

# **Nachhaltigkeitstransition im Abwassersektor: Innovation, adaptive Politik und Ressourcenzirkularität in Indien**

--

## **Zusammenfassung der Promotionsschrift**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Professur Siedlungswasserwirtschaft, Fakultät Bauingenieurwesen  
Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

**Tatjana Schellenberg, M. Sc.**

(externe Doktorandin)

**Betreuer** :   
Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong

**Tag der Einreichung** : 31. Mai, 2022

## **Problemstellung und aktueller Forschungsstand**

1. Trotz globaler Bemühungen steht der Abwassersektor weiterhin vor immensen Entwicklungsherausforderungen und einhergehenden kritischen Auswirkungen, insbesondere im Globalen Süden und für marginalisierte Bevölkerungsgruppen. Über dies hinaus hat der nicht nachhaltige Umgang mit Ressourcen die Vielzahl und Komplexität der Umweltbelastungen wie Wasserknappheit, Landverödung und Klimawandel verschärft.
2. Dematerialisierung und zirkuläre Konzepte werden allgemein als messbare Strategie zur Nachhaltigkeit verstanden, welche nicht nur das Potenzial haben, die Resilienz gegenüber Umweltauswirkungen zu erhöhen, sondern auch die sektorale Entwicklung durch zusätzliche Einnahmequellen zu fördern. Das zentralisierte kanalbasierte Paradigma unter dem linearen abflussbasierten Ansatz hat dazu geführt, dass nachhaltigere Innovationen im Globalen Norden blockiert werden, während dieses Ideal unter den Bedingungen im Globalen Süden oftmals scheitert. Obschon verantwortungsbewusste Innovation, Reduktion des Ressourceneinsatzes und Zirkularität einhergehend mit dezentraler Abwasserseparierung essenzielle Elemente heutiger Diskurse bilden, wird von einem breiten Innovationsdefizit und technologischen bis hin zu regulatorischen Hindernissen berichtet. Die langfristige Problemstellung in der Umsetzung nachhaltiger Entwicklung hat das aufstrebende Forschungsfeld der Nachhaltigkeitstransition gebildet. Aktuell konzentriert sich dieses überwiegend auf den Energiesektor und Globalen Norden und würde von Studien im Globalen Süden und weiteren Sektoren profitieren.

## **Zielsetzung der Arbeit**

3. Das Ziel dieser Dissertation ist, zur Entwicklung nachhaltigerer und verantwortungsvoller Innovationen im Abwassersektor in Indien beizutragen und kontextbezogene Einblicke für das Forschungsfeld der Nachhaltigkeitstransition aus unterrepräsentierten Sektoren und Regionen zu liefern.

## **Materialien und Methoden**

4. Diese kumulative Dissertation wurde im Rahmen des INNOQUA-Projektes mit Untersuchungen im Bereich innovativer Technologien für eine nachhaltigere und zirkuläre Abwasserbehandlung in Indien durchgeführt. Während sich die Schwerpunktuntersuchungen unter INNOQUA auf Nischen-Innovationen

konzentrieren, bildet das Multi-Level Konzept den Gesamtforschungsrahmen in dieser Dissertation und ermöglicht eine kontextuelle Betrachtung aller drei Ebenen hinsichtlich einer Nachhaltigkeitstransition im Abwassersektor. Die resultierenden Untersuchungen unter dieser Dissertation analysieren folglich:

- die Ebene der Nische hinsichtlich innovativer, dezentraler Technologien zur Abwasserbehandlung und Ressourcen-Zirkularität in einer marginalisierten Gemeinde in Bangalore, Indien,
  - das sozio-technische Regime hinsichtlich institutioneller Regulationen und Abwasserstandards in Indien
  - und das verändernde Landschafts-Regime hinsichtlich wachsender Umwelteinwirkungen im Kontext zum Ressourcenpotenzial aus Abwasser und adaptiver Politik für zirkuläres Abwasser-Ressourcen-Management.
5. Im Rahmen der ersten Untersuchung wurde eine Systemkonfiguration bestehend aus der Lumbrifiltration (LF), Daphnienfiltration (DF), BioSolar Purification (BSP) und UV-Desinfektion in zwei Behandlungsströmen in einer marginalisierten Gemeinde in Bangalore installiert, um das Abwasser von neun Haushalten zu behandeln und Wasser und Nährstoffe zu recyceln. Das System wurde über 422 Tage und 22 Probenahme-Kampagnen auf 17 biochemische Parameter, Beladungsraten, Energiebilanz sowie Betrieb und Wartung analysiert.
  6. In der zweiten Untersuchung wurde ein Policy-Review in Kombination mit einer Vergleichsanalyse durchgeführt, um die institutionellen Risikomanagementvorschriften für den Abwassersektor in Indien, internationalen Richtlinien und acht weiteren Ländern zu überprüfen.
  7. Die dritte Untersuchung ist strukturiert in einem integrierten Forschungsrahmen des Multi-Level und NEXUS Konzeptes. Die Methoden umfassen die Überprüfung und Vergleichsanalyse von 12 Ländern auf a. Umweltauswirkungen auf Landschaftsebene, b. dem Ressourcenpotenzial im Abwasser als innovativen Nischenansatz und c. den Stand adaptiver Politik zum zirkulären Ressourcenmanagement in sozio-technischen Regimen.

## **Ergebnisse**

8. Die erste Publikation gibt Aufschluss über unterschiedliche Behandlungsleistungen und Technologiereifegrade der untersuchten Technologien. Die Lumbrifiltration zeigt als primäre und sekundäre Reinigungsstufe eine stabile

und hohe Reinigungsleistung trotz variabler Beladungsraten. Angesichts des extremen Dosierungsschemas konnte der Daphnienfilter keinen stabilen Betrieb erreichen und erschwerte die Bewertung der nachfolgenden UV-Behandlungseinheit und des gegebenen LF-DF-UV Behandlungsstroms. Das BSP System zeigte eine stabile und effektive Behandlungsleistung bis zu 142 Betriebstagen, wonach ein starker Anstieg totaler suspendierten Stoffe (TSS), des Biologischen und Chemischen Sauerstoffbedarfes (BSB & CSB) beobachtet wurde. Dies weist auf eine erforderliche Anpassung der Wartung in Form einer Biomasse-Kaskadenreinigung hin. Die durchschnittliche Reinigungsleistung für TSS, BSB, CSB und NH<sub>4</sub>-N beträgt 98%, 99%, 96% und 94% für den LF-DF-UV und 87%, 97%, 91% und 97% für den LF-BSP Behandlungsstrom. Pathogenkonzentrationen im Effluent schwanken, entsprechen aber den WHO-Richtlinien zur Wiederverwendung von Wasser im gegebenen Szenario.

9. Die zweite Publikation macht die volatilen und inkonsistenten institutionellen Vorschriften für das Wasserrisikomanagement in Indien deutlich und zeigt mögliche Auswirkungen dieser Entwicklungen auf. Während die Abwasser-einleitungs- und Wiederverwendungsstandards in globalen Regulationen oder auf Länderebene stark variieren können, sind die kürzlich verabschiedeten Standards in Indien vergleichsweise streng und berücksichtigen keine Differenzierung der Anwendungsbereiche für das Wasserrecycling.
10. Die dritte Publikation zeigt auf, dass Umweltbelastungen adaptive Strategien für zirkulärer Ansätze antreiben können. Allerdings können Vorschriften und Regimereaktionen zwischen den verschiedenen Sektoren und analysierten Ländern variieren. Während die zirkuläre Wasserressourcenbewirtschaftung weltweit an Aufmerksamkeit gewinnt, fehlen adaptive Maßnahmen meist in Ländern des Globalen Südens. Es wird beobachtet, dass zirkuläre Ansätze für Nährstoff- und Energieressourcen sowie Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasen entweder einen Abwärtstrend bzw. umstrukturierenden zirkulären Ansatz erfahren oder in der Politik trotz hoher Umweltbelastungen nicht berücksichtigt werden.
11. Obschon das Multi-Level Konzept eine kontextuelle System-Betrachtung für Nischen-Innovationen und die Transitionsforschung erlaubt, benötigt es weiterer Adaptation und Studien für den Globalen Süden hinsichtlich unstrukturierter, informeller Regime-Dynamiken und Pfadabhängigkeiten unter Berücksichtigung globaler (Macht-) Verhältnisse.