

Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung von Energieszenarien. Eine lokale Fallstudie im Projekt ARTEMIS

Mag. Lisa Bohunovsky^{1*}, Bakk. Martin Bruckner^{1*},
Dr. Ines Omann¹, Dr. Reinhard Madlener², Dr. Sigrid Stagl³

¹ SERI – Nachhaltigkeitsforschungs- und -kommunikations GmbH, Garnisongasse 7/27, 1090 Wien, Tel: +43-1-969 0728 0, lisa.bohunovsky@seri.at, www.seri.at

² Centre for Energy Policy and Economics (CEPE), Department of Management, Technology, and Economics, ETH Zürich, Zürichbergstrasse 18 (ZUE E), 8032 Zürich, +41-44-632 06 52, rmadlener@ethz.ch, www.cepe.ethz.ch

³ SPRU - Science and Technology Policy Research, University of Sussex, Freeman Centre, Brighton, BN1 9QE, United Kingdom, +44-1273-872784, k.kowalski@sussex.ac.uk, s.stagl@sussex.ac.uk, www.sussex.ac.uk/spru

*NachwuchsforscherInnen (LB: geb. 9.7.1975, Unterbrechung der Laufbahn wegen Mutterschaft, MB: geb. 11.10.1981)

Kurzfassung: Gemeinden, die danach trachten ihren Beitrag zu nachhaltigerer Entwicklung zu leisten, stehen vor der Herausforderung, Optionen für zukünftige Energiesysteme unter Berücksichtigung einer Reihe von Nachhaltigkeitskriterien abzuwiegen. Ziel dieses Beitrags ist die Darstellung eines entscheidungsunterstützenden Prozesses, der auf einer integrierter Bewertung lokaler Energieszenarien und Stakeholderpartizipation beruht. Diese Fallstudie ist Teil eines größeren Projektes (ARTEMIS), dessen Ziel es war, die Methodologie der partizipativen und integrierten Bewertung im Energiebereich weiterzuentwickeln und anhand einer nationalen und lokalen Fallstudie zu testen. Die Methodologie besteht aus zwei Hauptelementen, der Multikriterienanalyse und partizipativer Prozesse von Stakeholdern. Diese Kombination eignet sich gut für die Bewertung von komplexen Situationen mit multiplen Auswirkungen auf verschiedene Systeme, die zudem durch das Vorhandensein verschiedener Interessen gekennzeichnet sind.

Im konkreten geht es in der lokalen Fallstudie um die Bewertung von vier Szenarien bezüglich der Energiezukunft zweier oststeirischer Gemeinden bis 2020. Die Bewertung stützt sich einerseits auf die Anforderungen (in Form von Kriterien), die an ein nachhaltiges Energiesystem gestellt werden und andererseits auf die sozialen Präferenzen für diese Kriterien in Form von Gewichten. Das Ergebnis ist eine Reihung der Szenarien aufgrund ihrer Wirkung auf die Kriterien. Diese Reihung erwies sich in unserem Falle als sehr stabil. Szenario 4, das durch Reduktion des Energieverbrauchs und der Wärmezeugung hauptsächlich aus kleinen Anlagen charakterisiert ist, blieb bei verschiedenen Sensitivitätsanalysen durchgehend an erster Stelle gereiht. Werden also Auswirkungen entsprechend der verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen und soziale Präferenzen berücksichtigt, so stellt Szenario 4 derzeit den präferierten Weg für die Zukunft der Energieversorgung der beiden Gemeinden dar.

Keywords: Erneuerbare Energien, lokale Energieszenarien, nachhaltige Energiesysteme, multikriterielle Bewertung, Partizipation

1 Einleitung

Die steigende Abhängigkeit der Europäischen Union von fossilen Energiequellen aus politisch instabilen Regionen (European Commission, 1997) und die Tatsache der Klimaveränderung lassen auch in Österreich immer wieder den Ruf nach einer regionalen Energieversorgung auf Basis nachwachsender einheimischer Energieträger laut werden. Der Weg in Richtung erneuerbare Energiequellen ist politisch auf europäischer und österreichischer Ebene zwar erwünscht (European Commission, 2001; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2002) und die absolute Menge an Energiebereitstellung durch erneuerbare Quellen nimmt zu (Sedmidubsky und Lutter, 2003), dennoch steigt die Abhängigkeit von fossilen Quellen durch einen absolut größeren Anstieg des Energieverbrauchs. Initiativen zur stärkeren Verwendung von erneuerbaren Energiequellen auf lokaler und regionaler Ebene bieten eine Möglichkeit, vorhandene Entwicklungsalternativen aufzuzeigen (Hain et al., 2005). Die Bewertung anhand von Nachhaltigkeitskriterien garantiert zudem eine umfassende Analyse von möglichen Auswirkungen des Einsatzes von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien (EET).

Ziel dieses Artikels ist es, eine wissenschaftlich fundierte Methode aufzuzeigen, um Energieszenarien auf lokaler Ebene zu entwickeln und anhand von Nachhaltigkeitskriterien in partizipativer Weise zu bewerten, sowie die Ergebnisse dieses Prozesses darzustellen. Zudem werden Schlussfolgerungen zum Ablauf des Evaluierungsprozesses und der Eignung der eingesetzten Methoden gezogen.

Das SERI (Sustainable Europe Research Institute) startete in Zusammenarbeit mit CEPE, ETH Zürich und SPRU und der Universität Sussex (UK) im Juni 2003 ein Forschungsprojekt zur Evaluierung von EET auf lokaler und nationaler Ebene (ARTEMIS - „Assessment of Renewable Energy Technologies on Multiple Scales – a Participatory Multi-Criteria Approach“; www.project-artemis.net). Das Projekt wird vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF Projektnummer: P16734-G04) finanziert. Ziel des Projektes ist es, Szenarien der künftigen Energieversorgung für zwei unterschiedliche räumliche Ebenen (national und lokal) zu entwerfen und diese mittels einer partizipativen Multikriterienanalyse zu bewerten.

Die lokale Fallstudie wurde für die beiden steirischen Gemeinden Raabau und Lödersdorf (Bezirk Feldbach) durchgeführt. Energieszenarien mit Schwerpunkt auf erneuerbaren Energien wurden entwickelt und hinsichtlich ihrer erwarteten Auswirkungen auf eine nachhaltige Entwicklung bewertet. Ziel des Projektes auf lokaler Ebene war es, den Gemeinden auf ihrem Weg in Richtung eines verstärkten Einsatzes erneuerbarer Energien Entscheidungshilfen zur Verfügung zu stellen und gleichzeitig eine Methodik zu entwickeln, die der Komplexität der Thematik gerecht wird. Die lokale Fallstudie wurde in Kooperation mit der Lokalen Energieagentur Oststeiermark (LEA) im Rahmen des Programms „Energierregion Oststeiermark“ (vgl. Tagungsbeitrag C. Luttenberger) durchgeführt. Sie diente als Vorbereitung der Gemeinden für die angestrebte Qualifizierung im Rahmen des Programms e5¹, das 2006 starten soll.

¹ „e5“ (www.e5-gemeinden.at) ist ein Programm zur Qualifizierung und Auszeichnung von Gemeinden, die durch den effizienten Umgang mit Energie und der verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energieträgern einen Beitrag zu einer zukunftsverträglichen Entwicklung unserer Gesellschaft leisten wollen.

In einer zweiten Fallstudie wurde eine entsprechende Untersuchung auch für ganz Österreich durchgeführt (vgl. Tagungsbeitrag K. Kowalski et al.).

Raabau und Lödersdorf sind zwei oststeirische Gemeinden östlich der Bezirkshauptstadt Feldbach. Sie sind geprägt von einem hohen Pendleranteil und hohen Bevölkerungszuwächsen. Da sie einander angrenzende und relativ kleine Gemeinden sind (2001: Raabau 558, Lödersdorf 678 Einwohner), kooperieren sie erfolgreich und effizienzfördernd in einigen Verwaltungsbereichen. Beide BürgermeisterInnen haben sich die Förderung von erneuerbarer Energie als Ziel gesetzt. Bereits 2001 basierte ein Großteil der produzierten Raumwärme auf erneuerbaren Energieträgern (v.a. Holz), was eine gute Basis für weitere Maßnahmen bildet.

Im folgenden Kapitel werden die verwendeten Methoden (Szenarientwicklung, Multikriterienanalyse und partizipative Workshops) bezogen auf die Fallstudie dargestellt. Kapitel 3 beschreibt die Szenarien (3.1), die Bewertungskriterien (3.2), deren Gewichtung (3.3), sowie die Auswirkungen der Szenarien auf die Kriterien (3.4). Die Ergebnisse der Bewertung werden im Kapitel 4 vorgestellt und interpretiert und in Kapitel 5 werden Schlussfolgerungen bezüglich des Ergebnisses und des Prozesses gezogen.

2 Methoden

2.1 Szenarien

Die Entwicklung von Szenarien ist eine gebräuchliche Vorgangsweise, um mit Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Energieversorgung umzugehen. Sie sind keine Vorhersagen der Zukunft, sondern zeigen Möglichkeiten der zukünftigen Energieversorgung auf. Energieszenarien sind meist auf globaler (Shell, OECD/IEA, 2003) oder nationaler (z.B. Kratena und Schleicher, 2001) Ebene angesiedelt. In dieser Arbeit soll gezeigt werden, dass sie auch auf lokaler Ebene eine interessante Möglichkeit bieten, um Handlungsoptionen auf dieser Ebene aufzuzeigen und zu bewerten. Das ARTEMIS Projekt bot auch eine gute Gelegenheit die Interdependenzen der Szenarien auf den beiden räumlichen Ebenen im Design zu berücksichtigen.

2.2 Multikriterienanalyse

Das Streben nach höherer Nachhaltigkeit erfordert oft das Adressieren komplexer Probleme. Die entsprechenden Situationen sind durch die Existenz von verschiedenen und oft widersprüchlichen Zielen, einer unsicheren Datenlage, unvollständigen Informationen und dem Vorhandensein verschiedenster Präferenzen gekennzeichnet.

Die Multikriterienanalyse ermöglicht es, EntscheidungsträgerInnen und andere Stakeholder beim Erörtern derartiger Probleme zu unterstützen. Sie bedient sich mathematischer Algorithmen und unterstützender Software, um die vorhandene Information zu bündeln, zu aggregieren, und eine Reihung der betrachteten Alternativen (in unserem Falle von lokalen Energieszenarien) vorzuschlagen. Dabei ist die gleichzeitige Verwendung qualitativer und quantitativer Daten möglich. Die Variation der Kriteriengewichte und der zugrundeliegenden mathematischen Präferenzfunktionen erlauben dabei auch eine Sensitivitätsanalyse der Ergebnisse im Hinblick auf deren Robustheit.

Im Projekt wurde die Software Decision Lab™² eingesetzt, die auf Basis der Methode „PROMETHEE“ einen paarweisen Vergleich der Optionen durchführt und als Ergebnis eine Reihung der Optionen liefert (Brans und Mareschal, 1990).

2.3 Partizipation

Nur durch die Einbindung von Akteuren und Betroffenen können das Wissen und die Wünsche der Betroffenen in wissenschaftlich basierte Entscheidungs- und Evaluierungsprozesse einfließen. Die Partizipation der Betroffenen erhöht die Relevanz, Akzeptanz und Glaubwürdigkeit der Nachhaltigkeitsforschung (Siebenhüner 2004, O’Riordan 2000, Funtowicz and O’Connor 1999). In der beschriebenen Fallstudie wurden einerseits lokale EnergieexpertInnen, andererseits BürgerInnen der beiden Gemeinden über Workshops und Interviews miteinbezogen. Über einen Zeitraum von sieben Monaten wurden vier Workshops veranstaltet. Die Interviews fanden als Vorbereitung der Workshops oder in Ergänzung zu Datenerhebung und Modellierung zwischen Juli und Oktober 2005 statt.

3 Teile der Bewertung

3.1 Szenarien

Im Rahmen der lokalen Fallstudie von ARTEMIS wurden zwischen Mai und November 2005 insgesamt vier Energieszenarien entwickelt, um die spezifischen Gegebenheiten der Gemeinden Raabau und Lödersdorf widerzuspiegeln. Diese Szenarien beschreiben insbesondere die Art der Strom- und Wärmeerzeugung in den Gemeinden für das Jahr 2020. Sie stellen damit vier Richtungen dar, in die sich die Gemeinden durch gezielte Aktivitäten und Förderungen in Zukunft entwickeln könnten.

Das Spektrum reicht von einer Konzentration auf die Stromproduktion mittels Biogasanlagen und die Revitalisierung eines vorhandenen Kleinwasserkraftwerkes bis hin zur Wärmebereitstellung durch eine Reihe von gemeinschaftlich betriebenen Hackschnitzelanlagen bzw. dezentralen, kleinen, privat betriebenen Biomasse-Heizsystemen. Die entwickelten Szenarien zeigen Möglichkeiten auf, wie durch mehr oder weniger intensive Anstrengungen im Bereich der Energieeffizienz (inkl. thermischer Gebäudesanierungen) eine Reduktion des Energiebedarfs bzw. durch eine verstärkte Nutzung bestimmter erneuerbarer Energieträger ein zukunftsfähigeres Energiesystem erreicht werden kann.

Die Stossrichtung der Energieszenarien wurden zuerst vom Projektteam grob skizziert, anschließend mit lokalen und regionalen EnergieexpertInnen³ diskutiert und in der Folge adaptiert und konkretisiert. Ausgangspunkt der Überlegungen war dabei die Variation der folgenden vier Faktoren:

² <http://www.visualdecision.com/>

³ Unter EnergieexpertInnen verstehen wir „Personen, die bezüglich des gesamten und Teilen des Energiesystems fachliche Expertise und einschlägige Erfahrungen haben“, z.B. ein Installateur, der bereits Anlagen (Biomasse, Photovoltaik, etc.) in Lödersdorf oder Raabau installiert hat; ein Landwirt, der Hackschnitzel herstellt, etc.

- Konzentration auf zentrale vs. dezentrale Energiebereitstellung: auf lokaler Ebene wurde „zentral“ als „Anlagen, die für mehrere Häuser Energie bereitstellen und im Eigentum einer Genossenschaft, Gemeinschaft, o.ä. stehen“ definiert. Dezentrale Anlagen sind im Gegensatz dazu auf einen einzelnen Haushalt beschränkt.
- Konzentration auf Strom- vs. Wärme-EET (z.B. Biogas- und Kleinwasserkraftanlagen einerseits oder Pellets-, Stückholz- und Hackschnitzelheizungen andererseits); beide Formen beinhalten sowohl Strom- als auch Wärme-EET, aber der Schwerpunkt liegt jeweils auf einer der beiden Formen.
- Starke vs. moderate Anstrengungen der Gemeinden zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Umsetzung umfangreicher Energiesparmaßnahmen. Dieser Parameter wurde durch die Sanierungsrate (0,5% bzw. 2% p.a.; Basis: Häuserbestand von 2005) und die jährliche Zuwachsrate des Stromverbrauchs (+2% bzw. 0% p.a.) in die Quantifizierung einbezogen.
- Der vierte Faktor (Anteil erneuerbare Energie) stellt ein Ergebnis und keinen Entwicklungsparameter für die Szenarien dar und wurde daher für die Interpretation des Resultates verwendet.

Die anschließende Quantifizierung der Szenarien erfolgte auf Basis der Gebäude- und Häuserzählung 2001 sowie der kommunalen Energiegesamtrechnung von Zelle und Schechtner (2004).

Ergebnis des Szenarienentwicklungsprozesses sind vier Szenarienbeschreibungen durch ein kurzes Narrativ, die Darstellung des jeweiligen Gesamtenergiebedarfs, der Anteil erneuerbarer Energie, die Beschreibung der eingesetzten Wärme-EET (Anzahl der Anlagen je Technologie und produzierte GWh) und die Beschreibung der Stromproduktion mittels Kleinwasserkraft, PV und/oder Biogasanlagen (Anzahl der Anlagen und produzierte GWh elektrische Energie). Im Folgenden werden die Kurzversionen der „Narrative“ der vier Szenarien wiedergegeben.

3.1.1 Kurznarrativ Sz. 1: „Stromproduktion auf Basis erneuerbarer Energien“

Raabau und Lödersdorf fördern – als Antwort auf die steigende Stromnachfrage – vor allem die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen. Große Anlagen zur Stromproduktion werden unterstützt: Nicht nur das Kleinwasserkraftwerk wird revitalisiert, auch eine Biogasanlage und große Photovoltaikanlagen entstehen.

3.1.2 Kurznarrativ Sz. 2: „Erneuerbare Energie aus kleinen privaten Anlagen“

Lödersdorf und Raabau konzentrieren sich auf die Förderung von EET. Dabei liegt der Schwerpunkt vor allem auf der Unterstützung von kleineren, privaten Anlagen. Ein Großteil der Neubauten setzt daher auf Heizsysteme auf Basis erneuerbarer Energieträger; etliche kleine private Photovoltaikanlagen entstehen.

3.1.3 Kurznarrativ Sz. 3: „Reduktion des Energieverbrauchs und erneuerbare Energie von großen Betreibergesellschaften“

Raabau und Lödersdorf setzen zahlreiche Maßnahmen, um den Energieverbrauch zu senken. Im Bereich der EET fördern die Gemeinden weniger die Errichtung kleinerer Anlagen, sondern unterstützen verstärkt die Initiativen von größeren

Betreibergemeinschaften zur Wärmeproduktion auf Basis erneuerbarer Energien – zahlreiche Nah- und Fernwärmenetze auf Basis EET entstehen.

3.1.4 Kurznarrativ Sz. 4: „Reduktion des Energieverbrauchs und Wärme (EET) aus kleinen Anlagen“

In Lödersdorf und Raabau ist „Energie“ das leitende Thema. Die Gemeinden setzen auf energiesparende Maßnahmen, aber auch die privaten Haushalte und Unternehmen werden zum Energiesparen motiviert. Die Gemeinden fördern im Bereich der EET kleine, private Anlagen zur Nutzung von Wärmeenergie.

3.2 Bewertungskriterien

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Kriterien, ihre Messung und ihre dem Gruppenkonsens entsprechende Gewichtung.

Die Bewertung der Szenarien erfolgte anhand von 15 Nachhaltigkeitskriterien, welche gemeinsam mit interessierten VertreterInnen aus der Bevölkerung von lokalen Entscheidungsträgern im Rahmen eines Workshops entwickelt wurden. Diese Kriterien spiegeln jene Anforderungen wider, die die Bevölkerung an ein nachhaltiges Energiesystem stellt und reichen von Umweltkriterien (z.B. Klimaschutz, Luftqualität) über ökonomische Kriterien (z.B. Gestehungskosten, regionale Wertschöpfung) bis zu sozialen Kriterien (z.B. sozialer Zusammenhalt, soziale Gerechtigkeit). Die im Workshop erarbeiteten Kriterien wurden mit jenen aus internationaler Literatur ergänzt (vgl. IAEA, 2005; Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2001; Arbeitsgemeinschaft ECOPLAN & Factor Consulting + Management AG, 2001), um Vollständigkeit zu gewährleisten. In einem zweiten Schritt wurden die Kriterien durch Indikatoren operationalisiert. Dabei wurden nach Möglichkeit quantitative Daten verwendet. Sofern keine entsprechenden quantitativen Daten vorhanden oder diese mit zu hoher Unsicherheit behaftet waren, wurde eine qualitative Bewertung der Indikatoren herangezogen.

3.3 Gewichtung

Die Kriterien wurden im Rahmen eines weiteren Workshops durch EntscheidungsträgerInnen und BürgerInnen von Lödersdorf und Raabau nach ihrer Wichtigkeit gereiht. Im Workshop gelang es mittels einer spielorientierten Methode eine von der gesamten Gruppe (11 TeilnehmerInnen) akzeptierte Reihung der Kriterien auszuarbeiten, wobei Kriterien auch gleichgewichtet werden konnten bzw. unterschiedliche Abstände zwischen den Kriterienrängen erlaubt waren, um größere Unterschiede im Gewicht darzustellen. Zusätzlich reihten die TeilnehmerInnen die Kriterien auch individuell. Diese individuellen Gewichte dienten zur Überprüfung der Korrelation der Einzelmeinungen mit dem Gruppenresultat und somit der Robustheit von letzterem. Die Reihungen der Kriterien wurden mittels der Simos-Methode (Figueira, J. and Roy, B., 2002) in eine prozentuelle Gewichtung der Kriterien umgerechnet.

Kriterium	Kurzbeschreibung	Indikatoren [in eckiger Klammer die jeweiligen Ziele-Minimierung/Maximierung]	Datenquellen	Einheit	Gr.-gew.
Regionale Wertschöpfung	Wertschöpfung spiegelt den Beitrag der Produktionsfaktoren zur Wertsteigerung eines Produkts wider und entspricht den daraus erhaltenen Einkommen der Eigentümer dieser Faktoren. In Bezug auf das Energiesystem würde eine Stärkung der regionalen Eigenversorgung unter Einsatz von Kapital und Arbeitskräften aus der Region eine erhöhte regionale Wertschöpfung bedeuten, würde also zu erhöhten regionalen Erträgen führen.	Regionale Wertschöpfung durch Lieferung regionaler Brennstoffe und Betrieb der Anlagen (Gewinne und Wartung) [max]	Experten-Interviews	qualitativ	10,30%
Beschäftigung	Durch den Einsatz von EET werden lokale und regionale Arbeitsplätze geschaffen und damit die Möglichkeit der BürgerInnen erhöht bzw. erhalten, einer Erwerbsarbeit nachzugehen.	Anzahl der Arbeitsplätze durch Betrieb und Wartung der Anlagen [max]	Experten-Interviews	Anzahl der Arbeitsplätze	9,50%
Klimaschutz	Die Emmission von Treibhausgasen führt zu einer anthropogen verursachten Veränderung des Klimas. Im Laufe des Lebenszyklus entstehen auch durch den Einsatz von EET klimawirksame Emissionen. Diese werden in CO ₂ -Äquivalente umgerechnet und zu diesem Kriterium aggregiert.	CO ₂ -Äquivalente [min]	GEMIS	t/TJ EE	9,50%
Luftqualität	Luftqualität definiert den Grad der Verschmutzung vom Umweltmedium Luft, eine schlechte Luftqualität verursacht Umweltprobleme und dadurch auch Gesundheitsprobleme bei Menschen. EET variieren bezüglich ihres Beitrags zur Luftverschmutzung. Hier ausgenommen sind klimawirksame Emissionen.	SO ₂ -Äquivalente [min]	GEMIS	kg/TJ EE	9,50%
		TOPP: Bodennahes Ozon [min]	GEMIS	kg/TJ EE	
		Staub [min]	GEMIS	kg/TJ EE	
optimaler Einsatz von Ressourcen	Die Effizienz der Rohstoff- und Energienutzung im gesamten Lebenszyklus eines Umwandlungs- bzw. Produktionsprozesses zeigt den verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen. Energieumwandlungsprozesse unterscheiden sich im Laufe ihres Lebenszyklus bezüglich Material- und Energieintensität.	kumulierter Energieaufwand [min]	GEMIS	GJ/TJ EE	8,70%
		kumulierter Stoffaufwand [min]	GEMIS	kg/TJ EE	
		versiegelte Fläche durch große Anlagen [min]	Experten-Interviews	m ²	
Versorgungssicherheit	Strom und Wärme soll immer dann in genügendem Ausmaß vorhanden sein, wenn die Benutzer sie benötigen. Da Strom vom überregionalen Netz stammt - und die Versorgungssicherheit damit für alle lokalen Szenarien gleich ist - werden hier nur Wärmetechnologien bewertet. <i>[Anmerk.: Die Bewertung dieses Kriteriums ergab keine Unterschiede zwischen den Szenarien. Das Kriterium spielt damit keine direkte Rolle in der Reihenfolge der Szenarien, wurde jedoch in der Analyse belassen, um der Gewichtung durch die BürgerInnen Rechnung zu tragen.]</i>	Anzahl möglicher Energieträger [max] Ausfallzeiten/betroffene Haushalte [min] Ausweichmöglichkeiten [max] Anzahl der Lieferanten [max]	Experten-Interviews Experten-Interviews Experten-Interviews Experten-Interviews	qualitativ	8,70%
Vielfalt von Technologien & Ressourcen	Durch die bewusste Förderung einer Vielfalt von Technologien, können lock-in Effekte und die Abhängigkeit von einzelnen Zulieferern und Rohstoffen reduziert werden, was vor allem in kritischen Situationen wesentlich ist.	Anzahl der verwendeten Technologien und Rohstoffe [max] und ihr jeweiliger Anteil am Gesamtenergieverbrauch [min]	eigene Abschätzung	qualitativ	8,70%
Importabhängigkeit	Die Abhängigkeit von politisch instabilen Regionen führt zu Unsicherheiten in der Versorgung und zu unvorhersehbaren Preisschwankungen. Erneuerbare Energieträger sind im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen im Inland ausreichend vorhanden, wodurch eine größere Unabhängigkeit erzielt werden kann.	Anteil erneuerbarer Energie [max]	berechnet	%	7,89%
Qualität der Landschaftsnutzung	Dieses Kriterium bezieht sich auf die ästhetischen und soziokulturellen Qualitäten der Landschaft wie sie von BewohnerInnen und BesucherInnen wahrgenommen wird. Landschaft als gestalterische bzw. ästhetische Komponente wird durch das Energiesystem beeinflusst – entweder direkt durch den Bau von EET oder indirekt durch die veränderte Landnutzung im Zuge eines eventuell vermehrten Anbaus von Energiepflanzen.	lokale Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Nutzung Erneuerbarer Energie [min]	Bürger-Interviews	qualitativ	7,89%
Zusammenhalt in der Region	Dieses Kriterium beruht auf dem Konzept des Sozialkapitals, das genau diesen Zusammenhalt durch Bindungen, die aus Vertrauen bestehen und dabei Normen erfüllen, beschreibt. Durch sozialen Zusammenhalt kann auch der Wille und die Motivation der BürgerInnen als Energieregion gemeinsame Aktionen im Bereich erneuerbare Energie oder Energieeffizienz durchzuführen, gestärkt werden.	Zusammenhalt in der Region [max]	eigene Abschätzung, Experten-Interviews	qualitativ	5,49%
Kosten für den Einzelnen und die Gemeinde	Kosten spielen in üblichen Bewertungen von Optionen oft die entscheidende Rolle. In der vorliegenden Multikriterienanalyse wurden sie nur als einer von vielen Kriterien genannt. Sie werden definiert als Summe aus Investitionskosten und laufenden Kosten bezogen auf die erzeugte Energie.	Gestehungskosten [min]	Neubarth und Kaltschmitt (Hrsg.), 2000	€/TJ EE	4,69%
Beeinflussung des Lebensraums	Neben der menschlichen Gesellschaft haben auch andere (pflanzliche und tierische) Arten ein Anrecht auf den im Gesamtsystem nur begrenzt vorhandenen Lebensraum. Dieser wird durch menschliche Eingriffe beeinflusst. Unterschiedliche EET beeinflussen den Lebensraum auf unterschiedliche Weise und in unterschiedlichem Ausmaß.	Lärm [min] Geruch [min] Beeinflussung des Lebensraums Wasser [min] Beeinflussung des Lebensraums Boden [min]	Experten-Interviews, Literatur	zu qualitativen Indikator zusammengefasst	3,89%
Anpassungsfähigkeit des Energiesystems	Technologie-Flexibilität bedeutet die Fähigkeit des Energiesystems, auf Änderungen der Rahmenbedingungen und des Bedarfs flexibel reagieren zu können. Viele Energieversorgungstechnologien sind äußerst kapitalintensiv und führen nach erfolgter Investition zu „versunkenen“, d. h. großteils irreversiblen Kosten. Im Gegensatz dazu können Kapazitätserweiterungen mit modularen Technologien schrittweise und in kleineren Etappen bewerkstelligt werden, was das Investitionsrisiko beträchtlich reduzieren kann und eine optimalere Kapazitätsplanung entsprechend der tatsächlichen Bedarfsentwicklung erlaubt (verkürzte Prognosehorizonte).	Lebensdauer [min] Modularität [max]	GEMIS eigene Abschätzung	zu qualitativen Indikator zusammengefasst	3,09%
Zugangsmöglichkeit für alle in der Region	Soziale Gerechtigkeit thematisiert unterschiedliche Zugangsbedingungen zu materiellen und immateriellen Lebensgütern für verschiedene Teile der Gesellschaft. Soziale Gerechtigkeit in Bezug auf das Energiesystem bedeutet einerseits, dass ein möglichst gleicher Zugang zu Informationen, die einen anderen Umgang mit Energie ermöglichen würden, gegeben sein muss, andererseits dass eine andere (vorteilhaftere) Energienutzung möglichst wenig durch finanzielle Gegebenheiten beschränkt sein darf.	Informationsmöglichkeiten [max] Anschlussmöglichkeit [max]	Bürger-Interviews, eigene Abschätzung	zu qualitativen Indikator zusammengefasst	1,49%
Mitbestimmung	Mitbestimmung ist ein wesentlicher Teil von "Empowerment", das die Menschen befähigen soll, ihre Stärken zu erkennen und die Entwicklung ihrer Lebensräume aktiv mitzubestimmen. Umgelegt auf das Energiesystem soll die Möglichkeit zur Mitbestimmung den Willen des Einzelnen stärken, sich aktiv für ein Energiesystem einzusetzen, das seinen Anforderungen und Wünschen entspricht und das ihm Vertrauen geben, dass man durch individuelle Entscheidungen für oder gegen ein bestimmtes System der Energieproduktion, die eigene Lebensumwelt mitgestalten kann.	Mitbestimmungsmöglichkeiten [max]	Bürger-Interviews	qualitativ	0,69%

Tabelle 1: Überblick über Kriterien, deren Kurzdefinition, verwendete Indikatoren und Gruppengewichtung (Gr.-gew.).

Obwohl, wie oben erwähnt, versucht wurde die Kriterien soweit wie möglich durch quantitative Indikatoren zu konkretisieren, war es aufgrund der dürftigen Datenlage auf Gemeindeebene und v.a. aufgrund der Miteinbeziehung vieler „soft facts“ (vor allem in der sozialen Nachhaltigkeitsdimension) in vielen Fällen notwendig, auf eine qualitative Bewertung zurückzugreifen. Diese erfolgte auf Basis von Literaturquellen sowie ExpertInnen- und BürgerInneninterviews. Die Bewertung der ökologischen Kriterien erfolgte unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus der EET mit Hilfe von Daten aus den Datenbanken GEMIS Österreich (Umweltbundesamt, 2005) und GEMIS Deutschland (Ökoinstitut, 2005).

3.4 Evaluierungsmatrix

Die Evaluierungsmatrix stellt die Auswirkungen der vier Szenarien auf die jeweiligen Kriterien (bzw. Indikatoren) dar (z.B. CO₂-Emissionen 2020 je Szenario; Arbeitsplätze im Energiesektor 2020 je Szenario). Die Matrix ist damit das Kernstück der Multikriterienanalyse. Die Daten beziehen sich nur auf den erneuerbaren Anteil der Energiebereitstellung und des Energieverbrauchs. Folglich können sie nur zur Bewertung der Szenarien bzw. zum Vergleich des in den Szenarien verwendeten Technologiemitmix herangezogen werden. Sie stellen keinen absoluten Vergleich dar und können auch nicht zur vergleichenden Bewertung von EET versus fossile Energien verwendet werden.

Diese Herangehensweise erschien insofern legitim, als das Ziel, den erneuerbaren Anteil der Energie zu erhöhen, in den Gemeinden feststand. Die Ergebnisse dienen also primär der Klärung der Frage, auf welche Weise und durch die Förderung welcher Technologien dieses Ziel erreicht werden soll.

4 Ergebnis und Diskussion

Das Ergebnis der multikriteriellen Bewertung stellte sich als sehr robust heraus. Das Szenario, das in Summe die gestellten Anforderungen am besten erfüllt, stützt sich auf zwei Grundpfeiler: (1) eine umfassende Reduktion des Energieverbrauchs bzw. Effizienzerhöhung und (2) die Förderung von kleinen, privaten Anlagen auf Basis erneuerbarer Energie (s. Sz. 4, Abschnitt 3.1.4).

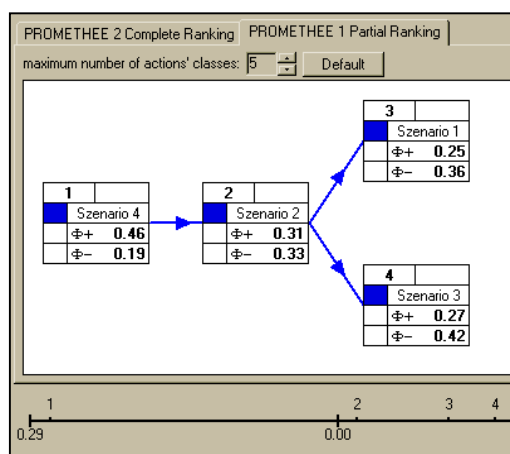


Abbildung 1: Ergebnis des partiellen Vergleichs der Optionen (PROMETHEE 1); Gruppengewichtung

Das oben erwähnte Ergebnis der Multikriterienanalyse basiert auf der Kriteriengewichtung durch die Workshop-Gruppe. Zur Sensitivitätsanalyse wurden die Berechnungen darüber hinaus mit allen zur Verfügung stehenden Individualgewichtungen durchgeführt. Das Ergebnis unterstreicht die Robustheit des Gruppenergebnisses. Das oben beschriebene Szenario 4 blieb bei allen abgegebenen Gewichtungen an erster Stelle. Variationen ergaben sich ausschließlich hinsichtlich der Reihung der Szenarien 1 bis 3.

Durch „walking weights“⁴ wurde überprüft, ab welcher Gewichtung der Kriterien „Kosten“ und „Regionale Wertschöpfung“ sich das Ergebnis ändert. Die Kosten sind in der Gruppengewichtung mit einem Gewicht von 5% vertreten, in den Individualgewichtungen variieren sie zwischen 1% und 13%. Die „walking weights“ ergaben, dass sie auf 26% erhöht werden müssten, um das Ergebnis maßgeblich zu beeinflussen. Ab dieser Schwelle wird jenes (kostengünstige) Szenario am besten bewertet, welches im Gegensatz zu Szenario 4 vor allem auf dezentrale Anlagen zur Strom und Wärmebereitstellung setzt.

Dieselbe Analyse wurde mit dem Kriterium „Regionale Wertschöpfung“ durchgeführt. Sie ist ursprünglich mit 10% in der Gruppengewichtung vertreten, in den Individualgewichtungen variiert ihr Gewicht zwischen 2% und 13%. Die beiden Szenarien, die je ein Biogasanlage vorsehen, verbessern ihre Bewertung mit steigender Wichtigkeit des Kriteriums. Das ursprünglich erstgereichte Szenario wird ab einem Gewicht von 35% durch das Szenario mit Schwerpunkt „lokale Strombereitstellung“ abgelöst.

Als weitere Sensitivitätsanalyse wurden einzelne Gruppen von Kriterien höher gewichtet (s. Abb. 2). Werden die systemisch-technischen Kriterien⁵ mit insgesamt ca. 60% (statt ursprünglich 28%) gewichtet, ändert sich am guten Abschneiden des ursprünglich bestgereichten Szenarios nichts. Dasselbe Ergebnis ist bei Höhergewichtung der Umweltkriterien⁶ (ca. 60% statt 32%) zu beobachten, wobei hier jedoch die beiden Szenarien mit Biogasanlagen mit noch größerem Abstand schlechter abschneiden und Szenario 2 („Erneuerbare Energie aus kleinen privaten Anlagen“) weit besser. Zu einer Änderung kommt es bei Höhergewichtung der Gruppe der ökonomischen Kriterien⁷ (ca. 60% statt 25%), wobei in diesem Fall nur Szenario 2 schlechter abschneidet und alle anderen relativ ähnlich bewertet werden.

⁴ Feature der verwendeten Software, bei dem einzelne Gewichte erhöht/gesenkt werden können und bei dem direkt zu beobachten ist, ab welcher Gewichtung sich die Reihung der Szenarien gegenüber der ursprünglichen Reihung verändert.

⁵ Versorgungssicherheit, Vielfalt von Technologien und Ressourcen, Importabhängigkeit, Anpassungsfähigkeit

⁶ Klimaschutz, Luftqualität, optimaler Einsatz von Ressourcen, sowie gerechte Verteilung zwischen Mensch und Umwelt

⁷ regionale Wertschöpfung, Beschäftigung, Kosten

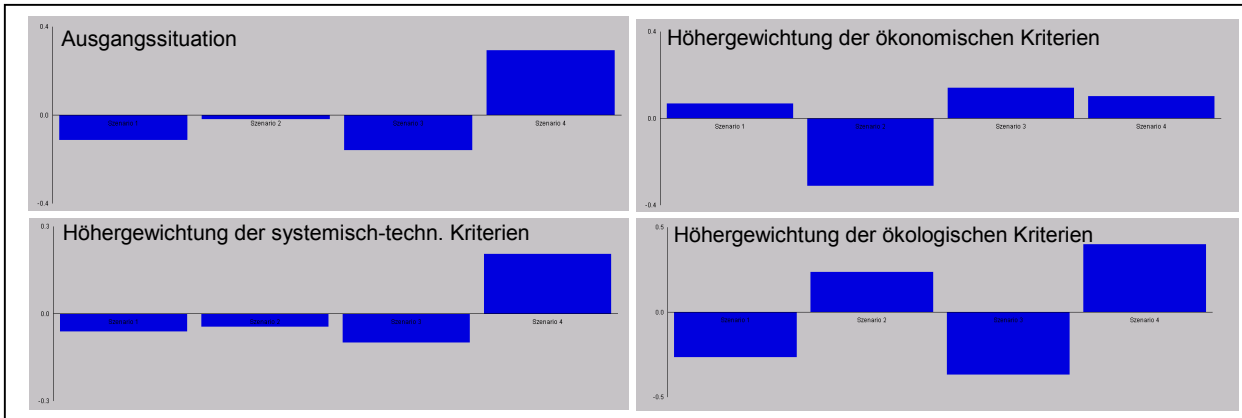


Abbildung 2: Änderung des Ergebnisses der MCDA bei Höhergewichtung von Kriteriengruppen. Je stärker der Balken nach oben zeigt, desto besser schneidet das jeweilige Szenario im Vergleich zu den anderen ab. Beschreibung der Szenarien 1-4: s. 3.1.1 – 3.1.4

Biogas

Die Technologie, die das Ergebnis am stärksten beeinflusste, war die Verwendung von Biogas in zwei Szenarien (Sz. 1 und Sz. 3). In beide Szenarien wurde je eine Anlage integriert, was dem Wunsch der Gemeinden entspricht, die vorhandene Kläranlage mit einer Biogasanlage zu koppeln. Als Ko-Substrat wird die Verwendung von Mais-Silage angedacht (Bedarf: etwa 170 ha Anbaufläche). Wegen der abgeschiedenen Lage der Kläranlage war seitens der Gemeinden nur an die Verwendung der entstehenden elektrischen Energie gedacht, die in ebensolchem Ausmaß entstehende Wärme bliebe ungenutzt.

Infolge der relativ schlechten Umweltauswirkungen dieser Technologie wurden die entsprechenden Szenarien meist auf den hinteren Rängen gereiht – außer bei hoher Gewichtung der Kosten. Um die Möglichkeit einer Veränderung des Ergebnisses durch Veränderung der Technologien zu demonstrieren, wurden Alternativszenarien entwickelt: Einerseits durch Einsatz einer Biogasanlage auf Basis von Gülle anstatt der Verwendung von Mais, andererseits durch teilweise Verwendung der entstehenden Wärme. Die Analyse zeigt deutlich, dass entsprechende Änderungen der Technologien besser mit den genannten Zielen der GemeindebürgerInnen übereinstimmen.

Anteil erneuerbarer Energie und Effizienz

Der Anteil erneuerbarer Energie, der in den Szenarien bis 2020 erreicht wird, variiert zwischen 64% und 81% des Gesamtbedarfs an Strom und Wärme. Da in der Evaluierungsmatrix nur der Anteil der EET betrachtet wird, sind die Auswirkungen durch die Bereitstellung der jeweiligen Differenz auf 100% (auf Basis fossiler Energieträger) in der Multikriterienanalyse nicht berücksichtigt. Für eine ganzheitliche Betrachtung genügt es daher nicht, das Ergebnis der Multikriterienanalyse zu berücksichtigen, sondern auch die Auswirkung des gesamten Energieeinsatzes auf die Umwelt (v.a. Treibhausgasemissionen), sowie die Konsistenz mit bestehenden Förderprogrammen müssen in Betracht gezogen werden.

So sind die Szenarien mit dem höchsten Anteil erneuerbarer Energie– also jene, in denen neben dem Einsatz erneuerbarer Energiequellen auf eine Reduktion des Strom- und Wärmeverbrauchs gesetzt wird – bezüglich ihrer Treibhausgasemissionen besser zu

bewerten als durch die Evaluierungsmatrix deutlich wird. Auch wenn dies nicht explizites Thema der Studie war, so konnte den EntscheidungsträgerInnen damit doch die Bedeutung einer Erhöhung der Energieeffizienz und von Sanierungsmaßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs gezeigt werden.

5 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Multikriterienanalyse wurden den lokalen EntscheidungsträgerInnen im November 2005 präsentiert und fließen nun in die zukünftigen Entscheidungsprozesse für die Teilnahme an einem e5-Prozess (www.e5-gemeinden.at) ein. Die wissenschaftlich gestützte Herangehensweise an diesen Prozess wurde im Rahmen vom ARTEMIS erstmals erfolgreich erprobt.

Insgesamt zeigt diese lokale Fallstudie wie ein sehr komplexes Thema (Energieversorgung) mit betroffenen BürgerInnen auf eine sozialwissenschaftlich fundierte Weise adressiert werden kann und wie auf lokaler Ebene Entscheidungshilfen zur Verfügung gestellt werden können. Neben der Tatsache, dass ein konstruktiver Diskussionsprozess in Gang gesetzt wurde, konnte durch die Szenarienbildung der Handlungsspielraum geöffnet und bewusst gemacht werden. Den EntscheidungsträgerInnen und BürgerInnen wurden die Auswirkungen von Szenarien statt von Einzelmaßnahmen vorgestellt, wodurch Effekte des lokalen Handelns aufgezeigt werden konnten und nicht die Abhängigkeit von größeren Systemen in den Vordergrund gerückt wurde. Das Potenzial der Methode könnte noch erweitert werden, wenn es gelänge, einige Unzulänglichkeiten zu beheben. So sollten folgende Aspekte bei zukünftigen ähnlichen Projekten in der Planung berücksichtigt werden: (1) Die Teilnahme von BürgerInnen an den Workshops war zwar gut, allerdings fehlte eine Ausgewogenheit hinsichtlich Geschlecht (der weitaus überwiegende Teil war männlich) und sozialem sowie politischem Hintergrund. (2) Die dürftige Datenlage auf lokaler Ebene machte es notwendig, einen Großteil der Indikatoren auf Basis von ExpertInneneinschätzungen qualitativ abzubilden. Ein verstärkter quantitative Bewertung wäre wünschenswert, um die Aussagekraft zu erhöhen. (3) Eine vermehrte Einbindung von EnergieexpertInnen wäre vorteilhaft, v.a. um innovativere Szenarien entwickeln zu können. Dies war im Projektumfang jedoch nicht vorgesehen. (4) Grundsätzlich sollte eine Gesamtbetrachtung fossiler und erneuerbarer Energietechnologien angestrebt werden, da dies den Vorteil hätte, dass die Ergebnisse einfacher zu vermitteln sind. Die Einbeziehung fossiler Technologien hätte den Rahmen dieses Projektes jedoch gesprengt.

Die Verwendung einer integrierten, prozessorientierten Bewertungsmethode basierend auf multiplen Zielen und partizipativen Elementen stellt dennoch eine erfolgsversprechende Methode als Entscheidungshilfe für einen Weg in Richtung nachhaltige Energieversorgung dar.

6 Literatur

Arbeitsgemeinschaft ECOPLAN & Factor Consulting + Management AG, 2001: Nachhaltigkeit: Kriterien und Indikatoren für den Energiebereich im Auftrag von: Bundesamt für Energie Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG). Schlussbericht Juli 2001

- Brans, J.-P. and Mareschal, B., 1990: The PROMETHEE Methods for MCDM; the PROMCALC, GAIA and Bankadvisor Software. In C. A. Bana e Costa (Ed.), *Readings in Mutiple Criteria Decision Aid*. Berlin: Springer Verlag, 216-252.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2002: Strategie Österreichs zur Erreichung des Kyotoziels. Klimastrategie 2008/2012, Vom Ministerrat angenommen am 18. Juni 2002, Wien
- European Commission, 1997: Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. Commission of the European Communities, Brussels.
- European Commission, 2001: Green Paper — Towards a European strategy for the security of energy supply. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2001: Arbeitspapier der Kommissionsdienststellen; Einbeziehung der Umweltbelange und der nachhaltigen Entwicklung in Energie- und in die Verkehrspolitik. Bewertungsbericht 2001 und Anwendung der Strategien, Brüssel, 21.3.2001, SEC(2001) 502
- Figueira, J. and Roy, B., 2002: Determining the Weights of Criteria in the ELECTRE Type Methods with a Revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research* 139, 317-326.
- Funtowicz, S., O'Connor, M. (eds.), 1999: Science for sustainable development. Special issue of *International Journal of Sustainable Development* 2(3).
- Hain, J.J. et al., 2005: Additional renewable energy growth through small-scale community oriented energy policies. *Energy Policy* 33, 1199-1212
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2005: Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Wien
- Kratena K. and Schleicher S., 2001: Energieszenarien bis 2020, Studie im Auftrag des BMWA und BMLFUW, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien
- Neubarth, Jürgen und Martin Kaltschmitt (Hrsg.), 2000: Erneuerbare Energien in Österreich. Systemtechnik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Springer Verlag Wien, New York
- OECD/International Energy Agency, 2003: Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future.
- Ökoinstitut, 2005: Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS) Version 4.3 (<http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm>). Institute for Applied Ecology e.V., Freiburg/Darmstadt, Germany.
- O'Riordan, T., 2000. Environmental science on the move. In: O'Riordan, T. (ed.) *Environmental Science for Environmental Management*. Prentice Hall, Harlow. Pp. 1-27.
- Shell International Limited (SIL), 2005: Shell Global Scenarios to 2025
- Sedmidubsky, A. und Elvira Lutter, 2003 : Daten zu erneuerbarer Energie in Österreich. Im Auftrag des Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Energieverwertungsagentur

Umweltbundesamt, 2005: GEMIS. Globales Emissionsmodell integrierter Systeme. Version 4.2. Wien.

Zelle, K. und O. Schechtner, 2004: Energie Gesamt Rechnung. Endenergieverbrauch 2000 „Lödersdorf“ und „Raabau“. Verbrauchsstrukturen aus zusammengefassten Daten von statistikbasierten EGR-Modellrechnungen für alle Gemeinden des Bundeslandes Steiermark. ADIP-Graz. 2004