

# MODULARE ABWASSER- TECHNOLOGIEN

## BEDINGEN NEUE TECHNOLOGIEN ÄNDERUNGEN IN POLITIK, VERWALTUNG UND MANAGEMENT?

**Die Implementierung modularer Technologien in der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft benötigt keine radikale Änderung der heutigen Politik und Verwaltung oder des Managements. Ziel führend sind stattdessen sanfte Implementierungsstrategien wie begleitete und geförderte Pilotprojekte mit koordiniertem Austausch sowie Beteiligung von ARA-Betreibern. Ein proaktiver, strategischer Umgang auf allen politischen Ebenen ist wichtig, damit potenzielle Herausforderungen frühzeitig erkannt und mögliche Kapazitäten zeitgerecht organisiert werden können.**

*Eva Lieberherr; Katrin Pakizer, ETH Zürich  
Rona Schenk*

### RÉSUMÉ

#### **TECHNOLOGIES MODULAIRES DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES: LES NOUVELLES TECHNOLOGIES IMPLIQUENT-ELLES DES CHANGEMENTS DANS LA SPHÈRE POLITIQUE, L'ADMINISTRATION ET LA GESTION?**

Comme les technologies modulaires se situent en dehors des bases légales et réglementaires existantes, leur introduction repose souvent sur des réglementations d'exception. La diffusion de telles technologies en Suisse nécessite, le cas échéant, d'adapter les structures (c'est-à-dire le cadre réglementaire, la gestion, la propriété et les responsabilités qui en découlent ainsi que les structures de financement) et de disposer des capacités organisationnelles nécessaires des exploitants de stations d'épuration. Ce sont surtout ces derniers qui pourraient à l'avenir jouer un rôle plus important dans l'introduction de technologies modulaires, comme l'illustrent deux études de cas aux États-Unis et en Australie. Dans les deux cas, des technologies modulaires de traitement des eaux usées ont été mises en œuvre. Ces études de cas sont discutées en termes d'implications possibles pour la Suisse. Les résultats montrent qu'à long terme, non seulement le cadre réglementaire doit être adapté, mais aussi que des stratégies de mise en œuvre en douceur, avec de la place pour l'expérimentation et l'échange via une plateforme nationale, sont nécessaires pour rassembler les expériences de différents secteurs et permettre ainsi la mise en œuvre de technologies modulaires de traitement.

### AUSGANGSLAGE

Wie sich die Siedlungswasserwirtschaft durch modulare und potenziell nachhaltigere Systemoptionen verändern könnte, wurde im *Aqua & Gas*-Artikel von *Truffer et al.* [1] aufgezeigt. Darauf aufbauend behandelt der vorliegende Beitrag die Frage, ob Politik, Verwaltung und Management in ihrer heutigen Form verändert werden müssen, um die Implementierung modularer Wassertechnologien zu ermöglichen. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse des Teilbereichs des Forschungsprojekt *Comix (s. Box)* zu den Regulierungs- und Managementsystemen im Bereich Siedlungswasserwirtschaft aufgeführt.

Die Implementierung modularer Technologien ist in der Schweiz – wie auch in anderen Ländern – abhängig von den bestehenden Institutionen bzw. den Regelungen sowie der Organisation des Wassersektors. Politik, Verwaltung und Management sind allerdings stark auf die konventionellen, zentralisierten Wasserinfrastrukturen hin optimiert, wodurch neue Prozesse und Technologien nur schrittweise eingeführt werden können [2, 3]. Diese könnten bestehende Wasserinfrastrukturen verbessern, was in Hinblick auf die sich abzeichnenden Herausforderungen wie Urbanisierung, Zersiedelung, Klimawandel, Eutrophierung, Ressourcenknappheit

Kontakt: [eva.lieberherr@usys.ethz.ch](mailto:eva.lieberherr@usys.ethz.ch)

(©AdobeStock)

### PROJEKT COMIX – HERAUSFORDERUNGEN MODULARER WASSERINFRASTRUKTUREN

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramm «Nachhaltige Wirtschaft: ressourcenschonend, zukunftsfähig, innovativ» NFP 73 wurde das Projekt *Comix* im Bereich «Kreislaufwirtschaft» lanciert. Das Akronym leitet sich ab von englischen Projekttitel: *Challenges and Opportunities of Modular Water Infrastructures for Greening the Swiss Economy*. Die Projektergebnisse werden in diesem Artikel sowie in zwei weiteren, bereits in *Aqua & Gas* erschienen Artikeln vorgestellt:

- Truffer, B. et al.: *Modulare Wasserinfrastrukturen – Optionen einer zukunftsfähigen Siedlungswasserwirtschaft*. A&G 9/22
- Müller, A.; Ebel, R.: *Modulare Kleinkläranlagen – lohnt es sich?* A&G 9/22

<https://nfp73.ch/de/projekte/erausforderungen-modularer-wasserinfrastrukturen-bearbeiten>

den [3], können sie eine führende Rolle bei der Implementierung modularer Technologien einnehmen. Dabei stellt sich die Frage, wie die gegenwärtigen Strukturen anzupassen wären und wie bei den ARA-Betreibern der Aufbau der organisatorischen Kapazitäten aussehen müsste, um die Implementierung modularer Technologien zu ermöglichen.

Dieser Artikel befasst sich zuerst mit den Herausforderungen und Kapazitäten bei bestehenden Strukturen und Institutionen. Dabei wird die Rolle eines privat-rechtlich organisierten ARA-Betreibers beleuchtet, weil bei dieser

und eine alternde Infrastruktur notwendig werden könnte [2].

Modulare und dezentrale Technologien sind vorgefertigte und standardisierte Module; die Abwasserreinigung wird lokal für kleinere Einzugsgebiete wie einzelne Haushalte oder Siedlungen organisiert, auf eine Kanalisationsverbindung zu einer zentralen Anlage kann weitgehend verzichtet werden [2, 4]. Während ein konventionelles System ein stark ausgeprägtes Entsorgungnetz bedingt, ermöglichen modulare technische Lösungen eine vielfältigere Nutzung der Ressourcen durch die inhaltliche Trennung der Abwasserströme sowie durch Modularisierung und Dezentralisierung [2]. Modulare Lösungen sind bereits vorhanden und werden in diversen Pilotprojekten erforscht und erprobt, beispielsweise in San Francisco, Melbourne, Sydney, Hamburg, Peking, Bengaluru und auch in der Schweiz, wie z.B. in Zürich [2], Genf [5] oder Bern [6] (Fig. 1-4).

Zu den Vorteilen dieser alternativen Technologien gehören zum einen geschlossene Kreisläufe, die Rückgewinnung wertvoller Ressourcen und schnelle Adaption an sich verändernde Betriebsbedingungen wie z.B. steigende Einwohnerzahl [2]. Zum anderen ergeben sich gemäss dem Weltwasserbericht der Vereinten Nationen [7] auch monetäre Vorteile [8].

Da die Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen (ARA-Betreiber)<sup>1</sup> in der Siedlungswasserwirtschaft als sogenannte *Gate-Keepers* agieren und somit über die Einführung von Neuheiten entschei-

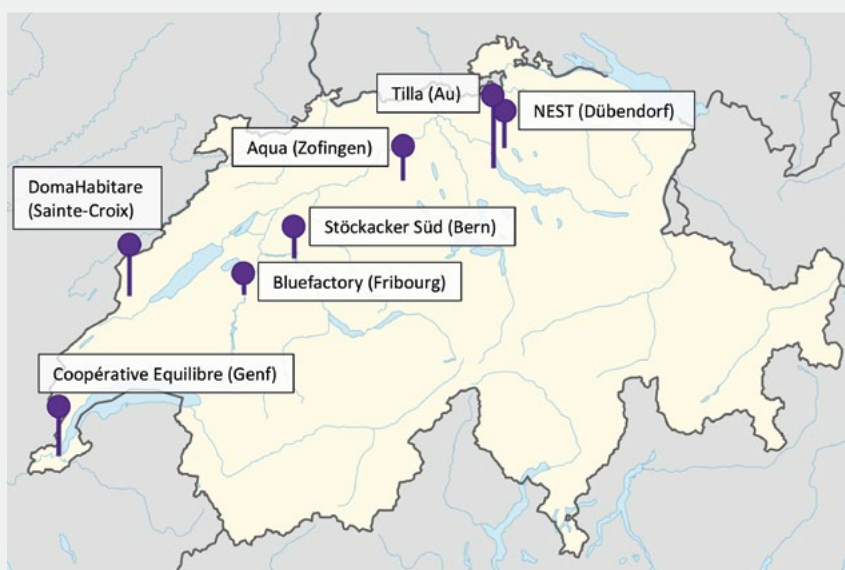


Fig. 1 Projekte in der Schweiz mit modularen und dezentralen Wasserwiederverwendungs-technologien.

(bearbeitete Grafik: ©commons.wikimedia.org/wiki/File:Switzerland\_%28no\_subdivisions%29\_location\_map.svg)



Fig. 2 Wurmkompostierung Coopérative Equilibre in Genf. Dort wandeln Würmer die getrennten Fäkalien zu kohlenstoffreichem organischem Material um, das der Bodenregeneration dienlich ist.

(© Coopérative Equilibre)

<sup>1</sup> Der Artikel bezieht sich auf die Betriebseinheit bzw. auf die Organisation des Betreibers und nicht auf die Infrastruktur.

Rechtsform der Betreiber (mit delegierten Kompetenzen der beteiligten Gemeinden) mehr Spielraum und Möglichkeiten hat, Kapazitäten aufzubauen und Innovationsprozesse voranzutreiben als ein öffentlicher Betreiber [3].

Da manche ARA-Betreiber andernorts bereits eine wichtige Rolle bei der Implementierung modularer Abwassertechnologien einnehmen, werden zwei Beispiele aus dem Ausland näher geschildert. Handlungsimplicationen für die Wasserwirtschaft in der Schweiz runden den Artikel ab.

## HERAUSFORDERUNGEN UND KAPAZITÄTEN

Die Implementierung modularer Technologien fordert die bestehende rechtliche Ausgestaltung der Schweizer Wasserinfrastrukturen, deren Bewirtschaftungsform, Eigentumsverhältnisse, Aufsichts- und Rechenschaftspflicht sowie Finanzierungsstrukturen heraus. Die heutigen operativen *Gate-Keepers* – d.h. die ARA-Betreiber gemeinsam mit den Gemeinden und im Zusammenspiel mit den Kantonen – unterscheiden sich

hinsichtlich ihrer Organisationsform und dadurch, wie sie durch staatliche Eingriffe reguliert werden und wie sie intern strukturiert sind. ARA-Betreiber der öffentlichen Rechtsform werden durch das öffentliche Recht reguliert, während private Unternehmen dem Privatrecht sowie Verträgen unterliegen [9]. Anlagen der öffentlich-privaten Form erfahren eine Regulierung durch eine Mischung aus Privatrecht, öffentlichem Recht und Verträgen [9].

Die Organisationsform des ARA-Betreibers hat Einfluss auf die Flexibilität beim Treffen von Entscheidungen. Oft sind privat und privat-öffentlich organisierte Unternehmen flexibler, weil sie weniger stark vom politischen System abhängig sind als öffentliche Unternehmen [9]. Die Einschränkung durch das politisch-regulative System ergibt sich, weil längerfristige Projekte, die zur Implementierung neuer Produkte und Dienstleistungen führen könnten, zuerst auf politischer Ebene und gegebenenfalls durch die Stimmbevölkerung akzeptiert werden müssen. Durch die stärkere Flexibilität können private und privat-öffentliche Unternehmen einfacher auf Veränderungen eingehen und reagieren oftmals innovativer als öffentliche Unternehmen.<sup>2</sup> Dies kann einen Einfluss darauf haben, ob ein ARA-Betreiber über die nötigen dynamischen Kapazitäten – gemeint sind bestimmte organisatorische und strategische Eigenschaften, die deren Innovativität fördern – verfügt [3].

Ob ein privat-rechtlich organisierter ARA-Betreiber tatsächlich die Kapazitäten hat, modulare Technologien in der Schweiz umzusetzen, wurde im Rahmen einer Bachelor-Arbeit an der ETH Zürich anhand von Interviews und einer Dokumentenanalyse am Beispiel der privat-rechtlichen ARA Bern analysiert [10]. Die Studienarbeit zeigt, dass die ARA Bern starke dynamische Kapazitäten besitzt, beispielsweise durch die Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten [10]. Weiter scheinen das aktuelle Management und die aktuellen Besitzverhältnisse geeignet, um modularere Technologien zu implementieren. Die Eignung der jetzigen



Fig. 3 Im modulare Forschungs- und Innovationsgebäude NEST werden neue Technologien, Materialien und Systeme unter realen Bedingungen getestet, erforscht, weiterentwickelt und validiert. (© Z. Braun, Stuttgart)



Fig. 4 Water Hub ist ein Teil von NEST. Dort testet die Eawag Systeme, die Wasser und Abwasser möglichst effizient und vielseitig nutzen. (© A. Todaro, Eawag)

<sup>2</sup> Die Vor- und Nachteile von öffentlichen, privaten und gemischten Organisationsformen werden in Lieberherr, E. (2013): Organisationsformen im Vergleich. Leistungsfähigkeit der Siedlungswasserwirtschaft in Zürich, Berlin und Leeds. *Aqua & Gas*, 2(13), 48-52 besprochen.

gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Implementierung modularer Technologien scheint allerdings kontrovers. Die Erkenntnisse aus den geführten Interviews lassen den Schluss zu, dass rechtliche Aspekte wie die Anschlusspflicht eine solche Entwicklung einschränken. Zudem wäre für die Einführung modularer Technologien eine Anpassung des Generellen Entwässerungsplans (GEP) nötig.

Aussagen aus den *Comix*-Workshops [1] weisen darauf hin, dass aus regulatorischer Sicht die gesetzlichen Rahmenbedingungen bereits heute den nötigen Spielraum bieten, um modulare Technologien zu implementieren. Gemäss Studienarbeit sieht sich die ARA Bern allerdings nicht als Impulsgeberin, auch wenn sie aufgrund ihrer Kompetenzen und ihrer Progressivität eine führende Rolle bei der Entwicklung Richtung modularer Anlagen einnehmen könnte. Stattdessen müsste ein externer Impuls, beispielsweise von den Gemeinden, vorausgehen [10]. Dass ARA-Betreiber sehr wohl eine proaktive Rolle bei der Einführung modularer Technologien einnehmen können, zeigen die zwei nachfolgend vorgestellten Fallbeispiele aus den USA und Australien. Dabei wird entgegen den Annahmen aus der Literatur aufgezeigt, dass auch öffentliche Betreiber die nötigen Kapazitäten besitzen, um die Verwendung und Verbreitung modularer und dezentraler Technologien voranzutreiben.

## ROLLE VON ARA-BETREIBERN IM AUSLAND

In San Francisco und Melbourne werden bereits heute modulare und dezentrale Abwassertechnologien in unterschiedlichem Ausmass (auf Gebäude- und Quartierebene) eingesetzt. Die lokalen Betreiber der Abwasserreinigungsanlagen haben dafür als Initiatoren eine zentrale Rolle eingenommen. Das Fallbeispiel San Francisco zeigt, dass der städtische ARA-Betreiber modulare Abwassertechnologien nicht nur auf lokaler Ebene mit hoher öffentlicher Akzeptanz breit implementieren konnte, sondern die Diskussion über die Verwendung solcher Technologien auch auf die nationale Agenda gebracht hat. In Melbourne hingegen konnte eine eher zurückhaltende Umsetzung in Kooperation mit einer privaten Immobilienfirma und unter Verwendung smarterer Technologien erreicht werden.

### FALLSTUDIE SAN FRANCISCO

Da Kalifornien wiederkehrend mit Dürreperioden und Wasserknappheit zu kämpfen hat, gibt es in diesem Bundesstaat eine lange Tradition der zentralisierten Abwasserwiederverwendung. Auf Grund der Topographie San Franciscos setzt die Stadt jedoch bereits seit Mitte der 2000er-Jahre zunehmend auf dezentrale Technologien für die Abwasserwiederverwendung auf Gebäude- und Quartierebene. Dabei wird beispielsweise Brauchwasser durch Regen-, Grau- und Schwarzwasseraufbereitung für Bewässerung, Toiletenspülung oder in Kühlungssystemen wiederverwendet. Der lokale Betreiber der Wasserreinigungsanlagen von San Francisco, die *San Francisco Public Utilities Commission* (SFPUC), hat massgeblich zur Verwendung solcher Technologien beigetragen.

Im Jahr 2006 baute der öffentliche Betreiber seinen Firmensitz unter Einbezug dezentraler Wassertechnologien um, wodurch deren Funktionsfähigkeit aufgezeigt werden sollte (Fig. 5). Beim Umbau des Gebäudes, das später «The Living Machine» genannt werden sollte, setzte der ARA-Betreiber auf eine «sanfte» Implementierungsstrategie, um die öffentliche Akzeptanz von dezentralen Abwasserwiederverwendungstechnologien sicherzustellen und um mögliche Hindernisse für deren Verbreitung zu identifizieren. Dabei stiess

SFPUC vor allem auf regulatorische und administrative Hindernisse. Zum einen sind die kalifornischen Wasserqualitätsstandards für zentralisierte Kläranlagen ausgelegt, was für dezentrale Technologien auf Grund der vorgeschriebenen häufigen Tests und Überwachungsmassnahmen zu hohen Kosten führt. Zum anderen sind für unterschiedliche Wasserströme auch unterschiedliche Ämter und Abteilungen zuständig (organisatorische Silos), wodurch für dezentrale Technologien, die häufig mehrere Wasserströme kombinieren, mehrere Genehmigungen notwendig sind. Daher arbeitete die SFPUC mit der Stadtverwaltung und verschiedenen Ämtern zusammen, um ein lokal integriertes Abwasserwiederverwendungsprogramm auf die Beine zu stellen. Diese Bemühungen wurden 2012 im Artikel 12C des kalifornischen *Health Code* institutionalisiert, wodurch die Sammlung, Aufbereitung und Verwendung von Grau- und Regenwasser für den Einsatz als Brauchwasser in kommerziellen, gemischt genutzten und Mehrfamiliengebäuden erlaubt wurde. Während zuvor die Verwendung dezentraler Abwassertechnologien freiwillig war, wurde der Artikel im Jahr 2015 verschärft: In neuen Gebäuden ab einer Fläche von ca. 23 000 m<sup>2</sup> müssen dezentrale Abwasserwiederverwendungstechnologien verwendet werden. Die schrittweise Anpassung und Verschärfung dieser Verordnung zeigt exemplarisch

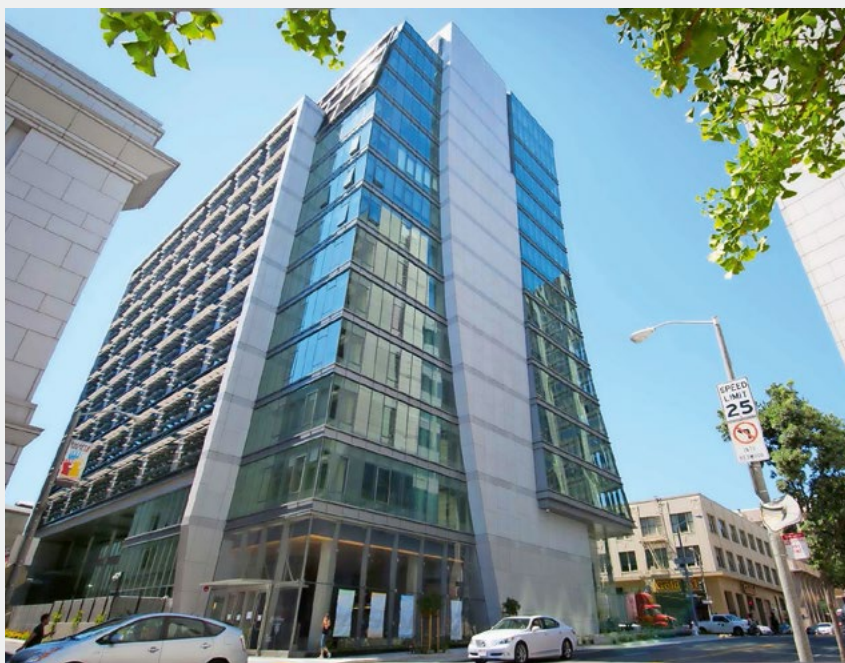


Fig. 5 Die *Living Machine* (dt. lebende Maschine) der *San Francisco Public Utilities Commission* (SFPUC) macht es vor: Abwasserwiederverwendung innerhalb des Gebäudes. © SFPUC

die Wirkungskraft einer sanften Heranführung der Bevölkerung und Politik an dezentrale Technologien. Die öffentliche Akzeptanz ist vor allem auch wichtig, da die Besitzer der Technologien gewisse Verpflichtungen erfüllen müssen, z.B. den Nachweis über einen Vertrag mit einem Dienstleister für den Betrieb und Unterhalt der Technologien sowie die regelmässige Übermittlung von Berichten an das Gesundheitsamt (*City's Department of Public Health, SFDPH*). Durch regelmässige Treffen und Austausch zwischen Betreibern, Bauherren, privaten Dienstleistern, Besitzern, Technologieentwicklern und Verwaltung, versucht SFPUC weiterhin proaktiv mögliche Hindernisse bei der Verbreitung dezentraler Systeme anzugehen. Zum Beispiel entwickelte SFPUC neue Leistungs- und Qualitätskriterien für unterschiedliche dezentrale Technologien basierend auf deren inhärentem Risiko für die Umwelt. Diese Kriterien als auch weitere Tätigkeiten der SFPUC (z.B. Gründung einer nationalen Kommission zu dezentralen Wasserwiederverwendungssystemen) haben bereits eine Wirkung auf die regionale und nationale Gesetzgebung.

#### FALLSTUDIE MELBOURNE

Auch im Fall Melbourne hat der lokale ARA-Betreiber, *South East West (SEW)*, die Verwendung dezentraler Wassertechnologien vorangetrieben. SEW ist in staatlichem Besitz. Die regionale Regierung wählt den unabhängigen Aufsichtsrat und vergibt die Betriebslizenz. Trotz der öffentlichen Organisationsform ist SEW

ein innovativer ARA-Betreiber, was sich z.B. in gleich zwei Unternehmensstellen zu R&D-Prozessen und Programmen äussert, dem Forschungs- und Entwicklungsmanager (*R&D Manager*) und der Innovationsleitung (*Innovation Lead*). Da auch Australien Dürreperioden und Wasserknappheit ausgesetzt ist, werden auf lokaler und regionaler politischer Ebene dezentrale Wasserwiederverwendungstechnologien immer wieder diskutiert. Grundsätzlich ist der regulatorische Rahmen für die Implementierung solcher Technologien förderlich, da zentrale Wassergesetze nicht technik-spezifisch sind. Dadurch müssen diese nicht angepasst werden, was mehr Innovationsspielraum gibt.

Vor diesem Hintergrund entwickelte SEW zusammen mit der privaten Immobilienfirma *Villawood Propertieres* auf dem ehemaligen Gelände einer stillgelegten Kläranlage am Stadtrand von Melbourne ein innovatives und nachhaltiges Land- und Wohnprojekt (namens *Aquarevo*) (Fig. 6). Die neuen Immobilien verwenden modulare Abwasseraufbereitungstechnologien z.B. zur Regenwasseraufbereitung (für die Warmwassergewinnung) oder zur Ableitung von Abwasser über einer Druckkanalleitung zu einer dezentralen Abwasseraufbereitungsanlage im Quartier (das aufbereitete Wasser wird dann wieder als Brauchwasser in die Häuser zurückgespeist). Zusätzlich verwendet SEW smarte Technologie und Sensorik z.B. für die Kommunikation mit Hausbesitzern via App oder zur Überwachung der eingebauten Regenwassertanks (die

auch aus der Ferne bei Bedarf geleert werden können, z.B. bei Niederschlag). Die dezentralen Wassertechnologien gehören SEW, für die sie auch Risiko und Kosten (Kapitalinvestment und Unterhaltskosten) tragen. Der Betreiber übernimmt daher auch die Verantwortung für Installation, Wartung und Monitoring. Die Hausbesitzer wiederum sind verantwortlich für die Beauftragung von Fachkräften (z.B. für das Legen von Leitungen und Anschlüssen), Zugangsgewährung zu den dezentralen Wassertechnologien und für die rechtmässige Verwendung von rezykliertem Wasser. Nutzungsbedingungen, Rechte und Pflichten werden über Verträge (*Conditions of Connection*) zwischen SEW und Hausbesitzenden vereinbart.

#### HANDLUNGSMPLIKATIONEN

Die eingehende Untersuchung der nationalen und internationalen Fallbeispiele hat gezeigt, dass die Implementierung modularer Technologien in der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft keine radikale Änderung der heutigen Politik, Verwaltung und Management benötigt. Die Beispiele zeigen auf, dass die ARA-Betreiber eine durchaus zentrale Rolle für die Verbreitung modularer und dezentraler Wassertechnologien spielen könnten. Die *Gate-Keepers*, d.h. die Betreiber der ARA (gemeinsam mit den Gemeinden und im Zusammenspiel mit den Kantonen) können schon mit jetzigen Organisationsformen und unter bestehenden Regeln modulare Anlagen betreiben. Die Regeln lassen oftmals bereits heute umfassende Innovationsprozesse zu. Die Analyse der ARA Bern sowie die Aussagen aus den *Comix-Workshops* (s. [1]) weisen dennoch darauf hin, dass langfristig untersucht werden müsste, wie und wann das bestehende Gewässerschutzgesetz angepasst werden sollte [1].

Die beiden internationalen Beispiele zeigen auf, dass anstelle langwieriger, regulatorischer Änderungen, die Förderung modularer Technologien durch sanfte Implementierungsstrategien eine mögliche alternative Verbreitungsstrategie darstellt. Die Fallbeispiele aus den USA und Australien zeigen z.B., dass gut begleitete Pilotprojekte und die Beteiligung der ARA-Betreiber entscheidend sind für die Implementierung modularer Wassertechnologien. In der Schweiz findet die Erprobung neuer Systeme schon heute in



Fig. 6 Die Siedlung *Aquarevo* am Aussenrand Melbournes hat sich der Nachhaltigkeit verschrieben: Indem es drei Wasserarten in der Siedlung werden, Trinkwasser, rezykliertes Wasser und Regenwasser, können – verglichen mit einer anderen Siedlung der gleichen Grösse – 70% Trinkwasser eingespart werden. (© SEW)

verschiedenen Projekten statt. Konzepte wie «Circular Cities», «Schwamm-Stadt», «Blau-Grüne Infrastruktur» werden sehr positiv aufgenommen [12]. Dabei könnte z. B. in der Schweiz ein nationaler Ansatz durchaus wichtig sein, um das Thema eingehend zu erfassen und Lernprozesse zu beschleunigen. Vorstellbar wäre eine nationale Plattform, um verschiedene Erfahrungen zu sammeln und Akteure die Möglichkeit zu bieten sich über konkrete Projekte auszutauschen. Das könnte beim Schweizerischen Verband Kommunale Infrastruktur (SVKI), beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) oder beim Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) angesiedelt oder zumindest über eine zentrale Kontaktperson koordiniert werden.

In diesem Beitrag wurde nur exemplarisch der Fall einer privat-rechtlichen ARA-Betreiberin in der Schweiz dargelegt. Um die Kapazität der heutigen *Gate Keepers* zu prüfen und zu fördern, könnten nationalen Akteure Gespräche mit den Kantonen führen, um so gewisse sich abzeichnende organisatorische Reformen frühzeitig zu erkennen. Abschliessend weist die Analyse darauf hin, dass ein proaktiver, strategischer Umgang auf allen politischen Ebenen wichtig ist,

damit auftretende Herausforderungen frühzeitig erkannt werden und nötige Kapazitäten zeitgerecht gebildet werden können. Eine vertiefte Darlegung, wie ein Wandel Richtung modularer Wassertechnologien in der Schweiz angegangen werden könnte, wurde im Rahmen der *Comix*-Workshopreihe als Positionspaper [11] veröffentlicht.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Truffer, B.; Maurer, M.; Heiberg, J. (2022): *Modulare Wasserinfrastrukturen. Optionen einer zukunfts-fähigen Siedlungswasserwirtschaft*. *Aqua & Gas* 9, 60-65
- [2] Hoffmann, S. et al. (2020): *A Research Agenda for the Future of Urban Water Management: Exploring the Potential of Nongrid, Small-Grid, and Hybrid Solutions*. *Environmental Science & Technology*, 54 (9): 5312–5322. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05222>
- [3] Lieberherr, E.; Truffer, B. (2015): *The impact of privatization on sustainability transitions: A comparative analysis of dynamic capabilities in three water utilities*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 15: 101–122. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2013.12.002>
- [4] Larsen, T.A. et al. (2013): *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, London: IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780401072>
- [5] Doll, C. et al. (2020): *Water Hub im NEST-Gebäude. Eine Plattform zum Testen von innovativen ressourcenorientierten Sanitärsystemen*. *Aqua & Gas*, 100(2), 52–57
- [6] BSB + Partner, Ingenieure und Planer (2014): *Ersatzneubau Stöckacker Süd: Informationsbroschüre zum Projekt*. *Immobilien Stadt Bern*, 2, 1–26
- [7] Connor, R. et al. (2017): *The united nations world water development report 2017. wastewater: the untapped resource*. *The United Nations World Water Development Report*.
- [8] Müller, A.; Ebel, R. (2022): *Modulare Kleinkläranlagen – lohnt es sich?* *Aqua & Gas* 9, 66-69
- [9] Lieberherr, E. (2013): *Organisationsformen im Vergleich. Leistungsfähigkeit der Siedlungswasserwirtschaft in Zürich, Berlin und Leeds*. *Aqua & Gas* 2, 48–52
- [10] Schenk, R. (2021): *Alternative Abwassersysteme: Analyse der für den Einsatz alternativer Abwassersysteme relevanten dynamischen Kapazitäten und Rahmenbedingungen am Beispiel der ARA Bern* [Bachelorarbeit, ETHZ]
- [11] Truffer, B. et al. (2022): *Positionspapier: Perspektiven modularer Abwassersysteme in der Schweiz*. <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ied/narp-dam/documents/positions-papier-comix-final.pdf>
- [12] Hasler, S.; Sicher, P. (2021). *Wassermanagement: Projekt «Schwammstadt»*. *Aqua & Gas*, [https://www.aquaetgas.ch/de/wasser/abwasser/20210928\\_ag10\\_projekt-schwammstadt](https://www.aquaetgas.ch/de/wasser/abwasser/20210928_ag10_projekt-schwammstadt)

**WASSER ▼ BODEN ▼ LUFT**  
Analytische Untersuchungen und Beratung

**NEU ANALYTIK VON PESTIZIDEN  
▼ IM ABWASSER**

**envilab**  
ANALYTIK AUS LEIDENSCHAFT

ENVILAB AG  
Mühlethalstrasse 25, 4800 Zofingen  
T 062 745 70 50, [www.envilab.ch](http://www.envilab.ch)