

INOLA-  
Arbeitsbericht Nr. 11  
September 2019

## **ENERGIEKOMPASS FÜR DIE MODELLREGION OBERLAND**

**PARTIZIPATIVER MULTIKRITERIELLER NACHHALTIGKEITSVERGLEICH  
REGIONALER ENERGIEPFADE – METHODISCHES VORGEHEN UND ERGEBNISSE**

Julian Bothe, Annika-Kathrin Musch

Diese Studie wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) von 2014 bis 2019 geförderten Projekts INOLA (Innovationen für nachhaltiges Land- und Energiemanagement auf regionaler Ebene) erstellt. Für den Inhalt und die Ergebnisse der Studie sind die Autoren verantwortlich.

**Autoren:** Julian Bothe (Energiewende Oberland),  
Annika-Kathrin Musch (LMU München, Department für Geographie, Lehr- und Forschungseinheit Mensch-Umweltbeziehungen)  
© Juli 2019

**Kontakt:** Julian Bothe  
Energiewende Oberland - Bürgerstiftung für Erneuerbare Energien und Energieeinsparung  
Am Alten Kraftwerk 4  
82377 Penzberg  
E-Mail: bothe@energiewende-oberland.de

Annika-Kathrin Musch  
Department für Geographie  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Luisenstr. 37  
80333 München  
E-Mail: a.musch@lmu.de

Alle **INOLA-Arbeitsberichte** sind auf der Projektseite [www.inola-region.de](http://www.inola-region.de) verfügbar.

**Bereits veröffentlichte INOLA-Arbeitsberichte:**

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 1:** Naturräumliche Gegebenheiten und räumliche Analyse der Energieanlagen in der Modellregion Oberland

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 2:** Regionale Analyse des Energiesystems in der Modellregion Oberland

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 3:** Das naturräumliche und technische Potential für Erneuerbare Energien in der Modellregion Oberland

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 4:** Maßnahmenanalyse der Bürgerstiftung Energiewende Oberland

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 5:** Akteure regionaler Energiewendeprozesse in der Modellregion Oberland. Rollen, Netzwerke, Potenziale

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 6:** Akzeptanz der Energiewende im Oberland. Ergebnisse einer Passantenbefragung in ausgewählten Gemeinden der Modellregion Oberland

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 7:** Szenarien, Zukunftswünsche, Vision. Ergebnisse der partizipativen Szenarienkonstruktion in der Modellregion Oberland

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 8:** Bewertung der Energiewende im Oberland aus ökonomischer Sicht

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 9:** Sanierungsverhalten von Hauseigentümern in Bayern. Vom ersten Gedanken zur tatsächlichen Umsetzung: Ergebnisse einer Haushaltsbefragung.

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 10:** Simulation regionaler Energiepfade im Oberland bis 2035/2045. Akteursentscheidungen, Energie- und Stoffströme sowie ökonomische Effekte.

**INOLA-Arbeitsbericht Nr. 11:** Energiekompass für die Modellregion Oberland. Partizipativer multikriterieller Nachhaltigkeitsvergleich regionaler Energiepfade - Methodisches Vorgehen und Ergebnisse.

Unser Dank geht an die InterviewpartnerInnen und Workshop-TeilnehmerInnen für die Unterstützung.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis.....	v
Kurzzusammenfassung.....	vi
1 Bewertung von Energiepfaden im Zusammenhang des Projekts INOLA.....	7
2 Ansätze: Nachhaltigkeitsbewertung und multikriterielle Entscheidungsanalyse.....	9
2.1 Schritte des Prozesses.....	9
3 Durchführung.....	12
3.1 Systemfestlegung.....	12
3.2 Entwicklung eines Indikatorensets.....	12
3.3 Softwaregestützte Online-Umfrage.....	16
3.4 Exkurs: eine beispielhafte Berechnung der Nutzenpunkte.....	19
3.5 Durchführung und Ergebnisdiskussion der Umfrage.....	23
4 Ergebnisse des partizipativen multikriteriellen Nachhaltigkeitsvergleichs.....	26
4.1 Ergebnisse der Bewertung als Umfrage unter der Begleitgruppe.....	26
4.2 Ergebnisse der Diskussion der Bewertung in der Begleitgruppe.....	28
4.3 Weitere Durchführungen der Bewertung.....	28
5 Diskussion und Zusammenfassung.....	29
5.1 Stellung und Wirkungen innerhalb der Innovationsgruppe.....	29
5.2 Stellung und Wirkungen in der Projektregion.....	29
6 Literaturverzeichnis.....	31
7 Anhang: Verwendete Indikatoren.....	33

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel aus einem Strategieworkshop zum regionalen Energiesystem der Zukunft.....	12
Abbildung 2: Ausgabe der Nutzenwerte pro Rahmen .....	18
Abbildung 3: Nutzenfunktionen „Anteil Erneuerbarer Strom“ und „Anteil Erneuerbarer Wärme“ ....	19
Abbildung 4: Effekte verschiedener Nutzenfunktionen .....	20
Abbildung 5: Nutzenpunkte der verschiedenen Ebenen .....	22
Abbildung 6: Beispiel Energiekompass.....	23
Abbildung 7: Energiefachbeiräte der Region Oberland bewerten die Energiepfade im Online-Tool...	24
Abbildung 8: Erläuterung der verschiedenen Optionen im Onlinetool.. ..	25
Abbildung 9: Ergebnisse der Umfrage.....	26
Abbildung 10: Abstimmungsergebnisse bzw. Gewichtungen der Hauptdimensionen.....	27

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abfrage zu präferierten Kriterien eines zukünftig nachhaltigen Energiesystems .....	13
Tabelle 2: Baumstruktur des Indikatorensets und zugeordnete Indikatoren .....	14
Tabelle 3: Ausarbeitung des Indikatorensets, Tabelle zur interdisziplinären Abstimmung.....	15
Tabelle 4: Umrechnung der Indikatoren in Nutzenpunkte .....	20
Tabelle 5: Beispielhafte Berechnung der Nutzenpunkte .....	21
Tabelle 6: Ergebnisse der Umfrage .....	26
Tabelle 7: Vergleich der Mittelwerte der Gewichtungen: Energiewendeziel und Umwelteffekte.....	28

## Kurzzusammenfassung

Die Modellregion Oberland südlich von München hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2035 unabhängig von fossilen Energieträgern zu sein. Um dieses Ziel zu unterstützen, wurden im transdisziplinären Projekt INOLA (Innovationen für ein nachhaltiges Land- und Energiemanagement auf regionaler Ebene) verschiedenen Energiepfade simuliert. Zum einen setzten sich die Pfade für erneuerbare Energien aus vielen Faktoren zusammen, die teils nicht auf den ersten Blick ersichtlich werden. Zum anderen sind bei Entscheidungssituationen zu erneuerbaren Energien vielfältige Dimensionen und Zielkonflikte zu beachten.

Um diese Vielzahl von Informationen präsentieren und vergleichen zu können, wurde ein multikriterieller Bewertungsansatz (MCDA) gewählt. Der Bericht stellt die interdisziplinär entwickelten und transdisziplinär abgestimmten Nachhaltigkeitsindikatoren und das Onlinetool („der Energiekompass“) zur partizipativen Bewertung bzw. Entscheidungsfindung vor und diskutiert Erfahrungen, Prozess und Ergebnisse.

Die Entwicklung des Energiekompasses und dessen Ergebnisse waren sowohl projektintern als auch in der Untersuchungsregion von Bedeutung. Projektintern diente der Energiekompass zur Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellierung und erleichterte die Abstimmung zwischen den Teilprojekten. In der Untersuchungsregion diente er zur leichteren Kommunikation der Modellierungsergebnisse. Insbesondere konnte der Unterschied zwischen den Entwicklungspfaden „Kleine Lösungen“ und „Große Lösungen“ diskutiert werden. In der Umfrage unter der Begleitgruppe des Projektes favorisierten zwar die meisten Teilnehmenden den Pfad „Große Lösungen“ – allerdings wird aus dem Vergleich auch deutlich, dass hierfür ein höherer Flächenverbrauch beispielsweise durch Windkraftanlagen oder Freiflächen-PV akzeptiert werden muss.

Der Energiekompass steht unter <https://inola.shinyapps.io/energiekompass/> online und kann dort ausprobiert werden.

## 1 Bewertung von Energiepfaden im Zusammenhang des Projekts INOLA

Drei Landkreise südlich von München, die Landkreise Bad Tölz–Wolfratshausen, Miesbach und Weilheim-Schongau, im vorliegenden Bericht zusammenfassend als Modellregion Oberland bezeichnet, haben sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, die Energieversorgung bis 2035 vollständig auf Erneuerbare Energien (EE) umzustellen (Kreistagsbeschluss Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen 2005, Landkreis Miesbach 2005, Landkreis Weilheim-Schongau 2012)<sup>1</sup>. Diese Umstellung bedeutet eine große Herausforderung für die Region.

Das Projekt INOLA<sup>2</sup> (Innovationen für ein nachhaltiges Land- und Energiemanagement auf regionaler Ebene) zielte darauf ab, in enger Zusammenarbeit mit der Modellregion Oberland und regionalen AkteurInnen, den Stadtwerken Bad Tölz und der Bürgerstiftung Energiewende Oberland (EWO), das Vorhaben der Transformation hin zu einem nachhaltigen Energie- und Landnutzungssystem zu unterstützen und wissenschaftlich zu begleiten. Gemeinsam wurden Lösungsansätze und konkrete Strategien für eine nachhaltige und sinnvolle Energieversorgung in der Region erarbeitet.

Das Konzept der Nachhaltigkeit wird in der Literatur kritisch betrachtet für den Anspruch, Ökologie, Ökonomie und Soziales in gleichem Maße vereinen zu wollen (z. B. Grunwald 2016). Hier zeigt sich bereits eine große Herausforderung: Unterschiedliche Akteure haben unterschiedliche Wertvorstellungen und Prioritäten hinsichtlich Nachhaltigkeit, die insbesondere bei einer gemeinsamen Erarbeitung sichtbar werden (Ridder et al. 2007). Nachhaltigkeit, oder – wie in unserem Fall – ein positiver Beitrag zu einem nachhaltigen Energiesystem, ist kein objektiv mess- bzw. bewertbarer Parameter im engeren Sinne (Wilson und Wu 2017). Deshalb wird je nach Kontext ein System aus Bewertungskriterien benötigt, die zum jeweiligen System passen und zunächst definiert werden müssen.

Für INOLA bedeutete dies, dass ausgehend von der gemeinsamen Vision einer nachhaltigen Energieversorgung für die Modellregion Oberland (vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 7), konkrete Indikatoren festgelegt werden mussten, um in einem partizipativen Stakeholderprozess verschiedene mögliche Ausprägungen eines zukünftigen Energiesystems bewerten und vergleichen zu können. Einerseits sollten die individuellen Präferenzen erfasst werden können, andererseits eine Tendenz aus Sicht „der Region“ erkennbar sein. Im vorliegenden Beitrag wurde die Begrifflichkeit des multikriteriellen Nachhaltigkeitsvergleichs gewählt.

Als ein Meilenstein wurde das sogenannte Konsenstool entwickelt, ein prozessbasiertes Modell zur Simulation von Energiepfaden. Dieses Modell simuliert beispielsweise Entscheidungen zum Bau erneuerbarer Energieanlagen, Entscheidungen zur Gebäudesanierung und zum Heizungstausch, Energieproduktion und –bedarf in der Region unter Einbeziehung von räumlicher Lage, physikalischen Prozessen und Meteorologie, sowie ökonomische Auswirkungen des Energiesystems. Es wurden mehrere Energiepfade mit unterschiedlichen technologischen Schwerpunkten jeweils unter verschiedenen Rahmenszenarien modelliert, wobei die Rahmenszenarien z. B. mögliche zukünftige

---

1 Diese Landkreise sind zur Umsetzung des Energiewendeziels wie viele Städte und Gemeinden der Bürgerstiftung Energiewende Oberland beigetreten. Der Landkreis Garmisch-Partenkirchen gehört zwar auch zur Planungsregion 17 – Oberland und hat sich mittlerweile auch zu diesem Energiewendeziel verpflichtet. Dies und der Beitritt zur Energiewende Oberland geschah aber erst nach Projektbeginn, weshalb der Landkreis Garmisch Partenkirchen nicht zur Untersuchungsregion des Projektes INOLA gehört.

<sup>2</sup> Das Projekt wurde von 2014 bis Oktober 2019 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert ([www.inola-region.de](http://www.inola-region.de)).

Energiepreisentwicklungen oder politische Förderungen auf übergeordneter Ebene berücksichtigen (vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 10).

Der Energiekompass baut auf den Ergebnissen des Konsenstools auf: Zum einen setzen sich die simulierten Energiepfade aus vielen Faktoren zusammen, die teils nicht auf den ersten Blick ersichtlich werden. Zum anderen sind bei Entscheidungssituationen zu erneuerbaren Energien vielfältige Dimensionen und Zielkonflikte zu beachten.

Deshalb wurde ein Indikatorenraster für einen multikriteriellen Vergleich entwickelt und ein Online-Tool im Fragebogenformat programmiert. Dieser Energiekompass ermöglicht es die Energiepfade aus sozialer, ökologischer und ökonomischer Sicht je nach individueller Präferenz zu bewerten, eine Vielzahl von Informationen zu präsentieren und zu vergleichen und im Stakeholderprozess zu diskutieren. Der Energiekompass ist deshalb erstens eine Entscheidungshilfe und kann, zweitens, eine ganzheitlichere Betrachtung und Versachlichung der Diskussion ermöglichen. Eine solche Versachlichung kann, drittens, Lerneffekte hervorrufen, indem beispielsweise Unterschiede und Widersprüche zwischen spontanen Werturteilen über wünschenswerte Ausbaupfade und dahinterliegenden Zielen und Präferenzen den Teilnehmenden bewusst werden.

Dieser Arbeitsbericht geht zunächst in Kapitel 2 kurz auf die Unterschiede zwischen Nachhaltigkeitsbewertungen und Entscheidungsanalysen ein und zeigt auf, wie bei der vorliegenden multikriteriellen Entscheidungsanalyse vorzugehen ist. Kapitel 3 geht auf das interdisziplinär entwickelte und transdisziplinär abgestimmte Indikatorenset sowie die Programmierung der softwaregestützten Online-Umfrage ein, die zusammen das Gerüst des Energiekompasses bilden. Kapitel 4 präsentiert die Ergebnisse des partizipativen Stakeholderprozesses in der Modellregion Oberland. Kapitel 5 schließt mit einer Reflexion zum Stellenwert und Wirkung des Energiekompasses für das Projekt.

Der Energiekompass steht unter <https://inola.shinyapps.io/energiekompass/> online und kann dort ausprobiert werden.

## 2 Ansätze: Nachhaltigkeitsbewertung und multikriterielle Entscheidungsanalyse

Bei Nachhaltigkeitsanalysen gibt es mehrere Vorgehensweisen: Zum einen Ansätze, die einzelne Situationen, Pläne oder Entwicklungen gegenüber einem absoluten (Nachhaltigkeits-)Ideal bewerten (z.B. Quitzow et al. 2019; Quitzow et al. 2018; Andes o.J.), zum anderen Ansätze, die mehrere Alternativen miteinander vergleichen (z.B. Đào 2016; Grilli et al. 2016; Torres Sibille, Ana del Carmen et al. 2009; Wieduwilt 2018). Erstere sind somit als Nachhaltigkeitsbewertung, letztere als Nachhaltigkeitsvergleich oder Entscheidungsanalyse zu bezeichnen, obwohl diese Bezeichnungen nicht immer einheitlich verwendet werden (vergleiche für eine leicht abweichende Benennung Binder et al. 2008).

Aus der Vielzahl verschiedener Methoden Multikriterieller Entscheidungsanalysen (MCDA, siehe Greco et al. 2016; Wilkens 2012) wurde der Ansatz der Multi-Attribute-Utility-Theory (MAUT) ausgewählt (Scholz und Tietje 2002). Dieser zeichnet sich dadurch aus, dass die zu vergleichenden Alternativen anhand verschiedener Attribute quantifiziert werden, diesen Ausprägungen der Attribute Nutzenpunkte zugeordnet werden, und diese anhand individuell zu bestimmender Gewichtungen schließlich zu einem Nutzenwert pro Alternative aggregiert werden. Dies setzt beispielsweise voraus, dass die Umrechnung von Attributen in Nutzen per Nutzenfunktionen und die Gewichtungen explizit angegeben werden – im Gegensatz beispielsweise zu sogenannten Outranking-Methoden wie Pro-methee, bei denen sich die User ihren Gewichtungen nicht unbedingt bewusst sein müssen (Geldermann und Lerche 2014, S. 53).

Diese Merkmale von MAUT wurden bei unserer Verwendung als Vorteil angesehen: Erstens harmonisiert die explizite Angabe der Indikatoren gut mit dem Modellierungsansatz, der die Berechnung verschiedener Indikatoren zum Ziel hat. Zweitens zwingt der Ansatz die Teilnehmenden, explizite Bewertungen vorzunehmen. Dies wurde als Vorteil gesehen, da die Bewertung im Kontext der Vorstellung der Alternativen erfolgte und den Teilnehmenden die Bewertungen dadurch auch für die folgende Diskussion bewusst(er) war (vgl. Kapitel 4.2). Drittens gibt der Ansatz normative Hinweise, wie Trade-Offs zwischen verschiedenen Alternativen erfolgen können (Scholz und Tietje 2002, S. 172). Diese explizit diskutieren zu können ist insbesondere bei der Diskussion von Zielkonflikten bei Energiewendevorhaben, wie in unserem Fall, von Vorteil.

### 2.1 Schritte des Prozesses

Basierend auf Scholz und Tietje (2002) sowie Geldermann und Lerche (2014, S. 15) lassen sich folgende Schritte unterscheiden.

#### a) Analyse der Entscheidungssituation

Hier stehen die Fragen im Vordergrund, die zur Entscheidung geführt haben, eine multikriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA) durchzuführen: Was ist das Entscheidungsproblem? Was sind die Konsequenzen der Entscheidung? Wer sind die Entscheider? Was ist der Stellenwert der MCDA? Was ist das System/ die Systemgrenze, was sind die Rahmenbedingungen?

In unserem Fall ist das System: die Energieversorgung im Oberland. Das Entscheidungsproblem ist die Bewertung verschiedener Simulationen durch Stakeholder, aber auch die breitere Öffentlichkeit (siehe Kapitel 3.1).

**b) Alternativen festlegen**

Welche Alternativen sollen verglichen werden?

Bei uns sind die Alternativen: Welche erneuerbaren Energien sollen wie stark ausgebaut werden und wie stark sollen welche Einsparungen von Energie angestrebt werden? Dies sind die verschiedenen Energiepfade, die im Konsenstool unter verschiedenen Rahmenszenarien modelliert wurden (vgl. Arbeitsbericht 10). Hierzu wurden Wünsche aus der Region für ein nachhaltiges Energiesystem berücksichtigt. Die Forschungsgruppe hat diese in verschiedenen Alternativen operationalisiert. Modelliert wurde unter verschiedenen Rahmenszenarien. Diese wurden ebenfalls partizipativ entworfen (INOLA-Arbeitsbericht Nr. 7) und für die Modellierung von der Forschungsgruppe operationalisiert.

**c) Attributliste bzw. Indikatorenset festlegen**

Die verschiedenen Alternativen werden durch Attribute quantifiziert und beschrieben.

Dies wurde bei uns in einem partizipativen transdisziplinären Prozess unter Einbezug verschiedener ExpertInnen aus der Region und mit extensiver Rückkopplung mit der Forschungsgruppe entwickelt (siehe Kapitel 3.2.)

**d) Alternativen-Attributs-Matrix ausfüllen**

Ausprägungen der Indikatoren pro Alternative.

Bei uns sind dies die Ergebnisse aus den Modell-Berechnungen, teilweise mit einfachen Umrechnungen (siehe Kapitel 3.2 sowie Anhang, vgl. Arbeitsbericht Nr. 10).

**e) Nutzenfunktionen festlegen**

Wie werden die Ausprägungen der Indikatoren pro Alternative in Nutzenpunkte umgerechnet?

Bei uns geschah dies durch einfache lineare bzw. antiproportionale Funktionen, die durch die Forschungsgruppe unter Einbezug der Diskussionen aus den Workshops festgelegt wurden (siehe Kapitel 3.3 sowie Anhang). Ziel war dabei auch, den durch die Steigung der Nutzenfunktionen voreingestellten Einfluss der einzelnen Indikatoren so miteinander abzustimmen, dass kein Indikator ein zu starkes Gewicht hatte.

**f) Gewichtungen ermitteln**

Mit welcher Gewichtung gehen die einzelnen Attribute mit ihren Nutzenpunkten in die Gesamtbewertung ein? Auch wenn Entscheidungen in allen Schritten Einfluss auf das Ergebnis haben können, ist dies das Herzstück der Methode: Die Gewichtungen sollten mit den Präferenzen der potentiellen EntscheiderInnen übereinstimmen und werden deshalb normalerweise empirisch ermittelt (Scholz und Tietje 2002, S. 165).

Bei uns wurden diese Gewichtungen per interaktiver Umfrage zusammen mit der Vorstellung der Modellierungsergebnisse in Stakeholder-Workshops in der Modellregion sowie online durchgeführt (siehe Kapitel 3.4).

**g) Aggregierungsweise festlegen**

In der Übersicht von Scholz und Tietje (2002, S. 170) sowie der Beschreibung von Geldermann und Lerche (2014, S. 40f) bezieht sich dieser Schritt auf die Aggregation von Nutzenpunkten und Gewichtungen pro EntscheiderIn: Wie wird bei bekannten Gewichtungen und Nutzenpunkten der endgültige Nutzenwert pro Alternative berechnet bzw. wie werden die Alternativen in eine Rangfolge gebracht?

Bei uns wurde dies bereits weitgehend durch die gewählte Methode der MAUT vorgegeben: Die angegebenen Gewichtungen wurden mittels Swing-Weights (Scholz und Tietje 2002, S. 168), also mit ihrem Verhältnis und nicht mit den absoluten Werten, in die endgültigen Gewichtungen umgerechnet. Die einzelnen Nutzenpunkte gingen gemäß dem Anteil dieser Gewichtungen in das Endergebnis ein (siehe Kapitel 3.4).

In den genannten Beschreibungen nicht genannt ist jedoch der Fall, wenn eine MCDA von mehreren Individuen bzw. mehreren EntscheiderInnen durchgeführt wird: Auch hier gilt es Entscheidungen zur Aggregation zu treffen: Wie werden die individuellen Ergebnisse zu einem Gesamtergebnis zusammengeführt?

Dieser Schritt wird häufig nicht offen gelegt. Beispielsweise bleibt bei Binder et al. (2008) unklar, wie die Bewertungen von 10 ExpertInnen zu einem Gesamtergebnis aggregiert wurde – die Beschreibung des Prozesses lässt vermuten, dass die Durchschnittswerte der Gewichtungen zugrunde gelegt wurden (Binder et al. 2008, S. 221). Eine Alternative hierzu ist, die individuellen Ergebnisse zu sammeln und diese als „Abstimmung“ zu betrachten bzw. hinterher in ihren Konsequenzen zu diskutieren – dies ist die von uns gewählte Vorgehensweise. Wie unsere Ergebnisse auch zeigen, ist dies aufgrund der besser mit den individuellen Präferenzen übereinstimmenden Ergebnisse angemessener als die Gewichtung aufgrund von Durchschnittswerten (vg. Kapitel 4.1).

#### **h) Sensitivitätsanalyse durchführen**

In der Sensitivitätsanalyse wird überprüft, wie robust die Ergebnisse sind: Was passiert, wenn andere Annahmen/Gewichtungen getroffen werden?

Bei uns konnte dies aufgrund der interaktiven Durchführung zum einen durch die Teilnehmenden selbst mittels der Wahl anderer Gewichtungen durchgeführt werden. Zum anderen ging dem aber auch bereits eine Sensitivitätsanalyse bei der Anpassung der Nutzenfunktionen voraus, um die einzelnen Nutzenfunktionen auch gegeneinander zu kalibrieren (siehe Kapitel 3.3.)

#### **i) Ergebnisse diskutieren**

Die Ergebnisse wurden zum einen direkt in den Workshops diskutiert, zum anderen intern in der Forschungsgruppe (siehe Kapitel 4 und 5).



Dieses erste Brainstorming, das in Tabelle 1 für die jeweiligen Landkreise zusammengefasst ist, stellte eine Grundlage für die partizipative Bewertung der Energiepfade dar. Es wurde deutlich, dass in allen drei Landkreisen für ein zukünftig nachhaltiges Energiesystem die CO<sub>2</sub>-Neutralität, Wirtschaftlichkeit (Erhöhung der regionalen Wertschöpfung, Bezahlbarkeit), Krisensicherheit und Ressourcenschonung zentrale Kriterien waren. Zudem wurde eine regionale (Planungs-)Beteiligung gewünscht. Diese Indikatoren sollten in der finalen multikriteriellen Bewertung berücksichtigt werden.

**Tabelle 1: Abfrage zu präferierten Kriterien eines zukünftig nachhaltigen Energiesystems in der Modellregion Oberland**

<b>Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen</b>	<b>Landkreis Miesbach</b>	<b>Landkreis Weilheim-Schongau</b>
CO <sub>2</sub> -neutral	CO <sub>2</sub> -neutral	CO <sub>2</sub> -neutral
Landschaftsbild	nachhaltig und umweltfreundlich	Umweltverträglich
Nutzung von Technologien	Wettbewerb --> Innovationen	Innovativ (technisch)
Unter regionaler Beteiligung	Bürgerenergie	gemeinsam/ Bürger partizipativ/ Kommunen einfach/ Landwirte
Regionale Wertschöpfung erhöhen	Regionale Wertschöpfung	Regionale Wertschöpfung erhöhen
Versorgungssicherheit	(Versorgungs-)Sicherheit	heterogen/ krisensicher
bezahlbar	bezahlbar	bezahlbar
Akzeptanz/ Identifikation	Hohe Akzeptanz	
Mix/ Vernetzung/ modular	Mix/ Speicher/ Vernetzung fördern	
geringer Flächenverbrauch	Regional und dezentral	Wenig Ressourcenverbrauch
umweltfreundlich	Hohe Selbstversorgung	
Zielkonflikte vermeidend		
wirtschaftlich		
erneuerbar		
Energetische Effizienz		

### 3.2.2 Abgleich mit vorhandenen Studien

Die vorgeschlagenen Indikatoren wurden anschließend mit bereits bestehenden Indikatorensets abgeschlossener Projekte abgeglichen.

In einer lokalen Fallstudie im Rahmen des Projektes ARTEMIS (Bohunovsky et al. 2006) werden vier Szenarien bezüglich der Energiezukunft zweier Gemeinden in Österreich bewertet. Die Bewertung stützt sich einerseits auf die Anforderungen (in Form von Kriterien), die an ein nachhaltiges Energiesystem gestellt werden und andererseits auf die sozialen Präferenzen für diese Kriterien in Form von Gewichtungen (*ibid*: 1). Die 15 identifizierten Kriterien schließen beispielsweise die regionale Wertschöpfung mit ein, die Luftqualität, den optimalen Einsatz von Ressourcen oder die Vielfalt von Technologien und Ressourcen. Neun Kriterien sind ausschließlich qualitativ, sechs Kriterien werden über das im Projekt verwendete Modell simuliert. Die vorgeschlagenen Kriterienkategorien eigneten sich

prinzipiell für INOLA, jedoch sollte eine Verknüpfung mit den projekteigenen Modelloutputs des Konsenstools erreicht werden.

Eine große Herausforderung stellte dabei die Quantifizierbarkeit der Indikatoren dar. Bohunovsky et al. (2006) erfassen beispielsweise die Daten zu den Kriterien *regionale Wertschöpfung* sowie *Zusammenhalt in der Region* über qualitative Experteninterviews und eigene Abschätzungen. Für INOLA wurde die regionale Wertschöpfung für die Energiepfade berechnet (vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 8), konnte also quantitativ abgebildet werden. Aufgrund der Abhängigkeit von den verfügbaren Daten, die für die eigene Bewertung relevant sind, ließen sich Kriterien aus bereits abgeschlossenen Studien (vgl. z.B. Hirschberg et al. 2008; Wilkens 2012; Haebler et al. 2017) deshalb nur bedingt übernehmen und mussten jeweils für den Projektkontext präzisiert und ergänzt werden.

### 3.2.3 Entwicklung eines eigenen Indikatorensets für INOLA mit der Innovationsgruppe

Eine Herausforderung für das Projektteam war die Abwägung zwischen gewünschten, notwendigen versus abbildbaren Indikatoren. Das bedeutet, dass Wünsche aus der Strategieworkshops berücksichtigt werden sollten, eine Bandbreite an Indikatoren sonst gängiger Nachhaltigkeitsvergleiche abgedeckt werden und zudem die Faktoren weitestgehend mit den im Projekt generierten Modellergebnissen abgedeckt werden können.

Die inter- und transdisziplinäre Entwicklung und Absprache eines Indikatorensets, zeitgleich zu laufenden Simulationen sowie die Programmierung des Online-Tools zur Umfrage war zeitintensiv. In ca. 20 Besprechungen, zwischen Frühjahr 2018 und Sommer 2019, erfolgte die Identifikation und Zuordnung der gewünschten Indikatoren zu möglichen Modelloutputs.<sup>3</sup>

Die Modelloutputs wurden durch das sogenannte Konsenstool generiert, ein prozessbasiertes Modell zur Simulation von Energiepfaden (vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 10). Dieses Modell simuliert beispielsweise Entscheidungen zum Bau erneuerbarer Energieanlagen, Entscheidungen zur Gebäudesanierung und zum Heizungstausch, Energieproduktion und –bedarf in der Region unter Einbeziehung von räumlicher Lage, physikalischen Prozessen und Meteorologie, sowie ökonomische Auswirkungen des Energiesystems.

Passend zu den simulierten Energiepfaden umfasst das Indikatorenset vier übergeordnete Dimensionen „Energiewendeziel allgemein“, „Struktur des Energiesystems“, „Ökonomische Effekte“, sowie „Umweltauswirkungen“, denen jeweils mehrere Indikatoren zugeordnet sind (vgl. Tabelle 2). Auch die jeweilige Richtung der Indikatoren (Mehr Energieverbrauch ist schlecht, ein höherer Anteil erneuerbaren Energien ist gut) wurde in diesem Zusammenhang festgelegt und die Form der Nutzenfunktion vom Projektteam diskutiert (siehe Kapitel 3.3.2).

**Tabelle 2: Baumstruktur des Indikatorensets, übergeordnete Dimensionen und zugeordnete Indikatoren**

<p><b>1. Erreichung des Energiewendeziels Region Oberland</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. Energieverbrauch <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1.1. Strom</li> <li>1.1.2. Wärme</li> </ul> </li> <li>1.2. Anteil regionaler Versorgung mit erneuerbaren Energien bilanziell <ul style="list-style-type: none"> <li>1.2.1. Strom</li> <li>1.2.2. Wärme</li> </ul> </li> </ul>
---

<sup>3</sup> Zusätzlich wurden kleinere weitere Berechnungen durchgeführt. Z.B. wurde für den Indikator „Diversität des Energieerzeugungssystems“ eine Diversitätsmaßzahl berechnet nach dem Simpson-Index, bei anderen Indikatoren wurde aufsummiert oder gemittelt.

1.3. Stromüberschuss
<b>2. Struktur des Energiesystems</b> 2.1. Diversität des Energiesystems 2.2. Präferenz für Anlagengröße 2.2.1. Strom 2.2.2. Wärme 2.3. Regionaler Ausgleich zwischen EE-Stromproduktion und –verbrauch
<b>3. Ökonomische Effekte</b> 3.1. Regionale Wirtschaftsentwicklung durch EE - langfristig und übergreifend 3.1.1. Regionale Wertschöpfung durch EE - langfristig und übergreifend 3.1.2. Regionale Arbeitsplätze durch EE - langfristig und übergreifend 3.2. Energieerzeugungskosten (Strom und Wärme) 3.3. Bedarf regionaler Fördermittel 3.4. Finanzielle Bürgerbeteiligung 3.5. Politische Bürgerbeteiligung
<b>4. Umweltauswirkungen</b> 4.1. Flächenversiegelung und Überbau (Wind, PV-Freiflächen, Biogasanlagen, Kraftwerke) 4.2. Anteil Verwendung für Energieproduktion an landwirtschaftlicher Produktion 4.2.1. Getrennt nach Mais und Holz 4.3. Regionale und lokale Beeinträchtigungen durch Energieerzeugungsanlagen 4.4. Anlagenpräferenz 4.4.1. Windkraft 4.4.2. Freiflächenanlagen/ PV und Solarthermie 4.4.3. Dachflächenanlagen/ PV und Solarthermie 4.4.4. Wasserkraftanlagen 4.4.5. Biogasanlagen 4.4.6. Größere Biomasseheiz(kraft)werke 4.4.7. Holzbefeuerte Heizungen (Einzelhäuser) 4.4.8. Tiefengeothermieanlagen 4.4.9. Anlagen für Umgebungswärme und oberflächennaher Geothermie

Um die interdisziplinäre Abstimmung zu erleichtern, wurde in einem gemeinsamen Dokument (siehe Tabelle 3) jeder Indikator definiert, mit einer Erklärung und Beispielfrage aus dem Fragebogen versehen und je nach Bearbeitungsstatus gekennzeichnet. Gerade bei komplexen Themen wie der zukünftigen Konfiguration eines Energiesystems sollten trotz technischer Begriffe die Indikatoren und Fragen für unterschiedliche, in transdisziplinären Kontext zusammenarbeitende AkteurInnen verständlich sein. Das Ziel der Formulierung war, dass alle Teilnehmenden die Frage gleich verstehen bzw. interpretieren.

**Tabelle 3: Ausarbeitung des Indikatorensets, Tabelle zur interdisziplinären Abstimmung**

Nr	Gliederung	Indikator, Bewertungsfrage: Wichtigkeit im Verhältnis zu den anderen Indikatoren von 0 (gar nicht wichtig) bis 100 (sehr wichtig)	Definition	Kommentar und Nutzenfunktion
1.		<b>1. Energiewendeziel: Wie wichtig ist es Ihnen, wie sehr sich die Region durch regionale erneuerbare Energien versorgt?</b>		
2.	1.1	<b>Energieverbrauch</b> <i>Wie wichtig ist Ihnen, ein generell niedriger Energieverbrauch in der Region Oberland?</i>	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen	Proportionale Funktion
3.	1.1.1	<b>Strom</b> <i>Wie wichtig ist Ihnen ein niedriger Stromverbrauch in der Region Oberland?</i>	STROMBEDARF	Strom: spiegelt u. a. regionales Wachstum und Entwicklungen zu Wärmepumpen wieder  Negativproportionale Funktion
4.	1.1.2	<b>Wärme</b> <i>Wie wichtig ist Ihnen ein niedriger Wärmever-</i>	WÄRMEBEDARF	Wärme: spiegelt u. a. Entwicklungen zu Sanierung wieder.

Nr	Gliederung	Indikator, Bewertungsfrage: Wichtigkeit im Verhältnis zu den anderen Indikatoren von 0 (gar nicht wichtig) bis 100 (sehr wichtig)	Definition	Kommentar und Nutzenfunktion
		<i>brauch in der Region Oberland?</i>		Negativproportionale Funktion

Das gesamte Indikatorenset umfasst 38 quantitative und qualitative Indikatoren und befindet sich im Anhang.

Die Ergebnisse der Modelloutputs für den jeweiligen Indikator wurden, je nach Schwerpunkt des Energiepfads (vgl. Kapitel 3.4 sowie INOLA Arbeitsbericht 10) und Rahmenszenario (vgl. Kapitel 3.3.3 sowie INOLA Arbeitsbericht 7) in einer separaten Google-Tabelle gesammelt, die automatisiert in die softwaregestützte Umfrage eingelesen werden konnte. Ziel war eine kontinuierliche Aktualisierung der Modellierungsergebnisse, die von den Modellierungsverantwortlichen selbständig eingespeist werden konnten.

### 3.3 Softwaregestützte Online-Umfrage

Da die vorhandene Software zum Teil sehr alt ist, keine online-basierte individuelle Umfrage erlaubt und keinen Vergleich von Alternativen unter verschiedenen Rahmenszenarien vorsieht (Weistroffer und Li 2016; Geldermann und Lerche 2014, S. 13), wurde selbst eine angepasste Softwarelösung entwickelt. Diese basiert auf dem Shiny-Framework, welche interaktive Online-Anwendungen in der Programmiersprache R ermöglicht (Winston Chang et al. 2019; R Core Team 2017). Diese Software ist als R-Package *mcdsupportshiny* verfügbar und auf der Internet-Plattform Github veröffentlicht.<sup>4</sup>

Implementiert ist die MAUT-Methode mit Swing-Weights (Scholz und Tietje 2002, 143ff; Dyer 2016). Die Software zeichnet sich durch die im Folgenden beschriebenen Features aus. Die Software steht mit der INOLA-Konfiguration unter <https://inola.shinyapps.io/energiekompass/> bereit und kann dort ausprobiert werden.

#### 3.3.1 Anpassung an verschiedene Indikatorenlisten und Vergleichssituationen

Die Software ist darauf ausgelegt, dass sie mit verschiedenen Alternativen (Schritt b), verwendeten Indikatorensets (Schritt c) und verschiedenen konkreten Werten der Alternativen bzw. verschiedenen Alternativen-Attributs-Tabellen (Schritt d) funktioniert. Hierfür sind diese jeweils von der eigentlichen Software getrennt: Die Beschreibungstexte für die Alternativen und die Spezifizierung des Indikatorensets wird jeweils als extra Datei geladen, die jeweiligen Tabellen mit den Werten für die verschiedenen Alternativen können darüber hinaus per GoogleSheets bereitgestellt werden. Dies ermöglicht eine schnelle Anpassung der Software an neue Entscheidungssituationen.

#### 3.3.2 Semi-Automatische Anpassung der Nutzenfunktionen

Ein entscheidender Schritt in der MAUT-Methode ist die Umrechnung der Attribute der einzelnen Alternativen in sogenannte Nutzenpunkte (Schritt e). Diese stellen die gemeinsame Skala dar, auf der so unterschiedliche Attribute wie Energiepreis, Diversität des Energiesystems, Anteil erneuerbarer Energien oder entstehende Arbeitsplätze miteinander vergleichbar gemacht werden. Dies ist letztlich eine ökonomische Herangehensweise und basiert auf mikroökonomischen Theorien, wo der Nutzen letztendlich durch den Preis repräsentiert wird, den Menschen bereit wären zu bezahlen. Voraussetzung ist, dass einzelnen Attributen unabhängig von den Ausprägungen der anderen Attribute ein Nutzen zugeordnet werden kann. Mit dieser Annahme wird also z.B. vorausgesetzt, dass die Anzahl von PV-Anlagen als „gut“ oder „schlecht“ angesehen werden kann, ohne zu wissen wie die Struktur der Versorgungsnetze oder anderer Anlagentypen aussieht.

<sup>4</sup> Das Paket ist unter <http://github.com/JulianBo/mcdsupportshiny> verfügbar.

Mit der Umrechnung der Attribute in Nutzenpunkte wird eine Vielzahl von Entscheidungen getroffen. Hiervon sind drei besonders relevant: Die Richtung des Zusammenhangs, die Form und die durchschnittliche absolute Höhe sowie Steigung. Mit der Richtung des Zusammenhangs ist – erstens – die grundsätzliche Frage angesprochen, ob mehr oder weniger eines Attributs besser ist: Haben mehrere PV-Anlagen einen besseren Nutzen, oder einen schlechteren? In unserem Beispiel wurden diese Fragen bereits in Zusammenhang mit der Ausarbeitung des Indikatorensets geklärt. Anschließend ist – zweitens – aber die Frage, wie diese grundsätzliche Richtung in eine konkrete Funktion zu übersetzen ist. Aus der Vielzahl von möglichen Formen wurde – im Einklang mit vielen weiteren Anwendungen und der ökonomischen Theorie (Scholz und Tietje 2002, 163f) – sich auf lineare und antiproportionale Funktionen beschränkt: Lineare Funktionen nehmen an, dass jede weitere Einheit eine gleiche Änderung des Nutzens hervorruft, dass also jede weitere Windkraftanlage den gleichen Nutzen/Schaden und jede weitere Prozentzahl erneuerbar erzeugter Energie den gleichen Nutzen bzw. Schaden (unter Ausblendung jeweils aller weiteren Aspekte) hervorruft. Antiproportionale Funktionen nehmen bei fallender Richtung an, dass jede Vervielfachung des Attributs einen bestimmten Faktor an Nutzen hinzufügt: Beispielsweise wird bei der zweiten im Vergleich zur ersten Windkraftanlage eine Halbierung des Nutzens aufgrund der Landschaftsauswirkungen angenommen, eine weitere Halbierung des Nutzens tritt aber nicht von der hundertsten auf die hunderterste, sondern erst von der hundertsten auf die zweihundertste Anlage auf.

Während die Form und Richtung des Zusammenhangs vor allem in Bezug auf die einzelnen Attribute relevant sind, gewinnen – drittens – absolute Höhe und Steigung vor allem im Zusammenspiel der einzelnen Nutzenfunktionen an Bedeutung: Damit im weiteren Verlauf der Berechnung die einzelnen Attribute miteinander vergleichbar sind und die Gewichtung von den angegebenen Präferenzen abhängig ist, müssen sowohl absolute Höhe als auch die Steigungen der einzelnen Nutzenfunktionen sich im selben Bereich bewegen: Wenn beispielsweise alle Attribute im Mittel 100 Nutzenpunkte aufweisen, aber ein Attribut nur einen mittleren Nutzenwert von 1, ist dieses Attribut nicht relevant für die Berechnung. Das gleiche gilt für die Steigung: Je größer die Unterschiede zwischen den Nutzenpunkten der einzelnen Alternativen eines Attributs, desto stärker nimmt dieses Attribut Einfluss auf die endgültige Berechnung der favorisierten Alternative: Wenn beispielsweise ein Attribut bei einer Alternative den Wert 1 und bei der anderen Alternative den Wert 200 aufweist, überwiegt diese Differenz Unterschiede zwischen Nutzenpunkten von beispielsweise 2 und 3 bei anderen Attributen.

In der Software wurde dies durch folgende Voreinstellungen gelöst: Der Mittelwert der Attributausprägungen bekommt den Nutzenwert 100. Einer Attributausprägung von 0 wird ein Nutzenwert von 0 (proportional steigend) bzw. 200 (antiproportional fallend, proportional fallend) zugewiesen. Grundsätzlich wird damit von absoluten Werten ausgegangen: Kleine Differenzen der Attribute pro Alternative resultieren damit auch in kleinen Differenzen der Nutzenpunkte. Dies kann und muss allerdings angepasst werden, wenn bei manchen Indikatoren bereits kleine Differenzen bedeutsame inhaltliche Aussagen aufweisen. Dies kann nicht unabhängig von inhaltlichen Kenntnissen passieren: Beispielsweise ist eine erneuerbare bilanzielle Energieversorgung von 58% im Vergleich zu 54% als relativ gut zu bewerten. Hier ist die Schwankungsbreite trotz der Bedeutung sehr viel geringer als z.B. bei den Auswirkungen auf die Arbeitsplätze, wo die Schwankungsbreite der Ausprägungen zwischen 867 und 3398 variiert. Hier ist zu entscheiden, inwieweit diese hohe Schwankung auch auf Nutzen-

ebene beizubehalten ist, oder inwieweit diese Schwankungen bei der Umrechnung in Nutzenpunkte abgeschwächt werden müssen, weil sie sonst zu starken Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.<sup>5</sup>

### 3.3.3 Einbeziehung von Rahmenszenarien

Im Unterschied zu vielen Anwendungen von Nachhaltigkeitsanalysen wurden im vorliegenden Projekt Alternativen unter verschiedenen Rahmenszenarien verglichen. Hier ist die Frage, wie diese – unsicheren– Rahmenszenarien in einen Nutzenwert pro Alternative umgerechnet werden: Wenn bekannt ist, welchen Nutzenwert die Alternative unter Rahmenszenario A und unter Rahmenszenario B hat, wie ist die Alternative dann insgesamt zu bewerten?

In der Software wird dies standardmäßig über einen einfachen Durchschnitt der Nutzenpunkte unter verschiedenen Rahmenszenarien gelöst: Die beste Alternative ist dann diejenige, die „im Mittel“ am besten abschneidet.

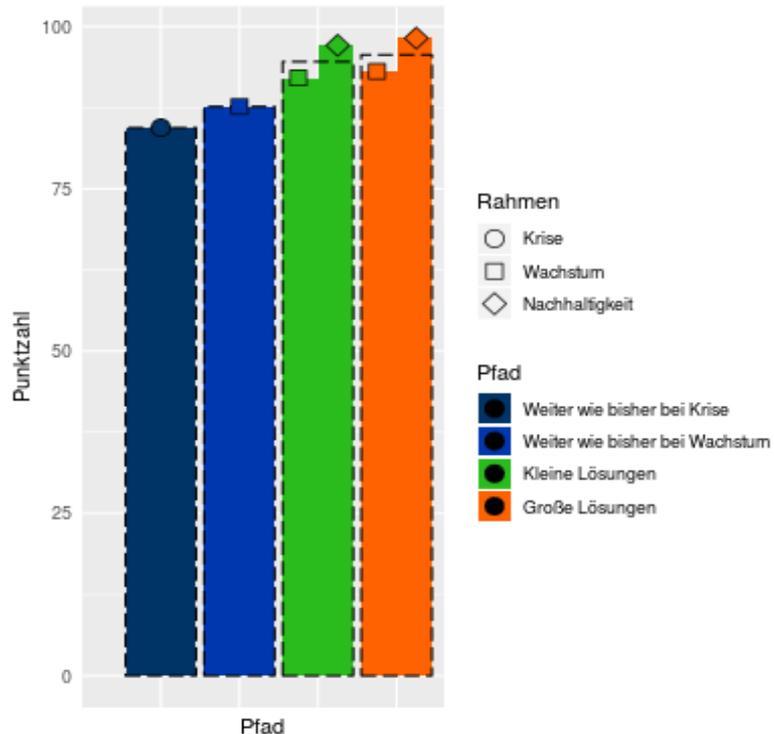


Abbildung 2: Ausgabe der Nutzenwerte pro Rahmen

Eine andere Möglichkeit wäre beispielsweise, nur vom *Worst Case* auszugehen und nur die Minimalwerte miteinander zu vergleichen. Da standardmäßig alle Nutzenpunkte in den verschiedenen Rahmenszenarien angezeigt werden, können die einzelnen NutzerInnen solche Überlegungen zum Zusammenhang von Rahmenszenario und Bewertung der Alternative auch unabhängig von der Berechnung tätigen.

### 3.3.4 Benutzerführung mit spontaner und berechneter Auswahl der favorisierten Alternative und anschließende Möglichkeit individuellen Ausprobierens

In der Software wird davon ausgegangen, dass auch spontan eine Präferenz für eine Alternative existieren kann. In diesem Fall ist ein wesentliches Ziel von multikriteriellen Vergleichen der Abgleich der spontanen Präferenz für eine bestimmte Alternative mit den berechneten Präferenzen. Deshalb wird anfangs eine spontane Präferenz abgefragt. Falls keine spontane Präferenz vorliegt, kann dies auch angegeben werden.

Anschließend werden die einzelnen Indikatoren gewichtet, indem in einem Fragebogen die Präferenzen abgefragt werden. Dies führt zur Ergebnisseite – hier wird zum einen die ursprünglich favorisierte Alternative, aber auch der berechnete favorisierte Alternative angezeigt. Außerdem wird zum Verändern der Gewichtungen eingeladen, um die Auswirkungen verschiedener Präferenzen zu erforschen.

<sup>5</sup> Im vorliegenden Beispiel wurde entschieden, dass diese Schwankungen auch inhaltliche Relevanz haben, und deshalb auch auf Nutzenebene übernommen.

### 3.3.5 Speicherung der Ergebnisse auf individueller Ebene und Darstellung der berechneten und spontan ausgewählten Ergebnisse verschiedener Umfragegruppen

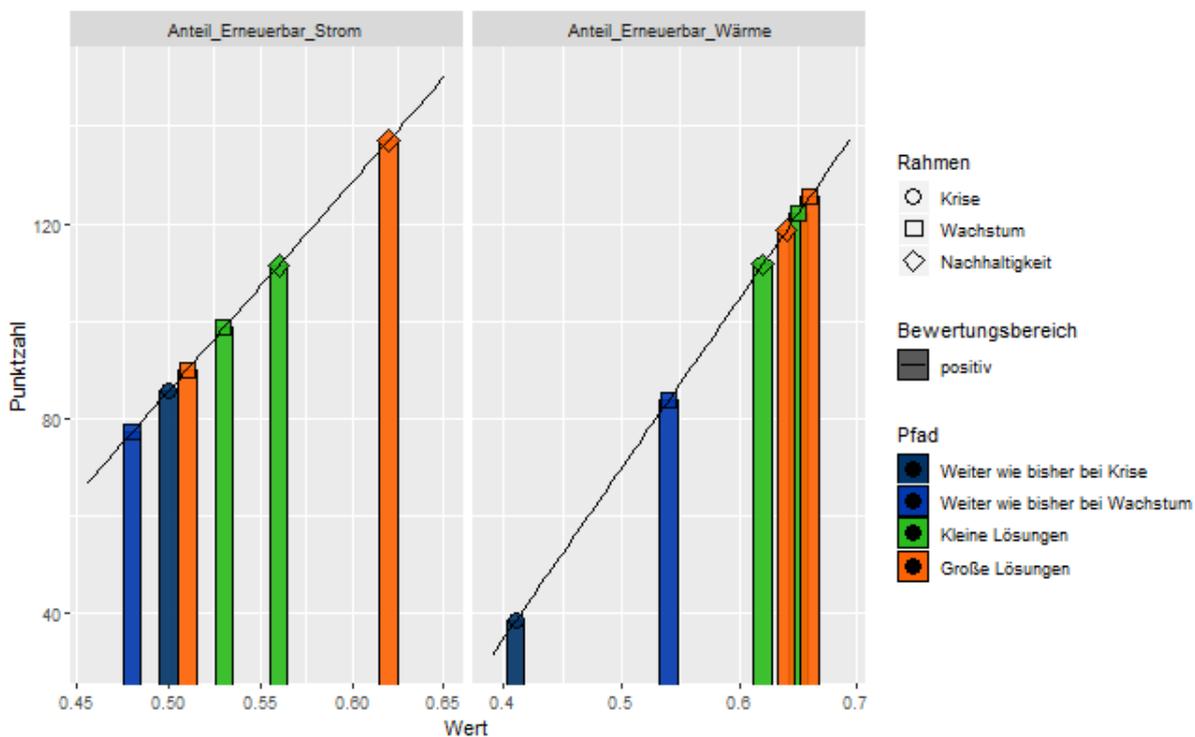
Die Ergebnisse und die Präferenzen werden auf individueller Ebene gespeichert – anstatt einem aggregierten Wert können so die individuellen Ergebnisse ausgewertet werden. Auch werden die Ergebnisse direkt ausgegeben. Sie sind so für die NutzerInnen direkt ersichtlich und können als Grundlage der Diskussion dienen. Hierbei werden standardmäßig verschiedene Orte der Durchführung unterschieden, so dass nur die Ergebnisse der einzelnen Gruppe angezeigt werden.

### 3.4 Exkurs: eine beispielhafte Berechnung der Nutzenpunkte

Um die Vorgehensweise zu veranschaulichen, wird die Berechnung exemplarisch anhand der Indikatoren „Anteil erneuerbarer Strom“ und „Anteil erneuerbarer Wärme“ durchgeführt. Diese geben die im Jahr 2035 bilanziell regional erneuerbar erzeugten Anteile von Strom und Wärme an.

#### 3.4.1 Ursprünglichen Werte der Alternativen und Umrechnung in Nutzenpunkte

Die Modellierung hat für die Indikatoren „Anteil erneuerbarer Strom“ und „Anteil erneuerbarer Wärme“ Werte zwischen 41% bzw. einem Anteil von 0,41 (Wärme im Pfad „Weiter wie bisher bei Krise“) und 64% bzw. einem Anteil von 0,64 (Wärme im Pfad „Große Lösungen“ unter dem Rahmen „Nachhaltigkeit“) ergeben. Die Durchschnitte liegen bei 53% (Strom) und 59% (Wärme).



**Abbildung 3: Nutzenfunktionen der Indikatoren „Anteil Erneuerbarer Strom“ und „Anteil Erneuerbarer Wärme“**

Für die Umrechnung wurde eine lineare Funktion gewählt: Jedes Prozent mehr an erneuerbaren Energien wird deshalb als gleichbleibend wichtig angesehen und führt zu einer gleichen Zunahme an Nutzenpunkten. Um mit den anderen Indikatoren vergleichbar zu sein, wird dem Mittelwert jedes Indikators die Punktzahl 100 zugewiesen. Zusätzlich wurde beim Anteil erneuerbarer Energien die Nutzenfunktion angepasst: Die Punktzahl 0 entspricht dabei einem Anteil erneuerbarer Energien von 30% - anstatt einen Anteil von 0%. Dies hat zum einen inhaltliche Gründe: 30% wird als Minimum und Standard gesetzt. Zum anderen hat dies auch Auswirkungen auf die Bewertung: Mit dieser Anpassung werden die unterschiedlichen Anteil in den einzelnen Pfaden in eine größere Breite von Nutzenpunkten

bewertet. Die unterschiedlichen Anteile erneuerbarer Energien machen also einen größeren Unterschied zwischen den Pfaden.

Zur Veranschaulichung: Mit einem Standardwert von 30% variieren die Punktzahlen für den Indikator „Wärme“ zwischen 38,37 (Wärme im Pfad „Weiter wie bisher bei Krise“) und 125,58 (Wärme im Pfad „Große Lösungen“ unter dem Rahmen „Nachhaltigkeit“). Würde ein Anteil von 0% erneuerbarer Wärme mit einer Punktzahl von 0 bewertet, wäre die Bandbreite zwischen 69,9 (Pfad „Weiter wie bisher bei Krise“) und 112,5 (Pfad „Große Lösungen“ unter dem Rahmen „Nachhaltigkeit“), also sehr viel weniger. Die endgültigen Nutzenpunkte für die einzelnen Pfade stehen in der Tabelle unten.

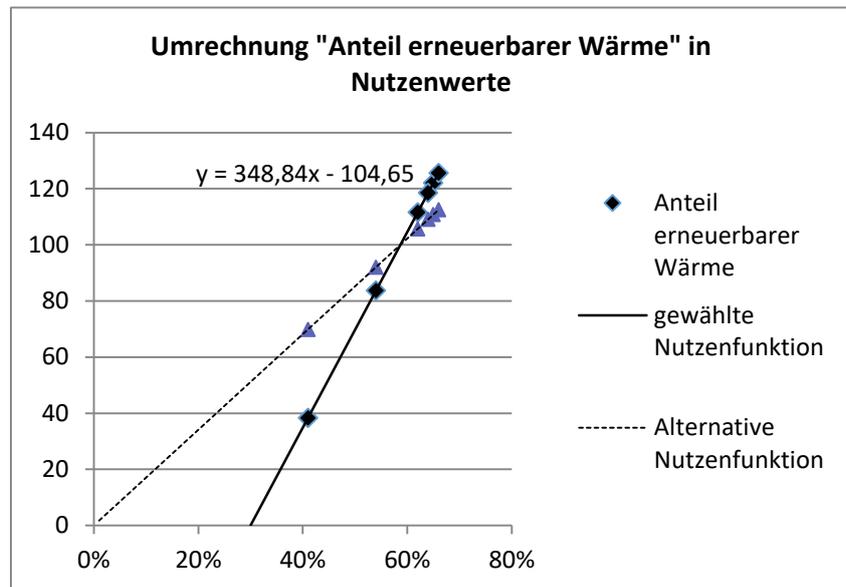


Abbildung 4: Effekte verschiedener Nutzenfunktionen

Tabelle 4: Umrechnung der Indikatoren „Anteil Erneuerbarer Strom“ und „Anteil Erneuerbarer Wärme“ in Nutzenpunkte

Pfad	Rahmen	Ausprägung		Nutzenpunkte	
		Anteil Erneuerbarer Strom	Anteil Erneuerbarer Wärme	Anteil Erneuerbarer Strom	Anteil Erneuerbarer Wärme
Weiter wie bisher bei Krise	Krise	50%	41%	85,71	38,37
Weiter wie bisher bei Wachstum	Wachstum	48%	54%	77,14	83,72
Kleine Lösungen	Wachstum	53%	65%	98,57	122,09
Kleine Lösungen	Nachhaltigkeit	56%	62%	111,43	111,63
Große Lösungen	Wachstum	51%	66%	90,00	125,58
Große Lösungen	Nachhaltigkeit	62%	64%	137,14	118,60

### 3.4.2 Gewichtung und Zusammenfassung auf verschiedenen Ebenen

Die im ersten Schritt in Nutzenpunkte umgerechneten Ausprägungen der Indikatoren „Anteil Erneuerbarer Strom“ und „Anteil Erneuerbarer Wärme“ werden in einem zweiten Schritt gemäß der eingestellten Gewichtungen schrittweise aggregiert. Im Beispiel wird mit den Durchschnittswerten aus der Durchführung in der Begleitgruppe (siehe Kapitel 3.5) gerechnet.

Die Aggregation erfolgt schrittweise: Die Indikatoren „Anteil Erneuerbarer Strom“ und „Anteil Erneuerbarer Wärme“ sind dem Indikator „Gesamtanteil erneuerbarer Energien“ untergeordnet. Durchschnittlich wurde „Anteil Erneuerbarer Strom“ gerundet mit einer Präferenz von 43 und „Anteil

Erneuerbarer Wärme“ mit einer Präferenz von 47 gewichtet: Damit gehen die Nutzenpunkte von „Anteil Erneuerbarer Strom“ mit  $43/(43+47)=0,467$  in die Nutzenpunkte von „Gesamtanteil erneuerbarer Energien“ ein, die Nutzenpunkte von „Anteil Erneuerbarer Wärme“ mit  $46/(42+46)=0,522$ . Die Punktzahl von „Anteil Erneuerbarer Wärme“ ist damit:

$$\text{„Gesamtanteil erneuerbarer Energien“} = 0,467 * \text{„Anteil Erneuerbarer Strom“} + 0,522 * \text{„Anteil Erneuerbarer Wärme“ [gemäß durchschnittlicher Gewichtung]}$$

Wäre „Anteil erneuerbarer Strom“ mit 0 gewichtet worden, entspräche „Gesamtanteil erneuerbarer Energien“ der Punktzahl von „Anteil erneuerbarer Wärme“. Wenn beide gleich hoch gewichtet würden, setzt sich „Gesamtanteil erneuerbarer Energien“ jeweils zu gleichen Teilen aus der Punktzahl beider Indikatoren zusammen:

$$\text{„Gesamtanteil erneuerbarer Energien“} = 0,5 * \text{„Anteil Erneuerbarer Strom“} + 0,5 * \text{Anteil Erneuerbarer Wärme“ [bei Gleichgewichtung]}$$

Auf den weiteren Ebenen setzt sich dies gemäß den jeweiligen Gewichtungen und der Nutzenpunkte der anderen Indikatoren fort - siehe Tabelle unten bzw. Abbildungen auf der nächsten Seite.

Als letzter Schritt werden die Ergebnisse der Pfade unter den verschiedenen Rahmenbedingungen ausgerechnet: Dies geschieht als einfaches Mittel des Pfad- bzw. Szenarioergebnisses:

$$\text{Kleine Lösungen} = (103,8 + 108,4) / 2 = 106,1$$

$$\text{Große Lösungen} = (101,7 + 108,7) / 2 = 105,2$$

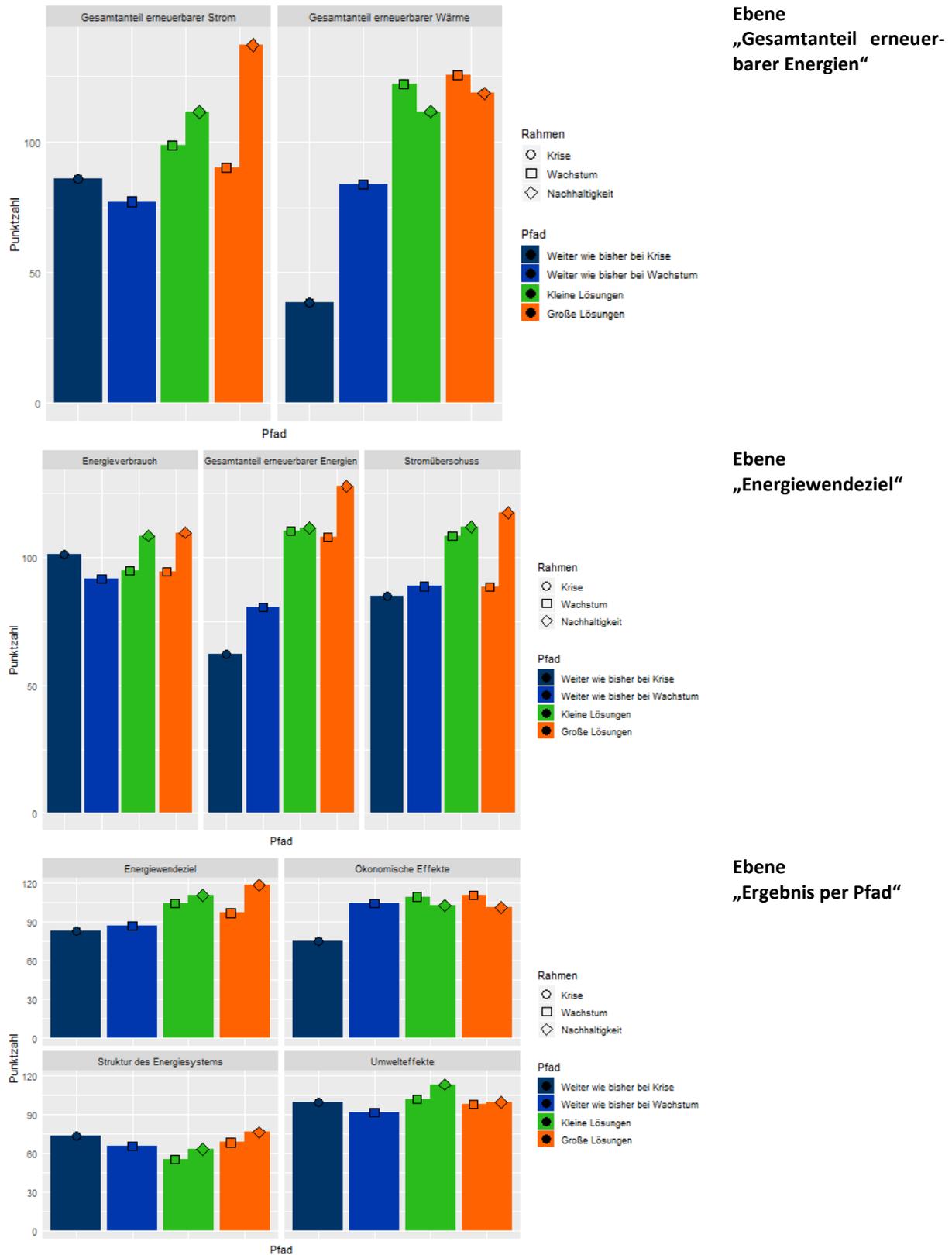
Es stellt sich heraus, dass gemäß der Durchschnittswerte der Gewichtungen der Pfad „Kleine Lösungen“ etwas besser abschneidet als der Pfad „Große Lösungen“. Dies passierte hier nur zur Illustration: Wie im Kapitel 4.1 gezeigt, haben sowohl spontan als auch berechnet die meisten Teilnehmenden den Pfad „Große Lösungen“ favorisiert. Dies ist ein weiteres Ergebnis dieses Nachhaltigkeitsvergleiches: Die Berechnung nur aufgrund der Mittelwerte ist nicht aussagekräftig – man muss die individuell präferierten Pfade erfassen.

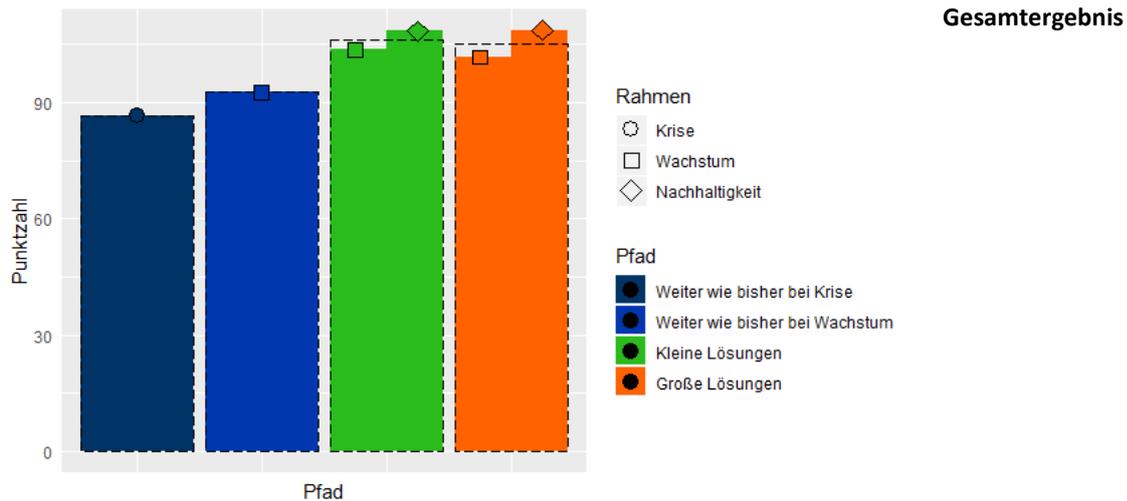
**Tabelle 5: Beispielhafte Berechnung der Nutzenpunkte gemäß der durchschnittlichen Gewichtungen**

Rahmen	Pfad	Gesamtergebnis	Szenarioergebnis	Energie-wende-ziel	Gesamtanteil erneuerbarer Energien	Gesamtanteil erneuerbarer Strom	Gesamtanteil erneuerbarer Wärme
Durchschnittliche Gewichtung:				85,72	81,86	42,68	46,9
Krise	Weiter wie bisher bei Krise	86,5	86,5	80,5	60,9	85,7	38,4
Wachstum	Weiter wie bisher bei Wachstum	92,8	92,8	86,2	80,6	77,1	83,7
Wachstum	Kleine Lösungen	106,1	103,8	104,6	110,9	98,6	122,1
Nachhaltigkeit	Kleine Lösungen		108,4	110,7	111,5	111,4	111,6
Wachstum	Große Lösungen	105,2	101,7	99,0	108,6	90,0	125,6
Nachhaltigkeit	Große Lösungen		108,7	119,0	127,4	137,1	118,6

### 3.4.3 Punktzahlen in den verschiedenen Ebenen gemäß durchschnittlicher Bewertung

Abbildung 5: Nutzenpunkte der verschiedenen Ebenen





### 3.5 Durchführung und Ergebnisdiskussion der Umfrage

Eine Besonderheit der Umfrage im Rahmen des Projektes INOLA war die partizipative Durchführung in Veranstaltungen mit regionalen AkteurInnen der Modellregion Oberland. Außerdem wurde der Nachhaltigkeitsvergleich im Rahmen der Abschlussveranstaltung und online durchgeführt. Im Folgenden werden vor allem die Durchführung mit 22 Mitgliedern der regionalen Begleitgruppe des Projektes und der Fachbeiräte Energie bzw. Klimaschutz der einzelnen Landkreise<sup>6</sup> und die resultierenden Ergebnisse beschrieben.

Die Veranstaltung fand im Juli 2019 in Bad Tölz statt und gliederte sich in drei zentrale Teile: Erstens, die Bewertung der persönlichen Präferenzen für das zukünftige regionale Energiesystem, d.h. die individuelle Durchführung der multikriteriellen Entscheidungsanalyse/Umfrage, zweitens die Vorstellung der simulierten Energiepfade unter Einbeziehung verschiedener Rahmenszenarien im Gesamtprojektkontext und drittens, die gemeinsame Diskussion der Ergebnisse der Umfrage, nach Kenntnis der simulierten Energiepfade.

Für eine ansprechendere Kommunikation wurde die Umfrage als „Energiekompass für das Oberland“ betitelt. Für die Bewertung standen den Teilnehmenden Tablets zur Verfügung. Zudem konnte das



Abbildung 6: Beispiel Energiekompass

mit farbigen „Schiebereglern“ (siehe Abbildung 6) an denen die jeweilige Präferenz eingestellt werden kann, begünstigte auf den Tablets die intuitive Bedienung.

eigene Smartphone benutzt werden. Die Teilnehmenden führten die Bewertung individuell durch, um den zu den Präferenzen passenden Energiepfad zu ermitteln. Das Projektteam war für eventuelle Rückfragen anwesend. Die optische Gestaltung des Energiekompasses

<sup>6</sup> Die Fachbeiräte Energie bzw. Klimaschutz setzen sich aus regionalen ExpertInnen verschiedener Themenfelder des Bereiches Energie zusammen, die diese Tätigkeit ehrenamtlich bzw. in Ausübung ihrer jeweiligen beruflichen Positionen ausführen. Diese werden von den Umweltausschüssen der Landkreise einberufen und mit der Bearbeitung und Begutachtung bestimmter Themenfelder im Bereich Energie beauftragt (vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 5, S. 29).



**Abbildung 7: Energiefachbeiräte der Region Oberland bewerten die Energiepfade im Online-Tool**

Die Teilnehmenden sollten sich zunächst spontan für einen Energiepfad entscheiden, der im Einleitungstext kurz beschrieben wurde und anschließend die Präferenzen für jeden Indikator einstellen, d.h. den Fragebogen beantworten (siehe Textfeld auf der nächsten Seite). Die Teilnehmenden wurden gebeten, sich den vorgeschlagenen Energiepfad zu merken, den das Tool durch die eingegebenen Präferenzen berechnet hat. Direkt anschließend, während der laufenden Veranstaltung wertete das Projektteam die Ergebnisse der Umfrage aus und bereitete diese zur Präsentation vor.

Im Anschluss an die einführende Bewertung wurden den Teilnehmenden die simulierten Energiepfade und Rahmenszenarien detaillierter vorgestellt (vgl. INOLA Arbeitsbericht 10). Mit der vorangehenden Bewertung sollten die Teilnehmenden zum einen auf die folgende Veranstaltung eingestimmt werden und zudem erreicht werden, dass die Teilnehmenden die Präferenzen zunächst unabhängig von den Ergebnissen der Gesamtsimulationen angeben. Nach der Vorstellung der Energiepfade wurden die Abstimmungsergebnisse bzw. gemittelten Präferenzen durch das Projektteam vorgestellt. Es erfolgte eine Diskussion im Plenum über die spontane Bewertung vom Anfang im möglichen Kontrast zu einer nachträglichen Bewertung mit neuem Wissen.

**Es wurden sechs verschiedene Rahmen-Ausbauoptionen (Energiepfade) modelliert. Diese setzen sich zusammen aus regionalen Ausbauoptionen und Rahmenszenarien.**

**Regionale Ausbauoptionen:**

- 1) Weiter wie bisher:** Wir machen weiter wie bisher und es werden keine bestimmten Technologien erneuerbarer Energien bevorzugt (Referenzpfad).
- 2) Kleine Lösungen:** Wir strengen uns an und regionale Aktivitäten fördern kleine Energieerzeugungsanlagen, insbesondere gebäudegebundene Anlagen (Solaranlagen, Haushaltsspeicher, Wärmepumpen) und Energieeinsparung. Investoren sind vor allem Haushalte und Firmen.
- 3) Große Lösungen:** Wir strengen uns an und regionale Aktivitäten fördern größere, nicht-gebäudegebundene Energieerzeugungsanlagen (Windkraft, PV, Quartierspeicher, Biomasseheizkraftwerke und Nahwärmenetze). Mögliche Investoren sind auch Kommunen, Stadtwerke sowie Energiegenossenschaften.

Diese regionalen Ausbauoptionen werden dann unter mehreren möglichen Rahmenbedingungen bzw. Zukünften getestet.

**Informationen zu den Rahmenbedingungen:**

- A) Krise:** In globalen Krisenzeiten verlieren Deutschland und das Oberland ihre wirtschaftliche Stärke. Obwohl die Bevölkerung im Oberland wächst, ist die Neubaurate niedrig. Umwelt-, Natur- und Flächenschutz geraten unter die Räder. Für erneuerbare Energien stehen etwas mehr Flächen und Rohstoffe als heute zur Verfügung. Die finanzielle Förderung von erneuerbaren Energien wird hingegen im Vergleich zu heute wesentlich verringert.
- B) Wachstum:** Gesellschaft und Wirtschaft setzen auf Wachstum. Das Oberland boomt, die Bevölkerung wächst, die Neubaurate ist hoch. Umwelt- und Naturschutz werden der Wachstumslogik untergeordnet. Es erfolgt eine bundesweite Förderung von erneuerbaren Energien, wie es der aktuelle Stand des EEG sowie seine Fortschreibungen inklusive seiner langsamen Senkung vorsehen.
- C) Nachhaltigkeit:** Nachhaltigkeit setzt sich als Ziel in Wirtschaft und Gesellschaft im Oberland und weltweit durch. Das Oberland prosperiert, die Bevölkerung wächst, die Neubaurate ist trotzdem niedrig. Umwelt-, Natur- und Flächenschutz sind wichtig, deshalb stehen weniger Flächen und Rohstoffe für erneuerbare Energien als heute zur Verfügung. Bundesweite Förderung von erneuerbaren Energien, die über den aktuellen Stand der Förderungen hinausgeht.

**Abbildung 8: Erläuterung der verschiedenen Ausbauoptionen im Onlinetool. Zur detaillierten Erläuterung siehe INOLA-Arbeitsbericht Nr. 10.<sup>7</sup>**

<sup>7</sup> Aus den entwickelten Ausbauoptionen und Rahmenbedingungen ergeben sich neun mögliche Rahmen-Ausbauoption-Kombinationen. Diese wurden in der Innovationsgruppe diskutiert, auf ihre Plausibilität geprüft und entschieden, dass von den neun möglichen Kombinationen sechs Kombinationen simuliert werden. Die Kombinationen „Nachhaltige Rahmenbedingen“ mit einem „Weiter wie bisher“ (BAU)-Pfad wurden ebenso wie die Kombinationen „Krisenhafte Rahmenbedingungen“ mit Pfaden, in denen die Region aktiv wird und investiert („Kleine und Große Lösungen“) als nicht plausibel ausgeschlossen (INOLA-Arbeitsbericht Nr.10, 28)

## 4 Ergebnisse des partizipativen multikriteriellen Nachhaltigkeitsvergleichs

### 4.1 Ergebnisse der Bewertung als Umfrage unter der Begleitgruppe

Insgesamt haben 22 Mitglieder der Begleitgruppe an der Umfrage teilgenommen. Die meisten Personen haben spontan angegeben, dass sie den Pfad „Große Lösungen“ favorisieren (14 von 22). Dies war auch das berechnete Ergebnis der meisten Personen (15 von 22).

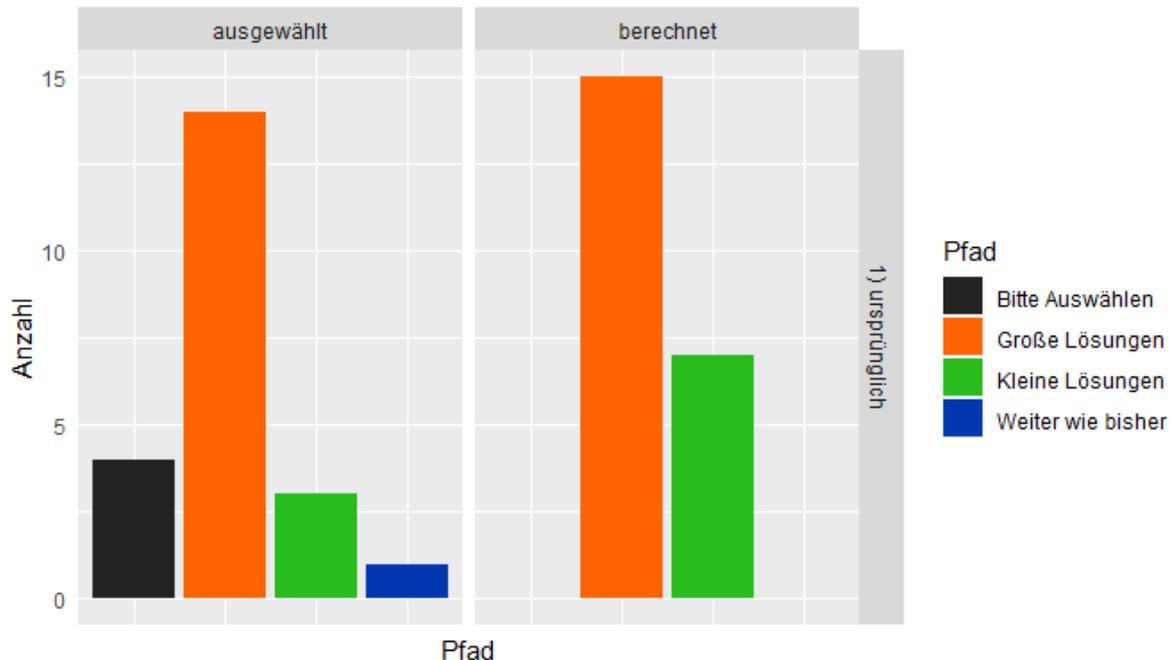


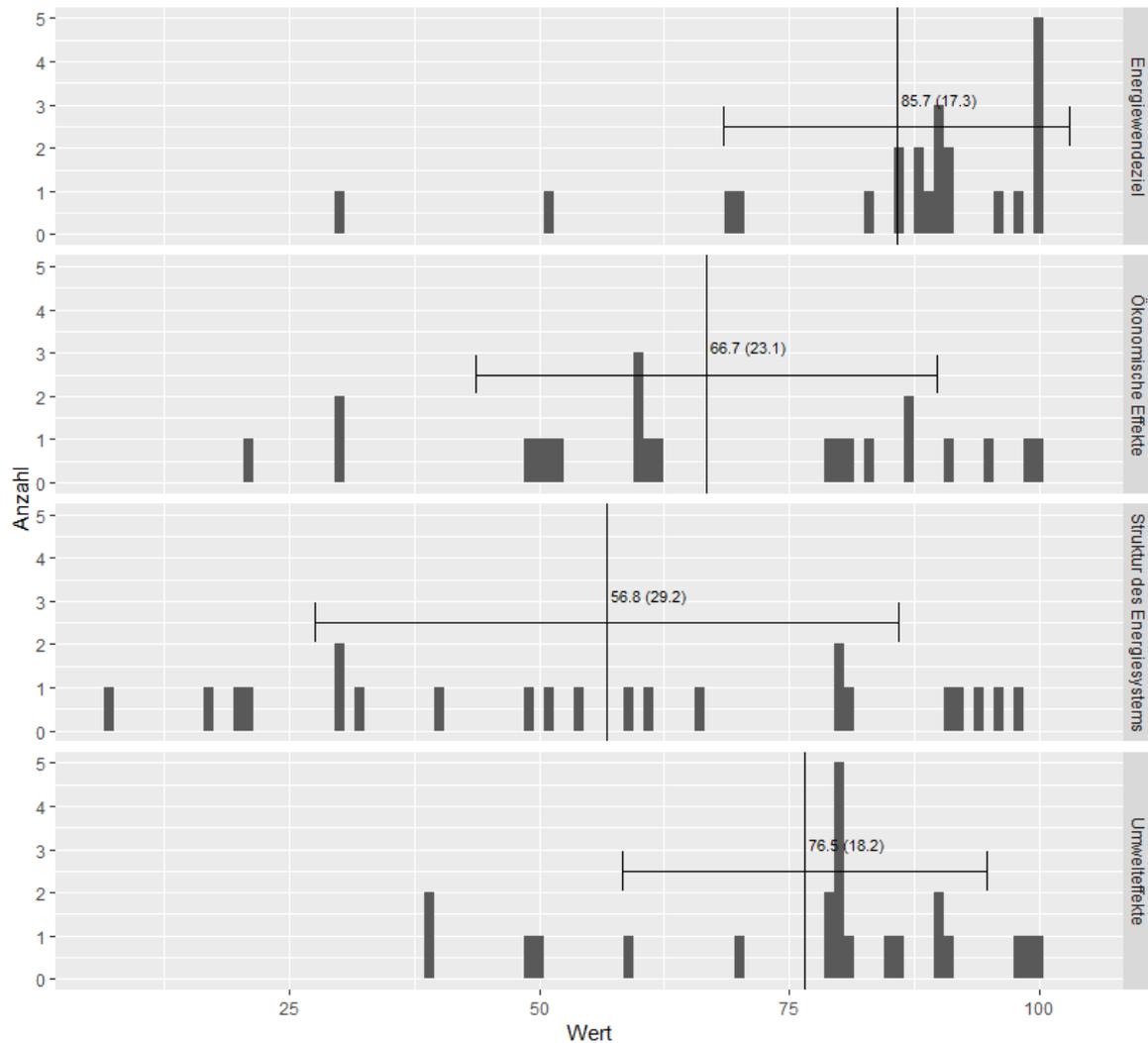
Abbildung 9: Ergebnisse der Umfrage

Den meisten Personen war die Erreichung des Energiewendeziels am wichtigsten, gefolgt von den mit dem Energiesystem verbundenen Umweltauswirkungen. Die Struktur des Energiesystems war dagegen vergleichsweise unwichtig (siehe Abbildung 10).

Auffällig ist die recht große Bandbreite der Bewertungen: Beispielsweise beträgt beim Indikator „Ökonomische Effekte“, bei einem Mittelwert von 66, die Standardabweichung 23. Hinter diesen Variationen befinden sich jedoch keine klar unterscheidbaren Cluster – eine Clusteranalyse über alle Indikatoren wurde durchgeführt und hat keine klaren Ergebnisse ergeben. Dies liegt natürlich auch an der großen Anzahl der Indikatoren im Vergleich zur Anzahl der Teilnehmenden.

Tabelle 6: Ergebnisse der Umfrage

	berechnet	Große Lösungen	Kleine Lösungen	Gesamt
ausgewählt				
Bitte Auswählen	2	2		<b>4</b>
Große Lösungen	11	3		<b>14</b>
Kleine Lösungen	1	2		<b>3</b>
Weiter wie bisher	1	0		<b>1</b>
<b>Gesamt</b>		<b>15</b>	<b>7</b>	<b>22</b>



**Abbildung 10: Abstimmungsergebnisse bzw. Gewichtungen der Hauptdimensionen mit Durchschnitt und Standardabweichung**

Die hohe Bedeutung des Energiewendeziels erklärt die hohe Präferenz für den Pfad „Große Lösungen“, die sich sowohl in den berechneten als auch spontanen Präferenzen niederschlägt. Allerdings beträgt das Verhältnis von „Große Lösungen“ zu „Kleinen Lösungen“ bei der spontanen Pfadwahl 11 zu 1, beim berechneten Ergebnis jedoch 15 zu 7 (siehe Tabelle 6). Beim berechneten Ergebnis haben anteilmäßig also mehr Personen den Pfad „Kleine Lösungen“ präferiert.

Dies kann zum einen aus dem Abstimmungsverhalten erklärt werden – vier Personen haben sich anfangs für keine Möglichkeit entschieden. Zum anderen wurde aber auch bei drei Personen, die sich spontan für den Pfad „Große Lösungen“ entschieden haben, der Pfad „Kleine Lösungen“ als Optimum berechnet. Dies kann durch eine hohe Gewichtung der Indikatoren „Flächenverbrauch“ und „Regionale Auswirkungen“ erklärt werden. In diesen Bereichen sind die Punktwerte des Pfades „Große Lösungen“ aufgrund der in diesem Pfad vorhandenen Windkraftanlagen und Biomasseheiz(kraft)werken besonders gering. Die Personen, die „Große Lösungen“ gewählt haben, aber bei denen „Kleine Lösungen“ das berechnete beste Ergebnis war, haben Energiewendeziel und Regionale Auswirkungen sehr stark gewichtet, wobei letzteres für die Berechnung dann den Ausschlag gegeben hat (siehe Tabelle 7).

Damit schlägt sich auch hier der im Oberland häufig festzustellende Effekt nieder, dass niedrige Umwelt- und Landschaftsauswirkungen das Energiewendeziel – hier im Zusammenhang mit anderen Faktoren – in den Hintergrund treten lassen. Der Effekt dieser Berechnung lässt sich hier jedoch nicht weiter nachvollziehen – eine mögliche Wirkung ist auch, dass im Bewusstsein dieser Auswirkungen die Bewertung des Flächenverbrauchs im Weiteren niedriger eingeschätzt wird.

**Tabelle 7: Vergleich der Mittelwerte der Gewichtungen bei Energiewendeziel und Umwelteffekten**

Ausgewählter Pfad	Berechnetes Ergebnis	Anzahl	Energiewendeziel	Niedriger nicht erneuerbarer Energieverbrauch	Umwelteffekte	Flächenbeanspruchung	Regionale Auswirkungen
Alle	Große Lösungen	15	89,0	83,5	77,8	57,7	56,3
Alle	Kleine Lösungen	7	78,7	71,1	73,8	83,9	47,4
Große Lösungen	Kleine Lösungen	3	91,0	84,0	85,5	76,0	69,5

#### 4.2 Ergebnisse der Diskussion der Bewertung in der Begleitgruppe

Soweit im Plenum diskutiert, kam es bei der Abstimmung zu keinerlei technischen Problemen. Wenige Rück- und Verständnisfragen konnten vor Ort geklärt werden. Die 22 Teilnehmenden haben die Bewertung vollständig durchgeführt.

Die anschließende Diskussion im Plenum ermöglichte den Vergleich des eigenen präferierten Energiepfads mit den Präferenzen der anderen Teilnehmenden. Drei (von 22) Teilnehmende gaben an, dass sie das Ergebnis überraschend fanden. Drei andere (von 22) gaben an, dass sie nach der Ergebnispräsentation anders abstimmen würden. Zudem wurden sich die Teilnehmenden über die Komplexität des Energiesystems bewusst – zwar konnte spontan eine Präferenz für einen bestimmten Energiepfad ausgewählt werden, die genaue Konfiguration und Indikatorausprägung kann jedoch zu einem ganz anderen Ergebnis in der Gesamtheit und Gewichtung führen.

Der im letzten Abschnitt angesprochene Effekt, dass Teilnehmende spontan „Große Lösungen“ ausgewählt haben, aber aufgrund der Gewichtung des Flächenverbrauchs „Kleine Lösungen“ das beste Ergebnis war, wurde in der Diskussion nicht angesprochen.

#### Zitate der Veranstaltung:

*„Für mich war das Ergebnis schon überraschend. Ich hatte kleine Anlagen ausgewählt, aber offenbar habe ich Effektivität und das Energiewendeziel dann doch so hoch gewichtet, dass größere Anlagen besser sind.“*

*„Es war gut, dass man mal alles im Kopf durchgehen konnte und schauen, was da alles so dazu gehört.“*

#### 4.3 Weitere Durchführungen der Bewertung

Im Rahmen der Projektabschlussveranstaltung im September 2019 ermittelten weitere regionale AkteurInnen den präferierten Energiepfad mit dem Energiekompass. Die Abstimmung erfolgte per Smartphone und Tablet.

## 5 Diskussion und Zusammenfassung

Bei den Wirkungen der Methode sind sowohl die Wirkungen innerhalb der Forschungsgruppe als auch die Wirkungen nach außen, innerhalb der Modellregion, zu betrachten. Bei beiden gibt es sowohl prozess- als auch ergebnisbezogene Aspekte.

### 5.1 Stellung und Wirkungen innerhalb der Innovationsgruppe

Innerhalb der Forschungsgruppe gestaltete sich die Ausarbeitung und Abstimmung des Indikatorensets sehr aufwendig. Anfangs waren sowohl die Ziele der MCDA als auch die Durchführung der Modellierung unabhängig von der MCDA noch relativ unklar. Es musste stets zwischen möglichen Modelloutputs, Realisierbarkeit möglicher zusätzlicher Berechnungen, Relevanz für die Modellregion Oberland und Handhabbarkeit innerhalb eines Online-Tools abgewogen werden. Insgesamt gab es über 20 Treffen über einen Zeitraum von zwei Jahren, bei denen in unregelmäßigen Abständen mit unterschiedlicher Intensität an der Ausgestaltung gearbeitet wurde. Die Entwicklung des Indikatorensets hat in diesem Prozess als Boundary Object (Star und Griesemer 1989) fungiert, das die Kommunikation zwischen den verschiedenen Teilmodellen erleichtert und zur besseren Abstimmung in Bezug auf die finale Modellierung geführt hat.

Mit der Entwicklung des „Energiekompasses“ können die Ergebnisse der Modellierung an Interessierte außerhalb der Forschungsgruppe weitergegeben werden, ohne die Modellierung aufwendig erklären zu müssen. Dies wurde – nach anfänglicher Skepsis bezüglich der Verständlichkeit und Bedienbarkeit – insbesondere von der Bürgerstiftung Energiewende Oberland als Praxispartner hervorgehoben. Der Energiekompass dient damit als weiteres Produkt zur Veröffentlichung der Forschungsergebnisse über die Projektlaufzeit hinaus.

### 5.2 Stellung und Wirkungen in der Projektregion

Insgesamt war die Methode gut geeignet, um regionale AkteurInnen bei der Gewichtung der Indikatoren mit einzubeziehen. Im Gegensatz zu einer offenen Abfrage zu Präferenzen hinsichtlich eines nachhaltigen Energiesystems („*ich wünsche mir einen niedrigen Energieverbrauch*“), konnten die Befragten im Online-Tool gemäß dem Ansatz der Multi-Attribute-Utility-Theory ihre Einschätzungen und Präferenzen zu einzelnen Themen durch eine Zahl (zwischen 0 und 100) ausdrücken und gegeneinander abwägen („*ein niedriger Stromverbrauch ist mir XY wichtig und zwar XY im Verhältnis zum Wärmeverbrauch*“). Dies machte die Gewichtung greifbarer und erlaubte den Vergleich zwischen unterschiedlichen Präferenzen. Die dynamische Programmierung ermöglichte die nachträgliche Einstellung verschiedener Varianten, die im Programm gespeichert wurden.

Für partizipative Prozesse besteht die Herausforderung, komplexe Themengebiete und Zusammenhänge kommunikativ für das jeweilige Publikum anzupassen. Für das durchführende Projektteam bedeutete dies auf eine ansprechende Gestaltung des Fragebogens, die Vermittlung technischer Fachbegriffe und verständliche Erklärung der Methode zu achten. Entstehende Verständnis- und Rückfragen konnten im partizipativen Prozess geklärt werden. An das Projektteam wurden keine größeren Unklarheiten rückgemeldet.

Die Durchführung der Bewertung zu Beginn einer größeren Veranstaltung stimmte die Teilnehmenden auf die anschließende Vorstellung der Energiepfade ein und rief die eigenen Sichtweise und Einschätzungen ins Gedächtnis. Die Tragweite verschiedener Energiepfade, d.h. wie sehr die eigenen Präferenzen zu dem Ausbau erneuerbarer Energien mit verschiedenen Technologieschwerpunkten

und regionalen Auswirkungen passen, wurde während der gemeinsamen Ergebnispräsentation aufgezeigt. Wünschenswert wäre es, wenn einige überraschende Einsichten weitere Diskussionen über die Ausgestaltung des Energiesystems innerhalb der Projektregion anregen würden.

Einige Herausforderungen der Methode sollen nicht unerwähnt bleiben. Energiesysteme sind komplex, und diese Komplexität musste für den Nachhaltigkeitsvergleich stark vereinfacht werden. Das beinhaltet auch eine Reduzierung gewünschter Indikatoren. Durch die zeit- und ressourcenintensive Datenerhebung konnten insbesondere „weiche“ Indikatoren (z.B. „Landschaftsbild“) nicht abgebildet werden, die sich AkteurInnen aus der Region gewünscht hätten. Hier wären zusätzliche Experteninterviews nötig gewesen, um den Indikator zu „quantifizieren“ und in die Bewertung mit aufzunehmen. Das Projektteam orientierte sich deshalb weitestgehend an den Modelloutputs.

Bei Durchführung in regionalen Veranstaltungen ist zu beachten, dass es *die eine* Präferenz der Region nicht existiert und AkteurInnen unterschiedliche Meinungen vertreten. Durch die Umsetzung der Bewertung über ein Onlinetool konnten die Befragten unterschiedliche Einstellungen vornehmen und zunächst Energiepfade spontan auswählen. Die Durchschnittswerte der Gewichtungen sind nicht aussagekräftig und hätten in unserem Fall zu dem präferierten Pfad „Kleine Lösungen“ geführt, da die Bandbreite der Bewertungen sehr divers verteilt war (vgl. Kapitel 4.1). Individuell haben die meisten Teilnehmenden jedoch sowohl spontan als auch nach der Berechnung den Pfad „Große Lösungen“ favorisiert. Da die Ergebnisse während der noch laufenden Veranstaltung im Hintergrund generiert wurden, war die Präsentation dieses – zunächst unlogisch erscheinenden – Zusammenhangs herausfordernd. Für ErstanwenderInnen/Laien ist es schwierig, die im Energiekompass hinterlegten Zusammenhänge wie beispielsweise Nutzenfunktionen und Punktevergabe auf einen Blick zu erfassen. Eine Transparenz der Berechnungen ist nicht vorhanden, insbesondere nicht in einer Präsentation, die nur Ausschnitte wie die berechneten Mittelwerte präsentiert.

Aus Zeitgründen wurde mit den regionalen Teilnehmenden ebenfalls nicht besprochen, wieso die vorliegende Bewertung keine Nachhaltigkeitsbewertung darstellt (vgl. Quitzow et al. 2019) und es den „besten“ Energiepfad nicht gibt, sondern lediglich unterschiedliche Alternativen nach gewichteten Präferenzen gegeneinander abgewogen werden. Dies wäre für zukünftige Prozesse durchaus empfehlenswert, gerade im Lichte eines häufig unscharf verwendeten Nachhaltigkeitsbegriffs. In einer tiefergehenden Diskussion hätte zudem thematisiert werden können, dass die überwiegenden Präferenzen der „Großen Lösungen“ impliziert, dass hierfür ein höherer Flächenverbrauch beispielsweise durch Windkraftanlagen oder Freiflächen-PV akzeptiert werden muss.

Zusammenfassend zeigt sich, dass der Nachhaltigkeitsvergleich projektintern zur Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellierung diente und die die Abstimmung zwischen den Teilprojekten erleichterte. In der Untersuchungsregion ermöglichte die Bewertung und gemeinsame Präsentation die Visualisierung der Energiepfade und Auswirkungen der Rahmenszenarien. Es empfiehlt sich auch für zukünftige Projekte, einen Nachhaltigkeitsvergleich in einen größeren Projektprozess einzubinden. Interesse und Mehrwert des Vergleiches ergab sich für die Teilnehmenden vor allem durch die Anbindung an die Modellierung.

## 6 Literaturverzeichnis

- Andes, Lisa (o.J.): Methodensammlung zur Nachhaltigkeitsbewertung. Grundlagen, Indikatoren, Hilfsmittel. Karlsruher Institut für Technologie. Online verfügbar unter <http://www.oew.kit.edu/downloads/Methodensammlung%20zur%20Nachhaltigkeitsbewertung.pdf>, zuletzt geprüft am 12.09.2019.
- Binder, Claudia R.; Quirici, Raffaele; Domnitcheva, Svetlana; Stäubli, Beat (2008): Smart Labels for Waste and Resource Management. In: *Journal of Industrial Ecology* 12 (2), S. 207–228. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2008.00016.x.
- Bohunovsky, Lisa; Omann, Ines; Bruckner, Martin; Madlener, Reinhard; Stagl, Sigrid (2006): Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung von Energieszenarien. Eine lokale Fallstudie im Projekt ARTEMIS. In: Udo Bachhiesl (Hg.): Dritte Energiepreiskrise - Anforderungen an die Energieinnovation. 9. Symposium Energieinnovation, Februar 15-17, 2006. Zürich: Verl. der Techn. Univ Zürich. Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/20.500.11850/40632>.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2009): Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien. Ein Projekt des Forschungsprogramms "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau" (ExWoSt) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Đào, Minh Quang (2016): Multikriterielle Entscheidungsanalyse für die nachhaltige landwirtschaftliche und gärtnerische Landnutzung in Nord-Vietnam am Beispiel der Provinz Phu Tho. Dissertation (Schriften zur Internationalen Agarentwicklung, Bd. 74).
- Dyer, James S. (2016): Multiattribute Utility Theory (MAUT). In: Salvatore Greco, Matthias Ehrgott und José Rui Figueira (Hg.): Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. New York, NY: Springer New York, S. 285–314.
- Geldermann, Jutta; Lerche, Nils (2014): Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung. Methode: PROMETHEE. Georg-August-Universität Göttingen. Göttingen.
- Greco, Salvatore; Ehrgott, Matthias; Figueira, José Rui (Hg.) (2016): Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. New York, NY: Springer New York.
- Grilli, Gianluca; Meo, Isabella de; Garegnani, Giulia; Paletto, Alessandro (2016): A multi-criteria framework to assess the sustainability of renewable energy development in the Alps. In: *Journal of Environmental Planning and Management* 60 (7), S. 1276–1295. DOI: 10.1080/09640568.2016.1216398.
- Grunwald, Armin (2016): Nachhaltigkeit verstehen. Arbeiten an der Bedeutung nachhaltiger Entwicklung. München: oekom verlag.
- Haebler, Jonas von; Erlemeyer, Fabian; Rehtanz, Christian; Blanco, Gerardo (2017): Modelling of efficient distributed generation portfolios using a multiobjective optimization approach. In: IEEE PES PowerTech Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Power & Energy Society, University of Manchester, IEEE Manchester PowerTech, IEEE Power and Energy Society PowerTech Conference und Manchester PowerTech (Hg.): 2017 IEEE Manchester PowerTech. 18-22 June 2017. Manchester, United Kingdom: IEEE, S. 1–6.
- Hirschberg, Stefan; Bauer, Christian; Burgherr, Peter; Dones, Roberto; Simons, Andrew; Warren et al. (2008): Final set of sustainability criteria and indicators for assessment of electricity supply options. Project NEEDS - New Energy Externalities Developments for Sustainability (Deliverable, D3.2 – RS 2b).
- INOLA-Arbeitsbericht Nr. 10 (2019): Simulation regionaler Energiepfade im Oberland bis 2035/ 2045. Akteursentscheidungen, Energie- und Stoffströme sowie ökonomische Effekte. Unter Mitarbeit von Martin Danner, Eva Halwachs, Ana Maria Montoya Gomez, Jana Lippelt, Veronika Locherera, Wolfram Mauser et al.
- INOLA-Arbeitsbericht Nr. 7 (2017): Szenarien, Zukunftswünsche, Vision. Ergebnisse der partizipativen Szenarienkonstruktion in der Modellregion Oberland. Unter Mitarbeit von Annika Musch und Anne von Streit.
- INOLA-Arbeitsbericht Nr. 8 (2019): Bewertung der Energiewende im Oberland aus ökonomischer Sicht. Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte. Unter Mitarbeit von Konrad Bierl, Anna Gille, Jana Lippelt, Ana Maria Montoya Gomez, Marie-Theres von Schickfus und Markus Zimmer.

- Quitrow, Rainer; Bangert, Armin; Düber, Dominik; Fraune, Cornelia; Fricke, Annika; Gaschnig, Hannes et al. (2018): Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende: Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi. Hg. v. Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS). Online verfügbar unter <http://publications.iass-potsdam.de/pubman/item/escidoc:3458890:9/component/escidoc:3537888/3458890.pdf>, zuletzt geprüft am 21.02.2019.
- Quitrow, Rainer; Gaschnig, Hannes; Camier, Christina; Berger, Maren; Renn, Ortwin; Bangert, Armin et al. (2019): Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende. Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi. Zusammenfassung.
- R Core Team (2017): R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. Online verfügbar unter <https://www.R-project.org/>.
- Ridder, Wouter de; Turnpenny, John; Nilsson, Måns; Raggamby, Anneke von (2007): A Framework For Tool Selection and Use in Integrated Assessment For Sustainable Development. In: *J. Env. Assmt. Pol. Mgmt.* 09 (04), S. 423–441. DOI: 10.1142/S1464333207002883.
- Scholz, Roland W.; Tietje, Olaf (2002): Embedded case study methods. Integrating quantitative and qualitative knowledge. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publ. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0656/2001002910-d.html>.
- Star, Susan Leigh; Griesemer, James R. (1989): Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. In: *Soc Stud Sci* 19 (3), S. 387–420. DOI: 10.1177/030631289019003001.
- Torres Sibille, Ana del Carmen; Cloquell-Ballester, Víctor-Andrés; Cloquell-Ballester, Vicente-Agustín; Darton, Richard (2009): Development and validation of a multicriteria indicator for the assessment of objective aesthetic impact of wind farms. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (1), S. 40–66. DOI: 10.1016/j.rser.2007.05.002.
- Weistroffer, H. Roland; Li, Yan (2016): Multiple Criteria Decision Analysis Software. In: Salvatore Greco, Matthias Ehrgott und José Rui Figueira (Hg.): *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York, NY: Springer New York, S. 1301–1341. Online verfügbar unter [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4\\_29](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_29).
- Wieduwilt, Patrick Dirk (2018): Windkraft und Kulturlandschaft. Ein GIS-gestütztes Bewertungsverfahren zur Beurteilung des Beeinträchtigungspotenzials von Windenergieanlagen auf landschaftsprägende Denkmäler und historische Kulturlandschaften. Dissertation. Online verfügbar unter <http://tubaf.qucosa.de/api/qucosa%3A33355/attachment/ATT-0/>, zuletzt geprüft am 28.08.2019.
- Wilkens, Ines (2012): Multikriterielle Analyse zur Nachhaltigkeitsbewertung von Energiesystemen – Von der Theorie zur praktischen Anwendung. Dissertation. Technische Universität Berlin.
- Wilson, Maxwell C.; Wu, Jianguo (2017): The problems of weak sustainability and associated indicators. In: *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 24 (1), S. 44–51. DOI: 10.1080/13504509.2015.1136360.
- Winston Chang; Joe Cheng; JJ Allaire; Yihui Xie; Jonathan McPherson (2019): shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.3.2. Online verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=shiny>.

## 7 Anhang: Verwendete Indikatoren

Nr	Gliederung	Indikator, Bewertungsfrage: Wichtigkeit im Verhältnis zu den anderen Indikatoren von 0 (gar nicht wichtig) bis 100 (sehr wichtig)	Definition	Kommentar und Nutzenfunktion
5.	<b>1. Energiewendeziel: Wie wichtig ist es Ihnen, wie sehr sich die Region durch regionale erneuerbare Energien versorgt?</b>			
6.	1.1	<b>Energieverbrauch</b>  <i>Wie wichtig ist Ihnen, ein generell niedriger <b>Energieverbrauch</b> in der Region Oberland?</i>	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen	Proportionale Funktion
7.	1.1.1	<b>Strom</b>  <i>Wie wichtig ist Ihnen ein <b>niedriger Stromverbrauch</b> in der Region Oberland?</i>	STROMBEDARF	Strom: spiegelt unter anderem regionales Wachstum und Entwicklungen zu Wärmepumpen wieder  Negativproportionale Funktion
8.	1.1.2	<b>Wärme</b>  <i>Wie wichtig ist Ihnen ein <b>niedriger Wärmeverbrauch</b> in der Region Oberland?</i>	WÄRMEBEDARF	Wärme: spiegelt unter anderem Entwicklungen zu Sanierung wieder.  Negativproportionale Funktion
9.	1.2	<b>Gesamtanteil erneuerbarer Energien</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass bilanziell ein hoher Anteil des regionalen Energieverbrauchs durch regionale erneuerbare Energien erzeugt wird?</i>	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen	Antiproportionale Funktion
10.	1.2.1	<b>Gesamtanteil erneuerbarer Strom</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass bilanziell ein hoher Anteil des <b>regionalen Stromverbrauchs</b> durch regionale erneuerbare Energien erzeugt wird?</i>	ERZEUGUNG_EE[Strom] / GESAMTENERGIEBEDARF [Strom]	Strom: spiegelt unter anderem regionales Wachstum und Entwicklungen zu Wärmepumpen wieder  x1=0.30,y1=0 30% Wird als Standard gesetzt
11.	1.2.2	<b>Gesamtanteil erneuerbarer Wärme</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass bilanziell ein hoher Anteil des <b>regionalen Wärmeverbrauchs</b> durch regionale erneuerbare Energien erzeugt wird?</i>	ERZEUGUNG_EE[Wärme] / GESAMTENERGIEBEDARF [Wärme]	Wärme: spiegelt unter anderem Entwicklungen zu Sanierung wieder.  x1=0.30,y1=0 30% Wird als Standard gesetzt
12.	1.3	<b>Stromüberschuss</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass in der Region so viele <b>Stromerzeugungsanlagen gebaut werden, dass überschüssiger Strom erzeugt und potentiell exportiert werden könnte?</b> (z.B. um Städte wie München mitzuversorgen)</i>	SUMME [stündliches Stromdelta, wenn negativ]; Stromüberschüsse	y1=80, Verringere Einfluss - Annahme: Etwas Überschuss ist immer da
13.	<b>2. Struktur des Energiesystems: Wie wichtig ist Ihnen, wie das regionale Energiesystems technisch ausgestaltet ist? (z.B. Technologien, Anlagengröße, Speicher)</b>			
14.	2.1	<b>Diversität des Energieerzeugungssystems (EE)</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass das <b>regionale Energieerzeugungssystem</b> aus einem <b>breiten Mix unterschiedlicher erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen</b> besteht? (d.h. eine Mischung aus PV, Windkraft, Biomasse, Wasserkraft, Geothermie)</i>	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen  Diversitätsmaß mir Kapazitäten der einzelnen Energieerzeugungsanlagen.  Simpson-Index: D= 1- Summe (Kapn <sup>2</sup> /Kap <sup>2</sup> )  Mit Kapn= Kapazität von Technologie N Kapg=Kapazität Gesamt N= alle verschiedenen Technologien	Diversität der Erzeugungsanlagen, Mix, Offenheit gegenüber Technologien, Flexibilität. Keine Abbildung von Speichern, Nahwärmenetzen, Sektorenkopplung  Anteil/Dominanz verschiedener Energieträger, schlecht bei Dominanz (1 = divers, 0= homogen)  Proportionale Funktion y1=20  Ohne Einzelhausgasanlagen, aber mit Gas für Nahwärme.

Nr	Gliederung	<b>Indikator, Bewertungsfrage:</b> Wichtigkeit im Verhältnis zu den anderen Indikatoren von 0 (gar nicht wichtig) bis 100 (sehr wichtig)	<b>Definition</b>	<b>Kommentar und Nutzenfunktion</b>
15.	2.2	<b>Präferenz für Anlagengröße</b>  Wie wichtig ist Ihnen, ob das Energiesystem in der Region vor allem aus vielen (kleineren) Anlagen oder aus <i>wenigen (großen) Anlagen</i> besteht? (Bitte ggf. genauer einstellen).	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen	Maßzahl, um die Ausrichtung des Energiesystems auf größere oder kleinere Anlagen zu bestimmen.
16.	2.2.1	<b>Anlagengröße Stromerzeugung</b>  <i>Ich präferiere wenige große Anlagen zur Stromerzeugung, es ist mir egal, oder ich präferiere viele kleine Anlagen zur Stromerzeugung (z.B.: Mehr Verbundkraftwerke anstatt Einzelhausanlagen).</i>	Anzahl der Anlagen, inkl. Speicher, die Elektrizität erzeugen.	z.B.: Mehr Verbundkraftwerke anstatt Einzelhausanlagen  Regler von wenige große Anlagen (-100) über 0 (es ist mir egal) bis zu viele kleine Anlagen (+100)  Negativproportionale Funktion im positiven Bereich, sonst Proportionale Funktion
17.	2.2.2	<b>Anlagengröße Wärmeerzeugung</b>  <i>Ich präferiere wenige große Anlagen zur Wärmeerzeugung, es ist mir egal, oder ich präferiere viele kleine Anlagen zur Stromerzeugung (z.B.: Nahwärmenetze mit großem BHKW vs. Nahwärmenetze mit Kombinationen Wärmespeicher, Solarthermieanlagen, Wärmepumpe).</i>	Anzahl der Anlagen, inkl. Power-to-Heat	z.B.: Größere Anlagen anstatt Einzelhausheizungen  Hier: Regler von wenige große Anlagen (-100) über 0 (es ist mir egal) bis zu viele kleine Anlagen (+100)  Negativproportionale Funktion im positiven Bereich, sonst Proportionale Funktion
18.	2.3	<b>Regionale Ausgleichsmechanismen</b>  <i>Die Erzeugung von Strom mit Erneuerbaren-Energien-Anlagen unterliegt zeitlichen Schwankungen, die von den Witterungsverhältnissen und vom Technologiemix abhängen. Wie wichtig ist es Ihnen, dass innerhalb der Region Schwankungen zwischen Stromproduktion und – Stromverbrauch ausgeglichen werden?</i>	SUMME [Betrag stündliches Stromdelta]	Antiproportionale Funktion $y_1=400$
19.	<b>3. Ökonomische Effekte: Wie wichtig ist Ihnen, wie sich das regionale Energiesystem in der Region ökonomisch auswirkt? (z.B. Wirkungen auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung, Kosten)</b>			
20.	3.1	<b>Wirtschaftsentwicklung</b> <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass sich der Ausbau erneuerbarer Energien langfristig positiv auf die gesamte regionale Wirtschaft auswirkt?</i>	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen	Input-Output-Rechnung inklusive Verdrängungseffekten (ifo)  Abhängig von Rahmenannahmen: Positive Effekte hängen stark von Frage der Kapitalzufuhr ab.
21.	3.1.1	<b>Regionale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass sich der Ausbau erneuerbarer Energien langfristig positiv auf die gesamte regionale Wertschöpfung auswirkt?</i>	Veränderungen regionaler Wertschöpfung in der Region durch erneuerbare Energien	Proportionale Funktion $y_1=20$  inklusive Verdrängungseffekte. Vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 8.
22.	3.1.2	<b>Regionale Arbeitsplätze durch erneuerbare Energien</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass der Ausbau erneuerbarer Energien langfristig für mehr Arbeitsplätze in der gesamten regionalen Wirtschaft sorgt?</i>	Veränderungen Arbeitsplätze in der Region durch erneuerbare Energien	Proportionale Funktion $y_1=20$  inklusive Verdrängungseffekte Vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 8.
23.	3.2	<b>Energieerzeugungskosten</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass die durchschnittlichen Erzeugungskosten für regional und erneuerbar erzeugten Strom gering sind?</i>	Neue EE Anlagen Stromerzeugungskosten	Antiproportionale Funktion $y_1=130$  Vgl. INOLA-Arbeitsbericht Nr. 8.

Nr	Gliederung	Indikator, Bewertungsfrage: Wichtigkeit im Verhältnis zu den anderen Indikatoren von 0 (gar nicht wichtig) bis 100 (sehr wichtig)	Definition	Kommentar und Nutzenfunktion
24.	3.3	<b>Förderkosten</b>  Wie wichtig ist es Ihnen, dass nur <b>wenig zusätzliche Finanzmittel</b> benötigt werden? (Zusätzliche Förderungen auf Bundes-, Landes-, regionaler, Firmen- oder Haushaltsebene)	Jährliche Mehrkosten pro Einwohner.	y1=150 Antiproportionale Funktion  Im Modell wurden über die generellen bundesweiten Förderungen hinausgehende Förderungen angenommen. Siehe INOLA-Arbeitsbericht Nr. 10.
25.	3.4	<b>Gewinnbeteiligung</b>  Wie wichtig ist es Ihnen, dass BürgerInnen finanziell an den Gewinnen beteiligt werden (z.B. über Genossenschaften oder andere Beteiligungsmodelle)?	Qualitativ	
26.	3.5	<b>Planungsbeteiligung</b>  Wie wichtig ist es Ihnen, dass BürgerInnen an planerischen Entscheidungen beim Bau von Erneuerbaren-Energie-Anlagen beteiligt werden?	Qualitativ	
27.	Indikatoren: 4. Umweltauswirkungen: Wie wichtig ist Ihnen, dass die Energieerzeugung möglichst regional und CO2-frei ist?			
28.	4.1	<b>Nicht erneuerbarer Energieverbrauch</b>  Wie wichtig ist es Ihnen, dass die <b>Energieerzeugung möglichst regional und CO2-frei</b> ist?	Nicht regional erzeugte Energie (kWh)	Aufgrund des regionalen Charakters der Modellierung werden negative Auswirkungen nicht regional erzeugter Energie nicht modelliert. Um dies auszugleichen, wird die nicht regional erneuerbare Energie als negative Umweltauswirkung angesehen.  negativproportionale Funktion
29.	4.2	<b>Flächenbeanspruchung der Energieerzeugung</b>  Wie wichtig ist es Ihnen, dass bei der Energieerzeugung möglichst wenig Freiflächen versiegelt, überbaut oder zur Produktion von Biomasse verwendet werden? (Es werden Windkraft, Solar-Freiflächenanlagen, Biogasanlagen sowie Biomasseheizkraftwerke berücksichtigt).	Summe (Anzahl bzw. Kapazität Energieanlagen * jeweiligen Flächenfaktor)  Flächenfaktor gemäß Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2009)	Negativproportionale Funktion  $\text{Strom\_Wind} * 7.4 / 1000000 + \text{Strom\_PV\_Freiflächen} * 3 / 1000000 + \text{Strom\_Biogas} * 98 / 1000000 + \text{Strom\_HolzBHKW} * 49 / 1000000 + \text{Wärme\_Solarthermie\_Freiflächen} * 1 / 1000000$  Die Produktionsmengen sind dabei jeweils in kWh/a angegeben, die Flächen in ha/GWh. Die Einheit des Outputs ist also in ha angegeben.
30.	4.3	<b>Anteil an Energieproduktion an land- und forstwirtschaftlicher Produktion</b>  Wie wichtig ist es Ihnen, dass von Nahrungs- und Futtermitteln (v. a. Mais) und Holz nur ein geringer Anteil zur Energieproduktion verwendet wird? (im Modell wird von der aktuellen Flächennutzung ausgegangen, keine Flächen für die Nutzung zur Energieerzeugung umgewandelt)	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen	Rahmenszenarien geben Grenzen der Nutzung vor; Mischung pro Rahmenszenario vorgegeben.  Das Modell geht von der aktuellen Flächennutzung aus.  y1=150 Antiproportionale Funktion
31.	4.3.1	<b>Maisverwendung</b>  „... vom gesamten Aufkommen an Mais nur ein ...“?	PRODUKTION FÜR EE / PRODUKTION GESAMT	
32.	4.3.2	<b>Holzverwendung</b>  „... vom gesamten Aufkommen an Holz nur ein ...“?	PRODUKTION FÜR EE / PRODUKTION GESAMT	

Nr	Gliederung	Indikator, Bewertungsfrage: Wichtigkeit im Verhältnis zu den anderen Indikatoren von 0 (gar nicht wichtig) bis 100 (sehr wichtig)	Definition	Kommentar und Nutzenfunktion
33.	4.4	<b>Regionale Auswirkungen</b>  <i>Wie wichtig ist es Ihnen, dass sonstige regionale und lokale Auswirkungen durch Energieerzeugungsanlagen möglichst gering sind? (z.B. Landschafts- und Ortsbild, Emissionen, ...)</i>	Gewichte Werte der Unterfaktoren gemäß individueller Präferenzen	
		Zur genaueren Einstellung: <b>Die negativen Auswirkungen welcher Anlagen bewerten Sie im Verhältnis zueinander als wie wichtig? Da diese schwer zu quantifizieren und oftmals ortsabhängig sind, können hier nur grundsätzliche Einschätzungen pro Technologie angegeben werden: von 0 = keine wichtigen Auswirkungen, bis 100 = stark beeinträchtigende Auswirkungen</b>	Zur genaueren Einstellung wird die generelle Zustimmung zur Technologie abgefragt.	Keine fossilen Erzeugungsanlagen, keine Speicher  Es wird der Komplettbestand aller Anlagen angegeben, nicht nur der Zubau
34.	4.4.1	<b>Solardachflächenanlagen</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von Dach- und Fassadenanlagen für PV und Solarthermie mit...“</i>	Anzahl Häuser mit PV-Dachflächenanlagen und Fassadenanlagen.	Inkl. Fassadenanlagen und Solarenergie Anzahl der Häuser, die PV oder Solarthermie oder beides haben.  Antiproportionale Funktion
35.	4.4.2	<b>Solarfreiflächenanlagen</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von Freiflächenanlagen für PV und Solarthermie mit...“</i>	Fläche der PV-Freiflächenanlagen.	PV-Freiflächenanlagen und Solarenergie  Antiproportionale Funktion y1=150
36.	4.4.3	<b>Windkraft</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von Windkraftanlagen mit...“</i>	Anzahl der Windkraftanlagen	Präferenz von [0 bis 100]  Antiproportionale Funktion y1=150
37.	4.4.4	<b>Wasserkraftanlagen</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von Wasserkraftanlagen mit...“</i>	Anzahl Wasserkraftanlagen.	Antiproportionale Funktion
38.	4.4.5	<b>Biogasanlagen</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von Biogasanlagen mit...“</i>	Anzahl Biogasanlagen	Antiproportionale Funktion
39.	4.4.6	<b>Größere Biomasseheiz(kraft)werke</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von größeren Biomasseheiz(kraft)werken mit...“</i>	Anzahl größerer Biomasseheiz(kraft)werke	Holzheizungen und Pellets sind ein Anlagentyp  Antiproportionale Funktion
40.	4.4.7	<b>Holzbeheizte Heizungen (Einzelhäuser)</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von holzbeheizten Heizungen (Einzelhäuser) mit...“</i>	Anzahl holzbeheizte Heizungen	Hackschnitzel, Holzpellets inkl. Einzelhausblockheizkraftwerke  Antiproportionale Funktion
41.	4.4.8	<b>Tiefengeothermieanlagen</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von Tiefengeothermieanlagen mit...“</i>	Anzahl Geothermieanlagen	Antiproportionale Funktion
42.	4.4.9	<b>Wärmepumpen</b> <i>„Auf der Skala von 0 bis 100 bewerte ich Auswirkungen von oberflächennahen Geothermieanlagen und Wärmepumpen mit...“</i>	Anzahl der Anlagen	Antiproportionale Funktion