

Zukünftige Abwasserentsorgung im ländlichen Raum – *Synthese zur Ent- scheidungsunterstützung in den Fallstudien im Solothurner Jura*

Abschlussbericht



Quelle: AfU Solothurn

Danksagung:

Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wurde durch den Kanton Solothurn mitfinanziert. Wir bedanken uns ganz herzlich bei Alice Aubert, Gloria Fontana und Daniel Hofmann für deren Beiträge zum Projekt sowie bei Fridolin Haag und Sara Schmid für die Unterstützung vor und während der Workshops.

Ein ganz grosses Dankeschön geht zudem an die beiden Solothurner Fallstudiengemeinden Gänsbrunnen und Buchegg – und allen ins Projekt involvierten Personen. Wir sind äusserst dankbar für die produktive Zusammenarbeit beim Entscheidungsunterstützungsprozess, das Interesse und die Offenheit auch für unkonventionelle Ideen sowie die vielen interessanten Diskussionen und Begegnungen – ohne Sie alle wäre unsere Arbeit nicht möglich gewesen.

Impressum:

Projekt: DezSWWJuraSO – Entscheidungsfindung beim Übergang von zentralen zu alternativen Systemen in der Abwasserentsorgung

Version Bericht: v1.0

Datum Bericht: 24.11.2020

*Autor*innen:* Philipp Beutler (philipp.beutler@eawag.ch, +41 58 765 52 85)
Judith Lienert (judit.lienert@eawag.ch, +41 58 765 55 74)

Unter Mitwirkung von: Tove Larsen (tove.larsen@eawag.ch, +41 58 765 50 39)
Max Maurer (max.maurer@eawag.ch, +41 58 765 53 86)
Philipp Staufer (philipp.staufer@bd.so.ch, +41 32 627 26 91)
Martin Würsten (martin.wuersten@hunziker-betatech.ch)

Herausgeberin: Eawag
Abteilung Umweltsozialwissenschaften (ESS)
Cluster Entscheidungsanalyse
Überlandstrasse 133
8600 Dübendorf
SCHWEIZ

Datei: 2020_Eawag_DezSWWJuraSO_Beutler_Lienert_Projektbericht_final.docx

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Summary	6
Projekthintergrund	8
Anlass, Projektpartner und Untersuchungsregion.....	8
Fallstudiengemeinden	8
<i>Fallstudien 1 und 2 – ein Kurzvergleich</i>	8
<i>Fallstudie 3</i>	10
Projektziele	10
Einführung Projektthematik	10
Zentrale Abwassersysteme	10
Abwasserentsorgung im ländlichen Raum	11
Alternative Abwassersysteme	12
Transition von Abwassersystemen.....	12
Entscheidungsunterstützung für Gemeinden	14
Projektziel 1 «Zukünftige Abwasserentsorgung ländlicher Raum»	16
Vorgehen	16
Leistung und Potenziale der Abwassertechnologien	16
Durchführung einer Transition.....	24
Projektziel 2 «Unterstützung des Milizsystems bei schwierigen Entscheidungen»	27
Unterstützung durch Einbezug von Akteur*innen	27
<i>Prozessschritte in den Fallstudien und Potenziale zur Akteursbeteiligung</i>	27
<i>Empfehlungen zum Einbezug von Akteur*innen</i>	33
<i>Kurzzusammenfassung</i>	38
Unterstützung für erfolgreiche Transitionsprozesse.....	38
<i>Entscheidung verbleibt bei der Gemeinde</i>	39
<i>Gemeinde erhält Sachkenntnisse und Einblick in Präferenzen verschiedener Akteure</i>	39
<i>Politisch Verantwortliche können Probleme bei Transitionen antizipieren</i>	39
<i>Zeitliche Anpassung der MCDA an Prozesse in der Gemeinde möglich</i>	39
<i>Weitere Randbedingungen und Erfolgsfaktoren von Transitionen</i>	40
Projektziel 3 «Partizipative Entscheidungsprozesse durch Umweltbehörden»	41
Methoden und Werkzeuge zur Durchführung der MCDA	41
Zeitbedarf einer MCDA.....	42
<i>Die Herausforderung der «dünnen Personaldecke»</i>	42
<i>Analyse Zeitaufwand Fallstudie 2</i>	43
<i>Einsparpotenziale zukünftige MCDA</i>	45
<i>Voraussichtlicher Zeitbedarf «praxistaugliche MCDA»</i>	47
<i>Inhalte und Einschränkungen «praxistaugliche MCDA»</i>	47
Prozessgestaltung «praxistaugliche MCDA»	49
Fazit	54
Abkürzungsverzeichnis	56
Referenzliste	57
Anhang A – Übersicht Transitionsforschung in Deutschland	61
Anhang B – Zielhierarchien in den Fallstudiengemeinden	63
Anhang C – Grenzen der Übertragbarkeit der Projektergebnisse	64

Zusammenfassung

Das transdisziplinäre Forschungsprojekt DezSWWJuraSO («*Entscheidungsfindung beim Übergang von zentralen zu alternativen Systemen in der Abwasserentsorgung*»; 2016–2020) wurde in Zusammenarbeit der beiden Eawag-Abteilungen Umweltsozialwissenschaften (ESS¹) und Siedlungswasserwirtschaft (SWW²), dem Amt für Umwelt (AfU³) sowie zwei Fallstudiengemeinden im Kanton Solothurn durchgeführt.

Übergeordnetes Ziel war die Sammlung von Erfahrungen, wie Gemeinden im ländlichen Raum bei der Identifikation und Entscheidung eines auf ihre lokalen Gegebenheiten angepassten, zukünftigen Abwassersystems unterstützt werden können.⁴

Um die erarbeiteten Werkzeuge in zukünftigen Anwendungsfällen wiederverwenden zu können, wurden auf Basis der Fallstudienresultate **drei Projektziele** (S. 10) genauer analysiert und werden im vorliegenden Bericht vorgestellt:

- 1) Wie kann die Abwasserentsorgung im ländlichen Raum auch weiterhin ohne Abstriche beim Gesundheits- und Umweltschutz finanzierbar gestaltet werden?
- 2) Wie kann das Milizsystem bei der Entscheidungsfindung zu kommunalen Abwasserinfrastruktursystemen unterstützt werden?
- 3) Wie können partizipative Entscheidungsunterstützungsprozesse durch Verwaltungs- und Umweltbehörden (z. B. AfU) durchgeführt werden?

Resultate Projektziel 1

Das inhaltliche Hauptresultat in beiden Fallstudien – *dezentrale Abwassersysteme können die vielfältigen Erwartungen von Akteur*innen an ihr Abwassersystem gleichwertig oder sogar besser erfüllen als das heutige zentrale Abwassersystem* – war bemerkenswert.

Daher wurden die MCDA⁵-Ergebnisse aus den Fallstudien noch einmal im Zusammenhang mit Akteursfeedback aus Interviews, Online-Umfragen und Workshops qualitativ bewertet. Wir haben Empfehlungen erarbeitet, welche technischen Optionen für ähnliche MCDA-Anwendungen vielversprechend sind und zukünftig berücksichtigt werden sollten und welche nicht (Tabelle 2, S. 18). Ausserdem haben wir zusammengefasst, welche Erkenntnisse wir für die Durchführung von Transitionen (= Systemumbau) bereits gewinnen konnten (S. 24), welche Wechselwirkung zwischen der Zielhierarchie und einem guten Transitionszeitpunkt bestehen und, dass – in unseren beiden Fallstudien – die Länge des Planungshorizonts (20 vs. 60 Jahre) keinen Einfluss auf die Ergebnisse hatte.

Resultate Projektziel 2

Priorität im Entscheidungsunterstützungsprozess hatte der Erhalt der politischen Rechte und der Entscheidungshoheit der Gemeinde. Lokale Akteur*innen, die z. T. auch Funktionen im

¹ <https://www.eawag.ch/de/abteilung/ess/>

² <https://www.eawag.ch/de/abteilung/sww/>

³ <https://www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/>

⁴ Das Vorgehen in zwei Gemeinden, verwendete Methoden, fallstudien-spezifische Resultate sowie Schlussfolgerungen und Empfehlungen sind ausführlich dargestellt in den Fallstudienberichten: Beutler, P. und Lienert, J. (2020a, 2020b, 2020c).

⁵ MCDA steht im Englischen für «Multi Criteria Decision Analysis».

Milizsystem hatten, würden nicht nur das zukünftige Abwassersystem täglich nutzen, sondern auch für seine Finanzierung aufkommen müssen. Aus der Literatur wissen wir, dass eine frühe, umfassende Akteurseinbindung zu einer grösseren Akzeptanz getroffener Entscheidungen und damit des zukünftigen Abwassersystems führt. Daher wurden im Projekt verschiedene Werkzeuge getestet (Interviews, Online-Umfragen, Workshops, Gruppenarbeiten), um u. a. auch siedlungswasserwirtschaftliche Laien gut in den Prozess einzubinden und alle entscheidungsrelevanten Informationen bereitzustellen (Präferenzen, Übersicht Abwassertechnologien und deren Leistungen).

Im Projekt konnten wir zeigen, wie sämtliche Akteur*innen und deren Perspektiven zu fast allen Phasen des Entscheidungsunterstützungsprozesses in die Lösungsfindung eingebunden werden können (Tabelle 3, S. 29). Zusätzlich gibt es eine Übersicht, welche partizipativen Werkzeuge Vor- und Nachteile haben und für welche Anwendungsfälle sie sich eignen (Tabelle 4, S. 34). Obwohl nicht Hauptfokus in diesem Projekt, haben wir Hinweise aufgelistet, wie ein MCDA-Prozess zu einer gelungenen Infrastrukturtransition beitragen kann und welche weiteren Randbedingungen eine Rolle spielen können (S. 38).

Resultate Projektziel 3

Im Forschungsprojekt stand ausreichend Zeit zur Verfügung, um verschiedene partizipative Ansätze und entscheidungsunterstützende Methoden zu testen sowie neue Werkzeuge zu erarbeiten (z. B. Workshop-Materialien zur Erhebung von Präferenzen in Gruppen). Damit ein solcher Prozess zukünftig für ähnliche Anwendungsfälle machbar ist, muss er auch von Behörden, Planungs- oder Beratungsbüros usw. selbstständig durchführbar sein (S. 41). Zumeist stehen für diese *"praxistauglichen" Entscheidungsunterstützungsprozesse* nur begrenzte zeitliche und personelle Kapazitäten zur Verfügung.

Auf Basis aller Aktivitäten aus beiden Fallstudien und einer Dokumentation des zeitlichen Aufwands in der 2. Fallstudie (S. 42), haben wir analysiert, welchen Zeitbedarf ein solcher, für die Praxis durchführbarer MCDA-Prozess benötigen würde (ca. 5 Arbeitswochen à 42 Std., S. 47), welche Voraussetzungen und auch Einschränkungen für die erfolgreiche Durchführung dieses Prozesses bestehen (S. 47) und wie ein *"Pflichtenheft" zur Prozessgestaltung* aussehen könnte (S. 49). Gute Erfahrungen haben wir neben der Wiederverwendung von z. B. Workshop-Materialien auch bei der Anpassung der Prognosen der Leistung der technischen Optionen gemacht (S. 16), was für eine grundsätzlich mögliche Übertragung auch auf andere Gemeinden spricht.

Die insgesamt sehr positiven Rückmeldungen beteiligter Akteur*innen zu den projektbezogenen Prozessen und Resultaten zeigen, dass sehr gute Voraussetzungen geschaffen wurden, um die Vorgehensweise in inhaltlich gleichen, ähnlichen oder sogar anderen Entscheidungsunterstützungsprozessen erneut anzuwenden.

Summary

The transdisciplinary research project DezSWWJuraSO ("*Decision-making for the transition from central to novel wastewater infrastructure systems*"; 2016-2020) was a collaboration between the two Eawag departments of Environmental Social Sciences (ESS) and Urban Water Management (SWW), the Office for the Environment (AfU) and two case study communities in the canton of Solothurn.

The overall objective was to obtain insights on how we could support communities in rural areas in identifying and deciding on their future wastewater system according to their local conditions. Our approach and methods applied in both municipalities, the case study specific results as well as conclusions and recommendations for action are described in detail in the case study reports (Beutler und Lienert 2020a, 2020b, 2020c; all three references available only in German with English summaries).

In order to reuse developed tools and to provide helpful advice in future decision support cases, we analyzed **three overarching project goals** (p. 10) in more detail based on outcomes from both case studies:

- 1) How can wastewater disposal be continued in future in rural areas in an affordable and safe way for health and the environment?
- 2) Which methods exist and are recommendable to support decision-making on future municipal wastewater systems taking into account the constraints given by the administration system driven by volunteers ("Milizsystem")?
- 3) How can the herein presented participatory decision support processes be implemented by administrative and environmental authorities (e.g. AfU) as well as by consultancies?

Project goal 1

The main result of both case studies was remarkable: *decentralized wastewater systems can meet the manifold expectations of stakeholders regarding their wastewater system equally well or even better than today's centralized wastewater system*. Depending on the stakeholders' preferences and other communities' local conditions, different systems (e.g. central, hybrid) may also achieve good or best results.

Therefore, we qualitatively evaluated once again MCDA⁶ results from both case studies considering stakeholders' feedback that we gained from interviews, online surveys and workshops. We give recommendations on promising technical options for future, similar MCDA applications and marked those options that should not be considered anymore (Tabelle 2, p. 18). Additionally, we summarized first insights (p. 24) that we gained for the implementation of successful transitions (= system conversion) and what interactions exist between the objectives hierarchy and an optimal timing to start a transition (based on our limited scope of only two case studies). Finally, we showed how the period of the planning horizon (20 vs. 60 years) had no influence on our results.

⁶ MCDA = Multi Criteria Decision Analysis

Project goal 2

Preserving the municipalities' political rights and decision-making authority had priority in the decision support process. Local stakeholders, some of whom also had official administration functions in the "Milizsystem", would not only make use of their future wastewater system on a daily basis, but they would also be responsible to pay for its financing. From scientific literature, it is well known that early stakeholder involvement leads to a greater acceptance of decisions made and thus, herein, of the future wastewater system. For this reason, we tested various tools in the project (interviews, online surveys, workshops, and group work) in order to involve laypeople⁷ in the process and to provide all relevant information (preferences, overview of wastewater technologies and their performance) to decision-makers.

We were able to show how all stakeholders and their perspectives can be involved in finding solutions at almost all stages of the decision support process (Tabelle 3, p. 29). In addition, we provide an overview of (dis-)advantages of our participatory tools and for which applications they are suitable (Tabelle 4, p. 34). We were also able to list some hints on how an MCDA process can contribute to a successful infrastructure transition and what further constraints might play a decisive role (p. 38).

Project goal 3

The research project provided sufficient time to experiment with different participatory approaches and decision-support methods as well as to develop new tools (e.g. workshop materials for preference elicitation in groups). Providing our approach with a potential for similar applications in the future, it must also be possible for authorities and consultancies to carry it out independently (p. 41). In most cases, however, only limited time and personnel capacities are available for a "practical" application of our decision support process.

Based on all activities in both case studies and a detailed documentation of the time required to conduct the entire process in case study 2 (p. 42), we suggested a probable time demand for such an MCDA process (approx. 5 weeks of 42 working hours each, p. 47). We also listed prerequisites and limitations for a successful process implementation (p. 47) and we designed a stepwise working guide (p. 49). Interestingly, we have had good experience not only with the reuse of e.g. workshop materials, but also with the adaptation of our predictions (i.e. the technical options' performances with regard to the objectives; p. 16), leading us to the conclusion that data reuse and transfer to future applications is possible.

The overall very positive feedback received from stakeholders on project-related activities and the presented decision support results shows that we laid very good foundations for re-applying our approach in similar or even different decision support processes in future.

⁷ Some few stakeholders had a professional background in urban water management. However, a majority of the process' participants received no prior education on and had no general knowledge about wastewater systems.

Projekthintergrund

Anlass, Projektpartner und Untersuchungsregion

Das Projekt «*Entscheidungsfindung beim Übergang von zentralen zu alternativen Systemen in der Abwasserentsorgung*»⁸ war ein gemeinsames Vorhaben der Eawag-Abteilungen Umweltsozialwissenschaften (ESS)⁹ sowie Siedlungswasserwirtschaft (SWW)¹⁰. Es wurde mit finanzieller Unterstützung und in enger Zusammenarbeit mit dem Amt für Umwelt des Kantons Solothurn (AfU)¹¹ durchgeführt.

Im Kanton Solothurn gibt es eine Reihe von ländlichen Gemeinden mit bestehendem, netzgebundenem Abwassersystem (Kanalisation und eigene lokale ARA oder mit einem Anschluss an eine regionale Verbands-ARA). Die kleinen, lokalen ARA erbringen eine moderate aber nach heutigem Stand der Technik häufig verbesserungswürdige Reinigungsleistung. Diese erstmals mit Subventionen finanzierten Abwassersysteme sind vielerorts gealtert und müssen in naher Zukunft mindestens stückweise erneuert oder ersetzt werden. Dabei entstehende Kosten können für ländliche Gemeinden zu Gebührenerhöhungen führen und ggf. die finanzielle Tragbarkeit stark strapazieren.

Auf Grund der Verwaltung im ehrenamtlichen Milizsystem kann nicht in allen Gemeinden eine ausreichende Expertise zur zukünftigen Sicherstellung einer funktionierenden Abwasserentsorgung bereitgestellt werden. Eine ausgewogene Entscheidung unter Berücksichtigung aller technischen, sozialen, umweltbezogenen und finanziellen Aspekte ist so nur schwer möglich. Wegen der Komplexität der Fragestellung und mit dem Ziel einer inhaltlichen (Entscheidungs-)Unterstützung haben sich Gemeinden im Kanton Solothurn an das Amt für Umwelt gewandt. Das AfU rechnet in den kommenden Jahren mit einer steigenden Zahl von Gemeinden, die ihre strategischen Nutzungsplanungen unter Beachtung der finanziellen Ressourcen überarbeiten müssen. Dazu gehört auch die Entscheidung, ob die Abwasserentsorgung zukünftig mit dem bestehenden, einem angepassten oder einem alternativen System sichergestellt wird. Mit zwei solcher Gemeinden wurde über einen mehrjährigen Zeitraum intensiv zusammengearbeitet: Gemeinde Gänsbrunnen (Fallstudie 1: 2016–2019) und Gemeinde Buchegg (Fallstudie 2: 2018–2019).

Fallstudiengemeinden

Fallstudien 1 und 2 – ein Kurzvergleich

Eine ausführliche Beschreibung der Projektgemeinden ist in den jeweiligen Fallstudienberichten (Fallstudie 1: Beutler und Lienert (2020b); Fallstudie 2: Beutler und Lienert (2020c)) zu finden. Tabelle 1 stellt beide Gemeinden noch einmal kurz vergleichend gegenüber. Projektergebnisse in beiden Gemeinden sind ebenfalls in den Fallstudienberichten zu finden sowie in Kurzform in Tabelle 3 (S. 29).

⁸ www.eawag.ch/de/DA/AbwSO

⁹ <https://www.eawag.ch/de/abteilung/ess/>

¹⁰ <https://www.eawag.ch/de/abteilung/sww/>

¹¹ <https://www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/>

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Randbedingungen in beiden Fallstudien. OT = Ortsteil = ehemalg eigenständige Gemeinde vor der Fusion; EW = Einwohnerwert (entspricht der typischen, täglichen Schmutzfracht im Abwasser einer natürlichen Person).

Gemeinde	Fallstudie 1	Fallstudie 2
<i>Einwohner</i>	≈ 100	≈ 2500
<i>Siedlungstyp</i>	Streusiedlung mit vielen Liegenschaften ausserhalb der Bauzone	Mehrere Siedlungskerne mit Weilern und vielen Liegenschaften ausserhalb der Bauzone Fusionsgemeinde aus zehn ehemaligen Gemeinden (OT) mit je 170 bis 350 Einwohner*innen
<i>Gewerbe / Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Unternehmen zum Abbau von Steinen und Erden • Einzelne Landwirtschafts- und Gastwirtschaftsbetriebe 	<ul style="list-style-type: none"> • Diverse Handwerks- und Dienstleistungsbetriebe • >150 Landwirtschaftsbetriebe (LWB) • Kleinere Gast- und Hotelwirtschaftsbetriebe • Kleinere Lebensmittelläden
<i>Ausgangslage Abwassersystem</i>	<p>Zentrales System (Trennkanalisation ohne Regenwasserleitungen) mit lokaler ARA (Ausbaugrösse: 500 EW) für 2/3 der Gemeinde (65 EW)</p> <p>Dezentrale Sammeltanks (für landwirtschaftliche Verwertung des häuslichen Abwassers) und zwei KLARA für Liegenschaften ausserhalb der Bauzone (insges. ca. 35 EW)</p>	<p>Zentrales System (je nach OT nur Trenn-, nur Misch- oder Kombination aus Trenn- und Mischkanalisation) mit Anschluss an zwei grosse, regionale ARA (9 OT) und eine lokale ARA (1 OT; Ausbaugrösse: 500 EW; ca. 240 EW angeschlossen)</p> <p>Keine dezentralen Anlagen (z. B. KLARA); alle Liegenschaften sind an die Kanalisation angeschlossen (auch Weiler); nur 20 LWB mit landwirtschaftlicher Verwertung häusl. Abwassers</p>
<i>Baujahr zentrales Abwassersystem</i>	<p>1992–1995</p> <p>Lokale ARA: 1992</p>	<p>Unterschiedliche Bauphasen je nach OT: 1973–1993</p> <p>OT 03: 1993 (Kanalisation und lokale ARA)</p>
<i>Mitglieder Projektteam</i>	<p>5 Personen</p> <p>Gemeinderät*innen, Gemeindepräsident, Ressortverantwortliche, Klärwärter/Brunnenmeister</p>	<p>14 Personen</p> <p>Gemeinderät*innen, Gemeindepräsidentin, Ressortverantwortliche, Kommissionspräsidenten, interessierte Einwohner*innen</p>
<i>Zeitraum</i>	<p>Okt. 2016 – Sept. 2018</p> <p>+ Treffen aller Fallstudienvertreter*innen im Nov. 2019</p>	<p>Dez. 2018 – Nov. 2019</p>

Fallstudie 3

Die in der 1. Fallstudie gesammelten und in der 2. Fallstudiengemeinde konsolidierten Methodenergebnisse sollten zusätzlich in einer 3. Gemeinde getestet werden. Im Verlauf des Projekts wurde entschieden, diese Gemeinde nicht mehr in das Projekt einzubeziehen. Das Abwassersystem dieser 3. Gemeinde war relativ neu (und damit hohe Restabschreibungswerte vorhanden) und für die nächsten >25 Jahre wurde kein Handlungsbedarf identifiziert. Mittelfristige Entscheidungen zum Trinkwasserversorgungssystem waren wichtiger, wurden aber durch die Bearbeitungsschwerpunkte dieses Projekts nicht mehr abgedeckt. Das Amt für Umwelt Solothurn entschied daher, in Eigenregie Teilaspekte der in Tabelle 3 (S. 29) beschriebenen Methoden durchzuführen. Erste positive Erfahrungen des AfU in Bezug auf die eigenständige Durchführung eines partizipativen Entscheidungsprozesses konnten bereits gesammelt werden¹².

Projektziele

Im Zentrum des Projekts standen drei Hauptfragen:

- 1) Wie kann die Abwasserentsorgung im ländlichen Raum auch weiterhin ohne Abstriche beim Gesundheits- und Umweltschutz finanzierbar gestaltet werden?**

Wie sehen alternative Abwassersysteme aus, die mit weniger Netzinfrastruktur auskommen und flexibler auf die veränderten Bedürfnisse oder Anforderungen in der Zukunft eingehen können? Wie kann der Umbau der Infrastrukturen über die Zeit (d. h. eine Transition) im ländlichen Raum gelingen?

- 2) Wie kann das Milizsystem bei der Entscheidungsfindung zu kommunalen Abwasserinfrastruktursystemen unterstützt werden?**

Wie werden Akteure, die oft abwassertechnische Laien sind, und deren Präferenzen in den Entscheidungsprozess mit einbezogen? Wie können ohne Beschneidung der politischen Rechte im Milizsystem solche Transitionsprozesse gelingen?

- 3) Wie können partizipative Entscheidungsunterstützungsprozesse durch Verwaltungs- und Umweltbehörden (z. B. AfU SO) durchgeführt werden?**

Welche Methoden und Werkzeuge stehen für Behörden, Gemeinden sowie Ingenieur- und Beratungsbüros zur Verfügung? Welche Methoden sind auch vor dem Hintergrund einer dünnen Personaldecke durchführbar? Wie kann ein solcher Prozess gestaltet werden?

Einführung Projektthematik

Zentrale Abwassersysteme

Zentrale Abwassersysteme sind netzgebundene Infrastrukturen, bei denen Abwasser von Haushalten, Gewerbe und Industrie innerhalb eines Entwässerungsgebiets lokal aufgefangen und über ein Kanalnetz zu einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) abgeleitet wird. Sie

¹² Kontakt für Nachfragen: Dr. Ph. Stauer (philipp.stauer@bd.so.ch, +41 32 627 26 91)

bieten eine hygienisch sichere Abwasserentsorgung und einen guten Gewässerschutz bei gleichzeitig fast keinem Zeitaufwand für die Nutzer*innen. Je mehr Abwasserproduzenten an ein System angeschlossen sind und es gemeinsam finanzieren, umso günstiger wird die all-gemein hohe Leistung dieser Systeme.

Zentrale Systeme haben aber auch diverse Nachteile. Sie werden für sehr lange Nutzungsdauern im Voraus geplant und gebaut (30–80 Jahre) und müssen daher mit einer breiten Palette zukünftiger Bedingungen umgehen können. Die daraus resultierenden hohen Investitionskosten führen zu langen Nutzungs- und Abschreibungsdauern. Einmal gebaut, lassen sich die Systeme nur bedingt einfach und kurzfristig anpassen. Sie besitzen nur eine geringe Flexibilität, um z. B. an zukünftige, neue Nutzungsbedürfnisse oder siedlungsbezogene, umwelttechnische oder gesetzliche Anforderungen angepasst zu werden. Ausserdem werden zentrale Systeme zunehmend kritisch hinterfragt (Libralato et al. 2012), weil sie z. B. in ihrer heutigen Form nur eine geringe Nachhaltigkeit bieten. Defizite haben sie in Bezug auf die Rückgewinnung von Pflanzennährstoffen (Phosphor, Stickstoff) und den schonenden Umgang mit natürlichen Wasserressourcen (Larsen et al. 2016) sowie die Erprobung neuer Entsorgungsansätze und Technologien (Farrelly und Brown 2011).

In der Schweiz wurde der Hauptanteil der Abwasserinfrastrukturen in den 1960er bis 1990er Jahren gebaut. Ein Grossteil dieser Investitionen wurde durch öffentliche Subventionen von Bund und Kantonen getragen, um möglichst an allen Orten gleich gute Reinigungsbedingungen zu schaffen. Die Abwassersysteme altern, und in den kommenden Jahren wird je nach Ausgangslage ein steigender Anteil erneuert oder ersetzt werden müssen (Scheidegger et al. 2013). Da die Systeme heute verursachergerecht über Gebühren finanziert erhalten werden, muss je nach Gemeinde und vergangener Instandhaltung mit deutlichen Investitionskosten gerechnet werden. Wird das bestehende System dabei nur erneuert, bleiben die genannten Nachteile wegen der hohen Nutzungsdauern erneut für lange Zeiträume unverändert erhalten. Vor diesem Hintergrund und der Entwicklung neuer Technologien z. B. aus dem Bereich dezentraler (auch: modularer) Abwasseranlagen, stellt sich die Frage, ob mit dem vorhandenen System fortgefahren werden soll oder ob alternative Wege gegangen werden können.

Abwasserentsorgung im ländlichen Raum

Die Nachteile netzbasierter Abwassersysteme werden besonders bei Gemeinden im ländlichen Raum deutlich. Diese zeichnen sich häufig durch eine geringe Gesamtbevölkerung bei gleichzeitig geringer Bevölkerungsdichte aus. Pro angeschlossenem Einwohnerwert (EW) braucht es tendenziell grössere Leitungslängen für die Kanalisation, da Liegenschaften häufig verstreut sind. Gleichzeitig kann die Unterauslastung der Kanalisation zu Betriebsproblemen führen (z. B. Sedimentation). Wird das Abwasser in kleineren ARA lokal gereinigt, ist deren Reinigungsleistung zumeist nicht so hoch wie bei grossen ARA, verbraucht aber fast immer deutlich mehr Energie (VSA/KI 2011). Durch die geringe Anzahl angeschlossener EW und gleichzeitig hoher Leitungslängen und damit spezifisch hoher Investitionskosten, ist ein zentrales Abwassersystem im ländlichen Raum im Durchschnitt teurer für die einzelnen Nutzer*innen als in urbanen, dicht besiedelten Gebieten.

Die geringe Flexibilität ist bei ländlichen Gemeinden ebenfalls problematisch. Ein starkes Wachstum der Bevölkerung (z. B. bei vielen Neuansiedlungen in einem Gewerbegebiet) kann meist nicht ohne aufwändige Erweiterung des Abwassersystems kompensiert werden.

Planungsseitig werden zentrale Systeme daher mit Pufferkapazitäten ausgelegt und gebaut. Schrumpft jedoch die Bevölkerung einer kleinen Gemeinde, so kann dies neben den oben angesprochenen Betriebsproblemen in der Kanalisation auch zu schnell steigenden Gebühren für die verbleibenden Einwohner*innen führen. Diese Entwicklung resultiert aus der Kombination eines hohen Fixkostenanteils bei zentralen Abwasserinfrastrukturen mit der gesetzlich vorgeschriebenen Kostendeckung durch verursachergerechte Gebühren.

Alternative Abwassersysteme

Insbesondere im ländlichen Raum stellt sich daher die Frage nach alternativen Technologien und Systemen für eine zukünftige Abwasserentsorgung (Eggimann et al. 2015). Dezentrale Abwassersysteme befinden sich weltweit im Einsatz, in der Schweiz bisher aber nur in geringem Umfang (Larsen et al. 2013). Dennoch haben sie in den letzten Jahren wachsende Aufmerksamkeit erhalten, was die anhaltende Forschung und Entwicklung zu diesen Technologien zeigt (Hoffmann et al. 2020). Ein Grund dafür ist, dass ihr Einsatz z. B. höhere Flexibilität verspricht, unabhängig von Bevölkerungszuwachs oder -rückgang. Einige dezentrale Systeme können zusätzliche Umweltschutzziele erreichen wie z. B. die Rückgewinnung von wertvollen Nährstoffen aus dem Abwasser als Pflanzendünger (McConville et al. 2014, Harris-Lovett et al. 2015).

Aus Sicht von Nutzer*innen haben dezentrale und hybride¹³ Abwassersysteme gegebenenfalls nicht nur Vorteile. Einige Technologien basieren auf neuartigen Toiletten, und es braucht z. B. Speichertanks für abgetrennten Urin im Keller oder Garten der Liegenschaft. Ausserdem werden kleine Abwasserreinigungsanlagen (KLARA) heute zumeist durch die privaten Liegenschaftseigentümer*innen verwaltet und überwacht. Dies erfordert Bereitschaft zum Kontakt mit Abwasseranlagen und zusätzlichen Zeitaufwand im Vergleich zu einem zentralen Kanalisationsanschluss.

Für die Einführung von alternativen Abwassersystemen in Pilotprojekten und darüber hinaus ist eine gewisse Offenheit der beteiligten Liegenschaftseigentümer*innen und Haushalte notwendig (Lienert und Larsen 2007, Lienert und Larsen 2009). Für die Schweiz braucht es daher Akteure aus Kanton und Gemeinde, die bereit sind, in gewissem Umfang auch experimentell herauszufinden, ob und wie gut alternative Abwassersysteme individuelle Bedürfnisse und Anforderungen der lokalen Randbedingungen erfüllen können.

Transition von Abwassersystemen

Der Ruf nach einem Paradigmenwechsel hin zu einer an lokale Bedingungen angepassten sowie Nachhaltigkeitskonzepte und neue Technologien integrierenden Siedlungswasserwirtschaft besteht schon seit langem (Larsen und Gujer 1997, Larsen und Gujer 2001, Wilderer 2004, Larsen et al. 2009, Zandaryaa und Alberto Tejada-Guibert 2009, Duffy und Jefferies 2011, Spiller et al. 2015, Larsen et al. 2016, Harris-Lovett et al. 2018). Dafür braucht es an vielen Stellen eine Transition.

¹³ Als «hybrid» bezeichnen wir hier Abwassersysteme, die eine zentrale Kanalisation und ARA haben, jedoch zusätzlich dezentrale Elemente (z. B. Speichertanks bei den einzelnen Liegenschaften) zur Verbesserung der Abwasserreinigung implementiert haben.

Eine Transition (auch: Transformation) bezeichnet den Übergang bzw. Umbau zwischen zwei konzeptionell verschiedenen Abwassersystemen. Das Ziel ist der Wechsel zu einem System, das besser an die lokalen Gegebenheiten, die Erwartungen der Akteure und die zukünftigen Herausforderungen angepasst ist bzw. sich leichter an diese anpassen kann. Herausfordernd ist dieser Wechsel in Gegenden, in denen bereits ein flächendeckender Infrastrukturbestand vorhanden ist – wie es in Bezug auf die Abwasserentsorgung in der Schweiz der Fall ist. Ein Neubau «auf der grünen Wiese» ist ausgeschlossen. Im Falle einer Entscheidung zur Umsetzung neuer Konzepte und Technologien muss aus dem Betrieb eines bestehenden Abwassersystems heraus parallel und schrittweise ein neues konstruiert werden. Implementationsphasen mit Rück- und Umbauaktivitäten dürfen dabei zu keinem Zeitpunkt die Hauptfunktionen der Abwasserentsorgung massgeblich beeinträchtigen: die Aufrechterhaltung hygienisch guter Bedingungen sowie der Schutz der ober- und unterirdischen Gewässer vor Verunreinigungen.

Auch während einer Transition muss die Aufrechterhaltung der Funktionen des Abwassersystems jederzeit gewährleistet sein. Dafür können z. B. Entwicklungspfade über die Zeit erstellt werden, die funktionierende Umbaustrategien beschreiben. Die Erforschung der Transition von Abwasserinfrastrukturen im städtischen und ländlichen Raum gewann in letzter Zeit zunehmend an Bedeutung wie eine Reihe von Projekten in Deutschland zeigt (s. u.). Grund ist, dass dort geschätzt 5 % bis 7 % der Bevölkerung (ca. 4.2 bis 5.8 Mio. Einwohner*innen¹⁴) nur mit unvertretbarem Aufwand an eine zentrale Kanalisation angeschlossen werden können (oder angeschlossen worden sind; Hillenbrand und Niederste-Hollenberg (2012)). Bei einem Anteil von 2.7 % der Bevölkerung mit bestehender dezentraler Abwasserentsorgung (ebenda), ergibt sich mindestens ein Verdopplungspotenzial für dezentrale Systeme. Neuere Studien schätzen allein aufgrund von ökonomischen Überlegungen das Potenzial für dezentrale Anlagen in Deutschland auf rund 6 % (ca. 5 Mio. Einw.) und auf 10 % (900'000 Einw.¹⁵) für die Schweiz (Eggimann et al. 2018). Potenziale auf Grund von Nachhaltigkeitsaspekten sind darin noch nicht eingeschlossen.

Die Fördermassnahme *INIS*¹⁶ des BMBF¹⁷ förderte 13 Projekte im Zeitraum 2013–2016 mit dem Ziel, die Anpassung und Transition der Siedlungswasserwirtschaft an zukünftig sich ändernde Randbedingungen durch innovative Lösungen zu unterstützen (Difu 2017). Zu den Projekten gehörten *Twist++*, *SinOptiKom* und *netWORKS 3*. Unter Einsatz verschiedener Methoden (z. B. multi-kriterielle Entscheidungsunterstützung, Serious Games¹⁸, Optimierungsmodelle) wurden Möglichkeiten untersucht zur Identifikation von Transitions Pfaden zu nachhaltigen (Ab-)Wasserinfrastrukturen in ländlichen und urbanen Modellregionen. Im Blick standen dabei auch neue Herausforderungen für die Infrastruktursysteme durch Klimawandel, steigende Energiepreise und den demographischen Wandel. Zudem wurde analysiert,

¹⁴ Gesamteinwohnerzahl Deutschland (31.12.2019): 83.1 Mio. (www.destatis.de)

¹⁵ Gesamteinwohnerzahl Schweiz (31.12.2019): 8.6 Mio. (www.bfs.admin.ch)

¹⁶ INIS = «Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung»

¹⁷ BMBF = Bundesministerium für Bildung und Forschung (Deutschland)

¹⁸ Unter «Serious Games» wird die Vermittlung von Aspekten komplexer Problemstellung mit Hilfe spielerischer Elemente zusammengefasst.

welche Hemmnisse für eine Umsetzung von ressourcenorientierten Abwasserinfrastrukturtransitionen existieren (z. B. rechtliche, soziale und institutionelle Rahmenbedingungen). Eine Kurzzusammenfassung der wichtigsten Projekte findet sich im Anhang (S. 61).

Die genannten Projekte lieferten vielfältige Grundlagenerkenntnisse und deckten verschiedene Teilaspekte der Transition von Abwasserinfrastrukturen ab. In der Schweiz, wurde etwa zeitgleich das Projekt *DezSWWJuraSO* begonnen. Dabei wurden verschiedenste Abwasserkonzepte (zentral, dezentral, hybrid inkl. stoffstromseparierender Technologien) und potenzielle Transitionspfade mit multi-kriterieller Entscheidungsanalyse bewertet. Wichtiger Bestandteil des Projektansatzes war der Einbezug von Zielen und Präferenzen von Akteur*innen aus realen Fallstudiengemeinden im ländlichen Raum.

Frühere Pilotprojekte in der Schweiz, zum Beispiel zur Urinseparierung haben einzelne Aspekte von dezentralen Anlagen untersucht (Lienert und Larsen 2006, Lienert et al. 2006, Lienert und Larsen 2010). Auch wurden dezentrale Abwassersysteme in einer Fallstudiengemeinde zur Infrastrukturplanung berücksichtigt, standen aber nicht im Mittelpunkt der Forschung (Zheng et al. 2016, Scholten et al. 2017). Auch aus der Schweiz stammen verschiedene konzeptionelle Überlegungen zum Transitionsprozess (z. B. Rauch et al. (2003), Borsuk et al. (2008)). Das Projekt *DezSWWJuraSO* ist insofern einzigartig, als es die realen Bedürfnisse von zwei Gemeinden, die vor einer unmittelbaren Entscheidung stehen, ins Zentrum rückt – und es intensiv ein sehr breites Spektrum verschiedenster Abwassertechnologien und -konzepte zusammen mit den Transitionsmöglichkeiten untersucht.

Entscheidungsunterstützung für Gemeinden

Entscheidungen in Bezug auf Abwassersysteme sind für Gemeinden im ländlichen Raum häufig komplexe, gesellschaftliche Prozesse, die für sie schwierig zu erbringen sind. Unabhängig davon, ob es um den Bau eines neuen oder den Aus-/Umbau eines bestehenden Systems geht, muss zu Planungsbeginn je nach System ein Zeitraum von 30 bis 80 Jahren betrachtet werden. Dies schliesst die Berücksichtigung der Unsicherheit sich verändernder Randbedingungen ein (z. B. Klimawandel, drastische Zu- oder Abnahme der Bevölkerung, neue gesetzliche Anforderungen) und wie auf diese mit Anpassungen reagiert werden kann. Eine Vielzahl von betroffenen Akteur*innen sowie deren Interessen müssen berücksichtigt werden (z. B. Einwohner*innen, Fischereiverbände, Vertreter*innen aus Industrie, Gewerbe oder Landwirtschaft). Verfügbare Reinigungstechnologien müssen beurteilt werden, um deren finanzielle Tragbarkeit für die Gemeinde und die Einhaltung föderaler und kantonaler Gesetze zu gewährleisten. Politische Rahmenbedingungen wie beispielsweise Möglichkeiten zur regionalen Kooperation in einem Abwasserzweckverband und damit die Aufgabe gewisser eigener Entscheidungssouveränität spielen ebenfalls eine Rolle.

Diese und weitere Bewertungen müssen mindestens in Ansätzen durch die Gemeinden selbst erbracht werden. Gemeinden im ländlichen Raum werden häufig im ehrenamtlichen Milizsystem verwaltet und haben neben dem Abwassersystem zahlreiche weitere Verantwortlichkeiten. Wegen der geringeren Bevölkerung im ländlichen im Vergleich zum urbanen Raum können nicht immer alle Aufgabenbereiche durch fachkundige Ehrenamtliche besetzt werden. Ressortverantwortliche sind daher nicht selten abwassertechnische Laien, deren Fachkompetenz in anderen Bereichen liegt. Damit sind für Gemeinden Entscheidungen zu Abwassersachfragen in Eigenleistung tendenziell komplex und schwierig zu treffen. Um eine

gute Entscheidungsfindung innerhalb des Milizsystems zu stärken, ist eine Entscheidungsunterstützung wichtig, deren verschiedene Prozesse bestenfalls je nach Anwendungsfall spezifisch einsetzbar sind (siehe Projektziel 3 «Partizipative Entscheidungsprozesse durch Umweltbehörden» ab S. 41).

Ein Ansatz zur Unterstützung bei komplexen Entscheidungsproblemen ist die multi-kriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA¹⁹). Sie ermöglicht, eine Entscheidung in schrittweise Elemente aufzuteilen und Präferenzen (d. h. Bedürfnisse, Vorlieben) verschiedener Akteure zu berücksichtigen (Lienert et al. 2015). Dabei konzentrieren wir uns auf subjektive Werte der Akteur*innen²⁰, wodurch sich der Fokus weg von der typischen, optionenbasierten Perspektive (*Welche Option gefällt mir?*) hin zur wertebasierten Perspektive verschiebt (*Was ist mir wichtig, das ich mit dieser Entscheidung erreichen möchte?*; Keeney (1996), Keeney et al. (1996)).

Entscheidungsträger*innen haben bei dieser Methode die Möglichkeit, sich auf die individuellen oder gemeinschaftlichen Erwartungen (d. h. Ziele), Ansprüche und Wünsche z. B. bezüglich eines neuen Abwassersystem zu konzentrieren. Die technisch-objektive Bewertung erfolgt durch externe Fachpersonen, die aufzeigen, wie gut jede Option die aufgestellten Ziele erreicht. Erst dieser grundlegende Perspektivenwechsel ermöglicht, dass Entscheidungsträger*innen gänzlich unabhängig von ihrem eigenen Fachwissen zu einer guten Lösung kommen können. Insgesamt erlaubt die MCDA, dass die Entscheidungskompetenz bei Entscheidungsträger*innen (z. B. gewählte Gemeindevertreter*innen) verbleibt. Sie prädestiniert sich daher als Unterstützungsprozess im Milizsystem.

¹⁹ MCDA steht im Englischen für *multi-criteria decision analysis*.

²⁰ Wir folgen dem Ansatz der wertebasierten MCDA (Englisch: MAVT; *multi-attribute value theory*).

Projektziel 1 «Zukünftige Abwasserentsorgung ländlicher Raum»

Vorgehen

Um auch zukünftig eine gesundheitlich unbedenkliche, umweltschonende und finanzierbare Abwasserentsorgung im ländlichen Raum zu gewährleisten, kommen verschiedene Abwasserkonzepte in Frage. Neben bekannten Kanalisationen mit zentraler ARA, lokal in der Gemeinde oder regional in einem Verband, standen im Projekt auch hybride aber vor allem dezentrale Abwassersysteme im Fokus, die ohne Kanalisation auskommen (Details ab S. 38 in Beutler und Lienert (2020b)). Verglichen und bewertet wurden alle Systeme auf Basis der jeweils 14 Ziele in beiden Gemeinden und der erhobenen Akteurspräferenzen (ebenda; ab S. 53 und ab S. 68).

Nach einem breiten Vergleich über viele bekannte Abwassersysteme, sollten in einem zweiten Schritt die am ehesten in der Praxis einsetzbaren Technologien weiterverfolgt werden. In Fallstudie 1 wurden daher möglichst verschiedenartige Abwasserkonzepte und -technologien untersucht, unabhängig von ihrer tatsächlichen Einsatzbereitschaft auf Basis aktueller rechtlicher Regelungen (z. B. Ausbringung von nur gering gereinigtem Abwasser aus Mehrkammergruben zusammen mit Gülle in der Landwirtschaft). In der zweiten Fallstudiengemeinde wurden nur die vielversprechendsten Abwassersysteme aus Fallstudie 1 weiter begutachtet, die einen flächendeckenden Einsatz für viele Gemeinden und damit für verschiedene Randbedingungen versprochen.

Leistung und Potenziale der Abwassertechnologien


«Wie sehen alternative Abwassersysteme aus, die mit weniger Netzinfrastruktur auskommen und flexibler auf die veränderten Bedürfnisse oder Anforderungen in der Zukunft eingehen können? »

Für beide Fallstudien wurden sorgfältige Schätzungen und Berechnungen gemacht (*Prognosen / Vorhersagen* von Konsequenzen; vgl. S. 27), wie gut jede der betrachteten Abwassertechnologien die Ziele in der Fallstudie erreicht, und wie unsicher diese Vorhersage ist. Die Prognosen können auf andere Fälle übertragen werden. Allerdings braucht es dafür Anpassungen an die konkreten Randbedingungen in der Gemeinde (z. B. andere Ziele, Bevölkerungszahlen, Kostenkalkulationen, etc.). Wir haben darauf geachtet, die Schätzungen und Berechnungen der Indikatoren möglichst allgemeingültig und transparent zu gestalten. So gelang die Wiederverwendung von Indikatoren aus Fallstudie 1 (Beutler und Lienert (2020b) ab S. 53) in Fallstudie 2 (Beutler und Lienert (2020c) ab S. 38). Die von uns erstellten Faktenblätter zeigen die Prognosen in leicht verständlicher Form für jede betrachtete Technologie und eigneten sich gut für die Kommunikation mit siedlungswasserwirtschaftlichen Laien.

Faktenblatt: GRUPPEN-KLARA

Kurzbeschreibung:

„Gruppen-KLARA“ sind KLARA für mehrere, benachbarte Haushalte. Eine technische Lösung ist z. B. eine MBR-KLARA (MBR = Membranbioreaktor). Das Abwasser wird nach der mechanischen und biologischen Reinigung durch eine Membran filtriert, bevor es die Anlage verlässt. Dadurch wird eine hohe hygienische Sicherheit gewährleistet. Wie bei KLARA für Einzelhaushalte, befinden sich die Anlagen vor Ort (z. B. im Keller, Garten od. auf öffentl. Grund; sichtbar oder im Untergrund). Das Abwasser fließt über kurze Leitungen zur Anlage, wird behandelt und anschliessend versickert oder in ein Gewässer geleitet. Gruppenlösungen erlauben leichteren Betrieb u. Wartung der Anlagen durch die Gemeinde oder ein privatwirtschaftliches Unternehmen.



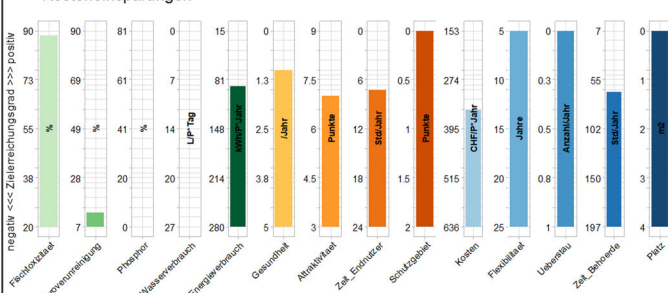
Quelle: terraLink GmbH (www.terralink.ch)

Vorteile / Chancen

- ✓ Flexibel anpassbar an neue Bedingungen (z. B. neue Gebäude)
- ✓ Mit KLARA für Einzelleigenschaften in Gemeinde kombinierbar
- ✓ Synergieeffekte durch Gruppenlösung: z. B. weniger Zeiteinsatz als bei Einzel-KLARA, Kosteneinsparungen

Nachteile / Risiken


- ✗ Verantwortungsbewusstsein und Zeiteinsatz der Nutzer/-innen notwendig; geringere Attraktivität als heutiges System
- ✗ Koordination mit Nachbarn/-innen notwendig
- ✗ Braucht Platz im Garten (oberhalb oder in der Erde), Keller oder öffentlichem Raum



Faktenblatt: LOKALE ARA „NEUBAU“

Kurzbeschreibung:

Eine neue lokale ARA wird errichtet, wenn möglich an der gleichen Stelle wie die heutige. Die alte ARA wird zuvor zurückgebaut. Die neue Anlage ist moderner und wird als modulare „Container“-ARA konzipiert. Die modernere Technologie erfüllt die Gewässerschutzanforderungen besser. Eine Umgehungsleitung wird gebaut, um Betriebsprobleme durch Biberdämme im Gewässer zu vermeiden (Rückstau). Die Nutzungsdauer der neuen ARA beträgt voraussichtlich 30 Jahre.



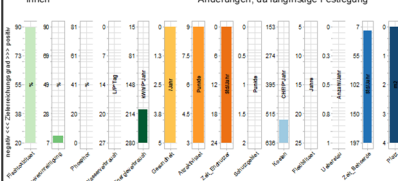
Quelle: shabby, CC0

Vorteile / Chancen

- ✓ Kein Technologiewechsel und trotzdem bessere Reinigung
- ✓ Langfristige Lösung
- ✓ Kein Zetaufwand für Endnutzer/-innen

Nachteile / Risiken


- ✗ Schutzgebiete werden dauerhaft tangiert
- ✗ Höhere Kosten wegen Neubau (noch ohne Neuinvestition lokale Kanalsanität!)
- ✗ Keine Erhöhung der Flexibilität für zukünftige Änderungen, da langfristige Festlegung



Faktenblatt: KLARA MIT URINSEPARIERUNG

Kurzbeschreibung:

Bei dieser Option werden KLARA für Einzelleigenschaften mit modernen Technologien zur Urinseparierung kombiniert („Stoffsromierung“). Dabei werden die menschlichen Ausscheidungen (Urin, Fäkalien) durch Nöckli-Toiletten voneinander getrennt. Dies ermöglicht eine bessere Reinigung der einzelnen Abwasser und Wiederverwendung von behandeltem Urin als Dünger (z. B. «Aurum»). Zusätzlich zu den KLARA, werden z. B. im Keller oder Garten Lagertanks für den Urin gebaut sowie später regelmässig entleert und abtransportiert (einmal jährlich).



Quelle: Hirsfeld, CC-BY-SA 3.0 und Eiswig

Vorteile / Chancen

- ✓ Sehr flexibel anpassbar an neue Bedingungen (z. B. neue Gebäude)
- ✓ Technische Lösung für alle Haushalte in der Gemeinde
- ✓ Rückgewinnung von Nährstoffen für Pflanzendünger
- ✓ Bessere Abwasserreinigung

Nachteile / Risiken

- ✗ Verantwortungsbewusstsein und Zeiteinsatz der Nutzer/-innen notwendig; geringere Attraktivität als heutiges System
- ✗ Erhöhter Zeitbedarf Behörde für Kontrollen
- ✗ Braucht Platz im Garten oder Keller
- ✗ Bzgl. Kosten im Mittelfeld
- ✗ Höherer Aufwand bei Bestandsgebäuden

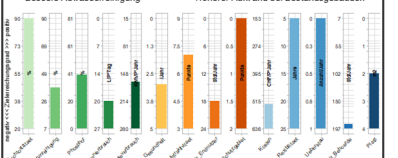


Abbildung 1: Beispiele von drei Faktenblättern wie sie in Fallstudie 2 verwendet wurden. Alle Faktenblätter finden sich im Anhang des jeweiligen Berichts. Die Skalen bilden die Spannweite jedes Indikators über alle berücksichtigten Optionen ab. Die 14 Farbbalken repräsentieren den Grad der Zielerreichung durch die jeweilige Option. Das obere Skalende steht dabei für "Ziel voll erfüllt" und das untere für "Ziel überhaupt nicht erfüllt".

Tabelle 2 fasst zusammen, wie gut die ursprünglich elf betrachteten Technologien zur Abwasserentsorgung (in Fallstudie 1: «konzeptionelle Optionen») für beide Fallstudien in der MCDA abgeschnitten haben. Ziel ist es, für zukünftige, ähnliche Entscheidungsunterstützungsprozesse vielversprechende Optionen für eine MCDA direkt zur Hand zu haben²¹. Die allgemeineren Einschätzungen in der Tabelle basieren also auf der MCDA-Bewertung und damit auf den technischen Prognosen der Indikatoren sowie Präferenzen der Akteur*innen in beiden Gemeinden. Zusätzlich benutzen wir informelle Aussagen in Interviews und Workshops für die Einschätzungen in Tabelle 2. Darüber hinaus sind einige Anmerkungen basierend auf dem Erfahrungs- und Wissensstand (z. B. aus anderen Studien) beigefügt, um Potenziale aufzuzeigen, die nicht in diesem Projekt berücksichtigt wurden.

Neben den Empfehlungen aus Tabelle 2 müssen für zukünftige MCDA-Prozesse auch Technologien einbezogen werden, die neu entwickelt oder verbessert wurden. Systeme mit Unterdruckentwässerung und deren Potenzial wurden in anderen Forschungsprojekten zur Transition (z. B. TWIST++, siehe ab S. 12) bereits untersucht.²²

²¹ Da die Resultate einer MCDA immer abhängig vom *Entscheidungskontext* sind, liefern die Aussagen ausschliesslich *Indizien* für das Einsatzpotenzial der Technologien in anderen Gemeinden.

²² Im Projekt DezSWWJuraSO nicht einbezogen, da der Fokus auf Systemen ohne oder zumindest keiner neuen Netzinfrastruktur lag.

Tabelle 2: Synthese zu Ergebnissen der konzeptionellen Abwasserentsorgungstechnologien und deren Potenzial für zukünftige Entscheidungsunterstützungsprozesse (bzw. deren praktischen Einsatz) im ländlichen Raum. Die ursprünglich elf konzeptionellen Technologien sind in der Tabelle so erweitert worden, dass eine grössere Genauigkeit durch die Aussagen ermöglicht wird. Die «Leistung» bzw. «Ergebnisse» in den beiden Fallstudien spalten beziehen sich auf die jeweils erzielten MCDA-Resultate. Die Akzeptanz auf Basis des «Akteursfeedbacks» basiert auf den Rückmeldungen während der Interaktionen (z. B. Workshops). «NoMix» = WC mit integrierter Abtrennung des Urins vom Braunwasser; «Vuna» = Urinaufbereitung zu Pflanzendünger; «Lokale» = Präferenzen der lokalen Akteure; «Behörde» = Präferenzen eines Mitarbeiters der Umweltbehörde (nur für Fallst. 1).

	Konzeptionelle Technologie	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Zukünftiges Potenzial
DEZENTRAL	Trockentrenntoiletten mit Urinseparierung (Vuna)	<ul style="list-style-type: none"> • Beste Option für Lokale, schlechteste für Behörde • Umweltziele am besten erreicht • <i>Akteursfeedback</i>: moderate Akzeptanz (da sehr ungewohnt) 	<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Präferenzen für Lokale: schlechteste bis beste Option • <i>Akteursfeedback</i>: moderate bis hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA einbeziehen • Einsatz besonders vielversprechend für Gebiete mit sehr hoher Sensitivität gegenüber Nährstoffeinträgen in Gewässer, Gebiete mit Wasserknappheit oder Systeme, die auf grösstmögliche Ressourcenrückgewinnung orientiert sind • Derzeit teilweise unklare rechtliche Regelungen in CH (z. B. Entsorgung/Nutzung kompostierte Fäzes)
	Kleine Abwasserreinigungsanlagen (KLARA) für Einzelliegenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Beste (Behörde) und drittbeste (Lokale) Option • Eher kostengünstig, flexibel, durchschnittliche bis gute Reinigungsleistungen, viel Erfahrung bei Behörden und Herstellern • <i>Akteursfeedback</i>: hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderate bis gute Ergebnisse aber immer schlechter als Variante für Gruppen von Haushalten • <i>Akteursfeedback</i>: moderate bis hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA einbeziehen • Sowohl als Lösung für Einzel- und Gruppenliegenschaften sinnvoll • Hohes Potenzial, da viele Hersteller und verschiedene Technologien am Markt verfügbar und jahrzehntelange Einsatzerfahrungen national und international vorhanden ist
	Kleine Abwasserreinigungsanlagen (KLARA) als Gruppenlösung für mehrere Liegenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht explizit berechnet in der MCDA (Potenziale in Workshop mit Akteur*innen erörtert) aber Leistung genauso gut oder leicht besser als KLARA für Einzelliegenschaften • <i>Akteursfeedback</i>: hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute und teilweise beste Ergebnisse für einige Lokale • <i>Akteursfeedback</i>: hohe bis sehr hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA einbeziehen • Sowohl als Lösung für Einzel- und Gruppenliegenschaften sinnvoll • Wegen Zeitbedarf- und Betriebsaspekten (z. B. grössere Puffervolumina) tendenziell vorteilhafter als KLARA für Einzelliegenschaften

	Konzeptionelle Technologie	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Zukünftiges Potenzial
				<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Vorabaufwand für Gruppenlösungen nicht im Projekt berücksichtigt (z. B. vertragliche Vereinbarungen zwischen Nutzungsparteien, Auswahl geeignetes Grundstück und Kompensationsleistungen durch andere Nutzungsparteien etc.)
	Kleine Abwasserreinigungsanlagen (KLARA) mit Urinseparierung (No-Mix, Vuna) für Einzel- oder Gruppenliegenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Zweitbeste (Lokale) und drittbeste (Behörde) Option • Für Behörde schlechter als KLARA ohne Urinseparierung, da moderat höhere Kosten und höherer Zeitaufwand • <i>Akteursfeedback</i>: moderate bis hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • Beste (Gruppenlösung) und zweitbeste (Einzellösung) Option, falls Wahl einer dezentralen Technologie • <i>Akteursfeedback</i>: hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA einbeziehen • Hohes Modularitätspotenzial (abhängig von der zukünftigen Technologieentwicklung; z. B. kann Urin zeitweise auch der KLARA zugeführt anstatt getrennt gesammelt zu werden, ohne einen Totalausfall zu riskieren) • Sinnvoll, wenn bekannte Technologie (KLARA) mit neuen Ansätzen (NoMix) kombiniert werden soll, um bessere Reinigungsleistungen zu erwirken (z. B. erhöhte Elimination von Stickstoff oder Mikroverunreinigungen)
	Landwirtschaftliche Verwertung des Abwassers mit Gülle	<ul style="list-style-type: none"> • Für Einzelliegenschaften (Bauernhöfe) gut abgeschnitten, weil günstig und einfach • <i>Akteursfeedback</i>: geringe Akzeptanz als «Lösung für alle»; Lokale: Vorgehen entspricht keiner guten Abwasserentsorgung (z. T. auch von Landwirten geäußert) und die Verbreitung dieser Anwendung sollte erlaubt aber möglichst gering gehalten werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht mehr betrachtet 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: für Liegenschaften ohne landwirtschaftlichen Betrieb in zukünftiger MCDA nicht mehr in Erwägung ziehen, da keine Abwasserreinigung stattfindet • In der Schweiz nur für Landwirtschaftsbetriebe mit >8 Düngegrossvieheinheiten (DGVE) rechtlich zulässig zur Gülle-Verdünnung

	Konzeptionelle Technologie	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Zukünftiges Potenzial
	Abflusslose Gruben	<ul style="list-style-type: none"> • Nur Mittelmass-Option, da zwar gute Reinigungsleistung (Transport zu grosser ARA) aber am teuersten und energieaufwändig (Abwassertransport) • <i>Akteursfeedback</i>: geringe Akzeptanz als «Lösung für alle», moderate Akzeptanz als Zwischenlösung 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht mehr betrachtet in Fallstudie 2 (gilt analog für alle Systeme, die auf systemweiten abflusslosen Gruben basieren), da sich diese Technologie nicht als flächendeckend gute Lösung gezeigt hat 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: nur für zukünftige MCDA einbeziehen, wenn Lösungen für Liegenschaften mit a) geringem Abwasseranfall oder b) Grauwasserseparierung gesucht werden • Einsatzgebiet: Selten genutzte Einzelliegenschaften mit sehr geringem Abwasseranfall (z. B. Ferienhäuser) • Potenzial für Sammlung von Schwarz-/Braunwasser und Vor-Ort-Reinigung (inkl. Versickerung/Ableitung) des volumenmässig überwiegenden Grauwassers (siehe unten)
	Abflusslose Gruben mit Urinseparierung (NoMix, Vuna)	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht untersucht • <i>Akteursfeedback</i>: unbekannt 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht untersucht 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: nicht in zukünftige MCDA einbeziehen • Kombination mit Urinseparierung bringt in diesem Fall kaum zusätzlichen Nutzen, da der Grossteil der Abwassermenge in der Grube zwischengespeichert und anschliessend transportiert werden muss
	Abflusslose Gruben (nur für Braunwasser) mit Urinseparierung (NoMix, Vuna) und Grauwasser-aufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Für Haushalte ohne bestehenden Anschluss an Kanalisation: Mittel-mass-Option für Lokale und Behörde • <i>Akteursfeedback</i>: moderate Akzeptanz bei Einzelliegenschaften weit abseits der eigentlichen Siedlung 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht mehr betrachtet 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: nur in zukünftige MCDA einbeziehen, falls alternative Verwendung des Braunwassers anvisiert ist (z. B. anaerobe Vergärung) • Technisch mit hohem Aufwand verbunden (Grube, Urinseparierung sowie zusätzliche Grauwasserbehandlungsanlage und entsprechenden Hausinstallationen) • Guter Separierungsgrad der Abwasserströme und hohes Potenzial für getrennte Behandlung und Ressourcenrückgewinnung

	Konzeptionelle Technologie	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Zukünftiges Potenzial
	Abflusslose Gruben (nur Schwarzwasser für landwirtschaftliche Verwertung) mit Grauwasserbehandlung	<ul style="list-style-type: none"> • Für Haushalte ohne bestehenden Anschluss an Kanalisation: eher schlechtere bis höchstens Mittel-mass-Option für Lokale und Behörde • <i>Akteursfeedback</i>: unbekannt 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht mehr betrachtet 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: nur in zukünftige MCDA einbeziehen, falls alternative Verwendung des Schwarzwassers anvisiert ist (z. B. anaerobe Vergärung) • Verwertung des Schwarzwasser in Landwirtschaft rechtlich höchst wahrscheinlich nicht zulässig in der Schweiz (weder Einzelliegenschaften, noch Landwirtschaftsbetriebe mit >8 DGVE, da kein ausreichender Verdünnungseffekt bei Vermischung mit Gülle annehmbar)
	Mehrkammergruben (durchflossene Gruben; «septic tanks») mit Abwasserversickerung	<ul style="list-style-type: none"> • Nur als kurzfristige Übergangslösung (1-5 Jahre) in der MCDA untersucht für Haushalte ohne bestehenden Anschluss an die Kanalisation • Keine gute Leistung für Lokale und Behörde • <i>Akteursfeedback</i>: geringe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht mehr betrachtet in Fallstudie 2 (gilt analog für alle Systeme, die auf systemweiten abflusslosen Gruben basieren), da sich diese Technologie nicht als flächendeckend gute Lösung gezeigt hat 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: nur in zukünftige MCDA einbeziehen, falls alle denkbaren Technologien für selten genutzte Einzelliegenschaften mit geringem Abwasseranfall untersucht werden sollen • Als eigenständige Alleinlösung selten sinnvoll: es findet eine mechanische Abwasserreinigung statt, die nur in Kombination mit einem nachgeschalteten Rieselfeld oder horizontalem Filterbett auch eine biologische Teilbehandlung ermöglicht
	Mehrkammergruben mit landwirtschaftlicher Verwertung des Abwassers	<ul style="list-style-type: none"> • Für Haushalte ohne bestehenden Anschluss an die Kanalisation: moderate bis gute Leistung (Lokale) und sogar beste Option (Behörde) • <i>Akteursfeedback</i>: geringe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht mehr betrachtet 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA für Liegenschaften ohne landwirtschaftlichen Betrieb nicht mehr einbeziehen; nur für MCDA einbeziehen, wenn Abwasserentsorgung für Landwirtschaftsbetriebe untersucht wird • Im Vergleich zur Direkteinleitung des gesamten häuslichen Abwassers in die Güllegrube (s. o.) werden bei dieser Option ein Grossteil der partikulären Bestandteile (z. B. Fäzes, Toilettenpapier) zurückgehalten

	Konzeptionelle Technologie	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Zukünftiges Potenzial
ZENTRAL				<ul style="list-style-type: none"> In der Schweiz nur für Landwirtschaftsbetriebe mit >8 DGVE rechtlich zulässig zur Gülle-Verdünnung
	Mehrkammergruben mit Urinseparierung (NoMix, Vuna) und Abwasser-versickerung	<ul style="list-style-type: none"> Für Haushalte ohne bestehenden Anschluss an die Kanalisation: nur moderate Leistung für Lokale und Behörde <i>Akteursfeedback</i>: geringe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> Nicht mehr betrachtet 	<ul style="list-style-type: none"> Empfehlung: nur in zukünftige MCDA einbeziehen, falls alle denkbaren Technologien für selten genutzte Einzel-liegenschaften mit geringem Abwasseranfall untersucht werden sollen
	Anschluss an eine Verbands-ARA	<ul style="list-style-type: none"> Gute (Lokale) bis beste (Behörde) Option Sehr gute Erfüllung der Umweltziele Technisch aufwändig und mit entsprechenden Kosten verbunden <i>Akteursfeedback</i>: sehr hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> Je nach Präferenz: moderate bis sehr gute Leistung für alle Akteur*innen <i>Akteursfeedback</i>: sehr hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA einbeziehen Heutige, technische Standardlösung (dezentrale Technologien sind heute nicht Standard) Hohes Potenzial für gute Abwasserreinigung und diverse Synergie-/Einspareffekte (z. B. weniger Betriebspersonal, weniger Ausrüstungsstandorte) Sehr kostensensitiv bei Bevölkerungsschwund
	Neubau einer lokalen ARA	<ul style="list-style-type: none"> Schlechte (Lokale) bis gute (Behörde) Option <i>Akteursfeedback</i>: grundsätzlich moderate bis hohe Akzeptanz; aber hier: Wunsch, die Betriebsverantwortung des Abwassersystems abzugeben 	<ul style="list-style-type: none"> Im Vergleich zu Fallstudie 1: Anwendung Modulbauweise auf ARA, um höhere Flexibilität zu erreichen Für alle Akteur*innen nur Mittel-mass-Option <i>Akteursfeedback</i>: hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA einbeziehen Kann technisch sinnvoll sein, wenn weder dezentrale Optionen noch der Anschluss an eine weit entfernte ARA möglich sind Option mit zuverlässiger, guter aber nicht bester Abwasserreinigung
Sanierung der bestehenden lokalen ARA	<ul style="list-style-type: none"> Schlechte (Lokale) bis moderate (Behörde) Option 	<ul style="list-style-type: none"> Schlechteste Option für alle Akteur*innen 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Empfehlung</i>: nur in zukünftige MCDA einbeziehen, falls a) hohe Abschreibungsrestwerte vorhanden sind und genutzt werden müssen oder b) die Abwasserreinigung 	

	Konzeptionelle Technologie	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Zukünftiges Potenzial
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Akteursfeedback</i>: grundsätzlich moderate bis hohe Akzeptanz; aber hier: Wunsch, die Betriebsverantwortung des Abwassersystems abzugeben 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Akteursfeedback</i>: moderate Akzeptanz 	<p>gut ist und durch die Sanierung eine weitere, hohe Anlagenlebensdauer ermöglicht wird (und angestrebt ist)</p>
HYBRID	Anschluss an eine Verbands-ARA mit Urinseparierung (NoMix, Vuna)	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht untersucht • <i>Akteursfeedback</i>: unbekannt 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Leistung / Ergebnisse für alle Akteur*innen aber nie beste Option • Technisch aufwändig und mit höchsten Kosten verbunden; aber: sehr gute Abwasserreinigung bei gleichzeitig hoher Attraktivität • <i>Akteursfeedback</i>: hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: für zukünftige MCDA einbeziehen • Trotz höherer Kosten bietet diese Option gewisse Vorteile: z. B. sehr gute Abwasserreinigung, hohes Potenzial für Ressourcenrückgewinnung (z. B. Phosphor, Stickstoff, Kalium), höherer Anschlussgrad ohne ARA-Ausbau, geringere Gewässerbelastung bei Entlastungen
	Neubau einer lokalen ARA mit Urinseparierung (NoMix, Vuna)	<ul style="list-style-type: none"> • Für Lokale nur Mittelmass-Option für Behörde schlechteste Ergebnisse • <i>Akteursfeedback</i>: grundsätzlich moderate Akzeptanz; aber hier: Wunsch, die Betriebsverantwortung des Abwassersystems abzugeben 	<ul style="list-style-type: none"> • Eher tiefe bis moderate Leistung und MCDA-Ergebnisse für alle Akteur*innen • <i>Akteursfeedback</i>: eher geringe bis moderate Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Empfehlung</i>: nur in zukünftige MCDA einbeziehen, falls Ressourcenrückgewinnung aus Urin (Vuna) im überregionalen Verbund mit anderen (ländlich geprägten) Gemeinden genutzt werden kann • Für einzelne, ländlich geprägte Gemeinden mit kleiner ARA technisch eher zu aufwändig und teuer

Durchführung einer Transition

«Wie kann der Umbau der Infrastrukturen über die Zeit (d. h. eine Transition) im ländlichen Raum gelingen? »

Zum Zeitpunkt der Publikation dieses Berichts fehlten in der Praxis und Forschung grundsätzliche Erkenntnisse zu den Voraussetzungen einer erfolgreich durchgeführten Transition zwischen zwei konzeptionell verschiedenen Abwassersystemen (siehe auch S. 38). Viele, vor allem technische Detailfragen bleiben daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch offen, da solche Transitionen bisher nicht durchgeführt wurden. Wichtige Fragen sind z. B. «Wann können welche Bereiche einer Kanalisation ausser Betrieb genommen werden?»; «Welche dezentralen Anlagen können in Betrieb gehen, ohne die Reinigungsleistung auf der zentralen ARA zu stark zu beeinträchtigen?»; «Wie muss die Anlagenflotte überwacht werden, damit die Reinigungsleistung der dezentralen Technologien dauerhaft sichergestellt werden kann?»; «Wie sehen Gebührenmodelle aus, die trotz unterschiedlicher Umbauzeitpunkte solidarisch und kompensierend wirken?».

Jüngere Studien untersuchten Wechselwirkungen einer schrittweisen Transition (Implementation dezentraler Anlagen zur Stoffstromseparierung) auf die zentrale ARA und Biogasgewinnung. Die Möglichkeit der Ausbindung einzelner Abwasserstoffströme (Schwarz-/Grauwasser), deren alternatives Einsatzpotenzial (z. B. anaerobe Co-Vergärung von Schwarzwasser) und potenzielle Auswirkungen auf die Reinigungsfähigkeit der ARA wurden aufgezeigt von Morandi et al. (2017), Morandi et al. (2018), Morandi und Steinmetz (2019). Vorschläge optimaler Transitionswege zu dezentralen Abwassersystemen in ländlichen Gemeinden auf Basis von Modellansätzen (jedoch nur mit theoretischen Gewichten für vier Ziele) wurden durch Baron et al. (2015a), Dilly et al. (2017) erarbeitet.

Im Forschungsprojekt DezSWWJuraSO konnten wir einen ersten Beitrag in Bezug auf den Startzeitpunkt der Umsetzung einer Transition liefern. Für die Fallstudie 1 wurden dazu Systemübergänge zu mehreren Zeitpunkten und zwischen verschiedenen Systemzuständen untersucht (siehe «Technischer Bericht» (Beutler und Lienert 2020b), S. 50 und ab S. 119). Es galt zu identifizieren, ob in der MCDA frühe oder späte Übergänge grundsätzlich bessere Ergebnisse lieferten.

Unsere MCDA-Ergebnisse zeigten bezüglich des Startzeitpunkts einer Transition vier Hauptresultate:

- 1) *Ist eine Entscheidung für ein neues Abwassersystem gefallen, lohnt sich ein frühzeitiger Umstieg mehr als ein späterer.*

Dies gilt immer dann, wenn das neue System verbesserte Leistungen erbringt im Vergleich zum bestehenden Abwassersystem (d. h. das neue System erreicht mindestens ein Ziel so viel besser, dass ein höherer Gesamtnutzen resultiert). Ein zeitliches Aufschieben der Transition «auf später» wirkt sich dann auf die Opportunitätskosten aus und erhöht diese (d. h. je mehr Ziele je länger nicht besser erfüllt werden, je höher diese Kosten²³).

²³ Hinweis: Opportunitätskosten (auch: Verzichtskosten) sind keine realen Kosten, sondern ein erwarteter Nutzen, auf den verzichtet wird. Die Aussage zu den Opportunitätskosten gilt hier qualitativ, da eine genaue Berechnung im Projekt nicht stattgefunden hat.

- 2) *Kosteneinsparungen auf Grund eines späteren Beginns der Transition und damit einer späteren Fälligkeit von Investitionskosten zeigten keinen Effekt zu Gunsten einer späteren Transition.*

Kostenersparnisse, die sich auf Grund eines späteren Beginns einer Transition ergaben, waren in allen untersuchten Fällen zu gering, als dass sie den Verzicht auf die bessere Erreichung anderer Ziele kompensieren konnten. Das gilt für die von uns identifizierten Zielhierarchien und erhobenen Präferenzen (z. B. Gewichtung «Tiefe Jahreskosten»). Unsere Untersuchungen zeigten (Beutler und Lienert (2020c), S. 57), dass selbst ein Aufschieben um 20 Jahre keine Kosteneinsparungen erbringt, die die entstehenden Opportunitätskosten aufwiegen. Dies gilt vor allem, weil «Tiefe Kosten» entgegen der allgemein verbreiteten Perspektive nicht nur das einzige entscheidungsrelevante und auch nicht das wichtigste Ziel waren.

Auf Basis unserer Sensitivitätsanalysen lässt sich qualitativ schlussfolgern, dass drei Randbedingungen zutreffen müssten, damit ein späterer Transitionsbeginn auf Grund von Kosteneinsparungen sinnvoll ist: i) eine Gewichtung für «Tiefe Jahreskosten» von mehr als 20 %, ii) die potenziellen technischen Optionen unterscheiden sich vom bestehenden System (Status Quo) nur geringfügig (d. h. sie erreichen einige Ziele nur in geringem Masse besser) und iii) Kosteneinsparungen sind bereits bei einem kurzfristigen Aufschub der Transition (1–5 Jahre) massgeblich (v. a. abhängig von zusätzlichen, hohen Sonderabschreibungen²⁴ durch Restbuchwerte und dem angenommenen Diskontierungssatz). Die Untersuchung des genaueren numerischen Zusammenhangs war nicht Gegenstand dieses Projekts.

- 3) *Die Zusammensetzung der Zielhierarchie hat massgeblichen Einfluss auf die Verschiebung eines für eine Gemeinde guten Transitionszeitpunkts.*

Die Zielhierarchie fasst alle Ziele zusammen, die für die Beteiligten bei der konkreten Entscheidung eine wichtige Rolle spielen. Diese kann je nach Fall anders aussehen, aber gemäss unserer Erfahrung aus verschiedenen – auch früheren – Projekten sind immer wieder ähnliche Ziele wichtig (Abbildung 5, S. 63).

Für Gemeinden, die für die Bewertung ihres zukünftigen Abwassersystems z. B. das Ziel «Geringes Ausfallrisiko der Abwasserreinigung» in der Zielhierarchie berücksichtigen, wird ein früher Transitionszeitpunkt tendenziell besser abschneiden als ein Aufschub. Dies wird begünstigt durch nur niedrige Sonderabschreibungen und kurze Restnutzungsdauern der vorhandenen Systemelemente (z. B. hohes Alter der ARA mit >30 Jahren).

Die Berücksichtigung z. B. eines Ziels «Hohe Entscheidungsflexibilität in Zukunft» kann dazu führen, dass sich die Aufschiebung einer Transition tendenziell mehr lohnt. Bevorzugen Entscheidungsträger*innen das Offenhalten von möglichst vielen Optionen, so schneidet ein späteres Festlegen auf ein Abwassersystem und eine damit allfällig verbundene Transition besser ab (z. B. auch durch Zwischenlösungen; siehe Beutler und Lienert (2020b), ab S. 119).

²⁴ Sonderabschreibungen wären in beiden Fallstudiengemeinden für die ARA (und sogar z. T. für die Kanalisation) nicht mehr angefallen, da in der Vergangenheit die Buchwerte fast vollständig abgeschrieben wurden.

- 4) *Eine frühe, vollständige Transition ist nicht nur besser, als ein späterer Umstieg, sondern auch besser als ein schrittweiser Übergang zu einem neuen System mit technischen Zwischenlösungen.*

Der Effekt wurde in Fallstudie 1 aufgezeigt, war aber eher gering. Technische Zwischenlösungen können dazu führen, dass insgesamt ein geringerer Nutzen durch ein System erbracht wird (z. B. weil Zwischeninvestitionen die Kosten erhöhen, die Ziele nicht besser erreicht werden aber mehr Entscheidungsoptionen für einen längeren Zeitraum offenbleiben). Unsere Resultate zeigten, dass dieser Effekt auftritt und dass er sich v. a. bei einer anderen Zielhierarchie gegensätzlich auswirken kann (s. Punkt (3) bzgl. «Hohe Entscheidungsflexibilität in Zukunft»), sodass sogar technische Zwischenlösungen besser abschneiden könnten.

Wir konnten auch zeigen, dass die grundsätzliche Tendenz unserer Ergebnisse (dezentrale Abwassersysteme erreichen die gewichteten Ziele der Akteur*innen genauso gut oder besser als zentrale) nicht nur für den Zeitraum von 20 Jahren, sondern auch für einen längeren Zeitraum von 60 Jahren gilt (siehe Beutler und Lienert (2020c) ab S. 57). Das heisst, trotz häufigerer Zwischeninvestitionen (ca. 30 Jahre) erbringen dezentrale Abwassersysteme gute Leistungen sowohl über mittel- als auch langfristige Perioden. Diese Resultate unterstützen die Vorteile einer frühen Transition.

Projektziel 2 «Unterstützung des Milizsystems bei schwierigen Entscheidungen»

Unterstützung durch Einbezug von Akteur*innen

Wie werden Akteure, die oft abwassertechnische Laien sind, und deren Präferenzen in den Entscheidungsprozess mit einbezogen?

In beiden Fallstudien wurde mit Mitgliedern der Projektteams zusammengearbeitet, deren Beruf mehrheitlich ausserhalb des Wasserver- und Abwasserentsorgungsbereichs lag. Einige Personen hatten Vorerfahrungen zu Abwasserthemen aus dem eigenverantwortlichen Betrieb einer kleinen Abwasserreinigungsanlage für die eigene Liegenschaft sowie aus politisch-administrativen Vorgängen (z. B. Klärwärter, Ressortverantwortlichkeit als Gemeinderat/-rätin). Detaillierte Vorkenntnisse insbesondere zu dezentralen Abwasserreinigungstechnologien sowie deren Vor- und Nachteile waren grösstenteils nicht vorhanden.

Trotz dieser Ausgangslage konnten wir im Projekt in beiden Fallstudien aufzeigen, dass lokale Entscheidungsträger*innen sowie deren Perspektiven an verschiedenen Stellen im Prozess einbezogen werden können. Die Grundidee bei einer strukturierten, multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDA) liegt in der Zerlegung des Entscheidungsproblems in handhabbare Teilstücke. Eine vertiefte Fachkenntnis der Abwasserthematik war dabei weder zu Beginn noch am Ende des Prozesses notwendig. Grund dafür ist die wertebasierte Fokussierung auf Ziele und Präferenzen statt (nur) auf technische Details verschiedener Optionen. So mussten nur Informationen bereitgestellt werden, die den Teilnehmer*innen überblicksartig die wichtigsten Angaben zu Abwassersystemen in Bezug auf die Ziele lieferten (z. B. Faktenblätter in Abbildung 1 (S. 17); Erläuterungen zu technischen Optionen als Präsentation im Workshop).

Prozessschritte in den Fallstudien und Potenziale zur Akteursbeteiligung

Für die Entscheidungsunterstützung mittels MCDA gibt es ein Vorgehen, dem wir auch in diesem Projekt gefolgt sind. Typische Prozessschritte in Anlehnung an Keeney und Raiffa (1976), Eisenführ et al. (2010), Lienert et al. (2015), Zheng et al. (2016) sind:

- 1) **Problemstrukturierung** inkl. Klärung der Systemgrenzen, **Defizitanalyse** sowie **Akteursanalyse** («Wer sollte in den Prozess mit einbezogen werden?»)
- 2) Erarbeiten von **Zielen** («Was ist mir in dieser Entscheidung wichtig?») und Definition von **Indikatoren** («Wie können wir die Erreichung des Ziels messen?»)
- 3) Identifikation von **Optionen** («Wie kann mit dem Abwasser umgegangen werden?»)
- 4) Erarbeitung von **Zukunftsszenarien** («Wie könnte eine – fiktive – Welt in x Jahren aussehen?»); «Welche Auswirkungen hätte eine solche Welt auf den Umgang mit Abwasser, die Optionen, die Ziele und Präferenzen?»)
- 5) Abschätzung der **Konsequenzen** und der **Unsicherheit** dieser Vorhersagen («Wie gut erreicht jede Option jedes Ziel? Wie unsicher ist diese Vorhersage?»)
- 6) Erhebung von **Präferenzen** von Akteur*innen («Wie wichtig ist mir die Erreichung dieses Ziels im Vergleich zur Erreichung der anderen Ziele?»)

- 7) Aufstellen und Berechnen des **MCDA-Modells** unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Schritten 5–6; («Wie gut erreicht jede Option gesamthaft alle Ziele für jede*n Akteur*in?»; «Wie unsicher ist dieses Resultat?»)
- 8) **Diskussion der Resultate** mit den Akteur*innen und Aufzeigen von **Entscheidungsempfehlungen**

Im Laufe der Durchführung des MCDA-Prozesses in beiden Gemeinden wurden die Mitglieder der Projektteams, Vertreter*innen der kantonalen Fachstellen sowie interessierte Personen aus der Bevölkerung einbezogen. Dies geschah mit Hilfe von Auftakt- sowie Abschlussveranstaltungen, Interviews, Online-Umfragen, persönlichen Gesprächen, Fragebögen, Workshops und Gruppenarbeiten (nicht immer waren alle Akteur*innen zu allen Aktivitäten eingeladen). Tabelle 3 beschreibt überblicksartig die durchgeführten Prozessschritte sowie Ergebnisse in beiden Fallstudiengemeinden und zeigt die Aktivitäten mit Einbezug von Akteur*innen auf (Details siehe Projektberichte: Beutler und Lienert (2020b), Beutler und Lienert (2020c)).

Tabelle 3: Übersicht zu Prozessschritten der Entscheidungsunterstützung, durchgeführten Aktivitäten sowie Art der Ergebnisse in den Fallstudien. Veranstaltungen und Aktivitäten, bei denen Akteur*innen einbezogen wurden, sind **fett** hervorgehoben.

Fallstudie 1	Prozessschritt	Fallstudie 2
<ul style="list-style-type: none"> • Kick-off Meeting mit Kernpersonen der Gemeinde und AfU Solothurn: Eingrenzung Fragestellung, Klärung Datenverfügbarkeit und Prozessablauf • Akteursanalyse: Identifikation wichtiger Akteure durch 19 Interviews (Projektteam, Ing.-Büro, kantonale Ämter, Betriebspersonal, Einwohner*innen) 	1) <i>Systemgrenzen festlegen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Kick-off Meeting mit Projektteam und AfU Solothurn: Eingrenzung Fragestellung, Klärung Datenverfügbarkeit und Prozessablauf • Akteursanalyse: Online-Umfrage zur Identifikation wichtiger Akteure
<ul style="list-style-type: none"> • 14 Ziele (Abbildung 5, S. 63) mit Hilfe von Interviews und Online-Umfrage identifiziert (11 identisch mit Fallstudie 2) und in 1. Workshop mit Projektteam konsolidiert • Indikatoren definiert (Eawag) auf Basis frühere Projekterfahrung und im Hinblick auf Berechenbarkeit sowie allg. Verständlichkeit (für Präferenzenerhebung) 	2) <i>Ziele identifizieren und Indikatoren festlegen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 14 Ziele (Abbildung 5, S. 63) mit Hilfe Online-Umfrage identifiziert (11 identisch mit Fallstudie 1) und in 1. Workshop mit Projektteam konsolidiert • Indikatoren aus Fallstudie 1 für gleiche Ziele überwiegend wiederverwendet: generische Indikatoren direkt verwendet (z. B. «Hohe Attraktivität»), lokalspezifische (z. B. «Tiefer netto Energieverbrauch») geringfügig angepasst • Indikatoren für neue Ziele nach gleichen Kriterien definiert (s. Fallstudie 1)
<ul style="list-style-type: none"> • Zielvorgabe: unabhängig von tatsächlicher Machbarkeit möglichst breite Technologiepalette für Transitionspotential zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit Zwischensystemen erkunden • 10 konzeptionelle Technologien identifiziert als Ausgangsbasis für die Erstellung von zentralen, dezentralen und hybriden Transitionspfaden 	3) <i>Optionen identifizieren</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Zielvorgabe: nur vielversprechendste und machbare Technologien aus Fallstudie 1 für strategische Betrachtung (d. h. für alle Ortsteile denkbar); keine späten Transitionszeitpunkte und keine Zwischensystemlösungen • 7 konzeptionelle Technologien verwendet als Ausgangsbasis für die Erstellung von 11 Transitionspfaden (5x dezentral, 4x zentral, 2x hybrid) • Konsolidierung der berücksichtigten Technologien und Transitionspfade in 1. Workshop mit Projektteam

Fallstudie 1	Prozessschritt	Fallstudie 2
<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt 50 Transitionspfade definiert für an die Kanalisation angeschlossene und nicht angeschlossene Haushalte • Konsolidierung der berücksichtigten Technologien und Transitionspfade in Meeting mit AfU SO und in 1. Workshop mit Projektteam 		
<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung von drei grundsätzlichen Szenarien und ihren ökologischen, ökonomischen und sozialen Ausprägungen (Eawag) • Gruppenarbeit in 1. Workshop (3 Gruppen) zur Bedeutung der Szenarien für die allg. Gemeindeentwicklung und deren mögliche Auswirkungen auf identifizierte Ziele, Gewichte und technische Optionen • Ableitung von unterschiedlichen Gewichten aufgrund der Szenarien (siehe Punkt 7) 	<p>4) <i>Zukunftsszenarien erarbeiten</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederverwendung und leichte Anpassung der drei Szenarien aus Fallstudie 1 (Eawag) • Gruppenarbeit in 1. Workshop (3 Gruppen) zur Bedeutung der Szenarien für die allg. Gemeindeentwicklung und deren Auswirkungen auf identifizierte Ziele, Gewichte und technische Optionen • Ableitung von unterschiedlichen Gewichten aufgrund der Szenarien (siehe Punkt 7)
<ul style="list-style-type: none"> • Prognosen auf Basis ingenieurtechnischer Berechnungen (Eawag), Literaturwerte, früherer Projekterfahrung und Expertenaussagen erstellt (S. 16) • Unsicherheiten der Prognosen abgeschätzt • Zusammenfassung aller Konsequenzen (Prognosen) in fünf Entscheidungsmatrizen (je eine für jeden 5-Jahreszeitpunkt von 2020 bis 2040) zur Berücksichtigung der Transitionsauswirkung von Zwischensystemlösungen (Beutler und Lienert 2020b) 	<p>5) <i>Konsequenzen abschätzen</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prognosen aus Fallstudie 1 für gleiche Ziele überwiegend wiederverwendet; teilw. bestehende Indikatoren neu definiert sowie Berechnungen angepasst (z. B. «Hohe Flexibilität»; S. 16) • Berechnung Prognosen (inkl. Unsicherheiten) für neue Ziele • Zusammenfassung aller Konsequenzen in einer Entscheidungsmatrix für einen Zeitpunkt (da keine Zwischensystemlösungen betrachtet; Beutler und Lienert (2020c))
<ul style="list-style-type: none"> • Materialien für Präferenzenerhebung erarbeitet (Eawag) auf Basis bewährter Erhebungsmethoden (Gewichte: 	<p>6) <i>Präferenzen von Akteuren erheben</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederverwendung und zahlentechnische Anpassung der Materialien aus Fallstudie 1 für erste Erhebungsrunde

Fallstudie 1	Prozessschritt	Fallstudie 2
<p>Swing, Wertefunktion: Bisektionsverfahren, Risikoeinstellung: Lotterien) und eigener Projekterfahrungen (Überprüfung Modellannahmen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Präferenzen (Gewichte, Wertefunktionen, Risikoeinstellung, Modellannahmen) in 1. Workshop von zwei Gruppen (Projektteam) erhoben (insgesamt 8 Gruppen-Präferenzen durch leichte Variation der Angaben der Gruppenmitglieder) • Präferenzen von einem Mitarbeiter des AfU SO in einem Interview erhoben (Gewichte, Wertefunktionen, Risikoeinstellung) 		<ul style="list-style-type: none"> • Erste Runde: Präferenzen (Gewichte, Wertefunktionen, Modellannahmen) in 1. Workshop von drei Gruppen (Projektteam) erhoben (insgesamt 12 Gruppen-Präferenzen durch leichte Variation der Angaben der Gruppenmitglieder) • Zweite Runde: Erhebung von Gewichten (Swing) vom Projektteam und von interessierten Mitgliedern der Bevölkerung mittels einer Online-Umfrage (insgesamt Gewichte von 31 Personen) oder alternativ einer Umfrage in Form eines analogen Fragebogens auf Papier (Methode der Online-Erhebung von Gewichten siehe Aubert et al. (in prep.))
<ul style="list-style-type: none"> • Monte-Carlo-Simulationen der MCDA in der Open-Source-Programmiersprache R (R Core Team 2018) für 2 verschiedene Modelle (additive und nicht-additive Aggregation der Indikatoren); für Gewichte von 2 Gruppen und 1 Vertreter AfU SO • Sensitivitätsanalysen der Präferenzen durch Simulationen mit angepassten Gewichten aus Szenarien (siehe Punkt 4) und weitere veränderte Gewichte (Überprüfung Robustheit der Ergebnisse, z. B. falls Akteur*innen das Ziel «Tiefe Kosten» viel wichtiger finden würden) • Analyse der Zielerreichung durch jede Option in 20 Jahren (d. h. Optionen, die am Ende gut abschneiden) sowie Zielerreichung der einzelnen Pfade über die Zeit zur Identifikation von guten Transitionszeitpunkten • Identifikation von Konsensoptionen für alle Akteure auf Basis der MCDA-Werte («Wie gut erreicht jede Option 	<p>7) <i>MCDA berechnen</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Monte-Carlo-Simulationen der MCDA in der Open-Source-Programmiersprache R für 2 Aggregationsmodelle und Gewichten von 6 Gruppen • 19 Sensitivitätsanalysen (Sensitivität der Ergebnisse wenn andere Präferenzen angenommen werden; z. B. aufgrund der Szenarien sowie weitere veränderte Annahmen zur Überprüfung Robustheit der Ergebnisse) • Identifikation von Konsensoptionen über alle Akteure*innen auf Basis der MCDA-Werte und -Rangfolgen sowie Kosten-Nutzen-Gegenüberstellungen etc. • Berechnung der MCDA-Ergebnisse auf Basis der 31 individuellen Gewichte aus Online-Umfrage mit Hilfe der sich in Entwicklung befindenden Online-App <i>ValueDecisions</i> (s. S. 46)

Fallstudie 1	Prozessschritt	Fallstudie 2
<p>für jede*n Akteur*in alle Ziele zusammen?») und MCDA-Rangfolgen («Welche Option ist für welchen Akteur die beste, zweitbeste, etc.?») sowie Kosten-Nutzen-Gegenüberstellungen etc.</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Aufzeigen und gemeinsames Begutachten der detaillierten MCDA-Ergebnisse im 2. Workshop inkl. Diskussion der Gründe für das gute / schlechte Abschneiden von Optionen und Klärung von Fragen bzgl. Technologien, Praxisaspekten und weiterem Vorgehen • Gruppenarbeit zum Management dezentraler, zentraler und hybrider Abwassersysteme (beteiligte*r Akteur*innen, ihre Aufgaben sowie Verantwortungsbereiche) • Feedback Projektteam und offene Fragen • Darstellung aller Ergebnisse und detaillierte Beschreibung der Methoden und deren Anwendung in einem technischen Bericht (Beutler und Lienert 2020b) • Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse in einem Bericht für die Gemeinde (Beutler und Lienert 2020a) • Gemeinsames Abschlusstreffen mit Vertreter*innen aus Projektteams beider Gemeinden und dem kantonalen Umweltamt AfU SO (gemeinsame Kurzauswertung und Diskussion der Ergebnisse aus beiden Gemeinden) 	<p>8) <i>Ergebnisse diskutieren</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Methodisch gleiche Präsentation der Ergebnisse und Diskussion im 2. Workshop wie in Fallstudie 1 • Gruppenarbeit zur Planung und Durchführung einer Transition vom bestehenden zu einem dezentralen Abwassersystem (notwendige Entscheidungen, Sitzungen, Akteure, Änderung Reglemente, Zeiträume, Finanzierungsmöglichkeiten etc.) • Feedback Projektteam und offene Fragen • Darstellung aller Ergebnisse und Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse in einem Bericht für die Gemeinde (Beutler und Lienert 2020c) • Online-Umfrage zu Fairness-Aspekten bei der Transition von Abwassersystemen mit dem Projektteam und der Bevölkerung (Schmid et al. subm.); Ergebnisse und Interpretation in Beutler und Lienert (2020c) ab S. 66) • Gemeinsames Abschlusstreffen mit Vertreter*innen aus Projektteams beider Gemeinden und dem kantonalen Umweltamt AfU SO (gemeinsame Kurzauswertung und Diskussion der Ergebnisse aus beiden Gemeinden im Projekt)

Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass Akteure bei fast allen Schritten in einem MCDA-Prozess einbezogen werden können. Davon ausgenommen sind zwei Schritte, deren Bearbeitung Fachkenntnisse erfordern:

- *Berechnung bzw. Abschätzung der Konsequenzen (Schritt 5)*
Die Bewertung der Konsequenzen oder anders ausgedrückt, das Erstellen von Zukunftsprognosen (d. h. wie gut jede Option jedes Ziel erreicht) muss durch Fachleute mit entsprechender Expertise erfolgen. Dieser Schritt ist die Grundlage, um a) Laien im Prozess eine reine Fokussierung auf Ziele und ihre Präferenzen zu ermöglichen und b) eine fundierte und realitätsnahe Einschätzung der Folgen einer Entscheidung in Bezug auf die Ziele zu erhalten.
Ein teilweiser Einbezug von lokalen Akteur*innen ist dennoch auch bei diesem Schritt möglich: ihr Feedback könnte genutzt werden, um zu bewerten, wie gut Ziele bzw. Indikatoren von einzelnen Optionen erreicht werden. Als Beispiel lässt sich hier das Ziel "Hohe Attraktivität der Hausinstallationen" nennen (dieses Ziel wurde in beiden Fallstudien angewendet). Die Bewertung der Attraktivität jeder Option auf einer Skala von 0 bis 10 erfolgte durch drei Wissenschaftler*innen der Eawag, aufgrund von unseren Erfahrungen aus früheren Fallstudien und der Literatur. Denkbar ist, diese Bewertung durch die Akteur*innen selbst durchführen zu lassen (z. B. in einer Gruppenarbeit mit anschliessender Diskussion im 1. Workshop), sodass die Bewertung der Attraktivität verschiedener Abwassersysteme und deren Hausinstallationen noch fall-spezifischer wäre.
- *Durchführung der MCDA-Simulationen (Schritt 7)*
Die Simulation der MCDA mit Hilfe geeigneter Programme und die Analyse der Ergebnisse erfolgen ebenfalls hauptsächlich ohne Einbezug von Laien. Die am Prozess beteiligten Akteur*innen können bei diesem Schritt aber einen indirekten Einfluss bekommen. Die Simulationsergebnisse wurden während des 2. Workshops eingehend erläutert. Die Mitglieder des Projektteams hatten daraufhin die Gelegenheit, weitere Untersuchungen für die Simulation vorzuschlagen (z. B. weitere Sensitivitätsanalysen durch andere Szenarien oder veränderte Gewichte). Diese Inputs können durch die ausführenden Fachpersonen umgesetzt werden.

Empfehlungen zum Einbezug von Akteur*innen

Für die im Projekt genutzten Formate zum Einbezug von Akteur*innen in den Entscheidungsprozess können qualitative Empfehlungen abgegeben werden (Tabelle 4; siehe dazu auch S. 41).

Im Projekt wurden viele Online- und Gruppenformate getestet, um eine möglichst hohe Reichweite an verschiedene Akteure zu erzielen und eine Auswertung von Ergebnissen durch digitale Daten zu vereinfachen. Zusätzlich haben wir Interviews mit Einzelpersonen durchgeführt. Die Zurverfügungstellung von analogen und umfangreichen Fragebögen (z. B. per Postsendung in jeden Briefkasten bzw. als Auslage in der Gemeindeverwaltung) hat sich für die Erhebung von Gewichten nicht bewährt, da der Rücklauf sehr klein war (siehe Beutler und Lienert (2020c), S. 63). Dieses Format kann jedoch hilfreich sein, wenn die auszufüllenden Fragebögen kurz sind, nur einfache Angaben mit geringer Fehleranfälligkeit abgefragt werden und auch schlecht erreichbare Bevölkerungsteile einbezogen werden sollen (z. B. Personen ohne ausreichenden Internetzugang).

Tabelle 4: Übersicht qualitative Bewertung der einzelnen Aktivitäten zum Einbezug von Akteur*innen im Entscheidungsunterstützungsprozess. Die Spalte «Reichweite» bezieht sich auf die potenzielle Anzahl Teilnehmer*innen, die mit dieser Aktivität innerhalb der notwendigen Zeit (Vor-/Nachbereitung, Durchführung) erreicht / einbezogen werden können: *gering* (wenige Teilnehmer*innen; hoher Zeitbedarf), *moderat* (zwei bis drei Dutzend Personen; moderater Zeitaufwand), *hoch* (sehr viele Teilnehmer*innen; moderater Zeitaufwand). Die «Wertschätzung» beschreibt qualitativ auf Basis von Rückmeldungen, wie stark die Teilnehmer*innen diese Aktivität gemocht haben. Bei der «Eignung für grosse Gruppen» wird eingeschätzt, wie gut auch grössere Bevölkerungsteile einbezogen werden können. Zur Abschätzung des zeitlichen Aufwands einzelner Aktivitäten siehe Abschnitt «Zeitbedarf einer MCDA» ab S. 42.

Aktivität	Vorteile	Nachteile	Reichweite	Wertschätzung	Eignung für grosse Gruppen
Auftaktveranstaltung (Kick-off)	<ul style="list-style-type: none"> • Persönliches Kennenlernen als Basis für weitere Zusammenarbeit • Gutes Format, um am Anfang offene Fragen individuell zu beantworten • Abklärung über weiteren Verlauf und Termine des Prozesses mit allen Teilnehmer*innen am einfachsten 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Aufwand für Vor- und ggf. Nachbereitung (Daten, Protokoll) • Zusammensetzung der Gruppe (Projektteam) entscheidet über weiteren Prozessverlauf 	Moderat	Eher hoch	Bedingt (< 25 Personen)
Interview (mit 1 bis 2 Personen)	<ul style="list-style-type: none"> • Interviewpartner*innen können sehr individuelle Antworten auf Fragen geben; Detailreichtum • Interviewer*in kann gezielt Rückfragen zu (unklaren) Antworten stellen • Keine Lücken in Fragen und keine falschen bzw. unwertbaren Antworten, da 	<ul style="list-style-type: none"> • Erheblicher Zeitaufwand für Durchführung, Vor- und Nachbereitung (z. B. Erstellung Fragenkatalog für spätere, Vergleichbarkeit der Interviews; Digitalisierung der Daten) • Um Beeinflussung durch Fremdmeinungen gering zu halten können nicht mehr als ca. zwei Personen parallel interviewt werden 	Gering	Hoch	Bedingt (bei grossen Gruppen extrem hoher Zeitaufwand)

Aktivität	Vorteile	Nachteile	Reichweite	Wert-schät-zung	Eignung für grosse Gruppen
Online-Umfrage	<p>ständige Kontrolle durch Interviewer*in</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Reichweite mit Potenzial zur Abbildung eines breiten Meinungsspektrums • Auch als repräsentative Bevölkerungsumfrage möglich (idealerweise mit Hilfe eines Umfrage-Instituts) • Hohes Potenzial zur Wiederverwendbarkeit für mehrere / viele Anwendungsfälle • Ausfüllen kann durch Teilnehmer*innen zeitlich individuell erfolgen • Daten zur Auswertung liegen bereits digital vor 	<ul style="list-style-type: none"> • Kann von Teilnehmer*innen als zu statisch, d. h. zu wenig individuell wahrgenommen werden • Schliesst Teilnehmer*innen mit fehlender Internetkompetenz oder unzureichendem Internetzugang aus • Gefahr, dass falsche Ergebnisse generiert werden i) aufgrund mangelnder Erfahrung (z. B. Fragebogen methodisch nicht genügend durchdacht, zu wenig Erfahrung im Design von Fragebogen, ungenügende Methodenkenntnisse, keine Kontrollfragen) oder ii) weil die Teilnehmer*innen die Fragen nicht verstehen und nicht rückfragen können oder iii) weil sie zu schnell beantworten (Heuristiken) • Mit steigendem Umfang der Umfrage auch steigende Tendenz nicht fertig ausgefüllter Umfragen: Risiko nicht verwertbarer Daten 	Hoch	Moderat bis hoch	Ja
Umfrage via	<ul style="list-style-type: none"> • Auch für Personen mit keinem Internetzugang oder geringer Online-Affinität zugänglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle oder halbautomatische Digitalisierung der Daten notwendig • Aufwand für Rücksendung kann Hemmnis sein 	Gering bis hoch (abhängig vom Fall und Aufwand, der für	Eher gering	Ja (potenziell hoher Digitalisierungsaufwand)

Aktivität	Vorteile	Nachteile	Reichweite	Wertschätzung	Eignung für grosse Gruppen
Fragebogen (analog)		<ul style="list-style-type: none"> • Gefahren bzgl. Fragebogendesign und ungenügender Antworten gleich wie bei Online-Umfrage • Hohe Anfälligkeit für Fehler oder nicht verwertbare Angaben (Lücken bei der Beantwortung) 	Rücklaufquote betrieben wird)		
Workshop	<ul style="list-style-type: none"> • Format mit den grössten und vielfältigsten Möglichkeiten (Präsentationen, Diskussionen, Gruppenarbeiten etc.) • Bei abwechslungsreichem Programm hohe Motivation der Teilnehmer*innen zur Mitarbeit • Am besten geeignet für gemeinsame Diskussionen, Auswertung von Analysen, Präferenzhebungen etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eher hoher Vor-/ Nachbereitungsaufwand • Terminfindung erschwert für grössere Gruppen und wegen der Dauer der Veranstaltung (halb-/ ganztägig) • Bei grossen Gruppen wenig Zeit für individuelle Beiträge der Teilnehmer*innen 	Moderat	Eher hoch	Ja / bedingt (Anzahl Moderator*innen abhängig von Teilnehmerzahl; Aufteilung in kleinere Gruppen während Workshop möglich)
Gruppenarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • Kleingruppen ermöglichen besseren und intensiveren Austausch; höheres Vertrauen zwischen Teilnehmer*innen und Moderator*in durch Nähe 	<ul style="list-style-type: none"> • Abschliessende Kurzpräsentation der jeweiligen Gruppenergebnisse im Plenum nicht bei allen beliebt (Scheu) • Bei Aufgabenaufteilung können sich nicht alle Teilnehmer*innen mit allen Aspekten befassen 	Gering bis moderat	Moderat bis eher hoch	Bedingt (viele kleinere Gruppen möglich; Moderationsaufwand steigt)

Aktivität	Vorteile	Nachteile	Reichweite	Wert-schät-zung	Eignung für grosse Gruppen
	<ul style="list-style-type: none"> • Hemmschwelle herabgesetzt, eigenen Beitrag in einer Gruppe zu leisten bzw. eigene Perspektive zu äussern • Aufteilung ermöglicht gezieltere Bearbeitung von Fragen / Aufgaben (z. B. unterschiedliche Szenarien pro Gruppe) 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderator*in muss zwischen Gruppen «springen» oder es braucht mehrere Moderator*innen • Material- und Vorbereitungsaufwand erhöht im Vgl. zu Plenum 			
Ab-schluss-veranstaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Austausch mit Vertretern*innen aus anderen Gemeinden • Ergebnispräsentation auch für grosse Gruppen möglich • Möglichkeit zur Klärung neu aufgekommener oder noch offener Fragen • Möglichkeit zur Danksagung und Darstellung des wertvollen Beitrags durch Projektteams («Wirkung über dem Tellerrand hinaus aufzeigen») 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Aufwand für Vor- und ggf. Nachbereitung (Daten, Protokoll) 	Moderat	Hoch	Ja

Kurzzusammenfassung

Während des Entscheidungsunterstützungsprozesses in beiden Fallstudiengemeinden konnten verschiedene Akteur*innen, darunter abwassertechnische Laien, erfolgreich in den Prozess einbezogen werden. Für zukünftige Projekte können wir festhalten:

- Eine Fachkenntnis der Teilnehmenden bei dem strukturierten und durch Moderator*innen geführten Prozess ist nicht notwendig.
- Der Einbezug von Akteur*innen kann in fast allen Prozessschritten erfolgen.
- Die gewählten Formate und Schritte ermöglichen die Aufnahme verschiedener Perspektiven und Präferenzen. Es braucht für die Anwendung der MCDA nicht nur eine «Durchschnittsperspektive», stattdessen können sogar sehr gegensätzliche Meinungsbilder berücksichtigt werden. Diese können bis zum Schluss parallel durch den Prozess «mitgezogen» werden, um am Ende Ergebnisse zu erhalten, die eine grosse Meinungsvielfalt zur Grundlage hatten.
- Trotz unterschiedlicher Meinungen ist es oft möglich, sich relativ einfach auf Kompromisslösungen und weitere Schritte zu einigen.
- Durch das strukturierte Aufteilen in Einzelschritte wird die Transparenz für alle Akteur*innen erhöht.
- Durch die Fokussierung auf Ziele werden trotz unterschiedlicher Meinungen oftmals unproduktive Dispute vermieden. Das Erheben der Präferenzen ist ein relativ technisches Vorgehen, in dem jede und jeder ihre / seine persönliche Meinung einbringen kann (oder sogar dazu aufgefordert wird). All diese Punkte erlauben es, die eigene Meinung ohne Gesichtsverlust zu überdenken und auch die Meinung anderer zu verstehen und anzuerkennen.
- Insgesamt fördert das strukturierte, partizipative, auf rationalen Prozessschritten beruhende Vorgehen einer MCDA das Vertrauen in die Methode und der daraus resultierenden Resultate, was wiederum deren Akzeptanz erhöht.
- Die verwendeten Formate im Entscheidungsprozess eignen sich für die Beteiligung von Individuen, kleineren und grösseren Gruppen bis hin zu ganzen Bevölkerungsteilen (z. B. repräsentativ zusammengestelltes Projektteam mit zusätzlicher Erhebung von Gewichten in der ganzen Gemeinde – oder darüber hinaus).

Unterstützung für erfolgreiche Transitionsprozesse

Wie können ohne Beschneidung der politischen Rechte im Milizsystem Transitionsprozesse gelingen?

«Echte» Transitionen zu dezentralen Abwassersystemen (d. h. der schrittweise aber vollständige Umbau eines zentralen zu einem dezentralen Abwassersystem über längere Zeiträume) wurden in der Schweiz und z. B. auch in Deutschland (siehe «Transition von Abwassersystemen», S. 12 und Anhang, S. 61) nach heutigem Kenntnisstand der Autor*innen noch nicht durchgeführt (s. a. S. 24). Die endgültige Durchführung einer Transition des Abwassersystems in einer der beiden Fallstudiengemeinden war auch nicht Gegenstand des Projekts DezSWWJuraSO. Daher können wir an dieser Stelle nicht abschliessend über Erfolgsfaktoren von Transitionsprozessen berichten. Nachfolgend stellen wir dar, welchen Beitrag ein MCDA-Prozess zur Stärkung der Verwaltungsstrukturen einer Gemeinde im Milizsystem liefern kann.

Entscheidung verbleibt bei der Gemeinde

Zu Beginn wurde in beiden Gemeinden während der «Kick-off»-Veranstaltungen betont, dass im Verlauf der Zusammenarbeit eine reine Entscheidungsunterstützung durchgeführt wird. Die eigentliche Entscheidung über das zukünftige Abwassersystem verblieb somit in jedem Fall bei der Gemeinde und wurde weder von der Eawag noch von kantonalen Vertreter*innen abgenommen. Die Betonung dieser Tatsache half, dass der MCDA-Prozess nicht als Bevormundung oder Beschneidung politischer Rechte verstanden wurde. Er wurde dadurch von den Projektmitgliedern nicht nur als (zusätzlicher) Zeitaufwand, sondern auch als «Service» für sie selbst wahrgenommen, wodurch sich eine Basis für Offenheit gegenüber den Eawag-Forschenden ergab.

Gemeinde erhält Sachkenntnisse und Einblick in Präferenzen verschiedener Akteure

Mit Hilfe des durchgeführten MCDA-Prozess in den Fallstudiengemeinden war es möglich, eine gute Basis für eine Entscheidung in beiden Fallstudiengemeinden zu legen. Ohne diesen Grundstein ist eine als erfolgreich wahrgenommene Transition durch die beteiligten Akteur*innen unwahrscheinlich.

Der strukturierte Prozess ermöglichte es, den Projektteams und damit auch den Vertreter*innen des Milizsystems viele Informationen zu Abwassersystemen bereitzustellen und bei allen einen Sachkenntnisstand herzustellen. Sie erhielten dadurch ein objektives Bild über die technischen Möglichkeiten und deren Konsequenzen. Dies stärkt die Strukturen im Milizsystem, da es grundsätzlich ermöglichte, sich besser «auf Augenhöhe» mit anderen, beim Umbau oder der Erneuerung des Abwassersystems beteiligten Akteur*innen (z. B. Ingenieurbüros) zu begegnen.

Der Sachkenntnisstand zur Abwasserinfrastruktur erlaubte, sich im Vorfeld einer Transition über die Konsequenzen der jeweiligen Entscheidung bewusst zu werden und diese abzuwägen. Gleichzeitig konnten die Akteur*innen durch die identifizierten Ziele (u. a. in gemeinsamen Diskussionen, die Eigen- und Fremdperspektiven aufzeigten) und erhobenen Präferenzen Einblicke in die gemeinschaftlichen Zielstellungen erhalten, die weit über ein ursprünglich rein ökonomisches Vergleichskriterium hinausgingen.

Politisch Verantwortliche können Probleme bei Transitionen antizipieren

Eine solide und detaillierte Kenntnis des Entscheidungsproblems, der Entscheidungsoptionen sowie deren Konsequenzen ist eine gute Voraussetzung, um Schwierigkeiten, die im Verlauf einer Transition auftreten können (z. B. Lärmemissionen durch Umbauarbeiten, zeitliche Beeinträchtigung der Nutzung von Hausinstallationen, Verzögerungen etc.), gedanklich vorweg zu nehmen. Der Bevölkerung sowie den Vertreter*innen im Milizsystem wird somit die Möglichkeit gegeben, sich «sehenden Auges» auf Transitionen einzulassen. Politisch Verantwortliche sind dadurch in der Lage, allfällige Massnahmen zur Abmilderung der Transitionseffekte im Vorfeld zu durchdenken und zu planen.

Zeitliche Anpassung der MCDA an Prozesse in der Gemeinde möglich

Die Strukturen und Abläufe im Milizsystem konnten und können auch durch den schrittweisen Aufbau der multi-kriteriellen Entscheidungsunterstützung (z. B. ab S. 14 in Beutler und

Lienert (2020b)) gestärkt werden. Die einzelnen Schritte sind zwar iterativ im Prozess miteinander verbunden, können aber «paketweise» abgearbeitet werden. Der MCDA-Prozess kann so auch über längere Zeiträume stattfinden (z. B. ein bis zwei Jahre wie in den Fallstudien) ohne zu erlahmen oder zu scheitern. Er kann dadurch auf die knappen Zeitkapazitäten im Ehrenamt und an die typischen Geschwindigkeiten von Abläufen im Milizsystem angepasst und bei Bedarf beschleunigt oder verlangsamt werden. Gerade eine längerfristige Auseinandersetzung mit der jeweiligen Entscheidungsthematik führt zu tiefergehenden Einblicken in die Vielfalt von Optionen.

Weitere Randbedingungen und Erfolgsfaktoren von Transitionen

Auf weitere notwendige Randbedingungen und etwaige Erfolgsfaktoren für eine Transition von Infrastrukturen im Milizsystem, die ausserhalb eines Prozesses zur Entscheidungsunterstützungen existieren, gehen wir an dieser Stelle nicht ein, da sie nicht Gegenstand dieses Forschungsprojekts waren. Interessierte Leser*innen finden eine Darstellung zu Erfolgsfaktoren gesellschaftlicher Transformationen (u. a. im Umweltbereich), deren praktische Anwendung sowie Beispiele erfolgreicher Veränderungsprozesse z. B. in Kristof (2020) und Eichhorn et al. (2019). Damit eine Transition oder allgemein die Einführung von technischen Neuerungen gelingen kann, sollten verschiedene Bedingungen auf institutioneller, organisatorischer und technischer Ebene erfüllt sein (Kiparsky et al. 2013). Anregungen aus früheren Projekten, wie aus strategischer Perspektive Transitionen geplant werden können, finden sich in Dominguez et al. (2011) und Truffer et al. (2010).

Projektziel 3 «Partizipative Entscheidungsprozesse durch Umweltbehörden»

Methoden und Werkzeuge zur Durchführung der MCDA

Welche Methoden und Werkzeuge stehen für Behörden, Gemeinden sowie Ingenieur- und Beratungsbüros zur Verfügung?

Die einzelnen Prozessschritte einer Entscheidungsunterstützung mittels MCDA sind in Tabelle 3 (S. 29) aufgelistet und wurden im «Technischen Bericht» zur 1. Fallstudie ausführlich vorgestellt (ab S. 14 in Beutler und Lienert (2020b)).

Möglichkeiten, um Akteur*innen in den Entscheidungsprozess mit Hilfe verschiedener Methoden aktiv mit einzubeziehen wurden in Kapitel 2 ab S. 27 noch einmal mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen dargestellt. Während der Zusammenarbeit mit den Projektteams im jeweils 2. Workshop wurden zudem zusätzliche, nicht zur MCDA gehörende, neue Gruppenarbeitsformate ausprobiert. Dazu gehörten:

- *«Managementoptionen: Guter Betrieb von Abwassersystemen»* (Beutler und Lienert (2020b) ab S. 122)
In dieser Gruppenarbeit erfolgte die Analyse und Verteilung von Aufgaben und Zuständigkeiten auf diverse Akteur*innen für den Betrieb dreier unterschiedlicher Abwassersysteme (zentral, dezentral, hybrid). Die Teilnehmer*innen mussten sich überlegen, wie mehrere, z. T. vorgegebene Aufgaben aus den Bereichen Anlagenbetrieb, Durchführung von Kontrollen, Organisation des Anlagenunterhalts sowie Finanzierung gegenwärtig und in Zukunft unter den Aufgabenträger*innen verteilt werden, damit ein guter Betrieb des gesamten Abwassersystems sichergestellt werden kann. Diese Übung kann sehr hilfreich sein für die Zusammenarbeit mit Gemeinden, die sich für ein neues Abwassersystem entschieden haben (z. B. Transition von zentral auf dezentral). Neu hinzukommende Aufgaben sowie Änderungen in den Verantwortlichkeiten können so vorab in die Planung einbezogen werden. Gerade für Gemeinden in Eigenverwaltung kann so auch überprüft werden, ob einzelne Funktionsträger*innen im Milizsystem auch in Zukunft nicht überlastet werden, neue Schulungen brauchen oder Aufgaben ggf. an Drittparteien ausgelagert werden sollten.
- *«Transitionsmanagement: Planung und Umsetzung eines Systemumbaus»* (Beutler und Lienert (2020c) ab S. 59)
Bei dieser Übung wurden die Teilnehmer*innen mit der Aufgabe konfrontiert, den Umbau von einem bestehenden, zentralen Abwassersystem in ihrer Gemeinde hin zu einem dezentralen System zu planen. Dafür mussten technische, organisatorische und finanzielle Entscheidungen, Massnahmen und Meilensteine identifiziert und in eine logische, funktionierende Abfolge gebracht werden. Ausserdem sollten für die einzelnen Massnahmen Akteure zugewiesen werden, die verantwortlich sind bzw. mit einbezogen werden müssen. Zusätzlich sollte ein grober, zeitlicher Rahmen für den gesamten Prozess gesteckt werden. Gerade die Gegenüberstellung von identifizierten Aktivitäten und dem anvisierten Zeitplan lieferte wertvolle Erkenntnisse für die Teilnehmer*innen zur Machbarkeit der Transition.
Die Teilnehmer*innen hatten die Möglichkeit, bei der Bearbeitung auftretende, offene

Fragen und Knackpunkte zu benennen. Diese wurden in einer abschliessenden Plenumsdiskussion dann innerhalb des gesamten Projektteams noch einmal erörtert. Diese Gruppenarbeit ist insbesondere sinnvoll für Gemeinden, die sich für den Umbau ihres Systems entschieden haben. Das Durchdenken des Transitionsprozesses liefert wichtige Hinweise für die Planung und notwendige Massnahmen, die vorab durch Verantwortliche im Milizsystem ergriffen werden müssen. Dazu gehören u. a. die zeitliche Planung des Einbezugs der Bevölkerung (z. B. in der Gemeindeversammlung), die Planung von allfälligen Pilotprojekten, der Einbezug betroffener Liegenschaftseigentümer*innen, Satzungsänderungen, GEP²⁵-Anpassungen, Lancierung von Kreditfinanzierungen sowie der Ablauf technischer Umbauaktivitäten.

Ein weiteres, in Fallstudie 2 ausprobiertes Vorgehen, bestand in der Online-Befragung der Bevölkerung zu Fairnessaspekten bei Transitionen von Abwassersystemen (Beutler und Lienert (2020c) ab S. 66). Ziel der Umfrage war es herauszufinden, welche Vorgehensweisen beim Umstieg vom zentralen zu dezentralen Abwassersystemen und dem «Ausprobieren» des dezentralen Systems in Pilotprojekten von betroffenen Akteur*innen als fair empfunden werden. Im Vorfeld der Untersuchung in Fallstudie 2 wurde diese Umfrage in grösserem Massstab als repräsentative Umfrage innerhalb der Deutschschweiz durchgeführt (Schmid et al. subm.).

Bei zukünftigen Entscheidungsunterstützungsprozessen kann diese Umfrage nicht nur einen Beitrag zum Einbezug der Bevölkerung leisten, sondern auch wichtige Hinweise liefern, welche Akteur*innen zu «Pionierschritten» bereit wären (z. B. Liegenschaftseigentümer*innen, die sich freiwillig als erstes für einen Umstieg auf eine neue, eher unbekanntere Technologie bereit erklären). Darüber hinaus kann die Umfrage Aussagen liefern, wie die Verteilung von finanzieller Unterstützung innerhalb betroffener Akteursgruppen am besten geregelt werden sollte.

Eine Weiterentwicklung dieser Online-Umfrage kann zusätzlich dazu dienen, die mögliche Akzeptanz verschiedener Kostenverteilungs- bzw. Gebührenmodelle in einer Gemeinde auszuloten. Diese Information würde für die Vertreter*innen der Gemeinde wertvolle Einblicke liefern hinsichtlich gewünschter, fairer Gebührensatzungsänderungen und deren Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung.

Zeitbedarf einer MCDA

«Welche Methoden sind auch vor dem Hintergrund einer dünnen Personaldecke durchführbar?»

Die Herausforderung der «dünnen Personaldecke»

Ziel war es, die oben beschriebenen Methoden zu identifizieren, in Fallstudien zu testen und eine Empfehlung für deren zukünftige Eignung bei Entscheidungsunterstützungen auszusprechen. Vor dem Hintergrund einer häufig «dünnen Personaldecke» in Behörden (für zusätzliche Aktivitäten z. B. im Rahmen einer MCDA sind in der Regel keine zusätzlichen Personalkapazitäten vorhanden) muss Bearbeiter*innen vorab der voraussichtliche Zeitbedarf

²⁵ GEP = Genereller Entwässerungsplan

bekannt sein. Dadurch kann abgeschätzt werden, welcher Aufwand eigenständig (in-house) erledigt, nötigenfalls zeitlich gekürzt oder extern beauftragt werden muss.

Analyse Zeitaufwand Fallstudie 2

Um den zukünftigen Zeitaufwand für die Durchführung einer Entscheidungsunterstützung in einer Gemeinde abschätzen zu können, wurde in der zweiten Fallstudie detailliert protokolliert, wann für welche Aufgaben wieviel Zeit notwendig war. Aufgrund dieser Erhebung haben wir den Mindestaufwand ermittelt, der für bestimmte Aktivitäten zu erwarten ist.

Sämtliche Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Fallstudie 2 fanden im Zeitraum Juni 2018 (Vorbereitungen Eawag) bis Januar 2020 (Publikation des finalen Berichts) statt. Erste Interaktionen mit Akteur*innen («Kick-off»-Veranstaltung) fanden im Dezember 2018 statt. Bereits im Juni 2018 begannen vorbereitende Aktivitäten (z. B. Beschaffung von GEP-Plänen, Abstimmung mit Projektbeteiligten etc.) in insgesamt jedoch geringem Umfang (14 Arbeitsstunden zwischen Juni und Dezember 2018).

Für die Bearbeitung der Fallstudie 2 wurden insgesamt 628 Arbeitsstunden (= 15 Arbeitswochen à 42 Std.) aufgewendet (Abbildung 2, Abbildung 3), die für die Analyse in fünf Kategorien aufgeteilt wurden (Tabelle 5). Der grösste Arbeitsaufwand ergab sich aus wissenschaftlichen Aktivitäten (248 h, 40 %), gefolgt von Aufgaben, die im Rahmen von Entscheidungsunterstützungsprozessen auch in Praxis- oder Beratungsprojekten auftreten (177 h = 4.2 Arbeitswochen, 28 %). Die Durchführung sowie Vor- und Nachbereitung beider Workshops erzeugte einen zeitlichen Aufwand von 95 Stunden (15 %), der nur unwesentlich grösser war als die Modellierung der eigentlichen MCDA (82 h, 13 %). Der geringste Zeitbedarf mit 26 Stunden (4 %) wurde für diverse Meetings (inkl. Vorbereitung von Präsentationen) z. B. im Rahmen der Auftaktveranstaltung («Kick-off») erzeugt.

Tabelle 5: Übersicht der Tätigkeiten für die fünf Analysekatogorien.

<i>Kategorie</i>	<i>Inhalte</i>
Wissenschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivitäten, ausschliesslich relevant für wissenschaftlichen Kontext • <i>Zum Bsp.:</i> Erstellung neuer Materialien (Fragebögen, Online-Umfragen), Programmierung spezifischer Analysen, Erhebung / Analyse / Dokumentation von Daten, Austausch mit Wissenschaftspartner*innen
Praxis	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivitäten und Materialien, die im weiteren Sinne relevant sind für Praxis- oder Beratungstätigkeiten in zukünftigen Entscheidungsprozessen • <i>Zum Bsp.:</i> Beschaffung GEP Unterlagen, Datenaufbereitung und -analyse, Abschätzung / Berechnung der Vorhersagen von Konsequenzen, Dokumentation in Berichtform, Kommunikation mit Projektpartner*innen, Projekt- und Terminkoordination
Workshops	<ul style="list-style-type: none"> • Sämtliche Aufgaben im Zusammenhang mit beiden Workshops • <i>Zum Bsp.:</i> Erstellung von Materialien, Planung, Absprachen, Ausdrucke für Handmappen, Absprache mit Ko-Moderator*innen, Dokumentation, Archivierung von Daten, An- und Abreise

Kategorie	Inhalte
MCDA	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivitäten im Rahmen der Durchführung der numerischen Simulationen und der Analyse und Interpretation der Simulationsdaten • <i>Zum Bsp.:</i> Aufbereitung erhobener Daten als Input für Simulationsmodell, Programmierung, Durchführung von Analysen, Erstellung von grafischen Ergebnisauswertungen, Prozessdokumentation
Meetings und Präsentationen	<ul style="list-style-type: none"> • Diverse Treffen mit beteiligten Projektpartner*innen, ausserhalb der anderen vier Kategorien (z. B. Kick-off Veranstaltung)

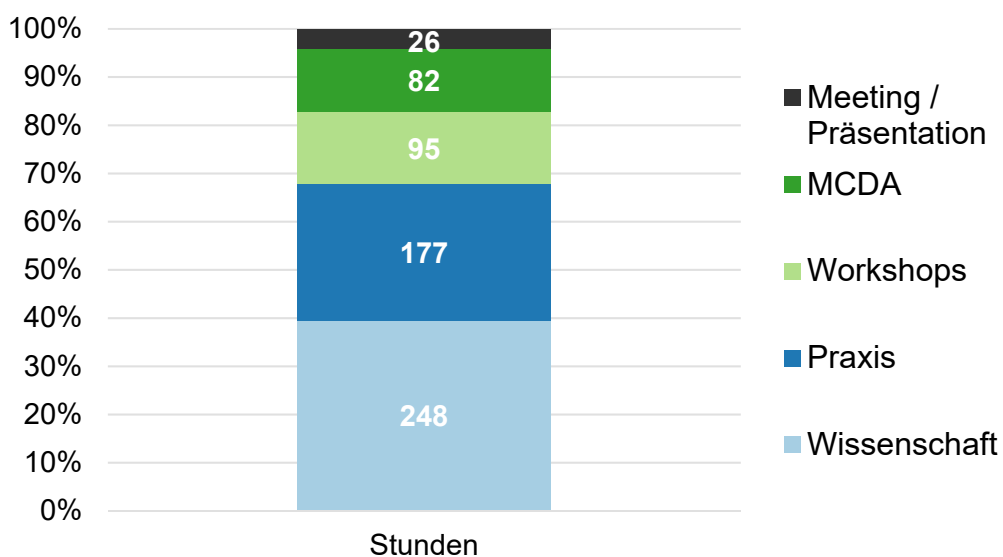


Abbildung 2: Insgesamt benötigte Bearbeitungszeit (628 Stunden = 15 Arbeitswochen à 42 Std.) für Fallstudie 2 unterteilt nach fünf Kategorien.

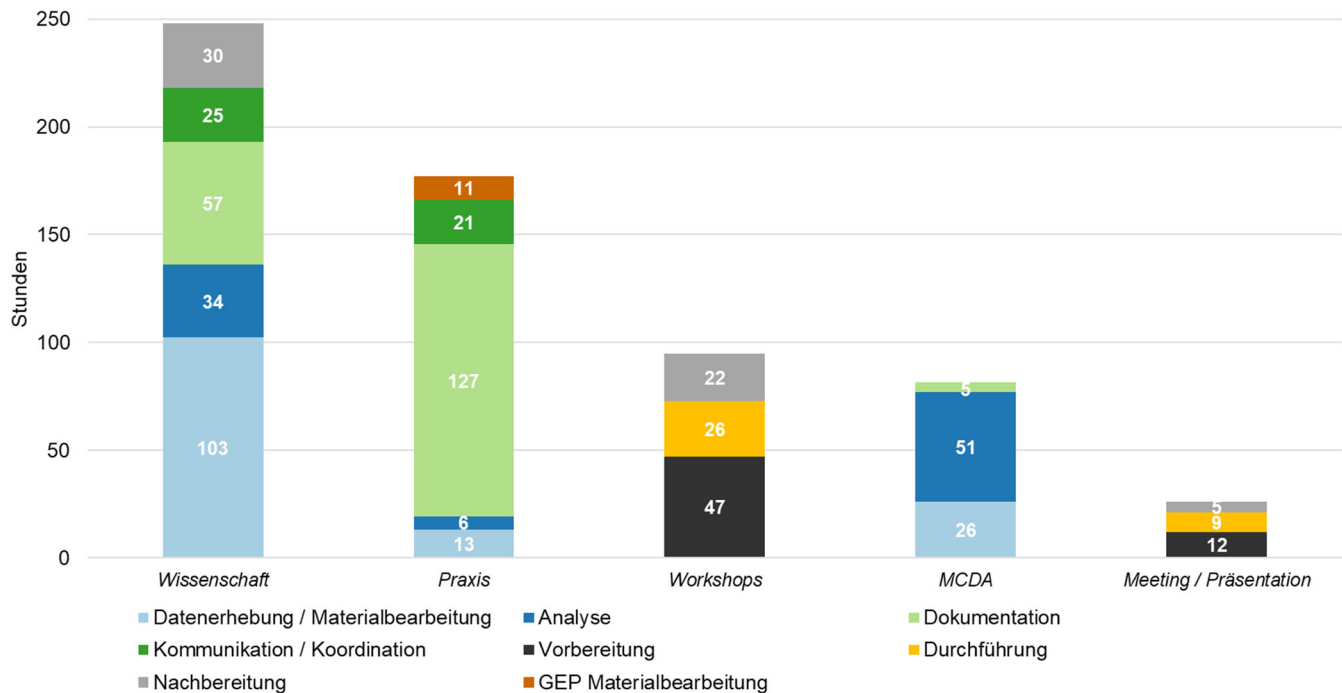


Abbildung 3: Zeitaufwand Fallstudie 2 aufgeschlüsselt nach Tätigkeiten pro Kategorie (Zeitangaben auf ganze Stunden aufgerundet).

Einsparpotenziale zukünftige MCDA

Die Bearbeitung der zweiten Fallstudie erfolgte bereits schneller als die Durchführung der Entscheidungsunterstützung in der Fallstudie 1. Einerseits konnte auf einen Erfahrungsstand zurückgegriffen werden, andererseits konnte ein Grossteil der erstellten Materialien (z. B. Workshop-Unterlagen, Interviewbögen, Online-Umfragen, R-Programmiercode) sowie Daten und Berechnungen für die Prognosen (Grad der Zielerreichung jeder Option) wiederverwendet werden. Für einen zukünftigen MCDA-Prozess mit einer Gemeinde ergeben sich weitere Zeiteinsparpotenziale:

- Der **wissenschaftliche Anteil** entfällt fast vollständig. Werden ausschliesslich bestehende Materialien und Methoden für reine Praxis- oder Beratungsprojekte genutzt, braucht dieser Zeitumfang nicht mehr berücksichtigt werden.
- Die **Identifikation** von potenziellen **Zielen** und **Akteur*innen**, die im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden sollten, mit Hilfe von **Interviews** ist eine verlässliche aber zeitintensive Möglichkeit. **Online-Umfragen**, deren Einsatz auch in der 2. Fallstudie erneut getestet wurde, liefern gleich gute Ergebnisse bei geringerem Zeitaufwand.
- **Online-Umfragen** sind – wenn einmal sorgfältig erstellt – mehrfach verwendbar und es können im Vergleich zu Interviews wesentlich mehr Akteure erreicht werden. Wir testeten in der 2. Fallstudie die **Online-Erhebung von Gewichten** für die Mitglieder des Projektteams (zusätzlich zur analogen Gruppenerhebung im 1. Workshop) und innerhalb der Bevölkerung. Die Ergebnisse waren vielversprechend (siehe Beutler und Lienert (2020c), ab S. 62). Das Potenzial für weitere Zeiteinsparungen ist vorhanden. Allerdings können wir gegenwärtig keine Empfehlung abgeben, da die Qualität der online erhobenen Gewichte in unserer Studie nicht untersucht wurde. Darüber

hinaus ist eine Online-Erhebung von Wertefunktionen (ein weiterer Parameter für Präferenzen, der in der MCDA benötigt wird) noch nicht implementiert und kann daher derzeit nur in Einzel- oder Gruppenerhebungen stattfinden.

- Der Zeitbedarf zur **Erstellung von Berichten** («Dokumentation» in «Praxis»; Abbildung 3) sinkt, da für Praxis- und Beratungsprojekte häufig eher die Auflistung der Eingangsdaten sowie die Darstellung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen bzw. Empfehlungen im Vordergrund steht. Berichte und deren Bearbeitungszeit werden dadurch kürzer. Verwendete Methoden brauchen nur überblicksartig dargestellt zu werden, da für detaillierte Beschreibungen der Prozesse und Vorgehensweisen auf den Technischen Bericht der 1. Fallstudie verwiesen werden kann (Beutler und Lienert 2020b).
- Im ersten Workshop wurden die **technischen Abwassersysteme** erläutert und diverse Fragen von Seiten des Projektteams beantwortet. Ausreichend detaillierte **Faktenblätter** (Kurzbeschreibung Technologie sowie Zielerreichungsgrade; Abbildung 5, S. 63) können einige Zeit vor dem Workshop zur Verfügung gestellt werden. Somit kann dieser Teil des Workshops auf eine überblicksartige Darstellung der Abwassersysteme inkl. Fragerunde verkürzt werden (Einsparpotenzial «Durchführung» ca. 0.5 h).
- Eine Kürzung der **Präsentation zur Einführung in die Methoden** (1. Workshop; z. B. Erhebung von Präferenzen) auf die wesentlichen Eckpunkte und Abläufe der Methoden kann zu weiteren Zeiteinsparungen führen, ohne dass die Teilnehmenden den Überblick über die Prozesse verlieren.
- In beiden Fallstudien wurden in den zweiten Workshops jeweils 1.5 Stunden für eine Gruppenarbeit aufgewendet (S. 41). Themen waren **«Managementoptionen»** (Aufgaben und Verantwortlichkeiten beim Betrieb konzeptionell verschiedener Abwassersysteme; Fallstudie 1) sowie **«Umstieg auf ein dezentrales Abwassersystem»** (Erarbeitung eines Konzepts inkl. aller Abstimmungen, Planungen, Baumassnahmen und Formalitäten; Fallstudie 2). Je nach Bedarf, können diese Gruppenarbeiten weggelassen werden, wodurch sich der Gesamtaufwand bei der «Durchführung» des 2. Workshops von 6 auf ca. 4.5 Stunden reduziert. Vorbereitungen in erheblicherem Umfang entfallen dadurch ebenfalls.
- **Hinweis:** Bei allem Kürzungspotential im Rahmen der Workshops muss dies stets vorsichtig erfolgen. **Ausreichend Zeit zum Austausch** der beteiligten Akteur*innen über Details (Ziele, technische Systeme, Präferenzen, Auswertung etc.) ist ein wichtiger Schlüssel, um im Entscheidungsprozess das Verständnis und den Konsens zu fördern! Zudem sinkt das Vertrauen der Akteur*innen in die Ergebnisse, wenn deren Zustandekommen nicht ausreichend nachvollziehbar ist.
- Im Cluster Entscheidungsanalyse der Eawag wird gegenwärtig eine **Browser-basierte App, «ValueDecisions», für die Berechnung einer MCDA** erarbeitet (Haag et al. in prep.). Die App *ValueDecisions* wird zukünftig eine wesentlich einfachere Handhabung der numerischen Berechnung der MCDA ermöglichen. Programmierkenntnisse in R werden nicht mehr nötig sein, da alle Einstellungen per Knopfdruck gewählt werden können. Dadurch kann vor allem im Bereich «Analyse» der «MCDA» viel Zeit eingespart werden (Abbildung 3). *ValueDecisions* ermöglicht umfangreiche

Simulationen mit individuell wählbaren Einstellungen (z. B. Aggregationsmodell, Unsicherheitsberechnungen mit Monte-Carlo-Simulationen, Sensitivitätsanalysen, Grafiken und Tabellen zur Abbildung der Ergebnisse und Kosten-Nutzen-Darstellungen). Die App befindet sich gegenwärtig noch in der Entwicklung und wird in den nächsten ein bis zwei Jahren als frei zugängliche Software publiziert. Wenn Sie schon jetzt **Interesse** daran haben, **melden Sie sich bei uns!**

Voraussichtlicher Zeitbedarf «praxistaugliche MCDA»

Aufgrund der Erfahrungen aus beiden Fallstudien sowie der Analyse des Zeitaufwands, haben wir abgeschätzt, wieviel Zeit für die Durchführung einer Entscheidungsunterstützung in einer Gemeinde zukünftig angesetzt werden muss. Dabei beziehen wir uns auf Projekte, die eine klar «praxis- und behördentaugliche» Entscheidungsunterstützung mit Hilfe einer MCDA zum Ziel haben (d. h. in Bezug auf die zeitlichen Kapazitäten), bei denen also das Ergebnis im Vordergrund steht und nicht die Weiterentwicklung des MCDA-Prozesses. Nach der Reduktion auf alle unbedingt notwendigen Bestandteile des Prozesses beläuft sich der Zeitbedarf auf rund 200 Stunden, also etwa 5 Arbeitswochen à 42 Std. (Abbildung 4). Voraussetzung sind einerseits gute Kenntnisse der Siedlungswasserwirtschaft um die Vorhersagen für die neue Gemeinde machen bzw. vorhandene anpassen zu können (Grad der Zielerreichung jeder Option) und andererseits anwendungsorientierte Kenntnisse für die fachgerechte Durchführung einer MCDA.

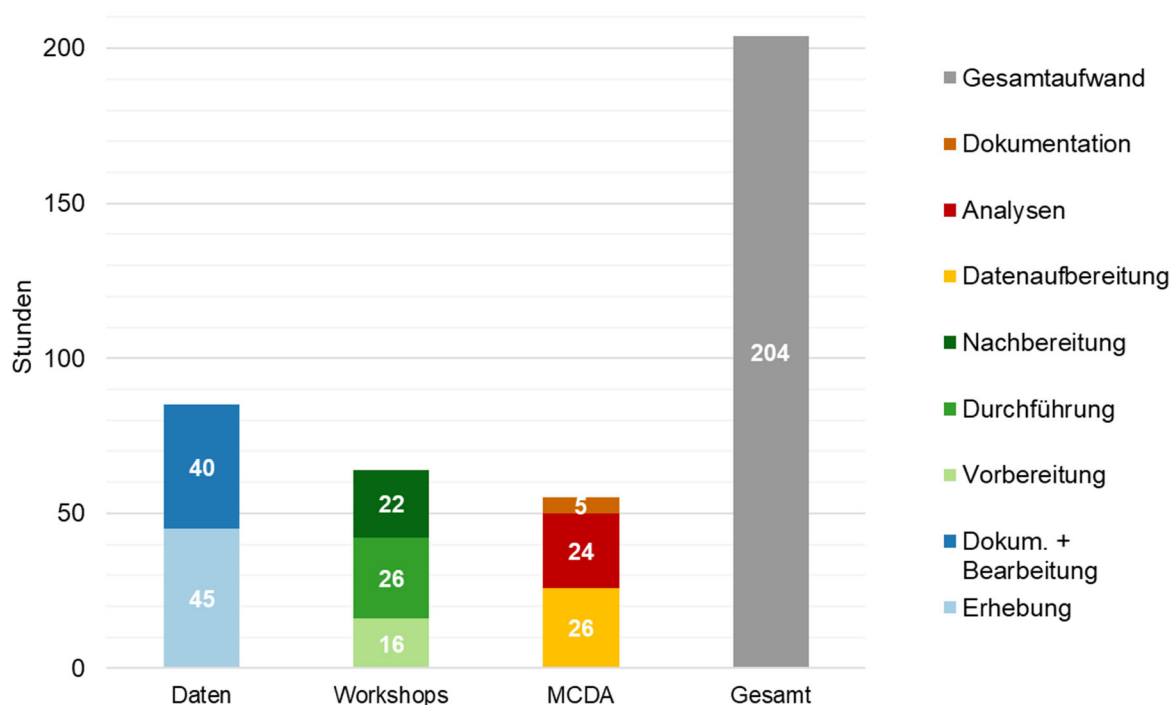


Abbildung 4: Voraussichtlicher Zeitbedarf zur Durchführung eines praxis- und behördentauglichen Prozesses zur Entscheidungsunterstützung

Inhalte und Einschränkungen «praxistaugliche MCDA»

Der in Abbildung 4 aufgezeigte Zeitbedarf gilt für die Bearbeitung einer MCDA unter folgenden Voraussetzungen:

- Der / die Bearbeiter*in ist mit der Siedlungswasserwirtschaft vertraut (bzw. dem Fachgebiet, um das es bei der komplexen Entscheidung geht), so dass er oder sie die

Vorhersagen (Zielerreichung jeder Option) für die jeweilige Gemeinde korrekt anpassen kann. Falls neue Ziele dazukommen ist er / sie fähig, für diese ebenfalls Prognosen zu erstellen.

- Die Datengrundlagen für die Vorhersagen sind bereits vorhanden (z. B. GEP-Unterlagen, Messdaten aus Monitoring, Literaturwerte, Modellergebnisse etc.) und müssen nicht erst aufwändig recherchiert bzw. zusammengetragen werden.
- Der / die Bearbeiter*in kennt den methodischen Hintergrund und Prozesse zur Entscheidungsunterstützung mittels MCDA (d. h. es ist keine vertiefende Einarbeitungszeit notwendig).
- Es werden ausschliesslich bereits bestehende Materialien für Workshops verwendet (z. B. Dokumente und Anleitungen zur Präferenzenerhebung aus unseren Fallstudien). Die Erarbeitung neuer Materialien ist mit erheblichem Zeitaufwand verbunden.
- Der / die Bearbeiter*in hat Moderationserfahrung (z. B. bei Gruppenworkshops) und kann auf mögliche Spannungen zwischen Akteur*innen adäquat reagieren.
- Die Analyse der MCDA wird mit der im Cluster Entscheidungsanalyse entwickelten Browser-basierten App *ValueDecisions* durchgeführt statt mit einem individuell programmierten Modell (z. B. R-Code).

Folgende Aktivitäten sind u. a. im abgeschätzten Zeitbedarf enthalten:

- Erarbeitung einer neuen Zielhierarchie (auf Basis einer ersten Erhebung mittels Online-Umfrage) zur Diskussion im 1. Workshop sowie die Definition neuer Indikatoren («Attribute»)
- Identifikation verschiedener Optionen (z. B. verschiedene Abwassersysteme)
- Berechnung neuer Indikatoren (Prognosen der Konsequenzen) für alle Ziele (falls nötig) zur Ermittlung der Zielerreichung der einzelnen Optionen
- Präferenzenerhebung in Gruppen während des 1. Workshops
- Einfache Sensitivitätsanalysen (z. B. Überprüfung Robustheit der Ergebnisse bei Änderung der Präferenzen)
- Kurzdokumentation der Daten, des Prozesses und der Ergebnisse in Berichtform

Der Zeitbedarf für folgende Aktivitäten ist in der Schätzung *nicht* enthalten:

- Erhebung von Zielen und Identifikation betroffener Akteur*innen in Interviews
- Zeitbedarf für ggf. weitere Moderator*innen für die beiden Workshops
- Erarbeitung neuer Materialien (z. B. für Workshop, Interviews etc.)
- Programmierung (z. B. mit R) eines eigenen MCDA-Modells (z. B. mit zusätzlichen Analysen oder individuellen grafischen Darstellungen)
- Zeitbedarf für die Erstellung von Präsentationsunterlagen für weitere Meetings (z. B. Kick-off-Veranstaltung) sowie deren Vor- und Nachbereitung, An- und Abfahrt sowie Durchführung

Prozessgestaltung «praxistaugliche MCDA»

Wie kann ein solcher Prozess bei «dünner Personaldecke» gestaltet werden?

Die Durchführung eines Entscheidungsunterstützungsprozesses innerhalb der vorgeschlagenen Zeitspanne (Abbildung 4, S. 47) kann sich an den nachfolgenden Schritten orientieren. Wir geben keine konkrete zeitliche Zuordnung zu den einzelnen Schritten, da dies stark vom Erfahrungsstand des / der Bearbeiters*in sowie des Umfangs des Entscheidungsproblems abhängig ist. Es muss z. B. auch beachtet werden, dass für Prozesse zur Entscheidungsunterstützung mit wesentlich mehr einzubeziehenden Akteur*innen als in den vorgestellten Fallstudien auch mehr Zeit eingeplant werden sollte. Die Bearbeitungsschritte folgen dem Fallstudienablauf (detailliert dargestellt in Beutler und Lienert (2020b), Abbildung 1 und ab S. 14) und geben zusätzliche Handlungsanweisungen.

1) RAHMEN UND SYSTEMGRENZEN FESTLEGEN (Abbildung 4: «Daten»)

- a. Akteursanalyse: Wer ist betroffen? Wer muss mit einbezogen werden? Unterscheidet sich das voraussichtliche Entscheidungsproblem deutlich von Vorgängerprojekten? Falls ja: Detaillierte Akteursanalyse durchführen. Falls nein: Einbezug ähnlicher Akteur*innen wie aus Vorgängerprojekten und Abklärung mit diesen, ob weitere Personen / Institutionen einbezogen werden sollten.
- b. Gemeinsame Definition mit beteiligten Akteur*innen (vorgängige Absprachen sowie Kick-off): Was ist das konkrete Entscheidungsproblem?
- c. Gibt es einen Handlungsdruck? Wird der Entscheidungsunterstützungsprozess dadurch zeitlich limitiert? Kann dieser Handlungsdruck durch Gegenmassnahmen abgeschwächt werden (z. B. um mehr Zeit für eine gründliche durchdachte Entscheidung zu gewinnen)?
- d. Welche Daten werden gebraucht und welche sind bereits vorhanden (z. B. GEP-Unterlagen, Messwerte etc.)? Welche Akteur*innen können ggf. fehlende Daten bereitstellen?

2) ZIELE UND INDIKATOREN FESTLEGEN (Abbildung 4: «Daten»)

- a. Aktualisierung und Durchführung der Online-Umfrage «Ziele und Akteure» unter allen beteiligten Akteur*innen (z. B. Erweiterung der Liste mit «Masterzielen», falls Erfahrung aus Vorprojekten vorhanden). Die Befragung nach weiteren Akteuren stellt eine gute zweite Nachfragerunde zur Absicherung dar. Auswertung der identifizierten Ziele nach Häufigkeit der Nennung durch die Akteur*innen → Grundlage für Diskussion zur Findung der finalen Ziele mit Akteur*innen.
- b. Festlegung der finalen Ziele und Gruppierung in einer Zielhierarchie mit beteiligten Akteur*innen (am besten vor 1. Workshop in separatem Meeting).
- c. Erarbeitung von Indikatoren für alle in (b) festgelegten Ziele. Bei gleichen / ähnlichen Zielen wie in unseren Vorprojekten, überprüfen, ob Indikatoren und Daten direkt übernommen werden können. Definition von Indikatoren für neu identifizierte Ziele und Überprüfung Datenverfügbarkeit zur Berechnung von deren Prognosen für verschiedene Optionen.
- d. Vorstellung und Kurzeinführung Indikatoren bei 1. Workshop (siehe unten) zwecks Abstimmung mit Akteur*innen, ob Indikatoren das Richtige messen

und für alle verständlich sind (für die spätere Präferenzhebung ist das Verstehen der Indikatoren durch Akteur*innen wichtig!). Alternative Empfehlung: Einigung vor 1. Workshop in separatem Meeting oder Verschicken der Indikatorbeschreibungen per E-Mail und anschliessend Online-Meeting.

3) **ZUKUNFTSSZENARIEN VORBEREITEN** (Abbildung 4: «Workshops»)

- a. Ist die Anwendung der Szenariotechnik für den vorliegenden Entscheidungsfall angebracht? Zukunftsszenarien sind ein grundsätzlich sinnvolles Werkzeug. Für kurzfristige und eher sichere Entscheidungen aber nicht unbedingt notwendig. Erarbeitung von Zukunftsszenarien wird empfohlen bei Entscheidungsproblemen mit hoher Unsicherheit und / oder langen Planungshorizonten (z. B. Infrastrukturen mit langer Nutzungsdauer).
- b. Erarbeitung bzw. Wiederverwendung von drei bis vier sehr gegensätzlichen Szenarien (siehe Fallstudienmaterial). Ggf. Aktualisierung der Beschreibung der Szenarien und Festlegung der Aufteilung der Akteur*innen auf die Gruppen. Zeitfenster für Gruppenarbeit während 1. Workshop einplanen.

4) **IDENTIFIKATION VON (TECHNISCHEN) OPTIONEN** (Abbildung 4: «Daten» und «Workshops»)

- a. Welche (technischen) Entscheidungsoptionen sollen für die MCDA verwendet werden? Falls Erfahrungen aus Vorprojekten vorhanden sind: typische Optionen wiederverwenden und ggf. neue zum Set der Optionen hinzufügen. Wichtig: nicht zu viele Optionen (max. 15 bis 20; ansonsten zu hoher Aufwand bei Punkt 5 «Konsequenzen abschätzen»), aber auch nicht zu wenige («Blickfeld erweitern!»). Optionen sollen ein breites Spektrum darstellen (d. h. Optionen unterscheiden sich klar voneinander und decken alle verfügbaren Möglichkeiten ab). Sehr ähnliche Optionen (d. h. gleiche / ähnliche Konsequenzen für die meisten Ziele) zu einer Gruppe zusammenfassen oder nur repräsentative Optionen beibehalten. Feinere Unterschiede zwischen Optionen können ggf. in einem nachfolgenden Schritt herausgearbeitet werden (z. B. mit einer nachgelagerten kleinen MCDA, die nicht mehr strategisch, sondern auf die Wahl einer Technologie ausgerichtet ist).
- b. Kurzvorstellung und Beschreibung der Optionen (z. B. auch Verwendung von vorhandenen Faktenblättern) unter Einbezug der Akteur*innen (Empfehlung: separates Meeting vor 1. Workshop oder schriftliche Beschreibung via E-Mail und anschliessendes Online-Meeting). Abfrage, ob Set der Optionen ausreichend ist bzw. alle Möglichkeiten und Wünsche abdeckt. Ggf. weitere Optionen hinzufügen und finales «OK» der Akteure einholen. Wichtig: Falls kein separates Meeting bzw. «OK» über das Set an Optionen vor 1. Workshop, unbedingt Faktenblätter zu den Optionen vor dem Workshop zur Verfügung stellen, damit sich die Beteiligten ins Thema einarbeiten können.
- c. Überprüfung, ob für alle gewählten Optionen die Vorhersagen (d. h. Grad der Erreichung jedes Ziels) auf Basis der Datengrundlage berechnet / abgeschätzt werden können. Ggf. zusätzliche Daten beschaffen.

5) KONSEQUENZEN ABSCHÄTZEN (Abbildung 4: «Daten»)

- a. Erstellung der Vorhersage-/Entscheidungsmatrix (d. h. jede Option erhält für jedes Ziel / Indikator einen Wert). Bei diesem Schritt kann sehr viel Zeit eingespart werden, wenn auf Daten und Berechnungen aus unseren Vorprojekten zurückgegriffen werden kann! Falls mehrere Entscheidungszeitpunkte nötig sind, muss je eine Vorhersagematrix pro Entscheidungszeitpunkt erstellt werden. Dies gilt analog für verschiedene Szenarien, falls diese als eigenständige Sensitivitätsanalyse gerechnet werden sollen (d. h. die Konsequenzen sind je nach Szenario unterschiedlich).
- b. Unsicherheit der Vorhersagen schätzen (Wahrscheinlichkeitsverteilungen, z. B. Normalverteilung und weitere Parameter wie bspw. Erwartungswert und Standardabweichung). Fast alle Vorhersagen und Daten sind mit Unsicherheiten behaftet, daher sollte eine MCDA möglichst immer mit Unsicherheiten gerechnet werden. Je schlechter die Datenqualität, desto grösser sollte die berücksichtigte Unsicherheit sein.
- c. Durchführung von Simulationen mit aufwendigen Modellen zur Generierung von Indikatoren nur falls absolut notwendig! Wenn verlässliche Daten aus unseren oder anderen Vorprojekten bereits vorhanden sind oder bspw. aus der Fachliteratur entnommen werden können, übernehmen (Zeit einsparen!) und ggf. mit grösserer Unsicherheit hinterlegen.²⁶
- d. Überprüfung: Zeigt sich nach der Abschätzung der Konsequenzen, dass jedes Ziel geeignet ist, die Optionen gut voneinander zu unterscheiden? Falls nicht, Ziel in Absprache mit Akteur*innen entfernen. Können einige Optionen auf Grund ihrer gleichen / ähnlichen Konsequenzen ggf. zu einer Gruppe zusammengefasst werden (erleichtert Berechnung und spätere Kommunikation der Ergebnisse)?
- e. Beschreibung der Ziele / Indikatoren und der besten und schlechtesten Ausprägungen vor dem 1. Workshop an Akteur*innen als Vorbereitungsmaterial verschicken. Die Ausprägungen ergeben sich durch das Set an Optionen, für das jetzt die Entscheidungsmatrix erstellt wurde (Bsp. «Tiefe Kosten»: die billigste Option = beste Ausprägung; die teuerste = schlechteste Ausprägung).

²⁶ Unsere Erfahrung ist, dass häufig zu viel Zeit für die Abschätzung der Konsequenzen eingesetzt wird. Zwar sind diese Zahlen für die MCDA essenziell, aber wenn z. B. die Präferenzen der Akteur*innen ergeben, dass ein bestimmtes Ziel (eher) unwichtig ist, dann ist die detaillierte Abschätzung der Konsequenzen für dieses Ziel verlorene Zeit: bei einem nur geringen Gewicht haben Ziele kaum Einfluss auf das numerische Endergebnis der MCDA. Falls sich zeigt, dass genauere Vorhersagen wichtig wären, können in einem zweiten Schritt detailliertere Vorhersagen generiert werden und die MCDA kann mit den neuen Zahlen nochmals gerechnet werden. *Achtung*: die (etwas gröbere) Abschätzung im ersten Schritt sollte eine ausreichend grosse Spannweite («range») der besten und schlechtesten Ausprägung aufweisen (siehe Bsp. in Punkt 5e). Anderenfalls müssen die Präferenzen erneut erhoben bzw. aufwändig umgerechnet werden, wenn die genauere Berechnung bei nur schon einer Option Vorhersagen ausserhalb des bisherigen Ausprägungsbereichs ergibt.

6) PRÄFERENZEN ERHEBEN (Abbildung 4: «Workshops»)

- a. Vor 1. Workshop: Aktualisierung der Präsentationen, Aktualisierung und Vorbereitung von gedruckten Materialien (z. B. Vorlagen für Erhebung Wertefunktionen, Gewichte), Druck von Handout-Mappen und Aufteilung der Akteur*innen auf Gruppen. Klärung Anzahl Teilnehmer*innen, Gruppengrößen und davon abhängig notwendige Anzahl Moderator*innen z. B. für Gruppenarbeit während Workshop.
- b. Durchführung 1. Workshop: Zeitfenster einplanen für detaillierte «Frage-und-Antworten»-Session zu den Optionen und deren Vorhersagen (Konsequenzen). Kurzeinführung (Repetition) Ziele und Indikatoren, Präferenzerhebung in Gruppen, je nach vorgängiger Entscheidung Gruppenarbeit zu Zukunftsszenarien durchführen. Falls wenig Zeit vorhanden: unbedingt Gewichte für Ziele erheben und ggf. nur für die drei wichtigsten Ziele die Wertefunktionen. Einfluss verschiedener Formen von Wertefunktionen auf das Ergebnis der MCDA dann alternativ in Sensitivitätsanalyse überprüfen.
- c. Falls noch nicht erfolgt: während Präsentationen finales «OK» für Zielhierarchie und Set an Optionen einholen bzw. weitere Ziele / Optionen hinzufügen (Achtung: verändern sich die besten bzw. schlechtesten Konsequenzen der Ziele durch die neue(n) Option(en)? Kommen neue Ziele hinzu? Falls ja: Materialien zur Präferenzerhebung vor Erhebung anpassen!).
- d. Falls geplant: bei Gruppenarbeit zu Zukunftsszenarien nach Beschreibung des Zukunftsbilds der Gemeinde / Welt, die Teilnehmer*innen dazu auffordern, sich spezifisch zu überlegen, welche Auswirkungen die jeweiligen Szenarien auf die Zielhierarchie (mehr, weniger, andere Ziele), die Präferenzen (gewisse Ziele weniger / mehr / gar nicht mehr wichtig) und das Set an Optionen haben können (neue Technologien durch technischen Fortschritt)! Aussagen zu Zielen und Präferenzen liefern gute Basis für Sensitivitätsanalysen.
- e. Falls gewünscht: Online-Umfrage zur zusätzlichen Erhebung von Gewichten aus der Bevölkerung.

7) DURCHFÜHRUNG DER MCDA SIMULATIONEN (Abbildung 4: «MCDA»)

- a. Aufarbeitung und Digitalisierung der erhobenen Präferenzdaten (falls aus Vorprojekten vorhanden: Wiederverwendung von Daten-Input-Vorlagen).
- b. Durchführung der MCDA-Simulation (wie empfohlen: mit Unsicherheiten) mit Software (z. B. *ValueDecisions* oder fertiger *R-Code*) oder in Excel-Vorlage für jede Gruppe mit unterschiedlichen Präferenzen (sowie für jede Entscheidungsmatrix, falls mehrere Zeitpunkte bzw. Auswirkungen von Szenarien auf Vorhersagen berechnet werden sollen). Dokumentation der Ergebnisse für jede Akteursgruppe und Überprüfung, wie gross die Unterschiede in den Ergebnissen sind. Gibt es potenzielle Konsensoptionen?
- c. Durchführung von Sensitivitätsanalysen (z. B. auf Basis von Aussagen aus dem Workshop, Ergebnissen aus den Zukunftsszenarien, Ideen auf Grundlage der Analysen in den hier dargestellten Fallstudien 1 und 2) und Dokumentation der Unterschiede zu den Ergebnissen in (7b).

8) DISKUSSION DER ERGEBNISSE (Abbildung 4: «Workshops» und «MCDA»)

- a. Vor 2. Workshop: siehe Vorbereitungen wie für 1. Workshop (Punkt 6).
- b. Durchführung 2. Workshop: Vorstellung der MCDA Ergebnisse und Hauptausagen(!) der Sensitivitätsanalysen. Welches sind die beste / zweitbeste / drittbeste Option für die einzelnen Akteursgruppen bzw. gibt es Konsensoptionen? Warum haben welche Optionen (für welche Akteur*innen und deren Präferenzen) wie gut abgeschnitten? Wie wirkt sich die Berücksichtigung der Unsicherheiten aus? Zeit einplanen für ausgiebige Diskussion inkl. Verständnisfragen der Ergebnisse.
- c. Ggf. weitere, abschliessende MCDA-Simulationen einplanen und durchführen nach Workshop aufgrund von Wünschen der Akteur*innen (z. B. weitere Sensitivitätsanalysen, neue (Konsens-)Optionen testen).
- d. Bei Bedarf: Durchführung der Gruppenarbeiten zu «Managementoptionen» oder «Transitionsmanagement» (S. 41).
- e. Weiteres im 2. Workshop: Abschluss des Entscheidungsunterstützungsprozesses anvisieren und kommunizieren (ggf. weitere MCDA-Simulationen s. o.) sowie Abklärung mit Akteur*innen, wie das weitere Vorgehen aussieht (z. B. Machbarkeitsstudie der (drei) besten / ausgewählten Konsensoptionen, Entscheidung fällen, Umsetzung planen etc.). Abklärung weiterer Bedürfnisse z. B. nach Einbezug der Bevölkerung mittels Online-Umfrage zu Zielen, Gewichten oder Fairnessaspekten.
- f. Nach 2. Workshop: Finalisierung Dokumentation und Berichte.
- g. Wichtig: Für Wiederholung des Prozesses für ähnliche / gleiche Entscheidungsprobleme die Daten zu betroffenen / beteiligten Akteur*innen, Zielen, Indikatoren, berechneten Konsequenzen vor Projektabschluss digital abspeichern und sauber dokumentieren, sodass eine schnelle Wiederverwendbarkeit gewährleistet ist!

Alle Unterlagen, die in den Fallstudien 1 und 2 für die Durchführung des Prozesses benötigt wurden, können bei den Autor*innen bzw. beim Cluster Entscheidungsanalyse der Eawag angefragt werden. Ebenso kann ein Code für den Zugang zur App *ValueDecisions* angefragt werden.

Fazit

Im Projekt «Entscheidungsfindung beim Übergang von zentralen zu alternativen Systemen in der Abwasserentsorgung»²⁷ (DezSWWJuraSO) wurde ein sorgfältiger, partizipativer Entscheidungsunterstützungsprozess mit zwei Gemeinden und der kantonalen Behörde AfU Solothurn durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Methoden und Werkzeuge erarbeitet, weiterentwickelt und getestet (Beutler und Lienert 2020a, 2020b, 2020c).

*Dezentrale Abwassersysteme können die Erwartungen von Akteur*innen an ihr Abwassersystem gleichwertig oder sogar besser erfüllen als das heutige zentrale Abwassersystem.* Dieses inhaltliche Hauptresultat ist bemerkenswert. Insbesondere weil es nicht auf Spekulationen beruht wie viele frühere Studien, sondern auf dem, was den involvierten Personen in dieser spezifischen Entscheidung tatsächlich wichtig ist. Interessanterweise sind das hauptsächlich Umweltziele, während geringe Kosten nur eine eher moderate Rolle unter allen Zielen spielen (S. 68 in Beutler und Lienert (2020b) und S. 44 in Beutler und Lienert (2020c)).

Die Projektergebnisse geben auch einen Einblick, wie ein *Transitionsprozess* vom heutigen zu neuen Systemen aussehen könnte. Zum Beispiel lohnt sich der frühe Umstieg auf ein neues System, während das Verschieben der Entscheidung «auf später» sich als nicht empfehlenswert herausstellte (S. 24). Mit den Gemeinden wurden auch Aspekte i) zum Management verschiedener Abwassersysteme erarbeitet und ii) zum tatsächlichen Übergangsprozess, der in die Abläufe der Gemeinde eingebunden sein muss (S. 41).

Neu im Projekt ist der *systematische Einbezug von* mehrheitlich *siedlungswasserwirtschaftlichen Laien* in fast allen Phasen des Prozesses durch Interviews, Workshops und Online-Umfragen. Die MCDA erlaubt es, die Werte und Präferenzen aller involvierten Personen gleichberechtigt mit Expertendaten in die Entscheidung mit einzubeziehen. Das Vorgehen im Projekt hat gezeigt, wie sich eine Gemeinde auf die Erreichung ihrer Ziele konzentrieren und trotzdem externe Expertise in ihre Entscheidung einfließen lassen kann, ohne die Entscheidungshoheit abzugeben und ohne, dass sie erst eigenes Expertenwissen aufbauen muss.

Das Projekt ermöglichte, Erfahrungen zu sammeln, wie ein guter *Entscheidungsunterstützungsprozess* in Gemeinden mit ehrenamtlichem Milizsystem und *bei knapper Zeit* durchgeführt werden könnte. Bei jedem grösseren Vorhaben in einer Gemeinde wird Expertise benötigt. Auch bei unserem Vorgehen ist eine grundlegende methodische Expertise nötig, um den Prozess zu führen, sowohl in der Siedlungswasserwirtschaft als auch bezüglich der Methode der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDA). Siedlungswasserwirtschaftliche Details werden üblicherweise durch ein Ingenieurbüro bereitgestellt; für die Anwendung der MCDA sind zudem gute Grundkenntnisse nötig. In diesem Bericht konnten wir aufzeigen, wo Zeiteinsparungen zukünftig möglich sind (S. 47). Wir schätzen, dass ein *schlanker Prozess* in etwa 5 Arbeitswochen à 42 Std. (Abbildung 4) durchgeführt werden könnte, vorausgesetzt dass die Expertise für eine fachgerechte Durchführung vorhanden ist.

Die für dieses Projekt erstellten *Vorlagen und Werkzeuge* können grundsätzlich *für andere Fälle wiederverwendet* werden, in denen schwierige, weil komplexe Entscheidungen anstehen. Dazu gehören andere Fragen der Siedlungswasserwirtschaft (z. B. Wasserversorgung), andere Infrastruktursysteme (Energieversorgung, Strassenbau) oder auch gemeindetypische

²⁷ www.eawag.ch/de/DA/AbwSO

Entscheidungen zu Schulhauskonzepten, Verkehrsberuhigung von Quartieren sowie Bau von Radwegen oder Altersheimen. Für ähnliche Entscheidungen wie in *DezSWWJuraSO* können vielfach unsere Daten auf den neuen Fall übertragen werden (S. 16). Prinzipiell spielt die Sachfrage keine Rolle; das partizipative Vorgehen bleibt gleich, und viele Werkzeuge können angepasst werden.

Aus der Literatur wissen wir, dass eine *frühe Einbindung* betroffener Akteurinnen und Akteure zu einer *höheren Akzeptanz* der getroffenen Entscheidung führen kann. Eine anschauliche aber umfassende Darstellung des Entscheidungsproblems und die Berücksichtigung subjektiver Wertevorstellungen erhöhen das Verständnis für die Komplexität einer Entscheidung sowie der Werte anderer Personen und unterstützen die lösungsorientierte Diskussion. Für unsere beiden Fallstudien konnten wir das allerdings nicht testen. Dazu ist es noch zu früh. Wir haben im Hinblick auf die Frage, wie hilfreich der Entscheidungsunterstützungsprozess für die Gemeinden gewesen ist, jedoch sehr positive Rückmeldungen aller Beteiligten bekommen.

Der Einsatz eines partizipativen *Entscheidungsunterstützungsprozesses garantiert nicht* die Umsetzung der *besten aller möglichen Optionen*. Dafür spielen zu viele, weitere Unbekannte eine Rolle (politische Randbedingungen, Verpassen zeitlich beschränkter Gelegenheitsfenster, Dringlichkeitsänderung des Handlungsbedarfs, etc.). Aber die Wahrscheinlichkeit steigt deutlich, dass eine Option gewählt wird, die die Ansprüche vieler beteiligten Personen genügend gut erfüllt. Dieses Ergebnis ist robuster und transparenter, als das übliche Vorgehen in denen die subjektive und zumeist zufällige Bewertung der Optionen durch wenige externe Experten überproportionales Gewicht erhalten.

Wir hoffen, dass der Bericht Ihr Interesse geweckt hat und Sie dazu anregt, einige oder alle Elemente eines partizipativen Entscheidungsunterstützungsprozesses selbst auszuprobieren und für Ihre eigenen Entscheidungsfälle zu nutzen.

Abkürzungsverzeichnis

AfU	Amt für Umwelt Solothurn; teilweise auch „AfU SO“
ARA	Abwasserreinigungsanlage; auch: Kläranlage; siehe KA
EW	Ein Einwohnerwert entspricht ungefähr der Menge Abwasser und Schmutzstoffe, die täglich durch eine Person verursacht wird.
DGVE	Düngegrossvieheinheit (z. B. eine Kuh); Begriff wird u. a. im Gewässerschutzgesetz verwendet
GEP	Genereller Entwässerungsplan
KLARA	Kleine Abwasserreinigungsanlage (max. Ausbaugrösse 200 EW in der Schweiz)
MAVT	MAVT steht im Englischen für „Multi-Attribute Value Theory“; auf Deutsch „Multiattributive Werttheorie“. Siehe auch „MCDA“.
MCDA	MCDA ist eine Methode zur Entscheidungsunterstützung und steht im Englischen für „Multi Criteria Decision Analysis“; auf Deutsch: Multi-kriterielle Entscheidungsanalyse. Für die mathematische Berechnung von <i>Entscheidungen unter Sicherheit</i> verwenden wir die MAVT. Weitere Details in Eisenführ et al. (2010).
OT	Ortsteil; hier: früher eigenständige, kleine Gemeinde, die heute Teil der grösseren Fusionsgemeinde ist
VUNA	Eine Technologie zur Separierung und Aufbereitung von Urin zu einem flüssigen Pflanzendünger (Vuna GmbH; http://www.vuna.ch).

Referenzliste

- Aubert, A. H., J. Lienert and B. von Helversen (in prep.). "Gamified environmental Multi-Criteria Decision Analysis: Information on objectives and range insensitivity bias."
- Baron, S., M. Holzhauser, S. Schöffel, J. Schwank, J. Wölle, I. Kaufmann Alves and T. G. Schmitt (2015a). Modelling optimized transformation strategies of urban drainage systems. UDM2015, 10th International Urban Drainage Modelling Conference, Mont-Sainte-Anne (Canada), Sept. 20-23, 2015.
- Baron, S., I. Kaufmann Alves, T. G. Schmitt, S. Schöffel and J. Schwank (2015b). "Cross-sectoral optimization and visualization of transformation processes in urban water infrastructures in rural areas." *Water Science and Technology* **72**(10): 1730-1738.
- Beutler, P. and J. Lienert (2020a). Zukünftige Abwasserentsorgung im ländlichen Raum – Fallstudie 1. Abschlussbericht für die Gemeinde. Dübendorf (CH), Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs: 28 Seiten.
- Beutler, P. and J. Lienert (2020b). Zukünftige Abwasserentsorgung im ländlichen Raum – Fallstudie 1. Technischer Bericht zur Entscheidungsunterstützung für die Gemeinde. Dübendorf (CH), Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs: 247 Seiten.
- Beutler, P. and J. Lienert (2020c). Zukünftige Abwasserentsorgung im ländlichen Raum – Fallstudie 2. Abschlussbericht für die Gemeinde. Dübendorf (CH), Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs: 145 Seiten.
- Borsuk, M. E., M. Maurer, J. Lienert and T. A. Larsen (2008). "Charting a Path for Innovative Toilet Technology Using Multicriteria Decision Analysis." *Environmental Science & Technology* **42**(6): 1855-1862.
- Difu, Ed. (2017). Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt. Beiträge aus der INIS-Forschung. Berlin, Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu).
- Dilly, T. C., S. Baron, T. G. Schmitt, M. Holzhauser, J. Hoek, S. Schöffel and J. Schwank (2017). Transformation strategies for wastewater systems under uncertain conditions. ICUD 2017, Prague, IWA/IAHR.
- Dilly, T. C., J. Wölle, T. G. Schmitt and M. Holzhauser (2016). Transformation der ländlichen Abwasserinfrastruktur unter Einfluss des demografischen Wandels. *Aqua Urbanica*. Rigi-Kaltbad.
- Dominguez, D., B. Truffer and W. Gujer (2011). "Tackling uncertainties in infrastructure sectors through strategic planning: the contribution of discursive approaches in the urban water sector." *Water Policy* **13**(3): 299-316.
- Duffy, A. and C. Jefferies (2011). Transitioning urban water systems. SWITCH in the city: putting urban water management to the test. J. Butterworth, P. McIntyre and C. da Silva-Wells. The Hague, IRC International Water and Sanitation Centre: 396-405.
- Eggimann, S., B. Truffer, U. Feldmann and M. Maurer (2018). "Screening European market potentials for small modular wastewater treatment systems – an inroad to sustainability transitions in urban water management?" *Land Use Policy* **78**: 711-725.
- Eggimann, S., B. Truffer and M. Maurer (2015). "To connect or not to connect? Modelling the optimal degree of centralisation for wastewater infrastructures." *Water Research* **84**: 218-231.
- Eichhorn, D., A. Lindenthal, G. Hanke and K. Kristof (2019). Wandelprozesse verstehen und erfolgreicher gestalten. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt.
- Eisenführ, F., M. Weber and T. Langer (2010). Rational Decision Making. Heidelberg, Springer Verlag.
- Farrelly, M. and R. Brown (2011). "Rethinking urban water management: Experimentation as a way forward?" *Global Environmental Change* **21**(2): 721-732.
- Felmeden, J., B. Michel and M. Zimmermann (2016). "Neuartige Wasserinfrastrukturen - Ergebnisse der integrierten Bewertung auf Modellgebietsebene (netWORKS 3)." *KA Korrespondenz Abwasser Abfall* **63**(12): 1082-1089.
- Haag, F., A. Aubert and J. Lienert (in prep.). "ValueDecisions, a web app for multi-criteria, multi-stakeholder, and uncertain environmental decision analysis (working title)."

- Hanke, S. (2016). Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen. Zu den rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen der Einführung von Grauwasserrecycling, Schwarzwasserbehandlung sowie Wärmerückgewinnung. Berlin, Forschungsverbund netWORKS. **Heft 31**: 94.
- Harris-Lovett, S., J. Lienert and D. Sedlak (2018). "Towards a New Paradigm of Urban Water Infrastructure: Identifying Goals and Strategies to Support Multi-Benefit Municipal Wastewater Treatment." *Water* **10**(9): 1127.
- Harris-Lovett, S. R., C. Binz, D. L. Sedlak, M. Kiparsky and B. Truffer (2015). "Beyond User Acceptance: A Legitimacy Framework for Potable Water Reuse in California." *Environmental Science & Technology* **49**(13): 7552-7561.
- Hillenbrand, T., J. Londong, H. Steinmetz, C. Wilhelm, C. Sorge, H. Söbke, I. Nyga, R. Minke and E. Menger-Krug (2016). "Anpassung an neue Herausforderungen - nachhaltige Wasserinfrastruktursysteme für Bestandsgebiete." *KA Korrespondenz Abwasser Abfall* **63**(11): 992-998.
- Hillenbrand, T. and J. Niederste-Hollenberg (2012). Stand und Perspektiven dezentraler Abwassersysteme. 13. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium. 17. und 18. Oktober 2012 im Maternushaus, Köln. J. Pinnekamp. Aachen (DE), Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen. **13**: 17.
- Hoffmann, S., U. Feldmann, P. M. Bach, C. Binz, M. Farrelly, N. Frantzeskaki, H. Hiesl, J. Inauen, T. A. Larsen, J. Lienert, J. Londong, C. Lüthi, M. Maurer, C. Mitchell, E. Morgenroth, K. Nelson, L. Scholten, B. Truffer and K. M. Udert (2020). "A research agenda for the future urban water management: Exploring the potential of non-grid, small-grid, and hybrid solutions." *Environmental Science & Technology* **54**(9): 5312–5322.
- Keeney, R. L. (1996). "Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives." *European Journal of Operational Research* **92**(3): 537-549.
- Keeney, R. L., T. L. McDaniels and V. L. Ridge-Cooney (1996). "Using Values in Planning Wastewater Facilities for Metropolitan Seattle." *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* **32**(2): 293-303.
- Keeney, R. L. and H. Raiffa (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*, Cambridge university press.
- Kiparsky, M., D. L. Sedlak, B. H. Thompson Jr. and B. Truffer (2013). "The Innovation Deficit in Urban Water: The Need for an Integrated Perspective on Institutions, Organizations, and Technology." *Environmental Engineering Science* **30**(8): 395-408.
- Kristof, K. (2020). *Wie Transformation gelingt. Erfolgsfaktoren für den gesellschaftlichen Wandel*. München (DE), oekom Verlag.
- Larsen, T. A., A. C. Alder, R. I. L. Eggen, M. Maurer and J. Lienert (2009). "Source Separation: Will We See a Paradigm Shift in Wastewater Handling?" *Environmental Science & Technology* **43**(16): 6121-6125.
- Larsen, T. A. and W. Gujer (1997). "The concept of sustainable urban water management." *Water Science and Technology* **35**(9): 3-10.
- Larsen, T. A. and W. Gujer (2001). "Waste design and source control lead to flexibility in wastewater management." *Water Science and Technology* **43**(5): 309-318.
- Larsen, T. A., S. Hoffmann, C. Lüthi, B. Truffer and M. Maurer (2016). "Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world." *Science* **352**(6288): 928-933.
- Larsen, T. A., K. M. Udert and J. Lienert, Eds. (2013). *Source separation and decentralization for wastewater management*.
- Libralato, G., A. Volpi Ghirardini and F. Avezzi (2012). "To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management." *Journal of Environmental Management* **94**(1): 61-68.
- Lienert, J. and T. A. Larsen (2006). "Considering User Attitude in Early Development of Environmentally Friendly Technology: A Case Study of NoMix Toilets." *Environmental Science & Technology* **40**(16): 4838-4844.
- Lienert, J. and T. A. Larsen (2007). "PILOT PROJECTS IN BATHROOMS: A NEW CHALLENGE FOR WASTEWATER PROFESSIONALS." *Water Practice and Technology* **2**(3).

- Lienert, J. and T. A. Larsen (2009). "High Acceptance of Urine Source Separation in Seven European Countries: A Review." *Environmental Science & Technology* **44**(2): 556-566.
- Lienert, J. and T. A. Larsen (2010). "High Acceptance of Urine Source Separation in Seven European Countries: A Review." *Environmental Science & Technology* **44**(2): 556-566.
- Lienert, J., L. Scholten, C. Egger and M. Maurer (2015). "Structured decision-making for sustainable water infrastructure planning and four future scenarios." *EURO Journal on Decision Processes* **3**(1): 107-140.
- Lienert, J., K. Thiemann, R. Kaufmann-Hayoz and T. A. Larsen (2006). "Young users accept NoMix toilets – a questionnaire survey on urine source separating toilets in a college in Switzerland." *Water Science and Technology* **54**(11-12): 403-412.
- McConville, J. R., R. Künzle, U. Messmer, K. M. Udert and T. A. Larsen (2014). "Decision Support for Redesigning Wastewater Treatment Technologies." *Environmental Science & Technology* **48**(20): 12238-12246.
- Morandi, C. G. and H. Steinmetz (2019). "How does greywater separation impact the operation of conventional wastewater treatment plants?" *Water Science and Technology* **79**(8): 1605-1615.
- Morandi, C. G., S. Wasielewski, K. Mouarkech, R. Minke and H. Steinmetz (2017). Biogas recovery from blackwater and sewage sludge as a transition component towards resource-oriented sanitation. The 14th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies. Florianopolis (Brasil), IWA.
- Morandi, C. G., S. Wasielewski, K. Mouarkech, R. Minke and H. Steinmetz (2018). "Impact of new sanitation technologies upon conventional wastewater infrastructures." *Urban Water Journal* **15**(6): 526-533.
- Palmowski, L., M. Beier, S. Gelyer and J. Pinnekamp (2018). "Entwicklung und Integration innovativer Kläranlagentechnologien für den Transformationsprozess in Richtung Technikwende. Projekt E-Klär." *KA Korrespondenz Abwasser Abfall* **65**(3): 206-209.
- Palmowski, L. and J. Pinnekamp, Eds. (2018). Entwicklung und Integration innovativer Kläranlagentechnologien für den Transformationsprozess in Richtung Technikwende – E-Klär. Abschlussbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt, gefördert im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft – ERWAS“. Aachen (DE).
- R Core Team (2018). A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- Rauch, W., D. Brockmann, I. Peters, T. A. Larsen and W. Gujer (2003). "Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production." *Water Research* **37**(3): 681-689.
- Rost, G., K. Maier, M. Böhm and J. Londong (2015). "Effects of a Technical Paradigm Change on the Organization of Water Management in Structurally Weak Rural Areas." *Raumforschung und Raumordnung* **73**(5): 343-356.
- Scheidegger, A., P. Beutler and M. Maurer (2013). "Prognosen zum Sanierungsbedarf. Schweizer Kanalisation – der Wert guter Daten für Einsichten in die Zukunft." *Aqua & Gas* **93**(1): 16-20.
- Schmid, S., R. Vetschera and J. Lienert (subm.). "Testing fairness principles for public environmental infrastructure decisions."
- Schmitt, T. G., T. C. Dilly and S. Baron (2016). Sektorübergreifende Prozessoptimierung in der Transformation kommunaler Infrastrukturen im ländlichen Raum.
- Scholten, L., M. Maurer and J. Lienert (2017). "Comparing multi-criteria decision analysis and integrated assessment to support long-term water supply planning." *PLOS ONE* **12**(5): e0176663.
- Spiller, M., J. H. G. Vreeburg, I. Leusbrock and G. Zeeman (2015). "Flexible design in water and wastewater engineering – Definitions, literature and decision guide." *Journal of Environmental Management* **149**: 271-281.

- Truffer, B., E. Störmer, M. Maurer and A. Ruef (2010). "Local strategic planning processes and sustainability transitions in infrastructure sectors." *Environmental Policy and Governance* **20**(4): 258-269.
- VSA/KI (2011). *Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung*. Glattbrugg, Bern.
- Wilderer, P. A. (2004). "Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: some thoughts about reasons, means and needs." *Water Science and Technology* **49**(7): 7-16.
- Wölle, J., T. C. Dilly, T. G. Schmitt, M. Holzhauser and J. Hoek (2016). "Strategieentwicklung zur Transformation der ländlichen Abwasserinfrastruktur unter Einfluss des demografischen Wandels." *KA Korrespondenz Abwasser Abfall* **63**(11): 976-981.
- Worreschk, S., I. Kaufmann Alves, T. G. Schmitt and C. Thielen (2014). *Optimization of Transformation Processes of Drainage Systems in Rural Areas*. Proceedings of the 13th International Conference on Urban Drainage, September 7-12, 2014, Sarawak, Malaysia.
- Zandaryaa, S. and J. Alberto Tejada-Guibert (2009). *New directions in urban water management*. *Water and Urban Development Paradigms: Towards an Integration of Engineering, Design and Management Approaches - Proceedings of the International Urban Water Conference*.
- Zheng, J., C. Egger and J. Lienert (2016). "A scenario-based MCDA framework for wastewater infrastructure planning under uncertainty." *Journal of Environmental Management* **183**(Pt 3): 895-908.

Anhang A – Übersicht Transitionsforschung in Deutschland

Nachfolgend findet sich eine kurze Zusammenfassung der einzelnen Forschungsprojekte zur Transition von Abwasserinfrastrukturen in Deutschland. Die Projekte fanden zeitnah oder zeitgleich mit dem Forschungsprojekt DezSWWJuraSO statt. Sie haben aber z. T. andere Aspekte in den jeweiligen Modellregionen untersucht. Dennoch haben die Projekte und Fallstudien miteinander vergleichbare Randbedingungen und haben das Potenzial, zusätzliche Einblicke in dieses Forschungs-/ Erfahrungsfeld zu liefern, die auch auf die Situation in der Schweiz übertragbar sind.

Die Fördermassnahme INIS²⁸ des BMBF²⁹ förderte 13 Projekte (darunter *Twist++*, *SinOptiKom* und *netWORKS 3*) im Zeitraum 2013-2016 mit dem Ziel, die Anpassung der Siedlungswasserwirtschaft an zukünftig sich ändernde Randbedingungen mit innovativen Lösungen zu unterstützen (Difu 2017).

In *Twist++* wurden Methoden und Werkzeuge erarbeitet zur Planung, Vermittlung von Sachverhalten mit Hilfe von Serious Games³⁰, Entscheidungsunterstützung und multi-kriteriellen Bewertung von innovativen Wasserinfrastrukturkonzepten (Hillenbrand et al. 2016). Am Beispiel von Modellgebieten u. a. im ländlichen Raum wurden stoffstromseparierende Abwassersysteme definiert und potentielle langfristige Transitionswege erarbeitet. Vorab festgelegte Zwischenschritte bei der Transition sollten ermöglichen, zukünftig flexibel entscheiden zu können, ob ein weiterer Systemumbau erfolgt oder keine weiteren Anpassungen erfolgen. In jedem Fall wäre die Abwasserentsorgung auf dem Stand der Technik sichergestellt worden. Im Rahmen des Projektverbunds wurden auch organisatorische Probleme beleuchtet, die Hemmnisse für eine erfolgreiche Transition von Abwasserinfrastrukturen im ländlichen Raum darstellen können (Rost et al. 2015).

Im Projekt *SinOptiKom* stand die Entwicklung eines multi-kriteriellen, mathematischen Optimierungsmodells zur Entscheidungsunterstützung im Fokus (Schmitt et al. 2016). Betrachtet wurden die speziellen Randbedingungen für die Wasserver- und Abwasserentsorgung im ländlichen Raum mit besonderem Augenmerk auf den Einfluss der demografischen Entwicklung (Dilly et al. 2016). Ziel war es, optimale Transitionspfade über einen langfristigen Zeitraum (50 Jahre) vom zentralen hin zu dezentralen, ressourcen-orientierten Abwassersystemen zu identifizieren. Ziele für die multi-kriterielle Bewertung wurden auf Basis einer Literaturrecherche definiert. Die Optimierung der Transitionspfade erfolgte auf Basis von Zielgewichtungen, die für verschiedene Szenarien angenommen wurden (Worreschk et al. 2014, Baron et al. 2015b, Wölle et al. 2016).

Ziel des Projekts *netWORKS 3* war die Unterstützung von Kommunen (z. B. durch Erarbeitung von Handreichungen) im Umgang mit der Bewertung und Implementierung neuartiger Sanitärsysteme (NASS) und Systemlösungen (Hanke 2016). Diese sollten dabei helfen, die bestehenden (Ab-)Wasserinfrastrukturen durch Umbau oder Anpassung nachhaltiger zu ge-

²⁸ INIS = «Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserver- und Abwasserentsorgung»

²⁹ BMBF = deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung

³⁰ Unter «Serious Games» wird die Vermittlung von Aspekten komplexer Problemstellung mit Hilfe spielerischer Elemente zusammengefasst.

stalten vor dem Hintergrund neuer Herausforderungen (z. B. Klimawandel, steigende Energiepreise, demographischer Wandel). Beispielhaft für zwei grossstädtische Modellregionen wurden auch die rechtlichen Rahmenbedingungen inklusive der sozialen und institutionellen Hemmnisse analysiert. Für die beiden bestehenden Quartiere wurden die Wasser-, Energie- und Stoffströme mit Hilfe der Nutzwertanalyse (NWA) für vier synthetische Gewichtungsszenarien betrachtet, verglichen und Massnahmen für den Aus- und Umbau vorgeschlagen (Felmeden et al. 2016).

Die ebenfalls zum Verbundvorhaben INIS gehörenden Projekte *nidA200* und *KREIS* (Difu 2017) hatten zum Ziel, die praktische Implementierung von dezentralen, innovativen Verfahrenstechnologien sowie stoffstromseparierenden Entsorgungskonzepten zu fördern. Eine Transition wurde durch diese Projekte nicht betrachtet, weshalb hier nicht weiter auf sie eingegangen wird.

Im Projekt *E-Klär* (2014-2017) wurden Methoden zur strategischen Infrastrukturplanung von Kläranlagen unter Berücksichtigung zukünftig unsicherer Randbedingungen entwickelt (Palmowski et al. 2018, Palmowski und Pinnekamp 2018). Ziel war es, eine langfristige Technologietransformation zu ermöglichen, mit deren Hilfe innovative Verfahren auf Kläranlagen zur verbesserten Ausnutzung von Energie und Ressourcen aus dem Abwasser zum Einsatz kommen.

Anhang B – Zielhierarchien in den Fallstudiengemeinden

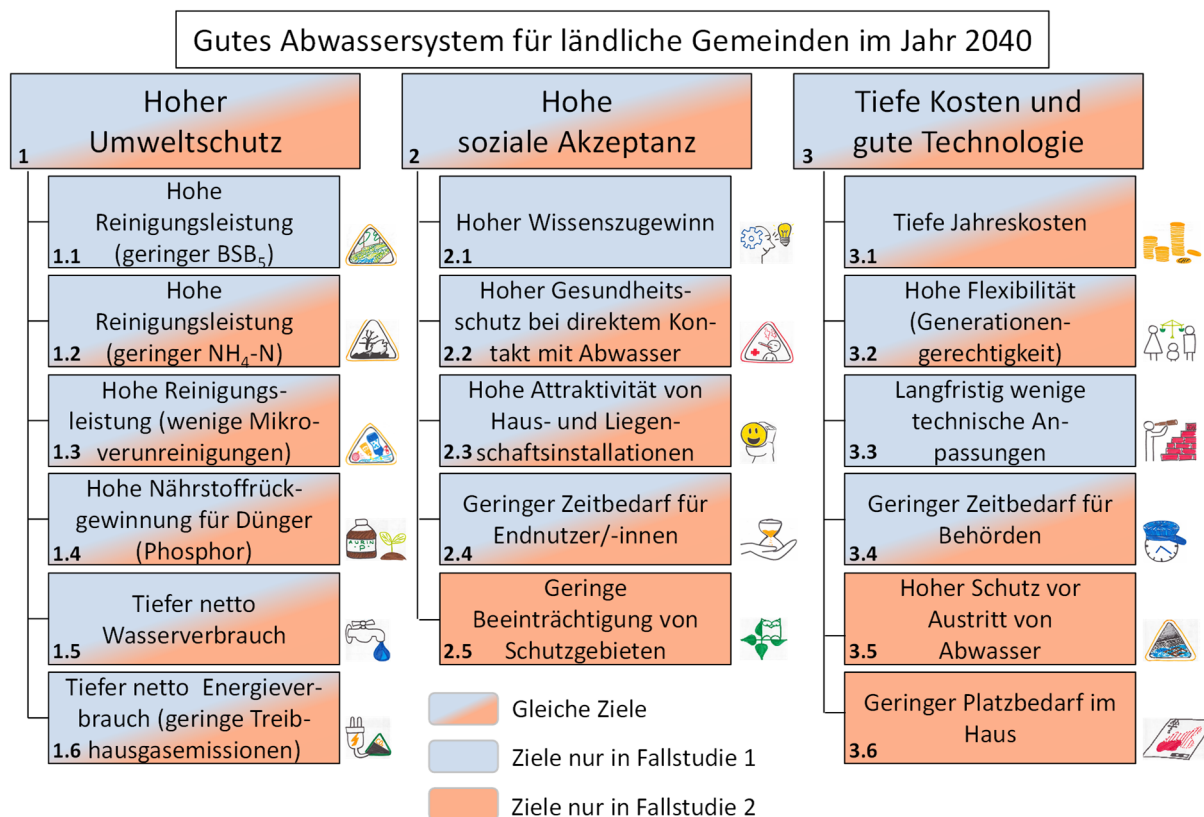


Abbildung 5: Zusammengeführte Darstellung der beiden Zielhierarchien aus den Fallstudien zur Bewertung zukünftiger Abwassersysteme. Die Zielhierarchien in beiden Fallstudien umfassten durch Zufall jeweils 14 Ziele, von denen elf identisch waren (Ziele nur in Fallstudie 1: 1.1, 2.1, 3.3; Ziele nur in Fallstudie 2: 2.5, 3.5, 3.6).

Anhang C – Grenzen der Übertragbarkeit der Projektergebnisse

Auf Grund der Anforderungen und Fragestellungen in den beiden Fallstudien decken die Untersuchungen und die Resultate nur spezifische Bereiche ab. Daraus ergeben sich Einschränkungen bzgl. der Verallgemeinerung und Übertragbarkeit der Projektergebnisse:

- Die Ergebnisse beziehen sich explizit auf zwei *Gemeinden im ländlichen Raum*. Eine Verallgemeinerung auf andere ländliche Gemeinden ist auf Grund der geringen Stichprobengrösse nicht möglich. Dennoch zeigt dieser Bericht (siehe Projektziele 2 (S. 27) und 3 (S. 41)) mögliche Indizien bzgl. der Übertragbarkeit auf andere ländliche Regionen auf. Möglichkeiten zur Übertragung der Ergebnisse auf urbane Regionen oder Gemeinden im urbanen Umland wurden nicht untersucht.
- In beiden Fallstudiengemeinden wurde nur die *Entsorgung von häuslichem bzw. kommunalem Abwasser* betrachtet, das in seiner Zusammensetzung dem häuslichen ähnlich ist. Grund dafür sind die Ausgangslagen der Gemeinden. In Fallstudie 1 existiert eine Trennkanalisation, die nur aus Schmutzwasserleitungen besteht. Niederschlagswasser wurde wegen der geringen Versiegelung und vielfältiger lokalen Oberflächenversickerungsmöglichkeiten nicht gesammelt abgeleitet. Fallstudie 2 besteht aus zehn Ortsteilen (OT; vormalig eigenständige Gemeinden), die über eine Misch-, Trenn- oder eine Kombination aus Misch- und Trennkanalisationen entwässern. Aus strategischen Gründen wurde vorerst der OT mit einem Trennsystem und einer eigenen, lokalen ARA betrachtet. Da es mittelfristig eine Lösung für die alternde, lokale ARA brauchte, wurde auch hier nur das häusliche bzw. kommunale Schmutzabwasser in die Betrachtung einbezogen. In beiden Gemeinden war für die nächsten 20 Jahre zudem kein Handlungsbedarf im Bereich der Niederschlagswasserkanalisation identifiziert worden.
- Für die Projektteams beider Gemeinden war die langfristige Perspektive wichtig. Daher wurde eine *Entscheidungsunterstützung für die strategische Ebene* durchgeführt. Dies ermöglichte zum Teil vereinfachte Annahmen. Zum Beispiel stand bei den verschiedenen Abwassersystemen der konzeptionelle Unterschied im Vordergrund (z. B. zentrales vs. dezentrales System). Eine Unterscheidung der Auswirkungen verschiedener Verfahrenstechnologien (z. B. KLARA im SBR³¹-, MBR³²- oder Festbettverfahren³³) auf die einzelnen Zielerreichungsgrade wurde nicht untersucht. Obwohl aus technologischer Sicht Unterschiede bestehen, konnten sie vernachlässigt werden, da diese im Kontext der multi-kriteriellen Betrachtung klein waren und sich bei einer langfristigen Strategieentscheidung nicht auswirken. In der Unsicherheitsbetrachtung in der MCDA wurden diese Unterschiede allerdings implizit mit Hilfe der Streubreite durch typische Erwartungswerte (z. B. gemessene Daten oder Literaturangaben) und deren Standardabweichung abgedeckt.

³¹ SBR = steht im Englischen für *sequencing batch reactor*. Es ist ein technisches Belebtschlammverfahren zur Abwasserreinigung, bei dem die räumliche Trennung der Verfahrensschritte durch eine zeitliche Trennung bzw. Abfolge ersetzt wird.

³² MBR = steht im Englischen für *membrane biological reactor (Membranbelebungsreaktor)*. Ein Belebtschlammverfahren, dessen Effizienz durch den Einsatz von Membranen gesteigert wird.

³³ Bei einem Festbettverfahren wachsen die für die biolog. Reinigung notwendigen Mikroorganismen hauptsächlich auf festen Einbauten im Reaktor auf, durch den das zu reinigende Abwasser strömt.

Notizen

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....