SZENARIEN UND TECHNOLOGIEPORTFOLIEN

WELCHE STATIONEN SIND AUS TECHNISCHER SICHT ZU DURCHLAUFEN?

EnAHRgie

ahrtal-werke · difu Deutsches Institut für Urbanistik · evm energieversorgung mittelrhein · ffu Forschungszentrum für Umweltpolitik · Handwerkskammer Koblenz · ie3 Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft · IfaS Institut für angewandtes Stoffstrommanagement · Eifel Energiegenossenschaft eG eegon

KREIS AHRWEILER · BAD NEUENAHR AHRWEILER · DIALOGIK gemeinnützige Gesellschaft für Kommunikations- und Kooperationsforschung mbH · RUR · Fraunhofer UMSICHT · EA EUROPEAN ACADEMY OF TECHNOLOGY AND INNOVATION ASSESSMENT · GEOMAGIC

IMPRESSUM

Dieser Leitfaden ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung und Bildung geförderten Projektes EnAHRgie entstanden (FKZ 033L110, www.enahrgie.de).

ANSPRECHPARTNER

Jonas von Haebler
TU Dortmund
Telefon: +49 (0)231-755-4334
Mail: jonas.von-haebler (at)tu-dortmund.de

Dr. Annedore Kanngießer
Fraunhofer UMSICHT
Telefon: +49 (0)208-8598-1373
Mail: annedore.kanngiesser (at)umsicht.fraunhofer.de

Mona Dellbrügge
Umwelt-Campus Birkenfeld (IfaS)
Telefon: +49 (0)6782-17-2640
Mail: m.dellbruegge (at)umwelt-campus.de

Stand: Dezember 2017

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
FONA Ressource Land BMBF
Innovationsgruppen Nachhaltiges Landmanagement

AUTOREN

Kap. 1 Einführung

Dr. Annedore Kanngießer (Fraunhofer UMSICHT)

Kap. 2 Wo steht die Betrachtungsregion heute? Erfassung der Energie- und Versorgungsstrukturen

Mona Dellbrügge (IfaS), Jonas von Haebler (TU Dortmund), Dr. Annedore Kanngießer (Fraunhofer UMSICHT)

Kap. 3 Erfassung Potenziale

Dr. Annedore Kanngießer (UMSICHT), Mona Dellbrügge (IfaS), Jonas von Haebler (TU Dortmund), Dr. Markus Voge, Dr. Bert Droste-Franke (EA European Academy)

Kap. 4 Erstellung Szenarien

Jonas von Haebler (TU Dortmund), Dr. Bert Droste-Franke (EA European Academy), Dr. Annedore Kanngießer (UMSICHT), Mona Dellbrügge (IfaS), Dr. André Schaffrin (EA European Academy)

Kap. 5 Erstellung Technologieportfolien für Szenarien

Dr. Annedore Kanngießer (Fraunhofer UMSICHT), Jonas von Haebler (TU Dortmund)

Kap. 6 Bewertung der Technologieportfolien

Christoph Pietz (Ifas), Dr. Bert Droste-Franke (EA European Academy), Jonas von Haebler (TU Dortmund), Mona Dellbrügge (IfaS), Dr. Dirk Assmann (Difu), Benedikt Benjamin Walker (Difu), Dr. Annedore Kanngießer (Fraunhofer UMSICHT)

Kap. 7 Diskussion der Szenarienergebnisse vor dem Hintergrund der Umsetzbarkeit

Mona Dellbrügge (IfaS), Dr. Annedore Kanngießer (Fraunhofer UMSICHT)

Kap. 8 Darstellungsformen für Ergebnisse

Dr. Annedore Kanngießer (Fraunhofer UMSICHT), Mona Dellbrügge (IfaS)

Kap. 9 Nützliche Links

Mona Dellbrügge (IfaS)

Unterstützung bei der grafischen Umsetzung:

Ansgar Skoda, Dr. Markus Voge, Sarah Götten (EA European Academy), Shapefruit AG

INHALTSVERZEICHNIS

| Kap. 1. Einführung 1
1.1. Sinn und Zweck des Leitfadens 1
1.2. Überblick über die verwendeten Potenzial-Begriffe 2
1.3. Einordnung in das Projekt EnAHRgie 4
| Kap. 2. Wo steht die Betrachtungsregion heute? 5
2.1. Erstellung einer Endenergiebasierten Territorialbilanz 5
2.2. Welche Daten werden benötigt zur Erfassung der Ist-Situation? 8
| Kap. 3. Erfassung der Potenziale 10
3.1. Festlegung und Kurzcharakterisierung der zu betrachtenden Technologien und Effizienzmaßnahmen 10
3.2. Festlegung der Restriktionen für die Potenzialberechnung 13
3.3. Wie können die Maximalpotenziale der verschiedenen Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie der Effizienzmaßnahmen quantifiziert werden? 23
3.4. Datenerfassung für technologiespezifische Potenziale 31
3.5. Beispiel-Ergebnisse: Szenarienunabhängige Maximalpotenziale im Landkreis Ahrweiler für den Strom- und Wärmesektor 32
| Kap. 4. Erstellung der Szenarien 35
4.1. Festlegung von geeigneten Ziel-Indikatoren 35
4.2. Festlegung von Ziel-Szenarien 38
4.3. Zuordnung der Ausprägungen im morphologischen Feld zu den Szenarien 39
| Kap. 5. Erstellung der Technologieportfolien für die Szenarien 43
5.1. BiBER-Modell 44
5.2. MOPS-Modell 48
| Kap. 6. Bewertung der Technologieportfolien 53
6.1. Ziele und Anwendungsfelder der (Nachhaltigkeits-)Bewertung 53
6.2. Bestimmung von Nachhaltigkeitsindikatoren 54
6.3. Anwendung und Sensitivitätsanalyse 59
| Kap. 7. Diskussion der Szenarienergebnisse vor dem Hintergrund der Umsetzbarkeit 62
| Kap. 8. Darstellungsformen für die Ergebnisse 63
8.1. Ergebnis-Steckbriefe 63
8.2. GIS-Darstellung der Potenzialflächen 64
8.3. Maßnahmenkatalog 64
8.4. Nutzung interaktiver Softwaretools in Partizipationsformaten 65
8.5. Weitere Hinweise zur Darstellung 65
| Kap. 9. Nützliche Links 66

| Kap. 1. Einführung

1.1. Sinn und Zweck des Leitfadens

Ziel dieses Leitfadens ist es, die Stationen zu erläutern, welche aus technischer Sicht auf dem Weg von der Idee zur regionalen Energiewende hin zu den vorgeschlagenen Technologieportfolien durchlaufen werden sollten. Die Erläuterungen zu den einzelnen Stationen geben einen methodischen und prozessualen Überblick, ohne jedoch zu stark auf Details einzugehen. Beispiele, die während der Erarbeitung eines Energiekonzepts für den Landkreis Ahrweiler im Projekt EnAHRgie entstanden sind, veranschaulichen die allgemeinen Erläuterungen.

Der Leitfaden richtet sich im Besonderen an Akteure, die ein Konzept für die lokale Energiewende in ihrer Kommune bzw. ihrem Landkreis koordinieren bzw. entwickeln wollen (bspw. Klimaschutzmanager). Darüber hinaus ist er jedoch auch für die Information der Öffentlichkeit, der Politik bzw. der oftmals am lokalen Energiewendeprozess mitwirkenden Verbände und Vereine von Relevanz.

Durch die Verankerung im EnAHRgie-Projekt (vgl. Abschnitt 1.3) liegt der Fokus auf dem stationären Energieverbrauch, d. h. dem Strom- und dem Wärmesektor. Der Verkehrssektor wurde lediglich als Rahmenbedingung (zukünftiger Strom-Mehrverbrauch aufgrund von Elektromobilität) betrachtet. Soll der Verkehrssektor in anderen Projekten mitbetrachtet werden, ist die hier präsentierte Methodik ohne weiteres um diesen erweiterbar.

Abb. 1: Der Weg von der Idee zur regionalen Energiewende hin zu den vorgeschlagenen Technologieportfolien

Abb. 1 zeigt die zu durchlaufenden Stationen, welche zugleich die Kapitelgliederung dieses Leitfadens bilden. Zunächst ist eine Vielzahl an Daten zu erheben – einerseits um die Ist-Situation der Energieversorgung in der Betrachtungsregion zu erfassen (vgl. Kapitel 2), andererseits um Potenziale für eine erneuerbare und effiziente Energieversorgung zu analysieren (vgl. Kapitel 3). Darauf aufbauend sind denkbare Strategien und Ziele in Szenarien zusammenzufassen (vgl. Kapitel 4) und für jedes dieser Szenarien ein Technologieportfolio abzuleiten (vgl. Kapitel 5) sowie zu bewerten (vgl. Kapitel 6).

Anschließend sind die verschiedenen Szenarien mit den dazugehörigen vorgeschlagenen Technologieportfolien in Politik und Gesellschaft zu diskutieren (vgl. Kapitel 7); sowohl übergeordnet im Hinblick auf die Ziele, die bei der lokalen Energiewende verfolgt werden sollen, als auch im Hinblick auf die konkrete Umsetzbarkeit vor dem Hintergrund individueller lokaler Spezifika. Abschließend gibt der Leitfaden in Kapitel 8 Erfahrungswerte wider, wie Ergebnisse für die verschiedenen Akteursgruppen am besten dargestellt werden können, und fasst in Kapitel 9 nützliche Links zu anderen Leitfäden und weiteren Quellen zusammen.

1.2. Überblick über die verwendeten Potenzial-Begriffe

Die Potenzialanalyse erfolgt in drei Stufen: Dabei wird das ausgewiesene Potenzial immer weiter eingegrenzt – von der absoluten Obergrenze des möglichen Zubaus bis hin zum für die Umsetzung vorgeschlagenen Potenzial. Diese stufenweise Einschränkung und die dazugehörigen Potenzial-Begriffe sind in Abb. 2 illustriert und werden im Folgenden erläutert.

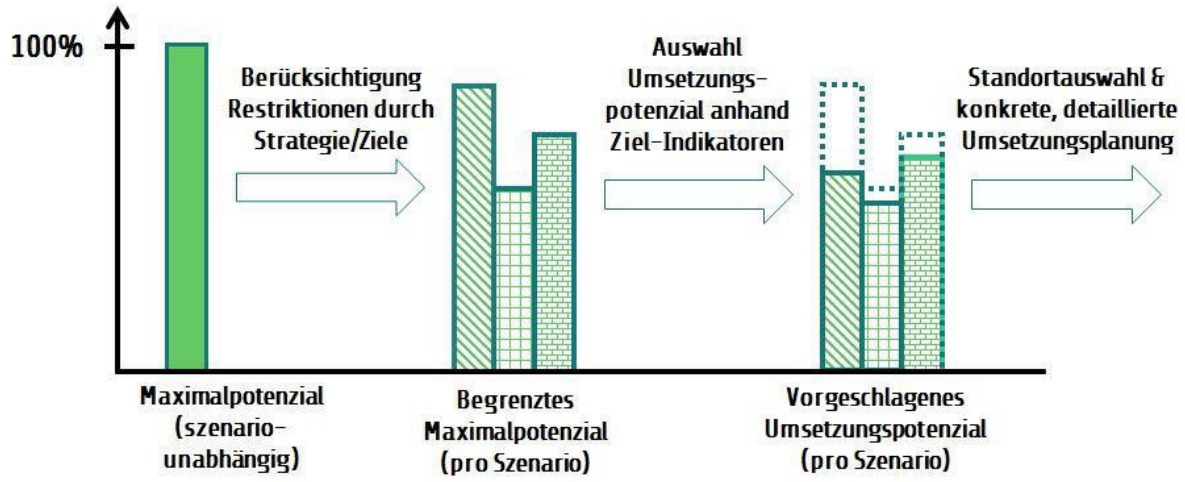


Abb. 2: Definition der verwendeten Potenzialbegriffe

In einem ersten Schritt wird pro Technologie das so genannte **szenarienunabhängige Maximalpotenzial** bestimmt. Hier werden lediglich die – nach heutigem Stand – strengen Restriktionen verwendet (siehe nachfolgende Infobox). Dieser Schritt dient dazu, dass nicht frühzeitig – beispielsweise aufgrund von Interessenslagen – Potenziale ausgeschlossen werden, sondern der volle Handlungsraum aufgezeigt wird.

Im zweiten Schritt wird das Maximalpotenzial jeder Technologie für jedes definierte Szenario (vgl. Abschnitt 3.2) durch weitere, frei-wählbare Restriktionen (siehe nachfolgende Infobox) eingeschränkt. Hierdurch wird letztlich ein **begrenztes Maximalpotenzial (pro Szenario)** jeder Technologie erstellt.

Strenge vs. frei-wählbare Restriktionen

Strenge Restriktionen sind beispielsweise fixe, rechtliche Regelungen (bspw. bauordnungsrechtliche Vorgaben zum Mindestabstand) oder eine technische Begrenzung des Primärenergieträgers (bspw. die Stärke der Solareinstrahlung).

Eine **frei-wählbare Restriktion** ist bspw. die Entscheidung, ob Photovoltaikanlagen auf der kompletten Dachfläche installiert werden sollen oder die heute – im Privatbereich übliche – kleinere eigenstromoptimale Dimensionierung gewählt werden sollte. Ein weiteres Beispiel ist die Entscheidung, wie ambitioniert die Sanierungsrate im Bereich der Gebäudedämmung gewählt werden soll.

Im EnAHRgie-Projekt wurden mögliche frei-wählbare Restriktionen im Kreis der Innovationsgruppe (Wissenschaftler und Praxispartner) zusammengestellt und in mehreren Schritten ausführlich diskutiert. Dadurch beruht die Festlegung der letztendlich genutzten, frei-wählbaren Restriktionen sowohl auf wissenschaftlicher Fachexpertise als auch auf dem Lokalwissen zu den spezifischen Präferenzen in der Region. Letzteres wurde durch verschiedene Partizipationsformate unterfüttert (vgl. EnAHRgie-Leitfaden „Partizipationsmodell“).

Im nächsten Schritt gilt es,

- pro Szenario die begrenzten Maximalpotenziale aller Technologien gleichzeitig zu betrachten,
- die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Technologien abzuwägen und
- schließlich zu entscheiden, wieviel – im Sinne der Szenario-Ziele – von welcher Technologie umgesetzt werden sollte (= Zusammenstellung Technologieportfolio, vgl. Kapitel 5).

Das dabei resultierende Ergebnis (**= vorgeschlagenes Umsetzungspotenzial pro Szenario = vorgeschlagene Technologieportfolien**) stellt das Ergebnis der Konzeptionsphase dar und wird im Energiekonzept zusammengefasst.

Dabei ist explizit zu beachten, dass es sich ausdrücklich NICHT um einen zwangsläufig durchzuführenden oder gar rechtsverbindlichen Umsetzungsplan handelt, sondern lediglich um das vorgeschlagene Umsetzungspotenzial, mit dem verschiedene Ziele bestmöglich erreicht werden würden. D. h. die Szenarien dienen als Wegweiser für eine Auswahl an möglichen Umsetzungslösungen für das übergeordnete Ziel, im Falle vom Landkreis Ahrweiler den 100% EE-Beschluss des Kreistages. Durch Aufzeigen verschiedener Entwicklungspfade veranschaulichen sie zudem die Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen, grundsätzlich einsetzbaren Technologien sowie den Auswirkungen auf die in der Region verfolgten Teilziele. Welche der möglichen Ziele verfolgt werden sollen, liegt in der Entscheidung der regionalen Akteure, insbesondere der demokratisch gewählten Vertreter und bedarf eines umfassenden gesellschaftlichen Abstimmungsprozesses (vgl. EnAHRgie-Leitfäden „Synergien nutzen statt Energie vergeuden“ sowie „Partizipationsmodell“). Die Ergebnisse im Energiekonzept sollen bei diesem Schritt unterstützen. Für eine Umsetzung konkreter Projekte ist aufbauend darauf eine detaillierte Planung durchzuführen. Dies beinhaltet u. a. die Auswahl konkreter Standorte, die Durchführung der notwendigen Gutachten zur Prüfung der Genehmigungsfähigkeit, die Prüfung der individuellen Wirtschaftlichkeit und möglichen Geschäftsmodelle unter Berücksichtigung regionaler Umsetzungsherausforderungen etc. (vgl. EnAHRgie-Leitfaden „Geschäftsmodell Energiewende“).

1.3. Einordnung in das Projekt EnAHRgie

Dieser Leitfaden ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung und Bildung geförderten Projektes EnAHRgie entstanden (FKZ 033L110, www.enahrgie.de). Darin wurden für die Modellregion Landkreis Ahrweiler von März 2015 bis November 2017 neue Lösungen für eine nachhaltige Gestaltung der Landnutzung und Energieversorgung unter der Berücksichtigung von Landnutzungskonkurrenzen entwickelt. Das für den Landkreis erarbeitete Energiekonzept soll Politik und Gesellschaft im Landkreis eine Orientierung bieten, wie das in 2011 vom Kreistag beschlossene 100% Erneuerbare-Energien-Ziel konkret umgesetzt werden kann.

Neben der technischen Erarbeitung des Energiekonzepts, d. h. der Entwicklung von Szenarien und Technologieportfolios nach der in diesem Leitfaden vorgestellten Methode, wurden in EnAHRgie ebenfalls Aspekte der Ökonomie, der Kooperation und Verstetigung sowie der Partizipation untersucht und teilweise praktisch erprobt. Die Methoden, Ergebnisse und Empfehlungen aus diesen Arbeitspaketen sind in den weiteren Leitfäden „Partizipationsmodell“, „Synergien nutzen statt Energie vergeuden“ sowie „Geschäftsmodell Energiewende“ zusammengefasst.

| Kap. 2. Wo steht die Betrachtungsregion heute?

2.1. Erstellung einer Endenergiebasierten Territorialbilanz

Die Erstellung einer Energie- und Treibhausgas-Bilanz einer Region setzt voraus, dass die Energieträger und Versorgungsstrukturen bekannt sind. Dazu muss zunächst der Betrachtungsraum definiert werden (vgl. Abb. 3), um darauf aufbauend die entsprechenden Daten zu ermitteln. Zu den zentralen Daten (ausführliche Auflistung siehe Kapitel 9) gehören

- die Energieverbräuche (aufgeteilt nach Energieträgern und Verbrauchergruppen),
- die Infrastruktur der Energieversorgung (Strom-, Gas- und Fernwärmenetze) und
- die Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen (aufgeteilt nach genutzten Energieträgern).

Es gibt zurzeit keine strikte Vorschrift, welche Grundsätze dabei verfolgt werden müssen. Es gibt jedoch Empfehlungen (vgl. Liste in Kapitel 9) unterschiedlicher Herkunft. Trotz Unterschiede in der Methodik, haben die genannten Veröffentlichungen u. a. eine Gemeinsamkeit. Alle empfehlen eine Betrachtung der im Territorium angefallen Energieverbräuche („Territorialbilanz“) im Gegensatz zu bspw. einer Verursacherbilanz. Darüber hinaus wird die Berücksichtigung des Energieverbrauchs in Form der Endenergie, empfohlen.

<u>Welche Sektoren werden betrachtet?</u>

Für eine umfassende Energie- und Treibhausgasbilanz sollten der Strom-, Wärme- und Verkehrssektor berücksichtigt werden; idealerweise für alle Verbrauchergruppen (vgl. Abschnitt 2.2). Bei einer abweichenden Zielsetzung, die sich nur auf einen Teil bezieht, kann die Bilanz jedoch auf diesen beschränkt werden. Ebenso ist es möglich, aufgrund fehlender Daten einzelne Verbrauchergruppen aus der Bilanz auszuschließen. Im EnAHRgie-Projekt wurden aufgrund des Kreistagsbeschlusses der Strom- und der Wärmesektor im Detail betrachtet, die Entwicklung des Verkehrssektors wurde als Randbedingung für den Stromsektor berücksichtigt (zu erwartender Strommehrverbrauch durch die Elektromobilität). Aufgrund lückenhafter Daten im Bereich Gewerbe/Industrie wurden für den Wärmesektor nur die privaten Haushalte in die Szenarienentwicklung mit einbezogen.

Bei der Berechnung der Ziel- und Bewertungsindikatoren ist es wichtig eine Doppelbilanzierung zu vermeiden. Ein Beispiel hierfür ist Strom, der in Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird. Dieser Strom stellt einerseits eine Stromnachfrage im Stromsektor dar, kann aber gleichermaßen auch für den Wärmesektor bilanziert werden.

Im EnAHRgie-Projekt wurde wie folgt vorgegangen: Für die Berechnung von Indikatoren für den Vergleich verschiedener Szenarien bzw. Technologien **innerhalb eines Sektors** wird der zu Wärmeerzeugungszwecken eingesetzte Strom sowohl für den Wärme- als auch für den Stromsektor bilanziert (bspw. Endenergieverbrauch pro Sektor). Dies ist für die Konsistenz von Szenarienvergleichen innerhalb eines Sektors notwendig. Für die Berechnung eines **sektorübergreifenden Gesamtindikators** (bspw. stationärer Endenergieverbrauch) wird der Heizstrom dagegen nur einfach angerechnet, um eine Doppelbilanzierung zu vermeiden. Daraus folgt, dass der Gesamtindikator kleiner ist als die Summe der sektorspezifischen Einzelindikatoren.

Welche Emissionen werden berücksichtigt?

Die resultierenden Emissionen der im Betrachtungsraum angefallenen Energieverbräuche können mittels der Emissionsfaktoren aus dem Globalen Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) berechnet werden. Sie sollten sich auf die relevanten Treibhausgase (CO_2, CH_4 sowie N_2O) beziehen und als CO_2-Äquivalente (CO_{2e}) ausgewiesen werden.

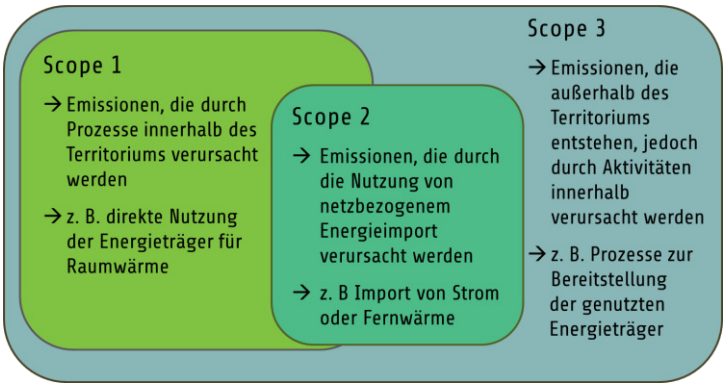


Abb. 3: Definition der Emissionsquellen nach scopes 1, 2 und 3. Um einen Vergleich zwischen den verschiedenen EE-Technologien zu ermöglichen, empfiehlt es sich die Emissionen der Vorkette zu berücksichtigen. Wird der Fokus rein auf die Aktivitäten des Territoriums gelegt, können auch ausschließlich scope 1 und 2 Emissionen betrachtet werden.[1]

Wie wird der regional erzeugte Strom aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen berücksichtigt?

Streng genommen dürften nach dem genannten Bilanzierungsprinzip Emissionsminderungen, welche durch lokale Erzeugung aus Erneuerbaren Energien erfolgen, nicht mit den Emissionen der Stromversorgung verrechnet werden, da sich jede Erzeugungsanlage im Emissionsfaktor des Bundesstrommix widerspiegelt. Die Größenordnung dieser Doppelbilanzierung ist jedoch zu vernachlässigen.

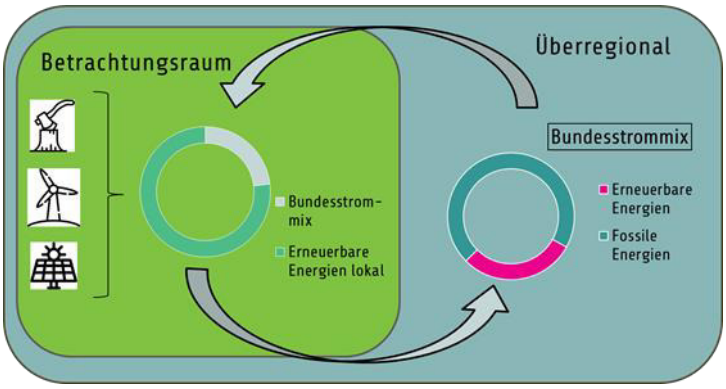


Abb. 4: Die Zurechnung der lokal erzeugten Strommengen zeigt, wie hoch der territoriale Anteil EE ist (ohne Berücksichtigung der zeitlich aufgelösten Lastdeckung) und inwieweit ein bilanzieller Ausgleich der im Gebiet verursachten Emissionen möglich ist.[1]

[1] Unter Verwendung von Flaticon-Inhalten, ausführliche Hinweis siehe Schaffrin, A. et al. (2017): Wege einer nachhaltigen Energieversorgung im Landkreis Ahrweiler, Abbildungsverzeichnis, https://enahrgie.de/energiekonzept/Energiekonzept.pdf.

Wie wird der Bezug von zertifiziertem Öko-Strom oder zertifiziertem Biogas berücksichtigt?

Dieser Bezug sollte keine quantifizierte Berücksichtigung in der kommunalen Bilanz finden, da er regionaler Erzeugung nicht gleich zu stellen ist. Es empfiehlt sich ihn nur nachrichtlich zu erwähnen.

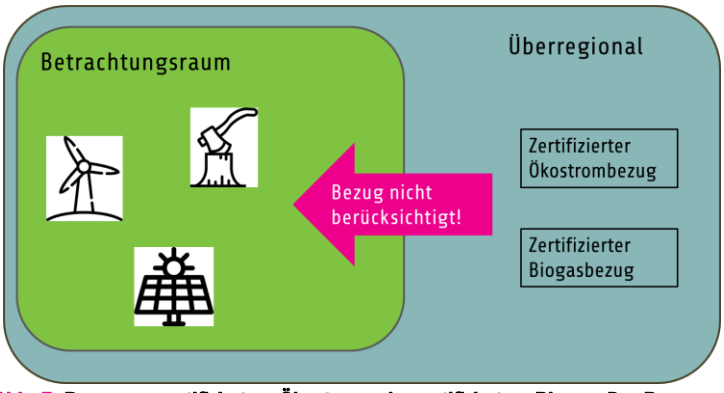


Abb. 5: Bezug von zertifiziertem Ökostrom oder zertifiziertem Biogas. Der Bezug von bspw. zertifiziertem Ökostrom ist in vielerlei Hinsicht nicht der Installation eigener EE-Anlagen auf dem Territorium gleichzusetzen. Wenn Informationen zu den bezogenen Ökostrommengen vorliegen, empfiehlt es sich diese nur qualitativ zu werten, sie jedoch nicht quantitativ in die Territorialbilanz miteinzubeziehen.[2]

Wie erfolgt die Erfassung der Stromnetze?

Im Fokus der Analyse regionaler Energieversorgungsszenarien stehen die Netzebenen 4 – 7 der Verteilnetze (vgl. Abb. 6) in der Betrachtungsregion, denn in diesen Ebenen werden Erneuerbare Energien Anlagen und innovative Lasten hauptsächlich integriert. Die Verknüpfung der Betrachtungsregion mit dem überregionalen Stromnetz erfolgt dabei durch die Berücksichtigung der Umspannebene zwischen Mittel- und Hochspannungsebene (Netzebene 4). In Abhängigkeit der Gegebenheiten in der Betrachtungsregion, kann es sinnvoll sein, die Analyse auf die Hochspannungsebene (Netzebene 3) auszuweiten (bspw. eine große geografische Ausdehnung der Betrachtungsregion).

[2] Unter Verwendung von Flaticon-Inhalten, ausführliche Hinweis siehe Schaffrin, A. et al. (2017): Wege einer nachhaltigen Energieversorgung im Landkreis Ahrweiler, Abbildungsverzeichnis, https://enahrgie.de/energiekonzept/Energiekonzept.pdf.

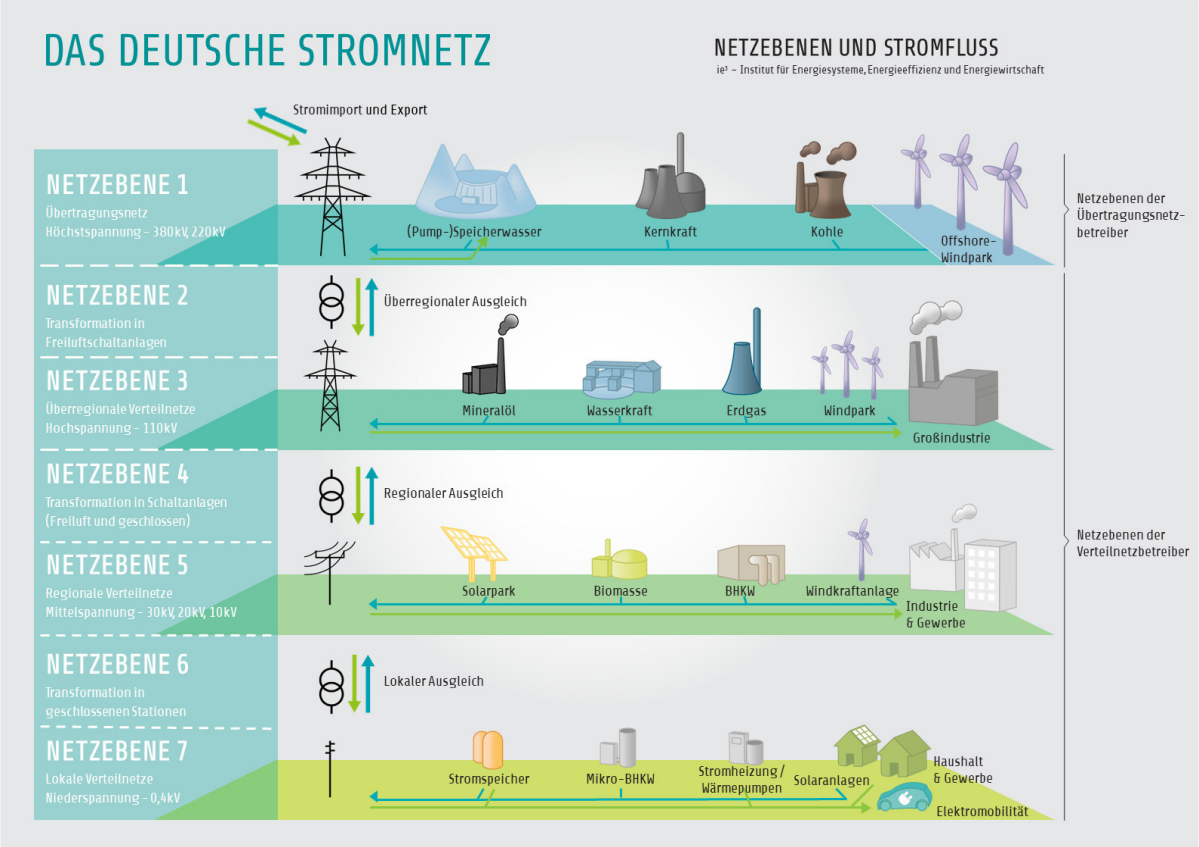


Abb. 6: **Netzebenen und Stromfluss im deutschen Stromnetz**

2.2. Welche Daten werden benötigt zur Erfassung der Ist-Situation?

Zur Erstellung eines Energiekonzepts für den stationären Energieverbrauch werden diverse Datensätze benötigt. Um daraus resultierende Handlungsbereiche aufzeigen zu können, erfolgt die Erstellung aufgeteilt auf folgende Verbrauchergruppen:

- Private Haushalte
- Industrie
- Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD)
- Kommunale Liegenschaften[3]

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Datensätze kann in Kürze als Anhang zu diesem Leitfaden online abgerufen werden. Darin sind mögliche Datenquellen am Beispiel vom Land Rheinland-Pfalz beschrieben. Diese gliedert sich in folgende Bereiche:

- Wärmenachfrage und -erzeugung
- Stromnachfrage und -erzeugung/Lastsituation
- Einspeisezeitreihen und Lastzeitreihen
- Stromnetz-Infrastruktur

[3] Die genaue Bezeichnung dieser Verbrauchergruppe ist je nach Betrachtungsgebiet unterschiedlich. Ist das betrachtete Territorium bspw. ein Landkreis, werden hier die kreiseigenen Liegenschaften separiert. Die Verbräuche der anderen kommunalen Liegenschaften werden der Gruppe GHD zugewiesen.

- Gasnetz-Infrastruktur
- Wärmenetz-Infrastruktur
- Flexibilitätstechnologien
- Verkehr
- Retroperspektive 1990

| Kap. 3. Erfassung der Potenziale

Erfassung der Potenziale meint die Erhebung, von welcher Technologie wie viel maximal in der Betrachtungsregion (bspw. in einem Landkreis) errichtet werden kann. Der erste Schritt der Potenzialerfassung besteht darin, die prinzipiell zur Auswahl stehenden Technologien festzulegen und deren grundlegenden Eigenschaften zu betrachten (vgl. Abschnitt 3.1).

Im zweiten Schritt wird ermittelt, welche rechtlichen, technischen, wirtschaftlichen oder gesellschaftlichen Restriktionen den Ausbau der jeweiligen Technologie begrenzen (vgl. Abschnitt 3.2). Dabei wird in strenge Restriktionen und frei-wählbare Restriktionen unterschieden. Nach der unabdingbaren Anwendung der strengen Restriktionen wird das so genannte „szenarienunabhängige Maximalpotenzial“ erhalten, nach Anwendung der frei-wählbaren Restriktionen das so genannte „szenarienspezifisch begrenzte Maximalpotenzial“ (vgl. Abb. 2).

Nach Darstellung der verschiedenen Restriktionen in Abschnitt 3.2 werden in Abschnitt 3.3 die Methoden zur Erfassung der szenarienunabhängigen Maximalpotenziale vorgestellt. Jede Technologie(gruppe) erhält dabei einen eigenen Abschnitt, da sich die Methoden zur Erfassung grundlegend für die verschiedenen Technologien unterscheiden. Die ermittelten, szenarienspezifisch begrenzten Maximalpotenziale für den Landkreis Ahrweiler werden anschließend als beispielhafte Ergebnisse in Abschnitt 3.5 vorgestellt.

3.1. Festlegung und Kurzcharakterisierung der zu betrachtenden Technologien und Effizienzmaßnahmen

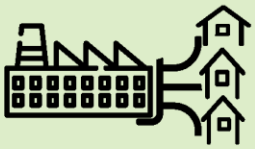
Im Hinblick auf ein Energiekonzept für den Wärme- und Stromsektor können vier grundlegende Technologiegruppen unterschieden werden: Effizienzmaßnahmen, Wärmeerzeugungstechnologien (zentral und dezentral) sowie Stromerzeugungstechnologien (vgl. Tab. 1).

Innerhalb jeder Technologiegruppe gibt es eine Vielzahl an Technologien bzw. Maßnahmen, die sich in ihrer Charakteristik unterscheiden. Die für das Energiekonzept im Landkreis Ahrweiler berücksichtigten Technologien sind in Tab. 2 getrennt nach den vier Technologiegruppen dargestellt. Es handelt sich um eine Auflistung typischer Technologien und Maßnahmen; ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Insbesondere im Bereich der Effizienzmaßnahmen gibt es eine Vielzahl an weiteren, empfehlenswerten Effizienzmaßnahmen, vor allem im gewerblichen Bereich. Für die Anwendung dieses Leitfadens in anderen Landkreisen ist daher individuell zu prüfen, ob die Liste erweitert oder ggf. reduziert werden soll. Dies erfolgte in Abhängigkeit des primären Anwendungszwecks. Bspw. werden Biogasanlagen in der Regel zur Stromerzeugung errichtet. Die dabei anfallende Wärme stellt ein Nebenprodukt dar, welches jedoch im Sinne einer effizienten Ausnutzung des Primärenergieträgers auch verwertet werden sollte.

Für jede Technologie und Maßnahme ist darüber hinaus in Tab. 2 eine Kurzcharakterisierung bezüglich der wichtigsten Eigenschaften enthalten:

- Welche Technologie erzeugt Strom, welche Wärme, welche beides?
- Welche Technologie verbraucht Strom?
- Welche Technologie/Maßnahme reduziert die Strom- bzw. Wärmenachfrage?
- Bei welcher Technologie kann die Erzeugung von Strom bzw. Wärme gezielt gesteuert werden?
- Bei welcher ist die Erzeugung dagegen vom Wetter abhängig?
- Welche Technologie kann als Alternative zu extra aufzubauenden Stromspeichern eine Speicherfunktionalität für das Stromsystem übernehmen?

Tab. 1: Übersicht Technologiegruppen[4]

	Effizienzmaßnahmen: Maßnahmen, die die Reduktion der Wärme- oder Stromnachfrage zum Ziel haben. Die Durchführung von Effizienzmaßnahmen ist sinnvoll, da eine geringere Nachfrage nach Wärme und Strom bedeutet, dass insgesamt weniger Wärme und Strom erzeugt werden müssen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass für die Erreichung des EE-Ziels weniger EE-Erzeugungsanlagen benötigt werden.
	**Zentrale Wärmeerzeugungsanlagen:** Technologien, welche an einer oder mehreren zentralen Stellen in der Betrachtungsregion verortet sind und dort einen Primärenergieträger in Wärme umwandeln. Die Wärme wird über Fern- bzw. Nahwärmenetze zu den Kunden transportiert. Es stehen sowohl fossile als auch erneuerbare Primärenergieträger zur Verfügung. Im Gegensatz zum Stromsektor muss sämtliche benötigte Wärme vor Ort in der Betrachtungsregion produziert werden (entweder zen-tral oder dezentral). Der Grund dafür ist, dass in der Regel keinerlei Import bzw. Export möglich ist (außer es gibt grenzüberschreitende Fernwärmenetze).
	Dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen: Technologien, welche dezentral in den einzelnen Gebäuden (bspw. Privathaushalte, Gewerbeobjekte) verortet sind und dort einen Primärenergieträger in Wärme umwandeln. Die Wärme wird in dem jeweiligen Gebäude selbst verbraucht. Es stehen sowohl fossile als auch erneuerbare Primärenergieträger zur Verfügung.
	Stromerzeugungsanlagen: Technologien, welche einen Primärenergieträger in Strom umwandeln. Aufgrund des Ziels eines hohen EE-Selbstversorgungsgrades werden im Folgenden lediglich Stromerzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien zur Auswahl gestellt. Alternativ zum Ausbau von Stromerzeugungsanlagen vor Ort kann der fehlende Strom über das Stromnetz in die Betrachtungsregion importiert werden.

[4] Unter Verwendung von Flaticon-Inhalten, ausführliche Hinweis siehe Schaffrin, A. et al. (2017): Wege einer nachhaltigen Energieversorgung im Landkreis Ahrweiler, Abbildungsverzeichnis, https://enahrgie.de/energiekonzept/Energiekonzept.pdf.

Tab. 2: Technologieübersicht[4]

Technologiegruppe	Technologiename	Strom: Erzeugung bzw. Verbrauch?	Wärme: Erzeugung?	Reduktion Nachfrage: Wärme bzw. Strom?	Steuerbar oder wetterabhängig?	Speicherfunktionalität?
	Gebäudedämmung	-	-		-	-
	Effizienz Geräte	-	-		-	-
	Eff. Straßenbeleuchtung	-	-		-	-
	Hackschnitzelkessel	-		-		-
	BHKW zentral			-		
	Solarthermie	-		-		-
	Pelletkessel	-		-		-
	E-Speicherheizung			-		
	Wärmepumpe			-		
	Elektr. Wasserbereitung			-		
	Gas & Ölkessel	-		-		-
	BHKW dezentral			-		
	Wind		-	-		-
	PV Dach		-	-		-
	Wasser		-	-		-
	Biogas			-		-
	PV Freifläche		-	-		-

= Stromerzeugung = Stromverbrauch = Wärmeverbrauch = Reduktion Wärmenachfrage
= Reduktion Stromnachfrage = steuerbar = wetterabhängig = Speicherfunktionalität

3.2. Festlegung der Restriktionen für die Potenzialberechnung

Mit Restriktionen sind alle Rahmenbedingungen gemeint, die das Potenzial zum Ausbau einer bestimmten Technologie bzw. zur Anwendung einer bestimmten Maßnahme einschränken (für die relevanten Gruppen an Restriktionen, vgl. nachfolgende Infobox).

Grundsätzlich kann – wie bereits in Abschnitt 1.2 beschrieben – zwischen strengen Restriktionen und frei wählbaren Restriktionen unterschieden werden. Strenge Restriktionen müssen für eine seriöse Bestimmung des szenarienunabhängigen Maximalpotenzials angewendet werden, da sie eine Flächenerschließung bzw. einen Anlagenbau grundsätzlich verhindern. Frei-wählbare Restriktionen sind optional anwendbar, d. h. es kann anhand der Strategien und Ziele des jeweiligen Szenarios entschieden werden, ob sie berücksichtigt werden sollen oder nicht. In Abschnitt 3.2.2 wird eine Methode vorgestellt wie die freiwählbaren Restriktionen systematisch zusammengestellt werden können.

In der Praxis ist es sehr unterschiedlich, welche Restriktionen bei der Ermittlung von Potenzialen berücksichtigt werden. Teilweise variiert dies nicht nur in Abhängigkeit welche Institution die Potenzialanalyse erstellt, sondern auch innerhalb einer Institution zwischen den verschiedenen betrachteten Technologien. Während harte technische Restriktionen in der Regel immer berücksichtigt werden, werden rechtliche und wirtschaftliche Restriktionen uneinheitlich gehandhabt. Gesellschaftliche Restriktionen werden in der Regel gar nicht berücksichtigt.

=> Empfehlung für Nutzer von Potenzialanalysen: Kritisches Hinterfragen der berücksichtigten Restriktionen bei der Interpretation von Potenzialanalysen!

=> Empfehlung für Ersteller von Potenzialanalysen: Systematische Aufbereitung der zu berücksichtigenden Restriktionen, bspw. durch die im Folgenden vorgestellte Methode der „morphologischen Analyse“!

Welche Restriktionen werden unterschieden?

- **Technologische Restriktionen**: In der Technologie begründete Restriktionen, die bei Nicht-Erfüllung einen Einsatz der Technologie verhindern. Ein Beispiel hierfür ist bspw. das Nicht-Vorliegen des benötigten Primärenergieträgers. Diese Restriktionen stellen daher harte Grenzen für das verfügbare Potenzial einer Technologie und stellen daher die Grundlage für jede Potenzialanalyse dar.
- **Rechtliche Restriktionen**: Rechtliche Restriktionen können auf Gesetzen und Verordnungen verschiedener rechtlicher Ebenen (bspw. EU, Bund, Land, Landkreis, Kommune) basieren und sind darüber hinaus oftmals technologiespezifisch. Hierzu zählen beispielsweise die Berücksichtigung von Abstandsregelungen oder von Emissionsgrenzwerten sowie die Nutzungsbegrenzung auf spezifische Flächentypen. Es kann zwischen Muss-Restriktionen und Kann-Restriktionen (erfordern Einzelfallprüfung) unterschieden werden. Darüber hinaus kann sich die Ausgestaltung der rechtlichen Restriktionen von Zeit zu Zeit ändern (bspw. durch eine Neuauflage von Gesetzen/Verordnungen). Aufgrund dessen ist es zu empfehlen, die Aktualität der rechtlichen Restriktionen, welche für eine Potenzialerfassung berücksichtigt werden sollen, von Zeit zu Zeit zu prüfen, da hierdurch das Ergebnis nennenswert beeinflusst werden kann.
- **Wirtschaftliche Restriktionen**: Restriktionen, die auf die wirtschaftliche Situation für den Investor/Betreiber reflektieren. Hierzu gehört beispielsweise die Notwendigkeit einer Mindest-Windgeschwindigkeit am potenziellen Aufstellstandort einer Windkraftanlage, damit ein ausreichend hoher Energieertrag realisiert werden kann. Ein anderes Beispiel für eine wirtschaftliche Restriktion wäre eine Annahme zur Investitionsbereitschaft der potenziellen Anlagenbesitzer, bspw. von Privathaushalten. Während Ersteres in der Regel in den verbreiteten Methoden zur Potenzialermittlung berücksichtigt wird, ist die Berücksichtigung der Investitionsbereitschaft oder anderen „weichen“ wirtschaftlichen Faktoren eher nicht üblich.
- **Gesellschaftliche Restriktionen**: Restriktionen, die auf dem gesellschaftlichen Willen der jeweiligen Untersuchungsregion basieren und damit die Akzeptanz bestimmter Technologien bzw. bestimmter Nutzungsflächen maßgeblich beeinflussen. Ein Beispiel hierfür stellt die Flächennutzungskonkurrenz dar, bspw. zur Landwirtschaft (Nahrungsmittelproduktion vs. Energiepflanzenanbau), zum Tourismus (Beeinträchtigung des Landschaftsbildes) oder zum Umweltschutz (Eingriff in das Ökosystem).

3.2.1. Kurzeinführung in die Methode „morphologische Analyse“

Die Stärke der „morphologischen Analyse“ liegt u. a. darin, dass komplexe Probleme systematisch strukturiert werden können (Ritchey, 2011)[5]. Im vorliegenden Fall dient sie dazu, die frei-wählbaren Restriktionen übersichtlich zusammenzustellen. In einem nächsten Schritt können auf Basis dieser Übersicht die Restriktionen mitsamt ihrer Ausprägung für das jeweilige Szenario (vgl. Kapitel 4) ausgewählt werden.

[5] Ritchey T (2011): Wicked Problems – Social Messes: Decision Support Modelling with Morphological Analysis. Springer, Heidelberg/Berlin.

„Ausprägungen“ meint in diesem Zusammenhang verschiedene Ausgestaltungsvarianten einer Restriktion.

Zur Erläuterung werden in Tab. 3 die Restriktionen und Ausprägungen einer Technologie gezeigt. Dabei wird die Restriktion jeweils als Spaltenüberschrift genutzt, die Ausprägungen werden jeweils darunter angeordnet.

Tab. 3: Morphologisches Feld mit frei-wählbaren Restriktionen und deren Ausprägungen für die Wärmeerzeugungstechnologie „dezentrale Biomassefestbrennstoffkessel“

Forst: Nutzungssteigerung	Forst: Sortimentsverschiebung (Industrieholz → Energieholz)	Forst: Privatwaldaktivierung	Investitions-bereitschaft
Keine Nutzungssteigerung	Keine Sortimentsverschiebung	Keine Aktivierung	Bisherige Investitions-bereitschaft
Steigerung auf maximale Nutzung (70-80% des Zuwachs)	Sortimentsverschiebung von 20%	Aktivierung von 10% der Fläche	Hohe Investitions-bereitschaft
		Aktivierung von 20% der Fläche	

Für die Herstellung der Holzpellets wird Holz benötigt. Es gibt drei Optionen, wie diese Holzmenge variiert werden kann: Durch erhöhte Nutzung des Waldes (d. h. eine erhöhte Abholzungsrate), durch Sortimentsverschiebung Industrieholz zu Energieholz (d. h. Umnutzung des geschlagenen Holzes) und/oder durch Aktivierung der Privatwaldbesitzer (d. h. Vergrößerung der für holzwirtschaftliche Zwecke genutzte Waldfläche). Jede dieser Optionen wird als eine Restriktion verstanden. Daraus resultiert im Weiteren die maximal aufstellbare Anzahl an Biomassefestbrennstoffkesseln welche heimische Biomasse nutzen.

Als vierte Restriktion wird die Investitionsbereitschaft mit den Ausprägungen „bisherige Investitionsbereitschaft“ und „hohe Investitionsbereitschaft“ festgelegt. Durch diese Restriktion wird nicht die Holz- bzw. Pelletmenge beschränkt, sondern eine Anzahl an Pelletkesseln definiert, die aus Gründen der Investitionsbereitschaft im Landkreis maximal verkauft und aufgestellt werden können.

Die in Tab. 3 blau hinterlegten Zellen im morphologischen Feld zeigen beispielhaft, welche Ausprägungen der Restriktionen für das „Ziel-Szenario 3“ des Energiekonzepts im Landkreis Ahrweiler ausgewählt wurden. Für die letztendliche Bestimmung des Potenzials müssen die gewählten Ausprägungen anschließend noch miteinander verschnitten werden. Für Ziel-Szenario 3 bedeutet das, dass die bereitgestellte Holzmenge aus Sortimentsverschiebung und Privatwaldaktivierung als Potenzial zur Verfügung steht, da hier entsprechende Ausprägungen ausgewählt wurden und zusätzlich die Investitionsbereitschaft als hoch festgelegt wurde. Würde in dem Beispiel in einem Szenario jedoch eine geringe Investitionsbereitschaft ausgewählt, dann ist es unerheblich ob keine, wenig oder viel Holz für die Pelletherstellung verfügbar wäre. In diesem Fall würden aufgrund der geringen Investitionsbereitschaft nur so wenige Pelletkessel gebaut werden, dass auch sehr geringe Energieholzmengen zur Befeuerung dieser Kessel ausreichen würden.

3.2.2. Welche Restriktionen sind bei der Erfassung der Potenziale zu beachten?

Zu Beginn dieses Abschnitts werden die Restriktionen beschrieben, die in analoger Form bei mehreren Technologien auftreten. Alle weiteren Restriktionen werden danach technologieweise gruppiert und innerhalb dieser Technologie(-gruppe) nach strengen und frei-wählbaren Restriktionen unterschieden. Aus Gründen des Umfangs werden mögliche Ausprägungen der verschiedenen Restriktionen nicht dargestellt. Bei Interesse können die Ausprägungen, die im EnAHRgie-Projekt für den Landkreis Ahrweiler erarbeitet wurden hier angeschaut werden.

Die folgende Sammlung an Restriktionen hat sich im EnAHRgie-Projekt bewährt. Wie in Abschnitt 1.2 beschrieben wurden sie im Kreis der Innovationsgruppe (Wissenschaftler und Praxispartner) zusammengestellt und in mehreren Schritten ausführlich diskutiert. Für einige Technologien wurden zunächst weitere Restriktionen identifiziert. Diese haben sich bei genauer Prüfung jedoch als redundant zu anderen Annahmen und Restriktionen herausgestellt oder als nicht oder nur sehr aufwändig quantifizierbar. Bei Übertragung der Methode auf andere Regionen/Landkreise sollte geprüft werden, ob aufgrund einer besseren Datengrundlage manche Restriktionen doch quantifizierbar sind und ob es darüber hinaus regionsspezifische Restriktionen gibt, die hinzugenommen werden sollten.

Redundante und daher verworfene Restriktion

Ein Beispiel hierfür ist die Flächenkonkurrenz zur landwirtschaftlichen Nutzung bei der Freiflächen-Photovoltaik. Aufgrund der strengen Restriktion, auf welchen Flächen Photovoltaik-Freiflächenanlagen überhaupt errichtet werden dürfen (entlang Straßen- und Schienenwegen bzw. Konversionsflächen), kann es zu keiner Nutzungskonkurrenz mit der Landwirtschaft kommen.

Nicht oder nur sehr aufwändig quantifizierbare Restriktion

Ein Beispiel hierfür ist die allgemeine Sichtbarkeit von Anlagen, wie bei Windkraftanlagen („Verspargelung“), Photovoltaikanlagen („Verspiegelung“) oder zentralen Wärmeerzeugungsanlagen („Schornstein“). Durch Sichtachsenanalysen kann prinzipiell bestimmt werden, von wo aus welche Anlagen wie deutlich zu sehen sind. Allerdings ist die Einschätzung, ab wann eine Sichtbarkeit als störend empfunden wird sehr individuell (generelle Sichtbarkeit, Sichtbarkeit von bestimmten (welchen?) Aussichtspunkten aus, Sichtbarkeit in bestimmten Gebieten bspw. Altstadt, etc.). Aufgrund dessen wurde im Projekt EnAHRgie die Sichtbarkeit nicht als Restriktion vorfestgelegt, sondern bleibt der nachgelagerten politischen und gesellschaftlichen Diskussion überlassen (vgl. Kapitel 7). Als Hilfsmittel für diesen Diskussionsprozess wurde im Hinblick auf die Sichtbarkeit von Windenergieanlagen von Sehenswürdigkeiten aus für den Landkreis Ahrweiler eine Sichtachsenmodellierung durchgeführt, deren Ergebnisse beispielhaft im EnAHRgie-Leitfaden „Geschäftsmodell Energiewende“ gezeigt werden.

Technologieübergreifende Restriktionen

Eine bei mehreren Technologien relevante Restriktion stellt die „Investitionsbereitschaft“ dar, mit ihren Ausprägungen „bisherige Investitionsbereitschaft“ bzw. „hohe Investitionsbereitschaft“. Die Ausprägung „bisherige Investitionsbereitschaft“ steht für die Begrenzung des jährlichen Ausbaus auf die Anlagenleistung, welche durchschnittlich in den letzten Jahren installiert wurde. Falls vorhanden kann in dieser Extrapolation auch ein Trend berücksichtigt werden, bspw. falls eine Technologie eine steil ansteigende Ausbaurate besitzt, weil die Investition immer günstiger wird. Die Ausprägung „hohe Investitionsbereitschaft meint, dass die ausbaubaren Potenziale nicht durch eine fehlende Investitionsbereitschaft begrenzt werden, d. h. dass die prinzipielle Bereitschaft besteht den technisch möglichen, maximalen Ausbau zu realisieren.

Restriktionen für die Effizienzmaßnahme „Gebäudedämmung“

Tab. 4: Frei-wählbare Restriktionen für die Effizienzmaßnahme „Gebäudedämmung“

Sanierungsrate Gebäudedämmung im Bestand	Gibt an, wieviel Prozent der Bestandsgebäude jährlich im Rahmen einer Sanierung gedämmt werden (Volldämmungs-Äquivalente)
Energetischer Ziel-Standard sanierter Bestandsgebäude	Gibt an, wie ambitioniert die o. g. Dämmmaßnahmen erfolgen sollen, d. h. welcher Endenergieverbrauch für das gedämmte Gebäude resultiert.
Energetischer Ziel-Standard Neubauten	Gibt an, wie ambitioniert der energetische Standard von Neubauten sein soll, d. h. welchen Endenergieverbrauch diese aufweisen.

Restriktionen für effiziente Geräte und Beleuchtung in Privathaushalten (PHH)

Tab. 5: Frei-wählbare Restriktionen für die Effizienzmaßnahme „Effiziente Geräte und Beleuchtung in PHH

Effizienzziel ‚Weiße Ware‘	Gibt an, wie ambitioniert das Effizienzziel bei Weiße-Ware-Geräten sein soll.
Effizienzziel ‚Audio/TV/sonstige IKT‘	Gibt an, wie ambitioniert das Effizienzziel bei Geräten für Audio bzw. TV bzw. sonstige Elektronikgeräte sein soll.
Effizienzziel ‚Beleuchtung‘	Gibt an, wie ambitioniert das Effizienzziel bei der Beleuchtung in PHH sein soll.

Restriktionen für Straßenbeleuchtung

Tab. 6: Frei-wählbare Restriktionen für die Effizienzmaßnahme „Straßenbeleuchtung“

Austauschrate ‚Straßenbeleuchtung‘	Gibt an, wie viel der Leuchtmittel der Straßenbeleuchtung gegen LED ausgetauscht werden sollen.

Restriktionen für Wärmenetze (verschiedene zentrale Wärmeerzeuger)

Für die Installation von zentralen Wärmeerzeugungstechnologien, deren Wärme über Wärmenetze zum Verbraucher transportiert wird, stellt die angeschlossene Wärmenachfrage der Kunden eine strenge Restriktion für die Bestimmung des Maximalpotenzials dar. Es muss exakt so viel Wärme zentral erzeugt werden wie Wärme von den Kunden nachgefragt wird (plus Verteilungsverluste im Wärmenetz); nicht mehr und nicht weniger. Frei wählbar ist dagegen, welche Aus- bzw. Neubaustufen bei Fern- und Nahwärmenetzen angenommen werden, d. h. wie viele Gebäude an das Wärmenetz angeschlossen werden. Mit weiteren Informationen zum Baustandard der Gebäude ergibt sich daraus, wie groß die Wärmenachfrage der Kunden letztlich ist. Die weiteren frei wählbaren Restriktionen ermöglichen die Eingrenzung der zur Verfügung stehenden Substratmenge für zentrale Hackschnitzelkessel als erneuerbare Wärmeerzeugungsanlage. Ist die Substratmenge hoch genug, um die zuvor bestimmte Wärmenachfrage zu decken, werden ausschließlich Hackschnitzelkessel verwendet. Andernfalls muss die restliche Wärmemenge über große erdgasbefeuerte Blockheizkraftwerke erzeugt werden. Für diese gibt es, neben der hier beschriebenen grundlegenden Festlegung, keine frei-wählbare Restriktion.

Tab. 7: Frei-wählbare Restriktionen für die zentrale Wärmeerzeugung über Wärmenetze

Ausbau Fernwärmenetz	Gibt an, wie stark das existierende Fernwärmenetz ausgebaut werden soll (räumliche Ausdehnung) sowie die Quote, wie viele Haushalte entlang der neuen Trasse an diese angeschlossen werden sollen.
Neubau Nahwärmenetz	Gibt an, ob bzw. wie viele neue Nahwärmenetze gebaut werden sollen.
Ackerflächen – Kurzumtriebsplantagen (KUP)	Gibt an, ob und wieviel Ackerfläche in Kurzumtriebsplantagen umgewandelt werden soll.
Ackerflächen – Stroh	Gibt an, ob und wieviel Stroh energetisch genutzt werden soll.
Landschaftspflegematerial	Gibt an, ob und welche Typen von Landschaftspflegematerial (bspw. Begleitgrün an Straßen, Schienen oder Gewässern) gesammelt und energetisch genutzt werden soll.
Abfallwirtschaft (holzartiger Anteil des Grünguts)	Gibt an, ob und wieviel Grüngut für die energetische Nutzung abfallwirtschaftlich eingesammelt und aufbereitet werden soll.
Landwirtschaftliche Rohstoffe – Obst- und Weinanbau	Gibt an, ob und wieviel Rodungs- und Schnittmaterial aus dem Obst- und Weinanbau energetisch genutzt werden soll.
Landwirtschaftliche Rohstoffe – Trester	Gibt an, ob und wieviel Trester zu Tresterpellets aufbereitet und energetisch genutzt werden soll.

Übergeordnete Restriktionen für dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen

Bei den dezentralen Wärmeerzeugungsanlagen gilt es übergeordnet zu berücksichtigen, nach welcher Lebensdauer die heute existierenden dezentralen Wärmeerzeuger ausgetauscht werden. Im EnAHRgie-Projekt lag eine Verteilung der Anlagenalter für die mit Öl oder Erdgas befeuerten Kessel vor. Mit dieser

Information konnte für jede festgelegte Lebensdauer berechnet werden, wie viele der heutigen fossilen Heizungskessel auch im Zieljahr (im EnAHRgie-Projekt: 2030) noch in Betrieb sind und wie viele dementsprechend bis dahin ausgetauscht werden müssen. Je höher die Anzahl an auszutauschenden fossilen Heizkesseln, desto mehr moderne effiziente Anlagen – idealerweise auf Basis Erneuerbarer Energien – können prinzipiell bis zum Zieljahr installiert werden. In Bezug auf die heute geringe Zahl sonstiger dezentraler Wärmeerzeugungstechnologien und die fehlende Angabe zu deren Altersverteilung, wurde für diese angenommen, dass sie entweder selbst vorhanden sind in 2030 oder durch eine Nachfolgeanlage derselben Technologie ausgetauscht wurden.

Darüber hinaus stellt die Anzahl an Gebäuden in der Betrachtungsregion, in denen sich eine Technologie prinzipiell eignen würde, sowie deren Wärmenachfrage nach Heizwärme bzw. Warmwasser eine strenge, übergeordnete Restriktion dar. Dies wurde in der Potenzialerfassung berücksichtigt (vgl. Abschnitt 3.3.9). Falls mehrere Gebäudetypen infrage kommen, kann dies durch eine ergänzende frei-wählbare Restriktion implementiert werden (siehe bspw. „Restriktionen für dezentrale BHKW“).

Restriktionen für Pelletkessel

Tab. 8: Frei-wählbare Restriktionen für die dezentrale Wärmeerzeugung mit „Pelletkessel“

Forst – Nutzungssteigerung	Gibt an, ob und wieviel Holz jedes Jahr zusätzlich aus dem Forst geholt werden soll.
Forst – Sortimentsverschiebung (Industrie -> Energie)	Gibt an, ob und wieviel bislang für die Holzindustrie geschlagenes Holz stattdessen zur energetischen Verwertung verwendet werden soll.
Forst – Privatwaldaktivierung	Gibt an, ob und wie viele Privatwaldbesitzer aktiviert werden sollen, die einer holzwirtschaftlichen Bewirtschaftung in ihren Wäldern zustimmen.

Restriktionen für Elektrospeicherheizungen

Tab. 9: Frei-wählbare Restriktionen für die dezentrale Wärmeerzeugung mit „Elektrospeicherheizung“

Ausbau vs. Rückbau	Gibt an, ob und wie viele Elektrospeicherheizungen rückgebaut, erhalten oder zugebaut werden sollen.

Restriktionen für Wärmepumpen

Tab. 10: Frei-wählbare Restriktionen für die dezentrale Wärmeerzeugung mit „Wärmepumpe“

Wärmeabnehmer	Gibt an, in welchen Gebäudetypen (Ein- bzw. Mehrfamilienhaus) Wärmepumpen verwendet werden sollen.
Anwendungsbereich	Gibt an, in welchen Gebäudetypen (unsanierter Bestand, sanierter Bestand, Neubau) Wärmepumpen verwendet werden sollen.

Restriktionen für dezentrale Blockheizkraftwerke

Tab. 11: Frei-wählbare Restriktionen für die dezentrale Wärmeerzeugung mit „Blockheizkraftwerk“

Wärmeabnehmer	Gibt an, in welchen Gebäudetypen (Ein- bzw. Mehrfamilienhaus) Wärmepumpen verwendet werden sollen.
Anwendungsbereich	Gibt an, in welchen Gebäudetypen (unsanierter Bestand, sanierter Bestand, Neubau) Wärmepumpen verwendet werden sollen.

Restriktionen für elektrische Warmwasserbereitung

Tab. 12: Frei-wählbare Restriktionen für die dezentrale, elektrische Bereitung von Warmwasser“

Ausbau vs. Rückbau	Gibt an, ob und wie viel Anlagen zur elektrischen Warmwasserbereitung rückgebaut, erhalten oder zugebaut werden sollen.

Restriktionen für Gas-/Ölkessel

Für dezentrale Gas- und Ölkessel wurde keine frei-wählbare Restriktion festgelegt. Da keine Wärme importiert oder exportiert werden kann, ist es erforderlich, dass dezentral genau so viel Wärme erzeugt wird wie die Kunden nachfragen. Insofern muss die verbleibende Wärmenachfrage, die durch keine andere Technologie erzeugt wird, mittels dezentralen Gas- und Ölkesseln bereitgestellt werden.

Restriktionen für Wind

Für Windenergieanlagen (WEA) lassen sich sowohl strenge als auch frei-wählbare Restriktionen definieren. Unter strenge Restriktionen werden alle Ausschlussflächen gefasst, die einer klaren gesetzlichen Ausschlussregelung unterworfen sind. Außerdem wurden Flächenkategorien berücksichtigt, die im Normalfall besondere Prüfgebiete darstellen. Tab. 13 zeigt einen Überblick aller Flächenkategorien, die den strengen Restriktionen zugeordnet wurden. Eine detaillierte Aufstellung der Ausschlussflächen samt empfohlenen Pufferabständen findet sich im Status-Quo-Bericht-EnAHRgie[6].

Tab. 13: Strenge Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Windenergieanlagen“

Siedlungsflächen	Gibt an, welche Siedlungsflächen (Wohnbauflächen) ausgeschlossen werden und welche Pufferabstände eingehalten werden müssen.
Naturschutzgebiete	Gibt an, wo sich Naturschutzgebiete befinden und welche Abstände dazu eingehalten werden müssen.

[6] Schaffrin, A. et al.: EnAHRgie – Nachhaltige Landnutzung und Energieversorgung: Modellregion Kreis Ahrweiler.9/2016: Status-quo-Analyse der lokalen Energiewende im Landkreis Ahrweiler. Hrsg.: EA European Academy of Technology and Innovation Assessment, Bad Neuenahr-Ahrweiler, 2016, online verfügbar unter: http://enahrgie.de/fileadmin/introduction/downloads/EnAHRgie_Statusquobericht_final_1.pdf

Natura 2000 mit Ausschluss-empfehlung der Vogelschutzwarte		Gibt an, welche Flächen auf Empfehlung der Vogelschutzwarte aufgrund besonders schützenswerter Arten ausgeschlossen werden sollen.
Gewässer		Gibt an, welche Gewässertypen Ausschlussflächen darstellen und welche Abstände eingehalten werden müssen.
Infrastruktur-Anlagen		Gibt, an welche Infrastruktur-Anlagen wie bspw. Straßen, Schienenwege o.ä. mit welchen Pufferabständen berücksichtigt werden.
Flugverkehr		Gibt an, welche Abstände zu Flughäfen eingehalten werden müssen.
Mindestwindgeschwindigkeit		Gibt an, welche Windgeschwindigkeit eine prüffähige Fläche mindestens aufweisen muss, um als Potenzialfläche in Betracht gezogen zu werden.
Erfordernisse aus Fachplanungen		Sonstige raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen. Bspw. Ausgleichsflächen für Lückenschluss BAB 1
Sonstige Restriktionen (spezifisch für LK Ahrweiler)	LaHiKuLa	Im LEP IV RLP benannte landesweit bedeutsame historische Kulturlandschaften mit „Herausragender Bedeutung“ bzw. „Sehr hoher Bedeutung“
	Alte Laubholzbestände	Gibt an, wo alte Laubholzbestände existieren, die ausgeschlossen werden.
	Kleinstflächen für Einzelanlagen	Regelt, wie viele Anlagen auf einer Potenzialfläche mindestens potentiell errichtet werden können. (In RLP laut Koalitionsvertrag mind. 3 WEA)

In Tab. 14 sind die frei-wählbaren Restriktionen für die Stromerzeugung aus WEA unter Berücksichtigung des entsprechenden Genehmigungsrisikos aufgezeigt. Die Konfliktpotenziale der berücksichtigten Flächenkategorien unterscheiden sich erheblich, sodass eine Abstufung entsprechend der zu erwartenden rechtlichen Umsetzbarkeit empfehlenswert ist. Dabei wird bei einer fraglichen Überwindbarkeit der Konflikte zwischen einem sehr hohen (bspw. Natura 2000 Gebiete) und einem mittleren Genehmigungsrisiko unterschieden. Darüber hinaus werden Flächenkategorien berücksichtigt, die eine Einzelfallprüfung erfordern, jedoch eine sehr hohe Genehmigungswahrscheinlichkeit aufweisen (bspw. Wetterstationen des DWD).

Tab. 14: Frei-wählbare Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Windenergieanlagen“

Risikobereitschaft Genehmigungen	Gibt an, wie risikobereit der Planer in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit der Potenzialfläche ist. Folgende Flächenkategorien werden dabei berücksichtigt: • Vogelschutzgebiete (Natura 2000): Gibt ausgewiesene Vogelschutzgebiete mit Pufferabständen an, die eine Einzelfallprüfung erfordern. • FFH-Gebiete (Natura 2000): Gibt ausgewiesene Vogelschutzgebiete mit Pufferabständen an, die eine Einzelfallprüfung erfordern. • Erfordernisse der Raumordnung: Umfasst Erfordernisse der Raumordnung und gibt entsprechende Flächen mit Pufferabständen an, die eine Einzelfallprüfung erfordern. Beispiele für LK Ahrweiler: LaHiKuLa, Landschaftsprägende Gesamtanlagen und regionaler Grünzug • Wetterstationen DWD: Gibt Standorte von Wetterstationen des DWD an, die eine Einzelfallprüfung erfordern.
Nutzung Waldflächen	Gibt an, ob Waldflächen für die Errichtung von Windkraftanlagen genutzt werden sollen.

Restriktionen für Photovoltaik (Freifläche)

Tab. 15: Strenge Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Freiflächen-Photovoltaikanlagen“

Anlagengröße	Gibt die mindestens zu installierende Leistung an.
Flächengröße	Gibt an, wie groß die genutzte Fläche mindestens sein muss (variiert je nach Art der Fläche).

Darüber hinaus sind ähnlich wie bei WKA Ausschlussgebiete sowie Pufferabstände zu bebauten Gebieten oder Flächen einzuhalten.

Restriktionen für Photovoltaik und Solarthermie (Dachfläche)

Tab. 16: Strenge Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Dach-Photovoltaikanlagen“ und für die dezentrale Wärmeerzeugung mit „Solarthermie“

Dachneigung	Gibt an, wie stark das Dach geneigt ist.
Ausrichtung des Dachs	Gibt an, in welche Himmelsrichtung das Dach ausgerichtet ist.

Tab. 17: Frei-wählbare Restriktionen für die dezentrale Wärmeerzeugung mit „Solarthermie“

Auslegung	Gibt an, wie groß die Anlage dimensioniert werden soll. Davon hängt ab, wieviel der Wärmenachfrage des Haushalts (Heizwärme bzw. Warmwasser) mit der Solarthermieanlage gedeckt werden kann.

Tab. 18: Frei-wählbare Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Dach-Photovoltaikanlagen“

Auslegung	Gibt an, wie viel der prinzipiell nutzbaren Dachfläche für die Photovoltaikanlage verwendet werden soll.

Restriktionen für Laufwasser

Tab. 19: Strenge Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Laufwasserkraftwerken“

Erweiterung der Standorte	Gibt an, ob neue Querbauwerke gebaut werden.

Tab. 20: Frei-wählbare Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Laufwasserkraftwerken“

Ausbau vs. Rückbau	Gibt an, ob und wie viele Laufwasserkraftwerke rückgebaut, erhalten oder zugebaut werden sollen.
Standorttyp	Gibt an, welche Standorte zu den Potenzialen gezählt werden, wenn die Entscheidung für einen Zubau gefallen ist.

Restriktionen für Biogas

Tab. 21: Strenge Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Biogasanlagen“

Betriebsgröße	Gibt an, wieviel Vieheinheiten pro landwirtschaftlichem Betrieb vorhanden sind.

Tab. 22: Frei-wählbare Restriktionen für die Stromerzeugung mit „Biogasanlagen“

Landwirtschaftliche Rohstoffe aus Tierhaltung	Gibt an, ob und wie viele der landwirtschaftlichen Rohstoffe aus Tierhaltung (Gülle und Mist) als Substrat in Biogasanlagen energetisch genutzt werden sollen.
Bioabfall	Gibt an, ob und wie viel der Bioabfälle eingesammelt und als Substrat in Biogasanlagen energetisch genutzt werden sollen.

3.3. Wie können die Maximalpotenziale der verschiedenen Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie der Effizienzmaßnahmen quantifiziert werden?

In diesem Abschnitt werden die Methoden vorgestellt, mit denen das szenarienunabhängige Maximalpotenzial für jede der Technologien ermittelt werden kann. Es geht ausdrücklich nicht darum, die Methoden im Detail zu beschreiben, sondern darum, dass der Leser versteht, was bei der Potenzialermittlung berücksichtigt werden sollte.

3.3.1. Potenzialermittlung für die Effizienzmaßnahme „Gebäudedämmung“

Für die Potenzialermittlung sind verschieden detaillierte Methoden denkbar. Eine Bestimmung eines szenarienunabhängigen Potenzials ist nicht möglich, da eine Berechnung erst erfolgen kann, wenn über die frei wählbaren Restriktionen (Sanierungsrate sowie anzustrebende energetische Standards für sanierte Gebäude und für Neubauten) entschieden wurde.

Im EnAHRgie-Projekt wurde zunächst die zukünftige Anzahl an Ein- und Mehrfamilienhäusern ermittelt unter Berücksichtigung landkreistypischer Raten für den Abriss und den Neubau von Gebäuden. Danach wurde ausgehend von der festgelegten Sanierungsrate in jedem Szenario ermittelt, wie viele der zukünftigen Gebäude unsaniert, saniert bzw. neugebaut sind. Anschließend wurde die jeweilige Anzahl der Gebäude mit dem durch die Restriktion ‚energetischer Standard' festgelegten, gebäudespezifischen Wärmebedarf multipliziert. So wurde pro Gebäudekategorie (EFH vs. MFH, saniert vs. unsaniert vs. Neubau) die absolute Wärmenachfrage erhalten. Vergleicht man diese berechnete Wärmenachfrage mit der fiktiven Wärmenachfrage bei einer Sanierungsrate von 0%, kann für jedes der Szenarien bestimmt werden, wie hoch die durch Gebäudedämmung eingesparte Wärmemenge ausfällt.

3.3.2. Potenzialermittlung für die Effizienzmaßnahme „Effiziente Geräte und Beleuchtung in Privathaushalten"

Für die Potenzialermittlung sind verschieden detaillierte Methoden denkbar. Eine Bestimmung eines szenarienunabhängigen Potenzials ist nicht möglich, da eine Berechnung erst erfolgen kann, wenn über die frei wählbare Restriktion (Effizienzziel) entschieden wurde.

Aufgrund fehlender landkreisspezifischer Statistiken im Projekt, wurden die Einsparpotenziale bei effizienten Geräten und Beleuchtung in Privathaushalten auf Basis von deutschlandweiten Werten ermittelt. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden durch aktuelle Studien erhobene bzw. berechnete Werte zunächst verglichen und dann jeweils ein Wert für die Ausprägungen „durchschnittliches Effizienzziel" und „überdurchschnittliches Effizienzziel" festgelegt.

3.3.3. Potenzialermittlung für die Effizienzmaßnahme „Effiziente Straßenbeleuchtung"

Die Energieeinsparung, welche durch den Einsatz von LED-Technologie in der Straßenbeleuchtung zu realisieren ist, hängt maßgeblich von dem momentan verwendeten Leuchtmittel ab. Zur Berechnung dieser Einsparung müssen mindestens Daten

- zur Art und Anzahl des Leuchtmittels,
- der Leistung der Lampe sowie
- die Laufzeit pro Jahr

bei den Gemeinden abgefragt werden. Liegen keine Daten zur Laufzeit vor, können 4.000 h/a angenommen werden. Zur überschlägigen Kalkulation kann je nach vorhandener Technologie folgendes Einsparpotenzial angenommen werden:

- Quecksilberdampflampen (HQL) → Einsparpotenzial 70%
- Natriumdampflampen (NAV) → Einsparpotenzial 50%
- Leuchtstofflampen (LL) → Einsparpotenzial 50%

Zusätzlich kann eine Verbesserung des Vorschaltgerätes durch das Verwenden von LED-Leuchten angenommen, welche je nach Lampentyp zu einer Einsparung zwischen 3 und 10 W pro Leuchte führen kann. Details zu aktuellen technischen Möglichkeiten ebenso wie das richtige Vorgehen bei Ausschreibungen

sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Finanzierungsmöglichkeiten können dem Praxisleitfaden energieeffiziente Straßenbeleuchtung (vgl. EnergieAgentur.NRW 2017)[7] entnommen werden.

3.3.4. Potenzialermittlung für „Windenergie“

Im Rahmen der Potenzialanalyse für Windenergie werden potenziell geeignete Flächen für Windenergieanlagen identifiziert, die unter Berücksichtigung von rechtlichen sowie technisch-ökonomischen Kriterien prüffähig sind. Prüffähig meint hierbei, dass auf Basis der verfügbaren Informationen grundsätzlich eine Genehmigungswahrscheinlichkeit besteht und die technisch-ökonomischen Minimalanforderungen gewährleistet sind.

Zur Bestimmung der Flächenpotenziale wird eine GIS-basierte Analyse der Flächenkulisse durchgeführt. Dabei wird die Gesamtfläche der Betrachtungsregion um die als streng definierten Restriktionsflächen einschließlich derer mit einer sehr geringen Genehmigungswahrscheinlichkeit mit entsprechenden Pufferabständen reduziert. Dies betrifft bspw. Siedlungsgebiete, Natura-2000-Gebiete mit Ausschlussempfehlung der Vogelschutzwarte oder Naturschutzgebiete mit entsprechenden Pufferabständen. Eine Übersicht der im Projekt EnAHRgie angewendeten strengen Restriktionen kann Tab. 13 entnommen werden. Der Restriktionsanalyse liegt die geltende Rechtslage des Landes Rheinland-Pfalz im Jahr 2017 zugrunde. Für die Durchführung der Analyse in einer anderen Region ist bei der Festlegung der strengen Restriktionen die in der Untersuchungsregion geltende Rechtslage zu beachten.

Neben strengen Restriktionen werden frei-wählbare Restriktionen definiert, die potentielle Genehmigungsrisiken beinhalten, aber nicht unbedingt ein Ausschlusskriterium darstellen. Für die Bestimmung der Maximalpotenziale der Windenergie werden nur die strengen Restriktionen angesetzt. Durch die Auswahl der frei-wählbaren Restriktionen können bei der Erstellung von Szenarien die Potenziale entsprechend eingeschränkt werden.

Die nach den strengen rechtlichen Kriterien als grundsätzlich prüffähig klassifizierten Potenzialflächen werden im nächsten Schritt hinsichtlich der Windbedingungen analysiert. Als Datenbasis für die Analyse dienen dafür Windkarten wie der Windatlas rlp[8] oder detaillierte Wettermodelle wie bspw. das in EnAHRgie verwendete COSMO-EU-Modell des DWD[9]. Darüber hinaus ist eine durchschnittliche Mindestwindgeschwindigkeit auf der analysierten Nabenhöhe festzulegen, die erreicht werden muss, um als Potenzialfläche in Betracht gezogen zu werden. Für EnAHRgie wurden alle Flächen, die eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit von mindestens 6 m/s auf einer Nabenhöhe von 100m erreichen, als Potenzialfläche berücksichtigt.

---

[7] EnergieAgentur.NRW (2017): Praxisleitfaden energieeffiziente Straßenbeleuchtung, Technologien, Strategien, Betreibermodelle, Vergabe, Hamm, 2017.

[8] Windatlas Rheinland Pfalz (Stand Juli 2013): https://mueef.rlp.de/de/themen/energie-und-strahlenschutz/erneuerbare-energien/windenergie/ (abgerufen am 30. November 2017)

[9] Schulz J-P, Schättler U.: Kurze Beschreibung des Lokal-Modells Europa COSMO-EU (LME) und seiner Datenbanken auf dem Datenserver des DWD. Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 2013.

Die im Anschluss an die Analyse der Windbedingungen verbleibenden Flächen stellen prüffähige Flächen für potentielle Anlagenstandorte dar. Zur Quantifizierung des konkreten Anlagenpotenzials ist der spezifische Flächenbedarf je WEA zu definieren. Als Richtwert kann von 10ha pro WEA ausgegangen werden (Synwoldt, 2016)[10]. Weist ein potentieller Standort keine großräumig zusammenhängende Fläche auf, kann der Richtwert unterschritten werden. Hierbei sind besonders die Abstandskriterien zu Restriktionsflächen sowie Abstände von WEA zueinander mit zu berücksichtigen.

Grundlage für die Schätzung der elektrischen Jahresarbeit sind die technischen Eigenschaften einer geeigneten Musteranlage (Nabenhöhe, installierte Leistung, Leistungskennlinie) sowie die charakteristischen Windbedingungen der prüffähigen Flächen, ausgedrückt durch die Weibullparamater der Windgeschwindigkeit. Damit lässt sich der maximale Jahresrohertrag bestimmen (Synwoldt, 2016). Die Schätzung einer repräsentativen elektrischen Jahresarbeit erfordert die Berücksichtigung von Unsicherheiten der zugrundeliegenden technischen Eigenschaften sowie Windbedingungen durch Abschläge auf die ermittelten Roherträge. Es ist zielführend Abschläge für

- die technische Verfügbarkeit (3%) der Anlage,
- die Höhenlage (1% je 100m NH ü. NHN) sowie
- den Parkeffekt (2% - 5%) zu berücksichtigen (Synwoldt, 2016) vorzunehmen.

Die daraus resultierende Ertragsprognose kann schließlich als Erwartungswert des Jahresenergieertrages angenommen werden. Die Unsicherheiten der Ertragsprognose basieren im Wesentlichen auf den witterungsbedingten Fluktuationen des jährlichen Windaufkommens und können anhand der Standardabweichung berücksichtigt werden, die in Abhängigkeit der verwendeten Datenqualität festgelegt werden sollte. Übliche Werte für die Standardabweichung zur Abbildung der Unsicherheiten liegen zwischen 8% und 15% (vgl. Kopp, 2017[11]). Auf dieser Grundlage lässt sich die Unsicherheit der Windertragsschätzung abbilden, die üblicherweise als Gauß-Verteilung abgebildet wird (Kopp, 2017). Daraus lassen sich Überschreitungswahrscheinlichkeiten ableiten, die es erlauben, unterschiedliche Unsicherheitsniveaus der Windertragsschätzung abzubilden. Das angesetzte Unsicherheitsniveau eines Investors ist von den finanziellen Voraussetzungen und der Risikobereitschaft abhängig. Ein gängiger Wert als Entscheidungsgrundlage für Windprojekte ist der p75-Ertrag. Dieser Wert beschreibt den langjährigen mittleren Jahresenergieertrag, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 75% nicht unterschritten wird. Der p75-Wert eignet sich daher für die Potenzialschätzung bei der Entwicklung regionaler Energiekonzepte.

3.3.5. Potenzialermittlung für „Photovoltaik Freifläche“

Die Erhebung dieses Potenzials stützt sich auf eine GIS-basierte Auswertung, wie beispielhaft in Abb. 7 gezeigt ist. Dabei werden insbesondere Flächen entlang von Autobahnen und Schienenwegen, Konversionsflächen, Halden, Deponien, ungenutzte Industrie- und Gewerbegebiete oder großflächige, Parkplätze betrachtet.

---

[10] Synwoldt C. (2016).: „Dezentrale Energieversorgung mit regenerativen Energien“, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016

[11] Kopp, S: Windenergie im Binnenland, www.windenergie-im-binnenland.de (abgerufen am 30. November 2017)

Nach Abzug der Restriktionsflächen (vgl. Abschnitt 3.2.2) und der zugehörigen Abstandsannahmen wird letztlich eine Potenzialfläche abgebildet. Für die anschließende Berechnung des solaren Potenzials auf den ermittelten Flächen können folgende Annahmen getroffen werden:

- Alle Module werden bestmöglich Richtung Süden ausgerichtet und in Reihen aufgeständert. Eine Verschattung der Modulreihen untereinander ist zu vermeiden.
- Zusätzlich werden je nach Standort weitere Wartungsgassen gebildet.
- Unter der Annahme, dass kristalline Module verwendet werden, sind so bei Freiflächenanlagen etwa 25 m² Grundfläche nötig, um ein kWp Leistung zu installieren.
- Unter Berücksichtigung der regionalen Globalstrahlung und der Wirkungsgrade moderner Module kann mit einem jährlichen Stromertrag von 900 kWh/kWp gerechnet werden.

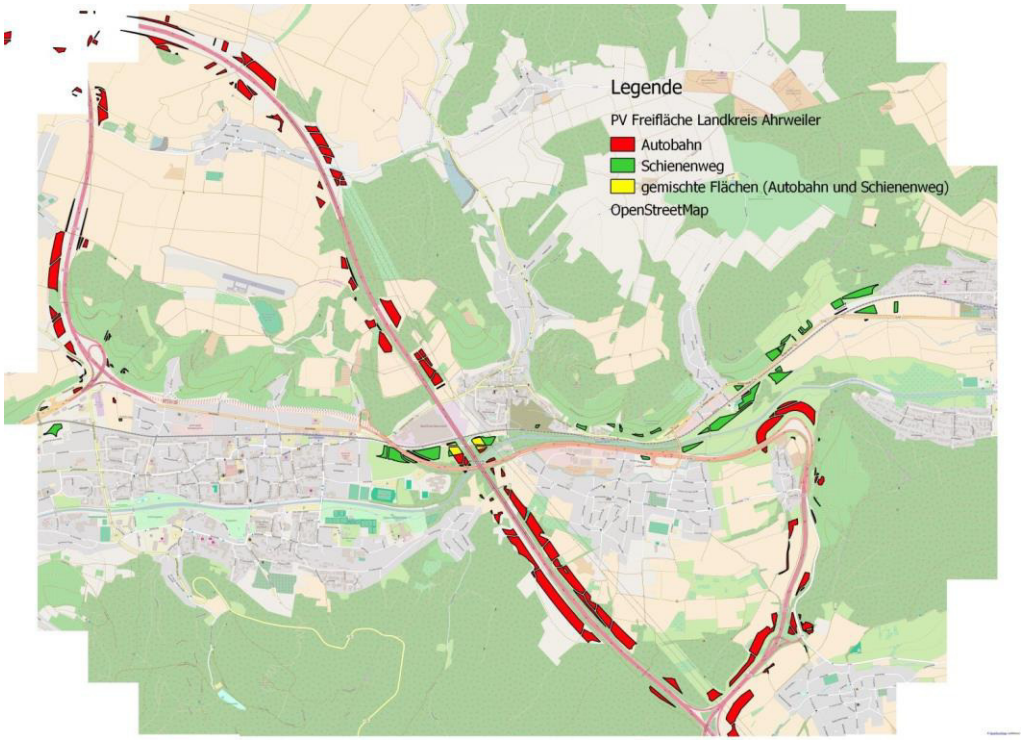


Abb. 7: ***Ausschnitt der Potenziale für Photovoltaik-Freiflächenanlagen entlang von Autobahnen und Schienenwegen***

3.3.6. Potenzialermittlung für „Photovoltaik Dach“ bzw. „Solarthermie“

Zur Ermittlung der solaren Potenziale auf Dachflächen sind zunächst die verfügbaren Dachflächen zu ermitteln. Hierfür stehen bestenfalls die Daten eines Solardachkatasters zur Verfügung (z. B. des LK Ahrweiler: http://www.solarkataster-ahrweiler.de/karte, vgl. Abb. 8).

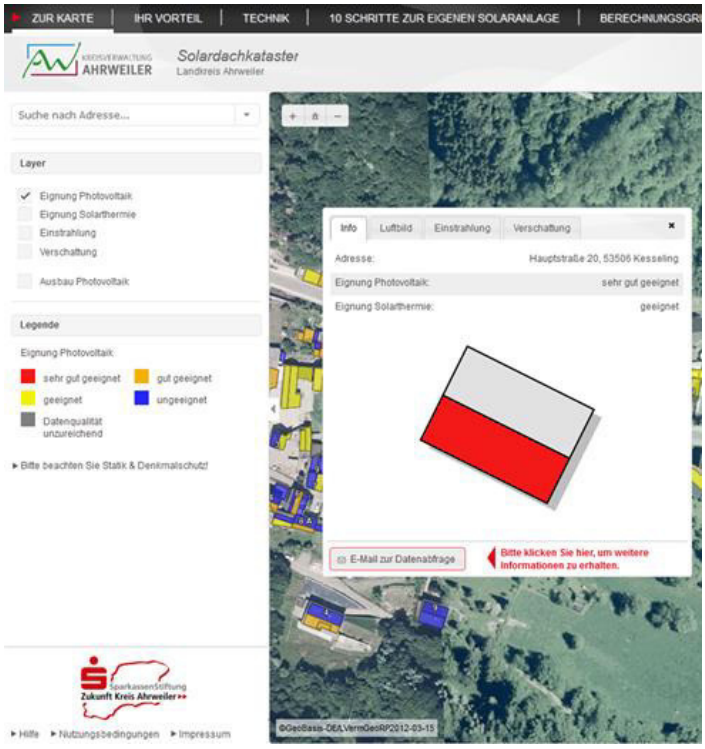


Abb. 8: *Beispielhafter Ausschnitt aus dem Solardachkataster des LK Ahrweiler*

Andernfalls ist eine statistische Ermittlung der Dachflächen anhand der (Wohn-) Gebäudebestandsdaten erforderlich. In Kombination mit weiteren Liegenschaftsinformationen können die Potenziale verortet, den einzelnen Gebietskörperschaften zugeordnet und nach Gebäudearten unterschieden werden. Die einzelnen Datensätze im Solardachkataster beinhalten i. d. R. bereits Wertungen hinsichtlich der Topografie, Einstrahlung, Exposition und Verschattung.

Bei der Potenzialanalyse für die Dachflächen empfiehlt sich die gleichzeitige Betrachtung von Photovoltaik sowie Solarthermie bzw. einer Priorität von Solarthermie. Dies begründet sich darin, dass

- die Solarenergie bei solarthermischen Anlagen sehr effizient umgewandelt werden kann,
- Wärme generell schwerer zu erschließen ist als Strom und
- der fossile Wärmebedarf primär zu senken ist.

Die restliche Fläche steht für Photovoltaik zur Verfügung.

Für die Berechnung des solaren Potenzials können dabei folgende Annahmen getroffen werden:

- Der maximale spezifische Anlagenertrag (900 kWh/kWp bei Photovoltaik und 350 kWh/m² bei Solarthermie) wird nur bei 25 Grad Neigung und Südausrichtung erreicht. Folglich reduzieren sich die spezifischen Anlagenerträge bei einer ungünstigeren Exposition.

- Da die genannten Datensätze häufig keine Informationen über die Gebäudeart (Wohngebäude, Gebäude für Industrie und Gewerbe oder öffentliche Gebäude) enthalten, wird davon ausgegangen, dass in allen Gebäuden mit geneigten Dachflächen ein relevanter, primär zu deckender Wärmebedarf vorliegt.
- Zur Deckung des Warmwasserbedarfs und zusätzlich zur Heizungsunterstützung wird eine Fläche von 12 m² für Solarthermiekollektoren vorgesehen. Die restliche Dachfläche wird mit Photovoltaikmodulen belegt.
- Auf Flachdächern werden nur Photovoltaikmodule installiert, da davon ausgegangen wird, dass diese Gebäude größtenteils den Sektoren Industrie und Gewerbe oder öffentliche Gebäude zuzuordnen sind.
- Da die PV-Module bei Flachdächern aufgeständert werden, steht, um eine Verschattung der Module untereinander zu vermeiden, effektiv nur etwa ein Drittel der Dachfläche zur Verfügung.

3.3.7. Potenzialermittlung für „Laufwasser“

Im Rahmen der Wasserkraftnutzung bestehen Potenziale an Gewässern 1. und 2. Ordnung sowie am Klarwasserablauf von Kläranlagen im Hinblick auf die Nutzung von Kleinwasserkraft. Bei der Untersuchung der Gewässer wird ein Neubau von Wasserkraftanlagen an neuen Querverbauungen direkt ausgeschlossen, da dies dem Verschlechterungsgebot der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) widerspricht und solche Anlagen nicht nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) vergütet werden. Des Weiteren werden nur Standorte mit vorhandenem Wasserrecht untersucht.

Für die Potenzialanalyse an bestehenden Querverbauungen werden der mittlere Abfluss sowie die maximale Fallhöhe als Realdaten verwendet. Das technische Ausbaupotenzial ist zudem von der landesspezifischen Mindestwasserführung abhängig. Zur Ermittlung des Arbeitsvermögens wird von einer durchschnittlichen Laufzeit von 3.500 h/a ausgegangen.

Hinzu kommt die Untersuchung der bestehenden Wasserkraftanlagen im Hinblick auf Modernisierung sowie die Betrachtung ehemaliger Mühlenstandorte auf mögliche Reaktivierung. Bei den Untersuchungen können i. d. R. die jahreszeitlichen und wetterbedingten Schwankungen des Abflusses, d. h. der verfügbaren Wassermenge, sowie der Fallhöhe nicht berücksichtigt werden.

3.3.8. Potenzialermittlung für „Biomasse“

Die Biomassepotenziale lassen sich differenziert nach folgender Herkunft darstellen:

- Forstwirtschaft,
- Landwirtschaft sowie
- Landschaftspflege und organischen Siedlungsabfällen.

In die Potenzialbestimmung können je nach Verfügbarkeit praktische Erfahrungs- und Literaturwerte ein, für die Flächendaten statistische Daten sowie GIS-Daten und Informationen aus Fachgesprächen fließen.

In der Ergebnisdarstellung empfiehlt sich eine Unterscheidung zwischen den beiden Stoffgruppen Biomasse-Festbrennstoffe und Biogassubstrate. Durch diese Vorgehensweise können die Potenziale aus verschiedener Herkunft (z. B. Holz aus der Industrie bzw. dem Forst; nachwachsende Rohstoffe aus dem Energiepflanzenanbau) einer gezielten Konversionstechnik (z. B. Biomasseheizwerk, Biogasanlage) zugewiesen werden.

Potenziale aus der Forstwirtschaft

Die Biomasse-Festbrennstoffe aus dem Forst sind energetisch vielfältig einsetzbar, vor allem für die Privathaushalte. Konkurrent dazu steht die Nutzung als Industrieholz. Entscheidende Kennzahlen zur Bestimmung des Potenzials sind

- die aktuelle Nutzung,
- der Zuwachs und
- der Vorrat.

Zur Potenzialbestimmung sollte zusätzlich ein intensiver Austausch mit den entsprechenden Forstämtern stattfinden. Grundsätzlich muss bezüglich der Datenbeschaffung und Akteursansprache zwischen Privatwald und Staatswald unterschieden werden. Details zur Realisierung eines Bioenergiedorfes sind in dem Leitfaden Bioenergiedörfer (vgl. FNR2014)[12] anhand von Erfahrungswerten bestehender Bioenergiedörfer beschrieben.

Potenziale aus der Landwirtschaft

Künftig können Biomasse-Versorgungsengpässe u. a. durch den gezielten Anbau von Energiepflanzen und die Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe entschärft werden. Die Betrachtung fokussiert sich auf die folgenden Bereiche:

- Energiepflanzen auf Ackerflächen,
- Reststoffe aus Ackerflächen,
- Reststoffe aus der Viehhaltung sowie
- Biomasse aus Dauergrünland.

Um die Potenziale aus dem Anbau von Energiepflanzen auf Ackerflächen darzustellen, ist zunächst zu ermitteln, in welchem Umfang Ackerflächen für eine derartige Nutzung zusätzlich bereitgestellt werden können. Dabei wird angenommen, dass die Flächenbereitstellung für den Energiepflanzenanbau in Abhängigkeit von der Entwicklung der Agrarpreise, vorwiegend aus den derzeitigen Marktfruchtflächen (Raps- und Getreideanbau) sowie der Ackerbrache erfolgt.

Als geeigneter Reststoff von Ackerflächen für eine energetische Verwertung kann am besten Stroh als Bioenergieträger für Feuerungsanlagen angesehen werden. Allerdings führt der vergleichsweise hohe Bedarf an Stroh als Humusverbesserer auf den Ackerflächen sowie als Streumaterial (Festmistanteil) mittelfristig zu Nutzungsbeschränkungen.

Ein weiteres Reststoffpotenzial in der Gruppe der Biogassubstrate stellt die Nutzung von Getreidekorn dar. Die Diskussion, um die energetische Verwertung von Getreidekorn sollte sich aufgrund aktueller wirtschaftlicher Erwägungen weitestgehend auf die Nutzung von minderwertigem Sortier- bzw. Ausputzgetreide beschränken.

[12] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2014): Bioenergiedörfer, Leitfaden für eine praxisnahe Umsetzung, Rostock, 2014.

Die Reststoffe aus der Viehhaltung berücksichtigen sowohl die durchschnittlich produzierte Fest- und Flüssigmistmengen sowie die Stalltage pro Tierart und Jahr. Darauf basierend wird der potenzielle Biogasertrag bestimmt. Je nach Nutzung dieser Reststoffe sollte die Potenzialerhebung auch die Beimischung von Biomasse aus Dauergrünland berücksichtigen.

Potenziale aus Landschaftspflege und Siedlungsabfällen

Weitere Stoffströme stellen die kommunalen und gewerblichen Biomasseabfälle. Diese stammen hauptsächlich aus holzartigen Gartenabfällen, aber auch bspw. Straßen- und Schienenbegleitgrün.

3.3.9. Potenzialermittlung für weitere Wärmeerzeugungstechnologien

Die weiteren Wärmeerzeugungstechnologien sind im Gegensatz zu den auf Biomasse basierenden Technologien (limitierter Primärenergieträger) bzw. der Solarthermie (limitierte Aufstellfläche auf Dächern) rein technologisch nicht beschränkt in ihrer Anzahl bzw. installierbaren Leistung. Es ist lediglich für einige weiteren der Technologien (BHKW, Gaskessel) zu prüfen, ob das Gasnetz im betrachteten Gebiet ausgebaut ist. Alternativ wäre eine Versorgung mit Flüssiggastanks möglich, allerdings sind bei diesem die Brennstoffkosten höher.

Stattdessen ist bei den genannten Technologien das Potenzial durch die Wärmenachfrage – zentral bzw. dezentral – beschränkt, da exakt so viel Wärme erzeugt werden muss wie nachgefragt wird (plus ggf. Verteilungsverluste im Netz). Außerdem wird das Maximalpotenzial durch die Investitionsbereitschaft der Haushalte für die spezifische Technologie beschränkt. Für irgendeine Technologie, welche Wärme in ausreichender Menge zur Verfügung stellt, müssen die Haushalte sich jedoch entscheiden.

Zusätzlich wurde in der Potenzialbestimmung für manche der dezentralen Wärmeerzeugungstechnologien festgelegt, in welchem Gebäudetyp (EFH vs. MFH, unsaniert vs. saniert vs. Neubau) sie nur einsetzbar sind. In der Praxis sollte nicht mit Verallgemeinerungen gearbeitet werden, sondern für jeden Einzelfall die individuelle Versorgungssituation angeschaut werden. Für die Potenzialabschätzung im Landkreis Ahrweiler wurden folgende vereinfachende Annahmen getroffen:

- Elektrospeicherheizungen sind im unsanierten Bestand zu finden. Ein zukünftiger Ausbau wurde ausgeschlossen, d. h. als Option wurden der Erhalt oder der Rückbau der Öfen vorgesehen.
- Wärmepumpen können im sanierten Bestand sowie Neubauten eingesetzt werden.
- Blockheizkraftwerke können sowohl zentral in Fern-/Nahwärmenetzen als auch dezentral im unsanierten Bestand eingesetzt werden.

3.4. Datenerfassung für technologiespezifische Potenziale

Zur Erfassung der Potenziale werden diverse Datensätze benötigt. Eine Zusammenstellung der wesentlichen Datensätze kann in Kürze als Anhang zu diesem Leitfaden online abgerufen werden. Es werden mögliche Datenquellen am Beispiel vom Land Rheinland-Pfalz aufgeführt. Diese gliedern sich in die zuvor genannten Bereiche der Potenziale in Abschnitt 3.3:

- Effizienzmaßnahme Gebäudedämmung
- Stromeinsparung durch effiziente Geräte und Beleuchtung in Privathaushalten
- Stromeinsparung durch eine effiziente Straßenbeleuchtung
- Windenergie
- Photovoltaik Freifläche

- Photovoltaik Dach und Solarthermie
- Laufwasser
- Biomasse
- Weitere Wärmeerzeugungstechnologien

3.5. Beispiel-Ergebnisse: Szenarienunabhängige Maximalpotenziale im Landkreis Ahrweiler für den Strom- und Wärmesektor

In diesem Kapitel werden beispielhaft die Ergebnisse für den Landkreis Ahrweiler vorgestellt. Zunächst für den Wärmesektor, anschließend für den Stromsektor. Damit die ermittelten Maximalpotenziale besser eingeordnet werden können, wird die Wärme- bzw. Stromerzeugung mit dem heutigen Anlagenbestand daneben gestellt.

3.5.1. Wärmesektor

Im Wärmesektor wurden im Rahmen von EnAHRgie lediglich die Potenziale für Privathaushalte ausgewertet und darauf aufbauend zukünftige Technologieportfolien für die Wärmeversorgung von Privathaushalten zusammengestellt. Aufgrund von lückenhaften Daten im Bereich Gewerbe/Industrie konnte zwar der Ist-Endenergieverbrauch im Jahr 2013 grob für den gesamten Landkreis abgeschätzt werden, eine weiterführende Einbeziehung der Wärmeversorgung in Gewerbe/Industrie war jedoch nicht möglich. Insgesamt hat die Nachfrage der Privathaushalte nach Heizwärme und Warmwasser mit knapp zwei Dritteln einen wichtigen Anteil am Endenergieverbrauch im Landkreis Ahrweiler. Folgende Abbildung stellt die im Referenzjahr 2013 mit den unterschiedlichen Technologien erzeugte Wärme mit den maximalen Erzeugungspotenzialen im Jahr 2030 gegenüber.

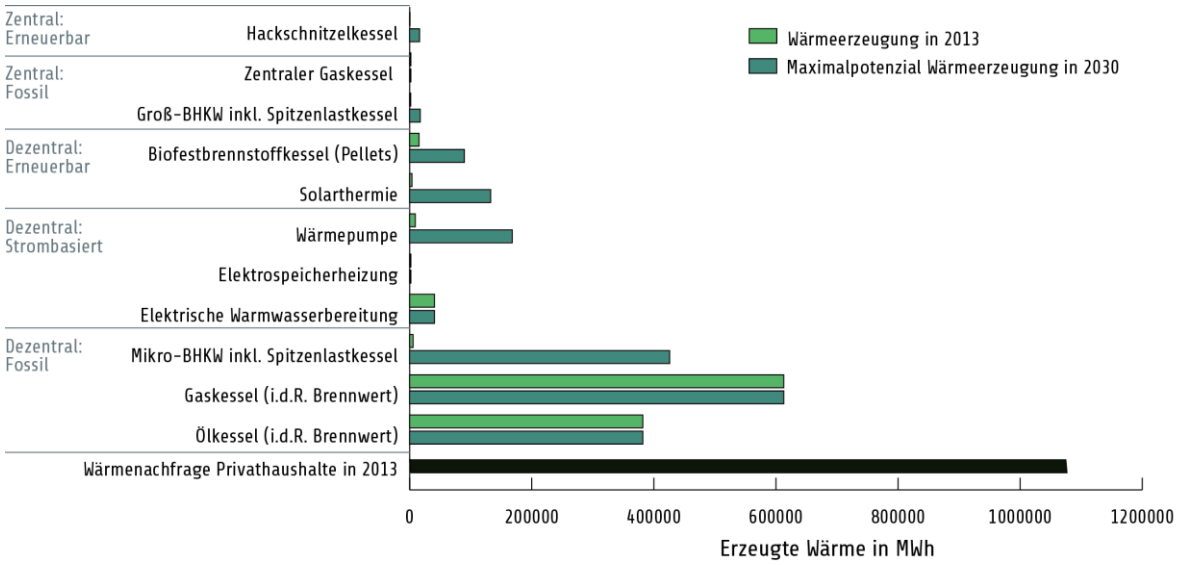


Abb. 9: Gegenüberstellung der pro Technologie erzeugten Wärmemenge im Referenzjahr 2013 mit der im Jahr 2030 maximal zu erzeugenden Wärmemenge

Es zeigt sich, dass die Wärmeversorgung der Privathaushalte im Landkreis Ahrweiler bislang deutlich von fossilen Heizkesseln auf Heizöl- und Erdgas-Basis dominiert wird (ggf. wird vereinzelt auch extern eingekauftes, zertifiziertes Biogas verwendet: Darüber liegen jedoch keine Zahlen vor, außerdem handelt es sich nicht um eine lokale EE-Quelle). Erneuerbare Energieträger decken die Wärmenachfrage lediglich zu 2 %. Zukünftig weisen jedoch sowohl Solarthermie-Anlagen als auch dezentrale Biofestbrennstoffkessel (Holzpellets) ein hohes Potenzial auf. Zusätzlich verbleibt genügend Biomassepotenzial für die zentrale

Wärmeerzeugung über Fern-/Nahwärmenetze. Das hier ausgewiesene Maximalpotenzial für Hackschnitzelkessel wird tatsächlich durch die geringe Anzahl an Fern-/Nahwärme versorgten Haushalten begrenzt, nicht durch die Verfügbarkeit an Biomasse (es wäre ca. die 2,5-fache Menge verfügbar). Insofern empfehlen wir einen verstärkten Ausbau von Fern- bzw. Nahwärmenetzen (vgl. Maßnahmenkatalog). Darüber hinaus sind nennenswerte Potenziale für Effizienz-Technologien wie Wärmepumpen und dezentrale, erdgasbasierte Blockheizkraftwerke vorhanden. Theoretisch könnten somit sämtliche dezentralen Gas- bzw. Ölkessel durch alternative Technologien ersetzt werden. Ein vollständiger Verzicht auf fossile Energieträger ist hierbei nicht möglich, da Blockheizkraftwerke ebenfalls vorwiegend mit Erdgas betrieben werden. Ebenso können strombasierte Technologien erst dann als komplett erneuerbar gelten, wenn im Stromsektor ein lokaler EE-Versorgungsgrad von mindestens 100% erreicht ist. Im Jahr 2030 kann somit ein lokaler EE-Versorgungsgrad für die Wärmebereitstellung in Privathaushalten von maximal 50 % erreicht werden, im Wesentlichen durch Wärmepumpen (100% EE-Strom vorausgesetzt), Solarthermie und Holzpelletkessel.

3.5.2. Stromsektor

Für den Stromsektor werden nachfolgend der Stromverbrauch und die regionale Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ausgewertet. Der Verbrauch wird für alle Verbrauchskategorien dargestellt. Für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien werden der Bestand für das Referenzjahr 2013 sowie die szenarienunabhängigen Maximalpotenziale für das Jahr 2030 ausgewertet. Abb. 10 zeigt die im Referenzjahr 2013 elektrische Energieerzeugung aus Erneuerbaren Energien sowie das maximal realisierbare Ertragspotenzial im Landkreis Ahrweiler. Darüber hinaus ist zum Vergleich der Strombedarf des Referenzjahres 2013 dargestellt. Vor der Berücksichtigung von Effizienzmaßnahmen und Wärmetechnologien, die sich auf den Stromsektor auswirken, bleibt die Größenordnung des Strombedarfs in 2030 vergleichbar mit dem im Referenzjahr 2013.

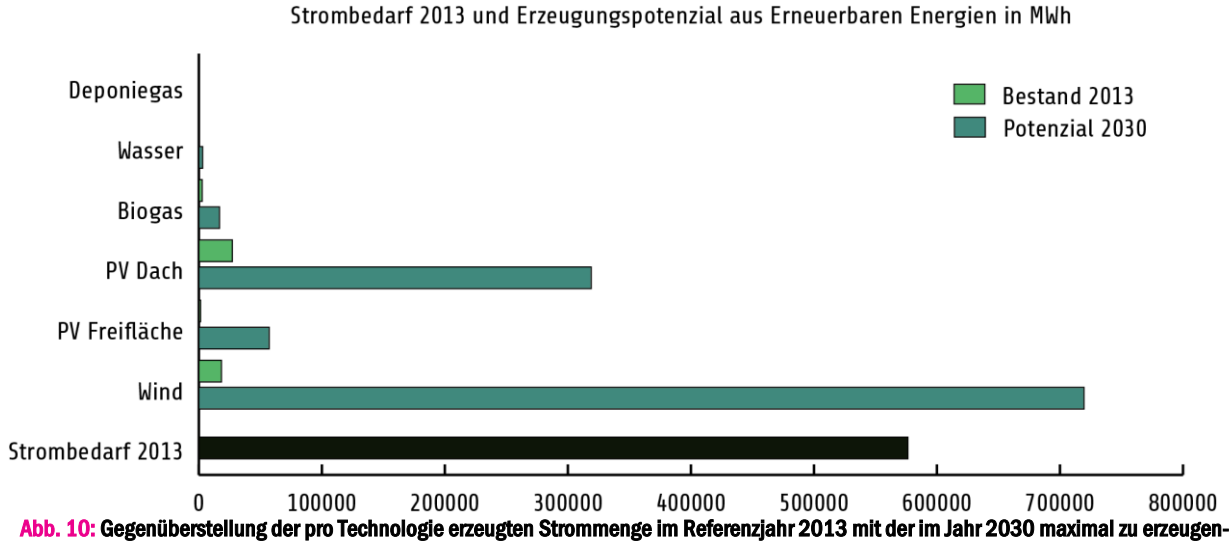


Abb. 10: Gegenüberstellung der pro Technologie erzeugten Strommenge im Referenzjahr 2013 mit der im Jahr 2030 maximal zu erzeugenden Strommenge

Die Aufteilung des Strombedarfs 2013 der verschiedenen Verbrauchssektoren sowie die Effizienzpotenziale und potenziell zusätzlicher Strombedarf für Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge bis 2030 kann Abb. 11 entnommen werden.

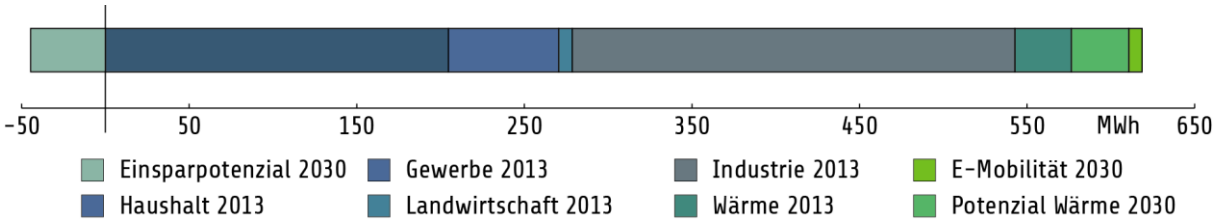


Abb. 11: Strombedarf 2013 und Potenzial 2030 differenziert nach Sektoren

Aus Abb. 10 wird ersichtlich, dass der Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung im Landkreis Ahrweiler im Referenzjahr 2013 lediglich bei 9% liegt, insbesondere geprägt durch Windenergie- und Photovoltaikanlagen.

Bei der Erstellung der Maximalpotenziale erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien wurden bereits strenge Restriktionen (bspw. Vorgaben zum bauordnungsrechtlichen Mindestabstand) berücksichtigt. Die frei-wählbaren Restriktionen (z. B. die Eigenstromdimensionierung von PV-Anlagen) sind auf dieser Ebene noch nicht berücksichtigt. Ein wesentlicher Anteil der Potenziale entfällt auf die Windenergie, da diese über ein hohes spezifisches Energieertragspotenzial je Windenergieanlage (WEA) verfügt. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass besondere Genehmigungsrisiken aufgrund artenschutzrechtlicher Belange oder die Machbarkeit von Wind im Wald in diesen Potenzialen noch nicht berücksichtigt sind. Daneben weisen Photovoltaikanlagen (PVA) als Freiflächenanlagen bzw. auf Hausdächern ein hohes Potenzial auf. Außerdem können kleine Zubaupotenziale für Biogas- und Wasserkraft-Anlagen ausgewiesen werden. Das ausgewiesene Gesamtpotenzial Erneuerbarer Energien im Stromsektor führt zu einem maximal möglichen lokalen EE-Versorgungsgrad von 196%. Somit ist eine vollständige Versorgung des Landkreises im Jahr 2030 durch Erneuerbare Energien unter Berücksichtigung der verwendeten strengen Restriktionen möglich.

| Kap. 4. Erstellung der Szenarien

Um Möglichkeiten der technischen Entwicklung aufzuzeigen, wurden in EnAHRgie gemeinsam mit Praktikern und Wissenschaftlern Szenarien erarbeitet. Diese geben als Zielszenarien eine Antwort darauf, wie das Ziel eines hohen Anteils der Versorgung mit Erneuerbaren Energien bis zu 100 Prozent im Kreis Ahrweiler erreicht werden kann. Die grundsätzliche Vorgehensweise, der im Projekt gefolgt wird, um "robuste" und gute Entscheidungen über technische Portfolien zu ermöglichen ist es, die Szenarien so zu gestalten, dass alle technischen Möglichkeiten gut erkennbar sind. Aus diesem "Möglichkeitsraum" können dann gewünschte Szenarien gewählt und Umsetzungsmaßnahmen erarbeitet werden (Droste-Franke et al., 2015)[13]. Als Instrument für die Erarbeitung und transparente Darstellung von Zielindikatoren, Restriktionen und Annahmen der Szenarien wurde die Methode morphologischer Felder verwendet (vgl. Abschnitt 3.2). Die einzelnen Schritte in der Festlegung der Zielszenarien sind in diesem und in den folgenden Kapiteln dargestellt.

4.1. Festlegung von geeigneten Ziel-Indikatoren

Ausgehend vom szenarienunabhängigen Maximalpotenzial gilt es entsprechend der Zielsetzung des Energiekonzepts in der Betrachtungsregion Szenarien zu definieren, die Alternativen der zukünftigen Energieversorgung aufzeigen. Szenarien leisten für die damit verbundenen komplexen Entscheidungsprozesse Hilfestellung, indem sie alternative Entwicklungspfade identifizieren und darlegen. In der Literatur wird für die Analyse von Energiesystemen zwischen zwei unterschiedlichen Herangehensweisen, normativen und explorativen Szenarien, unterschieden. Normative Szenarien beleuchten unterschiedliche Wege, die zu einem vorgegebenen Ziel führen (Wie kann ein bestimmtes Ziel erreicht werden?), wohingegen explorative Szenarien ergebnisoffen verschiedene Entwicklungspfade betrachten (Was kann passieren?). So können alternative Maßnahmen zur Zielerreichung in Szenarien durchdacht werden und Entscheidungen erleichtern (vgl. Droste-Franke 2016,[14]; Björjeson et al., 2016[15]). Außerdem können die denkbaren Auswirkungen von Maßnahmen erfasst und dargestellt werden.

„Von Szenarien wird erwartet, dass sie eine Systemanalyse vornehmen, Rahmenbedingungen zukünftiger Entwicklungen offenlegen, Entwicklungspfade darlegen und Zukunftsbilder entwickeln.“ (Kucharczak 2010)[16] Dabei werden unterschiedliche Typen unterschieden. Ein Trendszenario („business as usual“) beschreibt die Entwicklung der Betrachtungsregion, wenn die Akteure dem derzeitigen Trend folgend ihr Verhalten nicht ändern und relevante Rahmenbedingungen (bspw. rechtliche oder wirtschaftliche) unverändert bleiben. Bezugnehmend auf diesen Trend als Referenz können alternative Szenarien definiert werden, die Anforderungen an Maßnahmen für bestimmte Ziele beschreiben. Hierbei können Anpassungen

---

[13] Droste-Franke B, Carrier M, Kaiser M, Schreurs M, Weber C, Ziesemer T (2015) Im-proving Energy Decisions. Towards Better Scientific Policy Advice for a Safe and Secure Future Energy System. Ethics of Science and Technolo-gy Assessment, vol 42, Springer, Heidelberg/New York

[14] Droste-Franke B (2016) Grundlagen, Möglichkeiten und Ansätze zur Gestaltung von Energieszenarien. Interne Ausarbeitung, EA European Academy, Bad Neuenahr-Ahrweiler

[15] Börjeson L, Höjer M, Dreborg K-H, Ekvall T, Finnveden G (2006) Scenario types and techniques: Towards a user's guide. Futures, 38, 2006, 723–739

[16] Kucharczak, L. et al. (2010): Regionale Energie- und Klimaschutzkonzepte als Instrument für die Energiewende. Inhalte, Struktur und Funktionen, Hrsg: deENet Geschäftsstelle, Kassel

der Rahmenbedingungen, unterschiedliche Ausprägungen der frei-wählbaren Restriktionen sowie Präferenzen gegenüber verschiedenen Technologieoptionen berücksichtigt werden.

Bei der Ausgestaltung der Szenarien schränken neben den strengen Restriktionen, die nicht-variierbare Rahmenbedingungen widerspiegeln, externe Faktoren die Freiheitsgrade bei der Ausgestaltung konkreter Zielszenarien ein. In diese Kategorie entfallen alle Kenngrößen und Faktoren, die szenarienübergreifend basierend auf globalen Annahmen festgelegt werden. Hierunter wurden im Forschungsprojekt EnAHRgie bspw. die Bevölkerungsentwicklung, die Entwicklung der Kostenbestandteile der zur Verfügung stehenden Strom- und Wärmetechnologien oder die Entwicklung der Elektromobilität gefasst.

Freiheitsgrade und wesentliche Unterscheidungsmerkmale bei der Ausgestaltung der Szenarien sind die frei-wählbaren Restriktionen und die daraus resultierenden szenariospezifischen Umsetzungspotenziale der Wärme- und Stromerzeugungstechnologien sowie Effizienzmaßnahmen. Je nach Zielsetzung der einzelnen Szenarien werden die frei-wählbaren Restriktionen sowie die entsprechenden Rahmenbedingungen zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgt mithilfe der Methode der morphologischen Felder (vgl. Abschnitt 4.3).

4.1.1. Warum Ziel-Indikatoren definieren?

Als Grundlage für die Szenarienentwicklung des Energiekonzepts und deren Umsetzbarkeit ist es wichtig, die Leitlinien in handhabbare Zielsetzungen, die mit den zur Verfügung stehenden Mitteln und Technologieoptionen erreicht werden sollen, zu übersetzen. Nachprüfbare Ziele stellen die Rückkopplung übergeordneter Leitmotive in die Realität sicher. Sofern die Ziele nicht direkt quantifizierbar und bewertbar sind, ist es sinnvoll, den Zielen messbare Indikatoren zuzuordnen, über die eine Zielerreichung abgeschätzt werden kann.

Die quantitative Ausprägung der Zielindikatoren ist schließlich von der Wahl der frei-wählbaren Restriktionen und Rahmenbedingungen und entsprechenden Annahmen sowie von der Zusammensetzung des technischen Wärme- und Strom-Portfolios abhängig. Die zur Verfügung stehenden Technologien tragen durch ihre spezifischen Eigenschaften dabei unterschiedlich stark zur Erreichung der entsprechenden Teilziele bei. Anhand von Zielindikatoren lassen sich schließlich systematisch Szenarien definieren. Sie bieten die Möglichkeit, aus dem Raum technischer Handlungsoptionen Portfolien zu ermitteln, die das definierte Szenario-Ziel, besonders gut erfüllen.

4.1.2. Welches sind geeignete Ziel-Indikatoren?

Im Rahmen des Projektes EnAHRgie wurden entsprechend dem globalen Ziel, einen hohen Anteil Erneuerbarer Energien an der Energieversorgung des Kreises Ahrweiler zu erreichen, sechs Zielindikatoren definiert. Sie repräsentieren aus Sicht von EnAHRgie die wichtigsten Teilziele eines regionalen Transformationsprozesses der Energieversorgung und werden im Folgenden beschrieben.

<u>Versorgungsgrad durch lokale, Erneuerbare Energien</u>

Der Versorgungsgrad durch Erneuerbare Energien beschreibt, wie viel Prozent des elektrischen Energiebedarfs der Betrachtungsregion durch regional angesiedelte Erneuerbare Energien im Jahresdurchschnitt bilanziell gedeckt wird. Darüber hinaus gibt der Autarkiegrad für eine Betrachtungsregion an, welcher Anteil der regional erzeugten elektrischen Energie aus Erneuerbaren Energien zum gleichen Zeitpunkt in der Betrachtungsregion verbraucht wird.

Endenergieverbrauch

Ein Teilziel einer nachhaltigen Energieversorgung ist einerseits die Senkung des Endenergieverbrauchs innerhalb der Betrachtungsregion. Hierbei werden Effizienzmaßnahmen, wie bspw. der Einsatz effizienterer elektrischer Geräte oder Beleuchtung sowie der Rückbau von Elektrospeicherheizungen und elektrischer Warmwasserbereitung für den Stromsektor oder Dämmmaßnahmen im Wärmesektor berücksichtigt. Andererseits kann ein vermehrter Einsatz von Wärmepumpen anstelle von fossilen Heizkesseln und die Substitution fossil betriebener Kraftfahrzeuge durch Elektromobilität den Endenergiebedarf erhöhen.

Treibhausgasemissionen

Die Verminderung der Treibhausgasemissionen der Energieversorgung stellt als zentrales klimapolitisches Ziel der Bundesregierung ebenfalls ein wichtiges Teilziel für eine nachhaltige regionale Energieversorgung dar. Die Berücksichtigung erfolgt durch die CO_2-Äquivalente verschiedener EE-Technologien als Zielindikator. Jeder EE-Technologie kann über ihren gesamten Lebensweg (Rohstoffabbau, Herstellung, Betrieb und Rückbau) ein spezifischer Treibhausgas-Ausstoß zugewiesen werden. Dem erforderlichen Importstrom der Betrachtungsregion wird das CO_2-Äquivalent des Strommix des Verbundsystems zugordnet. Dadurch lässt sich für jedes technische Portfolio der Betrachtungsregion ein regionales CO_2-Äquivalent bestimmen.

Flächeninanspruchnahme

Ein weiteres Teilziel stellt eine nachhaltige bzw. effiziente Landnutzung dar, repräsentiert durch den quantifizierbaren Indikator Flächeninanspruchnahme (in ha), die durch die zur Verfügung stehenden Technologien verursacht wird. Bei diesem Indikator kann unterschieden werden zwischen direkten und indirekten Flächeninanspruchnahmen. Die direkte Flächeninanspruchnahme umfasst bspw. die versiegelte Fläche der Fundamente von Windenergieanlagen oder die überdeckte Fläche von PV-Freiflächenanlagen. Indirekte Flächeninanspruchnahme enthält durch den Bau von EE-Anlagen eingeschränkte Flächen wie bspw. Abstandsflächen bei Windenergieanlagen.

Stromgestehungskosten

Die Stromgestehungskosten repräsentieren als Indikator der ökonomischen Effizienz eines Energiesystems das Teilziel wirtschaftlich nachhaltiger Lösungen einer regionalen Energieversorgung. Die Gestehungskosten beinhalten für den auf die Betrachtungsregion entfallenden Anteil produzierter elektrischer Energie die Investitions-, Betriebs- und Kapitalkosten sowie Verzinsung bezogen auf die voraussichtlich produzierte elektrische Energie über die Lebensdauer des Anlagenparks. Der Anteil aus dem Verbundsystem in die Region importierter Energie wird mit dem durchschnittlichen Spotmarktpreis zzgl. der EEG-Umlage bewertet.

Regionale Wertschöpfung

Ein weiteres Teilziel ist es, bei der Transformation des regionalen Energiesystems einen besonders hohen Nutzen für die Region zu erzielen. Hierfür eignet sich besonders die Berücksichtigung regionaler Wertschöpfungseffekte als Zielindikator. Die regionale Wortschöpfung beschreibt die durchschnittliche Geldmenge, die durch zusätzliche Investitionen in Planung, Produktion, Installation und Betrieb von Energieumwandlungsanlagen vor Ort generiert wird. Die Wertschöpfungseffekte lassen sich in die drei Bereiche: (1) Gewinne der Anlagenbetreiber, (2) Einkommenseffekte in der Betrachtungsregion durch den Anlagenbau, –betrieb und –Wartung/Instandhaltung sowie (3) kommunale Steuereinnahmen, die direkt in den Haushalt der Kommunen vor Ort einfließen.

Neben den hier gewählten und beschriebenen Ziel-Indikatoren können in Abhängigkeit der konkreten Zielsetzungen anderer Regionen auch zusätzliche oder weniger Indikatoren als Ziel-Indikatoren definiert werden.

4.2. Festlegung von Ziel-Szenarien

Die zuvor beschriebenen Ziel-Indikatoren können zur Festlegung von Ziel-Szenarien herangezogen werden. Der besondere Vorteil liegt darin, dass die enthaltene Ziel-Definition bereits messbar ist, sodass der Grad der Zielerreichung festgestellt und verschiedene Lösungen miteinander verglichen werden können. Grundsätzlich können alle Ziel-Indikatoren individuell miteinander für die Erstellung repräsentativer Szenarien kombiniert werden.

Im Rahmen des Projektes EnAHRgie wurden anhand der Ziel-Indikatoren ein Referenzszenario und drei alternative Ziel-Szenarien definiert (siehe nachfolgende Infobox). Die drei Ziel-Szenarien unterscheiden sich dadurch, dass in ihnen unterschiedliche Ziel-Indikatoren verstärkt verfolgt werden.

Bei der Erstellung der Szenarien werden die Ausprägungen der Zielindikatoren nicht von vornherein quantifiziert. Vielmehr wurde für jedes der beschriebenen Szenarien ein Technologieportfolio aus Strom- und Wärmetechnologien ermittelt, welches insgesamt die bestmöglichen Ergebnisse der im Szenario relevanten Zielindikatoren erreicht.

In EnAHRgie für den Landkreis Ahrweiler definierte Szenarien

Referenz-Szenario: Als Referenz-Szenario wird ein Szenario definiert, das die erwartete Entwicklung des regionalen Energieversorgungssystems bis 2030 widerspiegelt unter der Annahme, dass die Entwicklung dem Trend folgt und keine Aktivitäten darüber hinaus verfolgt werden.

Ziel-Szenario 1: In Szenario 1 werden die Minimierung der Treibhausgasemissionen sowie eine minimale Flächeninanspruchnahme durch EE-Erzeugungsanlagen bei gleichzeitig größtmöglicher Verringerung des Endenergieverbrauchs durch Energieeffizienzmaßnahmen in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt.

Ziel-Szenario 2: In Szenario 2 wird zum einen eine Maximierung des lokalen EE-Versor-gungsgrades angestrebt. Zum anderen sollen sowohl die Treibhausgasemissionen als auch der Endenergieverbrauch so weit wie möglich reduziert werden. Außerdem soll durch die Berücksichtigung der Gestehungskosten eine ökonomisch effiziente Lösung gefunden werden.

Ziel-Szenario 3: In Szenario 3 wird ein besonderer Fokus auf die Maximierung regionaler Wertschöpfungseffekte gelegt bei gleichzeitiger Minimierung der Gestehungskosten zur Erreichung einer ökonomisch effizienten Lösung. Darüber hinaus wird ein möglichst hoher lokaler EE-Versorgungsgrad angestrebt.

4.3. Zuordnung der Ausprägungen im morphologischen Feld zu den Szenarien

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 erläutert, ist für jede Restriktion festzulegen, welche ihrer Ausprägung zu den jeweiligen Szenarien zugeordnet wird. Durch die Kombination aller ausgewählten Restriktions-Ausprägungen bei einer Technologie, ergibt sich schließlich ihr szenariospezifisches, begrenztes Maximalpotenzial, welches maximal ausgebaut werden kann in dem jeweiligen Szenario.

Das szenariospezifische, begrenzte Maximalpotenzial jeder Technologie ist wie zu Beginn des Leitfadens in Abb. 2 dargestellt, ein notwendiger Schritt auf dem Weg zu dem letztlich pro Szenario vorgeschlagenen Technologieportfolio. Darüber hinaus kann es genutzt werden, um vor der endgültigen Ermittlung der vorgeschlagenen Technologieportfolien den möglichen Handlungsrahmen darzustellen. Dabei wird das Spannungsfeld zwischen Status Quo (=> Ist-Zustand im Ausgangsjahr), Referenz-Szenario (=> Zustand im Zieljahr bei Verfolgung der Strategie „Weiter wie bisher“) und Ziel-Szenarien (=> Zustand im Zieljahr bei Verfolgung der im Energiekonzept vorgeschlagenen Strategien) skizziert. Ebenso wird aufgezeigt, welche Technologie welchen maximalen Beitrag zur Versorgung der Strom- bzw. Wärmenachfrage in der Betrachtungsregion leisten kann und welcher maximale EE-Versorgungsgrad in etwa erreicht werden kann. Dies erleichtert die folgende politische und gesellschaftliche Diskussion, da

- ein grundlegendes Gefühl für die Bedeutung der verschiedenen Technologien und Maßnahmen gewonnen wurde sowie
- ein grundlegendes Gefühl für die Erreichbarkeit der EE-Ziele.

4.3.1. Methodisches Vorgehen für die Zuordnung

Die Zuordnung zu den Szenarien sollte möglichst systematisch erfolgen unter Beachtung der in dem Szenario dominierenden Ziel-Indikatoren. Allerdings ist zu beachten, dass bei Auswahl mehrerer Ziel-Indikatoren sich diese auch widersprechen können. Beispiele für eine eindeutige bzw. eine nicht eindeutige Zuordnung sind in der nachfolgenden Infobox aufgeführt. Letztlich muss individuell abgewogen werden, ggf. kann eine Priorisierung der Ziel-Indikatoren helfen.

Die im Projekt EnAHRgie erarbeiteten Zuordnungen werden beispielhaft für die Technologien „Photovoltaik Dach“ sowie für „Windkraft“ in Tab. 23 bzw. Tab. 24 gezeigt. Die Zuordnungen für alle weiteren Technologien und Effizienzmaßnahmen können hier eingesehen werden.

Eindeutige vs. Nicht eindeutiger Zuordnung

Eindeutig ist dies beispielsweise für die Gebäudedämmung in einem Szenario, welches einen möglichst minimalen Endenergieverbrauch und einen möglichst hohen EE-Anteil als Ziel-Indikator besitzt. Dort sollte sowohl die Ausprägung mit der höchsten Sanierungsrate als auch die Ausprägung für den ambitioniertesten Sanierungsstandard gewählt werden, da dadurch am stärksten die zu deckende Wärmenachfrage gesenkt wird.

Nicht eindeutig ist oftmals die Zuordnung, wenn in einem Szenario sowohl eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit für den Investor/Betreiber als auch eine möglichst hohe regionale Wertschöpfung angestrebt werden. Eine PV-Anlage sollte – unter den heutigen Rahmenbedingungen – idealerweise so ausgelegt werden, dass ein möglichst großer Anteil des erzeugten Stroms im Gebäude selbst verbraucht werden kann. Aufgrund dessen sind heute installierte PV-Anlagen im Schnitt kleiner als noch vor wenigen Jahren, als noch höhere EEG-Vergütungssätze für jede in das Netz eingespeiste kWh gezahlt worden sind. Kleinere Anlagen stellen somit das für den Betreiber wirtschaftliche Optimum dar. Zur Erreichung einer möglichst hohen regionalen Wertschöpfung wäre es jedoch besser sämtliche Dachfläche mit PV-Anlagen zu belegen. Je mehr Anlagen installiert werden und je größer diese sind, desto mehr Umsatz wird beispielsweise beim lokalen Handwerk erzielt, was einen Bestandteil des Ziel-Indikators regionale Wertschöpfung darstellt

Tab. 23: Zuordnung der Restriktionsausprägungen zu den Szenarien im Projekt EnAHRgie für die Stromerzeugungstechnologie „Photovoltaik Dach“

Szenario	Dimensionierung	Investitions-bereitschaft	Resultierendes Maximalpotenzial Strom-erzeugung
Referenz-Sz.	Eigenstrom-dimensionie-rung	Bisherige	24 GWh/a
Ziel-Sz. Nr. 1	Volle Ausnutzung Dachfläche	Hohe	296 GWh/a
Ziel-Sz. Nr. 2	Volle Ausnutzung Dachfläche	Hohe	296 GWh/a
Ziel-Sz. Nr. 3	Eigenstrom-dimensionie-rung	Hohe	116 GWh/a

Tab. 24: Zuordnung der Restriktionsausprägungen zu den Szenarien im Projekt EnAHRgie für die Stromerzeugungstechnologie „Windkraft““

Szenario	Risikobereitschaft Genehmigungen	Nutzung Waldflächen	Resultierendes Maximalpotenzial Strom-erzeugung
Referenz-Sz.	Keine	Nein	180 GWh/a
Ziel-Sz. Nr. 1	Geringe	Nein	180 GWh/a
Ziel-Sz. Nr. 2	Hohe	Ja	702 GWh/a
Ziel-Sz. Nr. 3	Mittlere	Ja	702 GWh/a

4.3.2. Bestimmung szenarienspezifische Maximalpotenziale als Handlungsrahmen für Ziel-Szenarien

Wie in der Kapiteleinleitung angesprochen, können die szenarienspezifisch, begrenzten Maximalpotenziale genutzt werden, um vor der endgültigen Ermittlung der vorgeschlagenen Technologieportfolien den möglichen Handlungsrahmen aufzuspannen. Aufgrund dessen wird in diesem Abschnitt am Beispiel des Landkreises Ahrweiler angesprochen, wie die Ergebnisse für die Einzeltechnologien zu diesem Zweck aufbereitet werden müssen.

Für den Stromsektor gelingt dies durch Aufaddieren aller Maximalpotenziale (vgl. Abb. 12), unabhängig von der Stromnachfrage, da überschüssiger Strom exportiert bzw. fehlender Strom importiert werden kann. Die durch Effizienzmaßnahmen reduzierbare Stromnachfrage ist unterhalb der x-Achse dargestellt.

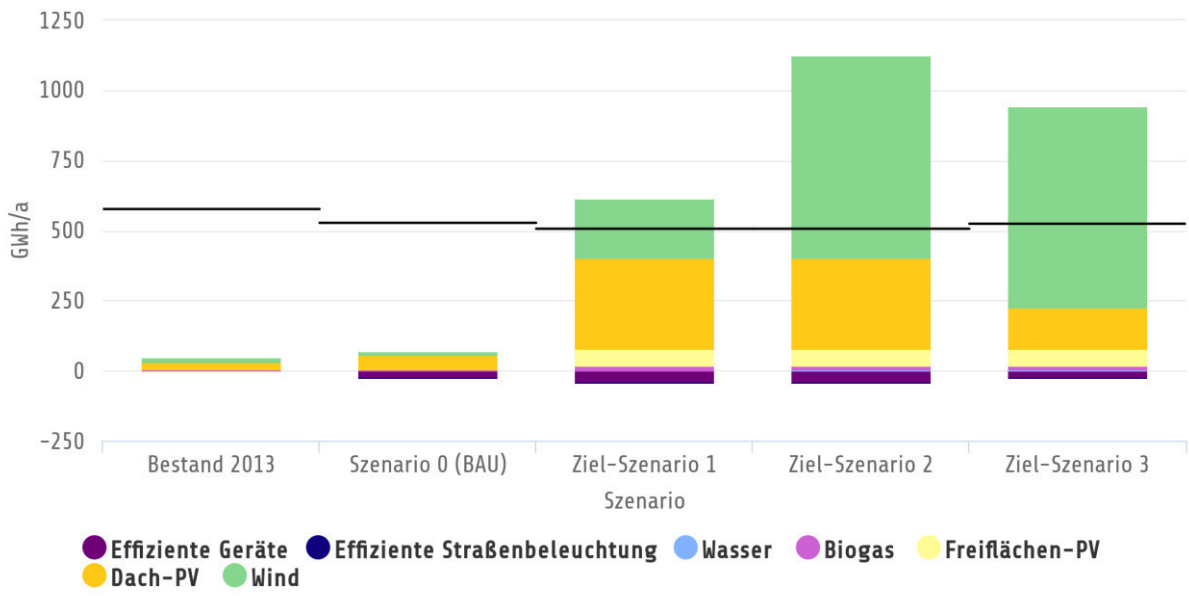


Abb. 12: Szenarienspezifische Maximalpotenziale für den Stromsektor

Für den Wärmesektor (vgl. Abb. 13) muss dagegen berücksichtigt werden, dass exakt so viel Wärme bereitgestellt wird, wie benötigt wird, da kein Ex-/Import möglich ist. Insofern hat es sich als zweckdienlich herausgestellt, Technologien zusammenzufassen, deren Anzahl nicht durch die Verfügbarkeit des Primärenergieträgers beschränkt ist (d. h. schraffierte Fläche = Wärmepumpen, dezentrale BHKW's sowie Erdgas- und Öl-Brennwertkessel). Die durch Gebäudedämmung reduzierbare Wärmenachfrage ist wiederum unterhalb der x-Achse dargestellt.

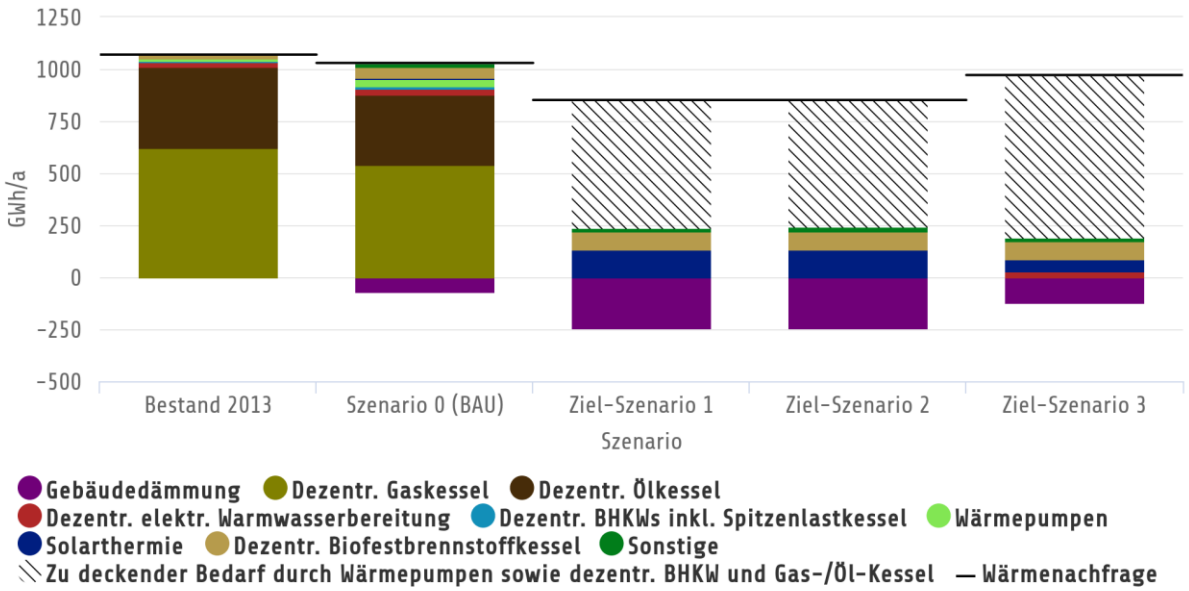


Abb. 13: Szenarienspezifische Maximalpotenziale für den Wärmesektor

| Kap. 5. Erstellung der Technologieportfolien für die Szenarien

Nach Durchlaufen der Stationen 1 bis 4 stehen alle Informationen zur Verfügung, die zur Erstellung der szenarienspezifischen Technologieportfolien benötigt werden. Es gilt nun, die Entscheidung zu treffen, wieviel des szenarienspezifisch, begrenzten Maximalpotenzials der einzelnen Technologien und Maßnahmen genutzt werden soll. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der Ziel-Indikatoren, die für das jeweilige Szenario festgelegt wurden (vgl. Abb. 2). Außerdem müssen zu diesem Zeitpunkt die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Technologien (sowohl im Hinblick auf die Potenziale als auch im Hinblick auf die sich ergebenden Ziel-Indikatoren bspw. resultierender EE-Versorgungsgrad) in die Entscheidung einbezogen werden.

Die Wechselwirkungen sind so komplex und unüberschaubar, dass eine Zusammenstellung des Technologieportfolios ohne softwarebasierte Planungshilfsmittel nicht zu empfehlen ist. Im Zuge des EnAHRgie-Projektes wurden daher zwei Planungshilfsmittel entwickelt:

- Ein statisches Simulationsmodell („BiBER“), welches auf Landkreisebene die Wechselwirkungen zwischen Effizienzmaßnahmen, Wärmeerzeugungs- und Stromerzeugungstechnologien für das Zieljahr bilanziert. Die Zusammenstellung der Portfolien mit allen Technologien und Maßnahmen erfolgt durch den Nutzer, wobei der Einfluss der Entscheidungen auf die resultierenden Ziel-Indikatoren jederzeit dargestellt wird.

  => vgl. Abschnitt 5.1 „BiBER-Modell“

- Ein multikriterielles Optimierungsmodell („MOPS“), welches auf Ortsgemeindeebene mit stündlicher Zeitauflösung das Technologieportfolio für den Stromsektor automatisiert zusammenstellt. Dadurch wird sichergestellt, dass tatsächlich der „beste Kompromiss“ zwischen den sich teilweise widersprechenden Ziel-Indikatoren gefunden wird. Die Entscheidungen im Hinblick auf die umzusetzenden Effizienzmaßnahmen und die auszubauenden Wärmeerzeugungstechnologien muss der Nutzer im Vorfeld selbständig treffen.

  => vgl. Abschnitt 5.2„MOPS-Modell“

Die Stärke des BiBER-Modells besteht darin, dass der Nutzer ein Gefühl für Größenordnungen und Wechselwirkungen entwickeln kann und auch außerhalb der vordefinierten Ziel-Szenarien Technologieportfolien zusammenstellen kann. Währenddessen liegt die Stärke des multikriteriellen Optimierungsmodells in der sehr detaillierten Betrachtung des Stromsektors (hohe zeitliche und räumliche Auflösung) sowie der automatisierten, mathematischen Berechnung des „besten Kompromisses“.

Idealerweise sollte daher zunächst das BiBER-Modell eingesetzt werden, um Effizienzmaßnahmen und Wärmeerzeugungstechnologien zusammenzustellen, um anschließend mit dem multikriteriellen Optimierungsmodell die Stromerzeugungstechnologien auszuwählen (vgl. Variante A in Abb. 14). Alternativ ist es jedoch auch möglich, das Bilanzierungstool für alle Maßnahmen und Technologien einzusetzen (vgl. Variante B in Abb. 14).

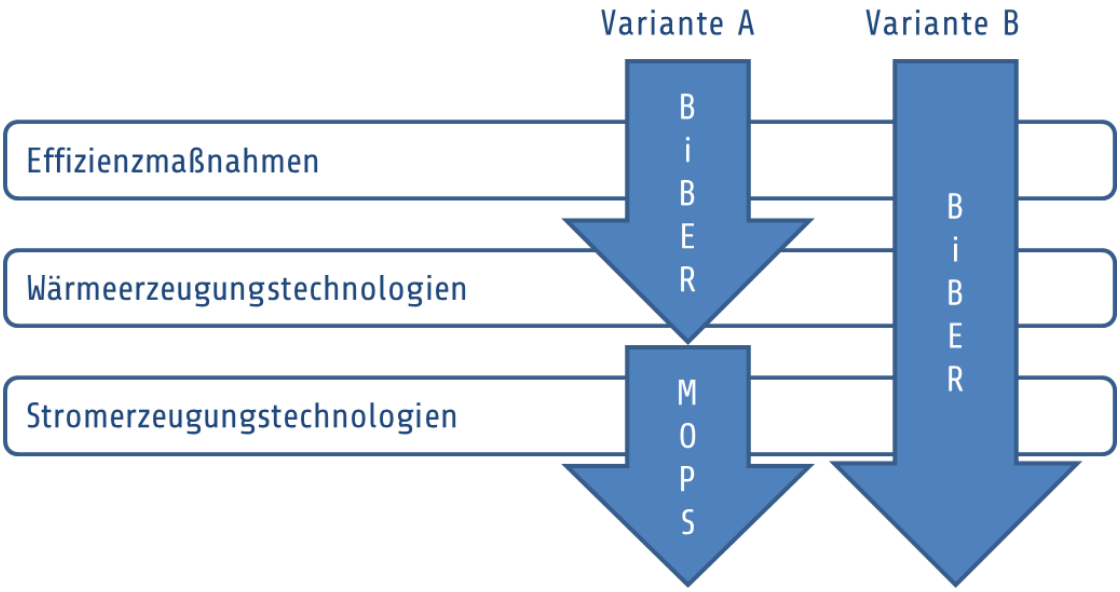


Abb. 14: Unterstützung durch Softwaretools bei Zusammenstellung Technologieportfolien

5.1. BiBER-Modell

BiBER steht für „**B**ilanzierung und **B**ewertung von **E**nergieversorgungskonzepten in **R**egionen“. Bilanzierung meint dabei das Zusammenstellen von Technologieportfolien unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den ausgewählten Effizienzmaßnahmen, Wärmeerzeugungs- und Stromerzeugungstechnologien. Bewertung meint die Berechnung von Ziel-Indikatoren für das zuvor zusammengestellte Technologieportfolio, bspw. die resultierenden Treibhausgasemissionen, den Endenergieverbrauch oder den lokalen Versorgungsgrad mit Erneuerbaren Energien.

Die Stärke des BiBER-Modells besteht darin, dass der Nutzer durch experimentelles Zusammenstellen verschiedener Technologieportfolien ein Gefühl für Größenordnungen, Wechselwirkungen und Auswirkungen entwickeln kann. Folgende beispielhafte Fragen können mit Hilfe von BiBER beantwortet werden:

- Kann ein EE-Versorgungsgrad von 100% im Strom- bzw. Wärmesektor erreicht werden, wenn…
  - … alle Technologien mit ihrem vollständigen Potenzial ausgebaut werden?
  - …ausschließlich auf Dach-PV und Effizienzmaßnahmen gesetzt wird?
  - …alle Technologien ausgebaut werden außer Wind?
  - …wenn kein Biomasseanbau auf Ackerflächen erfolgen soll?
- Sollten Dachflächen lieber für Solarthermie oder für Photovoltaik genutzt werden?
- Wie stark kann der Endenergieverbrauch in privaten Wohngebäuden reduziert werden? Welche Effizienzmaßnahme bzw. welche effiziente Versorgungstechnologie trägt dazu am meisten bei?
- Ist es für die regionale Wertschöpfung vorteilhafter, wenn Strom in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mitproduziert wird oder sollten lieber dezentrale Stromerzeugungsanlagen aufgestellt werden?
- u.v.m.

Dabei kann der Nutzer wahlweise ein vollständig individuelles Technologieportfolio zusammenstellen oder er wählt ein vordefiniertes Technologieportfolio als Ausgangsbasis, von dem aus Änderungen zu einzelnen Technologien vorgenommen werden können.

Das BiBER-Modell arbeitet aufgrund der Vielzahl an Technologien und Wechselwirkungen aggregiert auf Regionenebene (bspw. Landkreis). Die Verteilung der Potenziale auf untergeordnete Bilanzräume (bspw. Verbands- oder Ortsgemeinden) wird nicht vorgenommen. Ebenso handelt es sich um eine jahresbilanzielle Betrachtung, d. h. es werden Jahreswerte bilanziert. Es erfolgt keine zeitlich aufgelöste Betrachtung einzelner Tage oder Stunden. Infolgedessen ist es nicht möglich, Speichertechnologien zu bilanzieren. Dies muss anschließend separat erfolgen.

Im Folgenden wird der grundlegende Aufbau und Funktionsweise des BiBER-Modells vorgestellt. Es handelt sich explizit nicht um eine ausführliche Bedienungsanleitung. Soll das Modell angewandt werden, wird die Bedienungsanleitung mit diesem gemeinsam übergeben.

Aufbau des BiBER-Modells

Das BiBER-Modell ist mit Excel bzw. Excel-VBA umgesetzt. Hierzu wurde die zusätzliche Registerkarte „EnAHRgie“ in das Menüband von Excel eingefügt (vgl. Abb. 15). Auf der Registerkarte wurden Schaltflächen eingefügt, über die verschiedene Eingabefenster aufgerufen werden, mit denen das Modell bedient wird. Die Schaltflächen sind in die drei Gruppen „Landkreis Ahrweiler“ (bzw. „Region XY“ bei Übertragung in eine andere Region), „Energieerzeugung und Effizienzmaßnahmen“ sowie „Szenarien“ eingeteilt.

Abb. 15: Schaltflächenleiste im BiBER-Modell

Die Gruppe „Landkreis Ahrweiler“ enthält die Schaltfläche „business-as-usual“ sowie „Einstellungen“. Über „business-as-usual“ gelangt der Nutzer zu den Ergebnissen für das Referenz-Szenario, d. h. dem Energieversorgungsportfolio für die Region, wenn keine zusätzlichen Aktivitäten vorgenommen werden, sondern die bisherige Entwicklung fortgeschrieben wird. Ebenso kann nachvollzogen werden, welche Ausprägungen hierzu bei den einzelnen Restriktionen angenommen wurden. Die Schaltfläche „Einstellungen“ dient für die Veränderung der angenommenen Technologieparameter (bspw. Nutzungsgrade). Dies ist beispielsweise für Sensitivitätsanalysen nützlich oder kann bei der Übertragung auf andere Regionen genutzt werden, wenn der dortige Planer abweichende Technologiekennzahlen bevorzugt.

Über die Schaltflächen der Gruppe „Szenarien“ gelangt der Nutzer entsprechend zu den voreingestellten Restriktionsausprägungen und Ergebnissen für die drei vordefinierten Ziel-Szenarien. Neben der Information über die Voreinstellungen und Ergebnisse, kann der Nutzer ausgehend von den vordefinierten Ziel-Szenarien eigene Veränderungen an den dazugehörigen Technologieportfolien vornehmen. Einzelne Restriktionsausprägungen können variiert werden, um damit das zur Verfügung stehende szenarienspezifische Maximalpotenzial zu verändern. Alternativ kann auch bei gleichbleibendem szenarienspezifischen Maximalpotenzial per Schieberegler etwas mehr oder weniger davon für das vorgeschlagene Umsetzungspotenzial ausgewählt werden.

Die Schaltflächen der Gruppe „Energieerzeugung und Effizienzmaßnahmen“ dienen dagegen der komplett freien und individuellen Zusammenstellung von Technologieportfolien, ohne irgendeine Vorauswahl. Für jede Stromerzeugungstechnologie, zentrale und dezentrale Wärmeerzeugungstechnologie und jede Effizienzmaßnahme, können folgende Entscheidungen getroffen werden (vgl. Abb. 16):

- Soll ein Zubau der Technologie bzw. Umsetzung der Effizienzmaßnahme betrachtet werden?

- Falls ja: Auswahl der Ausprägungen für die verschiedenen Restriktionen ergibt szenarienspezifisches Maximalpotenzial für die betrachtete Technologie oder Maßnahme
- Einstellung des Schiebereglers, um festzulegen, wieviel nach eigener Präferenz von dem zuvor berechneten Maximalpotenzial als vorgeschlagenes Umsetzungspotenzial dem Technologieportfolio hinzugefügt werden soll

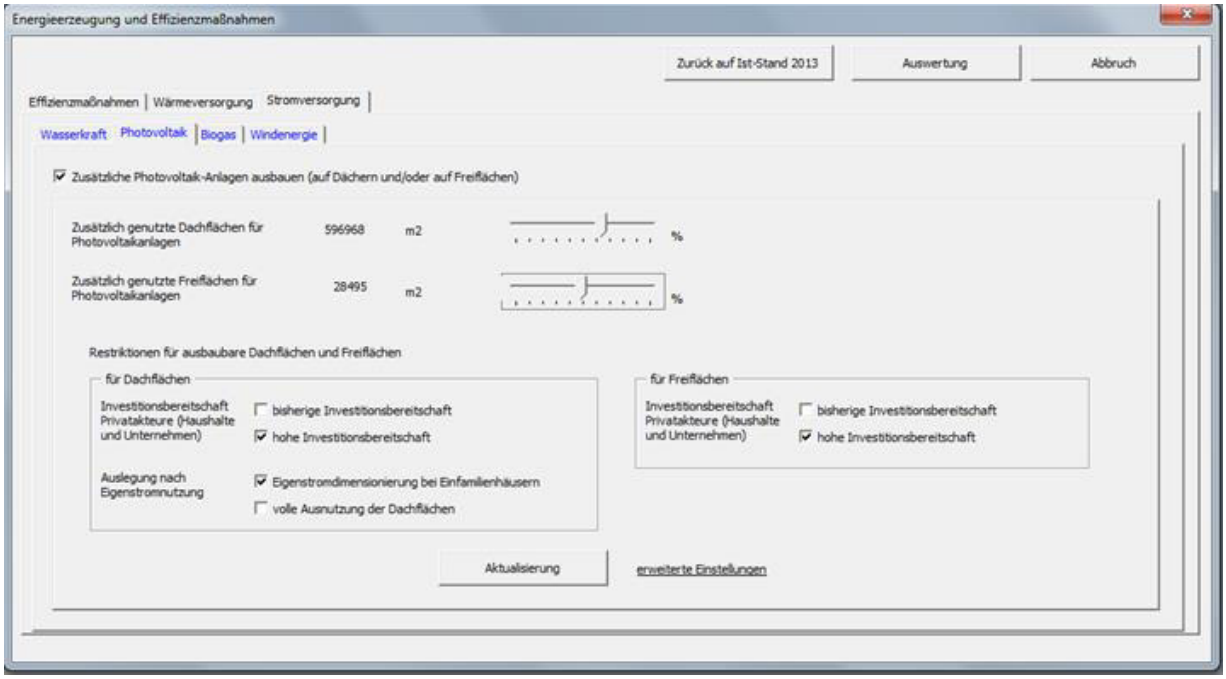


Abb. 16: Fenster in BiBER zur individuellen Zusammenstellung von Technologieportfolien, hier: Auswahlmöglichkeiten für Dach- und Freiflächen Photovoltaik

Zur Bewertung des auf diese Art ausgewählten bzw. selbst zusammengestellten Technologieportfolios gibt es verschiedene grafische und zahlenbasierte Auswertungsansichten. In Abb. 17 sind beispielhaft die Auswertungsgrafiken für den lokalen EE-Versorgungsgrad im Strom- bzw. Wärmesektor dargestellt. Weitere Auswertungsgrafiken bzw. Zahlenübersichten sind über die weiteren Buttons einblendbar, die im linken Bereich des Auswertungsfensters zu sehen sind.

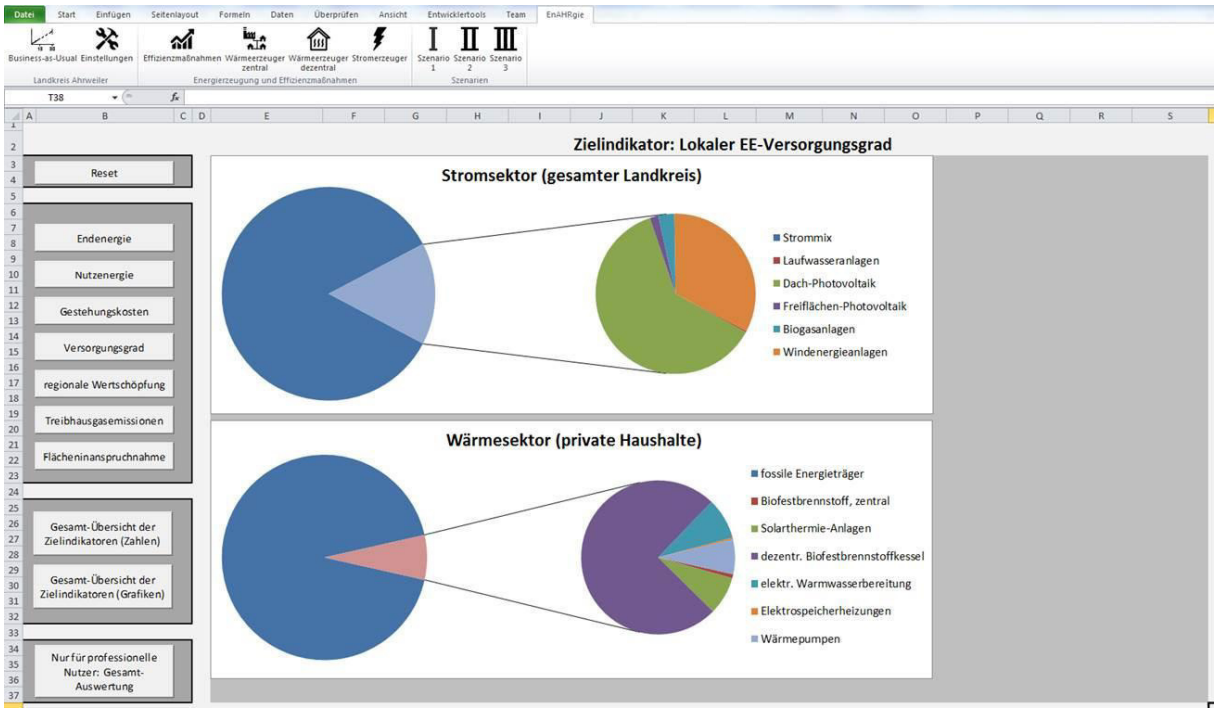


Abb. 17: Beispielhaftes Auswertefenster in BiBER, hier: lokaler EE-Versorgungsgrad für das Referenz-Szenario im Landkreis Ahrweiler

Grundlegende Funktionsweise der Bilanzierung im BiBER-Modells

Im BiBER-Modell folgt die Bilanzierung einer genau festgelegten Reihenfolge (vgl. Abb. 18).

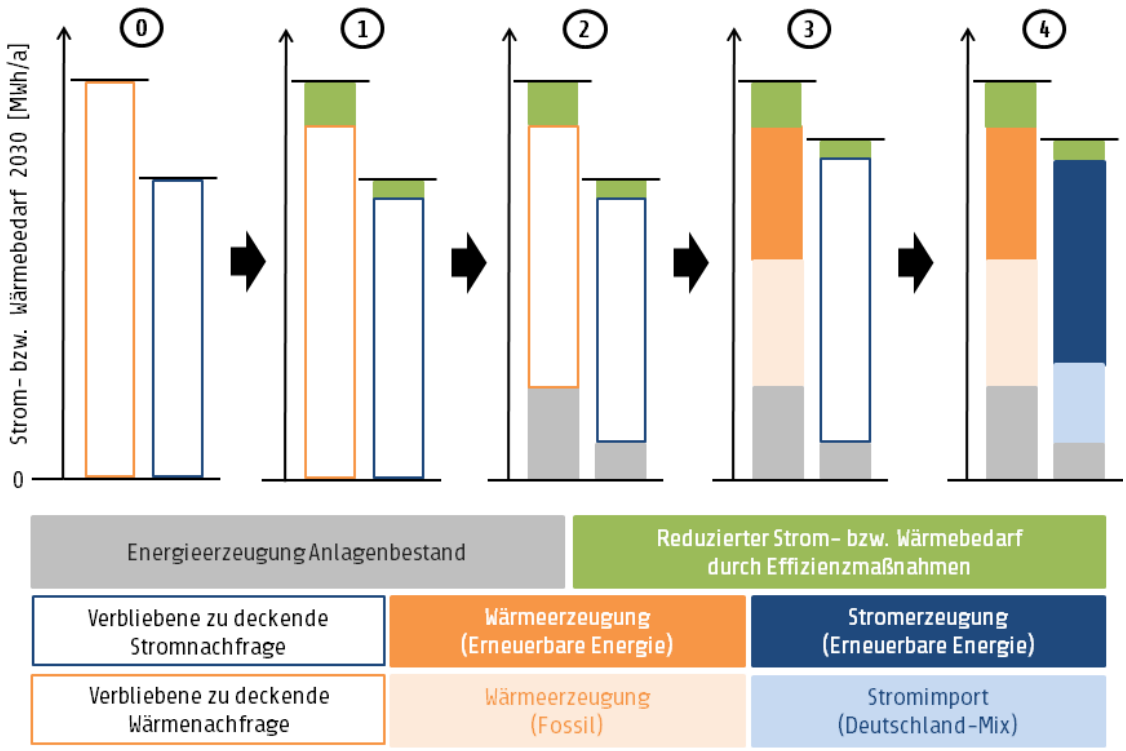


Abb. 18: Festgelegte Bilanzierungsreihenfolge im BiBER-Modell: 1. Anwendung Effizienzmaßnahmen, 2. Energieerzeugung Anlagenbestand, 3. Wärmeerzeugung, 4. Stromerzeugung und -import

Diese sollte aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Technologien und Maßnahmen auch nicht verändert werden.

Als Erstes erfolgt die Bilanzierung inwiefern die Strom- bzw. Wärmenachfrage durch Effizienzmaßnahmen gesenkt werden kann. Als Zweites wird ermittelt, wieviel der Strom- bzw. Wärmenachfrage bereits durch den Anlagenbestand gedeckt werden kann. Als Drittes werden so viele Wärmeerzeugungsanlagen zugebaut (auf Basis erneuerbarer oder fossiler Energieträger) bis die verbliebene Wärmenachfrage gedeckt ist. Je nachdem welche Wärmeerzeugungstechnologien ausgewählt wurden, verändert sich die Stromnachfrage. In dem Beispiel in Abb. 18 wurde angenommen, dass viele Wärmepumpen eingesetzt werden, wodurch sich die Stromnachfrage erhöht. Im vierten Schritt wird schließlich entschieden, wie viele Stromerzeugungsanlagen (auf Basis Erneuerbarer Energien) zugebaut werden sollen. Die danach noch verbleibende Stromnachfrage muss schließlich aus anderen Regionen importiert werden.

5.2. MOPS-Modell

Entscheidungsprobleme bei der Entwicklung lokaler Energiesysteme, so wie es im Forschungsprojekt EnAHRgie erforscht wurde, sind charakterisiert durch widersprüchliche Zielstellungen, dargestellt durch die zuvor beschriebenen Ziel-Indikatoren. Die Herausforderung bei der Entwicklung von repräsentativen Technologieportfolien einzelner Entwicklungsszenarien besteht darin, die Komplexität der grundlegenden Zusammenhänge verfügbarer Technologieoptionen hinsichtlich der Ziel-Indikatoren für den Entscheidungsträger transparent und verständlich darzustellen. Populationsbasierte Verfahren der Mehrzieloptimierung können helfen, die Komplexität der Entscheidung in einer Form aufzubereiten, die es dem Entscheidungsträger ermöglicht, die bestmögliche Entscheidung auf der Basis seiner subjektiven Präferenzen zu treffen.

Das im Rahmen des Projektes entwickelte **M**ultikriterielle **O**ptimierungsmodell zur Ermittlung effizienter **P**ortfolien der **S**tromerzeugung **MOPS** stellt einen Lösungsansatz für die beschriebene Problemstellung dar, mehrere Bewertungsdimensionen im Entscheidungsprozess für die Identifikation geeigneter Technologieportfolien simultan zu berücksichtigen. Dabei werden die Wirkungszusammenhänge zur Verfügung stehender Technologien mit den ausgewählten Ziel-Indikatoren berücksichtigt.

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Bedeutung der Mehrzieloptimierung für Entscheidungen im Rahmen der Energiesystementwicklung diskutiert und die Anwendung für den Landkreis Ahrweiler demonstriert.

<u>Mehrzieloptimierung</u>

Klassische Ansätze der Energiesystemoptimierung konzentrieren sich häufig ausschließlich auf die Minimierung der Systemkosten (volks- oder betriebswirtschaftlich). Zusätzliche Anforderungen an das System (Akzeptanz, Flächennutzungskonkurrenzen, Treibhausgasreduktion, u. a.) werden dabei häufig nicht mitbetrachtet, gelegentlich als Nebenbedingungen berücksichtigt oder sie fließen über eine monetäre Bewertung mit einer Gewichtung in den Gesamtnutzen ein. Bei der Gestaltung und Bewertung des komplexen Transformationsprozesses eines regionalen Energiesystems hat eine Verdichtung der Zielgrößen auf ökonomische Kennzahlen bzw. über Gewichtungsfaktoren auf einen einzigen Gesamtindikator einige Nachteile. Zunächst benötigen Entscheidungsträger explizites Vorwissen und ein detailliertes Verständnis der Bewertungsgrößen, um passende Randbedingungen wie etwa Gewichtungsfaktoren festzulegen. Außerdem führt die Aggregation mehrerer Ziele zu einem einzigen Indikator zu Informationsverlust und kann darüber hinaus zu nachteiligen Entscheidungsverzerrungen führen, weil verschiedene Aspekte bei der Bewertung in einer Art und Weise bevorzugt oder benachteiligt behandelt werden, die nicht vorhergesehen werden kann.

Grundlegende Herausforderung bei der Berücksichtigung mehrerer Ziele besteht in der Existenz des Zielkonflikts, in dem keine der zulässigen Lösungen alle Zielstellungen vollständig erfüllen kann, da diese

zumindest teilweise widersprüchlich sind. Beispielsweise kann das Ziel einer signifikanten Treibhausgasreduktion nicht ohne eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme erreicht werden.

Aufgrund der beschriebenen Zielkonflikte und dem Vorteil auf eine Aggregation der Ziel-Indikatoren zu verzichten gibt es keine Lösung, die als optimal bezüglich aller Ziele angesehen werden kann. Die vollständige Lösung eines solchen Mehrzielproblems besteht aus einer Menge an Lösungen (sog. Pareto-Menge), die den optimalen Kompromiss zwischen allen berücksichtigten Zielstellungen beschreibt. Die Pareto-Menge bietet ein Gesamtbild über alle möglichen optimalen Handlungsoptionen im Spannungsfeld der Zielkonflikte. Jedes Element dieser Menge (Technologieportfolio) stellt aus mathematischer Sicht eine gleichwertige, optimale Alternative für das Planungsproblem dar. Es ist jedoch in der Regel wünschenswert, eine einzige Lösung (ein einziges repräsentatives Technologieportfolio) auszuwählen, die das zugrundeliegende Szenario geeignet repräsentiert. Die Ergebnismenge ermöglicht im Nachhinein informierte Entscheidungen auf der Basis von subjektiven Präferenzen.

Anwendung einer Mehrzieloptimierung bei der Entwicklung regionaler Energiekonzepte

Bei der Gestaltung von Entwicklungsstrategien des regionalen Energiesystems handelt es sich um einen komplexen Entscheidungsprozess. Aufgrund der zuvor skizzierten Vorteile der Mehrzieloptimierung zur Unterstützung derartig komplexer Entscheidungsprozesse wurde im Rahmen von EnAHRgie das multikriterielle Optimierungsmodell MOPS entwickelt. Dieses fokussiert auf die Bestimmung effizienter Technologieportfolien für den Stromsektor.

Das MOPS-Modell ermöglicht die automatisierte Erstellung optimaler Technologieportfolien, die den bestmöglichen Kompromiss mehrerer simultan verfolgter Ziel-Indikatoren darstellen. Dabei werden alle möglichen Technologiekombinationen des Handlungsspielraums (Technologiepotenziale) anhand der Ziel-Indikatoren (bspw. THG-Emissionen, Flächeninanspruchnahme, Gestehungskosten, EE-Versorgungsgrad, etc.) bewertet und schließlich alle Portfolien gespeichert, in denen durch eine Variation der Technologieauswahl keine Verbesserung in der Bewertung der Ziel-Indikatoren mehr möglich ist.

Die Granularität des Modells bezüglich der geographischen sowie zeitlichen Auflösung ist abhängig von der Detailtiefe der zur Verfügung stehenden Datengrundlage in der Betrachtungsregion (bspw. Landkreis). Das MOPS-Modell erlaubt die Verwendung gemeindescharfer Verbrauchsinformationen und Technologiepotenziale. Außerdem werden Lastprofile und Wettercharakteristiken in stündlicher Auflösung für die Abbildung des zeitabhängigen Verhaltens der Last und Einspeisung verwendet. Eine höhere Auflösung (bspw. viertelstündlich) ist prinzipiell ebenfalls möglich.

Ablauf des MOPS-Modells

Der Ablauf des MOPS-Modells ist in Abb. 19 dargestellt und wird im nachfolgenden Abschnitt beschrieben. Als Eingangsdaten erhält das MOPS-Modell

- den im Vorfeld bestimmten elektrischen Endenergiebedarf des Zieljahres unter Berücksichtigung der angenommenen Effizienzmaßnahmen,
- zusätzlicher elektrischer Lasten aus dem Wärmesektor sowie
- zusätzlicher elektrischer Lasten durch Elektrofahrzeuge.

Außerdem ergibt sich aus dem im Vorfeld erstellten Wärmeportfolio die damit einhergehende Anzahl eingesetzter KWK-Anlagen, wodurch sich weiterführend eine entsprechende KWK-Stromerzeugung berechnen lässt.

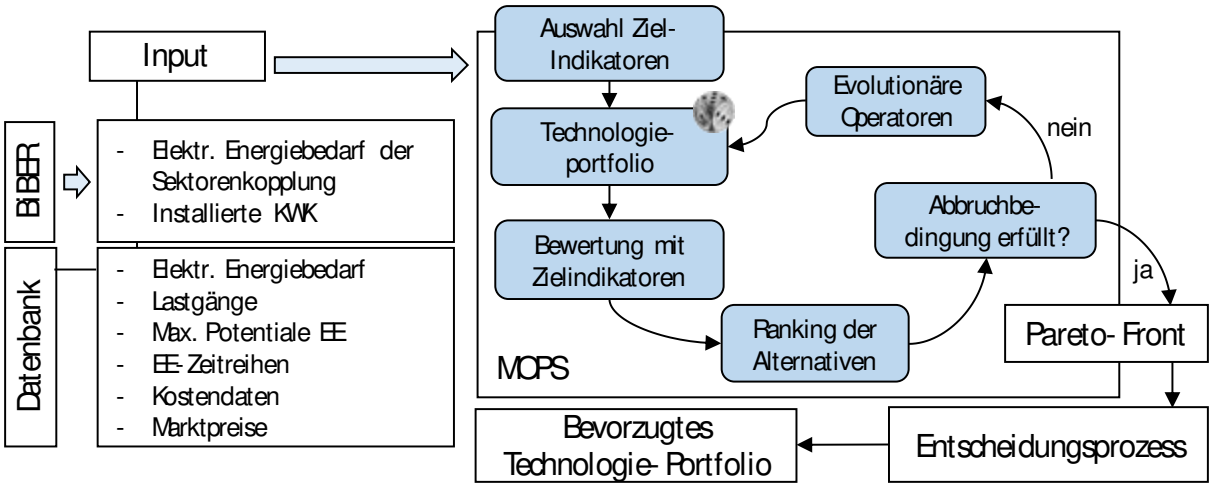


Abb. 19: Ablauf des MOPS-Modells

Das Potenzial der im betrachteten Szenario je Gemeinde zur Verfügung stehenden Stromerzeugungstechnologien ergibt sich aus der Auswahl der frei-wählbaren Restriktionen (vgl. Abschnitt 3.2). Die daraus resultierenden Technologiepotenziale (installierbare Leistung bzw. maximale Anlagenzahl) stellen den Handlungsspielraum innerhalb des Szenarios dar. Für die Berechnung der Indikatoren kommen Zeitreihen zur Anwendung, in denen Last und Erzeugung in stündlicher Auflösung simuliert werden. Die ermöglicht bspw. neben der Betrachtung des bilanziellen EE-Versorgungsgrades auch die Bewertung der zeitgerechten Autarkie der Betrachtungsregion. Die erforderlichen Wetterdaten für die Simulation der Einspeisung aus Wind- und PV-Anlagen liegen gemeindescharf vor. Für die Simulation der Lastgänge werden sektorenspezifische Standardlastprofile (SLP) verwendet und entsprechend des Strombedarfs skaliert.

Das Entscheidungsproblem bzgl. der Zusammenstellung eines Technologieportfolios ergibt sich durch die Definition der Ziel-Indikatoren eines Szenarios und den dadurch entstehenden Zielkonflikt. Das Entscheidungsproblem in Ziel-Szenario 1 des Bundesforschungsprojekts EnAHRgie wird bspw. durch den Zielkonflikt dreier Zielstellungen charakterisiert. In diesem Szenario sollen gleichzeitig eine Maximierung des zeitgerechten Versorgungsgrades sowie eine Minimierung der Treibhausgasemissionen als auch der Flächeninanspruchnahme erreicht werden.

Die Optimierung wird mit einem multikriteriellen evolutionären Algorithmus durchgeführt, der für die Anforderungen des regionalen Technologie-Planungsproblems angepasst wurde (vgl. von Haebler et al., 2017[17]). Evolutionäre Algorithmen sind populationsbasierte metaheuristische Optimierungsverfahren, die auf den Prinzipien der Evolutionstheorie natürlicher Lebewesen basieren (Selektion, Rekombination, Mutation). Als Entscheidungsvariablen stehen dem Optimierer die maximale Anlagenzahl bzw. installierbare Leistung der Technologieoptionen zur Verfügung. Im ersten Schritt des Optimierungsablaufs wird aus den zur Verfügung stehenden Technologien zufällig eine definierte Anzahl von Portfolien zusammengestellt, anhand der Ziel-Indikatoren bewertet und miteinander verglichen. Die besten Lösungen werden in die nächste „Generation“ übernommen. Außerdem wird unter Anwendung der evolutionstheoretischen Prinzipien ein weiterer Teil der Lösungsmenge verändert und kombiniert und so in die nächste Generation übernommen. Im Optimierungsverlauf konvergiert die Lösungsmenge gegen die Paretofront, die schließlich alle mathematisch gleichwertigen, optimalen Lösungen im Spannungsfeld der Ziel-Indikatoren dar-

[17] von Haebler, J et al.: “Modelling of efficient distributed generation porfolios using a multiobjective optimization approach”, 2017 IEEE Manchester PowerTech, Manchester, 2017

stellt. Abb. 20 zeigt beispielhaft das Optimierungsergebnis für Szenario 1 des Forschungsprojektes EnAHRgie. Das Ergebnis macht den Entscheidungskonflikt zwischen den berücksichtigten Auslegungszielen deutlich.

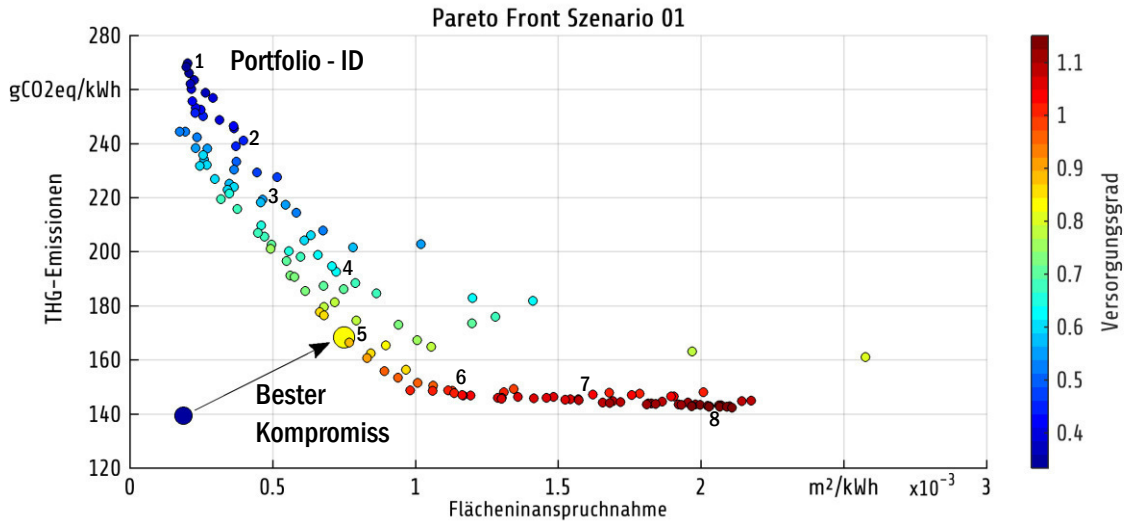


Abb. 20: Beispielhafte Pareto-Front für Szenario 1 aus EnAHRgie

Ein hoher EE-Versorgungsgrad sowie eine signifikante Reduktion der THG-Emissionen können nur durch eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme erreicht werden. In Abb. 21 ist der Ausbaugrad der verfügbaren Technologien für acht ausgewählte Portfolien dargestellt. Neben der Bewertungsebene (Ziel-Indikatoren in Abb. 20) verdeutlicht die Ebene der Entscheidungsvariablen (Technologien) in Abb. 21, dass bezogen auf die Ziel-Indikatoren kein eindeutiges Ranking der verfügbaren Technologie-Kombinationen zur Erreichung aller Ziele ableitbar ist. Entlang des Ziel-Indikators der THG-Emissionen (Abb. 20) wird ersichtlich, dass durch einen stetigen Ausbau Erneuerbarer Energien ein besserer Wert erzielt werden kann. Ab einem bestimmten Ausbaugrad geschieht ein zusätzlicher Gewinn der THG-Emissionen verstärkt auf Kosten der Flächeninanspruchnahme und umgekehrt. An diesem Wendepunkt ist das Portfolio mit dem besten Kompromiss dargestellt. Die Betrachtung beider Darstellungsebenen verdeutlicht die Komplexität des Problems einer optimalen Entwicklung des Energiesystems der Betrachtungsregion.

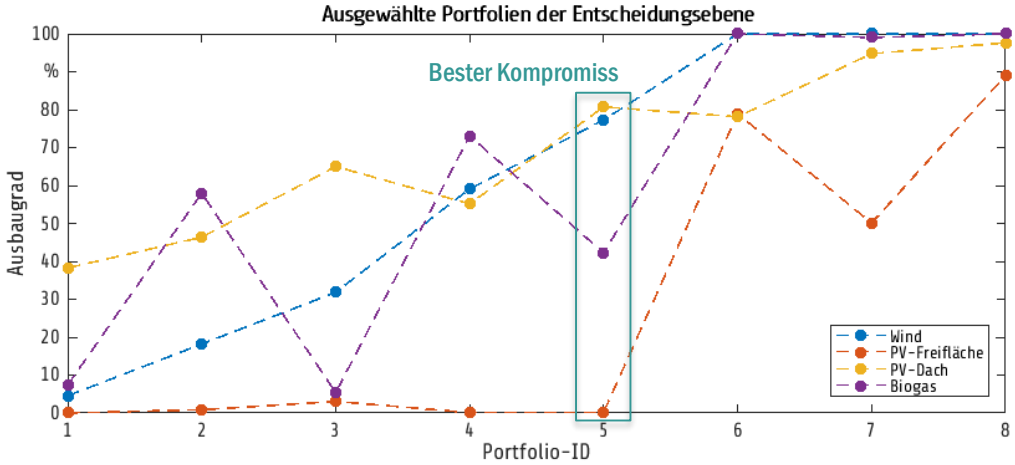


Abb. 21: Ausbaugrad ausgewählter Portfolien der Entscheidungsebene

Durch eine Mehrzieloptimierung können Entscheidungsträger unterstützt werden, grundsätzliche Problemzusammenhänge zu verstehen, um darauf aufbauend im Anschluss eine subjektive Bewertung durchzuführen. Liegen die Präferenzen des Entscheidungsträgers eher auf einem höheren Versorgungsgrad oder einer verstärkten Reduktion der THG-Emissionen würde ein Portfolio weiter rechts auf der Paretofront ausgewählt (Portfolien 5-8). Liegt der Fokus eher auf der Minimierung der Flächeninanspruchnahme befindet sich das präferierte Portfolio im linken Bereich der Paretofront (Portfolien 1-5).

Für die Auswahl eines repräsentativen Technologieportfolios können verschiedene Entscheidungsmethoden angewendet werden. Eine Möglichkeit besteht bspw. darin, die einzelnen Ziel-Indikatoren entsprechend ihrer Wichtigkeit zu gewichten und dann daraus das Technologieportfolio zu ermitteln, welches dieser Gewichtung am ehesten entspricht. Darüber hinaus gibt es viele weitere Methoden, die für den finalen Auswahlprozess angewendet werden können, um einen bestmöglichen Kompromiss zu erzielen, der die Präferenzen aller Stakeholder geeignet berücksichtigt. Auf diese wird an dieser Stelle nicht weitergehend eingegangen. Liegen seitens der Entscheidungsträger keine unterschiedlichen Präferenzen gegenüber den verwendeten Ziel-Indikatoren vor, kann das sog. Globale Kriterium angewendet werden. Das Globale Kriterium identifiziert die Lösung, die dem theoretischen Optimum des Planungsproblems (gleichzeitiges Erreichen aller individuellen Optima) am nächsten ist und damit den besten Kompromiss für die Erreichung der Ziel-Indikatoren darstellt. Im Rahmen des Forschungsprojektes EnAHRgie wurde dieses Kriterium angewendet, um als besten Kompromiss ein repräsentatives Technologieportfolio eines Szenarios zu identifizieren.

| Kap. 6. Bewertung der Technologieportfolien

6.1. Ziele und Anwendungsfelder der (Nachhaltigkeits-)Bewertung

6.1.1. Definition Nachhaltigkeit als Rahmenvorgabe der Bewertung

Die Bewertung von Technologieportfolien und letztlich Szenarien zum Ausbau Erneuerbarer Energien und zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen zielt darauf ab, die Nachhaltigkeit im Zuge der regionalen Energiewende zu maximieren. In der politischen und wissenschaftlichen Diskussion ist in der Regel dann von Nachhaltigkeit die Rede, wenn es um eine Entwicklung geht, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen (vgl. Hauff u. a., 1987, S. 24)[18].

Abb. 22: Dimensionen und Strategien der Nachhaltigkeit (Siebenhüner 2001)[19]

Grundprinzip einer nachhaltigen Entwicklung auf lokaler, regionaler oder (über-)staatlicher Ebene ist es, Herausforderungen der **Ökologie** (z. B. Umweltschutz), **soziale Fragen** (z. B. Gerechtigkeit) und **ökonomische Aspekte** (z. B. wirtschaftlicher Aufschwung und Wohlstand) als ganzheitlichen Zusammenhang zu verstehen und politische und gesellschaftliche Entscheidungen an ihrer Tragfähigkeit für die Zukunft auszurichten. Zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung können folgende strategische Ansätze verfolgt werden:

Effizienz: Im Rahmen von technischen Innovationen oder produktiven Arbeitsweisen soll das gleiche oder ein besseres Ergebnis beim Einsatz weniger Ressourcen erreicht werden. Im Bereich der Energieversorgung geht es um die Gewinnung einer kWh bei geringerem Einsatz an Energieressourcen, womit ein Beitrag zum Ressourcen- und Umweltschutz geleistet wird.

Konsistenz: Naturverträgliche Gestaltung von Systemen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft. Im Mittelpunkt steht die Vereinbarkeit von Natur und Technik – natürliche Ökosysteme sollen durch ökonomische Prozesse nicht gestört, sondern in einer Symbiose gestärkt werden. Hierzu erfolgen die höchstmögliche

---

[18] Hauff, V. (Hrg.) (1987). Unsere gemeinsame Zukunft, Der Brundtlandbericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Eggenkamp Verlag, Greven

[19] Siebenhüner, B. (2001) Homo sustinens. Auf dem Weg zu einem Menschenbild der Nachhaltigkeit. Ökologie und Wirtschaftsforschung, Band 42, Metropolis, Marburg

Reduktion von Schadstoffen und die Einbindung natürlicher Stoffströme, Systeme sollen ganz ohne Abfälle auskommen, indem diese als Ressourcen verstanden und genutzt werden. Ein bereits sehr erfolgreiches Beispiel im Rahmen der Konsistenz ist der Einsatz Erneuerbarer Energien.

Suffizienz: Anders als bei der Effizienz und Konsistenz wird die Suffizienz nicht durch technische Anpassungen erreicht, sondern erfordert eine gewisse Anpassung von Verhaltensweisen. Im Vordergrund steht die Ermöglichung eines guten Lebens für alle unter der Berücksichtigung eines intelligenten Umgangs mit natürlichen Vorkommen. Es geht um einen klugen Lebensstil, der es ermöglicht alles zu konsumieren, jedoch in einem Ausmaß, das auch künftigen Generationen diesen Lebensstil erlaubt. Am Beispiel des Fleischkonsums lässt sich Suffizienz gut erklären: Es erfordert keinen kompletten Fleischverzicht, jedoch einen bewussten Umgang, um den Konsum zu reduzieren und einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.

6.1.2. Aussagekraft und Grenzen der Bewertung

Ein Bewertungsmechanismus dient als Instrument der Entscheidungshilfe. Anhand von Indikatoren, welche sich aus den Dimensionen der Nachhaltigkeit ableiten, wird eine Bewertung ermöglicht. Dabei soll unter den bewerteten Technologieportfolios ermittelt werden, welches unter nachhaltigen Gesichtspunkten das bessere Portfolio darstellt. Hierbei ist es kaum möglich zu bestimmen, wann ein Prozess (ausgedrückt durch einen Indikator) noch nachhaltig ist und wann nicht. Bspw. muss im Rahmen der Grundlagenforschung ermittelt werden, welche Mengen bestimmter Schadstoffe ein Ökosystem verträgt, ohne einen erheblichen Schaden davonzutragen. Ebenso kann nur unter erheblichen Aufwand bestimmt werden, bis zu welchem Ausmaß eine monetärere Optimierung erfolgen kann ohne auf die Verteilung der Kosten und Nutzen zu berücksichtigen, bis negativ betroffene Bevölkerungsgruppen einen sozialbedingten Aufstand in Gang setzen. Von einer solchen Bewertung wird an dieser Stelle abgesehen. Der Anspruch der (Nachhaltigkeits-)Bewertung im Rahmen des Projektes EnAHRgie fokussiert auf die Feststellung des besseren Portfolios. Es wird nicht der Anspruch darauf erhoben, eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung durchzuführen.

6.2. Bestimmung von Nachhaltigkeitsindikatoren

6.2.1. Methodisches Vorgehen

Um Szenarien im Hinblick auf ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung relativ zueinander bewerten zu können, benötigt man Indikatoren, die Aussagen zu Auswirkungen in entsprechend relevanten Bereichen treffen, an denen man sie vergleichen kann. Diese lassen sich ableiten, indem von den drei Nachhaltigkeits-Dimensionen ausgehend zunächst relevante Kriterien und Ziele bestimmt werden, zu denen dann im nächsten Schritt geeignete Indikatoren zugeordnet werden können. Im letzten Schritt werden die Indikatoren für jedes Szenario berechnet. Die Ergebnisse können dann einzeln verglichen werden. Durch die individuelle Gewichtung der Indikatoren und damit der verschiedenen Auswirkungen der Szenarien kann schließlich das bevorzugte Szenario identifiziert werden. Eine solche relative Bewertung trifft keine absoluten Aussagen über die Nachhaltigkeit der einzelnen Szenarien, sondern kann maximal dazu führen das am ehesten "nachhaltige" Szenario identifizieren zu werden. Ist ein Szenario in allen Indikatoren außer einem besser als das andere, und in diesem schlechter, so kann strenggenommen keine Aussage darüber getroffen werden welches im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung vorzuziehen ist. Gerade der eine Indikator kann bei dem ansonsten besser bewerteten Szenario einen kritischen Wert einnehmen, der dazu führt, dass es gerade deswegen unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit nicht akzeptabel ist.

Im Folgenden wird das Indikatoren-Set dargestellt, das im Rahmen des Projekts entwickelt wurde und auch zur Bewertung anderer Szenarien herangezogen werden kann. Zusätzlich sind die Grundzüge der

Indikatoren und ihrer Berechnung erläutert, die als Startpunkt für eigene Analysen anderer Szenarien genutzt werden können.

Das im Projekt entwickelte Indikatoren-Set basiert unter anderem auf Herangehensweisen und Ergebnissen der folgenden Projekte, die auch als Referenz mit detaillierteren Informationen für die einzelnen Indikatoren dienen können (Projektbeschreibung unter www.ea-aw.de):

- Null-Emissions-Gemeinden (www.null-emissions-gemeinden.de), IfaS,
- Monitor Nachhaltige Kommune (www.monitor-nachhaltige-kommune.de), Difu in Zusammenarbeit mit der Bertelsmann Stiftung
- Energiespeicher und Virtuelle Kraftwerke für die Integration Erneuerbarer Energien in die Stromversorgung. Potenziale / Innovationshemmnisse und Umsetzungsstrategien & Brennstoffzellen und virtuelle Kraftwerke als Elemente einer nachhaltigen Entwicklung. Innovationsbarrieren und Umsetzungsstrategien, EA European Academy (Droste-Franke et al., 2009[20]; Droste-Franke et al., 2012[21])

6.2.2. Kriterien und spezifische Ziele

Dimension Ökonomie: In der Dimension Ökonomie wurde als ein Kriterium für die Bestimmung von Indikatoren die *Wirtschaftsleistung* definiert, welche es zum Ziel hat, die regionale Entwicklung durch die Erhöhung von Wertschöpfungseffekten wie Investitionen, Einkommen, Zinsen oder Steuereinnahmen zu fördern. Mit den Zielen einer kosteneffizienten und damit wettbewerbsfähigen Energieversorgung sowie der Reduzierung eines technischen und damit ökonomischen Ausfallrisikos, das mit einer Diversität eines dezentral ausgerichteten Energiesystems einhergeht, wurde das Kriterium *Kosten* definiert. Als weiteres Kriterium der Ökonomie wurde die *Flächennutzung* bestimmt. Ziel hierbei ist es, die zur Verfügung stehende Fläche effektiv zu nutzen, um damit einen nach Möglichkeit geringen Flächenverbrauch in Anspruch zu nehmen.

Dimension Ökologie: Im Rahmen der ökologischen Dimension steht der *Umweltschutz* als Kriterium im Vordergrund. Hierbei werden als Ziele die Reduktion von Treibhausgasemissionen, die Bestrebung eines hohen Energie-Eigenversorgungsgrades, die Verringerung umweltschädlicher Schadstoffausstöße und eine effiziente Flächennutzung verfolgt. Mit dem Ziel der umweltbewussten Umstellung des Energieverbrauchs definiert sich das weitere Kriterium *Energieeffizienz*.

Dimension Soziales: Unter der sozialen Dimension werden vier Kriterien mit vier Zielen bestimmt. Unter dem Kriterium *Beschäftigung* soll als Ziel der Indikatoren die Generierung von Arbeitsplatzeffekten gesteigert werden. In Anknüpfung an die ökonomische Zielstellung der Förderung regionaler Wertschöpfungseffekte soll als Ziel sichergestellt werden, dass die Verteilung der Wertschöpfung gerecht erfolgt. Entsprechend ist das Kriterium *Verteilungsungleichheit* aufgenommen. Einhergehend mit Gerechtigkeit ist das Kriterium *Energieungleichheit* Bestandteil der Bewertung. Ziel hierbei ist es, für einen gerechten

[20] Droste-Franke, B.; H. Berg; A. Kötter; J. Krüger; K. Mause; J.-C. Pielow; I. Romey; T. Ziesemer.: Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke. Energie-, umwelt- und technologiepolitische Aspekte einer effizienten Hausenergieversorgung. Ethics of Science and Technology Assessment, Band 36, Springer Verlag, Berlin

[21] Droste-Franke, B.; B. P. Paal; C. Rehtanz; D. U. Sauer; J.-P. Schneider; M. Schreurs; T. Ziesemer.: Balancing Renewable Electricity. Energy Storage, Demand Side Management and Network Extension from an Interdisciplinary Perspective. Ethics of Science and Technology Assessment, Band 40, Springer Verlag, Berlin

und preiswerten Zugang zu Energie zu sorgen. Das weitere Kriterium der sozialen Dimension ist die Autonomie, welches zum Ziel hat, die Mitbestimmung und Teilhabe in der Region zu erhöhen.

Tab. 25: Dimensionen, Kriterien und Indikatoren zur Nachhaltigkeitsbewertung

Dimensionen	Kriterien	Ziele
Ökonomie	Wirtschaftsleistung	Förderung regionaler Wertschöpfungseffekte
	Kosten	Kosteneffizienz
		Reduziertes Ausfallrisiko durch erhöhte Diversität
	Flächennutzung	Effektive Flächennutzung
Ökologie	Umweltschutz	Reduktion der Treibhausgasemissionen
		Hoher bilanzieller, lokaler EE-Versorgungsgrad
		Hoher zeitgerechter, lokaler EE-Versorgungsgrad (Autarkie)
		Verringerung von Umweltbelastungen durch Umweltschadstoffe
		Effiziente Flächennutzung
	Energieeffizienz	Umweltbewusste Umstellung des Energieverbrauchs
Soziales	Beschäftigung	Schaffung von Arbeitsplätzen
	Verteilungsungleichheit	Sicherung einer gerechten Verteilung regionaler Wertschöpfungseffekte

6.2.3. Nachhaltigkeitsindikatoren Ökonomie

Direkte regionale Wertschöpfung: Bestimmung von Gewinnen, Einkommen und Steuern als zusätzliche Kaufkraft im Betrachtungsraum, welche mit Investitionen und dem Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen und der Umsetzung von Energieeffizienz-Maßnahmen einhergehen. Dabei findet die Betrachtung von gesamten Wertschöpfungsketten von der Produktion, über die Planung und Installation, die Wartung und Instandhaltung, Versicherung, etc., bis zum Betrieb der Anlagen statt.

Induzierte regionale Wertschöpfung: Ermittlung der Wertschöpfungseffekte, die sich aufgrund der zusätzlich entstandenen Kaufkraft durch den Betrieb der EE-Anlagen ergeben. Nicht nur direkt beteiligte Betreiber, Investoren und Dienstleister profitieren vom Betrieb der Anlagen. Die ganze Region kann von den induzierten Wertschöpfungseffekten profitieren. Die Höhe der induzierten Wertschöpfung ist abhängig von diversen regionalen Strukturfaktoren (Konsumquote, Steuerquote, Transferleistungen, Importquote). Grundsätzlich gilt: Je mehr von der zusätzlich entstandenen Kaufkraft für regionale Produkte und Dienstleistungen ausgegeben wird, desto höher die induzierte Wertschöpfung in der Region.

Gestehungskosten: Die Stromgestehungskosten, englisch *Levelized Cost of Electricity (LCOE)*, bezeichnen die Kosten, die für die Energieumwandlung von einer anderen Energieform in elektrische Energie auftreten. Sie sind eine Kenngröße für die wirtschaftliche Effizienz eines Energiesystems. Die Gestehungskosten jeder installierten EE-Anlage beinhalten Investitions-, Betriebs- und Kapitalkosten sowie die angestrebte Kapitalverzinsung bezogen auf die voraussichtlich produzierte elektrische Energie über die Lebensdauer. Sie repräsentieren damit direkt die Erzeugungskosten der lokal realisierten EE-Anlagen.

Die erforderliche Importmenge zur Deckung der verbleibenden Last nach lokaler EE-Erzeugung wird mit dem Spotmarktpreis der Day-Ahead-Auktion bewertet. Der den Beschaffungspreis elektrischer Energie an der Strombörse repräsentiert. EE-Technologien können sich am Markt nicht vollständig refinanzieren und werden entsprechend den Regelungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. Das Defizit aus der Vermarktung des EE-Stroms an der Börse und den EEG-Kosten (EEG-Vergütung) wird im Rahmen der EEG-Umlage auf alle Netzkunden umgelegt. Die Erzeugungskosten der Importalternative lassen sich schließlich durch die Summe aus dem Spotmarktpreis und der EEG-Umlage darstellen.

Die Vorhersage der Gestehungskosten, Börsenpreise sowie der EEG-Umlage für das Jahr 2030 ist mit großen Unsicherheiten behaftet und umfangreichen Annahmen unterlegen und daher nicht ohne weiteres möglich. Die Stromgestehungskosten werden daher mit der Datenbasis aus dem Referenzjahr 2013 berechnet. Sie geben schließlich nicht die tatsächlichen Erzeugungskosten eines Erzeugungsportfolios wieder, sondern lediglich die Größenordnung. Gleichwohl dienen sie dem Vergleich einzelner Portfolios untereinander hinsichtlich ihrer ökonomischen Effizienz.

Investitionsbedarf der Verteilnetze: Ermittlung des Investitionsbedarfs in den Verteilnetzen durch den Ausbau dezentraler Erzeugungsanlagen (KWK und EE-Anlagen) sowie zusätzlicher Lasten (bspw. Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge). Der Ausbau von EE-Anlagen erfordert die Integration in die Verteilnetze, insbesondere in die Mittel- und Niederspannungsebenen. Zu einem Investitionsbedarf kommt es dann, wenn die neue Versorgungsaufgabe in der vorhandenen Netzinfrastruktur Grenzwertverletzungen (Spannungsbandverletzungen und thermische Überlastungen) hervorruft. Grundsätzlich gilt: Ein verstärkter Ausbau dezentraler PV-Anlagen und kleinerer Erzeugungsanlagen führt zu einem signifikanten Ausbaubedarf in den unteren Spannungsebnen der Verteilnetze. Große EE-Erzeugungsanlagen wie bspw. Windparks wirken sich besonders auf die Hochspannungsebene der Verteilnetze aus.

Ausfallrisiko-Minderung: Das Ausfallrisiko bezeichnet den Grad der Versorgungssicherheit, welcher durch eine hohe Diversität (Nutzung möglichst unterschiedlicher Ressourcen und Technologien) und Adaptivität (Anpassungsfähigkeit und Optionsoffenheit des Systems) gewährleistet wird. Der Indikator Ausfallrisiko-Minderung kann nicht quantitativ bestimmt werden, sondern nur qualitativ diskutiert.

Flächennutzungskonkurrenz: Ermittlung der ökonomischen Effekte, die sich im Zuge des Ausbaus Erneuerbarer Energien (insbesondere der Windkraft) aus den entstehenden Flächennutzungskonkurrenzen und Verdrängungseffekten ergeben. In erster Linie werden in diesem Zusammenhang Verdrängungseffekte in Bezug auf das regionale Tourismusaufkommen sowie der Einfluss auf Immobilienpreise im direkten Umfeld von Windkraftanlagen untersucht.

6.2.4. Nachhaltigkeitsindikatoren Ökologie

Ausstoß Treibhausgase: Jede in der Strom- und Wärmeproduktion eingesetzte Technologie ist mit einem spezifischen Ausstoß von Treibhausgasen in CO_2-Äquivalent verbunden. Der regionsspezifische Emissionsfaktor bildet sich

- im Stromsektor aus dem Mix zwischen Strombezug und regionale EE-Anlagen (vgl. Abb. 4) und
- im Wärmesektor aus dem Mix regionaler fossiler und regenerativer Erzeugungsanlagen.

Bei der Nutzung regenerativer Energieträger finden sich die verursachten Emissionen nur vernachlässigbar im Betrieb, sondern vermehrt in der Vorkette, v.a. während der Produktion. Deshalb empfiehlt es sich zur Bewertung der Szenarien die scope 3 Emissionen zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 2.1).

Lokaler bilanzieller EE-Versorgungsgrad (Strom): Der lokale bilanzielle EE-Versorgungsgrad für den Stromsektor gibt an, wieviel Prozent des jährlichen Strombedarfs vor Ort durch Erneuerbaren Energien produziert wurde.

Lokale Lastgerechte EE-Versorgungsgrad (Autarkiegrad): Der lokale lastgerechte EE-Versorgungsgrad (Autarkiegrad) für den Stromsektor gibt an, wieviel Prozent des lokalen Strombedarfs tatsächlich zeitgerecht durch Erneuerbare Energien gedeckt wird. Für die Bestimmung dieses Indikators werden stündlich aufgelöste Lastgänge und Zeitreihen der EE-Erzeugung verwendet. Dadurch lassen sich ebenfalls die tatsächliche Im- und Exportmenge der Betrachtungsregion bestimmen. Die Speicherung elektrischer Energie wird nicht berücksichtigt. Dadurch ließe sich der Autarkiegrad weiter erhöhen.

Lokaler EE-Versorgungsgrad (Wärme): Der lokale EE-Versorgungsgrad für den Wärmesektor gibt an, wie viel Prozent der benötigten thermischen Energie vor Ort mit Erneuerbaren Energien (EE) produziert wurde. Neben dem direkten Einsatz Erneuerbarer Energien (bspw. Biomasse oder Solarthermie) zählt hierzu auch die Nutzung von Strom aus lokalen Erneuerbaren Energien, der in Wärmepumpen oder Elektrospeicherheizungen zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird.

Umweltbelastung durch Luftschadstoffe: Für die Darstellung der Belastung durch Luftschadstoffe werden zunächst Emissionen der Schadstoffe in die Umwelt sowie die Umweltauswirkungen in Form von externen Kosten berechnet.

Zu den Emissionen können zusätzlich, soweit möglich, Vergleichswerte zur Bewertung ermittelt werden. Diese geben an, wieviel von dem jeweiligen Stoff pro Energieeinheit emittiert werden kann um keine kritischen Effekte in der Umwelt zu verursachen. Dabei kann zum Beispiel für eine erste Näherung davon ausgegangen werden, dass alle anderen Emissionen in Deutschland unverändert bleiben.

Die externen Kosten errechnen sich aus der Abschätzung von Konzentrationserhöhungen und der damit verbundenen Belastung der Umwelt. Berücksichtigt werden Emissionen von SO_2, NO_X, Staub, NMVOC, NH_3, Schwermetallen, Dioxinen und Treibhausgasen direkt und aus vorgelagerten Prozessen. Die berücksichtigten Auswirkungen sind Gesundheitseffekte, großräumiger Verlust an Biodiversität, Ernteverluste und erhöhte Instandsetzung von Materialien. Die zugrundeliegenden Werte basieren auf der ExternE-Methodik der Wirkungspfadanalyse und Berechnungen im Projekt NEEDS sowie Empfehlungen zur Berechnung externer Kosten des Umweltbundesamtes (www.externe.info, European Commission, 1995[22]; 1999[23]; 2005[24]; 2008[25]; Umweltbundesamt, 2007[26]).

Flächeninanspruchnahme: Die Flächeninanspruchnahme gibt an, wie viel Fläche (in ha) durch lokale EE-Anlagen in Anspruch genommen wird. Als in Anspruch genommene Flächen gelten alle Flächen, die durch die Errichtung und den Betrieb von EE-Anlagen dauerhaft versiegelt oder überdeckt (bspw. PV-Freiflächenanlagen) werden. Für Windenergieanlagen (WEA) werden darüber hinaus zwei erweiterte Flächenkategorien berücksichtigt und bewertet. Zum einen wird der Baulastradius der Raumordnung als mittelbar

---

[22] European Commission (1995) ExternE, Externalities of energy, ExternE Report, vol 2, Methodology. European Commission, DGXII, Science, Research, and Development, EUR 16521, Brussels

[23] European Commission (1999) Externalities of energy, vol 7 Methodology 1998 update. European Commission, DG XII, EUR 19083, Brussels

[24] European Commission (2005) ExternE, externalities of energy – methodology 2005 Update. Directorate-General for Research, EUR 21951, Brussels

[25] European Commission (2008) New energy externalities development for sustainability (NEEDS), Final reports. Integrated project NEEDS, project no. 502687, Sixth Framework Programme, Brussels, www.needs-project.org. Accessed 28 November 2017

[26] Umweltbundesamt (2007) Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland, Berlin

durch WEA in Anspruch genommene Fläche berücksichtigt. Zum anderen werden verbleibende Abstandsflächen von WEA mit eingeschränkter Nutzung berücksichtigt, auf denen keine vollumfängliche Nutzung der Fläche möglich ist. Beispielsweise können dort keine weiteren WEAs errichtet werden. Eine sonstige Bebauung ist ebenfalls mit Einschränkungen verbunden. Die ursprüngliche Nutzungsart der Flächen (bspw. landwirtschaftliche Nutzung) wird jedoch durch die Abstandsflächen nicht eingeschränkt.

Energieverbrauch: Der durchschnittliche Endenergieverbrauch pro Kopf gibt den durchschnittlichen Anteil eines Einwohners am Gesamtenergieverbrauch der Betrachtungsregion an.

Der Endenergieverbrauch wird bei einem Szenario mit erhöhtem Einsatz von effizienteren Geräten und Beleuchtung im Stromsektor oder einer verstärkten Gebäudedämmung im Wärmesektor reduziert. Ein vermehrter Einsatz von Wärmepumpen anstelle von Heizkesseln oder ein signifikanter Zuwachs an Elektrofahrzeugen erhöht ihn hingegen wieder. Sieht ein Szenario den Rückbau von Elektrospeicherheizungen und elektrischer Warmwasserbereitung vor, führt dies ebenfalls zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs.

6.2.5. Nachhaltigkeitsindikatoren Sozial

Direkte Arbeitsplatzeffekte: Die Arbeitsplatzeffekte hängen unmittelbar mit der direkten regionalen Wertschöpfung zusammen. Entsprechend den kalkulierten Einkommen werden anhand von statistisch erfassten durchschnittlichen Einkommen für unterschiedliche Wirtschaftszweige Vollzeitarbeitsplätze-Äquivalent bestimmt.

Induzierte Arbeitsplatzeffekte: Analog zu direkten Arbeitsplätzen erfolgt die Bestimmung von Vollzeitarbeitsplatz-Äquivalenten entsprechend der induzierten Einkommen (Induzierte regionale Wertschöpfung). Die zusätzliche Kaufkraft, die sich aus den positiven Wertschöpfungseffekten ergibt, führt zu einer steigenden regionalen Nachfrage. Um diesen Nachfrageanstieg durch ein entsprechendes Angebot zu decken, benötigt es zusätzliche Arbeitskräfte bei regionalen Unternehmen. Auf diese Weise entstehen induzierte Arbeitsplatzeffekte.

Anteil Regionale Wertschöpfung Bürger: Im Fokus steht die sozial gerechte Verteilung regionaler Wertschöpfungseffekte. Ziel ist es, dass ein höchstmöglicher Anteil der regionalen Wertschöpfung, welche mit der Energiewende einhergeht, bei den Bürgern in der Region ankommt. Dieser Effekt ergibt sich durch die Einkommen, welche mittels gesicherter oder zusätzlicher regionaler Arbeitsplatzeffekte generiert werden. Auch durch die Inbetriebnahme kleiner dezentraler Energieanlagen wie z. B. Photovoltaik auf privaten Hausdächern, Solarthermie oder Wärmepumpen ergeben sich Kosteneinsparungen, die Bürgern direkt zugutekommen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt, der zur Erhöhung der regionalen Wertschöpfung bei Bürgern führt, ist die finanzielle Beteiligung an Projekten. Dies kann in Form stiller Beteiligungen an Unternehmen, durch aktives Engagement mittels Energie-Bürger- oder Belegschaftsgenossenschaften oder durch die Finanzierung mittels Crowdfunding gefördert werden. Die Effekte durch Bürgerbeteiligung bleiben bei der Bewertung unberücksichtigt.

6.3. Anwendung und Sensitivitätsanalyse

Die Nutzung von Nachhaltigkeitsindikatoren zur Bewertung von Maßnahmen kann in Abhängigkeit von der Zielstellung auf unterschiedliche Weise erfolgen. Das Zurückgreifen auf eine Auswahl bestimmter Indikatoren aus einem Indikatorenset erfolgt bei spezifischer Zielsetzung. Beispielsweise erfolgt die Nutzung von Indikatoren ausschließlich mit Bezug zur Dimension Ökonomie, sofern der Nutzer eine Aussage

zu wirtschaftlichen Auswirkungen treffen möchte. Stellte man jedoch die Nachhaltigkeit in den Mittelpunkt seiner Bewertung, gilt es alle drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales zu berücksichtigen. Substituierbare Effekte können im Sinne einer „schwachen“ Nachhaltigkeit gegeneinander bewertet und ggf. verrechnet werden, während bei kritischen Effekten, die nicht substituierbar sind, zu analysieren ist, ob die Veränderung akzeptabel ist. Entsprechend ist die Zusammenführung von Indikatoren aus allen drei Dimensionen erforderlich. Hierbei kann eine Bewertung einzelner Indikatoren sowie Gewichtung vorgenommen werden. Dabei ist zu beachten, dass das Gewichten von Indikatoren subjektiv durch Individuen oder Gruppen erfolgt. Hierbei sollte die Gewichtung vor dem Hintergrund verschiedener Faktoren erfolgen, z. B.:

- Zielstellung und der Kontext der Fragestellung,
- definierte Prioritäten und Wertvorstellungen von Individuen,
- sonstige Rahmenbedingungen, die Einfluss auf Entscheidungen nehmen,
- Verwendungszweck (z. B. wissenschaftlich, Benchmark, Kommunikation) sowie
- Komplexität der Methode zur Gewichtung (meinungsbasierte Gewichtung bis hin zu komplexer Programmierung von Modellen).

Grundsätzlich existiert nicht die eine richtige Gewichtung. Wichtig ist es, ein gemeinsames Ziel zu verfolgen, sich über die Wertevorstellungen einig zu werden und letztlich eine gemeinsame Gewichtung vorzunehmen, die jedes Individuum in einer Gruppe mittragen kann. Grundvoraussetzung für die Anerkennung einer gemeinsamen Gewichtung ist es sich über die Vorgehensweise als auch über verwendete Daten einig zu sein. Das Vorgehen sollte zudem für Außenstehende transparent kommuniziert werden.

Zur Durchführung einer (Nachhaltigkeits-)Bewertung wird im Folgenden ein methodischer Ansatz dargestellt, welcher das individuelle Gewichten einzelner Indikatoren erlaubt. Nimmt man alle Indikatoren zusammen so kann man wesentliche Aspekte aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit in der Bewertung berücksichtigen. Ausgehend von den relevanten Indikatoren (dies können ausgewählte oder alle Indikatoren sein) erfolgt eine individuelle Bewertung der Werte pro Szenario anhand einer Skala zwischen eins und zehn. Hierbei gilt: eins bedeutet schlecht, zehn bedeutet sehr gut. Aus dem Vergleich einzelner Indikatorenwerte kann zusätzlich auch eine relative Gewichtung der Indikatoren abgeleitet werden.

Die Gewichtung von ausgewählten Indikatoren stellt nun in Verbindung mit dem jeweils ausgewählten Technologieportfolio oder Szenario die Basis der Bewertung dar. Das vorab definierte und berechnete Technologieportfolio weist je Indikator ein Resultat aus, welches auf diese Weise auch mit anderen verglichen und so gegenseitig bewertet werden kann. Aus den entsprechenden Bewertungen kann schließlich ein Wert pro Technologieportfolio errechnet werden. Je höher das Ergebnis, desto besser ist das bewertete Technologieportfolio aus Sicht der gewählten Indikatoren und letztlich der Zielsetzung des Nutzers. Allerdings kann es auch sinnvoll sein, einzelne Ausprägungen von besonders wichtigen Indikatoren zusätzlich zu berücksichtigen. So können z. B. Grenzwerte für einzelne Indikatoren und Nichtlinearitäten diskutiert werden.

Eine Bewertung im Sinne der schwachen Nachhaltigkeit, kann dann durch die Ermittlung von Mittelwerten in Bezug zur Dimension anhand der bewerteten Indikatoren pro Szenario erfolgen. Für eine Gleichgewichtung der Dimensionen im Sinne der Nachhaltigkeit sollten bei der Bewertung die Werte für die Dimensionen in einem etwa gleichen Korridor resultieren. Ein höherer Wert in einer Dimension zeigt einen Schwerpunkt des Szenarios auf einer der Dimensionen, wie er sich aus der subjektiven Bewertung des Nutzers ergibt. Es ist dabei allerdings zu berücksichtigen, dass die Auswahl der Indikatoren für die einzelnen Dimensionen nicht den Anspruch erheben kann komplett zu sein. Es sind durchaus weitere Indikatoren

denkbar, die ggf. gedanklich ergänzt werden können. Das Ergebnis vermittelt trotzdem einen ersten Eindruck von der Gleichgewichtung der drei relevanten Dimensionen der Nachhaltigkeit.

Zusammen mit einer transparenten Darstellung der Ergebnisse zu den Indikatoren für die verschiedenen Szenarien, soll im weiteren Verlauf des Projekts ein Instrumentarium zur Bewertung der Technologieportfolios im EA-Lab der EA European Academy in Ahrweiler eingerichtet und für Diskussionen von Szenarienergebnissen zugänglich gemacht werden. Politiker, Unternehmer, Vereine und Verbände sowie Bürger und sonstige Interessierte sollen damit eine (Nachhaltigkeits-)Bewertung eigenständig vornehmen können. Eine detaillierte Umsetzung dazu wird noch ausgearbeitet.

| Kap. 7. Diskussion der Szenarienergebnisse vor dem Hintergrund der Umsetzbarkeit

Nach der Erstellung von Szenarien und den entsprechenden Technologieportfolien stellt sich die Frage, welche nächsten Schritte initialisiert werden müssen, um die Idee zur konkreten Umsetzung zu überführen. Die vorgeschlagenen Technologieportfolien mitsamt der Bewertung ihrer ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen sollen Politik und Gesellschaft dabei eine Orientierung bieten. Dies gelingt indem sie verschiedene Handlungspfade aufzeigen, wie der 100% EE-Beschluss des Kreistages erreicht werden kann. Sie veranschaulichen die Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen, grundsätzlich einsetzbaren Technologien sowie den Auswirkungen auf die in der Region verfolgten Teilziele. Welche der möglichen Ziele verfolgt werden sollen, liegt jedoch in der Entscheidung der regionalen Akteure, insbesondere der demokratisch gewählten Vertreter, und bedarf eines umfassenden gesellschaftlichen Abstimmungsprozesses. Für eine Umsetzung konkreter Projekte ist aufbauend auf den Szenarien und vorgeschlagenen Technologieportfolien eine detaillierte Planung durchzuführen. Dies beinhaltet u. a. die Auswahl konkreter Standorte, die Durchführung der notwendigen Gutachten zur Prüfung der Genehmigungsfähigkeit, die Prüfung der individuellen Wirtschaftlichkeit und möglichen Geschäftsmodelle unter Berücksichtigung regionaler Umsetzungsherausforderungen.

Zur Unterstützung der Detailplanung sollten als Handlungsempfehlung aus technischer Sicht die entsprechenden herausgearbeiteten Maßnahmen in Form eines Maßnahmenkatalogs zusammengefasst werden. Die wichtigsten Inhalte zur Darstellung der Einzelmaßnahmen werden im Abschnitt 8.3 genannt. Die im Zuge des EnAHRgie-Projektes zusammengestellten Maßnahmen für den Landkreis Ahrweiler können als Anhang zum Energiekonzept hier eingesehen werden. Ergänzend zur sukzessiven Umsetzung der Maßnahmen kann die jährliche Erstellung eines energiepolitischen Arbeitsprogrammes, wie es beispielsweise auch im Zuge des Qualitätsmanagementsystems „European Energy Award®“ als Instrument zur Durchführung von Klimaschutzmaßnahmen vollzogen wird, hilfreich sein.

Ein zentraler Aspekt bei der Konkretisierung und Umsetzung von Maßnahmen ist die Beteiligung der regionalen Akteure. Auch hierzu finden sich Empfehlungen im EnAHRgie-Maßnahmenkatalog. Ausführliche Erläuterungen zu dem Thema der Partizipation befinden sich im Leitfaden „Partizipationsmodell“. Weiterführende Informationen zu Beteiligungsformaten, die im Rahmen des EnAHRgie-Projektes durchgeführt wurden, finden sich in Kapitel 2 des EnAHRgie-Leitfadens „Partizipationsmodell“. Dazu gehört bspw. die Gründung eines Runden Tisches der Vereine und Verbände. Es empfiehlt sich auch frühzeitig die Gemeinden miteinzubeziehen und zur gemeinsamen Umsetzung Kooperationsmöglichkeiten zu erörtern, welche inklusive entsprechender Finanzierungsmöglichkeiten der Zusammenarbeit in dem EnAHRgie-Leitfaden „Synergien nutzen statt Energie vergeuden“ (insbesondere Kapitel 3) beschrieben sind.

Aus ökonomischer Sicht zeigt der EnAHRgie-Leitfaden „Geschäftsmodell Energiewende“, welche Finanzierungsmöglichkeiten und Beteiligungsformen genutzt werden können, um erneuerbare Energien Projekte zu realisieren. Dabei sollte nicht zwangsläufig im Vordergrund stehen, die Projekte mit bspw. dem größten Treibhausgasminderungspotenzial zuerst umzusetzen, sondern auch welche Maßnahmen von den regionalen Akteuren priorisiert werden und somit auch Vorbildcharakter zur Umsetzung weiterer Projekte haben können. In Kapitel 4 des genannten Leitfadens werden nächste Schritte bezüglich der benötigten Ressourcen sowie eine kurze Übersicht über erfolgreiche Praxisbeispiele aufgezeigt, welche hilfreich sind um die skizzierten Lösungsansätze anzuwenden.

| Kap. 8. Darstellungsformen für die Ergebnisse

In diesem Kapitel wird zusammengefasst, welche Darstellungsformen für die Ergebnisse sich besonders bewährt haben und daher empfohlen werden können. Die Erfahrungswerte basieren auf einer Vielzahl an Partizipationsveranstaltungen, Vorträgen und Gesprächen im Zuge des EnAHRgie-Projekts, in denen ein Austausch über (Zwischen-)Ergebnisse mit der Politik, den Verbänden und Vereinen, der Bevölkerung und weiteren Praxisakteuren stattgefunden hat.

Als technisches Instrument für die Darstellungen wurden Datenbanken und Visualisierungsinstrumente des an der EA entwickelten „EA-Lab“ verwendet (siehe https://www.ea-aw.de/ea-lab.html). Die genutzten Instrumente werden im Rahmen der Übertragungsphase des Projekts im Jahr 2018 noch weiter ausgebaut werden.

8.1. Ergebnis-Steckbriefe

Im EnAHRgie-Projekt wurde für jede kommunale Ebene (Landkreis, Verbandsgemeinden, Ortsgemeinden) ein Ergebnis-Steckbrief erstellt. Dieser enthält zu Beginn eine kurze Einführung zum EnAHRgie-Projekt sowie die Beschreibung der Szenarien mitsamt ihrer jeweiligen Zielsetzung. Ab der zweiten Seite werden in kompakter Darstellungsform alle Ergebnis-Grafiken rund um die vorgeschlagenen Technologieportfolien zusammengefasst, d. h. einerseits die Portfolien selbst (grafisch & tabellarisch), andererseits die Auswirkung der Portfolien auf die verschiedenen Ziel-Indikatoren. Erläuterungstexte sind auf das Nötigste beschränkt, eine Interpretation der Ergebnisse findet nicht statt.

Auszüge aus dem Landkreis-Steckbrief sind in Abb. 23 zu finden. Ein Abruf der Steckbriefe ist unter https://www.enahrgie.de/szenarien/ möglich.

Abb. 23: Auszug aus dem Steckbrief für den Landkreist Ahrweiler

Zusammenfassend werden die Vor- und Nachteile von Ergebnis-Steckbriefen in Tab. 26 dargestellt.

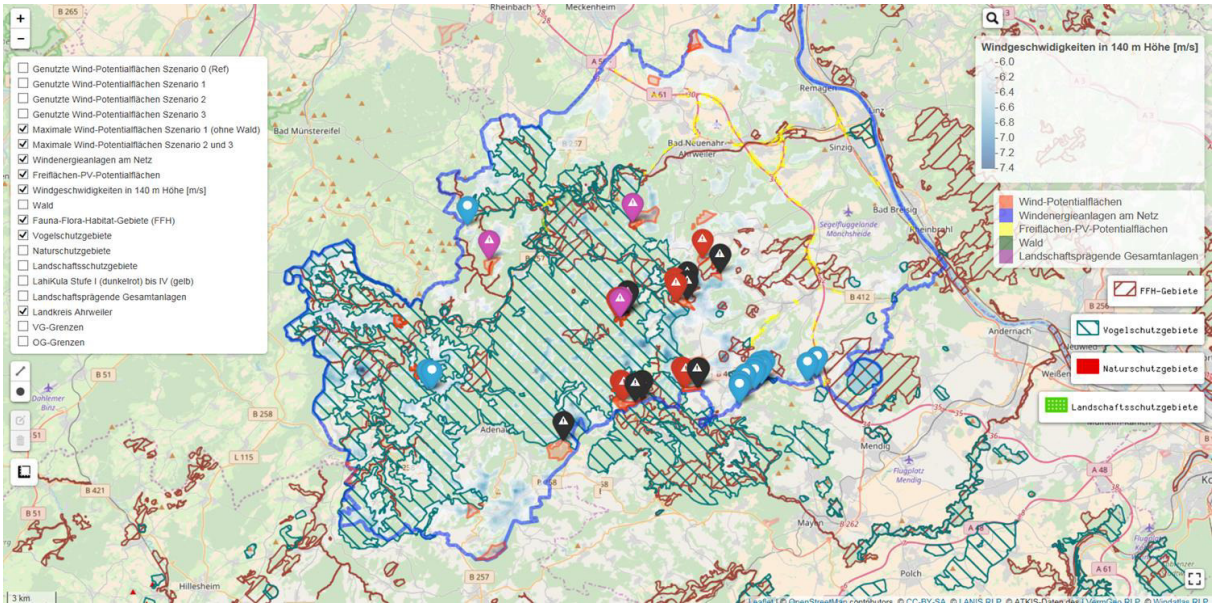
Tab. 26: Vor- und Nachteile der Darstellungsform „Ergebnis-Steckbriefe“

Vorteile	Nachteile
• Kompakte, übersichtliche Darstellung aller Ergebnisse rund um die vorgeschlagenen Technologieportfolien • Individuelle Darstellung für jede kommunale Einheit (LK, VG, OG)	• Risiko von Missverständnissen, da keine ausführliche Textbeschreibung und Ergebnisinterpretation erfolgt

8.2. GIS-Darstellung der Potenzialflächen

Zur Darstellung besonders flächenrelevanter Potenziale, wie Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Windkraftanlagen, empfiehlt es sich diese mithilfe von Karten zu präsentieren. Auf Basis von räumlichen Daten der sogenannten Geoinformationssysteme (GIS) könne die in Frage kommenden Potenzialflächen verortet und somit besser nachvollzogen werden. Ein einfaches, oft öffentlich zugängliches Beispiel hierfür ist das Solardachkataster (bspw. verfügbar für den Landkreis Ahrweiler, unter: http://www.solarkataster-ahrweiler.de/karte, vgl. Abschnitt 3.3.6). Im Rahmen des Projektes wurden ebenfalls für Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Windkraftanlagen öffentlich zugängliche Potenzialkarten erstellt (siehe https://www.enahrgie.de/szenarien/karte.html). Ein Auszug hieraus ist in Abb. 24 dargestellt.

Abb. 24: Ausbaugrad ausgewählter Portfolien der Entscheidungsebene



8.3. Maßnahmenkatalog

Der Maßnahmenkatalog enthält konkrete Handlungsempfehlungen, die sich unter Beteiligung der lokalen Akteure aus den Ergebnissen der Szenarien ableiten. Die Darstellung konkreter technikbezogener Maßnahmen, soll die notwendigen nächsten Schritte zur Initialisierung der Umsetzung aufzeigen. Dazu empfiehlt es sich mindestens folgende Fragen zu beantworten:

- Um welche Maßnahme handelt es sich (Kurzbeschreibung der wichtigsten Inhalte)?
- Wer sind die Zielgruppen dieser Maßnahme?
- Wer ist zuständig?

- Was sind die nächsten Handlungsschritte?

Im Rahmen von öffentlich geförderten Maßnahmen (bspw. Klimaschutzkonzepten) werden diese und weitere mögliche Details zu den Maßnahmen oftmals in Form einer Vorlage des entsprechenden Projektträgers zur Verfügung gestellt.

Der im EnAHRgie-Projekt entwickelte Maßnahmenkatalog ist unter https://www.enahrgie.de/loesungen/ abrufbar.

8.4. Nutzung interaktiver Softwaretools in Partizipationsformaten

Um ein Gefühl für Größenordnungen, Wechselwirkungen und Auswirkungen der verschiedenen technologischen Handlungsoptionen zu vermitteln, ist der Einsatz eines interaktiven Softwaretools im Rahmen von Partizipationsformaten zu empfehlen. Durch die explorative, gemeinschaftliche Modellierung eigener Szenarien bzw. Technologieportfolien wird verdeutlicht, welche Technologien bzw. Effizienzmaßnahmen welchen Beitrag zur Erreichung des Ziels leisten können und welche weiteren Auswirkungen daraus resultieren. Im Rahmen des EnAHRgie-Projektes wurde das in Abschnitt 5.1 beschriebene BiBER-Modell vor diesem Hintergrund in zwei Workshops mit Vertretern der Verbände und Vereine eingesetzt.

8.5. Weitere Hinweise zur Darstellung

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen nicht nur Energiemengen darzustellen (auch wenn diese die Erreichung bzw. Nichterreichung des 100% EE-Ziels am besten visualisieren können), sondern auch installierte Leistungen, die Anlagenanzahl (insbesondere bei der Windenergie) bzw. die überdeckte Fläche (insbesondere bei der Freiflächen-Photovoltaik).

Darüber hinaus ist es empfehlenswert den Vergleich mit durchschnittlichen Verbräuchen (bspw. „wie viele Haushalte können ihren Jahresstrombedarf mit X installierten Anlagen decken?“) oder anderen greifbaren Bezugsgrößen (bspw. die Angabe von Treibhausgasemissionen und anderen Bewertungsgrößen „pro Einwohner“).

| Kap. 9. Nützliche Links

Kommunale Energie- und Treibhausgasbilanzierung

Covenant of Mayors (2010): Leitfaden zur Erstellung eines Aktionsplans für nachhaltige Energie (APNE).

https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/seap_guidelines_de.pdf

Deutsches Institut für Urbanistik (2011): Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden.

https://leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/sites/leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/files/pdf/klimaschutzleitfaden.pdf

Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien (2017): GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme), Datenbank für Energie-, Stoff- und Verkehrssysteme.

http://iinas.org/gemis-de.html

Institut für Energie- und Umweltforschung (2014): Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland.

https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Bilanzierungsmethodik_IFEU_April_2014.pdf

World Resources Institute (2014): Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC), An Accounting and Reporting Standard for Cities.

http://www.iclei.org/activities/agendas/low-carbon-city/gpc.html

Erstellung Energiekonzept / Umsetzung

EnergieAgentur.NRW (2013): Holzpellets. Der Brennstoff der Zukunft, aktion holzpellets.

https://broschueren.nordrheinwestfalendirekt.de/broschuerenservice/energieagentur/holzpellets-brennstoff-der-zukunft/2424

EnergieAgentur.NRW (2017): Praxisleitfaden energieeffiziente Straßenbeleuchtung, Technologien, Strategien, Betreibermodelle, Vergabe.

https://broschueren.nordrheinwestfalendirekt.de/herunterladen/der/datei/eigenpublikation-energieeffiziente-strassenbeleuchtung-final-pdf/von/praxisleitfaden-energieeffiziente-strassenbeleuchtung/vom/staatskanzlei/2784

Energieagentur Rheinland-Pfalz (2015): Landessportbund RLP.

http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/dokumente/Veroeffentlichungen/2015/2015-03/20150312_Solarbroschuere_Sport_final.pdf

Energieagentur Rheinland-Pfalz (2016): Praxisleitfaden Nahwärme.

https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/Praxisleitfaeden/NWaerme_Gesamt.pdf

Energieagentur Rheinland-Pfalz (2017): Attraktive Geschäftsmodelle mit PV-Anlagen, BET.

https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/pdf/Broschueren_zum_Download/Solar-initiative_Brosch_170526.pdf

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2014): Bioenegriedörfer – Leitfaden für eine praxisnahe Umsetzung, Bioenergie FNR.

http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/dokumente/Veroeffentlichungen/2014/2014_10_16/bioenergiedoerfer_2014.pdf

Kreisverwaltung Ahrweiler (2017): Solardachkataster Landkreis Ahrweiler.

http://www.solarkataster-ahrweiler.de/karte

Regionaler Planungsverband Westmecklenburg (2014): Regionales Energiekonzept – Die innovative Erneuerbare-Energien-Region Westmecklenburg im Aufbruch.

http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/dokumente/Veroeffentlichungen/2014/2014_10_16/Marketingbroschuere_innovative_Erneuerbare-Energien-Region_Westmecklenburg.pdf