

#### Autoren und Autorin:

Christian Sartorius, Ilka Nyga,  
Peter Lévai und Thomas  
Hillenbrand

Projekt: TWIST++

## E1

# Entwicklung und Anwendung einer multikriteriellen Methode zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen

## Hintergrund

Sich ändernde Rahmenbedingungen, damit einhergehende neue Herausforderungen für die Wasserwirtschaft sowie die geringe Flexibilität der bestehenden Wasser- und Abwasserinfrastrukturen erfordern es, nicht nur einzelne Komponenten, sondern die gesamten Infrastruktursysteme anzupassen und weiterzuentwickeln. In den vergangenen Jahren wurden in verschiedenen Projekten technische Lösungen hierfür entwickelt (vgl. die in den Kapiteln C und D aufgeführten Beispiele); deren Umsetzung ist jedoch noch nicht weit verbreitet. Eine Ursache hierfür könnte in der Unsicherheit über ihre Vor- und Nachteile bestehen. Diese Unsicherheit ist nicht nur in der Verwendung neuartiger technischer Komponenten begründet, sondern vor allem in deren komplexem Zusammenwirken und der Vielfalt der betroffenen Wirkungskategorien. Um sie zu reduzieren, galt es, im Projekt TWIST++ ein Bewertungsinstrument zu entwickeln, das es ermöglicht, verschiedene integrierte Konzepte der Wasserver- und Abwasserentsorgung mit dem zugehörigen Energie- und Schadstoffmanagement miteinander und mit den heute vorherrschenden konventionellen Alternativen zu vergleichen und dabei sehr unterschiedliche Bewertungsdimensionen einzubeziehen. So sollten nicht nur die üblichen Kriterien wie Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und gesundheitliche Unbedenklichkeit in die Bewertung eingehen, sondern auch solche, die die Akzeptanz bei den Anwendern, die Anpassungsfähigkeit bei sich verändernden Rahmenbedingungen und die Sicherheit im Störfall betreffen.

## Eine Methode zur umfassenden Bewertung von Wasserinfrastrukturen (MuBeWis)

Um neuartige Wasserinfrastrukturen – untereinander und mit konventionellen Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepten vergleichend – bewerten zu können, müssen sie hinsichtlich einer ganzen Reihe sehr unterschiedlicher Kriterien miteinander verglichen werden. Die DWA listet in ihrem Arbeitsblatt 272 (DWA 2015) entsprechende Kriterien auf. Auf dieser Grundlage – ergänzt um Anforderungen aus dem Bereich der Trinkwasserversorgung und vor dem Hintergrund der im Kontext des Projektes zu bewertenden Modellinfrastrukturen – wurde in TWIST++ ein System von Kriterien entwickelt, welches auf einem mehrstufigen Zielsystem aufbaut, das sich an den Anforderungen an die Infrastruktursysteme orientiert. Ökologische, sicherheitsrelevante, wirtschaftliche, soziale und technische Ziele stellen dabei die oberste Ebene dar, die im weiteren Verlauf den Anforderungen entsprechend weiter heruntergebrochen werden. Auf der Detailebene entsprechen die (Teil-)Ziele den Kriterien, denen zwecks Vergleichbarkeit bzw. Messung jeweils mindestens ein Indikator als quantifizierbare Messgröße zugeordnet werden muss. Bei einigen Kriterien, die aufgrund des derzeitigen Wissensstandes nicht oder zumindest nicht mit vertretbarem Aufwand quantitativ erfasst werden können, kommen Bonus-Malus-Systeme zum Einsatz, um auch qualitative Unterschiede zumindest teilweise zu quantifizieren. Sowohl Kriterien als auch Indikatoren sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Um verschiedene Infrastrukturen auf Basis dieser Vielzahl von Kriterien zu bewerten, kommt in TWIST++ die Nutzwertanalyse zum Einsatz. Unter einer Vielzahl unterschiedlicher Bewertungsverfahren erfüllt diese als multikriterielles Verfahren am besten die an die Bewertung im Projekt gestellten Anforderungen bezüglich Berücksichtigung unterschiedlicher Dimensionen, Transparenz des Vorgehens und Berücksichtigung des notwendigen Aufwandes für das Ermitteln der Eingangsdaten (vgl. Hein et al. 2015).

Im Rahmen der Nutzwertanalyse wird für jedes Kriterium mittels eines oder mehrerer Indikatoren zunächst der Beitrag zur jeweiligen Zielerreichung ermittelt. Daraus werden zum Zwecke der Vergleichbarkeit der Zielerreichungsgrad und mittels Transformationskurven jeweils der normalisierte Teilnutzwert berechnet. Schließlich werden die Teilnutzwerte gewichtet, um ihrer jeweiligen Bedeutung für eine Gesamtbewertung Rechnung zu tragen (vgl. Nyga et al. 2016).

Die Ermittlung der entsprechenden Gewichtungsfaktoren erfolgte mittels AHP-Methode (AHP = Analytical Hierarchy Process) auf der Grundlage einer Befragung von Betroffenen und Fachleuten. Auf der Basis dieser Gewichtungsfaktoren und der jeweiligen Teilnutzwerte können auf verschiedenen Aggregationsniveaus (Teil-) Nutzwerte berechnet werden, die einen direkten Vergleich der bewerteten Infrastrukturen ermöglichen. Zur besseren Einordnung der Bewertungsergebnisse wird jede alternative Wasserinfrastruktur im Vergleich zu einer Referenzinfrastruktur – in der Regel der konventionellen Infrastruktur vor Ort – bewertet. Werden einheitliche Annahmen insbesondere hinsichtlich der Systemgrenzen zugrunde gelegt, sind die Ergebnisse für verschiedene Infrastrukturen auch jenseits der jeweiligen Modellgebiete und Projekte vergleichbar.

Die so charakterisierte Methode zur umfassenden Bewertung von Wasserinfrastrukturen bezeichnen wir im Projekt TWIST++ ihrem Akronym entsprechend als MuBeWis. Die zugrunde liegende Zielhierarchie einschließlich der Kriterien, die verwendeten Indikatoren, die Transformationskurven, die Gewichtung sowie die Herangehensweise bei der Umsetzung der gesamten Bewertung sind im TWIST++-Arbeitspapier „Indikatoren zur Bewertung alternativer Wasserinfrastrukturen im Projekt TWIST++“ (Sartorius et al. 2016b) im Detail dargestellt.

	Kriterium	Indikatoren	Gewichtung (%)	Konventionell	i,WET
<b>1. Ökologische Ziele</b>			<b>22</b>	<b>0,49</b>	<b>0,63</b>
1,1	Nährstoffbelastung	N P	1,29 1,29	0,52 0,69	0,57 0,73
1,2	Ökotoxische Stoffe/Wasser	Cu Zn Diclophenac Terbutryn	0,77 0,77 0,77 0,77	0,2 0,19 0,39 0,17	0,37 0,29 0,39 0,17
1,3	Sauerstoffzehrende Substanzen	CSB	2,62	0,55	0,6
1,4	Ökotoxische Stoffe/ Boden	Cd Pb PAK	0,95 0,95 0,95	1 1 1	1,1 0,99 0,99
1,5	Emission Klimagase	THG-Äquivalente	2,44	0,51	0,98
1,6	Beeinflussung des Mikroklimas		1,91	0,5	0,5
1,7	Ressourcenverbrauch	Energie, Betriebsstoffe	2,52	0,5	0,76
1,8	Ressourcenrückgewinnung	P N H2O C (organisch)	0,02 0,03 2,28 0,05	0 0 0 0	0,01 0,01 0,27 0
1,9	Flächenverbrauch	rF-Wert	1,84	0,5	0,5
<b>2. Sicherheitsrelevante Ziele</b>			<b>26,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>
2.1a	Verkeimung/Hygiene	Gesamtkeimzahl, Coliforme KbE	22,8	0,9	0,9
2.1b	Geruch/Trübung	TON, NTU	3,92	0,9	0,87
<b>3. Ökonomische Ziele</b>			<b>16,4</b>	<b>0,46</b>	<b>0,52</b>
3,1	(Netto-)Kosten	Investition, Betrieb	8,9	0,42	0,46
3,2	Flexibilität, Systemwechselbereitschaft	Restbuchwert Nutzungsdauer	3,74 3,74	1 0	1 0,19
<b>4. Soziale Ziele</b>			<b>16</b>	<b>0,74</b>	<b>0,77</b>
4,1	Bequemlichkeit (Servicequalität)	Zeitaufwand	5,18	0,9	0,9
4,2	Wirtschaftliche Belastung	Besondere Belastungen	6,28	0,5	0,56
4,3	Belästigung	Anzahl Medien	4,49	0,9	0,9
<b>5. Technische Ziele</b>			<b>18,8</b>	<b>0,66</b>	<b>0,7</b>
5,1	Störungsanfälligkeit	Kapazitätsreserve Schadensanfälligkeit Spezifisches Know-how	1,53 1,53 1,53	0,5 0,5 0,8	0,8 0,6 0,6
5,2	Auswirkungen des Versagenszustandes	Anteil CSB im Gewässer	4,05	0,83	0,93
5,3	Löschwasserbereitstellung	Sicherer Anteil	3,89	1	1
5,4	Flexibilität bezüglich Rahmenbedingungen	Zu-/Rückbaubarkeit	3,65	0,3	0,4
5,5	Abhängigkeit	Anzahl/Intensität	2,61	0,5	0,4
<b>Gesamtbewertung</b>			<b>100</b>	<b>0,67</b>	<b>0,72</b>

Tabelle 1: Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen am Beispiel des urbanen Modellgebietes in TWIST++.

Quelle: Sartorius et al. 2016a

## Anwendung der Bewertungsmethode MuBeWis in einem Modellgebiet von TWIST++

Um die Anwendbarkeit der Bewertungsmethode nachzuweisen, wurde sie im Projekt TWIST++ auf die dort bearbeiteten drei konkreten Modellgebiete angewendet, die beispielhaft für den urbanen Raum, eine ländliche Region und eine industrielle Konversionsfläche ausgewählt wurden (vgl. Beitrag D8). In der Tabelle sind beispielhaft die Ergebnisse für das urbane Modellgebiet aufgeführt. Kern der dort einzuführenden alternativen Infrastruktur ist das am Fraunhofer ISI entwickelte Konzept i.WET („integriertes WasserEnergieTransitions“-Konzept). Es sieht eine kombinierte (Wieder-) Verwertung von Regenwasser und behandeltem Grauwasser mit Wärmerückgewinnung und die Produktion von Bioenergie vor und wurde für Stadtquartiere im innerstädtischen Umfeld entwickelt (zu Details vgl. Beitrag D8).

Beim Vergleich der Teilnutzwerte zeigt sich, dass die alternative Infrastruktur der konventionellen in fast allen Belangen überlegen ist. Hinsichtlich der ökologischen Ziele kommt insbesondere zum Tragen, dass das Grauwasser mit seinen Verunreinigungen größtenteils in der Energieallee behandelt und damit die kommunale Kläranlage entlastet wird (Umweltschutz); außerdem werden Wasser und Nährstoffe wiederverwertet (Ressourcenschutz). Wirtschaftlich erweist es sich als Vorteil, dass i.WET die Umstellung auf eine konventionelle Trennkanalisation überflüssig macht und aufgrund der niedrigeren Nutzungsdauer eine flexiblere Reaktion auf sich verändernde Rahmenbedingungen erlaubt. Aus der durch die Betriebswassernutzung bedingten Einsparung von Trinkwasser ergibt sich für den Endnutzer, soweit die bisherigen Tarifstrukturen beibehalten werden, eine geringere wirtschaftliche Belastung, die zu einer höheren sozialen Akzeptanz führt. Aus technischer Sicht überwiegen die Vorteile bei Störungsanfälligkeit, Auswirkungen eines Versagens und Flexibilität den kleinen Nachteil seitens der Abhängigkeit von anderen Infrastrukturen. Allein hinsichtlich der Sicherheit schneidet die konventionelle Infrastruktur genauso gut ab wie die alternative, was angesichts der hohen Standards nicht verwundert.<sup>1)</sup>

1) Die aufgeführten Vorteile machen sich für die alternative Infrastruktur schon in dieser ersten Ausbaustufe, bei Einführung von i.WET in einzelnen Wohnblocks, bemerkbar. Weitere Vorteile kommen hinzu, wenn i.WET größere Verbreitung findet und dadurch zunächst die Schwemmkanalisation sukzessive zu einer Vakuumkanalisation umgebaut werden kann. Später ergibt sich durch das höher konzentrierte Restabwasser die Möglichkeit, die Kläranlage durch die verstärkte anaerobe Behandlung des Abwassers (Nutzung als Co-Substrat) und die Einführung einer Nährstoff-Rückgewinnung in ein Ressourcenzentrum zu verwandeln.

## Zusammenfassung und Ausblick

Der Bewertungsansatz MuBeWis ist in der Lage, Vor- und Nachteile verschiedener konventioneller wie alternativer Infrastrukturalternativen im Detail in quantitativer Form darzustellen und durch Normierung und die Einführung eines Gewichtungsfaktors vergleichbar zu machen. Außerdem erlaubt diese Vorgehensweise grundsätzlich die Aggregation zu einer Gesamtbewertung. Nachteil einer solchen Aggregation ist aber immer, dass dadurch wesentliche Detailinformationen verloren gehen. Die Gewichtungsfaktoren wurden im Projekt TWIST++ mittels der Methode des Analytical Hierarchy Process (AHP) auf Basis einer Befragung von Experten und Betroffenen ermittelt. Bei Veränderungen von Rahmenbedingungen oder veränderten Perspektiven und neuen Problemfeldern ist diese Gewichtung jeweils zu diskutieren und gegebenenfalls anzupassen. Dadurch, dass bei der Normierung häufig auf allgemeingültige Größen, z. B. auf deutschlandweite Durchschnittswerte, Bezug genommen wird, ist der Vergleich der Bewertungen im Prinzip nicht auf bestimmte Modellgebiete beschränkt, sondern kann über diese bzw. das Projekt TWIST++ hinaus erfolgen.

Durch Einbeziehen aller relevanten Bewertungskriterien (vgl. DWA-Arbeitspapier A 272) kann die Bewertung als umfassend angesehen werden. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Bewertung der Anpassungsfähigkeit der Infrastrukturalternativen. Die konventionelle Wasserver- und Abwasserentsorgung weisen in dieser Beziehung aufgrund sehr langer Nutzungsdauern gegenüber neuartigen Alternativen oft Nachteile auf. In MuBeWis kommt dieser Aspekt zum Tragen, da er in der Bewertung explizit berücksichtigt wird.

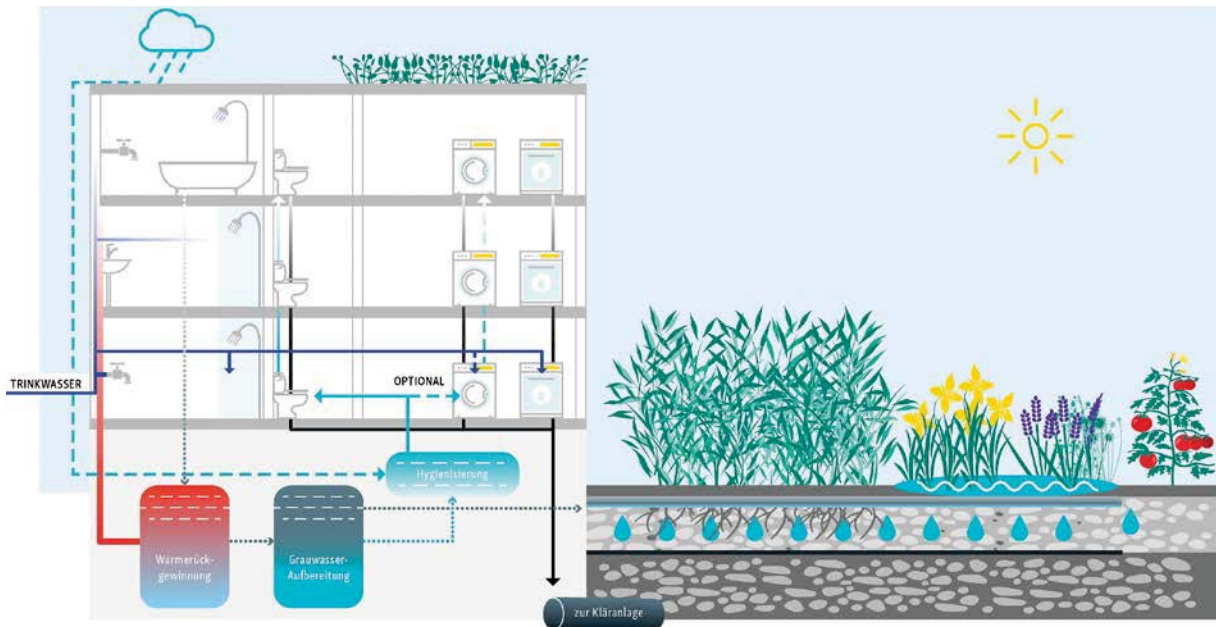


Abb. 1: Kombinierte (Wieder-)Verwertung von Regen- und Grauwasser mit Wärmerückgewinnung und der Produktion von Biomasse in i.WET.  
Quelle: Fraunhofer ISI

Die Systemgrenzen der Bewertung bestimmen sich durch die Art der zu bewertenden Infrastruktur. Sie können einerseits fallweise angepasst werden, so dass der Bewertungsaufwand, insbesondere auch der Aufwand zur Datenbeschaffung, sich reduzieren lässt. Andererseits ist die Einheitlichkeit der Systemgrenzen Voraussetzung dafür, dass Bewertungsergebnisse über Fall- oder Projektgrenzen hinweg miteinander verglichen werden können und damit das Potenzial von MuBeWis voll ausgeschöpft wird. Beide Argumente müssen vor einer Bewertung gegeneinander abgewogen werden.

Die Umstellung auf eine alternative Infrastruktur verläuft häufig entlang eines Transitionspfades, bei dem sich viele Vorteile nicht von Anfang an zeigen oder vorübergehend Nachteile in Kauf zu nehmen sind. In diesen Fällen sollte die Bewertung mit MuBeWis für verschiedene Umsetzungszeitpunkte erfolgen. Der langfristigen Perspektive ist dabei die gleiche Bedeutung beizumessen wie der mittel- und kurzfristigen.

#### Literatur:

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2015): Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme. Arbeitsblatt 272 der DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4 „Systemintegration“ im Fachausschuss „Neuartige Sanitärsysteme“, Hennef.

Hein, A., P. Lévai und K. Wencki (2015): Multikriterielle Bewertungsverfahren – Defizitanalyse und Entscheidungskriterien. Interner TWIST++-Zwischenbericht zu Teil-Arbeitspaket TAP 5.1.

Niederste-Hollenberg, J., E. Menger-Krug, U. Feldmann, E. Joel und T. Hillenbrand (2016): Transition von Wasserinfrastruktursystemen in Bestands- und Neuerschließungsgebieten in: Wasserwirtschaft Wassertechnik, Sonderausgabe Modernisierungsreport 2016/2017, S. 4 – 9.

Nyga, I., C. Sartorius und P. Lévai (2016): Multikriterielle Bewertung. Ergebnispapier Nichttechnische Arbeiten im Projekt TWIST++ – Transitionswege WasserInfraStruktursysteme, [http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische\\_Arbeiten/Steckbrief\\_Bewertung\\_20160414\\_end\\_jnh2.pdf](http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Steckbrief_Bewertung_20160414_end_jnh2.pdf) (letzter Abruf: 24.10.2016).

Sartorius, C., E. Menger-Krug, J. Niederste-Hollenberg und T. Hillenbrand (2016a): Bewertung der alternativen Wasserinfrastruktur in Lünen (1. Ausbaustufe). Arbeitspapier zu AP 5, [http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische\\_Arbeiten/Bewertung\\_Luenen\\_Stufe1\\_2016-11.pdf](http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Bewertung_Luenen_Stufe1_2016-11.pdf) (abgerufen am 04.04.2017).

Sartorius, C., T. Hillenbrand, P. Lévai, I. Nyga, M. Schulwitz und F. Tettenborn (2016b): Indikatoren zur Bewertung alternativer Wasserinfrastrukturen im Projekt TWIST++. Arbeitspapier zu AP 5, [http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische\\_Arbeiten/Indikatoren\\_Bewertung\\_2016-11.pdf](http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Indikatoren_Bewertung_2016-11.pdf) (abgerufen am 04.04.2017).