

MODULARE WASSER- INFRASTRUKTUREN

OPTIONEN FÜR EINE ZUKUNFTSFÄHIGE SIEDLUNGS- WASSERWIRTSCHAFT

Modulare Systeme ermöglichen eine dezentralere und damit flexiblere Gestaltung der Siedlungswasserwirtschaft. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 73 «Nachhaltige Wirtschaft» untersuchte das Forschungsteam des Projekts COMIX die zu erwartenden Chancen und Risiken, die sich aus diesen Entwicklungen für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Wasser in der Schweiz ergeben könnten.

Bernhard Truffer, Eawag*

Max Maurer, Eawag

Jonas Heiberg, Eawag

RÉSUMÉ

INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES MODULAIRES: OPTIONS POUR UNE GESTION DES EAUX URBAINES PÉRENNE

Le progrès rapide dans le domaine des technologies de traitement de l'eau, mais aussi des techniques de contrôle et de mesure, permet une organisation, une exploitation et une régulation plus flexibles de notre gestion des eaux urbaines. L'orientation organisationnelle et technique de plus en plus décentralisée est surtout rendue possible par les technologies modulaires. Parallèlement, les défis rencontrés dans la gestion des eaux urbaines en conséquence du changement climatique, des nouvelles substances nocives et de l'évolution des besoins des clients augmentent considérablement. Quelles futures options de système potentiellement plus durables en résultent? Et à quelles opportunités et à quels risques la Suisse doit-elle se préparer? Ces questions ont été traitées d'un point de vue interdisciplinaire et transdisciplinaire dans le cadre d'un projet du Programme national de recherche «Économie durable» (PNR 73). Cet article présente les tendances de développement mondiales essentielles et montre comment ces dernières peuvent influencer le secteur de l'eau en Suisse à l'avenir. De plus, nous aborderons les questions des coûts d'une transition vers des structures hybrides et les structures de gestion et de régulation nécessaires dans deux articles successifs (un dans cette édition, p. 66, et le deuxième dans l'édition d'octobre).

MÖGLICHE RADIKALE ÄNDERUNGEN

Modulare Wassertechnologien erlebten in den letzten Jahren einen enormen Entwicklungsschub. Sie können in der Trinkwassergewinnung, der Grauwasseraufbereitung und der nährstoffeliminierenden Abwasserreinigung eingesetzt werden und sind weitgehend ab Stange verfügbar. Neue Sensoren und Kommunikationstechnologien ermöglichen ferner den sicheren Betrieb und die Überwachung einer sehr grossen Anzahl solch modularer Anlagen.

Auf der Nachfrageseite lässt sich erkennen, dass die kleinräumige Schliessung von Wasserkreisläufen zunehmend bei Behörden, Baugenossenschaften, Investoren und Stadtplanern auf Interesse stösst. Darüber hinaus wird es in vielen ländlichen Gebieten immer schwieriger, die enormen Investitionen für Kanalisationserneuerungen zu rechtfertigen – insbesondere in entwicklungsschwachen Regionen.

Auch international führen Unsicherheiten aufgrund des Klimawandels, zunehmende Hitze und Dürre sowie eine enorme Verstärkung zur Hinterfragung der Nachhaltigkeit des aktuellen zentralen Ansatzes. Als Folge ist auf der ganzen Welt eine rasch steigende Zahl von Initiativen auf der Ebene einzelner Gebäude, Quartiere und sogar ganzer Stadtteile zu beobachten, die mit

* Kontakt: bernhard.truffer@eawag.ch

(© Adobe Stock)

dezentralen und modularen Ansätzen den lokalen Wasserhaushalt neu gestalten. In der Schweiz sind modulare Systeme noch wenig verbreitet. Das mittelfristige Umbruchpotenzial sollte aber nicht unterschätzt werden. Ein Blick auf den Strom- und Automobilssektor zeigt, dass neuen Technologien, wie etwa erneuerbaren Energien oder Elektroautos, lange Zeit wenig Bedeutung zugemessen wurde. Doch im letzten Jahrzehnt änderte sich dies radikal und es kam zu rasanten Umbrüchen in beiden Sektoren.

Wie sollen die Akteure der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft auf diese Entwicklungen reagieren? Können sie getrost abwarten, bis die neuen Systeme an anderen Orten ihre Vorteile bewiesen haben? Oder sollten sie sich proaktiv auf die zu erwartenden Umbrüche vorbereiten, um nicht von ihnen überrollt zu werden? Das kürzlich abgeschlossene Forschungsprojekt COMIX (siehe Box), das im Rahmen des Nationalen Forschungs-

programms «Nachhaltige Wirtschaft» bearbeitet wurde, untersuchte diese Fragen aus ingenieur- und sozialwissenschaftlicher Sicht sowie im Austausch mit ausgewählten Expertinnen und Experten der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft.

AUFBAU DES PROJEKTS

Das Projekt war in vier zentrale Arbeitsbereiche aufgeteilt:

- 1) Untersuchung globaler Industriedynamiken im Bereich modularer Wassertechnologien wie auch der Position von Schweizer Initiativen in diesem Umfeld;
- 2) Entwicklung eines Kostenmodells, das auf Gemeindeebene den Übergang von heute zentralen zu künftigen hybriden Abwasserstrukturen berechnet und Marktanteile künftiger, modularer Systeme abzuschätzen erlaubt;
- 3) Untersuchung von Regulierungs- und Managementansätzen, die mit modularen und dezentralen Anlagen zuverlässig umgehen können;

- 4) Diskussionen mit Expertinnen und Experten aus der Praxis zur Einschätzung von Chancen und Risiken für die Schweizer Siedlungswasserwirtschaft.

Im vorliegenden Artikel werden die jüngeren globalen Technologieentwicklungen erörtert. Darüber hinaus untersuchen wir die Bedeutung der Schweizer Kompetenzen im internationalen Umfeld. Diese Analysen dienen zur Formulierung zweier Szenarien für die Durchdringung modularer Systeme in der Schweiz. Der Artikel spannt ferner den Rahmen für zwei Folgeartikel im *Aqua & Gas* auf, in denen Ergebnisse der Arbeitsbereiche 2) und 3) des COMIX-Projekts vorgestellt werden (siehe Box).

TECHNOLOGISCHE TRENDS – GLOBAL UND NATIONAL

Im Rahmen des COMIX-Projekts wurden auf internationaler Ebene zwei techno-



Fig. 1 Die an der Eawag entwickelte Handwaschstation kommt ohne Anschluss an das Trink- und Abwassernetz aus, weil das leicht verschmutzte Brauchwasser recycelt wird.

PROJEKT COMIX – HERAUSFORDERUNGEN MODULARER WASSERINFRASTRUKTUREN

Das COMIX-Projekt ist eines von 29 Forschungsprojekten des Nationalen Forschungsprogramms 73 (NFP 73) «Nachhaltige Wirtschaft: ressourcenschonend, zukunftsfähig, innovativ», wobei es im Bereich «Kreislaufwirtschaft» angesiedelt ist. Das Akronym COMIX leitet sich ab vom englischen Projekttitel: *Challenges and Opportunities of Modular Water Infrastructures for Greening the Swiss Economy*. Weiterführende Informationen zum NFP 73 respektive zum COMIX-Projekt sind hier zu finden:

- <http://www.nfp73.ch/de>
- <http://www.nfp73.ch/de/projekte/kreislaufwirtschaft/herausforderungen-modularer-wasserinfrastrukturen>

Die Ergebnisse des COMIX-Projekts werden in drei Artikeln im *Aqua & Gas* vorgestellt:

- B. Truffer et al.: Modulare Wasserinfrastrukturen – Optionen einer zukunftsfähigen Siedlungswasserwirtschaft
- A. Müller & R. Elbel: Modulare Kleinkläranlagen – lohnt es sich? (diese Ausgabe, S. 66–69)
- E. Lieberherr et al.: Implementierung modularer Abwasserinfrastrukturen – Müssen Politik, Verwaltung und Management auf den Kopf gestellt werden? (*Aqua & Gas* 10/2022)

logische Entwicklungsansätze bei der Systemintegration modularer Technologien beobachtet: einerseits smarte Kleinkläranlagen und andererseits integrierte Ressourcenaufbereitungsanlagen. Diese beiden Ansätze bildeten den Kern der Szenarientwicklung im Arbeitsbereich 4) und der Diskussion des Potenzials modularer Technologien in der Schweiz

SMARTE KLEINKLÄRANLAGEN

Kleinkläranlagen haben den grossen Vorteil, weitgehend auf Kanalisationen verzichten zu können, ohne den Gewässerschutz zu vernachlässigen. Sie lassen sich reibungslos in den vorhandenen Gebäudebestand und den bestehenden regulatorischen Rahmen integrieren. So beschreiben z. B. die Norm DIN EN 12566 «Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW» und das Arbeitsblatt DWA-A 221 «Grundsätze für die Verwendung von Kleinkläranlagen» den Bau, Betrieb und Unterhalt von Kleinkläranlagen. In der Schweiz gibt es – nicht ganz vergleichbar – den VSA-Leitfaden «Abwasserentsorgung im ländlichen Raum», der auch auf den Bau und Betrieb von Kleinkläranlagen eingeht.

Technisch gibt es zudem eine grosse Vielfalt an Anlagen, die global «ab Stange» gekauft werden können und die mit verschiedenen Reinigungsverfahren und -leistungen ausgestattet sind. Eine relevante jüngere Entwicklung betrifft die Fernüberwachung solcher Anlagen. Auf der einen Seite gibt es heute «smart home systems», die fähig sind, Anlagen in einzelnen Haushalten einfach und zuverlässig zu überwachen und zu steuern. Auf der anderen Seite gibt es zunehmend moderne Sensorkonzepte, die die Leistung von Kleinkläranlagen überwachen können. So zeigten z. B. Forschende der Eawag, dass selbst mit ungewarteten pH-Sensoren die Nitrifikation zuverlässig überwacht werden kann [1].

RESSOURCENORIENTIERTE AUFBEREITUNG

Neue Technologien werden angeboten, welche die Rückgewinnung von Ressourcen aus dem Abwasser bezwecken. Die wichtigsten Entwicklungen sind:

Wärme

Der Wasserverbrauch besteht oft zu einem bedeutenden Anteil aus Warmwasser und ist damit substanzial mit

dem Energieverbrauch verbunden [2]. Beispiele für die technische Umsetzung sind Recyclingduschen [3], in denen Duschwasser aufbereitet und wiederverwendet wird, und die Aufbereitung von Grauwasser – beides mit dem Ziel, den Netto-Wärmeverbrauch zu mindern.

Erhöhung der Wassereffizienz

Ziel solcher Technologien ist, das verfügbare Wasser als Ressource mehrfach zu nutzen. Es gibt eine grosse Anzahl kommerzieller Anlagen, die vor allem Grauwasser, aber auch Abwasser aufbereiten. Die Reinigungsleistung ist dabei nutzungsspezifisch, und mögliche Nutzungen des aufbereiteten Wassers reichen von der Gartenbewässerung bis hin zu hygienisch einwandfreiem «Pflegewasser», das für Wäsche und Körperhygiene eingesetzt werden kann (Fig. 1; [4]).

Nährstoffe

Bekannt ist die an der Eawag entwickelte Aufbereitung von Urin zu Dünger [5]. Darüber hinaus gibt es eine breite Palette an weiteren Technologien, welche die Aufbereitung menschlicher Ausscheidungen unter Nährstoffrückgewinnung ermöglichen.

Energiegewinnung

In diesem Bereich dominiert die anaerobe Abwasserbehandlung mit der Produktion von Methan. Zusammen mit dem Abwasser wird hierfür häufig auch anderes

organisches Material wie Gülle oder Küchenabfälle beigelegt. Umgesetzte Beispiele sind die Quartiere Jenfelder Au (Hamburg, Deutschland) und Stöckacker Süd (Bümpliz, Bern) [6].

Viele dieser modularen Konzepte stützen sich auf das Separieren an der Quelle. Duschwasser, Grauwasser, Urin, etc. werden als Teilströme getrennt voneinander, typischerweise direkt im Haushalt aufbereitet. Das Angebot an Technologien ist heutzutage so umfangreich, dass sich mit kommerziell verfügbaren Anlagen ein vollständig ressourcenorientiertes Gebäude ausstatten lässt, das in Kombination mit der Gewinnung von Trinkwasser aus Regenwasser weitgehend netzunabhängig wird. Viele dieser Konzepte werden von Eawag-Forschenden im *Water Hub* des NEST-Gebäudes entwickelt und getestet (Fig. 2; [7]).

SZENARIEN FÜR DIE SCHWEIZ

Im Rahmen des COMIX-Projekts wurden genannte Entwicklungstrends hinsichtlich ihrer Relevanz für die Schweiz analysiert. Dies geschah im Rahmen einer dreiteiligen Workshopreihe mit 14 Vertreterinnen und Vertretern aus Bund, Kantonen, Gemeinden, Beratungs-, Planungs- und Technologiefirmen sowie Verbänden. Die drei Workshops dauerten jeweils einen ganzen Tag und fanden zwischen Januar 2020 und September 2021 statt. Im ersten Workshop ent-



Fig. 2 Im NEST, dem modularen Forschungs- und Innovationsgebäude der Empa und der Eawag, werden neue Technologien, Materialien und Systeme unter realen Bedingungen getestet, erforscht, weiterentwickelt und validiert. Im Keller des Gebäudes befindet sich der *Water Hub* für die ressourcenorientierte, dezentrale Abwasserbehandlung. (© Zoëy Braun)

wickelten die Teilnehmenden zwei Szenarien, wie sich modulare Wassertechnologien in der Schweiz ausgestalten und über welche Prozesse sie sich verbreiten könnten. Der zweite Workshop diente dazu, Fragen der Kosten des Übergangs von der heute weitgehend zentralen Struktur hin zu hybriden Strukturen (zentrale Komponenten kombiniert mit modularen) zu diskutieren. Im letzten wurden Handlungsimplicationen für unterschiedliche Schweizer Akteursgruppen ausformuliert.

Szenario NewKlara

Das erste, eher inkrementelle Szenario wurde *NewKlara* genannt und bezog sich auf eine informations- und sensor-technische Aufrüstung kleiner moderner Kläranlagen. Für dieses Szenario sprechen vor allem Kosteneinsparungen bei den Kanalisationen.

Szenario iResMachines

Das zweite Szenario repräsentiert einen eher radikalen und disruptiven Wandel mit ressourcenorientierten Systemen. Solche Anlagen wurden als *iResMachines* bezeichnet, in Anlehnung an eine bekannte Smartphone-Marke, die über die Zeit Telefon- und Fotoapparate, Uhren, Kalender, Rechenmaschinen, Internetzugang und Fernseher in ein tragbares Gerät integrierte. *iResMachines* würden eher in urbanen Gebieten eingesetzt, etwa anlässlich der Neugestaltung ehemaliger Industriebrachen, und von

vielfältigen Synergien, etwa mit der Begrünung von Aussenflächen, dem Kühlungsmanagement und der Verkehrsberuhigung, profitieren.

Das *NewKlara*-Szenario wurde im COMIX-Projekt für die Kostenberechnungen möglicher Transitionen genutzt, während die Industriedynamiken und die Regulierungs- und Managementstrukturen für beide Szenarien ausformuliert wurden.

WO WERDEN DIESE SYSTEME ENTWICKELT?

Die Durchsetzung radikal neuer Strukturen in einem Infrastrukturssektor wie der Siedlungswasserwirtschaft hängt nicht nur vom Vorhandensein neuer Technologien ab, sondern auch davon, dass diese Systeme frühzeitig in Anwendungskontexten konkret ausprobiert und getestet werden können. Im COMIX-Projekt wurde deshalb untersucht, wo auf der Welt ein hohes Potenzial für solche experimentellen Anwendungen modularer Systeme besteht.

POTENZIELLE GLOBALE ENTWICKLUNGSMÄRKTE

Zu diesem Zweck wurden in etwa 800 englischsprachigen Tageszeitungen 560 Artikel identifiziert, die sich zu möglichen Lösungen von Abwasserproblemen im Zeitraum zwischen 2011 und 2018 geäußert hatten [8]. Im Zentrum dieses

Zeitfensters (2014–2016) fand eine ausgedehnte Dürre in weiten Teilen der USA, Südafrikas und Indiens statt. In diesen Artikeln wurden Aussagen unterschiedlicher Akteure zu Technologien, Wertorientierungen und organisatorischen Aspekten kodiert, die für die Lösung der jeweiligen Wasserprobleme vorgeschlagen wurden.

Figur 3 zeigt die Struktur der Diskussionen in den USA drei Jahre vor der Dürre (2011–2013), währenddessen (2014–2016) und zwei Jahre danach (2017–2018). Daraus lässt sich erkennen, dass vor der Dürreperiode schwergewichtig zentrale Ansätze als Lösung propagiert und modulare/dezentrale Begriffe nur selten genannt wurden (Fig. 3 links). Während der Dürre stieg die Aufmerksamkeit für dezentrale Ansätze. Die verschiedenen Konzepte wurden häufiger genannt und auch zentrale und dezentrale Ansätze miteinander verknüpft (Fig. 3 Mitte). Die Verbindungen zwischen blauen und grünen Symbolen, die für zentrale resp. dezentrale Ansätze stehen, bleiben jedoch schwach, d. h. es wurden kaum Synergien diskutiert. Nach der Dürre gelangten die dezentralen Ansätze ins Zentrum der Debatte, während die zentralen Systeme eher an den Rand gedrängt wurden (Fig. 3 rechts). Diese Entwicklung lässt sich als starker Legitimierungsschub durch Dürreperioden für modulare Systeme interpretieren. Damit einher geht eine grössere Bereitschaft von Entscheidungsträgern, solche Systeme auch einzusetzen.

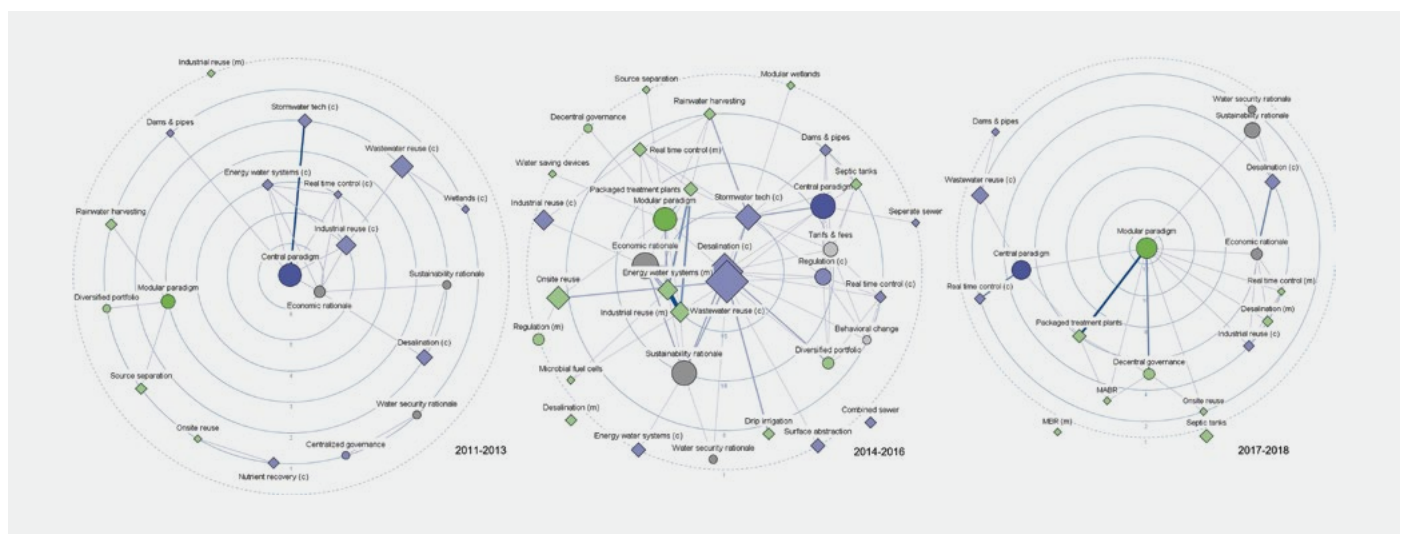


Fig. 3 Entwicklung der Diskussionen zu Wassertechnologien in US-Zeitungen von 2011–2018 (Quelle: [8]). Begriffe, die sich auf eine Lösung mit zentralen Ansätzen beziehen, sind in Blau dargestellt, diejenigen zu dezentralen/modularen Ansätzen in Grün. Allgemeine wertbezogene Begriffe sind grau wiedergegeben. Rauten bezeichnen Technologiebegriffe, Kreise institutionelle Konzepte. Die Distanz der konzentrischen Kreise vom Zentrum des Radarbildes entspricht der Zentralität der jeweiligen Begriffe in der ganzen Diskussion, und die Grösse der Symbole gibt die Häufigkeit an, mit der sie genannt wurden. Die Dicke der Verbindungslinien zwischen den Symbolen ist proportional zur Häufigkeit der gemeinsamen Nennung zweier Begriffe.

Dieselbe Analyse in anderen Ländern deckte auf, dass die Entwicklungen sehr unterschiedlich verlaufen können. In Südafrika zum Beispiel führte eine ähnliche Dürrephase zwar zu einem erhöhten Interesse an modularen Ansätzen. Dieses verschwand aber nach Abklingen der Dürre wieder [8]. Globale Akteure wie transnationale Wassertechnologiefirmen oder internationale Branchenverbände zeigen relativ wenige Veränderungen über die Zeit hinsichtlich der von ihnen bevorzugten Systeme [8]. Wir schliessen daraus, dass modulare Systeme in einzelnen Regionen der Welt eine hohe Legitimität erreicht haben, die das Entstehen von frühen Märkten unterstützt,

auch wenn die globalen Experten bislang wenig Interesse zeigen. Ein besonders hohes Potenzial ist in den USA, vor allem in Kalifornien, erkennbar. Wir sehen denn auch hier eine Reihe von Initiativen in Städten wie San Francisco oder New York, in denen der Einsatz modularer Systeme bei bestimmten Gebäudetypen bereits gesetzlich vorgeschrieben ist [9].

AKTIVITÄTEN IN DER SCHWEIZ

Wie sieht die Situation in der Schweiz aus? Können wir in diesem globalen Innovationsfeld mithalten? Über die letzten Jahre sind ein steigendes Interesse und zunehmend Aktivitäten im Bereich lokal geschlossener Wasserkreis-

läufe erkennbar, und dies besonders im urbanen Raum [10]. Immer mehr Projekte werden als städtische Zukunftslabore vermarktet, in denen neben neuen Ansätzen im Energie- und Verkehrsbereich auch neue Wasserkonzepte ausprobiert oder zumindest gefordert werden. Zusätzlich zu diesen realweltlichen Experimenten besteht in der Schweiz auch eine hohe technische Expertise im Bereich modularer Technologien, sowohl in der wissenschaftlichen Forschung als auch bei privaten Firmen. Könnte die Schweiz also in diesem Technologiefeld vorne mitspielen?

Mittels vertiefter Analyse der Interessen und Strategien unterschiedlicher Akteure lassen sich drei relativ unabhängige Interessengruppen identifizieren (siehe Fig. 4 und [10]):

- Initiativen, die von umweltinteressierten Genossenschaften getragen sind und auf naturnahe Ansätze wie etwa Trockentoiletten, Pflanzkläranlagen oder Wurmkompostierung setzen (grüne Symbole in Fig. 4).
- Ingenieurwissenschaftliche Akteure, die sich vor allem mit Urinseparierung befassen und erste funktionierende Systeme implementiert haben (blaue Symbole in Fig. 4).
- Internationale Akteure, die auf der wissenschaftlichen Expertise der Schweizer Forschenden aufbauend internationale Märkte bedienen (rote Symbole in Fig. 4).

Aus Fig. 4 lässt sich ablesen, dass sich in der Schweiz eine grosse Zahl von Akteuren mit der Entwicklung und Implementierung modularer Wassertechnologien befasst. Diese Aktivitäten werden allerdings noch relativ isoliert voneinander verfolgt, und Synergien werden ungenügend abgeschöpft. Die Verbindung zu potenziellen frühen internationalen Märkten wäre allerdings über die internationalen Akteure in der Schweiz mobilisierbar. Die Schweiz könnte als Testmarkt und Entwicklungsbasis für neue Systeme genutzt werden angesichts der hohen Glaubwürdigkeit und des Know-hows der Schweizer Technologieanbieter. Ob diese Chance genutzt wird, hängt nicht zuletzt von der Bereitschaft der Schweizer Firmen ab, entsprechende Investitionen zu tätigen. Es erfordert aber auch eine Bereitschaft von Behörden und Verbänden, realweltliche Experimente mit neuen

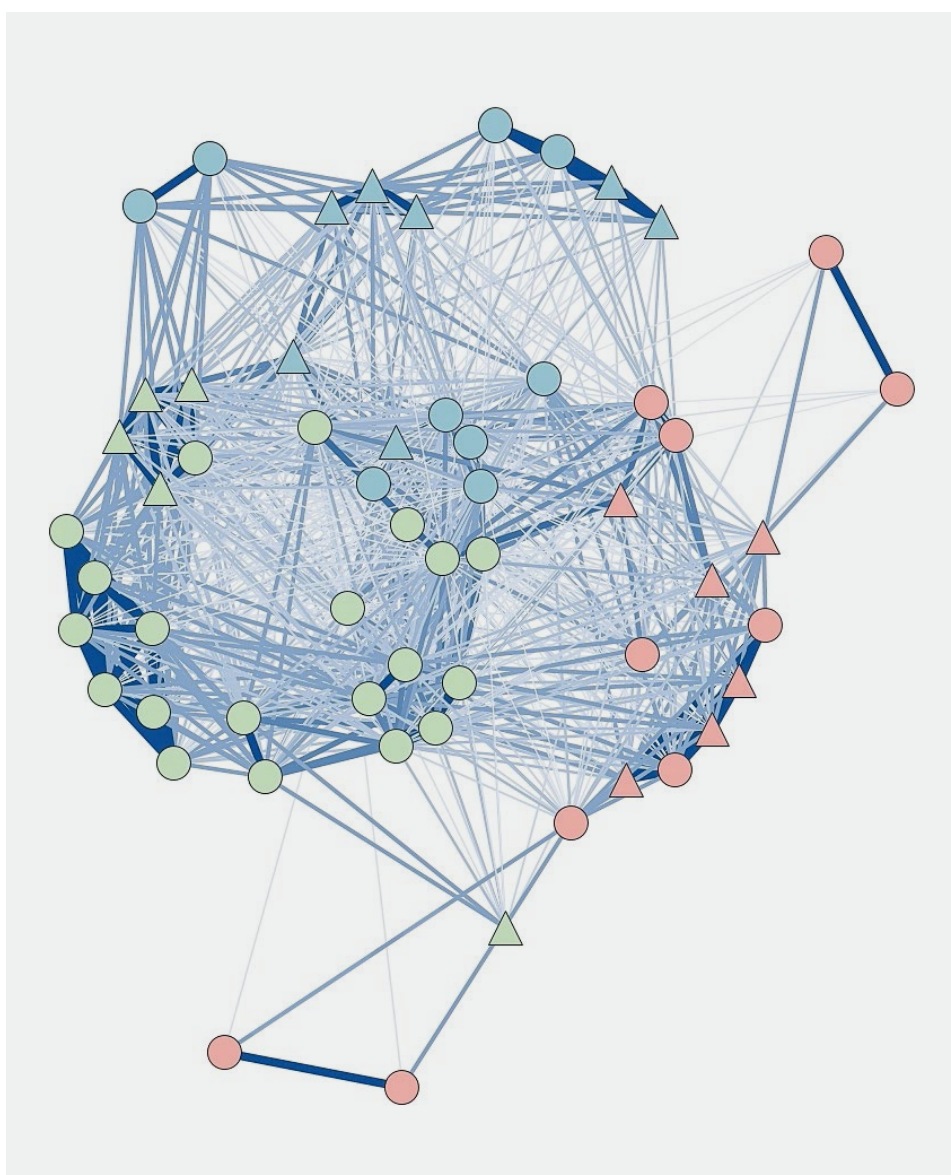


Fig. 4 Ähnlichkeiten der Interessen und Strategien der Schweizer Akteure auf dem Gebiet modularer Technologien (Quelle: [10]). Die Symbole stellen die in der Schweiz aktiven Akteure im Bereich modularer Wassertechnologien dar. Kreise stehen für nationale, Dreiecke für internationale Akteure. Die Nähe zwischen den Symbolen sowie die Strichdicke der Verbindungen sind proportional zur Ähnlichkeit der Werteinstellungen und Interessen der Akteure.

Technologien zu bewilligen und deren Relevanz für die Schweiz kritisch zu diskutieren.

IMPLIKATIONEN FÜR ENTSCHEIDUNGSTRÄGER

Die eingehende Untersuchung der nationalen und internationalen Innovationsaktivitäten ergab, dass modulare Systeme durchaus relevant sind für die Zukunft der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft. Auch wenn die modularen Systeme noch keine vollständige technische Reife erreicht haben und sich die Einstiegsmärkte zurzeit auf relativ enge Anwendungsfelder beschränken, besteht doch grosse Expertise auf diesem Gebiet. Wie die eingangs erwähnten Beispiele jüngerer Umbrüche im Strom- und im Automobilsektor zeigen, können sich solche alternativen Systeme relativ schnell technologisch und kostenmässig weiterentwickeln. Ein Sektor mit hohem Infrastrukturanteil und langen technischen Lebenszeiten läuft dann schnell Gefahr, von den Entwicklungen überrollt zu werden. Um diese Risiken einzugrenzen, ist eine sorgfältige Beobachtung der technologischen Entwicklungen notwendig. Die Schweizer Behörden, Planer und Verbände tun gut daran, die zunehmende Zahl von Experimenten als Chance

und Lerngelegenheit zu verstehen. Viele wichtige Fragen sind allerdings noch offen, insbesondere bezüglich des ökologischen Nutzens, den eine Transition zu hybriden Strukturen bringen würde. Ob sich diese durchsetzen werden, wird nicht am grünen Tisch entschieden. Die Durchführung von Pilotprogrammen und die sorgfältige Begleitung lokaler Experimente ist entscheidend dafür, wie sich diese Systeme verbreiten werden.

Zwei weitere Artikel zum COMIX-Projekt werden auf Fragen der Kosteneffizienz (diese Ausgabe, S. 66) und neuer Betriebs- und Regulierungsformen (*Aqua & Gas 10/2022*) näher eingehen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Schneider, M.Y. et al. (2019): *Beyond signal quality: The value of unmaintained pH, dissolved oxygen, and oxidation-reduction potential sensors for remote performance monitoring of on-site sequencing batch reactors*. *Water Research* 161: 639-651. <https://doi.org/10.31224/osf.io/ndm7f>
- [2] Hadengue et al. (2021): *In-building heat recovery mitigates adverse temperature effects on biological wastewater treatment: A network-scale analysis of thermal-hydraulics in sewers*. *Water Research* 204: 117552. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117552>
- [3] Beispiele: www.myupfallshower.com/, <https://orbital-systems.com/>,

<https://hamwells.com/en/loopz/>

- [4] Sutherland, C. et al. (2021): *Innovation for improved hand hygiene: Field testing the Autarky handwashing station in collaboration with informal settlement residents in Durban, South Africa*. *Science of The Total Environment* 796: 149024. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag:23229>
- [5] <https://www.eawag.ch/de/abteilung/eng/projekte/aurin-duenger-aus-urin>
- [6] Jenfelder Au: <https://www.hamburg.de/projekt-jenfelder-au/>; Söckacker Süd, Bümpliz: <https://www.stoekackersued.ch/>
- [7] <https://www.eawag.ch/en/departement/eng/projects/water-hub>
- [8] Heiberg, J. et al. (2022): *Assessing transitions through socio-technical configuration analysis – a methodological framework and a case study in the water sector*. *Research Policy* 51, 104363. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A23625>
- [9] Hacker, M.E., Binz, C. (2021): *Institutional Barriers to On-Site Alternative Water Systems: A Conceptual Framework and Systematic Analysis of the Literature*. *Environmental Science & Technology* 55(12): 8267-8277. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A22780>
- [10] Heiberg, J., Truffer, B. (2022): *Overcoming the harmony fallacy: How values shape the course of innovation systems*. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 42: 411-428. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A24447>

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