

Schlussbericht zum Teilvorhaben „ENSURE 2 KIT-ITAS“

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
– Großforschungsbereich

Förderkennzeichen: 03SFK1B0-2

Projektlaufzeit: 01.02.2020 – 31.12.2023

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Datum 28.06.2024

Autoren Witold-Roger Pogonietz, Janine Gondolf, Ines Jendritzki,
Sophie Kuppler

Die Autoren sind für den Inhalt dieser Veröffentlichung verantwortlich

Die Autoren möchten sich bei den ehemaligen Kollegen Johannes Gaiser und Benjamin Kraus bedanken. Sie haben wesentlich zum Erfolg des Projektes beigetragen.

Inhaltsverzeichnis

1	Management Summary	4
1.1	Aufgabenstellung	4
1.2	Rahmenbedingungen	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4	Einordnung in den wissenschaftlichen und technischen Stand	5
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	6
1.6	Übersicht der zentralen Projektergebnisse.....	6
1.6.1	Relevanz der novellierten Szenarien für die Ergebnisse von ENSURE (AP 1.1).....	6
1.6.2	Bewertung der Nachhaltigkeit von vier regionalen Energiezukünften (AP 1.4)	6
1.6.3	Konzeptionierung der Entwicklung von Handlungsempfehlungen (AP 8.4).....	7
2	Ausführlicher Bericht	8
2.1	Erzielte Ergebnisse	8
2.1.1	AP 1.1: Fortschreibung der Storylines und Szenarien.....	8
2.1.2	AP 1.4: Regionale Nachhaltigkeitsbewertung.....	9
2.1.3	AP 8.4: Konsolidierende Arbeiten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Transfer	29
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	32
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	32
2.4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit.....	32
2.5	Forschungsergebnisse Dritter während des Vorhabens	33
2.6	Veröffentlichung der erzielten Ergebnisse.....	33
3	Anhang.....	34

1 Management Summary

An der zweiten Förderphase des Kopernikus-Projektes ENSURE waren vier Institute des KIT beteiligt: *Elektrotechnisches Institut (ETI)*, *Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI)*, *Industrielebenslehre und Industrielle Produktion (IIP)* und *Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)*. In diesem Dokument wird für das ITAS berichtet. Die Teilvorhaben des ETI, IAI und IIP sind unter gesondertem Förderkennzeichen in einem zweiten Schlussbericht beschrieben.

1.1 Aufgabenstellung

Im Kontext der zentralen Projektziele der Phase 2 von ENSURE (Erörterung von Langfristfragen im systemischen Kontext, Einbettung des Gesamtsystems in den sozioökonomischen Rahmen, Sicherstellung einer Übertragbarkeit der Ergebnisse, Finalisierung des Konzepts für die netztechnische Demonstration, Pilotierung ausgewählter Technologien), verfolgte das ITAS folgende zentrale Aufgabenstellungen:

- Bewertung der Nachhaltigkeit von vier möglichen Energiezukünften im Kreis Steinburg;
- Diskussion der Relevanz der novellierten Szenarien für die Ergebnisse von ENSURE;
- Konzeptionierung der Entwicklung von Handlungsempfehlungen.

1.2 Rahmenbedingungen

Das Konsortium des Fördervorhabens setzte sich aus Energienetzakteuren, Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen mit Sitz in der Bundesrepublik Deutschland zusammen. Neben dem KIT mit den Instituten ETI, IAI, IIP und ITAS, waren folgende Partner am Projekt beteiligt: ABB Power Grids Germany AG bzw. Hitachi Energy, Bergische Universität Wuppertal, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutsche Umwelthilfe e. V., DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut (EBI) des Karlsruher Instituts für Technologie, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V., Fachhochschule Westküste, Germanwatch e. V., Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, OFFIS e.V., Öko-Institut, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Schleswig-Holstein Netz AG, Siemens AG, SWKiel Netz GmbH, Technische Universität Dortmund, Technische Universität Ilmenau, TenneT TSO GmbH. Die Konsortialführung und Gesamtprojektleitung oblag der Siemens AG.

Das Projekt war zunächst in sieben Teilprojekte (TP) gegliedert, wurde aber mit der zweiten Verlängerungsphase um ein achttes Teilprojekt ergänzt. Jedes Teilprojekt bestand aus vier Arbeitspaketen (AP). Die behandelten Themenkomplexe über die Teilprojekte hinweg, aber auch innerhalb eines Teilprojektes waren sehr divers. Die folgende Übersicht ist daher stark verkürzt: Schwerpunkt im TP 1 waren sozioökonomische Betrachtungen zu neuen Energienetzstrukturen für die Energiewende. Das TP 2 widmete sich dem flächendeckenden Anschluss und Betrieb einer Vielzahl von flexiblen dezentralen Anlagenverbänden. Die Schaffung einer Grundlage für die netztechnische Demonstration in einer dritten Phase von ENSURE wurde in TP 3 verfolgt. Das TP 4 widmete sich dem digitalen Abbild, einer virtuellen Demonstration. TP 5 diente der Technologie- und Konzeptentwicklung und TP 6 der Pilotierung zur experimentellen Forschung. TP 7 hatte die Schaffung von Testumgebungen sowie die Norm- und Gremienarbeit zum Ziel. Das später hinzugekommene TP 8 diente der weiteren Konsolidierung der Ergebnisse und der Vorbereitung auf eine mögliche dritte Projektphase.

ITAS war in den TP 1 und 8 beteiligt. Eine genaue Aufschlüsselung nach Arbeitspaketen kann Tabelle 4 im Anhang entnommen werden. Darüber hinaus war das ITAS für die Leitung des TP 1 verantwortlich. Ebenso war ein Mitarbeiter des ITAS Mitglied des Wissenschaftlichen Beratungskreises (WBK).

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Grundlage für Planung und Ablauf des Vorhabens war die *Vorhabenbeschreibung im Rahmen der Förderinitiative „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“ (Phase 2)*, später ergänzt um die *Ergänzung zur Vorhabenbeschreibung des Kopernikus-Projektes ENSURE Phase 2* und die *Zweite Ergänzung zur Vorhabenbeschreibung des Kopernikus-Projektes ENSURE Phase 2*. Das Projekt startete Anfang Februar 2020 und sollte Ende Januar 2023 nach einer Projektlaufzeit von 36 Monaten enden. Mit der ersten Aufstockung und Verlängerung um 6 Monate wurde das Ende auf Ende Juli 2023 verschoben. Mit der

zweiten Aufstockung und Verlängerung um 5 Monate endete das Projekt Ende Dezember 2023 nach einer Projektlaufzeit von 47 Monaten.

Die Arbeiten von ITAS verteilten sich gleichmäßig über die gesamte Projektlaufzeit und bauten schrittweise aufeinander auf. In der zweiten Verlängerungsphase kam die Entwicklung eines Konzeptes zur Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen als weiteres Thema hinzu.

Der Bedarf für die erste Verlängerung und Aufstockung resultierte im Wesentlichen aus unvorhergesehenen Schwierigkeiten bei der Spezifikation, der Komponentenbestellung und der geplanten Inbetriebnahme der Pilotanlagen. Ursächlich waren dafür neben Covid-bedingten temporären Ausfällen die Verfügbarkeit von Komponenten am Weltmarkt sowie mögliche Schaltzeitpunkte im 380kV-Netz. Angeschlossenen Arbeiten im Konsortium mussten zeitlich und inhaltlich an die neuen Rahmenbedingungen angepasst werden. Die vom Konsortium mit eingeleiteten Maßnahmen ermöglichten den Testbetrieb der Pilotanlagen.

Eine zweite Verlängerung und Aufstockung wurde notwendig, um die Ergebnisse zu konsolidieren — auch für den Fall, dass keine dritte Phase folgen würde — sowie einen nahtlosen Übergang zu einer dritten Phase zu ermöglichen und die Risiken für diese zu minimieren, indem — in Anbetracht der zu diesem Zeitpunkt noch immer angespannten Liefersituation von Komponenten — beispielsweise Beschaffungen frühzeitig angestoßen werden konnten.

1.4 Einordnung in den wissenschaftlichen und technischen Stand

Aufgrund der zentralen Bedeutung von Energie für das Funktionieren moderner Volkswirtschaften sowie moderner Gesellschaften im Allgemeinen wirkt die Transformation von Energiesystemen nicht nur auf die technisch-ökonomische Ausgestaltung des Energiesystems sondern auch auf die sozioökonomische Dynamiken in einer Gesellschaft. Letzteres führt dazu, dass die Transformation auch die Handlungsmöglichkeiten von Personen und Organisationen beeinflusst, die nur mittelbar mit der Transformation zu tun haben. Dies gilt nicht nur national, sondern aufgrund der weltweiten Vernetzung von Gesellschaften und Ökonomien auch international. Allerdings erfolgt die notwendige Umsetzung, d.h. bspw. die benötigten Infrastrukturänderungen zur Stromversorgung, notwendigerweise regional oder lokal. Hierbei sind die regional unterschiedlichen kulturellen, gesellschaftlichen, politischen, ökonomischen als auch naturräumlichen Bedingungen zu beachten. Die notwendige Transformation des deutschen Energiesystems kann daher nur gelingen, wenn neben Verhaltensänderungen durch Anreize und Regulierung informierte Bereitschaft und die Mitgestaltung der unterschiedlichsten Akteure auf allen Ebenen sichergestellt werden kann¹.

Für die Entwicklung eines gesellschaftlich akzeptierten, ökonomisch und umweltbezogenen tragfähigen sowie technisch validen Energiesystems, ist eine umfassende, d.h. eine auf die Nachhaltigkeit der Energiesystems ausgerichtete, Bewertung notwendig. Hierbei ist die Einbindung von lokalen, regionalen und nationalen Stakeholdern sowie Bürgerinnen und Bürgern aus den oben genannten Gründen essenziell. Die Offenlegung der möglichen Wirkungen ist speziell für die Kommunikation mit und die Partizipation der Gesellschaft relevant. Letztendlich dient eine solche ganzheitliche Bewertung als eine Informationsbasis zur Entwicklung adäquater Strategien zur Energiewende.

Ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertungen sind in der Literatur, aber auch in der Praxis ein durchaus etabliertes Instrument. Transdisziplinär und szenarien-basierte, auf die Zukunft einer Region ausgerichtete, Nachhaltigkeitsbewertungen von Energiesystemen bilden aber bislang die Ausnahme.

Der dialogbasierte Transfer der ENSURE Lösungen in die Gesellschaft ist eines der vier Hauptziele des Projektes. Diesem Vorgehen liegen die folgenden Prämissen zugrunde: Transformationsprojekte, die – wie im Falle der Energieversorgung – krisengetrieben und damit zeitkritisch, komplex und potenziell konfliktträchtig sind, erfordern die Umstrukturierung grundlegender gesellschaftlicher Verhältnisse. Dies hat weitreichende Folgen auch für Menschen, die nicht oder nicht unmittelbar in die Transformationsanstrengungen eingebunden sind². Vor diesem Hintergrund kann die notwendige Energiewende

¹ Schippl, J. et al. (2017). *Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten: Der Ansatz der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS*. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.

² Schippl, J. et al. (2017). a.a.O.

nur gelingen, wenn neben Verhaltensänderungen durch Anreize und Regulierung auch die informierte Bereitschaft und aktive Mitgestaltung vieler Akteure und Stakeholder auf den unterschiedlichsten Ebenen sichergestellt wird³. Einen Beitrag dazu möchte ENSURE durch integriertes Vorgehen aus Öffentlichkeitsarbeit, dialogischem Wissenstransfer und einem Showroom-Konzept nach dem Serious-Games-Ansatz leisten. Der aktive Wissenstransfer aus der Gesellschaft in die Projektarbeit und umgekehrt ermöglicht es in ENSURE, lokales Wissen und Wertpräferenzen einzubringen, sowie Zusammenhänge gemeinsam zu diskutieren, um eine höhere Legitimität von Maßnahmen zu ermöglichen.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Mittels Videokonferenzen, Telefonkonferenzen und (vereinzelt) Treffen in Person fand ein regelmäßiger Austausch im Konsortium sowohl auf operativer als auch auf Leitungsebene statt. Jedoch war, bedingt durch Covid, der überwiegende Teil der Kommunikation und des Austausches auf digitale Kommunikationsmittel beschränkt. Die Beschränkung auf Video- und Telefonkonferenzen erschwerte teilweise den Austausch und damit die Zusammenarbeit, auch bei der direkten Zusammenarbeit mit Partnern an gemeinsamen Themen, andererseits konnten viele Fahrwege und -zeiten eingespart und neue Kollaborationswerkzeuge erprobt werden.

Weiterhin wurde im Projekt regelmäßig per „Webcast“ über den aktuellen Stand der verschiedenen Arbeiten informiert. Dazu wurde aus den Teilprojekten und Arbeitspaketen über die neuesten Ergebnisse berichtet und diese diskutiert. Die Webcasts wurden aufgezeichnet und die Aufzeichnung im Konsortium zugänglich gemacht. Sie dienten dabei nicht nur der Information der Projektpartner, sondern auch der Information des wissenschaftlichen Beraterkreises, welcher das Direktorium unterstützte.

Austausch innerhalb der Kopernikus-Projekte erfolgte unter anderem über die Mitglieder des Direktoriums und gemeinsame Arbeitsgruppen. Das ITAS war als Gast an der AG Szenarien beteiligt.

1.6 Übersicht der zentralen Projektergebnisse

Während der Projektlaufzeit wurden vom ITAS Arbeiten in insgesamt vier Arbeitspaketen (AP; davon zwei in der Verantwortung als AP-Leiter) erbracht: AP 1.1 „Fortschreibung der Storylines und Szenarien“, AP 1.4 „Regionale Nachhaltigkeitsbewertung“ (AP-Leitung), AP 8.1 „Konsolidierende Arbeiten im Bereich Gesamtsystembetrachtung“ und AP 8.4 „Konsolidierende Arbeiten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Transfer“ (AP-Leitung).

Im nachfolgenden werden die zentralen Ergebnisse nach den Arbeitspaketen AP 1.1, AP 1.4 und AP 8.4 gegliedert dargestellt. Zwar war ITAS ebenfalls im AP 8.1 tätig; die dort eingebrachten Beiträge basieren im Wesentlichen auf die Ergebnisse des MS1.4.5 „Anpassung der Nachhaltigkeitsbewertung an die Phase 3“, ergänzt um Erkenntnisse aus MS1.4.4 „Aktualisierung der Nachhaltigkeits- und Umweltbewertung“, die im Rahmen von AP 1.4 entwickelt wurden. Daher wird auf eine Dokumentation des AP 8.1 verzichtet.

1.6.1 Relevanz der novellierten Szenarien für die Ergebnisse von ENSURE (AP 1.1)

Im Rahmen der ersten Verlängerung der Phase 2 wurde die Frage diskutiert, inwieweit die im ENSURE-Projekt entwickelten Szenarien für die Arbeiten im Konsortium relevant waren. Um die Frage zu beantworten, wurden u.a. die Meilensteinberichte, die bis zum 28.07.2023 in dem Verzeichnis „Meilensteine“ der jeweiligen Arbeitspakete auf dem SharePoint des Projektes zu finden waren, ausgewertet. Zusammenfassend gilt, dass ENSURE-Szenarien i.A. nur dann eine Rolle für die Arbeiten spielten, wenn eine Verbindung zwischen dem Thema eines Meilensteins zur möglichen Ausgestaltung des Energiesystems in den Jahren 2030 und / oder 2045/50 gesehen wurde. Eine Vielzahl von Arbeiten zielte auf die Entwicklung von Lösungen, die unabhängig von einer möglichen konkreten Ausgestaltung des zukünftigen Energiesystems ihre Gültigkeit haben sollten oder die aufgrund des relevanten Analysezeithorizonts der ENSURE-Szenarien nicht nutzen konnten.

1.6.2 Bewertung der Nachhaltigkeit von vier regionalen Energiezukünften (AP 1.4)

Auf Basis von vier regionalisierten Energieszenarien wurden für den Kreis Steinburg mögliche Energiezukünfte identifiziert und beschrieben. Die vier entwickelten Energiezukünfte unterscheiden sich im

³ Kühne, O. & Weber, F. (Hrsg.) (2018). *Bausteine der Energiewende*. Wiesbaden: Springer VS.

Wesentlichen hinsichtlich der klimapolitischen Ambitionsziele aber auch hinsichtlich der Organisation der Bereitstellung von Elektrizität. Im Rahmen der Phase 2 wurden die Energiezukünfte zunächst für das Zieljahr 2050 beschrieben; durch die durchgeführte Aktualisierung der Energieszenarien erfolgte eine Anpassung der untersuchten Energiezukünfte an das Jahr 2045.

Betrachtet man die Ergebnisse der durchgeführten Analysen, so weist keine der untersuchten Energiezukünfte eine Performanz auf, die alle anderen Alternativen übertrifft. Die vier betrachteten Szenarien zeigen aus Nachhaltigkeitssicht sowohl Vorteile als auch Nachteile auf. Beispielsweise weist das Szenario mit den höchsten klimapolitischen Ambitionen, welches bei den meisten Bewertungskriterien die beste Wertung erhält, bei dem Bewertungskriterium Energiearmut den zweitschlechtesten Wert auf. Das Szenario, welches ein dezentrales Energiesystem annimmt, zeigt hinsichtlich der Luftschadstoffemissionen die beste Performanz auf, während es hinsichtlich der Beschäftigungseffekte den schlechtesten Wert realisiert. Das Referenzszenario wiederum realisiert den besten Wert bspw. beim Landschaftsbild; aber den schlechtesten bei Luftschadstoffemissionen.

Berücksichtigt man bei der Bewertung explizit gesellschaftliche Präferenzstrukturen, so zeigt sich, dass das Szenario mit dem ambitioniertesten klimapolitischen Ziel, unabhängig davon, ob eher ökonomisch, umweltbezogene oder gesellschaftliche Faktoren als am Wichtigsten angesehen werden, die höchste Zustimmung erwarten dürfte. Dahingegen lässt die Analyse vermuten, dass das Referenzszenario eher nicht präferiert werden würde. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass die ökonomische Basis des Kreises Steinburg die Bereitstellung erneuerbarer Energien bildet. Eine erfolgreiche Transformation würde für die Region einen ökonomischen Vorteil bieten, die sich im Kreis auch positiv auf soziale und umweltbezogene Faktoren auswirken würde. Mögliche Nachteile, bspw. bezogen auf das Landschaftsbild, würden auch bei einer ausgeprägten Präferenz hinsichtlich umweltbezogener oder gesellschaftlicher Faktoren, die positive Bewertung nicht entscheidend negativ beeinflussen.

Die methodischen Erkenntnisse aus den Arbeiten zur Nachhaltigkeitsbewertung im Kreis Steinburg zeigen einen grundsätzlichen Unterschied zu einer Systembewertung. Nachhaltigkeitsbewertungen zukünftiger Technologien oder Systeme unterstellen in der Regel deren technische Funktionsfähigkeit. Diese Vorgehensweise ist aus Sicht der Nachhaltigkeitsbewertung ein zulässiger Schritt. Diese Annahme kann aber, gerade bei der Bewertung von komplexen Systemen, zu einem Bias zugunsten oder auch zu Lasten einer innovativen Lösung führen, da die Zuverlässigkeit des Systems nicht hinreichend berücksichtigt werden kann. Hinzu kommt, dass die Reihenfolge der Vorgehensweise – erst Prüfung der Funktionsfähigkeit und dann Prüfung der Nachhaltigkeit – eine zeitliche Verlängerung des Bewertungsprozesses bewirkt, die in der Praxis nicht unbedingt gewollt ist.

Aus diesen Überlegungen heraus ist eine enge Verzahnung der systemischen Bewertung als Nachweis der prinzipiell gesicherten Funktionsfähigkeit der innovativen Lösungen aus systemischer Sicht und der Nachhaltigkeitsbewertung bedenkenswert. Die eigentliche Bewertung kann unabhängig voneinander durchgeführt werden. Zum Abschluss müssen aber die Bewertungsergebnisse zu einer gesamten Bewertung zusammengeführt werden.

1.6.3 Konzeptionierung der Entwicklung von Handlungsempfehlungen (AP 8.4)

Die Handlungsempfehlungen aus ENSURE, die in 2026 auf Grundlage zehnjähriger Forschung ausgesprochen werden sollen, sollen in einem dialogbasierten Wissenstransferprozess erarbeitet und kommuniziert werden. Dieser Prozess umfasst konzeptionell die Vorbereitung, Durchführung und Aufbereitung des Austauschs mit verschiedenen Ziel- und Interessengruppen mit dem Ziel der Erarbeitung handlungsrelevanter Empfehlungen, die auf den in ENSURE erarbeiteten und getesteten Lösungen basieren. In diesem Meilenstein wird ein erster Ablaufplan dargelegt. Ein finaler Ablaufplan, der die relevanten Einzelschritte detailliert konkretisiert und damit die Vorbereitung abschließt, folgt in der Phase 3 von ENSURE. Damit verbunden ist eine Konkretisierung der relevanten Adressaten, Interessengruppen und weiteren Stakeholder, wobei auch deren potenzielle Erwartungen an die Handlungsempfehlungen identifiziert werden.

Die Ergebnisse werden in ENSURE Phase 3 im Teilprojekt 4 „Dialogbasierter Transfer der ENSURE-Lösungen“ aufgegriffen und weitergeführt.

2 Ausführlicher Bericht

2.1 Erzielte Ergebnisse

Während der Projektlaufzeit wurden vom ITAS Arbeiten in insgesamt vier Arbeitspaketen (davon zwei in der Verantwortung als AP-Leiter) erbracht. Eine Übersicht aller Arbeitspakete und Meilensteine mit Beteiligung durch das ITAS findet sich im Anhang. Im Folgenden werden die getätigten Arbeiten und die wesentlichen Ergebnisse aufgeschlüsselt nach Arbeitspaketen beschrieben.

2.1.1 AP 1.1: Fortschreibung der Storylines und Szenarien

Im Rahmen der ersten Verlängerung der Phase 2 wurde die Frage untersucht, inwieweit die im ENSURE-Projekt entwickelten Szenarien unmittelbar oder mittelbar – hier i.A. über die regionalisierten Szenarien aus AP 2.1 – für die Arbeiten im Konsortium relevant waren. Zur Beantwortung der Frage wurden verschiedene Methoden angewendet, die im MS1.1.5 „Relevanz der novellierten Szenarien für die Ergebnisse von ENSURE“ genauer beschrieben sind. Im Folgenden werden nur die Vorgehensweise und die zentralen Ergebnisse des Teils des Meilensteins beschrieben, welches von KIT ITAS verantwortet wird.

Die Grundlage der Analyse bilden die Meilensteinberichte, die bis zum 28.07.2023 in dem Verzeichnis „Meilensteine“ der jeweiligen Arbeitspakete auf dem SharePoint des ENSURE-Projektes zu finden waren, unabhängig vom Arbeitsstand. Das heißt, auch solche Meilensteinberichte wurden berücksichtigt, die zum 28.07.2023 noch nicht finalisiert waren. Nach Möglichkeit wurde die Langfassung des jeweiligen Meilensteinberichts als Grundlage der Analyse genommen; in vielen Fällen liegt aber nur die Kurzfassung vor.

Insgesamt konnten 120 Meilensteinberichte ausgewertet werden. Vielfach wurden Meilensteine in mehrere Berichte aufgeteilt, aber auch zusammengelegt, so dass sich eine Abweichung zu der ursprünglich geplanten Anzahl an Meilensteinen ergibt. Da die Grundlage der Analyse allein die vorliegenden Meilensteinberichte bilden und keine weiteren Nachfragen etc. durchgeführt wurden, ist nicht auszuschließen, dass ENSURE-Szenarien in den Arbeiten zu den Meilensteinen eine Rolle spielten, diese jedoch als nicht erwähnenswert angesehen wurden. Dies gilt insbesondere dann, wenn nur eine Kurzfassung des Meilensteinberichts vorliegt. Aus unterschiedlichen Gründen ist aber die Wahrscheinlichkeit eher gering anzusehen, dass dies tatsächlich erfolgte. Von den 120 Meilensteinen wurden die MS1.1.1 und MS1.1.2 in der Analyse nicht berücksichtigt, da in diesen die ENSURE-Szenarien sowie die aktualisierten ENSURE-Szenarien beschrieben werden. Von den 118 Meilensteinberichten, die für die Analyse als relevant angesehen wurden, konnten 24 Meilensteinberichte identifiziert werden, die einen unmittelbaren oder mittelbaren Bezug zu ENSURE-Szenarien aufweisen.

Bei einer unmittelbaren Nutzung der ENSURE-Szenarien kann man verschiedene Vorgehensweisen identifizieren.

1. Die ENSURE-Szenarien bilden einen Diskussions- oder Analyserahmen, ohne dass die in AP 1.1 ermittelten Daten, wie z.B. Energienachfrage, für weitere Berechnungen genutzt wurden. Weiterhin sind Arbeiten zu nennen, die einen Bezug zu den ENSURE-Szenarien herstellen; diesen aber nicht vertiefen.
2. Die ENSURE-Szenarien bilden einen relevanten Dateninput zur Regionalisierung der Storylines und Szenarien aus TP 1 für 2030 und 2050 bzw. 2045. Diese erfolgte zum einen zur Regionalisierung der Erzeugungskapazitäten von Strom. Zum anderen wurden die ENSURE-Szenarien zur Ermittlung der regionalisierten Gasbedarfe in ausgewählten Regionen verwendet.
3. Die Daten aus den ENSURE-Szenarien wurden mit weiteren Daten verschnitten, um spezifische Themen bearbeiten zu können.

Bei einer mittelbaren Nutzung der ENSURE-Szenarien bilden die regionalisierten Szenarien i.A. die Grundlage für die Verbindung: In den betroffenen Meilensteinen wurden nur auf die regionalisierte Energieszenarien Bezug genommen.

Die vorliegende Analyse hat sich auf die Bezüge fokussiert, wie sie in den Meilensteinberichten beschrieben werden. Weitere Verbindungen wurden nicht berücksichtigt. Tatsächlich sind aber solche

Verbindungen nicht auszuschließen; hier bedarf es aber einer vertieften Analyse der Verknüpfungen der Meilensteine.

Zusammenfassend gilt, dass ENSURE-Szenarien i.A. nur dann eine Rolle für die Arbeiten spielten, wenn eine Verbindung zwischen dem Thema eines Meilensteins zur möglichen Ausgestaltung des Energiesystems in den Jahren 2030 und / oder 2045/50 gesehen wurde. Eine Vielzahl von Arbeiten in ENSURE zielte auf die Entwicklung von Lösungen, die unabhängig von einer möglichen konkreten Ausgestaltung des zukünftigen Energiesystems ihre Gültigkeit haben sollten oder die aufgrund des relevanten Analysezeithorizonts die ENSURE-Szenarien nicht einsetzen konnten. Dies sind Arbeiten, die Konzepte, Algorithmen oder Technologien in den Vordergrund stellten.

2.1.2 AP 1.4: Regionale Nachhaltigkeitsbewertung

2.1.2.1 Konzept zur regionalen Nachhaltigkeitsbewertung

2.1.2.1.1 Einleitung

Die durchgeführte Nachhaltigkeitsbewertung zielte darauf ab, die in ENSURE für Deutschland entwickelten und an den Kreis Steinburg adaptierten Energiezukünfte aus einer ganzheitlichen Sicht zu bewerten.

Im Folgenden wird das Konzept der durchgeführten Nachhaltigkeitsbewertung beschrieben, wie es in den Meilensteinen MS1.4.1 „Konzept zur regionalen Nachhaltigkeitsbewertung“ und MS1.4.3 „Bewertung der Nachhaltigkeit des Energiekosmos ENSURE, einschl. einer Faktorenanalyse der Technologiediffusion“ detailliert dargestellt wird.

2.1.2.1.2 Integrative Konzept Nachhaltiger Entwicklung (IKoNE)

Die im Kontext von ENSURE durchgeführte Nachhaltigkeitsbewertung orientiert sich an das Integrative Konzept Nachhaltiger Entwicklung (IKoNE) der Helmholtz-Gesellschaft⁴. Die Grundidee von IKoNE basiert auf der Definition der Brundlandt-Kommission und weiterer zentraler Dokumente der Nachhaltigkeitsdiskussion⁵. Daraus ergeben sich drei konstitutive Elemente für eine nachhaltige Gesellschaft⁶:

- die inter- und intragenerationale Gerechtigkeit,
- die Berücksichtigung der globalen Perspektive, sowie
- eine anthropozentrische Perspektive.

Diese drei konstitutiven Elemente bilden die Grundlage für drei Nachhaltigkeitsziele:

- Sicherung der menschlichen Existenz,
- Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials,
- Bewahrung der gesellschaftlichen Möglichkeiten zur Entwicklung der Gesellschaft.

Die drei Nachhaltigkeitsziele erfordern eine weitere konzeptionelle Konkretisierung, um diese in einem nachgelagerten Schritt mit Hilfe von Indikatoren zu operationalisieren bzw. um eine Nachhaltigkeitsbewertung durchführen zu können.

Die konzeptionelle Konkretisierung erfolgt durch die Identifikation von sog. Nachhaltigkeitsregeln, wobei zwischen substanziellen und instrumentellen Nachhaltigkeitsregeln unterschieden wird. Die substanziellen Regeln kann man als „Was-Regeln“ verstehen. Diese Regeln bestimmen die inhaltlichen Mindestanforderungen, denen eine nachhaltige Entwicklung genügen muss. Die instrumentellen Regeln adressieren die „Wie-Regeln“: Welche institutionellen, politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen müssten gegeben sein, um eine nachhaltige Entwicklung in die Praxis umzusetzen? Nachfolgende Tabelle 1 bietet einen Überblick über Ziele und substanziellen Nachhaltigkeitsregeln, die im Fokus der im Projekt durchgeführten Bewertung standen.

⁴ Kopfmüller, J. et al. (2001). *Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet: Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren*. Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland. BADEN-Baden. Edition Sigma.

⁵ Grunwald, A. & Kopfmüller, J. (2012). *Nachhaltigkeit*. 2., aktualisierte Auflage. Campus: Frankfurt

⁶ Kopfmüller et al. (2001). a.a.O.

Tabelle 1: IKoNE Nachhaltigkeitsziele und -regeln (Kopfmüller et al., 2001)

Nachhaltigkeitsziele		
1. Sicherung der menschlichen Existenz	2. Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials	3. Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten
Substanzielle Nachhaltigkeitsregeln		
1.1 Schutz der menschlichen Gesundheit	2.1 Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen	3.1 Chancengleichheit hinsichtlich Bildung, Beruf, Information
1.2 Gewährleistung der Grundversorgung	2.2 Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen	3.2 Partizipation an Gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen
1.3 Selbstständige Existenzsicherung	2.3 Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke	3.3 Erhaltung des kulturellen Erbes und der kulturellen Vielfalt
1.4 Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten	2.4 Vermeidung unververtretbarer technischer Risiken	3.4 Erhaltung der kulturellen Funktion der Natur
1.5 Ausgleich extremer Einkommens- und Vermögensunterschiede	2.5 Nachhaltige Entwicklung des Sach-, Human- und Wissenskapitals	3.5 Erhaltung der sozialen Ressourcen

2.1.2.1.3 Vorgehensweise

Die Nachhaltigkeitsbewertung der untersuchten Energiezukünfte ist als ein mehrstufiger Prozess konzipiert worden (Abbildung 1).

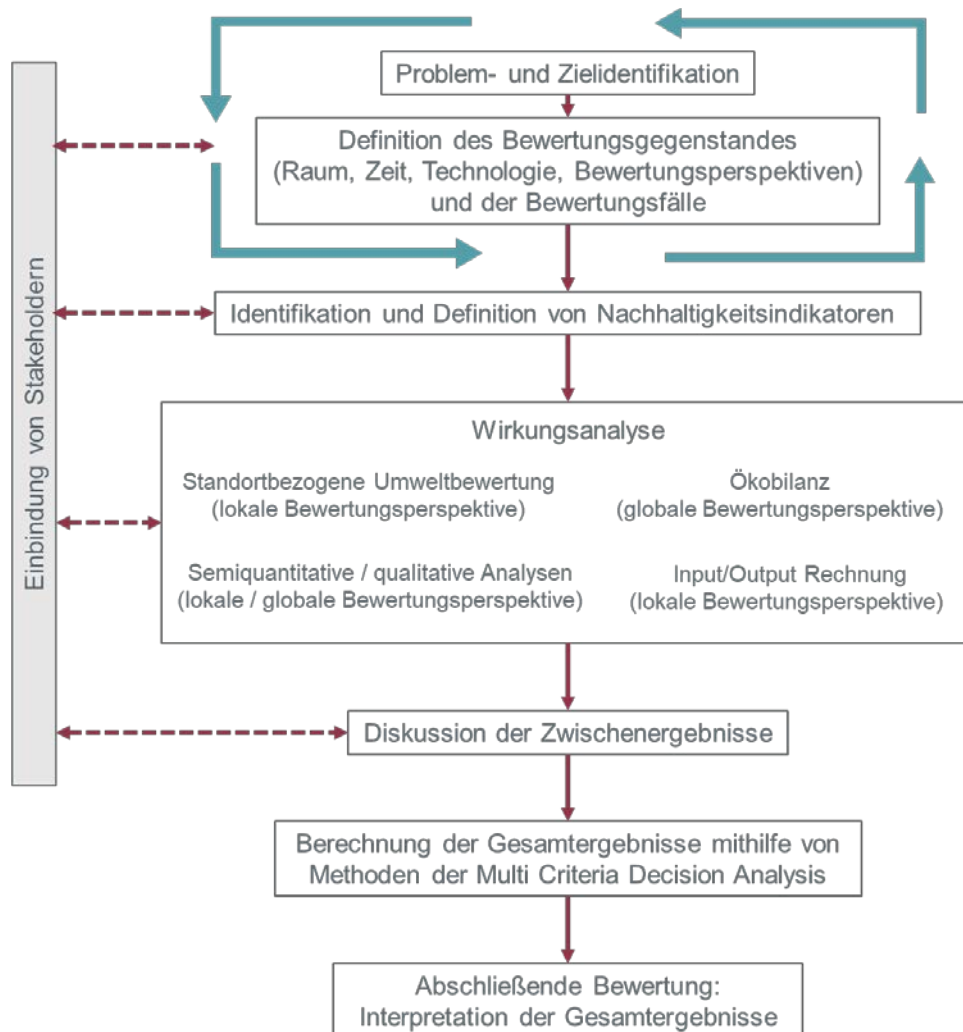


Abbildung 1: Schema zur Vorgehensweise für die regionale Nachhaltigkeitsbewertung

Ausgangspunkt der Nachhaltigkeitsbewertung bildet die Problem- und Zielidentifikation, die in einem iterativen Prozess den Bewertungsgegenstand festlegt. Da die durchgeführte Nachhaltigkeitsbewertung indikatorbasiert angelegt ist, bildet die Identifikation und Definition der relevanten Nachhaltigkeitsindikatoren einen zentralen Schritt. Dieser basiert auf der Festlegung der relevanten Nachhaltigkeitsregeln und Bewertungskriterien. Nach Festlegung der Nachhaltigkeitsindikatoren müssen im Rahmen einer Wirkungsanalyse die Indikatorwerte ermittelt werden. Hierzu werden typischerweise eine Vielzahl von Methoden angewendet. Die sich ergebenden Ergebnisse werden auf Plausibilität validiert.

Im Rahmen von ENSURE wurden die dargestellten Schritte in einem engen Austausch mit Stakeholdern aus dem Kreis Steinburg durchgeführt. Hierzu wurden insgesamt drei Workshops durchgeführt. Der erste Workshop, der am 17.02.2021 stattfand, hatte zum Ziel mit Personen vor Ort die Identifikation regional bedeutsamer Nachhaltigkeitsthemen zu diskutieren. Im zweiten Workshop am 01.09.2021 wurden zentrale Ergebnisse des ersten Workshops aufgegriffen und insbesondere finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten sowie lokale Umweltaspekte vertieft diskutiert. Im konkreten Fall stand die Frage, welche Vorstellungen die Stakeholder im Kreis Steinburg hinsichtlich der Ausgestaltung der Partizipation und Teilhabe bei der Durchführung der regionalen Energiewende haben. Aufgrund der Covid-Pandemie fanden beide Workshops online statt. Im letzten Workshop am 23.06.2022 wurden die Ergebnisse mit den Stakeholdern vor Ort diskutiert. Diese Veranstaltung fand in Neuenbrook statt.

Wie zu erwarten war, konnte kein „bestes“ Energieszenario identifiziert werden. Darum wurde mit Hilfe des multikriteriellen Entscheidungsanalyse (Multicriterial Decision Analysis, MCDA) ein Bewertungsraster entwickelt. Dieses wurde abschließend auf die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung angewendet. Eine Diskussion mit den Stakeholder vor Ort konnte aus zeitlichen und finanziellen Gründen nicht mehr durchgeführt werden.

Im Folgenden werden einige Schritte vertieft dargestellt.

2.1.2.1.4 Bewertungsgegenstand

Mit dem Bewertungsgegenstand wird der technologische, räumliche, zeitliche, gesellschaftliche und ökonomische Bezug (Scope) der Nachhaltigkeitsbewertung festgelegt. Eine präzise Beschreibung des Bewertungsgegenstands ist aus mehreren Gründen notwendig. Zum einen bildet die Beschreibung die Basis für eine problemadäquate Definition und Quantifizierung der Indikatoren der Nachhaltigkeitsbewertung und der Umweltbewertung. Zum anderen dient die Beschreibung als Basis für die Kommunikation der Ergebnisse mit den Projektpartnern und der Öffentlichkeit.

Daraus ergeben sich insgesamt fünf Kriterien, anhand derer der Bewertungsgegenstand charakterisiert wird:

- Raum
- Zeit
- Technisches System
- Ökonomie
- Gesellschaft

Die letzten beiden Kriterien bilden gleichzeitig den gesellschaftlichen und ökonomischen Kontext, in dem der Bewertungsgegenstand eingebettet ist. Durch die Wahl des Raums wird implizit der ökonomische und gesellschaftliche Kontext, in dem sich die Bewertungen bewegen, genauer definiert. Daher wird, soweit nicht notwendig, auf eine weitere Konkretisierung des gesellschaftlichen und ökonomischen Kontexts verzichtet.

2.1.2.1.4.1 Raum

Der Kreis Steinburg bildet den regionalen Bezugspunkt für die Nachhaltigkeitsbewertung und ist in Abbildung 2 eingezeichnet. Ursprünglich war angedacht worden, den als Energiekosmos ENSURE bezeichneten Raum als Bezugspunkt zu verwenden, welcher sich aus mehreren Gemeinden in den Kreisen Steinburg, Pinneberg und Segeberg zusammensetzt (s. Abbildung 2). In der Nachhaltigkeitsbewertung wird aber eine Vielzahl von Daten verwendet, die auf der Ebene der Gemeinde nicht verfügbar sind. Die kleinste administrative Einheit für hinreichend verlässliche Daten ist die Kreisebene. Da alle Kerngemeinden des Energiekosmos im Kreis Steinburg liegen, wurde dieser als Bezugspunkt gewählt.

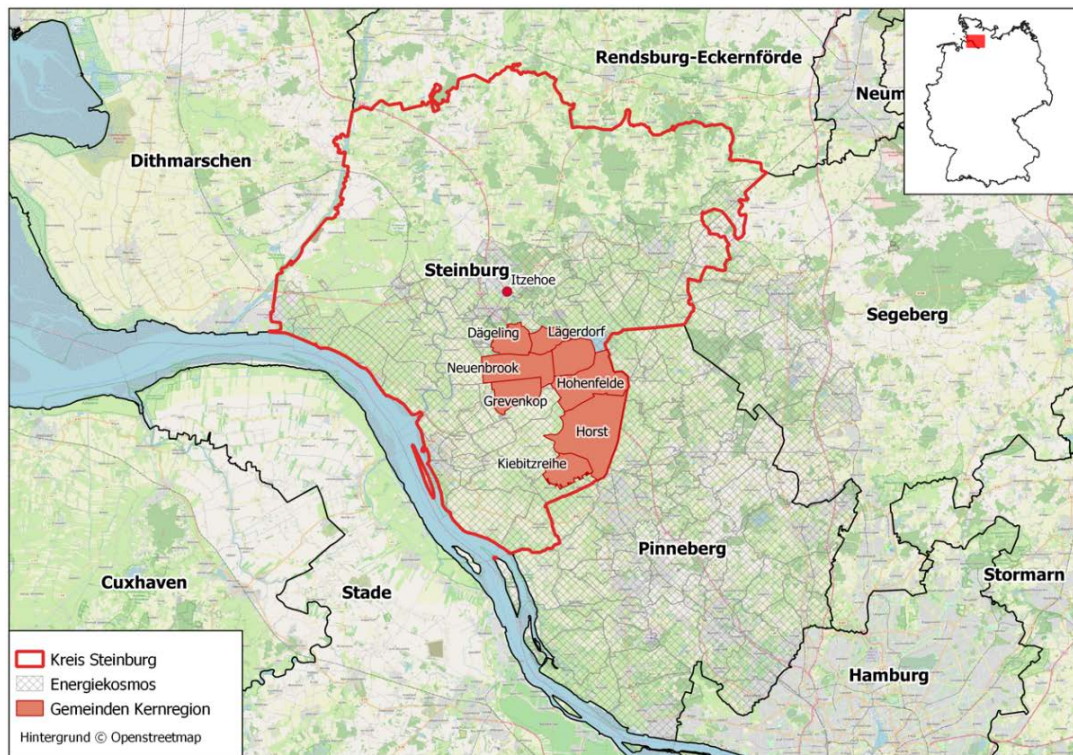


Abbildung 2: Untersuchungsraum Kreis Steinburg mit Kernregion des Energiekosmos ENSURE (eigene Darstellung auf Basis von OpenStreetMap, CC BY-SA 2.0)

Auch wenn der Kreis Steinburg den regionalen Fokus der Nachhaltigkeitsbewertung bildet, so wurde in der Bewertung die Einbettung der Region in das weitere sozioökonomische und geographische Umfeld berücksichtigt. Die regionale Entwicklung wird wesentlich durch sozioökonomische, regulative und technische Entwicklungen von außerhalb beeinflusst. Dies bezieht sich zum einen auf Entscheidungen durch das Land Schleswig-Holstein, die Bundesrepublik Deutschland als auch durch die Europäische Union (EU). Zusätzlich können auch gesellschaftliche und ökonomische Entscheidungen sowie technologische Entwicklungen das Energiesystem in der Region beeinflussen.

Darüber hinaus werden sich die Entscheidungen in der Region sowohl hinsichtlich der Nachfrage nach Energie als auch hinsichtlich möglicher Investitionen in die Energieinfrastruktur und -bereitstellung auf vorgelagerte und außerhalb der Region liegende Lieferketten auswirken. Um eine umfassende Bewertung sicherzustellen, werden diese Effekte ebenfalls berücksichtigt. Die Wirkungen auf die Lieferketten außerhalb des Kreises werden in einer Region, die als „Rest der Welt“ bezeichnet wird, zusammengefasst.

2.1.2.1.4.2 Zeit

Die durchgeführte Nachhaltigkeitsbewertung ist als eine prospektive Bewertung angelegt. Das gewählte Referenzjahr entspricht dem der Energieszenarien, wie sie im AP 1.1 entwickelt wurden. Die ursprüngliche Nachhaltigkeitsbewertung basierte auf den Energieszenarien aus Phase I und hatte das Jahr 2050 als Zieljahr. In der Phase 2 erfolgte eine Aktualisierung der Szenarien, die auch zu einer Änderung des Zieljahres führte. Dieses ist nun das Jahr 2045.

2.1.2.1.4.3 Technisches System

Die Grundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung bildet das regionale Energiesystem des Kreises Steinburg im Jahr 2050 bzw. 2045. Dieses umfasst die Energieversorgung und den Transport aller lokal relevanten Energieträger und -formen, das heißt Strom und Wärme, fossile, biogene und synthetische Gase und Kraftstoffe, Biomasse und Kohle. Dabei wird die Bereitstellung von Energie für Mobilität (Personen- und Güterverkehr), Industrie (inklusive Prozesse für Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)) sowie für Gebäude berücksichtigt. Bei der Betrachtung des gesamten Energiesystems werden die Beziehungen zwischen den einzelnen Energieträgern einbezogen. Dieser Zusammenhang ist in

zukünftigen Energieszenarien aufgrund der zunehmenden Kopplung der Energiesektoren mit der Elektrifizierung von Kraftstoffen und Wärme von hoher Relevanz. Da manche Energiebedarfe durch verschiedene Energieträger gedeckt werden, wird durch die Berücksichtigung aller Energieträger zudem verhindert, dass Verzerrungen in der Bewertung entstehen.

Abbildung 3 stellt den Umfang des untersuchten Systems dar. Die regionale Nachhaltigkeitsbewertung nimmt sowohl eine lokale als auch eine bedarfsorientierte globale Perspektive ein. Die lokale Perspektive berücksichtigt alle relevanten Auswirkungen innerhalb des Kreises Steinburg, die mit dem Energiesystem zusammenhängen. Dazu gehören alle Energieinfrastrukturen und die damit verbundenen Auswirkungen durch Erzeugung, Transport, Speicherung und Nutzung von Energie. Diese Perspektive folgt dem Quellenprinzip. Die nachfrageorientierte Perspektive berücksichtigt nach dem Verursachungsprinzip alle Auswirkungen, die durch die Energienachfrage des Kreises Steinburg induziert werden. Dazu gehören alle Auswirkungen der Erzeugung, des Transports, der Speicherung und der Nutzung von Energie entlang des Lebenszyklus, unabhängig von ihrem Standort. Die durchgeführte Studie basiert auf der Annahme, dass der lokale Energiebedarf zunächst durch das lokale Angebot gedeckt wird. Nur wenn diese nicht ausreicht, wird Energie zur Bedarfsdeckung importiert.

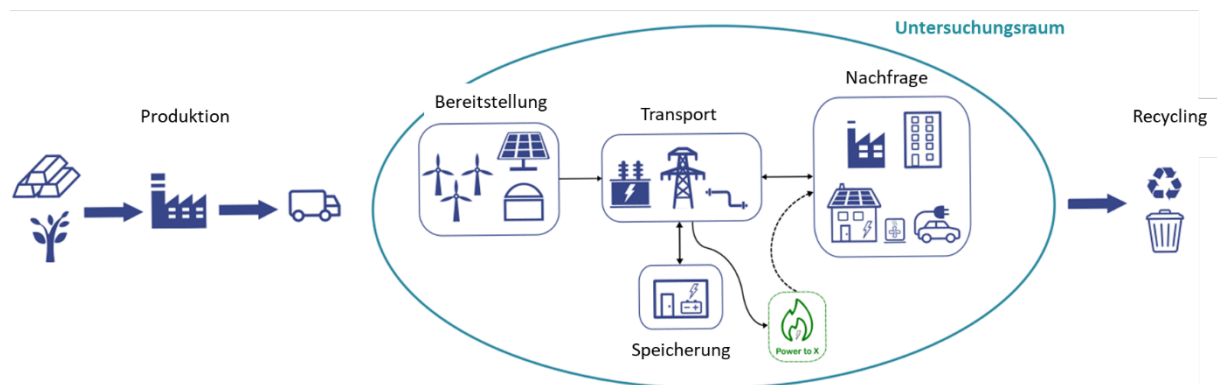


Abbildung 3: Schematisch dargestellter Bewertungsgegenstand der regionalen Nachhaltigkeitsbewertung

Grundlage der Bewertung sind die Endenergiebedarfe der Sektoren Industrie, Gebäude (Haushalte und GHD) und Verkehr sowie die durch die Region bereitgestellte Energie. Abbildung 4 zeigt eine vereinfachte Darstellung des betrachteten Energiesystems und dessen Komponenten. Die Bewertung umfasst alle Vorketten. Teilweise finden die Prozesse der Energieerzeugung und der Umwandlung in der Region statt, teilweise außerhalb.

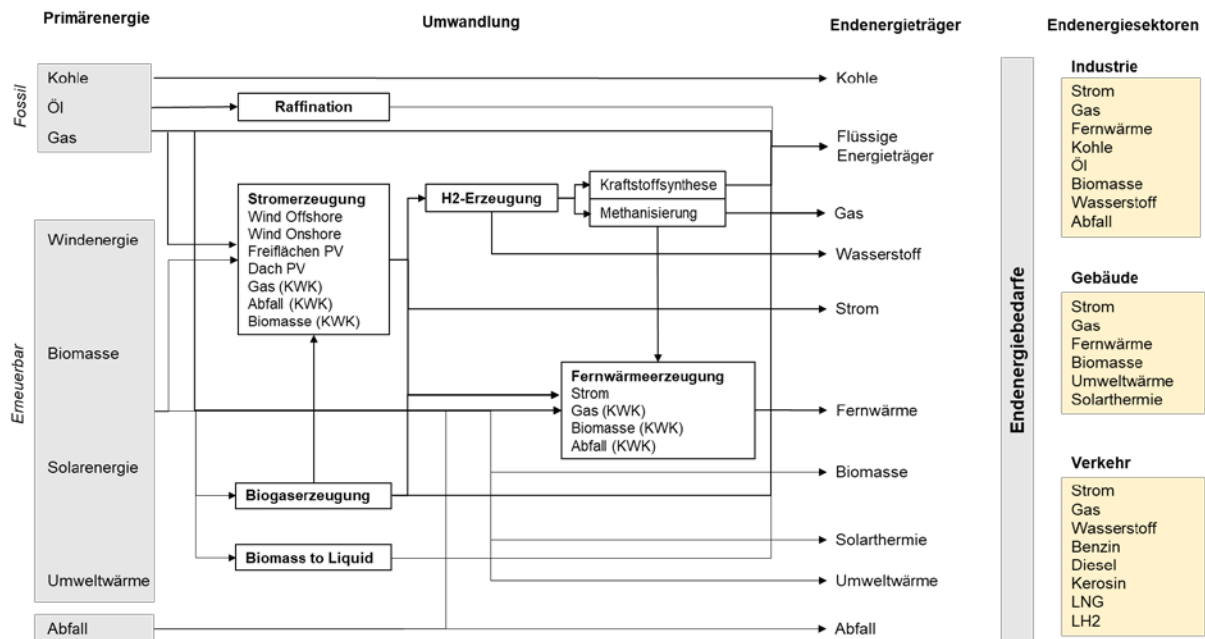


Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung des betrachteten Energiesystems (Energieträger und Energieflüsse)

Prozesse, die nicht direkt mit dem Energiesystem verknüpft sind, wie beispielsweise das Abfangen und Speichern prozessbedingter Treibhausgasemissionen, werden nicht in der Bewertung berücksichtigt. Im Bereich der Nutzung mussten aus praktischen Gründen Abstriche vorgenommen werden. So wurde zwar die Herstellung von Heizungsanlagen (beispielsweise Wärmepumpen) berücksichtigt, die Produktion von Fahrzeugen oder Industrieanlagen jedoch nicht, obwohl diese den letzten Schritt der Energieumwandlung vornehmen. Diese Einschränkung musste aufgrund des hohen Aufwands erfolgen. Im Rahmen des Projektes war keine vollständige Modellierung der vielfältigen Anlagentypen möglich, die zu diesen Zwecken in Frage kommen. Die betriebsbedingten Auswirkungen wie zum Beispiel die Emissionen aus Industrieanlagen wurden jedoch vollständig einbezogen.

Da die Region mehr Strom bereitstellt als sie nachfragt, wird im Rahmen der Bewertung angenommen, dass die Stromnachfrage der Region mithilfe des regionalen Strommix gedeckt wird. Dieser regionale Strommix enthält neben dem Strom aus Erzeugungsanlagen, die im Kreis Steinburg verortet werden, auch Strom aus den Windkraftanlagen (WKA) auf See, die dort in das Stromnetz einspeisen.

Die Beschreibung des möglichen zukünftigen Energiesystems im Kreis Steinburg erfolgt mit Hilfe von vier Energieszenarien, die in AP 1.1 entwickelt wurden. Das Szenario A stellt die Referenz für die weiteren Bewertungen dar. Für das Referenzszenario wurde ein klimapolitisches Emissionsziel definiert, welches eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 85% gegenüber dem Jahr 1990 bis zum Zieljahr vorsieht. Im Szenario B "Ambitionierter Klimaschutz" wird angenommen, dass das deutschlandweite Treibhausgasemissionsvolumen dazu beitragen würde, dass die globale Erwärmung deutlich unter 2° C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter liegen würde. Die Szenarien C "Europa" und D "Dezentral" sind dadurch charakterisiert, dass das deutschlandweite Treibhausgasemissionsvolumen dazu beitragen würde, dass die globale Erwärmung unter 2° C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter liegen würde. Szenario C ist dadurch charakterisiert, dass das deutsche Energiesystem integrierter Teil eines europäisch optimiertes Energiesystem ist, während in Szenario D ein "dezentrales" Energiesystem angenommen wird.

Die deutschlandweiten Energieszenarien wurden durch das AP 2.1 an die Gegebenheiten des Kreises Steinburg adaptiert. Da die Energieszenarien nicht das vollständige Energiesystem beschreiben, sondern einen Schwerpunkt auf die Bereitstellung und Nutzung von Elektrizität haben, wurden fehlende Energieträger und -technologien ergänzt.

2.1.2.2 Bewertung der Nachhaltigkeit des Energiesystems des Kreises Steinburg

2.1.2.2.1 Einleitung

Nachfolgend werden die zentralen Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung für das Referenzjahr 2045 dargestellt, basierend auf MS1.4.4 „Aktualisierung der Nachhaltigkeits- und Umweltbewertung“ und MS1.4.3 „Bewertung der Nachhaltigkeit des Energiekosmos ENSURE, einschl. einer Faktorenanalyse der Technologiediffusion“.

2.1.2.2.2 Kriterien- und Indikatorenauswahl

Für die Bewertung der regionalen Energiezukünfte ist eine Konkretisierung der Nachhaltigkeitsregeln durch Festlegung von Kriterien und Indikatoren notwendig. Die Auswahl der Indikatoren basiert auf Arbeiten, die im Rahmen des Kopernikus-Projektes ENavi⁷ sowie des Projektes ENERGY-TRANS (<https://www.energy-trans.de/>⁸; Rösch et al., 2018) durchgeführt wurden. In beiden Projekten wurden die Indikatoren im Rahmen von Stakeholder-Workshops und Experteninterviews entwickelt. Darüber hinaus wurde auch die Indikatorik von Flues et al. (2012)⁹, Destatis (2016)¹⁰ und UBA (2017)¹¹ berücksichtigt. Insgesamt wurden 17 Nachhaltigkeitskriterien für die regionale Bewertung ermittelt (Tabelle 2). Tabelle 2 nimmt weiterhin sowohl auf das entsprechende Nachhaltigkeitskriterium als auch auf die adressierte Nachhaltigkeitsregel Bezug. Zudem wird die Methode zur Wirkungsanalyse aufgeführt.

Tabelle 2: Indikatoren zur Bewertung der identifizierten Nachhaltigkeitskriterien

Nachhaltigkeitsregel	Kriterium	Indikator	Methode zur Wirkungsanalyse ¹
1.1 Schutz der menschlichen Gesundheit	Luftschadstoffemissionen	Siedlungs- und bodennahe Feinstaubemissionen < 2,5 µm [kg]	Ökobilanz
	Sonstige Emissionen (Lärm, Licht)	Bedeutende (Licht- und) Lärmquellen: - Anzahl Windkraftanlagen - lärmintensive Fahrzeugkilometer [FZkm]	Semiquantitative Analyse
1.2 Gewährleistung der Grundversorgung	Energieimportabhängigkeit	Importquote Primärenergieträger [% des Energiegehalts]	Quantitative Analyse
	Energiearmut	Dimensionsloser Indikator aus: - Energieeffizienz und -nachfrage - Energieträgerpreise	Quantitative Analyse
1.3 Selbständige Existenzsicherung	Beschäftigung	Beschäftigungseffekte in der Elektrizitätsbereitstellung [Vollzeit-Äquivalente]	Input-Output-Rechnung
1.4 Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten	Nutzungs-/Verteilungsgerechtigkeit	Endenergiekonsum der privaten Haushalte pro Kopf [kWh/Person]	Quantitative Analyse

⁷ Quitzow, R. et al. (2018). *Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende: Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi*, Potsdam: Geschäftsstelle des Kopernikus-Projekts Energiewende-Navigationssystem (ENavi); Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS).

⁸ Rösch et al. (2018). *Indicator-based sustainability assessment of the German energy system and its transition*, KIT Scientific Publishing: Karlsruhe.

⁹ Flues, F. et al. (2012). *Indikatoren für die energiepolitische Zielerreichung*, Mannheim: Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW).

¹⁰ Destatis (2016). *Indikatorenbericht 2016: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland*, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis).

¹¹ UBA (2017). *Indikatorenbericht 2017: Daten zur Umwelt*, Roßlau-Dessau: Umweltbundesamt.

Nachhaltigkeitsregel	Kriterium	Indikator	Methode zur Wirkungsanalyse ¹
1.5 Ausgleich extremer Einkommens- und Vermögensunterschiede	Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten	Möglichkeiten zur finanziellen Teilhabe: - Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten bei den eingesetzten Technologien - Installierte Leistung der Technologien	Semiquantitative Analyse
2.1 Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen	Nutzungskonflikt mit der Nahrungsmittelproduktion	Anbaufläche für Energiepflanzen [ha]	Quantitative Analyse
	Flächeninanspruchnahme durch das Energiesystem	Direkte Flächeninanspruchnahme des Energiesystems [ha]	Quantitative Analyse
2.2 Nachhaltige Nutzung nicht-erneuerbarer Ressourcen	Ressourcenverbrauch (Energie)	Nicht-erneuerbarer kumulierter Energieaufwand [TJ]	Ökobilanz
	Ressourcenverbrauch (weitere Rohstoffe)	Abiotischer Ressourcenverbrauch [kg Sb-Äquivalent]	Ökobilanz
2.3 Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke	Beitrag zum Klimawandel	Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -Äquivalent]	Ökobilanz
	Eutrophierung	Eutrophierungspotenzial [kg PO ₄ -Äquivalent]	Ökobilanz
	Versauerung	Versauerungspotenzial [kg SO ₂ -Äquivalent]	Ökobilanz
2.5 Nachhaltige Entwicklung von Sach-, Human- und Wissenskapital	Regionale Wertschöpfung	Kumulierte Bruttowertschöpfung [Mio. €]	Input-Output-Rechnung
3.2 Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen	Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten	Beteiligungsmöglichkeiten bei Infrastrukturprojekten (Planungsverfahren)	Qualitative Analyse
3.4 Erhaltung der kulturellen Funktion der Natur	Landschaftsbild	Indirekte Flächeninanspruchnahme [ha]	Quantitative Analyse

Anm.: ¹ Eine ausführliche Beschreibung der ausgewählten Methoden und der Berechnung der Indikatorwerte sind im MS1.4.3 „Bewertung der Nachhaltigkeit des Energiekosmos ENSURE, einschl. einer Faktorenanalyse der Technologiediffusion“ zu finden.

Die Definition von Raum und Technologie ist eng mit verschiedenen Bewertungsperspektiven verbunden. Um ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen, die mit dem Energiesystem zusammenhängen, zu bewerten, können verschiedene Perspektiven unterschieden werden. Die lokale Energiebereitstellung (Erzeugung, Speicherung und Transport von Energie) innerhalb der Untersuchungsregion verursacht Wirkungen, die sowohl lokal als auch überregional beziehungsweise global auftreten können. Gleichzeitig werden durch die lokale Nachfrage nach Energie Wirkungen hervorgerufen, die ebenfalls lokal oder global auftreten können (Abbildung 5). Die Wirkungen der lokalen Energiebereitstellung werden zum Teil durch die lokale Energienachfrage der Region selbst oder durch die Energienachfrage anderer Regionen hervorgerufen. Unter Wirkungen sind dabei die vielfältigen wirtschaftlichen, umweltbezogenen und gesellschaftlichen Effekte zu verstehen, die durch das Energiesystem hervorgerufen oder maßgeblich beeinflusst werden.

	Lokale Wirkungen	Überregionale / globale Wirkungen
Lokales Angebot (Energiebereitstellung)		
Lokale Nachfrage (Endenergiebedarfe)		

Abbildung 5: Unterscheidung verschiedener Wirkungs- und Bewertungsebenen

Die Berücksichtigung der lokalen als auch überregionalen Effekte bei den einzelnen Kriterien sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die geographische Zuordnung hat Einfluss auf die relevante Wirkungsanalyse. So erfordert die Berücksichtigung überregionaler Umweltwirkungen die Verwendung der Ökobilanz entsprechend der ISO-Standards 14040 und 14044.

Tabelle 3: Ausgewählte Kriterien, adressierte Bewertungsperspektiven und Nachhaltigkeitsregeln

Ausgewählte Kriterien		Lokale Effekte		Überregionale Effekte		IKoNE-Regel
		Lokale Energieversorgung	Lokale Energienachfrage	Lokale Energieversorgung	Lokale Energienachfrage	
I Sicherung der menschlichen Existenz						
1	Luftschadstoffemissionen	-	-	-	✓	1.1
2	Sonstige Emissionen (Lärm, Licht)	✓	✓	-	-	1.1
3	Energieimportabhängigkeit	✓	✓	-	-	1.2
4	Energiearmut	-	✓	-	-	1.2
5	Beschäftigung	✓	-	-	-	1.3
6	Nutzungs-/Verteilungsgerechtigkeit	-	-	-	✓	1.4
7	Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten	✓	-	-	-	1.5 / 3.2 / 3.5
II Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials						
8	Nutzungskonflikt mit der Nahrungsmittelproduktion	✓	-	-	-	2.1
9	Flächeninanspruchnahme durch das Energiesystem	✓	-	-	-	2.1
10	Ressourcenverbrauch (Energie)	-	-	-	✓	2.2
11	Ressourcenverbrauch (weitere Rohstoffe)	-	-	-	✓	2.2
12	Beitrag zum Klimawandel	-	-	-	✓	2.3
13	Eutrophierung	-	-	-	✓	2.3
14	Versauerung	-	-	-	✓	2.3
15	Regionale Wertschöpfung	✓	-	-	-	2.5
III Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten der Gesellschaft						
16	Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten	✓	-	-	-	3.2 / 3.5

Ausgewählte Kriterien		Lokale Effekte		Überregionale Effekte		IKoNE-Regel
		Lokale Energieversorgung	Lokale Energienachfrage	Lokale Energieversorgung	Lokale Energienachfrage	
17	Landschaftsbild	✓	-	-	-	3.4

Anm.: Ein grün hinterlegter Haken bedeutet, dass für das Kriterium die Bewertungsperspektive der zugehörigen Spalte angesetzt wurde, ein rot hinterlegter Strich steht dafür, dass diese Bewertungsperspektive nicht angesetzt wurde.

2.1.2.2.3 Ergebnisse

Auf Basis der in Tabelle 2 erwähnten Methoden wurden für jeden Indikator die entsprechenden Werte ermittelt. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die ermittelten Indikatorwerte zu finden.

Tabelle 4: Ermittelte Indikatorwerte

Kriterium	Einheit	Indikatorwert			
		Szenario A	Szenario B	Szenario C	Szenario D
Luftschadstoffemissionen	kg PM _{2,5}	29.023	22.093	19.044	23.025
Sonstige Emissionen (Lärm, Licht)	Dimensionslos	0,31	0,35	0,19	0,14
Energieimportabhängigkeit	Importanteil %	7,9	4,4	3,7	11,6
Energiearmut	Dimensionslos	0,23	0,31	0,25	0,20
Beschäftigung	Vollzeitäquivalente	222	324	278	233
Nutzungs-/Verteilungsgerechtigkeit	kWh/Person	7.592	6.454	7.380	7.380
Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten	Dimensionslos	15.299	29.013	26.390	30.199
Nutzungskonflikt mit der Nahrungsmittelproduktion	ha	3.394	3.074	3.436	2.270
Flächeninanspruchnahme durch das Energiesystem	ha	286,6	470,4	476,2	322,6
Ressourcenverbrauch (Energie)	TJ	3.286	2.514	2.389	2.825
Ressourcenverbrauch (weitere Rohstoffe)	kg Sb _{Äq}	36.435	39.803	30.466	45.847
Beitrag zum Klimawandel	t CO _{2Äq}	319.247	221.410	209.376	247.914
Eutrophierung	kg PO _{4Äq}	10.895.187	9.196.615	12.947.656	12.940.304
Versauerung	kg SO _{2Äq}	8.284.187	6.940.514	8.909.150	9.096.258
Regionale Wertschöpfung	Mio. €	1.575	2.746	2.424	2.969
Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten	Dimensionslos	0	1	0.5	1
Landschaftsbild	ha	3.970	5.909	5.540	6.782

Um eine Vergleichbarkeit zu erhalten, wurden die Ergebnisse, wie sie in Tabelle 4 dargestellt werden, in Werte übersetzt. Die Werte geben die relative Position eines Indikatorwertes zum Durchschnitt aller Indikatorwerte eines Kriteriums. Je größer die Zahl ist, desto besser wird das Szenario hinsichtlich des ausgewählten Kriteriums bewertet; je kleiner umso schlechter.

Tabelle 5: Ermittelte Indikatorwerte, normalisiert

Kriterium	Normalisierter Indikatorwert			
	Szenario A	Szenario B	Szenario C	Szenario D
Luftschadstoffemissionen	0,20	0,26	0,30	0,25
Sonstige Emissionen (Lärm, Licht)	0,31	0,35	0,19	0,14
Energieimportabhängigkeit	0,18	0,32	0,38	0,12
Energiearmut	0,23	0,31	0,25	0,20
Beschäftigung	0,21	0,31	0,26	0,22
Nutzungs-/Verteilungsgerechtigkeit	0,24	0,28	0,24	0,24
Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten	0,16	0,29	0,26	0,29
Nutzungskonflikt mit der Nahrungsmittelproduktion	0,22	0,24	0,22	0,33
Flächeninanspruchnahme durch das Energiesystem	0,32	0,20	0,19	0,29
Ressourcenverbrauch (Energie)	0,21	0,27	0,28	0,24
Ressourcenverbrauch (weitere Rohstoffe)	0,26	0,23	0,31	0,20
Beitrag zum Klimawandel	0,19	0,27	0,29	0,25
Eutrophierung	0,26	0,31	0,22	0,22
Versauerung	0,25	0,30	0,23	0,23
Regionale Wertschöpfung	0,16	0,28	0,25	0,31
Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten	0,11	0,33	0,22	0,33
Landschaftsbild	0,34	0,23	0,24	0,20

Anm.: Je besser ein Wert ist, desto kräftiger ist das Grün, je schlechter desto kräftiger erscheint das Rot. Mittlere Werte sind mit einem Gelbton versehen.

Es zeigt sich, dass kein Szenario die anderen vollständig dominiert: Szenario A "Referenzszenario" schneidet bei 8 von 17 Indikatoren am schlechtesten ab. In Bezug auf die Beteiligungskriterien, „Regionale Wertschöpfung“ und „Beschäftigung“ erreicht es die geringsten Werte. Es hat eher Nachteile in Bezug auf die globalen und regionalen Auswirkungen, die für die Bewohner nicht unmittelbar spürbar sind. Andererseits sind die direkten Auswirkungen durch lokale Infrastrukturen gering. So erreicht es für die Kriterien „Direkte Flächeninanspruchnahme“ und „Landschaftsbild“ die besten Werte.

Szenario B "Ambitionierter Klimaschutz" schneidet bei den meisten Indikatoren gut oder sehr gut ab. So erreicht es die besten Werte für die Indikatoren „Sonstige Emissionen (Lärm, Licht)“, „Energiearmut“, „Beschäftigung“, „Nutzungs-/Verteilungsgerechtigkeit“, „Eutrophierung“, „Versauerung“ sowie „Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten“. Die größte Herausforderung ist der zunehmende Wettbewerb bei der Flächennutzung.

Szenario C "Europa" schneidet im Vergleich zu Szenario B bei den meisten Indikatoren etwas schlechter ab. Es hat Nachteile bei der direkten wie landwirtschaftlichen Landnutzung und bei Eutrophierung sowie Versauerung. Für die Indikatoren „Luftschadstoffemissionen“, „Energieimportabhängigkeit“, „Ressourcenverbrauch (weitere Rohstoffe)“, „Ressourcenverbrauch (Energie)“ und „Beitrag zum Klimawandel“ erreicht es die höchsten Werte.

Szenario D "Dezentral" schneidet oft entweder am besten oder am schlechtesten ab. Der dezentrale Entwurf erhöht lokal relevante Auswirkungen, wie „Landschaftsbild“ oder „Sonstige Emissionen (Lärm, Licht)“. Andererseits kommt es in Bezug auf „Nutzungskonflikt mit der Nahrungsmittelproduktion“, „Wertschöpfung“, „Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten“ und „Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten“ auf die besten Werte.

2.1.2.2.4 MCDA – Ansatz und Vorgehensweise

Die beschriebene Auswertung der Ergebnisse unterstellt, dass alle Kriterien und Indikatoren gleich bewertet werden. Aus der Literatur ist aber bekannt, dass Individuen durchaus Kriterien und damit

zusammenhängend die Indikatoren unterschiedlich bewerten, in Abhängigkeit von persönlichen Werten, wie Überzeugungen, Einstellungen und Risikowahrnehmung¹². Um diese unterschiedlichen Bewertungen von Kriterien zu erfassen, wurden drei typisierte gesellschaftliche Präferenzstrukturen definiert. Jede Präferenzstruktur beschreibt die Gewichtung einzelner Kriterien entsprechend persönlicher Vorstellungen. Anhand dieser Präferenzstrukturen soll festgestellt werden, ob und inwiefern sich verschiedene gesellschaftliche Positionen auf die Nachhaltigkeitsbewertung des Energiesystems auswirken. Insbesondere soll untersucht werden, ob eines der Szenarien übergreifend als besonders wünschenswert aufgefasst wird, oder ob eines der Szenarien im Vergleich zu den anderen generell eher abgelehnt wird.

Die Festlegung der Präferenzprofile erfolgte auf Basis der durch die britische Sozialanthropologin Mary Douglas eingeführten Grid-Group-Theorie. Die Theorie ist unter anderem auch als „Cultural Theory“¹³ bekannt. Eine der Hauptannahmen der Theorie ist, dass persönliche Werte zu den Kriterien gehören, die Menschen als Entscheidungsgrundlage dienen (Douglas und Wildavsky, 1982; Schwarz, 1992). Die Cultural Theory beschreibt dabei mit Hilfe der zwei Dimensionen „grid“ und „group“ unterschiedliche soziale Positionen, mit dem Ziel, gesellschaftliche Unterschiede möglichst grundlegend und simpel zu theorisieren¹⁴. Die Dimension „grid“ definiert, in welchem Umfang sich soziale Regeln und Vorschriften auf die individuelle Autonomie auswirken und Struktur vorgeben¹⁵. „Group“ wiederum beschreibt die soziale Einbindung und den Grad, in dem das Leben eines Individuums durch Gruppenzugehörigkeit getragen wird¹⁶. Die Dimension stellt den Kontrast zwischen Solidarität und Egozentrik dar¹⁷. Anhand dieser zwei Dimensionen und deren Ausprägung lassen sich laut Cultural Theory vier grundlegend unterschiedliche Typen (gesellschaftliche Präferenzen) einer jeden Gesellschaft definieren: Individualist, Hierarchist, Egalitarist und Fatalist¹⁸. Diese vier Typen und deren Positionen bezüglich der zwei Dimensionen sind in Abbildung 6 dargestellt.

¹² Douglas, M. & Wildavsky, A. (1982). *Risk and Culture: An Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers*. Berkeley: University of California Press; Schwartz, S. H. (1992). Universals in the content and structure of values: Theoretical advances and empirical tests in 20 countries. *Advances in experimental social psychology*, 25, S. 1–65.

¹³ Mamadouh, V. (1999). Grid-group cultural theory: An introduction. *GeoJournal*, 47, S. 395–409.

¹⁴ Douglas, M. (1999). Four cultures: The evolution of parsimonious model. *GeoJournal*, 47, S. 411–415.

¹⁵ Olli, E. & Swedlow, B. (2022). Cultural theory, rejection of cultural bias, and party preference. *Party Politics*, 29, S. 359–373; Douglas, M. (2007). *A history of grid and group cultural theory*. Toronto: University of Toronto; Jager W. et al. (1997). *Consumer behavior: a modelling perspective in the context of integrated assessment of global change*. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment.

¹⁶ De Schryver, A. M. (2010). *Value choices in life cycle impact assessment*. Nijmegen: Radboud University; Olli, E. & Swedlow, B. (2022). a.a.O.

¹⁷ Jager W. et al. (1997). a.a.O.

¹⁸ Douglas, M. (1999). Four cultures: The evolution of parsimonious model. *GeoJournal*, 47, S. 411–415.

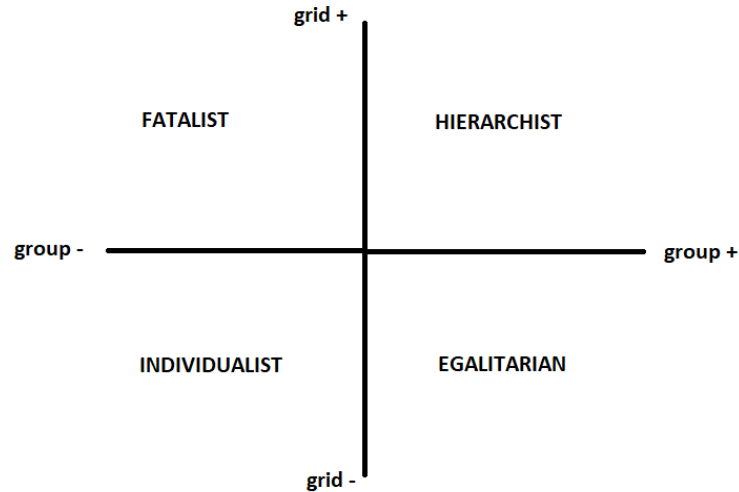


Abbildung 6: Cultural Theory – zwei Dimensionen, vier Rationalitäten (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung von Schwarz und Thompson (1990, S. 7)¹⁹)

In der Literatur werden diese Typen anhand zusätzlicher Merkmale charakterisiert. Ekener et al. (2018)²⁰ unterscheidet sie anhand der unterschiedlichen Priorisierung der drei Dimensionen „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Gesellschaft“. Jager et al. (1997)²¹ definieren Präferenzen in Bezug auf Raum und Zeit definieren. Gesellschaft wird als eine Anzahl von Individuen verstanden, die interagierend handeln, wobei Handlungen, denen man i.A. ein wirtschaftliches Motiv unterstellen kann, hierbei ausgenommen werden. Solche Handlungen werden der Dimension Wirtschaft zugeordnet.

Da der Fatalist eine besondere Rolle einnimmt, indem er tendenziell ad hoc entscheidet und annimmt, durch sein Verhalten keinerlei Einfluss auf Geschehnisse nehmen zu können (de Schryver, 2010, S. 8), werden im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung nur die Typen Hierarchist, Individualist und Egalitarist betrachtet. Tabelle 6 fasst die für die Nachhaltigkeitsbewertung und die Gewichtung der Kriterien berücksichtigten Eigenschaften der drei Typen zusammen.

Tabelle 6: Charakterisierung der drei Typen nach de Schryver (2010) und Jager et al. (1997)²²

	Individualist	Hierarchist	Egalitarist
Priorisierung Dimensionen „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Gesellschaft“ nach Ekener et al. (2018)	1. Wirtschaft 2. Umwelt 3. Gesellschaft	1. Umwelt 2. Wirtschaft 3. Gesellschaft	1. Gesellschaft 2. Umwelt 3. Wirtschaft
Priorisierung „Raum“ nach Jager et al. (1997)	Lokal	Lokal vs. global (abwägend)	Global
Priorisierung „Zeit“ nach Jager et al. (1997)	Gegenwart	Gegenwart vs. Zukunft (abwägend)	Zukunft

¹⁹ Schwarz, M. & Thompson, M. (1990). *Divided we stand: Redefining Politics, Technology and Social Choice*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

²⁰ Ekener, E., et al. (2018). Developing Life Cycle Sustainability Assessment methodology by applying values-based sustainability weighting – Tested on biomass based and fossil transportation fuels. *Journal of Cleaner Production*, 181, S. 337–351.

²¹ Jager W. et al. (1997). a.a.O.

²² De Schryver (2010). a.a.O.; Jager W. et al. (1997). a.a.O.

Die individuellen Präferenzen der drei Typen wurden dafür verwendet, die Nachhaltigkeitsbewertung der Energiesysteme gemäß der vier Szenarien aus verschiedenen Sichtweisen zu betrachten, um so zu untersuchen, ob und inwiefern sich unterschiedliche gesellschaftliche Präferenzen auf die Bewertung auswirken. Dafür wurden die Nachhaltigkeitskriterien anhand der Charakterisierung in Tabelle 6 in deren Relevanz aus Sicht des jeweiligen Typen unterschiedlich gewichtet. Dabei werden diese jedoch nicht aus Perspektive des Individuums bewertet, sondern aus Sicht des Kreises Steinburg. Demnach wird im Rahmen dieser Neubewertung davon ausgegangen, dass für einen individualistisch geprägten Landkreis (= Individualist) ökonomische Aspekte die größte Rolle spielen und lokale, gegenwärtige Wirkungen von vorrangigem Interesse sind. Nimmt der Kreis Steinburg die Position des Egalitarist ein, so misst er hingegen sozialen Aspekten höchste Bedeutung bei. Für ihn sind globale und zukünftige Wirkungen besonders relevant. Wird ein vorwiegend hierarchistisch geprägter Blickwinkel (= Hierarchist) im Kreis Steinburg angenommen, so liegt ein besonderes Augenmerk auf ökologischen Aspekten. Gleichzeitig wird zwischen lokalen und globalen Wirkungen, sowie gegenwärtigen und zukünftigen Effekten abgewogen.

In mehreren Schritten wurde jedes Nachhaltigkeitskriterium anhand dieser Präferenzen in seiner Relevanz für den jeweiligen Typen betrachtet und aus dieser Perspektive entsprechend gewichtet.

Zunächst wurden jedem Kriterium die Dimensionen „Wirtschaft“, „Umwelt“ oder „Gesellschaft“ zugeordnet. Dabei wurde unterschieden, ob sich das Kriterium stark, in geringem Maße oder unwesentlich auf die Dimension bezieht, indem die unterschiedliche Gewichtungsfaktoren verwendet wurden. Dementsprechend wurde der „Hauptdimension“ der Faktor 1 zugeordnet und der „untergeordneten“ Dimension der Faktor 0,5. Die Dimension, die durch das Kriterium nicht oder nur unwesentlich adressiert wird, wurde mit dem Faktor 0 versehen.

Außerdem wurde in einem zweiten Schritt je Typ für jede Dimension Punkte verteilt, die der in Ekener et al. (2018) definierten Präferenz entsprechen (Tabelle 7). Anschließend wurden die Faktoren der Dimensionen aus dem ersten Schritt (1, 0,5 oder 0) mit der jeweiligen Punktebewertung der Dimension des Typs aus Schritt zwei multipliziert und die Produkte addiert.

Tabelle 7: Punkteverteilung der Dimensionen gemäß der Präferenz der drei Typen

Individualist	Hierarchist	Egalitarist
Wirtschaft (3 Punkte)	Umwelt (3 Punkte)	Gesellschaft (3 Punkte)
Umwelt (2 Punkte)	Wirtschaft (2 Punkte)	Umwelt (2 Punkte)
Gesellschaft (1 Punkt)	Gesellschaft (1 Punkt)	Wirtschaft (1 Punkt)

Des Weiteren wurde die Relevanz der räumlichen Perspektive der Kriterien für jeden der drei Typen gewichtet. Insofern der räumliche Aspekt des Kriteriums mit der Präferenz des Typen übereinstimmt, wurde der Faktor 2 zugeteilt. Wenn der räumliche Aspekt des Kriteriums nicht mit der Präferenz des jeweiligen Typen übereinstimmt, wurde der Faktor 1 zugeteilt. Für den Hierarchisten, der bezüglich des räumlichen Aspekts stets abwägt, wurde ebenfalls der Faktor 1 zugeteilt. Was den zeitlichen Aspekt betrifft, wurde ähnlich verfahren: jedes Kriterium wurde anhand seiner zeitlichen Wirkung als kurzfristig (k), mittelfristig (m) oder langfristig (l) eingestuft. Insofern der zeitliche Aspekt mit der Präferenz des Typen übereinstimmt wurde der Faktor 2 zugeteilt. Kriterien mit mittelfristigen Wirkungen wurde für den Individualisten und den Egalitarist jeweils der Faktor 1,5 zugeteilt. Insofern der zeitliche Aspekt eines Indikators nicht mit der Präferenz des Typen übereinstimmt, wurde der Faktor 1 angesetzt. Da der Hierarchist stets abwägt und nicht per se eine zeitliche Wirkung für besonders relevant hält, wurde für diesen Typ für alle drei zeitlichen Perspektiven der Faktor 1 verwendet.

Gemäß dieser drei Hauptkriterien wurde für jedes Kriterium $k \in K$ für jeden Typen $t \in T$ gewichtet:

$$(1) W_{k,t} = R_{k,t} * Z_{k,t} * \sum_{d \in D} (F_{d,k} * P_{d,t})$$

$$(2) G_{k,t} = \frac{W_{k,t}}{\sum_{k \in K} W_{k,t}} * 100$$

mit

$W_{k,t}$ nicht-normalisierte Gewichtung des Kriteriums k für den Typen t ;

- $R_{k,t}$ räumlicher Bezug/Relevanz des Kriteriums k für den Typen t , unterschieden wird zwischen global und lokal;
- $Z_{k,t}$ zeitlicher Bezug/Relevanz des Kriteriums k für den Typen t ; unterschieden wird zwischen kurzfristig (≤ 5 Jahre), mittelfristig (> 5 Jahre bis 25 Jahre) oder langfristig (> 25 Jahre);
- $F_{d,k}$ Faktor für die Dimension d des Kriteriums k ;
- $P_{d,t}$ Faktor für die Präferenz des Typen t für die Dimension d ;
- $G_{k,t}$ normalisierte Gewichtung des Kriteriums k für den Typen t ;
- D Menge der Dimensionen d (Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft);
- K Menge der Kriterien k ;
- T Menge der Typen t (Individualist, Hierarchist, Egalitarist).

Tabelle 8 fasst die ermittelten normalisierten Gewichte zusammen. Daraus lässt sich erkennen, dass gemäß seiner Präferenz, die Kriterien „Flächeninanspruchnahme durch das Energiesystem“ und „Regionale Wertschöpfung“ für die Bewertung aus Sicht des Individualisten eine übergeordnete Rolle spielen. Im Falle der Bewertung aus Sicht des Hierarchisten wird das Kriterium „Beitrag zum Klimawandel“ prioritär gewichtet. Allerdings ist auch zu erkennen, dass die Gewichtung für den Hierarchisten nicht ganz so extrem ist wie die des Individualisten oder gar des Egalitaristen. Der Egalitarist gewichtet das Kriterium „Beitrag zum Klimawandel“ mit einem Höchstwert, während „Regionale Wertschöpfung“ für ihn kaum ins Gewicht fällt.

Tabelle 8: Gewichtung der Nachhaltigkeitskriterien gemäß der drei Präferenzprofile (auf 100 normiert)

Kriterium	Gewichtung		
	Individualist	Hierarchist	Egalitarist
Luftschadstoffemissionen	3,3	7,9	9,8
Sonstige Emissionen (Lärm, Licht)	8,8	7,9	3,3
Energieimportabhängigkeit	9,3	5,6	3,5
Energiearmut	6,6	4,5	4,9
Beschäftigung	9,3	5,6	3,5
Nutzungs-/Verteilungsgerechtigkeit	0,9	2,2	11,2
Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten	9,3	5,6	3,5
Nutzungskonflikt mit der Nahrungsmittelproduktion	10,6	7,9	2,8
Flächeninanspruchnahme durch das Energiesystem	3,5	7,9	7,4
Ressourcenverbrauch (Energie)	3,1	5,6	9,3
Ressourcenverbrauch (weitere Rohstoffe)	3,5	10,1	14,9
Beitrag zum Klimawandel	2,6	6,7	5,6
Eutrophierung	2,6	6,7	5,6
Versauerung	10,6	4,5	0,9
Regionale Wertschöpfung	2,6	2,2	4,2
Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten	6,6	4,5	4,9
Landschaftsbild	6,6	4,5	4,9
Kontrollsumme	100,0	100,0	100,0

Multi Criteria Decision Analysis Methoden (MCDA-Methoden; multikriterielle Entscheidungsanalyse) dienen der Durchführung umfangreicher Entscheidungsprozesse. Sie ermöglichen es, strukturierte

Empfehlungen herzuleiten, auch wenn eine Vielzahl von Kriterien zu berücksichtigen ist²³. Im vorliegenden Anwendungsfall dient die MCDA der Identifikation einer Rangfolge der regionalisierten Szenarien in Bezug auf eine möglichst nachhaltige Energieversorgung. Diese Arbeit bezieht sich auf Multi Attribute Decision Making (MADM) und nicht auf das ebenfalls unter dem Überbegriff der MCDA gefasste Multi Objective Decision Making (MODM). Ersteres zeichnet sich dadurch aus, dass zwischen verschiedenen Alternativen Entscheidungen getroffen werden sollen. Letzteres weist hingegen eine stetige Menge an Alternativen auf²⁴.

Für ENSURE wurden die Nutzwertmethode und TOPSIS ausgewählt. Da hypothetische Entscheidungstragende angenommen werden und keine Stakeholder an der Präferenzfindung oder Gewichtung mitgewirkt haben, wird der Umgang mit widersprüchlichen Informationen als nachrangig eingeordnet. Ausschlaggebend für die Auswahl der Nutzwertmethode ist deren Einfachheit. Sie ist für einen breiten Personenkreis gut nachzuvollziehen, was eine breite Kommunikation und somit große Transparenz ermöglicht. Zudem sollte eine zweite Methode angewandt werden, um die Ergebnisse vergleichen zu können. Dafür wurde TOPSIS ausgewählt, da es eine sehr umfassend erprobte Methode darstellt²⁵ und das Grundprinzip ebenfalls verständlich und gut kommunizierbar ist, wenngleich die Methode mathematisch komplexer ist als die Nutzwertmethode.

Die Nutzwertmethode wurde von Fishburn (1967)²⁶ eingeführt. Sie wird in der englischsprachigen Literatur unter den Stichworten „Weighted Sum Method“ und „Simple Additive Weighting“ diskutiert. Bei Anwendung der Nutzwertmethode wird für jede Alternative mithilfe einer gewichteten Summe der Gesamtnutzen abgeschätzt²⁷.

Die Methode TOPSIS wurde von Hwang und Yoon (1981)²⁸ entwickelt. Sie erzeugt zwei hypothetische Alternativen, eine positiv-ideale und eine negativ-ideale. Für die positiv-ideale kombinieren sie die jeweils besten Ausprägungen der Kriterien miteinander. Für die negativ-ideale Alternative werden die jeweils schlechtesten Ausprägungen zu einer Alternative zusammengefasst. Anschließend wird für alle anderen Alternativen der Abstand zu diesen hypothetischen Auswahlalternativen berechnet. Je geringer der Abstand einer Alternative zur bestmöglichen ist, desto besser wird sie bewertet. So lassen sich auch relative Unterschiede berechnen.

Die in Tabelle 8 dargestellten Gewichtungsfaktoren wurden sowohl für die Nachhaltigkeitsbewertung mit der Nutzwertmethode als auch für die Bewertung mit TOPSIS verwendet.

2.1.2.2.5 MCDA – Ergebnisse

Die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung anhand der Nutzwertmethode zeigen, dass für alle drei Präferenzprofile das Ranking der Szenarien übereinstimmt (Abbildung 7). So wurde Szenario B insgesamt als am nachhaltigsten bewertet. Das Energiesystem in Szenario C wird übereinstimmend als am zweitnächhaltigsten bewertet, gefolgt von Szenario D. Alle Präferenzprofile bewerten das Energiesystem in Szenario A insgesamt als am wenigsten nachhaltig.

²³ Geldermann, J. & Lerche, N. (2014). *Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung: Methode: PROMETHEE*. Göttingen. <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/285813337d59201d34806cfc48dae518.pdf/MCDA-Leitfaden-PROMETHEE.pdf> (31.01.2023).

²⁴ Oberschmidt, J. (2010). *Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme*. Göttingen: Universität Göttingen.

²⁵ Behzadian, M. et al. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39, S. 13051–13069.

²⁶ Fishburn, P. (1967). Letter to the Editor—Additive Utilities with Incomplete Product Sets: Application to Priorities and Assignments. *Operations Research*, 15, S. 537–542. <https://doi.org/10.1287/opre.15.3.537>.

²⁷ Kühnapfel, J. (2014). Das Vorgehen bei der Nutzwertanalyse. In: J. Kühnapfel (Hrsg.), *Essentials. Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 5–20

²⁸ Hwang, C. & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications. A state-of-the-art survey*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

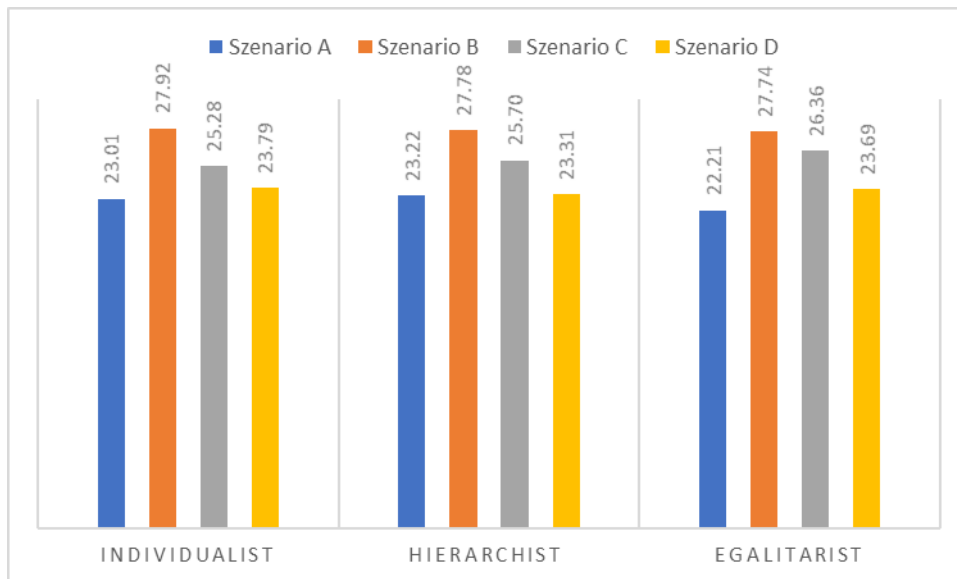


Abbildung 7: Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung für die drei Präferenzprofile anhand der Nutzwertmethode

Vergleicht man die Summe der Nutzwerte der vier Szenarien, so sieht man, dass für das individualistische Präferenzprofil Szenario B mit 2,64 Nutzenpunkten fast 10 % mehr erreicht als Szenario C. Ein bedeutender Teil dieses Unterschiedes ergibt sich aus den sonstigen Emissionen, für die Szenario B 1,43 Nutzenpunkte mehr erhält. Szenario D folgt mit einem Abstand von 1,49 Punkten (ca. 6 %). Szenario C dominiert Szenario D besonders bei der Energieimportabhängigkeit, wo es einen um 2,37 Punkte höheren Wert erreicht. Szenario A folgt mit 0,69 Punkte (ca. 3 %) Abstand. Für das Kriterium der Wertschöpfung erreicht es 1,5 Punkte weniger als Szenario D.

Auch für das hierarchistische Präferenzprofil ist Szenario B das nachhaltigste Szenario. Auch hier sind die sonstige Emissionen wesentlich: Szenario B erreicht gegenüber Szenario C einen um 1,62 Punkte höheren Wert. Insgesamt beträgt der Abstand zwischen B und C 2,05 Punkte (ca. 7,5 %). Szenario D folgt mit 2,34 Punkten (ca. 9 %) Abstand auf Rang drei. Auch hier spielt die Energieimportabhängigkeit eine entscheidende Rolle mit einem Nutzensvorteil von 1,42 Punkte für Szenario C. Szenario A erreicht 0,05 Punkte (ca. 0,2 %) weniger als Szenario D.

Betrachtet man die Nutzwerte der Szenarien aus Sicht des egalitaristischen Präferenzprofils, so sieht man, dass Szenario B auch hier 1,29 Punkte (ca. 5 %) mehr erreicht als Szenario C. Die Vorteile ergeben sich vor allem aus den Kriterien „Sonstige Emissionen“ (0,49 Punkte), „Eutrophierungspotenzial“ (0,46 Punkte) und „Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten“ (0,43 Punkte). Mit 2,47 Punkten (ca. 10 %) folgt Szenario D mit einem deutlicheren Abstand. Dies lässt sich insbesondere auf das bessere Abschneiden von Szenario C bezüglich der Kriterien „Energieimportabhängigkeit“ (0,83 Punkte), „Rohstoffverbrauch (weitere Rohstoffe)“ (0,71 Punkte) und „Beitrag zum Klimawandel“ (0,62 Punkte) zurückführen. Szenario A folgt mit 1,32 Punkten Abstand (ca. 6 %). Szenario D schneidet vor allem bei den Kriterien Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten“ (0,86 Punkte), „Beitrag zum Klimawandel“ (0,75 Punkte) und „Finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten“ (0,61 Punkte) besser ab als Szenario A.

Insgesamt ist die Rangfolge der Szenarien nicht nur dann identisch, wenn jedes Präferenzprofil einzeln betrachtet wird, sondern auch wenn alle Werte übergreifend verglichen werden. So ist auch der niedrigste Wert, den Szenario B erreicht (25,6 Punkte; egalitaristisches Präferenzprofil) höher als der beste Wert von Szenario C (25,12 Punkte; hierarchistisches Präferenzprofil). Das gleiche gilt für die Überlegenheit von Szenario C gegenüber D und A.

Variiert man die Gewichte der Kriterien, so ändert die Reihenfolge der Szenarien kaum. Lediglich bei der Spreizung der Gewichtung bei dem hierarchistischen Profil ergibt sich eine Änderung der Reihenfolge zugunsten von Szenario D. Für die Spreizung wurden die Kriteriengewichte zweifach quadriert und anschließend wieder auf eine Gesamtsumme von 100 normalisiert. Dadurch werden die

Unterschiede in der Gewichtung stärker betont. Insgesamt sind die Ergebnisse der Nutzwertmethode in Bezug auf die Rangfolge der Szenarien also robust.

Bei Nutzung von TOPSIS schneidet bei dem individualistischen Präferenzprofil Szenario B am besten ab, es kommt der positiv-idealen Alternative um 0,08 Punkte näher als Szenario C. Szenario A folgt mit einem Abstand von 0,14 Punkte auf Szenario C. Szenario D erreicht einen um 0,03 Punkte geringeren Wert (Abbildung 8).

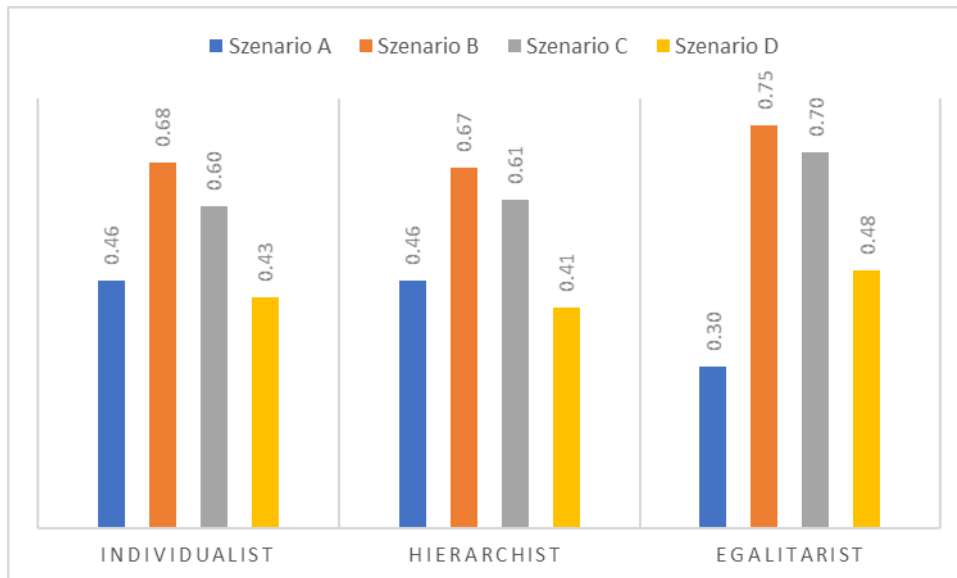


Abbildung 8: Normalisiertes Gesamtergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung der drei Präferenzprofile anhand von TOPSIS

Auch beim hierarchistischen Präferenzprofil schneidet Szenario B am besten ab. In diesem Fall kommt es der positiv-idealen Alternative um 0,06 Punkte näher als Szenario C. Es folgt Szenario D mit einem Abstand von 0,15 Punkten. Dementsprechend schneidet in diesem Fall Szenario A am schlechtesten ab, mit einem Rückstand von 0,05 Punkten auf Szenario D.

Szenario B erreicht auch beim egalitaristischen Präferenzprofil den höchsten Wert, gefolgt von Szenario C mit einem Abstand von 0,05 Punkten. Mit einer deutlicheren Differenz von 0,22 Punkten zu Szenario C erreicht Szenario D den dritten Platz. Szenario A folgt mit einem Abstand von 0,18 Punkten auf Szenario D und wird somit deutlich am schlechtesten bewertet.

Verringert man bei dem individualistischen Profil das Gewicht des Kriteriums „Sonstige Emissionen“ um ca. 45 %, verbessert sich die relative Position von Szenario D gegenüber Szenario A. Die gleiche Änderung tritt bei einer Verringerung des Gewichts der Energieimportabhängigkeit um ca. 25 % ein. Verringert man für das hierarchistische Profil das Gewicht des Kriteriums „Sonstige Emissionen“ um ca. 40 %, so ergibt sich wiederum eine relative Verbesserung der Position des Szenarios D gegenüber Szenario A. Ansonsten führt keine Gewichtsveränderung von 50% zu einer Änderung der Rangfolge. Für das egalitaristische Profil bleibt die Reihenfolge der Szenarien konstant, unabhängig welches Kriteriengewicht um 50 % erhöht oder verringert wird.

Die Änderung eines Kriteriengewichtes um 50 % ändert bei keinem der drei Profile die relative Position der Szenarien B und C. Da sich Änderungen der Reihenfolge nur in einem Fall bei einer Änderung eines Kriteriengewichtes um ca. 25 % und ansonsten erst ab 40 % einstellen, wird auch das Ergebnis aus TOPSIS als eher robust eingeordnet.

Für alle drei Präferenzprofile erreicht Szenario B den höchsten Wert; Szenario C den zweitbesten Wert. Auch wenn der Abstand zwischen beiden jeweils vergleichsweise gering ausfällt, ist er robust gegenüber Änderungen der Gewichtung um 50 %. Szenario A ist für das individualistische wie für das hierarchistische Profil auf Rang drei einzuordnen, für das egalitaristische hingegen auf Rang vier. Szenario D weist somit für das individualistische und das hierarchistische Profil den geringsten Wert auf. Nur bei einem egalitaristischen Profil ergibt sich eine bessere Position.

2.1.2.2.6 Diskussion und Zusammenfassung

Als Bewertungsgegenstand der Nachhaltigkeitsbewertung wurden vier verschiedene Energiewende-Szenarien herangezogen. Da diese zunächst als deutschlandweite Szenarien entwickelt wurden, mussten diese für den Kreis Steinburg adaptiert werden. Hierfür standen aus der Regionalisierung durch AP 2.1 Daten für Elektrizität zur Verfügung. Diese wurden mit einem erprobten Modell erzeugt, das auf eine umfassende und detaillierte Datenbank zurückgreifen kann. Diese Daten werden also als relativ robust eingeordnet, auch wenn sie nicht gezielt auf die Kreisgrenzen hin regionalisiert wurden, sondern auf Netzknoten. Um Verzerrungen durch einen unterschiedlichen Energieträgermix in den Szenarien zu verhindern, wurden für die Bewertung allerdings auch alle weiteren relevanten Energieträger regionalisiert. Diese Regionalisierung musste zu großen Teilen generisch erfolgen, da die Datenbasis und die verfügbare Zeit für diese Arbeiten stark begrenzt waren. Die Ergebnisse verfügen daher nicht über dasselbe theoretische Fundament wie die Daten zur Elektrizität. Zudem musste das regionalisierte Energiesystem sehr allgemein gehalten werden. Beispielsweise war die konkrete Verortung von Energieanlagen im Rahmen der Regionalisierung nicht möglich, was die Identifikation von mit dem Energiesystem in Verbindung stehenden Auswirkungen erschwert. So können keine konkreten Schutzgüter ausfindig gemacht oder Wirkungen aufgrund der Lage von Anlagen ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der Arbeiten für die Nachhaltigkeitsbewertung wurde großer Wert auf die Einbeziehung lokaler Akteure und verschiedener Stakeholder gelegt. Dadurch sollte die Berücksichtigung der Bedürfnisse, Werte und Wünsche verschiedener Interessengruppen im Kreis Steinburg gewährleistet werden. Grundsätzlich liegt in diesem Ansatz eine der konzeptionellen Stärken der vorliegenden Arbeit, da regional relevante Wirkungen durch diesen Einbezug lokaler Perspektiven umfassend abgebildet werden können. Somit können vielfältige Wirkungen einbezogen werden, jedoch ergibt sich aus den transdisziplinären Arbeiten kein repräsentatives Bild. Denn bei der Auswahl und der Teilnahme der Stakeholder kommt es höchstwahrscheinlich zu Verzerrungen. So haben an den drei Stakeholder-Workshops beispielsweise kaum Personen unter 30 Jahren teilgenommen. Zwar wurden gezielt auch jüngere Personen angesprochen, diese konnten aber nicht von einer Teilnahme überzeugt werden. Dementsprechend basieren die Einschätzungen zu möglichen Wirkungen eines Energiesystems im Jahr 2045 oder 2050, also im Vergleich zu den Workshops 28-29 Jahre in der Zukunft, auf der Perspektive eher älterer Stakeholder, die von diesen in anderer Form betroffen sein dürften als jüngere. Zudem kann es durch die Stichprobe auch zu einer Unter- oder Überbetonung von bestimmten Themen kommen. Dieser Umstand war und ist den ausführenden Personen zwar zu jedem Zeitpunkt der Arbeiten bewusst, ein unbewusster Einfluss solcher Schwerpunkte kann aber dennoch nicht ausgeschlossen werden.

Wie erläutert kann durch die umfangreiche Einbindung von Stakeholder bestmöglich verhindert werden, relevante Wirkungen des Energiesystems zu vernachlässigen. Somit wird in Bezug auf die Auswahl von Kriterien zur Nachhaltigkeitsbewertung angenommen, dass diese ein möglichst umfassendes Abbild der relevanten Wirkungen darstellen. Ein tatsächlich vollständiges Bild kann mit einer handhabbaren Menge an Kriterien und Indikatoren jedoch nicht abgebildet werden. So sind vermutlich einige Auswirkungen solcher Transformationen des Energiesystems, wie sie in den Szenarien angenommen werden, heute noch gar nicht absehbar. Zwar wurde versucht, dies mit dem eingesetzten Kriterienset so weit möglich abzufangen, Vollständigkeit kann allerdings kaum erreicht werden.

Der Bewertungsgegenstand der Nachhaltigkeitsbewertung wird zwar eindeutig festgelegt, dennoch war es nicht für alle Indikatoren möglich, diese auf den vollständigen Bewertungsgegenstand zu beziehen. So konnte beispielsweise für die Schätzung der lokalen Wertschöpfung und Arbeitsplätze nur das Elektrizitätssystem herangezogen werden, da für die anderen Bereiche nicht genügend Daten für die Input-Output-Rechnung zur Verfügung standen. Bei den Ökobilanzrechnungen zum Feinstaub konnten ebenfalls aufgrund eines Datenmangels die Emissionen durch Batteriespeicher nicht inkludiert werden. Für einige Kriterien wie „Finanzielle Beteiligung“, „Sonstige Emissionen (Licht, Lärm)“ oder „Landschaftsbild“ musste, um Handhabbarkeit zu gewährleisten, eine Wesentlichkeitsabschätzung vorgenommen werden. Zudem kamen zum Teil unerprobte semiquantitative Berechnungsmodelle zum Einsatz, die in weiteren Arbeiten näher auf ihre Tauglichkeit hin zu untersuchen sind.

Die Nachhaltigkeitsbewertung der vier ENSURE-Szenarien soll unter anderem auch der Identifikation einer möglichst nachhaltigen Ausgestaltung des Energiesystems dienen. Dabei sollten auch unterschiedliche gesellschaftliche Präferenzen berücksichtigt werden und dementsprechend die Bewertung aus verschiedenen Perspektiven durchgeführt werden. Somit sollte festgestellt werden können, ob und inwiefern sich unterschiedliche gesellschaftliche Perspektiven und Präferenzen auf die Bewertung

auswirken. Da, wie oben beschrieben, die Stakeholdergruppe in ihrer Zusammensetzung nicht repräsentativ war, wurde diese auch nicht bei der Erstellung der Präferenzprofile einbezogen. Stattdessen wurden anhand der Cultural Theory die drei Profile, Individualist, Hierarchist und Egalitarist, berücksichtigt. Diese Profile und deren entsprechenden Präferenzen sind klar definiert und stellen Extreme dar, die so in Realität kaum vorzufinden sind. Dennoch ermöglicht es dieser Ansatz, zu untersuchen und festzustellen, ob und inwiefern sich gesellschaftliche Präferenzen auf die Bewertung der vier Szenarien auswirken könnten. Dafür wurden die Kriterien, die für die Bewertung verwendet wurden, den Kategorien „Umwelt“, „Wirtschaft“ und „Gesellschaft“ zugeordnet und je nach Profil unterschiedlich gewichtet. Diese Zuordnung basiert zum einen auf den Einschätzungen der Autoren und Autorinnen als auch auf einer Literaturrecherche. Dieselbe Einschränkung besteht hinsichtlich der Zuordnung der Kriterien zu deren räumlicher Relevanz. Hier wurde zugeordnet, ob das Kriterium eher lokale oder globale Auswirkungen abdeckt. Auch die Einordnung des zeitlichen Horizonts eines Kriteriums nach kurzfristigen, mittelfristigen und langfristigen Auswirkungen erfolgte zwar nach Stand der Wissenschaft, dennoch ist zu beachten, dass solche Zuordnungen auch einen gewissen Interpretationsspielraum erlauben.

Für die Anwendung der MCDA-Verfahren ist zunächst eine Normalisierung der Indikatoren notwendig. Mindestens für das Kriterium „Formelle und informelle Beteiligungsmöglichkeiten“ kommt es bei den eingesetzten Verfahren zum Skalenbruch, da aus der ordinalen Skala eine kardinale gemacht wird. Zudem lässt sich gänzlich in Frage stellen, ob eine Vergleichbarkeit der Kriterien und Indikatoren überhaupt vorliegen kann, da die Wirkungen, die damit verbunden sind, sehr vielschichtig sein können. Somit ist auch in Bezug auf die Aggregation im Zuge der MCDA-Verfahren fraglich, ob eine Substituierbarkeit zwischen den Kriterien angenommen werden kann, was aber eine unabdingbare Voraussetzung ist, um zu eindeutigen Ergebnissen zu kommen.

Auch wenn die methodischen Einschränkungen nicht vernachlässigt werden dürfen, kommt die Nachhaltigkeitsbewertung mit beiden MCDA-Verfahren zu dem Ergebnis, dass, unabhängig der gesellschaftlichen Präferenz, Szenario B die höchste Bewertung zu erwarten hätte. Szenario C würde in allen Fällen die zweitbeste Bewertung aufweisen. Die Szenarien A und D hingegen würden immer nur die dritt- oder vierthbeste Bewertung erwarten können.

Die Präferenz für das Szenario B kann man zum einen aus der Bedeutung des Klimaschutz für die gesellschaftliche Entwicklung erklärt werden. Zum anderen aus den weiteren Implikationen für die Region. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass die ökonomische Basis des Kreises Steinburg die Bereitstellung erneuerbarer Energien bildet. Eine erfolgreiche Transformation würde für die Region einen ökonomischen Vorteil bieten, die sich im Kreis auch positiv auf soziale und umweltbezogene Faktoren auswirken würde. Mögliche Nachteile, bspw. bezogen auf das Landschaftsbild, würden auch bei einer ausgeprägten Präferenz hinsichtlich umweltbezogener oder gesellschaftlicher Faktoren die positive Bewertung nicht entscheidend negativ beeinflussen.

Die im Rahmen der Arbeiten angewandte Methodik zur Nachhaltigkeitsbewertung des Energiesystems der vier ENSURE-Szenarien am Beispiel des Kreises Steinburg lässt sich grundsätzlich auch auf andere Kreise und Regionen übertragen. Maßgeblich ist dabei, nicht von einer direkten Übertragbarkeit der Methodik auszugehen, sondern die konkreten Bewertungsschritte und -komponenten unter Berücksichtigung der Gegebenheiten und Besonderheiten des jeweiligen Bewertungsgegenstandes anzupassen.

Die Ergebnisse dieser Nachhaltigkeitsbewertung sind nicht ohne Weiteres auf andere Regionen übertragbar, da sie spezifisch für den betrachteten Landkreis Steinburg erarbeitet wurden. Rückschlüsse auf andere Regionen lassen sich demnach aus dieser Bewertung nur mit deutlichen Einschränkungen ziehen.

Des Weiteren sind in Bezug auf die Übertragbarkeit der Bewertungsmethodik auf andere Regionen oder Kreise einige Herausforderungen zu nennen. Voraussichtlich sind fallspezifische Anpassungen sowie zusätzliche Recherchen und Arbeiten notwendig. Dabei gilt es zum einen zu beachten, dass die Regionalisierung der deutschlandweit ausgelegten ENSURE-Szenarien sehr aufwändig ist. Diese Arbeit ist aber für die Übertragung der Bewertungsmethode auf einen anderen Kreis bzw. eine andere Region notwendig, denn eine entsprechende Datenbasis ist unerlässlich. Zudem erfordert die Durchführung einiger Arbeitsschritte der Nachhaltigkeitsbewertung, wie in etwa die der Ökobilanz oder der Input-Output-Analyse, entsprechende Fachkenntnisse, die es, insofern nicht vorhanden, zu erwerben gilt.

Zudem ist der Einbezug lokaler Akteure und relevanter Stakeholder für die Nachhaltigkeitsbewertung von großer Bedeutung. Dabei gilt es zu beachten, dass der Stakeholderprozess mit großem zeitlichem und organisatorischem Aufwand verbunden ist, was für eine rasche und breite Übertragung des Bewertungsansatzes auf andere Kreise und Regionen eine mögliche Herausforderung darstellt. Dies ist unter anderem auch mit Blick auf die Auswahl der Indikatoren, anhand derer die Nachhaltigkeitsbewertung durchgeführt wird, relevant. Diese sind zwar teilweise für eine Bewertung auf andere Regionen übertragbar, jedoch sind einige Indikatoren auch spezifisch für die Bewertung im Kreis Steinburg ausgewählt worden. Demnach müsste die Auswahl der Indikatoren je nachdem, in welcher Region bzw. welchem Kreis die Nachhaltigkeitsbewertung durchgeführt würde, angepasst werden. Der beschriebene Auswahlprozess der Indikatoren ist dabei zwar aufwändig, aber durchaus auf andere Regionen übertragbar.

Grundsätzlich liefert die eingesetzte Methode der Nachhaltigkeitsbewertung einen bedeutenden Mehrwert für lokale Entscheidungsträger*innen, indem sie für langfristig wirkende Entscheidungen wichtige Informationen anschaulich und gut überblickbar darstellt. Dies ermöglicht eine große Transparenz und rechtfertigt aus Sicht der Autor*innen die damit verbundenen bedeutenden Aufwände. So lässt sich die Methode bspw. gut in regionale Planungsprozesse einbetten und kann Entscheidungsfindungen unterstützen.

2.1.2.3 Anpassung der Nachhaltigkeitsbewertung an die Phase 3

Nachfolgend werden die zentralen Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung für das Referenzjahr 2045 dargestellt, basierend auf MS1.4.5 „Anpassung der Nachhaltigkeitsbewertung an die Phase 3“.

Nachhaltigkeitsbewertungen zukünftiger Technologien oder Systeme unterstellen in der Regel deren technische Funktionsfähigkeit. Diese Vorgehensweise ist aus Sicht der Nachhaltigkeitsbewertung ein zulässiger Schritt: Es ist aus methodischen zweckdienlich, dass nur, zumindest prinzipiell, funktionierende Systeme oder Technologien bewertet werden. Die Überprüfung der prinzipiellen technischen Durchführbarkeit („Proof of Concept“) wird dabei als ausreichend angesehen, um vorläufige Bewertungen vornehmen zu können. Diese Annahme kann aber, gerade bei der Bewertung von komplexen Systemen, zu einem Bias zugunsten oder auch zu Lasten einer innovativen Lösung führen, da die Zuverlässigkeit des Systems zum Zeitpunkt der Bewertung nicht hinreichend verlässlich geprüft werden kann. Hinzu kommt, dass die Reihenfolge der Vorgehensweise – erst Prüfung der Funktionsfähigkeit und dann Prüfung der Nachhaltigkeit – eine zeitliche Verlängerung des Bewertungsprozesses bewirkt, die in der Praxis nicht unbedingt gewollt ist.

Aus diesen Überlegungen heraus ist eine enge Verzahnung der systemischen Bewertung als Nachweis der prinzipiell gesicherten Funktionsfähigkeit der innovativen Lösungen aus systemischer Sicht und der Nachhaltigkeitsbewertung bedenkenswert. Mit der Zusammenführung einer systemischen Bewertung mit der Nachhaltigkeitsbewertung besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Bewertungslogiken, die mit ihren Zielsetzungen aber verknüpft sind, zusammenzuführen und damit eine umfassende Bewertung von Systemen zu erreichen. Hierbei ist besonders herausfordernd die Festlegung des Bewertungsgegenstands sowie die Bestimmung von Bewertungskriterien und -indikatoren. Weiterhin ist die Ermittlung der Indikatorwerte zu nennen, die idealerweise auf identischen Datenquellen und -berechnungsverfahren basieren sollten. Dies ist in der Praxis aber nicht zwingend gegeben.

Die eigentliche Bewertung kann unabhängig voneinander durchgeführt werden. Zum Abschluss müssen aber die Bewertungsergebnisse zu einer gesamten Bewertung zusammengeführt werden.

2.1.3 AP 8.4: Konsolidierende Arbeiten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Transfer

Im Folgenden werden die Ergebnisse, wie sie im MS8.4.1 „ÖA- und Transfer-Maßnahmen sind abgeschlossen“ detailliert dargestellt werden, beschrieben.

Unter Wissenstransfer verstehen wir im Projekt den wechselseitigen Austausch von Wissen zwischen Forschung, Politik und Gesellschaft. Ziel ist es, wissenschaftliche Projekterkenntnisse sachgerecht, konkret, unabhängig, verständlich, nachvollziehbar und transparent zur Verfügung zu stellen und ihre handlungspraktische Bedeutung mit Stakeholdern zu erarbeiten, damit sie dann als Empfehlungen nach Projektende handlungsleitend werden können.

Für einen erfolgreichen Wissenstransfer in und mit ENSURE ist eine vielfältige Arbeitsweise erforderlich:

1. Zunächst müssen ENSURE-intern Perspektiven und Bedarfe analysiert werden, um ein möglichst ganzheitliches Bild des Projektes zu erhalten. Nur so ist eine umfassende Betrachtung der bearbeiteten Themen und ihrer Wechselwirkungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Meinungen und Standpunkte möglich.
2. Um die Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, werden spezifische partizipative Forschungsansätze und -methoden eingesetzt, die auf die ENSURE-Themen und Bedürfnisse der Zielgruppen zugeschnitten sind. Diese ermöglichen es, auch unterschiedliche Interessengruppen aktiv in den Wissenstransfer einzubeziehen und deren Anforderungen und Erwartungen an Prozesse des Wissenstransfers, aber auch an Handlungsempfehlungen frühzeitig zu berücksichtigen. Damit wird das Verständnis und die Teilhabe an wissenschaftlich-technischen Themen und deren Bedeutung im Kontext der Herausforderungen der Energieversorgung, des Stromnetzes und der Energiewende aktiv gestärkt.
3. Die Forschungsergebnisse aus ENSURE werden dann zusammen mit dem dialogischen Wissen für die Beratung von Wirtschaft, Behörden, Politik und Gesellschaft genutzt, aber auch in den wissenschaftlichen Diskurs eingespeist. In der inzwischen angelaufenen Phase 3 erfolgt dies in enger Zusammenarbeit mit TP1.

Übergeordnetes Ziel des Wissenstransfers in ENSURE ist es, zielgruppenspezifisch und problemorientiert konkrete Handlungsalternativen aufzuzeigen und damit auf Herausforderungen und Chancen wissenschaftlicher Entwicklungen aufmerksam zu machen. Die Aufgabe wird in der inzwischen angelaufenen Phase 3 durch das TP 4 koordiniert. Durch einen offenen und transparenten Wissensaustausch zwischen Forschung, Politik und Gesellschaft können auf dieser Basis bessere Entscheidungen getroffen werden, die langfristig zu einer positive(re)n Entwicklung der Energiewende beitragen können. ENSURE kann insbesondere zu diesem komplexen Zusammenspiel einen Beitrag leisten: Neben den primär technischen Anforderungen an die Energieversorgung (Betriebssicherheit und Planung) gibt es eine Vielzahl gesellschaftlicher Herausforderungen, die Einfluss auf die Energieversorgung haben. Teilweise werden „rein technische“ Anforderungen erst durch gesellschaftliche Herausforderungen generiert, die sich aus gesellschaftlichen Veränderungen, angestrebten Transformationen oder den sogenannten *Global Challenges* ergeben. Umgekehrt bedingen technische Innovationen auch die Notwendigkeit der Akzeptanz, wecken Erwartungen und Bedürfnisse bei den Stakeholdern in der Industrie, der Regulierung, aber auch bei den Endverbrauchern. Ähnliches gilt für das Stromnetz, wobei das Stromnetz auch als Teil der Energieversorgung betrachtet werden wird. Der Einfluss der naturwissenschaftlich-technisch notwendigen Grenzziehung zwischen System und Umwelt auf Gestaltungs- und Handlungsalternativen ist ein weiterer Aspekt, der in ENSURE, aber auch in den Schwesterprojekten berücksichtigt und klar kommuniziert werden muss.

Wissenstransfer als wissenschaftliche Tätigkeit im Projekt bezieht sich auf den Austausch von Informationen, Ideen und Erkenntnissen zwischen verschiedenen Personen oder Personengruppen und spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und Verbesserung von Kenntnissen und Fähigkeiten in verschiedenen Bereichen. Eine wichtige Komponente des Wissenstransfers ist die inhaltliche Aufbereitung und Auseinandersetzung mit (neuen) Erkenntnissen durch eingehende Untersuchung und Analyse, um das Verständnis des Bestehenden zu verbessern und die Anwendung zu fördern. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Wissenstransfers ist das Denken in Alternativen und die aktive Diskussion von Ideen. Effektiver Wissenstransfer erfordert die Verwendung geeigneter Sprache und einer gewissen Formatvielfalt (in Präsenz, digital, asynchron: Druckwerk, App, Homepage) und kann durch Grafiken oder andere Visualisierungen erleichtert werden.

Eine wichtige Unterscheidung im Kontext von Wissenstransfer und -kommunikation ist die zwischen „Dissemination“ (an die Fachwelt) und „Communication“ (an die Öffentlichkeit), die sich auf die gezielte Weitergabe von Informationen an bestimmte Zielgruppen bezieht. Während die Dissemination Informationen an Fachleute richtet, zielt die Kommunikation darauf ab, die Öffentlichkeit über Erkenntnisse und Entwicklungen zu informieren, ein Bewusstsein für relevante Themen zu schaffen und einen Austausch darüber zu ermöglichen. Beide Aspekte sind wichtig, um das volle Potenzial des Wissenstransfers auszuschöpfen. Klassische Formate des Wissenstransfers sind jedoch meist an der Schnittstelle zwischen diesen Aktivitäten angesiedelt: Sie übersetzen das Fachwissen aus der Dissemination für weitere Adressatenkreise und beziehen sich dabei auf die Information und Kommunikation der Projektinhalte, z.B. aus der Öffentlichkeitsarbeit. Dabei werden dialogbasierte Vorgehen verwendet, die neben der Information und Deliberation auch die Möglichkeit zur Partizipation bieten.

Um den Herausforderungen der technologischen Entwicklung im Energiebereich bestmöglich zu begegnen, ist es notwendig, den Projektkontext über die Phasen und Teilprojekte hinweg genau zu analysieren. Dabei sind nicht nur ökonomische und ökologische, sondern auch soziale Aspekte zu berücksichtigen. Denn jede technologische Entwicklung ist in einen Wirkungszusammenhang eingebettet und hat somit Auswirkungen auf die Gesellschaft, die es zu erkennen und zu diskutieren gilt. Gleichzeitig beeinflusst und formt auch die Gesellschaft die Ausgestaltung und Nutzungsweisen der Technologien. Diese Aspekte sollen in der Phase 3 in Zusammenarbeit mit TP1 vertieft und konkretisiert werden. Aufgabe des Wissenstransfers ist es dabei, ein Dialogforum zu schaffen, in dem sich interne wie externe Interessen- und Zielgruppen aktiv an der Diskussion und Bewertung wissenschaftlich-technischer Entwicklungen beteiligen können. Denn nur im Austausch und in der gemeinsamen Reflexion kann ein umfassendes Verständnis für die Implikationen, die Notwendigkeit und die Bedeutung neuer Technologien und dabei insbesondere der ENSURE-Lösungen entstehen.

Eine besonders wichtige Zielgruppe des dialogbasierten Wissenstransfers ist die Gesellschaft, die durch den Dialog befähigt werden soll, technologische Innovationen verantwortungsvoll mitzugestalten. Durch dialogbasierten Wissenstransfer kann ENSURE dazu beitragen, dass unterschiedliche Interessengruppen in der Lage sind, sich eine eigene Meinung in Bezug auf Herausforderungen im Bereich der Energieversorgung, des Stromnetzes und der Energiewende zu bilden und aktiv an Entscheidungsprozessen in diesem Themenkomplex teilzunehmen. Der kontinuierlicher Dialog trägt dazu bei, einen verantwortungsvollen, gesellschaftlich relevanten und ethisch korrekten Umgang mit neuen Technologien zu fördern. ENSURE als Kopernikus-Projekt kann so eine nachhaltige und verantwortungsvolle Zukunft nur im Austausch mitgestalten. Dazu gehört auch, die Wünsche, Sorgen und Erfahrungen von Interessierten und Betroffenen aufzunehmen und in den Handlungsempfehlungen zu berücksichtigen.

Der dialogbasierte Wissenstransfer, welcher in Phase 3 von ENSURE realisiert werden soll, ist ein grundlegender Prozess, der zur Förderung von Wissen und Kompetenzen beiträgt und so das Projekt und den Kopernikus-Verbund insgesamt bereichert. Durch das Erarbeiten und Diskutieren von Inhalten, das Denken in Alternativen, das Analysieren und Reflektieren sowie den Umgang mit Komplexität wird der Wissenstransfer effektiv gestaltet und wirkt sich sowohl intern als auch extern positiv auf die Wahrnehmung und das Verständnis der ENSURE-Themen und der daraus abzuleitenden Handlungsempfehlungen aus.

Übergeordnetes Ziel in der Erstellung von Handlungsempfehlungen ist es, wissenschaftliches Wissen für andere Handlungsfelder nutzbar zu machen. Dabei ist es wichtig, dass dieses fachlich fundierte, disziplinär generierte Wissen zugänglich, verlässlich, nachvollziehbar, relevant und anwendbar gemacht wird. Nur durch diese „Übersetzung“ können über komplexe Sachverhalte klare und verständliche Aussagen getroffen werden, die möglichst gesichertes und belastbares Wissen auch für Laien nachvollziehbar machen. Der projektimmanente dialogbasierte Wissenstransfer leistet damit einen wichtigen Beitrag und zur Erstellung von Handlungsempfehlungen aus ENSURE.

Es werden einzelne Dokumente erstellt, in denen die Ergebnisse des Gesamtprojektes auf die Bedürfnisse, Anforderungen und Erwartungen der Ziel- und Interessengruppen heruntergebrochen und auf praktische Herausforderungen hin vertieft werden. Besonderer Wert wird dabei auf die Konsistenz und Kohärenz zwischen den einzelnen Texten und den darin enthaltenen Empfehlungen gelegt (Anschlussfähigkeit an bestehendes Wissen, Validität von Assertionen, Plausibilisierung statt Verifizierung).

Handlungsempfehlungen sind ein wichtiger Bestandteil verschiedenster Entscheidungsprozesse in unterschiedlichen Bereichen. Sie sind ihrem Wesen nach offene Handlungsaufforderungen, die sich aus einer detaillierten Darstellung einer bestimmten Problemlage mit ihren Herausforderungen für einen Adressaten und einer fundierten Argumentation ergeben und in der Regel in schriftlich ausgearbeiteter Form in solche Prozesse eingehen. Eine stereotype Formulierung erfolgt als wertende Sollten-Aussage (Rat, Aufforderung oder vorsichtige Festlegung im Konjunktiv II der Gegenwart) mit Wirkungseinschränkung in Bezug auf eine vorangegangene Begründung und die Beschreibung eines spezifischen Zielhorizontes:

„Vor diesem Hintergrund sollte X stärker berücksichtigt werden, um Y zu besser zu erreichen.“

Deshalb ist der Aufbau einer Handlungsempfehlung für jeden Adressaten wie folgt: Für die Verständlichkeit, aber auch für die Begründung ist zunächst eine thematische Einführung notwendig, um das Problemfeld und die damit verbundenen Herausforderungen zu verdeutlichen. Im nächsten Schritt wird der aktuelle Stand der technischen, politisch-gesetzlich und -administrativen Entscheidungen in diesem

Bereich analysiert. Welche Maßnahmen wurden bereits ergriffen und was haben sie bewirkt? Dieser Schritt ist entscheidend, um die Wirksamkeit bisheriger Handlungsstrategien zu bewerten und mögliche Lücken oder Schwächen aufzudecken. In einem nächsten Schritt werden bereits bestehende Empfehlungen aus dem ENSURE-Kontext analysiert. Die Vor- und Nachteile sowie Kosten und Nutzen der einzelnen Optionen sollten sorgfältig abgewogen und dieser Prozess transparent dargestellt werden. Am Ende steht eine konkrete Handlungsempfehlung pro Herausforderung, die auf der Grundlage der vorangegangenen Analyse ausgewählt wurde. Diese Empfehlung muss plausibel begründet, anschlussfähig und fachlich valide sein. Die Entwicklung von Handlungsempfehlungen erfordert im Projekt eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, einen dialogorientierten Austausch mit externen Stakeholdern, eine umfassende Recherche und Analyse des Handlungsfeldes und die gemeinsame Suche nach der bestmöglichen Lösung für eine spezifische Herausforderung.

Die erfolgreiche Einführung und Umsetzung von ENSURE-Lösungen und den zugehörigen Handlungsempfehlungen kann nur durch eine strategische und zielgerichtete Ansprache der verschiedenen Zielgruppen erreicht werden. Eine eng abgestimmte Zusammenarbeit, offene Kommunikation und die Berücksichtigung von Veränderungen sind dabei entscheidende Erfolgsfaktoren. Durch die Einbindung und Sensibilisierung aller relevanten Interessengruppen können ENSURE-Lösungen und Themen einen positiven Beitrag für Herausforderungen im Bereich der Energieversorgung, des Stromnetzes und der Energiewende und für den Klimaschutz leisten.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Zuwendungsbescheid vom 15.05.2020, vom 30.01.2023 und vom 31.05.2023 sind als Projektförderung 700.969,06 Euro bewilligt worden. Diese Mittel sind im Wesentlichen für Personal (ca. 96 %) sowie für Reisen (ca. 2,0 %) und Sachmittel (ca. 2,0 %) verwendet worden. Es ist ein Fehlbetrag von rund 0,63 Prozent der Fördersumme entstanden, der aus eigenen Mitteln des KIT gedeckt worden ist. Die detaillierte Mittelverwendung ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 9: Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Position	Betrag
0837 Personalkosten	682.570,34 €
0838 Dienstreisen	11.320,83 €
0850 (Sonst. Unmittelbare Vorhabenkosten.)	11.516,93 €
Summe	705.408,10 €
Abzügl. Fördersumme	700.969,06 €
Fehlbetrag	4.439,04 €

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Der Verlauf der vom ITAS geleisteten Arbeiten im Projekt folgte der Gesamtvorhabenbeschreibung vom 04.07.2019 und den Ergänzungen vom 26.10.2022 und 24.03.2023. Die im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden grundsätzlich erfolgreich bearbeitet. Im Projektverlauf wurden notwendige Anpassungen und Ergänzungen in Absprache mit den betroffenen Projektpartnern sowie der Projektleitung durchgeführt. Durch die vom gesamten Konsortium beantragte und vom Projektträger genehmigte Laufzeitverlängerungen und Aufstockungen konnten sämtliche Ziele erreicht werden. Die geleistete Arbeit erfüllt die Zielstellungen des Projektes und ist daher als notwendig und angemessen zu bezeichnen.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Die im Projekt erzielten Ergebnisse werden in vielfältiger Weise weiterverwertet. Einerseits stellen sie die Basis für die Beantragung der sich anschließende dritte Förderphase dar. Mit Beginn der dritten Förderphase, die für das ITAS erst am 01.01.2024 begann, werden die bisher gewonnenen Erkenntnisse aus Phase 2 weiterverwertet.

Weiterhin dient die gewählte Vorgehensweise der regionalen Nachhaltigkeitsbewertung auch als Initialpunkt für eine Forschungskoooperation innerhalb der European Energy Research Alliance (EERA), wie Energiezukünfte ganzheitlich bewertet werden könnten. Typische Energieszenarien geben einen relativ engen techno-ökonomische geprägten Rahmen vor. Sozioökonomische Herausforderungen

werden vielfach nicht weiter betrachtet, trotz deren Notwendigkeit. EERA ist eine auf Mitgliedschaft basierende, gemeinnützige Gesellschaft, die die größte Forschungsgemeinschaft für kohlenstoffarme Energien in Europa darstellt und eine Schlüsselrolle im EU-Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) spielt.

2.5 Forschungsergebnisse Dritter während des Vorhabens

Während der Projektlaufzeit sind keine Forschungsergebnisse von Dritten bekannt geworden, die sich mit Teilen des ENSURE-Projektes decken bzw. sich in zentralen Punkten überschneiden.

2.6 Veröffentlichung der erzielten Ergebnisse

Gaiser, J.; Jendritzki, I.; Poganietz, W.-R.; Spieth-Achtnich, A.; Sutter, J.; Fabianek, P. (2023). Gemeinsam in die Zukünfte blicken – Regionale Nachhaltigkeitsbewertung von Energiesystemen. *ETG Kongress 2023*, Kassel, 25.-26.05.2023.

Kraus, B.; Gaiser, J.; Poganietz, W.R.; Buchholz, B. (2023). Regional sustainability assessment of Energy Systems: Integrating stakeholder perspectives and conditions on a regional scale. *CIGRE Conference, Paris, France*, 25.-30.08.2022. [<https://cse.cigre.org/cse-n027/c3-regional-sustainability-assessment-of-energy-systems-integrating-stakeholder-perspectives-and-conditions-on-a-regional-scale>]

Poganietz, W..R.; Gaiser, J.; Kraus, B.; Buchholz, B. (2022). Regional sustainability assessment of Energy Systems: Integrating stakeholder perspectives and conditions on a regional scale 2022. *CIGRE Conference, Paris, France*, 25.-30.08.2022.

Poganietz, W.R. (2024). Life Cycle Sustainability Assessment of Energy Systems. Joint Workshop of EERA JPs ESI and e3s Sustainability in Energy Systems: Considering Multiple Perspectives in Design and Assessment, Kaunas, 04.06.2024.

Poganietz, W.R. (2024). Methodology for the evaluation of social, environmental, and energy indicators beyond energy system models. *NTNU Energy Transition Week 2024. Pathways to Sustainable Development: Scenarios for Energy Transition Acceleration*, Trondheim, 14.03.2024.

Poganietz, W.R. (2024). Methodology for the evaluation of social, environmental, and energy indicators beyond energy system models. *NTNU Energy Transition Week 2024. Pathways to Sustainable Development: Scenarios for Energy Transition Acceleration*, Trondheim, 14.03.2024.

Poganietz, W.R.; Jendritzki, I., Noglik, P. (2024). Assessing the Sustainability of Future Regional Energy Systems: Integrating Stakeholder Perspectives *CIGRE Conference, Paris, France*, 25.-30.08.2024. (akzeptiert)

3 Anhang

Tabelle 10: Übersicht der Arbeitspakete mit Beteiligung von ITAS

Arbeitspaket	Leitung
AP 1.1: Fortschreibung der Storylines und Szenarien*	
AP 1.4: Regionale Nachhaltigkeitsbewertung	ITAS
AP 8.1: Konsolidierende Arbeiten im Bereich Gesamtsystembetrachtung	
AP 8.4: Konsolidierende Arbeiten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Transfer	ITAS

Anm.: * Nur in der ersten Aufstockungsphase.

Tabelle 11: Übersicht der Meilenstein vom ITAS aus der GVB, Ergänzung zur GVB (mit Zusatz "A1" gelistet) und zweiter Ergänzung zur GVB (mit Zusatz "A2" gelistet). Es sind die Originaltitel der Meilensteine nach GVB angegeben.

Meilenstein
MS1.1.5 Relevanz der novellierten Szenarien für die Ergebnisse von ENSURE (A1)
MS1.4.1 Konzept zur regionalen Nachhaltigkeitsbewertung
MS1.4.3 Bewertung der Nachhaltigkeit des Energiekosmos ENSURE, einschl. einer Faktorenanalyse der Technologiediffusion
MS1.4.4 Aktualisierung der Nachhaltigkeits- und Umweltbewertung (A1)
MS1.4.5 Anpassung der Nachhaltigkeitsbewertung an die Phase 3 (A1)
MS8.1.1 Konzept zur systemischen Bewertung der ENSURE-Lösungen erstellt (A2)
MS8.4.1 ÖA- und Transfer-Maßnahmen sind abgeschlossen (A2)