



Modellierung von nachhaltigen Energieszenarien

Erneuerbare Energie in Österreich: Modellierung möglicher Entwicklungsszenarien bis 2020

ein Projekt im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“

Zusammenfassung der Projektergebnisse

Anett Großmann, Reinhard Madlener, Andrea Stocker, Marc Ingo Wolter

Wien, April 2008

Ausgangssituation und Projektziele:

Erneuerbare Energie spielt in Österreich eine entscheidende Rolle, um einerseits die Abhängigkeit von importierten fossilen Energieträgern zu verringern und andererseits die notwendige Reduktion von Treibhausgasen zu unterstützen. Diese Rolle wird sich in den nächsten Jahren noch verstärken, da der derzeitige Anteil von rund 20 % am gesamten Energiemix zur Erfüllung der EU-Vorgaben bis ins Jahr 2020 auf 34 % erhöht werden muss. Im Zuge dieser angestrebten Erhöhung ist es wichtig, die erwarteten Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus von erneuerbarer Energie auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft quantitativ abzuschätzen. Das hier präsentierte Projekt widmete sich dieser Quantifizierung, indem verschiedene Ausbauszenarien für erneuerbare Energie (EE-Szenarien) entwickelt und mit dem integrierten Umwelt-Energie-Wirtschaft-Modell „e3.at“ simuliert wurden.

Methode:

Um einen geeigneten Rahmen für die Bearbeitung der Projektfrage zu schaffen, umfasste das Projekt zwei Schwerpunkte: Erstens die Entwicklung des Simulationsmodells „e3.at“ und zweitens seine Anwendung im Rahmen eines partizipativen Modellierungsprozesses, in welchem in Zusammenarbeit mit Stakeholdern und ExpertInnen aus dem Energiebereich drei EE-Szenarien entwickelt wurden. Durch diesen partizipativen Ansatz wurde die wissenschaftliche Arbeit um Erfahrungen, Wissen und Anregungen von Stakeholdern bereichert.

Der Ablauf der Szenarientwicklung und -modellierung wurde als partizipativer Prozess gestaltet, der Stakeholder und ExpertInnen im Bereich der Energiepolitik und -versorgung aktiv in die wissenschaftliche Arbeit integriert. Durch diesen partizipativen Charakter fördert das Projekt den intensiven Erfahrungsaustausch zwischen Modell- und SzenarientwicklerInnen und den NutzerInnen (bzw. Betroffenen) der Ergebnisse aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Dadurch wird das Ziel verfolgt, einerseits die Modellierung zu verbessern und andererseits die Ergebnisrelevanz zu erhöhen.

Ergebnisse:

Das integrierte Modell „e3.at“

Das Modell „e3.at“ bildet die österreichische Volkswirtschaft in allen wesentlichen Aspekten ab und zeigt ihre Wechselwirkungen mit dem Energiesystem und der Umwelt auf. Dadurch wird es möglich, neben der Berechnung des Energieverbrauchs und der CO₂-Belastungen auch die Auswirkungen auf Wirtschaftswachstum und Beschäftigung zu analysieren. Das gesamte Modellsystem beinhaltet zum jetzigen Zeitpunkt ein Wirtschafts-, ein Energie- und ein Materialmodell. Alle Modellteile sind konsistent miteinander verbunden.

Das *Wirtschaftsmodell* umfasst ein Input-Output-Modell (zur Erklärung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Wirtschaftszweigen), die Darstellung des Kontensystems der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (zur Abbildung der Einkommensentstehung, -verteilung und -verwendung der privaten Haushalte, des Staats und der Unternehmen) und den Arbeitsmarkt. Das *Materialmodell* ordnet die inländischen und importierten Material-inputs den extrahierenden bzw. importierenden Wirtschaftssektoren zu und unterscheidet zwölf verschiedene Materialkategorien. Das *Energiemodell* beschreibt den Zusammenhang zwischen ökonomischer Entwicklung, Energieeinsatz und CO₂-Emissionen. Es umfasst den Primärenergieverbrauch, die Energieumwandlung und den Endenergieverbrauch. Es ist in 21 Wirtschaftsbereiche gegliedert und unterscheidet 17 verschiedene Energieträger gemäß der Energiebilanz der Statistik Austria. Außerdem umfasst das Modell „e3.at“ ein *Außenhandelsmodul*, welches das österreichische Wirtschaftssystem in Form eines „Soft Links“ mit dem Weltmodell GINFORS verbindet.

Die EE-Szenarien

Gemeinsam mit Stakeholdern und ExpertInnen aus dem Energiebereich wurden drei Szenarien entwickelt, die unterschiedliche Strategien zum Ausbau von erneuerbarer Energie darstellen und zusätzlich zu einem Business as Usual (BAU) Szenario modelliert wurden. Das BAU-Szenario beschreibt die wahrscheinliche zukünftige Entwicklung unter der Voraussetzung, dass abgesehen von bereits beschlossenen (politischen) Maßnahmen keine explizite Förderung von erneuerbarer Energie erfolgt. Es dient damit als „Referenzszenario“, um die Lücke zwischen dem in einem Szenario definierten Ausbau und der wahrscheinlichen Entwicklung ohne weiteres Handeln abzubilden.

Die Szenarien konzentrieren sich auf die Strom- und Wärmebereitstellung. Sie beziehen sich explizit nicht auf den Verkehrssektor, nicht auf effizienzsteigernde Maßnahmen bei privaten Haushalten sowie im verarbeitenden Gewerbe und nicht auf die Sanierung des Wohnungsbestands. Energieeffizienzsteigerungen sind aber im BAU-Szenario berücksichtigt.

Szenario 1: „Stärken ausbauen“ (STA) - kurzfristig orientiert

Im Mittelpunkt des Szenarios „Stärken ausbauen“ stehen jene Technologien, welche möglichst geringe spezifische Strom- bzw. Wärmegestehungskosten haben und eine rasche Kapazitätssteigerung erwarten lassen. „Stärken ausbauen“ setzt daher in erster Linie auf den Ausbau von Wind und (Klein-)Wasserkraft zur Stromerzeugung und Pellets zur Wärmebereitstellung. Bei allen genannten Technologien verfügt Österreich über eine gute technologische Ausgangssituation, wodurch auch die Wettbewerbsfähigkeit hoch ist. Die Versorgungssicherheit betreffend wird angenommen, dass das Szenario die Energieimporte nicht entscheidend reduzieren kann, während in Bezug auf die Versorgungsstruktur von einer eher steigenden Zentralität ausgegangen wird.

Da das Ausbaupotential von Wasserkraft, Wind und Pellets nicht sehr hoch ist, wäre dieses Szenario ohne zusätzliche Einbeziehung der Photovoltaik kaum in der Lage, einen nennenswerten Rückgang der CO₂-Emissionen zu erreichen. So ist der Ausbau von Großwasserkraft aufgrund von ökologischen Restriktionen kaum vorstellbar und sind die Effekte selbst einer erheblichen Kapazitätsausweitung der Kleinwasserkraft begrenzt. Auch bei Windenergie dürfte der unbeschränkte Ausbau an begrenzten Flächen mit günstigen Windverhältnissen und an mangelnder gesellschaftlicher Akzeptanz scheitern. Bei Pellets und Holzabfällen

wird von einer Verdopplung der Leistung ausgegangen, einem Ausbau darüberhinaus sind jedoch aufgrund des hohen Bedarfs an Holzspänen, der zunehmend in Konkurrenz mit der stofflichen Späneverwertung in der Plattenindustrie gerät, Grenzen gesetzt.

Szenario 2: „Biomassiv“ (BIO) - mittelfristig orientiert

Das Szenario „Biomassiv“ wurde entwickelt, da die Biomasse als Energieträger in Österreich ein wichtiges Thema darstellt und eine umfassende und gleichzeitig nachhaltige Nutzung der verfügbaren Biomassepotentiale auch durchaus wahrscheinlich ist (z.B. Waldreichtum, Tradition, erfolgreiche Holzwirtschaft, Technologie Know-how). Es werden jene Technologien am stärksten gefördert, mit denen in der Vergangenheit gute Erfahrungen gemacht wurden bzw. die großes Entwicklungspotential erwarten lassen. In erster Linie wird auf die Nutzung von fester Biomasse und Biogas gesetzt und eine stärker zentrale Versorgung mit Schwerpunkt auf Wärmebereitstellung angestrebt.

Das Szenario ist darauf ausgelegt, die maximale Biomasse-Nutzung innerhalb kritischer Rahmenbedingungen abzuschätzen. Dabei müssen insbesondere zusätzliche Biomasse-Potentiale (Flächen und Reststoffe), Nutzungskonflikte mit der Holz-, Papier-, Lebensmittelindustrie und der Agrartreibstoffproduktion, sowie der Biomasseimport betrachtet werden. Die technologischen Voraussetzungen sind für eine Umsetzung in Österreich ebenfalls gut. Allerdings ist bei einem starken Kapazitätsausbau der Biomasse von steigenden Importen bei Investitionsgütern auszugehen, weil ein Aufbau entsprechender Produktionskapazitäten in Österreich kurzfristig kaum möglich ist.

Im Ergebnis ist eine deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen im Vergleich zum BAU-Szenario zu erwarten, die auch ohne Ausbau der Photovoltaik erzielt worden wäre, was allerdings den Vergleich mit dem Szenario „Stärken Ausbauen“ erschwert hätte. Die CO₂-Reduktion erkaufte man sich durch vermehrte Importe von Investitionsgütern aus dem Ausland und durch eine Substitution der Importe von fossilen Energieträgern durch biogene Energieformen, die ebenfalls zum Teil importiert werden müssen.

Szenario 3: „Denk an morgen“ (DAM) - langfristig orientiert

Szenario 3 baut einerseits auf einer langfristig ausgerichteten Investitionsstrategie auf, die eine Förderung zwar kostenintensiver, aber gleichzeitig besonders zukunftssträchtiger Technologien (z.B. Photovoltaik, Geothermie) vorsieht. Andererseits werden bereits marktreife, „flächenarme“ Technologien (wie Wind und Solarthermie) forciert, um einen Kontrast zur flächenintensiven Biomassenutzung des Szenarios 2 zu schaffen. Im Szenario „Denk an morgen“ wird somit bewusst auf die Verbrennung oder Vergasung von Ressourcen verzichtet. Auf Anraten des Stakeholder-Kreises wird stattdessen in erster Linie auf die Wirkung der Sonne gesetzt, indem Photovoltaik massiv ausgebaut wird. Da die Photovoltaik zurzeit noch mit hohen Investitionskosten verbunden ist, bedarf es aber eines erheblichen gesamtstaatlichen Kraftaktes zur Finanzierung eines ambitionierten Ausbaus.

Hinzu kommt, dass die notwendigen Produktionskapazitäten für Solarzellen kaum in Österreich geschaffen werden können und somit die Solarzelle zum „Rohstoffimport“ wird. So könnte es zu einem Abfluss an Wertschöpfung ins Ausland kommen. Unterstellt man in der übrigen Welt ein ähnliches Verhalten dürften sich zudem erhebliche nachfragebedingte Preissteigerungen für Solarzellen ergeben. Außerdem ist auf die derzeit noch ressourcen-intensive Bereitstellung der Anlagen hinzuweisen. Positiv ist anzumerken, dass eine nachhaltige Energiequelle erschlossen, eine erhebliche CO₂-Reduktion erreicht und die Abhängigkeit von Ressourcenimporten deutlich verringert werden kann.

Ergebnisse der Szenariensimulation

Bezüglich der wirtschaftlichen Entwicklung sind sowohl im BAU-Szenario als auch in den EE-Szenarien positive Effekte zu erwarten. Im BAU-Szenario wird das Bruttoinlandsprodukt (BIP) in den nächsten Jahren mit ca. 2,1 % p.a. wachsen, in den EE-Szenarien fällt das BIP-Wachstum etwas stärker aus. Die Szenarien unterscheiden sich vor allem durch die Wachstumsdynamik der Investitionen. Insbesondere im Szenario „Denk an morgen“ sind erhebliche zusätzliche Investitionen notwendig. Demzufolge ist auch in diesem Szenario das BIP-Wachstum am stärksten. Wie bereits beschrieben, geht die Modellierung davon aus, dass ein Großteil der Solarzellen in Österreich produziert werden kann. Ist dies nicht der Fall, würden steigende Importe das heimische Wachstum bremsen.

Ein Blick auf die Beschäftigung zeigt, dass parallel zur wirtschaftlichen Entwicklung die Anzahl der Erwerbstätigen mit steigenden Investitionen im Vergleich zum BAU-Szenario zunimmt. Während im BAU-Szenario die Anzahl der Beschäftigten um 198.000 Personen zwischen 2005 und 2020 (+ 6,1 %) steigt, erhöht sich dieser Wert in den einzelnen Szenarien noch. In DAM werden rund 19.000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen, in BIO können 15.000, in STA 10.000 zusätzliche Arbeitskräfte beschäftigt werden.

Die Zusammensetzung des energetischen Endverbrauchs nach Energieträgern entwickelt sich in den einzelnen Szenarien sehr unterschiedlich. Der Verbrauch von Heizöl zur Wärmeherzeugung ist im BIO- und im DAM-Szenario geringer als im BAU-Szenario. Vor allem im BIO-Szenario erhöht sich der Einsatz von Brennholz im Bereich der privaten Haushalte, wodurch sich der Verbrauch von Heizöl reduziert. Im DAM-Szenario wird in privaten Haushalten mehr Wärme durch Solarthermie erzeugt; ein deutlicher Rückgang des Heizöls ist auch hier die Folge.

Ein Vergleich der Anteile erneuerbarer Energien im Zeitverlauf zeigt, dass im BAU-Szenario der Anteil wegen des fehlenden Ausbaus der Großwasserkraft leicht zurückgeht. In den EE-Szenarien kann dieser Rückgang gestoppt werden (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Anteil erneuerbarer Energie am energetischen Endverbrauch (in %)

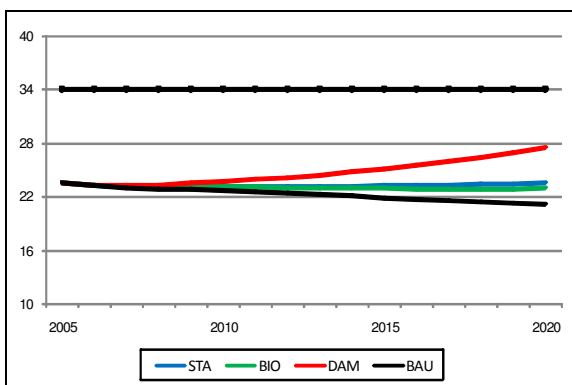
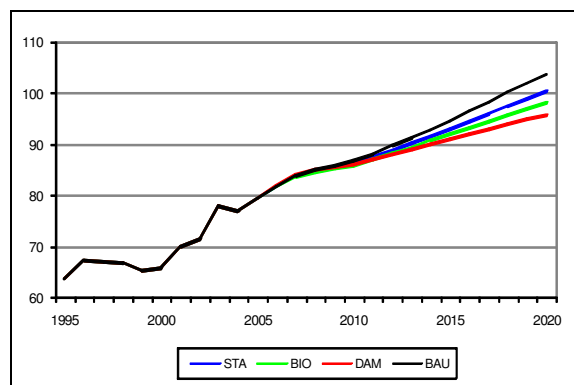


Abbildung 2: Entwicklung der CO₂-Emissionen (in Mio. Tonnen)



Das Ziel, 34 % des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen abzudecken, kann jedoch in keinem der Szenarien erreicht werden (vgl. Tabelle 1). Der höchste Anteil kann mit 27,5 % im Szenario „Denk an morgen“ realisiert werden. In „Stärken ausbauen“ ist zu erwarten, dass der Anteil aus dem Jahr 2005 gehalten werden kann, während in „Biomassiv“ sogar ein prozentueller Rückgang abzusehen ist. Durch

die Kombination aller in den einzelnen Szenarien getroffenen Annahmen miteinander (vgl. Spalte „Gesamt“ in Tabelle 1) könnten 28,3 % des energetischen Endverbrauchs durch erneuerbare Energie gedeckt werden. Allerdings muss bei diesen Berechnungen berücksichtigt werden, dass sich der Energieverbrauch bis ins Jahr 2020 deutlich erhöhen wird (vgl. Tabelle 1). Trotz des massiven Ausbaus können erneuerbare Energien daher den zusätzlichen Wärme- und Strombedarf nicht abdecken. Könnte über Effizienzmaßnahmen und Verhaltensänderung eine Stabilisierung des Energieverbrauchs auf dem Niveau von 2005 erreicht werden, würde sich der Anteil von erneuerbarer Energie von 28,3 % jedoch auf rund 37 % erhöhen.

Formel 1. Tabelle 1: Anteil erneuerbarer Energie in % und in TJ

	2005	BAU 2020	STA 2020	BIO 2020	DAM 2020	GESAMT 2020
<i>Energ. Endverbrauch (gesamt)</i>	1.105.190	1.448.683	1.451.472	1.452.544	1.453.400	1.453.400
<i>Transportverluste, Eigenverbrauch Energieunternehmen</i>	62	62	62	62	62	62
<i>Umwandlungseinsatz</i>						
Wasser	129.150	137.028	142.194	137.028	137.028	142.194
Photovoltaik	51	1.364	22.670	22.670	82.216	82.216
Wind	4.781	12.331	22.235	12.331	22.235	22.235
<i>Energetischer Endverbrauch</i>						
Erdwärme	259	351	353	354	354	354
Sonnenwärme	3.816	6.895	6.904	6.908	9.323	9.323
Energie aus Wärmepumpen	4.976	7.125	7.161	7.174	7.200	7.200
Brennholz	64.737	66.439	66.451	72.388	66.464	72.388
Brennbare Abfälle	10.615	13.957	13.972	13.981	13.981	13.981
biogenen Brenn- und Treibstoffe	16.139	20.500	20.514	20.516	20.529	20.529
Pellets, Holzabfälle	25.954	40.232	40.317	40.336	40.389	40.336
<i>Summe erneuerbare Energie in TJ</i>	260.477	306.222	342.771	333.685	399.719	410.757
<i>Anteil erneuerbarer Energie in %</i>	23,6	21,1	23,6	23,0	27,5	28,3

In Verbindung mit den geringen Anteilserhöhungen an erneuerbarer Energie sind auch die CO₂-Einsparungen zu interpretieren. Zwar verbessert sich in allen Szenarien der CO₂-Ausstoß im Vergleich zum BAU-Szenario, da fossile durch erneuerbare Energie substituiert wird. Eine absolute CO₂-Reduktion lässt sich jedoch über die Zeit nicht erreichen (vgl. Abbildung 2). Somit rückt auch das für Österreich und die EU geltende Ziel, bis 2020 die Treibhausgasemissionen um 20 % im Vergleich zum Jahr 1990 zu reduzieren, in weite Ferne.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die entwickelten Szenarien keine „Patentlösungen“ für den Ausbau von erneuerbaren Energietechnologien darstellen. Vorteile werden stets durch Nachteile erkauft. So zeichnet sich das Szenario „Stärken ausbauen“ zwar durch Kosteneffizienz und Wettbewerbsfähigkeit aus, jedoch ist ein ambitionierter Ausbau der Wind- und Großwasserkraft beschränkt und aus Umweltschutzgründen umstritten. Für das Szenario „Biomassiv“ ist eine hohe Bereitschaft zur politischen Umsetzung zu erwarten, jedoch wirken sich die erwähnten Nutzungskonkurrenzen und die Ressourcenknappheit negativ aus. Das Szenario „Denk an morgen“ wiederum, kann einen relativ hohen Anteil an erneuerbarer Energie und damit verbundenen CO₂-Einsparungen erreichen, die Investitionskosten sind allerdings erheblich.

Schließlich ist klar ersichtlich, dass kein Weg an der Verringerung des Energieverbrauchs vorbeiführt. Nur

wenn es gelingt über Effizienzsteigerungen und Verhaltensänderungen den Anstieg des Energieverbrauchs zu stoppen, können erneuerbare Energien die ihnen zugesprochene Rolle zur Erreichung eines nachhaltigen Energiesystems auch erfüllen.

Schlussfolgerungen

Das neu entwickelte E3-Modell und die erstellten EE-Szenarien erlauben eine umfassende Analyse der (potentiellen) Auswirkungen des Ausbaus von erneuerbarer Energie bis 2020. Die explizite und konsistente Berücksichtigung der komplexen und vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Wirtschaftszweigen sowie die Effekte der Szenarien auf den Arbeits- und Energiemarkt und die dargestellten Parameter gewährleisteten weitreichende Modellanalysen für die proaktive Gestaltung einer rationalen Energiepolitik.

Durch die Stakeholder-Einbindung leistete das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Verbindung von Wissenschaft und Praxis. Grundsätzlich ist eine Zusammenarbeit mit wichtigen AkteurInnen aus dem Energiebereich stets anzustreben, um sowohl statistische als auch ökonomische Besonderheiten in der Modellierung sachgerecht abbilden zu können.

Schließlich und vor dem Hintergrund der Gesamtleistung des Projektes ist festzuhalten, dass das Modell „e3.at“ erfolgreich eingesetzt werden konnte. Nicht nur die dargestellten Ergebnisse, sondern auch der Dialog mit den Stakeholdern bestätigt diese Einschätzung.

**„Erneuerbare Energie in Österreich:
Modellierung möglicher Entwicklungsszenarien bis 2020“**

Projekt im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ – einer Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT).



Dieses Projekt analysierte Auswirkungen einer nachhaltigen Energiepolitik auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Im Rahmen eines partizipativen Prozesses werden verschiedene Szenarien, fokussiert auf erneuerbare Energietechnologien, für Österreich bis 2020 mit einem Nachhaltigkeitsmodell simuliert.

Das vorliegende Working Paper fasst die Projektergebnisse kurz zusammen.

Weitere Informationen zum Projekt: www.energiemodell.at oder energiemodell@seri.at.

Projektleitung:



Sustainable Europe Research Institute (SERI), Wien.

Projektpartner:



Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung (GWS), Osnabrück.



Centre for Energy Policy and Economics
Swiss Federal Institutes of Technology

Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich.