



ISOE-Materialien Soziale Ökologie **61**

Engelbert Schramm, Michaela Fischer, Martin Zimmermann

Multimodale
Wasserwiederverwendung:
Hinweise für eine
Exportstrategie



ISOE-Materialien Soziale Ökologie, Nr. 61

ISSN 1614-8193

Die Reihe „ISOE-Materialien Soziale Ökologie“ setzt die Reihe
„Materialien Soziale Ökologie (MSÖ)“ (ISSN: 1617-3120) fort.

Engelbert Schramm, Michaela Fischer, Martin Zimmermann

Multimodale Wasserwiederverwendung: Hinweise für eine Exportstrategie

Herausgeber:

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH

Hamburger Allee 45

60486 Frankfurt am Main



Namensnennung – Weitergabe unter gleichen
Bedingungen 3.0 Deutschland (CC BY-SA 3.0 DE)

Titelbild: ©stock.adobe.com/Andrei Merkulov

Frankfurt am Main, 2020

Zu diesem Text

Im BMBF-Vorhaben MULTI-ReUse wurde demonstriert, dass aus Siedlungsabwasser Wasser unterschiedlicher Qualitäten hergestellt werden kann, das sich sicher und nachhaltig verwenden lässt. Es werden Hinweise gegeben, wie Interessierte betriebliche bzw. betriebsübergreifende Exportstrategien entwickeln können, um die in MULTI-ReUse entwickelten Verfahren in anderen Ländern zu vermarkten. Acht unterschiedliche Grundkonstellationen, in denen diese Verfahren geeignet sind, werden vorgestellt; die Identifikation von Schlüsselakteuren und weitere Umsetzungsschritte sowie Ebenen möglicher Geschäftsfelder werden skizziert.

About this text

In the BMBF project MULTI-ReUse it was demonstrated that recovering municipal wastewater allows producing water of different qualities, which can then be used safely and sustainably. The text provides information on how interested parties can develop operational or cross-company export strategies to market the processes developed in MULTI-ReUse in other countries. Eight different basic constellations in which these procedures are suitable get presented; the identification of key players and further implementation steps as well as levels of possible business areas are outlined.

Inhalt

Einführung	3
Was soll exportiert werden?.....	3
Ein Zielmarkt im Ausland: Warum exportieren?	5
Was begünstigt Wasserwiederverwendung?	7
Acht ausgewählte Gunstkonstellationen	8
Ausgewählte Geschäftsfelder	13
Technische Anlagenplanung.....	13
Planung von Organisation und Kalkulation.....	13
Bau der Aufbereitungsanlage, Betriebserprobung und Übergabe.....	14
Betreiber der Aufbereitung und/oder Verteilung	14
Begleitung eines Integrierten Planungsprozesses.....	14
Fazit.....	15
Literatur	17
Danksagung	18

Einführung

Ziel der folgenden Hinweise ist, dass Interessierte aufbauend auf den Erfahrungen des BMBF-Vorhabens MULTI-Reuse betriebliche (oder betriebsübergreifende) Exportstrategien entwickeln können. Mit ihnen könnte das in MULTI-ReUse entwickelte Verfahren, mit dem sich Kläranlagenablauf aus Siedlungsabwasser für verschiedene, z.T. hochwertige Einsatzzwecke aufbereiten lässt, in anderen Ländern vermarktet werden. Im Grundsatz erlauben die Hinweise aber auch, den grenzüberschreitenden Verkauf vergleichbarer Verfahren einer erweiterten Abwasseraufbereitung mit multimodaler Wasserrückverwendung anzugehen.¹ Dabei ist es ein wesentliches Kennzeichen, dass den Abnehmern für verschiedene Einsatzzwecke jeweils unterschiedlich aufbereitetes sicheres Wasser zur Verfügung steht. Im MULTI-ReUse-Verfahren werden diese verschiedenen Wasserqualitäten von einem Produzenten nebeneinander hergestellt; daneben sind auch Fälle denkbar, wo diese Wässer von unterschiedlichen Herstellern geliefert werden.

Was soll exportiert werden?

Das MULTI-ReUse-Verfahren erlaubt, auf der gleichen Anlage bis zu drei verschiedene, definiert gestaffelte Qualitäten von Wasser aus (bereits konventionell behandeltem) Siedlungsabwasser herzustellen, die sich für sehr verschiedene Einsatzzwecke verwenden lassen (vgl. Rohn et al. 2018). Eingesetzt wird also kein Rohabwasser, sondern der Ablauf einer mehr-, in der Regel dreistufigen Kommunalkläranlage (vgl. Abbildung 1). Bei der mit spezifischen Monitorverfahren qualitätsgesicherten Produktion (vgl. Nocker et al. 2019, Schulte et al. 2019) werden zur Erreichung definierter Betriebswässer jeweils bestimmte Module einer erweiterten Wasseraufbereitung verwendet. Das Verfahren wurde seit 2018 in einer Versuchs- und Demonstrationsanlage (Pilotanlage) auf der Kläranlage Nordenham durch den MULTI-ReUse-Verbund erprobt. Dort wurden, bei Bedarf auch nebeneinander, die folgenden Qualitäten produziert (vgl. Nahrstedt et al. 2020):

- Betriebswasser 1 ist praktisch frei von ungelösten Inhaltsstoffen und pathogenen Bakterien, enthält aber noch viele Nährsalze und organische Spurenstoffe. Das Wasser kann industriell für Waschprozesse (z.B. zur Straßenreinigung) oder für Kühlprozesse mit geringen Anforderungen (z.B. an die Konzentration gelöster Salze)

¹ Multimodalität meint dabei, in Anlehnung an die verkehrswissenschaftliche Diskussion (vgl. Viergutz/Scheier 2018), dass das System die grundsätzliche Option für den Nutzer enthält, verschiedene Wasserqualitäten zu verwenden. Intermodalität ist dabei der spezielle Fall, wenn innerhalb eines Versorgungsfalls zwischen den unterschiedlichen Wasserqualitäten (z. B. zwischen Regenwasser und Trinkwasser bei Erschöpfung einer Zisterne) gewechselt werden kann. Hiervon zu unterscheiden ist Monomodalität als die ausschließliche Nutzung einer Wasserqualität für alle Nutzungszwecke. Das Modalitätskonzept kann sowohl eine Eigenschaft von Wasserversorgungssystemen beschreiben als auch ein Nutzerverhalten. In dieser Darlegung geht es um multimodale Versorgungssysteme, in denen unterschiedlich aufbereitetes Wasser für verschiedene Einsatzzwecke zur Verfügung gestellt wird.

eingesetzt werden. Weiterhin lässt es sich für häusliche Anwendungen (z.B. Toilettenspülung, Waschmaschine) und zur Bewässerung von Stadtgrün sowie Energie- und Industrie-Pflanzen verwenden. Der Nährstoffgehalt kann jedoch die Wasserspeicherung und -verteilung beeinträchtigen.

- Betriebswasser 2 ist frei von ungelösten Inhaltsstoffen und pathogenen Bakterien und Viren. Die Konzentration an Nährstoffen ist im Vergleich zu Qualität 1 erheblich vermindert (dies erhöht die mikrobiologische Stabilität des Wassers, d. h. geringere Aufkeimung bei Speicherung und Verteilung). Es enthält zudem deutlich weniger organische Spurenstoffe anthropogenen Ursprungs. Das Wasser kann für industrielle Wasch- oder Kühlprozesse mit höheren Qualitätsanforderungen ebenso wie für qualitativ hochwertige landwirtschaftliche Einsatzzwecke (z.B. Untergrund-Bewässerung von Obst und Gemüse für den menschlichen Rohverzehr, Versorgung von Vieh) oder zur Grundwasseranreicherung verwendet werden.
- Umkehrosmose-Wasser (Betriebswasser 3) ist frei von ungelösten Inhaltsstoffen und pathogenen Keimen; zudem haben Umkehrosmose und weitere Prozessschritte die im Wasser gelösten Ionen und Makromoleküle (z.B. organische Spurenstoffe) weitestgehend entfernt. Als ionenarmes Wasser kann es daher in einem breiten Spektrum als Prozesswasser eingesetzt werden, z. B. zur Herstellung von Reinstwasser oder auch als Mischwasser für Verdünnungszwecke. Die geringe Ionenkonzentration und freie Kohlensäure führen jedoch dazu, dass das Wasser aggressiv bzw. korrosiv auf bestimmte metallische Werkstoffe wirkt, was bei der Wasserspeicherung und -verteilung durch geeignete Materialien aufgefangen werden sollte (alternativ kann das Wasser durch Pufferung und pH-Wert-Korrektur bzw. Strippung/Entlüftung/Ausgasung von Kohlensäure eingestellt werden). Im Vergleich zu den beiden anderen Wasserqualitäten wird auch ein Maximum an mikrobiologischer Stabilität erwirkt.

Das MULTI-ReUse-Verfahren kann als eine „integrierte Systemlösung“ begriffen werden (vgl. Schramm 2012, Kluge/Schramm 2016); es besteht aus einem ganzen Bündel von unterschiedlichen, zumeist verfahrenstechnischen Innovationen. Neben der (erweiterten) Aufbereitung des Wassers in unterschiedlichen Qualitäten und deren Gewährleistung geht es zudem um seine Verteilung zu den Nutzern in Transportleitungen; auch diese kann gleichfalls technisch-organisatorische Maßnahmen zur inertierten Durchleitung und zur Vermeidung von Wiederverkeimung erforderlich machen (vgl. Nahrstedt et al. 2020, Rohn et al. 2018). Die Neuerungen greifen nicht nur auf der technischen, sondern auch auf der organisatorischen Ebene (z.B. wenn es darum geht, die Sicherung und Gewährleistung der Aufbereitungsqualität über ein Qualitätsmanagement aufzubauen, vgl. Schramm et al. 2019, Mohr et al. 2020). Mit den produzierten Wässern in unterschiedlichen Qualitäten werden häufig verschiedene Nutzergruppen beliefert. In vielen Fällen müssen diese in der Phase der Markterschließung zunächst einmal für die multimodale Versorgung gewonnen werden.

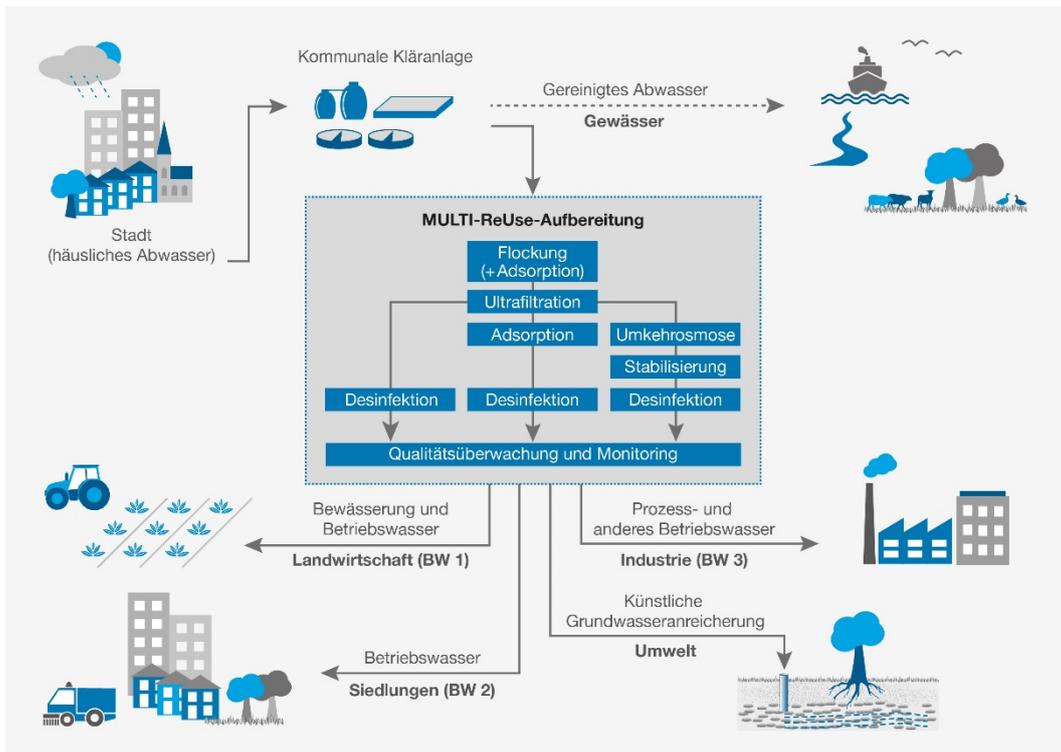


Abbildung 1: Prozessbild der MULTI-ReUse-Verfahren (nach Becker et al. 2017, verändert)

Ein Zielmarkt im Ausland: Warum exportieren?

Die Existenz jedes Unternehmens hängt davon ab, dass es seine Position am Markt hält und nach Möglichkeit ausbaut. Wenn es wachsen und prosperieren möchte, muss das Unternehmen jedoch seine Anteile am Markt erweitern. Eine Möglichkeit dazu ist, dass es auf einen Teilmarkt geht, auf dem es bisher nicht präsent war, entweder in eine andere Region oder sogar in ein anderes Land.

Grundsätzlich erlaubt eine Ausfuhr von Produkten oder Verfahren einem Unternehmen durch die Erweiterung der Vermarktungsmöglichkeiten eine Diversifizierung des Risikos, eine Ausweitung des Umsatzvolumens und zudem eine Verringerung der Herstellungskosten; damit bietet der Export zusätzliche Möglichkeiten, den Fortbestand des Unternehmens zu sichern. Außerdem kann ein Export, sofern er nicht nur in einem kurzfristigen Gelegenheitsfenster stattfindet, zu einem besseren, internationalen Image führen; dabei macht im besten Fall das Unternehmen das MULTI-ReUse-Verfahren und seine darauf bezogene Angebotspalette einem größeren Publikum bekannt.

Unter Strategie versteht man in betriebswirtschaftlicher Perspektive das Finden und Verfolgen eines Plans, durch den Wettbewerbsvorteile eines Unternehmens entwickelt und gefestigt werden (vgl. Schupp 2004). Folglich geht es nicht in erster Linie darum, zufällige Umstände wahrzunehmen, um als „Gelegenheitsritter“ auf beliebigen ausländischen Märkten kurzfristig Flagge zu zeigen und dorthin einmal eine Anlage zu liefern. Um auch mittel- und langfristige Exporterfolge zu erreichen und diese auch wei-

terhin zu erhalten, ist es vielmehr erforderlich, dass die Unternehmensleitung systematisch die Verkaufsmöglichkeiten jenseits der Landesgrenzen erkennt und renditeorientiert so angeht, dass diese auch wie gewünscht verwirklicht sind. Das Aufnehmen von Außenhandelsbeziehungen muss demnach im Unternehmen nach Art eines Projektes begriffen werden. Dann kann es zielstrebig auch in einer Langfristsperspektive angegangen und verwirklicht werden. Entsprechend ist eine rentable und gewinnbringende Strategie für die Exporttätigkeit zu erkunden und zu verfolgen. Diese ist weitgehend kontextabhängig und wird auch von der Position des Unternehmens und seine bisherigen Entscheidungen bedingt.

Das BMBF-Vorhaben MULTI-ReUse hat keine Exportstrategie für das MULTI-ReUse-Verfahren erarbeitet, da eine derartige Strategie nur unternehmensspezifisch sinnvoll ist und kein am F&E-Verbund beteiligtes Unternehmen sich ausdrücklich zum Träger einer solchen Strategie erklärt hat. Allerdings wurden spezifische Grundzüge für derartige Exportstrategien entwickelt, die nun, abhängig von ihrer jeweiligen wirtschaftlichen Position, alle jene Unternehmen einsetzen können, die an einer internationalen Vermarktung des MULTI-ReUse-Verfahrens zukünftig Interesse zeigen. Hierfür wird vorausgesetzt, dass die allgemeinen Grundlagen einer Exportstrategie bekannt sind und vom Unternehmen bearbeitet wurden. Dabei könnte das Unternehmen sich von den folgenden Voraussetzungen leiten lassen:

- Der Eintritt in Exportmärkte soll so realisiert werden, dass er nicht nur kurz-, sondern möglichst auch mittel- und langfristig erfolgreich ist.
- In zahlreichen Ländern der Welt ist die Wassersituation bereits derzeit angespannt. Sie wird dort zukünftig krisenhaft werden, wenn sich die derzeitigen Nutzungsmuster nicht verändern und die wasserbezogenen Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen nicht verwirklicht werden (Larsen et al. 2016). Dazu kann das Innovationsbündel beitragen.
- Der Identifikation der richtigen Zielmärkte geht eine ausführliche Beschäftigung voraus, evtl. werden sogar eigene Studien und Planungen durchgeführt, an der möglichst auch die unterschiedlichen Abteilungen des Unternehmens beteiligt wurden. Eine derartig breite Einbeziehung erleichtert es häufig, auch mittel- bis langfristig die gewünschte Rendite zu sichern. Bei der abschließenden Bestimmung der Zielmärkte sind Kenntnisse über absetzbare Mengen und Einfuhr- sowie Ausführquoten ebenso wie evtl. Zollbestimmungen und die Bedingungen von Exportkreditversicherungen erforderlich. Weiterhin zu beachten sind die Entfernung bzw. die Erreichbarkeit und die unter Mittel-/Zweck-Relation einsetzbare Logistik, aber auch weiche Faktoren wie die Kultur und die Sprache in der Zielregion (die Personen aus dem Unternehmen entweder beherrschen müssen oder für die sie vertrauenswürdige Übersetzerinnen finden müssen).
- Zu exportierende Verfahren und die dabei benötigten Produkte (z.B. Membranen, Pumpen) sollten gleichfalls gut ausgewählt sein. Dabei ist insbesondere sicherzustellen, dass sie allen landesüblichen rechtlichen Vorschriften bzw. technischen Normen entsprechen und erwartbare Risiken durch Managementmaßnahmen bewältigbar sind.

- Die Kenntnis über potenzielle Mitwettbewerber auf den Märkten erlaubt es, evtl. Alleinstellungsmerkmale zu identifizieren. Damit wird es (soweit die Bedürfnisse der Kunden gut identifiziert werden können) auch möglich, die erzielbaren Erlöse frühzeitig abzuschätzen und seine Preispolitik zum Bestand der Exportstrategie zu machen. Die Exportstrategie ist insofern auch als Teil des Marketings zu begreifen.
- Nicht alle Märkte lassen sich alleine mit eigenen Kräften erschließen (auch wenn es sinnvoll ist, strategisch wichtige Brückenköpfe mit Personal zu besetzen, das das Unternehmen hervorragend repräsentieren kann). Soweit hier in Arbeitsteilung mit Externen vorgegangen wird, sollte möglichst frühzeitig das Feld bekannt und eine eigene Übersicht über Exporteure, Handelsvertreter und Zulieferer soweit vorhanden sein, dass hier möglichst geeignete Kooperationspartner ausgewählt werden können (vgl. Schramm 2012).

Zentral ist also die Wahl eines gut geeigneten Landes; es sollte für das Unternehmen ein gut realisierbarer Zugang in dieses Land zur Verfügung stehen (und festgelegt werden). Zusätzlich zu unternehmenseigenen Ressourcen wird insbesondere der Mittelstand bei der Erkundung von Märkten auch Markterschließungsprogramme der Wirtschaftspolitik des Bundes und der Länder und konkret auch der jeweiligen Außenhandelskammern nutzen (z.B. organisierte Reisen zur Markterschließung und Geschäftsanbahnung, der Besuch von Leistungsschauen im Ausland und Informationsreisen ausländischer Multiplikatoren und Einkäufer nach Deutschland). Vertiefende Hinweise geben beispielsweise das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle in Eschborn und (als Netzwerk der Deutschen Wasserwirtschaft) German Water Partnership in Berlin, aber auch entsprechende Stellen der Bundesländer (vgl. Kluge/Schramm 2016).

Was begünstigt Wasserwiederverwendung?

Eine klassische Form der Wasserwiederverwendung ist die dezentrale Kaskadennutzung von (leicht verschmutztem) Abwasser; dieses wird nach der Nutzung aufgefangen und wiederverwendet. Dieser dezentrale Fall, bei dem recht kleine Mengen individuell wiederverwendet werden, wird hier nicht weiter betrachtet. Hier von Interesse ist alleine der Fall einer Wiederverwendung von Wasser im örtlichen Maßstab (an der lokalen Kläranlage als Ausgangspunkt), evtl. sogar in einem größeren Gebiet. Dabei sind die folgenden Konstellationen eine Voraussetzung bzw. wirken begünstigend:

1. Die Wiederverwendung von Siedlungsabwasser kann dann eingerichtet werden, wenn bei den Wassernutzern eine Abwasserableitung und in der Gemeinde eine zentrale Abwasserbehandlung entweder bereits vorhanden ist oder eingerichtet werden wird.
2. Generell ist die Wasserwiederverwendung dann gefragt, wenn bereits etablierte Wasserversorgungen (für Zwecke jenseits der Verwendung als Trinkwasser, z.B. Bewässerungslandwirtschaft, Versorgung von Industriebetrieben) trotz Wasserknappheit aufrechterhalten werden sollen/müssen. Multimodalität kommt immer dann in Frage, wenn eine Nachfrage nach (sehr) unterschiedlichen Qualitäten besteht. Mit

dem MULTI-ReUse-Verfahren ist es auch möglich, stark verschmutztes Siedlungsabwasser so zu behandeln, dass es für die verschiedensten Einsatzzwecke geeignet ist; in seltenen Fällen wird jedoch (bei ungewöhnlicher anorganischer Belastung) eine Vorbehandlung des Abwassers erforderlich.

3. Grundsätzlich setzt die Anwendung des MULTI-ReUse-Verfahrens voraus, dass sie in Ländern stattfindet, die
 - a. eine hohe Vertragsverlässlichkeit bieten (die Abnehmer müssen das Wasser für eine vereinbarte längere Zeit abnehmen. Soweit ausländische Unternehmen herangezogen werden, müssen diese stabile Verhältnisse vorfinden),
 - b. vergleichsweise wohlhabend sind und die anfallenden Kosten beglichen (die für das Verfahren typische „erweiterte Abwasserbehandlung“ ist aufgrund des energetischen und stofflichen Aufwands teurer, hat aber z.B. regionalpolitische Vorteile und erlaubt eine nachhaltige Entwicklung, vgl. Fischer et al. 2020) und
 - c. eine Bereitschaft haben, für das produzierte Wasser kostendeckend zu zahlen (sofern nicht ein landesüblicher Subventionstatbestand, der voraussichtlich auch in Zukunft Bestand haben wird).
 - d. qualifiziertes Personal zur Verfügung haben (die Herstellung von Wasser, das für definierte Zwecke wiederverwendet wird, erfordert die Einhaltung definierter Wasserqualitäten und entsprechende Prozesse sowie gut ausgebildetes Personal auf den Anlagen).

Die hier genannten Bedingungen erfüllen also vor allem Industriestaaten sowie die sogenannten Transformationsländer (BRICS sowie Thailand, Südkorea, Indonesien, die OPEC-Staaten, evtl. einige weitere Länder der MENA wie Tunesien, Marokko, vgl. zur Ableitung dieser Gebietskulisse auch Becker et al. 2017). In Hinsicht auf die Industriestaaten kann es sich empfehlen, hier das Augenmerk zunächst auf die Mitgliedsstaaten der EU zu lenken.

Acht ausgewählte Gunstkonstellationen

In vielen Gebieten mit Wassermangel, wo es bereits zu einer Wasserwiederverwendung kommt, wird Siedlungsabwasser nur für einen einzigen Versorgungszweck aufbereitet. Je nach Bedarfssituation wird der Kläranlagenablauf häufig für industrielle Produktionszwecke aufbereitet und in einer einzigen Qualität an einen Industriebetrieb abgegeben. Alternativ wird der Kläranlagenablauf nur hygienisiert und bestenfalls geringfügig gereinigt, um dann in der Landwirtschaft zur Bewässerung eingesetzt zu werden. Derart übersichtliche Situationen erfordern keinen Aufbau einer integrierten Systemlösung zur Multimodalität und damit auch kein MULTI-ReUse-Verfahren.

Es gibt jedoch zahlreiche Fälle, in denen sich der Einsatz des MULTI-ReUse-Verfahrens empfiehlt. Diese sind in der Regel auf Ressourcenseite durch eine Wasserknappheit charakterisiert. Häufig scheint dabei die gebietliche Wassermangelsituation solange nicht auf, wie sie durch den gebietsübergreifenden Transport von Wasser (z.B. aus

Talsperren) kompensiert werden kann. Allerdings können länger andauernde Trockenperioden dazu führen, dass die wasserwirtschaftliche Situation überdacht und ggf. sogar neu geordnet werden muss (vgl. Schramm et al. 2020).

Nach den bisherigen Analysen lassen sich die folgenden acht Konstellationen, die das MULTI-ReUse-Verfahren begünstigen können, identifizieren:

1. In einem Chemiepark werden die chemie- und pharmazieindustriellen Abnehmer sehr verschiedene Wasserqualität benötigen, die der Betreiber des Parks oder sein Facility Manager in der Regel selbst zentral fördert und aufbereitet, um sie dann an die Abnehmer zu verteilen (vgl. Salonen 2010). Dort benötigen die unterschiedlichen Chemiebetriebe Wasser in teils sehr unterschiedlichen Qualitäten für Zwecke der Reinigung und Kühlung, aber auch für die Dampferzeugung und direkt für die Produktion. Je nach Produktionszweck (z.B. Pharmaprodukte) muss das direkt bei der chemischen Reaktion verwendete Wasser Lebensmittelqualität haben und evtl. sogar Reinstwasserqualität (Analysechemikalien). Seit vielen Jahren ist für wasserarme Standorte der chemischen Industrie bekannt (z.B. Terneuzen in den Niederlanden, vgl. Becker et al. 2017), dass Siedlungsabwasser einen enormen Stellenwert als Ressource haben kann und zur Versorgung des Industrieparks mit verschiedenen Wasserqualitäten genutzt werden kann. Mit dem MULTI-ReUse-Verfahren kann an entsprechenden Standorten aus dem Kläranlagenablauf Betriebswasser in den Qualitäten 1, 2 und 3 hergestellt und über differenzierte Versorgungsnetze im Park verteilt werden.
2. Aus der Wasserwiederverwendung in einem Chemiepark lassen sich wichtige Schlussfolgerungen für andere Industrieansiedlungen ziehen. Industrieparks sind zunehmend branchenübergreifend angelegt. Auch dort benötigen die unterschiedlichen angesiedelten Betriebe Wasser in teils sehr unterschiedlichen Qualitäten für Zwecke der Reinigung, aber auch der Temperaturführung (Kühlung, Siedewasser, Dampferzeugung). Langjährige Erfahrungen aus Kalifornien (West Basin Recycling Water Facilities in Los Angeles, Kalifornien, für das Raffineriegelände El Segundo, vgl. Schramm et al. 2020) und ähnlich auch aus Singapur zeigen, dass Siedlungsabwasser als zentrale Ressource Einsatz finden kann. Selbst für Prozesswasser in Reinstwasserqualität (z.B. für die Produktion von Computerbauteilen) kann auf den Kläranlagenablauf zurückgegriffen werden (vgl. Kluge/Schramm 2016). Mit dem MULTI-ReUse-Verfahren kann daraus Betriebswasser in den Qualitäten 1, 2 und 3 hergestellt und nutzungsspezifisch an die Anwender verteilt werden. Im Einzelfall wird hier aufgrund der geringen benötigten Mengen (z.B. an Betriebswasser 3) das Wasser nicht für den gesamten Park auf eine erforderliche Qualität gebracht, sondern erst auf dem Gelände des Abnehmers (vgl. Schramm et al. 2020).
3. Die eben genannten Beispiele Kalifornien und Singapur machen zugleich deutlich, dass die Versorgung der Industrie häufig weniger aufwendig funktioniert als ein Einsatz der hergestellten Wässer (auch über einen Verschnitt) zur Grundwasseranreicherung, z.B. um im küstennahen Gebiet das Eindringen von Salzwasser in den Grundwasserleiter abzuwehren und den Grundwasserleiter weiterhin zu bewirt-

schaften (vgl. Becker et al. 2017). In Kalifornien bot erst die Versorgung der Industrie mit aufbereitetem Prozesswasser (dort übrigens in vier Qualitäten) das Gelegenheitsfenster, um ältere Pläne auch zur Landschaftspflege und zur Grundwasseranreicherung zu verwirklichen (vgl. Schramm et al. 2020).

4. Bei der Wasserversorgung von Inseln ist eine Versorgung aus dem Grundwasser häufig langfristig nicht gesichert. Sofern von kleiner Fläche ist unter den Inseln häufig keine von salzigem Meerwasser umgebene „Süßwasserlinse“, die groß genug ist, dass aus ihr odauerhaft ausreichend mit Trinkwasser versorgt werden kann. Damit die Inseln ihr Trinkwasser nicht vom Festland aus beziehen müssen oder es sehr energieaufwendig durch Entsalzung aus Meerwasser gewinnen, kann das MULTI-ReUse-System eingesetzt werden. Hierzu könnte nach einer Wasserwiederverwendung einerseits Betriebswasser 1 hergestellt werden, mit dem sich, wenn eine Betriebswasserleitung verlegt wird, zahlreiche häusliche und urbane Zwecke befriedigen lassen (z.B. Toilettenspülung, Grünpflege) und andererseits das stärker gereinigte Betriebswasser 2 und 3 im Verschnitt zur künstlichen Grundwasseranreicherung verwendet werden: Diese Infiltration kann dort zunächst dazu dienen, das Eindringen von Salzwasser ins Grundwasser zu verhindern. Zugleich kann sie in diesen Fällen dazu verwendet werden, in der Linse selbst Wasser anzureichern („indirect potable reuse“), so wie das ähnlich z.B. in Kalifornien gemacht wird.
5. In ariden Gebieten ist es sinnvoll, das Wasser aus Tourismusresorts mehrfach zu verwenden. Das dort anfallende Siedlungsabwasser kann (z.B. auf einer semizentralen Ebene) nach dem MULTI-ReUse-Verfahren aufbereitet werden und nicht nur, wie bereits Stand der Technik, als Betriebswasser 1 im Resort selbst verwendet werden (insbesondere für die Grünpflege in der Hotelanlage). Soweit ausreichend Wasser anfällt, kann dies auch bei ausgewählten Betrieben, die mit der Gastronomie kooperieren, für den hydroponischen Anbau von Gemüse und Obst, aber auch in Aquakulturen für die Produktion von Fisch und Krokodilfleisch mit Betriebswasser 2 verwendet werden. In den Tourismusresorts selbst kann in beschränktem Umfang auch ein Bedarf nach Umkehrosmose-Wasser bestehen (z.B. für den Einsatz in Geschirrspülmaschinen oder zur Kühlung).
6. Kombinierte Versorgung von Ferienanlagen und einheimischer Landwirtschaft in (semi-)ariden Tourismusregionen (z.B. Kanarische Inseln, Karibik): Soweit das in den Gemeinden anfallende Abwasser zentral erfasst und in einer Kläranlage verarbeitet werden kann, lässt sich hier nach dem MULTI-ReUse-Verfahren in erheblichem Umfang Wasser für unterschiedliche Zwecke recyceln. Das Betriebswasser 1 kann nicht nur für die Grünpflege in den Hotelanlagen und des öffentlichen Grüns verwendet werden, sondern ebenso für die Bewässerung lokaler Tennisplätze. Mit diesem Wasser wird sogar die Anlage und der Betrieb von Golfplätzen möglich. Insbesondere Betriebswasser 2 kann für die Bewässerung in der lokalen Landwirtschaft verwendet werden; vereinzelt wird auch dort Betriebswasser 3 benötigt, z.B. für das sog. Leaching von aufgrund von Bewässerung versalzten Böden; es kann aber auch zum Beimischen in die Swimmingpools der Hotelanlagen verwendet werden.

7. Bewässerungslandwirtschaft bei zunehmender Wasserknappheit: In zahlreichen Ländern der Welt verschiebt sich durch den Klimawandel die Regenzeit; häufig wird sie kürzer und bleibt in manchen Jahren aus. Selbst für Teile von Südostasien wurde in den letzten Jahren beobachtet, dass der Monsun ausbleiben kann. In den ländlichen Regionen wird z.B. in Südostasien meist der Ablauf der Klärteiche zur Bewässerung eingesetzt. Hier empfiehlt sich zukünftig, um Versalzungen zu vermeiden, zusätzlich auf einer regionalen Ebene die Zusammenarbeit mit einer multimodalen Wasserversorgung: Neben diesen einfacheren Anlagen zur Wasserwiederverwendung wird dann in einem zentralen Ort eine mehrstufige Kläranlage betrieben und über eine Systemlösung mit dem MULTI-ReUse-Verfahren gekoppelt. Im Nahbereich dieser Anlage kann dann für hochwertige landwirtschaftliche Anwendungen (z.B. Früchte und Fruchtgemüse zum Rohverzehr, die auf einem Premiummarkt verkauft werden) die Betriebswasserqualität 2 verwendet werden. Zusätzlich kann die Betriebswasserqualität 3 bedarfsweise für eine (z.B. jährliche Leaching-Behandlung) der Felder nicht nur in der näheren Umgebung der Anlage vorgesehen werden; vielmehr kann das Betriebswasser 3 z.B. in Tanklastwagen auch auf tendenziell versalzene Felder, die normalerweise durch die Teichkläranlagen mit Bewässerungswasser versorgt werden, transportiert und dort zum Leaching verwendet werden (vgl. Fischer et al., in Vorbereitung).
8. Grundsätzlich können Systemlösungen mit MULTI-ReUse-Verfahren auch errichtet und betrieben werden, wenn die Lieferung von Ökowasser (ökologisch benötigtes Wasser für den Landschaftshaushalt) erforderlich ist; dieses wird z.B. in Bergbaufolgelandschaften in hohem Umfang zur Wiederherstellung der Kulturlandschaft (z.B. Auffüllen von Seen) benötigt. Eine ähnliche Situation kann zukünftig dann gegeben sein, wenn es in Mitgliedsstaaten der EU in fortgeschrittenen Phasen des Klimawandels geboten ist, besonders schutzwürdige grundwasserabhängige Habitate entsprechend der Wasserrahmenrichtlinie zu stützen.

Damit sind zahlreiche Konstellationen identifiziert, in denen sich ein Einsatz lohnen kann. Auf der Grundlage genauerer Konstellationsanalysen (vgl. Schramm et al. 2020) und evtl. ergänzender Untersuchungen kann es möglich werden, ausreichend Hinweise für eine systematische Vorbereitung entsprechender Exportmärkte zur Verfügung zu stellen. Abbildung 2 zeigt eine Konstellation, die in touristisch geprägten Ländern der Tropen und Subtropen auftreten kann und den Import von MULTI-ReUse-Verfahren gestattet. In solchen Konstellationen werden nicht nur wichtige (und weniger wichtige) Akteure identifiziert, sondern auch Gesetze und Institutionen (z.B. kulturelle Normen, Verträge), die Ausstattung mit natürlichen Ressourcen und die Technik (Ohlhorst et al. 2007). Der in Abbildung 2 dargestellte Fall macht deutlich, dass es beispielsweise weniger auf die Regierung des Importlandes ankommt als auf Akteure aus dem Bereich der Siedlungswasserwirtschaft. Wenn diese bereits Interesse an einer Wasserwiederverwendung haben, besteht eine günstige Situation, diese als Partner zu gewinnen.

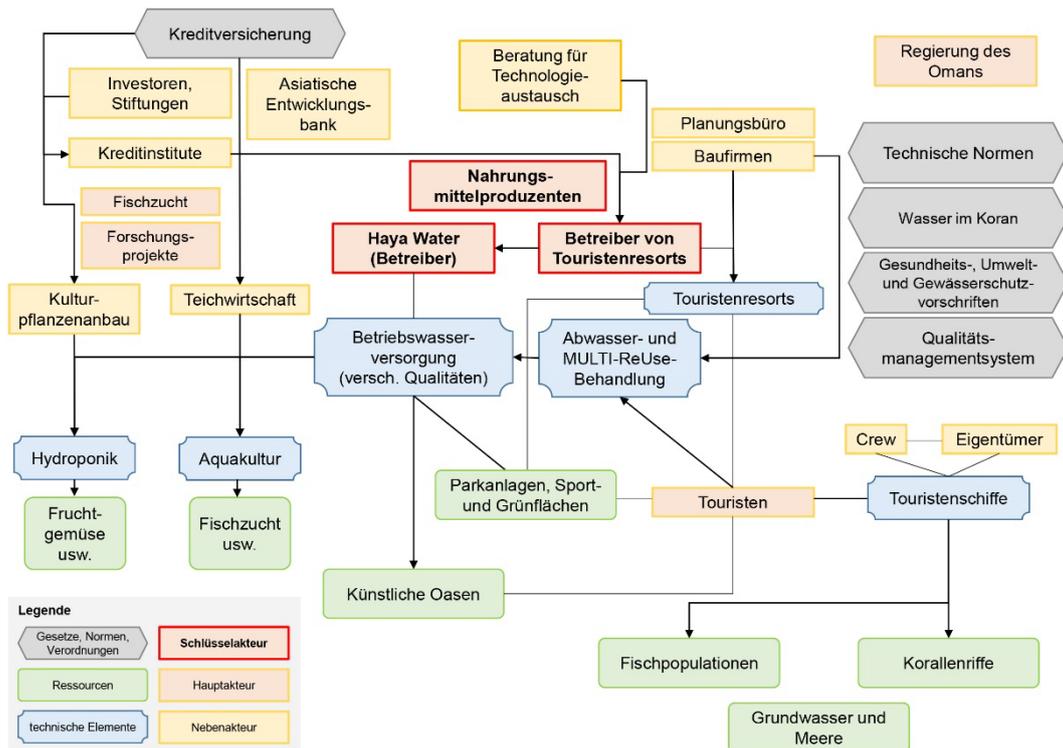


Abbildung 2: Idealtypische Konstellation einer multimodalen Wasserwiederverwendung um einen Tourismusbetrieb im Oman (vgl. Schramm et al. 2020)

Einige Fallbeispiele, die zu den oben kurz dargestellten acht Grundkonstellationen gehören, wurden bereits für konkrete Kontexte betrachtet (Fälle 2, 3, 5). In den bisher durchgeführten Analysen wurde deutlich, dass eine multimodale Wasserwiederverwendung immer dann naheliegend ist, wenn in den konkret vorfindlichen Ausprägungen der Konstellation bei den daran beteiligten Akteuren (von den Kläranlagen bis zu den Überwachungseinrichtungen und Abnehmern) eine Bereitschaft zum Austauschen und zur Kooperation besteht. Diese Zusammenarbeit lässt sich mit Methoden des Kooperationsmanagements langfristig aufrechterhalten (Liebscher 2014, Kluge/Schramm 2016).

In den Kontexten, die bisher für die Grundkonstellationen 3 und 5 betrachtet wurden, wurde der Aufbau einer multimodalen Wasserversorgung auf Basis von Siedlungsabwasser dadurch begünstigt, dass (z.B. im staatlichen oder interkommunalen Auftrag) ein gemeinwirtschaftlich orientiertes Unternehmen tätig ist (vgl. Schramm et al. 2020 sowie Haya Water in Abbildung 2). Die Einführung der Neuerung kann noch weiter begünstigt werden, wenn dieser Zentralakteur in der Lage ist, den Bedarf an unterschiedlichen Prozesswässern zu ermitteln und Qualitätsklassen so zu gestalten, dass sie mit den im MULTI-ReUse-Verfahren oder anderweitig technologisch vorgeschlagenen Aufbereitungsstufen möglichst übereinstimmen (weitere Qualitäten lassen sich z.B. durch Verschneiden der drei produzierten Wasserarten erreichen, vgl. Schramm et al. 2020). In bestimmten Fällen, z.B. Industrie- und Chemieparcs, wird es auch möglich sein, dass andere, häufig privatwirtschaftliche Zentralakteure wie Facility Manager auftreten und diese Aufgaben übernehmen (vgl. Salonen 2010).

Ausgewählte Geschäftsfelder

Hinsichtlich des Einsatzes des MULTI-ReUse-Verfahrens gibt es zahlreiche Geschäftsfelder, für die sich Exportstrategien entwickeln lassen. Es wird auch auf das Umfeld des Unternehmens ankommen, welches dieser Gebiete sich hier jeweils als geeignetes Geschäftsfeld empfiehlt. Vorstellbar sind:

- technische Anlagenplanung
- Planung von Organisation und Kalkulation
- Bau der Anlage, Betriebserprobung und Übergabe
- Betreiber der Aufbereitung und/oder Verteilung
- Begleitung eines Integrierten Planungsprozesses

Für einige dieser Geschäftsfelder werden im Folgenden Hinweise darauf gegeben, was in der Exportstrategie berücksichtigt werden kann. Da es sich um zahlreiche, zu bündelnde Aufgaben handelt, kann es sinnvoll sein, wenn das Unternehmen die dabei genannten Aufgaben teilweise oder ganz an mit ihm zusammenarbeitende Partner delegiert und so einen Exportverbund aufbaut und diesen (mit-)steuert (Kluge/Schramm 2016, Nörr 2016, Schramm 2012).

Technische Anlagenplanung

Zentral ist hier zunächst die Auslegungsplanung, die auch darüber entscheiden kann, ob überhaupt eine multimodale Wasserversorgung der Aufbereitung zugrunde gelegt wird und ob eine Wasserwiederverwendung nachhaltig betrieben werden kann. Anlagenbauer beschränken sich bisher häufig auf die nachfolgende Planungsphase, in der im Rahmen einer bereits getroffenen Dimensionierung die technische Bestückung entworfen wird. In die Auslegungsplanung sollten international anerkannte Verfahren der Risikoabschätzung und -bewertung eingehen.

Planung von Organisation und Kalkulation

Bisher werden die höheren Kosten einer weitergehenden Behandlung als Nachteil der multimodalen Wasserwiederverwendung begriffen. In den Ländern, in denen der Preis für Wasser (z.B. zur Bewässerung) nicht subventioniert wird, wird folglich auf den ersten Blick die Versorgung mit weitergehend aufbereitetem Wasser nur für Zielgruppen mit ausreichendem Kapital verfügbar sein. Tatsächlich kann aber ein Portfolio unterschiedlicher Kunden (mit verschiedenen Ansprüchen an die Wasserqualität) dazu führen, dass eine bewusste Quersubventionierung stattfindet und z.B. die Versorgung mit Prozesswasser 1 durch die Versorgung mit anderen Wässern subventioniert wird. Weiterhin kann es auch darum gehen, sichere Abnahmebedingungen für evtl. prekäre Gruppen von Wasserkunden zu erzeugen (z.B. durch Abschluss von langfristigen Verträgen zwischen landwirtschaftlichen Lieferanten und den Touristenresorts).

Bau der Aufbereitungsanlage, Betriebserprobung und Übergabe

Hier wird in der Regel die Zusammenarbeit von Anlagenbauern und Verfahrenstechnikern mit betriebsführenden Unternehmen aus der deutschen Wasserwirtschaft oder aus dem Facility Management erforderlich sein. Es ist darauf zu achten, dass es möglichst nicht zu zeitlichen Verzögerungen und zu finanziellen Überschreitungen des Kostenplanes kommt. Die Bauüberwachung und die Übernahme der Gebäude und der dort installierten Technik (z. B. Rohr- und Energieleitungen, Hard- und Software) ist so durchzuführen, dass Fehlanschlüsse von Bauteilen nicht vorkommen, keine „Black-Box-Produkte“ eingebaut wurden und die installierte Prozessleittechnik einwandfrei funktioniert. Für eine gute Übergabe der fertigen Anlage an den Kunden wird es häufig auch darauf ankommen, zuvor im praktischen Betrieb das Zusammenspiel der unterschiedlichen Verfahren nach qualitätsgesicherten Verfahren soweit zu erproben, dass nach entsprechenden Untersuchungen ein reibungsloses Zusammenspiel aller Komponenten sichergestellt werden kann.

Betreiber der Aufbereitung und/oder Verteilung

Häufig werden Konstellationen dazu führen, dass die in der Region an der multimodalen Wasserwiederverwendung interessierten Akteure selbst (z. B. aus rechtlichen Gründen) nicht in der Lage sind, den Betrieb dauerhaft zu führen, sodass sie sich (in der Regel nach einer Ausschreibung) eines Betriebsführers bedienen müssen. Deutsche Anlagenbetreiber im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft beschränken sich bisher häufig auf das Einfahren von neuen Betrieben und die anschließende Beratung; soweit sie einen kommunalwirtschaftlichen Hintergrund haben, sind sie aber im Unterschied zu internationalen Mitbewerbern wie Veolia, Suez oder Facility-Management-Unternehmen aus der Chemieindustrie aus rechtlichen Gründen kaum in der Lage, dauerhaft eine Betriebsführung zu übernehmen.

Begleitung eines Integrierten Planungsprozesses

Konstellationen, in denen eine weitergehende Wasserwiederverwendung begünstigt wird, sind grundsätzlich teilweise bereits identifiziert; im Einzelfall lässt sich für eine genauere Betrachtung auf die in der Technik- und Innovationsforschung etablierte Methode der Konstellationsanalyse zurückgreifen (vgl. Ohlhorst et al. 2007), die frühzeitig zur Planungsvorbereitung eingesetzt werden kann; dabei wird es ausreichend sein, pragmatisch wichtige Akteure und begünstigende Faktoren zu identifizieren. Die Konstellationsanalyse kann aber auch verwendet werden, um alternative Konstellationen zu betrachten, wie sie sich durch die Wahl anderer Einsatzorte oder Wasserverwendungszwecke ergeben können.

Schließlich ist eine multimodale Wasserwiederverwendung nicht nur technisch, sondern auch organisatorisch ein komplexer und evtl. auch kostenintensiver Prozess. Die bisher zum Thema durchgeführten Konstellationsanalysen (Schramm et al. 2020) zeigen hinsichtlich der Zusammenarbeit zwischen den Akteuren eine höhere Komplexität

verglichen mit einer traditionellen, auf einen Sektor begrenzten Wasserwiederverwendung. Daher muss das Vorhaben durch zuverlässige (vielleicht sogar starke) Institutionen als wesentliche Netzwerkknoten unterstützt werden; diese können z.B. durch Lenkungsausschüsse und partizipative Planungsprozesse unterstützt werden.

Soll ein Markt für Wasserwiederverwendung mit weitergehender Aufbereitung entwickelt werden, wird es in der Praxis häufig problematisch sein, dabei den Weg des geringsten Aufwands zu gehen. Der bedeutet häufig, sich auf eine einzige Verwendung und eine einzige Benutzergruppe zu beschränken, denn das wird zunächst den erforderlichen Marketing- und Koordinationsaufwand erheblich reduzieren. Allerdings betrifft eine Wassermangelsituation, die langfristig zu einem zunehmenden Wasserstress führt, zumeist alle Nutzergruppen. Bei einer ausschließlich pragmatischen Konzentration, z.B. auf eine leicht zugängliche Nutzergruppe, wird möglicherweise frühzeitig eine Festlegung getroffen, die letztlich problematisch sein kann, weil aufgrund ihrer „Pfadabhängigkeit“ langfristig eine optimale Lösung erschwert wird (z.B. kann durch eine zunächst ausschließliche Konzentration auf besonders attraktive Kunden und den Aufbau der Aufbereitungsanlagen in deren unmittelbarer Nähe eine falsche Netztopographie für die Versorgung der Kunden in der „Fläche“ entstehen).

Um die lokale Wassersituation nach Möglichkeit besser und nachhaltig zu ordnen und dabei problematische Pfadabhängigkeiten zu vermeiden, wird es folglich darauf ankommen, frühzeitig im Planungsprozess auch die Langfristperspektive zu berücksichtigen; durch eine szenariobasierte Planung kann dies erleichtert werden. Zugleich ist sehr bewusst auch eine ressortübergreifende und letztlich integrierte Perspektive einzunehmen.

Zukünftig wird vermutlich trotz des höheren Aufwands die Entscheidung für eine weitergehende Behandlung von Kläranlagenablauf tendenziell häufiger eingeschlagen werden, da sich auf diesem Weg die mit der Wasserwiederverwendung verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt weitgehend reduzieren lassen (Schramm et al. 2020). Wenn auch proaktiv die nachhaltige Entwicklung fördernde staatliche Stellen und die Zivilgesellschaft an der Planung beteiligt werden, wird es häufig leichter werden, entsprechende Perspektiven einzutragen, dafür Resonanz zu finden und diese letztlich zu implementieren.

Fazit

Die erweiterte und qualitätsgesicherte Aufbereitung von Kläranlagenablauf zur Wiederverwendung von Wässern in unterschiedlichen Qualitäten ist eine anspruchsvolle und integrierte Systemlösung und stellt in vielen Ländern einen Zukunftsmarkt dar. Durch vorbereitende Maßnahmen, aber auch durch eigene Planungsaktivitäten kann es interessierten Unternehmen in einem oder mehreren ihrer Zielländer gelingen, die Konstellationen auf dem Markt so zu gestalten, dass der aufwendige Fall „Multimodalität“ nicht gescheut wird, sondern vielmehr frühzeitig auch die Interessierten vor Ort

seine Vorteile sehen. Vereint mit den lokalen Interessenten wird in einem solchen Fall die integrierte Systemlösung statt der bisher vorherrschenden Standardlösungen ausgewählt und als Innovation realisiert. Die bisher üblichen, häufig zu einfachen Formen der Wasserwiederverwendung lassen sich so durch ein zukunftsfähiges, gebrauchsspezifisches Wasserrecycling ersetzen. So kann es verbunden mit der eigenen wirtschaftlichen Tätigkeit und dem Export des MULTI-ReUse-Verfahrens möglich werden, die vielfach naiv scheinenden Visionen, die aktuell mit der Wasserwiederverwendung verbunden werden, zu verwirklichen und besser zur Erfüllung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen beizutragen.

Literatur

- MULTI-ReUse-Projektverbund (2020): MULTI-ReUse: Modulare Aufbereitung und Monitoring bei der Abwasser-Wiederverwendung. Gemeinsamer Abschlussbericht aller Verbundpartner. BMBF Förderkennzeichen 02WAV1403A bis I
- Becker, Dennis/Alexander Frey/Christina Jungfer/Kerstin Krömer/Philipp Kulse/ Sebastian Maaßen/Engelbert Schramm/Kristina Wencki/Barbara Zimmermann/ Martin Zimmermann (2017): Marktpotenziale der Wasserwiederverwendung – Anforderungen und Kriterien in unterschiedlichen Sektoren und mögliche Zielmärkte für das MULTI-ReUse-Verfahren. ISOE-Materialien Soziale Ökologie, 49. Frankfurt am Main
- Fischer, Michaela/Heide Kerber/Engelbert Schramm/Martin Zimmermann (2020): Water Reuse as Sustainable Business Cases. SMF – NachhaltigkeitsManagement-Forum (in Vorbereitung)
- Kluge, Thomas/Engelbert Schramm (2016): Unterstützendes Management zur Umsetzung integrierter Systemlösungen in Deutschland und andernorts. In: Engelbert Schramm/Thomas Kluge (Hg.): Wasser 2050. Mehr Nachhaltigkeit durch Systemlösungen. München: oekom verlag, 243–249
- Larsen, Tove. A./Sabine Hoffmann/Christoph Lüthi/Bernhard Truffer/Max Maurer (2016): Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science* 352 (6288): 928–933
- Lazarova, Valentina/Vincent Sturny/Gaston Tong Sang (2012): Relevance and benefits of urban water reuse in tourist areas. *Water* 4 (1): 107–122
- Liebscher, Anna Katharina (2014): Betriebliche Ressourcensicherung durch Nachhaltigkeitskooperationen: Organisationstheoretische Analysen und widerspruchstolerante Gestaltungsempfehlungen. Berlin: Lit Verlag
- Mohr Marius/Thomas Dockhorn/Jörg E. Drewes/Sybille Karwat/Susanne Lackner/ Bryan Lotz/Andreas Nahrstedt/Andreas Nocker/Engelbert Schramm/Martin Zimmermann (im Erscheinen): Assuring water quality along multi-barrier treatment systems for agricultural water reuse. *Journal of Water Reuse & Desalination*
- Nahrstedt Andreas/Anil Gaba/Anja Rohn/Barbara Zimmermann/Tiemann Y. (eingereicht): Development of a modular process for treating municipal waste water effluent for industrial and agricultural use. *Journal of Water Reuse & Desalination*
- Nocker, Andreas/Barbara Zimmermann (2019): Durchflusszytometrie zur schnellen Bestimmung der im Wasser befindlichen Mikrobiologie und des Aufkeimungspotentials. Factsheet (Download unter <https://water-multi-reuse.org/portfolio/monitoringverfahren/>)
- Nörr, Monika (2016): Unternehmensaufbau und Stabilität: Innovationen hinzukaufen und selbst entwickeln. In: Dieselbe: Key Learnings aus dem Serial Entrepreneurship. Wiesbaden: Springer Gabler, 105-124

- Ohlhorst, Dörte/Benjamin Nölting/Martin Meister/Sylvia Kruse/Susanne Schön (2007): Handbuch Konstellationsanalyse: Ein interdisziplinäres Brückenkonzept für die Nachhaltigkeits-, Technik- und Innovationsforschung. München: ökom-Verlag
- Rohn, Anja/Anil Gaba/Andreas Nahrstedt (2018): Factsheet Pilotanlage: Verfahrensketten zur Aufbereitung von Kläranlagenablauf zu bedarfsgerechten Betriebswasserqualitäten. Factsheet (Download unter <https://water-multi-reuse.org/portfolio/verfahrenstechniken-anlagenbetrieb/>)
- Salonen, Tiina (2010): Strategies, structures, and processes for network and resources management in industrial parks: the cases of Germany and China. Köln: Josef Eul
- Schramm, Engelbert (2012): Gebündelte Innovationen in integrierte Systemlösungen: Eine aussichtsreiche Zukunftsstrategie für Unternehmen der Wasserbranche. *uwf UmweltWirtschaftsForum* 20 (2): 145–154. <https://doi.org/10.1007/s00550-012-0254-z>
- Schramm, Engelbert/Dennis Becker/Michaela Fischer (im Erscheinen): Advanced processed wastewater for different uses: Constellations favoring future implementation of a multimodal water reuse concept. *Journal of Desalination & Water Reuse*
- Schramm, Engelbert/Uwe Beythien/Thomas Dockhorn/Björn Ebert/Michaela Fischer/Marius Mohr/Arne Wieland/Martina Winker/Martin Zimmermann (2019): Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Nutzung in hydroponischen Systemen: Anforderungen an die Qualitätssicherung. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I*, 73–82
- Schulte, Marcel/Rainer Meckenstock (2019): Reverse Isotope Labeling: Eine neue Methode zur Bestimmung des biologisch verfügbaren gelösten organischen Kohlenstoffs (BDOC). Factsheet (Download unter <https://water-multi-reuse.org/portfolio/monitoringverfahren/>)
- Schupp, Florian (2004): Generierung von Versorgungsstrategien auf Basis von Materialsegmenten. In: Ders., *Versorgungsstrategien in der Logistik*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 106–181
- Viergutz, Kathrin K./Benedikt Scheier (2018): Inter, Multi, Mono: Modalität im Personenverkehr – Eine Begriffsbestimmung. *Internationales Verkehrswesen* 1/2018: 65–68

Danksagung

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden im F&E-Vorhaben „MULTI-ReUse: Modulare Aufbereitung und Monitoring bei der Abwasserwiederverwendung“ erarbeitet. Wir danken den Verbundpartnern aus Industrie und Forschung für unterstützende Diskussionen und zahlreiche Anregungen sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ gewährte finanzielle Zuwendung (Förderkennzeichen 02WAV1403H).

ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung

Das ISOE gehört zu den führenden unabhängigen Instituten der Nachhaltigkeitsforschung. Seit mehr als 30 Jahren entwickelt das Institut wissenschaftliche Grundlagen und zukunftsfähige Konzepte für Politik, Zivilgesellschaft und Wirtschaft – regional, national und international. Zu den Forschungsthemen gehören Wasser, Energie, Klimaschutz, Mobilität, Urbane Räume, Biodiversität und sozial-ökologische Systeme.

www.isoe.de

www.isoe.de/wissenskommunikation/newsletter

twitter.com/isoewikom

facebook.com/ISOE.Forschungsinstitut

instagram.com/isoe_institut