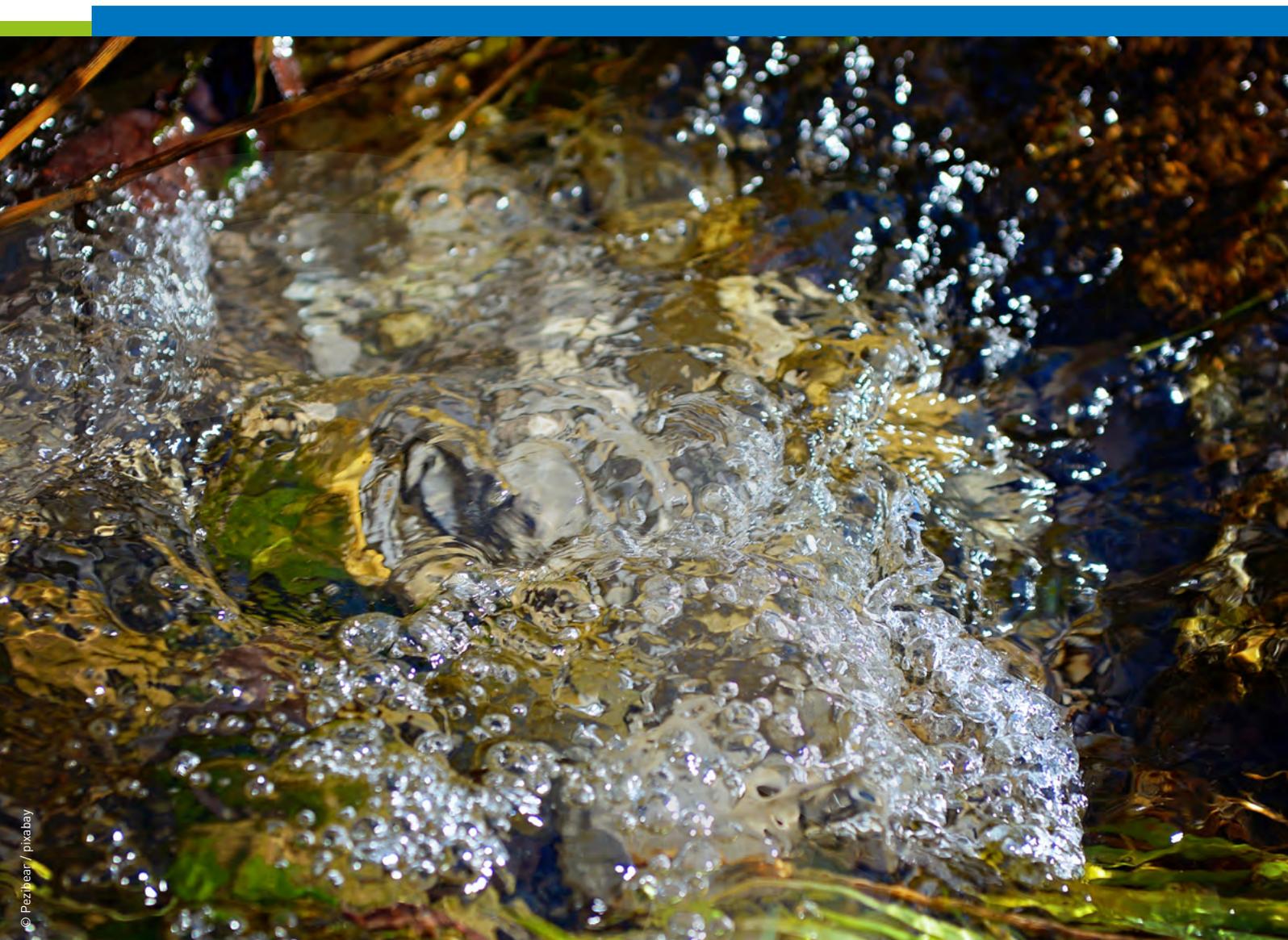


Leitfaden

Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen

- Leitfaden zur Anwendung des DWA-A 272

2018



Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland

Tel.: +49 2242 872-333

Fax: +49 2242 872-100

E-Mail: info@dwa.de

Internet: www.dwa.de

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef 2018

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Inhalt

1	Hintergrund	3
2	Methodisches Vorgehen	4
3	Identifikation und Ausgestaltung der Lösungsvarianten	6
4	Bewertungskriterien und Gewichtung	7
5	Wirkungsabschätzung (Kriterienausprägungen) und Wertefunktionen	8
6	Aggregation, Rangfolgenbildung und Sensitivitätsanalyse	17
7	Beispiel	18
8	Anhang	32

Autoren

DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4

Dr.-Ing. Thomas Hillenbrand, Fraunhofer ISI, Karlsruhe (Sprecher)

Dr.-Ing. Susanne Bieker, GIZ, Eschborn, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn, TU Braunschweig, Deutschland

Dr.-Ing. Jörg Felmeden, COOPERATIVE Infrastruktur und Umwelt, Kassel

Prof. Dr.-Ing. Inka Kaufmann Alves, Hochschule Mainz, Deutschland

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Günter Langergraber, BOKU Wien, Österreich

Dr. Sabine Lautenschläger, Uni Leipzig, Deutschland

Prof. Dr. Max Maurer, EAWAG, Dübendorf, Schweiz

Silke Neuhausen, Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz, TU Kaiserslautern, Deutschland

1 Hintergrund

In 2014 ist das Arbeitsblatt DWA-A 272 „Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS)“ erschienen, in dem die technischen Grundkonzepte sowie die grundsätzliche Vorgehensweise bei Planung und Konzeption dieser Systeme beschrieben werden. Eingegangen wird vor allem auf Besonderheiten Neuartiger Sanitärsysteme, die bei der Umsetzung zu beachten sind. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Grundsätze zur Bewertung und Entscheidungsunterstützung, da NASS zu einem anderen Umgang mit (Ab-)Wasser führen, verbunden mit einem zusätzlichen Nutzen bspw. durch die Rückgewinnung von Nährstoffen oder Energie aus dem Abwasser. Vor diesem Hintergrund sind die in der Praxis üblicherweise eingesetzten vereinfachten Bewertungsverfahren, die bspw. von einer Nutzengleichheit der zu betrachtenden Varianten ausgehen, unzureichend und durch weitere Verfahren zu ergänzen. Im Arbeitsblatt konnten nur Grundzüge der Bewertung einschließlich einer Liste relevanter Bewertungskriterien aufgenommen werden, eine genaue Beschreibung der Vorgehensweise war nicht möglich. In diesem Leitfaden wird deshalb ein Bewertungsverfahren für Wasserinfrastruktursysteme beschrieben, das die relevanten Bewertungskriterien umfassend berücksichtigt und hinsichtlich des Datenbedarfs und des notwendigen Untersuchungsaufwands anwendbar und praktikabel ist.

Nach einer kurzen Beschreibung des methodischen Vorgehens wird auf die Identifizierung der Lösungsvarianten, die Ziele mit den daraus abzuleitenden Bewertungskriterien sowie die Frage der Gewichtung der Kriterien eingegangen. Wesentlicher Kern des Leitfadens ist die Beschreibung der Wirkungsabschätzung sowie die darauf aufbauende Entscheidungsfindung. Abschließend wird das Verfahren auf ein konkretes Beispiel angewendet.

Der Leitfaden wendet sich vor allem an Planer, Bauherren, Hersteller, Behörden sowie Ver- und Entsorger, die mit der Aufgabe betraut sind, bestehende Wasserinfrastruktursysteme an neue Herausforderungen und Randbedingungen anzupassen und weiterzuentwickeln bzw. neue (Teil-)Systeme zu planen.

2 Methodisches Vorgehen

Für die Bewertung von NASS ist aufgrund der Vielzahl der zu berücksichtigten Aspekte der Einsatz eines multikriteriellen Bewertungsverfahrens notwendig, um eine nachvollziehbare und belastbare Entscheidung für eine Vorzugsvariante herbei zu führen. Um den Aufwand eines Variantenvergleichs überschaubar zu halten wird in diesem Leitfaden eine Nutzwertanalyse vorgeschlagen.

Zu Beginn eines Bewertungsprozesses sind die Systemgrenzen sowie die Ziele zu definieren und dazugehörige Bewertungskriterien festzulegen. Im Arbeitsblatt DWA-A 272 wurden

1. Umwelt- und Ressourcenschutz,
2. Hygiene und Gesundheitsschutz,
3. ökonomische Ziele,
4. soziale Ziele und
5. technische Ziele

als Hauptziele für die Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen definiert. Zur Begrenzung des Bearbeitungsaufwands sollte die Anzahl der Bewertungskriterien grundsätzlich gering gehalten werden. Im Grundsatz gilt, dass alle für das zu untersuchende Projekt als relevant eingestuften Kriterien berücksichtigt werden müssen. Aus diesem Grunde sind die vorgeschlagenen Bewertungskriterien in „muss“- und „kann“-Kriterien unterteilt. „Kann“-Kriterien sind nur dann zu berücksichtigen, wenn sie für ein Projekt relevant sind.

In einem weiteren Schritt müssen die konkreten Werte für alle berücksichtigten Kriterien wie z. B. Stickstoffemissionen oder spezifische Jahreskosten, für jede Variante erhoben oder abgeschätzt werden. Vorteilhaft ist es dabei auch die Unsicherheiten abzuschätzen und zu dokumentieren. Parallel dazu müssen Wertefunktionen und Gewichtungen festgelegt werden. Die Wertefunktionen übertragen die Werte der Kriterien in einen von 0 bis 1 normierten Bereich. Die Gewichtung erlaubt es, die so normierten Kriterien zu Teilnutzwerten und in der Summe zu einem Gesamtnutzwert zu aggregieren. In diesem Leitfaden werden dazu Orientierungen gegeben.

In der Regel ist die Variante mit dem höchsten Gesamtnutzwert als die vergleichsweise vorteilhafteste zu sehen. Da das Verfahren durch zum Teil subjektive Einschätzungen der am Bewertungsprozess beteiligten Akteure sowie durch Unsicherheiten über künftige Entwicklungen mitbestimmt ist, wird empfohlen abschließend eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Gewichtung und möglicher Unsicherheiten bspw. bei den verwendeten Ausgangsdaten sowie eine Szenarioanalyse hinsichtlich möglicher Entwicklungen in der Zukunft durchzuführen, um eine eindeutige Empfehlung für eine Vorzugsvariante geben zu können (vgl. dazu auch Kapitel 6).

Durch die Einbindung der beteiligten Akteure laut Arbeitsblatt DWA-A 272 (Kap. 9.1, S. 28) in den Bewertungsprozess sowie einer vollständigen Dokumentation des Bewertungsvorgangs wird die Transparenz des Bewertungsvorgangs gewährleistet.

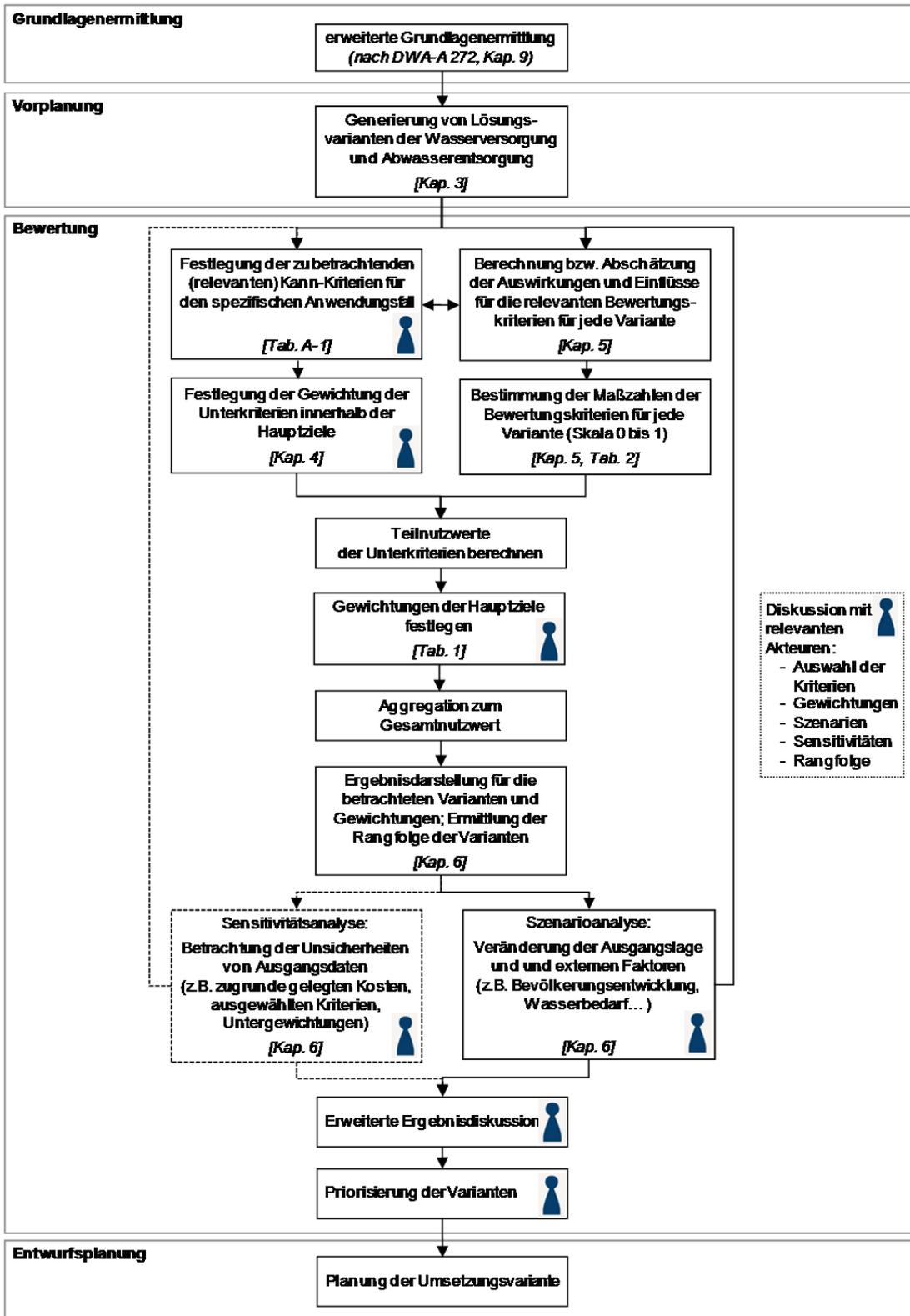


Abbildung 1: Ablaufschema zur Vorgehensweise ¹⁾

¹⁾ Schritte, in denen ggf. relevante Akteure einzubinden sind, sind mit entsprechend markiert.

3 Identifikation und Ausgestaltung der Lösungsvarianten

Anlässe zur Berücksichtigung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS) in der wasserinfrastrukturellen Planung können sich bspw. bei Über- oder Unterlast des vorhandenen Systems, aus strategischen Aspekten einer langfristig ausgerichteten Abwasserentsorgung sowie Impulsen aus anderen Bereichen wie z. B. nachhaltiger Stadt- und Siedlungsentwicklung oder kommunaler Energie- und Klimaschutzkonzepte ergeben (vgl. DWA-A 272, Tabelle 4). Wurden im Rahmen der Analyse der Ausgangslage NASS als grundsätzlich sinnvolle Planungsalternative bzw. -ergänzung eingestuft, sind technische Varianten zu erarbeiten. Dies sind auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasste technische Lösungen, die den (von den beteiligten Akteuren) definierten Zielen gerecht werden.

Die Vielfalt und rasche Weiterentwicklung der technologischen Bausteine und deren Kombinationsmöglichkeiten, deren Adaption an die lokalen Bedürfnisse und Gegebenheiten sowie mögliche Rückwirkungen auf bestehende, verbleibende Systemstrukturen erfordern Sorgfalt bei der Entwicklung der Varianten. Darüber hinaus ist eine bewusste Erweiterung der Systemperspektive und des Planungshorizontes über die Grenzen der Abwasserentsorgung hinaus sinnvoll und erforderlich.

Im Anhang A des DWA-A 272 sind bestehende Regelwerke aufgeführt, die bei der Anwendung neuartiger Sanitärsysteme zu berücksichtigen sind. NASS können auch die parallele Entwicklung organisatorischer Maßnahmen oder neuer Betreibermodelle erfordern. Es sollte zunächst ein breites Spektrum möglicher Systemvarianten identifiziert werden, um vorhandene Gestaltungsspielräume zu erkennen und zu nutzen. Geeignet erscheinende technische Lösungen können dann in der weiteren Planung ausdifferenziert und als Varianten in den Auswahlprozess aufgenommen werden.

Sich abzeichnende Veränderungen der Rahmenbedingungen, die die Wasserinfrastruktur der Zukunft beeinflussen könnten, sind grundsätzlich – auch bei konventionell ausgerichteten Weiterentwicklungen von Wasserinfrastrukturen – durch Szenarien abzubilden. Der Einfluss der Szenarien auf die Zielerreichung ist für alle Varianten zu prüfen. Ferner sind die spezifischen Umsetzungsschritte und -herausforderungen der Varianten (Beteiligung verschiedener Akteure, Abstimmung mit anderen, betroffenen Fachplanungen, zur Verfügung stehende finanzielle und zeitliche Ressourcen) bereits bei deren Konzeption zu berücksichtigen.

In Abhängigkeit von der fallspezifischen Zielstellung sollten die Varianten bzgl. folgender Charakteristika beschrieben werden:

- Technisches Lösungskonzept,
- Form der betrieblichen Organisation,
- Umsetzungszeiträume, ggf. Stufenkonzepte und
- Kosten- und Einnahmestrukturen.

Folgende Fragestellungen sind bei der Entwicklung der Varianten u.a. zu beachten:

- Welche Wechselwirkungen bestehen zur vorhandenen Infrastruktur (Wasserinfrastruktur- und Siedlungsstruktur, etc.)?
- Wo liegen die Systemgrenzen?
- Welche Akteure sind direkt an den relevanten Entscheidungsprozessen beteiligt bzw. sollten beteiligt werden?
- Welche kritischen Systemkomponenten sind vorhanden, die die Umsetzung entscheidend beeinflussen können?

Systemgrenzen und Planungshorizont sind fallspezifisch festzulegen. Die Systemgrenzen müssen für alle zu vergleichenden Varianten einheitlich definiert werden und alle relevanten Stoffströme und deren Verbleib (bspw. auch die Entsorgung von Klärschlamm) einschließen.

4 Bewertungskriterien und Gewichtung

Ausgehend von den in Kap. 2 aufgeführten Zielen beinhaltet DWA-A 272 (Tabelle 6) eine umfassende Liste von Kriterien zur Bewertung von Sanitärsystemen. Für viele projektbezogene wasserinfrastrukturelle Planungen kann diese Liste deutlich reduziert werden. Daher sind im Anhang (Tabelle A-1) ausgehend von der Kriterienliste und den fünf definierten Hauptzielen des DWA-A 272 die für Einzelprojekte wesentlichen Kriterien kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer Relevanz wie folgt eingestuft:

- 1: „**muss**“-Kriterium: Ist bei der Bewertung unbedingt zu berücksichtigen.
- 2: „**kann**“-Kriterium: Abhängig von den jeweiligen Randbedingungen und in Abstimmung mit den beteiligten Akteuren können diese Kriterien ausgeschlossen werden.
- 3: Für Einzelprojekte nicht relevantes Kriterium.
- 4: **KO-Kriterium**, das erfüllt werden muss, d.h. nur wenn dieser Punkt erfüllt ist, kann die Variante in den Vergleich einbezogen werden. Dieses Kriterium ist deshalb i. d. R. im Rahmen der Bewertung nicht weiter zu betrachten.

Zu den Einstufungen sind in Tabelle A-1 Erläuterungen aufgeführt, die die Gründe für die Einstufung kurz zusammenfassen.

Die in Tabelle 1 beschriebenen Hauptziele können in Abhängigkeit von ihrer Relevanz und den Präferenzen der beteiligten Akteure gewichtet werden. Entweder können sie alle gleich gewichtet werden oder einzelne Hauptziele können im Rahmen der Bewertung besonders betont und somit ihr Einfluss auf das Bewertungsergebnis vergrößert werden. Die Einzelkriterien in den Hauptzielen können gleich oder unterschiedlich gewichtet werden. Die Summe der Gewichtungen muss immer 100% betragen. Beispielhaft sind in Tabelle 1 Orientierungswerte für die Gewichtung angegeben, die für die Anwendung empfohlen werden.

Tabelle 1: Orientierungswerte zur Gewichtung der übergeordneten Hauptziele²⁾

Hauptziele	Gewichtungen in %				
	gleich gewichtet	ökonomisch	ökologisch	sozial-ökologisch	technisch
1. Umwelt- und Ressourcenschutz	25	15	55	40	15
2. Hygiene und Gesundheitsschutz	Kriterien wurden als KO-Kriterien eingestuft bzw. anderen Kriterien zugeordnet (s. Tabelle A-1) ³⁾				
3. Ökonomische Ziele	25	55	15	10	15
4. Soziale Ziele	25	15	15	40	15
5. Technische Ziele	25	15	15	10	55

²⁾ Hauptziele wurden aus dem DWA-A 272 übernommen.

³⁾ Anforderungen sind als KO-Kriterium von allen Varianten zu erfüllen und können damit nicht für eine Priorisierung zwischen den Varianten herangezogen werden.

5 Wirkungsabschätzung (Kriterienausprägungen) und Wertefunktionen

Tabelle 2 enthält für die zu betrachtenden Bewertungskriterien⁴⁾ Angaben zur Relevanz sowie zur Berechnung der normierten Werte (vgl. Kapitel 6) einschließlich ergänzender Anmerkungen. Hinsichtlich der Wertefunktionen wird i. d. R. von linearen Funktionen ausgegangen, so dass die Angabe von zwei Stützwerten (z. B. Maximum und Minimum-Wert oder ggf. auch Durchschnittswert) zur Festlegung der Funktion ausreicht (vgl. schematische Darstellung in Abb. 2). Die Wertefunktionen sind so festzulegen, dass die normierten Werte zwischen 0 und 1 liegen.

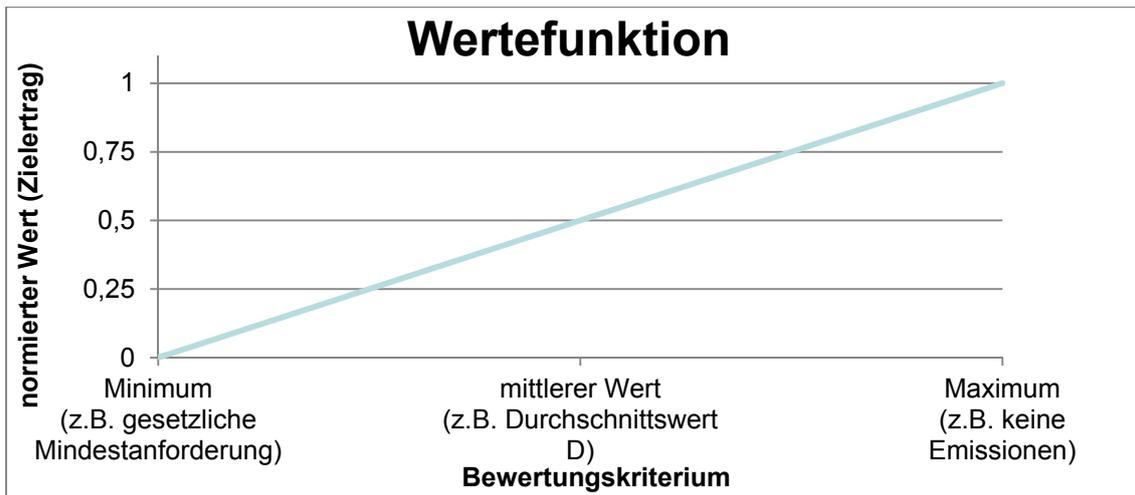


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung einer linearen Wertefunktion (die zur Festlegung notwendigen 2 Stützwerte der Funktion sind für die einzelnen Kriterien jeweils in Tab. 2 angegeben)

Die Wertefunktionen für die Kriterien der Hauptziele 1 (Umwelt- und Ressourcenschutz) und 3 (Ökonomische Ziele) sind entsprechend der Vorgaben in Tabelle 2 dargestellt (Emissionen, Ressourcenverbrauch, Kosten). Für die Kriterien des Hauptziels 2 (Hygiene) sind keine Wertefunktionen definiert, da diese KO-Kriterien darstellen, die von jeder Variante erfüllt sein müssen (vgl. Tabelle 1). Für die Kriterien der Hauptziele 4 (Soziale Ziele) und 5 (Technische Ziele) ist dagegen eine konkrete Berechnung in der Regel deutlich schwieriger, teilweise sind dazu qualitative Abschätzungen notwendig. Um ein möglichst einheitliches Vorgehen zu gewährleisten, wird dazu von den durchschnittlichen Verhältnissen in Deutschland als Referenzsystem ausgegangen und mit Zu- bzw. Abschlägen die Situation für die zu bewertenden Varianten bewertet. Die dabei zu berücksichtigenden Aspekte sind jeweils in der Tabelle 2 aufgeführt. Ergänzend zu diesem Leitfaden steht hier (<https://de.dwa.de/de/arbeitshilfen-aus-dem-dwa-regelwerk.html>) die Bewertungsmatrix des Anwendungsbeispiels (Kapitel 7) zur Verfügung, die veränderbar ist und damit für eigene Berechnungen und Variantenvergleiche genutzt werden kann.

⁴⁾ Entsprechend der oben beschriebenen Vorgehensweise sind hier nur Kriterien der Stufe 1 „Muss-Kriterien“ und 2 „Kann-Kriterien“ aufgelistet.

Tabelle 2: Wertefunktionen der Bewertungskriterien (Namen wurden entsprechend des Bewertungsschemas teilweise angepasst)

		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
1. Umwelt- und Ressourcenschutz				
a) Gewässerschutz	1. Vermeidung des Eintrags von Nährstoffen (N, P)	1	Eliminationsleistung im Gesamtgebiet 1 = 100%ige Vermeidung 0,5 = Durchschnittswerte für Referenz (oder 0 = 0% Elimination)	<ul style="list-style-type: none"> – Bewertung getrennt für N und P – Durchschnittswerte D^5: 63 g P und 665 g N pro EW und Jahr – Gesetzliche Mindestanforderungen abhängig von Größe der Kläranlagen – Nutzen Varianten unterschiedliche Gewässer als Vorfluter sind genauere Betrachtungen notwendig. – Bewirtschaften Varianten Niederschlagswasser unterschiedlich sind zusätzlich Einträge über Niederschlagswassereinleitungen bzw. Mischwasserabschläge zu berücksichtigen.
	2. Vermeidung des Eintrags ökotox. Stoffe (z. B. Mikroschadstoffe, Ammonium, hygienische Belastungen, AFS fein, Nitrit)	1	Eliminationsleistung im Gesamtgebiet 1 = sehr hoch 0 = sehr gering	<p>detaillierte Bewertung getrennt für verschiedene Schadstoffgruppen (Mikroschadstoffe, Ammonium, hygienische Belastungen, AFS fein).⁶</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sofern Varianten unterschiedliche Gewässer als Vorfluter nutzen, sind genauere Betrachtungen notwendig. – Sofern Varianten Niederschlagswasser unterschiedlich bewirtschaften, sind zusätzlich Einträge über Niederschlagswassereinleitungen bzw. Mischwasserabschläge zu berücksichtigen. – Aufgrund fehlender Daten i. d. R. nur halbquantitative Bewertung möglich.

⁵ berechnet nach Destatis 2013 (Fachserie 19, Reihe 2.1.2): Angaben zur Pges und Nges-Jahresfracht im Abwasser wurden auf die angeschlossenen Einwohnerwerten bezogen.

⁶ Sinnvoll ist der Bezug zu Leitsubstanzen, z. B. Schwermetalle, Diclofenac, Terbutryn u.a. Hier können Listen prioritärer Stoffe oder Stofflisten einzelner Bundesländer weitere Anhaltspunkte für relevante Stoffe geben.

		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
b) Bodenschutz/ Grundwasserschutz	Vermeidung des Eintrags ökotoxischer Stoffe	2	Grad der Vermeidung 1 = kein Eintrag ökotox. Stoffe in den Boden/Grundwasser 0 = vollständiger Eintrag ökotox. Stoffe in den Boden	– Aufgrund fehlender Daten i. d. R. nur halbquantitative Bewertung möglich.
c) Klimaschutz	Vermeidung der Emission klimarelevanter Gase (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	2	Vermeidung der Emission von Treibhausgas-Äquivalenten 1 = keine Emission klimarelevanter Gase 0,5 = Durchschnittswerte für Referenz	<ul style="list-style-type: none"> – Emissionen, die während der Reinigungsprozesse entstehen: CH₄ während anaerober Vorgänge, N₂O während Nitrifikation und Denitrifikation (CO₂ = klimaneutral, da aus regenerativen Quellen) – Durchschnittswerte für D: N₂O 91g/(E·a) CH₄ nur aus Anlagen mit getrennt anaerober Schlammstabilisierung. Ggf. erhöhte Einträge z. B. aus anaerober Abwasserbehandlung bei niedrigen Temperaturen (z. B. UASB-Reaktoren) beachten. – Energieverbrauch für Trinkwasserversorgung/ Abwasserreinigung: – 0,51 kWh Strom/m³ Trinkwasser (für Gewinnung, Aufbereitung, Bereitstellung) entsprechen 22,7 kWh/(EW·a) – Mittlerer Stromverbrauch Abwasserreinigung: 34 kWh/(EW·a) – CO₂-Emissionsfaktor: 558 g CO₂/kWh Strom – CO₂eq. aus Stromverbrauch (nur Betrieb) Durchschnittswerte für D: CO₂ 19 kg/(EW·a)⁷ – Transport: 87g CO₂ sowie 0,452 g NO_x pro Tonnenkilometer⁸

⁷ Berechnet über spezifischen Energieverbrauch von 34 kWh/(EW·a) nach DWA-Leistungsvergleich 2012 (http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/Abteilung_WAW/mj/Leistungsvergleich_25.pdf) (Abruf 25.10.2017)

⁸ UBA (2012): Daten zum Verkehr; <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4364.pdf> (Abruf 25.10.2017)

		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
d) Ressourceneffizienz	1. Ressourcenrückgewinnung (Nährstoffe, Energie, Wasser)	1	Anteil zurückgewonnener Ressourcen 1 = 100%ige Rückgewinnung 0 = keine Rückgewinnung	<ul style="list-style-type: none"> – Bewertung für verschiedene Ressourcen (Nährstoffe N (4 kg N/(E·a), P (0,66 kg/(E·a) K (1,8 kg/(E·a)), ggf. weitere wie Mg, S, Wasser, Kohlenstoff getrennt, Energie aus CSB (150 kWh/(E·a)), Primärenergie, Abwärme und Lageenergie fallbezogen separat erfassen – Bei Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung in D: ca. 17kWh_e/(EW·a)⁹ – Alternativ oder zusätzlich kann der Gesamtwert der zurückgewonnenen Ressourcen anhand der Marktwerte bestimmt werden.

⁹ LANUV, 2014: Verbesserung der Klärgasnutzung, Steigerung der Energieausbeute auf kommunalen Kläranlagen 2014.
https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/2014_Abschlussbericht_TP2.pdf (Abruf 25.10.2017)

		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
	2. Verminderung des Ressourcenverbrauchs (Bau und Nutzungsphase)	Nutzungsphase: 1; Bau: 2	<p>Ressourcenverbrauch Nutzungsphase 1 = kein Verbrauch 0,5 = Durchschnittswerte für Referenz</p> <p>Ressourcenverbrauch Bau: Vergleich der investitionsabhängigen Jahreskosten der einzelnen Varianten relativ zueinander 1= kein Verbrauch 0= höchster Verbrauch der verglichenen Varianten,</p>	<p>Nutzungsphase: Bewertung für verschiedene Ressourcen (Energie, Wasser, Hilfsstoffe wie z. B. Chemikalien) getrennt.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Energiebedarf: siehe 1.c) – Transportaufwand pro km s.o. <p>Pumpaufwand: im Durchschnitt 6 kWh/(E-a)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Chemikalienbedarf : - wichtige Stoffe auflisten (Fällmittel, Flockungshilfsmittel, etc.) oder - über Kosten aggregiert¹⁰: 0,16 €/m³ für die TW-Aufbereitung und 0,175 €/m³ für die Abwasserbehandlung – Wasserbedarf: Durchschnittswert für Deutschland 44m³ pro E und Jahr¹¹ <p>Bau: (nur wenn wesentliche Unterschiede zu erwarten sind): relative Betrachtung zwischen den Varianten</p>
2. Hygiene und Gesundheitsschutz: Kriterien wurden als KO-Kriterien eingestuft bzw. anderen Kriterien zugeordnet (s. Erläuterung zu Tabelle 1)				

10 Sartorius et al. (2016): Indikatoren zur Bewertung alternativer Wasserinfrastrukturen im Projekt TWIST++; S. 15
http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Indikatoren_Bewertung_2016-11.pdf (Abruf 25.10.2017)

11 Mittlerer Trinkwasserbedarf 2013: 121 L/([E*d])*365d: Destatis, Fachserie 19 Reihe 2.1.1:
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/WasserOeffentlich2190211139004.pdf?__blob=publicationFile, Stand Daten 2013, Abruf 25.10.2017

	Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
3. Ökonomische Ziele			
a) betriebs- und volkswirtschaftliche Kostenoptimierung	1. Wirtschaftlichkeit	1	<p>Berechnung der Jahreskosten pro Einwohner (nach Kapitalwertmethode entsprechend KVR-Leitlinien¹²)</p> <p>1 = Kosten werden durch Einnahmen gedeckt, d.h. Kapitalwert von 0</p> <p>0,5 = durchschnittliche Kosten der Abwasserentsorgung pro Einwohner (Durchschnittswert Deutschland oder lokaler oder regionaler Durchschnittswert; bei hohem Aufwand bspw. aufgrund schwieriger Rahmenbedingungen ist stattdessen der Wert der teuersten Variante als 0 zu setzen)</p> <p>– Berechnung Mittelwert: – Vergleichswert Deutschland mittlere Jahreskosten Abwasser: 132 €/Person und Jahr (berechnet über durchschnittliche Entgelte von 2,36 €/m³, 44 m³, 15,39 Grundgebühr pro Haushalt, 2 Personen pro Haushalt, 0,49 €/m², 80 m² pro Haushalt)¹³</p>

12 Flick et al. (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8 überarbeitete Auflage. Hennef: Eigenverlag.

13 nach Lamp/Grundmann (2009): Neue Entgeltstatistik in der Wasser- und Abwasserwirtschaft;

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Umwelt/EntgeltWasser.pdf?__blob=publicationFile (Abruf 25.10.2017)

Destatis (2017): Entgelt für die Entsorgung von Abwasser aus privaten Haushalten 2008 bis 2010;

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen/TabellenEntgeltEntsorgungBL.html>, Stand Daten Entgelte 2010, Trinkwasserverbrauch Daten 2013, (Abruf 25.10.2017)

		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
	5. Hohe Flexibilität, Systemwechselfähigkeit (geringer Anteil ‚sunk costs‘)	1	Mittlere bilanzielle Nutzungsdauer 0 = >40 Jahre 1 = ≤15 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> – Berechnung der mittleren Nutzungsdauer: Gewichtung der Einzelkomponenten nach Höhe der jeweiligen Investitionskosten – Nutzungsdauern relevanter Bauwerke, Maschinen oder sonstiger Komponenten bspw. nach KVR-Leitlinien (siehe Beispiel im Anhang)
4. Soziale Ziele				
a) Akzeptanz	1. Komfort für Endnutzer / "Wohlbefinden" (Bedienungskomfort, Handhabbarkeit)	1	Komfort für Endnutzer 1 = sehr hoch 0 = sehr gering 0,8 = Wert für zentrales System als Referenz	<p>Bei der Bewertung sollten Systemkomponenten Erfassung, Transport und Behandlung einfließen. Folgende Einzelaspekte sind zu berücksichtigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bedienungskomfort – Betriebsaufwand – Geruch – Lärm – Platzbedarf im privaten Bereich – Wohnumfeldverbesserung (z. B. durch Grün- und Wasserflächen)
c) Schaffung von Umweltbewusstsein	Umweltbewusster Umgang mit Wasser, Energie, Ressourcen	2	Schaffung von Umweltbewusstsein 1 = sehr hoch 0 = sehr gering 0,5 = Wert für Referenz	<p>Als Einzelaspekte sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:</p> <p>Sensibilisierung und Motivation</p> <ul style="list-style-type: none"> – zum nachhaltigen Umgang mit Wasser (effizienter Umgang mit Wasser, Vermeidung des Eintrags von Schadstoffen) – zum effizienten Umgang mit Energie – zum effizienten Umgang mit und Recycling von Ressourcen

		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
5. Technische Ziele		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
a) Betriebssicherheit /Robustheit	1. Prozessstabilität (<i>in DWA-A 272: Prozessstabilität, Dauer von Störfällen / Schadenshäufigkeit</i>)	1	Höhe der Prozessstabilität 1 = sehr hoch 0 = sehr gering 0,5 = Wert für Referenz	Bewertung sollte Systemkomponenten Erfassung, Transport und Behandlung enthalten. Bei zentralen Lösungen schwächstes Glied im System ausschlaggebend für Bewertung. Folgende Einzelaspekte sollten berücksichtigt werden: – Robustheit (Anzahl der Komponenten und Komplexität des Systems) – Anteil zentral überwachter/überwachbarer Komponenten (Überprüfbarkeit / Wartungsmöglichkeit)
	3. Auswirkungen bei Versagen (Systemresilienz) (<i>in DWA-A 272: Intensität/ Auswirkungen eines Versagenszustands</i>)	1	Ausmaß der Auswirkung 1 = sehr gering 0 = sehr hoch 0,5 = Wert für Referenz	Folgende Einzelaspekte sollten berücksichtigt werden: – Systemgröße (angeschlossene EW): Betrachtung des Gesamtsystems (ggf. mit zentralen Komponenten) – Risiko des Ausfalls des Gesamtsystems bei Ausfall einer Teilkomponente: Betrachtung der einzelnen Anlage – „Gefährlichkeit“ unbehandelter Stoffströme im Versagenszustand (Hygiene) (z. B. bei Starkregen-Ereignissen)
	4. Know-How Verfügbarkeit (Stand der Technik)	2	Know-How Verfügbarkeit 1 = sehr hoch 0 = sehr gering 0,8 = Wert für Referenz	Bewertung sollte Systemkomponenten Erfassung, Transport und Behandlung enthalten. Bei zentralen Lösungen ist schwächstes Glied im System ausschlaggebend für Bewertung. Folgende Einzelaspekte sollten berücksichtigt werden: – Verfügbarkeit eines Wartungsservices für die Technologie – Verfügbarkeit technisches Regelwerk

		Relevanz	Wertefunktion und Stützwerte	Anmerkungen
b) Anpassungsfähigkeit / Erweiterbarkeit	1. Flexibilität hinsichtlich sich ändernder Randbedingungen	1	Höhe der Flexibilität 1 = sehr hoch 0 = sehr gering 0,2 = Wert für Referenz	Im Fokus steht technische Anpassungsfähigkeit des Gesamtsystems unter Berücksichtigung von z. B. – Modularisierungsgrad – Größe der Systemeinheiten (angeschlossene EW) Ggf. getrennte Bewertung für wichtige Komponenten (z. B. Abwasserableitung und Abwasserbehandlung) und anschließende Mittelwertbildung.
c) Integrierbarkeit	1. Unabhängigkeit von anderen Infrastrukturen (<i>in DWA-A 272: Anforderungen an andere Infrastrukturen</i>)	1	Höhe der Unabhängigkeit von anderen Infrastrukturen 1 = sehr hoch (vollständig autark) 0 = sehr gering	Evaluierung der Anforderungen an und Auswirkungen auf bestehende Infrastrukturen. (z. B. Energieversorgung, Trinkwasserversorgung, Abfallversorgung, Datennetze).
	2. Platzbedarf	2	Platzbedarf 1 = sehr gering 0 = sehr hoch 0,5 = Wert für Referenz	Platzbedarf der technischen Infrastruktur. Bewertung relativ zur durchschnittlichen Situation in Deutschland.
	3. Synergiepotenzial (z. B. mit Bioabfallentsorgung)	2	Höhe des Synergiepotenzials 1 = sehr hoch 0 = sehr gering 0,2 = Wert für Referenz	Als Einzelaspekte sollten folgende Punkte berücksichtigt werden: – mögliche Kostenreduktion/Erlöse durch potentielle Synergien möglich – mögliche Umweltentlastungen durch Nutzung potentieller Synergien

6 Aggregation, Rangfolgenbildung und Sensitivitätsanalyse

I Aggregation und Rangfolge: Die für die Einzelkriterien ermittelten normierten Werte müssen zu einem Gesamtnutzwert der Varianten zusammengeführt werden. Der Nutzwert jeder Variante berechnet sich in drei Schritten:

1. Ermittlung der Kriterienwerte für jede einzelne Variante.
2. Umrechnung dieser Kriterienwerte mittels der Wertefunktion auf einen normierten Bereich.
3. Aggregation zum Gesamtnutzwert, indem die so ermittelten normierten Werte mit den Gewichten multipliziert und aufsummiert werden.

Der für jede Variante erzielte Gesamtnutzwert liegt zwischen 0 und 1. Diese Nutzwerte können nun in eine einfache Reihenfolge gebracht werden. Die Vorzugsvariante ist die Variante mit dem höchsten Nutzwert, ein Vergleich der Teilnutzwerte verdeutlicht die jeweiligen Vor- und Nachteile der Varianten.

Eine Darstellung in Balkendiagrammen, aus der die Teilnutzwerte der Einzelziele hervorgehen, bietet sich für einen solchen Vergleich an (s. Abb. 4 als Beispiel).

Identifikation von Divergenzen und möglichen Konflikten: Im Rahmen des Bewertungsprozesses ist speziell die Gewichtung der einzelnen Kriterien abhängig von der jeweiligen Präferenz der beteiligten Akteure. Im Rahmen der hier vorgeschlagenen Vorgehensweise wird empfohlen unterschiedliche Gewichtungen gemäß Tabelle 1 zu untersuchen, um den Akteuren eine breite Entscheidungsbasis zu bieten.

Der Einfluss unterschiedlicher Präferenzen kann durch entsprechende Anpassungen der Gewichtungsfaktoren genauer untersucht und transparent dokumentiert werden. Wird am Ende des Bewertungsprozesses kein Konsens für eine Variante erreicht, können dadurch die Parameter identifiziert werden, die bei den Akteuren umstritten sind oder potentiell zu Konflikten führen können. Die dadurch erzielten Ergebnisse können dazu beitragen, Ansatzpunkte für Anpassungen der ausgearbeiteten Varianten zu erarbeiten, so dass verbesserte, konsensfähige Lösungen gefunden werden können.

I Sensitivitätsanalyse: Sensitivitätsanalysen stellen ein wesentliches Instrument dar, um die Ergebnisse durchgeführter Bewertungen hinsichtlich des Einflusses einzelner Faktoren sowie im Hinblick auf ihre Aussagekraft und Beständigkeit zu untersuchen. Basierend auf den identifizierten Unsicherheiten kann damit die Robustheit der Varianten-Priorisierung überprüft werden. Varianten, die ihren Rang in der Sensitivitätsanalyse nicht verändern, sind robust. Für die Gewichtungen der Hauptziele untereinander sind in Tabelle 1 Vorgaben für unterschiedliche Präferenzen zusammengestellt, die eine erste Sensitivitätsanalyse darstellen.

Als variable Stellgrößen bei der Sensitivitätsanalyse kommen grundsätzlich sämtliche Größen in Frage, die rechnerisch in die Bewertung eingehen. Hierzu zählen im Wesentlichen die als relevant eingestuften Kriterien einschließlich der für die Berechnung verwendeten Ausgangsdaten (z. B. Energiepreise, Investitionskosten, Personalkosten etc.) sowie die den betrachteten Einzelkriterien zugewiesenen Gewichtungen.

I Szenarioanalyse: Die Szenarioanalyse ist eine Methode um die Auswirkungen einer gewählten Variante unter verschiedenen Entwicklungen zu untersuchen. Auch hier existieren unterschiedliche Ansätze, die verwendet werden können. Ein einfacher Ansatz basiert auf der sogenannten ‚Foresight Analyse‘. Dieser Szenario Ansatz basiert auf der Prämisse, dass man keine quantitativen Prognosen in die ferne Zukunft machen kann. Stattdessen entwickelt man kohärente Beschreibungen verschiedener Zukunftsszenarien, unabhängig davon, wie erstrebenswert oder wahrscheinlich deren Eintreten sein könnte. Diese sollten quantitative Beschreibungen der

wichtigen Eingangsgrößen für die technischen Varianten enthalten. Dazu gehören z. B. Bevölkerungsentwicklung, Wasserverbrauch, Nährstoffbedarf, gesetzliche Veränderungen. Es wird empfohlen, mindestens zwei, von der bestehenden Situation stark abweichende Szenarien auszuarbeiten.

Für die verschiedenen Szenarien können nun die verschiedenen Varianten neu bewertet werden, indem die Werte für die beeinflussten Kriterien angepasst werden. Varianten, welche in allen verwendeten Szenarien gut abschneiden, sind als robust einzuschätzen.

Das Verhalten der verschiedenen Varianten in den unterschiedlichen Szenarien geht in den Entscheidungsprozess ein. Ggf. ist abzuwägen, ob eine möglichst robuste Lösung gewählt werden soll oder eine Lösung, die unter bestimmten Bedingungen den höchsten Nutzwert erreicht. Je nach Risikobereitschaft der Entscheidungsträger kann somit eine eher weniger robuste Variante gewählt werden. Die Szenarien-Analyse hilft die Schwachpunkte aufzudecken und entsprechende flankierende Maßnahmen vorzusehen.

7 Beispiel

Zur Illustration der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Vorgehensweise zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen wird nachfolgend ein Anwendungsbeispiel vorgestellt.

Untersuchungsbereich und Systemabgrenzung

Das Einzugsgebiet eines Abwasserzweckverbandes erstreckt sich über knapp 300 km² und ist abgesehen von vier Verdichtungsgebieten überwiegend ländlich geprägt. 83% der 33.000 Einwohner des Verbandsgebietes sind an eine zentrale Kläranlage (ZKA) angeschlossen (Größenklasse 4, anaerobe Schlammbehandlung, Biogasnutzung auf zentraler Kläranlage, Klärschlammmentsorgung: Verbrennung). Das Kanalnetz zur zentralen Kläranlage ist als Mischsystem konzipiert. Schmutz- und Regenwasser der restlichen Einwohner werden dezentral entsorgt. Die Einwohnerzahl im Verbandsgebiet hat in den letzten 20 Jahren um 30% abgenommen und ist weiterhin rückläufig. In einigen ländlichen Teileinzugsgebieten ist der Rückgang jedoch weitaus dramatischer und Prognosen sind mit großen Unsicherheiten behaftet.

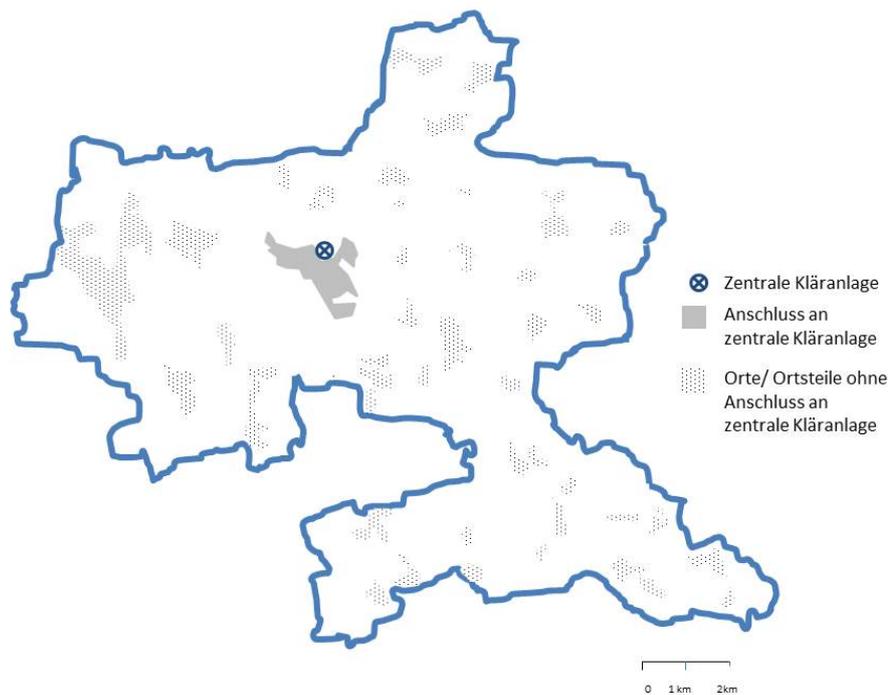


Abbildung 3: Einzugsgebiet des Abwasserzweckverbandes

Charakteristisch für das Verbandsgebiet sind kleine, verstreut liegende Siedlungseinheiten, die vielfach nicht über eine Abwasserentsorgung gemäß dem Stand der Technik verfügen. Es stehen aktuell entsprechende Umrüstungen an. In den dezentral zu entsorgenden Gebieten obliegt den Grundstückseigentümern (hier überwiegend Privathaushalte) die Verantwortung zur Errichtung einer dem Stand der Technik entsprechenden Kleinkläranlage (KKA). Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit sogenannter Gruppenlösungen sind zu prüfen. Die Übertragung der Verantwortung auf die Grundstückseigentümer begünstigt derzeit individuelle, grundstücksbezogene Entscheidungen und Entsorgungslösungen.

Beispielhaft hierfür kann eine Ortschaft im ländlichen Raum beschrieben werden, die ca. 0,5 km außerhalb einer größeren Ortschaft (Anschlussmöglichkeit an ein Kanalnetz) und ca. 1,5 km von einer möglichen Einleitstelle in ein Oberflächengewässer entfernt ist. Die durch Eigenheimbebauung und kleine Haushaltgrößen (über 70% der Haushalte mit maximal zwei Einwohnern) geprägte Ortschaft verfügt derzeit über 46 Einwohner. 85% der Bewohner sind älter als 50 Jahre. Ein Teil der Grundstücke wird nur noch periodisch genutzt bzw. steht leer. Die vorhandenen Entwässerungslösungen entsprechen nicht dem Stand der Technik und befinden sich bautechnisch in einem schlechten Zustand. Der Entscheidungsdruck ist aufgrund behördlicher Auflagen hoch.

Ziele

Gemäß den behördlichen Anforderungen des Gewässerschutzes sind dem Stand der Technik entsprechende abwassertechnische Entsorgungslösungen für die genannte Ortschaft zu entwickeln. Es soll geprüft werden, inwieweit NASS bereits gegenwärtig einen Beitrag zur ordnungsgemäßen Abwasserentsorgung leisten und welche langfristigen Perspektiven sie bieten können. Da die (dezentralen) Entsorgungslösungen von den Grundstückseigentümern umzusetzen sind, sind diese bei der Lösungsfindung einzubinden.

Aufgrund der ungünstigen Vorflutsituation und der eingeschränkten Versickerungsmöglichkeiten fordert die Wasserbehörde die Ablaufklasse C und eine Hygienisierung. Der Anschluss an das vorhandene Kanalnetz ist prinzipiell möglich, es ist jedoch mit funktionellen Beeinträchtigungen und Betriebsproblemen zu rechnen. Die hohen Reinigungsanforderungen würden demgegenüber überdurchschnittlich ausgestattete technische dezentrale Behandlungsanlagen notwendig machen. Ferner sind die besonderen und unsicheren demografischen Randbedingungen zu berücksichtigen.

Beschreibung der zu bewertenden Varianten

In Anbetracht der örtlichen naturräumlichen, rechtlichen und soziodemografischen Rahmenbedingungen wurden für die beispielhaft genannte Ortschaft vier Varianten vorgeschlagen (für weitere Details siehe Tabelle A-2 im Anhang):

- **Variante A:** Anschluss der Ortschaft über eine Druckleitung an das Mischsystem des Abwasserzweckverbandes und die zentrale Kläranlage, anaerobe Schlammbehandlung auf der ZKA und anschließende Klärschlammverbrennung, keine Rückgewinnung von Nährstoffen und Betriebsmitteln.
- **Variante B:** Errichtung grundstücksbezogener Entsorgungslösungen: Membrankleinkläranlagen auf den Grundstücken der Privathaushalte sowie anaerobe Schlammbehandlung auf der ZKA und anschließende Klärschlammverbrennung, keine Rückgewinnung von Nährstoffen und Betriebsmitteln.
- **Variante C:** Errichtung grundstücksbezogener Entsorgungslösungen: Trockentrenntoiletten und Transport von Fäzes und Urin zur ZKA, Mitbehandlung des Urins und Kompostierung der Fäzes mit anschließender landwirtschaftlicher Verwertung. Pflanzenkläranlagen (PKA) für Grauwasser auf den Grundstücken der Privathaushalte.
- **Variante D:** Errichtung grundstücksbezogener Entsorgungslösungen: Errichtung bzw. Weiternutzung abflussloser Gruben auf den Grundstücken der Privathaushalte, Transport des gesammelten Abwassers zur ZKA, dort Mitbehandlung entsprechend Variante A.

Das auf den Grundstücken des Teilgebiets anfallende Niederschlagswasser wird in allen vier Varianten dezentral bewirtschaftet. Entsprechend geht dieser Faktor nicht in die Bewertung ein.

Bewertung

Die Varianten A bis D wurden mit den in Tabelle 2 beschriebenen Wertefunktionen bewertet. Das Ergebnis der Bewertung ist in Tabelle 3 zusammengefasst, zusätzlich enthält Tabelle 3 Erklärungen zur Bewertung.

Tabelle 3: Beispiel: Berechnung der Nutzwerte der Varianten A bis D 14

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Relevanz	A	B	C	D	Begründung	
a) Gewässerschutz	1. Vermeidung des Eintrags von Nährstoffen (N, P)	N:	0.8	0.3	0.8	0.8	A: Behandlung des Schmutzwassers auf ZKA (GK 4): 70% Abbaugrad gefordert, gute KA bringt 80% (hier angesetzt) ¹⁵ B: geringer Abbaugrad da eingesetzte MBR nur für CSB-Elimination und Keimreduktion ausgelegt; 30% N-Einbau in die Biomasse angesetzt C: 10 % N im Grauwasser, Großteil des N gelangt in KA und wird abgebaut wie bei Varianten A und D D: Behandlung des Schmutzwassers auf ZKA (GK 4): 70% Abbaugrad gefordert, gute KA bringt 80% (hier angesetzt)	
		P:	0.9	0.3	0.85	0.9	A: Behandlung des Schmutzwassers auf ZKA (GK 4): 90% Elimination bei GK 4 und 5 B: geringer Abbaugrad da eingesetzte MBR nur für CSB-Elimination und Keimreduktion ausgelegt; 30% P-Einbau in die Biomasse angesetzt C: 25% P im Grauwasser, PKA mit geringerer Elimination D: Behandlung des Schmutzwassers auf ZKA (GK 4): 90% Elimination bei GK 4 und 5	
	2. Vermeidung des Eintrags ökotox. Stoffe	2	0,44	0,83	0,66	0,44	Getrennt bewertet für Mikroschadstoffe, Ammonium, hygienische Belastungen, AFS fein ¹⁶ ; Aggregation durch Mittelwertbildung	
			Stoff	Variante	A	B	C	D
				Mikroschadstoffe	25%	30%	30%	25%
				Ammonium	100%	100%	100%	100%
				hygienische Belastungen	0%	100%	60%	0%
				ASF fein	50%	100%	75%	50%

14 Nummerierung der Ziele und Einzelkriterien entspricht der Nummerierung in DWA-A 272.

15 Emissionen über das Kanalnetz (Undichtigkeiten, Mischwasserentlastungen) werden hier nicht quantifiziert.

16 Für AFS fein grobe Abschätzung, da dazu bislang detaillierte Untersuchungen fehlen.

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
							<p>A: Annahme 25% Elimination Mikroschadstoffe; vollständige Nitrifikation; max. Keimbelastung wird für den Ablauf der konventionellen KA gesetzt (Stützwert 0); AFS_{fein} im Mittel für D wird zu 0,5 gesetzt</p> <p>B: Annahme 30% Elimination Mikroschadstoffe durch höheres Schlammalter; vollständige Nitrifikation, Rückhalt von Keimen und AFS_{fein}</p> <p>C: Etwas höherer Rückhalt an Mikroschadstoffen und 60% Keimreduktion durch Ausschleusung von Faeces; vollständige Nitrifikation; höherer Rückhalt an AFS_{fein} durch Filtration in der Bodenzone der PKA</p> <p>D: Gleich wie Variante A</p>
b) Bodenschutz/ Grundwasserschutz	Vermeidung des Eintrags ökotox. Stoffe	2	1	1	0,5	1	<p>A: Keine Einträge in Boden/Grundwasser</p> <p>B: Keine Einträge in Boden/Grundwasser</p> <p>C: über die Verwertung des KS-Kompostes erfolgt hier anteilig eine potenzielle Belastung von Boden/Grundwasser</p> <p>D: Keine Einträge in Boden/Grundwasser</p>
c) Klimaschutz	Vermeidung der Emission klimarelevanter Gase (CO_2 , CH_4 , N_2O)	1	0.81	0.41	0.74	0	<p>Alle Angaben in $kg\ CO_2/(EW*a)$; Vernachlässigung von CH_4- und N_2O-Emissionen; Berücksichtigung von Transport, Energieverbrauch der Abwasserreinigung sowie Eigenenergieerzeugung;</p> <p>Konversionsfaktor: $0,558\ kg\ CO_2/kWh$; Mittelwert D = $34\ kWh/(EW*a)$; Transport : $0,087\ kg\ CO_2/Tonnen-km$</p> <p>A: $9,5\ kg\ CO_2/(EW*a)$</p> <p>B: $29,1\ kg\ CO_2/(EW*a)$</p> <p>C: $12,8\ kg\ CO_2/(EW*a)$</p> <p>D: $49,5\ kg\ CO_2/(EW*a)$</p>

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Relevanz	A	B	C	D	Begründung																														
							Bezugspunkt für Variantenvergleich: 49,5 kg CO ₂ /EW*a (Stützwert 0)																														
d) Ressourceneffizienz	1. Ressourcenrückgewinnung (Nährstoffe, Energie, Wasser)	1	0.13	0	0.11	0.06	<p>Getrennt bewertet für Nährstoffe, Energie, Kohlenstoff, Wasser; Aggregation durch Mittelwertbildung (CH₄ aus anaerober Behandlung, N/P aus Kompostierung)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ressource</th> <th>Variante</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nährstoffe</td> <td></td> <td>0%</td> <td>0%</td> <td>20%</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Kohlenstoff</td> <td></td> <td>0%</td> <td>0%</td> <td>25%</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Energie</td> <td></td> <td>50%</td> <td>0%</td> <td>0%</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td></td> <td>0%</td> <td>0%</td> <td>0%</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table> <p>A: Anaerobe Schlammbehandlung auf ZKA mit anschließender Verbrennung B: Keine Brauchwassernutzung C: Kompostierung D: Anaerobe Schlammbehandlung auf ZKA mit anschließender Verbrennung, ca. 50% geringerer Energieertrag als bei Variante A durch anaeroben Vorabbau in der abflusslosen Grube</p>	Ressource	Variante	A	B	C	D	Nährstoffe		0%	0%	20%	0%	Kohlenstoff		0%	0%	25%	0%	Energie		50%	0%	0%	25%	Wasser		0%	0%	0%	0%
	Ressource	Variante	A	B	C	D																															
Nährstoffe		0%	0%	20%	0%																																
Kohlenstoff		0%	0%	25%	0%																																
Energie		50%	0%	0%	25%																																
Wasser		0%	0%	0%	0%																																
2. Verminderung des Ressourcenverbrauchs (Bau und Betrieb)	Bau	2	0	0.34	0.49	0.88	<p>Der Vergleich wurde über die investitionsabhängigen Jahreskosten (in €/a) als Äquivalent zum Ressourcenverbrauch beim Bau geführt. Bei Vorliegen detaillierterer Angaben (z. B. investitionsabhängige Jahreskosten der reinen Materialaufwendungen), können diese alternativ angesetzt werden.</p> <p>Bezugspunkt für Variantenvergleich: 280 € /(EW*a) (Stützwert 0) A: 280 € /(EW*a) B: 184 € /(EW*a)</p>																														

1. Umwelt- und Ressourcenschutz			Relevanz	A	B	C	D	Begründung																		
								C: 142 € / (EW*a) D: 33,6 € / (EW*a)																		
		Betrieb	1	0,5	0,63	0,72	0,5	<p>Berücksichtigt wurden Chemikalienbedarf (je 50% Fällmittel- und Floccungsmittelbedarf) und Wasserbedarf (gesamtes Sanitärsystem); Energiebedarf wurde bereits bei Klimaschutz berücksichtigt. Aggregation durch Mittelwertbildung.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ressource</th> <th>Variante</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Chemikalienbedarf</td> <td></td> <td>0,5</td> <td>0,75</td> <td>0,79</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Wasserbedarf</td> <td></td> <td>0,5</td> <td>0,5</td> <td>0,65</td> <td>0,5</td> </tr> </tbody> </table> <p>A: Chemikalien-/Wasserbedarf wie im Mittel D B: Wasserbedarf wie im Mittel D; keine Fällmittel bei Klein KA C: Geringerer Wasserbedarf durch TTC; 25% weniger Fällmittelbedarf durch die Ausschleusung der Faeces; keine Rückbelastung aus der Kompostierung von Faeces; geringer FHM-Bedarf da keine ÜS-Produktion aus Grauwasser und Faeces; für die ÜS-Produktion aus Gelbwasser wurden pauschal 10% der konventionellen ÜS-Produktion angesetzt D: Chemikalien-/Wasserbedarf wie im Mittel D</p>	Ressource	Variante	A	B	C	D	Chemikalienbedarf		0,5	0,75	0,79	0,5	Wasserbedarf		0,5	0,5	0,65	0,5
Ressource	Variante	A	B	C	D																					
Chemikalienbedarf		0,5	0,75	0,79	0,5																					
Wasserbedarf		0,5	0,5	0,65	0,5																					

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
2. Hygiene und Gesundheit			Kriterien wurden als KO-Kriterien eingestuft bzw. anderen Kriterien zugeordnet (s. Tabelle 1)				
3. Ökonomische Ziele		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
a) betriebs- und volkswirtschaftliche Kostenoptimierung	1. Wirtschaftlichkeit	1	0,55	0,48	0,72	0	Mittelwert Dtl. = 132 €/Person und Jahr; aufgrund der stark vom Durchschnittswert abweichenden Jahreskosten des speziellen Anwendungsfalls wird die teuerste Variante = 0 gesetzt A: Jahreskosten/E = 427 €/EW (unberücksichtigt: anteiliger Bedarf Kanalisation des Verbandsgebietes) B: Jahreskosten/E = 495 €/EW C: Jahreskosten/E = 262 €/EW D: Jahreskosten/E = 952 €/EW
	5. Flexibilität, Systemwechselfähigkeit (Anteil sunk costs)	1	0	1	1	0,14	Mittlere Nutzungsdauer: Gewichtung der Einzelkomponenten nach Höhe der jeweiligen Investitionskosten
4. Soziale Ziele		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
a) Akzeptanz	1. Komfort für Endnutzer / "Wohlbefinden" (Bedienungskomfort, Handhabbarkeit)	1	0,8	0,4	0,2	0,6	A: Konventionelle Lösung → gleicher Komfort B: Betrieb einer dezentralen Anlage aufwendiger und daher weniger komfortabel C: Betrieb einer Trockentrenntoilette daher weniger komfortabel als Betrieb einer Spültoilette D: Regelmäßige Entleerung der Grube → weniger Komfort als konventioneller Anschluss
c) Schaffung von Umweltbewusstsein	Umweltbewusster Umgang mit Wasser, Energie, Ressourcen	2	0,5	0,7	0,9	0,5	A: Konventionelle Lösung → kein gesteigertes Umweltbewusstsein B: KKA kann eventuell zu Bewusstseinsänderung beitragen C: Potentiell höchste Steigerung des Umweltbewusstseins

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
							D: Vergleichbar konventionelle Lösung → kein gesteigertes Umweltbewusstsein
5. Technische Ziele		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
a) Betriebssicherheit /Robustheit	1. Prozessstabilität (<i>Einzeltechnologie</i>)	1	0.4	0.3	0.7	0.7	<p>1. <i>Robustheit (Anzahl der Komponenten und Komplexität des Systems, Systemgröße)</i></p> <p>A: Druckleitung zur Kläranlage als schwaches Glied im System → weniger als Durchschnitt</p> <p>B: Komplexere Anlagentechnik (Membran) der dezentralen ARAs</p> <p>C: Geringe Systemgröße, robuste Komponenten (PKA)</p> <p>D: Geringe Komplexität, robuste Technik</p>
	<p>(Höhe der Prozessstabilität 1 = sehr hoch 0 = sehr gering)</p> <p>0,5 = Wert für durchschnittliche Situation in Deutschland, Referenz: zentrales System)</p>		0.5	0.3	0.1	0.1	<p>2. <i>Anteil zentral überwachter/überwachbarer Komponenten (Überprüfbarkeit / Wartungsmöglichkeit)</i></p> <p>A: Zentral überwachte Kläranlage</p> <p>B: Kleinkläranlage ist nicht zentral überwacht, Schadensbehebung dauert länger (zentrale Überwachung aber prinzipiell möglich)</p> <p>C: Grundstücksbezogene Einzellösungen, schwer überwachbar</p> <p>D: Grundstücksbezogene Einzellösungen, schwer überwachbar</p>
	3. Auswirkungen bei Versagen (Systemresilienz)	1	0.5	0.9	0.9	0.7	<p>1. <i>Systemgröße (angeschlossenen EW) in Zusammenhang mit dem Risiko des Ausfall des betrachteten Gesamtsystems</i></p> <p>A: Zentrale KA → große Auswirkung bei Ausfall einer Komponente</p> <p>B: Einzellösung → geringe Auswirkung auf Gesamtsystem bei Ausfall einer dezentralen Anlage</p> <p>C: Einzellösung, wie B</p> <p>D: Mittleres Risiko: Einzellösung Grube, aber Behandlung auf zentraler Anlage</p>
	<p>(Ausmaß der Auswirkung 1 = sehr gering 0 = sehr hoch)</p> <p>0,5 = Wert für durchschnittliche Situation in Deutschland, Referenz: zentrales System)</p>						

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
			0.5	0.9	0.7	0.5	<p>2. Risiko des Ausfalls des Gesamtsystems bei Ausfall einer Teilkomponente (Betrachtung der Einzelkomponenten)</p> <p>A: Druckleitung und zentrale KA, deshalb mehr Auswirkung bei Ausfall des Gesamtsystems</p> <p>B: Ausfall einer dezentralen KA hat geringsten Einfluss auf Gesamtsystem</p> <p>C: Nur Grauwasser dezentral, Urin und Fäkalien werden zu zentraler KA gebracht</p> <p>D: Wie A, Behandlung bei zentraler KA</p>
			0.5	0.3	0.5	0.5	<p>3. „Gefährlichkeit“ unbehandelter Stoffströme im Versagenszustand (Hygiene)</p> <p>A: Zentrale Lösung</p> <p>B: Gesamte Abwässer werden bei Versagen ungereinigt eingeleitet</p> <p>C: Fäzes bei zentraler KA behandelt, nur Grauwasser wird potentiell ungereinigt eingeleitet</p> <p>D: Wie A, Behandlung bei zentraler KA</p>
	<p>4. Knowhow Verfügbarkeit (Stand der Technik)</p> <p><i>(0,8 = Wert für durchschnittliche Situation, Referenz: hohe Know-How Verfügbarkeit für zentrales System)</i></p>	2	0.8	0.7	0.5	0.8	<p>Für zentrale Lösungen ist schwächstes Glied im System ausschlaggebend für die Bewertung</p> <p>A: Stand-der-Technik</p> <p>B: MBR ist eine relativ neue Technologie, als Kompaktanlagen aber bereits seit einigen Jahren auf dem Markt verfügbar</p> <p>C: Trockentrenntoiletten wenig verbreitet</p> <p>D: Winfache, robuste Technik</p>
b) Anpassungsfähigkeit / Erweiterbarkeit	1. Flexibilität hinsichtlich sich ändernder Randbedingungen	1	0.2	0.8	0.7	0.6	<p>A: Anschluss an zentrale KA mit Druckleitung wenig flexibel</p> <p>B: Hohe Flexibilität, da autarkes, anpassbares System in Sammlung und Behandlung</p> <p>C: Hohe Flexibilität, da autarkes, anpassbares System bei der Sammlung,</p>

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Relevanz	A	B	C	D	Begründung
							bei der Behandlung teilweise (Mitnutzung der ZKA) D: Bei Sammlung autark, bzgl. Behandlung Abhängigkeit von ZKA
c) Integrierbarkeit	1. Unabhängigkeit von anderen Infrastrukturen	1	0,5	0,5	0,7	0,7	A: Stromnetz zum Betrieb erforderlich B: Wie A C: Betrieb der Anlage ohne Strom möglich, aber zum Transport und zur Behandlung der Reststoffe erforderlich D: wie C
	2. Platzbedarf	2	0,5	0,3	0,1	0,2	A: Geringster Platzbedarf pro angeschlossenem Einwohner, da auch zentrale KA mitgerechnet werden muss B: Platzbedarf MBR im Vergleich zu zentral höher C: Platzbedarf PKA im Vergleich zu Grube höher D: Platzbedarf geringer als bei PKA aber höher als bei MBR, da auch zentrale KA mitgerechnet werden muss
	3. Synergiepotenzial	2	0,2	0,4	0,5	0,2	A: Geringes mögliches Synergiepotenzial, keine Verwertung zentral B: Etwas höheres mögliches Synergiepotenzial, da mögliche Brauchwassernutzung C: Mittleres mögliches Synergiepotenzial, da Fäzes zu Kompost verwertet werden D: Geringes mögliches Synergiepotenzial, wie A

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Bewertung

Gewichtung der Ziele gemäß Tabelle 1		Rangfolge der Varianten (Score)				
		"kann"-Kriterien gleich stark gewichtet wie "muss"-Kriterien	"kann"-Kriterien nur halb so stark gewichtet wie "muss"-Kriterien	Nur "muss"-Kriterien berücksichtigt	Szenario 1 * (Bevölkerungsrückgang)	Szenario 2 * (Klärschlammverwertung)
gleich	25/25/25/25	1. C(0,63); 2. B(0,57); 3. A(0,50); 4. D(0,42)	1. C(0,53); 2. B(0,47); 3. A(0,41); 4. D(0,33)	1. C(0,58); 2. B(0,53); 3. A(0,51); 4. D(0,42)	1. C(0,50); 2. B(0,41); 3. A(0,38); 4. D(0,35)	1. C(0,54); 2. B(0,47); 3. A(0,44); 4. D(0,36)
ökonomisch	15/55/15/15	1. C(0,73); 2. B(0,64); 3. A(0,41); 4. D(0,28)	1. C(0,66); 2. B(0,58); 3. A(0,36); 4. D(0,23)	1. C(0,69); 2. B(0,60); 3. A(0,43); 4. D(0,28)	1. C(0,60); 2. B(0,45); 3. A(0,27); 4. D(0,26)	1. C(0,67); 2. B(0,58); 3. A(0,37); 4. D(0,24)
ökologisch	55/15/15/15	1. C(0,62); 2. A(0,55); 3. B(0,53); 4. D(0,47)	1. C(0,52); 2. A(0,45); 3. B(0,41); 4. D(0,37)	1. C(0,61); 2. A(0,57); 3. B(0,44); 4. D(0,43)	1. C(0,51); 2. A(0,43); 3. B(0,38); - D(0,38)	1. C(0,53); 2. A(0,46); 3. B(0,41); 4. D(0,38)
sozial-ökologisch	40/10/40/10	1. C(0,60); 2. A(0,58); 3. B(0,54); 4. D(0,50)	1. A(0,48); 2. C(0,46); 3. B(0,40); 4. D(0,39)	1. A(0,64); 2. C(0,49); 3. D(0,48); 4. B(0,42)	1. A(0,46); 2. C(0,45); 3. D(0,39); 4. B(0,38);	1. A(0,51); 2. C(0,47); 3. D(0,43); 4. B(0,40);
technisch	15/15/15/55	1. C(0,59); 2. B(0,56); 3. A(0,48); 4. D(0,45)	1. C(0,49); 2. B(0,45); 3. A(0,39); 4. D(0,36)	1. C(0,60); 2. B(0,54); 3. A(0,48); - D(0,48)	1. C(0,48); 2. B(0,42); 3. D(0,37); 4. A(0,36);	1. C(0,50); 2. B(0,45); 3. A(0,41); 4. D(0,39)

* "kann"-Kriterien nur halb so stark gewichtet wie "muss"-Kriterien

Der Gesamtnutzwert für die Varianten A bis D wurde für verschiedene Gewichtungen der Hauptziele gemäß Tabelle 1 berechnet (s. Tabelle 4). Auf Ebene der einzelnen Kriterien wurden außerdem Berechnungen mit unterschiedlichen Gewichtungen für die "muss"-Kriterien (Relevanz 1 in Tabelle A-1) und "kann"-Kriterien (Relevanz 2 in Tabelle A-1) durchgeführt:

1. Alle "muss"- und "kann"-Kriterien wurden gleich gewichtet.
2. Die "kann"-Kriterien wurden nur halb so stark gewichtet wie die "muss"-Kriterien.
3. Nur die "muss"-Kriterien wurden berücksichtigt.

Soweit bei einzelnen Kriterien Aspekte zusammenzufassen sind, wurden diese jeweils gleich gewichtet.

Die Ergebnisse weisen Variante C (Trockentrenntoiletten und Pflanzenkläranlagen) bei fast allen Gewichtungen mit dem höchsten Gesamtnutzwert aus. Ebenso ist die Reihenfolge der Varianten bei den meisten Gewichtungen gleich, d.h. nach Variante C folgt Variante B (Membrankleinkläranlagen), Variante A (zentraler Anschluss) und Variante D (abflusslose Gruben). Danach ist das NASS-Konzept zu priorisieren mit deutlichen Vorteilen gegenüber einem leitungsgebundenen Anschluss an die zentrale Kläranlage oder einer Lösung mit abflusslosen Gruben.

Die Abstände zwischen den Gesamtnutzwerten sind jedoch je nach Gewichtungsansatz sehr unterschiedlich. So beträgt z. B. bei gleicher Gewichtung der "muss"- und "kann"-Kriterien der Abstand vom größten zum kleinsten Gesamtnutzwert bei ökonomischer Gewichtung 0,45 (Variante C: 0,72 und Variante D: 0,27), bei sozial-ökologischer Gewichtung nur 0,10 (Variante C: 0,60 und Variante D: 0,50).

Dass die Gewichtung jedoch auch einen Einfluss auf die Reihung der Varianten haben kann, zeigt Abbildung 4 mit der Darstellung der Bewertungsergebnisse für eine gleiche und eine sozial-ökologische Gewichtung der Hauptziele (nach Tabelle 1). Dabei wurden die "kann"-Kriterien (Relevanz 2 in Tabelle A-1) nur halb so stark gewichtet wie "muss"-Kriterien (Relevanz 1 in Tabelle A-1). Variante C, bei gleicher Gewichtung mit dem höchsten Nutzwert, liegt bei sozial-ökologischer Gewichtung in etwa gleich auf mit Variante A.

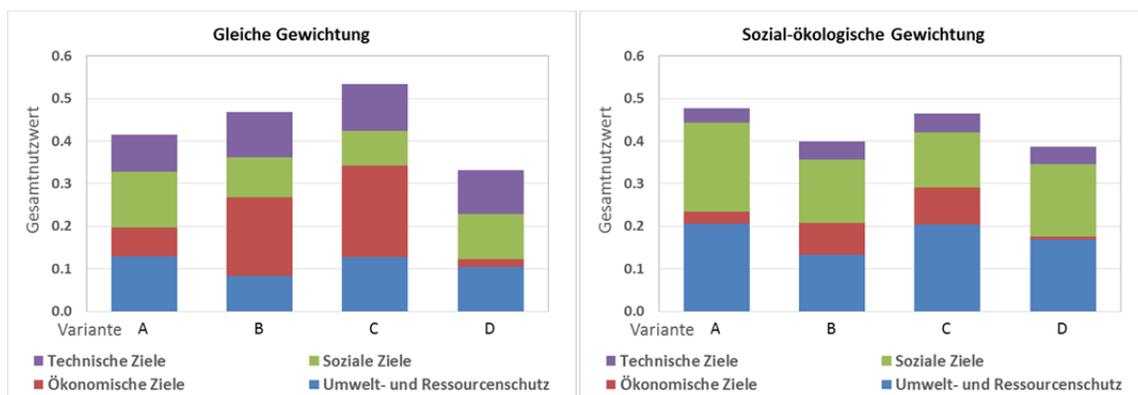


Abbildung 4: Darstellung der Gesamtergebnisse der Bewertung bei gleicher Gewichtung (links) und sozial-ökologischer Gewichtung (rechts) der Hauptziele nach Tabelle 1

Szenarioanalyse

Aufgrund der rückläufigen Bevölkerungszahlen und der schwierigen Prognosesituation werden die Bewertungsergebnisse einer Szenarioanalyse unterzogen. Als wesentliche, das Bewertungsergebnis beeinflussende Faktoren können die unsichere, tendenziell weiter abnehmende Einwohnerzahl sowie neue, erweiterte Möglichkeiten der Reststoffverwertung (z. B. landwirtschaftliche Klärschlammverwertung) benannt werden. Diesbezüglich wird die Bewertung der vier Varianten für die folgenden zwei vereinfachten Szenarien erneut durchgeführt:

Szenario 1: Nach dem Investitionszeitpunkt reduziert sich die Einwohnerzahl um 50 Prozent.

Szenario 2: Die ZKA stellt von Klärschlammverbrennung auf landwirtschaftliche Klärschlammverwertung um. ¹⁷

Ein deutlicher Rückgang der Einwohnerzahlen (Szenario 1) wirkt sich insbesondere auf die Bewertung der spezifischen betriebswirtschaftlichen Kosten/Einnahmen aus. Für den zentralen Anschluss (Variante A) und die Membrankleinkläranlagen (Variante B) ergeben sich deutlich höhere spezifische Kosten. Demgegenüber fällt die spezifische Kostensteigerung bei der Lösung mit Trockentrenntoiletten und PKA (Variante C) geringer aus. Variante D (abflusslose Grube) kann relativ flexibel auf demografische Veränderungen reagieren: Die Kostenstruktur ist von den laufenden Kosten geprägt, welche sich mit Abnahme der angeschlossenen Einwohner reduzieren. Je nach Gewichtung der einzelnen Kriterien äußert sich dieser Vorteil der abflusslosen Gruben (Variante D) auch in der Rangfolge der Varianten (vgl. Tabelle 4). Die NASS-Lösung (Variante C) baut den ersten Platz in der Rangfolge unter Berücksichtigung dieses Szenarios aus (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 5).

Bei Szenario 2 wirkt sich die Umstellung von Klärschlammverbrennung auf landwirtschaftliche Klärschlammverwertung auf alle Varianten aus, bei denen ein Transport von Abwasser bzw. Fäkalien und Urin zur ZKA erfolgt. Nur bei Variante B (Membrankleinkläranlagen) verändert dieses Szenario die Bewertung nicht. Szenario 2 wirkt sich besonders auf die Bewertung der Kriterien Ressourcenrückgewinnung (Kohlenstoff und Nährstoffe), Vermeidung des Eintrags ökotoxikologischer Stoffe in den Boden, umweltbewusster Umgang mit Wasser, Energie, Ressourcen, sowie Synergiepotenzial aus. Die Änderung der Bewertung ist dabei bei Variante A (zentraler Anschluss) und Variante D (abflusslose Grube) größer als bei Variante C (Trockentrenntoiletten und PKA), da bei Variante C auch im Basiszenario schon eine Kompostierung der Fäkalien erfolgt.

Die Ergebnisse der Szenarioanalyse sind in Tabelle 4 dargestellt (die "kann"-Kriterien sind dabei nur halb so stark gewichtet wie die „muss“-Kriterien). Abbildung 5 zeigt die Gesamtnutzwerte für Szenario 1 und Szenario 2 bei sozial-ökologischer Gewichtung der Hauptziele. Im Vergleich zum Basiszenario ergibt sich bei den beiden Szenarien keine Änderung der Reihenfolge der Varianten was für dieses Beispiel auf eine robuste Rangfolge der bewerteten Varianten schließen lässt.

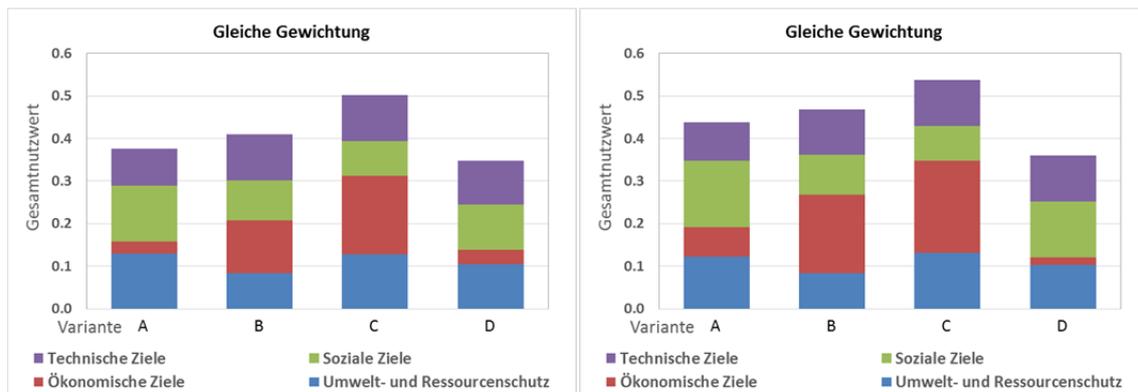


Abbildung 5. Darstellung des Gesamtnutzwerts bei gleicher Gewichtung für Szenario 1 (links) und Szenario 2 (rechts)

¹⁷ Vor dem Hintergrund der Novellierung der Klärschlammverordnung hat dieses Szenario zwar an Bedeutung verloren. Es soll hier aber vor allem dazu dienen zu veranschaulichen, inwieweit entsprechende Änderungen das Bewertungsergebnis verändern können.

8 Anhang

Tabelle A-1: Beschreibung und Relevanz der Bewertungskriterien (Nummerierung entsprechend DWA-A 272; sofern die Bezeichnungen der Einzelkriterien zum besseren Verständnis angepasst wurden, sind die Namen nach DWA-A 272 in Klammern mit aufgeführt)

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Maßgebliche Komponente/Aspekt	Relevanz	Begründung zur Relevanz
a) Gewässerschutz	1. Vermeidung des Eintrags von Nährstoffen (N, P) (nach DWA-A 272: Eintrag von Nährstoffen)	Fracht N_{ges} und P_{ges} (P meist Minimumfaktor für die Eutrophierung)	1	Maßgebliche Stoffe für die Eutrophierung der Gewässer; häufige Ursache für Zielverfehlung nach WRRL
	2. Vermeidung des Eintrags ökotoxikologischer Stoffe (nach DWA-A 272: Eintrag ökotoxikologischer Stoffe)	Konzentrationen und Fracht z. B. von Ammoniak (pH-abhängig), Nitrit, Mikroschadstoffen, hygienische Belastungen, AFS fein (als Indikator für Einträge von Schwermetallen, etc.)	1	Ökotox. Stoffe (sowohl chemische Substanzen als auch Schadorganismen) besitzen hohe Relevanz bzgl. Gewässerschutz, können zu akuten oder langfristigen Schädigungen der Gewässerorganismen führen
	3. Vermeidung des Eintrags Sauerstoff zehrender Stoffe (nach DWA-A 272: Eintrag Sauerstoff zehrender Stoffe (CSB, BSB))	Fracht an leicht abbaubaren organischen Verbindungen (abbaubarer Anteil am CSB, BSB)	2	In D keine hohe Relevanz mehr; allerdings: durch Reduzierung der Wassermengen können bei gleichbleibender Konzentration die eingeleiteten Frachten reduziert werden, deshalb „kann“-Kriterium!; würde zum „Muss-Kriterium“, sobald erhöhte Konzentrationen vorliegen
	4. Vermeidung des Eintrags suspendierter Stoffe (nach DWA-A 272: Eintrag suspendierter Stoffe)	Fracht abfiltrierbare/ absetzbare Stoffe (AFS fein unter 2.)	3	In D bei Kläranlagen nur noch geringe Bedeutung, bei Niederschlagswasserabfluss ggf. nochmal genauer betrachten; neue Systeme dürfen nicht schlechter sein (AFS fein unter 2.)
b) Bodenschutz/ Grundwasserschutz	Vermeidung des Eintrags ökotoxikologischer Stoffe (nach DWA-A 272: Eintrag ökotoxikologischer Stoffe)	Fracht und Konzentration organische Spurenstoffe, Schwermetalle	2	Ökotox. Stoffe besitzen hohe Relevanz bzgl. Boden- und Grundwasserschutz, Akkumulationspotenzial, da die Stoffe häufig persistent sind

1. Umwelt- und Ressourcenschutz		Maßgebliche Komponente/Aspekt	Relevanz	Begründung zur Relevanz
c) Klimaschutz	Vermeidung des Emission klimarelevanter Gase (nach DWA-A 272: Emission klimarelevanter Gase)	Frachten an CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	2	Emissionen klimarelevanter Gase sind grundsätzlich zu berücksichtigen
d) Ressourceneffizienz	1. Ressourcenrückgewinnung (Nährstoffe, Energie, Wasser)	Fracht, Menge: Rückgewinnung von N und P und; Energieerzeugung	1	Hohe Rückgewinnung verringert den Einsatz konventionell gewonnener Ressourcen, die oftmals mit erheblichen negativen Umweltauswirkungen einhergehen. Beitrag zur Autarkie besonders beim Parameter P relevant
	2. Verminderung des Ressourcenverbrauchs (nach DWA-A 272: Ressourcenverbrauch (Bau und Betrieb))	Einsatz von Massen- und Energieäquivalenten, unter den Betriebsmitteln insbesondere. Stromverbrauch, Fällungs- und Flockungshilfsmittel, Reinigungsmittel, Säuren, Laugen etc.	Nutzungsphase: 1; Bau: 2	Hohe Relevanz vom Gesamtressourcenverbrauch über den gesamten Lebenszyklus
2. Hygiene / Gesundheitsschutz		Maßgebliche Komponente/Aspekt	Relevanz	Begründung zur Relevanz
a) Umwelthygiene/hygienische Sicherheit	1. Hygienische und toxikologische Unbedenklichkeit der erzeugten Produkte	Hygienische Komponenten: pathogene Mikroorganismen, Viren, Protozoen und niedere Organismen Toxikologische Komponenten: organische und anorganische Schadstoffe	4	Bei unmittelbarer anthropogener Nutzung der Produkte muss zwingend eine qualitative Unbedenklichkeit gegeben sein. (Kriterium hat nur in den Fällen eine Relevanz, in denen Produkte überhaupt bzw. zur unmittelbaren Nutzung erzeugt werden)
	2. Hygienische und toxikologische Belastung durch Leckagen, Betriebsstörungen und Starkregenereignisse	Gleiche Komponenten wie unter 2.a.1	2	Schädliche Auswirkungen müssen im Versagenszustand und bei Katastrophen so gering wie möglich sein (bei Kriterium 5.a.3 mit zu berücksichtigen)
	3. Hygienische Sicherheit in Katastrophenfällen (vgl. auch 5a)	Gleiche Komponenten wie unter 2.a.1	2	Schädliche Auswirkungen müssen im Versagenszustand und bei Katastrophen so gering wie möglich sein (bei Kriterium 5.a.3 mit zu berücksichtigen)

2. Hygiene / Gesundheitsschutz		Maßgebliche Komponente/Aspekt	Relevanz	Begründung zur Relevanz
	4. Arbeitsschutz	Freiheit der Arbeitsumgebung von hygienisch und/oder ökotoxikologisch bedenklichen Komponenten (bzw. Auftreten bis zu einer zulässigen MAK)	4	Muss erfüllt werden
	5. Insekten-/ Ungezieferbelastung	ggf. anhand Individuenzahl/-dichte	2	Ist bei Kriterium 4.a.1 (Komfort für Endnutzer) mit zu berücksichtigen
b) Nahrungsmittelsicherheit	1. Belastungsgrad von Trinkwasser mit Krankheitserregern oder Schadstoffen	Hygiene Komponenten: pathogene Mikroorganismen, Viren, Protozoen und niedere Organismen Toxikologische Komponenten: organische und anorganische (mikro)Schadstoffe	4	Bei unmittelbarer anthropogener Nutzung der Produkte muss zwingend eine qualitative Unbedenklichkeit gegeben sein. (Kriterium hat nur in den Fällen eine Relevanz, in denen Produkte überhaupt bzw. zur unmittelbaren Nutzung erzeugt werden)
	2. Belastungsgrad von Nahrungsmitteln mit Krankheitserregern oder Schadstoffen	Hygiene Komponenten: pathogene Mikroorganismen, Viren, Protozoen und niedere Organismen Toxikologische Komponenten: organische und anorganische (mikro)Schadstoffe	4	Bei unmittelbarer anthropogener Nutzung der Produkte muss zwingend eine qualitative Unbedenklichkeit gegeben sein. (Kriterium hat nur in den Fällen eine Relevanz, in denen Produkte überhaupt bzw. zur unmittelbaren Nutzung erzeugt werden)

3. Ökonomische Ziele		Maßgebliche Komponente/Aspekt	Relevanz	Begründung zur Relevanz
a) betriebs- und volkswirtschaftliche Kostenoptimierung	1. Wirtschaftlichkeit (nach DWA-A 272: 1. betriebswirtschaftliche Kosten (Gesamtkosten, Kostenstruktur) 2. betriebswirtschaftliche Einnahmen (z. B. Dünger, Biogas, Wasser))	Zu 1: Bilanz der Investitions- und Reinvestitionskosten für Bau, Betrieb und Instandhaltung eines Systems inkl. betriebswirtschaftlicher Einnahmen, sofern das System neue Wertschöpfungsketten beinhaltet Zu 2.: Einnahmen aus weitgehender Wiederverwendung der im Abwasser enthaltenen Nähr- und Wertstoffe	1	Die Kriterien betriebswirtschaftliche Kosten und betriebswirtschaftliche Einnahmen werden zusammengefasst.
	3. Volkswirtschaftliche Kosten / Nutzen (Berücksichtigung externer Effekte, z. B. bzgl. Schadstoffe, Hygiene, Ressourcen)	Kosten/Nutzen verschiedener Systemvarianten hinsichtlich Art und Ausmaß von Schadstoffeinträgen in die Umweltmedien, zu erreichender Standards der Siedlungshygiene sowie Art und Ausmaß der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen	3	Externe Effekte werden bereits durch andere Kriterien berücksichtigt und würden somit doppelt gewertet; die ökonomische Quantifizierung ist schwierig
	4. Anteil Fremd-/Eigenleistung bei Erstellung und Betrieb/Wartung	Höhe und Verteilung der entstehenden Kosten bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von sanitären Anlagen	3	Kann ggf. bei „Akzeptanz“ mitberücksichtigt werden; ggf. erzielbare Kostenvorteile werden im Kriterium „betriebswirtschaftliche Kosten“ abgebildet
	5. Hohe Flexibilität, Systemwechselfähigkeit (geringer Anteil „sunk costs“) (nach DWA-A 272: Flexibilität, Systemwechselfähigkeit (Anteil sunk costs))	Höhe der sunk costs des gewählten Sanitärsystems (geringe „sunk costs“ entsprechen i. d. R. einer hohen Systemwechselfähigkeit)	1	Aufgrund der sich verändernden Randbedingungen und des sich daraus ergebenden Anpassungsbedarfes wichtiges Bewertungskriterium für Wasserinfrastruktursysteme
b) Internationale Konkurrenzfähigkeit	1. Flexibles, gut adaptierbares Systemkonzept mit hohem, internationalem Marktpotenzial	Internationales Marktpotenzial im Vergleich zu Konkurrenztechniken	3	Für Einzelprojekte nicht relevant

4. Soziale Ziele		Maßgebliche Komponenten/Aspekte	Relevanz	Begründung zur Relevanz
a) Akzeptanz	1. Komfort für Endnutzer / "Wohlbefinden"	Bedienungskomfort, Handhabbarkeit	1	Von neuen Konzepten wird erwartet, dass sie vergleichbaren Komfort wie konventionelle Systeme bieten.
	2. Wahrgenommene Sicherheit	Bei Katastrophen, Extremereignissen	3	Wahrgenommene Sicherheit wurde in Kriterium 5.a ("Betriebssicherheit /Robustheit") integriert
b) Schaffung qualifizierter Arbeitsplätze	Anzahl geschaffener Arbeitsplätze	Internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft	3	Für Einzelprojekte nicht relevant
c) Schaffung von Umweltbewusstsein	Umweltbewusster Umgang mit Wasser, Energie, Ressourcen	Steigerung des generellen Umweltbewusstseins	2	Kann im Hinblick auf Synergien zwischen Wasser, Energie und Ressourcen wichtig sein.
5. Technische Ziele		Maßgebliche Komponenten/Aspekte	Relevanz	Begründung zur Relevanz
a) Betriebssicherheit /Robustheit	1. Prozessstabilität (nach DWA-A 272: Prozessstabilität, Dauer von Störfällen)	Dauer von Störfällen, Schadenshäufigkeit (Einzeltechnologien stehen im Vordergrund)	1	Einsatz robuster Technologien/Systeme wesentlich
	2. Schadenshäufigkeit / Katastrophenanfälligkeit	Schadenshäufigkeit bzw. Anfälligkeit eines Systems bei Katastrophen	3	Wurde in die Kriterien 5.a.1 (für Einzeltechnologie) und 5.a.3 (für Gesamtsystem) integriert
	3. Auswirkungen bei Versagen (Systemresilienz) (nach DWA A 272: Intensität/Auswirkungen eines Versagenszustands)	Schädliche Auswirkungen des Gesamtsystems auf den Menschen (Gesundheit) und die Umwelt (Hygiene, Schadstoffe, etc.) im Falle eines Versagens	1	Schädliche Auswirkungen müssen im Versagenszustand und bei Katastrophen so gering wie möglich sein.
	4. Know-How Verfügbarkeit (Stand der Technik)	Know-How Verfügbarkeit bei (lokalen) Anbietern von Dienstleistungen bzgl. Installation/Reparatur/Wartung.	2	Vor allem bei Einsatz neuer Technologien relevant
b) Anpassungsfähigkeit / Erweiterbarkeit	1. Flexibilität hinsichtlich sich ändernder Randbedingungen (nach DWA-A 272: Planungssicherheit)	Technische Flexibilität hinsichtlich sich ändernder Randbedingungen	1	Dynamische Randbedingungen (Einwohnerzahl, -struktur, Klima, (Umwelt-)Anforderungen) erfordern anpassungsfähige Systemlösungen

5. Technische Ziele		Maßgebliche Komponenten/Aspekte	Relevanz	Begründung zur Relevanz
	2. Innovationspotenzial	Weiterentwicklungsmöglichkeiten, Marktpotenzial einer Technologie	3	Für Einzelprojekt nicht relevant
	3. Skalierbarkeit	Skalierbarkeit einer Technologie	3	Wurde in Kriterium 5.b.1 integriert
c) Integrierbarkeit	1. Unabhängigkeit von anderen Infrastrukturen (nach DWA-A 272: Anforderungen an andere Infrastrukturbereiche)	z. B. Schlammbehandlung, Abfallentsorgung, Wasserversorgung, Stromversorgung, ...	1	Einbeziehung bestehender Infrastruktur ist Teil von Wasserinfrastrukturkonzepten.
	2. Platzbedarf	Platzbedarf der technischen Einrichtung	2	Kann ggf. auch bei Akzeptanz (Kriterium 4a: Platzbedarf im privaten Bereich) und aus der technischen Sicht bei Kriterium 5c1 integriert werden
	3. Synergiepotenzial (z. B. mit Biomüllentsorgung)	Bezieht sich auf ein künftiges mögliches Potential mit denen Einsparungen oder zusätzliche ökologische Vorteile generiert werden können.	2	Kann je nach Anwendungsfall relevant sein.

- 1: „muss“-Kriterium: Ist bei der Bewertung unbedingt zu berücksichtigen.
- 2: „kann“-Kriterium: Abhängig von den jeweiligen Randbedingungen und in Abstimmung mit den beteiligten Akteuren können diese Kriterien ausgeschlossen werden.
- 3: Für Einzelprojekte nicht relevantes Kriterium.
- 4: KO-Kriterium, das erfüllt werden muss, d.h. nur wenn dieser Punkt erfüllt ist, kann die Variante in den Vergleich einbezogen werden. Dieses Kriterium ist deshalb i. d. R. im Rahmen der vergleichenden Bewertung nicht zu berücksichtigen.

Tabelle A-2: Beschreibung der Details der in Kapitel 7 betrachteten Varianten

Variante A	<ul style="list-style-type: none"> – Anschluss der Ortschaft über eine Druckleitung an das Mischsystem des Abwasserzweckverbandes und die zentrale Kläranlage, anaerobe Schlammbehandlung auf der ZKA und anschließende Klärschlammverbrennung, keine Ressourcenrückgewinnung, bilanzierte Infrastruktur: <p>Bau:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Kanalnetz (Teilortskanalisation) zum Anschluss der einzelnen Grundstücke (Nutzungsdauer 72a, Länge 480m), – Druckleitung (36a, 1000m), – Sammelschacht (36a), – Pumpstation: (baulicher Teil 36a, maschineller Teil 12a) – unberücksichtigt: anteilige Nutzung der Kanalisation des Verbandsgebietes <p>Betrieb:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Strom, Betriebsmittel, Wartung und Instandhaltung der aufgeführten Anlagen unter „Bau“, – Entsorgung Schmutzwasser auf ZKA (Abwasserentsorgungsgebühr des Verbandsgebietes für eingeleitetes Schmutzwasser)
Variante B	<ul style="list-style-type: none"> – Errichtung grundstücksbezogener Entsorgungslösungen: Membrankleinkläranlagen à 4 EW auf den Grundstücken der Privathaushalte sowie Abfuhr und Behandlung des anfallenden Schlammes auf der zentralen Kläranlage, anaerobe Schlammbehandlung auf der ZKA und anschließende Klärschlammverbrennung, keine Ressourcenrückgewinnung, keine Brauchwassernutzung <p>Bau: Membrankleinkläranlagen (12a), Anschlussgröße 4 EW</p> <ul style="list-style-type: none"> – Betrieb: Strom, Wartung und Instandhaltung, Schlamm Entsorgung auf der ZKA
Variante C	<ul style="list-style-type: none"> – Errichtung grundstücksbezogener Entsorgungslösungen: Trockentrenntoiletten und PKA für Grauwasser auf den Grundstücken der Privathaushalte, sowie Transport von Fäkalien und Urin zur ZKA mit anschließender Behandlung und Verwertung <p>Bau: PKA (12a), Anschlussgröße 4 EW</p> <p>Betrieb: Strom, Wartung und Instandhaltung, Schlamm Entsorgung auf der ZKA mit anschließender Kompostierung</p>
Variante D	<ul style="list-style-type: none"> – Errichtung grundstücksbezogener Entsorgungslösung: Errichtung bzw. Weiternutzung abflussloser Gruben auf den Grundstücken der Privathaushalte zur Sammlung des Schmutzwassers sowie Transport zur und Mitbehandlung des Schmutzwassers auf der ZKA; anaerobe Schlammbehandlung auf der ZKA und anschließende Klärschlammverbrennung, keine Ressourcenrückgewinnung. <p>Bau: Ertüchtigung vorhandener Gruben oder Neubau</p> <p>Betrieb: Instandhaltung, Abfuhr und Entsorgung des Schmutzwassers auf der ZKA</p>

