

Nachhaltigkeitsbewertung: Technik – Ökonomie – Ökologie – Akzeptanz

Leitfaden zum Bewertungstool

Kristina Wencki, Dennis Becker, Gunnar Lischeid,
Verena Thöne, Martin Zimmermann, Kerstin Krömer

Teilergebnisbericht zu

AP4 Nachhaltigkeits-Bewertung: Technik-Ökonomie-Ökologie-Akzeptanz
E 4-3 Externer Report: Mehrdimensionales Werkzeug zur Nachhaltigkeitsbewertung

Verbreitung

☒	öffentlich
☐	vertraulich, projektintern

Stand Januar 2020

Inhalt

1.	Hintergrund	3
2.	Key Facts	4
2.1	Was kann ich mit dem Tool bewerten?	4
2.2	Für welche Anwender wurde das Tool konzipiert?	4
2.3	Was liefert das Tool für Ergebnisse?	4
2.4	Welche Vorarbeiten sind erforderlich?	5
2.5	In welcher Planungsphase kann ich das Tool nutzen?	5
2.6	Wie aufwändig ist die Datenerhebung und -eingabe?	5
3.	Anwendungsbezogene Fragen	6
3.1	Wie ist das Tool aufgebaut?	6
3.2	Welche Eingaben sind erforderlich (Pflicht-/Wahlfelder)?	6
3.3	Wie funktioniert die Bewertung? Was passiert im Hintergrund?	7
3.4	Welche Infos brauche ich und wo bekomme ich sie her?	8
3.5	Wo finde ich die zentralen Ergebnisse?	10
3.6	Welches Nachhaltigkeitsverständnis wird bedient?	11
3.7	Wie kann ich das Tool an meine Bedürfnisse anpassen?	12
3.8	Ist die Bewertung objektiv?	12
4.	Nachhaltigkeitsbewertung am Beispiel ausgewählter Fallstudien	14
4.1	Fallstudie Nordenham, Deutschland	14
4.2	Fallstudie Outapi, Namibia	19
5.	Übersichtstabellen der Bewertungskriterien	27
6.	Literatur	34

1. Hintergrund

Ob die Nutzung von aufbereitetem Klarwasser als Brauchwasser in einem bestimmten Anwendungsfall sinnvoll ist, hängt von diversen ökonomischen, ökologischen und technischen Faktoren, nicht zuletzt aber auch von der gesellschaftlichen Akzeptanz der angewandten Technologie für den vorgesehenen Verwendungszweck ab. Eine Entscheidung über die Umsetzung einer Wasserwiederverwendungsmaßnahme kann somit nur für jeden Anwendungsfall individuell getroffen werden.

Damit steht die Siedlungswasserwirtschaft vor neuen Herausforderungen. Alternative Verwendungen stellen andere Anforderungen an die Beschaffenheit des Klarwassers und somit auch an die Wasseraufbereitung, als bisher in der Siedlungswasserwirtschaft üblich. Gleichzeitig sind bei einer alternativen Verwendung des Klarwassers in der Regel Akteure außerhalb der Siedlungswasserwirtschaft einzubinden, wie z.B. Vertreter der abnehmenden Industriebetriebe, Naturschutzverbände, etc. Für den Planungsprozess sind nicht nur deren Interessen zu berücksichtigen, sondern auch sehr unterschiedliche, für die Entscheidungsfindung relevante Sachverhalte aus unterschiedlichen Fachdisziplinen zu kommunizieren.

Im BMBF-geförderten Projekt MULTI-ReUse wurde deshalb ein Tool zur Nachhaltigkeitsbewertung entwickelt, welches die zentralen Entscheidungskriterien zur Umsetzung von Wasserwiederverwendungsmaßnahmen im Bereich von Industrie und Landwirtschaft berücksichtigt. Basierend auf einer multikriteriellen Bewertungssystematik wird so die vergleichende Analyse und Kommunikation von fallspezifischen Wasserwiederverwendungsoptionen gegenüber dem derzeitigen Wasserversorgungssystem ermöglicht. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf den MULTI-ReUse-Verfahrensketten (<https://water-multi-reuse.org/download/2369/>).

In diesem Begleitdokument finden Sie Antworten auf einige wesentliche anwendungsbezogene Fragen zum Bewertungstool, zum inhaltlich-konzeptionellen Background sowie dem multikriteriellen Bewertungsansatz des MULTI-ReUse-Tools.

2. Key Facts

2.1 Was kann ich mit dem Tool bewerten?

Das Tool dient der vergleichenden Bewertung verschiedener Optionen der Bereitstellung von Brauchwasser hinsichtlich der technischen Machbarkeit, der Wirtschaftlichkeit, der ökologischen Nachhaltigkeit und der sozialen Akzeptanz. Die Beurteilung von Verfahrenstechnologien für andere Verwendungszwecke, wie etwa die Produktion von Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch, steht nicht im Fokus der Bewertung.

Bewertungsgegenstand des Tools können verschiedene Systeme, Technologien oder Verfahrensketten zur Bereitstellung von Klarwasser für industrielle, landwirtschaftliche und siedlungswasserwirtschaftliche Anwendungen oder zur Grundwasseranreicherung sein, welche innovativen Systemen, Technologien oder Verfahrensketten der Wasserwiederverwendung gegenübergestellt werden. Besonderer Fokus liegt dabei auf den im Rahmen des MULTI-ReUse-Projekts entwickelten Verfahrensketten (<https://water-multi-reuse.org/download/2369/>). Das Tool ist aber nicht darauf beschränkt.

Der Bewertungsansatz basiert auf einem Vergleich von mindestens zwei und bis zu fünf Vergleichsvarianten, die in Abhängigkeit von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten und den unterschiedlichen Nutzungsanforderungen formuliert werden.

2.2 Für welche Anwender wurde das Tool konzipiert?

Das Bewertungstool richtet sich primär an regionale Akteure aus Wasserver- und Abwasserentsorgungsbetrieben, Entscheidungsträger in Kommunen und Behörden, Vertreter der Landwirtschaft, nationale und internationale Industriebetriebe, beratend tätige Ingenieure sowie Anlagenbauer und -betreiber. Darüber hinaus kann das Werkzeug in abgewandelter Form auch für weitere Interessenten, wie z. B. Technologiehersteller, nützlich sein.

2.3 Was liefert das Tool für Ergebnisse?

Das MULTI-ReUse-Bewertungswerkzeug ist eine auf Excel basierende Anwendung, mit der Entscheidungsträger die Nachhaltigkeit existierender und innovativer Prozessketten für die Wasserwiederverwendung vergleichend bewerten können. Die Bewertung berücksichtigt die vier verschiedenen Dimensionen Umwelt, Soziales, Technik, und Ökonomie. Die jeweiligen Gewichtungsfaktoren können Sie frei wählen und auch nachträglich variieren. Die Ergebnisse werden in leicht verständlichen Grafiken und Tabellen dargestellt.

2.4 Welche Vorarbeiten sind erforderlich?

Je besser die Datenlage ist, desto fundierter kann die Bewertung verschiedener Optionen erfolgen. Andererseits liegen in einer Frühphase der Planung in der Regel viele Daten noch nicht vor. Das Tool kann Ihnen jedoch auch helfen, den Prozess der Datenerhebung zu strukturieren. Fehlende Daten können Sie zunächst durch Standardwerte approximieren. Durch Variieren unbekannter Werte lassen sich die für die Bewertung entscheidenden Parameter ermitteln und in der nächsten Phase gezielt durch genauere Werte ersetzen.

Unabdingbar ist jedoch die Bestimmung der Systemgrenzen. Welche Bereiche einer bereits bestehenden Anlage können für eine alternative Abwasseraufbereitung und Klarwassernutzung weiterhin genutzt werden? Sind zum Beispiel bestehende Rohrleitungen weiterhin zu verwenden, oder ist der Neubau einer zweiten Rohrleitung zu einem Abnehmer erforderlich?

2.5 In welcher Planungsphase kann ich das Tool nutzen?

Das Tool ist für die Anwendung in der ersten Phase des Planungsprozesses konzipiert. Es zielt darauf ab, die sehr unterschiedlichen Ansprüche unterschiedlicher Akteure zu kommunizieren, in quantitativer Weise zu erfassen und gegeneinander zu gewichten. Daneben kann es Sie in einer frühen Planungsphase dabei unterstützen, unterschiedliche Standorte für eine Wasseraufbereitungsanlage zu vergleichen, verschiedene technische Lösungen zu bewerten und somit den nachhaltigsten Prozess in Bezug auf den lokalen Wasserbedarf und die Qualitätsanforderungen auszuwählen.

2.6 Wie aufwändig ist die Datenerhebung und -eingabe?

Zunächst wird die Erfüllung von Ausschlusskriterien für die geplanten alternativen Optionen der Wasseraufbereitung und der Klarwasserverwendungen hinsichtlich des Wasserbedarfs, der sozialen Akzeptanz oder der Entsorgung von Rückständen überprüft. Anschließend werden in vier Dateneingabetabellen mit 23 Bewertungskriterien quantitative oder qualitative Werte eingefordert. Schließlich ist die Eingabe von Gewichtungsfaktoren entsprechend der Präferenzen der jeweiligen Nutzer hinsichtlich der Dimensionen „Umwelt“, „Soziales“, „Technik“ und „Ökonomie“ möglich (vgl. auch Kapitel 3.2). Alle Angaben können jederzeit eingesehen und überarbeitet werden.

3. Anwendungsbezogene Fragen

3.1 Wie ist das Tool aufgebaut?

Das Tool setzt sich aus insgesamt zwölf Tabellenblättern zusammen, von denen sieben der **Dateneingabe** und vier der **Ergebnisausgabe** dienen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Arbeitsblätter des Bewertungstools

	Einführung	Kurzeinführung zum Aufbau des Tools und zur Erstellung einer multikriteriellen MULTI-ReUse-Nachhaltigkeitsbewertung
Dateneingabe	Checkliste	Überprüfung der Voraussetzungen der gewählten Varianten für die MULTI-ReUse Nachhaltigkeitsbewertung in Form einer Checkliste zum Abhaken
	Umwelt	Dateneingabe zu den Themen Umweltschutz und Umweltverträglichkeit (sieben Kriterien)
	Soziales	Dateneingabe zu den Themen soziale Akzeptanz und soziale Vertretbarkeit (fünf Kriterien)
	Technik	Dateneingabe zu den Themen technische Realisierbarkeit und Prozesssicherheit (sieben Kriterien)
	Ökonomie	Dateneingabe zu den Themen wirtschaftliche Rentabilität und Wettbewerb (vier Kriterien)
	Spezifische Jahreskosten	Mini-Tool zur Ermittlung der spezifischen Jahreskosten der betrachteten Vergleichsvarianten als Eingangsgröße für die Teilbewertung „Ökonomie“ (optional)
	Notizen	Platz für die eigenen Notizen zur transparenten Dokumentation der Nachhaltigkeitsbewertung (optional)
Ergebnisausgabe	Eingabedaten (grafisch)	Übersichtsdarstellung der Eingabedaten in Form einzelner Säulendiagramme je Kriterium
	Eingabedaten (skaliert)	Darstellung der Teilnutzwerte für die Einzelkriterien in Form von Netzdiagrammen für die vier Bewertungsdimensionen Umwelt, Soziales, Technik und Ökonomie
	Gewichtung und Gesamtergebnis	Vergleich verschiedener Gewichtungsvarianten und Ausgabe einer Rangliste der Vergleichsvarianten nach absteigendem Gesamtnutzwert
	Teilergebnisse (grafisch)	Darstellung der Teilergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung für die vier Dimensionen in Form von Netzdiagrammen

3.2 Welche Eingaben sind erforderlich (Pflicht-/Wahlfelder)?

Um eine Nachhaltigkeitsbewertung mit dem Bewertungstool durchführen zu können, ist die Eingabe von Werten zu mindestens zwei Vergleichsvarianten erforderlich. In der Regel wird die Bereitstellung von Klarwasser zur Wiederverwendung (wie in MULTI-ReUse) mit einer konventionellen Form der Wasserversorgung, z. B. der Trinkwassernutzung, verglichen. Parallel können Sie in einem Bewertungsdurchlauf maximal fünf Varianten der Wasserversorgung miteinander vergleichen. Für die Fallstudie sowie die zu vergleichenden Varianten I bis IV können

eigene Titel vergeben, welche automatisch in die weiteren Arbeitsblätter im Tool übernommen werden („Checkliste“, Zellen C15 bis G15). Die Varianten werden einander vergleichend gegenübergestellt. Es erfolgt keine Variantenbewertung mit Bezug auf absolute Referenz-, Grenz- oder Zielwerte. Alle Eingabefelder sind im Tool in einem hellen Blau farblich hervorgehoben. Sobald eine Eintragung erfolgt, werden die zuvor blauen Zellen hellgrau eingefärbt.

Je Vergleichsvariante werden Eingabedaten zu insgesamt 23 Einzelkriterien in den Bewertungsdimensionen „Umwelt“ (sieben Kriterien), „Soziales“ (fünf Kriterien), „Technik“ (sieben Kriterien) und „Ökonomie“ (vier Kriterien) erhoben. Hierbei handelt es sich um 17 Kriterien, deren Ausprägung anhand vorgegebener Auswahlfelder (Dropdown-Menü) eingegeben werden kann. Für die verbleibenden Indikatoren ist die Eingabe absoluter Zahlen über die dafür vorgesehenen Felder erforderlich. Für zählbare bzw. messbare Kriterien (quantitative Bewertung) ist neben der Eingabe der Daten für die Vergleichsvarianten jeweils die Auswahl der zugehörigen Einheit über einer Auswahlliste erforderlich (Spalte D). Bei Auswahl des Eingabefeldes für die Variante I bekommen Sie in einem separat eingeblendeten Hinweisfeld zusätzliche Informationen zu dem ausgewählten Kriterium eingeblendet. Eine Übersicht der Bewertungskriterien sowie zusätzliche Informationen enthält die Übersichtstabelle am Ende dieses Leitfadens.

In dem Tabellenblatt „Gewichtung und Gesamtergebnis“ erhalten Sie zuletzt die Möglichkeit, neben den neun durch das Tool vorgegebenen Gewichtungsvarianten einen eigenen Bewertungsfokus entsprechend Ihrer eigenen Präferenz zu setzen. Über die blau hinterlegten Eingabefelder (Zellen D16 bis G16) können Sie vorgeben, zu welchem Anteil die Kriterien-Sets der vier einzelnen Bewertungsdimensionen in der Bewertung berücksichtigt werden sollen. Die Eingabe einer individuellen Gewichtung stellt eine freiwillige Zusatzangabe dar.

3.3 Wie funktioniert die Bewertung? Was passiert im Hintergrund?

Die Nachhaltigkeitsbewertung basiert auf einem multikriteriellen Ansatz, welcher Bewertungskriterien aus den vier Dimensionen „Umwelt“, „Soziales“, „Technik“ und „Ökonomie“ im Zusammenspiel miteinander vergleicht. Die Bewertung erfolgt in Form der sogenannten Nutzwertanalyse. Sie dient dazu, dem Nutzer rational sowie objektiv bei einer komplexen Entscheidungsfindung zu unterstützen, in welcher verschiedene qualitative sowie quantitative Kriterien eine Rolle spielen.

Jedem Indikator wird für die Bewertung in Abhängigkeit seiner Ausprägung (Eingabedaten) ein Nutzwert zugewiesen. Der Nutzwert bewegt sich im Wertebereich zwischen 0 (kleinster

möglicher Wert) und 1 (höchst möglicher Wert). Die Zuweisung der Teilnutzwerte je Kriterium, die sogenannte Skalierung, erfolgt automatisch durch das Tool.

Zur Ermittlung der Teilnutzwerte werden bei quantitativen Kriterien der minimale und der maximale Eingabewert identifiziert und dem entsprechenden Nutzwert von 1 (vorteilhafteste Variante) bzw. 0 (unvorteilhafteste Variante) zugeordnet. In dem Bereich zwischen diesen Extremwerten werden die weiteren Nutzwerte durch lineare Interpolation bestimmt. Sollte die Ausprägung eines Indikators für alle Varianten gleich sein, so wird diesem Indikator standardmäßig der Nutzwert 0,50 zugewiesen. Für die Skalierung qualitativer bzw. halb-quantitativer Kriterien, welche anhand einer mehrstufigen Auswahlliste (Likert-Skala) durch Anklicken einzustufen sind, ist eine Abstufung der Nutzwerte zwischen 0 und 1 in gleichmäßigen Teilschritten von 0,25 Punkten vorgegeben (0,00 – 0,25 – 0,50 – 0,75 – 1,00). Bei der Angabe der Ausprägung der Kriterien über eine Auswahlliste erfolgt die Skalierung der Nutzwerte unabhängig des Kriteriums spezifischen Minimums und Maximums der verschiedenen Varianten.

Je höher der Nutzwert für einen Indikator, desto vorteilhafter ist die Variante in Bezug auf dieses Einzelkriterium. Durch den Vergleich der Teilnutzwerte je Kriterium ist es möglich, die jeweiligen Stärken bzw. Schwächen der einzelnen Varianten im direkten Vergleich zu identifizieren.

Für die einzelnen Varianten werden die durch das Tool berechneten Teilnutzwerte anhand verschiedener Gewichtungsschlüssel (vgl. Arbeitsblatt „Gewichtung und Gesamtergebnis“) zu einem Gesamtnutzwert aggregiert. Hierzu werden die Teilnutzwerte mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert und zu einem Gesamtnutzwert aufaddiert. Die einzelnen Kriterien finden zu jeweils gleichen Teilen Eingang in die Ermittlung des Nutzwertes innerhalb einer jeden Bewertungsdimension. Die Gewichtung der Bewertungsdimensionen zwecks Ermittlung eines Gesamtnutzwertes, kann jedoch variabel gestaltet werden. Das Tool enthält eine Reihe von Gewichtungsbeispielen, welche unterschiedliche Bewertungsschwerpunkte setzen. Die verschiedenen Gewichtungsvarianten werden parallel zueinander berechnet und in Form einer Ergebnistabelle ausgegeben. Zusätzlich haben Sie die Möglichkeit, eine individuelle Gewichtung nach Ihren eigenen Präferenzen vorzunehmen (vgl. Frage 3.2).

3.4 Welche Infos brauche ich und wo bekomme ich sie her?

Die Nachhaltigkeitsbewertung durch das MULTI-ReUse-Tool erfordert die Eingabe absoluter Zahlenwerte oder eine Einstufung verschiedener Einstufung auf Basis von Auswahllisten, welche in Form einer fünfstufigen Likert-Skala gegliedert sind.

Bei der Zusammenstellung der Eingabedaten gilt, dass schon mit näherungsweise ermittelten Eingabedaten und einem überschaubaren Aufwand eine vergleichende Nachhaltigkeitsbewertung vorgenommen werden kann, welche sich zur Identifikation der jeweiligen Stärken und Schwächen der Einzelvarianten eignet und die Entscheidung für bzw. gegen eine bestimmte Variante unterstützen kann.

Die für die Bewertung benötigten Eingabedaten können entlang der Ausgestaltung der Versorgungsvarianten gesammelt und zusammengestellt werden:

- Daten zur konkreten Anlagen- und Prozessplanung, welche insbesondere die Dimensionen „Umwelt“ und „Technik“ betreffen, finden Sie in den Planungsunterlagen der betreuenden Planungs- bzw. Ingenieurbüros. Oftmals lassen sich bereits vor Beginn der detaillierten Ausführungs- bzw. Detailplanung die anzugebenden Eckdaten durch die zuständigen Ingenieure näherungsweise abschätzen.
- Für ausgewählte Merkmale, wie z. B. den mittleren Energieverbrauch bestimmter Aufbereitungsstufen oder deren mittlere zu erwartende Nutzungsdauer ist eine Literaturrecherche in einschlägiger Fachliteratur sinnvoll und hilfreich.
- Für die Bewertung der sozialen Akzeptanz und Vertretbarkeit können verschiedene Verfahren zur Sammlung der benötigten Informationen genutzt werden. Denkbar ist u. a. die Durchführung von Bevölkerungs- bzw. Stakeholder-Befragungen oder Experteninterviews. Berücksichtigt werden können auch Erfahrungswerte, welche Sie und Ihre Kollegen bereits mit vergleichbaren Technologien gesammelt haben.
- Das Bewertungstool umfasst neben der eigentlichen Nachhaltigkeitsbewertung ein integriertes Tool zur Ermittlung der spezifischen, d. h. auf jeweils einen m³ produzierten Wassers bezogenen, Jahreskosten. Das Zusatztool im Tabellenblatt „Spezifische Jahreskosten“ bietet Ihnen Unterstützung bei der Berechnung der spezifischen Kosten, welche als Kriterium Ö01 in die Bewertung eingehen.
- Die Folgekosten für einen möglichen Anlagenausfalls (Ö04) sind im Rahmen eines Risikomanagements bei der Variantenplanung abzuschätzen.

Das Arbeitsblatt „Notizen“ bietet Ihnen Platz für Ihre eigenen Notizen, welche ergänzend zu Ihren in der Kommentarspalte (Spalte K) zu einzelnen Bewertungsmerkmalen eingefügten Bemerkungen, Angaben zu Informationsquellen, getroffenen Angaben sowie zu evtl. Unsicherheitsfaktoren bzgl. der getroffenen Angaben bzw. genutzten Daten transparent für den Bewertungsprozess dokumentiert werden können. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass Sie oder Ihre Kollegen zu einem späteren Zeitpunkt Ihre Bewertung nachvollziehen können.

3.5 Wo finde ich die zentralen Ergebnisse?

Die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung sind in den Arbeitsblättern „Eingabedaten – skaliert“, „Gewichtung und Gesamtergebnis“ und „Teilergebnisse - grafisch“ dargestellt. Die Ergebnisse werden durch das Tool automatisch in Form von Netzdiagrammen zu den verschiedenen Einzelindikatoren sowie in aggregierter Form als Netzdiagramm für die Teilergebnisse der einzelnen Bewertungsdimensionen dargestellt (vgl. Abbildung 1).

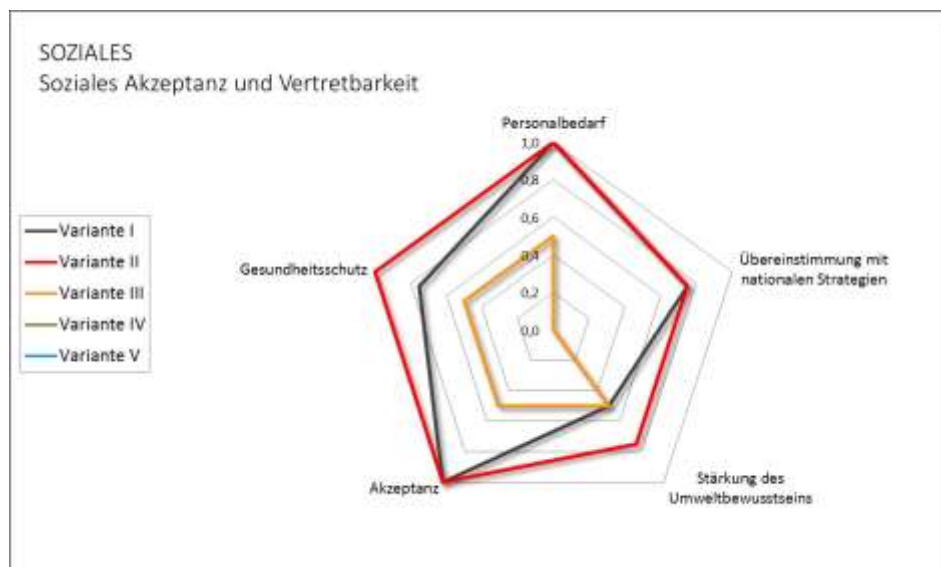


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der berechneten Teilnutzwerte für drei Vergleichsvarianten zu den fünf Bewertungskriterien aus der Dimension „Soziales“ im Tabellenblatt „Eingabedaten – skaliert“ (Eingabewerte fiktiv).

Zusätzlich erfolgt in dem Arbeitsblatt „Gewichtung und Gesamtergebnis“ die Ausgabe der Gesamtnutzwerte der Vergleichsvarianten in Form einer Rangliste (vgl. Abbildung 2). Das Blatt enthält eine Rangliste, in der die einzelnen Varianten unter Berücksichtigung von bis zu zehn verschiedenen Bewertungsschwerpunkten in absteigender Reihenfolge von der vorteilhaftesten (Rang 1, grün hervorgehobene Zellen) bis zur vergleichsweise schwächsten Variante im direkten Vergleich (letzter Rang) ausgewiesen wird. Neben der Angabe der Rangfolge erfolgt in der Tabelle die Ausgabe der Gesamtnutzwerte als Dezimalzahl.

Nr.	Gewichtungsvariante		Umwelt	Soziales	Technik	Ökonomie	Variante I	Variante II	Variante III
							Titel der Variante I	Titel der Variante II	Titel der Variante III
1	Fokus des Nutzers		4%	46%	29%	21%	0,601 2	0,720 1	0,558 3
2	Beispiel aus MULTI ReUse		26%	13%	38%	23%	0,576 3	0,580 2	0,634 1
3	Fokus Umwelt		40%	20%	20%	20%	0,641 1	0,518 3	0,622 2
4	Fokus Soziales		20%	40%	20%	20%	0,635 1	0,634 2	0,575 3
5	Fokus Technik		20%	20%	40%	20%	0,578 3	0,629 1	0,609 2
6	Fokus Ökonomie		20%	20%	20%	40%	0,571 1	0,540 2	0,540 2
7	Fokus Umwelt + Soziales		30%	30%	20%	20%	0,638 1	0,576 3	0,599 2
8	Fokus Umwelt + Technik		30%	20%	30%	20%	0,581 2	0,574 3	0,616 1
9	Fokus Technik + Ökonomie		20%	20%	30%	30%	0,574 3	0,585 2	0,639 1
10	Gleich gewichtet		25%	25%	25%	25%	0,606 2	0,580 3	0,619 1

Abbildung 2: Beispielhafte Ausgabe der berechneten Gesamtnutzwerte und Rangplatzierungen für drei Vergleichsvarianten (I bis III) unter Berücksichtigung von zehn verschiedene Gewichtungsvarianten (Eingabewerte fiktiv).

3.6 Welches Nachhaltigkeitsverständnis wird bedient?

Nachhaltigkeit stellt ein Handlungsprinzip dar, welches die Regenerationsfähigkeit natürlicher Ökosysteme und Ressourcen durch die schonende Nutzung von Ressourcen und den bewussten Umgang mit Lebewesen und Ökosystemen gewährleisten soll.

Der Begriff der Nachhaltigkeit im allgemeinen Sprachgebrauch ist stark durch das Konzept der Generationengerechtigkeit geprägt, welches beschreibt, dass die heutige Generation nicht auf Kosten zukünftiger Generationen leben darf. Den Anstoß zur globalen Diskussion über das Konzept der Nachhaltigkeit gab die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Englisch *World Commission on Environment and Development, WCED*) 1987 mit der Nachhaltigkeitsdefinition in ihrem Schlussbericht „Our common future“ („Unsere gemeinsame Zukunft“), welcher unter der Bezeichnung Brundtland-Bericht bekannt wurde (Brundtland et al., 1987):

„Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“

Der multikriterielle Bewertungsansatz in MULTI-ReUse folgt grundlegend dem Drei-Säulen-Modell der nachhaltigen Entwicklung (*triple bottom line, TBL*), welches umweltbezogene, wirtschaftliche sowie soziale Ziele gleichermaßen in Form dreier Nachhaltigkeitsdimensionen berücksichtigt. Darüber hinaus weisen technische Merkmale, wie z. B. die Infrastruktur sowie verschiedene Aspekte der betrieblichen bzw. körperschaftlichen Steuerung und Überwachung

(Governance) eine besondere Relevanz im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der verschiedenen Wasserversorgungskonzepte auf, da sich diese förderlich auf die Erreichung der Ziele der sozialen, umweltbezogenen und wirtschaftlichen Dimensionen auswirken bzw. unerlässlich zur Erreichung dieser sind (van Leeuwen & Marques, 2012). Ergänzend zu den drei Dimensionen der *triple bottom line*, wurde daher als vierte Dimension die Dimension „Technik“ eingeführt und betrachtet. Hierunter fallen u. a. die Leistungsfähigkeit des Systems, seine Langlebigkeit, Zuverlässigkeit, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit sowie Aspekte des Asset Managements. MULTI-ReUse folgt damit einem vierdimensionalen Ansatz, welchen u. a. *Foxon et al.* (2002) und *Sahely et al.* (2005) in ihren Ansätzen zur Bewertung urbaner Infrastruktursysteme herangezogen.

3.7 Wie kann ich das Tool an meine Bedürfnisse anpassen?

Das MULTI-ReUse-Tool bietet die Möglichkeit, eine Nachhaltigkeitsbewertung für zwei bis fünf Vergleichsvarianten gleichzeitig durchzuführen. Es passt sich hinsichtlich des Entscheidungsprozesses damit flexibel Ihren Ansprüchen als Nutzer an.

Darüber hinaus ist es Ihnen möglich, im Arbeitsblatt „Gewichtung und Gesamtergebnis“ durch die Eingabe von Prozentsätzen für die Bewertungsdimensionen „Umwelt“, „Soziales“, „Technik“ und „Ökonomie“ (Zellen D16 bis G16) einen nutzerspezifischen Bewertungsschwerpunkt zu setzen. Den Schwerpunkt können Sie frei wählen, indem Sie die Gewichtung einzelner Dimensionen verstärken. Die Rangfolge sowie die Gesamtnutzwerte der einzelnen Varianten im rechten Teil der Tabelle im selben Blatt zeigen unmittelbar die aktualisierten Bewertungsergebnisse an. Hierdurch erhalten Sie die Möglichkeit, die Sensitivität der Bewertungsergebnisse im Hinblick auf die Gewichtung der vier Dimensionen ohne zeitliche Verzögerung zu untersuchen. Auch die Grafiken in den Tabellenblättern „Eingabedaten – grafisch“, „Eingabedaten – skaliert“ und „Teilergebnisse – grafisch“ werden ohne Verzögerung mit jeder Änderungen der Eingabedaten aktualisiert.

3.8 Ist die Bewertung objektiv?

Das Konzept zur Nachhaltigkeitsbewertung, welches die vergleichende Bewertung verschiedener Wasserversorgungskonzepte mit Hilfe des in diesem Leitfaden vorgestellten MULTI-ReUse-Tools ermöglicht, wurde durch eine Gruppe von Wissenschaftlern unterschiedlicher Fachbereiche erarbeitet. Das Tool wurde parallel zur Erarbeitung der beiden im Kapitel 4 betrachteten Fallstudien Nordenham (Deutschland, Kapitel 4.1) und Outapi (Namibia, Kapitel 4.2) entwickelt und anhand der Fallstudien getestet und validiert. Bei der Entwicklung wurde explizit der Kontext der konkreten Anwendungsbeispiele der Wasserwiederverwendung in den

Sektoren der Industrie (Fallstudie Nordenham) und der Landwirtschaft (Fallstudie Outapi) berücksichtigt. Zusätzlich wurden jedoch auch Anwendungen in den Bereichen der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Grundwasseranreicherung diskutiert und die jeweiligen Anforderungen an die Wasserwiederverwendung Form theoretischer Überlegungen mit eingebracht. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass keine singulären, das heißt speziell für einen bestimmten Sektor geeignete MULTI-ReUse-Lösungen in der jeweiligen Bewertung bevorzugt werden.

Gegen Ende der Entwicklungsphase wurde das Tool einem breiteren Expertenkreis innerhalb des Projektes (Anlagenbauern, Technologieanbietern und Vertretern eines Wasserversorgungsunternehmens) und außerhalb des Projektes (spanisches Abwasserentsorgungsunternehmen), welche allesamt nicht an der Entwicklung des Tools beteiligt waren, vorgestellt. Das projektinterne und -externe Feedback wurde genutzt, um finale Anpassungen am Tool und der automatisierten Bewertung vorzunehmen und die Nutzerfreundlichkeit der Anwendung zu verbessern.

Es ist darauf hinzuweisen, dass das Tool zur vergleichenden Bewertung von mindestens zwei und bis zu fünf Prozessvarianten entwickelt wurde. Da die Eingabe zu einigen Merkmalen in Form absoluter Zahlenwerte erfolgt und die Skalierung der zugehörigen Teilnutzwerte auf dem Vergleich von Minimum und Maximum beruht (vgl. Kapitel 3.3), kommt er beim Vergleich von nur zwei Varianten regelmäßig dazu, dass der im Vergleich vorteilhafteren Variante der Teilnutzwert 1 zugewiesen wird, während die schlechtere Variante der Teilnutzwert 0 zugeordnet bekommt. Durch diese klare Präferenz einer Variante gegenüber ihrer Alternative („Schwarz-Weiß-Bewertung“) kann es zu einer Verzerrung der berechneten Gesamtnutzwerte beider Vergleichsvarianten kommen. Diesen Effekt sollten Sie bei der Interpretation und Verwendung der Bewertungsergebnisse innerhalb Ihrer Entscheidungsfindung unbedingt berücksichtigen.

4. Nachhaltigkeitsbewertung am Beispiel ausgewählter Fallstudien

4.1 Fallstudie Nordenham, Deutschland

In Norddeutschland ist der Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV) für die Wasserversorgung von Kommunen und Industriekunden verantwortlich. In einer Pilotanlage hat der OOWV bereits die Wasserrückgewinnung und Wiederverwendung aus der Kläranlage Nordenham mit verbesserten Prozesstechnologien wie Ultrafiltration und Umkehrosmose demonstriert. Mittelfristig soll der Trinkwasserverbrauch in einem Industriepark in Nordenham durch die Wiederverwendung von Wasser mit geringer elektrischer Leitfähigkeit und niedrigem Chlorgehalt ersetzt werden, das aus einem separaten Leitungsnetz bezogen wird. Der Bedarf an Betriebswasser wird voraussichtlich um 800.000 m³ pro Jahr steigen. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung soll das geplante Wasserrecyclingprojekt (Option 1-B, Abbildung 4) mit dem bestehenden Wasserversorgungssystem (Option 1-A, Abbildung 3) verglichen werden.

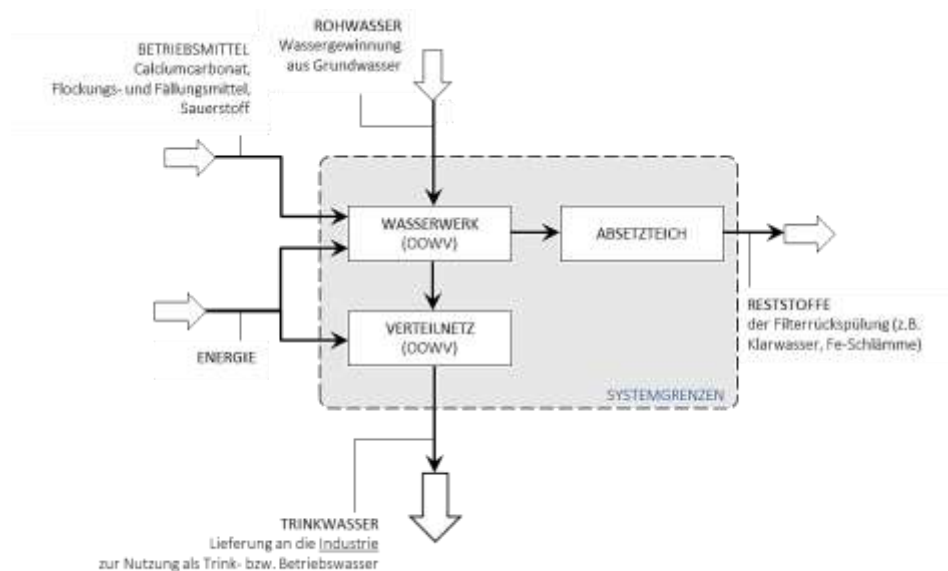


Abbildung 3: Verfahrensschema für die Wasserversorgungsoptionen 1-A in Nordenham, Deutschland.

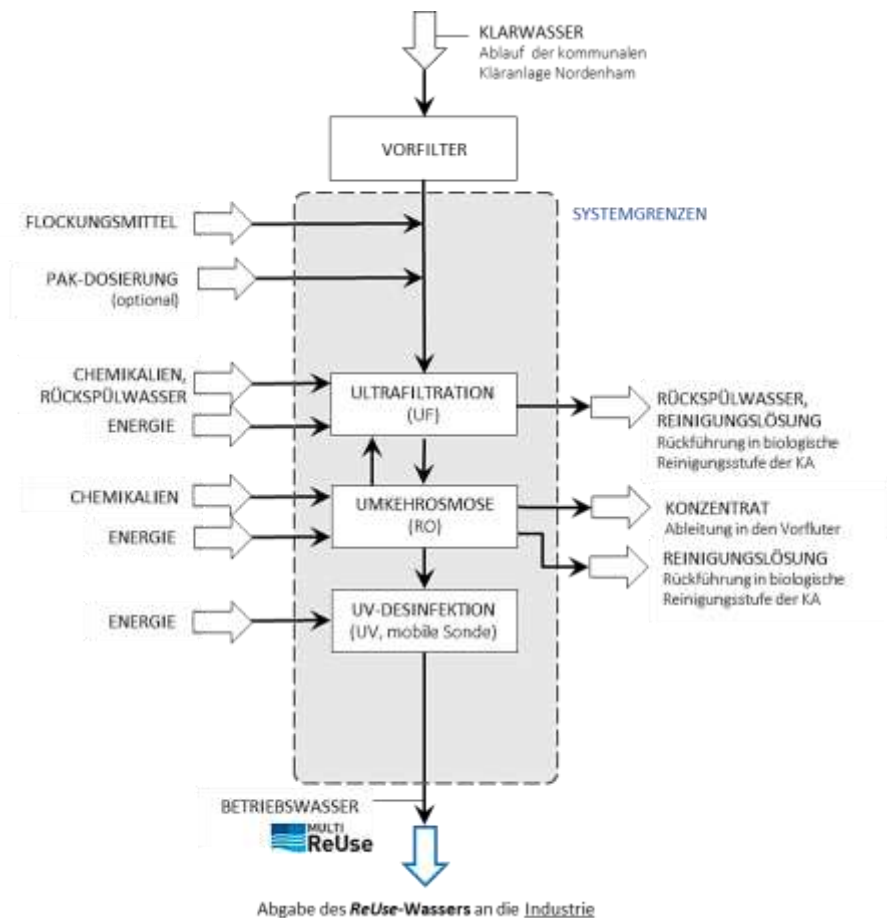


Abbildung 4: Verfahrensschema für die Wasserversorgungsoption 1-B in Nordenham, Deutschland.

In Option 1-A wird das Gebiet der Stadt Nordenham mit Trinkwasser aus den Wasserwerken Großenkneten, Nethen und Sandelermöns versorgt. Die Investitions- und Betriebskosten für die Trinkwasserbereitstellung setzen sich somit aus den standortspezifischen Kosten der Grundwasserförderung, der Trinkwasseraufbereitung der jeweiligen Standorte sowie der Zwischenspeicherung und Förderung (inkl. Speicherpumpwerke) zusammen. Für die Bereitstellung des Trinkwassers ist insgesamt für das Versorgungsgebiet Nordenham ein spezifischer Energiebedarf von durchschnittlich 0,7 kWh/m³ erforderlich (Sattig, 2019).

Bei der Option 1-B einer alternativen Betriebswasserversorgung durch Wasserwiederverwendung müssen die Investitionen für Grundstück, ein separates Brauchwassernetz, Speicherbehälter, Anlagentechnik mit Gebäude sowie Betriebs- und Pumpengebäude berücksichtigt werden. Relevante Betriebskosten sind hierbei Energiekosten, die insbesondere durch Pumpen (Abwasserpumpen zur Förderung zur Aufbereitungsanlage, UF-, RO-Pumpen, Brauchwasserpumpen zur Förderung zum Abnehmer) anfallen. Weitere Betriebsmittel sind Reinigungsmittel, Fällmittel (Fe- oder Al-Salze) und Desinfektionsmittel sowie Personalkosten. Die kal-

kulierten spezifischen Kosten für die Betriebswasserversorgung durch Wasserwiederverwendung liegen damit etwa 10 % über den Kosten, die sich bei einer Betriebswasserversorgung aus Trinkwasserressourcen ergeben. Der spezifische Energiebedarf für die Bereitstellung von Betriebswasser aus der Wasserwiederverwendung liegt bei ca. 1 kW/m³ (Sattig, 2019).

Die Anwendung des Entscheidungshilfe-Tools für die Bewertung der norddeutschen Fallstudie bestätigt, dass aus technischer, sozialer und wirtschaftlicher Sicht das aktuelle Wasserversorgungssystem zu bevorzugen ist (Tabelle 2). Für diesen Standort ist eine Erhöhung der Wasserentnahme mit den vorhandenen Wasserrechten nicht möglich und eine Erhöhung der Wasserrechte ein mittel- bis langfristiger Prozess.

Tabelle 2: Ranglisten für die Fallstudie in Nordenham (Optionen 1-A „Trinkwasser“, 1-B „MULTI ReUse“) aus dem Excel-basierten Nachhaltigkeitsbewertungstool.

Nr.	Gewichtungsvariante		Umwelt	Soziales	Technik	Ökonomie	Variante I	Variante II
							Trinkwasser	MULTI ReUse
1	Fokus des Nutzers							
2	Beispiel aus MULTI ReUse		26%	13%	38%	23%	0,689 1	0,563 2
3	Fokus Umwelt		40%	20%	20%	20%	0,662 1	0,565 2
4	Fokus Soziales		20%	40%	20%	20%	0,742 1	0,642 2
5	Fokus Technik		20%	20%	40%	20%	0,719 1	0,593 2
6	Fokus Ökonomie		20%	20%	20%	40%	0,687 1	0,559 2
7	Fokus Umwelt + Soziales		30%	30%	20%	20%	0,702 1	0,603 2
8	Fokus Umwelt + Technik		30%	20%	30%	20%	0,653 1	0,579 2
9	Fokus Technik + Ökonomie		20%	20%	30%	30%	0,703 1	0,576 2
10	Gleich gewichtet		25%	25%	25%	25%	0,703 1	0,590 2

Nichtsdestotrotz sollte die Wasserwiederverwendung jedoch mit Blick auf ökologische Faktoren weiterhin als Alternative zur Wasserversorgung betrachtet werden (Abbildung 5), da zu erwarten ist, dass dadurch der Druck auf die knappen regionalen Grundwasserressourcen verringert werden kann, indem der erhöhte industrielle Wasserbedarf mit einer zweckmäßigen Wasserqualität gedeckt wird. Zu den weiteren Beiträgen zum Schutz des Ökosystems gehören u.a. ein geringerer Flächenbedarf, eine potenzielle Verbesserung der Einleitqualität hinsichtlich der jährlichen Frachten bei Dosierung der Pulveraktivkohle sowie eine Verringerung des Eintrags pathogener Keime in das Oberflächengewässer. Deutlich niedrigere Chlor- und Salzgehalte des Recyclingwassers ermöglichen zudem eine mehrfache Wasserrückführung innerhalb industrieller Prozesse, so dass der Wasserressourcenverbrauch für die Produktion sogar reduziert werden kann.

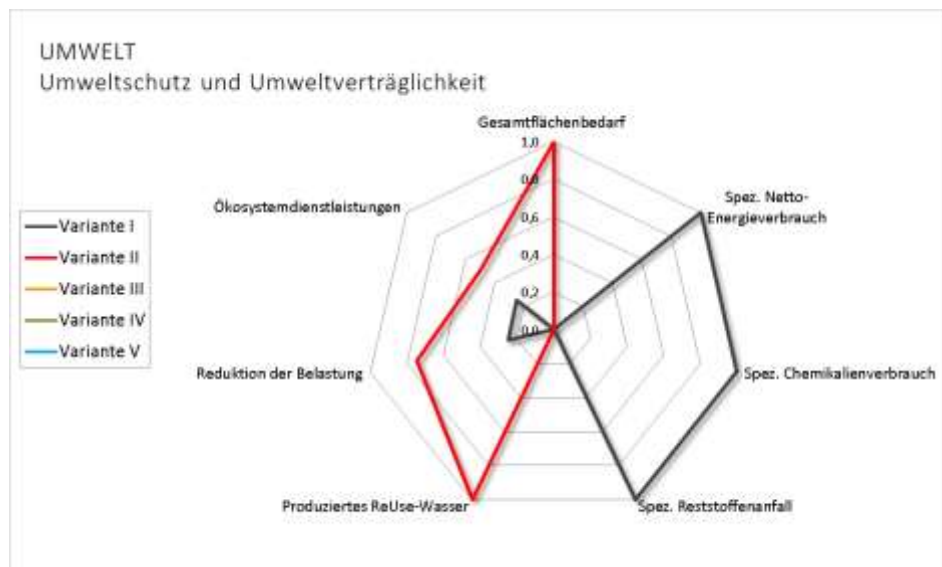


Abbildung 5: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich ökologischer Kriterien

Außerdem ermöglicht Option 1-B eine höhere Flexibilität bezüglich Quantitäts- und Qualitätsanforderungen der Abnehmer (Abbildung 6), sie leistet einen größeren Beitrag zur lokalen Wertschöpfung (Abbildung 7) und stärkt das Umweltbewusstsein (Abbildung 8).

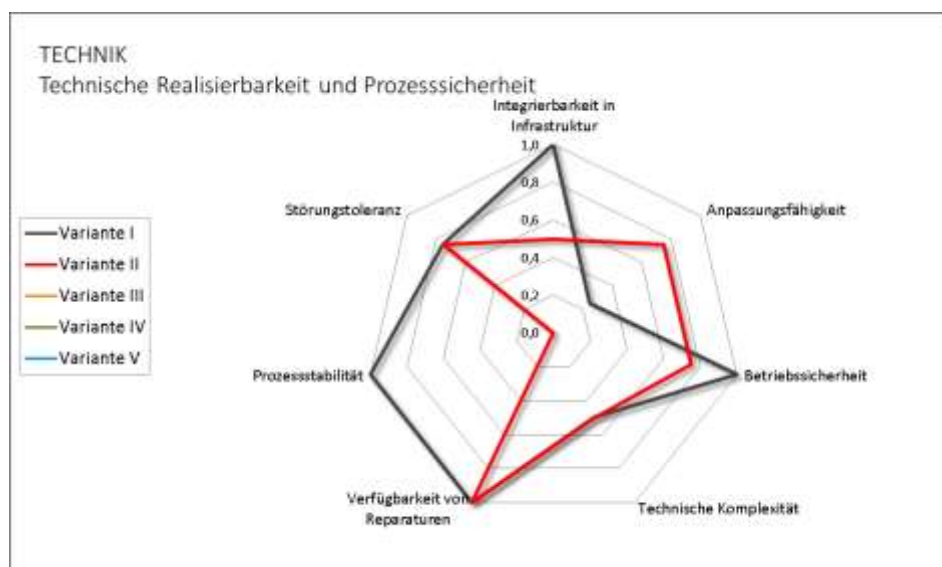


Abbildung 6: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich technischer Kriterien

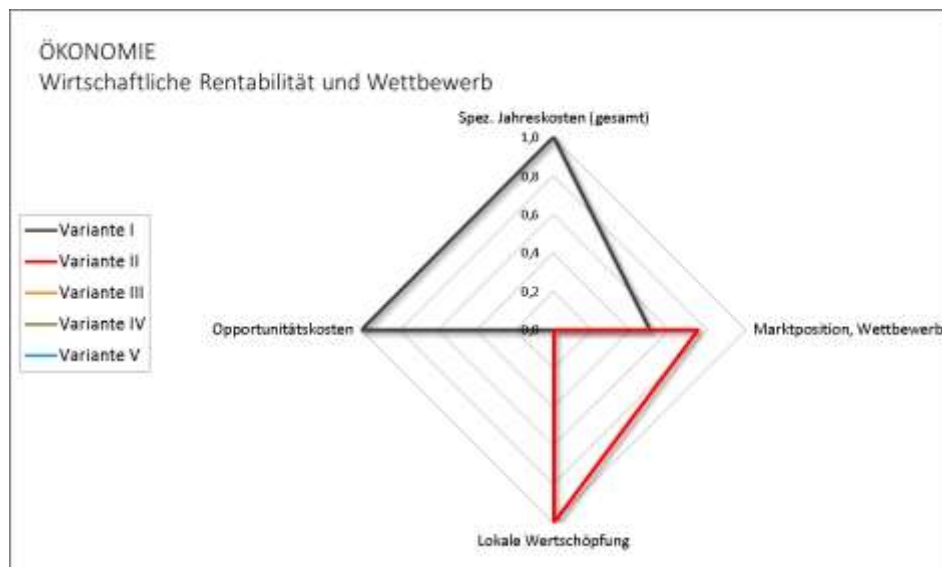


Abbildung 7: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich ökonomischer Kriterien

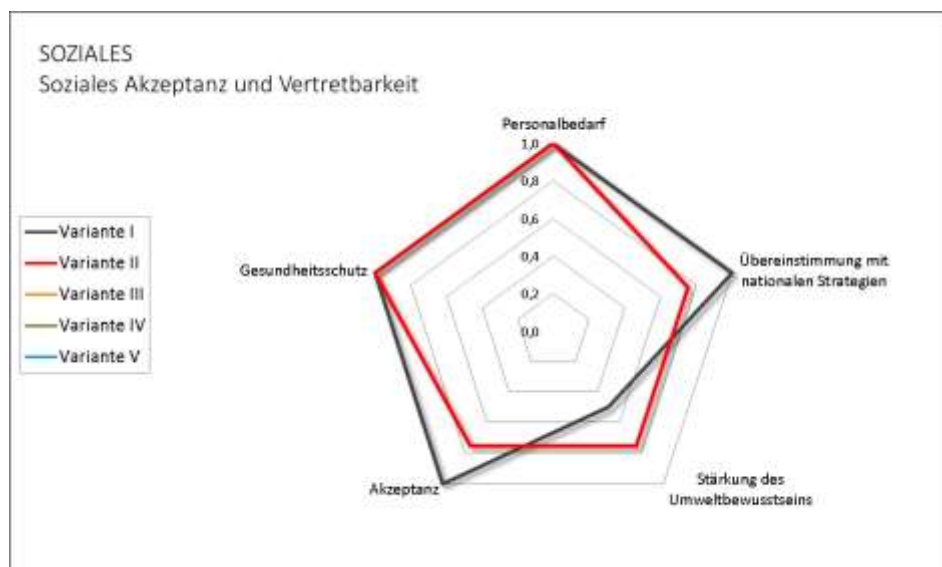


Abbildung 8: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich sozialer Kriterien

4.2 Fallstudie Outapi, Namibia

In der nordnamibischen Stadt Outapi ist ein Wasserwiederverwendungssystem für häusliches Abwasser von ca. 1.000 Einwohnern seit mehr als sechs Jahren erfolgreich in Betrieb. Das System speist ein Tropfbewässerungssystem mit wiederverwendetem Wasser für die Produktion von Gemüse und Obst für den menschlichen Verzehr. Aufgrund des semi-ariden Klimas ist die Wiederverwendung von Wasser eine sinnvolle Alternative für den Anbau von Pflanzen in der Region. Dabei stehen jedoch mehrere Alternativen an Wiederverwendungssystemen zur Wahl. Basierend auf dem entwickelten Nachhaltigkeitsbewertungsansatz wurden die potenziellen positiven und negativen Auswirkungen von drei verschiedenen Optionen zur Wassernutzung bewertet. Option 2-A ist das oben erwähnte System, das aus einem Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), Rotating Biological Contactors (RBC), einem Mikrosieb und einer UV-Bestrahlung zur Desinfektion besteht, bevor das Bewässerungswasser in einem Teich gespeichert wird (Abbildung 9). In Option 2-B werden das Mikrosieb und die UV-Bestrahlung der Option 2-A durch eine Ultrafiltrationsmembran (UF) ersetzt, wie sie im Multi-ReUse-Projekt erprobt wird (Abbildung 10). Der Rest dieser hypothetischen Option ist identisch mit zuerst genanntem System. Option 2-C nutzt bestehende Abwasserteiche, die bereits für einen großen Teil der Abwasserbeseitigung von Outapi verwendet werden (Abbildung 11). Diese Abwasserteiche werden durch eine Vorbehandlung mit entweder UASB-Reaktoren oder einem Mikrosieb, einem Steinfilter zur Nachbehandlung nach den Abwasserteichen und einer zusätzlichen UF-Membran zur Erzeugung von Bewässerungswasser ergänzt.

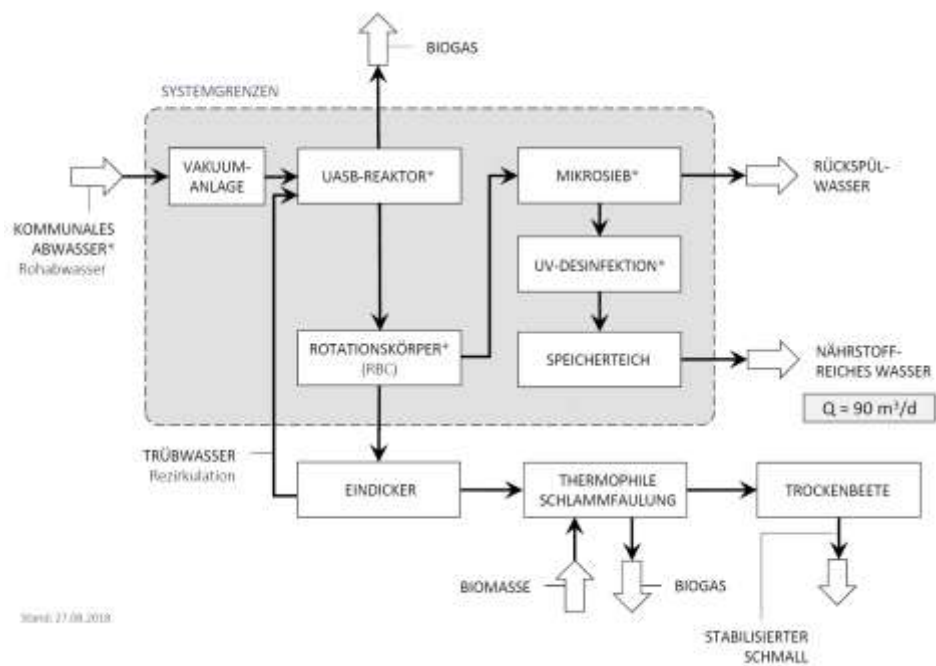


Abbildung 9: Prozessschema für die Wasserwiederverwendungsoption 2-A in Outapi, Namibia

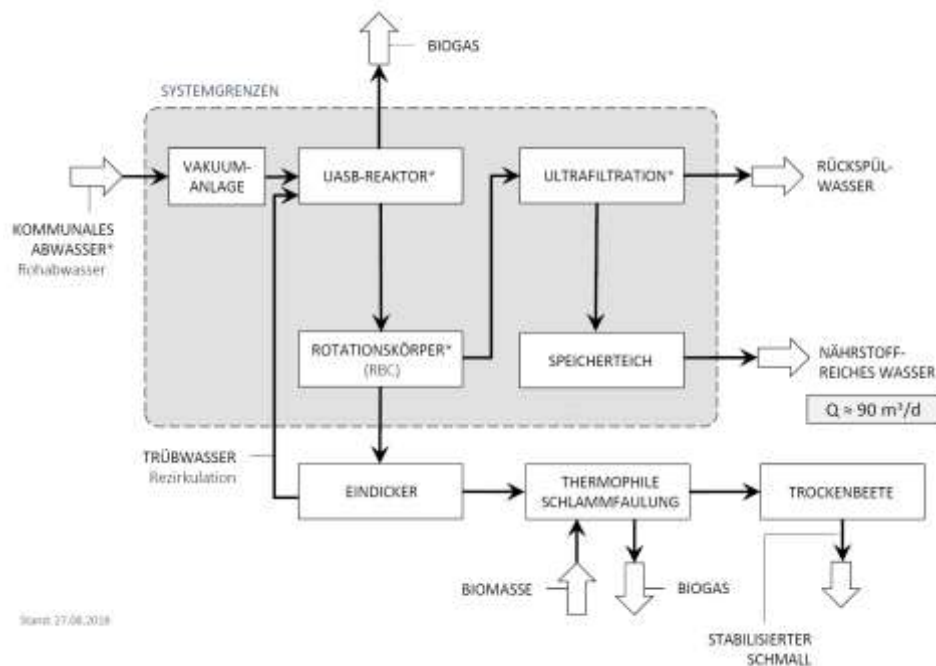


Abbildung 10: Prozessschema für die Wasserwiederverwendungsoption 2-B in Outapi, Namibia

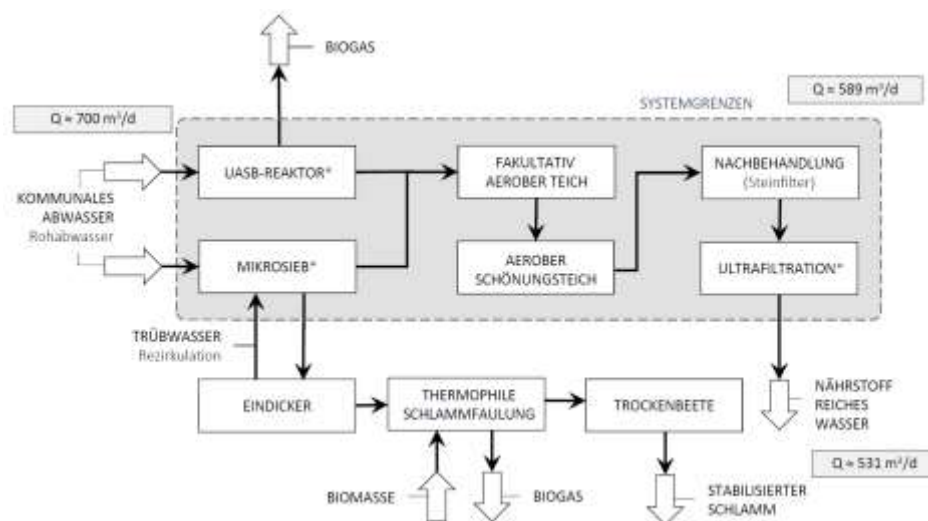


Abbildung 11: Prozessschema für die Wasserwiederverwendungsoption 2-C in Outapi, Namibia

Die Nachhaltigkeitsbewertung der drei Optionen der namibischen Fallstudie ergibt, dass Option 2-A das nachhaltigste System zur Wiederverwendung von Wasser ist, gefolgt von Option 2-B und Option 2-C (vgl. Tabelle 3). Dies ist hauptsächlich auf die gute ökologische Leistung von Option 2-A zurückzuführen. In allen Gewichtungsszenarien landet Option 2-C auf dem letzten Rang, da sie alle Nachteile der beiden anderen Optionen zu vereinen scheint. Option 2-A weist auch dann den höchsten Nutzwert auf, wenn einzelnen Bewertungsdimensionen ein größeres Gewicht beigemessen wird und damit ein Schwerpunkt entweder auf ökologische,

soziale, technische oder ökonomische Kriterien gelegt wird (Tabelle 3). Wenn sowohl ökologische als auch soziale Bewertungskriterien stärker gewichtet werden, bleibt Option 2-A die nachhaltigste Option, gefolgt von Option 2-B und schließlich Option 2-C. Das Ranking ändert sich auch dann nicht, wenn technische und wirtschaftliche Aspekte oder aber ökologische und technische im Vordergrund stehen.

Tabelle 3: Ranglisten für die Fallstudie in Outapi (Optionen 2-A, 2-B, 2-C) aus dem Excel-basierten Nachhaltigkeitsbewertungstool.

Nr.	Gewichtungsvariante		Umwelt	Soziales	Technik	Ökonomie	Variante I	Variante II	Variante III
							2-A	2-B	2-C
3	Fokus Umwelt		40%	20%	20%	20%	0,572 1	0,449 2	0,329 3
4	Fokus Soziales		20%	40%	20%	20%	0,512 1	0,453 2	0,349 3
5	Fokus Technik		20%	20%	40%	20%	0,500 1	0,463 2	0,350 3
6	Fokus Ökonomie		20%	20%	20%	40%	0,524 1	0,451 2	0,451 2
7	Fokus Umwelt + Soziales		30%	30%	20%	20%	0,542 1	0,451 2	0,339 3
8	Fokus Umwelt + Technik		30%	20%	30%	20%	0,507 1	0,456 2	0,340 3
9	Fokus Technik + Ökonomie		20%	20%	30%	30%	0,512 1	0,457 2	0,358 3
10	Gleich gewichtet		25%	25%	25%	25%	0,527 1	0,454 2	0,349 3

Mit Blick auf die ökologischen Kriterien erweist sich Option 2-A als die nachhaltigste Option, da sie wasser- und energieeffizienter ist, weniger Rückstände produziert und weniger Chemikalien für den Betrieb benötigt (Abbildung 12). Auf Option 2-A folgt Option 2-B u.a. aufgrund ihres geringeren spezifischen Platzbedarfs.

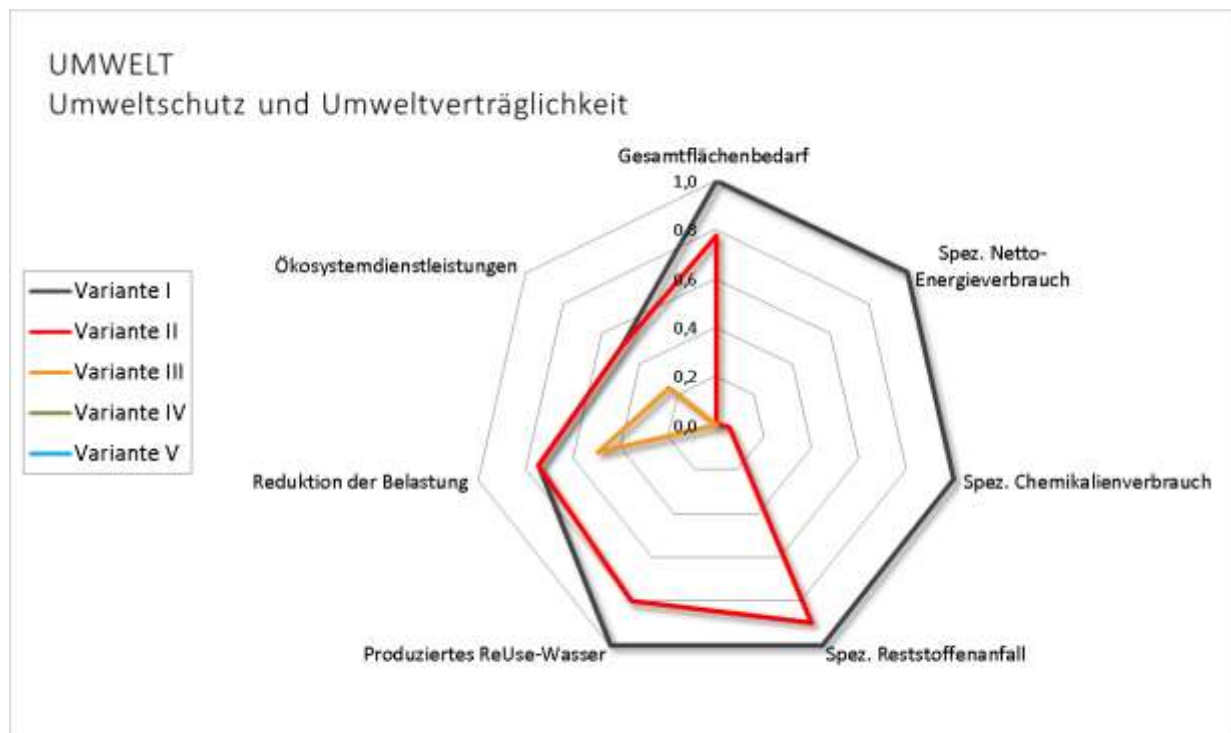


Abbildung 12: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich ökologischer Kriterien

Innerhalb der sozialen Dimension erzielten die Optionen 2-A und 2-B gleiche Bewertungen (Abbildung 13). Beide Optionen schneiden im Hinblick auf den Personalbedarf und die Übereinstimmung mit nationalen Strategien zur Wasser- und Abwasserentsorgung besser ab als Option 2-C.

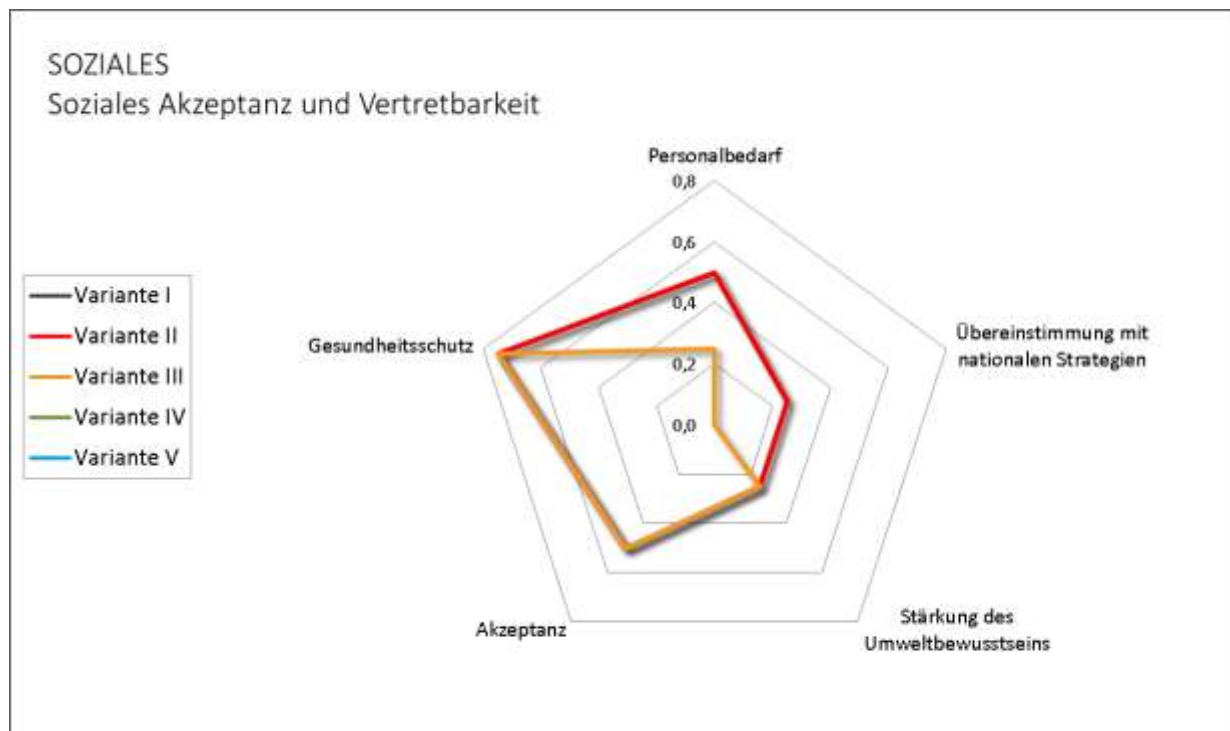


Abbildung 13: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich sozialer Kriterien

In Bezug auf technische Kriterien weisen alle drei betrachteten Optionen Stärken auf. So schneidet Option 2-C insbesondere im Hinblick auf die Integrierbarkeit in die bestehende Infrastruktur und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen besser ab als die beiden anderen. Die Optionen 2-A und 2-B erweisen sich als anpassungsfähiger als Option 2-C. Abgesehen davon hat Option 2-A leichte Vorteile bezüglich der technischen Komplexität der Anlage und Option 2-B bezüglich der Prozessstabilität gegenüber den jeweils beiden anderen Optionen (Abbildung 14).

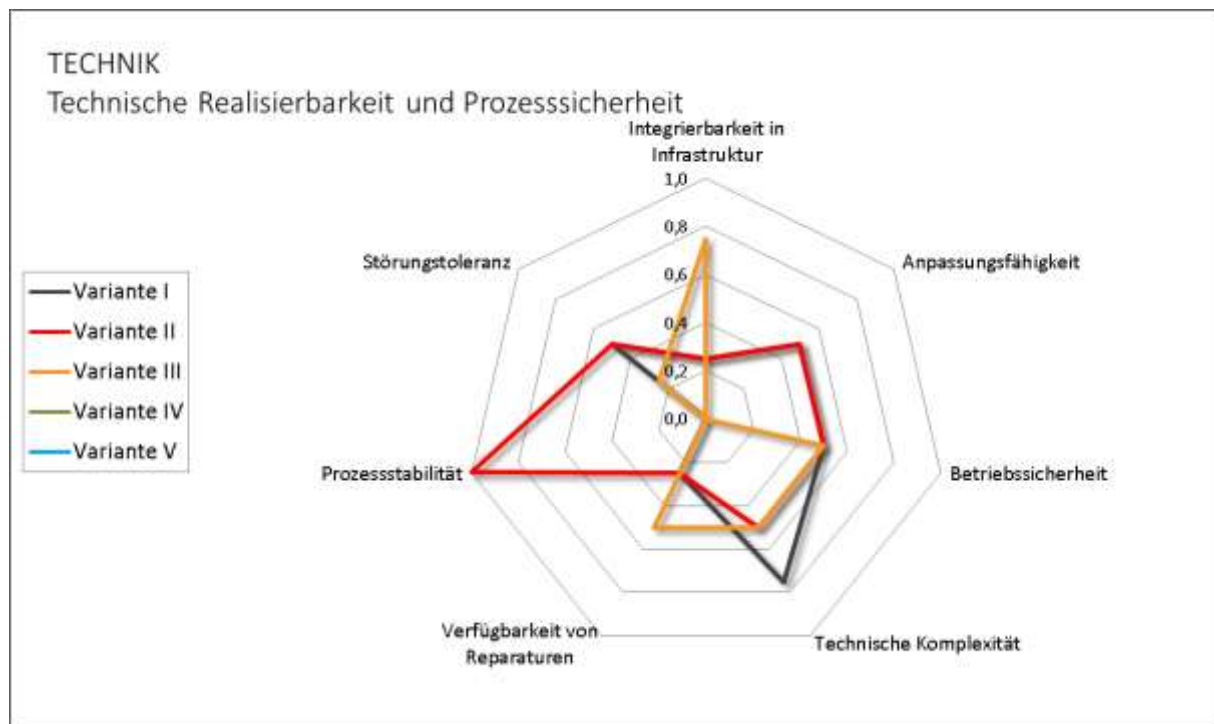


Abbildung 14: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich technischer Kriterien

Beim Fokus auf wirtschaftliche Aspekte erweist sich Option 2-A aufgrund ihrer Fähigkeit zur Innovationsführerschaft sowie ihren geringeren Opportunitätskosten (Folgekosten aufgrund eines Systemausfalls) als die nachhaltigste (Abbildung 15). Demgegenüber verfügt Option 2-C über die vergleichsweise günstigsten spezifischen Jahreskosten. Alle drei betrachteten Optionen weisen einen vergleichbaren Beitrag zur lokalen Wertschöpfung auf.

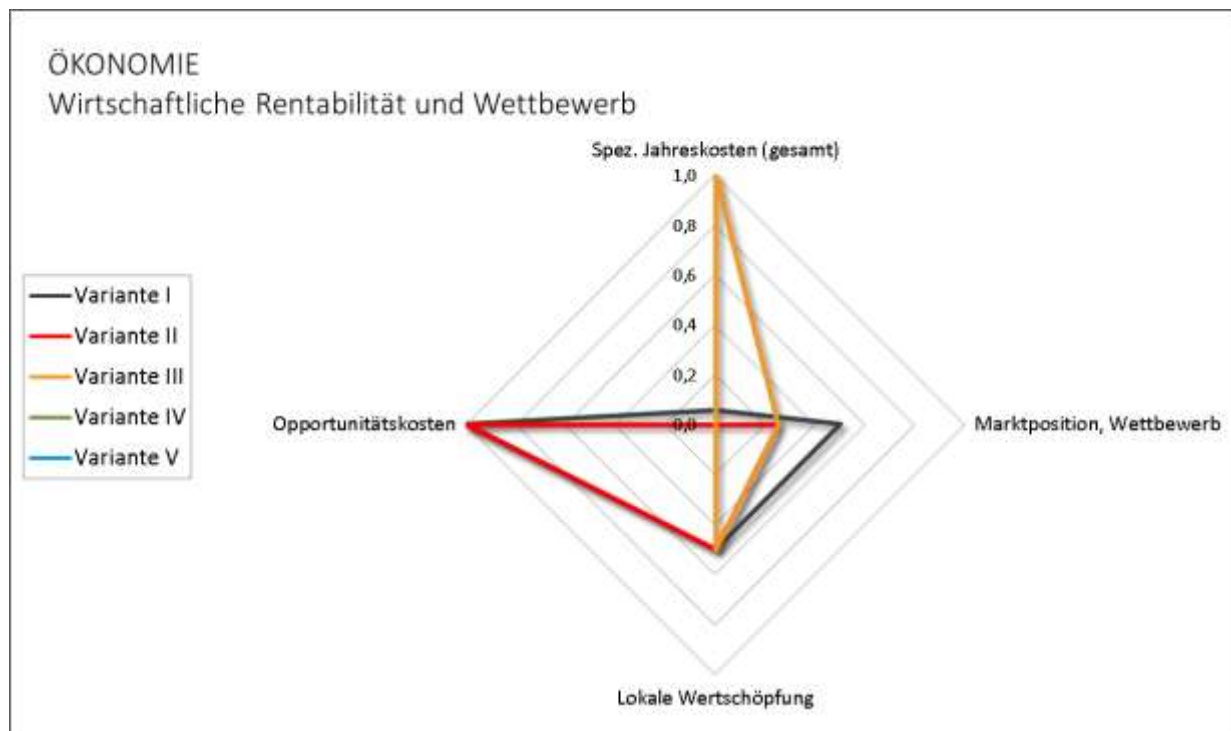


Abbildung 15: Netzdiagramm der Bewertungsergebnisse hinsichtlich ökonomischer Kriterien

5. Übersichtstabellen der Bewertungskriterien

Tabelle 4: Übersicht der Ausschlusskriterien (AK01 bis AK04) aus der Checkliste zum MULTI-ReUse-Bewertungstool

Nr.	Kriterien	Einheit	Indikatoren
Ausschlusskriterien			
Zur Umsetzung von Wasserwiederverwendungsmaßnahmen sind die Beachtung der bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die Erfüllung einiger infrastruktureller und technischer Voraussetzung zwingend erforderlich. Eine technische Variante sollte demnach nur in die nachfolgende Nachhaltigkeitsbewertung einbezogen werden, wenn die unten stehenden Kriterien erfüllt sind. Im Rahmen der Bewertung sind diese Ausschlusskriterien anschließend nicht weiter zu betrachten.			
AK01	Ausschluss wegen rechtlicher Rahmenbedingungen		Die rechtlichen Rahmenbedingungen lassen eine Verwendung von Reuse-Wasser für den beabsichtigten Nutzungszweck nicht zu. Die Anforderungen an die hygienische Wasserqualität für den angestrebten Verwendungszweck werden nicht eingehalten. Es bestehen Einschränkungen, z. B. vor dem Hintergrund bestehender Hygieneanforderungen in der Lebensmittelindustrie, für die angestrebte Nutzung des produzierten (ReUse-) Wassers. Für den Betrieb der Wasseraufbereitungsanlage in der betrachteten Umsetzungsvariante wird die Einhaltung der rechtlichen Anforderungen (Compliance) in allen Bereichen nicht erlangt. Es besteht somit keine Aussicht auf eine behördliche Genehmigung der geplanten Aufbereitungsanlage (MULTI-ReUse-Technologie bzw. Alternative) am Standort. Die Anforderungen an das Produkt (ReUse-Wasser) sowie an die Entsorgung der Reststoffe (z. B. Konzentrate aus Membranprozessen) werden nicht erfüllt.
AK02	Ausschluss wegen Nichtvorhandensein Kläranlage		In der näheren Umgebung des geplanten Standorts der Aufbereitungsanlage, d. h. in einem Umkreis von rd. 20 km, ist keine Kläranlage vorhanden. Klarwasser aus der Kläranlage (= aufbereitetes, kommunales Abwasser) ist als Zulaufstrom für die MULTI-ReUse-Technologie nicht verfügbar.
AK03	Ausschluss wegen zu geringem Volumenstrom		Der Volumenstrom des aufbereiteten, kommunalen Abwassers (= Zulauf für die MULTI-ReUse-Technologie) ist mengenmäßig nicht ausreichend für den Verwendungszweck. Es ist keine (z. B. tageszeitliche, saisonale) Synchronisation von Wasserangebot und -nachfrage einer bestimmten Wasserqualität zu erreichen.
AK04	Ausschluss wegen Infrastrukturbedingungen		Es ist keine Energieversorgung (z. B. Anschluss ans Stromnetz) am geplanten Standort der ReUse-Anlage vorhanden. Die betrachtete Variante kann nicht in die bestehende Infrastruktur (Kanal-/Rohrleitungsnetz, Gasnetz, Stromversorgung, etc.) sowie die bestehenden Gebäude- und Anlagentechnik des Betreibers integriert werden. Vor Ort sind keine Ver- und Entsorgungsstrukturen wie z. B. Energie- und Trinkwasserversorgung, Datennetze etc. vorhanden bzw. können am geplanten Standort nicht errichtet werden.

Tabelle 5: Übersicht der Bewertungskriterien zur Bewertungsdimension Umwelt (U01 bis U03) im MULTI-ReUse-Bewertungstool

Nr.	Kriterien	Einheit	Indikatoren
Umwelt			
Die Bewertung von Wasserwiederverwendungsmaßnahmen ist an vielfältige Kriterien geknüpft. Ein zentrales Kriterium der Nachhaltigkeit sind der Umweltschutz- sowie die Umweltverträglichkeit einzelner Wassergewinnungs- bzw. Abwasserbeseitigungs- und -wiederverwendungsmaßnahmen. Die betrachteten Technologien haben stets Auswirkungen auf die Umwelt, in der sie angewendet werden. Zu den Effekten, die von der Technologie ausgehen, gehören u.a. der Flächenbedarf für die Anlage, der Verbrauch von Energie, Prozess- und weiteren Betriebsmitteln, der Anfall von Reststoffen, die Effizienz der Wassernutzung, die Verbesserung der Wasserqualität durch die Aufbereitungsprozesse sowie Effekte auf die Umgebung der Anlage (Stichwort „Ökosystemdienstleistungen“).			
U01	Flächenbedarf	m ² oder m ² /m ³	Gesamtflächenbedarf der Aufbereitungsanlagen • Unter den Flächenbedarf fallen neben der Standfläche der Aufbereitungsanlage auch alle mit der Wasserlieferung verbundenen Flächenbedarfe, z. B. Infrastrukturen wie das Rohrleitungsnetz zur Wasserverteilung. • Je geringer der Flächenbedarf, desto geringer der ökologische Fußabdruck einer Anlage. • Es sind alle Flächen zu berücksichtigen, welche durch die Anlage für weitere Nutzungszwecke unnutzbar werden. Je geringer der Flächenbedarf, desto geringer ist der ökologische Fußabdruck einer Anlage, z.B. wegen Versiegelung.
U02	Energieverbrauch	kWh/m ³	Spezifischer Netto-Energieverbrauch je m ³ produzierten Wassers • Energie wird in der Wasseraufbereitung in zahlreichen Prozessstufen für Pumpen (Überwindung von Höhendifferenzen, Belüftung, Rückspülung etc.), Dosieranlagen (Flockungsmittel, PAK etc.) und weitere Prozesse benötigt. • Zum spezifischen Energieverbrauch zählen u. a. die Energieverbräuche für die Wasseraufbereitung und Wasserverteilung inkl. Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik, Beleuchtung und Belüftung der Betriebsgebäude etc. Der gesamte Energieverbrauch der Einzelkomponenten ist hier zu addieren und im Verhältnis zum produzierten Wasser zu setzen.
U03	Verbrauch von Prozess- und Betriebsmitteln	g/m ³ oder mL/m ³	Spezifischer Verbrauch an Aufbereitungsstoffen und Desinfektionsmitteln je m ³ produzierten Wassers Der Chemikalienverbrauch kann bei Bedarf differenziert für einzelne Stoffklassen betrachtet werden. • Filtermaterialien und Adsorbentien (z.B. Sand, Ionenaustauscherharze, Aktivkohle) • Aufbereitungschemikalien (z.B. Flockungsmittel, Sauerstoff, Chemikalien zur Einstellung des pH-Wertes, des Salzgehaltes, der Säurekapazität, zur Regeneration von Sorbentien) • Reinigungskemikalien (z. B. Säure, Lauge für Reinigung von Membranen) • Desinfektionsmittel / Biozide (z. B. Chlorverbindungen, Kaliumpermanganat, Salzsäure zur Herstellung von Chlordioxid). Je geringer der Anfall von Prozess- und Betriebsmitteln, desto niedriger sind die Kosten. Je geringer der Anfall von Prozess- und Betriebsmitteln, desto geringer die potenziell schädlichen Auswirkungen des Aufbereitungsprozesses auf die Umweltschutzgüter Wasser, Boden und Luft.

Fortsetzung zur Tabelle 5: Übersicht der Bewertungskriterien zur Bewertungsdimension Umwelt (U04 bis U07) im MULTI-ReUse-Bewertungstool

Nr.	Kriterien	Einheit	Indikatoren
Umwelt			
Die Bewertung von Wasserwiederverwendungsmaßnahmen ist an vielfältige Kriterien geknüpft. Ein zentrales Kriterium der Nachhaltigkeit sind der Umweltschutz- sowie die Umweltverträglichkeit einzelner Wassergewinnungs- bzw. Abwasserbeseitigungs- und -wiederverwendungsmaßnahmen. Die betrachteten Technologien haben stets Auswirkungen auf die Umwelt, in der sie angewendet werden. Zu den Effekten, die von der Technologie ausgehen, gehören u.a. der Flächenbedarf für die Anlage, der Verbrauch von Energie, Prozess- und weiteren Betriebsmitteln, der Anfall von Reststoffen, die Effizienz der Wassernutzung, die Verbesserung der Wasserqualität durch die Aufbereitungsprozesse sowie Effekte auf die Umgebung der Anlage (Stichwort „Ökosystemdienstleistungen“).			
U04	Anfall von Reststoffen	g/m³ oder mL/m³	Spezifischer Reststoffanfall (z. B. Konzentrate der Membrananlagen) je m³ produzierten Wassers Betrifft alle Reststoffe, die dem System entnommen und fachgerecht entsorgt werden. Hierunter fallen z. B. (Rück-) Spülwasser, welches nicht recycelt werden kann oder saures bzw. alkalisches Abwasser aus der Reinigung der Module (z. B. Abwasser aus CIP bzw. chemisch unterstützter Rückspülung). Je geringer der Anfall von Reststoffen, desto geringer die potenziell schädlichen Auswirkungen des Aufbereitungsprozesses auf die Umweltschutzgüter Wasser, Boden und Luft.
U05	Zusätzlich verfügbares Wasservolumen	m³/a oder m³ Ablauf ReUse-Anlage / m³ Zulauf ReUse-Anlage oder %	Hier das gesamte zur neuen Nutzung zur Verfügung gestellte Wasser heranziehen, unabhängig von der Wasserqualitätsstufe. Volumen des zur Verfügung gestellten Wassers Betrifft die insgesamt zur Verfügung gestellte Wassermenge, welche sich in verschiedene Wasserqualitätsstufen für unterschiedliche Nutzungsarten untergliedern kann.
U06	Wasserqualität	qualitativ: vollständige Reduktion, umfangreiche Reduktion, durchschnittliche Reduktion, teilweise Reduktion, keine Reduktion	Reduktion der Belastung für ausgewählte, für den Verwendungszweck kritische Parameter Relevant können für den Einzelfall u. a. die Konzentration ökologisch relevanter Substanzen (z. B. Chlorid), die elektrische Leitfähigkeit oder der Gehalte an CSB, TOC bzw. DOC sein. Wasserinhaltsstoffe wie z.B. der Salzgehalt wirken sich auf die Einsatzmöglichkeiten für verschiedene Verwendungszwecke aus. Die Reduzierung der elektrischen Leitfähigkeit erhöht z.B. die Rezirkulierbarkeit in industriellen Prozessen.
U07	Ökosystemdienstleistungen	qualitativ: positiv, eher positiv, neutral, eher negativ, negativ	Die Produktion von Trink- und ReUse-Wasser wirkt sich auf die im Betrachtungsgebiet liegenden Ökosysteme aus. Die Art und Weise der Wasserproduktion kann die Ökosystemleistungen unterstützen bzw. einschränken. Beitrag zu Erhalt oder Steigerung der Ökosystemleistungen im Betrachtungsgebiet sowie angrenzenden Ökosystemen Relevant können u. a. die nachfolgenden Ökosystemleistungen sein: unterstützend: Bodenbildung, Nährstoffkreislauf, Erhalt der genetischen Vielfalt bereitstellend: Bereitstellung von Nahrung, Wasser, Baumaterial (Holz), Fasern, Rohstoffen für Arzneimittel regulierend: Regulierung von Klima (Temperaturextreme, Windkräfte), Krankheiten, Wasser- und Luftqualität, Wasserhaushalt (Wasserversorgung, Hochwasserschutz, Schutz vor Fluten und Dürren), Schadstoffkonzentrationen (Abfallbeseitigung), Bestäubung von Blüten, Populationsgrößen von Schadorganismen kulturell: Erholung, Naturtourismus, spirituelle Erfüllung

Tabelle 6: Übersicht der Bewertungskriterien zur Bewertungsdimension Soziales (S01 bis S05) im MULTI-ReUse-Bewertungstool

Nr.	Kriterien	Einheit	Indikatoren
Soziales			
Für die Umsetzbarkeit von Wasserwiederverwendungsmaßnahmen ist die Nutzerakzeptanz ein wesentliches Kriterium. Die soziale Akzeptanz & Vertretbarkeit von Wasserrecyclingprojekten lässt sich einerseits direkt an der Akzeptanz der Beteiligten für die geplante Form der Wasserwiederverwendung und andererseits an der Akzeptanz der mit dem ReUse-Wasser hergestellten Produkte festmachen. Darüber hinaus können jedoch auch weitere Faktoren, wie die Übereinstimmung mit Leitbildern, eine allgemeine Stärkung des Umweltbewusstseins in der Öffentlichkeit oder das Vorhandensein gesundheitlicher Risiken für Konsumenten wie auch das Betriebspersonal der Anlage Einfluss darauf nehmen, ob sich eine bestimmte Versorgungsvariante durchsetzen kann.			
S01	Personalbedarf	qualitativ: sehr gering, eher gering, mittel, eher hoch, sehr hoch	Anzahl des benötigten Personals für Betrieb und Instandhaltung Je geringer der Personalbedarf für Anlagenplanung, Bau und Inbetriebnahme, Betrieb, Organisation und Verwaltung sowie für die betriebliche Überwachung, desto geringer der Aufwand für die Realisierung der geplanten Anlage.
S02	Übereinstimmung mit Leitbildern	qualitativ: sehr gut, gut, weitgehend, geringfügig, ohne Diskrepanzen	Übereinstimmung mit nationalen Strategien zur Wasserver- und Abwasserentsorgung . Je größer die Übereinstimmung mit den nationalen Vorgaben, desto günstiger sind die Rahmenbedingungen für Bau und Betrieb der Anlage. (z. B. <i>Water Framework Directive</i> (WFD), <i>Drinking Water Directive</i> (DWD), <i>Bathing Water Directive</i> (BWD), <i>United Nations Watercourses Convention</i> Urban Wastewater Treatment Directive (UWTD), <i>Wasserhaushaltsgesetz</i> (WHG), <i>Oberflächengewässerverordnung</i> (OGewV), <i>Grundwasserverordnung</i> (GrwV), <i>Trinkwasserverordnung</i> (TrinkwV), <i>Abwasserverordnung</i> (AbwV), <i>Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen</i> (AwSV), <i>Industriekläranlagen-Zulassungs- und Überwachungsverordnung</i> (IZÜW), VDI-Richtlinien und DIN-Normen).
S03	Stärkung des Umweltbewusstseins	qualitativ: sehr hoch, hoch, mittel, gering, ohne Potenzial	Potenzial, die Beteiligten für Themen der nachhaltigen Ressourcennutzung zu sensibilisieren . Durch die Realisierung der Wasserwiederverwendung und eine gezielte, begleitende Medien- und Öffentlichkeitsarbeit können alle Beteiligten im bewussteren Umgang mit Wasserressourcen gestärkt und für die nachhaltige Ressourcennutzung sensibilisiert werden. Potentielle Stakeholder-Gruppen sind u. a. Anlagenbetreiber und Investoren, Abnehmer des ReUse-Wassers, Bürgerinnen und Bürger sowie Politiker.
S04	Akzeptanz	qualitativ: sehr gut, gut, teilweise, gering, keine Akzeptanz	Akzeptanz der Beteiligten für die Form der Wasserwiederverwendung sowie für die hergestellten Produkte . Ein erfolgskritischer Faktor für die Wiederverwendung von aufbereitetem Klarwasser ist die Akzeptanz der Wasserwiederverwendung sowie der mit Reuse-Wasser produzierten Güter. Gezielte Informationskampagnen können die Skepsis der Verbraucher reduzieren.
S05	Gesundheitsschutz	qualitativ: sehr gut, gut, ausreichend, mangelhaft, ungenügend	Schutz der Gesundheit der Nutzer beim Kontakt mit pathogenen Mikroorganismen aus dem ReUse-Wasser. Für Personen, die mit dem ReUse-Wasser in direkten Kontakt kommen, sind angemessene Schutzmaßnahmen zu treffen. Maßnahmen wie die strikte Leitungstrennung und Kennzeichnung von Trinkwasser- und ReUse-Wasser schließen eine Verwechslungsgefahr aus.

Tabelle 7: Übersicht der Bewertungskriterien zur Bewertungsdimension Technik (T01 bis T05) im MULTI-ReUse-Bewertungstool

Nr.	Kriterien	Einheit	Indikatoren
Technik			
Ob ein Wasserwiederverwendungsprojekt im geplanten Umfang, mit den zur Verfügung stehenden Technologien am vorgesehenen Ort und mit dem gewünschten Maß an Prozesssicherheit technisch überhaupt realisierbar wäre, hängt von einer Vielzahl an Kriterien ab. Hierzu gilt es vorab einige zentrale Fragestellungen zu beantworten: Ist die vorgehende Wasserwiederverwendungsanlage in die bestehende Infrastruktur integrierbar? Wenn ja, wie hoch ist der Aufwand zur technischen Implementierung der Prozesskette in die bestehende Infrastruktur? Wie langfristig ist die Investition und wie flexibel kann auf sich verändernde Randbedingungen reagiert werden? Haben die Mitarbeiter des Betreibers bereits Erfahrung mit dem Betrieb vergleichbarer technischer Anlagen? Wie hoch ist der zusätzliche Aufwand für Bedienung und Instandhaltung der Anlagen? Sind Ersatzteile sowie Reparaturdienstleistungen lokal verfügbar? Welche Lebensdauer der Anlage kann der Betreiber erwarten? Wie anfällig ist die Anlage gegenüber äußeren Störeinflüssen und welche Qualitätseinbußen wären in einem solchen Fall zu befürchten?			
T01	Integration in Infrastruktur	qualitativ: sehr gut, gut, teilweise, mit erheblichem Aufwand verbunden, technisch unmöglich	Technische Integrierbarkeit der Prozesskette in die bestehende Infrastruktur. Je geringer der Aufwand für Planung, Bau und Inbetriebnahme, desto einfacher die Integration des betrachteten Prozesses in die bestehende Infrastruktur. Die gute technische Integrierbarkeit kann ein erfolgsentscheidendes Kriterium für die Realisierung sein.
T02	Flexibilität, Anpassungsfähigkeit, Erweiterbarkeit	qualitativ: sehr hoch, hoch, mittel, gering, ohne Potenzial	Potenziale für bauliche Anpassungen (z. B. Planungssicherheit für Erweiterungen, Modularität, Skalierbarkeit) hinsichtlich sich verändernder Randbedingungen. Je höher der Modularisierungsgrad, desto größer das Potenzial für bauliche Anpassungen. Je kleiner die einzelnen Systemeinheiten sind, desto einfacher und flexibler ist eine Anpassung der Anlagengröße zu erzielen.
T03	Betriebssicherheit	qualitativ: sehr gut, gut, befriedigend, ausreichend, mangelhaft	Steuerung und Überprüfung von Maßnahmen zur Unfallverhütung sowie zum betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz . Zur Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes werden technische, organisatorische sowie persönliche Arbeitsschutzmaßnahmen umgesetzt. Je routinierter die Mitarbeiter, desto geringer die Risiken für Arbeitsunfälle bzw. Verletzungen am Arbeitsplatz.
T04	Technische Komplexität	qualitativ: kein / einfacher Schulabschluss, mittlerer Schulabschluss, Berufsausbildung, Universitäts- / Fachhochschulabschluss, mit Berufserfahrung und Fachfortbildungen	Für die Bedienung (inkl. Überwachung, Steuerung) und Instandhaltung der Anlage mindestens erforderlicher höchster Bildungsabschluss. Mit ansteigender technischer Komplexität einer Anlage wird i.d.R. eine längere Ausbildungszeit der Mitarbeiter, welche eine Anlage betreuen, erforderlich. Dies lässt sich z.B. anhand der erforderlichen Mindestqualifikation für die Mitarbeiter ausdrücken.
T05	Instandhaltung	qualitativ: sehr gut, gut, mittel, eingeschränkt, keine Verfügbarkeit	Lokale Verfügbarkeit von Ersatzteilen für Reparaturdienstleistungen . An einigen Standorten sind benötigte Verschleiß- und Ersatzteile bzw. Reparaturdienstleistungen nicht zu jedem Zeitpunkt lokal verfügbar. Besonders in Schwellen-/Entwicklungsländern kann dies zu einem erfolgskritischen Faktor für eine Technologie werden.

Fortsetzung zur Tabelle7: Übersicht der Bewertungskriterien zur Bewertungsdimension Technik (T06 bis T07) im MULTI-ReUse-Bewertungstool

Nr.	Kriterien	Einheit	Indikatoren
Technik			
Ob ein Wasserwiederverwendungsprojekt im geplanten Umfang, mit den zur Verfügung stehenden Technologien am vorgesehenen Ort und mit dem gewünschten Maß an Prozesssicherheit technisch überhaupt realisierbar wäre, hängt von einer Vielzahl an Kriterien ab. Hierzu gilt es vorab einige zentrale Fragestellungen zu beantworten: Ist die vorgehende Wasserwiederverwendungsanlage in die bestehende Infrastruktur integrierbar? Wenn ja, wie hoch ist der Aufwand zur technischen Implementierung der Prozesskette in die bestehende Infrastruktur? Wie langfristig ist die Investition und wie flexibel kann auf sich verändernde Randbedingungen reagiert werden? Haben die Mitarbeiter des Betreibers bereits Erfahrung mit dem Betrieb vergleichbarer technischer Anlagen? Wie hoch ist der zusätzliche Aufwand für Bedienung und Instandhaltung der Anlagen? Sind Ersatzteile sowie Reparaturdienstleistungen lokal verfügbar? Welche Lebensdauer der Anlage kann der Betreiber erwarten? Wie anfällig ist die Anlage gegenüber äußeren Störeinflüssen und welche Qualitätseinbußen wären in einem solchen Fall zu befürchten?			
T06	Prozessstabilität	Jahre / 1 Ausfall	Mittlere Betriebsdauer bis zum Ausfall (<i>mean time to failure</i> , MTTF). Die Robustheit einer Anlage kann u.a. von der Anzahl der Einzelkomponenten abhängen. Je mehr Komponenten zentral überwacht werden können (Überprüfbarkeit / Wartungsmöglichkeiten), desto geringer das Risiko eines Systemausfalls.
T07	Störungstoleranz bzgl. externen Risiken	qualitativ: sehr gut, gut, mittel, gering, ungenügend	Toleranz des Systems gegenüber Naturgefahren / Elementarrisiken, Fehlbedienung, Manipulation und Vandalismus . Die Störungstoleranz umfasst z.B. die Störanfälligkeit einer Anlage gegenüber externen Risiken wie Naturgefahren (Extremwetterereignisse, Elementarrisiken), Fehlbedienung, Manipulation und Vandalismus.

Tabelle 8: Übersicht der Bewertungskriterien zur Bewertungsdimension Ökonomie (Ö01 bis Ö04) im MULTI-ReUse-Bewertungstool

Nr.	Kriterien	Einheit	Indikatoren
Ökonomie			
Die wirtschaftliche Rentabilität von Investitionsmaßnahmen ist für deren Umsetzung stets von großer Bedeutung. Denn nur wenn sich die spezifischen Jahreskosten langfristig über Erlöse oder Kosteneinsparungen mindestens decken lassen, gestaltet sich ein solches Investment wirtschaftlich. Zusätzliche Erlöse können langfristig aus einer verbesserten Marktposition gegenüber Wettbewerbern, begünstigt durch die Innovationsführerschaft und/oder eine veränderte öffentliche Wahrnehmung des Unternehmens, resultieren. Ein zusätzlicher volkswirtschaftlicher Nutzen, bspw. durch die Schaffung von Arbeitsplätzen, kann aus strategischer Sicht für den Betreiber hierbei förderlich sein.			
Ö01	Gesamtkosten	EUR ct/m ³ oder qualitativ: gering, eher gering, mittel, eher hoch, hoch	Spezifische Jahreskosten (gesamt). Eine Hilfestellung zur Ermittlung der spezifischen Jahreskosten mit Aufschlüsselung der zu berücksichtigenden Einzelpositionen finden Sie im Tabellenblatt „Gesamtkosten“.
Ö02	Marktposition, Wettbewerb	qualitativ: sehr hohes Potenzial, hohes Potenzial, mittleres Potenzial, geringes Potenzial, ohne Potenzial	Potenzial zur regionalen Innovationsführerschaft durch die Erweiterung des Knowhows und zur Imageverbesserungen . Zu bemessen ist das Potenzial zur Verbesserung der eigenen Marktposition des Anlagenbetreibers im Wettbewerb z.B. an dem Beitrag der Versorgungsvariante zur Erfüllung der Unternehmensziele bzw. der Unternehmensstrategie.
Ö03	Zusätzliche lokale Wertschöpfung, Arbeitsmarkt	EUR/m ³ oder EUR/a oder qualitativ: hoch, eher hoch, mittel, eher gering, gering	Positive volkswirtschaftliche Effekte durch die Wasserwiederverwendung (Prozesskette). Zu berücksichtigen sind u.a. die Anzahl der regional neu geschaffenen Arbeitsplätze (Vollzeitäquivalente) in den Bereichen Planung, Anlagenbau und Anlagenbetrieb sowie die damit verbundenen volkswirtschaftlichen Umsätze.
Ö04	Opportunitätskosten	EUR/m ³ oder EUR/d oder qualitativ: gering, eher gering, mittel, eher hoch, hoch	Folgekosten eines Anlagenausfalls mit Störung bzw. Unterbrechung der Wasserlieferung. Zu berücksichtigen sind bzgl. der Folgekosten eines Anlagenausfalls verschiedene Arten der Folgekosten, wie z.B. Reparaturkosten zur Wiederherstellung der zuverlässigen Wasseraufbereitung oder Kosten für die alternative Bereitstellung von (Trink-)Wasser.

6. Literatur

- Brundtland et al. (4. August 1987). *Development and international economic and co-operation: Environment. Report of the World Commission on Environment and Development*. Official Records of the General Assembly, Forty-second Session, Supplement No. 25 (A/42/25), New York. Abgerufen am 26. Juli 2019 von https://en.wikisource.org/wiki/Brundtland_Report
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). (16. August 2017). *Nachhaltige Entwicklung. Strategie und Umsetzung*. Abgerufen am 22. Juli 2019 von Nachhaltige Entwicklung als Handlungsauftrag : <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-internationales/nachhaltige-entwicklung/strategie-und-umsetzung/nachhaltigkeit-als-handlungsauftrag/>
- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). (kein Datum). *Der Weg zur Agenda - Die Nachhaltigkeitsagenda und die Rio-Konferenzen*. Abgerufen am 22. Juli 2019 von Agenda 2030: http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030_agenda/historie/rio_plus20/index.html
- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). (kein Datum). *Die Rio-Konferenz 1992*. Abgerufen am 22. Juli 2019 von Internationale Ziele - Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung: http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030_agenda/historie/rio_plus20/umweltgipfel/index.html
- Foxon, T., McIlkenny, G., Gilmour, D., Oltean-Dumbrava, C., Souter, N., Ashley, R., . . . Moir, J. (2002). Sustainability criteria for decision support in the UK water industry. *Journal of Environmental Planning and Management*, 45(2), S. 285-301.
- Sahely, H., Kennedy, C., & Adams, B. (2005). Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems. (C. S. Engineering, Hrsg.) *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32(1), S. 72-85.
- Sattig, I. (2019). Technische und wirtschaftliche Optimierung der Wasserrückgewinnung aus Kläranlagenabläufen.
- van Leeuwen, K., & Marques, R. (2012). *Current State of Sustainability of Urban Water Cycle Services. Part I - Towards a Baseline Assessment of the Sustainability of Urban Water Cycle Services*. trust Deliverable D11.1. Retrieved Juli 29, 2019