

# Dezentrale Abwasserentsorgungskonzepte als Alternative für den ländlichen Raum

Silja Baron, Timo C. Dilly und Theo G. Schmitt

Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Kaiserslautern

**Kurzfassung:** Zukünftige Veränderungen wie der demografische Wandel beeinflussen die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit von kommunalen Abwasserinfrastrukturen und erfordern einen Umbau- und Anpassungsbedarf. Mit dem im BMBF-Projekt SinOptiKom entwickelten softwarebasierten Entscheidungs- und Optimierungsmodell werden Anpassungsmöglichkeiten von Abwasserinfrastrukturen aufgezeigt und evaluiert. Es wird untersucht unter welchen Voraussetzungen die Transformation eines zentralen Systems zu einem dezentralen System bzw. einem System der Stoffstromtrennung sinnvoll sein kann. Einen großen Einfluss auf die resultierenden Transformationsstrategien haben die Wahl und Kombination der im Modell hinterlegten Bewertungskriterien. Mit Sensitivitätsbetrachtungen für verschiedene Kombinationen von Bewertungskriterien werden Unsicherheiten im Modellierungsprozess aufgezeigt und die resultierenden Kosten bewertet.

**Keywords:** Abwasserentsorgung, demografischer Wandel, mathematische Optimierung, Modellierung, ländlicher Raum, Transformation

## 1 Einleitung

Unter veränderten Rahmenbedingungen wie dem demografischen Wandel muss die zukünftige Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Abwasserinfrastrukturen sichergestellt werden. Ein Aufzeigen der zeitlichen und räumlichen Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen mit modelltechnischer Unterstützung ist notwendig. Die Planung eines dynamisch vollzogenen Systemwechsels unter Einbeziehung von dezentralen

Konzepten und Systemen der Stoffstromtrennung stellt dabei eine Herausforderung dar.

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt „SinOptiKom - Sektorübergreifende Prozessoptimierung in der Transformation kommunaler Infrastrukturen im ländlichen Raum“ wurde ein softwarebasiertes Entscheidungs- und Optimierungsmodell zur Transformation von Wasserinfrastrukturen im ländlichen Raum entwickelt (Schmitt et al., 2016a). Das mathematische Optimierungsmodell generiert Transformationspfade für Abwasserentsorgungssysteme über einen Zeitraum von 50 Jahren unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien und Bewertungskriterien. Die zentrale Trinkwasserversorgung wird im Modell nicht abgebildet und mögliche erforderliche Anpassungen werden nicht mitbetrachtet. Das Modell wird in zwei ländlichen Modellkommunen im Südwesten von Deutschland angewendet und evaluiert.

In diesem Beitrag liegt der Fokus auf der Untersuchung des Einflusses von verschiedenen Kombinationen von Bewertungskriterien auf Transformationsstrategien. Auswirkungen von verschiedenen Szenarien wurde bereits in Dilly et al. (2016) aufgezeigt. Für vier ländliche Gemeinden werden Transformationsstrategien unter Einbeziehung von dezentralen Maßnahmen der Abwasserreinigung und Regenwasserbewirtschaftung sowie Maßnahmen der Stoffstromtrennung dargestellt und ausgewertet. Um Unsicherheiten im Modellierungsprozess aufzeigen und bewerten zu können wurden Sensitivitätsanalysen für verschiedene Kombinationen von Bewertungskriterien durchgeführt.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Softwarebasiertes Entscheidungs- und Optimierungssystem**

Das im Projekt SinOptiKom entwickelte softwarebasierte Entscheidungs- und Optimierungssystem zur langfristigen Transformation von Abwasserinfrastrukturen stellt die methodische Grundlage für diesen Beitrag dar. Es besteht aus drei Komponenten, einem Pre-Processing Tool, einem

mathematischen Optimierungsmodell und einem Auswertungstool. Eine detaillierte Beschreibung der Modellstruktur und Funktionsweise kann Baron et al. (2015) entnommen werden. Zur Einbeziehung von zukünftigen Entwicklungen werden über einen Szenarienmanager die Veränderungen der Bevölkerungs- und Siedlungsstruktur, des Wasserbedarfs, der Kosten der technischen Anlagen und der Bemessungsregenreihen eingebunden (Baron et al., 2016).

Der im Modell hinterlegte Maßnahmenkatalog zur Festlegung der Handlungsoptionen umfasst die Bereiche Siedlungsentwässerung, Regenwasserbewirtschaftung, Abwasserbehandlung, Stoffstrom-trennung und Ressourcenrückgewinnung. Das Modell ermöglicht die simultane Berücksichtigung von acht Bewertungskriterien: Kosten, Flexibilität, Wasserhaushalt, Emissionen, Wasserrecycling, Nährstoffrecycling, Energieeffizienz und Akzeptanz. Da alle Kriterien in verschiedenen Einheiten gemessen werden, wird eine einheitliche Skalierung zwischen 0 (sehr gut) und 1 (sehr schlecht) mit verschiedenen Methoden vorgenommen. Die Zielfunktion setzt sich aus einer gewichteten Summe der zu optimierenden Kriterien zusammen (Dilly et al., 2016).

## **2.2 Modellgemeinden**

Ländliche Modellgemeinden im Südwesten von Deutschland werden betrachtet. Innerhalb der Verbandsgemeinde Enkenbach-Alsenborn werden die Ortsgemeinden Neuhemsbach und Mehlingen und in der Verbandsgemeinde Rockenhausen die Ortsgemeinden Gerbach und St. Alban detailliert untersucht. In Tabelle 1 sind die unterschiedlichen Merkmale und Randbedingungen der Gemeinden zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 1: Merkmale und Randbedingungen der Modellgemeinden, Stand 2015 (Statistisches Landesamt RP, 2015)

	<b>Neuhemsbach</b>	<b>Mehlingen</b>	<b>Gerbach</b>	<b>St. Alban</b>
Einwohner	825	3.862	535	290
Bevölkerungsrückgang (2000 - 2015)	-1,8 %	- 4,3 %	-8,2 %	-12,7 %
Lage	Ländlicher Bereich mit disperser Siedlungsstruktur und hoher Zentrenreichbarkeit		Ländlicher Bereich mit disperser Siedlungsstruktur	
Topografie	Tal-, Hanglage	leichte Hanglage	Tal-, Hanglage	Tal-, Hanglage
	261 m ü. N.N.	289 m ü. N.N.	257 m ü. N.N.	247 m ü. N.N.
Fläche	666 ha	2.195 ha	732 ha	546 ha
vorherrschende Flächennutzung	Wald, Landwirtschaft	Landwirtschaft, Wald	Landwirtschaft	Landwirtschaft
Entwässerungsart:				
Mischsystem	76,2 %	74,7 %	12,5 %	0 %
Trennsystem	23,8 %	25,3 %	87,5 %	100 %
Baujahr Kanäle:				
Mischsystem	1968	2000	1975, 2004	-
Trennsystem	1997	2000	2004	2004
Kanallänge pro Einwohner	12 m	8 m	11 m	14 m
Abwasserbehandlung	Gruppenkläranlage VG Enkenbach-Alsenborn		Pflanzenkläranlage (Gerbach und St. Alban)	
Baujahr Kläranlage	1997		2004	

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Vergleich und Bewertung von Transformationsstrategien

Für die vier Gemeinden werden drei Kombinationen an Bewertungskriterien dargestellt und ausgewertet:

- Variante 1: Konservativ: Kosten, Flexibilität, Emissionen und Akzeptanz (100-100-100-100)
- Variante 2: Ökologisch-ökonomisch: Wasserhaushalt, Wasserrecycling, Emissionen und Kosten (100-100-50-100)
- Variante 3: Rückgewinnung: Wasserrecycling, Nährstoffrecycling, Energieeffizienz und Kosten (100-100-50-100)

In Klammern ist jeweils die Gewichtung der Kriterien dargestellt. Eine Mitbetrachtung der Kosten ist immer sinnvoll, da sonst extrem teure und somit realitätsferne Lösungen resultieren können.

In Abbildung 1 ist exemplarisch die vom Modell berechnete Transformationsstrategie für die Variante „ökologisch-ökonomisch“ für die Gemeinde Neuheimsbach dargestellt. Im ersten Transformationsschritt wird ein Randgebiet der Gemeinde mit Kleinkläranlagen dezentralisiert und es werden Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt. Über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren werden kontinuierlich Muldenversickerungen, Flächenentsiegelungen und Dachbegrünungen vorgenommen. Bis 2065 wird das System komplett dezentralisiert mit Kleinkläranlagen. Die Ableitung des Regenwassers erfolgt in Regenwasserkanälen oder oberirdischen Rinnen. Mit einer Stoffstromtrennung auf Hausebene wird Grauwasser aufbereitet und wiederverwendet. Das Schwarzwasser wird mit einem Drucksystem zur zentralen Kläranlage geleitet und einer Co-Vergärung zur Energieerzeugung zugeführt.

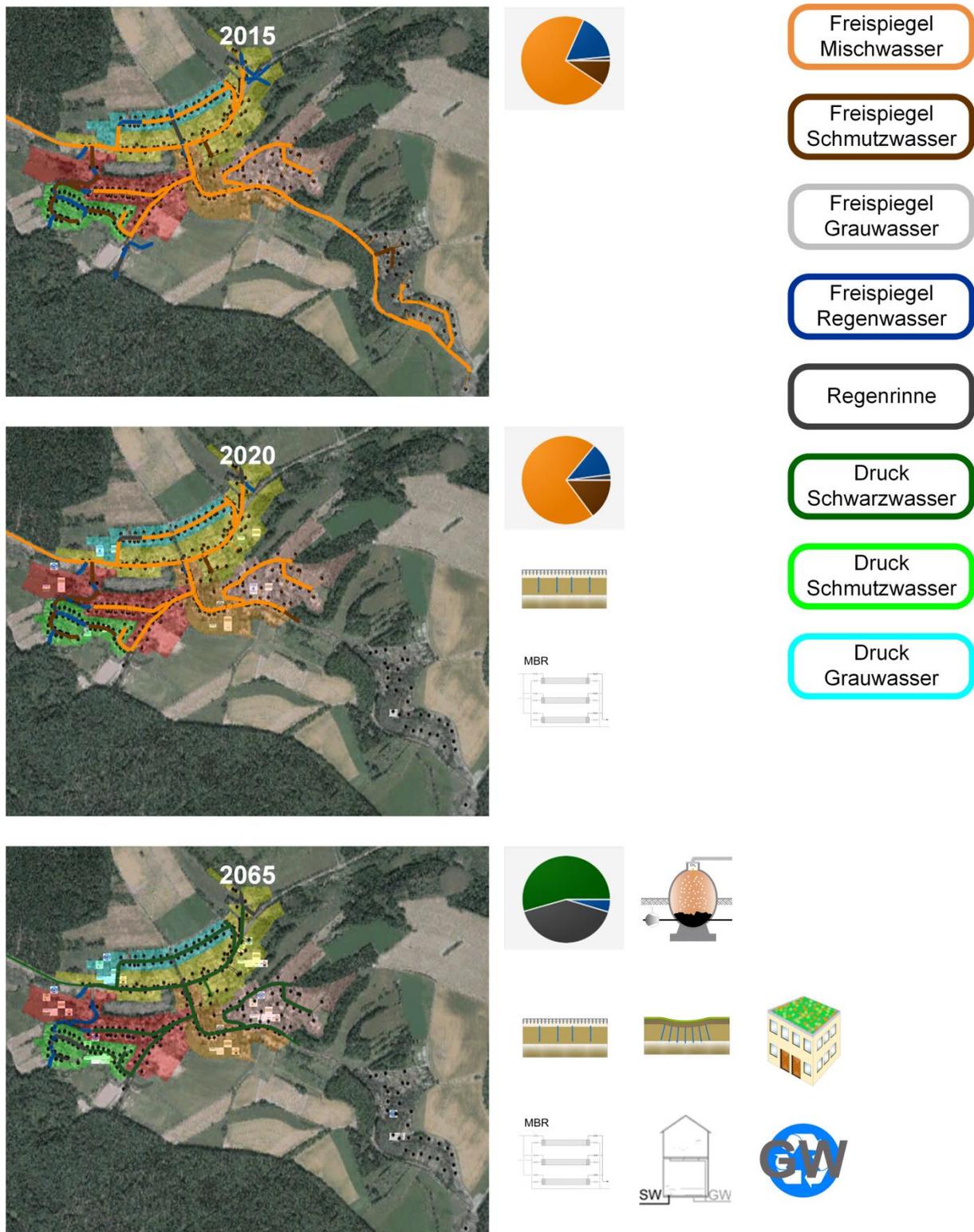


Abbildung 1: Transformationspfad für die Variante „ökologisch-ökonomisch“ für Neuhemsbach

Tabelle 2: Systemvergleich der drei Varianten für den Endzustand 2065

Gemeinde	Variante		
	konservativ	ökologisch-ökonomisch	Rückgewinnung
<b>Neuhemsbach</b>	zentral (1 Teilgebiet dezentral)	dezentral mit Kleinkläranlagen, Stoffstromtrennung, Grauwasserrecycling	zentral (1 Teilgebiet dezentral), Stoffstromtrennung, Grauwasserrecycling, Nährstoffrecycling
<b>Mehlingen</b>	zentral	zentral, Stoffstromtrennung, Grauwasserrecycling	zentral, Stoffstromtrennung, teilweise Grauwasser- bzw. Regenwasser-recycling, Nährstoffrecycling
<b>Gerbach</b>	zentral	zentral, Stoffstromtrennung, Grauwasserrecycling	zentral, Stoffstromtrennung, Grauwasserrecycling, Nährstoffrecycling
<b>St. Alban</b>	zentral	zentral, Stoffstromtrennung, Grauwasserrecycling	dezentral mit Kleinkläranlagen, Stoffstromtrennung, Grauwasserrecycling, Nährstoffrecycling

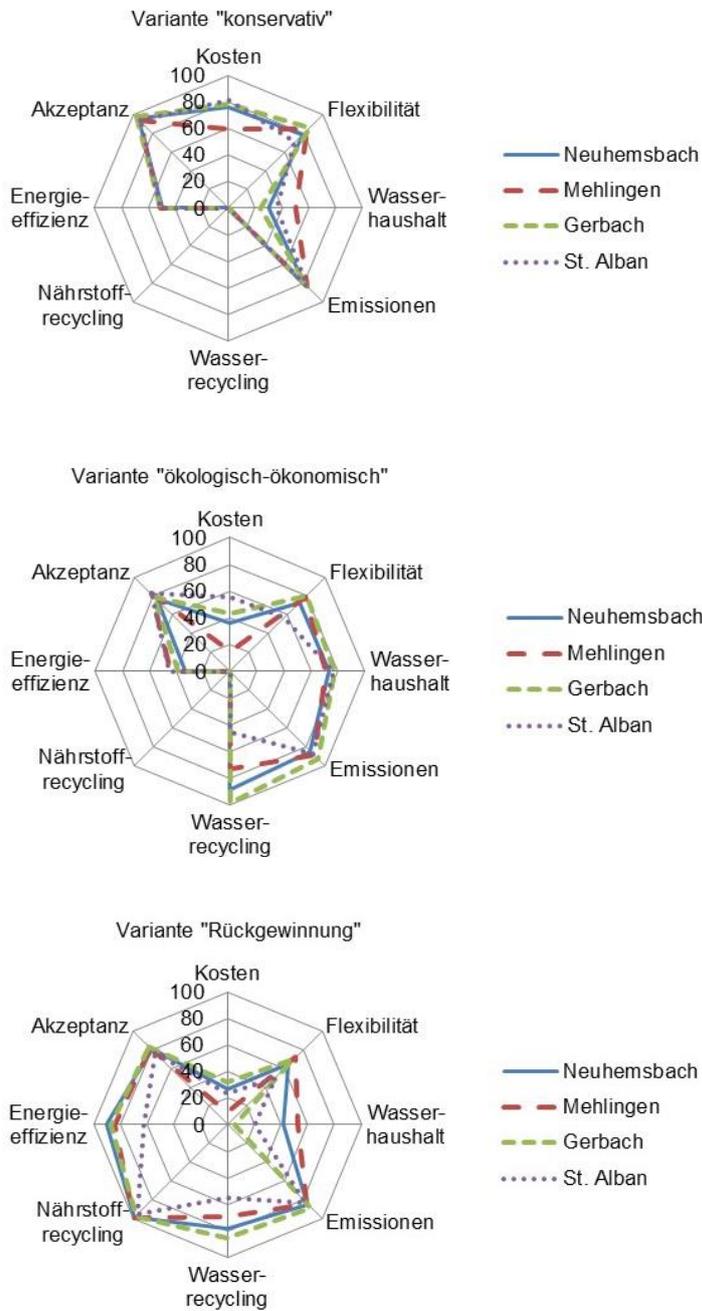


Abbildung 2: Grad der Zielerreichung für die drei Varianten und vier Gemeinden

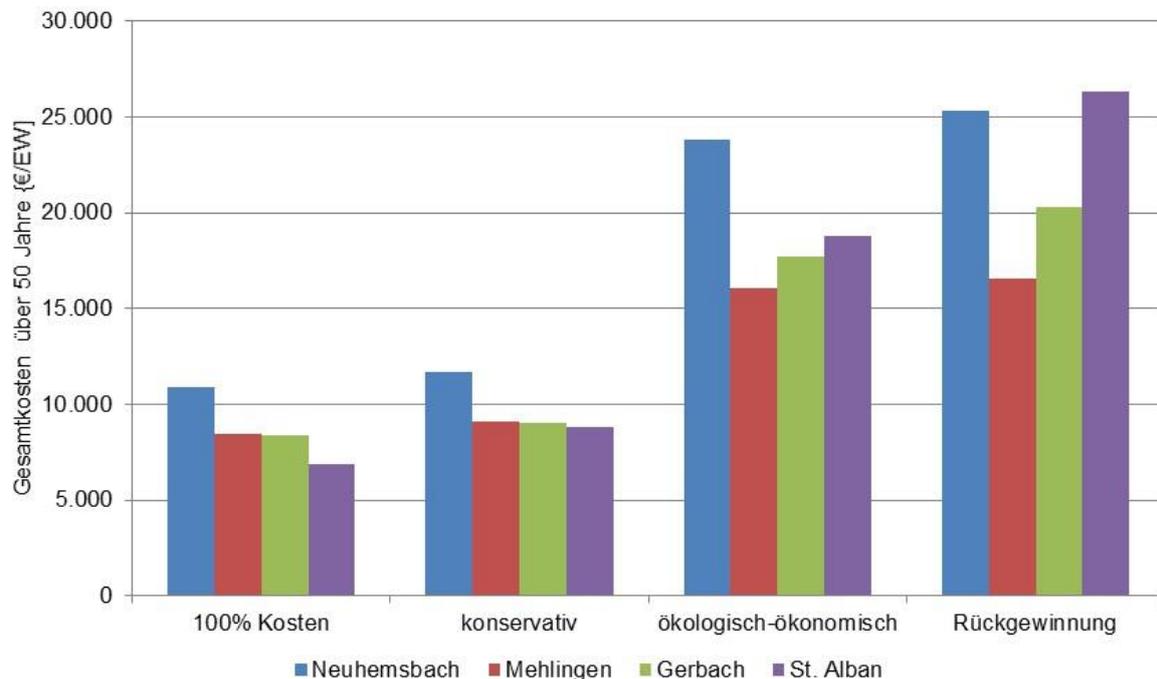


Abbildung 3: Vergleich der Gesamtkosten pro Einwohner über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren

Für die gleiche Kombination an Bewertungskriterien unterscheiden sich die Transformationspfade zwischen den betrachteten Gemeinden teilweise (Tabelle 2). Bei allen Varianten werden Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt. Für die Variante „konservativ“ resultiert immer ein zentrales System, da so die priorisierten Kriterien Kosten, Akzeptanz, Emissionen und Flexibilität am besten erreicht werden können. Nur in der Gemeinde Neuheimsbach wird ein vom Ort ca. 500 m entfernt liegendes Wochenendhausgebiet dezentralisiert, da eine Instandhaltung des Verbindungssammlers unwirtschaftlich wäre. Bei den Varianten „ökologisch-ökonomisch“ und „Rückgewinnung“ wird je nach Gemeinde das zentrale System beibehalten oder zu einem dezentralen System mit Kleinkläranlagen umgestellt. Ob ein System dezentralisiert wird, hängt vor allem von den Randbedingungen der Gemeinde ab.

In Abbildung 2 ist der Grad der Zielerreichung für die betrachteten Gemeinden im Vergleich dargestellt. Die zu optimierenden Kriterien werden in der Variante „konservativ“ immer gut erreicht (> 80 %). In den Varianten „ökologisch-ökonomisch“ und „Rückgewinnung“ werden die priorisierten Kriterien zwischen 70 und 100 % erreicht. Eine Ausnahme bildet das Kriterium Wasserrecycling für die Gemeinde St. Alban (45 bzw. 55 %).

Der Zielerreichungsgrad ist verhältnismäßig schlecht, da die Maßnahme Grauwasserrecycling erst in der zweiten Hälfte des Betrachtungszeitraums (2040) umgesetzt wird. Der Umsetzungszeitpunkt einer Maßnahme beeinflusst den Zielerreichungsgrad eines Kriteriums direkt. In St. Alban ist das Kanalnetz relativ neu (Baujahr 2004) und deswegen wäre eine Umstellung des Systems zu einem früheren Zeitpunkt unverhältnismäßig teuer und somit keine Option für das Modell.

Der Vergleich der Gesamtkosten (Investitions-, Sanierungs-, Stilllegungs- und Betriebskosten) pro Einwohner über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren in Abbildung 3 zeigt ein uneinheitliches Bild hinsichtlich der Varianten und Gemeinden. Im Vergleich zu einer alleinigen Optimierung der Kosten (100 %-Kosten) liegen die Kosten der Variante „konservativ“ nur geringfügig höher und auch die Verteilung unter den Gemeinden ist ähnlich. Die anderen Varianten unterscheiden sich erwartungsgemäß deutlich. In Neuhemsbach ist die Transformation im Vergleich pro Einwohner immer am teuersten. Dies kann auf die langgestreckte Form und topografisch anspruchsvollere Lage der Gemeinde sowie den größeren Bevölkerungsrückgang von 44,5 % bis 2065 zurückgeführt werden. Die anderen Gemeinden sind wesentlich kompakter und die Bevölkerung nimmt im Mittel um 40 % bis 2065 ab. Zudem ist das Kanalnetz in Neuhemsbach wesentlich älter und somit stehen im Betrachtungszeitraum bei der Vorgabe einer Nutzungsdauer für Kanäle von 80 Jahren in jedem Fall große Investitionen an.

In St. Alban ist eine Mitoptimierung der Kriterien Wasserhaushalt, Wasser- und Nährstoffrecycling besonders kostenintensiv. Da die Kanäle vergleichsweise neu sind, müssen sie im Betrachtungszeitraum rein aufgrund der Nutzungsdauer nicht erneuert werden. Allerdings werden große Investitionen für die Einführung einer Stoffstromtrennung auf Hausenebene notwendig und dabei machen sich die geringe Einwohnerzahl und die größere Kanallänge pro Einwohner bemerkbar.

Damit zeigt sich, dass die jeweiligen Randbedingungen der Gemeinden einen großen Einfluss auf den Zielzustand des Planungshorizontes sowie die Transformationsstrategien und die entstehenden Kosten haben.

## 3.2 Sensitivitätsbetrachtungen

Sensitivitätsbetrachtungen wurden für die Gemeinde Gerbach durchgeführt. Dazu wurden alle 255 Kombinationsmöglichkeiten, bei denen die acht Bewertungskriterien entweder mit 100 % oder 0 % in die Bewertung einfließen, in der Optimierung betrachtet. Gerbach wurde ausgewählt, da für eine kleinere Gemeinde die Rechenzeit des Modells gering gehalten werden kann.

In Abbildung 4 ist der Grad der Zielerreichung in einem Boxplot-Diagramm dargestellt. Je nach gewählter Skalierung decken die Bewertungskriterien unterschiedliche Bereiche ab. Durch die vorgegebenen Eingangsgrößen kann bei manchen Kriterien nicht der gesamte Wertebereich zwischen 0 und 1 abgedeckt werden. Dies trifft auf die Kriterien Flexibilität und Akzeptanz zu, die nur einen geringen Schwankungsbereich beim Grad der Zielerreichung aufweisen. Dadurch haben sie bei einer Kombination mit anderen Kriterien, die einen größeren Wertebereich aufspannen (z. B. Wasserrecycling), bei der multikriteriellen Optimierung einen geringeren Einfluss.

Das Kriterium Kosten erreicht für die Gemeinde Gerbach im Mittel nur 30 bis 55 % Zielerreichung, da sich die Mitoptimierung von anderen Kriterien immer negativ auf die Kosten auswirkt. Bei alleiniger Kostenoptimierung kann ein Wert von über 80 % erreicht werden. Das Kriterium Emissionen hat generell eine gute Zielerreichung aufgrund der modellspezifischen Implementierung, dass nur die Emissionen von Abwasserreinigungsanlagen bilanziert werden.

Die Kriterien, die einen großen Wertebereich aufweisen (Wasser- und Nährstoffrecycling, Wasserhaushalt), beeinflussen die Kosten am meisten. Die Kriterien Energieeffizienz, Wasser- und Nährstoffrecycling sind hauptsächlich von der Umsetzung einer Maßnahme abhängig, die dann eine direkte Kostenzunahme zur Folge hat. Der Grad der Zielerreichung der anderen Kriterien wird hingegen oft positiv mitbeeinflusst. Wenn bspw. Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushalts umgesetzt werden, wird dadurch auch die Flexibilität verbessert.

Die Auswertung der Kosten in Abbildung 5 zeigt, dass im Mittel 10.800 € pro Einwohner über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren aufgewendet werden müssen. In 25 bis 75 % aller Fälle liegen die Kosten zwischen 9000 und 13.300 €/EW. Der minimale (3.800 €/EW) und maximaler Wert (17.000 €/EW) weichen deutlich davon ab.

Der Grad der Zielerreichung der Bewertungskriterien wird durch den Umsetzungszeitpunkt einer Maßnahme sowie deren Nutzungsdauer beeinflusst. Aus den 255 berechneten Kombinationen wurde ermittelt, wie oft eine Maßnahme im gleichen Jahr und im gleichen Transformationsraum umgesetzt wird. Die Maßnahmen Stoffstromtrennung und Druckableitung von Schwarzwasser werden zeitabhängig, also eher zum gleichen Zeitpunkt unabhängig von der Kombination der Bewertungskriterien umgesetzt. Dahingegen werden die Maßnahmen Grauwasserrecycling im Haus und Kleinkläranlagen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vom Modell implementiert. Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen liegen im mittleren Bereich und werden somit nur teilweise zum gleichen Zeitpunkt umgesetzt.

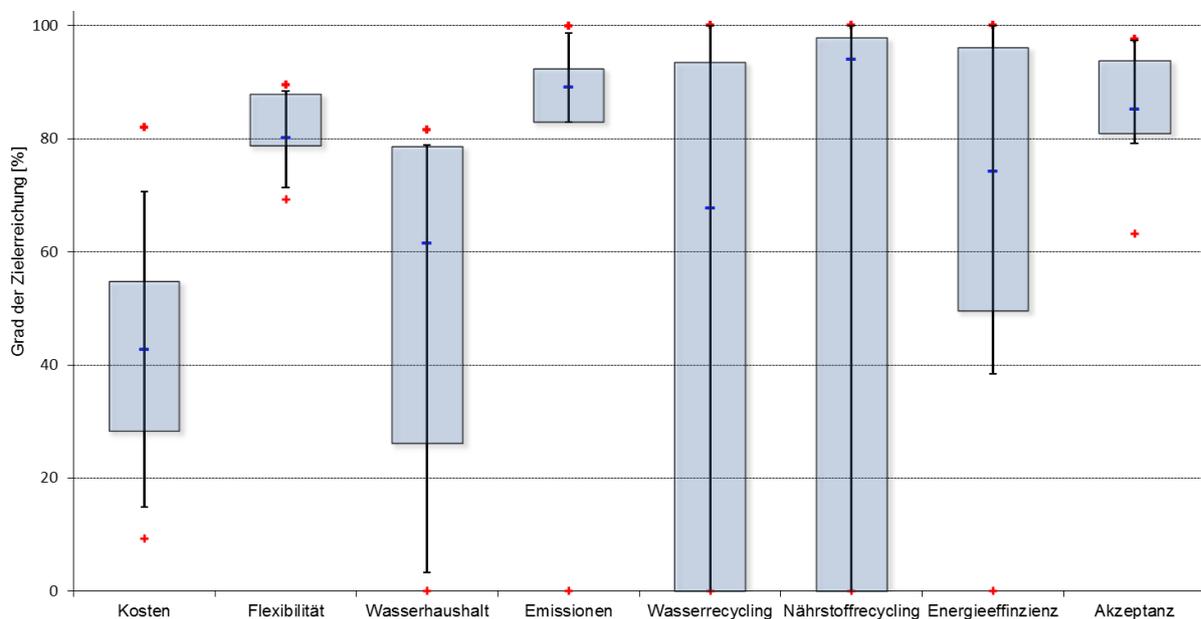


Abbildung 4: Grad der Zielerreichung der optimierten Bewertungskriterien (Schmitt et al., 2016b)

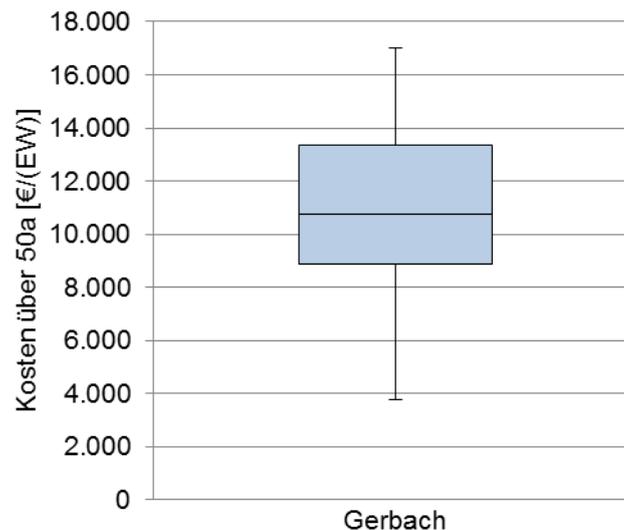


Abbildung 5: Kosten pro Einwohner über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren

### 3.3 Dezentrale Abwasserentsorgungskonzepte

Die Auswertung weiterer Kombinationen von Bewertungskriterien für die vier betrachteten Gemeinden zeigt, dass die Implementierung von Kleinkläranlagen durch die Betonung der Kriterien Wasserhaushalt, Wasserrecycling und Flexibilität gefördert wird. Je nach Gemeinde kann die Priorisierung eines dieser Kriterien oder deren Kombination zur teilweisen oder kompletten Dezentralisierung der Abwasserentsorgung führen. Die Umsetzung von dezentralen Strukturen ist zudem stark abhängig von den jeweiligen Randbedingungen der Gemeinde. Die Topografie, stark rückläufige Bevölkerungsentwicklungen, der Zustand des Entwässerungssystems (Alter der Kanäle, große Leitungslängen und -durchmesser, ein hoher Anteil Mischsystem) und die Art der Abwasserreinigung sind einige dieser Faktoren.

Die Umsetzung einer Schwarz- und Grauwassertrennung auf Hausebene wird hauptsächlich bei der Priorisierung der Bewertungskriterien Energieeffizienz, Wasser- und Nährstoffrecycling umgesetzt. Um Nährstoffe oder Energie aus dem Abwasser zu gewinnen, ist eine Stoffstromtrennung zwingend notwendig. Die durch die Umsetzung verursachten höheren Kosten müssen mit dem Nutzen abgewogen werden.

## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Auswahl und Gewichtung der Bewertungskriterien beeinflusst maßgeblich die resultierenden Zielzustände und Transformationsstrategien. Die individuellen Präferenzen der beteiligten Akteure können dadurch einbezogen und Handlungsoptionen aufgezeigt werden. Der dadurch entstehende Entscheidungsspielraum kann die Weiterentwicklung der kommunalen Infrastruktur unterstützen, idealerweise unter Einbeziehung der betroffenen Bevölkerung.

Eine Dezentralisierung von Gemeinden kann im ländlichen Raum sinnvoll sein, wenn bestimmte Randbedingungen vorliegen und es auf lange Sicht wirtschaftliche Vorteile bringt. Dabei müssen auch immer die Auswirkungen auf die bestehende Abwasserreinigungsanlage betrachtet werden.

Die Einführung einer Stoffstromtrennung mit Grauwasserrecycling verursacht vergleichsweise hohe Kosten. Die Umsetzung im ländlichen Raum ist stark von der zukünftigen Bedeutung von Nährstoffrecycling und Energiegewinnung aus Abwasser und deren Kostenentwicklung abhängig. Durch Aufzeigen dieser alternativen Konzepte, können Planer, Entscheidungsträger und Bürger diese Lösungen in Überlegungen für die zukünftige Gestaltung der Abwasserinfrastruktur einbeziehen.

Zu beachten ist, dass die Umsetzung des Grauwasserrecyclings den Wasserbedarf für das Trinkwassernetz (weiter) reduzieren würde. Diese negativen Auswirkungen müssen gesondert betrachtet werden. Im hier angewandten Entscheidungsmodell wurde stets eine Beibehaltung der öffentlichen Trinkwasserversorgung als zentrales System unterstellt.

Alle im Siedlungskörper umgesetzten Maßnahmen beeinflussen den Grad der Zielerreichung der einzelnen Kriterien auf Grundlage ihrer hinterlegten Eigenschaften. Sensitivitätsbetrachtungen haben gezeigt, dass sich der Wertebereich des Grads der Zielerreichung der Bewertungskriterien je nach Kriterium unterscheidet. Durch die vorgegebenen Eingangsgrößen zur Skalierung wird nicht bei jedem Kriterium der gesamte Wertebereich abgedeckt. Kriterien mit einem kleineren Wertebereich ha-

ben im Vergleich zu Kriterien, die einen größeren Wertebereich aufspannen, einen geringeren Einfluss bei der multikriteriellen Optimierung.

Zur weiteren Evaluierung des Modells und der Kostenansätze werden Sensitivitätsbetrachtungen für eine weitere Gemeinde durchgeführt. Es wird eine Überprüfung der Kostenansätze für die Maßnahme Nährstoffrecycling vorgenommen, da nur vergleichsweise wenige Kosten aus Forschungsprojekten oder der Umsetzung von Pilotanlagen vorliegen und somit eine unsichere Eingangsgröße darstellen. Durch eine Änderung der Eigenschaftspunkte für die Kriterien Akzeptanz und Flexibilität soll der Wertebereich beim Grad der Zielerreichung dieser beiden Kriterien genauer untersucht werden.

## 5 Literatur

- Baron S., Kaufmann Alves I., Schmitt T.G., Schöffel S., Schwank J. (2015). Cross-sectoral optimization and visualization of transformation processes in urban water infrastructures in rural areas. *Water Science and Technology*, **72** (10), 1730-1738.
- Baron S., Hoek J., Kaufmann Alves I., Herz S. (2016). Comprehensive scenario management of sustainable spatial planning and urban water services. *Water Science and Technology*, **73** (5), 1041-1051.
- Dilly, T.C., Wölle J., Schmitt T.G., Holzhauser M. (2016). Transformation der ländlichen Abwasserinfrastruktur unter Einfluss des demografischen Wandels. Aqua Urbanica 2016 „Miss es oder vergiss es“ – Daten, Wissen und Konzepte für den Gewässerschutz bei Regenwetter“, 26. und 27. September 2016, Rigi Kaltbad, Schweiz.
- Schmitt T.G., Wölle J., Dilly T., Baron S., Knerr H. et al. (2016a). SinOptiKom - Sektorübergreifende Prozessoptimierung in der Transformation kommunaler Infrastrukturen im ländlichen Raum. Projektbericht zum BMBF-Verbundvorhaben SinOptiKom (Förderkennzeichen: 33W009) in der BMBF-Fördermaßnahme INIS „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“. Kaiserslautern, Oktober 2016.
- Schmitt T.G., Wölle J., Dilly T., Baron S., Knerr H. et al. (2016b). SinOptiKom Arbeitspapier 4: Modellanwendung – Bewertungskriterien und Szenarien. Arbeitspapier zum BMBF-Verbundvorhaben SinOptiKom (Förderkennzeichen: 33W009). Kaiserslautern, Oktober 2016.

Statistisches Landesamt RP (2015). Statistische Daten „Mein Dorf, meine Stadt“, Veröffentlichung des Statistisches Landesamts Rheinland-Pfalz, Bad Ems, online abrufbar unter <http://infothek.statistik.rlp.de/MeineHeimat>, zuletzt geprüft am 02.05.2017.

**Korrespondenz an:**

Dipl.-Ing. Silja Baron  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft  
Technische Universität Kaiserslautern  
Paul-Ehrlich-Str. 14  
67663 Kaiserslautern  
Tel.: +49631/2055963  
Fax: +49631/2053905  
Email: [silja.baron@bauing.uni-kl.de](mailto:silja.baron@bauing.uni-kl.de)