

**D. Möst
W. Fichtner
A. Grunwald
(Hrsg.)**



Workshop

Energie- systemanalyse



**Karlsruhe, 27. November 2008
am KIT Zentrum Energie**



Energiesystemanalyse

Tagungsband des Workshops „Energiesystemanalyse“
vom 27. November 2008 am KIT Zentrum Energie, Karlsruhe

D. Möst
W. Fichtner
A. Grunwald
(Hrsg.)



universitätsverlag karlsruhe

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2009
Print on Demand

ISBN: 978-3-86644-389-1

Inhaltsverzeichnis

Energiesystemanalyse

<i>Armin Grunwald, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Energiesystemanalyse im KIT-Zentrum Energie	1
<i>Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Einführung zur Energiesystemanalyse	11
<i>Armin Grunwald</i> Energiezukünfte vergleichend bewerten – aber wie?	33
<i>Christian Dieckhoff</i> Modelle und Szenarien – Die wissenschaftliche Praxis der Energiesystemanalyse	49
<i>Dogan Keles, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2050 – Ein Überblick über ausgewählte Szenarien	61
<i>Tobias Jäger, Susanne Schmidt, Ute Karl</i> Ein System Dynamics Modell des deutschen Strommarkts – Modellentwicklung und Anwendung in der Unternehmenspraxis	79
<i>Jürgen Kopfmüller, Volker Stelzer</i> Energieszenarien für Megacities – Konzept und erste Ergebnisse des HGF-Verbundprojekts „Risk Habitat Megacity“	99
<i>Heidi Gerbracht, Robert Kunze, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Optimierung urbaner Energiesysteme	117
<i>Massimo Genoese, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Agentenbasierte Simulation zur Messung von Marktmacht – Eine Analyse für den deutschen Strommarkt	139

Enrique Kremers, Pablo Viejo

Untersuchung des Einsatzes von agentenbasierten Modellen zur Simulation
dezentraler Energiesysteme am Beispiel von Guadeloupe..... 169

Christoph Nolden, Dominik Möst, Wolf Fichtner

Zur Analyse der Auswirkungen brennstoffabhängiger Benchmarks auf Strom-
gestehungskosten und Investitionsentscheidungen in der Elektrizitätswirtschaft.... 183

Anne Held, Heike Krause, Mario Ragwitz

Kostenpotenzialkurven für Onshore-Windstromerzeugung in der EU basierend
auf einem geografischen Informationssystem..... 195

Gunnar Kappler, Stefan Kälber, Ludwig Leible

Stroh und Waldrestholz – Ergebnisse einer Standortanalyse für das bioliq®-
Konzept..... 211

Witold-Roger Poganietz

Consequential LCA – eine notwendige Weiterentwicklung des LCA? Eine
Diskussion am Beispiel des lignozellulosebasiertem Bioethanols..... 223

Autorenverzeichnis 241

Energieszenarien für Megacities

Konzept und erste Ergebnisse des HGF-Verbundprojekts „Risk Habitat Megacity“

Jürgen Kopfmüller, Volker Stelzer

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), 76021 Karlsruhe, Deutschland

E-mail: {kopfmueLLer;stelzer}@itas.fzk.de

Telefon: +49(0)7247/-824570/-823474

Kurzfassung

Angesichts ihrer zentralen Rolle in den verschiedenen Prozessen des globalen Wandels erfordert die dynamische Entwicklung vieler städtischer Metropolen dieser Welt mittel- und langfristig tragfähige Strategien, um zum einen deren lebenswichtige Versorgung mit Energie sicher zu stellen und zum anderen die damit verbundenen negativen Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit zu minimieren. In diesem Beitrag wird das Verbundprojekt “Risk Habitat Megacity” der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF) vorgestellt, in dem zunächst für den Anwendungsfall Santiago de Chile die gegenwärtige Situation und mögliche künftige Optionen in Richtung nachhaltiger Entwicklung analysiert werden. Es wird das Konzept der Szenarioanalysen beschrieben, das im Projekt u. a. für den Energiebereich verwendet wird und es werden erste Ergebnisse der Arbeiten skizziert.

Stichworte

Megacities; nachhaltige Entwicklung; Energiesystem; Szenarien.

1 Einleitung

Während 1950 30 % der Weltbevölkerung in Städten lebten, wird sich dieser Anteil nach UN-Schätzungen bis zum Jahr 2030 von derzeit rund 50 % auf über 60 % erhöhen. Dabei wird die Anzahl von Städten mit mehr als 5 bzw. 10 Millionen Einwohnern deutlich zunehmen [1]. In den 20 größten Metropolen leben heute bereits rund 280 Millionen Menschen, mit deutlich steigender Tendenz. In solchen „Megacities“ finden vielfältige und hochkomplexe Urbanisierungsprozesse statt, die sich in ebenso vielfältiger Weise auf

deren Umland, die nationale und auch die internationale Ebene auswirken bzw. durch diese beeinflusst werden.

Ohne Zweifel bieten diese Städte aufgrund ihrer Größe und ihrer Konzentration von Menschen und Kapital große Potenziale für die Verbesserung der menschlichen Lebensbedingungen z.B. durch ökonomischen Fortschritt, Innovationen und eine effizientere Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen. Gleichzeitig bergen sie jedoch auch erhebliche soziale und ökologische Risiken für ihre eigene Funktionsfähigkeit sowie für die globalen, nationalen und regionalen Entwicklungsprozesse. Vor allem in Megastädten in den Entwicklungs- und Schwellenländern sind wachsende Probleme wie die unzureichende Versorgung mit Wasser, Energie, sanitären Einrichtungen und Wohnraum, Verkehrsüberlastung, Armut, Kriminalität sowie Luftverschmutzung oder mangelnde Abfallwirtschaft zu diagnostizieren [2]. In dieser Chancen-Risiken-Ambivalenz kommt diesen Metropolen eine zentrale Bedeutung für die Realisierung einer global nachhaltigen Entwicklung zu.

Wie in allen gesellschaftlichen Entwicklungsprozessen spielt das Energiesystem auch hier eine wesentliche Rolle. Dies gilt sowohl für die Versorgung der Stadt mit für ihre Existenz-, Funktions- und Entwicklungsfähigkeit lebensnotwendigen Energieressourcen bzw. -dienstleistungen als auch für die problematischen Folgen der damit verbundenen Gewinnungs-, Wandlungs-, Nutzungs- und Entsorgungsprozesse. Sie gefährden die natürlichen Lebensgrundlagen, die menschliche Gesundheit sowie die gesellschaftliche Entwicklung infolge Schadstoffemissionen oder Klimaveränderungen. Der Umsetzung von grundlegenden Nachhaltigkeitszielen im Energiebereich wie Ressourcenschonung, Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit, Versorgungssicherheit, Verteilungsgerechtigkeit oder Risikoarmut kommt daher eine erhebliche Bedeutung für die gesamtgesellschaftliche Realisierung des Nachhaltigkeitsleitbilds zu.

2 Das Projekt „Risk Habitat Megacity“

Forschung zu Megacities und zur Rolle des Energiebereichs für ihre Entwicklung stellt somit eine wichtige Voraussetzung dar, um globale, nationale und lokale Entwicklungs- und Wandlungsprozesse angemessen analysieren, verstehen und steuern zu können. Angesichts ihrer Größe und Komplexitäten stellt die Steuerung von Megacities in Richtung nachhaltige Entwicklung eine Herausforderung bislang nicht gekanntem Ausmaßes dar. Um die noch bestehenden Wissens- und Handlungsdefizite (vgl. z. B. [3]) zu beheben, ist in den letzten 15 Jahren ein eigenes Forschungsfeld entstanden, in dem

sich auch das derzeit laufende Verbundprojekt „Risk Habitat Megacity“ (RHM) der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF) bewegt.¹

Die wesentlichen Ziele dieses Projektes bestehen darin, grundlegende Orientierungen für eine nachhaltige Entwicklung in Megastädten Lateinamerikas zu formulieren und die Ursachen und Wirkungen von Risiken hierfür und für ihre Funktionsfähigkeit zu analysieren und zu bewerten. Auf dieser Basis sollen an die jeweiligen Kontexte angepasste Strategien in Richtung mehr Nachhaltigkeit und eines besseren Risikomanagements erarbeitet werden. Das Projekt richtet sich sowohl an die Wissenschaft, indem die Ergebnisse in die entsprechenden Diskurse und in die universitäre Lehre vor Ort eingebracht werden, als auch an politische und gesellschaftliche Entscheidungsträger, denen angemessenes Orientierungswissen zur Verfügung gestellt werden soll.

Die Untersuchungsregion ist Lateinamerika als die Weltregion mit dem höchsten Anteil städtischer Bevölkerung, in der den großen Agglomerationen eine entsprechend herausragende sozioökonomische Bedeutung zukommt [4]. In der ersten, von 2007 bis 2010 dauernden Phase wird eine Pilotstudie für Santiago de Chile durchgeführt, deren Ergebnisse in den gegenwärtig laufenden politischen und gesellschaftlichen Prozess der Diskussion und Erarbeitung einer Nachhaltigkeitsstrategie für die Metropolregion Santiago eingebracht werden sollen. In einer zweiten, noch zu beantragenden Expansionsphase bis 2013 sollen neben dem Abschluss der Arbeiten in Santiago das Forschungskonzept sowie die Projekterfahrungen auf eine oder zwei weitere lateinamerikanische Megacities übertragen werden. Zur Umsetzung der genannten Projektziele hat sich in der ersten Phase ein deutsch-chilenisches Konsortium zusammengefunden, bestehend auf deutscher Seite aus fünf Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft und auf chilenischer Seite aus verschiedenen Universitäten in Santiago de Chile und Valparaiso sowie der United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UN-ECLAC).

Die forschungskonzeptionelle Grundarchitektur des Projekts besteht darin, dass zunächst drei etablierte, hinreichend theoriebasierte Konzepte zu Grunde gelegt werden: (1) mit dem Konzept der Nachhaltigen Entwicklung wird der Zielrahmen in Form von Kriterien und Indikatoren für die Entwicklung der Städte und für die Projektanalysen gesteckt, basierend auf dem integrativen Nachhaltigkeitskonzept der HGF (siehe [5]); (2)

¹ Für nähere Informationen siehe <http://www.risk-habitat-megacity.ufz.de/>

das Risiko-Konzept wird verwendet, um bestehende Problemlagen identifizieren, bewerten, ihre Wechselwirkungen untersuchen und die damit verknüpften Risiken für die Entwicklung der Städte analysieren und für die Entscheidungsträger handhabbar machen zu können; (3) schließlich wird mit dem Governance-Konzept die Handlungsebene in den Blick genommen, mit dem Ziel, angemessene Empfehlungen für Strategien zur Lösung bzw. Minderung von megacity-typischen Problemlagen und zur Realisierung einer nachhaltige(n) Entwicklung zu erarbeiten und ggf. in ihrer Umsetzung wissenschaftlich zu begleiten.

Mit Hilfe dieser drei eng miteinander verknüpften „Querschnittskonzepte“ kann es aus Sicht der Projektgruppe gelingen, die gegenwärtige Situation und künftige Entwicklung von Megacities in ihrer Komplexität und Dynamik zu erfassen und zu analysieren. Dieser Rahmen wird sowohl auf der Ebene des „Gesamtsystems Stadt“ als auch auf sieben megacity-typische Handlungs- und Problemfelder angewendet: Energie, Abfall, Wasser, Verkehr, Luftverschmutzung und Gesundheit, Landnutzungs-Management sowie sozialräumliche Differenzierung. In der sich daraus ergebenden matrixförmigen Projektstruktur (siehe Abb. 1) kommt den Querschnittskonzepten eine in zweifacher Weise zentrale Funktion zu: Zum einen bilden sie den - für ein solches Projekt unerlässlichen - gemeinsamen theoretischen, konzeptionellen und analytischen Rahmen für alle Arbeitsschritte. Zum anderen soll damit die zentrale inhaltliche und forschungsorganisatorische Integrationsleistung im Projekt erbracht werden, indem die Vergleichbarkeit der Analysen und Bewertungen in den Vertiefungsfeldern sowie die Kohärenz der Forschungsergebnisse auf allen Ebenen sichergestellt werden.

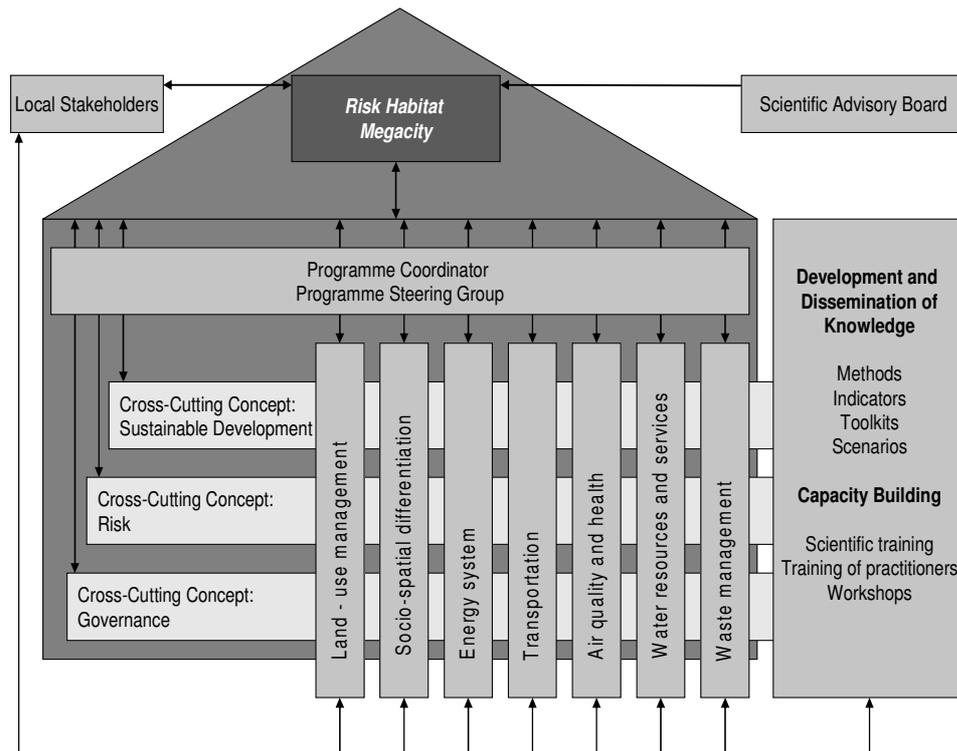


Abb. 1: Organisationsstruktur des Projekts „Risk Habitat Megacity“

3 Szenarien – Funktion und Vorgehensweise im Projekt

Gesellschaftliche Entwicklungsprozesse und die auf sie wirkenden Einflussfaktoren sind durch vielfach zunehmende Komplexitäten etwa in Form von Vielfalt, Vernetzungen, Wechselwirkungen und Veränderungsdynamiken gekennzeichnet. Dies macht die Formulierung zutreffender Prognosen – trotz der Verwendung immer ausgefeilterer Methoden - schwierig bzw. unmöglich. Aus diesem Grund müssen Aktivitäten in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft zur Analyse und Gestaltung der Zukunft meist unter Bedingungen erheblicher Unsicherheit stattfinden. Das Arbeiten mit Szenarien stellt ein seit den 70er Jahren etabliertes Instrumentarium für einen angemessenen Umgang mit diesen Komplexitäten und Unsicherheiten dar. Anhand von Wenn-Dann-Betrachtungen können hiermit alternativ denkbare, plausible und konsistente Optionen für künftige Zustände aufgezeigt und mögliche Wege zur Erreichung von Zielen bzw. zur Reduzierung von Problemen a priori analysiert und bewertet werden. In komplexen Projekten wie dem hier beschriebenen trägt die Verwendung der Szenario-Methode auch zur Integration von Arbeitsgruppen und Ergebnissen bei, indem die Szenarien von den Projektbeteiligten gemeinsam entwickelt und in den einzelnen Arbeitsgruppen die gleichen Szenarien untersucht werden.

Die Erarbeitung von Wenn-Dann-Optionen anstatt Prognosen führt im Prinzip dazu, dass darauf basierende Vorschläge einen höheren Grad der Reflektion, Realitätsnähe und damit Relevanz aufweisen, was mit einer entsprechend höheren Wahrscheinlichkeit gesellschaftlicher Akzeptanz bzw. Akzeptabilität einher gehen dürfte. Dies ist für ein Projekt, das zum Ziel hat, auf wissenschaftlichen Ergebnissen basierendes Orientierungswissen für Entscheidungsträger zur Verfügung zu stellen, von grundlegender Bedeutung.

Bei der Frage möglicher Szenarien-Typen wird in der Literatur vornehmlich zwischen der so genannten „normativen“ und „explorativen“ (deskriptiven) Variante unterschieden [6, 7]. In normativen Szenarien beschreiben die Autoren aus ihrer Sicht erwünschte bzw. unerwünschte zukünftige Zustände und analysieren mögliche Wege zu ihrer Erreichung bzw. Vermeidung (so genanntes „backcasting“). Demgegenüber unterscheiden sich explorative Szenarien – ausgehend von bisherigen Trends – in der Variation verschiedener plausibler Zukunftsoptionen, unabhängig vom Grad ihrer Wünschbarkeit. In RHM wird ein kombinierter Ansatz verwendet, indem zunächst in explorativer Weise alternative Entwicklungspfade und –zustände beschrieben werden, die dann jeweils unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten bewertet und auf die Möglichkeiten einer Verbesserung der Nachhaltigkeitssituation hin analysiert werden.

Neben der Frage des Szenarien-Typs und der Anzahl der alternativen Szenarien sind es vor allem drei Elemente, die für Szenarienanalysen unerlässlich sind und für die klare Festlegungen getroffen werden müssen: Zunächst bedarf es der Auswahl so genannter Deskriptoren. Sie beschreiben wichtige ökonomische, soziale, ökologischen, politische oder auch kulturelle Faktoren bzw. Randbedingungen für gesellschaftliche Entwicklung. Entlang der alternativen künftigen Ausprägungen dieser Deskriptoren werden die Grundlinien der Szenarien beschrieben und gegeneinander abgegrenzt.

Des Weiteren sind die räumliche Betrachtungsebene sowie der zu betrachtende Zeithorizont der Szenarien zu klären. In beiden Fällen wird in RHM ein flexibles Vorgehen gewählt. In diesem Projekt bedeutet das, dass der räumliche Fokus auf der Entwicklung der Stadt bzw. der Metropolregion Santiago liegen wird, je nach Handlungsfeld aber auch die nationale oder die kontinentale Ebene reflektiert werden. Während in den Feldern Landnutzungsmanagement, Verkehr oder sozial-räumliche Differenzierung eher die Stadt- bzw. Stadtteilperspektive im Vordergrund stehen, spielen die nationale oder auch grenzüberschreitende Ebene im Energiebereich (Energieträger-Importe) oder bei der Wasserversorgung (Quellen in den Anden) eine erhebliche Rolle.

Flexibilität in der Festlegung des Zeithorizonts ist zum einen erforderlich, da im Projekt sowohl wissenschaftliche Analysen durchgeführt werden - was häufig eher längerfristige Zeithorizonte erfordert – als auch politische Beratung erfolgen soll, wo kürzerfristigen Zeithorizonten größere Bedeutung zukommt. Zum anderen weisen auch die einzelnen Handlungsfelder teilweise sehr unterschiedliche Zeitperspektiven auf, denen Rechnung zu tragen ist. Im Projekt wurde entschieden, als für alle Themen und Gruppen gemeinsam gültigen Zeithorizont das Jahr 2030 zu verwenden, auf dem Weg dahin Etappenziele zu betrachten und den einzelnen Themenfeldern Spielraum für aus ihrer Sicht zusätzlich sinnvolle Zeithorizonte zu ermöglichen.

Im Projekt erfolgen die Szenarioanalysen im deutsch-chilenischen Projektkonsortium in sieben Arbeitsschritten:

1. Auswahl geeigneter Deskriptoren, die die politischen, ökonomischen oder gesellschaftlichen Rahmenbedingungen fünftiger Entwicklung beschreiben.

2. Erarbeitung explorativer *Rahmenszenarien* auf der globalen Ebene:

Anhand festzulegender Ausprägungen für diese Deskriptoren werden mit den Rahmenszenarien die Rahmenbedingungen auf der globalen Ebene beschrieben, die tendenziell auch die künftige Entwicklung im Untersuchungsraum wesentlich beeinflussen werden.

3. *Übersetzungsschritt 1* in den Untersuchungsraum Santiago/Chile:

Ausgehend von den globalen Zukunftsperspektiven für die Deskriptoren werden für diese alternative Ausprägungen bezogen auf die Situation in Santiago sowie für die Einbettung der Metropolregion in die regionalen, nationalen und ggf. grenzüberschreitenden Kontexte festgelegt. Auf dieser Basis werden die so genannten „Storylines“ für die verschiedenen Szenarien entwickelt.

4. *Übersetzungsschritt 2* in die sieben Anwendungsfelder:

Hier werden die relevanten spezifischen Deskriptoren für die jeweiligen Anwendungsfelder ausgewählt und an Hand alternativer Ausprägungen konkretisiert. Auf dieser Basis werden dann jeweils anwendungsfeld-spezifische „storylines“ für die Szenarien entwickelt.

5. Szenario-Analysen:

In den Anwendungsfeldern werden zunächst für die einzelnen Szenario-Alternativen für ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren Abschätzungen vorgenommen, wie sich deren Werte über die Zeit verändern, um etwa anhand von distance-to-target

Überlegungen die in Zukunft drängendsten Problemfelder zu identifizieren. Für diese werden dann Maßnahmen analysiert, die im Rahmen der jeweiligen Szenario-„Philosophie“ zu einer Problementschärfung beitragen können.

6. Identifikation „robuster“ Maßnahmen

In einem weiteren Schritt geht es darum, letztlich „robuste“ Maßnahmen zu identifizieren, d. h. solche, die für die Untersuchungsregion in allen Szenario-Alternativen wirksam und gesellschaftlich akzeptanzfähig wären.

7. *Integration* der Ergebnisse:

Schließlich müssen zunächst die Partialergebnisse aus den einzelnen Anwendungsfeldern zu einem konsistenten Gesamt-Szenarioergebnis zusammengefügt werden. Die Ergebnisse der Integration dieser Szenarioergebnisse in werden am Ende eine wesentliche Basis darstellen, um angemessene Empfehlungen geben zu können, wie in den nächsten Jahren eine nachhaltigere Entwicklung im Untersuchungsraum erreicht werden könnte.

4 Erste Ergebnisse

Der erste Schritt der Auswahl geeigneter Deskriptoren erfolgte auf der Basis einer systematischen Analyse wesentlicher internationaler Studien anerkannter Institutionen, die sich mit der Entwicklung (und teilweise der Analyse) von Szenarien auf der globalen Ebene beschäftigen, z. B.

Die Studie „Great Transition“ (2002) der Global Scenario Group (www.tellus.org/seib/publications/Great_Transitions.pdf)

Die Shell-Studie “Global Scenarios” (2005) (www.shell.com/home/content/aboutshell-en/our_strategy/shell_global_scenarios/ceo_introduction/scenarios_2025_introduction_ceo_30102006.html)

Die „GEO 4“-Studie von UNEP (2007) (www.grid.unep.ch/activities/assessment/geo/geo4.php)

Der „Special Report on Emission Scenarios“ des IPCC (2007) (www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm)

Die Studie „Exploring Sustainable Development“ des World Business Council for Sustainable Development (1997) (www.wbcsd.org/DocRoot/FFiAJwjBGGNjlawOAipD/exploringscenarios.pdf)

Die Studie “The World in 2020” der OECD (1997)

Die Studien des National Intelligence Council der USA „Global Trends 2025“ (2008) (www.acus.org/files/publication_pdfs/3/Global-Trends-2025.pdf) oder „Mapping the Global Future 2020“ (www.foia.cia.gov/2020/2020.pdf)

Ergebnis der Analyse dieser Studien war zunächst die Auswahl der folgenden acht Deskriptoren-Kategorien: wirtschaftliche Entwicklung, politisch-institutionelle Rahmenbedingungen, demographische Entwicklung, technologische Entwicklung, gesellschaftliche Wertesysteme, Umweltbedingungen und Klimawandel, Bildung sowie Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen. Diese Kategorien wurden jeweils anhand einzelner Deskriptoren detailliert. Beispielsweise sind dies für die Kategorie wirtschaftliche Entwicklung (a) Grad und Struktur der Weltmarktintegration, (b) Branchenstruktur, (c) Arbeits- und Ressourcenproduktivität sowie (d) das Auftreten neuer „Big player“. Für die Kategorie demographische Entwicklung sind es (a) globales Bevölkerungswachstum, (b) Wachstum der Stadtbevölkerung, (c) Altersstruktur und (d) Migrationsströme (Stadt-Land, interregional; Integrationspolitik). Ebenfalls basierend auf der Literatursichtung wurden in einem zweiten Analyseschritt Ausprägungen dieser Deskriptoren für die Variante eines Business-as-usual Szenarios festgelegt.

Dabei wurde unterschieden zwischen Deskriptoren, die als stabile Trends bezeichnet werden können, d. h. die sich in allen Szenario-Varianten gleich verändern (z. B. die Weltbevölkerung oder das Auftreten von China und Indien als „Big Player“) und Deskriptoren, die in den Szenarien in unterschiedlicher Weise verändert werden müssen (z. B. die Entwicklung der Stadtbevölkerung), weil ihre Veränderung nicht vorhersehbar ist.

Für die beiden genannten Deskriptoren Demographie und wirtschaftliche Entwicklung sind in den Tabellen 1 und 2 die festgelegten Ausprägungen für eine business-as-usual Welt aufgeführt (die gefärbten Felder zeigen die „stabilen Trends“ an).

Tab. 1: Deskriptoren für den Bereich Demographie (global)

<i>Driving factors</i>	<i>Assumptions for a „BAU“ scenario (global level)</i>
Global population growth	Increase by 2.5 billion to 9.2 billion in 2050; main growth in the poorer countries; increasing number of countries with shrinking population
Increase of urban population	Nearly the whole increase in urban population
Ageing of population	2045: For the first time more elder people ($\geq 60y$) than children ($< 15y$)
Migration: urban / rural, interregional; integration policy	Increasing international migration, restrictive (selective) migration policy mainly within OECD countries

Tab. 2: Deskriptoren für den Bereich wirtschaftliche Entwicklung (global)

<i>Driving factors</i>	<i>Assumptions for a „BAU“ scenario</i>
Integration into world market: degree of protectionism / openness of international markets	Continuation of previous liberalisation, deregulation and privatisation processes; moderate reduction of protectionism
Structure of economic branches: diversity / specialization	Continuation of diversification of branches; increase of number and importance of global enterprises
Productivity development (labour, resources)	Increase of labour productivity higher than resource productivity
Emergence of new „Big players“ in global markets (BRICS)	Rising role of the BRICS countries in global markets

Ausgehend von diesen globalen Deskriptorenausprägungen und den an ihnen entlang formulierten „Storylines“ der globalen Rahmenszenarien wurde der Übersetzungsschritt in den Untersuchungsraum Santiago und seine Einbettung in die regionale, nationale und grenzüberschreitende Ebene vorgenommen, indem zunächst für die Business-as-usual-Variante Ausprägungen für diese Deskriptoren festgelegt wurden. In Tabelle 3 sind die ersten Ergebnisse zu den Festlegungen für die Deskriptoren im Bereich wirtschaftliche Entwicklung aufgeführt.

Tab. 3: Deskriptoren für den Bereich wirtschaftliche Entwicklung (Santiago)

<i>Driving factors</i>	<i>Assumptions for a „BAU“ scenario for Chile / Santiago (first results)</i>
Integration into world market: degree of protectionism / open-ness of international markets	Ongoing liberalization of trade of goods and services and of investments; reduced reduction of trade barriers; increase in bilateral agreements with other Latin American countries (e.g. Peru)
Structure of economic branches: diversity / specialization	Percentage of copper in total exports: 30-35%; increase in food, agriculture, forestry, fishing
Productivity development (labour, resources)	Ongoing increase of labour productivity due to increasing capital productivity; higher increase of resource productivity due to technologies
Emergence of new „Big players“ in global markets (BRICS)	Regional foreign trade structure: focus on Asia, soft decrease of Latin America, decrease of USA, Europe stable; role of BRICS countries: focus on China, India, Brasil

Entlang der Ausprägungen dieser sowie der anderen Deskriptoren werden für den Fall des „Business-as-usual“ sowie für zwei oder drei alternative Optionen Rahmenszenarien formuliert, innerhalb derer die künftige Entwicklung Santiagos anhand ausgewählter

Nachhaltigkeitsindikatoren abgeschätzt und bewertet und hinsichtlich geeigneter politischer Maßnahmen analysiert wird. Dies geschieht zum einen für die oben erwähnten 7 Anwendungsfelder, zum anderen auf einer von diesen Feldern unabhängigen Ebene, auf der in den Anwendungsfeldern nicht betrachtete nachhaltigkeitsrelevante Themen analysiert werden (z. B. Bildung, Gesundheit, Arbeitsmarkt, soziokulturelle Aspekte usw.).

Die Analysen im Energiebereich

Ausgangspunkt wird hier eine angebots- wie auch nachfrageseitige Beschreibung des Energiesystems anhand ausgewählter Nachhaltigkeitsindikatoren sein. Sie wurden basierend auf den Kriterien des integrativen Nachhaltigkeitskonzepts und seiner Anwendung auf den Energiebereich ausgewählt und beziehen sich auf u. a. die Themen Versorgungssicherheit für Haushalte und Industrie, Leitungsnetzqualität, Infrastrukturinvestitionen, Organisation und Konzentrationsgrad im Energiesektor, Energieträgermix, Energieträgerimportabhängigkeit, Qualität der Energiepolitik, Gesundheits- und Umweltbelastungen usw..

Chile ist seit Beginn der 1990er Jahre wirtschaftlich gesehen einer der weltweit dynamischsten Staaten mit durchschnittlichen Wachstumsraten seit Anfang der 1990er Jahre von rund 6 % [8]. Das Land befindet sich auf einem kontinuierlichen, von der Wirtschaftspolitik systematisch geförderten Pfad vom Rohstoffexporteur (Chile besitzt z. B. 50% der globalen Kupferreserven) zum Industriestaat. Dies ging und geht mit einem entsprechenden Zuwachs des Energieverbrauchs, insbesondere des Strombedarfs einher. Der Primärenergiebedarf Chiles steigt jährlich um 5 %, der Strombedarf sogar um 8 %. Ein Entkopplungsprozess zwischen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch, wie er in manchen Industriestaaten zumindest im Ansatz erkennbar ist, fand bislang nicht statt. Darüber hinaus nahm die Abhängigkeit des Landes von importierten Energieträgern von 18 % im Jahre 1982 auf 70 % in 2006 zu [9, 10]. Dabei ist der gegenwärtige Energieträgermix Chiles vor allem durch zwei Charakteristika gekennzeichnet: durch einen hohen Wasserkraftanteil (rund 50 % an der Stromerzeugung) und durch eine weitgehend regional konzentrierte Abhängigkeit von fossilen Energieträgerimporten (beispielsweise stammen 90 % der Erdgasimporte aus Argentinien).

Die Energiekosten für die chilenischen Haushalte haben sich alleine in den letzten 6 Jahren um 65% erhöht. Derart steigende Energiepreise gefährden zudem die Wettbewerbsfähigkeit der chilenischen Exportindustrie [9]. Zeitweise erhebliche

Versorgungsengpässe und stark erhöhte Energiepreise hatten in Chile bereits in einigen Fällen Produktionsstopps zur Folge. Die Cerámicas Cordillera, eine Tochtergesellschaft der belgischen Etex, schloss im April 2008 ihr Werk zur Herstellung von Keramikwaren. Als Grund nannte die Firmenleitung den Anstieg der Gaspreise um 600%. Dadurch sei das Unternehmen im Vergleich zu Anbietern aus den Nachbarländern nicht mehr konkurrenzfähig. Auch in der metallverarbeitenden Industrie werden die steigenden Energiekosten beklagt, die 2008 wie schon 2007 im Bereich von 7 bis 11% zunehmen sollen. Angesichts sich verringernder Gewinnspannen denken viele Firmen über eine veränderte Geschäftsstrategien nach - beispielsweise solche, die stärker auf Importaktivitäten setzen [10].

Vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren dramatisch unsicherer gewordenen Versorgungslage beim argentinischen Erdgas, der zunehmenden klimatisch bedingten (längere Trockenperioden, Klimawandel) Stromversorgungsengpässe und des prognostizierten Energiebedarfszuwachses in den kommenden Jahren sind die energiepolitischen Perspektiven in Chile primär auf zwei strategische Optionen ausgerichtet: die Diversifizierung der Energiequellen, d. h. Substitution durch alternative Energiequellen (Wind-, Solar-, Gezeitenenergie, Geothermie, Biomasse) und die Verbesserung der Energieeffizienz. Gerade für die Nutzung von Wind-, Solar-, Hydro- und Gezeitenenergie besitzt Chile mit seinen langen Küsten, der Nähe zu den Anden als Wasserressource und seinen klimatischen Bedingungen (sehr hohe Solarstrahlung im Norden, starke und häufige Winde im Süden) sehr gute natürliche Voraussetzungen. Was den Bereich der Energieeffizienz angeht, existieren in Chile – verglichen etwa mit Deutschland - noch ungleich höhere Potenziale in praktisch allen Bereichen, deren Nutzung einen erheblichen Beitrag zu einer nachhaltigeren Gestaltung des Energiesystem leisten könnte.

Mit rund 40 % der Bevölkerung und rund 50 % der Wirtschaftsleistung Chiles kommt der Hauptstadt Santiago de Chile eine entsprechende Bedeutung für den Energiesektor zu. Wesentliche Herausforderungen, die es hier in den nächsten Jahren anzugehen gilt, liegen neben der Begrenzung der Energieverbrauchszuwächse (alleine zwischen 1997 und 2005 stieg der Verbrauch um rund 50 %) vor allem im Umgang mit den Gasversorgungs-Engpässen, im räumlich und sozial sehr ungleich verteilten Zugang zu und Verbrauch von Energie (die pro-Kopf Verbräuche differieren bis Faktor 6 zwischen einzelnen Stadtteilen), in den negativen Folgen der Energiebereitstellung insbesondere auf die Luftqualität in der Stadt oder auch in der angemessenen Erschließung neuer regenerativer Energiequellen. Dabei bietet der Umstand, dass landesweit in den nächsten Jahren

erhebliche Investitionen in Energieerzeugungsinfrastrukturen erforderlich sein werden, die Chance, zumindest auf der Angebotsseite der Realisierung von Nachhaltigkeitszielen näher zu kommen.

Im Projekt wird das Energiesystem anhand von ausgewählten Indikatoren beschrieben und auf seinen gegenwärtigen Nachhaltigkeitszustand hin bewertet. Hiervon ausgehend wird für ausgewählte Indikatoren bzw. für die auf der Basis der hierzu existierenden Datenbasis zu ermittelnden drängendsten Problembereiche die künftige Entwicklung im Rahmen alternativer Szenarien analysiert. Unter den jeweils getroffenen Annahmen werden dann zum einen die in Zukunft drängendsten Problemfelder, zum anderen energiesystem-externe wie -interne Risiko- und Hinderungsfaktoren auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit identifiziert und analysiert sowie geeignete Maßnahmen zu deren Minderung diskutiert, um darauf basierend Vorschläge für künftige Handlungsstrategien zu erarbeiten.

Zur Durchführung der quantitativen Analysen wird eine Energiesystemmodellierung vorgenommen, die – im Unterschied zu bisher vorliegenden Arbeiten – eine Verknüpfung zwischen der nationalen und der lokalen Ebene herstellt. Für die nationale Ebene wird das Modell MESAP (Modulare Energiesystem-Analyse und Planung) verwendet. Für die bislang nur selten vorgenommene und noch mit einer wesentlich schlechteren Datenlage behaftete Energieanalyse auf lokaler Ebene wird basierend auf den Erfahrungen und vorliegenden Arbeiten der chilenischen Projektpartner ein Modellansatz erarbeitet, der es ermöglicht, anhand von bottom-up Daten zu den lokalen Energienachfrage- und –angebotsbedingungen und eines Abgleichs mit nationalen Daten ein angemessenes Bild des lokalen Energiesystems zu erarbeiten. Hier wird im Projekt insoweit Neuland betreten, als bei der Beschreibung des Energiesystems über die vorwiegend technischen Komponenten der Angebotsseite (z. B. Stromerzeugung, Umwandlung, Netzverteilung) hinaus auch eine Beschreibung des Energieverbrauchs unterteilt nach Sektoren (private Haushalte, Industrie und Dienstleistungen, Verkehr) vorgenommen wird, die dann auch eine entsprechende Modellierung erlaubt. Hierzu und insbesondere zu einer Clusterung von Haushalten nach Verbrauchsmustern gibt es bislang – zumindest für Santiago de Chile – keine systematischen Arbeiten. Eine angemessene Betrachtung der Angebots- wie auch der Nachfrageseite des Systems ist jedoch unerlässlich, um Nachhaltigkeitsanalysen bezogen auf die gegenwärtige und die künftige Situation des Energiesystems sowie zu handlungsstrategischen Optionen vornehmen zu können.

In der Logik des „nationalen“ MESAP-Modells wird für die Beschreibung des aktuellen wie auch künftigen Energiesystems, ausgehend von zentralen Deskriptoren wie Bevölkerungsentwicklung, Lebensstile, Wirtschaftsentwicklung usw., die nach Sektoren differenzierte Energienachfrage errechnet und daraus das erforderliche Energieangebot sowie die hierfür erforderlichen Infrastrukturen abgeleitet. Auf dieser Basis werden die anfallenden Kosten und Emissionen ermittelt. Die Beschreibung und Analyse der Angebotsseite erfolgt zugleich auch unter Ressourcengesichtspunkten, d. h. anhand einer Betrachtung der existierenden energetischen Potenziale der verschiedenen Energieträger sowie deren technischer Erschließbarkeiten.

Für die Szenarienanalysen sind zunächst die Rahmenbedingungen gesellschaftlicher Entwicklung in den verschiedenen Szenariooptionen angemessen in den Energiebereich zu übersetzen, d. h. in ihren Auswirkungen auf das Energiesystem – unter Verwendung der beschriebenen Modelllogik – zu beschreiben (siehe Abb. 2). Hier geht es darum, die spezifischen Deskriptoren für den Energiebereich zu benennen - z. B. Wärme- oder Strombedarf, Entwicklungen in der Energietechnik usw. - und die Auswirkungen der jeweiligen Ausprägungen der Rahmen-Deskriptoren auf diese spezifischen Deskriptoren zu ermitteln.

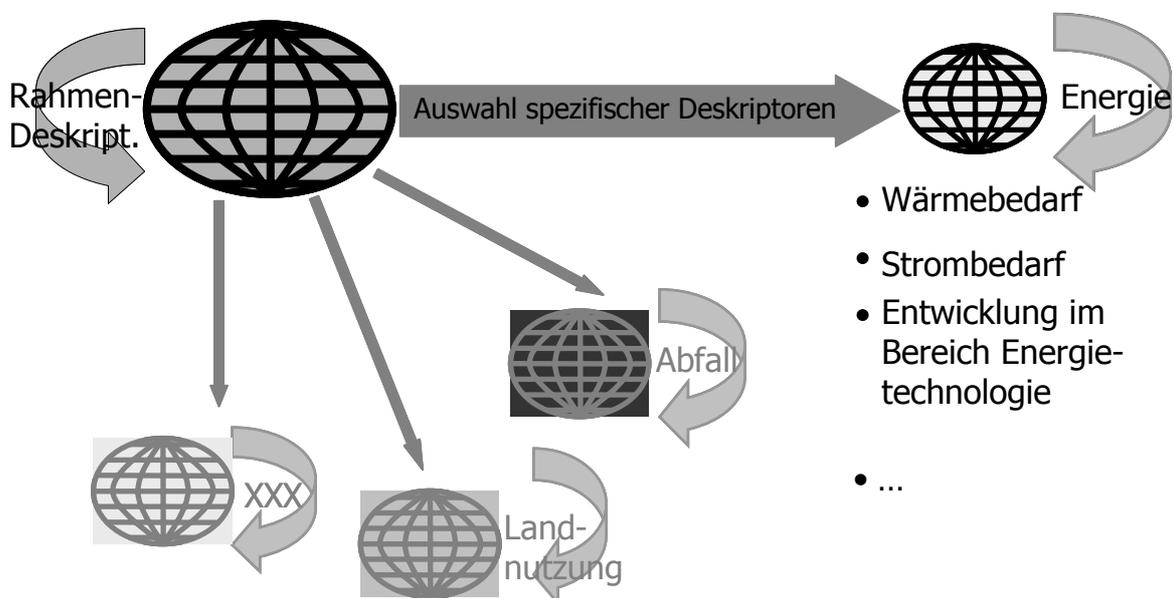


Abb. 2: Übersetzung der Rahmenszenarien in den Energiebereich

In einem weiteren Schritt werden dann die jeweiligen Auswirkungen der sich je nach Szenario-Option unterschiedlich verändernden spezifischen Energie-Deskriptoren auf die bereits für die Statusanalyse ausgewählten Nachhaltigkeitsindikatoren in quantitativer oder qualitativer Weise betrachtet. Bei der sich daran anschließenden Analyse der bestehenden Potentiale zur Verbesserung der gegenwärtig drängendsten Probleme werden zwei Fragen im Vordergrund stehen: welche insbesondere technisch bedingten Effizienzsteigerungspotentiale existieren in den einzelnen Sektoren und bei den typisierten Energieverbraucher-Gruppen und was sind unter Potential- wie auch Folgewirkungsgesichtspunkten sinnvolle Optionen der Nutzung regenerativer Quellen (Sonne, Biomasse, Wind, Geothermie, Wasser usw. sowie geeignete Kombinationen daraus)? Für beide Fragen wird dann nach den jeweils geeigneten politisch-institutionellen Rahmenbedingungen gesucht. Dabei wird es angesichts der in Chile/Santiago gegenwärtig noch sehr wenig ausgeprägten effizienzorientierten Denkweise erheblicher Anstrengungen bedürfen, einen entsprechenden Bewusstseinswandel herbeizuführen. Ähnliches gilt auch für die bislang kaum reflektierte Variante der Gewinnung von Energie aus Abfall. Generell werden die Erfordernisse eines Wandels in Richtung eines nachhaltig(er)en Energiesystems in Chile/Santiago erheblich sein, alleine schon aufgrund der prognostizierten enormen Verbrauchssteigerungen in den kommenden Jahren.

Soweit möglich, werden die hier skizzierten Analysen zu Status- und Problembeschreibungen des Energiesystems wie auch die Szenarioanalysen im Vergleich zu anderen Megacities, insbesondere in Lateinamerika, durchgeführt.

Literatur

- [1] United Nations Population Division. World urbanization prospects. The 2005 Revision. New York. 2006.
- [2] G. Mertins, F. Kraas. Megastädte in Entwicklungsländern. Vulnerabilität, Informalität, Regierung und Steuerbarkeit. Geographische Rundschau, Vol. 66 (2008), Nr. 11, S. 4-11
- [3] S. Yusuf. About urban mega regions: Knowns and unknowns. World Bank policy research working papers, Nr. 4252. Washington. 2007
- [4] ECLAC – United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean. From Rapid Urbanization to Consolidation of Human Settlements in Latin American and the Caribbean: A Territorial Perspective. Santiago de Chile. 2000

-
- [5] J. Kopfmüller, V. Brandl, J. Jörissen, M. Paetau, G. Banse, R. Coenen, A. Grunwald. Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet. Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren. Berlin. 2001
- [6] A. Shearer. Approaching scenario-based studies: three perceptions about the future and considerations for landscape planning. In: Environment and Planning, Part B Planning and Design, Nr. 1 (2005), S. 67-87
- [7] H. Kosow, R. Gassner, L. Erdmann, B. Lubert. Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse. Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT). Werkstattbericht Nr. 103. 2008
- [8] OCDE – Organisation for Economic Co-Operation and Development. Evaluación del desempeño ambiental – Chile. Paris 2005
- [9] Deutsch-Chilenische Industrie- und Handelskammer. Erneuerbare Energien und Energieeffizienz in Chile. Gegenwärtiger Einsatz, Potenziale und Fördermöglichkeiten. Santiago de Chile 2007
- [10] bfai – Bundesagentur für Außenwirtschaft. Chile braucht mehr Kapazität zur Stromerzeugung. Datenbank: Länder und Märkte: Köln, Berlin 2008