unklar, ob wir auf die „zentrale“ oder die „dezentrale“ Variante der Zero-Emission-Energieversorgung zusteuern werden. Die Vor- und Nachteile beider „Leitideen“ sollten daher herausgearbeitet und analysiert werden. Dabei ist zu beachten, dass hier nicht nur technische und ökonomische Fragen betroffen sind, sondern auch die Frage der Organisation der Energiewirtschaft angesprochen wird²².

Zeitlicher Verlauf von Energieangebot und -nachfrage

In einer solaren Energiewirtschaft stellt sich auf Grund des fluktuierenden regenerativen Energieangebots in viel stärkerem Maße als bisher das Problem des zeitlichen Zusammenfallens von Energieerzeugung und -nachfrage. Die Speicherung von Energie, insbesondere die Speicherung elektrischer Energie und die Energiespeicherung über lange Zeiträume, ist kostenaufwendig und daher nach Möglichkeit zu begrenzen. Der zeitliche Verlauf der Energienachfrage hängt sehr stark von dem Energieverbrauchsni-

²² Die Frage, welche Bedeutung dem Zentralisierungsgrad der Energieversorgung zukommt, wird bereits in der Gegenwart häufig kontrovers diskutiert. Teilweise sind diese Auseinandersetzungen politisch zugespitzt. So wird eine flexible und umweltfreundliche dezentrale Energieversorgung von manchen Autoren als der Gegenpol zu einer unflexiblen und unökologischen, durch mächtige Konzerne dominierten, zentralisierten Energiewirtschaft dargestellt (s. z. B. [Scheer 1999]).

veau ab. So kann z. B. der Mehrverbrauch im Winter durch Verbesserung des Wärmeschutzes verringert werden. Auch gezielte Maßnahmen zur Anpassung des kurzzeitigen Bedarfs (z. B. Betrieb von bestimmten Haushaltsgeräten, beispielsweise Waschmaschinen, zu günstigen Tageszeiten) können von Bedeutung sein. Wenn Aussagen über einen zukünftigen solaren „Energimix“ getroffen werden sollen, ist ein differenzierteres Verständnis dieser Zusammenhänge notwendig.

Biomasse: Potenzial und Funktion

Biomasse aus nachhaltiger Produktion ist nach heutigen Maßstäben ein verhältnismäßig kostengünstiger regenerativer Energieträger. Im Rahmen von Energiekonzepten im ländlichen Bereich steht die Biomasse daher im Mittelpunkt des Interesses (s. a. Kap. 6.2.8 „Bioenergiedorf“, „Zero Emission Village“). Tatsächlich wurde der Nutzung der vorhandenen Potenziale in der Vergangenheit nur eine geringe Aufmerksamkeit geschenkt, während hier in jüngerer Zeit deutliche Fortschritte zu erkennen sind. Auch bei der Betrachtung von Stadt und Stadtregion ist die Option der Biomasseverwendung zu beachten. Langfristig gesehen darf aber nicht vergessen werden, dass die Biomassepotenziale in Deutschland eng begrenzt sind. Dieses Problem bleibt voraussichtlich auch dann bestehen, wenn ein gezielter Energiepflanzenanbau betrieben wird [Kaltschmitt & Wiese 1993, Kaltschmitt 2001]. Eine vor allem auf Biomasse basierende Energieversorgung, die lokal möglich ist, ist daher nicht als beliebig verallgemeinerbare Lösung anzusehen. Auf längere Sicht stellt sich also beim Energieträger Biomasse die Frage nach der Rolle im solaren Energimix in vordringlicher Weise. Dabei ist insbesondere zu fragen, ob und wie die günstige Eigenschaft, dass hier regenerative Energie in gespeicherter Form vorliegt, zur Lösung des zeitlichen Anpassungsproblems von Energieangebot und -nachfrage (s. o.) genutzt werden kann. Des Weiteren ist im Sinne des Null-Emissions-Ziels der Zusammenhang zwischen unterschiedlichen energetischen Nutzungsarten der Biomasse und der Entstehung der herkömmlichen Luftschadstoffe (z. B. Stickoxide) zu analysieren.

6.3.2 Praktische Ansätze

In Abschnitt 3.1 wurde deutlich, dass eine zukünftige, mit dem Null-Emissions-Ziel kompatible, solare Energiewirtschaft viele Fragen grundsätzlicher Natur aufwirft. Diese können durch praxisorientierte Forschungs- und Demonstrationsprojekte, welche auf umsetzungsorientierte Detaillösungen abzielen, schwerlich in ihrer vollen Komplexität berücksichtigt werden. Auf der anderen Seite erfüllen derartige Projekte ebenfalls eine wichtige Aufgabe: Das Gesamtkonzept einer zukünftigen Energieversorgung kann nicht am grünen Tisch entworfen werden, vielmehr befruchten sich grundsätzliche Analysen und praxisorientierte Forschungs- und Lösungsansätze gegenseitig. Im vorliegenden Kapitel werden daher Ansätze für Forschungs- und Demonstrationsprojekte vorgeschlagen, die durch Einzelergebnisse neue Erkenntnisse für das langfristige Ziel einer solar-versorgten Zero-Emission-City liefern können.

Null-Emissions-Gebäude, -Siedlungen und -Stadtteile in Neu- und Altbau

Die Aufgabe derartiger Demonstrationsprojekte liegt nicht darin, das Null-Emissions-Ziel im strengen Sinne unbedingt zu erreichen. Vielmehr soll das technisch auf vernünftige Weise Machbare praktisch

ausprobiert und für eine größere Öffentlichkeit dargestellt werden. Dabei sollte es sich um bezahlbare Konzepte handeln, d. h. die Mehrkosten sollten sich in Grenzen halten. Wirtschaftliche Lösungen können aber nicht erwartet werden, wenn der Begriff „Null-Emissionen“ einen Sinn behalten soll, d. h. eine Reduzierung des Energieverbrauchs bzw. der CO₂-Emissionen um mindestens 80 - 90 % (vgl. Kap. 6.1) angestrebt wird. Eine ausreichende Ausstattung mit Fördermitteln ist daher notwendig.

Bereits durchgeführte Projekte (z. B. NRW-Solarsiedlungen, Hannover-Kronsberg, Solare Nahwärmeprojekte, s. Kap. 6.2.8) geben ein technisches Niveau vor, das in zukünftigen Vorhaben noch weiter unterschritten werden kann. Ein besonderer Bedarf besteht darin, verstärkt auch im Altbau die Möglichkeiten ehrgeiziger Energiesparlösungen zu erproben. Hier kann ein möglicher Schwerpunkt liegen. Dabei sind in erster Linie solche Wohngebiete geeignet, in denen umfassende Erneuerungsmaßnahmen in relativ kurzen Zeiträumen stattfinden können.

Die Realisierung von Demonstrationsprojekten im Neu- und Altbau kann insbesondere das Ziel verfolgen, unterschiedliche Lösungswege zu erproben und miteinander insbesondere unter Kostengesichtspunkten zu vergleichen. Die Kosten stellen ein entscheidendes Hemmnis für die Realisierung von Null-Emissions-Lösungen dar. Die Suche nach dem unter den jeweiligen Randbedingungen optimalen Gesamtpaket aus Energiespar- und regenerativen Energieversorgungsmaßnahmen ist daher als ein wichtiges Forschungsziel anzusehen, das eine wesentliche Voraussetzung für eine spätere breitere Umsetzung darstellt. Um angesichts der Vielfalt denkbarer Lösungswege zu Ergebnissen zu kommen, erscheint es wichtig, eine große Anzahl von Projekten mit jeweils unterschiedlichen Ansätzen durchzuführen. Neben Wohngebieten können auch Einzelgebäude berücksichtigt werden.

Langfrist-Konzept für Stadtteile/Wohngebiete (Stufenpläne)

Im Allgemeinen wird man in bestehenden Wohngebieten umfassende Energiesparmaßnahmen nur schrittweise über einen längeren Zeitraum erreichen können. Wenn für die Zukunft eine Null-Emissions-Lösung angestrebt ist, bedeutet dies, dass auch erste Einzelschritte im Einklang mit dem späteren Ziel stehen müssen. Das heißt, dass die einzelnen Stufen der energetischen Erneuerung einem langfristig angelegten Gesamtkonzept folgen müssen. Mit der Erstellung und stufenweisen Umsetzung derartiger Konzepte, die auch „zukunfts offen“ für spätere, veränderte Rahmenbedingungen sein sollten, würde ein neuer Weg für eine langfristig orientierte Planung im Gebäudebestand beschritten.

Bedingungen für den Bezug von „Öko-Energie“

Das Ziel der Null-Emissions-Stadt hängt, wie gezeigt wurde, eng mit dem zukünftigen Bezug solarer Energieträger zusammen. Wenn die Erzeugungsanlagen nicht in der betrachteten Stadt oder dem betrachteten Wohngebiet selbst installiert sind, was häufig der Fall sein wird, so ist ein externer Bezug notwendig. Ein solcher Mechanismus ist nach Einführung der Liberalisierung im Energiemarkt bereits heute durch den Verkauf von sogenanntem „Ökostrom“ oder „grünem Strom“ durch verschiedene Anbieter in Gang gekommen. Die Sinnhaftigkeit des Mechanismus und die notwendigen Kriterien für die Anerkennung von „Ökostrom“ werden kontrovers diskutiert [Solarbrief 2002]. Es existieren unter-

schiedliche Zertifikate (s. z. B. [Fritsche 1999]), die den Missbrauch verhindern und einen angemessenen Qualitätsstandard garantieren sollen.

Im Rahmen von Demonstrationsprojekten, die mit dem Forschungsziel der „Null-Emissions-Stadt“ zusammenhängen, wird der Mechanismus des Bezugs von „Ökostrom“ möglicherweise ebenfalls genutzt werden. Es spielen aber besondere Aspekte eine Rolle. Insbesondere ist darauf zu achten, dass langfristig wirklich tragfähige Lösungen untersucht und realisiert werden. Dabei spielen sowohl die Potenziale der eingesetzten Energieträger als auch das zeitliche Zusammenspiel von Energieangebot und -nachfrage eine Rolle (s. o.). Dies bedeutet, dass die Frage des Bezugs von regenerativ erzeugter Energie im Rahmen von Null-Emissions-Forschungsprojekten einer besonderen Aufmerksamkeit und gegebenenfalls eigener Kriterien bedarf.

Der Null-Emissions-Haushalt: Ganzheitlicher Ansatz

Statt einer sektoralen Betrachtung verschiedener Energieverbräuche (z. B. Heizung/Verkehr/ Haushaltsstrom) kann auch die Perspektive des Individuums bzw. von Lebengemeinschaften (Familien/Haushalte) eingenommen werden. Hier gibt es bereits verschiedene Ansätze zur Energiespar-Motivation, beispielsweise in Form von über das Internet erhältlichen einfachen Tabellen-Kalkulationen zur Erstellung persönlicher Energiebilanzen. Darüber hinausgehende, systematische Analysen des Energieverbrauchs von Einzelpersonen oder Haushalten bieten die Chance für eine differenziertere Betrachtung der Zusammenhänge zwischen dem Energieverbrauch (bzw. der Verursachung von Emissionen im weiteren Sinne) und individuellen Bedürfnissen und Motiven und gesellschaftlichen Prozessen und Zwängen sowie eine voraussichtliche Begleitung von Beispielhaushalten. Eine solche Untersuchung könnte ganz konkret bei der Lebensweise unterschiedlicher Stadtbewohner und städtischer Haushalte ansetzen und deren - mit Energieeinsatz verbundenen - Handlungen im Alltag analysieren. Von besonderem Interesse wäre dabei die Frage nach den Motiven der Betroffenen und Handlungsalternativen. Die Möglichkeiten, durch Verhaltensänderungen und Anwendung anderer Techniken schließlich das Leben als „Null-Emissions-Haushalt“ tatsächlich zu realisieren, wäre dabei als mögliches, nicht notwendigerweise vollständig realisierbares Leitbild mitzubetrachten.

7 Kreislaufwirtschaft

Im vorliegenden Kapitel soll die Rolle von Industrie und Gewerbe in einer „Null-Emissions-Stadt“ analysiert werden. Der Bezug zur Stadt ist implizit immer gegeben, wenn man annimmt, dass Unternehmen in der Stadt produzieren und dort auch Emissionen abgeben oder durch Wege zum Arbeitsplatz, Gütertransport und Produktnutzung Emissionen induzieren. Industrielle und gewerbliche Unternehmen müssen ihren Standort auch innerhalb der Grenzen einer „Null-Emissions-Stadt“ finden bzw. weiterhin dort angesiedelt bleiben. Um dies zu gewährleisten, kommt insbesondere dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft eine entscheidende Bedeutung zu. Eine Betrachtung der Kreislaufwirtschaft und insbesondere einer Kreislaufwirtschaft die „Null-Emissionen“ zum Ziel hat, kann sich dabei nicht nur auf eine Analyse der Angebotsseite (der produzierenden Unternehmen) beschränken. Es ist vielmehr erforderlich auch die Nachfrageseite (die Konsumenten) zu betrachten. Im folgenden Teilkapitel wird der Schwerpunkt zunächst auf mögliche Strategien der Angebotsseite gelegt, wobei die Nachfrageseite implizit im Blickfeld ist. Im darauf folgenden Teilkapitel zur „Null-Emissions-Stadt“ werden die Akteure der Nachfrageseite explizit mit einbezogen.

7.1 Das Leitbild „Null-Emissionen“ für Industrie und Gewerbe – Stand der Forschung

Für industrielle und gewerbliche Unternehmen stellt das Leitbild „Null Emissionen“ ein ambitioniertes Ziel dar, das weit über den gegenwärtigen Stand der Umweltschutzbemühungen in den meisten nationalen und internationalen Unternehmen hinausgeht. Lediglich vereinzelte „Pionierunternehmen“ zeichnen sich durch eine nachhaltige Produktionsweise aus oder verwenden explizit den „Null-Emissions-Gedanken“. So errichtet beispielsweise das Unternehmen Solvis Solar in Braunschweig eine „Null-Emissions-Fabrik“ zur Produktion von solarthermischen Produkten, die sich durch die CO₂-freie Versorgung von Produktion und Verwaltung mit Wärme und Elektrizität über ein Rapsöl-BHKW, eine Photovoltaikanlage, baulichen Wärmeschutz und die Nutzung von Abwärme und Tageslicht auszeichnet. Die Bezeichnung „Null-Emissionen“ bezieht sich hierbei allerdings auf energiebedingte Klimaemissionen und nicht auf Emissionen aus dem eigentlichen Produktionsprozess und der Verwaltung.

Im Gegensatz zu diesen Pionierunternehmen müsste die Mehrzahl der industriellen und gewerblichen Unternehmen erhebliche Umsteuerungsmaßnahmen vornehmen, um sich dem Ziel „Null-Emissionen“ zumindest schrittweise zu nähern.

Im folgenden ersten Abschnitt dieses Teilkapitels soll zunächst beschrieben werden, welche Ansätze zur Emissionsverringerung wesentliche Bestandteile dieser Anstrengungen sein könnten. Solche Ansätze existieren bereits seit einigen Jahren und sind auch teilweise Gegenstand der Förderung durch das BMBF. Der „Zero-Emissions“-Gedanke ist darin allerdings nicht ausdrücklich enthalten, sie orientieren sich bislang in der Regel am Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“.

Im darauffolgenden zweiten Abschnitt soll die Grundkonzeption des ZERI-Ansatzes (*Zero Emissions Research Initiative*) der United Nations University beschrieben werden, da er ein insgesamt geschlos-

senes, übergeordnetes Konzept auf internationaler Ebene darstellt und den „Zero-Emissions“-Gedanken explizit beinhaltet.

7.1.1 Bestehende Ansätze aus Sicht der ökologisch orientierten Betriebswirtschaftslehre

Die im Folgenden beschriebenen Ansätze werden insbesondere im Bereich einer ökologisch orientierten Betriebswirtschaftslehre diskutiert. Die ökologisch orientierte Betriebswirtschaftslehre hat es sich zur Aufgabe gemacht, den ökologischen Herausforderungen, die an die Unternehmen gestellt werden, systematisch zu begegnen. Die in diesem Zusammenhang entwickelten - und nachfolgend vorgestellten - Konzepte sind dabei nicht nur auf die Unternehmensebene beschränkt: Das Prinzip der *Kreislaufwirtschaft* beschreibt den Prozeß im Ganzen. Beim *produktionsintegrierten Umweltschutz (PIUS)* steht das einzelne Unternehmen mit seinen Produktionsprozessen im Mittelpunkt, beim *produktbezogenen Umweltschutz* spielt dagegen die Gestaltung des Produktes bzw. der Dienstleistung die zentrale Rolle. *Umweltmanagement*, *Umweltkostenrechnung* und *Öko-Controlling* sind als betriebsbezogene „Werkzeuge“ zu interpretieren, die den Weg von Industrie und Gewerbe in Richtung „Null-Emissionen“ unterstützen können. Die Frage, inwieweit eine *Änderung der Unternehmensziele* notwendig wird, tangiert dagegen nicht nur das Unternehmen selbst, sondern beinhaltet auch gesellschafts- und ordnungspolitische Aspekte.

7.1.1.1 Kreislaufwirtschaft als konstituierendes Prinzip

Konstituierendes Prinzip für industrielle und gewerbliche Prozesse auf dem Weg zu „Null-Emissionen“ ist das Kreislaufprinzip. Im Modell der Kreislaufwirtschaft können Bedingungen für eine nachhaltige Entwicklung abgebildet werden. Die Kreislaufwirtschaft soll die traditionelle Durchflusswirtschaft ersetzen, bei der - stark vereinfachend ausgedrückt - Ressourcen und Energie als Input aus der Ökosphäre entnommen werden, um Produkte herzustellen. Im Anschluss an die Produktions- und Konsumptionsphase werden die Rückstände aus der Produktions- und Konsumptionsphase in einem Entsorgungssystem beseitigt (z. B. in einer Deponie). In jedem der betrachteten Systeme werden Emissionen in Form von Abluft, Abwasser, Abfällen und Abwärme freigesetzt. Das in dieser Form gekennzeichnete traditionelle industrielle System ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

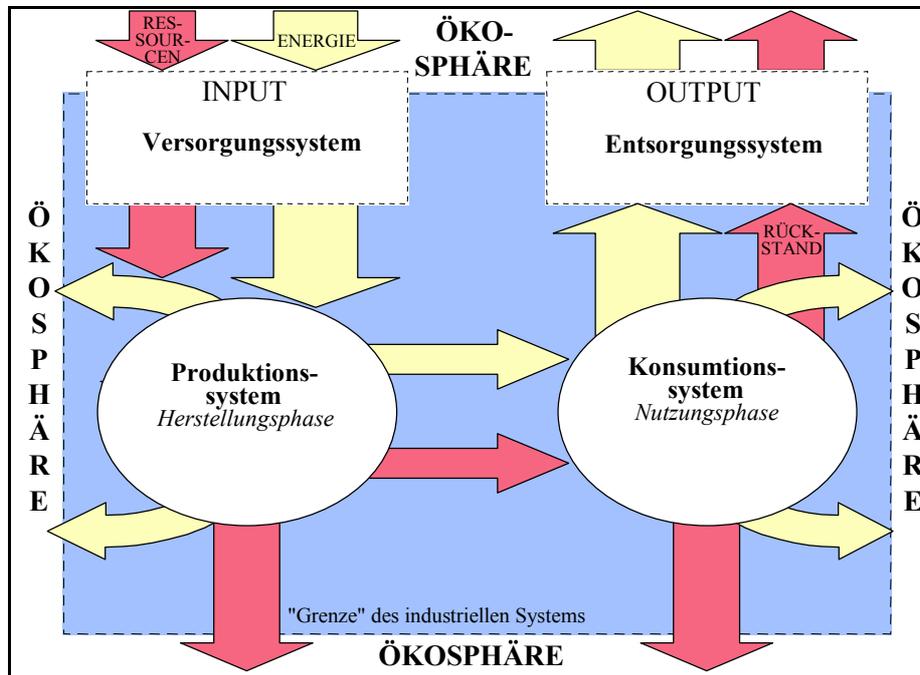


Abb. 7-1: Grundmodell eines industriellen Systems.

Quelle: vereinfacht nach [Wemhoff 2002]

Im Gegensatz dazu sollen - angelehnt an ökosystemare Kreislaufprozesse - im Modell der Kreislaufwirtschaft, die aus der Produktions- und Konsumtionsphase resultierenden Rückstände so weit als möglich wieder als Inputs in den Produktionsprozess eingebracht werden.

Während die Unternehmen des traditionellen industriellen Systems ihr Selbstverständnis aus der Herstellung gebrauchsgerechter Güter schöpfen, gehört zum Denken und Handeln in Kreisläufen die Berücksichtigung der Phase der Rückführung der Produkte und Rückstände nach der Konsumphase zu möglichst wiederverwertbaren Komponenten oder Werkstoffen. Die Durchsetzung der Kreislaufwirtschaft bedingt deshalb eine wesentliche Aufwertung der ehemaligen Entsorgungs- und Recyclingfunktionen. Um die Komplementarität zwischen der Produktion, der Hervorbringung von Gütern, auf der einen Seite und der Wiedereinbringung der entwerteten Produkte in die Kreislaufwirtschaft auf der anderen Seite zu kennzeichnen, hat in der neueren betriebswirtschaftlichen Literatur in diesem Zusammenhang der Begriff der *Reduktion* bzw. der Reduktionswirtschaft eine gewisse Verbreitung gefunden. Reduktion bedeutet in diesem Kontext das Einsammeln von Altprodukten, Sortieren, Demontieren, Wiederaufbereiten etc. und das Wiedereinbringen der so gewonnenen Stoffe in anschließende Prozesse und Systeme [Liesegang 1993]. Das Modell einer industriellen Kreislaufwirtschaft ist in Abb. 7-2 dargestellt:

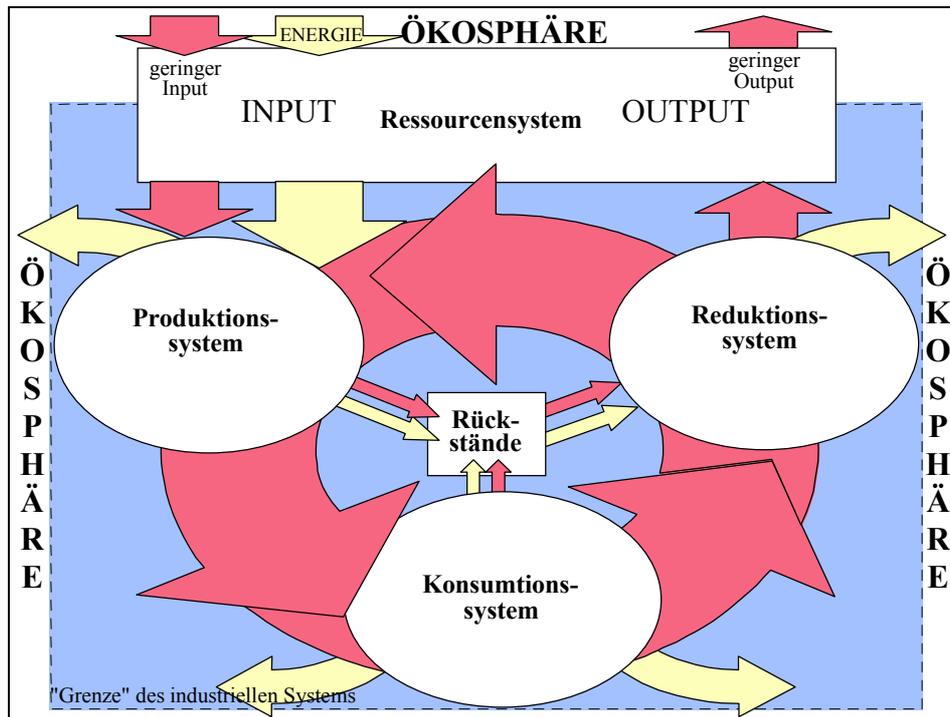


Abb. 7-2: Gestaltungsmodell einer industriellen Kreislaufwirtschaft

Quelle: vereinfacht nach [Wemhoff 2002]

Ziel einer Kreislaufwirtschaft kann es nicht sein, ein vollständiges Recycling der unterschiedlichen Stoffströme zu erreichen. Wenn der Vorgang der Wiedergewinnung selbst mehr Ressourcen verbraucht als dadurch eingespart werden können, so ist Recycling weder wirtschaftlich noch ökologisch sinnvoll. Es ist daher realistischer anstatt des vollständigen Kreises eine sogenannte „Entwertungs-Spirale“ anzunehmen: Mit jedem Umlauf sinkt der Nutzwert der eingesetzten Ressource (z. B. beim Altpapier-Recycling) bis schließlich nur noch unbrauchbare Abfälle und Abwärme zurück bleiben. Sowohl beim Recycling selbst als auch bei der grundsätzlichen Gestaltung einer Kreislaufwirtschaft sollte die Zielhierarchie „Vermeiden - Wieder- bzw. Weiterverwenden – Wieder- bzw. Weiterverwerten – Beseitigen“ gelten.

In den vergangenen Jahren haben sich in der Forschung auch unterschiedliche Ansätze einer regionalen bzw. lokalen Kreislaufwirtschaft etabliert [GSF 1999, Sterr 2002]. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass sich die Schritte zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung im regionalen Kontext am ehesten erproben und umsetzen lassen. Zu erwarten sind positive Effekte beim Umwelt- und Ressourcenschutz (Senkung der Transportkosten etc.) sowie eine Steigerung der regionalen Wertschöpfung und Beschäftigung. Als günstige Voraussetzungen sind dabei die Überschaubarkeit der Region, die kurzen Kommunikationswege der betroffenen Akteure, deren Einbindung in bereits bestehende Netzwerke sowie die Häufigkeit der persönlichen Kontakte innerhalb einer Region zu nennen [GSF 1999].

Idealtypisch zeichnet sich eine regionale Kreislaufwirtschaft durch die regionale Ausgestaltung seiner Subsysteme aus. Erforderlich ist demnach die regionale Anbindung des Ressourcen-, Produktions- und Reduktionssystems an das lokale bzw. regionale Konsumtionssystem.

Für viele Produkte wird die Prozesskette über Rohstoffgewinnung, Produktion, Konsumtion und Reduktion nicht regional geschlossen werden können. Dies hängt in erster Linie mit der Begrenztheit regionaler Rohstoffvorkommen (z. B. bei Textilien) zusammen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass für die Reduktion bestimmter Stoffströme im regionalen Raum nicht die erforderlichen Qualitäten und Quantitäten (zur Realisierung von „economies of scale“) zur Verfügung stehen. Unter Regionalisierung sollte daher nicht nur die Verwirklichung kompletter regionaler Prozessketten, wie z. B. beim ökologischen Landbau, sondern auch die Möglichkeit, solche Prozessketten in Teilbereichen stärker regional zu organisieren (z. B. durch den Aufbau von regionalen Vermarktungsnetzwerken), verstanden werden. Ein Beispiel für solchermaßen gestaltete regionale Kreislaufwirtschaftsprozesse ist die Bildung von zwischenbetrieblichen Verwertungsnetzwerken mit regionalem Bezugsraum (regionales Stoff- und Energiestrommanagement)²³, die z. B. im dänischen Kalundborg, in der Steiermark und im Rhein-Neckar-Raum mit Erfolg erprobt wurden [Liesegang et al. 2000, Wietschel 2000].²⁴

Die beschriebenen Modelle einer industriellen Kreislaufwirtschaft sagen prinzipiell noch nichts über das Ausmaß der erzielbaren Emissionsminderung aus. Um einen Quantensprung in Richtung „Null-Emissionen“ zu erreichen, müsste eine annähernd geschlossene Kreislaufwirtschaft angestrebt werden. „Null-Emissionen“ impliziert dabei, dass die auftretenden Stoff- und Energieströme minimiert werden. Eine Minimierung der Stoffströme kann nur gelingen, wenn bei der Produktgestaltung, der Produktion, der Konsumtion sowie bei der Reduktion der Gedanke der „Null-Emissionen“ im Vordergrund steht. Nicht isolierte Einzelmaßnahmen, sondern nur eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen kann dabei zu einer entscheidenden Emissionsreduzierung führen. Gleichzeitig muss der unter der Prämisse „Null-Emissionen“ deutlich reduzierte Energiebedarf einer Kreislaufwirtschaft durch eine solare Energieversorgung, d. h. den Einsatz von Sonnenenergie sowie Wind- und Wasserkraft gedeckt werden.²⁵

7.1.1.2 Produktbezogener Umweltschutz

Steht im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft die Vermeidung von Emissionen und die „Dematerialisierung“ von Stoffströmen im Mittelpunkt der Betrachtung, muss auch die unternehmerische Produktpolitik zwingend auf den ökologischen Produktlebenszyklus (Life-Cycle-Analysis) und die Erfordernisse der Kreislaufwirtschaft ausgerichtet werden. Der sog. produktbezogene Umweltschutz²⁶ betrachtet die vom Produkt ausgehenden Umweltwirkungen längs der vor- und nachgelagerten Wirkungsketten. Da-

²³ Solche und andere Netzwerke werden im Rahmen der „Industriellen Ökologie (industrial ecology)“ auch als „Eco Industrial Parks“ bezeichnet [Erler et al. 2000].

²⁴ Ein entsprechendes Project wird unter dem Namen „Total Environmental Complex TEC“ zur Zeit auch in Kitakyushu (Japan) geplant.

²⁵ siehe dazu das Kapitel über solare Energiewirtschaft.

²⁶ Der Terminus „Produktbezogener Umweltschutz“ wird auch als „Eco Design“ bezeichnet [Erler et al. 2000].

bei existieren vielfältige Ansätze und Prinzipien die zum Teil schon mit Erfolg in der Praxis erprobt wurden²⁷. Bestandteile des produktbezogenen Umweltschutzes sind zum Beispiel:

- Ansätze zur umwelt- und entsorgungsfreundlichen Gestaltung komplexer Produkte wie Werkstoffminimierung, Schadstoffarmut der Werkstoffe, Langlebigkeit, Reparaturfreundlichkeit, modularer Aufbau etc. [Kreibich 1994].
- Ökologische Anforderungen an das Produktdesign (zeitloses, langlebiges aber nicht unattraktives Design)
- Entwicklung unternehmensspezifischer ökologischer Dienstleistungskonzepte bzw. produkt- und nutzungsbezogener Dienstleistungen (z. B. Car-Sharing, Mietkopiergeräte, Contracting, Gemeinschaftsnutzung, Reparaturprogramme für Kleingeräte) [Hirschl et al. 2001, Stahel 1996].
- Auf europäischer Ebene wird über die systematisierende Konzeption einer Integrierten Produktpolitik (IPP) diskutiert, die für Produkte und Dienstleistungen Aspekte des produktbezogenen Umweltschutzes aufgreift [Rubik 2000].

Durch Maßnahmen des produktbezogenen Umweltschutzes können Emissionen deutlich vermindert werden. „Null-Emissionen“ werden jedoch allein durch Maßnahmen des produktbezogenen Umweltschutzes nicht zu erreichen sein. Hirschl et al. untersuchten beispielsweise zwei alternative Nutzungskonzepte aus dem Bereich private Textilwäsche (Waschsalon) und Wintersport (Produktvermietung). Sie kommen dabei zu dem Ergebnis, dass durch die gemeinschaftliche Nutzung von Produkten bei den untersuchten Beispielen Erhöhungen in der Ressourcenproduktivität in einer Größenordnung von ca. 1,5 bis zu einem Faktor 2 erreicht werden können. Produktivitätssprünge in Höhe eines Faktors 4 oder 10 dürften aber nach Auffassung der Autoren kaum zu realisieren sein [Hirschl et al. 2001].

Hemmnisse bei der Realisierung des produktbezogenen Umweltschutzes sind zu sehen in Zielkonflikten mit weiteren Anforderungen an die Produktgestaltung (Langlebigkeit kontra Produktinnovation, Einsatz langlebiger hochwertiger Werkstoffe kontra Wertstoff-Recyclingfähigkeit, Produktverkleinerung kontra Demontagefreundlichkeit). Bei ökologischen Dienstleistungen ist aus Sicht der anbietenden Unternehmen die preisliche Konkurrenzfähigkeit der ökologischen Dienstleistung mit dem Kauf eines Produktes und/oder die Generierung eines Mehrnutzens, der die Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für die Dienstleistung deutlich erhöht, ein wesentlicher Erfolgsfaktor [Behrendt & Pfitzner 1999].

Erschwert wird der Erfolg ökologischer Dienstleistungen aber auch durch die mangelnde Akzeptanz bei den Verbrauchern. Diese wird insbesondere durch emotionale Faktoren (z. B. Ablehnung der Gemeinschaftswaschanlage aus hygienischen Gründen, Vorbehalte gegen eigentumslose Konsumformen

²⁷ Im BMBF-Förderprogramm „Wirtschaftsbezogene Nachhaltigkeit; integrierte Umwelttechnik“ wurden z. B. Möglichkeiten des nachhaltigen Konsums (Produktnutzung) oder des produktbezogenen Umweltschutzes in verschiedenen Branchen analysiert.

wie das Car-Sharing) hervorgerufen. Es wäre daher zu untersuchen, ob die Konsumenten die - im Rahmen einer auf „Null-Emissionen“ ausgerichteten Kreislaufwirtschaft – neu entstehenden Produkte und Dienstleistungen annehmen bzw. inwieweit das Leitbild „Null-Emissionen“ auch Konsumbeschränkungen der Verbraucher erfordert.

7.1.1.2.1 Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)

Die betriebsinternen Produktionsprozesse der Unternehmen einer Kreislaufwirtschaft sollten ebenfalls dem Kreislaufgedanken entsprechend ausgestaltet sein. Möchte man auf das Ziel „Null-Emissionen“ zusteuern, muss ein vollständiger Ersatz von sogenannten End of Pipe-Technologien durch sogenannte produktionsintegrierte Umweltschutztechnologien²⁸ angestrebt werden. Produktionsintegrierte technische Maßnahmen setzen an der Quelle an und vermeiden dort die Entstehung von Emissionen (Luft-, Wasser- und Bodenbelastungen) oder reduzieren sie auf ein Minimum. Dies kann beispielsweise erfolgen durch:

- Betriebsinterne Kreislaufführung von Produktionsprozessen (z. B. abwasserfreie Galvanik)
- Substitution umweltbelastender Prozesse und Prozessschritte durch umweltfreundliche Verfahren (z. B. Einsatz von Pulverlacken)
- Verbesserung der Produktionsabläufe, zum Beispiel durch den Einsatz von Meß-, Steuer- und Regeltechnik
- Nutzung neuer Technologien (z. B. Mikrosensorik, Biotechnologie) [Hansen 1999].

In den vergangenen Jahren konnten nicht zuletzt durch die BMBF-Förderung bereits einige neue integrierte Technologien Erfolge verzeichnen.²⁹ In diesen Fällen sind aus Pionierentwicklungen bereits sogenannte EVABAT-Technologien („economically viable and best available techniques“) geworden. Allerdings bestehen weiter Hemmnisse, die den wirtschaftlichen Durchbruch dieser Technologien auf breiter Basis verhindern:

- Die Vorteilhaftigkeit des neuen Verfahrens wird systematisch unterschätzt. Die Kosten der Abfallentsorgung und die damit ursprünglich in der Produktion anfallenden Reststoffkosten werden den Gemeinkosten und somit nicht verursachergerecht zugeordnet (Notwendigkeit einer Umweltkostenrechnung s. u.)
- Es entstehen hohe Lernkosten bei der Einführung einer neuen Technologie
- Beharrungsvermögen und Abwehrmechanismen bei Herstellern und Nutzern der traditionellen Technologien

²⁸ Der Terminus „Produktionsintegrierter Umweltschutz“ wird auch als „Cleaner Production“ bezeichnet [Erler et al. 2000].

Fördernde und hemmende Faktoren für Diffusionsprozesse umweltorientierter Innovationen herauszuarbeiten ist ein Anliegen der BMBF-Forschungsinitiative zu Nachhaltigkeit und Innovation – Rahmenbedingungen für Innovationen zum nachhaltigen Wirtschaften. Ziel der Forschungsinitiative ist die Integration ökologischer, sozialer und ökonomischer Aspekte in die Innovationsaktivitäten der Wirtschaft. Mit den Forschungsarbeiten zu Politikstrategien, Innovationssystemen, Branchen, Technologien oder Politikinstrumenten soll neues Wissen über notwendige und fördernde Faktoren erarbeitet und damit die Generierung von Innovationen für nachhaltiges Wirtschaften unterstützt werden [GSF 2001].

Bei der Frage der Erreichbarkeit von „Null-Emissionen“ durch Maßnahmen des produktionsintegrierten Umweltschutzes müssen neben den oben genannten Hemmnissen folgende weitere Einschränkungen berücksichtigt werden [Erler et al. 2000]:

- Inwieweit sich einzelne Schadstoffe durch PIUS reduzieren lassen, ist noch nicht bekannt. Genauso wenig sind mögliche positive und/oder negative Wechselwirkungen von PIUS-Maßnahmen mit anderen Methoden in Richtung „Null-Emissionen“ erforscht.
- Durch die Umstellung innerbetrieblicher Prozesse können im allgemeinen nicht alle Abfallströme vermieden werden, die verbleibenden Emissionen können dem Konzept der Nachhaltigkeit bzw. dem „Null-Emissions-Ziel“ noch immer entscheidend widersprechen.
- Quantität und Qualität der Emissionen werden vorrangig hinsichtlich deren Umweltwirkung betrachtet, die Möglichkeit einer externen Verwertung von Abfallstoffen wird demgegenüber vernachlässigt.

7.1.1.2.2 Umweltmanagement / Umweltkostenrechnung / Öko-Controlling

Umweltmanagement, Umweltkostenrechnung und Öko-Controlling sind wichtige Bestandteile einer umweltorientierten Unternehmensführung. Trotz zum Teil beachtlicher ökonomischer und ökologischer Erfolge in den Unternehmen [Gege 1997] muss konstatiert werden, dass der mit dem Einsatz dieser Instrumente verbundene Wunsch nach einem grundsätzlichen Kurswechsel in Richtung Nachhaltigkeit bislang nicht erfüllt wurde [Arnold et al. 2001].

Das Umweltmanagement stellt eine spezifische Komponente des Managements dar, welche darauf ausgerichtet ist, zielorientiert und koordinierend schrittweise im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung ökologisch orientierte Umgestaltungsprozesse im Unternehmen durchzuführen. In Anlehnung an das Qualitätsmanagement haben sich in den vergangenen Jahren zwei Formen von normierten Umweltmanagementsystemen (auf europäischer Ebene EMAS, auf internationaler Ebene DIN ISO 14001) etabliert, die das Umweltmanagement dokumentier- und überprüfbar machen [Steger 2000].

Eine umweltbezogene Kostenrechnung hat zum Ziel, umweltbezogene Kosten richtig zu erfassen und an ihre tatsächlichen Verursacher zu verrechnen. Nur so lassen sich umweltrelevante Stoff- und Ener-

²⁹ Beispielsweise im BMBF-Förderprogramm „Wirtschaftsbezogene Nachhaltigkeit; integrierte Umwelttechnik“

gieströme im Sinne der betrieblichen Zielsetzungen sinnvoll steuern. Voraussetzung dafür ist die mengenmäßige Erfassung der Stoff- und Energieströme im Unternehmen [Letmathe 1999]. Zur Erfassung von betrieblichen Stoff- und Energieströmen wurden in den vergangenen Jahren unterschiedliche Software-Instrumente zum Stoffstrommanagement entwickelt (z. B. UMBERTO vom ifeu-Institut oder HEIDI vom FCT) [Eyerer et al. 1999].

Das Öko-Controlling kann als Subsystem des Controllings bezeichnet werden, welches die Planungs-, Kontroll- und Informationsversorgungsfunktion des Controllings um ökologische Komponenten erweitert und damit auch die Umweltkostenrechnung mit einschließt. Zu den Instrumenten des Öko-Controlling werden u. a. Ökobilanzen, die Produktlinienanalyse und Kennzahlensysteme gezählt³⁰.

Auf der Förderebene wird das Gebiet Umweltmanagement/Öko-Controlling u. a. vom BMBF thematisiert. So setzt der BMBF-Förderschwerpunkt „Integrierter Umweltschutz – Betriebliche Instrumente für nachhaltiges Wirtschaften“ bei den bewährten Umweltschutzinstrumenten wie Umweltmanagementsysteme, Öko-Controlling und Ökobilanzierung an. Die Entwicklung und Anwendung dieser Instrumente soll erweitert und mit Hilfe neuer Potenziale des nachhaltigen Wirtschaftens erschlossen werden. Vor allem sollen die betriebsübergreifenden Fragestellungen, die auch über den ökologischen Bezug hinausgehen, in den Vordergrund gestellt werden wie z. B. das Lieferkettenmanagement (Supply Chain Management). Inhaltlich werden vier Schwerpunkte gesetzt: Informationstechnische Instrumente, Controlling-Instrumente, Planungsinstrumente und Kommunikationsinstrumente. Insgesamt werden 18 Verbundvorhaben mit insgesamt 40 Einzelvorhaben gefördert. Die Verbundvorhaben bündeln Wissen von Wissenschaft und Praxis und beziehen vor allem auch die beteiligten Akteure entlang von bestehenden Wertschöpfungsketten wie Lieferanten, Kunden, Verbände sowie andere Interessensvertreter, Kapitalgeber u. a. die mit den Unternehmen verbunden sind, in das Forschungsgebiet mit ein [Grablowitz et al. 2001]. Im Sinne einer wesentlichen Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes erscheint die Einführung eines betrieblichen Umweltmanagement sowie einer Umweltkostenrechnung, die ökologisch-ökonomische Investitionsvorhaben in den Unternehmen vorbereitet und fundiert, als grundlegend notwendig. Ihre ökologische Wirkung entfalten die genannten Instrumente jedoch erst in Kombination mit anderen ökologieorientierten unternehmerischen Kernprozessen. Sowohl dem Umweltmanagement als auch der Umweltkostenrechnung bzw. dem Öko-Controlling kommt daher allenfalls eine ergänzende und unterstützende Funktion auf dem Weg in Richtung „Null-Emissionen“ zu.

7.1.1.2.3 *Änderung von Unternehmenszielen*

Ökologische Ziele werden von Unternehmen immer dann aus Eigeninteresse verfolgt, wenn damit positive Effekte für das Unternehmen verbunden sind (Kostensparnis, Imagegewinn, Wettbewerbsvorteile etc.) oder wenn – insbesondere bei mittelständischen Unternehmen – eine ökologisch motivierte Unternehmerpersönlichkeit als „Motor“ dahintersteht [Enseling 2001]. Verantwortungsvoller

³⁰ Einen guten Überblick über den Stand der Diskussion gibt UWF 4/01 mit dem Themenschwerpunkt: Leistungsmessung nachhaltigen Wirtschaftens.

Umweltschutz muss Teil der Werthaltung eines Unternehmens sein und von der obersten Hierarchieebene in alle Unternehmensbereiche einwirken. Die Unternehmensphilosophie und die Unternehmenskultur als Ausdruck der gelebten Wertvorstellungen eines Unternehmens beeinflussen das konkrete Zielsystem eines Unternehmens. Sie werden in Deutschland im Rahmen des betriebswirtschaftlichen Teilgebiets der Unternehmensethik analysiert [Enseling 2001].

Zu diskutieren ist in diesem Zusammenhang, ob bzw. in welchem Ausmaß ethische bzw. ökologiebezogene Werte in die Unternehmensführung einfließen müssen und welche Änderung von Unternehmenszielen notwendig werden, damit die Vision „Null-Emissionen“ realisiert werden kann. Folgende Punkte müssten dabei berücksichtigt werden:

- die Stellung des Gewinnprinzips
- das zugrunde liegende Menschenbild („homo oeconomicus“)
- die Aufgaben der Ordnungspolitik (Wo werden moralische Ansprüche an die Unternehmen „verortet“?)
- der globale Wettbewerbszwang, der dazu führt, dass die Unternehmen Standorte wählen, bei denen Umweltauflagen und Steuern minimal sind.

7.1.1.3 Das ZERI-Konzept der United Nations University

Die Forschungsinitiative ZERI wurde 1994 von dem Belgier Gunter Pauli und der UNU (United Nations University) in Tokio gegründet. Zielsetzung von ZERI ist die Entwicklung eines neuen Paradigmas einer nachhaltigen Industrie, dessen explizites Ziel „Null-Emissionen“ (feste, flüssige und gasförmige Emissionen) ist. Der daraus resultierende Paradigmenwechsel soll einen neuen industriellen Standard für das 21. Jahrhundert schaffen [Erler et al. 2000].

Ausgangspunkt für Zero Emissions ist die Erreichung einer maximalen Produktivität der Rohstoffe. Dies kann nur dann erreicht werden, wenn der Wert des Ausgangsstoffes vollständig genutzt, also alles verwertet und keine Entsorgung notwendig wird. Dies entspricht dem Grundgedanken des Konzeptes *Upsizing*, das ebenfalls von Gunter Pauli entwickelt wurde [Pauli 1999]. Das Ziel von *Upsizing* ist es, alle Abfallströme in verkaufbare Produkte umzuwandeln und so eine zusätzliche Wertschöpfung zu ermöglichen. Dadurch soll eine vollständige, sinnvolle und profitable Nutzung aller eingesetzten Rohstoffe ermöglicht werden („total throughput“). Daneben steht auch die Vernetzung von Industriebetrieben („industrial clusters“) in Anlehnung an natürliche, abfallfreie Ökosysteme im Zentrum der Aktivitäten von ZERI [Erler et al. 2000].

Das ZERI-Konzept enthält zunächst betriebswirtschaftliche Aspekte, denn es zielt auf die Maximierung der Ressourcenproduktivität. Die Betonung liegt nicht auf der Reduzierung, sondern der vollständigen Verwertung von Abfallströmen („Zero-waste“). So ist z. B. bei der ZERI-Brauerei in Namibia ein Fischteich vorhanden, der nicht nur zur Reinigung des Brauereiabwassers dient, sondern auch zur Wertschöpfung, da die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe Nahrung für Fische sind, die ihrerseits in Folge mit Gewinn verkauft werden können. Über die betriebswirtschaftlichen Aspekte hinaus ist das

ZERI-Konzept jedoch auch ein volkswirtschaftlicher Ansatz, der zu mehr Umwelt- und Ressourcenschutz und zu mehr Beschäftigung unter Wahrung ökonomischer Interessen führen will.

Zur Erreichung der gesteckten Ziele geht ZERI folgendermaßen vor:

- Initiierung von Projekten zur Erforschung der nötigen Technologien, Systeme und Werkzeuge für Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft.
- Zusammenarbeit mit Politik und Wirtschaft in Pilotprojekten.
- Einrichtung von multidisziplinären Wissens- und Technologiezentren für Zero-Emissions an führenden Universitäten, um den Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaft und Politik zu erleichtern.
- Zusammenarbeit mit Entwicklungsagenturen und Finanzinstituten zur Förderung von lokalen und regionalen Initiativen in allen Industriebranchen auf der ganzen Welt.

7.1.1.3.1 Methodik von ZERI

Um die Zero-Emissions-Pilotprojekte erfolgreich auswählen und gestalten zu können wurde von ZERI eine Methodik entwickelt, die bereits auf über 50 Wirtschaftszweige angewandt wurde und prinzipiell für alle Bereiche Gültigkeit behalten soll. Bestandteile dieser Methodik sind [Kühr & Széll 1997, Erler et al. 2000]:

- *Total Throughput*: Erstellung einer Stoffbilanz, Minimierung von Inputs, Maximierung des Outputs, alle Rohstoffe gehen ins Produkt ein.
- *Output-Input-Modelle*: Klassifizierung aller identifizierten Outputs nicht nach Emissionsparametern, sondern nach deren möglichen Nutzen (Wertstoffgehalt). Aktive Suche nach Industriezweigen, die diese Outputs in roher oder aufbereiteter Form als Einsatzstoffe nutzen könnten. Bewertung dieser Stoffbilanzen nach zusätzlicher Wertschöpfung, dem abzuschätzenden Bedarf an Energie, Kapital, Landfläche sowie Arbeitsplatzschaffung.
- *Industrial Clusters*: Modell der Vernetzung verschiedener Produktionszweige innerhalb eines Industrieparks. Auf Basis der Stoffbilanzen werden die optimale Anzahl und Größe der teilnehmenden Industrien bestimmt.
- *Breakthrough Technologies Identification*: Ist nach dem gegenwärtigen Stand der Technik eine effektive Kopplung von Outputs und Inputs nicht möglich, werden die fehlenden Technologien identifiziert und die Forschung nach sogenannten „Breakthrough Technologies“ forciert. Dies können Technologien zur Aufbereitung von Emissionen ebenso wie neuartige Produktionsprozesse sein.
- *Industrial Policy Design*: Die Bildung von Clustern verändert grundlegende Gesichtspunkte von Industrie und Gesellschaft. Dieser Prozess muß begleitet werden durch politische und gesellschaft-

liche Willensbildung sowie der Schaffung geeigneter gesetzlicher Rahmenbedingungen. Der Prozess erfordert nicht zuletzt eine enge Zusammenarbeit von Politik, Forschung, Industrie und Gesellschaft.

- *The Global Information Economy*: Die Entwicklung des Internets ermöglicht die „online“-Publikation und Dokumentation aller Vorschläge zum Thema „Zero Emissions“.

Viele der bislang durchgeführten ZERI-Projekte fanden in Entwicklungsländern (z. B. Brauereiprojekt in Namibia) statt. Dort wurden durch die Errichtung biogener Systeme Arbeitsplätze für ungelernete Arbeiter und zusätzliche Nahrungs- und Energiequellen geschaffen. Der Erfolg dieser Projekte hängt jedoch von vielen Faktoren ab, die standortspezifisch gegeben sein müssen (Klima, geeignete Tiere und Pflanzen, Vorhandensein von Absatzmärkten für Sekundärprodukte etc.) [Erler et al. 2000]. Bei der Übertragung des Konzeptes auf Industrieländer sind andere Einsatzvoraussetzungen gegeben, die Übertragbarkeit gestaltet sich daher um ein Vielfaches schwieriger. In Deutschland versucht das ICT/IKP/PE bei der Übertragung des ZERI-Konzeptes auf industrielle Systeme nach folgender Methodik vorzugehen [Eyerer et al. 1999]:

7.1.1.3.1.1 *Systemanalytischer und technischer Teil:*

1. Rekursive, integrierte, softwaregestützte System-Analyse von industriellen Herstellungsprozessen während des gesamten Lebenszyklusses (Aspekte: Umwelt, Ökonomie, Beschäftigung, Technik), Funktions-Ansatz
2. Schwachstellen-Analyse und Optimierung durch:
 - Suche nach neuen Edukten³¹ und Produkten
 - Identifikation des Bedarfs an und Entwicklung von Durchbruchtechnologien
 - Internes und externes Material- und Energieflussmanagement (Industrie-Netzwerk)
3. Planung und Realisierung von neuen Öko-Industriellen Komplexen (optional)
4. Erweiterung/Anbindung zu Öko-Städten/Regionen (optional)

7.1.1.3.1.2 *Politische Rahmenbedingungen, Gesellschaft, Netzwerk:*

5. Abstimmung gesetzlicher Rahmenbedingungen
6. Kommunikation und Information zwischen allen Partnern

³¹ Bei einer chemischen Reaktion wandeln sich zwei oder mehr sog. Edukte in ein oder mehrere Produkte um, wobei die chemischen Eigenschaften der Produkte sich von denen der Edukte unterscheiden [www.chemieplanet.de]

7.1.1.3.2 Bewertung von ZERI

Das ZERI-Konzept beinhaltet einige Elemente der oben vorgestellten Ansätze der ökologisch orientierten Betriebswirtschaftslehre, die zeitlich vor dem ZERI-Konzept entwickelt wurden. Dies trifft insbesondere auf das Prinzip der Kreislaufwirtschaft sowie den produktionsintegrierten Umweltschutz zu. Das ZERI-Konzept kombiniert Elemente dieser Ansätze zu einem integrierten Gesamtkonzept, das in der Zielsetzung allerdings wesentlich weiter geht und auch politische und soziale Aspekte beinhaltet.

Während im Rahmen von regionalen Kreislaufwirtschaftskonzepten, wie z. B. den Stoffstrom-Managementnetzwerken stets nur eine möglichst weitgehende Reduktion der Abfallströme aus einem Gesamtsystem durch interne Vernetzung angestrebt wird, ist das Ziel bei ZERI wesentlich höher gesteckt: Es sollen keine festen, flüssigen oder gasförmigen Emissionen entstehen. Dies impliziert jedoch, dass durch die Umbildung eines bestehenden Industrieparks kaum jemals „Null-Emissionen“ erreicht werden können. Im dänischen Kalundborg wurde z. B. keiner der existierenden Prozesse in Frage gestellt, sondern lediglich nach Verwertungsmöglichkeiten für die gegebenen Abfallströme gesucht. Um „Null-Emissionen“ realisieren zu können, ist hingegen auch ein vollständig neuer Prozessablauf ins Auge zu fassen, was bei neu zu errichtenden Anlagen wesentlich leichter durchführbar ist als bei bestehenden Industrieparks [Erler et al. 2000].

Am ZERI-Konzept können folgende Kritikpunkte festgemacht werden:

- *Vernachlässigung des Energieaspektes:* In den Stoffbilanzen werden Energieströme nicht separat erfaßt, die Energieeffizienz von Prozessen wird also gegenüber der Materialeffizienz vernachlässigt. Dies gilt in erster Linie für den ursprünglichen ZERI-Ansatz, nicht jedoch für die deutsche Adaption durch ICT/IKP/PE (s. o.), bei der Energieflüsse ebenfalls untersucht werden. Von außen zugeführte elektrische Energie und die mit der Produktion verbundenen Emissionen werden im internationalen ZERI-Ansatz mit dem Argument nicht berücksichtigt, dass man auf die Art der externen Energieumwandlung keinen Einfluss hat. Erwünscht ist eine Deckung des Energiebedarfs durch erneuerbare Energiequellen, in optimaler Weise durch Sonnenenergie [Erler et al. 2000].
- *Fehlende Einbeziehung des Produktlebenszyklusses und der Konsumentenseite:* bisher fehlende Betrachtung des Produktes, da bewußt die Systemgrenzen um die Produktion gelegt werden, die unter Umständen auch aus mehreren Betrieben, den sogenannten Clustern bestehen kann. Die Produktion soll zwar ohne Emissionen erfolgen, man hat jedoch keinen Einfluss auf die Herkunft aller eingehenden Stoffströme und das Ziel aller ausgehenden Produkte. Aus volkswirtschaftlicher und ökologischer Perspektive ist jedoch eine Einbeziehung der Energieerzeugung, der Rohstoffgewinnung und des Produktlebenszyklusses notwendig. [Erler et al. 2000]. Insgesamt ist das ZERI-Konzept stark auf die Angebotsseite ausgerichtet. Interessen und mögliche Emissionsminderungsstrategien auf der Konsumentenseite werden nicht betrachtet.

7.1.2 Die „Null-Emissions-Stadt“ und ihr Bezug zur Kreislaufwirtschaft

Im Mittelpunkt dieses Abschnitts steht daher die Frage, welche der oben dargestellten Konzepte im Rahmen eines Forschungsprogramms „Null-Emissions-Stadt“ von Bedeutung sein könnten. Viele der im vorigen Teilkapitel behandelten Ansätze sind bereits Gegenstand der Förderung durch das BMBF oder anderer Fördermittelgeber.³² Es erscheint daher nicht sinnvoll, dass ein Forschungsprogramm „Null-Emissions-Stadt“ auch die gesamte „Bandbreite“ betriebswirtschaftlich-ökologischer Forschung zum Themenfeld „Industrie und Gewerbe“ mit einschließt.

Der Zusatz „Stadt“ und die bereits existierenden Forschungsprogramme machen es vielmehr notwendig, spezielle Bereiche zu identifizieren, die über den oben genannten Bezug der Unternehmen zur Stadt hinaus stärker mit städtischen Handlungsfeldern verwoben sind. Dies trifft beispielsweise für industrielle Produktionsprozesse sowie unternehmensinterne Abläufe und Organisationsprozesse nicht zu. Auch Forschungsfragen des produktionsintegrierten Umweltschutzes, des Umweltmanagements bzw. der Umweltkostenrechnung sowie teilweise des produktbezogenen Umweltschutzes können im Rahmen eines Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“ nur mittelbarer Gegenstand der Betrachtung sein. Eine Sonderstellung nimmt die Frage der Unternehmensziele ein. Bei der Konzeption einer „Null-Emissions-Stadt“ sind derartige Fragen auf einer übergeordneten Ebene in Verbindung mit Fragen der politischen Steuerung zu diskutieren.

Primäre Relevanz für die zu betrachtende Thematik kommt allerdings dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft zu. Auf Grund des expliziten Bezugs zur Stadt bzw. Stadtregion sind für eine „Null-Emissions-Stadt“ hierbei insbesondere die verschiedenen Ansätze zur Regionalisierung der Kreislaufwirtschaft zu betrachten.

7.1.2.1 Regionale Kreislaufwirtschaft

Auf Grund der oben bereits genannten Begrenztheit regionaler Rohstoffvorkommen und der notwendigen Austauschprozesse der Stadt und ihrer national und international agierenden Unternehmen kann eine 100 % lokale bzw. regionale Kreislaufwirtschaft nicht als Leitbild einer „Null-Emissions-Stadt“ fungieren. Allerdings sollten innerhalb einer „Null-Emissions-Stadt“ die bestehenden Potenziale an lokal und regional organisierten Kreislaufwirtschaftsprozessen möglichst weitgehend ausgeschöpft werden. Die allgemeine Zielhierarchie der Kreislaufwirtschaft (Vermeiden - Verwerten - Beseitigen) bzw. die Minimierung der Stoff- und Energieströme, gilt es dabei weiterhin zu beachten.

In den vergangenen Jahren hat es zu unterschiedlichen Aspekten der Regionalisierung nachhaltigen Wirtschaftens mehrere Pilotprojekte gegeben. Im BMBF-Forschungsprogramm „Regionale Ansätze Nachhaltigen Wirtschaftens“ wurden beispielsweise insgesamt 13 Projekte aus den Bereichen

- Agrarwirtschaft und regionale Vermarktung

³² siehe dazu das vorangegangene Teilkapitel.

- Regionales Stoffstrommanagement und
- Regionale Nachhaltigkeit und Problemlösungsansätze in spezifischen Bedürfnisfeldern

gefördert [GSF 1999]. Im Rahmen dieser Projekte wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie unterschiedliche Stoff- und Energieströme stärker regional organisiert werden können und welche Erfolgsvoraussetzungen dazu gegeben sein müssen.

Folgt man dem ZERI-Konzept des ICT so ist für eine „Null-Emissions-Stadt“ analog zu einem „industrial cluster“ vorzugehen. Die Systemgrenze wird dabei erweitert und um die Stadt bzw. die Region gelegt. Im Zentrum der Forschung zu einer „Null-Emissions-Stadt“ würde folglich zunächst eine software-gestützte Stoffstromanalyse der Stadt stehen [Eyerer et al. 1999]. Es ist aber zu bedenken, dass in der Vergangenheit Versuche, komplexe städtische Prozesse und Strukturen in Computermodellen abzubilden, häufig zu schwer überschaubaren Ansätzen ohne direkt greifbares Ergebnis geführt haben. Die enorme Größe und Komplexität selbst einer kleinen Stadt erschwert die Datensammlung und Systemmodellierung enorm. Eine solche Analyse wäre in jedem Fall mit erheblichem Aufwand verbunden. Das ICT vermutet, dass hierbei modifizierte Wege der Systemanalyse und –optimierung beschritten werden müssen, ohne diese jedoch näher zu beschreiben [Eyerer et al. 1999]. Darüber hinaus können schwerlich alle zur Thematik gehörenden Fragen, insbesondere zum Beispiel akteursspezifische Problemstellungen, in quantitativen Modellen abgebildet werden. Computergestützte Modelle können demnach wichtige Beiträge zum Verständnis der „Null-Emissions-Stadt“ leisten, eignen sich aber nicht als alleiniger Ausgangspunkt für einen umfassenden Forschungsansatz.

Die genannten Beispiele (BMBF-Projekte und ZERI-Konzept) verdeutlichen, dass es erforderlich ist, bei der Konzeption eines möglichen Förderprogrammes zur „Null-Emissions-Stadt“ zwischen Stoffstromanalysen und Untersuchungen, die Organisationsformen, Erfolgsfaktoren und Hemmnisse von regionalen Kreislaufwirtschaftsprozessen thematisieren, zu unterscheiden. Im Rahmen möglicher Stoffstromanalysen erscheint es auf Grund der Komplexität der städtischen Stoffströme notwendig, sich auf „wesentliche“ Stoffströme zu konzentrieren, die stärker regional und lokal organisiert werden können.

7.1.2.2 Wesentliche Stoffströme der Stadt

Als Stoffströme die für eine Stadt - unabhängig von spezifischen Besonderheiten - „wesentlich“ erscheinen und in denen die Prozessketten ganz oder in Teilbereichen regional organisiert werden können, bieten sich insbesondere die Bereiche „Bauen und Wohnen“, „Nahrungsmittel“ und „Wasser“ an.³³ In allen drei Bereichen hat es in der Vergangenheit eine Reihe von Forschungsprojekten gegeben, die sich insbesondere mit Fragen der Nachhaltigkeit beschäftigt haben (s. u.). Im Rahmen eines Förderprogramms „Null-Emissions-Stadt“ gilt es, diese Arbeiten im Hinblick auf die Schließung regionaler Prozessketten und das Ziel „Null-Emissionen“ weiterzuentwickeln.

7.1.2.2.1 Bauen und Wohnen

Im Bereich „Bauen und Wohnen“ fallen große Teile der städtischen Stoffströme an. Bauschutt, Bodenaushub, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle machten im Jahr 1997 57 % des Gesamtabfallaufkommens von 387 Mio. t in Deutschland aus [UBA 2001]. Emissionen werden dabei entlang der gesamten Prozesskette des Stoffstroms „Bauen und Wohnen“ induziert: Bei der Vorstufen-Energiebereitstellung, der Baustoffherstellung, beim Bau und der Erneuerung, bei der Nutzung und der Entsorgung bzw. dem Recycling. Durch die vergleichsweise hohe durchschnittliche Lebenserwartung von Bauten und Bauteilen werden die heute verbauten Stoffe erst mit einer Verzögerung von 50 bis 100 Jahren als Abrissmaterialien und potenzieller Müll anfallen [ifib-Projektblatt]. Die in Deutschland in Gebäuden gespeicherte Materialmenge wird vom ifib auf 10 Mrd. Tonnen geschätzt. Sie wird bis zum Jahr 2010 auf ca. 11 Mrd. t anwachsen [Enquete 1998].

Mengenmäßig haben der Bodenaushub (128 Mio. t für 1998) und der Bauschutt (58,5 Mio. t für 1998) den größten Anteil am Bauabfallaufkommen. Von den 58,5 Mio. t Bauschutt wurden 1998 immerhin 41,5 Mio. t dem Recycling zugeführt, das entspricht einer Recycling-Quote von 70,9 % [vorläufige Zahlen des Statistischen Bundesamtes]. Bestandteile des Bauschutts sind überwiegend klassische Baustoffe wie Stein, Kies, Sand, Ziegel, Zement, Stahl, Holz, Glas etc. aber auch in geringen Mengen Dämmstoffe, Bauhilfsstoffe, Beschichtungsstoffe, Klebstoffe usw. Gerade diese in geringeren Mengen verwendeten Materialien können sich langfristig als Problemstoffe erweisen, d. h. entweder bei der Herstellung bzw. Gewinnung der Baustoffe, beim Einbau bzw. der Nutzung bzw. bei Sanierung, Abriß, Recycling und Entsorgung technische, ökologische oder medizinische Probleme bereiten [Enquete 1998].

Bestehende Forschungsarbeiten zum Stoffstrom „Bauen und Wohnen“ sind in der Regel als Stoffstrom- oder Lebenszyklusanalysen angelegt [Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen von ITAS und ifib, „Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung“ und „Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Schleswig-Holstein“ vom Öko-Institut]. Diese Arbeiten bedienen sich teilweise softwaregestützter Stoffstrommodelle, um verschiedene Szenarien für die Entwicklung des Bedarfs bestimmter Baustoffe zu untersuchen.

³³ Dies gilt für die vorliegenden Untersuchungen und wahrscheinlich auch für ein theoretisch breit angelegtes Forschungsprogramm

Die stärkere regionale Ausrichtung des Stoffstroms „Bauen und Wohnen“ betrifft hauptsächlich die Vorstufen-Energiebereitstellung, die Baustoffherstellung und das Recycling bzw. die Entsorgung. Diese Prozesse sollten stärker regional bzw. lokal am Ort des Baus und der Nutzung organisiert werden. Ein Beispiel wäre die Herstellung von Holzfenstern: Holz aus regionalen Forsten wird unter Verzicht auf chemische Holzschutzbehandlung für die Fensterherstellung und den anschließenden Einbau in städtischen Gebäuden benutzt, nach Ende der Lebensdauer der Fensterrahmen werden diese als schadstofffreies Altholz in der regionalen Spanplattenproduktion oder in der Möbelherstellung weiterverwendet.

Das Ziel „Null-Emissionen“ impliziert darüber hinaus die weitgehende Vermeidung von Problemstoffen im Neubau sowie bei der Erneuerung (z. B. Arsen, Asbest, Cadmium, Chrom etc.) und die Verwendung ökologischer Baustoffe aus regional nachwachsenden Rohstoffen (Holz, Hanf, Flachs etc.). Eine vom BMBF geförderte Untersuchung zur „Maximalen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Förderung regionaler Stoffkreisläufe: Möglichkeiten und Hemmnisse im Bauwesen“ ergab, dass Holz der mit Abstand wichtigste nachwachsende Rohstoff ist. Fasern wie Hanf, Flachs und Weizenstroh spielen hauptsächlich im Dämmbereich eine Rolle, Öle wie z. B. Leinöl finden in Anstrichen, Farben und Linoleum-Böden, Stärke/Zucker in Klebstoffen Verwendung. Bei der Analyse der Einsatzpotenziale für nachwachsende Rohstoffe im Baubereich wurden folgende Ebenen mit unterschiedlichen Hemmfaktoren identifiziert [www.inaro.de/bauseiten/BMBF/Ergebnisse]:

- Land- und Forstwirtschaft (Qualitätskonstanz und Homogenität eines Naturproduktes)
- Rohstoffaufbereitung (z. T. neue technische Entwicklungen notwendig)
- Baustoffproduktion (Diskrepanz zwischen der typischen Unternehmensgröße der Anbieter und der teuren Zulassungswege, technische Eigenschaften wie Brandverhalten, Diskrepanz zwischen Mess- und Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit)
- Baustoffhandel (zu kleiner Markt, Preis)
- Baurecht (Gewährleistung, Produkthaftung)
- Baufirmen/Handwerk (Wissensdefizite über Produkteigenschaften, fehlende Markttransparenz)
- Architektur und Bauherrschaft (zur Verfügung stehende Informationen, Image, Preis)
- Gebäudenutzung (Pflege/Instandhaltung, Eigentümer/Mieter)
- Gebäuderückbau (keine Internalisierung der Entsorgungskosten, fehlende Aufklärung der Bauherren und Architekten hinsichtlich der nach heutigem Kenntnisstand auftretenden negativen Effekte und Kosten bei der Entsorgung von Baumaterialien)

Forschungsbedarf bezüglich des Stoffstroms „Bauen und Wohnen“ als Bestandteil eines Forschungsprogramms „Null-Emissions-Stadt“ ist zu sehen in baustoffbezogenen Stoffstromanalysen für bestimmte Regionen und in Untersuchungen wie oben genannte Hemmnisse abgebaut werden können.

7.1.2.2.2 Nahrungsmittel

Die Versorgung einer Stadt-Region mit Nahrungsmitteln erfolgt bisher durch Importe und durch eigene Produktion. Auf den für die Nahrungsmittelversorgung benötigten landwirtschaftlichen Flächen (in den Gebieten aus denen importiert wird und in der Stadt-Region) wird Biomasse von Pflanzen unter Sonnenlicht aus Wasser und Kohlendioxid bei Abgabe von Sauerstoff aufgebaut. Die aufgebaute Biomasse wird zum Teil verfüttert und gelangt in Form pflanzlicher oder tierischer Nahrungsmittel in den Konsum. Die Nahrungsmittel werden im menschlichen Organismus verbrannt oder als organische Abfälle in der Landwirtschaft verwertet [Müller et al. 1998]. Der städtische Stoffstrom „Nahrungsmittel“ ist dabei in jedem seiner Teilbereiche (Anbau/Tierhaltung, Weiterverarbeitung, Transport, Konsum und Entsorgung) mit Emissionen unterschiedlicher Art (Dünge- und Spritzmitteleinsatz, CO₂-Emissionen, Biomüll, Abwasser etc.) verbunden.

Ein unter dem Gesichtspunkt „Null-Emissionen“ stehender regionaler Stoffkreislauf für Nahrungsmittel beginnt bei der ökologischen Erzeugung bestimmter Nahrungsmittel in der Stadt-Region („Öko-Landbau“), führt über die Verarbeitung und den Konsum in der Stadt und endet damit, dass der aus dem Verarbeitungs- und Zubereitungsprozess entstandene Müll als Bioabfall kompostiert und der aus dem Abwasser „gewonnene“ Klärschlamm (Fäkalien, Urin) als Düngemittel bei der Nahrungsproduktion eingesetzt oder verbrannt wird.

Eine langfristige Zielsetzung für eine „Null-Emissions-Stadt“ könnte z. B. sein, dass sich eine Region überwiegend mit Nahrungsmitteln aus eigener Produktion versorgen kann. Die energiebedingten Emissionen bei Anbau, Verarbeitung, Transport, (Tief-)Kühlung, Konsum und Entsorgung bzw. Wiederaufbringung auf die Felder müssten in einer „Null-Emissions-Stadt“ reduziert und durch eine solare Energieversorgung bereitgestellt werden.

Praktizierte Ansätze für die zumindest teilweise Schließung regionaler Prozessketten für Nahrungsmittel gibt es einige, trotzdem wird dadurch nur ein geringer Anteil an der Lebensmittelversorgung der Ballungsräume abgedeckt. Bestehende Forschungsprojekte behandeln neben Fragen der Produktion auch insbesondere Fragen der Vermarktung und des Vertriebs von regional erzeugten, ökologischen Nahrungsmitteln (Direktvertrieb, Erzeuger-Verbraucher-Gemeinschaften, Naturkost-Supermarkt etc.) [GSF 1999].

Bei einer vergleichenden Analyse unterschiedlicher Projekte zur Regionalen Ökonomie wurden für den Bereich der Landwirtschaft folgende Hemmnisse einer stärkeren regionalen Ausgestaltung des Stoffstroms „Nahrungsmittel“ hervorgehoben [Stransfeld 1999]:

- Handelsketten verlangen eine kontinuierliche Versorgung in großen Stückzahlen.
- Vom Konsumenten gewünschte Vielfalt bzw. ganzjährige Verfügbarkeit bestimmter Nahrungsmittel (z. B. bestimmte Obst- und Gemüsesorten).
- Höherer Preis (solange die Preise konventionell erzeugter Nahrungsmittel nicht die „ökologische Wahrheit“ sagen).
- Hoher Anteil industriell aufbereiteter Lebensmittel am Absatz.

- Entstandene industrielle Verwertungsstrukturen stehen einer eigenständig organisierten regionalen Erzeugung und Verwertung im Weg.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass bei dem gegenwärtigen hohen Fleischkonsum die Nachfrage nicht durch ein regionales Angebot gedeckt wird. Hierzu wären auch Änderungen im Konsumverhalten notwendig. Ein Selbstversorgungsgrad von 80 % ist für eine in der Schweiz untersuchte Beispielregion („Kreuzung Schweizer Mittelland“) nur bei 90 %-iger vegetarischer Ernährung der Bevölkerung möglich [Müller et al. 1998]. Im Rahmen eines Forschungsprogrammes zu einer „Null-Emissions-Stadt“ besteht die Notwendigkeit zunächst die Höhe des erforderlichen Selbstversorgungsgrades zu bestimmen, bevor mit konkreten Umsetzungsprogrammen begonnen wird. Der Selbstversorgungsgrad kann dabei in Abhängigkeit der gegebenen Voraussetzungen von Region zu Region unterschiedlich ausfallen.

7.1.2.2.3 Wasser

Auch die Bereiche entlang des städtischen Stoffstroms Wasser, d. h. die Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung und Nutzung von Trink- und Brauchwasser sowie die Rückführung und Reinigung von Abwässern sind derzeit weit vom Leitbild „Null-Emissionen“ entfernt. Vielmehr funktionieren Städte bislang als „Durchflussreaktoren“, d. h. Wasser und Abwasser werden aus dem Naturhaushalt entnommen und in einem Wasserinfrastruktursystem (Wasserverteilungs- und Abwassernetz) durch die Stadt geführt und wieder in den Naturhaushalt geleitet [Schramm 1997].

Wasser ist dabei der mengenmäßig wichtigste städtische Stoffstrom. Der durchschnittliche Haushaltswasserverbrauch beträgt nach Angaben des Bundesverbandes der Gas- und Wasserwirtschaft in Deutschland pro Einwohner 128 Liter Wasser pro Tag [www.bgw.de].

Unabhängig vom Verwendungszweck erfolgt die Versorgung einer Stadt mit Wasser in Trinkwasserqualität. Dies hat vor allem ökonomische Gründe, denn eine differenzierte Versorgung mit unterschiedlichen Wasserqualitäten würde die Leitungslängen aus zentralen Quellen stark erhöhen. Darüber hinaus müsste auch die Haustechnik angepasst werden [Henseler et al. 1998].

Ökologische Probleme entstehen, wenn auf Grund steigenden Wasserbedarfs die Grundwasserentnahme die Größenordnung seiner Erneuerung überschreitet („Wasserimporte“ werden notwendig oder der Grundwasserspiegel muss abgesenkt werden), wenn die zunehmende Verschlechterung der Grundwasserqualität die Versorgungssicherheit mit Trinkwasser gefährdet (z. B. durch Nitrate aus der Landwirtschaft) oder wenn industrielles Abwasser stark mit Schadstoffen belastet ist und dadurch Oberflächengewässer verunreinigt werden [Henseler et al. 1998].

Für eine „Null-Emissions-Stadt“ könnten in Anbetracht der genannten Probleme folgende Forderungen aufgestellt werden:

1. Der Wasserbedarf muss zu 100 % durch regionseigenes Grund- und Quellwasser gedeckt werden.
2. Die Grundwasserentnahme darf maximal die Höhe der Erneuerung erreichen.
3. Der Schadstoffeintrag in Oberflächengewässer und ins Grundwasser muss weitgehend vermieden werden.

Sieht man zunächst von aufwendigen Änderungen der Wasserinfrastruktur ab, besteht ein erster Schritt in Richtung „Null-Emissionen“ darin, bestehende Sparpotenziale beim Wasserverbrauch der Haushalte bzw. von Industrie und Gewerbe zu nutzen. Diese Sparpotenziale werden auf ca. 30 % des heutigen Wasserbedarfs geschätzt. Sie bestehen in der Anwendung bereits heute bekannter technologischer Innovationen ohne Komforteinbuße (z. B. Sprühdusche, 6-l-WC-Spülung) [Henseler et al. 1998].

Gelingt es nicht, das Sparpotenzial zu aktivieren bzw. reichen die getroffenen Maßnahmen nicht aus, um die ersten beiden oben genannten Forderungen zu erfüllen, muss über weitergehende Maßnahmen nachgedacht werden. In diesem Zusammenhang wird die Implementierung einer Kreislaufführung des Wassers in der Stadt diskutiert. Dabei werden zwei Ansätze unterschieden:

1. Einheitlicher Gebrauchswasserkreislauf

Ein einheitlicher Gebrauchswasserkreislauf führt zu einer entscheidenden Abänderung der städtischen Wasserinfrastruktur. Der Kreislauf zwischen Abwasser und Rohwasser für die Wasserversorgung soll in diesen Kreislaufmodellen regional mit technischen Mitteln tendenziell geschlossen werden [Dorau 1992] [Soeder 1996]. Dazu ist es notwendig, dass die sich auf sich konzentrierenden Schadstoffe stadintern mit nachsorgenden Umwelttechniken aus dem Recyclingwasser entfernt werden. Die bisher entwickelten einheitlichen Kreislaufmodelle sind rein klärtechnisch orientiert. Die Vermeidung stofflicher Einträge ins Wasser während der Nutzungsphase wird nicht berücksichtigt. Für die Wasseraufbereitung müssten daher energie- und kapitalintensive Verfahren einer nachsorgenden Umwelttechnik verwendet werden. Fraglich ist, ob es mit vertretbarem Aufwand gelingen kann, einheitliche Kreislaufführungen zu verwirklichen, die auch ökologisch und ressourcenökonomisch relevante Stoffkreisläufe berücksichtigen (Einsatz von Klärschlamm als Düngemittel, Auftrennen von Schadstoffen im Recyclingwasser) [Schramm 1997].

2. Differenzierte Kreislaufmodelle

Die derzeit diskutierten differenzierten Kreislaufmodelle zielen auf eine technische, soziale bzw. kleinräumige Differenzierung im Umgang mit Wasser. Erreicht werden soll dies durch die Bündelung mehrerer Einzelmaßnahmen, wie z. B. Mehrfachnutzung von Wasser (innerhäusliches Grauwasser, Kaskadennutzung), naturnahe Regenwasserbewirtschaftung, differenzierte (semi-)zentrale Behandlung von spezifischen Abwässern aus Haushalten und Gewerben und Strategien der rationellen Wasserverwendung (insbesondere die Nutzung lokaler Vorkommen für Brauchwasserzwecke).

Hinsichtlich der Menge einzusetzender Baumaterialien, die für den Aufbau einer zweiten Infrastruktur (Rohrleitungen, aber auch Speicher-, Pump- und Behandlungsanlagen) benötigt werden, sind beide Optionen zur Kreislaufführung aufwendiger als die herkömmlichen Verfahrensweisen. Im Gegensatz zu einheitlichen Kreislaufmodellen wird differenzierten Kreislaufmodellen jedoch prinzipiell die Eignung zugesprochen, sowohl zu einer Reduktion der Stoffumsätze und so zu einem optimierten Abwassermanagement zu kommen, als auch kleinräumige Verbesserungen der Stadtökologie in weiten Bereichen der Stadt zu erzielen. Allerdings erfordert der Aufbau und Betrieb differenzierender Kreisläufe

eine Beteiligung der Haushalte und der übrigen Akteure. Diese Maßnahmen sind ungewohnt und vor allem in der Phase der Implementierung für die Kommunalpolitik aufwendig [Schramm 1997].³⁴

Im Gegensatz zu den einheitlichen Kreislaufmodellen kann mit differenzierten Kreislaufmodellen mit der Schadstoffvermeidung auch das dritte der oben genannten „Null-Emissions“-Ziele erreicht werden. Denn Maßnahmen der innerhäuslichen Kreislaufführung (von Grauwasser) und der innerbetriebliche Kreislaufführung (abwasserfreie Galvanik siehe PIUS) sind hierin explizit enthalten. Durch den Bezug zu den Akteuren (Kommunalpolitik, Wasserwirtschaft, Nutzer) sind sie auch im Hinblick auf bestehende Schnittstellen interessant (z. B. Verhaltensänderungen des Einzelnen, veränderte Organisationsformen der regionalen und kommunalen Wasserwirtschaft). Der Aufbau einer dezentralen Wasserversorgung muss dabei als langfristiges Ziel gelten, das nur schrittweise verwirklicht werden kann [Henseler et al. 1998].

7.1.2.3 Schnittstellen zwischen Produktion, Konsum und kommunaler Verwaltung

Eine ausschließliche Konzentration auf die „wesentlichen“ Stoffströme der Stadt erscheint auf Grund der Vielfalt der unterschiedlichen regionalen Voraussetzungen und der Unterschiedlichkeit der Potenziale einer regionalen Kreislaufwirtschaft für die Konzeption einer „Null-Emissions-Stadt“ nicht ausreichend zu sein. Es ist darüber hinaus wichtig, Schnittstellen zwischen emissionsrelevanten betrieblichen Prozessen und der „Stadt“ zu erkennen und hierzu neue Konzepte zu erarbeiten bzw. bestehende Konzepte weiterzuentwickeln.

Solche Schnittstellen sind vor allem in der Beziehung zwischen Produktion - Konsum - Reduktion und kommunalem Management zu sehen. Stadtspezifische Besonderheiten (Stoffströme, Akteure, Netzwerke, Kooperationen etc.) können hierbei berücksichtigt werden. Im Rahmen eines Forschungsprogrammes „Null-Emissions-Stadt“ gilt es, an diesen Schnittstellen akteursbezogene Projekte zu initiieren. Hier wären beispielsweise zu nennen:

- Verschiedene Formen von innovativen Anbieter-Nutzer-Strategien. Hier wäre u. a. von Interesse, wie das Produktdesign, die Produktgestaltung und die Produktvermarktung bei regionalen Produkten und Dienstleistungen aussehen muss, um deren Akzeptanz bei den Konsumenten zu erhöhen. Sollen Stoffströme minimiert werden, wie das bei der Konzeption einer „Null-Emissions-Stadt“ der Fall ist, muss der Vermeidung bzw. der Dematerialisierung verstärkte Beachtung geschenkt werden. In diesem Zusammenhang sind z. B. Reparaturnetzwerke, Mietsysteme oder Tauschringe zu erwähnen.
- Untersuchung der Auswirkungen innovativer Logistik- und Transportsysteme auf die Standortwahl der Unternehmen. Die unternehmerische Standortwahl beeinflusst Transport- und Arbeitswege in-

³⁴ Ein mögliches wasserpolitisches Leitbild für eine nachhaltige Stadtentwicklung insbesondere für „Aufbau und Vernetzung differenzierter Kreisläufe“ wurde basierend auf den Ergebnissen des BMBF-Forschungsverbundvorhabens „Wasserkreislauf und urban-ökologische Entwicklung“ entwickelt und mit geeigneten kommunalpolitischen Handlungsansätzen belegt. [www.difu.de/stadtoekologie/projekte].

nerhalb einer „Null-Emissions-Stadt“. Die Entwicklung innovativer Logistik- und Transportsysteme wird sich wesentlich an den Bedürfnissen der Unternehmen einer Kreislaufwirtschaft ausrichten müssen. Beim Aufbau einer kreislaufwirtschaftsgerechten Logistik für industrielle und gewerbliche Produkte und Redukte können auch Städte unmittelbar beteiligt sein, z. B. durch das Bereitstellen von Sammelsystemen. Dabei sind auch neue Vertriebsformen, die durch den technischen Fortschritt der Informationstechnologie entstehen mit zu berücksichtigen („e-business“).

- Schaffung von Dialogstrukturen zwischen den Akteuren der Stadt durch Information/Kommunikation/Moderation. Beispiele hierfür wären die Kooperation zwischen Unternehmen und städtischen Behörden bei der Implementierung von betrieblichen Umweltmanagementsystemen (Durchführung von Workshops, evtl. Erleichterung bei behördlichen Überwachungspflichten etc.) und die Mitwirkung der Kommune beim Aufbau von regionalen Verwertungsnetzwerken. Im Rhein-Neckar-Raum war nicht nur die Kooperation von produzierenden Unternehmen – moderiert durch ein wissenschaftliches Institut – ein wesentlicher Erfolgsfaktor, sondern auch die Beteiligung der Kommune (in diesem Fall der Stadt Heidelberg) beim Auf- und Ausbau einer zentralen Informationsdrehscheibe [Sterr 2000].
- Beteiligung der Stadt an der an der Förderung und dem Aufbau von Strukturen, die übergreifende Kreisläufe unterstützen (z. B. Organisation von Rücknahmepfaden), auch wenn der Kreis nicht regional geschlossen werden kann. Auch ein Verbund von Kommunen über die Region hinaus ist in diesem Zusammenhang denkbar.
- Förderung und Unterstützung der Ansiedlung von „Null-Emissions-Fabriken“ durch die Kommune, unabhängig von der Tatsache, ob sich „Null-Emissionen“ primär auf energetische oder stoffliche Emissionen bezieht.
- Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für das Zusammenführen von Wohnen und Arbeiten in beispielhaften Projekten. Untersucht werden sollte hierbei, inwieweit bei der Neuentstehung von industriellen (oder Dienstleistungskomplexen) Komplexen, Wohnen und Arbeiten unter der Prämisse „Null-Emissionen“ integriert werden können („Null-Emissions-Parks“).

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Schnittstellen, deren Untersuchung diskutiert werden könnte:

- Unternehmensgröße und –art: Welche Strukturen haben Unternehmen der „Null-Emissions-Stadt“ (Global Players, KMU)? In welchen Branchen sind diese Unternehmen tätig (Dienstleistungsunter-

nehmen, Gewerbe, New Economy etc.)? Welche Auswirkungen auf die Umwelt sind davon zu erwarten?

- Arbeitsplatzeffekte: Wo fallen Arbeitsplätze weg, wo entstehen neue Arbeitsplätze in der „Null-Emissions-Stadt“ (z. B. in den Bereichen „Erneuerbare Energien“ und „Ökologisches Bauen“)?
- Politische Rahmenbedingungen: Welche staatlichen, marktlichen und kooperativen Steuerungsmechanismen können die Entwicklung zu einer „Null-Emissions-Stadt“ unterstützen? Wie müssen geeignete kommunale Steuerungsmechanismen ausgestaltet sein (Bereitstellung von Flächen, Steuern, kommunale Maßnahmen zur Vermeidung des Abfallaufkommens etc.)?

7.1.3 Zusammenfassung und Fazit

Auf Grund der Begrenztheit regionaler Rohstoffvorkommen und der notwendigen Austauschprozesse der Stadt und ihrer national und international agierenden Unternehmen kann eine 100 % lokale bzw. regionale Kreislaufwirtschaft nicht als Leitbild einer „Null-Emissions-Stadt“ fungieren. Allerdings sollten innerhalb einer „Null-Emissions-Stadt“ die bestehenden Potenziale an lokal und regional organisierten Kreislaufwirtschaftsprozessen möglichst weitgehend ausgeschöpft werden. Die allgemeine Zielhierarchie der Kreislaufwirtschaft (Vermeiden - Verwerten - Beseitigen) bzw. die Minimierung der Stoff- und Energieströme bei solarer Energieversorgung, gilt es dabei weiterhin zu beachten.

Die Komplexität der Stoffströme in der Stadt macht eine Konzentration auf solche Stoffströme erforderlich, die für eine Stadt - unabhängig von spezifischen Besonderheiten - „wesentlich“ erscheinen und in denen die Prozessketten ganz oder in Teilbereichen regional organisiert werden können. Dafür bieten sich insbesondere die Bereiche „Bauen und Wohnen“, „Nahrungsmittel“ und „Wasser“ an. Im Rahmen eines Förderprogramms „Null-Emissions-Stadt“ gilt es, bestehende Arbeiten im Hinblick auf die Schließung regionaler Prozessketten und das Ziel „Null-Emissionen“ weiterzuentwickeln.

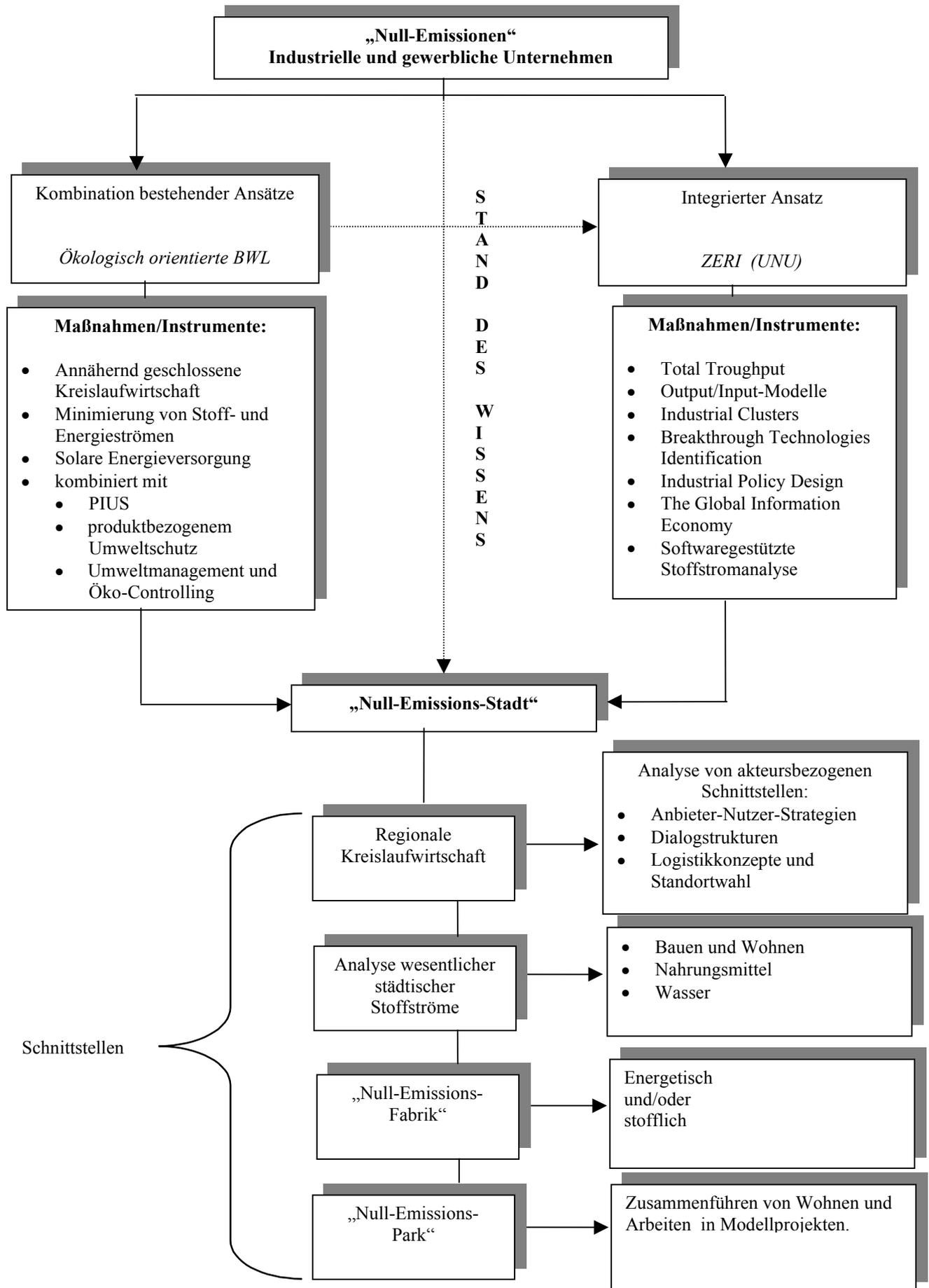
Eine ausschließliche Konzentration auf die „wesentlichen“ Stoffströme der Stadt erscheint auf Grund der Vielfalt der unterschiedlichen regionalen Voraussetzungen und der Unterschiedlichkeit der Potenziale einer regionalen Kreislaufwirtschaft für die Konzeption einer „Null-Emissions-Stadt“ nicht ausreichend zu sein. Es ist darüber hinaus wichtig, Schnittstellen zwischen emissionsrelevanten betrieblichen Prozessen und der „Stadt“ zu erkennen und hierzu neue Konzepte zu erarbeiten bzw. bestehende Konzepte weiterzuentwickeln. Solche Schnittstellen sind vor allem in der Beziehung zwischen Produktion - Konsum - Reduktion und kommunalem Management zu sehen. Stadtspezifische Besonderheiten (Stoffströme, Akteure, Netzwerke, Kooperationen etc.) können hierbei berücksichtigt werden.

Die Aufgaben der Kommune sind dabei insbesondere zu sehen in:

- Hilfen bei der Existenzgründung für umweltfreundliche Betriebe bzw. Bereitstellung von Fördermitteln für den Bau von „Null-Emissions-Fabriken“ bzw. Passivhaus-Bürogebäuden auch im Hinblick auf das Zusammenführen von Wohnen und Arbeiten.
- Substitution behördliche Überwachungspflichten im Umweltschutz z. B. durch die Existenz eines zertifizierten Umweltmanagementsystems (Aufbau einer „Null-Emissions-orientierten“ Verwaltungspraxis).

- Bereitstellung von umfassenden Informationen zum Thema „Null-Emissionen“ und Auf-/und Ausbau von Social-Marketing-Strategien mit der Zielgruppe Industrie und Gewerbe.
- Bereitstellung von kommunalen Serviceangeboten (Aufbau von UMS, Energieberatung etc.).
- Hilfe beim Aufbau und der Pflege von Kooperationen und Netzwerken (Stoffströme, regionale Produktvermarktung).
- Stellung einer Leitfigur bzw. eines Promotors (z. B. Oberbürgermeisterin).
- Umfassende Einbindung der Null-Emissions-Thematik in die Kommunalpolitik.

In der folgenden Abbildung werden der Stand innovativer Forschungs- und Handlungsansätze und daraus abgeleitete Forschungsfragen noch einmal zusammenfassend dargestellt:



8 Verkehr

8.1 Wechselwirkungen von Raum und Verkehr

8.1.1 Einleitung

Nachhaltige Flächennutzung und raumverträgliche Mobilität stellen wichtige Ziele für die weitere Entwicklung der Stadtregionen dar und sind damit auch für ein zukünftiges Forschungs- und Handlungsfeld Null-Emissions-Stadt von zentraler Bedeutung.

Die Bedeutung der Wechselwirkungen zwischen Siedlungs- und Verkehrsentwicklung sind seit langer Zeit erkannt. Nach wie vor gelten auf der städtischen Maßstabsebene die z. T. synonym verwendeten Modelle der „kompakten Stadt“ bzw. der „europäischen Stadt“ als „die normativen Konzepte für die Stadt der Zukunft, die die breiteste Zustimmung finden“ [Jessen 1999]. Auf der regionalen Ebene hat die Raumplanung mit ihrem System der „Zentralen Orte“ und den darauf abgestimmten Achsenmodellen seit geraumer Zeit versucht, den Anstieg des Verkehrsaufwandes zu begrenzen. Auch wenn es überzogen wäre zu behaupten, Stadt- und Regionalplanung wären wirkungslos geblieben, ist die tatsächliche Entwicklung den idealtypischen Planungsansätzen nicht im erwünschten Maße gefolgt. Zwar ist die Ausweisung von regionalen Grünzügen in den regionalen Raumordnungsplänen seit Anfang der siebziger Jahre durchaus positiv zu bewerten. Auch auf städtischer Ebene ist zu konstatieren, dass es z. B. durch die Verkehrsberuhigung gelungen ist, die Aufenthaltsqualität in vielen Stadtquartieren wieder zu erhöhen. Gleichwohl sind – als Folge der zunehmenden Motorisierung und Pkw-Benutzung sowie des Netzausbaus – vor allem die Distanzen deutlich angestiegen; die Siedlungsentwicklung ist gekennzeichnet durch disperse Flächeninanspruchnahme in der Region – auch in den Achsenzwischenräumen. Durch die zunehmenden Entfernungen zwischen Wohnort und Arbeitsstätte, aber auch durch Angebote des großflächigen Einzelhandels ist in den Städten die kleinräumige Nutzungsmischung teilweise verloren gegangen. In der Vergangenheit sind die Effekte der technischen Verbesserungen an den Fahrzeugen – wie die Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs – durch den distanzbedingten Zuwachs des Verkehrsaufwandes sowie durch den Trend zu größeren Fahrzeugen kompensiert worden.

8.1.2 Kenntnis- und Diskussionsstand

Auf Grund der zurückliegenden Erfahrungen wird mitunter gefolgert der Verkehrsaufwand ließe sich mit siedlungsstrukturellen Konzepten und Strategien kaum beeinflussen. Als Argumente werden u. a. angeführt, dass dort wo auf städtischer Ebene die Nähe von Wohnort zu Arbeitsstätte noch erhalten ist, der „Spielraum für quantitativ wirksame Verbesserungen gering ist“ [Köhl, 1995]. Gleichzeitig werden die Chancen, verkehrssparsame Strukturen dort wieder herzustellen, wo sie bereits verloren gegangen sind, als gering beurteilt. Gegen eine solche „Renaissance der Stadt der kurzen Wege“ sprechen u. a.: die vorhandene räumliche Funktionsteilung, zunehmende Anforderungen an die Flexibilität bei Wahl von Arbeitsplatz und Arbeitsort, das Bodenpreisgefälle zwischen Stadt und Umland, die zunehmende Bedeutung von Freizeitgestaltung und Umweltqualität für die Wahl des Wohnortes [Cerwenka 1991].

Die Tatsache, dass die Steuerungseffekte über siedlungsstrukturelle Maßnahmen als zu gering eingeschätzt werden, um Ziele der Nachhaltigkeit oder der „Null-Emissions-Stadt“ zu erreichen, darf jedoch nicht dazu verleiten, Ansatzpunkte und Lösungsstrategien einseitig auf die technologische Entwicklung bei den Fahrzeugantrieben zu konzentrieren. Zum Einen sollte – wie oben bereits erwähnt – trotz der zu beobachtenden Defizite nicht übersehen werden, dass Stadt- und Raumplanung in der Vergangenheit keineswegs wirkungslos geblieben sind. So schwierig und langfristig erwünschte Prozesse mit Hilfe von Stadt- und Regionalplanung umzusetzen sind, so aufwendig und langwierig ist es auch, Fehlentwicklungen zu korrigieren. Zum Anderen blieben – das Erreichen der angestrebten Emissionsreduktion mit Hilfe von Zero-Emission-Vehicles einmal unterstellt – eine Reihe weiterer Probleme ungelöst. Hierzu zählen Kapazitätsprobleme in den Verkehrsnetzen, Parkraumproblematik, Flächeninanspruchnahme und Trennwirkungen, Verkehrssicherheit. So zielt die für das Jahr 2003 vorgesehene Einführung der City-Maut in London nicht allein auf Schadstoffreduzierung ab [Borras 2002]. Mit dem angestrebten Stauabbau soll zugleich die Funktionsfähigkeit des Verkehrsnetzes sichergestellt und die Aufenthalts- und Lebensqualität in der Stadt erhöht werden.

Allein die genannten Punkte sprechen gegen ein laissez-faire bei der Berücksichtigung von Mobilitätsaspekten bei Stadt- und Regionalplanung. Kutter 2001 weist auf einen weiteren wichtigen Punkt hin: Auf Basis einer Modellrechnung für die neuen Bundesländer gibt er den Anteil der verhaltensdeterminierten (auf „freiem Willen“ beruhenden) Verkehrssteigerung (Kfz-km im mot. Individualverkehr) mit maximal 40 % an. Der übrige Anteil sei auf raumstrukturelle Rahmenbedingungen zurückzuführen. Er plädiert deshalb dafür, die „sich aus mittel- und längerfristigen räumlichen Prozessen ergebenden Sachzwänge für das Individuum in die verkehrskonzeptionellen Überlegungen einzubeziehen, weil sie aktuelle individuelle Entscheidungsspielräume einschränken“. Höfler & Pfeiffer 2002 beziffern in einer Untersuchung für Oberösterreich im Zeitintervall von 1982 bis 1992 den Anteil der Verkehrsleistungssteigerung, der auf Struktureffekte zurückzuführen ist, mit 48 %. Aus den genannten Gründen besteht weiter ein Gestaltungsauftrag an die Verkehrspolitik.

Apel et al. 1995 nennen als wichtige Steuerungsziele: sparsamen Flächenverbrauch, Konzentrierung der Siedlungsentwicklung und Orientierung am Leitbild „Kompakte Stadt“, Verringerung des Pkw- und Lkw-Verkehrs sowie die Ausweitung des Schienenverkehrs und des ÖV-Angebots. Anhand von internationalen Vergleichsstudien kommen [Apel, Lehm Brock et al. a. 1997], zu dem Ergebnis, dass mit einer konsequenteren Orientierung der Siedlungsentwicklung am öffentlichen Verkehr durchaus Erfolge bei der Reduzierung von Verkehrsaufwand und Emissionen zu erzielen sind. Am Beispiel von Bern zeigen sie, dass siedlungs- und raumplanerische Maßnahmen dort ein wichtiger Baustein eines komplexen Maßnahmenplans „Verkehr“ von 1991 zur Senkung des Schadstoffausstoßes waren. Die vollständige Einführung des geregelten Katalysators wurde nicht als ausreichend erachtet. Vielmehr stellte der Kanton, der auf geplante Siedlungs- und Verkehrsvorhaben einwirken kann, eine Reihe von Kriterien zur Überprüfung der Ortsplanungen aus lufthygienischer Sicht auf, zu denen u. a. zählten: Förderung der Durchmischung und Vermeidung von großflächig und einseitig genutzten Zonen, bauliche Verdichtung im Umkreis von Stationen des öffentlichen Nahverkehrs, Reduzierung des Verkehrs durch geeignete Standortfestlegungen von Arbeitsplätzen und Einkaufszentren, Förderung des Fahrradverkehrs, Zurückhaltung beim weiteren Ausbau des kommunalen Straßennetzes.

Noch 1975 war zwischen Bern und westdeutschen Vergleichsstädten hinsichtlich des Motorisierungsgrades kein nennenswerter Unterschied feststellbar. Den Sachverhalt, dass der Anstieg in der Stadt Bern in der Folgezeit deutlich geringer ausfiel als in den deutschen Städten und dass seit 1990 kein Zunahme mehr feststellbar ist, führen Apel und Lehmbrock auf die geringere Autoabhängigkeit der Stadt- und Siedlungsstruktur und die bessere Qualität des ÖV-Angebots zurück. Die Zahl der Pkw-Fahrten in Bern lag Mitte der neunziger Jahre um 30 bis 40 Prozent unter den Vergleichsstädten wie Münster oder Freiburg. Günstiger als deutsche Vergleichsstädte schneiden hinsichtlich der Siedlungsflächeninanspruchnahme und spezifischem Verkehrsaufwand auch niederländische Städte wie Amsterdam und Delft ab. Hier hat sich die ABC-Planung als Steuerungsinstrument bewährt, deren Grundsätze im Werkdokument „Lenkung der Mobilität durch eine Standortpolitik für Betriebe und Einrichtungen“ niedergelegt ist (vgl. Apel, Lehmbrock et al. a., 1997).

Apel und Lehmbrock (1997) weisen allerdings darauf hin, dass neben der Umsetzung von Planungskonzepten im engeren Sinne auch die Reform von Rahmenbedingungen erforderlich sind. Hierzu zählen sie u. a.:

bessere marktwirtschaftliche Bodenflächennutzung,

Änderung der Verkehrswegepolitik zugunsten des Öffentlichen Verkehrs,

marktwirtschaftliche Steuerung des Kfz-Verkehrs inkl. Abbau von Steuervergünstigungen,

Ausstattung der Planungsregionen mit politischen und planerischen Kompetenzen sowie

Ausrichtung der Wohnungs-, Wirtschafts- und Strukturpolitik an raumplanerischen und städtebaulichen Kriterien.

Die o. a. positiven Beispiele stehen in der Tradition der europäischen Stadt. Dies ist mit ein Grund, weshalb das Leitbild der „Kompakten Stadt“ häufig als Synonym für die „Stadt der kurzen Wege“ verwendet wird. Gleichwohl ist dieses Leitbild nicht mehr unumstritten. Im Zusammenhang mit der Forderung nach einer Orientierung an der „Kompakten Stadt“ wird häufig unterstellt, dass Städte durch ihre verdichtete Bauweise die ökologischste Siedlungsform darstellen. Hiervon wird mitunter die Forderung abgeleitet, die Siedlungstätigkeit auf die großen Städte, also die Oberzentren zu konzentrieren. Verkehrssparsame Strukturen hängen jedoch nicht in erster Linie von der Dichte, der Stadtgröße oder der zentralörtlichen Bedeutung ab, sondern ganz entscheidend von der Nutzungsmischung. Deshalb greifen auch die Aussagen von Newman und Kenworthy (1989) zu kurz, die im Rahmen eines weltweiten Vergleichs die Siedlungsdichte als Bezugsgröße für den Verkehrsaufwand heranziehen (Indikator: Treibstoffverbrauch).

Unabhängig von der Einwohnerzahl stellt sich der geringste Verkehrsaufwand eines Ortes bei einem ausgewogenen Verhältnis von Erwerbstätigen und Beschäftigten ein. Dies bedeutet keineswegs, dass die Beschäftigten an ihrem Wohnort arbeiten; vielmehr spielen sich die wechselseitigen Pendelbeziehungen auf engerem Raum ab, als wenn deutliche Arbeitsplatzüberhänge bzw. Arbeitsplatzdefizite zu verzeichnen sind. Dies spricht dafür, die Siedlungstätigkeit nicht nur auf einzelne Städte zu beschränken, sondern nach Möglichkeit die Nutzungsmischung auch in kleineren Städten zu fördern. Ein Ge-

sichtspunkt, der hierbei nicht unterschätzt werden darf, ist die Bewahrung einer ausreichenden Versorgungsstruktur, die ohne ausreichende Mantelbevölkerung gefährdet ist. Die mit der Forderung nach der „Kompakten Stadt“ eng verknüpfte Zielsetzung einer „Stadt der kurzen Wege“ sollte, wo immer dies möglich ist, planerisch unterstützt werden. Allerdings müssen die Wirkungspotenziale hierfür realistisch eingeschätzt werden. Untersuchungen zeigen, dass kurze Wege vor allem noch in den innenstadtnahen Altbauquartieren anzutreffen sind; die Stadt der kurzen Wege ist damit nur noch in Teilen erhalten. Demgegenüber weisen städtische Neubaugebiete in peripherer Lage hinsichtlich des Verkehrsaufwandes bereits ungünstigere Bedingungen auf [Holz-Rau 1997]. Zwar lässt sich dieser bei entsprechend kleinteiliger Nutzungsmischung auch in solchen Gebieten begrenzen, jedoch unterscheidet sich die Ausgangssituation für solche Gebiete nicht grundsätzlich von der Situation kernstadtnaher Nachbargemeinden.

Vertreter des mit der „Kompakten Stadt“ konkurrierenden „Netz-Stadt-Modells“ richten das Augenmerk weniger auf die Innenentwicklung als auf die Verflechtung der Städte innerhalb der Region in den Vordergrund. Auf die besondere Entwicklungsdynamik an der Peripherie der Städte hat Sieverts (1997) deutlich hingewiesen. Auch Hesse 2000 kommt zu dem Schluss, dass sich „die städtische Realität zunehmend vom Ideal der kompakten Stadt entkoppelt“ und dass der „Stadt der kurzen Wege“ mittelfristig das Referenzmodell der „kompakten Stadt“ abhanden kommen könnte. Ein Indiz hierfür sind auch die zunehmenden tangentialen Verkehrsströme innerhalb der Stadtregionen [Brake 1998]. Kutter und Stein 1998 geben für die Region Dresden Oberer Elbraum den Anteil des Tangentialverkehrs mit 33 % im Personenverkehr und mit 41 % im Güterverkehr an [Hesse o. J.].

Nicht zuletzt wegen der vorhandenen Ausdehnung der regionalen Verflechtungsbereiche ist das Konzept der Stadt der kurzen Wege daher zu ergänzen um eine „Region der kurzen Wege“. Sinz und Blach 1994 verwenden als Indikator für die siedlungsstrukturelle Effizienz den Vergleich der mittleren Pendlerdistanzen. Der Vergleich verschiedener Verdichtungsräume zeigt, dass die Regionen Stuttgart und Frankfurt/Rhein-Main auf Grund ihrer polyzentrischen Struktur hierfür über günstige Rahmenbedingungen verfügt. Sie schneiden deutlich besser ab als die anderen Vergleichsregionen (siehe folgende Abb.). Die größten Distanzen treten in den monozentrisch strukturierten Räumen Hamburg und München – hier allerdings bei hohem ÖV-Anteil – auf.

Diese positiven Ergebnisse polyzentrischer Regionsstrukturen werden von Motzkus 2002 in einer detaillierten Untersuchung für die Region Frankfurt Rhein-Main gestützt. Gegenüber der Trendentwicklung gibt er das Einsparungspotenzial der Verkehrsleistungen bei optimaler Zuordnung von Wohnen und Arbeiten entsprechend der „Dezentralen Konzentration“ mit 63 % an. Im Gegensatz dazu ist bei Konzentration („kompakte Urbanisierung“) und Dispersion mit einem Zuwachs der Verkehrsleistung zu rechnen. Auch Kagermeier 1997 empfiehlt auf Basis einer empirischen Untersuchung am Beispiel von Südbayern dezentrale Konzentration als den Verkehrsaufwand dämpfendes Siedlungsstrukturkonzept.

Hesse (o. J.) weist allerdings darauf hin, dass „der Sprung von der ‚Stadt‘ zur ‚Region der kurzen Wege‘ erheblich komplizierter ist, als es die programmatische Erweiterung impliziert.“

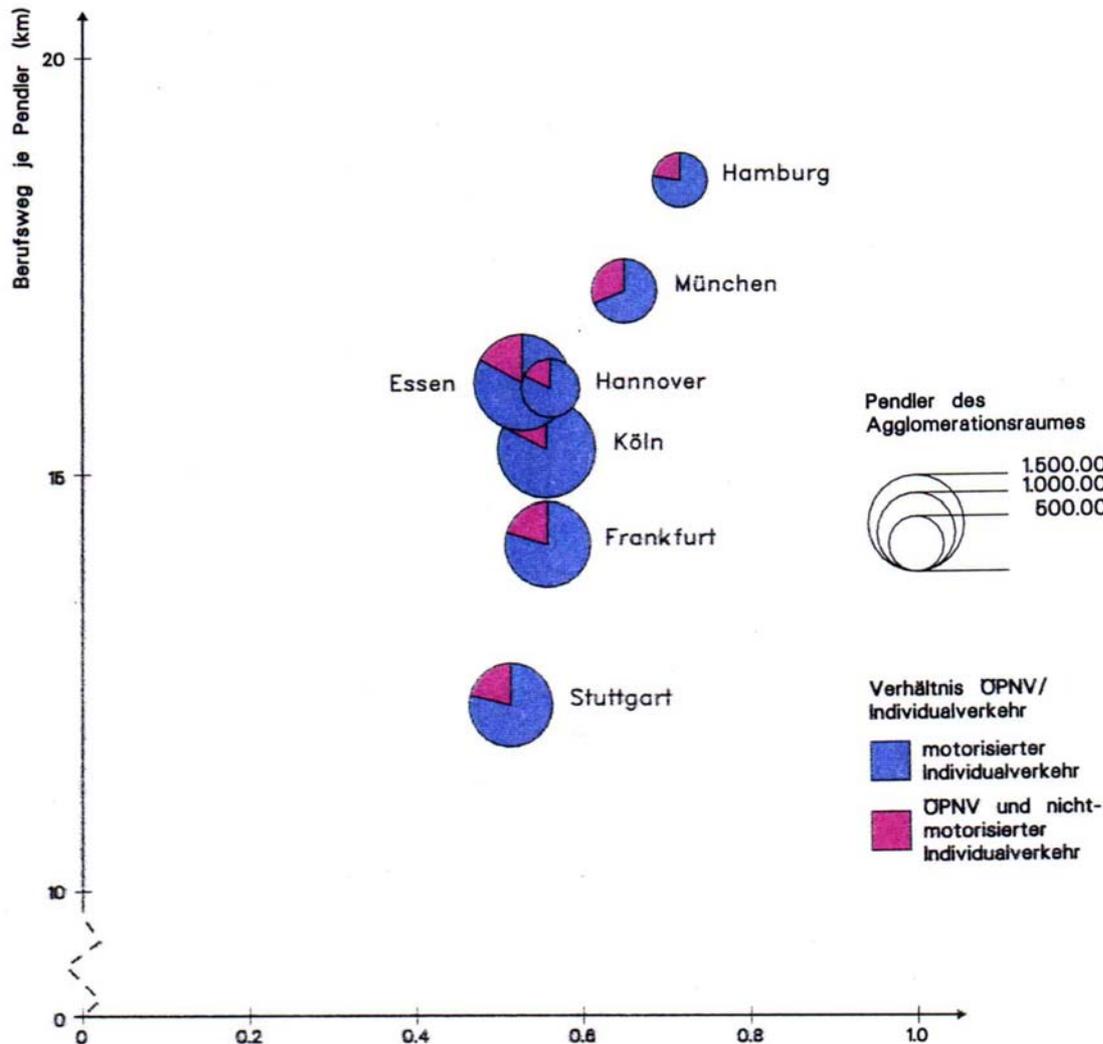


Abb. 8-1: Pendeldistanzen als Indikator siedlungsstruktureller Effizienz.

(Quelle: Sinz & Blach 1994).

8.1.3 Handlungsfelder und Forschungsbedarf

Auf Grund des vorliegenden Informations- und Diskussionsstandes gibt es eine Reihe von Handlungsansätzen, die jedoch auf ihre Wirkungen weiter zu untersuchen sind.

So spricht ein konsequenteres Verfolgen der dezentralen Konzentration für eine Abkehr von den klassischen Achsenmodellen der Regionalplanung, die sich am Verlauf der radial auf die Zentren der Verdichtungsräume zuführenden Schienenstrecken orientiert haben. Zum Einen werden die öffentlichen Verkehrsmittel immer schneller und fördern damit angebotsseitig eine zentrumsferne Standortwahl, zum Anderen wird dies durch Regionalplanausweisungen, die vorrangig „Achsenendpunkte“ als

Schwerpunkte der Siedlungsentwicklung vorsehen, noch unterstützt [Kill & Sturm 1999]. Die an der Gesamtreisezeit des Verkehrsteilnehmers orientierte Planungsphilosophie der Integralen Taktfahrpläne des ÖV (nicht auf einzelnen Streckenabschnitten „so schnell wie möglich“ sondern im Sinne der Systemgeschwindigkeit „so schnell wie nötig“) schafft neue Ansatzpunkte für die Regionalplanung: bevorzugte Orte für eine – möglichst nutzungsgemischte – Siedlungsentwicklung könnten die gut erschlossenen „ITF-Knoten“ innerhalb des Verdichtungsraumes sein [Bieber & Sturm, 1995]. Für die Ermittlung der Wirkungspotenziale für eine solche Strategie liegen – insbesondere was Emissionen betrifft – bislang nur unzureichende Kenntnisse vor. Interessant wäre es in diesem Zusammenhang auch, die Übertragbarkeit von im Ausland bewährten Strategien und Maßnahmen auf deutsche Verhältnisse zu untersuchen.

Für Kutter (2001) ist die Abbildung des Wandels der Verkehrsverflechtungen eine wichtige Voraussetzung für eine gestaltende und steuernde Siedlungsentwicklung unter Berücksichtigung des zu erwartenden Mobilitätsverhaltens. Damit verbunden ist die Forderung nach Innovation bei der Verkehrsmodellierung, die die Orientierung an einer „perfekten Abbildung an einer relativ konstanten Verflechtungsmatrix“ überwinden und raumstrukturelle Entwicklungsprozesse verstärkt einbeziehen sollte.

Hesse 2000 weist darauf hin, dass bei „den zugrunde liegenden Entscheidungen über die räumliche Mobilität andere als die (im physikalischen Sinne) siedlungs- und verkehrsräumlichen Kriterien und Parameter eine wichtige Rolle spielen“. Diese gilt es weiter zu ergründen. Da Zeit eine bestimmende Größe für Mobilitätsentscheidungen ist und Nutzungsmischung eine wichtige Grundlage für die Reduzierung des Verkehrsaufwands darstellt, sollten Bedeutung und Potenziale einer ausgewogenen Mischung „schneller“ und „langsamer“ Strukturen innerhalb der Stadtregion weiter untersucht werden [Müller & Sturm, 1998].

Eine verkehrssparen Strukturen entgegen wirkende Entwicklung ist die zunehmend geringer werdende Akzeptanz der Stadtbewohner gegenüber Nutzungen, die als störend empfunden werden. Typische urbane, aber lärm- und verkehrserzeugende Freizeiteinrichtungen (Kinos, Diskotheken, Sporteinrichtungen) lassen sich immer schwerer gegenüber dem Ruhebedürfnis der Stadtbewohner und den daraus abgeleiteten Ansprüchen durchsetzen. Als Alternative wird häufig auf weniger sensible Gebiete (Gewerbegebiete am Rande der Stadt und im Umland) verwiesen. Damit wird die kleinteilige urbane Nutzungsmischung nicht nur von den übergeordneten Standortinteressen der Betreiber, sondern in vielen Fällen auch durch die Eigeninteressen einzelner Bewohnergruppen ausgehöhlt [Kill & Sturm 1999]. Maßnahmen der Akzeptanzsteigerung und der Verbesserung der Verträglichkeit unterschiedlicher städtischer Nutzungen sollten daher ebenfalls zum Forschungsgegenstand gemacht werden.

In den Verdichtungsregionen werden als Bindeglied zwischen den Stadtparks und Naturparks Regionalpark-Konzepte mit eigenem Charakter entwickelt. Mit ihnen werden die bislang als abstrakte Planungskategorie in den Regionalplänen enthaltenen regionalen Grünzüge planerisch aktiv entwickelt. Die Regionalparks dienen u. a. der Naherholung, dem Schutz der Natur und der Siedlungsgliederung. Sie sind daher im regionalen Maßstab grundsätzlich als Instrument zur „Stärkung der Nähe“ geeignet [Sturm 2000]. Unter welchen Bedingungen und in welchem Maße sie im Hinblick auf Emissionsreduzierung zu verkehrssparsameren Strukturen beitragen können, wäre genauer zu untersuchen.

Diskussionen über geeignete Siedlungsstrukturen und Konzepte für eine raumverträgliche Mobilität sind immer auch Leitbilddiskussionen. Maurer (1999) vertritt den Standpunkt, dass Leitbilder zwar „gute Absichten betreffen, ohne Bezug zu ihrer Durchsetzung aber anspruchlose Deklarationen bleiben“. Als Mindestanforderungen benennt er:

- Verminderung der Komplexität der Aufgabe , so dass Einzelziele dominieren können,
- Schwerpunktsetzung, die es erlaubt die stets knappen Ressourcen effizient einzusetzen sowie
- Robustheit gegenüber Überraschungen (Fähigkeit, neue Entwicklungen wahr- und aufzunehmen).

Es wäre lohnend, die genannten Anforderungen auf die Zielsetzung von verkehrssparsamen und emissionsarmen Raumstrukturen hin zu „übersetzen“ und unter Nutzung ausländischer Erfahrungen zu präzisieren. Dabei wären Rolle und Bedeutung von Leitbildern auch grundsätzlich zu hinterfragen. So zieht Jessen (1999) den Begriff des Modells vor, weil er gegenüber dem Leitbild sowohl das Deskriptive (Abbild) wie auch das Normative (Vorbild) enthält.

8.2 Verkehrssysteme

Die Nutzungshäufigkeit und die technische Ausprägung von Verkehrssystemen bestimmt im Verkehr die Emissionsmenge. Ein Ziel zum Erreichen einer nachhaltigen Emissionsreduktion ist daher unter anderem die Optimierung der bestehenden Verkehrssysteme hinsichtlich:

- motortechnischer Maßnahmen, wie z. B. Einspritz-Techniken, Auflade-Techniken und Hubraumverkleinerungen sowie eines effizienteren Betriebs von Nebenaggregaten,
- der Reduzierungen des Fahrzeuggewichtes und des Fahrwiderstandes sowie weiterer fahrzeugtechnischer Eigenschaften

als auch

- die Einführung neuer und effizienter ausgelegter Verkehrssysteme.

Im Folgenden sind diejenigen Systeme beschrieben, die für die „Null-Emissions-Stadt“ als besonders relevant erscheinen. In Ergänzung dazu gibt der Anhang einen Überblick über weitere verkehrstechnische Ansätze, die einen weniger starken Bezug zum hier behandelten Forschungsthema aufweisen (spezielle Fahrzeugtechniken, Fernverkehrssysteme), aber dennoch von Interesse für eine breit angelegte Emissionsminderungs-Strategie sind.

8.2.1 Antriebstechnik

Fragen der Antriebstechnik betreffen vor allem die technologische Spezialforschung. In den nächsten Kapitelteilen werden allgemeiner Elektroantrieb und Brennstoffzelle gezielt dargestellt, da sie im Rahmen der Null-Emissions-Diskussion eine besondere Rolle spielen. Weitere Technologien (Otto/Diesel-Motor, Gasantrieb, Hybridantrieb, elektrischer Linearantrieb, Druckluftantrieb) sind im An-

hang detailliert dargestellt. Auch die Themen Fahrwiderstand und Fahrgewicht, die für den Energieverbrauch von wichtiger Bedeutung sind, werden dort diskutiert.

8.2.1.1 Elektroantrieb

8.2.1.1.1 Entwicklungsstand

Anfang bis Mitte der 90er Jahre brachte fast jeder Autohersteller mindestens ein Modell mit Elektroantrieb auf den Markt. In der Praxis konnten sie sich jedoch nicht behaupten. Ihre Reichweite war mit maximal 200 Kilometern zu kurz, das Laden zu langwierig. Grund dafür waren die Batterien. Sie waren zu schwer, zu groß und zu schwach, mussten permanent hoch erhitzt bleiben oder sogar ausgebaut und extern aufwendig regeneriert werden. Und auch sie waren schließlich viel zu teuer. Das Angebot an Elektrofahrzeugen ist daher insgesamt relativ bescheiden. In Deutschland bieten nur wenige Hersteller heute noch reine Elektrofahrzeuge an.

In Amerika arbeiten Wissenschaftler derzeit an geeigneten Lithium-Batterien. Eine ähnliche Technik ermöglicht bei Mobiltelefonen mittlerweile Bereitschaftszeiten von bis zu einer Woche. So genannte Lithium-Polymer-Batterien können theoretisch zehnmal so viel Strom wie herkömmliche Bleiakkus liefern. Damit würden viele Nachteile bei Elektroautos der Vergangenheit angehören.

Verschiedene Hersteller wollen diese Batterien auch einsetzen, allerdings vorerst nur in Amerika. Denn ab 2003 müssen in Kalifornien zehn Prozent aller verkauften Fahrzeuge absolut abgasfrei sein.

Im Bereich Öffentlicher Verkehrssysteme wird der Elektroantrieb vor allem in Schienenfahrzeugen, seltener in Bussen (O-Busse) eingesetzt. Die schienengebundenen öffentlichen Verkehrsmittel im innerstädtischen Bereich werden heute fast ausschließlich elektrisch betrieben. Zur Reduktion des Energiebedarfs und damit der Emissionen dieser Elektrofahrzeuge sind die folgenden - z. T. hocheffizienten Techniken im Einsatz bzw. verfügbar:

Durch stromrichter gespeiste Antriebe kann eine Rückspeisung von Bremsenergie in das Fahrleitungsnetz erfolgen. Dazu sind entsprechend ausgerüstete Fahrzeuge und Fahrspannungsnetze erforderlich, die Energieeinsparungen von bis zu 25 Prozent gestatten.

Deutliche Verbrauchsminderungen ergeben sich auch aus der Möglichkeit zum stufenlosen und verlustfreien Anfahren.

Die Voraussetzung dafür sind bestimmte Steuerungssysteme bei Gleichstrommotoren bzw. eine Umrichtersteuerung bei Drehstrommotoren. Zudem kann der Heizenergiebedarf im Bereich der Fahrgasträume durch einen Drehstromantriebe mit Flüssigkeitskühlung reduziert werden. Mit dieser Technologie wird die Abwärme der Drehstrommotoren und des Leistungsteils zusätzlich ausgenutzt [IFEU 1990].

8.2.1.1.2 Potenzial

Umweltfreundlicher sind Elektroautos auch nicht unbedingt, denn die Schadstoffe entstehen statt im Auto bei der Stromerzeugung im Kraftwerk (Quelle: www.wdr.de).

Dennoch wird durch erzielte Energieeinsparungen bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen auch eine Verringerung der Schadstoff-Emissionen der stromerzeugenden Kraftwerke eintreten.

8.2.1.1.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Die amerikanischen Unternehmen General Motors, Ford und Chrysler sowie die japanischen Firmen Toyota, Honda, Mazda und Nissan haben eine Selbstverpflichtung für die freiwillige Markteinführung von Elektroautos abgegeben. So sollen ab 1998 in Kalifornien mindestens 3.750 solcher Fahrzeuge mit fortschrittlichen Batterien (keine Blei-Gel-Batterien) verkauft werden, im Jahre 2002 soll der Absatz auf 14.000 steigen. (Quelle: Projekt Alternative Antriebstechnik, Regens-Wagner-Schule, Neuburg)

8.2.1.1.4 Verwandte Projekte

Solarauto, Hybridantrieb

8.2.1.2 Brennstoffzelle

8.2.1.2.1 Entwicklungsstand

Brennstoffzellenbetriebene Elektro-Pkw, bei denen eine "Gasbatterie" aus Methanol bzw. Wasserstoff und Luftsauerstoff Strom für den Elektroantrieb liefert, gelten als Hoffnungsträger für verbesserten Umweltschutz im Verkehrsbereich.

8.2.1.2.2 Potenzial

Das Umweltbundesamt hat die Brennstoffzellentechnik einer Analyse und Bewertung unterzogen, um zu ermitteln, welche Vor- und Nachteile aus Sicht des Umweltschutzes sie nach derzeitigem Wissensstand im Vergleich zu konventionellen Antriebskonzepten (Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren) bietet.

Nach diesen Berechnungen (auf Basis derzeit verfügbarer Daten) zeichnet sich ab, dass in den nächsten 10 bis 20 Jahren eine Verringerung von Schadstoffausstoß und Ressourcenverbrauch wesentlich kostengünstiger durch verbrauchsoptimierte Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor mit niedrigen Abgaswerten (ULEV-Standard = "Ultra Low Emission Vehicle Standard" oder EURO4-Standard) erreicht werden kann. Die durch den ULEV- oder den EURO4-Standard für Benzin-Pkw erreichbaren Schadstoffausstoß-Verringerungen reichen aus, um die notwendigen Luftqualitätsziele in Deutschland zu erreichen.

8.2.1.2.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Der Verbrennungsmotor hat Konkurrenz bekommen. Wegen der sehr langsamen Entwicklung im Batteriebereich konnte der Elektromotor praktisch nie eine richtige Konkurrenz darstellen. Die Brennstoffzellenentwicklung zeigt jedoch ein hohes Potenzial für den Einsatz in einem Antriebssystem, wie die hohen Investitionen der großen Automobilfirmen in diesem Bereich beweisen: die Brennstoffzelle zusammen mit dem Elektromotor erzeugt Fahrenergie emissionsfrei. Auf Grund der hohen Komplexität wird dieser Antrieb jedoch noch einige Jahre brauchen, bis er die Zuverlässigkeit der bisherigen

Verbrennungsmotoren erreicht. Hybrid-Fahrzeuge könnten kurzfristiger eine hohe Zuverlässigkeit erreichen. (Quelle: 18. International Electric Vehicle Symposium in Berlin)

Das Brennstoffzellenauto wird nach Herstellerangaben nicht vor dem Zeitraum 2005 - 2010 marktreif sein. Aber bereits heute muss zum Schutz des Klimas der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) aus dem Verkehr dringend erheblich verringert werden. Hierfür sind auf absehbare Zeit nur von einer Weiterentwicklung heutiger konventioneller Antriebstechniken deutliche und kosteneffiziente Emissionsminderungen zu erwarten. (Quelle: Umweltbundesamt)

8.2.1.2.4 Verwandte Projekte

Energieträger Wasserstoff, Methan.

8.2.2 Lärmemissionen

8.2.2.1 Lärmreduzierung

8.2.2.1.1 Entwicklungsstand

Schon seit den frühen siebziger Jahren bemühte man sich der Lärmbelästigung durch den Straßenverkehr an Brennpunkten mit Hilfe von Lärmschutzwänden und Erdwällen entgegenzuwirken. Weiter hoffte man das Anwachsen der allgemeinen Lärmbelästigung durch technische Maßnahmen an den Fahrzeugantrieben verhindern zu können. Seit 1970 wurden dafür die Geräuschgrenzwerte für schwere Lkw um 12 dB(A) und für Pkw um 10 dB(A) zurückgenommen.

Gleichwohl wurden aber an Autobahnen, Bundesstraßen und im schnelleren Stadtverkehr keine Pegelminderungen beobachtet, da das durch die rollenden Fahrzeugreifen verursachte Reifen-Fahrbahn-Geräusch durch die Grenzwertabsenkungen nicht betroffen wird. Inzwischen ist das Reifen-Fahrbahn-Geräusch zur dominierenden Schallquelle am bewegten Fahrzeug geworden - bei Pkw ab 40 km/h, bei Lkw ab 70 km/h (siehe Abb. 8-2). (Quelle: Projektträger Mobilität und Verkehr, Bauen und Wohnen des BMBF)

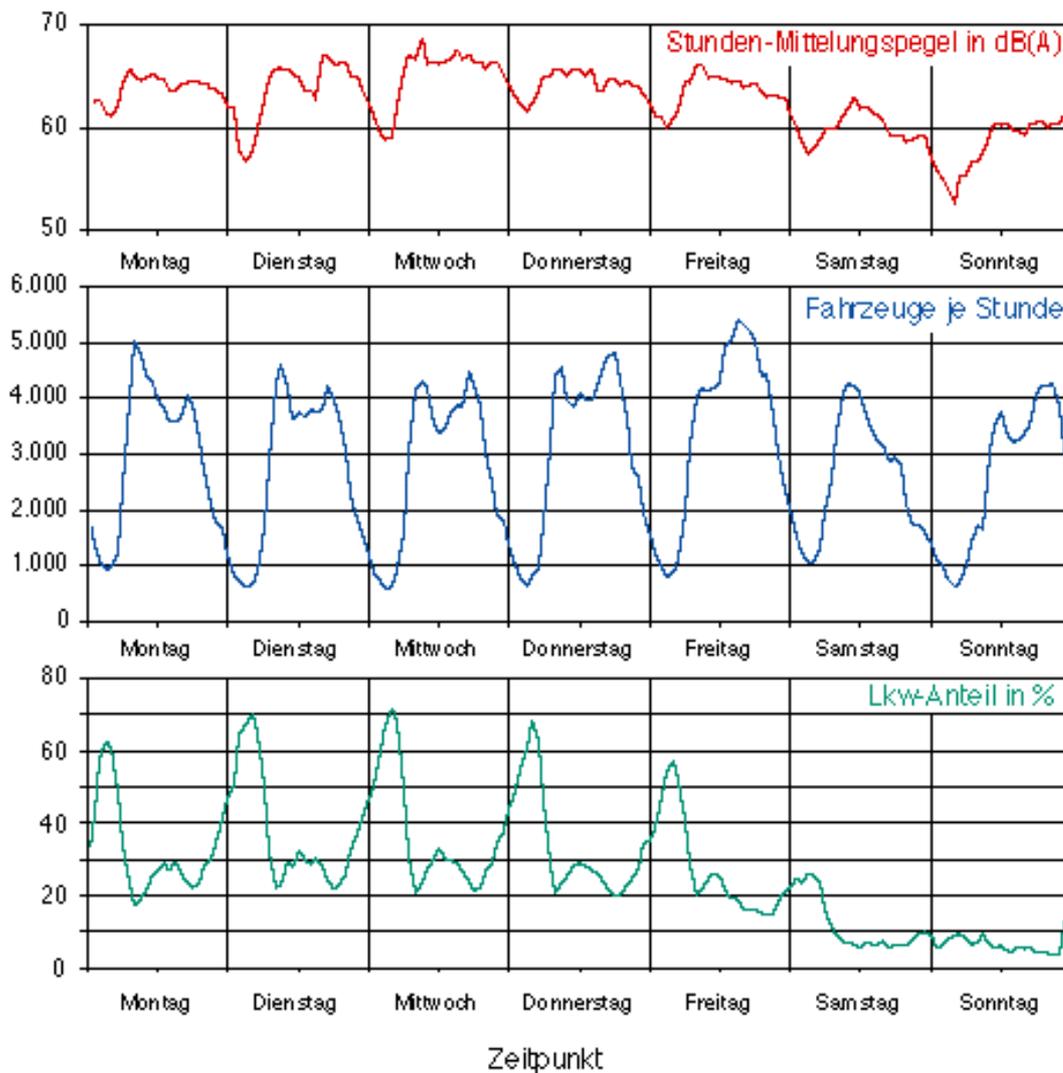


Abb. 8-2: Typischer Tages- und Wochengang der Lärm- und Verkehrsbelastung in 100 m Abstand von einer Autobahn

Zur Vermeidung verkehrsbedingten Lärms werden Technologien in zwei Bereichen eingesetzt:

- Die Maßnahmen zur Reduzierung von Motorgeräuschen bringen als Gesamteffekt eine Geräuschreduzierung von 5 bis 10 dB(A) bei entsprechend ausgerüsteten Fahrzeugen.
- Rollgeräusche von Straßenfahrzeugen werden durch lärmarme Fahrbahndecken und Maßnahmen nach den Richtlinien für den Lärmschutz reduziert.
- Kurvenquietschgeräusche von Schienenfahrzeugen werden durch fahrzeug- und fahrwegseitige Vorkehrungen verringert.

(Quelle: Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V.)

8.2.2.1.2 Potenzial

Untersuchungen zum Stand der Technik in den vergangenen 20 Jahren haben gezeigt, dass das Minderungspotenzial von Pkw- und Lkw-Reifen auf einer Straßendecke ungefähr 3 dB(A) beträgt. Ähnlich groß ist das Minderungspotenzial von Straßendeckschichten. Noch nicht vollständig geklärt ist, wie diese Potenziale ausgeschöpft werden können. Erkenntnislücken sind auch noch bezüglich des Zusammenwirkens von Reifen und Straße bei der Geräuscherzeugung vorhanden.

Trotz aller Anstrengungen ist es auch noch nicht gelungen, ein Modell zur Prognose des Vorbeifahrpegels von Pkw und Lkw zu entwickeln, das dem Straßenbau und Reifenherstellern ausreichend genaue Hinweise zur Herstellung leiserer Straßenoberflächen geben könnte. Für eine deutliche Reduzierung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche ist es notwendig, Reifen und Fahrbahn als Gesamtsystem zu behandeln und zu optimieren, wobei gegen Fahrzeug-Sicherheit, Rollwiderstand und Lebensdauer abzuwägen ist.

Ein weiteres Ziel ist es, kurz- bis mittelfristig eine deutliche Lärminderung im Schienenverkehr zu erreichen. Dies soll mit verschiedenen Methoden erreicht werden. Ein großer Anteil der Projekte geht die Lärmprobleme von der konstruktiven Seite der Fahrzeuge oder der Fahrwege an. Einige Einzelvorhaben zielen auf die Erweiterung des Hintergrundwissens, das notwendig ist, um die nächste lärmarme Schienenfahrzeuggeneration konstruieren zu können. Andere bemühen sich um praktikable akustische Optimierungsvorschläge für den Schienenfahrbestand. Der Fokus der BMBF-Forschungsförderung liegt zur Zeit in den Bereichen Rad-Schiene-Geräusche und Antriebsgeräusche. (Quelle: Projektträger Mobilität und Verkehr, Bauen und Wohnen des BMBF)Realisierungswahrscheinlichkeit

8.2.2.1.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Die Grundsätze für die Verkehrslärmbekämpfung sind heute bekannt:

- Lkw und Motorräder sind die dominierenden Geräuschquellen. Daher muss an Straßen mit Lkw-Verkehr die durch diese Fahrzeuge verursachte Geräuschbelastung vorrangig verringert werden.
- Höhere Geschwindigkeiten erhöhen den Verkehrslärm. Im Sinne des Ruheschutzes positiv ausgedrückt: niedrigere Geschwindigkeiten bedeuten weniger Lärm.
- Auf Straßen mit frei fließendem Verkehr sind für eine wirkungsvolle Lärminderung an der Quelle in erster Linie leise Fahrbahnbeläge erforderlich.

(Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg)

Instrumente zur Bekämpfung des Straßenverkehrslärms („weniger + langsamer + gleichmäßiger = leiser“) werden in wachsendem Maße punktuell, streckenbezogen oder sogar flächig eingesetzt:

- Verkehrsstärke reduzieren:
Möglich mit Hilfe einer entsprechend angelegten Stadtentwicklungsplanung – z. B. Verkehr bündeln, auf weniger lärmempfindliche Routen verlegen, Schleichverkehr unterbinden.
- Beitrag der Lkw zum reduzieren von Lärm:

Möglich durch Reduzierung des Lkw-Anteils (z. B. Sperrung für Schwerverkehr oder gesamten Lkw-Verkehr, ggf. zeitlich befristet), Benutzervorteile für lärmarme Lkw, Sperrung für nicht lärmarme Lkw.

- Fahrzeuggeschwindigkeit begrenzen:

Am wirkungsvollsten an Straßen und in Zeiten mit freiem Verkehrsfluss und mit niedrigem Lkw-Anteil.

- Geschwindigkeitsverlauf verstetigen:

Möglich durch Nutzung moderner Verkehrserkennungs- und Steuerungssysteme, durch geeignete Anpassung des Straßenraumes an die (ggf. verringerten) Höchstgeschwindigkeiten sowie durch lärmbewusstes Fahren ("vorausschauendes Gleiten").

- Reifen- / Fahrbahnkombination verbessern:

Eine - wenn nicht sogar die wichtigste - Lärmforschungsaufgabe der Gegenwart und Zukunft.

Die vier zuerst aufgeführten Instrumente fasst man unter dem Begriff "Verkehrsberuhigung" zusammen. Deutlich spürbare Minderungen werden in der Regel erst durch die Kombination der verschiedenen Maßnahmen erreicht. (Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg)

8.2.2.1.4 Verwandte Projekte

Anwohnergerechte Straßenplanung, emissionsmindernde Gestaltung von Straßenoberflächen und Gebäuden, Lärmschutz an Straßen.

8.2.3 Verkehrsmittel

Die folgende Darstellung beschränkt sich auf Systeme, die den innerstädtischen Bereich besonders betreffen. Systeme, die vor allem auf längere Distanzen ausgelegt sind (Transrapid, Swissmetro, Hochgeschwindigkeits-Güterzüge, Autoshuttle), im Rahmen eines erweiterten Verständnisses der Null-Emissions-Stadt-Thematik aber dennoch von Bedeutung sein können, werden im Anhang behandelt.

8.2.3.1 PRT „Personal Rapid Transit“

8.2.3.1.1 Entwicklungsstand

Schon in den 70er Jahren fanden in Deutschland mit dem „Cabinen Taxi“ Versuche mit PRT-Systemen statt. Das PRT ermöglicht mittlere bis hohe Transportkapazitäten bei mittleren bis hohen Geschwindigkeiten und eignet sich daher für die Nahverkehrserschließung. Bezogen auf die verbaute Fläche fällt dieser Vorsprung noch deutlicher aus.

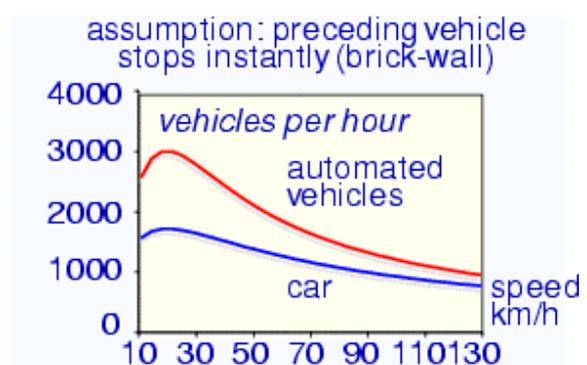


Abb. 8-3: Transportkapazitäten

Der Grund liegt zum Einen an:

- den kurzen Fahrzeugabständen,
- der geringen Spurbreite (ca. 1,50 m),
- einer prediktiven Logistik, mit der Verkehrsengpässe vorhergesehen und der Verkehrsfluss wirksam optimiert werden kann sowie
- am geringen Bedarf an Park- und Standflächen, da leere Fahrzeuge automatisch zu neuen Klienten gefahren werden.

Der Abstand zwischen Verzweigungen oder Haltestellen sollte im allgemeinen mehr als 300 m betragen. Die Bauart kann durch die Verwendung einer ultra-leichten Schiene vereinfacht werden.

Probleme werden derzeit nur bei der sicheren und zuverlässigen Abstandsregelung der Einzelfahrzeuge gesehen (Zeitabstand im Sekundenbereich). Zudem fehlen für PRT-Systeme noch immer effiziente logistische Verfahren.

8.2.3.1.2 Potenzial

Die Vorteile eines PRT-Systems werden sowohl bei der Verbesserung der Lebensqualität durch:

- weniger Stress (gefahren werden),

weniger Lärm und Geruchsfreiheit (Elektroantrieb, Linearantrieb), höherer Sicherheit für Benutzer und Passanten,

- den öffentlichen Charakter des Beförderungssystems (fast allen Gesellschaftsgruppen zugänglich, unabhängig von Alter, Fahrtauglichkeit, Einkommen, Gesundheitszustand oder Behinderung) sowie
- die Vermeidung eines Großteils des konventionellen Straßenverkehrs,

als auch bei der Schonung von Ressourcen der Umwelt und Natur:

- geringerer Energieverbrauch (Einsatz effizienterer Antriebe),
- Möglichkeit zur Nutzung erneuerbarer Energien, da elektrische Energie in der Regel direkt vom Netz genommen wird.
- geringer Abgas- und Lärmeintrag,
- geringerer Landbedarf, weil Fläche effizienter genutzt wird (Fläche wird unterhalb von Überkopfschienen freigesetzt),

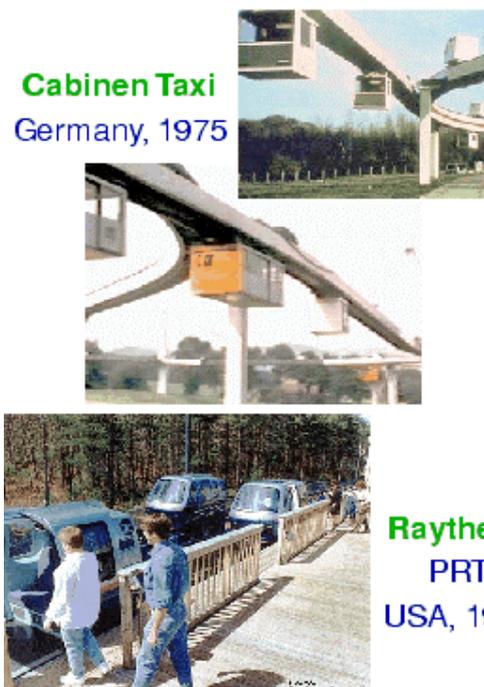


Abb. 8-4: PRT-Systeme

- Trennung des Verkehrs von Naturreservaten durch Einsatz von Überkopfschienen,
- weniger Abfall; die Bauteile haben eine lange Lebensdauer und der modulare Aufbau ermöglicht eine hohe Wiederverwertbarkeit.

8.2.3.1.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

PRT Systeme werden bisher hauptsächlich auf Messen eingesetzt.

8.2.3.1.4 Verwandte Projekte

AGV: „Automated Guided Vehicle“ Systems (siehe Abb.)

Eigenschaften:

- Niedrige bis mittlere Transportkapazität.
- Geschwindigkeiten bis 20km/h.
- Nutzung von vorhandenen Straßen.
- Netzwerk mit hoher Verzweigungsdichte.
- Für Transporte in Gebäuden geeignet.

Technische Probleme:

- Sicherer Betrieb, auch wenn Hindernisse auftreten.
- Zuverlässiger Betrieb, auch bei schlechten Wetterverhältnissen.



Parkshuttle
Netherlands, 2000



Serpentine
Switzerland, 1999



Robotruck FTS
Germany, 1999

Abb. 8-5: AGV-Systeme

[MAIT o.J.]

8.2.3.2 Schienenauto „RUF“

8.2.3.2.1 Entwicklungsstand

Die Vision einer künftigen Fahrt ins Büro: Man trinkt genüsslich den morgendlichen Kaffee, checkt seine E-Mails, plant Termine und genießt mit verschränkten Armen einen großartigen Ausblick auf die Umgebung. Kein lästiges Verkehrsgewimmel, keine Hände am Lenkrad und vor allem keine entnervende Stop-and-Go Kolonne.

Genau diese Vision hatte der Däne Palle Jensen schon vor 12 Jahren, als ihm das erste Mal eine Kombination aus Auto und Zug durch den Kopf ging. Dabei wurde die Idee des "RUF" geboren, ein Auto, das sowohl auf der Straße fährt als auch auf Schienen zum Ziel gelangt, schneller und effektiver.

Im Prinzip basiert das System auf Elektroautos und einem Netzwerk aus sogenannten "Monorails", einem Netzwerk zentral auf der Straße liegender Führungsschienen. Am Ende der vorprogrammierten Strecke wird man vom System wieder vom Monorail-Netz abgeleitet und fährt unter voller Eigenkontrolle weiter auf normalen Straßen.

Laut derzeitigen Plänen beträgt der Maschenabstand des Schienennetzes rund 5 x 5 Kilometer. Alle fünf Kilometer hat der Autofahrer also die Möglichkeit auf ein Netz aufzufahren oder auf ein unterschiedliches Gleis umgeschleust zu werden. Ein großer Unterschied zum normalen Straßenverkehr

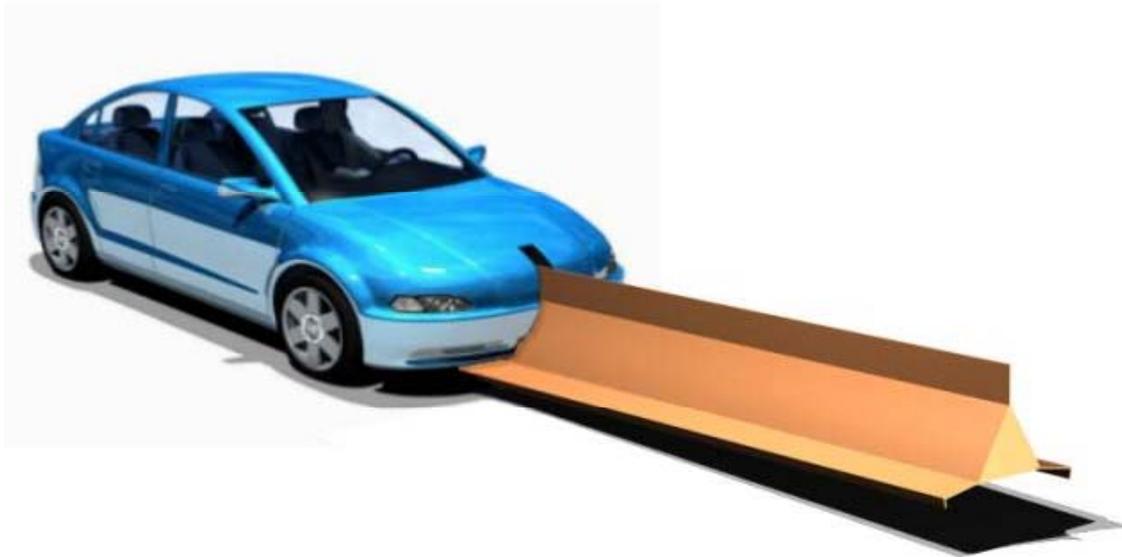


Abb. 8-6: Schienenauto „RUF“

liegt jedoch darin, dass sich die Autos nicht alleine auf den Schienen bewegen. Schon bei der Auffahrt werden die einzelnen RUF's zu einem Zug zusammengefügt. Die Länge dieses Zuges hängt wesentlich von der Dichte des Verkehrs ab.

8.2.3.2.2 Potenzial

Jensen vereint mit seiner Idee sowohl die Freiheit der Wegwahl als auch Effektivität und Schnelligkeit. Im Durchschnitt ist man mit einem RUF-Auto wesentlich rascher am Ziel, als würde man sich durch die verstopften Straßen wälzen.

Und weil das RUF-Auto sogar alleine (gemäß der Programmierung) fahren kann, sollte auch das Parkplatzsuchen kein Problem mehr sein.

Elektrizität ist die primäre und ausschließliche Energiequelle eines RUF-Autos. Hochleistungs-Akkus oder Brennstoffzellen erlauben derzeit eine Reichweite von mehr als 50 km auf normalen Straßen. Auf den ersten Blick scheint das nicht viel, doch das RUF Auto wird durch die Schienen immer wieder aufgeladen, sobald man auf das Netz auffährt.

8.2.3.2.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Die Kosten für die ultraleichten Monorails belaufen sich demnach auf zirka sieben Millionen Dollar pro Meile. Um das gesamte Stadtgebiet von Seattle abzudecken, wäre ein Budget von 1,13 Milliarden Dollar nötig. Geradezu billig im Vergleich zu einer U-Bahn. (Quelle: Expedition Zone, Yahoo)

8.2.3.2.4 Verwandte Projekte

LineCar

8.2.3.3 CargoCap („Rohrpost“)

8.2.3.3.1 Entwicklungsstand

Seit einiger Zeit existieren Ideen, nach dem Vorbild der altbewährten „Rohrpost“ auch größere Gegenstände - und auch Menschen - über weite Strecken zu befördern. Technisch ist dies möglich, etwa durch die Konstruktion entsprechend dimensionierter und ausgestatteter Kapseln, die durch Luftdruck von etwa 0,3 atü und mit steigender Geschwindigkeit durch eine Art ‚Pipeline‘ getrieben werden.

Pläne dieser Art existierten in den siebziger Jahren für ein Rohrpostsystem zwischen London und Birmingham, das einen Durchmesser von drei Metern haben sollte und bei gleicher Kapazität dieselben Baukosten wie eine sechsspurige Autobahn verursacht hätte. Auch über eine Blitzverbindung zwischen den beiden Küsten der USA wurde nachgedacht, wobei das Transportgut in nur drei Stunden von Küste zu Küste bewegt werden sollte. In beiden Fällen wäre mit der Realisierung der Projekte nur ein Bruchteil der Energie und der Umweltbelastungen durch herkömmliche Lösungen verbunden gewesen.

An der Bochumer Ruhr-Universität hat Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein ein zukunftsträchtiges Konzept zur Entlastung der Autobahnen ausgearbeitet: Ein unterirdisches Leitungssystem für Frachtgüter, das wie eine überdimensionale Rohrpost funktioniert. Transportkapseln übernehmen den Güterverkehr.

Unter dem Namen "Cargo Cap" wurde eine Art Super-Rohrpost für Frachtgüter entwickelt. Kapseln mit Platz für je zwei Euro-Paletten sollen durch Rohrleitungen fahren. Mit bis zu fünfzig Kilometern pro Stunde sollen neuartige Gefährte führerlos durch den Untergrund sausen. Gelenkt werden sie von einem Computer, angetrieben von Elektromotoren. So finden die Kapseln automatisch ihr Ziel. Sie sind beladen mit dem, was zurzeit noch Lastwagen transportieren.

Im Durchmesser wären sie nicht größer als 1,60 Meter - so können sie problemlos unter den Straßen verlaufen. Trotzdem soll der Bau des Rohrsystems den Verkehr darüber kaum stören (Abbildung). Mit modernster Bohrtechnik kann es in wenigen unterirdischen Baustellen ferngesteuert entstehen.

8.2.3.3.2 Potenzial

In Ballungsgebieten wie dem Ruhrgebiet stehen die Straßennetze kurz vor dem Kollaps. Und die Prognosen stimmen wenig zuversichtlich: Allein beim Lkw-Transport rechnen Experten in den nächsten zehn Jahren mit einer Steigerung um zwei Drittel. Das würde bedeuten: noch mehr Staus, noch mehr Abgase und noch mehr Lärm für die Anwohner.

Rohrpostsysteme stellen eine weitere Möglichkeit dar, den Verkehr von der Straße weg zu verlagern. Bei CargoCap würden kaum direkte Emissionen entstehen. Dabei sollen nicht nur Gewerbegebiete und Geschäftszentren im Ruhrgebiet durch die neue Rohrpost verbunden werden, sondern auch jeder einzelne Haushalt. Damit könnte schließlich das im Keller ankommen, was vorher im Wohnzimmer durch den PC bestellt wurde.



Abb. 8-7: CargoCap

8.2.3.3.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Die rot-grüne Landesregierung von Nordrhein-Westfalen hat die Entwicklung der Riesen-Rohrpost in den Koalitionsvertrag aufgenommen und die Forschung mit 1,8 Millionen Mark gefördert. Was jetzt noch fehlt, ist ein Pilotprojekt. Dafür müssten private Investoren gefunden werden. Doch der Wissenschaftler Prof. Stein ist zuversichtlich. Denn der Druck, das Verkehrsproblem zu lösen, wird immer größer. Für die stauanfällige A40 zwischen Unna und Duisburg gibt es sogar schon ein konkretes Konzept, das in zehn Jahren Wirklichkeit werden könnte. (Quelle: 05.10.2000 nano online)

Testbetrieb eines High-Tech-Pipeline-Transportsystems in Japan: Nachdem die europäischen und US-amerikanischen ‚Pipeline‘-Transportpläne Utopie blieben, wird derzeit in Japan ein High-Tech-‚Pipeline‘-Projekt im Testbetrieb erprobt. Bei der Testversion des Projektes gleitet ein 30 Zentimeter dicker und 80 Zentimeter langer ‚Torpedo‘ mit einer Geschwindigkeit von 40 Stundenkilometern durch eine 55 Meter lange Versuchsröhre. Die Vorwärtsbewegung wird hierbei elektromagnetisch erzeugt. In der Röhre befindet sich ein System von Spulen, durch die ein elektrisches Feld wandert, das die mit Permanentmagneten bestückten ‚Torpedo‘-Kapseln durch die Röhre jagt. Nach der Weiterentwicklung der ‚Pipeline‘-Technologie sollen Systeme dieser Art den Lkw-Verkehr in den großen Metropolen Japans um 20 Prozent reduzieren. Als Fernziel werden auch Einsatzmöglichkeiten für den Personenverkehr erwogen. (Quelle: DVR)

8.2.3.3.4 Verwandte Projekte

Swissmetro, RUMBA – Röhrenuntergrund Magnetschwebbahn für den Personentransport.

8.2.3.4 Luftschiffe

8.2.3.4.1 Entwicklungsstand

Das Jahr 1936 erlebte die Taufe des wohl berühmtesten aller Luftschiffe: das LZ 129, die »Hindenburg«. Nur ein Jahr später, am 6. Mai 1937, flog die Hindenburg in die größte Tragödie der damaligen Geschichte der zivilen Luftfahrt. Bei der Landung in Lakehurst im US-Staat New Jersey fing das Luftschiff Feuer. 36 Menschen starben. Die Ursache der Katastrophe: Luftschiffe flogen zwar seit 1930 mit nichtbrennbarem Helium, doch das ungefährliche Gas war wegen eines Wirtschaftsembargos und des damaligen US-Monopols in Deutschland nicht zu bekommen - und die Hindenburg fuhr mit brennbarem Wasserstoff. Der Schock der Hindenburg-Katastrophe saß tief. Die Luftschiffe und mit ihnen das Lighter-Than-Air-Prinzip verschwanden vom Himmel, nur die amerikanischen »Blimps« flogen weiter.

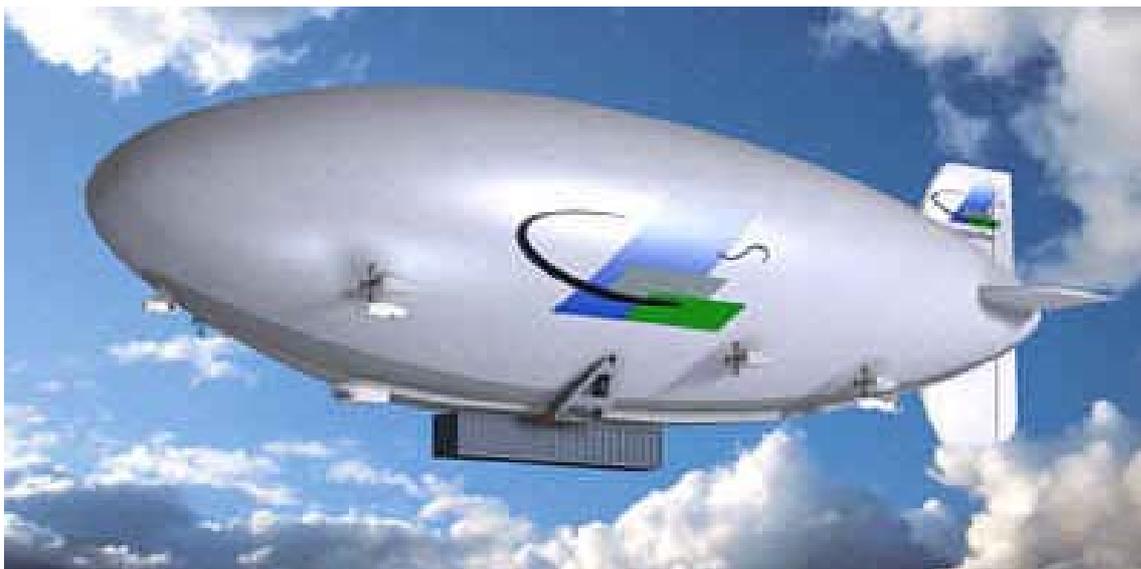


Abb. 8-8: CargoLifter

Seit einigen Jahren gelangen kleinere Versionen der Riesenluftschiffe zum Einsatz, um in den Sommermonaten alle Blicke auf ihre Werbe-Botschaften zu lenken. Seit 1997 gibt es auch wieder große Brüder der Werbe-Luftschiffe: Genau 60 Jahre nach der Brandkatastrophe von Lakehurst nahm der Zeppelin NT am Traditions-Standort Friedrichshafen die Fahrt wieder auf. Diese Luftschiffe stehen im Dienst von Wissenschaft und Tourismus.

Neue Wege geht die CargoLifter AG. Mit der Jahrtausendwende, also genau einhundert Jahre nach dem Jungfernflug des LZ 1, schlägt der CargoLifter CL 160 ein neues Kapitel der Luftschiffahrt auf: Beförderung komplexer Schwer- und Großtransporte. Die geplanten Eckdaten sprechen für sich: Mit rund 550.000 Kubikmetern Helium bei 260 Metern Länge und 65 Metern Durchmesser wird der CL 160 vom Volumen her das größte Transportmittel sein. „Zur Lösung eines dringenden Transportproblems holen wir ein faszinierendes, jahrhundertealtes Prinzip in die Gegenwart und machen seine Vor-

züge mit modernster Technik nutzbar“, so der CargoLifter-Vorstand Dr. Carl von Gablenz. „Die Lighter-Than-Air-Technologie passt in unsere Zeit. Sie ist die Voraussetzung, um die Globalisierung der Märkte voranzutreiben.“ Der CargoLifter ist zudem wesentlich energiesparender als herkömmliche Transportmittel und er benötigt keine aufwendige, landverbrauchende und damit teure Infrastruktur. „Im Prinzip reichen für das Be- und Entladen eine Fläche, die etwas größer als ein Fußballfeld ist mit vier Haken im Boden“, so von Gablenz. Wie ein schwebender Kran wird er bis zu 160 Tonnen Fracht nonstop an seinen Zielort befördern. Nachfolgemodelle sollen sogar bis zu 450 Tonnen transportieren. (Quelle: CargoLifter AG)

8.2.3.4.2 Potenzial

Durch den Punkt-zu-Punkt-Transport kann der CargoLifter auch in unzugängliche, abgelegene Regionen gelangen, ohne dass dafür der Bau oder Umbau von Straßen oder Brücken notwendig ist. Der CargoLifter ist nicht an eine gut ausgebaute Infrastruktur (wie z. B. Landebahnen, Straßen. ...) gebunden und kann Fracht nonstop über bis zu 10.000 km befördern. Durch seine Reisegeschwindigkeit von ca. 80 km/h und ohne zeitintensive Kran- und Umladearbeiten ist er somit deutlich schneller als gängige Schwertransporte mit durchschnittlich ca. 8 km/h. Er kann dadurch traditionelle Transportprozessketten verkürzen und viele komplexe Vorgänge ersetzen.

Durch den Einsatz der "Leichter-als-Luft"-Technologie wird erheblich weniger Energie für den Transport benötigt. Das Helium in der Luftschiffhülle erzeugt so viel Auftriebskraft, dass die Fracht mit einem Gewicht von bis zu 160 Tonnen quasi "schwereelos" wird und lediglich Energie für den Vortrieb benötigt wird. Damit liegen die ökologischen Vorteile des CargoLifters auf der Hand:

- Er trägt zur Entlastung des Straßenverkehrs bei, da Verkehrsbehinderungen, Lärm und Emissionen durch Schwertransporte deutlich reduziert werden können.
- Der relativ geringe Treibstoffverbrauch schont im Vergleich zu konventionellen Transporten die Ressourcen.
- Die Emissionen fallen in geringeren Höhen als beim Luftverkehr an (im Durchschnitt in 1.000 Metern Höhe). Damit werden die höheren und empfindlicheren Luftschichten nicht belastet.
- Die benötigte Fläche für die Be- und Entladung beschränkt sich auf die Größe von ca. 120 x 120 m. Dabei muss die Fläche nicht versiegelt werden, sondern es ist nur eine verfestigte Fläche vorgesehen.
- Der CargoLifter benötigt nur wenig Infrastruktur beim Lastaufnahme- und -absetzvorgang und reduziert so wiederum den Flächenverbrauch. Dadurch werden ökologisch sensible und für den Klimahaushalt wichtige Gebiete geschont.

8.2.3.4.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

CargoLifter hat am 16. März 2002 den ersten CL 75 AirCrane an Heavy Lift Canada, Inc., verkauft. Heavy Lift Canada wird den Transport-Ballon des Logistik-Unternehmens auf Alaskas Eisstraßen ein-

setzen und hat sich bereits die Option auf den Kauf 25 weiterer CL 75 AirCrane gesichert. Das Luftschiff CL 160 soll 2005/2006 in Serie gehen. (Quelle: CargoLifter AG)

8.2.3.4.4 Verwandte Projekte:

SkyCat

8.2.3.5 Velotaxi

8.2.3.5.1 Entwicklungsstand

Velotaxis, die erstmalig 1997 in Berlin an den Start gingen, sind moderne, überdachte Fahrradrikschas, mit denen zwei Personen transportiert werden können. Der Berliner Ludger Matuszewski macht damit Bussen und Bahnen exotische Konkurrenz. Rund eine viertel Million Euro investierte der Informatiker und ehemalige Debis-Manager in das umweltfreundliche und energiesparende Nahverkehrssystem. Für seine Pedalritter entwickelte er ein High-Tech-Dreirad, das mittlerweile auch patentrechtlich geschützt ist.



Abb. 8-9: Velotaxi

Rund 150 selbstständige Fahrer hat der Chef der 1996 gegründeten Velotaxi GmbH Berlin in seiner Kartei. Sie können die Taxen bei ihm für 2,56 Euro am Tag mieten. Lohn der recht schweißtreibenden Arbeit für die Fahrer im Schnitt zwischen 41 und 179 Euro täglich.

Velotaxis finanzieren sich hauptsächlich über Werbung. Die Bilanz der ersten Saison kann sich sehen lassen: 1997 setzte der Unternehmer mit sieben Mitarbeitern 409.000 Euro um. (Quelle: WirtschaftsWoche Nr. 46 vom 06.11.1997)

8.2.3.5.2 Potenzial

Die Velotaxis fahren auf festen Routen, machen aber auch kleine Umwege für ihre Kunden. Als Ergänzung zum öffentlichen Nahverkehr für Kurzstrecken sind sie insbesondere auf Grund ihres emissionsfreien Personentransports für Innenstädte attraktiv.

8.2.3.5.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Seit 1997 in Betrieb. Das Konzept soll jetzt auch in anderen Städten eingeführt werden. (Quelle: Querschnittsgruppe Arbeit und Ökologie beim Präsidenten des Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung)

8.2.3.5.4 Verwandte Projekte

Fahrradkuriere, Öffentliche Fahrräder „CityBike“, Transglide Bicycle Transit.

8.2.4 Handlungsfelder und Forschungsbedarf

Im Bereich der Antriebstechnik ist schon heute ein großes und kurzfristig aktivierbares Potenzial zur Reduzierung der Emissionen erkennbar. So könnten bei Benzin- und Dieselantrieb schon im Jahr 2005 insgesamt 52 Prozent der Kohlendioxid-Emissionen pro neu zugelassenem Fahrzeug vermieden werden, wenn alle heute bekannten technischen Verbesserungsmaßnahmen in und um die Motoren eingesetzt würden. Die Realisierungswahrscheinlichkeit wird dabei sowohl durch gesetzliche Vorgaben (z. B. Abgasnormen) und die preisliche Entwicklung der Treibstoffe als auch den technologischen Wettbewerb zwischen den Motoren- bzw. Fahrzeugherstellern bestimmt. Es sollte aus diesem Grund untersucht werden, mit welchen Maßnahmen (z. B. gesetzlich, finanziell) der Einsatz (Hersteller) und die Nachfrage (Kunde) von schon bereitstehenden Technologien gefördert und wie zukünftig weiterführende Forschungsarbeiten im Bereich der Antriebstechnik und alternativer Kraftstoffe (z. B. Gas, Wasserstoff) motiviert werden kann.

Insbesondere im Bereich der Entwicklung und des Einsatzes alternativer Antriebstechniken ist hier seit mehreren Jahren die Technologie der Brennstoffzelle in den Vordergrund gerückt. Trotz verhaltener Einschätzung der Einsparungspotenziale durch die Brennstoffzellentechnologie sollten die Forschungsarbeiten weiter intensiviert werden, da im Gegensatz zu anderen alternativen Antriebstechniken die Brennstoffzelle fast allen Bereichen der Energiegewinnung (z. B. Auto, Heizung, Notebook usw.) eingesetzt werden kann. Zudem befindet sich die Entwicklung der Brennstoffzelle erst am Anfang ihrer Produktlebenszeit, so dass der ganze Umfang ihres Potenzials unter Umständen heute noch nicht erkennbar ist.

Grundsätzlich besteht damit der Anspruch, dass alternative Antriebe (z. B. Hybridantrieb, Elektroantrieb, Linearantrieb) langfristig aus Umweltsicht nur dann erfolgreich sein dürfen, wenn sie bezüglich Kraftstoffverbrauch und Kohlendioxidemissionen noch günstigere Werte aufweisen als zukünftige konventionelle Antriebsverfahren. Ein Anspruch, der heute den produktions- und nachfragemotivierten Ansprüchen von Herstellern und Kunden nach konventioneller Antriebstechnik in der Tat unterstützt. Somit stellt sich weiter die Frage, wie kann die Entwicklung alternativer Antriebe und Treibstoffe dennoch aufrecht erhalten und weiter vorangetrieben werden, auch wenn sie noch in den „Kinderschuhen“ steckt und der konventionellen Antriebstechnik damit noch unterlegen ist.

Im Bereich der Reduktion von Roll- und Luftwiderstand wurden herstellenseitig in den letzten zehn Jahren große Fortschritte erzielt (z. B. Optimierung des cw-Wertes bei Autos). Auf Seiten des Nutzers lassen sich durch falsches Verhalten (z. B. Skiträger wird bei Nichtgebrauch aus Bequemlichkeit nicht abgebaut, Reifendruck ist nicht optimal) aber immer noch Einsparungspotenziale erkennen. Ähnlich wie beim Fahrverhalten stellt sich damit die Frage, wie kann der Umgang mit dem Fahrzeug hinsichtlich ökologischer Nutzung gefördert werden. Ansätze lassen sich heute schon in wenigen Fahrschulen finden, die gezielt den treibstoffsparenden und damit emissionsarmen Fahrstil lehren.

Die Verkehrsmittel der Zukunft versuchen vor allem der Forderung nach kürzeren Beförderungs- und Transportzeiten zu entsprechen. Der mit der höheren Geschwindigkeit einhergehende Anstieg des Energieverbrauchs soll dabei durch möglichst effiziente Antriebstechnik gemindert werden. Es stellt sich somit die Frage, ob der Anspruch auf Schnelligkeit in jedem Fall immer aufrecht erhalten werden muss oder ob und wie längere Fahrzeiten bei deutlich niedrigerem Energieverbrauch und Emissionseintrag von den Kunden akzeptiert werden können (z. B. wie am Strommarkt: AquaPower, Solarstrom).

Potenziale zur Reduzierung von Emissionen können bei den Verkehrsmitteln in der Kollektivierung bzw. Verlagerung von Fahrten gesehen werden. Der Entwicklungsstand sowohl von individuellen als auch kollektiven Verkehrsmitteln nimmt heute schon diesen Gedanken auf. So gibt es Ideen, individuelle Verkehrsmittel wie das Auto zu Kollektiven (z. B. Schienenauto, Autoshuttle) zusammenzufassen und energiesparend bzw. emissionsarm zu befördern. Reaktivierte Technologien wie die Rohrpost oder auch das Luftschiff stellen heute auf Grund der Verlagerung des Verkehrs auf weitere Ebenen potenzielle Alternativen und damit Entlastungen des konventionellen Straßenverkehrs dar. Auch der Fahrradverkehr bietet gerade in Innenstädte durch die fortgeschrittene Fahrradtechnik ein hohes Potenzial um Fahrten zu verlagern und damit Emissionen einzusparen. Forschungsfelder, die auf jeden Fall nicht brach liegen dürfen.

Alle neuen Verkehrsmittel benötigen aber meist umfangreiche Verkehrsinfrastrukturen, die der Gemeinschaft hohe Kosten verursachen. So wurde z. B. die Transrapid-Strecke Hamburg-Berlin unter anderem wegen der hohen Erstellungskosten nicht gebaut. Somit hängt die weitere Entwicklung alternativer Verkehrssysteme überwiegend von dem Modus der Finanzierung und der Nutzenabschätzung ab. Auf Grund der großen Anzahl heute schon bereitstehender neuer oder reaktiverter Verkehrssysteme fehlen daher vor allem wirksame Verfahren zur Initiierung und Migration der Systeme in das bestehende verkehrliche Umfeld.

8.3 Verkehrsmanagement

Neben der technischen Ausprägung der Verkehrssysteme wird die Emissionsmenge und den Emissionseintrag insbesondere durch das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung und den Verkehrsablauf in den Verkehrsnetzen beeinflussen. Damit sollten als weitere verkehrliche Ziele zum Erreichen einer nachhaltigen Emissionsreduktion:

- die Beeinflussung der Verkehrsmittelwahl („modal split“) der Bevölkerung bzw. der Spediteure (Güterverkehr) zugunsten emissionsarmer und –freier Verkehrssysteme durch Pull- und Push-Maßnahmen,
- die Vermeidung von Fahrten durch Bündelungsmöglichkeiten von Aktivitäten

sowie auch

- die Harmonisierung des Verkehrsablaufs in den Verkehrsnetzen

betrachtet werden.

8.3.1 Verkehrsmittelwahl Verbesserung des Verkehrsangebots (Pull)

Ergänzend zu den hier behandelten Ansätzen sind im Anhang die Themen Fahrgemeinschaften, Car Pooling und Fahrverhalten dargestellt.

8.3.1.1 Car-Sharing

8.3.1.1.1 Entwicklungsstand

Car-Sharing, das organisierte Autoteilen, ist eine soziale Innovation, die sich mit der Formel Nutzen statt Besitzen beschreiben lässt. Durch das Angebot von Car-Sharing wurde im Umweltverbund ein fehlendes Glied (missing link) eingefügt, das eine kombinierte Mobilität erlaubt, ohne ein eigenes Auto besitzen zu müssen oder auf ein geliehenes Auto von Freunden oder Verwandten angewiesen zu sein. Dieses Eigenverständnis und die realisierten und angestrebten Kooperationen mit ÖPNV-Anbietern, rechtfertigen auch die Einordnung unter der Rubrik einer multimodalen Verkehrsdienstleistung. Mit Hilfe des Car-Sharing können ökologische und ökonomische Effizienzgewinne erzielt werden.

Anders als die klassische Autovermietung soll Car-Sharing individuelle Automobilität an dezentralen Standorten in die Nähe des Wohnorts der Nutzer bringen. Ziel ist es, den Nutzern von Car-Sharing die zeitweise Verfügbarkeit über ein Auto zu ermöglichen, so dass sie kein eigenes Auto mehr besitzen müssen. Dafür kann auch nur für kurze Zeiträume auf ein Auto zurückgegriffen werden, die stundenweise abgerechnet werden, während eine Autoanmietung bei einem klassischen Anbieter immer für mindestens 24 Stunden erfolgen muss.

8.3.1.1.2 Potenzial

Insbesondere in Innenstädten und innenstadtnahen Bereichen (Gründerzeitviertel) von Großstädten, in denen eine gute Nutzungsmischung kurze Wege erlaubt und in denen sowohl durch ein dichtes ÖPNV-

Netz als auch – auf Grund eines großen Parkdrucks - die Mehrzahl der Wege mit den Verkehrsmitteln des Umweltverbands zurückgelegt werden und damit nur gelegentlich der Bedarf nach einem Auto besteht, können Car-Sharing-Modelle erfolgreich sein. Zudem bietet Car-Sharing den Vorteil, immer einen garantierten Stellplatz an einer eigenen Car-Sharing-Station zu haben.

Der ökologische Gewinn liegt sowohl in der Reduktion der eingesetzten Fahrzeuge als auch in einer insgesamt deutlich reduzierten Kfz-Kilometerleistung [auch Emissionen] durch eine veränderte Verkehrsmittelwahl der Nutzer.

Der ökonomische Gewinn für die Nutzer [Attraktivität] liegt in niedrigeren Mobilitätskosten. Da der Fixkostenanteil im Unterschied zum Besitz eines eigenen Autos gering ist, lohnt sich Car-Sharing finanziell vor allem für Personen, die eine unterdurchschnittliche (weniger als 15.000 km/Jahr) Autoverkehrsleistung produzieren.

8.3.1.1.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Träger des Car-Sharing sind, von wenigen Ausnahmen abgesehen (z. B. Cariba der Stadtwerke Wuppertal), privatwirtschaftliche Unternehmen oder Vereine. Dabei variiert der Professionalisierungsgrad beträchtlich. Auf der einen Seite gibt es eine Vielzahl kleiner Vereine, die das gemeinschaftliche Autoteilen ehrenamtlich und ohne Gewinninteresse betreiben. Auf der anderen Seite zeichnet sich ab, dass professionelle Anbieter, die meist in Form einer GmbH operieren, expandieren werden. Vorbild für diese Firmen ist die Schweiz, wo durch den Zusammenschluss der beiden größten Car-Sharing-Unternehmen ein nationaler Anbieter, die Mobility entstanden ist.

Ein weiteres Beispiel ist die StattAuto Car Sharing AG. Die StattAuto Car Sharing AG ist im August 1998 gegründet worden. Sie ist aus einer Fusion der StattAuto Berlin GmbH und der StattAuto Hamburg GmbH hervorgegangen. Zum Zeitpunkt ihrer Gründung hatte sie 5 400 Nutzer, die sich 270 Autos teilten. Zwei Drittel der Nutzer entfielen dabei auf Berlin, ein Drittel auf Hamburg.

Zusammenschlüsse oder Neugründungen von Niederlassungen in anderen deutschen und europäischen Großstädten sollen in den kommenden Monaten folgen. So wurde bereits in London eine Car-Sharing Firma mit Namen LondonSMiles gegründet. (Quelle: Veröffentlichungsreihe der Querschnittsgruppe Arbeit & Ökologie beim Präsidenten des Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung)

8.3.1.1.4 Verwandte Projekte

Mietwagen, Wechselauto, Carpooling

8.3.1.2 Wohnen ohne Auto

8.3.1.2.1 Entwicklungsstand

Mit Mobilitätsmanagement im Quartier kann die Zahl der MIV-Fahrten der Wohnbevölkerung reduziert werden. Viel diskutiert wird in diesem Zusammenhang die Idee des autofreien Wohnens. Dabei gilt es zwischen autofreien Neubaugebieten und autofreiem Wohnen im Bestand zu unterscheiden.

In autofreien Neubaugebieten sind innerhalb des Areals keine Autos erlaubt. Der überwiegende Teil der Bewohner besitzt kein Auto, die übrigen müssen Stellplätze am Rande des Gebiets zu den vollen Erstellungskosten erwerben. Dass es eine Nachfrage nach solchen Gebieten gibt, konnte mittlerweile mit Marktuntersuchungen nachgewiesen werden.

Voraussetzung für das Funktionieren autofreier Wohngebiete ist die sorgfältige Auswahl des Standorts. Dieser sollte eine sehr gute Anbindung an das Netz des öffentlichen Nahverkehrs (möglichst schienengebunden und in alle Himmelsrichtungen) haben; Schulen, Kindergärten, Einkaufsmöglichkeiten für Güter des täglichen Bedarfs und Freizeitangebote in unmittelbarer Umgebung bieten und eine räumliche Nähe (bis max. 10 Min. mit dem Fahrrad) zum nächsten (Sub-)Zentrum aufweisen. Erfolgversprechend ist besonders die Integration von Car-Sharing in ein Wohnareal.

8.3.1.2.2 Potenzial

In einer Umfrage des Stadtplanungsamtes Köln mit 4 300 Haushalten, schickten 2 500 Haushalte den ausgefüllten Fragebogen zurück, in dem sie ihr aktives Interesse an einem Umzug in ein autofreies Wohngebiet bekundeten. In autofreien Wohngebieten kann eine neue städtebauliche und ökologische Qualität erreicht werden. Den Interessenten sind besonders wichtig:

- Ruhe und gute Luft
- gefahrloses Spielen für Kinder
- mehr Lebensqualität
- aktiver Beitrag zum Umweltschutz [Emissionen].

8.3.1.2.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Autofreie Projekte im Neubaubereich sind bisher im größeren Umfang nur in Amsterdam realisiert worden. In Deutschland sind in über 30 Städten autofreie Wohnprojekte in der Planungs- bzw. teilweise auch schon in der Bauphase. Träger dieser Projekte sind private Vereine, Baugenossenschaften, kommunale Wohnungsbaugesellschaften, freie Träger, Baugruppen aber auch Privatinvestoren, die die Finanzierung übernehmen. (Quelle: Veröffentlichungsreihe der Querschnittsgruppe Arbeit & Ökologie beim Präsidenten des Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung)

8.3.1.2.4 Verwandte Projekte

Stadt der kurzen Wege

8.3.1.3 Öffentlicher Nahverkehr (ÖPNV)

8.3.1.3.1 Entwicklungsstand

Die Bemühungen zur Verringerung des motorisierten Individualverkehrs zielen insbesondere auf eine stärkere Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel ab. Dabei lassen sich deutliche Unterschiede in der Leistungsfähigkeit und Attraktivität der verschiedenen Verkehrsmittel des ÖPNV ausmachen. So weisen z. B. spurgeführte ÖPNV-Systeme auf Grund ihrer besseren Systemerkennbarkeit, größeren Sicherheit

und geringeren Störanfälligkeit wegen separater Verkehrsführung sowie (in der Regel) ihres größeren Ausstattungskomforts (Quelle: BMV 1995) eine Reihe von Vorteilen auf, die ihnen bei den derzeitigen und potentiellen Fahrgästen ein positives Image verleihen.

Bis heute wurden verschiedene Ansätze zur Steigerung der Attraktivität des ÖPNV verfolgt:

- Optimierung von Netz- und Fahrplanstruktur [Angebot],
- Einsatz von bedarfsgesteuerten Betriebsformen [Bedarfsbedienung],
- Beschleunigung der Fahrzeiten und Verbesserung der Pünktlichkeit [Betrieb],
- Erhöhung des Zugangs- und Beförderungskomfort [Komfort],
- Intensivierung der Fahrgastinformation und -betreuung [Service],
- Vereinfachung des undurchschaubaren Tarifdschungels [Tarif] und der Modalität der Fahrpreientrichtung sowie
- Verbesserung des Marketings.

8.3.1.3.2 Potenzial

Die Ansätze zur Steigerung der Attraktivität des ÖPNV erfordern oft die Bereitstellung hoher Investitionsmittel. Durch die Gemeinwirtschaftlichkeit des ÖPNV hängt die Realisierung dieser Ansätze damit sehr stark von der Bereitschaft der Kommunen und Städte zur Finanzierung eines besseren ÖPNV ab. Diese Bereitschaft wird maßgeblich von dem Problem- und Handlungsdruck in den Kommunen und Städten bestimmt. Knappe Ressourcen in den Innenstädten (z. B. Kapazitäten im Straßennetz und bei Stellplatzanlagen) aber auch ökologische Ansprüche der Bevölkerung (z. B. Reduktion der Lärm- und Abgasbelastung in Wohngebieten) zwingen seit längerem vor allem in Ballungsräumen zum Handeln. Dementsprechend lassen sich die meisten Ansätze zur Verbesserung des ÖPNV heute in den Großstädten finden. Auf Grund des guten ÖPNV werden in diesen Städten viele Fahrten mit dem ÖPNV durchgeführt („modal split“ bei 25 bis 40 Prozent). Damit leistet schon heute der ÖPNV wohl den wichtigsten Beitrag zur Reduktion von Kfz-Fahrten und damit zur Reduktion von Emissionen.

Eine weitere, wesentliche Steigerung der Nutzung des ÖPNV kann vor allem durch die Verbesserung der Transparenz des Verkehrssystems ÖPNV erreicht werden. Dazu zählen vor allem begleitende Reiseinformationen für den Kunden über die gesamte Wegekette (intermodal) sowie die Integration von Buchungs- und Bezahlungsfunktionen in das Informationssystem (Ziel: Abbau von Zugangshemmnissen). Erste Ansätze wurden in den Forschungsprojekten des BMBF (Mobilität in Ballungsräumen, DOM – „der bewegte Mensch“) geleistet und sollten in Richtung Generierung von individuellen situations- und positionsabhängigen Ad Hoc-Informationen für den Kunden (z. B. Routenalternativen bei Störfällen in Verkehrsnetzen) weitergeführt werden.

8.3.1.3.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von funktional abgestuften Liniennetzen hat sich in der Praxis erwiesen (z. B. Stadtbahn Karlsruhe). Der Nachteil des Umsteigens wird durch gute zeitliche

Anschlüsse und bequeme Verbindungswege zwischen den verknüpften Linien wettgemacht. Attraktivitätssteigernd sind verlängerte Betriebszeiten des ÖPNV - insbesondere in den Abend- und Nachtstunden (z. B. Nachtlinien am Wochenende). Diesbezügliche Fahrpreiszuschläge werden in der Regel akzeptiert (Quelle: BMV 1995). Gebiete mit geringer Verkehrsnachfrage können durch bedarfsgesteuerten Betrieb erschlossen und an die ÖPNV-Achse angeschlossen werden (z. B. Rufbus Erding – Ballungsraum München). Die Betriebskosten von bedarfsgesteuerten Verkehrsangeboten liegen bei gleicher Bedienungsqualität 10 bis 30 Prozent unter denen des herkömmlichen Linienbetriebs.

Im Bereich Tarifmodelle leisten heute schon z. B. „Job-Tickets“ (verbilligte Fahrkarten-Abonnements), die die Verkehrsbetriebe den Firmen für ihre Belegschaft anbieten, einen wichtigen Beitrag, um den Umstieg der Firmenangehörigen auf öffentliche Verkehrsmittel zu forcieren. Diese Möglichkeit stellt in einigen Fällen eine ökologische Alternative zur Schaffung neuer Pkw-Stellplätze dar. Ähnlich liegt der Fall bei „Studenten-Tickets“. Ihr Beitrag zur Vermeidung von Autofahrten konnte schon mehrmals nachgewiesen werden.

Erste Ansätze zur verkehrsmittelübergreifenden und -vergleichenden Information des Kunden liefert z. B. seit kurzem das Internetportal der Deutschen Bahn (www.bahn.de).

8.3.1.3.4 Verwandte Projekte

Stadt der kurzen Wege, Intermodalität, Förderung des Fahrradverkehrs.

8.3.2 Verkehrsmittelwahl

Bewirtschaftung von Ressourcen (Push)

8.3.2.1 Parkraumbewirtschaftung

8.3.2.1.1 Entwicklungsstand

In den innenstadtnahen, mit Gewerbe durchmischten Wohngebieten kommt es zu erheblichen Problemen beim ruhenden Verkehr. Parkbedürfnisse von Bewohnern, Beschäftigten, Gewerbetreibenden und Kunden sowie der Besucher konkurrieren miteinander um die knappen Parkplätze im Straßenraum. Der Parksuchverkehr belastet dabei die Gebiete (Emission, Verkehrssicherheit). Im Mittelpunkt einer Lösungsstrategie "Parkraummanagement" steht die Zuordnung von Prioritäten bei der Versorgung der verschiedenen Nutzergruppen mit Parkraum.

Ansätze für die Entwicklung von Parkraumkonzepten werden dabei nicht nur unmittelbar im Zielraum gesehen, vielmehr kann durch die Verknüpfung mehrerer Maßnahmen im Einzugsgebiet eine ganzheitliche Parkraumbewirtschaftung initiiert werden. Folgende Einzelmaßnahmen stehen heute zur Regulierung der Stellplatznachfrage zur Verfügung:

- Ausweitung und Verbesserung der Bike+Ride-Infrastruktur

Ziele der Maßnahmen ist die Steigerung des Fahrradanteils als ÖPNV-Zubringer. Dabei wird heute besonderer Wert auf die Erleichterung des Umsteigens vom Fahrrad auf den ÖPNV sowie

auf die Verbesserung der Abstellmöglichkeiten für Fahrräder an den Haltestellen des ÖPNV gelegt (Quelle: Mobinet).

- Ausweitung und Verbesserung des Park+Ride-Managements

Durch die Optimierung der Lage, Größe und des Managements von P+R-Anlagen wird eine Steigerung des P+R- und des ÖPNV-Anteils vor allem im Berufsverkehr angestrebt. Neben der Verbesserung der Flächenerschließung und der Bündelung von Verkehrsströmen kann durch räumlich gestaffelte Parkentgelte auch eine gezielte Steuerung der P+R-Nutzung stattfinden (Quelle: Mobinet). Die Reduzierung des mit motorisierten Individualverkehrsmitteln zurück gelegten Streckenanteils durch frühzeitiges Umsteigen auf den ÖPNV stellt somit direkt einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung (Verkehrsmenge, Emissionen) der sensiblen Innenstädte dar.

- Verbesserung des Parkraum-Managements im Zielgebiet

Die Maßnahme eines effizienten Parkraum-Managements im Zielgebiet soll in Zukunft helfen, den Parksuchverkehr weiter zu reduzieren, die Erreichbarkeit für Besucher und den Wirtschaftsverkehr zu verbessern, den vorhandenen Parkraum effektiver auszunutzen sowie das Umfeld für Bewohner und Besucher attraktiver zu gestalten.

Dazu können Prioritäten der mit Parkraum zu versorgenden Nutzergruppen (1. Bewohner - 2. Wirtschaftsverkehr - 3. Kunden, Besucher - 4. Beschäftigte) festgelegt werden und über ein räumlich und zeitlich differenziertes Parkraummanagement-Konzept mittels Parkbevorrechtigung für Bewohner, Beschränkung der Parkdauer, Parkgebühren und Lieferzonen umgesetzt werden (Quelle: Mobinet).

8.3.2.1.2 Potenzial

Die Maßnahmen der Parkraumbewirtschaftung in Kombination mit der Parkrauminformation (z. B. ParkInfo München) werden grob betrachtet vor allem den Parksuchverkehr reduzieren und damit zur Minderung des Emissionseintrags in Zielgebieten beitragen.

Insbesondere das Instrumentarium der preislichen Bewirtschaftung bietet aber auch die Möglichkeit einer gezielten Erhöhung des Widerstands zur Nutzung des Autos. Damit können in Zukunft weitere Verlagerungen von Kfz-Fahrten auf Verkehrsmittel des Umweltverbands und damit weitere Emissionsreduktionen erwartet werden.

Die Verlagerung von Kfz-Fahrten auf das Fahrrad könnte weiter gefördert werden, wenn neben der Stellplatzfrage an den Verknüpfungsstellen zu anderen Verkehrssystemen auch weiterführende Betrachtungen zu der Stellplatzsituation in den Haushalten (Sicherheit, Zugänglichkeit usw.) durchgeführt würden. Bike+Ride könnte im umgekehrten Sinn ebenfalls als Park+Bike (siehe dazu auch den Ansatz „CityBike“ der DB AG) einen weiteren Beitrag zur Entlastung der Innenstädte von Emissionen liefern.

8.3.2.1.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Die verschiedenen Maßnahmen der Parkraumbewirtschaftung lassen sich heute vor allem in Ballungsräumen finden. Je höher der Problemdruck in den Innenstädten ist, desto intensiver ist ihre Ausprägung. Die Erprobung weiterentwickelter sowie weiterführender Maßnahmen des Bike+Ride, Park+Ride sowie des Parkraummanagements werden im Rahmen der Forschungsarbeiten in den Bal-

lungsraumprojekten innerhalb von Testfeldern erprobt und evaluiert (z. B. Mobinet: Parken in den innenstadtnahen Wohngebieten Schwabing und Lehel).

8.3.2.1.4 Verwandte Projekte

ParkInfo, CityBike, Anwohnerparken, „Blaue Zone“ München.

8.3.2.2 Straßenbenutzungsgebühr (road pricing)

8.3.2.2.1 Entwicklungsstand

Die mittelbaren und unmittelbaren Auswirkungen des weiterhin schnell wachsenden motorisierten Individualverkehrs (MIV) sind vielfältig. Der MIV steht für Stau, der nicht nur (Zeit-)Kosten, sondern auch Umweltschäden verursacht, Flächenverbrauch, Landschaftszerschneidung, Luftverschmutzung, Lärm, Unfallopfer und den unwiederbringlichen Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieträger. Zur Begrenzung dieser Auswirkungen werden neben technikbasierten Änderungen (z. B. "3-Liter-Auto", Telematik) zunehmend verhaltensbeeinflussende Maßnahmen diskutiert. Eine Möglichkeit Einfluss auf Mobilitätsverhalten zu nehmen, sind wirtschaftliche Anreizsysteme wie Straßenbenutzungsgebühren (für andere Möglichkeiten siehe: Praschl & Risser 1994; Schlag 1997; Schmidt & Littig 1994 und allgemeiner: Fietkau & Kessel 1981). In anderen Lebensbereichen haben sich Preisanreize als sehr effektive Steuerungsmittel erwiesen (z. B. Telekommunikations- oder Energiesparverhalten). Im Mittelpunkt von road pricing steht die verkehrlenkende Wirkung der Preise. Über eine räumlich-zeitliche Variabilisierung der Transportkosten soll so die Effizienz des Verkehrs vor allem in Ballungsräumen gesteigert werden [Schade & Schlag 2001].

8.3.2.2.2 Potenzial

Im Bereich des Güterverkehrs würden nach wissenschaftlichen Berechnungen die Güterverkehrsleistungen der Bahn um bis zu vier Milliarden Tonnenkilometer ansteigen, wenn eine entfernungsabhängige Autobahngebühr für Lkws in der Größenordnung von mindestens einem halben Cent pro Tonnenkilometer eingeführt würde. Dies entspricht einer Vergrößerung des Anteils der Schiene am Güterverkehrsmarkt um ein Prozent. Dem Verkehrshaushalt könnten auf diese Weise über 2,5 Milliarden Euro mehr für Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen zur Verfügung gestellt werden [GdED 1999].

8.3.2.2.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Ging es in den vergangenen Jahren vor allem um die konzeptionelle Gestaltung von road pricing-Instrumenten, stehen nun Fragen der Einführung im Vordergrund. Dabei hat sich neben technischen und rechtlichen Problemen die mangelnde politische und öffentliche Akzeptanz als ein Haupthindernis für die Implementation von road pricing-Maßnahmen herausgestellt [Jones 1991]. Zahlreiche Umfragen belegen - für Deutschland [Jaufmann 1996]; international [Luk & Chung 1997], dass ein Großteil der Bevölkerung Maßnahmen zur Verteuerung des MIV entschieden ablehnt. Dies hat zur Folge, dass die meisten geplanten road pricing-Vorhaben über das Feldversuchsstadium nicht hinausgekommen sind (Ausnahme in Europa: Oslo, Bergen, Trondheim). Es stellt sich die Frage nach den Gründen für diese fast einhellige Ablehnung vor allem bei den betroffenen Autofahrern. Häufig genannt werden in

diesem Zusammenhang Befürchtungen vor einer Verletzung der Privatsphäre [Keuchel 1992], ungenügender Transparenz der Einnahmenverwendung und die Benachteiligung bestimmter sozial schwacher Gruppen [Teubel 1997]. Nicht zuletzt ist davon auszugehen, dass die Bereitschaft, für etwas zu bezahlen, was bisher als mehr oder weniger kostenlos wahrgenommen wurde, eher gering sein dürfte [Jones 1995] [Schade 2001]

Der Frage nach den die Akzeptanz beeinflussenden Faktoren wurde vor allem in EU-Projekten nachgegangen. [Schade 2001]:

- TransPrice (1996-1999)
- AFFORD (1998-2000)
- CUPID (2000-2004)
- MC ICAM (2001-2003)

8.3.2.2.4 Verwandte Projekte

Lkw-Maut, Öko-Steuer.

8.3.3 Verkehrsvermeidung

8.3.3.1 Telearbeit

8.3.3.1.1 Entwicklungsstand

Seit der Ölkrise in den 70er Jahren beschäftigt man sich in den USA mit dem Thema der Telearbeit. Der Gedanke dabei ist, die Arbeit zum Menschen zu bringen und nicht umgekehrt. Unter Telearbeit versteht man "eine Form der Arbeitsorganisation, bei der die Arbeitsleistung räumlich entfernt vom Standort des Arbeitgebers unter Einsatz von Informations- und Kommunikationstechniken erbracht wird." Man unterscheidet verschiedene Ausprägungen der Telearbeit.

- Bei der isolierten Teleheimarbeit erbringt der Mitarbeiter seine Arbeitsleistung ausschließlich zu Hause und tauscht Arbeitsunterlagen bzw. das Arbeitsergebnis mittels Informations- und Kommunikationstechnik mit dem Unternehmen aus.
- Eine Mischform ist die alternierende Teleheimarbeit. Hierbei erbringt der Mitarbeiter die Arbeitszeit teilweise in seiner Wohnung und im Unternehmen.
- Als Satellitenbüros bezeichnet man dezentrale Betriebsstätten des Unternehmens, bei deren Standortwahl vorrangig der Wohnort der Mitarbeiter oder die Immobiliensituation berücksichtigt wird.
- Eine besondere Ausprägung sind so genannte Nachbarschaftsbüros, deren Räumlichkeiten von verschiedenen Unternehmen genutzt werden.

Für die Telearbeit gibt es unzählige Anwendungsgebiete. Während man sich in den Anfängen der Telearbeit auf Dateneingabe oder einfache Schreivarbeiten beschränkte sind durchaus auch hoch qualifizierte Heimarbeitsplätze denkbar. So könnte z. B. der oben beschriebene Servicetechniker die Stö-

rungsmeldungen der Kunden zu Hause entgegennehmen und somit nicht nur die Fahrt zum Kunden, sondern sogar die Fahrt zur Arbeitsstelle sparen.

8.3.3.1.2 Potenzial

Telearbeit greift an der Wurzel der Verkehrserzeugung, wenn auch nur im Berufsverkehr, an. Ausländische Studien konnten zeigen, dass Telearbeit zu einer Reduktion des privaten und öffentlichen Personenverkehrs führen kann.

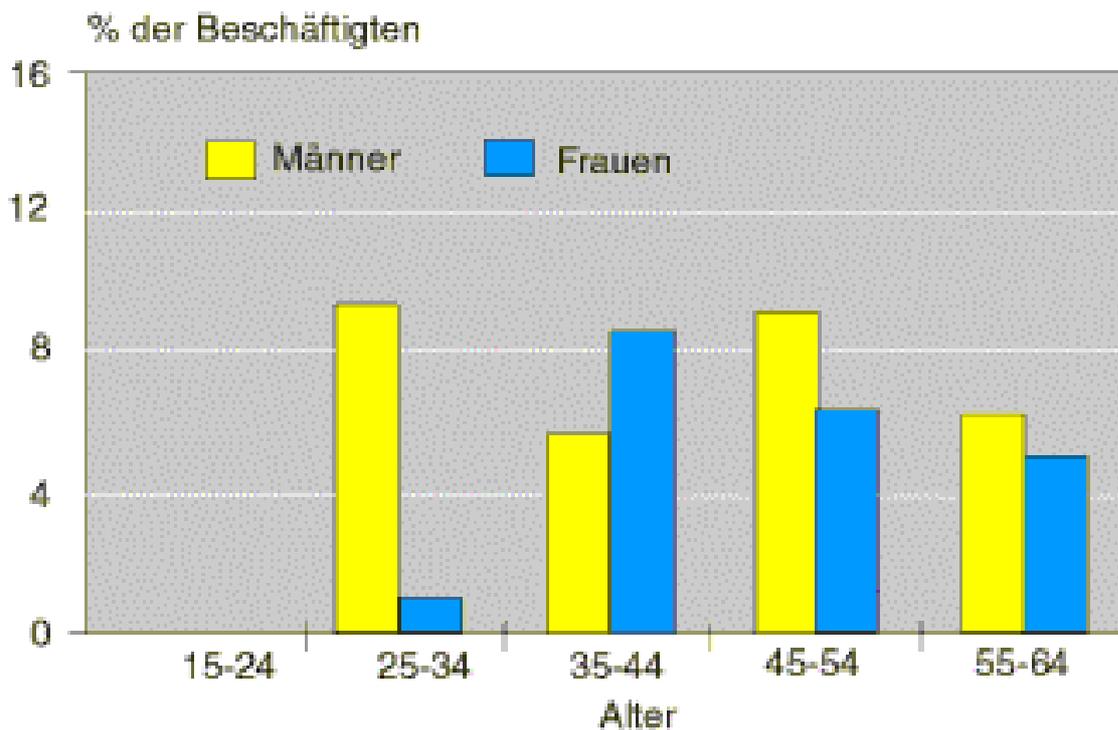


Abb. 8-10: Telearbeit nach Altersklassen und Geschlecht (JOHANSSON, 2000)

In den Spitzenzeiten des Berufsverkehrs an Werktagen treten im privaten und öffentlichen Personennahverkehr oftmals Überlastungen auf. Verschiedene, meist ausländische Untersuchungen zeigten, dass die durch Telearbeit entfallende Verkehrsteilnahme zu einer Verringerung solcher Spitzenbelastungen und der damit oft einhergehenden Kapazitätsengpässe beitragen kann. Die Ergebnisse ausländischer Studien lassen sich allerdings nicht ohne Weiteres auf Deutschland übertragen, da bestehende politische Zielvorgaben, raumstrukturelle, kulturelle und rechtliche Randbedingungen zurzeit noch einen erheblichen Einfluss auf die Möglichkeiten und die Bereitschaft zum Einsatz und auf die Auswirkungen von Telearbeit haben.

Die betrachteten Telearbeiter arbeiteten im Mittel 2,4 Tage pro Woche zu Hause. Davon waren 1,6 Tage reine Telearbeitstage, d. h. ohne Weg zum betrieblichen Arbeitsplatz. Es bestätigte sich die Hypothese, dass Telearbeit zu einer Verringerung des Verkehrsaufkommens beitragen kann. Telearbeiter reduzieren im Vergleich der beiden Untersuchungszeiträume vor und nach Aufnahme der Telearbeit ihre durchschnittlichen täglichen Wege um 16 %. Ihre tägliche Verkehrsleistung ging dabei im Mittel um 25 % zurück. Telearbeiter, die mit dem eigenen Pkw unterwegs waren, reduzierten ihre Wege um

durchschnittlich 19 %. Hochgerechnet ergibt sich bundesweit für 1999 eine Ersparnis von 1,37 Milliarden Personenkilometern pro Jahr. Bei den Haushaltsmitgliedern konnten keine relevanten Änderungen festgestellt werden. (Quelle: Bundesanstalt für Straßenwesen)

Trotz mehrerer Untersuchungen und Forschungsarbeiten kann aber heute immer noch nicht ein einheitliches Bild von den Wirkungen der Telearbeit gezeichnet werden. So weisen Schweizer Studien (Studien des Nationalfondsprogramms "Verkehr und Umwelt" (NFP 41)) nach, dass durch den zunehmenden Einsatz moderner Telekommunikationsmittel (TKM) wie z. B. E-Mail, Datentransfer oder Videokonferenzen der Geschäftsreiseverkehr nicht vermindert wird. Die TKM erlauben den Unternehmen [sogar], über größere Distanzen mit Partnern zusammenzuarbeiten, und dies erzeugt letztlich mehr Geschäfts- und auch Güterverkehr, als durch "elektronische Kontakte" eingespart werden kann. Auch wird vermutet, dass nur wenige Telearbeiter weniger fahren müssen (Untersuchung der Universität Stuttgart über Telearbeit). Das Potenzial für Telearbeit wird in diesen Untersuchungen daher eher als gering eingestuft. Es wird vermutet, dass die verkehrserzeugenden Effekte der verstärkten Arbeitsteilung insgesamt überwiegen dürften.

Dennoch sollten die negativen Erkenntnisse der erwähnten Untersuchungen nicht dazu führen, Telearbeit abzulehnen. Vor allem die Definition und Entwicklung von neuen, heute noch nicht existierenden telearbeitsplatzfähigen Tätigkeitsprofilen – „Arbeitsplatz der Zukunft“ – scheint bis heute noch nicht umfassend betrachtet. Gerade im Wechselspiel zwischen mobilitätserzwingendem Wirtschaftsliberalismus und dem Wunsch nach Sesshaftigkeit, können diese „Arbeitsplätze der Zukunft“ einen eigenen europäischen Weg des modernen Arbeitens darstellen.

8.3.3.1.3 Realisierungswahrscheinlichkeit

Trotz der guten technischen Voraussetzungen ist der Telearbeit in Deutschland noch nicht der große Durchbruch gelungen. Dies liegt vor allem an den Vorbehalten der Unternehmen bezüglich der Kontrolle der Arbeitsleistung, aber auch an den Ängsten der Mitarbeiter, sie könnten durch die räumliche Trennung zum Unternehmen benachteiligt werden. Dabei bietet die Telearbeit erhebliche Vorteile für alle Beteiligten. Für den Mitarbeiter entfällt der tägliche Weg zur Arbeitsstelle wodurch sich Zeit- und Kostenersparnisse ergeben. Für bestimmte Gruppen ist erst durch die Heimarbeit das Arbeiten möglich (z. B. Eltern während der Kleinkindbetreuung, oder durch eine Behinderung in ihrer Mobilität eingeschränkte Mitarbeiter). Und durch die selbstständige Zeiteinteilung kann eine größere Zufriedenheit entstehen. Das Unternehmen kann Büro und Parkraum einsparen. Die höhere Mitarbeiterzufriedenheit führt zu erhöhter Produktivität und niedrigeren Fehlzeiten, und es ist eine höhere Kundenorientierung zu erreichen. Nicht zuletzt führt die Telearbeit natürlich zu einer Reduzierung des Berufsverkehrs. (Quelle: Ingo Deckler, FH Würzburg-Schweinfurt-Aschaffenburg Hochschule für Technik Wirtschaft Sozialwesen Gestaltung)

8.3.3.1.4 Verwandte Projekte

Teleshopping, E-Commerce, „pickpoint“.

8.3.3.2 Ersatzziele

8.3.3.2.1 *Entwicklungsstand*

Vor allem die Zielwahl beeinflusst die Länge der Fahrt. Analog zur „Stadt der kurzen Wege“ kann schon heute die Wegelänge reduziert werden, wenn den Verkehrsteilnehmern aktuelle und detaillierte Informationen über alternative Ziele vorliegen könnten. So muss nicht immer der Großmarkt im entfernten Gewerbegebiet des Nachbarortes aufgesucht werden, um die alltäglichen Produkte zu einzukaufen. Schon die Information über Produkte (Art und Kosten) näher liegender Märkte, in Verbindung mit der Gegenüberstellung von Transportkosten, kann zu einer ökologischen aber auch für den Einzelnen günstigeren Fahrt beitragen.

Vor allem durch die Weiterentwicklung der Serviceleistungen rund um das Handy werden in jüngster Zeit so genannte „local based services“ aufgesetzt die neben dem Bereich des Shoppings vor allem auch im Freizeitbereich ihre Kunden suchen. Noch sind diese Dienstleistungen nicht flächendeckend installiert. Außerdem sind noch bei weiten nicht alle Örtlichkeiten in den Datenbanken der Systeme aufgenommen.

8.3.3.2.2 *Potenzial*

Es kann erwartet werden, dass bei ausreichender Informationsdichte und einfacher Handhabung der Endgeräte der Nutzer seine Ziele entsprechend seiner Präferenzen selektieren wird. Ob dabei auch eine Reduktion der Beförderungskosten vom Nutzer berücksichtigt wird, ist zu hinterfragen. Unter Umständen sind Auskünfte über die Zielalternativen automatisch mit Hinweisen zum Verkehrsaufwand zu verknüpfen.

8.3.3.2.3 *Realisierungswahrscheinlichkeit*

Alle Kommunikationsanbieter haben heute schon „local based services“ in ihr Angebotsspektrum mit aufgenommen. Auf Grund ihres Pilotcharakters und fehlender Vollständigkeit bieten sie den Nutzern aber heute nur eingeschränkte Unterstützung bei der täglichen Auswahl von Zielen.

8.3.3.2.4 *Verwandte Projekte*

Teleshopping, E-Commerce.

8.3.4 Handlungsfelder und Forschungsbedarf

Die Organisation und das Management von Verkehr stellt neben den technischen Verbesserungspotenzialen eine weitere Chance zur Vermeidung von Emissionen dar. So wird mit den Maßnahmen der Fahrgemeinschaft, dem Car-Sharing und dem CarPooling eine effizientere Ausnutzung von Fahrzeugen angestrebt. Der ökologische Gewinn liegt sowohl in der Reduktion der eingesetzten Fahrzeuge als auch in einer insgesamt deutlich reduzierten Kfz-Kilometerleistung durch eine veränderte Verkehrsmittelwahl der Nutzer. Da diese Maßnahmen nur durch ein effektives Management erfolgreich arbeiten können, lassen sie sich auch meist nur bei großen Firmen oder in Ballungsräumen finden. Es stellt sich somit die Frage, ob weitere Potenziale durch die Organisation kleinerer Einheiten in Zukunft zu wek-

ken sind und wie diese Entwicklung Unterstützung finden kann (z. B. Einführung autofreier Wohngebieten).

Im Bereich des ÖPNV stellt sich vor allem auf den Linien, die nicht ausreichend mit Fahrgästen (im Güterverkehr: Fracht) ausgelastet sind, die Frage nach dem ökologischen Beitrag. Heute werden die öffentlichen Transportsysteme nur selten auf ihren tatsächlichen Betrag zum Umweltschutz untersucht. Eine Sach- und Ressourcenbilanz ähnlich den Ansätzen in der Autoindustrie wäre wünschenswert.

Dort wo öffentliche Verkehrssysteme nicht ökologisch arbeiten können (z. B. in Räumen und zu Zeiten schwacher Nachfrage) muss eine Individualisierung des Kollektivverkehrs stattfinden, d. h. der Betrieb und der Einsatz von Fahrzeugen muss sich der Nachfrage anpassen. Die letzten großen Forschungsinitiativen (RUFBUS, RETAX) in Deutschland zum Thema Bedarfsbedienung, liegen dabei schon fast 25 Jahre zurück. Heute finden sich weiterführende Ansätze in den Projekten Mobinet „Rufbus Erding“ oder MobQuadrat, sie alleine können das Thema – insbesondere die effiziente Planung hochgradig vernetzter Bedarfsbedienungen – nicht umfassend bearbeiten, weitere Arbeiten wären sinnvoll.

Neben den betrieblichen Aspekten kann vor allem durch die Verbesserung der Transparenz des Verkehrssystems ÖPNV eine weitere, wesentliche Steigerung der Nutzung des ÖPNV induziert werden. Dazu zählen vor allem begleitende Reiseinformationen für den Kunden über die gesamte Wegekette (intermodal) sowie die Integration von Buchungs- und Bezahlungsfunktionen in das Informationssystem (Ziel: Abbau von Zugangshemmnissen). Die vorliegenden Ergebnisse bei intermodalen Auskunftssystemen und Routern sollten in Richtung Generierung von individuellen situations- und positionsabhängigen Ad Hoc-Informationen für den Kunden (z. B. Routenalternativen bei Störfällen in Verkehrsnetzen) weitergeführt werden.

Im Bereich des Straßenverkehrs sollten Maßnahmen zur Förderung eines ökonomisch-ökologischen Fahrstils entwickelt und in die Fahrausbildung integriert werden. Die Ausbildung sollte dabei nicht nur auf Berufsfahrer beschränkt bleiben, sondern auf alle Verkehrsteilnehmer ausgedehnt werden. Die Art und Weise der Motivation gerade des allgemeinen Verkehrsteilnehmer zu einem ökonomisch-ökologischen Fahrstil ist dabei noch ungeklärt.

Während die vorherigen Maßnahmen dem Pull-Effekt aufweisen, fallen Parkraumbewirtschaftung und Straßenbenutzungsgebühr in den Bereich der restriktiven (Push-)Maßnahmen. Gerade aber das Zusammenspiel von Pull und Push ermöglicht in den meisten Fällen erst eine wirkungsvolles Verkehrsmanagement.

So unterstützen die Maßnahmen der Parkraumbewirtschaftung in Kombination mit der Parkrauminformation (z. B. ParkInfo München) zum einen den Verkehrsteilnehmer bei der Stellplatzsuche, zum anderen werden durch das Instrumentarium der preislichen Bewirtschaftung aber auch Möglichkeiten für die Städte und Kommunen geboten, den Widerstand zur Nutzung des Autos (z. B. Pendlerfahrt in die Innenstadt) zu erhöhen. Damit werden weitere Verlagerungen von Kfz-Fahrten auf Verkehrsmittel des Umweltverbands und damit weitere Emissionsreduktionen begünstigt.

Wesentlich kritischer werden Anstrengung zur Einführung von „road pricing“ gesehen. Fehlende Akzeptanz lassen dieses Steuerungsinstrument über den Teststatus nicht hinauskommen. Lediglich die Einführung einer Lkw-Maut scheint durchsetzbar. Hiervon wird vor allem eine Verlagerung des Güter-

verkehrs auf die Schiene erhofft. Da die Schiene aber heute schon deutliche Kapazitätsengpässe aufweist, die Erweiterung und Verbesserung der Infrastruktur aber eine langdauernde Aufgabe darstellt, müssen Lösungen im Bereich des Trassenmanagement gefunden werden. Erste Ansätze werden in dem Projekt FreeFloat der DB AG verfolgt. Sie beschränken sich dabei nur auf die netzeigenen Strecken. Eine Ausdehnung der Managementansätze auf Zubringerstrecken (Nebenstrecken und Privatbahnen) aber auch die Einbeziehung internationaler Netze ist notwendig.

Während bis jetzt alle erwähnten Maßnahmen vor allem der Verlagerung von Verkehren auf ökologische Verkehrsmittel dienen, bieten die Maßnahmen der Telearbeit und der Ersatzziele die Chance, Verkehr zu vermeiden.

Telearbeit greift dabei an der Wurzel der Verkehrerzeugung, wenn auch nur im Berufsverkehr, an. Lediglich ausländische Studien zeigen bis jetzt auf, dass Telearbeit zu einer Reduktion des privaten und öffentlichen Personenverkehrs führen kann. Die Ergebnisse dieser Studien lassen sich allerdings nicht ohne Weiteres auf Deutschland übertragen, da bestehende politische Zielvorgaben, raumstrukturelle, kulturelle und rechtliche Randbedingungen derzeit noch einen erheblichen Einfluss auf die Möglichkeiten und die Bereitschaft zum Einsatz und auf die Auswirkungen von Telearbeit haben.

Daher sollten die negativen Erkenntnisse aus deutschen Untersuchungen unter keinen Umständen dazu führen, Telearbeit grundsätzlich abzulehnen. Vor allem die Definition und Entwicklung von neuen, heute noch nicht existierenden telearbeitsplatzfähigen Tätigkeitsprofilen – „Arbeitsplatz der Zukunft“ – scheint bis heute noch nicht umfassend betrachtet. Gerade im Wechselspiel zwischen mobilitätserzwingendem Wirtschaftsliberalismus und dem verwurzelten Wunsch nach Sesshaftigkeit in unserm Land, können diese „Arbeitsplätze der Zukunft“ einen eigenen europäischen Weg des modernen Arbeitens darstellen. Weiterführende Forschungsarbeiten wären daher sinnvoll.

Des Weiteren könnten vermutlich viele Fahrten kürzer oder effizienter (Optimierung der Wegekette) gestaltet werden, wenn detaillierte Informationen mit Raumbezug der Bevölkerung zur Verfügung stehen würden. Erste Ansätze lassen sich im Shopping- und Freizeitbereich mit der Einführung von „local based services“ durch die Telekommunikationsanbieter erkennen. Eine Weiterentwicklung dieser Dienste in Richtung höhere Informationsdichte und einfacher Handhabung im täglichen Umgang sind zu unterstützen.

9 Forschungs- und Projektrahmen für die „Null-Emissions-Stadt“ - Zusammenfassung und Empfehlungen

9.1 Ausrichtung eines Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“ - Grundsätze

Mit dem Begriff der „Null-Emissions-Stadt“ wird dem Leitbild der nachhaltigen Stadtentwicklung ein eindeutiges aber auch sehr visionäres Ziel zur Seite gestellt. Analog zu den Aussagen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, die einen „Quantensprung“ in der Energie- und Ressourceneffizienz fordert, versucht die „Null-Emissions-Stadt“ dieser Forderung durch eine konkrete Vision nachzukommen.

Allerdings scheint die Vision der „Null-Emissions-Stadt“ zunächst außerhalb des Möglichen zu liegen, denn sie stellt das bisher unangefochtene Paradigma der nicht-emissionsfreien Stadt in Frage. Eine Prüfung der Vision zeigt, dass mit ihr durchaus ein realisierbares Ziel verknüpft werden kann, wenn konsequentes emissionsminderndes kommunales und vor allem regionales Handeln in den Bereichen Siedlungsentwicklung, Energienutzung, Produktionsprozesse und Verkehr strategisch geplant und umgesetzt wird.

- **Das Ziel einer „Null-Emissions-Stadt“ ist dann erreicht, wenn die Emissionen, die eine Stadt an ihre Umgebung abgibt, die Aufnahmekapazität der lokalen, regionalen und globalen Umwelt nicht überschreitet. Diese Bedingung muss auch dann gelten, wenn die Emissionen sämtlicher Städte der Erde – dargestellt als fiktive „Null-Emissions-Städte“ - zusammengenommen werden.**

Die Vision der „Null-Emissions-Stadt“ orientiert sich am Konzept der ökologischen Tragfähigkeit und verfolgt damit das Ziel, sich konsistent zu den Grenzen der ökologischen Belastbarkeit unserer Ökosysteme zu verhalten. Damit ist es die Vision einer Stadt, die keine schädlichen Einflüsse mehr auf die Umwelt und die Gesundheit ihrer Bewohner ausübt. Diese Vision lenkt den Blick auf langfristig tragfähige Lösungen zur Bewältigung der Umweltprobleme.

- **Nach dem heutigen Erkenntnisstand bedeutet dies, dass die Schadstoffe, die eine Stadt an ihre Umwelt abgibt, um mehr als 80 – 90 % reduziert werden müssen. Dies ist nur möglich, wenn der Ressourcenverbrauch, aber insbesondere der Energiebedarf um den Faktor 10 reduziert werden.**

In diesem konsequenten Ansatz liegt der besondere Charme und die Chance dieses Forschungsthemas. Es geht hier nicht um tagespolitische Fragestellungen im Umweltbereich, bei denen Verbesserungen meistens nur in kleinen Schritten anvisiert werden, sondern um strategische Orientierungen (Orientierungshilfen), denen jedoch aktuelle Handlungsnotwendigkeiten, jetzt anstehende Entscheidungen zu-

geordnet werden können. Damit müssen aktuelle gesellschaftliche und politische Vorgaben zunächst - zumindest theoretisch - überwunden werden, die das wissenschaftliche Denken einschränken und in bestimmte Richtungen lenken. Im Mittelpunkt stehen die wesentlichen, langfristig relevanten Fragen. Deren Untersuchung soll dazu dienen, die oben angesprochene „Richtungssicherheit“ zu erreichen und falsche Weichenstellungen, die in Sackgassen führen können, zu vermeiden. Zur Richtungssicherheit gehört auch, dass bei Strategien im Hinblick auf bestimmte Emissionen Verlagerungen in andere Stoffe oder Räume verhindert werden.

Die Aufgabe besteht nun darin, dieses idealisierend formulierte Bild eines neuen Forschungsbereichs mit konkretem Inhalt zu füllen. Dabei ist zunächst festzustellen, dass ein erhebliches Spannungsfeld zwischen dem Null-Emissions-Ziel und der kurzfristigen Umsetzung von Maßnahmen in praxisorientierten Forschungsprojekten besteht.

Eine Stadt bzw. eine Stadt mit ihrer Region, welche keine emissionsrelevanten Umweltprobleme mehr verursacht, stellt einen ausgesprochen ehrgeizigen Anspruch dar. Wie eine Lösung aussehen kann, die nicht nur die technischen Voraussetzungen erfüllt, sondern im komplexen städtischen Aktionsraum auch hinsichtlich ökonomischer und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen „funktioniert“, ist aus heutiger Sicht weitgehend unklar. Anders als auf theoretischem Wege können daher viele relevante Fragen zur Zeit gar nicht behandelt werden, wenn der ehrgeizige Anspruch einer emissionsfreien Stadt bzw. Stadtregion aufrechterhalten werden soll.

- **Zur Realisierung einer „Null-Emissions-Stadt“ ist ein Zeitraum von mehreren Jahrzehnten notwendig, das Jahr 2050 bietet sich als Zieljahr an.**

Auf der anderen Seite darf die Thematik nicht ausschließlich theoretisch analysiert werden. Zum einen sind belastbare Aussagen zur „Null-Emissions-Stadt“ längerfristig nur dann zu erwarten, wenn auch praktische Erfahrungen vorliegen, zum anderen werden jetzt und heute Weichenstellungen für Siedlungsentwicklung, Verkehrs- und Energieinfrastrukturen getroffen, die sich langfristig im Hinblick auf zukünftige Reduktionspotenziale auswirken werden. Wenn heute Gebäude und Infrastruktureinrichtungen geplant und gebaut werden, dann dürfen diese den Bedürfnissen und Anforderungen der zukünftigen Stadtgesellschaften in 30, 50 oder gar 100 Jahren nicht im Wege stehen [OECD 1996]. Es ist daher eine wichtige Aufgabe, für die heutigen Umsetzungsaufgaben im Bereich Stadtentwicklung und Bauen im Rahmen des Forschungsfeldes zukunftsweisende Lösungen zu entwickeln.

- **Das Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“ fördert theoretische und praktische Projekte, die für heutige Umsetzungsaufgaben im Bereich Stadtentwicklung beispielhafte und zukunftsweisende Lösungen zur Verminderung von Emissionen entwickeln.**

9.2 Herausforderungen und Handlungsrahmen für Forschungsprojekte

In den Kapiteln 6 bis 8 ist gezeigt worden, dass in den verschiedenen Handlungsfeldern technische Lösungsansätze zur deutlichen Reduktion von Emissionen in unterschiedlichem Reifestadium existieren. Das Forschungsfeld sollte aber nicht vorrangig der Neu- oder Weiterentwicklung einzelner Technologien dienen. Vielmehr sollen auf Basis des aktuellen technologischen Kenntnisstandes und potenziell zur Verfügung stehender Technologien plausible Entwicklungsmöglichkeiten sowohl bezüglich eines Gesamtbildes einer „Null-Emissions-Stadt“, als auch im Hinblick auf Lösungen in Teilbereichen der Stadtentwicklung entworfen und partiell getestet werden.

Die Stadt ist ein Aktionsraum, in dem sich konzentriert die komplexen Strukturen und Prozesse unserer Gesellschaft im Kleinen widerspiegeln. Das heißt, den oben erwähnten Quantensprung in Bezug auf Energie- und Ressourceneffizienz mittels der Vision „Null-Emissions-Stadt“ anzugehen und hierauf praktikable Entwicklungsmöglichkeiten aufzuzeigen, scheint zunächst einmal an der Komplexität der Probleme und Einflussfaktoren zu scheitern. Aber der „Quantensprung“ ist nur möglich, wenn sowohl sektorale Handlungsebenen verlassen als auch technologisch zukunftsfähige Entwicklungen an gesellschaftliche „Fortschrittsprozesse“ angekoppelt werden können.

- **Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung einer „Null-Emissions-Stadt“, deren Wechselwirkung in verschiedenen Kombinationen Gegenstand des Forschungsfeldes sein können:**

Gesellschaftliche Entwicklung

- Wertewandel/Lebensstile
- Steuerungsmöglichkeiten (governance)
- Interaktionsformen (Management)
- Soziodemografie
- etc.

Ökonomische Entwicklung

- Formen der Arbeit
- Einkommen
- Finanzierung
- Standortwahl
- Wohneigentumsentwicklung
- etc.

Technologische Entwicklung

- Energieversorgungssysteme, Energieeinspartetechnologien
- städtische Infrastruktursysteme
- Fahrzeugtechnik (Antrieb)
- Produktionsabläufe
- Telekommunikation
- etc.

Räumliche Entwicklung

- städtebauliche Dichte
- Nutzungsmischung
- Siedlungsstrukturen
- Regionalstrukturen
- etc.

- **Der theoretische oder praktische Einsatz von innovativen Technologien und die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den räumlichen Strukturen sollte obligatorischer Bestandteil der geförderten Projekte sein.**

Es muss auch berücksichtigt werden, dass die kommunalen Steuerungsmöglichkeiten angesichts der Bedeutung überregionaler bzw. nationaler und internationaler Steuerung und vor dem Hintergrund stark veränderter Rahmenbedingungen (Liberalisierung, Privatisierung der Infrastruktur) begrenzt sind. Wie Energiepreise bestimmt werden, wie „Global Players“ technologische Entwicklungen vorantreiben, welche Lebensstile unsere Gesellschaft prägen, liegt außerhalb kommunaler und regionaler Entscheidungsprozesse. Auf der anderen Seite sind natürlich Unternehmen, Akteure und Aktivitäten verortet und zwar in der Regel in einer Stadt. Die kommunale Handlungsebene wird, gerade auch im Zusammenhang mit Fragen des Umweltschutzes, seit etwa 10 Jahren in Forschung und Praxis verstärkt thematisiert. Insbesondere hat der nach dem Weltgipfel von Rio einsetzende Prozess zu vielfältigen Aktivitäten auf kommunaler Ebene geführt. Zu erwähnen sind beispielsweise die weltweiten Lokale-Agenda-21-Prozesse oder das Klimabündnis europäischer Städte. Auch und gerade in den Forschungsprogrammen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung („Stadt 2030“, „InnoRegio“) wird dieses Themengebiet intensiv behandelt.

In der Komplexität, die ihren Ausgangspunkt in der räumlichen und sozialen Dichte einer Stadt hat, und in den spezifischen Handlungsspielräumen der Städte sind einerseits die Schwierigkeiten und Ursachen, aber andererseits auch die Chancen für eine radikale Eingrenzung von Emissionen begründet. Denn Städte sind und bleiben Orte der Kultur und Innovation, von denen aus zukunftsfähige Entwicklungen initiiert werden. Im Folgenden einige Hinweise zur generellen Fokussierung von Fragestellungen, denen die Forschungsprojekte einer „Null-Emissions-Stadt“ nachgehen sollten.

Die entscheidenden Schritte, um den Quantensprung vollziehen zu können, liegen nicht mehr in der Reduktion von Emissionen bei Großemittenten und großen Punktquellen, sondern in der Reduktion der Emissionen von diffusen Quellen. Ein spezifisches Merkmal von Städten ist, dass sie durch eine hohe Dichte von diffusen Quellen gekennzeichnet sind. Dies gilt für alle Emissionskategorien. Damit einher gehen folgende Probleme. Erstens, die diffusen Quellen (z. B. Nutzung von Kraftfahrzeugen) repräsentieren eine Vielzahl von zum Teil sehr unterschiedlichen Akteuren und sind Bestandteil von einer Vielfalt an alltäglichen Routinevorgängen dieser Akteure, zweitens, diese Quellen können nur im beschränkten Maße über ordnungsrechtliche Maßnahmen gesteuert werden (z. B. Abwasser von Haushalten), drittens, ihre Eingrenzung (z. B. bei Verpackungen) liegt häufig unterhalb von Win-Win-Situationen {World Bank 2000}.

- **Das Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“ sieht in der Beeinflussung der diffusen Quellen eine besondere Herausforderung und fördert entsprechende Projekte.**

Die physische Stadtgestalt und Siedlungsstruktur werden im allgemeinen als Schlüsselfaktoren angesehen. Sie sind Abbild der komplexen ökonomischen und sozialen Wechselbeziehungen und kennzeichnen die Rahmenbedingungen, unter denen eine umweltverträgliche Umgestaltung erfolgen kann. Auf der anderen Seite sind die Steuerungsmöglichkeiten von Emissionen über eine Beeinflussung der Siedlungsstruktur zwar in gewissem Umfang gegeben, aber reichen nach dem derzeitigen Erkenntnisstand nicht aus, um einen Quantensprung in der Emissionsreduktion zu erzeugen. Da sich in der Stadtgestalt und Siedlungsstruktur wie gesagt die Komplexität widerspiegelt, ist die Auseinandersetzung mit

diesem Gegenstand ein geeigneter Anker, an dem die Komplexität der Wechselbeziehungen angehängt und Spielräume demonstriert werden können (s. Kasten Einflussfaktoren).

Der Stoffwechsel zwischen der Stadt und ihrem näheren und weiteren Umland ist das Hintergrundmilieu, vor dem „Null-Emissions-Strategien“ auszurichten sind. Zum einen dient das Umland und die damit zusammenhängenden ökologischen Funktionsräume zur Bemessung des Wertes Null, zum anderen eröffnen Strategien, die die Potenziale des Umlandes (z. B. Holz als Baumaterial oder Bereitstellung von Flächen für Solarenergie) zum gegenseitigen Vorteil nutzen, Spielräume für effiziente Maßnahmen. Die Betrachtung der Region sollte eine herausragende Stellung einnehmen. Jedoch sind Effizienz und Funktionalität bzw. Angemessenheit der Lösungen zu beachten. Es wäre wenig beispielhaft, wenn kostenextensive, gesellschaftlich unvorteilhafte und wenig effiziente Lösungen gewählt werden würden (d. h. der Entlastungsgewinn für die Umwelt könnte wesentlich günstiger ausfallen), nur um dem Prinzip von Lokalität und Regionalität an sich Rechnung zu tragen.

- **Die Wechselbeziehungen zwischen Stadt und Umland, insbesondere zum regionalen Umland, sind für „Null-Emissions-Strategien“ von besonderer Bedeutung.**

Strategien und Maßnahmen, die in den Forschungsprojekten entwickelt und getestet werden sollen, müssen deutlich machen, für welche städtebaulichen und siedlungsstrukturellen Situationen sie geeignet sind und wo unter Umständen ihre Grenzen liegen bzw. ob und warum sie unabhängig davon sind. Insbesondere sollten vor dem Hintergrund der vorhandenen Stadtteile, Städte und Stadtregionen, für die in den nächsten Jahrzehnten Umbau- und Erneuerungstrategien anstehen, Vorschläge entwickelt werden, wie gerade diese Bedingungen vorteilhaft für emissionsmindernde Strategien und Maßnahmen genutzt werden können – räumliche Dichte als Effizienzpotenzial.

Neben der städtebaulichen Dichte gilt es Konzepte zu befördern, die die Akteursdichte in besonderer Weise für das Ziel der „Null-Emissions-Stadt“ nutzen. Denn die Bewältigung der komplexen Probleme verlangt das Zusammenwirken von einer Vielzahl von Akteuren. Die Zuspitzung zur „Null-Emissions-Stadt“ mobilisiert und lässt positive Marketingeffekte erwarten und eine Kopplung zu Managementstrategien, die mit machbaren Schritten und deren Controlling verbunden ist, können ins Spiel gebracht werden. Eine Optimierung und Zuspitzung auf die Vision einer „Null-Emissions-Stadt“ braucht allerdings sorgfältige Bewertungen der Handlungsalternativen. Diese Bewertungen müssen sich mit der bekanntlich äußerst schwierigen Interpretation individueller, wirtschaftlicher und politischer Präferenzen auseinandersetzen, die in Konkurrenz zum heutzutage vorherrschenden Gegenmodell einer auf Wachstum und Konsum ausgerichteten Gesellschaft treten.

Die Unterschiedlichkeit der Akteure und die oben genannte Problematik der diffusen Quellen weisen darauf hin, dass nur ein transdisziplinärer Forschungsansatz in der Lage ist, die Integration der Vielzahl von spezifischen Akteursproblemlagen, -erfahrungen und -erkenntnissen sowie die Erarbeitung von akteurspezifischen Lösungsansätzen zu gewährleisten.

- **Räumliche Dichte als Effizienzpotenzial für eine „Null-Emissions-Stadt“. Dabei können Aspekte angesprochen werden, wie**
 - **Spielräume und Grenzen verschiedener städtebaulicher (Quartier, Stadt) und siedlungsstruktureller (Region) Situationen für emissionsvermeidende Strategien und Maßnahmen,**
 - **Angepasstheit bzw. Unangepasstheit zu Aktions- und Funktionsräumen (Wahl des richtigen räumlichen Maßstabs), womit auch Fragen wie Bezugsraum für ökologische Tragfähigkeit, Zielwerte und Bilanzierbarkeit eingeschlossen sind,**
 - **Nutzung von Kombinationsmöglichkeiten, die in der Summe eine günstigere Bilanz hervorbringen, als wenn Einzelmaßnahmen isoliert durchgeführt würden oder die allein nicht tragfähig wären (z. B. Synergien Stadt-Umland, Synergien in verschiedenen Handlungsfeldern).**
- **Soziale Dichte (Akteursdichte) als Effizienz- und Suffizienzpotenzial für eine „Null-Emissions-Stadt“. Hierzu gehören Aspekte wie**
 - **Nutzung von Clustern, Konzentrations- und Dichteeffekten für emissionsmindernde Stoff- (z. B. Zyklierung), Energie- (z. B. Kraft-Wärme-Kopplung) und Informationsflüsse (z. B. Wissenstransfer, Bewusstseinsbildung),**
 - **Nutzung von Synergieeffekten und Partnerschaften unterschiedlicher Akteure,**
 - **Nutzung von hohen Nachfragepotenzialen.**

Der kommunale Raum bietet die Möglichkeit, einzelne Quartiere als Innovations- und Modellgebiete zu benennen („sustainable performance areas“ – OECD 1996), um in diesen beispielhaft zu demonstrieren, wie komplexe und mittelfristige Lösungsstrategien entwickelt werden können. Ausgehend von einer Rahmenkonzeption werden nach und nach praktische Umsetzungsmaßnahmen realisiert. Komplexität wird auf einen überschaubaren Handlungsraum reduziert und Lösungsstrategien und –maßnahmen werden dort konzentriert entwickelt, finanziell gefördert und getestet. Diese Innovations- und Modellgebiete haben die Funktion, bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium die Anwendung innovativer Technologien, Prozesse und Konzeptionen sichtbar zu machen. Notwendige Voraussetzung ist, dass kommunale und überkommunale Ebenen zusammenarbeiten, um bei Bedarf Hindernisse und Restriktionen im Einvernehmen unkonventionell zu überwinden und zu lösen. Simulationen aus Schweden zeigen, dass allein über einen kombinierten Einsatz von aktuell nutzbaren innovativen Techniken, Infrastruktureinrichtungen und Organisationsformen Reduktionen um 50 % erreichbar sind. Dieser kombinierte Einsatz oder der experimentelle Einsatz von so genannten Durchbruchtechnologien sollte in diesen Gebieten im Mittelpunkt stehen und praktisch erforscht werden. Dabei sollten unterschiedliche Ansätze explizit analysiert und herausgearbeitet werden, die auf der einen Seite für Stadt-

entwicklungsgebiete mit Neubauten und auf der anderen Seite für Stadterneuerungsgebiete mit einem bestehenden Gebäude- und Infratstrukturbestand gelten.

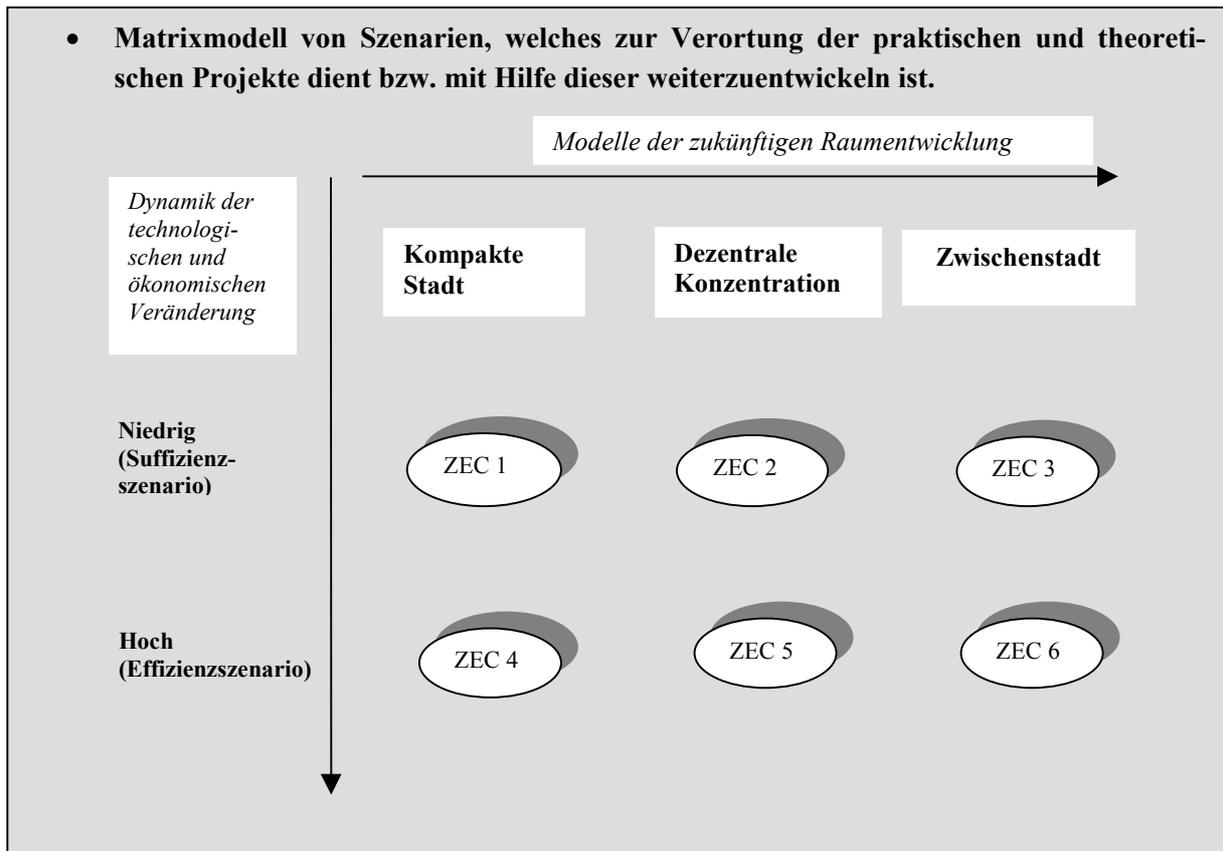
- **Auf kommunaler Ebene können einzelne Quartiere zu Innovations- und Modellgebieten erklärt werden, um in diesen beispielhaft neue Technologien und Konzeptionen für eine „Null-Emissions-Stadt“ zu prüfen und zu analysieren.**

Ein weiterer Weg, um den komplexen Gegenstand „Null-Emissions-Stadt“ bewältigen zu können, ist die Entwicklung von kommunalen Szenarien. Mit ihrer Hilfe können wichtige qualitative und quantitative Schlüsselfaktoren unter Beachtung ihrer kausalen Wirkungszusammenhänge miteinander verknüpft werden, um eine Bandbreite möglicher Zukunftsentwicklungen sichtbar zu machen. Mit Szenarien können optimale Lösungspfade auf dem Weg zu einer „Null-Emissions-Stadt“ beschrieben werden. Hierzu werden im Folgenden einige Ideen entwickelt.

Für eine „Null-Emissions-Stadt“ ist es nicht sinnvoll, mit Status-quo-Szenarien zu arbeiten, da eine Fortschreibung gegenwärtiger Trends keinen Quantensprung bewirken wird. Einflussfaktoren, die die Entwicklung hin zu einer „Null-Emissions-Stadt“ bestimmen, sind bereits oben aufgezählt. Orientiert an dem Ziel, die städtische Entwicklung im Hinblick auf Emissionen an den Aufnahmekapazitäten der Umwelt auszurichten (Konsistenzziel), können die hierfür notwendigen Effizienz- und Suffizienzstrategien Grundlage für zwei unterschiedliche Szenariotypen - ein Effizienz- und ein Suffizienzscenario – bieten. Es wird unterstellt, dass über beide Strategien eine „Null-Emissions-Stadt“ verwirklicht werden kann [vgl. einen ähnlichen Ansatz bei Bergman et al. 2002].

Das Effizienzscenario geht von einer hohen Dynamik der technologischen und ökonomischen Veränderung aus, der Fokus liegt auf der schnellen Entwicklung und Anwendung neuer Technologien (Passivhäuser, emissionsarme Antriebe, Schließung von Kreisläufen durch produktionsintegrierten Umweltschutz und Recyclingtechnologien, solare Energieversorgung etc.) und weniger auf der Veränderung von Lebensstilen oder neuen Formen der Interaktion der Akteure (ohne gänzlich darauf zu verzichten) Im Gegensatz dazu geht das Suffizienzscenario von einer geringeren Dynamik der technologischen und ökonomischen Entwicklung aus. Der Schwerpunkt liegt auf der Veränderung gesellschaftlicher Prozesse. Nutzungskonzepte, Managementansätze (Stoffströme, Verkehr), Energieeinsparungen durch Verhaltensänderungen dominieren in diesem Szenario, ohne jedoch notwendige technologische Weiterentwicklungen auszublenden.

Beide Szenarien können nun mit den Leitbildern der zukünftigen Raumentwicklung verbunden werden. So entstehen sechs mögliche Visionen einer „Null-Emissions-Stadt“ (s. folgenden Kasten). Mögliche Forschungsprojekte können sich in dieses Raster einordnen und begründen, warum sie sich in welchem Matrixfeld bewegen. Die Weiterentwicklung der Vision „Null-Emissions-Stadt“ und die Entwicklung von Szenarien sollte Gegenstand sowohl im Rahmen praktischer als auch theoretischer Forschungsprojekte sein.



9.3 Projektebenen und Kriterien für Projekte im Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“

Vor dem Hintergrund der obigen Aussagen und den grundsätzlichen Orientierungen aus den Kapiteln 9.1 und 9.2 ist es sinnvoll, folgende unterschiedliche Ebenen zu definieren, auf denen sich die Forschungsprojekte bewegen können. Diese verschiedenen Ebenen können sowohl durch wissenschaftlich-theoretische als auch durch praxisorientierte Projekte belegt werden.

9.3.1 Projektebenen für Forschungsprojekte

„Null-Emissions-Stadt“ braucht Forschung über Visionen und Szenarien zukunftsfähiger Stadtentwicklung

Die Potenziale der verschiedenen Nachhaltigkeitsstrategien, wie Konsistenz, Effizienz und Suffizienz, sind in Bezug auf das Ziel „Null-Emissions-Stadt“ zu analysieren. Dieses wird im Wesentlichen nur über Szenarien möglich sein. Diese Szenarien müssen die zukünftige Entwicklung unserer Städte antizipieren, indem sie sowohl den demografischen, gesellschaftlichen und technologischen Wandel als auch die Entwicklungspotenziale für Veränderungsprozesse beachten. Die Anpassungsmöglichkeiten der gebauten Umwelt unserer Städte unterliegen einem Erneuerungszyklus, der mit der Geschwindigkeit der gesellschaftlichen und technologischen Umwandlungsprozesse zurzeit nicht Schritt halten kann.

„Null-Emissions-Stadt“ braucht Forschung über koordinierte Strategien in den zentralen Handlungsfeldern

Die koordinierten Strategien lassen sich momentan nur bedingt praktisch verwirklichen. Als koordinierte Strategien werden Strategien angesehen, die die Verknüpfung von verschiedenen Handlungsfeldern (z. B. zwischen Verkehr, Siedlungsstruktur und Lebensstil oder zwischen Produktentwicklung, nachhaltiger Konsum und Transport) identifizieren und an diesen Schnittstellen Handlungskonvergenzen und –divergenzen bestimmen und daraus synergiefördernde Leitlinien und Aktivitäten entwickeln können. Dies ist alles mit einer Bewertung zu unterlegen, die sicherstellt, dass eine absolute Emissionsminderung in Richtung Nullemissionen erreicht werden kann, also eine bloße Verlagerung in Vorketten oder in andere Handlungsfelder unterbindet. Forschungsbegleitende Beratung der Entscheidungsträger, finanzielle Unterstützungen und die Entwicklung eines Wissensmanagement sind u. a. geeignete Instrumente, um hier Hilfestellungen zu leisten. Da diese koordinierten Strategien Praxisrelevanz entwickeln sollen und eine Vielzahl von Akteuren involviert sein werden, ist hier vorrangig ein transdisziplinärer Forschungsansatz zu wählen.

„Null-Emissions-Stadt“ braucht Forschung über die Entwicklung langfristiger Entscheidungsstrukturen

Als spezifisches Charakteristikum kommt aber hier der langfristigen Realisierungsperspektive eine besondere Bedeutung zu. Ein Ziel, das erst im Jahr 2050 erreicht werden kann oder soll, stellt besondere Anforderungen an die Umsetzung von praktischen Projekten und den Aufbau von Forschungs- und Praxisstrukturen sowie an Kooperations- und Entscheidungsstrukturen. Technikfolgen- und Verfahrensfolgenabschätzungen müssen Projekte, die auf den Weg gebracht werden sollen, begleiten. Vor diesem Hintergrund der Unsicherheit ist die Anpassungsfähigkeit der entstehenden städtebaulichen und infrastrukturellen Systeme für zukünftige offene Entwicklungen mit einzubeziehen. Auch hierfür werden Bewertungssysteme benötigt. Darüber hinaus sind langfristig wirksame Netzwerke, Akteurskooperationen und Milieus anzustreben, deren Lernpotenzial über große Zeiträume erhalten bleibt. In diesem Sinne benötigt eine „Null-Emissions-Stadt“ langfristig angelegte Strategien in Bezug auf innovative Milieus sowie Politikformen, die Rahmenbedingungen für Lernprozesse und die Selbstorganisation

von Bürgern und anderen Akteuren schaffen. Auch hier ist ein transdisziplinärer Forschungsansatz der angemessene Zugang.

„Null-Emissions-Stadt“ braucht Forschung über experimentelle Bausteine mit Hilfe innovativer Teilprojekte

Auf dem Weg zu realisierbaren Lösungen für die „Null-Emissions-Stadt“ sind Einzelbausteine in Form konkreter Projekte notwendig, in denen neue technologische oder konzeptionelle Lösungswege erprobt werden.

Dem ehrgeizigen Anspruch des Null-Emissions-Konzepts ist auch hier Rechnung zu tragen. Dennoch ist hier ein gewisser Spielraum notwendig, um keine zu hohen Hürden für die Realisierbarkeit von Demonstrationsvorhaben aufzubauen, welche vielleicht noch keine endgültigen Lösungen mit sich bringen, aber dennoch von wesentlicher Bedeutung sein können. Entscheidend sollte es sein, dass neue Technologien und Konzepte erprobt werden, die gegenüber bestehenden Ansätzen einen wesentlichen Fortschritt darstellen und wesentliche Erkenntnisse für die Vision der „Null-Emissions-Stadt“ erbringen.

Auch bei Einzelprojekten ist nach Möglichkeit von Anfang an der Zusammenhang zu dem städtischen Aktionsrahmen zu sehen und zu beachten. Von wesentlicher Bedeutung ist nicht nur der innovative Ansatz eines Demonstrationsprojekts, sondern auch dessen Verallgemeinerbarkeit. Die notwendigen gesellschaftlichen Entscheidungsprozesse und die rechtlichen Rahmenbedingungen, die bei einer Übertragung auf andere Städte oder Wohngebiete relevant sein können, sollten von vornherein berücksichtigt werden.

9.3.2 Kriterien für Forschungsprojekte

In der folgende Liste sind Kriterien aufgezählt, an denen sich Projekte des Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“ orientieren sollten. Diese Kriterien sind nicht gewichtet und sollen auch nicht von jedem Projekt vollständig erfüllt werden. Allerdings stehen einige Kriterien im engen Zusammenhang mit den Grundsätzen und besonderen Herausforderungen des Forschungsfeldes (s. Kap. 9.1 und 9.2), die auf jeden Fall zu beachten sind.

- Die Auseinandersetzung mit städtischen Räumen steht im Mittelpunkt. Es kann die Ebene des Stadtquartiers, der Stadt oder einer Stadtregion gewählt werden.
- Die Eigenheiten städtischer Räume, nämlich bauliche Dichte und Akteursdichte, sind unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklungen explizit aufzugreifen.
- Die Beschäftigung mit baulicher Struktur und Siedlungsstruktur sowie der Dynamik von städtebaulichen Veränderungsprozessen sollten leitend sein. Die vorgeschlagenen Strategien und Maßnahmen sollten benennen, für welche Stadt- und Siedlungsstrukturen sie geeignet sind.
- „Null-Emissions-Stadt“ Projekte bereiten einen Quantensprung in der Emissionsminderung vor oder demonstrieren dieses in Einzelprojekten und Modellgebieten. Reduktionen der Leitmissionen in den Größenordnungen von 90 % bei CO₂, 80 % bei den anderen Luftschadstoffen, 80 % bei den Schadstoffen im Wasserpfad, 100 % bei festen (Siedlungs-)Abfällen und eine

Verminderung der Belastung durch Verkehrslärm in dem Umfang, dass weniger als 1 % der Bevölkerung die Belastung durch Verkehrslärm als stark belästigend einstuft, sind mögliche Orientierungen für Zielwerte.

In Praxisprojekten soll entweder eine neue Qualität der Emissionsminderung demonstriert werden (hierfür kann keine allgemein gültige Größenordnung angegeben werden, sondern ist projektabhängig zu entscheiden) oder es soll zumindest der perspektivische Weg aufgezeigt werden, wie der eingeschlagene Pfad zur Erreichung der Zielwerte führt.

- Die Orientierungswerte für die Minderung der Leitmissionen können angepasst und variiert werden, wenn dargestellt werden kann, dass die Aufnahmekapazität der natürlichen Umwelt lokal, regional und global nicht überschritten wird. Die optimalen ökologisch-funktionalen Handlungs-, Analyse-, Bilanz- und Bezugsräume sind für die jeweiligen Problemlagen sachgerecht zu definieren. Dies sollte hinreichend begründet werden. Die Sicherung der regionalen ökologischen Tragfähigkeit sollte einen besonderen Stellenwert erhalten (Konsistenzziel, -strategie).
- Der anvisierte Quantensprung und die Orientierungswerte werden theoretisch oder praktisch bilanziert. Die Bilanzierbarkeit der Emissionsminderung muss gewährleistet sein. Bei Bedarf sind entsprechende Modelle zu entwickeln.
- Die Forschungsprojekte sollten sich bewusst mit dem Spannungsfeld zwischen Effizienz- und Suffizienzstrategien auseinandersetzen. Neben der oben erwähnten räumlichen Dimension sollen aber auch der theoretische oder praktische Einsatz innovativer technologischer, infrastruktureller oder prozessualer Entwicklungen verbindlicher Bestandteil der Forschungsprojekte sein.
- Die Realisierung dieser Strategien und das ehrgeizige Ziel „Null-Emissionen“ setzt die Kooperation zwischen einer Vielzahl von Akteuren (Stadtbevölkerung, Wirtschaft, Politik, Verwaltung, Wissenschaft) voraus. Das Potenzial, welches sich aus der besonderen Akteursdichte und –vielfalt einer Stadt ergibt, ist gezielt zu nutzen und auszubauen.

Die Integration wichtiger Akteure und Akteursgruppen in das Projektgeschehen ist einzuplanen und es sollte vorrangig ein transdisziplinärer Forschungsansatz gewählt werden.

- Das Ziel einer „Null-Emissions-Stadt“ ist an langfristige – hier 50 Jahre – Umgestaltungsprozesse gebunden. Damit gehen eine Reihe von Problemen einher. Indikatoren, Bilanzierung und Monitoring, Definition von überprüfbaren Etappen und Teilzielen, Szenarien und Leitbilder können zum Erhalt der Richtungssicherheit beitragen und Motivationsschübe für die Akteure ausüben. Unter Umständen sind aber auch neue Strategien notwendig, um Akteure in Langzeitprozesse zu integrieren oder um Entscheidungssicherheit im Spannungsfeld zwischen Richtungssicherheit und Offenheit für zukünftige Entwicklungen zu ermöglichen. Die Auseinandersetzung mit diesem Problemfeld kann Gegenstand von Projekten sein.
- Die problemadäquate Anpassung von emissionsmindernden Strategien und Maßnahmen betrifft nicht nur die räumliche Ebene im Hinblick auf eine angepasste Abgrenzung ökologischer Funktionsräume, sondern betrifft im besonderen Maße auch die sozio-ökonomischen Hand-

lungsspielräume. Für geplante Akteursnetzungen und -interventionen sollte eine sachgerechte Auswahl der Ebenen (lokal, regional, national, global) und Konstellationen vorgenommen werden. Es sind die Ebenen und Konstellationen auszuwählen, die in den ausgesuchten Problemfeldern eine effiziente Zielerreichung „Null-Emissionen“ erwarten lassen. Dies sollte hinreichend begründet werden.

- Die „Null-Emissions-Stadt“ orientiert sich an dem Ziel einer emissionsfreien bzw. CO₂-neutralen Energiewirtschaft, d. h. die drastische Reduktion des Energieverbrauchs und die Bereitstellung ausreichender Energie aus regenerativen Quellen sind zentrale Rahmenbedingungen. Forschungsprojekte müssen auf diese Rahmenbedingungen hin ausgerichtet sein. Sie sollten zur Weiterentwicklung dieser Rahmenbedingungen beitragen. Auf jeden Fall dürfen sie diesen nicht entgegenstehen.
- Die „Null-Emissions-Stadt“ basiert auf Kreislaufwirtschaftsprozessen. Ebenso wie im Bereich Energie sollten die Forschungsprojekte einen Beitrag zur Entwicklung der Kreislaufwirtschaft leisten. Auch hier dürfen sie diesem Ziel nicht entgegenstehen.

9.4 Forschungsfragen aus den Handlungsfeldern

In der Bearbeitung der einzelnen Handlungsfelder wurden Entwicklungstendenzen und zu lösende Forschungsfragen explizit genannt. Die zentralen Ergebnisse werden an dieser Stelle nochmals aufgegriffen und mit dem spezifischen Forschungsbedarf einer „Null-Emissions-Stadt“ verknüpft. Daraus ergeben sich weitere konkretisierte Forschungsfragen und Problemstellungen, die Forschungsprojekte im Rahmen des Forschungsfeldes aufgreifen sollten. Diese Fragen und Problemstellungen greifen zum Teil die obigen generellen Ausführungen auf und vertiefen oder spezifizieren diese.

Zunächst ist dabei festzustellen, dass sich viele direkte Schnittstellen zwischen den Einzelthemen finden, die die Interdisziplinarität und Komplexität des Themas unterstreichen und hier nur exemplarisch angerissen werden können: Stadtstrukturen beeinflussen das Verkehrsaufkommen, die Reduzierung und Verlagerung des Verkehrs (z. B. Öffentlicher Verkehr statt Pkw, verstärkter Rad- und Fußgängerverkehr) kann eine entscheidende Maßnahme zur Energieeinsparung darstellen. Gleichzeitig sind die Optionen der Nutzung regenerativer Energiequellen (Solarstrom, solarer Wasserstoff) zum Fahrzeugantrieb zu beachten. Bei allen eingesetzten Technologien sind deren vorgelagerte Prozessketten (vorgelagerter Energieverbrauch, Entstehung von Schadstoffen bei der Produktion) zu beachten. Hier ergeben sich enge Zusammenhänge mit dem Themenfeld der Kreislaufwirtschaft.

9.4.1 Handlungsfeld Siedlungsstrukturen

Sowohl von wissenschaftstheoretischer Seite der Stadtökologie als auch von Vertretern nachhaltiger Stadtentwicklung wird der Zusammenhang zwischen Siedlungsstrukturen und funktionalen Prozessen, die für die Entstehung von Emissionen verantwortlich sind, betont. Das Paradigma der nicht-emissionsfreien Stadt wird letztlich doch nicht in Frage gestellt, da akzeptiert wird, dass Belastungsüberschüsse an das Umland abgegeben werden. Im Rahmen der Diskussion um regionale Entwicklungen bzw. um die Entwicklung von Stadtregionen existiert ein vorherrschendes Verständnis darüber,

dass Städte im regionalen Kontext nachhaltig gestaltet werden müssen. Die „Null-Emissions-Stadt“ wird nicht zuletzt über die „Null-Emissions-Region“ definiert.

Das dominante Leitbild der kompakten Stadt, welches als besonders nachhaltig diskutiert wird, als auch andere als nachhaltig oder zukunftsfähig diskutierte Siedlungsmodelle sind in Bezug auf ökologische Verträglichkeit bisher nicht ausreichend analysiert worden. Vorrangig wurden die Vorteile einer kompakten Stadt bisher über den effizienten Einsatz von öffentlichen Verkehrssystemen und einem geringeren Aufkommen des motorisierten Individualverkehrs begründet. Mittlerweile weisen mehrere Studien darauf hin, dass diese Zusammenhänge sehr viel differenzierter zu betrachten sind. Es fehlt an zufriedenstellenden Bewertungsmodellen und qualifizierten Daten, um die verschiedenen Siedlungsstrukturen in Bezug auf ihre emissionsfördernden oder –reduzierenden Wirkungen beurteilen zu können.

Es ist notwendig, den Blick auch nach innen, in die Stadt hinein zu richten. Dies betrifft einerseits die Belastungssituationen der Stadtbewohner selber. Hier ist an erster Stelle der Lärm zu nennen. Es ist festzuhalten, dass häufig ein soziales Ungleichgewicht bezüglich der Wohnumfeldbelastungen durch Luftschadstoffe und Lärm besteht. Eine emissionsfreie Stadt leistet einen Beitrag zur sozialen Gerechtigkeit. Andererseits existiert eine Verkennung der Dynamik, die innerhalb der Städte zum Tragen kommt. Das Bild der unveränderlichen Stadt, die erst nach 100 Jahren ihr Angesicht wandelt, spiegelt ein ungenaues Bild wider. Die Nutzung und Wirkung akkumulativer Effekte „kleinerer“ Stadt- und Gebäudeerneuerungsmaßnahmen ist bisher nur unzureichend erfasst. Diese dynamischen Potenziale in ihren Effekten über einen längeren Zeithorizont zu verstehen, ist eine zu beachtende Forschungsfrage. Ebenso sind die Funktionen, die die Quartiers- bzw. Stadtstrukturtypenebene als eine Art Zwischenebene für innovative emissionsreduzierende Veränderungen darstellen, bisher nur ansatzweise erfasst. Auch hier besteht Nachholbedarf in der Forschung.

Die Widerspiegelung des Stoffwechsels zwischen Stadt und Umland und die Darstellung der Belastungsgrenzen des Umlandes ermöglichen es, die Zielwerte einer Null-Emissions-Stadt und ihrer Region genauer zu bestimmen. Wie ist der Bilanzraum abzugrenzen, sind Modelle mehrschichtiger Bilanzräume notwendig, um die Vielschichtigkeit der Prozesse adäquat widerspiegeln und für Handlungen zugänglich machen zu können, sind einige Fragen, die zu beachten sind. Der mangelnde Erfolg früherer Ansätze zur Erfassung der Emissionsbilanz von Städten und Regionen ist auch darin zu sehen, dass hier nur eine dokumentarische Absicht verfolgt wurde. Es fehlte eine damit verbundene Betrachtung von Verbesserungsmöglichkeiten. Neue Forschungsaktivitäten zur Erfassung städtischer Emissionen sind daher zu befürworten. Die in den letzten Jahren verstärkt aufgenommene Metabolismus-Forschung und die verschiedenen Modelle, mit denen ökologische Tragfähigkeit oder ökologische Inanspruchnahme eines Raumes abgebildet werden, müssten sowohl auf ihre Leistungsfähigkeit im Hinblick auf die modell-theoretische Bewältigung der Stadt-Umland-Beziehungen und auf die Entwicklung von Zielwerten als auch ihre Überführung in nutzbare Instrumente zur Analyse und Kontrolle der Emissionsentwicklung überprüft werden.

9.4.2 Handlungsfeld Energieversorgung und -nutzung

Die mit dem Energieverbrauch zusammenhängende Problematik der CO₂-Emissionen nimmt heute vielfach eine Leitposition in der globalen Umweltdiskussion ein. Auch viele bestehende Null-Emissions-Ansätze (Null-Emissions-Häuser, Null-Emissions-Fabrik, Zero Emission Village) definieren sich weitgehend über diese Zielgröße. Die Vorgabe eines sicher umweltverträglichen Emissionsniveaus lässt sich hier durch Interpretation der Empfehlungen aus der Klimaforschung annähernd quantifizieren: In Deutschland müssen die CO₂-Emissionen mindestens um den Faktor 10 gesenkt werden. Da dies im Wesentlichen nur durch Einschränkung des Verbrauchs von fossilen Brennstoffen möglich ist, reduzieren sich gleichzeitig viele Probleme bei den klassischen Luftschadstoffen.

Die Absenkung der CO₂-Emissionen um mehr als eine Größenordnung bedeutet den Übergang zu einer völlig neuen, vermutlich weitgehend solaren Energiewirtschaft. Bei der Frage, wie diese konkret aussehen wird, welcher Mix von Energieträgern sich also letztlich als geeignet erweist, steht die Forschung zurzeit noch sehr weit am Anfang. Viele erneuerbare Energieerzeugungssysteme lassen sich in kleinen Einheiten einsetzen. Eine wesentliche Frage lautet daher, ob wir zukünftig eine dezentrale Energiewirtschaft haben werden, die insbesondere unsere heutige zentralisierte Stromwirtschaft mit ihren Großkraftwerken ablöst. Im Hinblick auf die Stadt könnte dies bedeuten, dass ein viel größerer Anteil des Energiebedarfs als bisher innerhalb ihrer Grenzen und in ihrem Umland erzeugt werden kann. Gleichzeitig ist aber auch klar, dass viele Grundsatzfragen, z. B. im Hinblick auf den möglichen Import solarer Energieträger aus Offshore-Windparks und aus im Mittelmeerraum installierten Solarkraftwerken, sich nicht auf den Bereich der Stadt und ihrer Region eingrenzen lassen. Die alleinige Überbetonung einer einzelnen Technologie kann, wie das Beispiel der überbewerteten Brennstoffzelle zeigt, zu Fehleinschätzungen führen.

Der mit dem Anspruch „Null-Emission“ zusammenhängende Übergang zu einer emissionsfreien Energiewirtschaft darf nicht dazu verleiten, das Themengebiet der Energieeinsparung als zweitrangig zu betrachten: Die technische Realisierbarkeit einer CO₂-freien Energieversorgung auch ohne jegliche Energieeinsparung steht rein theoretisch außer Frage, entscheidend ist aber die ökonomische Seite: Teure solare Energieträger lassen sich nach heutigem Kenntnisstand nur bezahlen, wenn gleichzeitig erhebliche Anstrengungen zur Verbrauchssenkung unternommen werden. Es gilt also, nach Möglichkeit das Optimum aus Energiesparmaßnahmen und Energieversorgungsmaßnahmen zu finden. Dabei ist die Seite des Energieverbrauchs und der Energieeinsparung aus der Perspektive der Stadt besonders gut zu behandeln. Die komplexen innerstädtisch ablaufenden Prozesse, das Leben und Arbeiten der Bewohner, liefern ein sehr weitgehendes Abbild der Tätigkeiten und auch der Technologien, die den Energiebedarf unserer Industriegesellschaft insgesamt bestimmen. Insbesondere im Themenbereich Energieverbrauch/Energieeinsparung kann daher der städtische Bereich als „Labor“ zur Untersuchung vieler wesentlicher Problemstellungen angesehen werden. Bei der Energieeinsparung im Gebäudesektor muss eine Gesamtoptimierung angestrebt werden und nicht eine alleinige Ausrichtung auf aktive Solarenergienutzung. Der Neubau ist dabei weniger ein Problem als der Bestand, wo wirtschaftlichen und sozialen Faktoren ein größeres Gewicht zukommt. Hinsichtlich der Untersuchung wirklich weitreichender Energiesparlösungen im Altbau gibt es einen erheblichen Nachholbedarf.

Betrachtet man die vorhandenen Technologien näher, so stellt man fest, dass im Einzelnen schon viele Kenntnisse vorliegen, die für die Null-Emissions-Stadt als Ganzes von Interesse sind und sich in dieser voraussichtlich wiederfinden werden. Dies gilt zum Beispiel für Konzepte zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden, die, wie etwa das Passivhaus, nicht nur erhebliche Energieeinsparungen bewirken, sondern auch ökonomisch tragbar sind. Auf der Versorgungsseite erlangt beispielsweise die Biomasse als relativ kostengünstiger regenerativer Energieträger zurzeit ein immer größeres Interesse. Hier ist anzumerken, dass im Hinblick auf eine wirklich nachhaltige Versorgungsstruktur die Rolle der Biomasse aufgrund ihrer langfristig stark begrenzten Potenziale noch weiterer Überlegungen bedarf: Eine reine Versorgung mit Biomasse (aus nachhaltiger Quelle) kann in konkreten Projekten sicherlich eine sinnvolle und zukunftsweisende Option darstellen. Es handelt sich aber nicht um eine verallgemeinerbare Lösung für das Energieproblem, zumal zu beachten ist, dass hier in der Regel auch die klassischen Luftschadstoffe entstehen.

Ähnliches gilt für die meisten bestehenden „Null-Emissions-Ansätze“ im Energiesektor, deren Grundidee auch als das Erreichen einer „CO₂-Neutralität“ bezeichnet werden kann. Zum Beispiel sind mit „Null-Emissions-Häusern“ in der Regel Gebäude mit sehr stark reduziertem Energiebedarf gemeint, die im Jahresmittel über eine Photovoltaikanlage mindestens soviel CO₂ aus dem Stromnetz substituieren, wie ihr Restbedarf insgesamt beträgt. Auch dieser Ansatz ist sicherlich für konkrete Projekte interessant und kann vermutlich auf mögliche Nachahmer eine hohe Motivationswirkung ausüben. Im Hinblick auf ein grundsätzliches Verständnis einer zukünftigen Energieversorgung ist aber eine genauere Kenntnis des Zusammenspiels der unterschiedlichen Energieversorgungs- und einsparoptionen notwendig. Dabei stellt die zeitliche Angleichung von Energieangebot und -nachfrage ein erhebliches Problem dar, das einer Lösung zugeführt werden muss.

Gerade auch aus Sicht der städtischen Infrastruktur ist die Frage des Energietransports und der Energieverteilung von besonderem Interesse. Während gegenwärtig mehrere Systeme nebeneinander bestehen (Strom, Öl, Gas, Fernwärme) stellt sich die Frage, wie dies in Zukunft aussehen wird. Häufig wird der (solar erzeugte) Wasserstoff als der Energieträger der Zukunft gesehen, der alle Funktionen übernehmen kann. Dies trifft aber, soweit es um Transport und Verteilung und nicht um Speicherung geht, auch auf den elektrischen Strom zu. Werden wir es also mit einer „solaren Wasserstoffwirtschaft“ oder mit einer „Solarstromwirtschaft“ zu tun haben? Und welche Rolle spielt dann die Nah- und Fernwärme? Diese stellt sich einerseits im Zusammenhang mit bestimmten regenerativen Energiesystemen als besonders günstig dar (z. B. solare Nahwärme mit saisonalem Wärmespeicher), weist aber andererseits in Wohngebieten mit stark reduziertem Energieverbrauch auch erhebliche Nachteile auf (hohe anteilige Energieverluste und Verlegekosten).

Im Handlungsfeld „Energieversorgung“ geht es vielfach nicht um technische Spezialforschung, sondern darum, existierende Lösungsansätze miteinander zu verknüpfen und in die Anwendungsbreite zu bringen. Das Konzept der Null-Emissions-Stadt kann hier einen wichtigen Beitrag leisten. Allerdings ist zu beachten, dass eine Stadt alleine keine Breitenwirkung erzeugen kann.

9.4.3 Handlungsfeld Produktionsprozesse (Kreislaufwirtschaft)

Aus diesem Handlungsfeld sind zunächst regionale Kreislaufwirtschaftsprozesse von Bedeutung. Diese zeichnen sich durch die regionale Ausgestaltung ihrer Subsysteme aus. Erforderlich ist demnach die regionale Anbindung des Ressourcen-, Produktions- und Reduktionssystems (d. h. Material-Rückführungssystems) an das lokale bzw. regionale Konsumtionssystem. Da für viele Produkte die Prozesskette über Rohstoffgewinnung, Produktion, Konsumtion und Reduktion nicht regional geschlossen werden kann, kann eine hundertprozentig lokale bzw. regionale Kreislaufwirtschaft nicht als Leitbild einer „Null-Emissions-Stadt“ fungieren. Im Rahmen der Untersuchungen zur „Null-Emissions-Stadt“ sollte daher nicht nur die Verwirklichung kompletter regionaler Prozessketten, sondern auch die Option, solche Prozessketten in Teilbereichen stärker regional zu organisieren, berücksichtigt werden.

Die Komplexität der Stoffströme in der Stadt macht eventuell eine weitere Einschränkung des Untersuchungsgegenstandes auf spezielle Prozesse notwendig. Empfehlenswert ist dabei eine Konzentration auf diejenigen Stoffströme, die für eine Stadt - unabhängig von spezifischen Besonderheiten - „wesentlich“ erscheinen und in denen die Prozessketten ganz oder in Teilbereichen regional organisiert werden können. Dafür bieten sich insbesondere die Bereiche „Bauen und Wohnen“, „Nahrungsmittel“ und „Wasser“ an.

Gerade der Bereich „Bauen und Wohnen“ macht deutlich, dass die Bedeutung der Stoffströme nicht nur an Hand von Massenbilanzen beurteilt werden darf. Es müssen vielmehr immer auch die dabei bewegten Produktwerte analysiert werden. Das Beispiel der Wasserversorgung weist interessante Parallelen zur Energieversorgung auf (s. o.). In beiden Fällen sind langfristig relevante städtische Infrastrukturfragen betroffen (Wasser- bzw. Energieverteilungssysteme) und es stehen grundsätzliche Entscheidungen zwischen einer zentralen oder einer dezentralen Versorgungsstruktur zur Debatte. Aufgrund der diversen Lebensmittelskandale der jüngsten Vergangenheit ist auch der Bereich „Nahrungsmittel“ ein nicht zu unterschätzendes Handlungsfeld.

Unabhängig von der möglichen Konzentration auf die „wesentlichen“ Stoffströme der Stadt bei spezielleren, insbesondere verfahrenstechnisch ausgerichteten Fragestellungen sollten aber im Rahmen der „Null-Emissions-Stadt“ auf jeden Fall auch konzeptionelle Fragestellungen von übergreifender Bedeutung für den städtischen und regionalen Bereich behandelt werden. Insbesondere wäre es wichtig, Schnittstellen zwischen emissionsrelevanten betrieblichen Prozessen und der „Stadt“ zu erkennen und hierzu neue Konzepte zu erarbeiten bzw. bestehende Konzepte weiterzuentwickeln. Solche Schnittstellen sind vor allem in der Beziehung zwischen Produktion - Konsum - Reduktion und kommunalem Management zu sehen. Stadtspezifische Besonderheiten (Stoffströme, Akteure, Netzwerke, Kooperationen etc.) können hierbei berücksichtigt werden. Gerade für das Zusammenspiel zwischen der Stadt und ihren Industrie- und Gewerbebetrieben erscheint es wichtig, auch solche akteursbezogene Ansätze zu verfolgen.

Ein zentraler Aspekt dabei ist die Frage, wie man Konsumenten und Produzenten zur Mitarbeit bewegen kann. Es geht letztlich darum, ihnen Verantwortung zu übertragen. Neben staatlicher und marktlicher Steuerung kommt der Bildung effizienter Netzwerke große Bedeutung zu. Hierbei besteht Bedarf nach intermediären Strukturen und Agenten, die zwischen Akteuren und ihren verschiedenen Hand-

lungsbereichen vermitteln. Forschungsfragen stellen sich im Hinblick auf die Organisation dieser Netzwerke und die Identifikation der entscheidenden Akteure.

9.4.4 Handlungsfeld Verkehr

Die mit dem Verkehr zusammenhängenden Probleme treten im dicht bebauten städtischen Bereich besonders prägnant zu Tage. Dabei sind nicht nur nur umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe, sondern auch Lärm als „immaterielle“ Emission und die Beeinflussung des städtischen Lebens insgesamt (z. B. Platzbedarf durch Pkw, nicht kindgerechte Wohnquartiere) von Bedeutung.

Ein zentrales Thema ist die Frage der Verkehrsvermeidung. Hierzu wurden verschiedene städtebauliche Ansätze entwickelt. Eine wichtige Rolle spielt das Leitbild „Kompakte Stadt“, welches eng mit der Idee der „Stadt der kurzen Wege“ verknüpft ist. Ergänzende und konkurrierende Vorstellungen bilden z. B. die „Region der kurzen Wege“ und das „Netz-Stadt-Modell“. Grundsätzlich muss festgestellt werden, dass noch nicht vollständig geklärt ist, welche stadtstrukturellen Parameter den wesentlichen Einfluss auf das Verkehrsaufkommen ausüben. Die Betrachtung der Siedlungsdichte ist sicherlich von wesentlicher Bedeutung, greift aber für sich genommen entschieden zu kurz. Fragen der Nutzungsmischung, des Verhältnisses der Arbeits- zur Wohnbevölkerung sowie die unterschiedlichen Eigenschaften mono- und polyzentrischer Siedlungsstrukturen sind ebenfalls zu berücksichtigen. Insgesamt gesehen besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf, bevor quantitativ tragfähige Aussagen über die Optionen städtebaulicher Verkehrsvermeidung möglich sind.

Darüber hinaus ist die Frage nach Steuerungsmöglichkeiten zu stellen. Trotz der hohen Relevanz des Themas Verkehrsvermeidung zeigen sich bisher kaum Ansatzmöglichkeiten für eine Realisierung der angestrebten Zielvorstellungen. Als Beispiel kann die fortschreitende Entstehung großer Einkaufszentren „auf der grünen Wiese“ dienen, die dem Ziel der „Stadt der kurzen Wege“ entgegenläuft. Die Analyse der kommunalen Handlungsoptionen und die Entwicklung neuer Ansätze kann daher als wesentliches Forschungsziel für die Null-Emissions-Stadt angesehen werden. Schließlich sind im Rahmen der Diskussion über Verkehrsvermeidungsstrategien neben städtebaulichen auch weitere gesellschaftliche Aspekte wie die Rolle der Telearbeit zu untersuchen. Der „Verkehr in der Dienstleistungsgesellschaft“ sollte einen wesentlichen Untersuchungsschwerpunkt im Rahmen der Null-Emissions-Stadt darstellen.

Aufgrund der langfristigen Perspektive der Null-Emissions-Stadt bietet sich ein günstiger Ansatzpunkt, über die Einführung neuartiger Verkehrssysteme, die in der Regel mit erheblichen Infrastrukturaufwendungen verbunden sind, nachzudenken. Es gibt eine beachtliche Zahl verschiedener Ideen und Konzepte, die sich in sehr unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Mit besonderer Relevanz für den städtischen Bereich seien an dieser Stelle exemplarisch Ein-Schienen-Konzepte für den Personenverkehr (z. B. automatisch gesteuerte Kabinen, so genannte „Kabinentaxis“) und Rohrpost-Systeme für den Gütertransport („Cargo-Cap“) hervorgehoben. Dass es nicht unbedingt immer um High-Tech-Lösungen gehen muss, wird am Beispiel der Berliner Fahrrad-Taxis deutlich. Generell ist zu beachten, dass angesichts des Null-Emissions-Ziels die neuen Systeme nicht nur im Hinblick auf ihre Einwirkungen auf den Verkehrsablauf, sondern auch hinsichtlich ihrer ökologischen Effekte (z. B. Energieeinsparung gegenüber konventionellen Systemen) zu bewerten sind.

Eine Realisierung des Null-Emissions-Ziels im strengen Sinne erfordert die Verwendung regenerativer Energiequellen für den Antrieb. Als in den Fahrzeugen eingesetzte Endenergieträger kommen daher in erster Linie Strom und Wasserstoff in Betracht. Bei elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen stellt, anders als bei fahrleitungsgebundenen Bahnen und Oberleitungs-Bussen, die Frage der Energiespeicherung ein besonderes Problem dar, das in der technologischen Spezialforschung behandelt wird. Ähnliches gilt für die Verwendung solar erzeugten Wasserstoffs. Hier sind durch die in den letzten Jahren verstärkten Anstrengungen zur Entwicklung von Brennstoffzellen deutliche Fortschritte zu erwarten, auch wenn die Aktivitäten zunächst noch auf die Verwendung von auf fossiler Basis erzeugtem Wasserstoff (und anderer Brennstoffe) ausgerichtet sind. Eine alleinige Fixierung auf technische Systeme (Zero-Emission-Cars) spiegelt die Realität jedoch nicht wider (z. B. Einfluss von Stadtstrukturen und Lebensstilen) und wäre für die Forschung zur Null-Emissions-Stadt kontraproduktiv.

Auch die Frage der Verkehrsmittelwahl ist von entscheidender Bedeutung. Da im Rahmen der Null-Emissions-Stadt die grundsätzlichen Probleme thematisiert werden, können hier Hypothesen und Szenarien betrachtet werden, die in der alltäglichen Debatte keine Rolle spielen. Nur als Beispiel sei auf die Frage der Auswirkungen eines Übergangs von dem gegenwärtigen, durch motorisierte Kraftfahrzeuge bestimmten Verkehrsgeschehen zu völlig neuen, etwa durch öffentlichen Personen- und Güterverkehr, Fahrrad- und Fußgängerverkehr dominierten Verkehrskonzepten hingewiesen. Neben der Untersuchung prinzipieller Fragestellungen ist auch die Brücke zu aktuellen Entwicklungen und Lösungsansätzen im Bereich des Verkehrsmanagements zu schlagen. Konkrete Ansatzpunkte bestehen in der verstärkten Nutzung der Weiterentwicklungen in der Informationstechnologie im Verkehrsbereich (z. B. Ad-Hoc-Informationen der Verkehrsteilnehmer über Verspätungen, Anschlüsse und Routenalternativen). Unter dem Gesichtspunkt der Null-Emissions-Stadt sind hier vor allem auch Maßnahmenpakete von Interesse, die die vielfältigen bestehenden Ansätze (Informationssysteme, Car-Sharing, Auto-freies Wohnen, Parkraumbewirtschaftung, Road-Pricing) zu einem schlüssigen kommunalen Gesamtkonzept verknüpfen.

Angesichts des geringen Erfolgs bisheriger Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und Verkehrsverlagerung muss insgesamt gesehen besondere Aufmerksamkeit auf die Effizienz der Handlungsalternativen also auf die Veränderung staatlicher Rahmenbedingungen (Recht, Subventionen, Steuern und Abgaben), den Wertewandel beim Verbraucher, technische oder planerische Ansätze und neue Informationssysteme gerichtet werden. Besondere Bedeutung sollte den Faktoren Raumstruktur, Logistikkonzept und Zeit-Raum-Budget der Akteure zugemessen werden.

9.4.5 Übergreifende Forschungsfragen aus den Handlungsfeldern

Aus den dargestellten, nach Disziplinen geordneten Themengebieten und darüber hinausgehend lassen sich allgemeinere und übergreifende Fragestellungen identifizieren.

Strukturelle Parallelen

Es sind zwischen den Problemlagen und Lösungswegen, die in den einzelnen Handlungsfeldern diskutiert werden, systematische Verwandtschaften festzustellen. Ein Beispiel hierfür kann die Zentralitäts-/Dezentralitätsdebatte angeführt werden: Sowohl bei der Energie- als auch bei der Wasserversorgung wird die Frage aufgeworfen, ob der Übergang zu dezentralen Systemen (kleine weit gestreute regenerative Energieerzeugungsanlagen, dezentrale Regenwassernutzung und Wasseraufbereitung) strukturelle Vorteile mit sich bringt oder ob großtechnische Lösungen (große Solarkraftwerke im Mittelmeerraum, zentrale Wasserversorgung mit aufwändigen Aufbereitungssystemen) überlegen sind. Daran lassen sich Fragen anschließen wie: Ob durch mehr Dezentralität eine höhere Autarkie einer Stadt oder Stadtregion, zum Beispiel im Hinblick auf Wasser- und Energieversorgung, möglich ist? Führt Dezentralität dazu, dass Ver- und Entsorgungsvorgänge bewusster wahrgenommen werden und wird verantwortliches Handeln dadurch gestützt?

Lebensstile

Übergreifend über alle Themenbereiche ist auch die Bedeutung der Lebensweise der Bewohner, ihrer Handlungen und Bedürfnisse von Bedeutung. Zugespitzt formuliert lautet die Frage: „Können wir so weiterleben wie bisher?“ Im wissenschaftlichen Sinne geht es hierbei nicht um moralische Appelle, sondern um die Gewinnung eines tieferen, differenzierteren Verständnisses über die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten und die bestehenden Handlungsoptionen. So wäre z. B. eine Bestandsaufnahme, die die Vielfalt heutiger städtischer Lebensweisen im Hinblick auf ihre Emissionsauswirkungen und das Null-Emissions-Ziel genauer analysiert, ein sinnvoller Beitrag auf diesem Gebiet. Es ist zu bedenken, dass alle technisch orientierten Fragestellungen immer auch Grundannahmen über die zugrunde liegenden Verhaltensweisen brauchen (z. B. Inanspruchnahme von Wohnfläche, zu erwartendes Verkehrsaufkommen). So ist u. a. zu fragen, ob in Zeiten einer zunehmenden Individualisierung Verkehrssysteme mit „Massentransport“-Charakter noch eine Zukunft haben und welche Effizienztechnologien unterstützen die Entwicklung zu einem umweltbewussteren Verhalten, schaffen also eine Synergie zwischen Effizienz und Suffizienz. Wissenschaftliche Untersuchungen, die Aussagen über eine in vielleicht 50 Jahren zu realisierende Situation machen, müssen die Möglichkeit unterschiedlicher oder gar gegensätzlicher Entwicklungen berücksichtigen, ressourceneffiziente Technologien werden durch einen zunehmend ressourcenverschwenderischen Konsumstil mehr als negativ kompensiert. Die Zusammenarbeit zwischen sozialwissenschaftlich und technisch orientierter Forschung ist eine Notwendigkeit.

Zeitachsen und Vorsorgeprinzip

Ein übergreifendes Merkmal aller behandelten Themenbereiche ist der Übergang zu völlig neuen Lösungen in praktisch allen umweltrelevanten Bereichen. Wenn nun nicht mehr nur das zeitlich ferne Ziel der „Null-Emissions-Stadt“ ins Auge gefasst, sondern auch der Weg, der dorthin führt betrachtet wird, so lassen sich diejenigen Problemstellungen identifizieren, die für unser heutiges Handeln von Bedeutung sind. Viele umweltrelevante Entscheidungen haben nach allgemeiner Meinung Auswirkungen für mehrere Jahrzehnte, als Beispiel seien Infrastrukturentscheidungen im Energie- und Verkehrsbereich genannt. Wenn bei solchen Fragen falsche Weichenstellungen getroffen werden, droht die Gefahr, dass die Entwicklung in Sackgassen gerät, aus denen eine Null-Emissions-Stadt nicht mehr ohne erheblichen Zeitverlust und enorme Zusatzkosten erreichbar ist. Die Untersuchung der „Null-Emissions-Stadt“ ist in diesem Sinne ein wichtiger Beitrag zur Etablierung eines konsequenten Vorsorgeprinzips. Wie bereits im Abschnitt Stadtstrukturen dargelegt wurde, ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass mit Verweis auf die rasanten Veränderungen der jüngeren Vergangenheit, auch Meinungen geäußert werden, nach denen die Dynamik der Umbauprozesse allgemein unterschätzt wird. Demnach wären einerseits heutige Fehlentscheidungen leichter korrigierbar als gedacht, andererseits müsste die Realisierung der Null-Emissions-Stadt dann auch nicht mehr so weit in die Zukunft verschoben werden. In jedem Fall handelt es sich bei der Frage nach den relevanten „Zeitachsen“ um einen wichtigen Forschungsbereich, der den Bezug zwischen Vision und heutiger Realität herstellt.

Indikatoren und Monitoring

Von wesentlicher Bedeutung ist auch die Frage, welche emissionsverursachenden Problemstoffe in den unterschiedlichen Bereichen betrachtet werden sollen. Insbesondere geht es darum, geeignete Indikatoren zu finden, Zielwerte festzulegen und die Zielgrößen im Zeitverlauf stadtweit zu verfolgen („Monitoring“). Bei der Lösung dieser Aufgabe kann einerseits auf eine Vielzahl bestehender Umwelt-Indikatorensysteme zurückgegriffen. Andererseits gibt es, wie im Abschnitt Stadtstrukturen dargelegt, noch einen erheblichen Bedarf für die Entwicklung von Konzepten für das Monitoring im städtischen Bereich.

Die Klärung dieser Fragen kann letztlich dazu dienen, den Begriff der Null-Emissions-Stadt näher zu fassen. Untersuchungen zur Klassifizierung, Erfassung und Bewertung „stadttypischer“ Umweltschadstoffe stellen auch aus diesem Grund einen wichtigen Teilbereich des Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“ dar. Als vorläufiger Ansatz erscheint eine vorrangige Betrachtung der wichtigsten im städtischen Bereich entstehenden Klimagase und Luftschadstoffe (CO₂, NO_x, FCKW/HFKW, SO_x, Stäube, NMVOC), der Abwasser-Schadstoffe Phosphor und Stickstoff; der festen städtischen Abfälle sowie des immateriellen Emissionsfaktors Lärm sinnvoll.

Dabei sei betont, dass die Weiterentwicklung definitorischer Grundlagen nicht als Voraussetzung für eine Durchführung von Forschungsprojekten anzusehen ist, die sich mit konkreten Lösungsansätzen befassen. Angesichts der Komplexität der aufgeworfenen Fragen wird man in dem angestrebten Forschungsfeld generell darauf verzichten müssen, eine endgültige Klärung bestimmter Teilfragen abzuwarten, bevor andere, darauf aufbauende Fragestellungen behandelt werden. So erscheint es im vorlie-

genden Beispiel weder als möglich noch als notwendig und sinnvoll, zunächst einen „Kanon“ der umweltrelevanten Stoffe und ihrer Grenzwerte zu finden und anschließend erst mit umsetzungsorientierten Untersuchungen zu beginnen.

9.5 Empfehlungen für die Strukturierung eines Forschungsfeldes „Null-Emissions-Stadt“

Der Forschungsgegenstand „Null-Emissions-Stadt“ ist durch eine große thematische Breite und durch ein starkes Spannungsfeld zwischen theoretisch zu behandelnden Grundsatzfragen auf der einen Seite und der Einbindung praxisorientierter Forschung auf der anderen Seite gekennzeichnet. Ein Forschungsfeld Null-Emissions-Stadt sollte Grundlagenforschung und Modellprojekte fördern und diese strategisch miteinander verbinden. Für die Organisation einer gezielten Forschung auf diesem Gebiet ist von daher ein Ansatz zu suchen, der diesen beiden Aspekten gleichzeitig Rechnung trägt. In diesem Zusammenhang möchten wir deshalb folgenden Vorschlag unterbreiten:

1. Wegen der strategischen, theoretischen und zum Teil technologischen Anforderungen sollte ein Forschungsnetzwerk auf Bundesebene, quasi als Metaprojektebene, aufgebaut werden. Dieser Verbund konzentriert sich auf übergreifende Fragestellungen (Modelle und theoretische Konzepte, übergeordnete Trends und Szenarien, Technikfolgenabschätzungen und Bewertung neuer Technologien). Als mögliches konstituierendes Element eines Forschungsnetzwerkes sehen wir die gemeinsame Aufgabe, fundierte und in sich schlüssige Visionen für die Null-Emissions-Stadt zu entwerfen. Ziel sollte es sein, einerseits möglichst alle relevanten Fragestellungen in der notwendigen Tiefe zu behandeln und andererseits aus den Einzelergebnissen ein Gesamtbild zu formen. Die Lösung dieser Aufgabe würde gleichermaßen die Durchführung von Forschungsprojekten mit sehr speziellen Fragestellungen als auch das Verfassen von Übersichtsdarstellungen erfordern. Dabei können je nach Fragestellung die unterschiedlichsten Methoden zum Einsatz kommen. Eine wesentliche Bedeutung kommt somit der Organisation der interdisziplinären Zusammenarbeit zu. Es wäre darauf zu achten, dass die verschiedenen anwendungsorientierten und theoretischen Forschungsprojekte, und zwar auch solche mit relativ speziellem Charakter, sich als Bausteine eines erweiterten Gesamtbildes „Null-Emissions-Stadt“ verwenden lassen. Dazu erscheint es insbesondere sinnvoll, ein gemeinsames Analyseraster (z. B. nach dem Vorbild der Studienprogramme der Klima-Enquete-Kommissionen des Deutschen Bundestages) zu definieren, um den Informationsaustausch zwischen den unterschiedlichen Disziplinen zu gewährleisten und insbesondere quantitative Ergebnisse aus einzelnen Forschungsvorhaben für das gemeinsame Projekt nutzbar zu machen. Die oben genannten Grundsätze, Handlungsrahmen, Projektebenen und Kriterienlisten sind Orientierungsmarken, mit Hilfe derer die verschiedenen Projekte zueinander in Bezug gesetzt werden können.

Das Forschungsnetzwerk könnte personell so ausgestaltet sein, dass sowohl Beiratsmitglieder als auch Projektverantwortliche gleichermaßen darin vertreten sind. Aus diesem Netzwerk heraus

könnten auch Arbeitsgruppen zu bestimmten Schwerpunkten gebildet werden. Das Netzwerk trifft sich zu ein- oder zweitägigen Workshop-Sitzungen.

2. Anwendungsorientierte modellartige Forschungsprojekte sind, wie in anderen Bereichen, auch bei der Untersuchung der Null-Emissions-Stadt von entscheidender Bedeutung, um die Brücke zwischen Theorie und Praxis zu schlagen. Der Bezug zum städtischen Raum, der mit seinen komplexen Strukturen und Prozessen in vielerlei Hinsicht ein Abbild unserer Gesellschaft im Kleinen ist, gestaltet die Durchführung von Null-Emissions-Projekten schwierig. Um den Bereich zu erschließen, dürfen keine zu hohen Hürden für die Realisierbarkeit von umsetzungsorientierten Forschungsvorhaben aufgebaut werden. Dennoch sind die oben genannten Grundsätze und Kriterien zu beachten. Für anwendungsorientierte Forschungsprojekte sind zwei parallele Ansatzmöglichkeiten möglich:

a) In „Null-Emissions-Modellstädten“ oder „Modellstadtteilen sollten komplexe Handlungsstrukturen und konkrete Lösungsansätze zusammengeführt werden. Dabei sollten die folgenden Randbedingungen berücksichtigt werden:

- In einer größeren Zahl konkreter Praxisprojekten sollten konzeptionelle oder technische Module einer Null-Emissions-Stadt getestet und weiterentwickelt werden.
- Die Projekte sollten einen engen Bezug zu den theoretischen Problemen der „Null-Emissions-Stadt“ aufweisen.
- Der Aufbau innovativer und langfristig in Richtung auf das Null-Emissions-Ziel wirkender Netzwerke und Milieus sollte beispielhaft gefördert werden.
- Es sind anspruchsvolle Modellvorhaben anzustreben, d. h. es bietet sich eine Konzentration auf 3 bis 5 Modellstädte an.

b) Einzelne, besonders innovative Vorhaben mit starkem Bezug zur Null-Emissions-Thematik sollten auch dann gefördert werden können, wenn sie nicht in den Modellstädten, sondern andernorts durchgeführt werden. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass beispielhafte und besonders originäre Ideen mit in das Forschungsfeld integriert werden können.

Das anspruchsvolle Ziel der „Null-Emissions-Stadt“ erfordert auch in der Forschung einen langen Atem. Die Thematik ist so komplex, dass man sich ihr nur langfristig und schrittweise annähern kann. Gleichzeitig eröffnet sich hier die Chance für ein neues und sehr ambitioniertes Feld, das den Blick auf die grundlegenden ökologischen Herausforderungen der Zukunft lenkt.

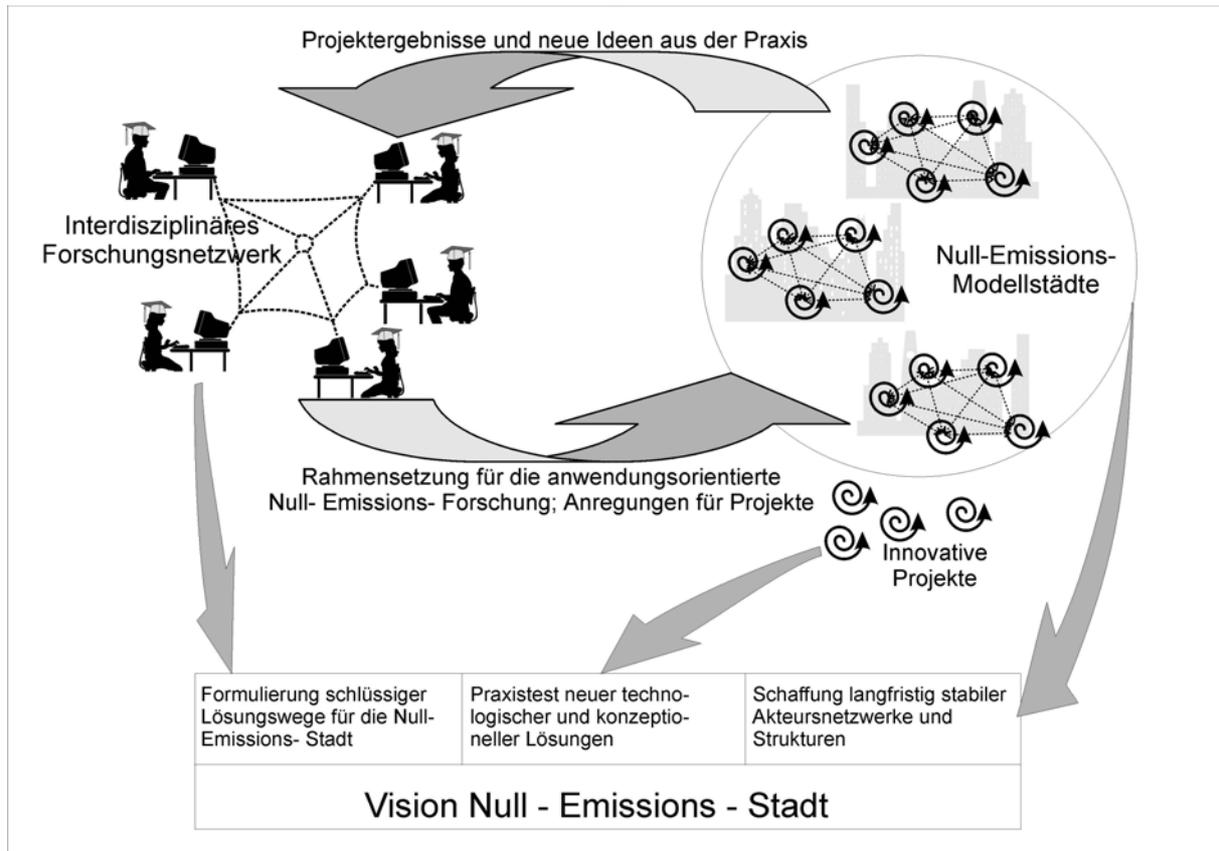


Abb. 9-1: Strukturmodell für ein Forschungsfeld „Null-Emissions-Stadt“.

10 Literatur

[Adam 1997]

Adam, B.: Wege zu einer nachhaltigen Regionalentwicklung. *Raumforschung und Raumordnung* 2, S. 137-141

[Ahuis et al. 1993]

Ahuis, H.; d' Alleux, J.; Ammann-Dejové, K.; Boeddinghaus, G.; Dieterich, H.; Reiff, B.; Stumpfl, H.; Wegener, G.: *Ökologisch nachhaltige Entwicklung von Verdichtungsräumen*. ILS-Schriften 76, 1993, 66 S.

[Alberti 2000]

Alberti, M.: *Urban Form and Ecosystem Dynamics: Empirical Evidence and Practical Implications*. In: Williams et al. *Achieving Sustainable Urban Form*, Spon, London New York 2000, p. 84 - 96

[Anderson et al. 1996]

Anderson, W. P.; Kanaroglou, P. S.; Miller, E. J.: *Urban Form, Energy and Environment: A Review of Issues, Evidence and Policy*. *Urban Studies* 33 (1), p. 7 - 35

[Anhörung 2002]

Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung" des Deutschen Bundestages (Hrsg.): *Öffentliche Anhörung zu dem Thema "Verhaltensbedingte Energieeinsparpotenziale"*. Protokoll der 46. Sitzung der Enquete-Kommission am 20.11.2001 in Berlin

[Apel et al. 1995]

Apel, D. et al.: *Flächen sparen, Verkehr reduzieren. Möglichkeiten zur Steuerung der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung*. In: *Difu-Beiträge zur Stadtforschung*, Band 16, Hrsg.: Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin, 1995

[Apel et al. 1997]

Apel, D.; Lehmbeck, M.; Phroah, T.; Thiemann-Linden, J., *Kompakt, mobil, urban: Stadtentwicklungskonzepte zur Verkehrsvermeidung im internationalen Vergleich*. In: *Difu-Beiträge zur Stadtforschung*, Band 24, Hrsg.: Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin, 1997

[Apel et al. 2000]

Apel, D.; Böhme, C.; Meyer, U.; Preisler-Holl, L.: *Szenarien und Potenziale einer nachhaltig flächensparenden und landschaftsschonenden Siedlungsentwicklung*. Umweltbundesamt (Hrsg.) *Berichte* 1/00, Berlin 2000

[Arlt 1997]

Arlt, G.: *Regionale Tragfähigkeiten – ökologische und ökonomische Ansätze einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung*. In: Deutsches Institut für Urbanistik, *Flächensteuerung in Großstädten – Ansätze für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung*, Berlin 1997, S. 111 - 125

[Arnold et al. 2001]

Arnold, W.; Freimann, J.; Kurz, R.: *Vorüberlegungen zur Entwicklung einer Sustainable Balanced Scorecard für KMU*. In: *UmweltWirtschaftsForum* 4/01, S. 74 - 79

[Baccini 2000]

Baccini, P.: *Der Metabolismus urbaner Systeme: Metaphern, Modelle und Methoden*. Internationales Forum für Gestaltung, *Strategischer Raum - Urbanität im 21. Jahrhundert*. anabas, Frankfurt/M, 2000, S. 20 - 26

- [Baccini & Bader 1996]
Baccini, P. & Bader, H.-P.: Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum, Heidelberg et al. 1996
- [Baccini & Brunner 1991]
Baccini, P. & Brunner, P.: Metabolismen of the Anthroposphere. Springer, Berlin et al. 1991
- [Baccini & Oswald 1998]
Baccini, P. & Oswald, F.: Netzstadt. Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme. vdf Hochschulverlag, Zürich, 1998
- [Baccini et al. 1993]
Baccini, P.; Daxbeck, H.; Glenck, E.; Henseler, G.: Metapolis: Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt NFP 25 "Stadt und Land", Zürich, 1993
- [Baltimore Urban LTER 2000]
Baltimore Ecosystem Study, University of Maryland: Human Settlements as Ecosystems: Metropolitan Baltimore, Maryland, from 1797 to 2100, <http://baltimore.umbc.edu/lter/welcome>
- [Bastian & Schreiber 1999]
Bastian, O. & Schreiber, K.-F.: Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Spektrum, Heidelberg et al. 1999
- [Behrendt & Pfitzner 1999]
Behrendt, S. & Pfitzner, R.: Nutzen- statt Produktverkauf? Bedeutung und Umsetzung ökologischer Dienstleistungen in der Unternehmenspraxis. In: UmweltWirtschaftsForum 2/99, S. 66 - 69
- [Beneking et al. 1997]
Beneking, C. et al.: Entwicklungs-Offensive Solar. Studie im Auftrag des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung Landes Nordrhein-Westfalen, AMO GmbH, Aachen, Neue Energie GmbH, Herzogenrath
- [BEQUEST 1999]
BEQUEST-Network: Building Environmental Quality Evaluation for Sustainability through Time Network <http://www.scpm.salford.ac.uk/bequest>, Information Sheet 4, Autumn 1999
- [Bergman et al. 2002]
Bergman, B.; Fuehrer, P.; Gullberg, A.; Höjer, M.: Six attractive cities for the future. Swedish Research for Sustainability No 2/02, p. 10 - 12
- [Beutler & Brackmann 1999]
Beutler, F. & Brackmann, J.: Neue Mobilitätskonzepte in Deutschland. Ökologische, soziale und wirtschaftliche Perspektiven. Veröffentlichungsreihe der Querschnittsgruppe Arbeit und Ökologie beim Präsidenten des Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (P99 - 503), Berlin, 1999
- [BfLR 1996]
Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.): Nachhaltige Stadtentwicklung. Herausforderungen an einen ressourcenschonenden und umweltverträglichen Städtebau. Bonn, 1996
- [Bieber & Sturm 1995]
Bieber, E. & Sturm, P.: Integration von Siedlungs- und Verkehrsplanung im Kontext von Integralen Taktfahrplänen des ÖV. In: Handbuch für Kommunale Verkehrsplanung, Bonn, 1995
- [BINE 2001]
Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Bürogebäude nach Passivhauskonzept. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Eggenstein-Leopoldshafen, 2001

[Bjur & Gavatin 1997]

Bjur, H. & Gavatin, M.: Research and Development in Spatial Planning and Urban Management. In: Swedish Planning. Towards Sustainable Development. The Swedish Society for Town and Country Planning, PLAN the Swedish Journal of Planning, p. 149 - 154, 1997

[Blach 1998]

Blach, A.: Pendlerdistanzen in Agglomerationen 1996, Auswertung der Pendlermatrix 1996 (unveröffentlicht), Bonn, 1998

[Bloss & Pfister 1989]

Bloss, W. H. & Pfisterer, F.: Photovoltaik und ihre Perspektiven. In: Deutsche Physikalische Gesellschaft (Hrsg.), Tagungsband der 53. Tagung des Arbeitskreises Energie, Bad Honnef, 1989

[BMU 2002]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Windenergienutzung auf See: Strategie der Bundesregierung zum Ausbau der Offshore-Windenergie. Umwelt Nr. 3, 2002

[Boarnet & Sarmiento 1998]

Boarnet, M. & Sarmiento, S.: Can Land-use Policy Really Affect Travel Behaviour? A Study of the Link between Non-work Travel and Land-use Characteristics. Urban Studies Vol. 35, No 7, 1155 - 1169, 1998

[Böde et al. 2000]

Böde, U.; Gruber, E.; Brohmann, B.; Cames, M.; Herold, A.; Deutscher, P.; Elsberger, M.; Rouvel, L.: Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten. Zusammenfassung Forschungsbericht im Auftrag des Umweltamtes, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, Öko-Institut, Darmstadt/Freiburg/Berlin, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München, August 2000

[Boese & Diefenbach 2000]

Boese, M. & Diefenbach, N.: Minderung der CO₂-Emissionen im Gebäudebestand durch Einführung einer Brennstoffkennzahl. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, III Physikalisches Institut A, März 2000

[Borras 2002]

Borras, K.: London, can you wait? – A remedy to help relieve congestion. In: Traffic Technology International, Heft 3 - 4/2002, Dorking (GB), 2002

[Brake 1998]

Brake, K.: Dezentrale Konzentration in Großstadtregionen. In: Raumforschung und Raumordnung, Heft 5/6, Bonn, 1998

[Brand 1997]

Brand, K.-W.: Probleme und Potentiale einer Neubestimmung des Projekts der Moderne und dem Leitbild 'nachhaltige Entwicklung'. In: Brand, K.-W. (Hrsg.), Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie. Leske + Budrich, Opladen, S. 9 - 32, 1997

[Brandt & Heller 1997]

Brandt, D. & Heller, G.: Die integrierte Stadtstrukturtypenanalyse - ein Instrument zur Analyse und Bewertung von Flächennutzungs- und Standortmustern am Beispiel München; Entwicklungsachse Hauptbahnhof-Laim. In: Deutsches Institut für Urbanistik, Flächensteuerung in Großstadtregionen - Ansätze für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung, Forum Stadtökologie 3, S. 35 - 70, 1997

[Brauer 1997]

Brauer, H. (Hrsg.): Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik, Bd. 1, Emissionen und ihre Wirkungen Springer, Berlin et al. 1997

[Braungart & Engelfried 1992]

Braungart, M. & Engelfried, J.: An "Intelligent Product System" to replace "Waste Management". Fresenius Envir. Bulletin 1 (1992):p. 613 - 619

[Breheny 1992]

Breheny, M. (ed.): Sustainable Development and Urban Form. Pion, London, 1992

[Brohmann et al. 2000]

Brohmann, B.; Cames, M.; Herold, A.: Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten, Band 1: Private Haushalte Forschungsbericht im Auftrag des Umweltamtes, Öko-Institut, Darmstadt/Freiburg/Berlin, Juni 2000

[Brunner 2000]

Brunner, P.: Zur Bedeutung des Hinterlandes für den Stoffwechsel von Wien. Internationales Forum für Gestaltung, Strategischer Raum - Urbanität im 21. Jahrhundert. anabas, Frankfurt/M., 2000, S. 96 - 103

[BUND/Misereor 1996]

BUND/Misereor (Hrsg.): Zukunftsfähiges Deutschland. Birkhäuser, Basel et al. 1996

[Bundesregierung 2002]

Die Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Entwurf für eine Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Berlin, Dezember 2001

[Bürkner 2002]

Bürkner, H.-J.: "Lokale Identität" Anmerkungen zur politischen Konjunktur eines schillernden Begriffs. Infobrief Stadt 2030 Nr. 5, S. 2 - 9

[Camagni et al. 1997]

Camagni, C.; Capello, R.; Nijkamp, P.: The Co-Evolutionary City. International Journal of Urban Sciences, 1 (1) 1997, pp. 32 - 46

CARGO LIFTER AG, www.cargolifter.de

[Carley & Spagans 1997]

Carley, M. & Spagans, P.: Sharing the World: sustainable Living and Global Capacity in the 21st Century. Earthscan, London 1997

[Cerwenka 1991]

Cerwenka, P. Siedlungsentwicklung und Verkehrssystemplanung: Ist Entropiesteigerung auch in der Raumnutzung und Raumüberwindung unausweichlich? In: Österreichische Zeitschrift für Verkehrsweisen, Heft 1 - 2/1991, Wien, 1991

[Ciuffini 1995]

Ciuffini, F. M.: Perceive, Conceive, Achieve the Sustainable City. A European Tetralogy Part III. Transport and Public Spaces: The Connective Tissue of the Sustainable City. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin, 1995

[Crane 2000]

Crane, R.: The Influence of Urban Form on Travel: An Interpretive Review. Journal of Planning Literature, Vol. 15, No. 1 (August 2000), p. 3 - 23

[Daenag 1998]

Danish Energy Agency: Combined Heat and Power in Denmark. Kopenhagen, August 1998

[Daly 1977]

Daly, H. Steady-state economics: The economics of biophysical equilibrium and moral growth. San Francisco, 1977

[Dangschat 1997]

Dangschat, J. S.: Sustainable City - Nachhaltige Zukunft für Stadtgesellschaften? In: Brand, K.-W. (Hrsg.), Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie. Leske + Budrich, Opladen 1997, S. 169 - 191

[Deckler 1998]

Deckler, I.: „Visionen neuer Verkehrskonzepte“. FH Würzburg-Schweinfurt-Aschaffenburg, Hochschule für Technik Wirtschaft Sozialwesen Gestaltung, Würzburg, 1998

[Dehli 1999]

Dehli, M.: Die dänische Energiewirtschaft - Ein Modell für Deutschland? Brennstoff-Wärme-Kraft BWK Bd 51 (1999) Nr. 1/2

[Delphi 1998]

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI): Delphi 1998 - Umfrage. Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Zusammenfassung der Ergebnisse. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Karlsruhe, 1998

[Dorau 1992]

Dorau, W.: Abwasserbehandlung ohne Gewässerschäden in einem wasserarmen Ballungsraum, Anforderungen und Realisierbarkeit in: AMK (Hrsg.): Wasser Berlin 1992, Berlin

[Dreier & Wagner 2000/2001]

Dreier, T. & Wagner, U.: Perspektiven einer Wasserstoff-Energiewirtschaft Brennstoff-Wärme-Kraft BWK, Teil 1: BWK Bd. 52 (2000) Nr. 12, Teil 2: BWK Bd. 53 (2001) Nr. 3, Teil 3: BWK Bd. 53 (2001) Nr. 6

[DST 1999]

Deutscher Städtetag: Initiative für Städtedialog II – Bausteine für eine nachhaltige Stadtentwicklung: Nachhaltige Flächennutzung – Stadtverträgliche Verkehrspolitik, Bericht zum Treffen der für die Raumordnung zuständigen Ministerinnen und Minister der Europäischen Union in Potsdam, Hrsg.: Deutscher Städtetag, Potsdam, 1999

[DST & Difu 1988]

Deutscher Städtetag u. Deutsches Institut für Urbanistik: Zum Begriff "Stadtökologie". Der Städtetag 9, 1988, S. 600 - 601

[DST & Difu 1991]

Deutscher Städtetag u. Deutsches Institut für Urbanistik: Zum Begriff Stadtökologie. In: Marahrens, W. et al. (Hrsg.), Stadt und Umwelt. Aspekte einer europäischen Stadtpolitik. Stadtforschung aktuell Bd. 32, Birkhäuser, Boston et al. 1991, S. 163 - 168

[Dütz et al. 2001]

Dütz, A.; Lorenz, D.; Mack, B.; Rummel, J.; Jörß, W.: Forschungsfeld "Schadstoffminderung im Städtebau". Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Werkstatt: Praxis Nr. 1/2001

[Duvigneaud 1974]

Duvigneaud, P.: L'écosystème urbs. Mémoires Soc. Royale Bot. Belgique, Mémoire 6

[Ebel 1989]

Ebel, W.: Stromverbrauch im Haushalt: Einsparpotentiale, Wirtschaftlichkeit und zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1989

[Ebel 1990]

Ebel, W. et al.: Energiesparpotenziale im Gebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1990

[Ebel et al. 1996]

Ebel, W.; Eicke-Hennig, W.; Feist, W.; Groscurth, H.-M.: Der zukünftige Heizwärmebedarf der Haushalte. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1996

[Ebel & Feist 1997]

Ebel, W. & Feist, W.: Ergebnisse zum Stromverbrauch beim Passivhaus Darmstadt Kranichstein. In: [Feist 1997]

[EEA 2001]

European Environment Agency (ed.): Europe's Environment - The Dobbris Assessment http://themes.eea.eu.int/Specific_areas/urban/reports, published 20th of May 2001

[EEG 2000]

Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energieträger (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG), im Deutschen Bundestag am 25.02.2000 beschlossen

[EG 1990]

Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Grünbuch über die städtische Umwelt. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, EUR 12902 DE, Brüssel 1990

[Enquete 1990a]

Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages: 3. Bericht: "Schutz der Erde". Economica Verlag, Bonn, 1990

[Enquete 1990b]

Enquete-Kommission "Gestaltung der technischen Entwicklung, Technikfolgen-Abschätzung und -Bewertung" des 11. Deutschen Bundestages: Bedingungen und Folgen von Aufbaustrategien für eine solare Wasserstoffwirtschaft. Deutscher Bundestag (Hrsg.), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn, 1990

[Enquete 1995]

Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages: Schlussbericht: "Mehr Zukunft für die Erde". Economica Verlag, Bonn, 1995

[Enquete 1998]

Abschlussbericht der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" des 13. Deutschen Bundestages: Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung. Deutscher Bundestag (Hrsg.), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn 1998

[Enquete 2002]

Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung" des Deutschen Bundestages, Abschlussbericht, Deutscher Bundestag, Bonn, 2002

[Enseling 2001]

Enseling, A.: Deregulierungsmöglichkeiten im Umweltschutz unter besonderer Berücksichtigung der Situation von Klein- und Mittelunternehmen. Europäische Hochschulschriften, Peter Lang, Frankfurt am Main, 2001

[Erhorn 1998]

Erhorn, H.: Null-Heizenergiehäuser marktreif - auch marktgängig? Bauphysik 20 (1998), Heft 3, S. 69 - 73

[Erler et al. 2000]

Erler, B. et al.: Zero Emission Research in Austria – ZERIA. Projektbericht der Universität Graz, Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik, Hrsg. vom Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr, Wien, 2000

[EuroStat 1997]

European Communities/Eurostat: Indicators of Sustainable Development. Luxembourg, 1997

[Eyerer et al. 1999]

Eyerer, P. et al. (eds.): Zero-Emission – Ein Modell für industrialisierte Länder im 21. Jahrhundert? Fraunhofer ICT, Eigenverlag, Stuttgart 1999

[Feist 1986]

Feist, W.: Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1986

[Feist 1987]

Feist, W.: Stromsparpotentiale bei den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1987

[Feist 1995]

Feist, W.: Das Passivhaus Darmstadt-Kranichstein – Übersichtsdarstellung. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1995

[Feist 1997]

Feist, W. (Hrsg.): Stromsparen im Passivhaus. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 7, Passivhaus-Institut, Darmstadt, 1997

[Feist et al. 1998]

Feist, W.; Borsch-Laaks, R.; Werner, J.; Loga, T.; Ebel, W.: Das Niedrigenergiehaus. C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 1998

[Feist 2001]

Feist, W.: Passivhaus 2001 - Fakten Entwicklungen, Tendenzen. Tagungsband der 5. Passivhaus-Tagung, Böblingen, 2001

[Fellbach 2002]

Solarprojekt Keplerstr. 7 im Internet unter www.fellbach-solar.de, April 2002

[Fiebig et al. 2001]

Fiebig, T.; Molitor, R.; Nischwitz, G.: "Reginal Good Practices" - Q.U.E.R. Quintessenz und Erkenntnisse für die Raumordnung Diskussionspapier des IÖW 51/01, Berlin, 2001

[Fietkau & Kessel 1981]

Fietkau, H. J. & Kessel, H. (Hrsg.): Umweltlernen: Veränderungsmöglichkeiten des Umweltbewusstseins. Modelle – Erfahrungen, Hain, Königstein/Ts., 1981

[Firey 1960]

Firey, W.: Man, mind and land. A theory of resource use. Glencoe, Ill.

[Fisch 2001]

Fisch, N.; Möws, B.; Zieger, J.: Solarstadt - Konzepte, Technologien, Projekte. W. Kohlhammer, Stuttgart, 2001

[Fisch 2002]

Fisch; N.: Schlussbericht zum Projekt IEA SHC Task 30 "Solar City". Technische Universität Braunschweig, Institut für Gebäude- und Solartechnik, W. Kohlhammer, Stuttgart, 2001

[Fischer-Kowalski 1999a]

Fischer-Kowalski, M.: Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I, 1860 - 1970. Journal of Industrial Ecology 2 (1), p. 61 - 78

[Fischer-Kowalski 1999b]

Fischer-Kowalski, M.: Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part II, 1970 - 1998. Journal of Industrial Ecology 2 (4), p. 107 - 136

[Folke et al. 1997]

Folke, C.; Jansson, A.; Larsson, J.; Costanza, R.: Ecosystem Appropriation by Cities. Ambio 26 (3), 167 - 172.

[Fritsche et al. 1994]

Fritsche, U. et al.: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 2.1. Öko-Institut, Darmstadt/Freiburg/Berlin/Kassel, 1994

[Fritsche 1999]

Fritsche, U. et al.: Entwicklung eines Zertifizierungsverfahrens für "Grünen Strom". Öko-Institut, Darmstadt/Freiburg/Berlin/Kassel, August 1999

[Frostell & Jonsson 2000]

Frostell, B. & Jonsson, U.: Metabolic Studies in the Urban System of Stockholm. Internationales Forum für Gestaltung, Strategischer Raum - Urbanität im 21. Jahrhundert. anabas, Frankfurt/M., 2000, S. 146 - 156

[Fürst & Scholles 2001]

Fürst, D. & Scholles, F. (Hrsg): Handbuch Theorien + Methoden der Raum- und Umweltplanung. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund, 2001

[FZ/ISI 2001]

Forschungszentrum Jülich (Programmgruppe STE), Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung: Systematisierung der Potenziale und Optionen. Endbericht an die Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" des Deutschen Bundestages, Karlsruhe/Jülich, Dezember 2001

[Gege 1997]

Gege, M. (Hrsg.): Kosten senken durch Umweltmanagement: 1000 Erfolgsbeispiele aus 100 Unternehmen. München, 1997

[Gertis 2001]

Gertis, K.: Energie gespart, Gesundheit gefährdet - wohnen wir im Niedrigenergiehaus ungesund? Tagungsunterlagen des Velta-Kongresses 31.03.-07.04.2001 in St. Christoph/Tirol, Stadler Verlagsgesellschaft mbH, Konstanz, 2001

[GdED 1999]

Gewerkschaft der Eisenbahner Deutschlands (GdED): Informationsveröffentlichung „inform 11/99“, S.4-5, www.deg.uni-bremen.de/presse

[Geyer et al. 1995]

Geyer, M.; Meinecke, F.; Aringhoff, R.: Solarthermische Kraftwerke in Südeuropa und Möglichkeiten für den Solarstromimport nach Deutschland in: K. Schultze (Hrsg.), Klimaverträgliche Energienutzung und Energiememorandum 1995 der DPG zum Klimagipfel, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Bad Honnef, 1995

[Giljum & Hinterberger 2000]

Giljum, S. & Hinterberger, F.: Wie misst man ökologische Nachhaltigkeit? Ein Vergleich ausgewählter Methoden des 'Physical Accounting'. *Natur und Kultur* 1 (2), S. 26 - 43

[Grablowitz et al. 2001]

Grablowitz, A.; Rudeloff, M.; Voss, G.: BMBF-Förderschwerpunkt „Integrierter Umweltschutz“ – Betriebliche Instrumente für nachhaltiges Wirtschaften. *UWF* 4/2001, S. 64 – 67

[Grauthoff et al. 1998]

Grauthoff, M. et al.: Planungsleitfaden 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen. Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, Düsseldorf, 1998

[Großklos 2002]

Großklos, M.: Niedrigenergiehäuser im Bestand. *Bundesbaublatt* 5/2002

[Gruber et al. 1990]

Gruber, E. et al.: Evaluierung energiepolitischer Programme zur rationellen Energieverwendung. In: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm "Energie und Klima" 10 Bände. *Economica Verlag*, Bonn, 1990, Bd. 10, S. 177-480

[GSF 1999]

GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (Hrsg.): Förderinitiative Modellprojekte für nachhaltiges Wirtschaften 2002. *Innovative Ansätze zur Stärkung der regionalen Ökonomie*. München, 1999

[GSF 2001]

GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (Hrsg.): Forschungsinitiative zu Nachhaltigkeit und Innovation – Rahmenbedingungen für Innovationen zum nachhaltigen Wirtschaften. München, 2001

[Guy & Marvin 2000]

Guy, S. & Marvin, S.: *Models and Pathways: The Diversity of Sustainable Futures*. In: Williams et al. *Achieving Sustainable Urban Form*. Spon, London New York, 2000, p. 9 - 18

[Haber 1992]

Haber, W.: Leitbilder für die Stadtentwicklung aus ökologischer Sicht. In: Bayerische Akademie der Wissenschaften, *Stadtökologie, Rundgespräche der Kommission für Ökologie*, München, 1992, S. 89 - 95

[Haberl 2001]

Haberl, H.: The Energetic Metabolism of Societies. Part I: Accounting Concepts. *Journal of Industrial Ecology* 5 (1), p. 11 - 33

[Haberl 2002]

Haberl, H.: The Energetic Metabolism of Societies. Part II: Empirical Examples. *Journal of Industrial Ecology* 5 (2), p. 71 - 88

[Hagedorn et al. 1989]

Hagedorn, G.; Lichtenberger, S.; Kuhn, H.: Kumulierter Energieverbrauch für die Herstellung von Solarzellen und photovoltaischen Kraftwerken Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, Juli 1989

[Hahne et al. 1992]

Hahne, E.; Fisch, N.; Kübler, R.; Guigas, M.; Müller, F.; Mazzarella, L.: Einsatz von solarunterstützten Nahwärmeversorgungssystemen mit saisonalem Wärmespeicher. Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart, Stuttgart, 1992

[Hahne et al. 1998]

Hahne, E. et al.: Solare Nahwärme - Ein Leitfaden für die Praxis. Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.), BINE-Informationspaket, Köln, 1998

[Hake & Schultze 1997]

Hake, J.-F. & Schultze, K.: Ausbau erneuerbarer Energiequellen in der Stromwirtschaft – Ein Beitrag zum Klimaschutz. Jülich, 1997

[Hall & Pfeiffer 2000]

Hall, P. & Pfeiffer, U.: Expertenbericht zur Zukunft der Städte ‚Urban 21‘. Stuttgart München, 2000

[Hannover 2000]

Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.): Modell Kronsberg - Nachhaltiges Bauen für die Zukunft. Landeshauptstadt Hannover, Baudezernat, 2000

[Hansen 1999]

Hansen, J.: Integrierter Umweltschutz als Beitrag zu einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung und die Förderung durch das BMBF. In: *UWF* 2/99, S. 8 - 12.

[Hardin 1976]

Hardin, G.: Carrying Capacity as an Ethical Concept. In: Lucas, G.R.; Ogletree, T. W. (eds): *Lifeboat Ethics: The Moral Dilemma of World Hunger*. New York, 1976

[Hardin 1993]

Hardin, G.: *Living Within Limits*. Oxford University Press, New York 1993

[Haughton 1997]

Haughton, G.: Developing Sustainable Urban Development Models. *Cities* 14 (4), p. 189 - 195

[Heck 2002]

Heck, P.: Zero Emission Village (ZEV) Weilerbach: Energie- und Stoffstrommanagement als Basis für eine CO₂-neutrale Verbandsgemeinde der Westpfalz. Aufsatz von Prof. Dr. Peter Heck, Institut für Angewandtes Stoffstrommanagement, FH Trier, Umweltcampus Birkenfeld, 2002

[Hennicke 1995]

Hennicke, P. (Hrsg.): *Solarwasserstoff- Energieträger der Zukunft?* Birkhäuser Verlag, Berlin, Basel, Boston, 1995

[Hennings 2000b]

Hennings, D.: Elektrische Energie im Hochbau - Leitfaden Elektrische Energie. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), vollständig überarbeitete Fassung, 2000

[Hennings & Knissel 2000]

Hennings, D. & Knissel, J.: Energieeffiziente Bürogebäude. Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.), BINE-Informationdienst, Profiinfor 11/00

[Henseler et al. 1998]

Henseler, G.; Hubacher, S.; Oswald, F.; Baccini, P.: Neue Nähe - Zur Zukunft der Aktivität Reinigen. In: Baccini, P./Oswald, F. (Hrsg.): Netzstadt. Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme, Zürich, 1998, S. 60 - 86

[Hertle et al. 2001]

Hertle, H.; Eisenmann, L.; Gillmann, M.; Kolbe, P.: CO₂-Bilanz Hannover Kronsberg. ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH, Heidelberg, 2001

[Hesse o.J.]

Hesse, M.: Mobilität und Verkehr in Ostdeutschland, Diskussionspapier Nr. 1 zu Zwischenergebnissen aus dem Querschnittsprojekt „Raum-Zeit-Strukturen, Mobilität im Prozess der gesellschaftlichen Modernisierung“ (website www.los.shuttle.de/irs/berichte_4.htm), Hrsg.: Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS), Erkner, ohne Jahrgang

[Hesse 2000]

Hesse, M.: Raumstrukturen, Siedlungsentwicklung und Verkehr - Interaktionen und Integrationsmöglichkeiten. Raum-Zeit-Strukturen, Mobilität und Verkehr im Prozess der gesellschaftlichen Modernisierung Diskussionspapier Nr. 2, Hrsg.: Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS) Erkner, http://www.irs-net.de/berichte_5.htm

[Hessen 2001]

Steinmüller, B.; Knissel, J.; Großklos, M.; Loga, T.: Energie sparen, Heizkosten senken, CO₂-Ausstoß mindern. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (Hrsg.), 2001

[Hinz & Werner 1994]

Hinz, E. & Werner, J.: Messdatenerfassung und Auswertung beim ökologischen Nullenergiehaus Dörpe. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1994

[Hinz & Feldmann 2001]

Hinz, E. & Feldmann, R.: Energetische Gebäudesanierung, Baustein 2: Eine Bewertung des Dämmstoffs NEOPOR am Beispiel des "3-Liter-Hauses" im Brunckviertel – Ludwigshafen. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2001

[Hirschl et al. 2001]

Hirschl, B. et al.: Nachhaltige Produktnutzung. Sozial-ökonomische Bedingungen und ökologische Vorteile alternativer Konsumformen. Berlin, 2001

[Höfler & Pfeiffer 2002]

Höfler, L. & Pfeiffer, B.: Die Siedlungsentwicklung als Motor der Verkehrszunahmen. In: Sonderheft Siedlung und Verkehr, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur Wien; Band 32, Wien, 2002

[Höfler & Pfeiffer 2002]

Höfler, L. & Pfeiffer, B.: Zur Wechselwirkung von Siedlung und Verkehr - Ergebnisse einer Systemstudie. In: Sonderheft Siedlung und Verkehr, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur Wien; Band 32, Wien, 2002

[Hörner 1999]

M. Hörner: Stromsparcheck für Gebäude Impuls-Programm Hessen (Hrsg.), Darmstadt, 1999

[Hofbauer o.J.]

Hofbauer, K.: „Schienenauto soll Verkehr revolutionieren“, auf expedition zone, yahoo

[Hofer 1993]

Hofer, K.: „Drehstrom-Linearantriebe für Fahrzeuge“. Offenbach, 1993

[Holling 1978]

Holling, C. S. (ed.): Adaptive environmental assessment and management. Chichester, 1978

[Holz-Rau 1997]

Holz-Rau, C. (Bearb.): Siedlungsstrukturen und Verkehr. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.), Materialien zur Raumentwicklung, Heft 84, , Bonn, 1997

[Holz-Rau & Hesse 2000]

Holz-Rau, C. & Hesse, M.: Quantifizierung der Verkehrsentstehung und deren Umweltauswirkungen durch Entscheidungen, Regelwerke und Maßnahmen mit indirektem Verkehrsbezug. UBA-Texte 35/00, Berlin 2000

[Hübner et al. 2000]

Hübner, K.; Nill, J.; Rickert, C.: Greening of the Innovation System? Opportunities and Obstacles for a Path Change towards Sustainability: The Case of Germany. Diskussionspapier des IÖW 47/00, Berlin 2000

[IBP 1998]

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Abteilung Wärmetechnik: Konzepte für zukunftsorientiert Weber-Häuser und deren Umsetzung in Demonstrationsgebäuden. IBP-Abteilung Wärmetechnik, Tätigkeitsbericht 98-24, im Internet im Jahr 2001 unter www.ibp.fhg.de

[IBP 2001]

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Abteilung Wärmetechnik: Nullheizenergiehäuser und Siedlungen. Angaben im Internet unter www.ibp.fhg.de/wt/nullheiz.html, 12.5.2001

[IFEU 1990]

Energieverbrauch und Emissionen im Verkehrsbereich. Trend- und Referenzszenario. Berechnungen zum Personenverkehr. In: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm "Energie und Klima" 10 Bände. Economica Verlag, Bonn, 1990, Bd. 7, S. 563-644

[Ingram 1998]

Ingram, G. K.: Patterns of Metropolitan Development: What Have We Learned? Urban Studies Vol. 35, No 7, 1019 - 1035, 1998

[IPCC 2001a]

Intergovernmental Panel on Climate Change - Working Group II: Climate Change 2001: Impacts, Adaption and Vulnerability - Summary for Policymakers. Genf, Februar 2001

[IPCC 2001b]

Intergovernmental Panel on Climate Change - Working Group III: Climate Change 2001: Mitigation - Technical Summary Accra (Ghana), März 2001

[IWR 2002]

Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien: Förderkonditionen des 100.000-Dächer-Programms. Im Mai 2002 unter www.iwr.de im Internet

[IWU 1999]

Chmella-Emrich, E.; Greiff, R.; Steinmüller, B.; Werner, P.; Wullkopf, U.: Beitrag der Wohnungspolitik für eine nachhaltige Entwicklung. Tagungs- und Materialband zum Expertengespräch des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1999

[Jaufmann 1996]

Jaufmann, D.: Mobilität und Verkehr. Einstellungen der Bürger im Spiegel von Umfrageergebnissen in vergleichender sekundäranalytischer Perspektive. Intern. Inst. für Empirische Sozialökonomie (INI-FES), Stadtbergen, 1996

[Jenks et al. 1996]

Jenks, M.; Burton, E.; Williams, K.: The Compact City: A Sustainable Urban Form? E & F N Spon, London, 1996

[Jenni 1994]

Jenni, J.: Das Jenni-Sonnenhaus. Erneuerbare Energie 1/1994 (im Internet im Dezember 2001 unter www.aee.at)

[Jessen 1999]

Jessen, J.: Stadtmodelle im europäischen Städtebau – Kompakte Stadt und Netz-Stadt. In: Becker, H.; Jessen, J.; Sander, R (Hrsg.) Ohne Leitbild? Städtebau in Deutschland und Europa. Stuttgart, 1999, S. 489-504

[Johanson 2001]

Johanson, A.: In: „Auswirkungen der Telearbeit auf das Verkehrsverhalten“. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M 128, Bergisch-Gladbach, 2001

[Jones 1991]

Jones, P.: Assessing Traveller Responses to Urban Road Pricing. Transport Studies Unit, University of Oxford, December, 1991

[Jones 1995]

Jones, P.: Road Pricing: The Public Viewpoint. In: Börje Johansson and Lars-Göran Mattson (eds), Road Pricing: Theory, Empirical Assessment and Policy. Kluwer, Boston and Dordrecht, 1995, p. 159-180

[Kagermeier 1997]

Kagermeier, A.: Siedlungsstruktur und Verkehrsmobilität. Eine empirische Untersuchung am Beispiel von Südbayern. Schriftenreihe: Verkehr spezial, Band 3, Dortmund, 1997

[Kaku 2000]

Kaku, M.: Zukunftsvisionen. Knaur, München, 2000

[Kaltschmitt & Wiese 1993]

Kaltschmitt, M. & Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energieträger in Deutschland. Berlin, Heidelberg 1993

[Kaltschmitt 2001]

Kaltschmitt, M.: Regenerative Energien. Brennstoff-Wärme-Kraft BWK Bd 53 (2001) Nr. 4

[Karl 2000]

Karl, G.: Human Settlements Statistics, Chapter 21. United Nations Centre for Human Settlements (UNCHS), Nairobi 2000

[Keuchel 1992]

Keuchel, S.: Road Pricing: (keine) Nutzung über Gebühr. Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Münster, IVM, Münster, 1992

[Kill & Sturm 1999]

Kill, H. H. & Sturm, P.: Mobilität in der Region – Einführende Thesen. In: Die Region ist die Stadt. Bericht zur gemeinsamen Jahrestagung von ARL und DASL 1998, Hannover, 1999

[Kleemann et al. 2001]

Kleemann, M.; Heckler, R.; Kolb, G.; Hille, M.: Die Entwicklung des Wärmemarktes für den Gebäudesektor bis 2050. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 23, 2001

[Klemmer 2000]

Klemmer, P.: Eine Vision oder ein fiktiver Rückblick, Ruhrpolis 2020. Projector Heft 01/2000, S. 52 - 55

[Kluttig et al. 1995]

Kluttig, H. et al.: Zukunftsenergien Aachen-Heerlen – Abschlussbericht. Abschlussbericht im Auftrag der Europäischen Union und des Landes Nordrhein-Westfalen, 1995

[Kluttig et al. 2001a]

Kluttig, H.; Erhorn, H.; Reiß, J.: Demonstrationsvorhaben 3-Liter-Häuser in Celle. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, IBP-Mitteilung 394, 2001

[Kluttig & Erhorn 2001b]

Kluttig, H. & Erhorn, H.: Vom energiefressenden Altbau zum Niedrigenergiehaus - Beispiel Stuttgarter Mehrfamilienhaus. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, IBP-Mitteilung 393, 2001

[Knissel 1999]

Knissel, J.: Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1999

[Köhl 1995]

Köhl, W.: Verkehrsvermeidung durch Stadt- und Landesplanung? In: Tagungsbericht zum FGSV-Kolloquium 'Verkehrsvermeidung - Verkehrsverlagerung - Verkehrslenkung', am 5. und 6. Mai 1994 in Bonn, Köln, 1995

[Krawinkel 1987]

Krawinkel, H. (in Zusammenarbeit mit der dänischen Energiebehörde, Kopenhagen): Das dänische Energieplanungssystem und seine Übertragbarkeit auf bundesrepublikanische Verhältnisse. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1987

[Kreibich 1994]

Kreibich, R.: Ökologische Produktgestaltung und Kreislaufwirtschaft. In: UWF Heft 5/1994

[Kübler & Fisch 1998]

Kübler, R. & Fisch, N.: Wärmespeicher. Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.), BINE-Informationspaket, Köln, 1998

[Kühn 2001]

Kühn, M.: Regionalisierung der Städte. Raumforschung und Raumordnung 5 - 6, S. 402 - 411

[Kühr & Széll 1997]

Kühr, R. & Széll, G. (Hrsg.): "Zero Emission" - Eine Chance für Europa?. Eine Dokumentation des 1. Europäischen "Zero Emission" Kongresses: 23./24. Oktober 1997 in Osnabrück Universität Osnabrück, ZERI Deutschland 1997

[Kutter 2001]

Kutter, E.: Räumliches Verhalten – Verkehrsverhalten, Sachstand und Defizite der Verkehrsforschung – Weiterentwicklung einer Verkehrsentstehungstheorie, in: Schriftenreihe ‚Stadt – Region – Land‘ (Heft 71 (Tagungsband AMUS 2001), Hrsg: Institut für Städtebau der RWTH Aachen, Aachen, 2001

[Kutter & Stein 1998]

Kutter, E. & Stein, A.: Minderung des Regionalverkehrs : Chancen von Städtebau und Raumordnung in Ostdeutschland. Forschungsberichte des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung ; 87, Bonn 1998

[Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU)]

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU): „Lärmbekämpfung – Ruheschutz“, www.lfu.baden-wuerttemberg.de

[Landesinitiative 2002]

Landesinitiative Zukunftsenergien NRW: Angaben im Internet, u. a. Broschüren über drei realisierte Projekte 1: Altbausanierung Köln-Bilderstöckchen, 2: Gelsenkirchen, 3: Steinfurt-Borghorst Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, Düsseldorf, im Internet unter www.50-Solarsiedlungen.de, April 2002

[Langniß et al. 1998]

Langniß, O.; Nitsch, J.; Luther, J.; Wiemken, E.: Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung - Ein solares Langfristszenario für Deutschland. Forschungsverbund Sonnenenergie, Köln (Hrsg.), Thierbach, Mülheim an der Ruhr, April 1998

[LBS 1994]

Asdonk, G.; Fingerling, A.; Schulz, H.: Altbau und Niedrigenergie-Technik. Landesbausparkasse Hessen-Thüringen, Frankfurt a. M., 1994

[Ledjeff 1995]

Ledjeff, K. (Hrsg.): Brennstoffzellen: Entwicklung, Technologie, Anwendung. C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 1995

[Letmathe 1999]

Letmathe, P.: Prozeßorientierung mit Hilfe der umweltbezogenen Kostenrechnung. In: UWF 4/99, S. 112 - 117

[Liesegang 1993]

Liesegang, D. G.: Reduktionswirtschaft als Komplement zur Produktionswirtschaft - eine globale Notwendigkeit. In: Globalisierung der Wirtschaft, Haller, M. et al. (Hrsg.), Bern, 1993, S. 383 - 395

[Liesegang et al. 2000]

Liesegang, D. G.; Sterr, T.; Ott, T. (Hrsg.): Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke. Reihe: Betriebswirtschaftlich-ökologische Arbeiten, Band 4, IUWA Heidelberg e. V., Heidelberg 2000

[Loga & Imkeller-Benjes 1997]

Loga, T. & Imkeller-Benjes, U.: Energie-Pass Heizung/Warmwasser. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1997

[Loga et al. 2001]

Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R.: Guter Ansatz- Schwache Standards: die neue Energieeinsparverordnung. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2001

[Lovelock 1991]

Lovelock, J. E.: The Practical Science of Planetarey Medicine. London, 1991

- [LTI 1998]
LTI Research Group: Long-Term Integration of Renewable Sources into the European Energy System. Physica, Heidelberg, 1998
- [Luk & Chung 1997]
Luk, E. & Chung, E.: Induced demand and road investment an initial appraisal. Australian Road Research Board, Report 299, Melbourne, 1997
- [Luther et al. 2001]
Luther, J.; Wittwer, V.; Voss, K.: Energie für Gebäude- solare Technologien und Konzepte. Physikalische Blätter 57 (2001) Nr. 11
- [Lutz et al. 1993]
Lutz, A.; Schulz, M. E.; Fisch, N; Kübler, R.: Integriertes Wärmeversorgungskonzept für ein geplantes Wohngebiet in Freital-Deuben (Freistaat Sachsen) – Kostenoptimale Maßnahmenkombination zur Halbierung des fossilen Brennstoffbedarfs für Heizung und Warmwasser. Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart, Stuttgart, 1993
- [Lux & Herrmann 1995]
Lux, R. & Herrmann, D.: Gas-Wärmepumpenanlagen in Nahwärmenetzen. Teilbericht Nr. 4-09 des BMFT-Forschungsprojektes IKARUS, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieverwendung der Universität Stuttgart, Stuttgart, 1995
- [Machatschke 2001]
Machatschke, M.: „China Kracher“, Bericht über den Transrapid in China. Managermagazin, 2001
- [MAIT o.J.]
MAIT international e. V., Laenggassstr. 54, CH-3012 Bern (Schweiz), <http://212.8.217.20/maiting.org>
- [Maurer 1999]
Maurer, J.: Strategische und organisatorische Anforderungen zur Konkretisierung und Umsetzung von Leitbildern. In: Becker, H.; Jessen, J.; Sander, R. (Hrsg.): Ohne Leitbild? Städtebau in Deutschland und Europa. Stuttgart, 1999, S. 71-80
- [Meadows et al. 1972]
Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J.: Die Grenzen des Wachstums. Stuttgart, 1972
- MOBINET
Leitprojekte Mobilität im Ballungsraum, www.mobiball.de
- [Mofatt et al. 2001]
Mofatt, I.; Hanley, N.; Allen, S.; Fundingsland, M.: Sustainable Prosperity: Measuring Resource Efficiency. Sustainable Development Unit, Department of the Environment, Transport and Regions, UK,
- [Mohr 1995]
Mohr, M.: Ein möglicher Beitrag erneuerbarer Energieträger zur kommunalen Energieversorgung in Nordrhein-Westfalen. Dissertation an der Ruhr-Universität, Fakultät für Maschinenbau, 1995
- [Morawietz 2000]
Morawietz, E.: AI Home Automobil Industrie, Vogel Auto Medien, 2000
- [Morosini et al. 2001]
Morosini, M.; Schneider, C.; Kochte-Clemens, B.; Losert, C.; Waclawski, N.; Ballschmiter, K.: Umweltindikatoren. Gegenüberstellung, Bewertung und Auswahl, Bd. 2. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden Württemberg, Arbeitsbericht Nr. 185, August 2001, Stuttgart

[Motzkus 2002]

Motzkus, A.: Dezentrale Konzentration – Leitbild für eine Region der kurzen Wege? Schriftenreihe: Bonner Geographische Abhandlungen, Band 107, Bonn, 2002

[Müller 2002]

Müller, K.: Mobile Vernunft: Abgastechnik, www.home.fh-karlsruhe.de

[Müller & Schlüter 2002]

Müller, M. & Schlüter, C.: Umbau des Studentenwohnheims BURSE von 1977. In: Steinmann, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz bei Basel, 2002, S. 159-167

[Müller & Sturm 2002]

Müller, P.; Sturm, P.: „Schnelle Orte“ – „Langsame Orte“, Vielfältige Geschwindigkeitsstrukturen als Alternative zur räumlichen Nutzungsmischung? DBZ, Heft 7,8/1997, Gütersloh, 1997

[Müller et al. 1998]

Müller, D.; Perrochet, S.; Faist, M.; Jaeger, J.: Ernähren und Erholen mit knapper werdender Landschaft in: Baccini, P./Oswald, F. (Hrsg.): Netzstadt. Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme, Zürich, 1998, S. 28-58,

[Murcott 1997]

Murcott, S.: Some Conceptual Frameworks. Paper presented on the Sustainability Indicators. Symposium in Seattle 1997, <http://www.sustainableliving.org/appen-a.htm>

[NANO]

„Rohrpostsystem gegen Verkehrskollaps“, Fernsehsendung, 3Sat, 06.10.2001

[Nast 1997]

Nast, M.: Cost of Large Collector Fields. International Journal of Solar Energy, 1997, Vol. 18 pp. 289 – 301

[Nast & Nitsch 1994]

Nast, M. & Nitsch, J.: Solare Wärmeversorgung einschließlich Großwärmespeicher in Baden-Württemberg. Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, STB-Bericht Nr. 7, Januar 1994

Nationalfondsprogramm „Verkehr und Umwelt“ (NPF 41), Ecole Polytechnique Federale de Lausanne ESST/EPFL, Schweiz

[Naunin 2001]

Naunin, D.: Bericht zum 18. International Electric Vehicle Symposium (EVS 18), „Emissionsarme Elektrofahrzeuge“, in: Berlinews (www.berlinews.de), Berlin, 2001

[Newman & Kenworthy 1989]

Newman, P. & Kenworthy, J.: Cities and automobile dependence. An international sourcebook. Aldershot, 1989

[Newman & Kenworthy 2000]

Newman, P. & Kenworthy, J.: Sustainable Urban Form: The Big Picture. In: Williams et al. Achieving Sustainable Urban Form, Spon, London New York 2000, p. 109 - 120

[Newton 1997]

Newton, P. W. (ed.): Re-shaping Cities for a More Sustainable Future - Exploring the Link between Urban Form, Air Quality, Energy and Greenhouse Gas Emissions. Australian Housing and Urban Research Institute, Research Monograph 6, Queensland

[Nitsch et al. 1997]

Nitsch, J.; Staiß, F.; Trieb, F.: Perspektiven der solaren Stromerzeugung. In: Hake, J.-F. & Schultze, K.: Ausbau erneuerbarer Energiequellen in der Stromwirtschaft – Ein Beitrag zum Klimaschutz. Jülich, 1997

[Nordhaus & Tobin 1972]

Nordhaus, W. D. & Tobin, J.: Is Growth Obsolete? In: National Bureau of Economic Research, Economic Growth, 50th Anniversary Colloquium V, General Series No 96, New York, 1972

[Odum 1996]

Odum, H.: Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision-Making. New York, 1996

[OECD 1991]

OECD: Environmental Indicators. A Preliminary Set. Paris, 1991

[OECD 1996]

Parham, S.; Konvitz, J.: Innovative Policies for Sustainable Development. Final Report: Project on the Ecological City. OECD, Paris

[Oesen 2002]

von Oesen, M.: Mehrfamilienhaus in Hannover mit vertretbaren Mehrkosten saniert. In: Steinmann, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz bei Basel, 2002, S. 141-146

[Otte 2002]

Otte, F.: Umbau eines Mehrfamilienhauses von 2010 zum Passivhaus. In: Steinmann, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz bei Basel, 2002, S. 153-158

[Pauleit & Duhme 1999]

Pauleit, S. & Duhme, F.: Stadtstrukturtypen. Bestimmung der Umweltleistungen von Stadtstrukturtypen für die Stadtplanung. RaumPlanung 84, S. 33 - 44

[Pauli 1999]

Pauli, G. A.: UpCycling: Wirtschaften nach dem Vorbild für mehr Natur für mehr Arbeitsplätze und eine saubere Umwelt. München 1999

[PH-Tagung 2002]

Steinmann, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung in Basel 1. Auflage, Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz bei Basel, 2002

[Praschl & Risser 1994]

Praschl, M. & Risser, R.: Gute Vorsätze und Realität. Die Diskrepanz zwischen Wissen und Handeln am Beispiel der Verkehrsmittelwahl. In A. Flade (Hrsg.), Mobilitätsverhalten: Bedingungen und Veränderungsmöglichkeiten aus umweltpsychologischer Sicht. Beltz, Weinheim, 1994, S.209-224

[Prognos/IER/WI 2002]

Prognos AG; Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Wuppertal Institut: Szenarienerstellung Bericht für die Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" des Deutschen Bundestages, Juni 2002

Projekt Alternative Antriebstechnik, Regens-Wagner-Schule Neuburg, Beiträge von Sisa, P; Thalmeier, J., www.kfztech.de

[PT MVBW 2000]

Projektträger Mobilität und Verkehr, Bauen und Wohnen (PT MVBW) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (bmb+f), Projekt: „Automatisierung und Flexibilisierung im ÖV“ (2000), www.tuvpt.de/autoflex.htm

[PT MVBW 2001]

Projektträger Mobilität und Verkehr, Bauen und Wohnen (PT MVBW) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (bmb+f), Projektnetzwerke „Minimalemission“ (2001), www.minimalemission.de

[Quaschnig 2000]

Quaschnig, V.: Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2000

[Rapport & Friend 1979]

Rapport, D. J. & Friend, A. M.: Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress-Response Approach. Statistics Canada 11 - 510, Ottawa, 1979

[Rapp & Müller 1998]

Rapp, H. & Müller, U.: Fernwärme in Deutschland. Jahrbuch Euroheat & Power - Fernwärme international 1998

[Räuber 1990]

Räuber, A.: Photovoltaische Energieerzeugung. In: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm "Energie und Klima", 10 Bände. Economica Verlag, Bonn, 1990, Bd. 3, S. 7 -40

[Ravetz 2000]

Ravetz, J.: City Region 2020. Integrated Planning for a Sustainable Environment. Earthscan, London 2000

[Rietdorf 2001]

Rietdorf, W. (Hrsg.): Auslaufmodell europäische Stadt. Berlin, 2001

[Rubik 2000]

Rubik, F.: Integrierte Produktpolitik: Stand, ausgewählte Aktivitäten und Perspektiven. Diskussionspapier des IÖW 49/00, Berlin 2000

[Rubik 2000]

Rubik, F.: Auf halber Wegstrecke. Integrierte Produktpolitik in Europa – Initiativen und Herausforderungen Ökologisches Wirtschaften 6/2000, S. 10 - 12.

[Schade & Schlag 2001]

Schade, J. & Schlag, B.: Akzeptierbarkeit von Nachfragemanagement- und Preismaßnahmen. 2001

[Scheer 1999]

H. Scheer: Solare Weltwirtschaft. Verlag Antje Kunstmann GmbH, 3. Auflage, München, 1999

[Schlag 1997]

Schlag, B.: Fortschritte der Verkehrspsychologie. Kongress für Verkehrspsychologie des Berufsverbandes Deutscher Psychologinnen und Psychologen 36 in Dresden, 1996. Dt. Psychologen-Verl., Bonn, 1997

[Schlag 1997]

Schlag, B. & Teubel, U.: Public acceptability of transport pricing. 1997

[Schmidt & Littig 1994]

Schmidt, L. & Littig, B.: Psychologische Beiträge für ein neues Mobilitätsverständnis-Umweltlernen am Beispiel der Verkehrsmittelwahl. In: A. Flade (Hrsg.) Mobilitätsverhalten. Bedingungen und Veränderungsmöglichkeiten aus umweltpsychologischer Sicht. Beltz, Weinheim, 1994

[Schnieders 2002]

Schnieders, J.: CEPHEUS-Messergebnisse. Daten aus über 100 Passivhaus-Wohneinheiten. In: In: Steinmann, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttentz bei Basel, 2002, S. 107-115

[Schramm 1997]

Schramm, E.: Neue Kreislaufmodelle für das kommunale Wassermanagement. In: Sander, R. (Hrsg.): Wassermanagement in großstädtischen Regionen. Seminar-Dokumentation „Forum Stadtökologie“ 4, Berlin, 1997, S. 121 - 137

[Schreckenbergs 1999]

Schreckenbergs, W.: Siedlungsstrukturen der kurzen Wege. Ansätze für eine nachhaltige Stadt-, Regional- und Verkehrsentwicklung. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Werkstatt: Praxis Nr. 1/1999

[Schüle et al. 1997]

Schüle, R.; Ufheil, M.; Neumann, C.: Thermische Solaranlagen – Marktübersicht. Öko-Institut e. V. (Hrsg.) Ökobuch, Staufen bei Freiburg, 1997

[Schulz et al. 1994]

Schulz, W. et al.: Ermittlung und Verifizierung der Potentiale und Kosten der Treibhausgasminderung durch Kraft-Wärme-Kopplung zur Fern- und Nahwärmeversorgung (ABL und NBL) im Bereich Siedlungs-KWK. Studie im Auftrag der Bundestags-Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre", Bremer Energie-Institut, Bremen, September 1994

[Seidel 2000]

Seidel, M.: Sendung „ServiceZeit Verkehr“, WDR 11.07.2000, www.wdr.de/tv/service/verkehr/archiv

[Siebert 1982]

Siebert, H. (1982): Umweltallokation im Raum. Frankfurt am Main.

[Sieverts 1997]

Sieverts, T.: Zwischenstadt. Zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Bauwelt Fundamente 118, Braunschweig, Wiesbaden 1997

[Sieverts 1998]

Sieverts, T.: Die Stadt in der zweiten Moderne, eine europäische Perspektive. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 7/8, s. 455 - 473, 1998

[Sinz & Blach 1994]

Sinz, M. & Blach, A.: Pendeldistanzen als Kriterium siedlungsstruktureller Effizienz, in: Dezentrale Konzentration - Informationen zur Raumentwicklung Heft 7,8/1994, Hrsg.: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn, 1994

[Soeder 1996]

Soeder, J. C.: Perspektiven der kommunalen Abwasserreinigung für die Wasserversorgung urbaner Ballungsräume in: Wasserwirtschaft 86: 138 - 141, 1996

[Solarbrief 2002]

Solarenergie-Förderverein e. V., Aachen: Warum Ökostromhandel die Energiewende gefährdet. Solarbrief 1/02 (Vereinszeitschrift und Mitteilungsblatt des Solarenergie-Fördervereins)

[Solarcity 2002]

IEA SHC Task 30 Solar City Angaben zum IEA-Projekt "Solar City" im Internet unter www.solarcity.org, 2002

[Solarsiedlung 2002]

Plusenergiehaus-Bauweise im Internet unter www.solarsiedlung.de

[Sprenger et al. 2001]

Sprenger, R.-U. et al.: Standortbedingungen Berlins für umwelttechnische Produktionen und Dienstleistungen für eine nachhaltige Entwicklung der Wirtschaft Schriftenreihe des IÖW 155/01, Berlin 2001

[Srinivas 1999]

Srinivas, H.: Urban Environmental Management: A Partnership Continuum. In: Inogushi, Takashi, Newman, Edward & Paoletto, Glen (eds.), Cities and the Environment, United Nations Press, Tokyo New York Paris, 1999, p. 30 - 46

[SRU 1994]

Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 1994 Bundestagsdrucksache 12/6995, 1994

[Stahel 1996]

Stahel, W.: Allgemeine Kreislauf- und Rückstandswirtschaft. Intelligente Produktionsweisen und Nutzungskonzepte Karlsruhe, 1996

[Stahl et al. 1997]

Stahl, W. et al.: Das energieautarke Solarhaus Verlag C. F. Müller, Heidelberg, 1997

[Stahlmann & Clausen 2000]

Stahlmann, V. & Clausen, J.: Umweltleistung von Unternehmen. Von der Öko-Effizienz zur Öko-Effektivität Gabler, Wiesbaden 2000

[Statistik 2001]

Statistisches Bundesamt: Angaben im Internet (www.statistik-bund.de), März 2001

[Stead et al. 2000]

Stead, D.; Williams, J.; Titheridge, H.: Land Use, Transport and People: Identifying the Connections. In: Williams et al. Achieving Sustainable Urban Form, Spon, London New York 2000, p. 174 - 186

[Steger 2000]

Steger, U.: Umweltmanagementsysteme – Erfahrungen und Perspektiven. ZfU 4/2000, S. 467 - 506.

[Steinmüller 2001]

Steinmüller, B.: Klimaschutz im Wohnbereich- Wo bestehen die größten Energieeinsparpotentiale im Wohnungsbestand? Tagungsband marktwirtschaftliche Strategien für den Klimaschutz, Berlin, November 2000, erschienen in: KfW-Research, Mittelstands- und Strukturpolitik, Frankfurt, Juli 2001

[Sterr 1998]

Sterr, T.: Aufbau eines zwischenbetrieblichen Stoffverwertungsnetzwerks im Heidelberger Industriegebiet Pfaffengrund. In: Betriebswirtschaftlich-ökologische Arbeiten, Band 1, IUWA Heidelberg e. V., Heidelberg 1998

[Sterr 2000]

Sterr, T.: Gestaltungsaspekte eines informations- und kommunikationstechnischen Instrumentariums zur Förderung des "regionalen Stoffstrommanagements Rhein-Neckar". In: Betriebswirtschaftlich-ökologische Arbeiten, Band 4, IUWA Heidelberg e. V., Heidelberg 2001, S. 49 - 77

[Sterr 2002]

Sterr, T.: Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalen Kontext. Erscheint 2002

[Stransfeld 1999]

Stransfeld, R.: Regionale Ökonomie als räumlicher Orientierungsansatz für integrierte Nachhaltigkeit - Eine Bestandsaufnahme. Materialienband 2.A des Abschlußberichts zum HGF-Projekt: Untersuchung zu einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung: Bestandsaufnahmen, Problemanalyse, Weiterentwicklung

[Streich 2000]

Streich, B.: Gesellschaftliche Trends und Entwicklung von Stadtstrukturen. vhw FW Heft 9, 2000, S. 322 - 327

[Studprog 1990]

Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm "Energie und Klima". Economica Verlag, Bonn, 1990, 10 Bände

[Sturm 1997]

Sturm, P.: Überlegungen zu einer künftigen Verkehrsstruktur, in: Die Rolle der Stadt im 21. Jahrhundert, Bericht der Deutschen Akademie für Städtebau und Landesplanung, Berlin, 1997

[Sturm 2000]

Sturm, P.: „Integrierte Raum- und Verkehrsplanung am Beispiel der Region Frankfurt/RheinMain“, in: Zukunftsfähige Mobilität in Stadt und Region, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2000

[Suding et al. 1990]

Suding, P. H. et al.: Gruppenspezifische Hemmnisse und Maßnahmen rationeller Energienutzung. In: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm "Energie und Klima" 10 Bände. Economica Verlag, Bonn, 1990, Bd. 2, S. 821-1124

[Sukopp & Wittig 1998]

Sukopp, H.; Wittig, R.: Stadtökologie. 2. Aufl. Stuttgart 1998

[Tetzlaff 1999]

Tetzlaff, K.-H.: Das Treibhausproblem lösen und die Energiekosten senken - das geht. Shaker, Aachen 1999

[Teubel 1997]

Teubel, U.: Wirkung von Straßenbenutzungsabgaben auf die Wohlfahrt von Berufspendlern. Technische Universität Dresden, 1997

[Toben 2001]

Toben, H.: Fragen und Antworten zum Projekt: Das Bioenergiedorf. Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung der Universität Göttingen, März 2001

[Trieb et al. 2001]

Trieb, F.; Nitsch, J.; Knies, G.: Strom und Trinkwasser aus solaren Dampfkraftwerken. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 51. Jg. (2001), Heft 6

[UBA 1997]

Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt. Erich Schmidt, Berlin, 1997

[UBA 1999]

Umweltbundesamt: „Brennstoffzelle – Chance für die Umwelt?“ Technische Optionen zur Verminderung der Verkehrsbelastungen (1999), www.umweltbundesamt.de[U1]

[UBA 2001]

Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt. Erich Schmidt, Berlin, 2001

[UBA 2001a]

Umweltbundesamt: „Auto und /oder Umwelt?“, Berlin, 2001

[UBA 2001b]

Umweltbundesamt (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten. Erich Schmidt, Berlin, 2001

[UNCHS 1996]

United Nations Centre for Human Settlements (UNCHS): An Urbanizing World. Global Report on Human Settlements 1996. New York Oxford 1996

[VDI 4600]

VDI-Richtlinie 4600: Kumulierter Energieaufwand: Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden Verein Deutscher Ingenieure, Juni 1997

[Vernadsky 1926]

Vernadsky, V. I.: The Biosphere. Rev. and annot. by Mark A. S. McMenamin. New York, 1926/1998

[Viriden 2002]

Viriden, K.: Passivhaus mit denkmalgeschützter Fassade. In: Steinmann, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz bei Basel, 2002, S. 147-151

[Vitousek et al. 1986]

Vitousek, P. M.; Ehrlich, P. R.; Ehrlich, A. H.; Matson, P. H.: Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. In: *BioScience* 36 (6), 368 - 373.

[Voss 2000]

Voss, K.: Solares Bauen - Demonstrationsprojekte und Technologieentwicklung für den Wohnungsbau Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, 2000

[Wackernagel & Rees 1996]

Wackernagel, M. & Rees, W.: Our ecological footprint. Reducing human impact on the earth. The New Catalyst Bioregional Series 9, New Society Publishers, Gabriola Island, Canada, 1996

[Wackernagel 1998]

Wackernagel, M.: The Ecological Footprint of Santiago de Chile. *Local Environment* 3 (1), p. 7 - 25

[Wagner 1997]

Wagner, H.-J.: Energie und Umweltbelastung. Springer, Berlin et al. 1997

[WBGU 1996]

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Herausforderung für die Wissenschaft - Welt im Wandel. Jahresgutachten 1996, Berlin u. Heidelberg

[Weberhaus 2001]

Angaben der Firma Weberhaus im Internet zum Hauskonzept „Övolution“, www.weberhaus.de, Dezember 2001

[Wehowsky et al. 1994]

Wehowsky, P. et al.: Strom- und wärmeerzeugende Anlagen auf fossiler und nuklearer Grundlage. Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Technologiefolgenforschung (Hrsg.), Jülich, Dezember 1994

[Weizsäcker et al. 1995]

v. Weizsäcker, E. U.; Lovins, A. B.; Lovins, B. H.: Faktor Vier: Doppelter Wohlstand - halbiertes Energieverbrauch. Droemersch Verlag, München, 1995

[Wemhoff 2002]

Wemhoff, H.: Marktorientierte Konzeption einer Reduktionswirtschaft in einer Kreislaufwirtschaft. Erscheint 2002

[Werner 2000]

Werner, P.: Stadtquartiere als konkrete Räume nachhaltiger Entwicklung aktivieren. In: Kronsberg-Umwelt-Kommunikationagentur (Hrsg.), Stadtplanung auf neuen Wegen, Hannover 2000, S. 50 - 53

[Wietschel 2000]

Wietschel, M.: Produktion und Energie. Planung und Steuerung industrieller Energie- und Stoffströme. Frankfurt a.M. et al. 2000

[Williams et al. 2000]

Williams, K.; Burton, E.; Jenks, M.: Achieving Sustainable Urban Form E & F N Spon, London, 2000

[Winkens 1994]

Winkens, H.-P.: Fernwärmespeicherung, -transport und -verteilung. Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Technologiefolgenforschung (Hrsg.), Dezember 1994

[Winter 1995]

Winter, C.-J.: Die Energie der Zukunft heisst Sonnenenergie Droemersch Verlag, Th. Knauer Nachf., München, 1995

[World Bank 1995]

World Bank: Monitoring environmental progress : A report on work in progress. Washington, D. C., 1995

[World Bank 2000]

World Bank: Fuel for Thought. An Environmental Strategy for the Energy Sector. The World Bank, Washington D. C., 2000

[World Business Council for Sustainable Development 1992]:

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): Changing course: a global business perspective on development and the environment. Cambridge, Mass., 1992

[Xu & Madden 1989]

Xu, S. & Madden, M.: Urban ecosystem: a holistic approach to urban analysis and planning. Environment and Planning B: Planning and Design 16, 187 - 200, 1989

[ZfK 1999]

40 Jahre Fernwärme-Hochburg. ZfK (Zeitung für kommunale Wirtschaft), Juni 1997

[Zinko 1993]

Zinko, H.: The Solar CO₂-Reduction Program: A Potential Scenario for Germany Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.), Kommissionsdrucksache 12/20-g, 18. Oktober 1993