

Sustainability Readiness Assessment

Multikriterielle Nachhaltigkeitsanalyse von technischen Innovationen

Handlungsleitfaden

Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung Energiewendebauen
IZES GmbH

Altenkessler Str. 17
66115 Saarbrücken

E-Mail: BF_EWB@izes.de
Internet: energiewendebauen.de
Autor*innen: Wissenschaftliche Begleitforschung Energiewendebauen – Modul 1-5
Bur, A.; Gapp-Schmeling, K.; Martinez-Noguez, I.; Noll, F.; Vogler, C.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bildquellen, wenn nicht explizit anders angegeben: Wissenschaftliche Begleitforschung Energiewendebauen

Die Verantwortung für die Inhalte dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

16. Dezember 2024

Inhalt

- 1. Einleitung 5
- 2. Zielsetzung des Sustainability Readiness Assessment (SRA) 6
 - 2.1. Ausgangssituation zur Entwicklung des SRA 6
 - 2.2. Methoden zur Beurteilung der technologischen Reife 6
 - 2.3. SRA als Technologiefolgenabschätzung unter der Nachhaltigen Ökonomie 7
- 3. Kriterien des Sustainability Readiness Assessment..... 9
 - 3.1. Überblick zum Aufbau der Kriterienbereiche 10
 - 3.2. Vorgehen für die Entwicklung projektbezogener SRA-Indikatoren 10
 - 3.3. Technologische Dimension 12
 - 3.3.1. Indikator: Technology Readiness Level (TRL) 12
 - 3.3.2. Indikator: Risikomatrix..... 13
 - 3.3.3. Indikator: Materialzirkularitätsindex..... 14
 - 3.4. Ökologische Dimension 15
 - 3.4.1. Indikator: Treibhausgasemissionen..... 16
 - 3.4.2. Indikator: Auswirkungen auf die Natur 17
 - 3.4.3. Indikator: Schadstoffemissionen 18
 - 3.5. Wirtschaftliche Dimension 19
 - 3.5.1. Indikator: Beitrag zur regionalen Wertschöpfung..... 20
 - 3.5.2. Indikator: System-Resilienz/ Redundanz 21
 - 3.5.3. Indikator: Importquote von Brennstoffen/ Materialien..... 23
 - 3.6. Sozio-kulturelle Dimension..... 24
 - 3.6.1. Indikator: Bandbreite der eingesetzten Ressourcen 24
 - 3.6.2. Indikator: Komplexität der Entscheidungsstrukturen 25
 - 3.6.3. Indikator: Konfliktpotential der eingesetzten Ressourcen 26
- 4. Zusammenfassung der Projektbewertung 28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und Qualitätsziele 9

Tabelle 2 Kriterien in den vier Dimensionen 10

Tabelle 3 Detaillierung der Bewertung in Abhängigkeit vom TRL 13

Tabelle 4 Risikomatrix nach Nohl 13

Tabelle 5 Bewertungsstufen für die Risikobewertung 14

Tabelle 6 Bewertungsstufen des Zirkularitätsindex 15

Tabelle 7 Bewertungsstufen für die THGE..... 16

Tabelle 8 Bewertungsmaßstäbe für das Kriterium THG-Emissionen in kg CO_{2eq} / m² für
Raumwärmetechnologien 17

Tabelle 9 Bewertungsstufen für die Schadstoffemissionen 19

Tabelle 10 Bewertungsstufen für das Kriterium Schadstoffemissionen in kg SO_{2eq}/ MWh 19

Tabelle 11 Bewertungsstufen für die regionale Wertschöpfung 20

Tabelle 12 Bewertungsstufen für die Redundanz oder Marktverfügbarkeit 22

Tabelle 13 Bewertungsstufen für das Kriterium Importquote 23

Tabelle 14 Bewertungsstufen für das Kriterium Reichweite der eingesetzten Ressourcen 24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 gewichtetes Konfliktpotential, Stand 2021..... 27

Abbildung 2 Spinnennetzdiagramm 28

Abbildung 3 Profilliniendiagramm..... 29

1. Einleitung

In der Vergangenheit wurden Technologien in Hinblick auf ihre digitale Reife untersucht und in verschiedenen Kategorien des technischen Bereitschaftslevels eingeordnet. Deutschland hat sich mit der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, die seit 2002 regelmäßig überarbeitet wird, verpflichtet, sein Handeln auf die Nachhaltigkeitsziele auszurichten. Die Nachhaltigkeitsziele können nur erreicht werden, wenn alle Produkte, Projekte und Technologien einen positiven Beitrag leisten. Daher initiiert die Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN (EBW) eine Weiterentwicklung des klassischen Ansatzes zur Technologiebewertung.

SRA ist eine multikriterielle Analyse zur Bewertung von technischen Innovationen. Systematisch wird einerseits der technologische Entwicklungsstand erhoben als auch eine Technikfolgenabschätzung auf Basis der Nachhaltigen Ökonomie vorgenommen.

Der vorliegende Handlungsleitfaden stellt eine Anleitung zur Anwendung des Sustainability Readiness Assessment (SRA) auf Projektebene dar. Der Leitfaden richtet sich an Projekte der Forschungsinitiative EWB und hilft ihnen, Techniken und Innovationen auf die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit zu untersuchen. Dabei wird in diesem Leitfaden der Weg der Analyse schrittweise erläutert und mit Beispielen ergänzt. Für jeden Indikator werden ein Bewertungsschema und eine Bewertungsmatrix sowie ein Beispiel dargelegt.

2. Zielsetzung des Sustainability Readiness Assessment (SRA)

2.1. Ausgangssituation zur Entwicklung des SRA

Die SRA wurde innerhalb der Forschungsinitiative EWB erarbeitet. Ein Ziel der Forschungsinitiative ist es, die im Rahmen der Initiative entwickelten Technologien im Hinblick auf Marktreife, Finanzierbarkeit und Nachhaltigkeit zu kategorisieren. Eine EWB-Befragung im Jahr 2021 stellte fest, dass die Forschenden bereits einzelne Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung in ihren Forschungsvorhaben berücksichtigen. Die Ergebnisse der Befragung weisen darauf hin, dass vor allem ökologische Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung in den Forschungsvorhaben betrachtet werden. Es mangelt allerdings an einer ganzheitlichen Betrachtungsweise, die alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und die der Technologie angemessen berücksichtigt.

Das Netzwerk Nachhaltige Ökonomie, 2009 gegründet und durch mehrere Projekte des BMWK (damals BMU) gefördert, definiert zehn Kernaussagen zur Entwicklung einer Nachhaltigen Ökonomie. In ihrer achten Kernaussage fordert die Nachhaltige Ökonomie die Operationalisierung von Nachhaltigkeit und übersetzt die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts in 15 Zielkriterien, die eine ausgewogene Analyse in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen ermöglichen¹. Das Zielsystem basiert weitgehend auf den Managementregeln der Enquete Kommission und integriert die Ziele des Stabilitäts- und Wachstumsgesetze von 1967. Es ist für verschiedene Anwendungen anpassbar, gilt zur Bewertung des Nachhaltigkeitsgrades von Volkswirtschaften, politischen Strategien und technologischen Optionen als geeignet und wurde u.a. im Projekt KoWa (FKZ 03EN3007) umfassend umgesetzt.²

2.2. Methoden zur Beurteilung der technologischen Reife

In Forschung und Entwicklung werden zum einen Methoden bei der Entwicklung eingesetzt, die sicherstellen sollen, dass die Innovation spezifische Anforderungen in technologischer Sicht (z.B. Theorie des erfinderischen Problemlösens)³ oder aus Kund*innensicht (z.B. Qualitätsfunktionendiagramm)⁴ erfüllt. Zum anderen werden auf Basis des Technology Readiness Levels (TRL) Aspekte der technologischen Reife bewertet. Der TRL der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA- (National Aeronautics and Space Administration) ist ein Messsystem mit neun Stufen.⁵ Er wurde weiterentwickelt, z.B. berücksichtigt das 'System Readiness Level' (SRL) die Wechselwirkungen mit anderen Technologien⁶, u.a. um Risiken unsachgemäßer Technologieintegration zu vermindern.⁷ 'Innovation Readiness

¹ Rogall & Gapp-Schmeling 2021: 138.

² Gapp-Schmeling, K.; Schönfeldt, P.; Haase, M.; Rösch, C.; Schüwer, D.; Püttner, A. (2022): Multikriterielle Nachhaltigkeitsbewertung im Rahmen kommunaler Wärmetransformationskonzepte, In FVEE-Themen, Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel – Beiträge zur FVEE Jahrestagung 2022, Berlin. Vgl. Gapp-Schmeling, K. (2022): Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Wärmeversorgungskonzepte, in: Rogall, H. (2022) Jahrbuch Nachhaltige Ökonomie – im Brennpunkt: Wärmewende, Metropolis: Marburg.

³ Vgl. Nagel, M., Mieke, C. & Teuber, S. (2020): Methodenhandbuch der Betriebswirtschaft, 2. Auflage, UVK Verlag, München.

⁴ Gussen et al. 2021: 552-556. Gussen, L.C., Kukulies, J., Sohnius, F., Schmitt, R.H. (2021): Customer Insights in der Produktentwicklung (514-573), in: Pfeifer, T. & Schmitt, R. (2021): Masing Handbuch Qualitätsmanagement, Carl Hanser Verlag: München.

⁵ Mankins, J. (1995/2004): Technology Readiness Level, a white paper, *Office of Space Access and Technology NASA*, 6/ 22 4/ 12.

⁶ Sauser, B., Verma, D., Ramirez-Marquez, J. & Gove, R. (2006): From TRL to SRL: The concept of System Readiness Levels, Conference on Systems Engineering Research, Los Angeles.

⁷ Baines, T. (2004): An integrated process for forming manufacturing technology decisions, In: International Journal of Operations & Production Management, 24(5/6), p. 447-467.

*Levels*⁸ erweitern diese Methode um wirtschaftliche Faktoren und mit dem '*Demand Readiness Level*' wird die Marktnachfrage nach Innovationen berücksichtigt.⁹ Baliozian et al. (2016) schlugen eine standardisierte Bewertung für die Photovoltaikentwicklung vor, die technologische und wirtschaftliche Faktoren betont, jedoch ökologische und gesetzliche Aspekte ausschließt.¹⁰ Dieser Ansatz ähnelt den gängigen Ansätzen der Technikfolgenabschätzung.

2.3. SRA als Technologiefolgenabschätzung unter der Nachhaltigen Ökonomie

Die Technikfolgenabschätzung kann als etabliertes Forschungsfeld betrachtet werden und erfüllt eine Reihe von Funktionen und Zielen. Als Prämissen der Technikfolgenabschätzung gelten die Orientierung an Nachhaltigkeit als Leitbild und Demokratie als politisches Prinzip.¹¹ In der Umsetzung der Technikfolgenabschätzung existieren verschiedene Ansätze, wie das Integrierte Nachhaltigkeitskonzept¹² oder multikriterielle Analysen zur Entscheidungsunterstützung.¹³ Diese orientieren sich zum Teil explizit nicht an Zielen in den Nachhaltigkeitsdimensionen, sondern an Nachhaltigkeitsprinzipien¹⁴.

Der vorliegende Ansatz folgt dagegen explizit dem Ansatz der Nachhaltigen Ökonomie. Ziel ist es mit einem vergleichbaren Kriterienkatalog, dessen Indikatoren projektbasiert angepasst werden müssen, Stärken und Schwächen neuer technologischer Entwicklungen zu identifizieren, um einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess einzuleiten, der eine umfassende Nachhaltigkeitsausrichtung enthält und nicht zu einer einseitigen Zieloptimierung (nur Kosten und Treibhausgase) führt.

Die Qualitätsziele der Nachhaltigen Ökonomie (Tabelle 1) werden in dem SRA Ansatz mit dem Bewertungssystem des Technical Readiness Assessment (TRA) verbunden. Die technologische Dimension wird dabei um die drei Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung (Ökonomie, Ökologie und Sozio-Kulturelles) erweitert. Die Ziele der einzelnen Dimensionen werden in technologiespezifische Indikatoren übertragen, um die Ziele messbar zu machen. Dabei müssen die Indikatoren für jede Technologie bzw. Anwendungsbereich separat operationalisiert werden.

Im SRA stehen alle Kriterien im Bewertungssystem ungewichtet nebeneinander, um Stärken und Schwächen zu identifizieren. Jeder Indikator wird dabei unabhängig voneinander bewertet. Es erfolgt

⁸ Tao, L.; Probert, D.; Phaal, und R. (2010): Towards an integrated framework for managing the process of innovation, In: R&D Management, Bde.1, Vol.40, Issue 1. 19–30, S. 19-30

⁹ Paun, F. (2011): Demand Readiness Level as equilibrium tool for the hybridization between Technology Push and Market Pull Approaches, ANR-ERANET Workshop, Paris.

¹⁰ Baliozian, P.; Friedrich, L.; Preu, R. (2016): Photovoltaic Development Standardizing based on Roadmaps and Technology Readiness Levels, 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München

¹¹ Bösch, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C. (2021): Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos: Baden-Baden.

¹² Kopfmüller, J. & Rösch, C. (2021): Integrative Nachhaltigkeitsbewertung, in: Bösch, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C. (2021): Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos: Baden-Baden

¹³ Haase, M., Baumann, M., Wulf, C., Rösch, C. (2021): Multikriterielle Analysen zur Entscheidungsunterstützung der Technikfolgenabschätzung, in: Bösch, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C. (2021): Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos: Baden-Baden.

¹⁴ Kopfmüller, J. & Rösch, C. (2021): Integrative Nachhaltigkeitsbewertung, in: Bösch, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C. (2021): Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos: Baden-Baden: 287.

keine Gewichtung und Verrechnung der einzelnen Kriterien und Indikatoren, wie es bei multi-kriteriellen Analysen zur Entscheidungsunterstützung häufig angewendet wird.¹⁵

Zielsetzung des SRA ist es, eine Aussage über den Entwicklungsstand der Technologie und deren (Wechsel-) Wirkung auf Ökonomie, Ökologie und Sozio-Kulturelles zu ermöglichen. Das Assessment soll bereits während der Entwicklung von innovativen Technologien genutzt werden. Die generierten Informationen sollen beitragen, gezielt Defizite in Bezug auf die Nachhaltigkeit der innovativen Technologien zu erkennen und frühzeitig gegenzusteuern.¹⁶ Das SRA dient damit im Sinne der Technikfolgenabschätzung der technischen Optimierung und dem Denken in Alternativen.¹⁷

Das SRA kann im kontinuierlichen Verbesserungsprozess eingesetzt werden und hilft bei der nachhaltigen Einordnung der Technologien. Die Bewertung der einzelnen Kriterien kann dabei – in Abhängigkeit zum Entwicklungsstand der Technologie – unterschiedlich genau erfolgen. Während bei noch niedrigem TRL eher eine qualitative dreistufige Bewertung angeraten ist, kann bei marktgängigen Technologien eine präzise Bewertung auf Basis quantitativer Indikatoren in fünf Stufen erfolgen. Im vorliegenden Handlungsleitfaden wird die fünfstufige Skala dargelegt, da die Projekte des EWB bereits ein höheres Technology Readiness Level (TRL) erreicht haben (mindestens TRL Stufe 5, vergleiche hierzu Kapitel 3.3.1).

¹⁵ Haase et al. 2021; Gapp-Schmeling et al. 2022.

¹⁶ Bur, A., Gapp-Schmeling, K., Noll, F., Martinez, I., Welz, A.-M. (2022): *TRL-Plus: Kriterien einer technologiebezogenen Nachhaltigkeitsbewertung (Workshop)*. Petershagen: Energiewendebauen. PL-Treffen

¹⁷ Bösch, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C. (2021): *Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis*, Nomos: Baden-Baden.

3. Kriterien des Sustainability Readiness Assessment

Die Kriterien des Sustainability Readiness Assessment (SRA) sind abgeleitet von den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts¹⁸ der Nachhaltigen Ökonomie und den damit verbundenen Qualitätszielen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und Qualitätsziele¹⁹

Herausforderung des 21. Jahrhunderts	Qualitätsziel
Ökologische Dimension	
Klimaerwärmung	Klimaneutralität
Materialaufwand	Geringer Nutzungsgrad an Primärrohstoffen
Übernutzung von erneuerbaren Ressourcen	Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen
Gefährdung menschlicher Gesundheit	Gesunde Lebensbedingungen
Zerstörung von Arten- und Biotopvielfalt	Naturverträglichkeit
Ökonomische Dimension	
Negative Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt	Existenzsichernde Erwerbsarbeit bei akzeptabler Arbeitsqualität
Unzureichende Befriedigung der Grundbedürfnisse mit nachhaltigen Produkten	Unterbrechungsfreie Versorgungssicherheit/ Systemstabilität
Instabilitäten (Geld, Finanzmärkte, Wettbewerbsfähigkeit), Externalitäten	Geringe betriebswirtschaftliche Wärmegestehungskosten
Globale und außenwirtschaftliche Ungleichgewichte, Abhängigkeiten	Geringe außenwirtschaftlichen Abhängigkeit
Staatsverschuldung; unzureichende Ausstattung mit meritorischen Gütern	Finanzielle Handlungsfähigkeit
Sozial-Kulturelle Dimension	
Fehlentwicklungen in Wirtschaft, Politik & Gesellschaft	Good Governance
Unsicherheit der dauerhaften Energieversorgung	Langfristige Versorgungssicherheit
Zentralisierung der Versorgungsstrukturen	Angemessene Dezentralisierung und Partizipation
Gewaltsame Konflikte	Innere und äußere Sicherheit, globale Verträglichkeit
Technische Risiken (z.B. Atomtechnik, Fracking)	Vermeidung von Risikotechnologien

Die Qualitätsziele der Nachhaltigen Ökonomie wurden mit den Qualitätszielen des Technical Readiness Assessment verglichen und ergänzt bzw. Doppelungen reduziert. Für die Technische Dimension wurden als Ziele die Beurteilung des technologischen Reifegrades, die Vermeidung von Risikotechnologien und ein geringer Nutzungsgrad an Primärrohstoffen festgelegt.

Von diesen Qualitätszielen müssen nun zur Bewertung Indikatoren und Kriterien abgeleitet werden. Diese sind individuell und können je nach Technologie abweichend sein. In den folgenden Kapiteln werden exemplarisch Indikatoren und Kriterien vorgestellt.

¹⁸ H. Rogall und K. Gapp-Schmeling, Nachhaltige Ökonomie, Marburg: Metropolis, 2021.

¹⁹ H. Rogall und K. Gapp-Schmeling, Nachhaltige Ökonomie, Marburg: Metropolis, 2021.

3.1. Überblick zum Aufbau der Kriterienbereiche

Für die vier Dimensionen des SRA wurden Kriterien und Indikatoren in Anlehnung an die Methodik des Forschungsvorhaben KoWa abgeleitet^{20,21}. Diese werden im Folgenden einzeln dargestellt und deren Anwendung wird im Rahmen der Technologiebewertung erläutert.

Für jedes Nachhaltigkeitskriterium müssen projektspezifisch konkrete operationalisierte Indikatoren definiert und Bewertungsstufen festgelegt werden. Kriterien sind die Merkmale, um die Zielerreichung der Qualitätsziele beschreibbar zu machen. Als Indikatoren werden messbare Größen verstanden, die stellvertretend für das jeweilige Kriterium stehen. Sie können zur Beurteilung genutzt werden.

Tabelle 2 Kriterien in den vier Dimensionen²²

Technologisch	Ökologisch	Ökonomisch	Sozial-kulturell*
Stand der Technik (Technical Readiness Level)	Treibhausgas-emissionen	Beitrag zur regionalen Wertschöpfung	Reichweite der eingesetzten Ressourcen
Technische Risiken	Schutz der Arten- und Landschaftsvielfalt	Resilienz und Versorgungssicherheit	Partizipation und Teilhabe
Kreislaufwirtschaft & Materialverbrauch	Schadstoffemissionen	Importquoten & außenwirtschaftliche Abhängigkeiten	Konfliktpotential der eingesetzten Ressourcen

Die Bewertungsskala der Indikatoren liegt im vorliegenden Handlungsleitfaden für alle Kriterien zwischen 1 (positiv) und 5 (negativ). Die Bewertungsstufen sollen nicht zu einer Gesamtzahl zur Bewertung von Nachhaltigkeit zusammengefasst werden, da somit einzelne Risiken und Stärken der Technologien nicht mehr ausreichend nachvollziehbar sind. Die Auswertung dient vielmehr der nachhaltigen Gesamtbewertung und dem Vergleich unterschiedlicher Technologielösungen.

3.2. Vorgehen für die Entwicklung projektbezogener SRA-Indikatoren

Dieser Leitfaden soll die Forschenden im Bereich EWB motivieren, sich bereits in einer frühen Projektphase mit den verschiedenen Auswirkungen ihrer innovativen Technologieentwicklungen zu befassen. Die hier vorgeschlagenen Schritte sollen die Planung einer Nachhaltigkeitsbewertung erleichtern. Die Autor*innen empfehlen folgenden Ablauf für ein SRA.

²⁰ H. Rogall und K. Gapp-Schmeling, Nachhaltige Ökonomie, Marburg: Metropolis, 2021.

²¹ K. Gapp-Schmeling, F. Hewelt, M. Meyer, H. Rogall, C. Schmidt, C. Waldhoff, A. M. Welz und B. Wern, „Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Wärmeversorgungsoptionen - Methodenbericht,“ IZES, Berlin, 2021.

²² EWB 2022

1. Definition der zu bewertenden Projekte/ Produkte/ Technologien.

Jede Technologie lässt sich zwar für sich allein bewerten. Dennoch veranschaulicht eine Vergleichstechnologie bzw. die Technologie, die ersetzt werden soll, die technologische Weiterentwicklung und stellt die Nachhaltigkeitsbewertung im Technologievergleich dar.

2. Ableitung von technologiespezifischen Kriterien / Indikatoren (grob).

Jedes SRA benötigt konkrete Kriterien und Indikatoren, um die Nachhaltigkeits-indikatoren messbar zu machen. In einem iterativen Prozess müssen die Kriterien für die vier Dimensionen des SRA (Tabelle 2) je Technologievorhaben festgelegt werden.

3. Festlegung der Bewertungsstufen und der Operationalisierung.

Visuell geeignete Darstellungsformen des SRA sind das Profillinien- oder das Spinnennetzdiagramm. Für diese Diagramme ist es wichtig gleiche Bewertungsstufen festzulegen. Im vorliegenden Handlungsleitfaden wird eine fünfstufige Skala für alle Indikatoren vorgeschlagen.

4. Prüfung der grundsätzlichen Datenverfügbarkeiten und Vorhaben-bezogenen Daten

In einem nächsten Schritt werden für jeden Indikator des SRA (Tabelle 2 und Folgekapitel) die Verfügbarkeit der Daten und die projekt- bzw. technologiespezifische Anwendbarkeit geprüft.

5. Erster Bewertungsdurchlauf: Dokumentation pro Indikator & Bewertungsgegenstand

Ein erster Bewertungsdurchlauf kann bereits in einer frühen Vorhabensphase erfolgen. Die Ergebnisse werden dokumentiert und gegebenenfalls bereits in einer Diagrammform dargestellt.

6. Überprüfung der Technologie, der Indikatoren und der Bewertungsstufen.

In einem daran anschließenden Prozess werden sowohl die Indikatoren als auch die Technologie überprüft und hinterfragt. Gegebenenfalls sollten Anpassungen vorgenommen werden, wenn erkennbar wird, dass es zu Fehlallokationen in der Technologie kommt oder die Indikatoren und Bewertungsstufen nicht zum Vorhaben passen.

7. Erneuter Bewertungsdurchlauf: Überprüfung auf Konsistenz.

Nach einer Anpassung und Konsistenzprüfung wird ein erneuter Bewertungsdurchlauf gestartet und abgebildet.

In den folgenden vier Großkapiteln (Kapitel 3.3 bis Kapitel 3.6) werden für die unterschiedlichen Dimensionen des SRA die Anwendbarkeit und Indikatorenanalyse dargestellt, mit Hintergründen untermauert, ein Bewertungsschema vorgeschlagen und ein Beispiel dargestellt. Die Autor*innen legen in diesen Kapiteln dar, wie die praktische Anwendung des SRA auf Technologie- bzw. Vorhabensebene erfolgen kann.

3.3. Technologische Dimension

Im Rahmen der Projektbewertung des SRA in der Technologischen Dimension werden folgende drei Indikatoren vorgeschlagen.

- Technology Readiness Level (TRL)
- Risikomatrix
- Materialzirkularitätsindex

3.3.1. Indikator: Technology Readiness Level (TRL)

Herausforderung: Identifizierung der technologischen Reife.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist das SDG 9 Industrie, Innovation und Infrastruktur.

Hintergrund und Bewertung:

Das erste Kriterium bei der nachhaltigen Technologiebewertung bezieht sich auf die Identifizierung der technologischen Reife. Für diese bieten der TRL-Leitfaden²³ und Schön et al²⁴ klare Bewertungsmaßstäbe. Im Rahmen des SRA muss die 9-stufige TRL-Skala aber in eine 3 bzw. fünfstufige Skala überführt werden.

- Stufe 1 und 2: Grundlagenforschung, Basis für Erkenntnisgewinn und Fortschritt
- Stufe 3 und 4: Übergang zur angewandten Forschung, Bauteilvalidierung im Labor
- Stufe 5 und 6: Bauteil-Validierung und Demonstration in relevanter Umgebung
- Stufe 7 und 8: Demonstration eines System-Prototyps in einer Betriebsumgebung, Fertigstellung und Qualifizierung des Systems
- Stufe 9: erfolgreicher Betrieb

Zumeist befinden sich die Projekte im Rahmen der Forschungsinitiative EWB in den Technologiestufen 5 und höher. Die Projekte im Rahmen der Förderkulisse des BMWK sollten auf diese TRL-Kriterien untersucht werden. Ein möglicher Ansatz zur Systematisierung und Einordnung ist der Stufenverteilung obiger Aufzählung zu entnehmen. Details zu den Stufenerläuterungen können der Literatur entnommen werden, z.B. dem TRL Leitfaden.

Bewertungsstufen

Die Technologiestufen 1 bis 9, wie die NASA sie für die TRL entwickelt hat, werden den fünf Stufen der SRA-Matrix als umgekehrte Ordinalstufen zugeordnet (1 erfolgreicher Betrieb) bis 5 (Grundlagenforschung).

²³ N. Deshmukh Towery, E. Machek and A. Thomas, "Technology Readiness Level Guidebook," U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Federal Highway Administration, 6300 Georgetown Pike, McLean, VA 22101-2296, 2017.

²⁴ S. Schön, C. Eismann, H. Wendt-Schwarzburg und K. D., Transdisziplinäres Innovationsmanagement, Nachhaltigkeitsprojekte wirksam umsetzen., WBV Publikation, 2020.

Tabelle 3 Detaillierung der Bewertung in Abhängigkeit vom TRL

Stufe	TRL
1	TRL 1 und 2: Grundlagenforschung
2	TRL 3 und 4: Übergang zur angewandten Forschung
3	TRL 5 und 6: Bauteil-Validierung und Demonstration in relevanter Umgebung
4	TRL 7 und 8: Demonstration eines System-Prototyps in einer Betriebsumgebung
5	TRL 9: erfolgreicher Betrieb

Beispiel:

Die Bewertungsmatrix ist in diesem Fall selbsterklärend. Jeder Projektakteur sollte den entwickelten Technologieansatz in dieser Matrix einordnen können.

3.3.2. Indikator: Risikomatrix

Herausforderung: Technologische Risiken bewerten.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist auch das SDG 9 Industrie, Innovation und Infrastruktur.

Hintergrund und Bewertung:

Aus Sicht der nachhaltigen Ökonomie stellen technologische Risiken eine erhebliche Herausforderung für die Zukunft dar. Darin werden diese in der sozial-kulturellen Dimension zugeordnet. So können neue Technologien das Leben erleichtern, aber auch gefährden. Bewährte Technologien können aber umgekehrt auch ein hohes Risiko darstellen (z.B. Kernenergie), so dass es unerlässlich ist, das Risiko zu quantifizieren.

Zur Risikobewertung ist ein etabliertes Verfahren des Qualitätsmanagements zur Operationalisierung gewählt worden: die Risikomatrix. Die Risikomatrix kann das Risiko einzelner Gefährdungen bewerten. Dazu werden die einzelnen Gefährdungen unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses und der möglichen Schwere des Schadens in eine von fünf Risikostufen eingeordnet (Tabelle 4).²⁵

Tabelle 4 Risikomatrix nach Nohl

		Wahrscheinlichkeit der Risikoexposition			
		Sehr niedrig	Niedrig	Mittel	Hoch
Mögliche Schwere des Schadens	Leichte Verletzungen oder Erkrankungen	1	1	2	3
	Mäßige Verletzungen oder Erkrankungen	1	2	3	4
	Schwere Verletzungen oder Erkrankungen	2	3	4	5
	Möglicher Tod, Katastrophe	3	4	5	5

²⁵ Nohl und Thiemecke: Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen. (System for carrying out risk analyses.), Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 536), 1988. Vgl. Zinnicker: Zuverlässigkeits und Sicherheitsplanung (577-608) in: Pfeifer, T. & Schmitt, R. (2021): Masing Handbuch Qualitätsmanagement, Carl Hanser Verlag: München.

Bewertungsstufen

Für die Abschätzung der Schwere des Schadens und der Wahrscheinlichkeit der Risikoexposition können bei etablierten Technologien in der Regel (quantitative) Erfahrungswerte genutzt werden. Bei Technologien, die noch keine Marktreife erreicht haben, empfiehlt sich eine Expert*inneneinschätzung, die jedoch extern validiert werden sollte (z.B. durch die Begleitforschung).

Tabelle 5 Bewertungsstufen für die Risikobewertung

Stufe	Bewertung und Maßnahmen
1	Keine Maßnahmen erforderlich
2	Keine Maßnahmen erforderlich, Risikobewusstsein sollte aber geschärft sein
3	Vorbeugende Maßnahmen sollten in Betracht gezogen werden
4	Es besteht ein dringender Handlungsbedarf
5	Technologie darf nicht verwendet werden

Vergabe der Werte 1 (ungefährlich) bis 5 (Technologie nicht verwenden).

Beispiel:

Im Bereich der Energietechnologien kann z.B. die Atomenergie als eine Technologie mit einer massiven Gefährdung im Falle eines Schadensfalles bewertet werden, wohingegen der Einsatz von Solar- oder Holzkraftwerken im Falle eines Schadens keine oder nur geringe Schäden erwarten lassen. Diese „mögliche Schwere des Schadens“ wird in der Matrix der „Wahrscheinlichkeit der Risikoexposition“ je Standort gegenübergestellt und bewertet. Je nach Technologie, die bewertet wird, sollte nach diesem Schema eine Risikobewertung vorgenommen werden.

3.3.3. Indikator: Materialzirkularitätsindex

Herausforderung: Lineare Wirtschaft in Kreislaufwirtschaft überführen.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist das SDG 12 Verantwortungsvoller Konsum & Produktion.

Hintergrund und Bewertung:

Die nachhaltige Verwendung von Ressourcen bei der Nutzung einer neuen Technologie ist ein wichtiges Kriterium zur Bewertung des Technologiestandards, da es der Kreislaufwirtschaft dient. Unter Kreislaufwirtschaft wird die nachhaltige Ressourcenverwendung mit möglichst wiederholter Nutzung einzelner Materialkomponenten verstanden. Ziel ist dabei die ressourceneffiziente und nachhaltige Nutzung von Rohstoffen, bei der die Weiterverwendung und das Recycling in einem geschlossenen Kreislauf sowie die Vermeidung von Abfällen im Vordergrund stehen.

Als Indikator und Maßeinheit der Bewertung dient der Material Circularity Indicator (MCI), z.B. über den Kalkulator, der im Rahmen des internationalen Projektes – kofinanziert von der EU – ResCoM²⁶ entwickelt wurde. Der Materialzirkulationsindikator wird dabei in Prozent ausgedrückt.

Bewertungsstufen

Durch das ResCoM-Projekt liegen in der Regel quantifizierbare Daten vor, mit denen eine Einstufung in die unten genannten Bewertungsstufen erfolgen kann. Befindet sich die Technologie noch in der Entwicklung, so dass die Werte mit dem ResCoM-Kalkulator nicht zuverlässig ermittelt werden können, sind Annahmen zu treffen. Wenn diese im Vergleich zu am Markt gängigen Produkten zu einer besseren Einstufung führen, müssen diese Annahmen als Entwicklungsanforderungen (z.B. im Lasten- / Pflichtenheft) in der weiteren Entwicklung übernommen werden, so dass mögliche Schwächen frühzeitig im Entwicklungsprozess behoben werden.

Tabelle 6 Bewertungsstufen des Zirkularitätsindex

Stufe	Zirkularität (%)	Abfallanteil (%)	Nutzung fossiler Ressourcen (%)
1	100%	0%	0
2	75%	25%	Gering (<25%)
3	50%	50%	Mittel (50%)
4	25%	75%	Hoch (75%)
5	0%	100%	Sehr hoch (bis 100%)

Beispiel:

100 % - und damit Stufe 1 der SRA-Bewertung – entspricht einem vollständig zirkulären Modell ohne Abfall und nur unter Nutzung erneuerbarer Ressourcen. 0 % – und damit Stufe 5 in der SRA-Bewertung entspricht hingegen einem vollständig linearen Wirtschaftssystem ohne Abfallrecycling und unter Nutzung fossiler Energie- und Rohstoffquellen.

3.4. Ökologische Dimension

Im Rahmen der Projektbewertung des SRA in der Ökologischen Dimension werden folgende drei Indikatoren vorgeschlagen.

- Treibhausgasemissionen (THGE)
- Auswirkungen auf die Natur
- Schadstoffemissionen

Der Material Circularity Indikator, der bereits bei den Technologischen Dimension erhoben wird, hat auch in der ökologischen Dimension eine hohe Aussagekraft. Die Aussagekraft des MCI strahlt demnach auch in die Ökologische Dimension und dessen Inhalte werden daher hier nicht weiter fokussiert.

²⁶ Circularity Calculator

3.4.1. Indikator: Treibhausgasemissionen

Herausforderung: Treibhausgasemissionen reduzieren und Globale Erwärmung begrenzen.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist das SDG 13 Climate Action.

Hintergrund und Bewertung:

Die zur Bewertung anstehenden Technologien sollen an der Klimawirksamkeit gemessen werden. Das SDG 13 Climate Action steht für das Ziel der Begrenzung der globalen Erwärmung durch den menschengemachten Ausstoß von Treibhausgasen, z.B. bei der Energie- und Wärmeerzeugung sowie dem Verkehr. Der Ausstoß von Treibhausgasen wird dabei pro spezifischem Projektkriterium oder Output-Einheit (z.B. pro m² Wohnfläche bei Wärmeenergie, pro 100 km Fahrtstrecke bei Mobilität, pro MWh Stromerzeugung) ermittelt und muss je nach Technologietyp angepasst werden.

Bewertungsstufen:

In der Regel liegen für die Treibhausgasemissionen pro Outputeinheit konkrete quantitative Vergleichswerte auf Basis von Life Cycle Assessment-Studien vor. Es empfiehlt sich auf Vergleichswerte aus Datenbanken wie GEMIS etc. zurückzugreifen, so dass sich die Stufengrenzen auf Basis statistischer Methoden festlegen lassen. Sollte dies nicht möglich sein, sind bei der Festlegung der Stufengrenzen andere sachliche Erwägungsgründe (z.B. rechtliche Grenzwerte, Empfehlungen von wissenschaftlichen Gremien) zu berücksichtigen.

Tabelle 7 Bewertungsstufen für die THGE

Stufe	Beschreibung auf Basis statistischer Methoden	Beschreibung auf Basis von Erwägungsgründen
1	20 % Quintil (die 20 % der Vergleichsprozesse mit den geringsten Emissionen)	Best in Class
2	40 % Quintil	Unterschreitung gesetzlicher Mindestanforderungen, aber kein best in class
3	60 % Quintil	Einhaltung gesetzlicher Mindestanforderungen.
4	80 % Quintil	
5	Die schlechtesten 20 %.	Nicht-Einhaltung der Anforderungen

Beispiel:

In Martinez-Noguez et al. ²⁷ wird beispielhaft eine Bewertungsskala für die THG-Emissionen in kg CO_{2eq}/m² Wohnfläche bei der Bewertung von Raumwärmetechnologien aus dem KoWa-Projekt (FKZ 03EN3007) angeführt. Diese ist der Tabelle 8 dargestellt. Der Stufengrenzen wurden auf Basis statistischer Daten der Versorgungsoptionen und des durchschnittlichen Endenergiebedarfs pro m² ermittelt.

²⁷ Martinez-Noguez, I.; Gapp-Schmeling, K.; Bur, A.; Masako Welz, A., „Further development of the Technology Readiness Level (TRL) to a more comprehensive ‘Sustainable Readiness Assessment’“, 17.04.2024, unveröffentlichtes Skript.

Tabelle 8 Bewertungsmaßstäbe für das Kriterium THG-Emissionen in kg CO_{2eq}/m² für Raumwärmetechnologien

Bewertung	Definition: Die spezifischen CO _{2eq} -Emissionen der Versorgungsoption sind	
	größer als oder gleich	kleiner als
Stufe 1	-	2,0 kg CO _{2eq} / m ²
Stufe 2	2,0 kg CO _{2eq} / m ²	3,9 kg CO _{2eq} / m ²
Stufe 3	3,9 kg CO _{2eq} / m ²	16 kg CO _{2eq} / m ²
Stufe 4	16 kg CO _{2eq} / m ²	44 CO _{2eq} / m ²
Stufe 5	44 kg CO _{2eq} / m ²	-

3.4.2. Indikator: Auswirkungen auf die Natur

Herausforderung: Auswirkungen auf die Natur beziffern.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator sind die SDGs 14 und 15 Leben unter Wasser und Leben an Land.

Hintergrund und Bewertung:

Um eine Technologie in Hinblick auf die Auswirkungen auf den Naturhaushalt zu bewerten, bedarf es eigentlich einer Vielzahl von Indikatoren. Im Rahmen der Studien des Projektes MonDoWi und der EWB wird als ein möglicher Indikator zur Bewertung der Auswirkungen auf die Natur die „Landnutzung“ genannt. Daneben gibt es aber eine Vielzahl an Indikatoren, die – individuell für die zu bewertende Technologie – herangezogen werden könnten und sollten, um auch die Veränderungen für das Leben unter Wasser und an Land zu bewerten. Es ist Aufgabe der Projektnehmenden einen passenden Indikator für die Auswirkungen des Projektes bzw. der entwickelten Technologie auf den Naturhaushalt an Land und unter Wasser zu finden und projektspezifisch zu beschreiben. Liegen keine quantifizierbaren Ergebnisse vor, kann als Referenz für die deskriptive Beschreibung der Wert oder Zustandsveränderung der Standardtechnologie dienen.

Bewertungsstufen:

Die Werte dieses Kriteriums bzw. Indikators variieren demnach zwischen 1 und 5. Mit „1“ wird eine Technologie bewertet, die den Naturhaushalt weder an Land noch im Wasser einschränkt, keine unwiederbringlichen Veränderungen an Landschaft, Natur und Umwelt erzeugt und daher sehr naturverträglich ist, evtl. sogar eine Verbesserung des Status Quo erreicht. Mit „5“ wird eine Technologie bewertet, die schädigend auf den Naturhaushalt an Land und im Wasser wirkt und unwiederbringliche Veränderungen der Landschaft und der Ökosysteme unter Verbrauch fossiler Ressourcen erzeugt.

Beispiel:

Im Projekt ReNu2Cycle, das sich mit Düngemitteln beschäftigt, wird die Naturverträglichkeit anhand des Vorkommens und Gehaltes an Nematoden und anderen Kleinstlebewesen bewertet. Dabei werden die Daten in Feldversuchen für die neuen Düngemittel ermittelt. Für die Naturverträglichkeit ist nicht immer ein quantitativer Indikator verfügbar. Daher müssen Bewertungsregeln festgelegt werden, um ein vergleichbares Bewertungsvorgehen in allen Untersuchungsgebieten bzw. Projekten zu gewährleisten. Dabei ist die Festlegung der Bewertungsregeln durch das Konsortium zu validieren.

Im KoWa-Projekt wurden folgende Bewertungsregeln nach einer kontroversen Diskussion festgelegt.²⁸

Bei der Nutzung quasi unerschöpflicher Ressourcen (Solarthermieranlagen) müssen die Auswirkungen am Standort berücksichtigt werden. Wird zusätzliche Fläche für den Bau der Anlagen versiegelt, wären negative Auswirkungen zu erwarten (**Stufe 4**). Wird bisher versiegelte Fläche effizienter genutzt (z.B. durch Dachanlagen) oder erfolgt durch das Gesamtkonzept eine ökologische Aufwertung von Industriebrachen oder artenarmem Ackerland, wäre von positiven Auswirkungen (**Stufe 2** für Dachanlagen, **Stufe 1** für ökologische Aufwertung) auszugehen.

Die Nutzung von industrieller Abwärme oder Abwärme aus Abwasser stellt ebenfalls eine effizientere Nutzung bestehender Flächen und Infrastruktureinrichtung dar. Es erfolgt die Bewertung mit **Stufe 2**, da durch die Abwärme andere Energieträger durch sowieso vorhandene Energie ersetzt werden.

Auch bei der Nutzung von biogenen Reststoffen ist von einer effizienteren Nutzung der Fläche und damit einer Bewertung mit **Stufe 2** auszugehen (wenn die Nutzungskaskade streng eingehalten wird). Bei der Nutzung von Gülle, Festmist und Klärschlamm erfolgt die Bewertung mit **Stufe 1**. Bei der Nutzung von Holz aus KUP hängen allerdings die Auswirkungen von der bisherigen Flächennutzung ab. Bei strukturarmen Agrarflächen ist eher von positiven ökologischen Auswirkungen auszugehen (**Stufe 2**). Bei der Verdrängung von ökologisch wertvollen Flächen durch KUP wären negative Auswirkungen zu vermuten (**Stufe 5**).

Bei der Nutzung fossiler Energien sind negative Auswirkungen zu erwarten, da für den Abbau fossiler Energieträger immense Natureingriffe notwendig sind. Diese betreffen die Förderung der Rohstoffe und auch den Bau von Transportleitungen. Hier ist grundsätzlich von negativen Auswirkungen auf die Naturverträglichkeit auszugehen (**Stufe 5**).

3.4.3. Indikator: Schadstoffemissionen

Herausforderung: Schadstoffemissionen/ Gefährdung der menschlichen Gesundheit bewerten.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist das SDG 3 Gute Gesundheit und Wohlbefinden und SDG 11 Nachhaltige Städte und Gemeinden.

Hintergrund und Bewertung:

Entwickelte Technologien dienen nicht nur dem technologischen Fortschritt, sondern haben auch eine Verpflichtung gegenüber der Menschheit und ihrer Gesundheit. Ein Eingriff und eine Belastung der Umweltmedien Luft, Wasser und Boden lässt sich durch Schadstoffemissionen quantifizieren, die die (menschliche) Gesundheit gefährden. Um Technologieentwicklungen in der ökologischen Dimension zu bewerten, ist die Ermittlung der Schadstoffemissionen einer Technologie pro Outputeinheit erforderlich. Hierzu werden Projekt- und Technologieentwickler aufgefordert, im Rahmen einer Ökobilanzierung das Versauerungspotential der entwickelten Technologie in Schwefeldioxidäquivalenten (SO_{2eq}) darzustellen. Dies kann über die verschiedenen Instrumente der Lebenszyklusanalyse erfolgen und sollte in Vergleich zur Referenztechnologie gesetzt werden.

Bewertungsstufen:

Das Vorgehen ist identisch mit dem Vorgehen bei der THGE Bewertung. In der Regel liegen für die Schadstoffemissionen pro Outputeinheit konkrete quantitative Vergleichswerte auf Basis von Life Cycle Assessment - Studien vor. Es empfiehlt sich auf Vergleichswerte aus Datenbanken wie GEMIS

²⁸ K. Gapp-Schmeling, F. Hewelt, M. Meyer, H. Rogall, C. Schmidt, C. Waldhoff, A. M. Welz und B. Wern, „Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Wärmeversorgungsoptionen - Methodenbericht,“ IZES, Berlin, 2021.

etc. zurückzugreifen, so dass sich die Stufengrenzen auf Basis statistischer Methoden festlegen lassen. Sollte dies nicht möglich sein, sind bei der Festlegung der Stufengrenzen andere sachliche Erwägungsgründe (z.B. rechtliche Grenzwerte, Empfehlungen von wissenschaftlichen Gremien) zu berücksichtigen.

Tabelle 9 Bewertungsstufen für die Schadstoffemissionen

Stufe	Beschreibung auf Basis statistischer Methoden	Beschreibung auf Basis von Erwägungsgründen
1	20 % Quintil (die 20% der Vergleichsprozesse mit den geringsten Emissionen)	Best in Class
2	40 % Quintil	Unterschreitung gesetzlicher Mindestanforderungen, aber kein best in class
3	60 % Quintil	Einhaltung gesetzlicher Mindestanforderungen.
4	80 % Quintil	
5	Die schlechtesten 20 %.	Nicht-Einhaltung der Anforderungen

Beispiel:

Im Projekt KoWa wurden die Schadstoffemissionen von 355 Vergleichsdatensätzen aus GEMIS statistisch untersucht. Bei der Festlegung der Stufengrenzen wurde die Verteilung im Boxplot berücksichtigt. Dabei wurden Technologien inklusive und exklusive fossiler Energieträger gegenübergestellt. Aus Praktikabilitätsgründen wurden die Stufengrenzen schließlich gerundet.

Tabelle 10 Bewertungsstufen für das Kriterium Schadstoffemissionen in kg SO_{2eq}/ MWh

Bewertung	Bedeutung: Das Versauerungspotential der Versorgungsoption ist	
	größer oder gleich	(aber) kleiner als
Stufe 1		0,05 kg SO _{2eq} / MWh
Stufe 2	0,05 kg SO _{2eq} / MWh	0,25 kg SO _{2eq} / MWh
Stufe 3	0,25 kg SO _{2eq} / MWh	0,45 kg SO _{2eq} / MWh
Stufe 4	0,45 kg SO _{2eq} / MWh	0,55 kg SO _{2eq} / MWh
Stufe 5	0,55 kg SO _{2eq} / MWh	

3.5. Wirtschaftliche Dimension

Im Rahmen der Projektbewertung des SRA in der Wirtschaftlichen Dimension werden folgende drei Indikatoren vorgeschlagen. Diese Indikatoren wurden nach Durchsicht etlicher ökonomischer Studien durch das Netzwerk Nachhaltige Wirtschaft ausgewählt.

Die drei Indikatoren sind der

- Beitrag zur regionalen Wertschöpfung
- System-Resilienz/ Redundanz sowie
- Importquote von Brennstoffen/ Materialien.

3.5.1. Indikator: Beitrag zur regionalen Wertschöpfung

Herausforderung: Beitrag zur regionalen Wertschöpfung beziffern.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist das SDG 8 Menschenwürdige Arbeit und wirtschaftliches Wachstum.

Hintergrund und Bewertung:

Um negative Entwicklungen vom Arbeitsmarkt entgegen zu wirken und einen volkswirtschaftlichen Beitrag zur akzeptablen Erwerbsarbeit zu leisten, wurde ein Indikator für den regionalen Wertschöpfungsbeitrag mit in die Technologiebewertung aufgenommen. Da im Rahmen des SRA keine vollumfängliche volks- und betriebswirtschaftliche Analyse einer Technologieauswirkung praktikabel umgesetzt werden kann, wurde sich auf diesen Indikator konzentriert. Der Effekt einer Technologie auf die regionale Wertschöpfung spiegelt nach Maßgabe der Autor*innen einen positiven Beschäftigungseffekt wider. Es geht im Kern darum, durch die Technologieanwendung menschenwürdige, auskömmliche Arbeit und damit einhergehend das Wirtschaftswachstum regional zu fördern (SDG 8). Der Indikator spiegelt damit auch das Beschäftigungsziel des magischen Vierecks der Wirtschaftspolitik (Preisniveaustabilität, hoher Beschäftigungsstand, außenwirtschaftliches Gleichgewicht und stetiges und angemessenes Wirtschaftswachstum) wider.

Zu den Auswirkungen einzelner Technologien für die Nutzung Erneuerbarer Energien auf die regionale Wertschöpfung liegen spezifische Untersuchungen vor. So hat das IÖW bereits 2010 ein Modell zur Ermittlung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten (WEBEE-Modell) entwickelt, das in weiteren Projekten angewendet wurde.²⁹ Aufgrund der jeweils spezifischen Projektparameter und Beschränkung auf ausgewählte Technologien können die Ansätze nicht ohne weiteres hochgerechnet werden. Gelingt es in einem Projekt die Effekte auf die regionale Wertschöpfung konkret zu quantifizieren, können die Bewertungsstufen mit quantitativen Stufengrenzen versehen werden. Liegen diese Werte nicht vor, muss eine Expert*innenabschätzung unter Berücksichtigung der Wertschöpfungskette erfolgen.

Bewertungsstufen:

Tabelle 11 zeigt qualitative Bewertungsregeln für das Kriterium. Diese müssen projektspezifisch angepasst werden.

Tabelle 11 Bewertungsstufen für die regionale Wertschöpfung

Stufe	Beschreibung
1	Bei Umsetzung der Versorgungsoption sind positive Beschäftigungseffekte in der Region zu erwarten. Von diesen ist auszugehen, wenn der Großteil der Wertschöpfung, die durch diese Versorgungsoption induziert wird, in der Region (Landkreis und/ oder Umkreis von 200 km) stattfindet und an der Umsetzung primär regionale Unternehmen beteiligt sind.
2	
3	Bei Umsetzung der Versorgungsoption sind positive Beschäftigungseffekte in Deutschland zu erwarten. Der Großteil der Wertschöpfung, die durch diese Versorgungsoption induziert wird, findet überregional, aber in Deutschland statt. An der Umsetzung sind vor allem überregional tätige Unternehmen (EVU) mit Sitz in Deutschland beteiligt.

²⁹ Vgl. Hirschl, B., Heinbach, K., Prahl, A., Salecki, S., Schröder, A., Aretz, A., Weiß, J. (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Schriftenreihe des IÖW 210. Berlin (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)).

4	
5	Ein Großteil der Wertschöpfung, die durch diese Versorgungsoption induziert wird, findet im Ausland statt und wird importiert. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Energieträger zum weit überwiegenden Teil überregional aus dem Ausland importiert werden.

Beispiel:

Im Projekt KoWa wurde für eine innovative Wärmeversorgungs­lösung folgendes Bewertungsbeispiel dargestellt.

Beruh­te die Wärmeversorgungs­lösung z.B. zu 33 % auf Solarthermie und zu 67 % auf Gas-Brennwert, sind folgende Aspekte abzuwägen: Die Produktion der Solarthermieanlage findet in der Regel nicht in der Region und häufig nicht in Deutschland statt. Mit der Planung und Installation geht typischerweise aber eine regionale Wertschöpfung einher. Gas wird zu rund 95 % des inländischen Verbrauchs importiert. Zudem wird der Betriebsführungs­aufwand (der mit regionaler Beschäftigung einhergeht) als gering eingeschätzt. Insgesamt wird das Kriterium für eine solche Wärmeversorgungs­lösung daher mit der Stufe 4 versehen.

3.5.2. Indikator: System-Resilienz/ Redundanz

Herausforderung: Befriedigung der Grundbedürfnisse.

Um dieser Herausforderung zu begegnen, muss bereits die Wahl des Bewertungskriteriums im jeweiligen Handlungsfeld angepasst werden. So kann bei der Bewertung von politischen Maßnahmen oder dem Zustand der Volkswirtschaft z.B. die Kaufkraft des Medianeinkommens herangezogen werden. Für die Bewertung von Technologien ist die Kaufkraft aber ungeeignet. Im Handlungsfeld Energie kann die Herausforderung übersetzt werden in das Qualitätsziel ‚Unterbrechungsfreie Versorgungssicherheit/ Systemstabilität‘. Im Handlungsfeld Landwirtschaft (z.B. im Projekt ReNu2Cycle) kann die Verfügbarkeit der Produkte in den Regionen als angemessener Indikator angesehen werden.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator im Handlungsfeld Energie ist das SDG 7 Bezahlbare und saubere Energie und SDG 12 Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster.

Hintergrund und Bewertung:

Das gesellschaftliche Ziel ist dabei die kurzfristige ununterbrochene Versorgungssicherheit und damit die Bedürfnisbefriedigung. Die Erreichung dieses Ziels trägt insgesamt positiv zur Wirtschaftsentwicklung bei. Die kurzfristige Versorgungssicherheit von z.B. Wärmeversorgungs­technologien kann durch eine hohe Systemresilienz – übersetzt in eine technologische Redundanz zur Versorgung (auch Speicheroption) – erreicht werden. Für andere Technologien, z.B. im Bereich Steuerung und Automatisierung könnte das Kriterium die Ausfallsicherheit und für bestimmte Dämm- oder Baustoffe (ähnlich wie bei ReNu2Cycle) die Marktverfügbarkeit sein.

Für diese Herausforderung muss also bereits technologiespezifisch das Kriterium definiert werden. Im nächsten Schritt muss dann ein geeigneter Indikator ausgewählt werden. Dabei sollte das Projektteam auf Erfahrungen aus anderen Projekten zurückgreifen und die Wahl des Kriteriums auf die Bewältigung der Herausforderung abstellen.

Die Redundanz- und Systemresilienz lassen sich operativ für Technologie erheben und bewerten über: die rein deskriptive Beschreibung der Technologiealternativen.

Bewertungsstufen:

In der Tabelle 12 werden mögliche Bewertungsstufen für die Redundanz oder die Marktverfügbarkeit beispielhaft dargestellt. Die „1“ beschreibt darin eine hohe Redundanz und Systemresilienz und die „5“ eine niedrige Redundanz und Systemresilienz.

Tabelle 12 Bewertungsstufen für die Redundanz oder Marktverfügbarkeit

Stufe	Beschreibung der Redundanz einer Versorgungstechnologie	Beschreibung der Marktverfügbarkeit
1	Die Versorgungsoption verfügt über ein sehr hohes Maß an Resilienz, der Ausfall einer beliebigen Wärmequelle von mehr als drei Quellen oder Pufferspeichern im System kann für die zu erwartende Dauer der Störung durch andere Wärmequellen oder den Pufferspeicher kompensiert werden.	Die Produktion erfolgt in der betrachteten Region. Das Produkt ist im relevanten Markt verfügbar.
2	Die Versorgungsoption verfügt über ein hohes Maß an Resilienz, der Ausfall einer von drei Wärmequellen oder Pufferspeichern im System kann durch eine weitere, ggf. durch Notaggregate kompensiert werden.	
3	Die kurzfristige Versorgungssicherheit ist formal gegeben, d.h. der Ausfall einer Wärmequelle von zwei Wärmequellen oder Speichern kann kompensiert werden.	Das Produkt ist verfügbar, aber die mittelfristig verfügbaren Mengen sind nicht ausreichend um die mittelfristig erwartete Nachfrage zu decken.
4	Die kurzfristige Versorgungssicherheit ist nicht vollständig gegeben, bei Ausfall einer Wärmequelle kann die Versorgung nur teilweise ggf. mit spürbaren Einschränkungen für die Wärmenutzer*innen und durch ein vorhandenes Notfallaggregat (mit schlechteren ökologischen Auswirkungen und höheren Kosten) gewährleistet werden.	
5	Die unterbrechungsfreie Versorgung kann nicht garantiert werden.	Das Produkt kann nicht in Deutschland bzw. Im EU-Binnenmarkt hergestellt werden und muss aus Ländern außerhalb der EU importiert werden.

Beispiel:

Wenn eine Technologie in der Anwendung durch andere Technologien gedoppelt wird oder werden kann – mit demselben Ziel zur Deckung eines Grundbedürfnisses – so hat das System eine hohe Redundanz. Das Technologiesystem ist demnach widerstandsfähiger gegenüber äußeren Einflüssen und

Engpässen. Ebenso verhält es sich umgekehrt. Je einsträngiger ein Grundbedürfnis technologisch befriedigt werden kann, desto anfälliger ist das System. Als Beispiel könnte die Energieversorgung genannt werden. Wenn das Fernwärmesystem einer Stadt lediglich auf importiertem Erdgas betrieben wird, ist das System wenig resilient und besitzt eine niedrige Redundanz. Werden in das System andere – ggf. auch erneuerbare Energieträger mit heimischer Basis eingebaut – steigt die Systemresilienz und die Redundanz.

3.5.3. Indikator: Importquote von Brennstoffen/ Materialien

Herausforderung: Importquote von Brennstoffen/ Materialien ermitteln.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist das SDG 17 Partnerschaften zur Erreichung der Ziele.

Hintergrund und Bewertung:

Neue Technologien sollen das Leben verbessern und einen Beitrag zur Lösung vorliegender Probleme darstellen. Wirtschaftliche Abhängigkeiten können in dem Zusammenhang die Versorgungssicherheit gefährden und zu außenwirtschaftlichen Ungleichgewichten führen. Außenwirtschaftliche Ungleichgewichte sollen nach dem Stabilisierungsgesetz aus 1967³⁰ und den Zielen im Jahreswirtschaftsbericht der Bundesregierung vermieden und abgebaut werden. Daher ist es wichtig, Technologien auf die Außenhandelsabhängigkeit zu prüfen und zu bewerten. Die Importquote für eingesetzte Ressourcen dient als Indikator und stellt die Außenhandelsabhängigkeit dar.

Bewertungsstufen:

Liegen für die Energieträger-, Roh- oder Betriebsstoffe klare mengenmäßige Werte für konkrete Inputfaktoren vor, können die Importquoten auf Basis der amtlichen Außenhandelsstatistik erhoben werden. Ob Rohstoffe oder Betriebsstoffe betrachtet werden sollen, muss in Abhängigkeit vom technologischen Anwendungsbereich durch das Projektteam entschieden werden.

Tabelle 13 Bewertungsstufen für das Kriterium Importquote

Bewertung	Die gewichtete Importquote der verwendeten Stoffe ist	
	größer oder gleich	(aber) kleiner als
Stufe 1	-	10 %
Stufe 2	10 %	20 %
Stufe 3	20 %	40 %
Stufe 4	40 %	50 %
Stufe 5	50 %	-

Beispiel:

Eine hohe Abhängigkeit von Importen ist negativ, da zur Aufrechterhaltung des Systems und der Versorgungssicherheit gegebenenfalls politische Eingeständnisse gemacht werden müssen. Wenn eine Ressource durch eine im Heimatland verfügbare Ressource ersetzt werden kann oder gar nicht erst importiert werden muss, ist die Abhängigkeit niedrig.

³⁰ Gesetz zur Förderung der Stabilität und des Wachstums der Wirtschaft (StabG) vom 8. Juni 1967.

3.6. Sozio-kulturelle Dimension

Im Rahmen der Projektbewertung des SRA in der sozio-kulturellen Dimension werden folgende drei Indikatoren zur Technologiebewertung vorgeschlagen. Diese sind im Rahmen des SRA gleichrangig mit den anderen Bewertungsdimensionen.

- Bandbreite der eingesetzten Ressourcen
- Komplexität der Entscheidungsstrukturen
- Konfliktpotential der eingesetzten Ressourcen

3.6.1. Indikator: Bandbreite der eingesetzten Ressourcen

Herausforderung: Reichweite der eingesetzten Ressourcen soll bewertet werden.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator sind das SDG 12 Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion und das SDG 17 Starke Partnerschaften für nachhaltige Allianzen.

Hintergrund und Bewertung:

Im Rahmen der SRA sollen Technologien ganzheitlich bewertet werden. In diesem Bewertungsrahmen fällt auch die langfristige Sicherung der Rohstoffversorgung. Ziel ist es, Ressourcen zu nutzen, die unerschöpflich sind bzw. deren Regenerationsrate sicher eingehalten wird. Nachhaltiger Verbrauch und nachhaltige Produktion sind wichtig, um eine gute Lebensqualität für heutige und zukünftige Ressourcen zu gewährleisten.

Bei der Bewertung der Reichweite der eingesetzten Ressourcen muss bei fossilen Energieträgern berücksichtigt werden, dass die Aufnahmekapazität der Atmosphäre schon heute überschritten ist. Auch wenn es also noch Kohlereserven gibt, kann die Atmosphäre die Treibhausgasemissionen, die bei ihrer Nutzung entstehen nicht mehr aufnehmen. Es muss daher die Budget-Reichweite auf Basis der Klimaziele mitbeachtet werden.

Bewertungsstufen:

Tabelle 14 Bewertungsstufen für das Kriterium Reichweite der eingesetzten Ressourcen

Stufe	Beschreibung
Stufe 1	Es werden fast ausschließlich quasi-unerschöpfliche Ressourcen (z.B. Sonne, Wind) genutzt und bei der ergänzenden Nutzung erneuerbarer Ressourcen wird zwingend die Regenerationsrate eingehalten. Nur zur Sicherstellung der kurzfristigen Versorgungssicherheit werden fossile Rohstoffe eingesetzt. Die Budget-Reichweite der Versorgungsoption liegt über 300 Jahren.
Stufe 2	Der Bedarf wird zum überwiegenden Teil aus quasi unerschöpflichen Ressourcen gedeckt. Ergänzend werden hauptsächlich erneuerbare Ressourcen genutzt. Lediglich in sehr geringem Umfang werden fossile Energieträger eingesetzt, die durch synthetische oder recycelte Materialien schon heute mengenmäßig ersetzt werden könnten.
Stufe 3	Der Bedarf wird zum überwiegenden Teil aus quasi-unerschöpfliche Ressourcen oder erneuerbaren Ressourcen gedeckt, deren Regenerationsrate eingehalten wird. Ressourcen, deren Budget-Reichweite vor 2050 endet, werden insgesamt zu maximal 20 % eingesetzt.

Stufe 4	Der Bedarf wird zum überwiegenden Teil aus Ressourcen gedeckt, deren Budget-Reichweite vor 2050 endet; ergänzend werden erneuerbare und quasi-unerschöpfliche Ressourcen genutzt.
Stufe 5	Der Bedarf wird fast ausschließlich aus Ressourcen gedeckt, deren Budget-Reichweite vor 2050 endet.

Beispiel: aus KoWa

Beruhet die Wärmeversorgungslösung für ein Netz z.B. zu 33 % der Wärmemenge auf Solarthermie und zu 67 % auf Gas-Brennwert, so erfolgt eine Bewertung mit Stufe 4, da der überwiegende Teil des Energiebedarfes aus Gas gedeckt wird, dessen atmosphärische Budgetreichweite deutlich vor 2050 endet.

3.6.2. Indikator: Komplexität der Entscheidungsstrukturen

Herausforderung: Zentralisierung von Macht und Entscheidungsstrukturen soll durch hohes Maß an Mitwirkung, Demokratie und Komplexität der Entscheidungsstrukturen entgegen gewirkt werden.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator sind das SDG 10 Verringerung von Ungleichheiten und das SDG 17 Partnerschaft für die Ziele.

Hintergrund und Bewertung:

Chancengleichheit in den globalen Wirtschaftssystemen zu erreichen, dient nicht nur der Verbesserung der individuellen Lebensumstände, sondern ist auch zentrales Element einer nachhaltigen Demokratie. Um dieser Herausforderung zu begegnen, muss eine angemessene Dezentralisierung und Partizipation durch das Projekt bzw. die Technologie gefördert werden.

In der Technologiebewertung lässt sich mit der Analyse von Entscheidungsprozessen die Möglichkeit zur Verringerung von Ungleichheiten (SDG 10) darstellen. Durch die Beteiligung verschiedener Interessens- und Stakeholdergruppen Projektentwicklungsprozess können einseitig dominierte Meinungsbilder diversifiziert werden.

Je nach Handlungsfeld muss auch für diese Herausforderung das Kriterium spezifisch angepasst werden. So übersetzt das Konsortium im ReNu2 Cycle Projekt das Kriterium in die Abhängigkeit der Landwirte von anderen Stakeholdern.

Bewertungsstufen:

Je nach Definition des Kriteriums müssen dann auch die Bewertungsstufen individuell angepasst werden. In den bisherigen Projekten wurde auch eine merkmalsbasierte qualitative Bewertung abgestellt. Für das Kriterium einer angemessenen Partizipation sprechen folgende Merkmale:

- Anzahl der entscheidungsbefugten Akteure
- Wirtschaftliche und rechtliche Unabhängigkeit der entscheidungsbefugten Akteure
- Vorhandensein von demokratischen Partizipationsmechanismen
- Möglichkeiten der demokratischen Kontrolle auf Entscheidungsträger*innen

Für das Kriterium „Unabhängigkeit der Landwirte von anderen Akteuren“ können folgende Merkmale überprüft werden:

- Notwendige Investitionen und Kredite zur Nutzung der Technologie/ des Produktes
- Ökonomische Abhängigkeiten (z.B. Monopol/ Oligopolstrukturen)
- Auswirkungen der neuen Technologie auf die Produktivität.

Anders als bei den technologischen, ökologischen und ökonomischen Kriterien ist in diesem Kriterium eine höchst projektindividuelle Definition erforderlich. Es inkludiert Details aus dem Demokratieindex, aus dem Korruptionswahrnehmungsindex und Aussagen über die Marktdisparitäten (Marktmacht – Konzentration versus Diversifikation). Diese Indexwerte lassen sich aber auf Projektebene nicht darstellen. Daher ist eine projektindividuelle Auswahl und Beschreibung notwendig. Es sollte eine Validierung durch die Begleitforschung erfolgen.

Beispiel: KoWa

Treffen ein kommunales Stadtwerk und eine kommunale Wohnungsbaugesellschaft (die demokratischen Kontrollgremien unterliegen) oder eine Wohnungsbaugenossenschaft die Entscheidungen gemeinsam und werden dabei über geeignete Beteiligungsmechanismen (Mieter*innenrat) die Bedürfnisse der Bewohner*innen und ggf. gewerblicher Unternehmen als Stakeholder berücksichtigt, so wäre eine Bewertung mit **Stufe 1** plausibel.

Die **Stufen 2 bis 3** sollten vergeben werden, wenn nur einige der angesprochenen Elemente erfüllt werden oder diese nur teilweise umgesetzt werden, z.B. wenn es keine Partizipationsmechanismen für die Bewohner*innen gibt. Die **Stufe 4** sollte vergeben werden, wenn nur einzelne Aspekte teilweise erfüllt werden. Die **Stufe 5** trifft zu, wenn ein einzelner vertikal integrierter Akteur über wesentliche Änderungen der Versorgung entscheiden kann und die anderen Akteure keine Partizipationsmöglichkeiten haben.

3.6.3. Indikator: Konfliktpotential der eingesetzten Ressourcen

Herausforderung: Konfliktpotential der eingesetzten Ressourcen beziffern.

Zugehöriges SDG zu diesem Indikator ist das SDG 16 Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen.

Hintergrund und Bewertung:

Ressourcen, die importiert werden, bergen Konfliktpotential. Dabei ist das Konfliktpotential geringer, wenn die Ressourcen in vielen Ländern verfügbar sind und sich damit wirtschaftliche Ausweichmöglichkeiten bieten. Ist das Ressourcenpotential begrenzt und nur in wenigen Ländern verfügbar, kann dies zu Auseinandersetzung um die Zuteilung führen. Als Maß für das Konfliktpotential im Rahmen der Technologiebewertung wird die Drei-Länder Konzentrationsanalyse angewendet. Bei dieser Analyse wird das gewichtete Konfliktpotential auf die drei Länder mit der höchsten Importmenge angewendet. Das Konfliktpotential eines Landes kann mit dem Indikator „politische Stabilität und keine Gewalt“ der Worldwide Governance Indicators (WGI)³¹ verglichen werden. Die Importmenge je Land und Produkt werden der amtlichen Außenhandelsstatistik entnommen. Das gewichtete Konfliktrisiko ergibt sich aus der anteiligen Importmenge und dem WGI Konfliktpotential.

Bewertungsstufen am Beispiel:

³¹ D. Kaufmann, A. Kraay und M. Matruzzi, „The Worldwide Governance Indicators (WGI),“ 2020. [Online]. Available: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/#home>.

Das gewichtete Konfliktrisiko der einzelnen Energieträger ergibt sich aus den anteiligen Importmengen und dem WGI-Konfliktrisiko der einzelnen Länder. Die Matrix (Abbildung 1) zeigt die Bewertung des Konfliktpotenzials der Energieträger. Es werden beide Indikatoren für verschiedene Wärmeversorgungsoptionen dargestellt. Erdgas, Mineralöl und Steinkohle beispielsweise erhielten die Einstufung 5 und Holzpellets die Einstufung 1.

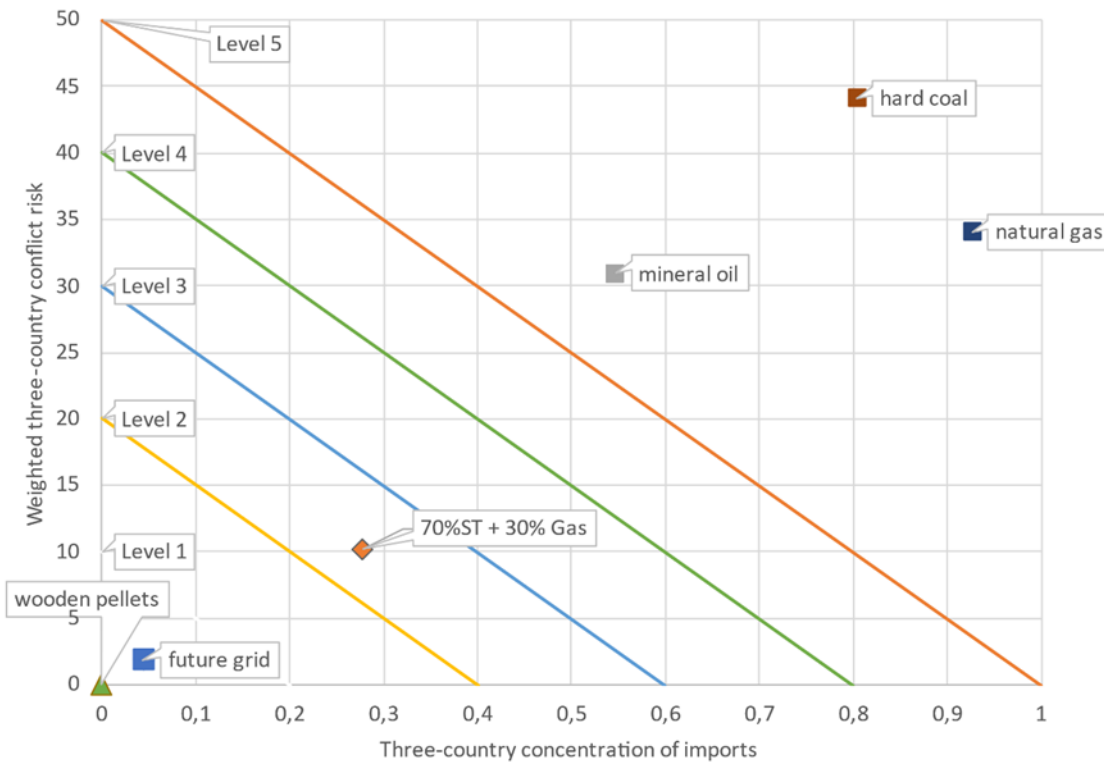


Abbildung 1 gewichtetes Konfliktpotential, Stand 2021.³²

³² Martinez-Noguez, I.; Gapp-Schmeling, K.; Bur, A.; Masako Welz, A.: „Further development of the Technology Readiness Level (TRL) to a more comprehensive ‘Sustainable Readiness Assessment’“, 17.04.2024

4. Zusammenfassung der Projektbewertung

Das SRA dient der Darstellung der Stärken und Schwächen einer Technologie unter Anwendung einer gleichberechtigten Analyse der wirtschaftlichen, ökologischen, sozio-kulturellen und technologischen Dimension. Ziel ist es, die Technologie in Hinblick auf ihre nachhaltigen Dimensionen im Technologie-sektor einzuordnen. Das SRA soll dazu beitragen, Mängel in Bezug auf die Nachhaltigkeit aufzudecken und die negativen Auswirkungen zu minimieren.

Das gesamte Bewertungsschema reduziert die Indikatoren und ihre Merkmale auf fünf Ordinalstufen, wobei „1“ immer eine besonders nachhaltige Ausprägung darstellt und „5“ eine besonders nicht-nachhaltige Ausprägung. Die Zusammenschau der einzelnen Indikatoren darf jedoch nicht auf einen Gesamtwert für Nachhaltigkeit zusammengenommen werden, sondern muss in ihrer Vielfalt dargestellt werden.

Für die Darstellung werden die individuellen Bewertungen der einzelnen Indikatoren in einem Excel-Arbeitsblatt – gegebenenfalls mit einem Referenzwert einer Vergleichstechnologie – zusammengestellt. Die zwei Wertepaare können dann unterschiedlich dargestellt werden. Nachfolgend gibt es zwei Vorschläge, wie eine Darstellung erfolgen kann. Es bieten sich entweder ein einfaches Profilliniendiagramm oder ein Spinnennetzdiagramm an, um die Ausprägung der 12 Indikatoren darzustellen. Ausgehend von einer einfachen Datenaufstellung kann die Darstellungsweise sich wie in Abbildung 2 als Spinnennetzdiagramm oder wie in Abbildung 3- als Profilliniendiagramm ausgeführt werden. Beides stellt die unterschiedliche Technologiebewertung umfassend und übersichtlich im Vergleich der Technologien dar.

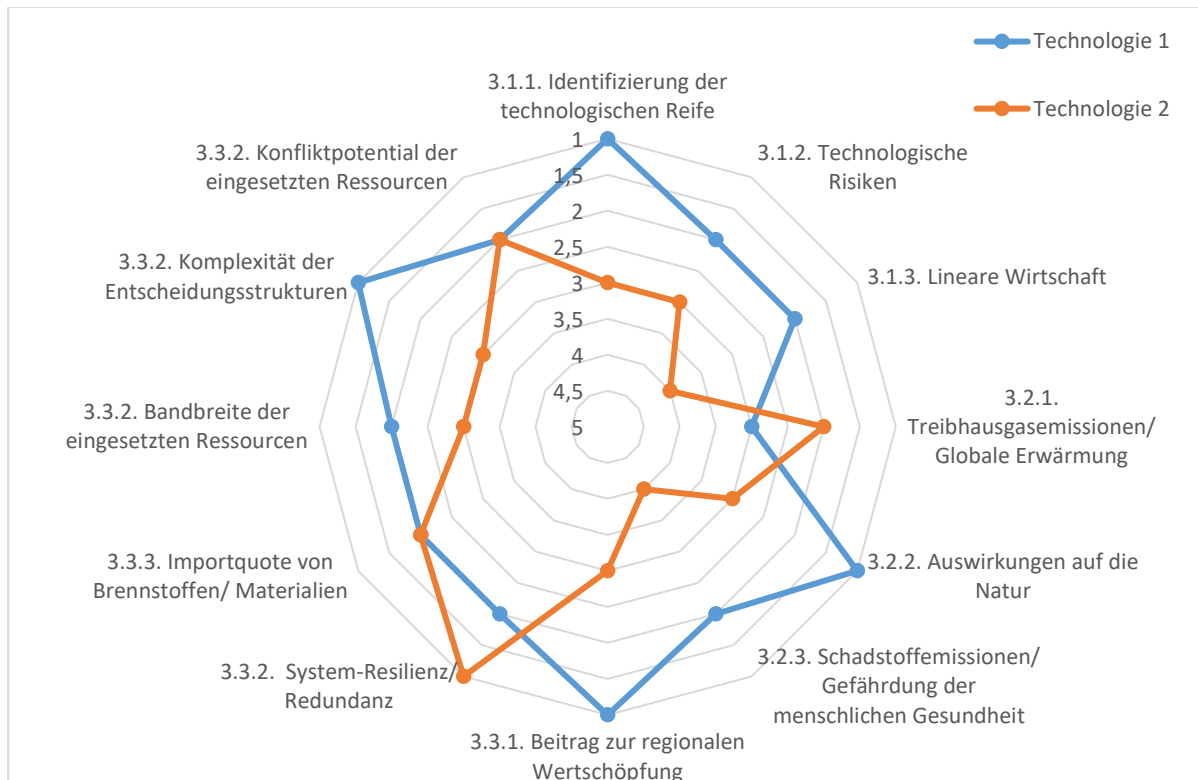


Abbildung 2 Spinnennetzdiagramm

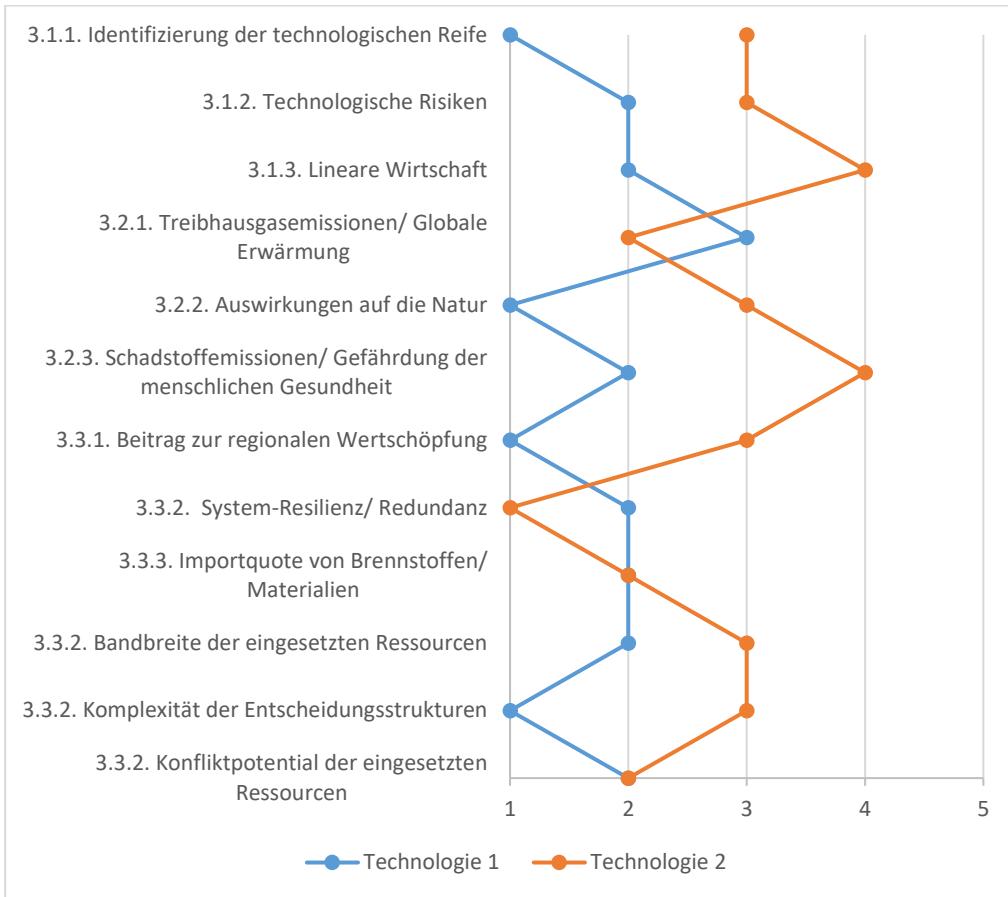


Abbildung 3 Profilliniendiagramm

Wichtiger als die Darstellungsweise ist die konsistente Analyse der einzelnen Indikatoren. Es lässt sich an dieser Stelle nicht für alle Technologiepfade ein immer passender Index finden. Vielmehr animiert es dazu, die entwickelte Technologie zu reflektieren und in Bezug zum Benchmark oder einer Vergleichstechnologie zu setzen. Bestmöglich wäre eine Bewertung gegen die Realreferenz, doch dies ist im Forschungs- und Entwicklungssektor nicht immer darstellbar.

Daher ist es ein Appell der Autor*innen, die Einordnung bestmöglich und ehrlich vorzunehmen und die Argumentation für die Bewertung in einem Statement zu den einzelnen Indikatoren zu verschriftlichen.

Quellenverzeichnis

- Baines, T.** (2004): An integrated process for forming manufacturing technology decisions, In: International Journal of Operations & Production Management, 24(5/6), p. 447-467.
- Baliozian, P.; Friedrich, L.; Preu, R.** (2016): Photovoltaic Development Standardizing based on Roadmaps and Technology Readiness Levels, 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München
- Böschen, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C.** (2021): Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos: Baden-Baden.
- Bur, A., Gapp-Schmeling, K., Noll, F., Martinez, I., Welz, A.-M.** (2022): TRL-Plus: Kriterien einer technologiebezogenen Nachhaltigkeitsbewertung (Workshop). Petershagen: Energiewendebauen. PL-Treffen
- Circularity Calculator** (2024): <https://circularitycalculator.nl/#us>; Abruf 16.12.2024
- Gapp-Schmeling, K.** (2022): Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Wärmever-sorgungskonzepte, in: Rogall, H. (2022) Jahrbuch Nachhaltige Ökonomie – im Brennpunkt: Wärmewende, Metropolis: Marburg.
- Gapp-Schmeling, K.; Schönfeldt, P.; Haase, M.; Rösch, C.; Schüwer, D.; Püttner, A.** (2022): Multikriterielle Nachhaltigkeitsbewertung im Rahmen kommunaler Wärmetransformationskonzepte, In FVEE-Themen, Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel – Beiträge zur FVEE Jahrestagung 2022, Berlin.
- Gapp-Schmeling, K.; Hewelt, F.; Meyer, M.; Rogall, R.; Schmidt, C.; Waldhoff, C.; Welz, A.M. und Wern, B.** (2021) „Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Wärmeversorgungsoptionen - Methodenbericht,“ IZES , Berlin, 2021.
- Gussen, L.C., Kukulies, J., Sohnius, F., Schmitt, R.H.** (2021): Customer Insights in der Produktentwicklung (514-573), in: Pfeifer, T. & Schmitt, R. (2021): Masing Handbuch Qualitätsmanagement, Carl Hanser Verlag: München.
- Haase, M., Baumann, M., Wulf, C., Rösch, C.** (2021): Multikriterielle Analysen zur Entscheidungsunterstützung der Technikfolgenabschätzung, in: Böschen, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C. (2021): Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos: Baden-Baden.
- Hirschl, B., Heinbach, K.; Prahl, A., Salecki, S., Schröder, A., Aretz, A., Weiß, J.** (2015): Wert-schöpfung durch Erneuerbare Energien. Schriftenreihe des IÖW 210. Berlin (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)). Vgl. Salecki, S. (2017): Wertschöpfung vor Ort.
- Kaufmann, D.; Kraay, A. und Matruzzi, M.** (2020) „The Worldwide Governance Indicators (WGI),“ 2020. [Online]. Available: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/#home>.
- Kopfmüller, J. & Rösch, C.** (2021): Integrative Nachhaltigkeitsbewertung, in: Böschen, S., Grundwald, A., Krings, B.-J., Rösch, C. (2021): Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos: Baden-Baden
- Mankins, J.** (1995/2004): Technology Readiness Level, a white paper, Office of Space Access and Technology NASA, 6/ 22 4/ 12.

- Martinez-Noguez, I.; Gapp-Schmeling, K.; Bur, A.; Masako Welz, A.** (2024) „Further development of the Technology Readiness Level (TRL) to a more comprehensive ‘Sustainable Readiness Assessment’“, 17.04.2024, unveröffentlichtes Skript.
- Deshmukh Towery, N.; Machek, E. and Thomas, A.** (2017) “Technology Readiness Level Guidebook,” U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Federal Highway Administration, 6300 Georgetown Pike, McLean, VA 22101-2296, 2017.
- Nagel, M.; Mieke, C. und Teuber, S.** (2020): Methodenhandbuch der Betriebswirtschaft, 2. Auflage, UVK Verlag, München.
- Nohl und Thiemecke** (1988): Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen. (System for carrying out risk analyses.), Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 536), 1988.
- Zinnicker** (2021): Zuverlässigkeits und Sicherheitsplanung (577-608) in: Pfeifer, T. & Schmitt, R. (2021): Masing Handbuch Qualitätsmanagement, Carl Hanser Verlag: München.
- Paun, F.** (2011): Demand Readiness Level as equilibrium tool for the hybridization between Technology Push and Market Pull Approaches, ANR-ERANET Workshop, Paris.
- Rogall, H. und Gapp-Schmeling, K.** (2021) Nachhaltige Ökonomie, Marburg: Metropolis, 2021.
- Sauser, B.; Verma, D.; Ramirez-Marquez, J. und Gove, R.** (2006): From TRL to SRL: The concept of System Readiness Levels, Conference on Systems Engineering Research, Los Angeles.
- Schön, S.; Eismann, C.; Wendt-Schwarzburg, H. und K. D.** (2020) Transdisziplinäres Innovationsmanagement, Nachhaltigkeitsprojekte wirksam umsetzen., WBV Publikation, 2020.
- StabG** (1967) Gesetz zur Förderung der Stabilität und des Wachstums der Wirtschaft (StabG) vom 8. Juni 1967.
- Tao, L.; Probert, D. und Phaal, R.** (2010): Towards an integrated framework for managing the process of innovation, In: R&D Management, Bde.1, Vol.40, Issue 1.