1 Einleitung

Eine der wesentlichen Errungenschaften des 19. Jahrhunderts ist die Versorgung urbaner Gebiete mit sauberem Trinkwasser und die Entsorgung des verschmutzten Wassers. In den industrialisierten Ländern setzte sich dabei die Entsorgung über das Verfahren der Schwemmkanalisation mit anschließender zentraler Behandlung durch. In den letzten Jahrzehnten stellten sich im Zuge des demographischen Wandels durch wandelnde Siedlungsdichten, sinkende Wasser- sowie Abwassermengen neue Herausforderungen. Neben höheren Investitions- und damit spezifischen Behandlungskosten kommt der Fragestellung hinsichtlich der Aufkonzentration von Mikroschadstoffen innerhalb des Wasserkreislaufs verstärke Bedeutung zu (Londong et al., 2011). Spätestens durch steigende Rohstoffpreise und unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit wird deutlich, dass die bisherigen Konzepte zur Abwasserentsorgung sowie -behandlung weder zeitgemäß noch zukunftsorientiert sind (Otterpohl und Oldenburg, 2002).

Ein generelles Umdenken hinsichtlich der Sammlung, dem Transport sowie der Behandlung von Abwasser erfolgt im Zuge der Implementierung Neuartige Sanitärsysteme (NASS) als Alternative zu den bestehenden Entwässerungskonzepten. Diese sehen eine weitestgehende Schließung von Stoff- und Wasserströmen nach dem Stand der Technik vor, um den wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Ansprüchen auch in Zukunft Rechnung zu tragen (DWA, 2008). Ganzheitliche Lösungskonzepte berücksichtigen hierbei neben einer dezentraler Behandlung auch die Trennung der verschiedenen Abwasserströme nach ihrem Verschmutzungsgrad in Niederschlagwasser, Abwasser aus Küchen, Duschen und Waschmaschinen (Grauwasser) sowie Abwasser aus der Toilette (Schwarzwasser). Insbesondere durch eine separate Erfassung und Behandlung des Schwarzwassers können sowohl die Gesamtkosten reduziert als auch Nährstoffe und Energie zurückgewonnen werden (Peter-Fröhlich et al., 2004).

Um dies zu ermöglichen, erfolgt die Ableitung des Schwarzwassers unter Verwendung von geringen Mengen an Spülwasser durch die Sammlung und den Transport mittels Unterdrucktechnologie. Während für die Verwendung von Unterdrucktoiletten in Zügen und Flugzeugen langjährige Erfahrungen im Betrieb vorliegen (Wilfert, 2005), zählt der Einsatz im terrestrischen Bereich bislang zu den Sonderanwendungen. Aus den betrieblichen Erfahrungen bestehender Schwarzwasserunterdrucksysteme (SWUD) im Siedlungsbereich sind Schwierigkeiten bei der Gewährleistung der Systemsicherheit durch auftretende Verstopfungen der Leitungen bekannt, welche in Zusammenhang mit Ablagerungen bzw. Inkrusta-

tionen an der Rohrinnenwandung vermutet werden (Oldenburg et al., 2008). Durch das Fehlen von systematischen Untersuchungen sind die derzeit vorliegenden Kenntnisse über die entsprechenden Bildungsmechanismen nicht ausreichend, um geeignete Kontroll- und Wartungskonzepte zu erstellen, so dass hier Forschungsbedarf konstatiert und dieser im Rahmen eines Forschungsvorhabens untersucht wurde.

1.1 Hintergrund der Arbeit

Neue Impulse für die Weiterentwicklung von ressourcenoptimiertem Betrieb sowie längere bzw. flexiblere Nutzung von Infrastrukturen erfolgen verstärkt durch innovative Konzepte für Siedlungs- und Infrastrukturen. Ergänzend zu Aspekten der Energietechnik und Reststoffnutzung sowie Fragestellungen zu ökonomischen und ökologischen Auswirkungen steht vor allem die Entwässerungstechnik im Fokus verschiedener Verbundprojekte.

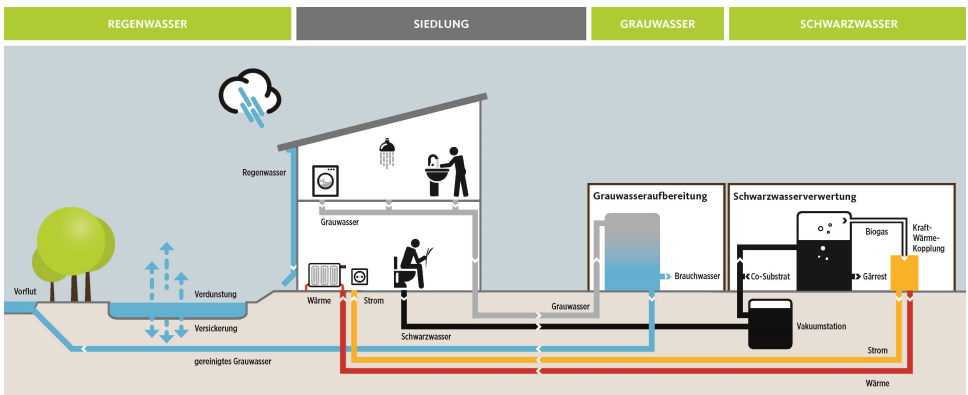

Abb. 1.1: Schema des HAMBURG WATER Cycle®, aus HWC (2014)

Die bautechnische Realisierung eines derartigen Konzeptes findet seit dem Baubeginn im Oktober 2013 im Wohngebiet Jenfelder Au in Hamburg statt. Neben den ca. 900 Wohneinheiten wird mit dem Bau sozialer und kultureller Infrastrukturen das Gebiet als sogenanntes Stadtquartier umgesetzt. Unter dem Motto „Versorgung durch Entsorgung" ist das Projekt in der realisierten Größenordnung für einen urbanen Raum bislang einmalig (Londong und Hartmann, 2013). Zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs werden dabei neben regenerativen Energiequellen auch lokal anfallende Abwässer und Bioressourcen im Rahmen des sogenannten HAMBURG WATER Cycle® genutzt (Schonlau und Li, 2010; Schönfelder

et al., 2013). Die Sammlung und der Transport des anfallenden Schwarzwassers im Siedlungsgebiet erfolgt dabei mittels einer Unterdruckentwässerung. Im Rahmen der Fördermaßnahme INIS „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung erfolgt die wissenschaftliche Begleitung des Bauprojektes für den Zeitraum November 2011 bis Februar 2015 als transdisziplinäres Forschungsprojekt KREIS „Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung“. Die vorliegende Arbeit ist im Wesentlichen im Kontext dieses Projektes entstanden.

1.2 Zielstellung und Struktur der Dissertation

Der Aufbau sowie das methodische Vorgehen der vorliegenden Arbeit ist in Abb. 1.2 schematisch dargestellt.

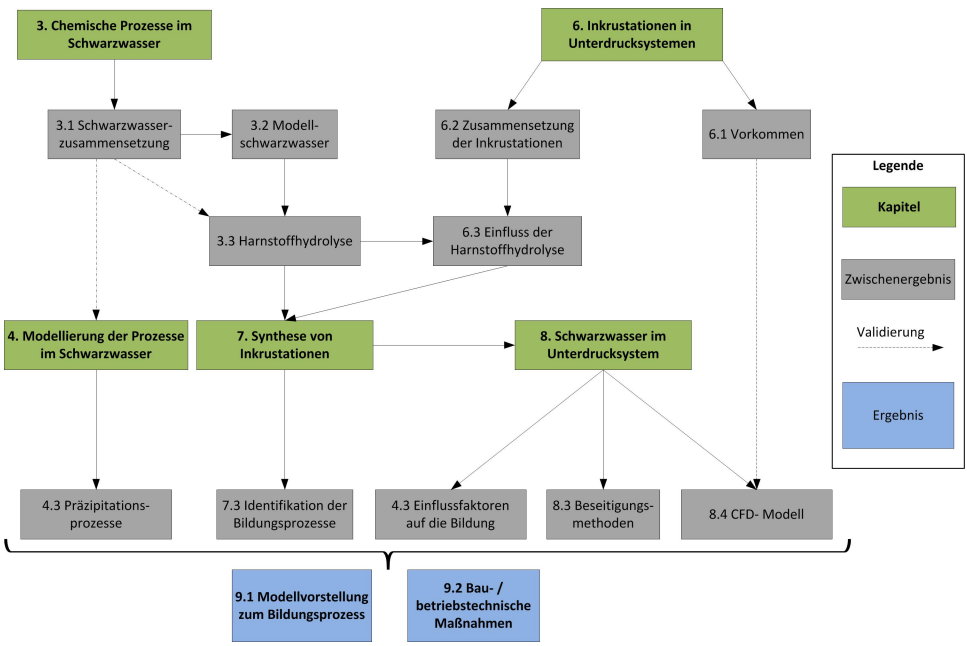

Abb. 1.2: Schematischer Aufbau und Struktur der Arbeit

Die Ergebnisse der Arbeit setzen sich aus fünf Hauptkapiteln zusammen. Durch Untersuchungen der chemischen Prozesse im Schwarzwasser sowie von Inkrustationen aus bestehenden Unterdruckanlagen wurde der Bildungsprozess der Inkrustierung unter Laborbedingungen nachgebildet sowie die strömungstech-

nischen und thermodynamischen Prozesse innerhalb von Unterdrucksystemen durch Modelle beschrieben. Ausgehend von den Hauptkapiteln konnten Zwischenergebnisse sowie entwickelte Methoden erstellt werden, welche durch Ergebnisse aus in situ-, Labor- sowie halbtechnischen Versuchen validiert wurden (gestrichelte Linie). Die Zwischenergebnisse wurden jeweils am Ende des entsprechenden Kapitels komprimiert als Einzelpunkte zusammengefasst und in Form einer Modellvorstellung zur Inkrustierung von Schwarzwasserunterdrucksystemen am Ende der Arbeit zusammenfassend dargestellt, aus denen bau- und betriebstechnische Auswirkungen sowie entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden konnten.

Insgesamt soll diese Arbeit einen Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion in den nachfolgenden Gebieten liefern:

- Daten hinsichtlich der Zusammensetzung des Stoffstromes Schwarzwasser wurden generiert, über die bislang wenige oder keine Angaben in der Literatur zu finden sind.
- Eine Methode zur synthetischen Herstellung von schwarzwasserspezifischen Ablagerungen durch Verwendung von Modellschwarzwasser wurde entwickelt und der Inkrustierungsprozess innerhalb einer halbtechnischen Versuchsanlage umgesetzt.
- Im Kontext videotechnischer Inspektion von Kanalsystemen wurde ein Verfahren zur statistischen Auswertung bei Leitungen mit geringen Rohrdurchmessern entwickelt.
- Thermodynamische Prozesse als Folge der Harnstoffhydrolyse im Schwarzwasser konnten in Form eines Modells abgebildet und prognostiziert werden.
- Detaillierte Einsichten in bislang schwierig abbildbare strömungstechnische Bedingungen der Unterdruckentwässerung konnten mittels CFD-Simulationen ermöglicht werden.
- Einflussparameter bei der Bildung von Inkrustationen wurden spezifiziert.
- Über den wissenschaftlichen Bereich hinausgehend konnten Beiträge zur Erhöhung der betrieblichen Sicherheit von Unterdruckentwässerungssystemen und damit zur Verbesserung der Implementierung von Neuartigen Sanitärsystemen geleistet werden.