

Die voranschreitende Urbanisierung, die wachsende Bevölkerung und der Klimawandel erhöhen den Druck auf die Wasserressourcen, insbesondere in städtischen Gebieten. Das Wasserflussdiagramm (WFD) bildet den gesamten urbanen Wasserhaushalt in einer einfach verständlichen Grafik ab, weist auf Probleme und Chancen hin und eignet sich deshalb als Kommunikationsmittel und Diskussionsgrundlage für eine breite Zielgruppe. Damit ermöglicht das WFD, auf ein nachhaltiges und widerstandsfähiges Wassermanagement hinzuwirken.

Lukas Bouman; Dorothee Spuhler; Regula Meierhofer, Eawag
Marc-André Bünzli, DEZA

RÉSUMÉ

DIAGRAMME DES FLUX D'EAU: RENDRE LES FLUX D'EAU URBAINS VISIBLES

L'urbanisation, l'augmentation de la population et le changement climatique accroissent la pression sur les ressources en eau, en particulier dans les zones urbaines. Afin de favoriser la discussion sur une utilisation plus durable, plus résiliente et plus équitable des ressources en eau des villes, l'Eawag a développé, en collaboration avec des organisations partenaires, le diagramme des flux d'eau (en anglais: *water flow diagram*, WFD). Le WFD représente le bilan annuel de l'eau d'une ville à l'aide d'un diagramme dit de *Sankey*. Il montre toutes les sources, les utilisations et les flux volumétriques qui retournent dans le cycle naturel. Cela permet d'avoir une vision globale des aspects pertinents pour un large groupe cible. Les problèmes sont mis en évidence en rouge, les pratiques durables en vert.

Différentes études de cas ont permis de montrer comment le WFD offre une base de discussion permettant de réunir différents acteurs autour d'une même table. Le diagramme des flux d'eau contribue ainsi à la planification stratégique d'une gestion durable et résiliente de l'eau.

HINTERGRUND

Ein nachhaltiges urbanes Wassermanagement leistet einen wichtigen Beitrag an die zuverlässige Verfügbarkeit von genügend Wasser in ausreichender Qualität. Ein gut verwalteter Wasserkreislauf unterstützt die Umsetzung der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen, insbesondere in Bezug auf Gesundheit, Bildung, nachhaltige Landwirtschaft und stabile Ökosysteme. Schnell wachsende Städte und die rasche Industrialisierung sind weltweite Trends, die den natürlichen Wasserkreislauf und das Wassermanagement in städtischen Zentren herausfordern. Übernutzung von Grundwasser, Verschmutzung von Grund- und Oberflächenwasser mit belastetem Abwasser sowie reduzierte Versickerung und Verdunstung aufgrund zunehmend versiegelter Flächen sind Beispiele dafür. Als Folge des Klimawandels nehmen Dürren und Überschwemmungen nach Starkniederschlägen zu [1], was die Situation zusätzlich verschärft. Arme städtische Gebiete, in denen das grösste Bevölkerungswachstum weltweit stattfindet, stehen vor besonderen Herausforderungen, da es an Infrastruktur fehlt und die Bevölkerungsdichte sehr hoch ist. Aber auch Städte in industrialisierten Ländern wie der Schweiz werden zukünftige Herausforderungen mit einem nachhaltigen und widerstandsfähigen Wassermanagement

Kontakt: lukas.bouman@eawag.ch

ment bewältigen müssen. Zum einen sind dazu bewährte Ansätze nötig, wie die Nutzung von Regenwasser, mehrstufige Verfahren für die Wasser- und Abwasseraufbereitung, Wassersparmassnahmen und der Unterhalt der Siedlungswasserinfrastruktur. Zum anderen gibt es auch Innovationen in den Bereichen dezentrale Abwasserreinigung und Recycling, zirkuläre Ansätze, die Energie und Nährstoffe aus Abwasser zurückzugewinnen, oder Schwammstadtmassnahmen, die den urbanen mit dem natürlichen Wasserkreislauf verschmelzen [2].

Eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung betrachtet den Wasserhaushalt ganzheitlich, berücksichtigt Interessen verschiedener Akteure und denkt langfristig. Wie sollte das bewerkstelligt werden? Bestehende Planungshilfen sind oft über verschiedene Instanzen verstreut oder spezialisiert auf einen Teilbereich, berücksichtigen aber nicht das gesamte System [3]. Dies gilt sowohl für einkommensschwächere Länder als auch für einkommensstarke Länder wie die Schweiz. Die Herausforderungen sind oft auch dieselben und vermischen sich im Norden wie auch im Süden zunehmend mit dem Klimawandel.

WFD SCHAFFT DISKUSSIONSGRUNDLAGE

Für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung ist es notwendig, die Wasserflüsse und -bestände sowie die damit verbundenen Probleme zu kennen. Das Wasserflussdiagramm (WFD) bildet den gesamten urbanen Wasserhaushalt in einer einfach verständlichen Grafik ab und weist auf Probleme und Chancen hin. In einem Sankey-Diagramm werden alle Quellen, Nutzungen, Volumenströme, Kontaminationsrisiken und Rückflüsse dargestellt. So wird eine Diskussionsgrundlage geschaffen für eine breite Zielgruppe und die Abstimmung zwischen den betroffenen Interessensvertretern gefördert. Im gemeinsamen Dialog sollen dann Massnahmen beschlossen werden, die auf ein nachhaltiges Wassermanagement hinwirken. Vor allem in Ländern des Südens können zudem marginalisierte Gruppen das WFD als faktenbasiertes Instrument einsetzen, um das Menschenrecht auf Wasser- und Sanitärversorgung einzufordern. Auch kann das WFD als Kommunikationsinstrument genutzt werden, um die Politik und die Bevölkerung über den Wasserhaushalt aufzuklären. Die Eawag entwickelte das WFD zusam-

men mit der Stadt Bern, der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) und dem Hilfswerk der Evangelischen Kirchen (HEKS). Es wurde bereits an internationalen Wasserkonferenzen präsentiert und diskutiert, unter anderem an der *Stockholm World Water Week 2021* und *2023*, dem *World Water Forum 2022* und der *Wasserkonferenz der Vereinten Nationen 2023* (Fig. 1).



Fig. 1 Workshop zum WFD am All Systems Connect Symposium im Mai 2023 in Den Haag.

AUFBAU EINES WFD

DARSTELLUNG DER WASSERBILANZ DURCH SANKEY-DIAGRAMM

Das WFD nutzt ein sogenanntes Sankey-Diagramm, um die jährliche Wasserbilanz einer Stadt abzubilden. Ein solches

Diagramm besteht aus «Knotenpunkten», welche durch «Flüsse» miteinander verbunden sind. Die Breite eines «Flusses» im Diagramm (das Wort «Fluss» bezieht sich hier auf die Bestandteile des Diagramms, nicht auf ein Fließgewässer) ist proportional zum Wasservolumen des jeweiligen Volumenstroms. Die «Knotenpunkte» repräsentieren relevante Prozesse entlang der Nutzungskette: von der Entnahme über die Aufbereitung, Nutzung und Klärung bis hin zur Wiedereinspeisung des Wassers in den natürlichen Kreislauf. Fig. 2 in der Box zeigt ein Beispiel eines WFD für eine Kleinstadt in den Philippinen. Die «Flüsse» werden entweder grün eingefärbt, falls sie als nachhaltig eingestuft werden können, oder rot, falls sie Problemen oder Herausforderungen unterliegen, die nicht mit einer nachhaltigen Wassernutzung vereinbar sind. Bei grauen «Flüssen» ist die Datengrundlage für die Einordnung unklar. Die hellblauen Boxen im linken Teil stehen für die nachhaltig nutzbaren Wasservolumen aus lokalem Niederschlag und lokalem Grund- und Oberflächenwasser. Diese können mit dem aktuellen Wasserverbrauch, dargestellt in der dunkelblauen Box, verglichen werden. Die Systemgrenzen eines WFD entsprechen den Gemeindegrenzen, dem Versorgungsgebiet einer Trinkwasserversorgung oder dem Einzugsgebiet einer Abwasserreinigungsanlage.

WASSERFLUSSDIAGRAMM

Eine Beschreibung des Wasserflussdiagramms und der Methode, um dieses zu erstellen, wie auch Anwendungsbeispiele sind zu finden unter: www.sandec.ch/wfd. Ein Benutzerhandbuch und die erforderlichen Vorlagen können hier kostenlos heruntergeladen werden.

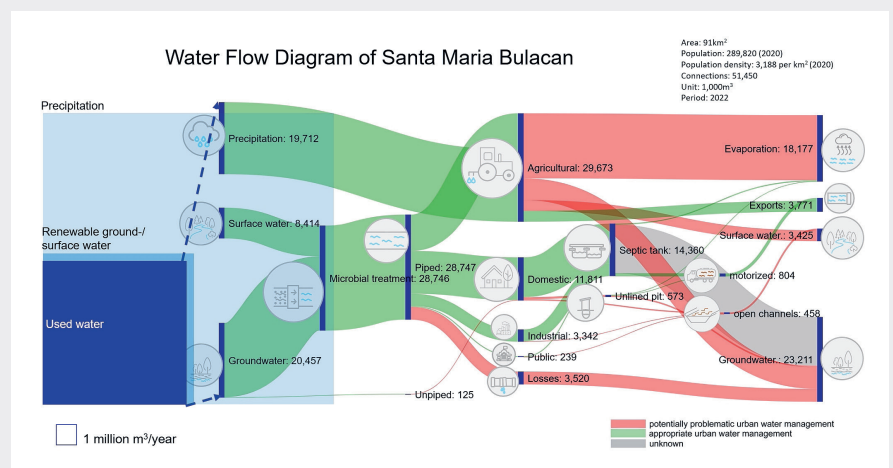


Fig. 2 Wasserflussdiagramm für Santa Maria Bulacan, Philippinen.

STANDARDISIERTE METHODE

Damit das WFD von verschiedenen Akteuren rund um die Welt repliziert werden kann und verschiedene WFD untereinander vergleichbar sind, wurde eine standardisierte Methode entwickelt. Diese ist auf der Internetseite der Eawag-Sandec frei zugänglich: www.sandec.ch/wfd.

Die Hauptarbeit besteht in der Beschaffung der Daten und der Moderation eines partizipativen Prozesses, der die Akteure bei der Erstellung des WFD wie auch bei dessen Validierung einbindet. Im Entwicklungskontext sind Daten oft nur lückenhaft verfügbar. Je nach Situation verfügen Versorgungsunternehmen und Behörden über die erforderlichen Daten. Andernfalls werden die Daten für die Erstellung eines WFD auch gezielt erhoben oder sinnvoll geschätzt, z. B. mittels Daten aus einem vergleichbaren Umfeld, Expertenmeinungen oder Literaturangaben. Da es sich um eine Bilanz handelt, können unbekannte Werte teilweise auch berechnet werden. Die Struktur des WFD wurde vereinheitlicht und besteht aus vordefinierten Prozessen («Knotenpunkte») entlang der Nutzungskette, die zu funktionalen Gruppen zusammengefasst wurden. Die Methode verwendet eine *Excel*-Vorlage, in welche die gesammelten Daten

eingetragen werden können. Die Vorlage generiert einen Code, den man kopieren und in einen Online-Sankey-Diagramm-Generator einfügen kann (www.sankeymatic.com). Das dort generierte Diagramm kann heruntergeladen und in *PowerPoint* oder einer anderen Grafiksoftware mit vordefinierten Grafikelementen fertiggestellt werden. Die verschiedenen Schritte sind in einer Anleitung beschrieben und werden zusätzlich mit kurzen Videos erklärt.

AUSGEWÄHLTE ANWENDUNGEN DES WFD

Bisher wurden mit internationalen Partnern rund zehn verschiedene WFD in Brasilien, Senegal, Honduras, den Philippinen, Uganda und der Schweiz erstellt. Ein wichtiger Partner dabei war HEKS zusammen mit seinen Länderbüros in Brasilien und Senegal. Durch die internationale Zusammenarbeit konnte die Methodik laufend verbessert werden und Erfahrungen bezüglich der Datenerhebung und der Einbettung der Anwendung in einen partizipativen Prozess gesammelt werden. Die verschiedenen Diagramme sind miteinander vergleichbar, unterscheiden sich aber, weil der Wasserhaushalt wie auch die Herausforderungen verschieden sind.

RIO PARDO

In Rio Pardo (Brasilien) wurde ein WFD durch HEKS und seine lokalen Partnerorganisationen erstellt. Die Stadt Bern unterstützte die Finanzierung dieser Aktivität im Rahmen ihres Engagements als *Blue Community* (www.bluecommunity.ch). Beispielhaft ist der partizipative Prozess, welcher angewendet wurde. Ein Hydrologe sammelte Daten bei den Versorgungsunternehmen und der Stadtverwaltung. In mehreren Sitzungen wurde zusätzlich das Wissen der lokalen Bevölkerung, zum Beispiel der Gewerkschaft der Landarbeiter von Rio Pardo de Minas (*Rural Workers Union of Rio Pardo de Minas*), abgeholt. So entstand das Diagramm (Fig. 3) in einem iterativen Prozess.

Es zeigt auf, dass der Grossteil des Wassers für die Landwirtschaft genutzt wird. Der Verbrauch für private, öffentliche und industrielle Zwecke ist verschwindend klein, hat jedoch auch negative Auswirkungen, da nur wenig Abwasser gereinigt wird. Das Diagramm löste einen intensiven Dialog zwischen den verschiedenen Interessensvertretern und der Stadtverwaltung aus und erhitzte die Gemüter. Aus Angst, dass die beschlossenen Massnahmen negative Konsequenzen für die Rohstoffförderung haben könnten, organisierten die Minenbesitzer einen Protest vor dem Gebäude der Stadtverwaltung und blockierten eine

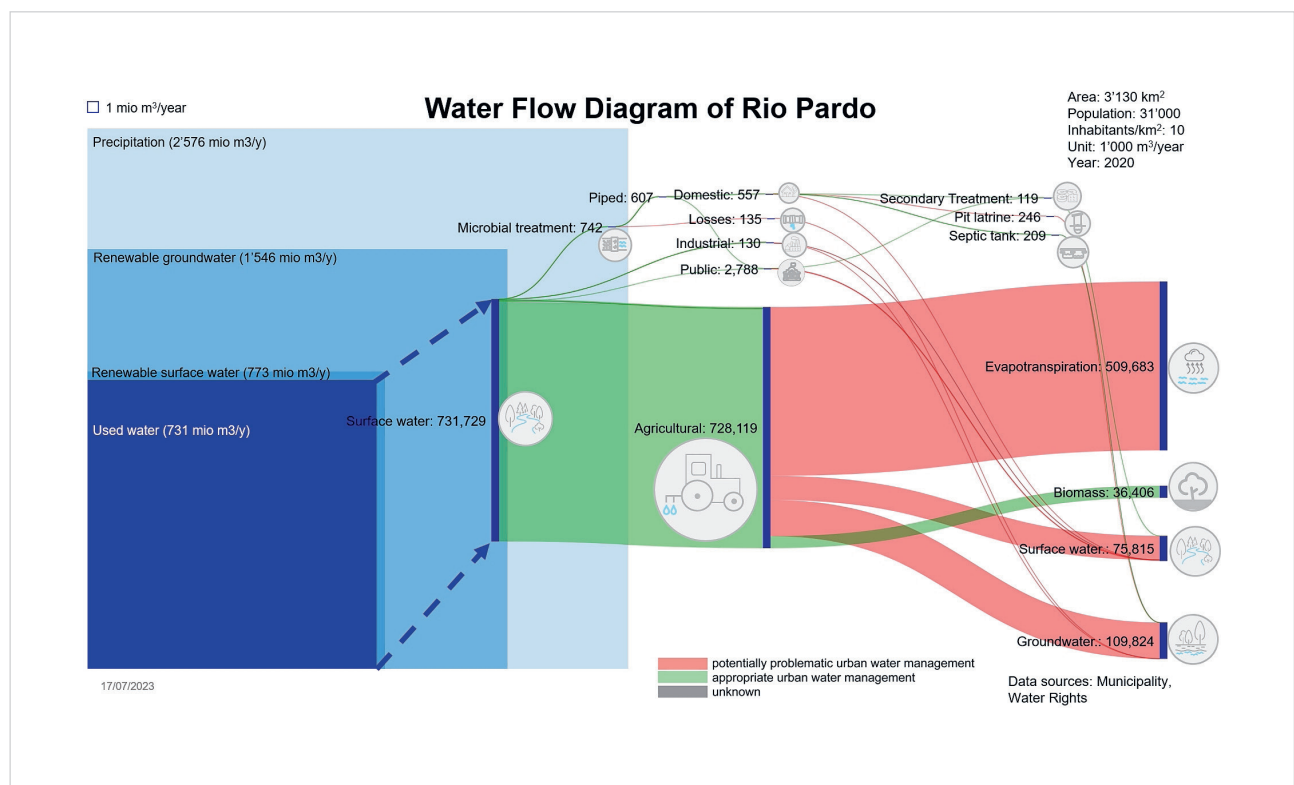


Fig. 3 Wasserflussdiagramm von Rio Pardo de Minas in Brasilien.

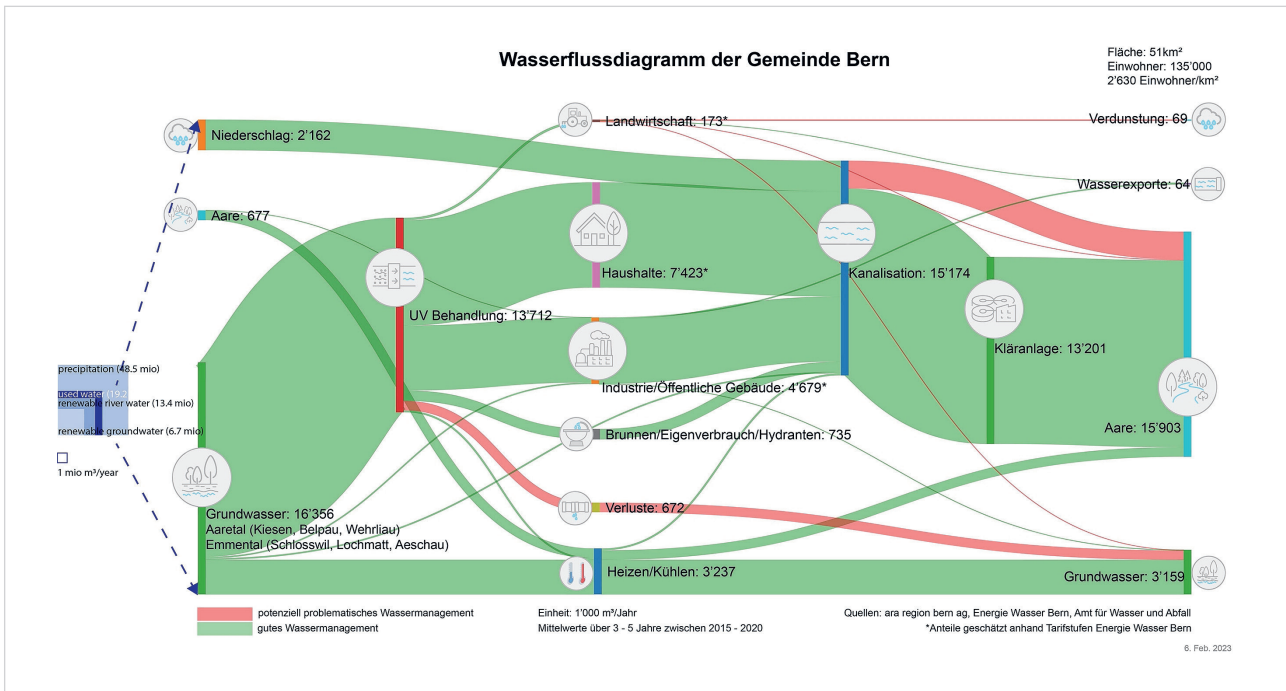


Fig. 4 Wasserflussdiagramm der Gemeinde Bern.

Sitzung zum WFD. HEKS und seine lokalen Partner unterstützen weiterhin den Dialog zwischen den Parteien mit dem Ziel, das lokale Wassermanagement nachhaltiger zu gestalten.

BERN

Parallel zum Prozess in Rio Pardo wurde auch ein WFD für Bern entwickelt. Einer

der Beweggründe, ein WFD in der Schweiz zu testen, war, dass die notwendigen Daten bei den Versorgungsunternehmen und dem kantonalen Amt für Wasser und Abfall (AWA Bern) vergleichsweise einfach zugänglich sind.

Aus dem WFD (Fig. 4) ist ersichtlich, dass ungefähr 5% des Wassers verloren geht bei der Verteilung. Knapp 15% des

Abwassers wird ohne Behandlung in die Aare entlastet, vor allem bei starken Niederschlägen. Dies ist relativ hoch verglichen mit dem Schweizer Durchschnitt von ca. 3 bis 4% [4]. Zudem versickert von der Landwirtschaft zum Teil belastetes Wasser ins Grundwasser oder Oberflächenwasser. Überdies wird aufgezeigt, dass Regenwasser nicht direkt genutzt

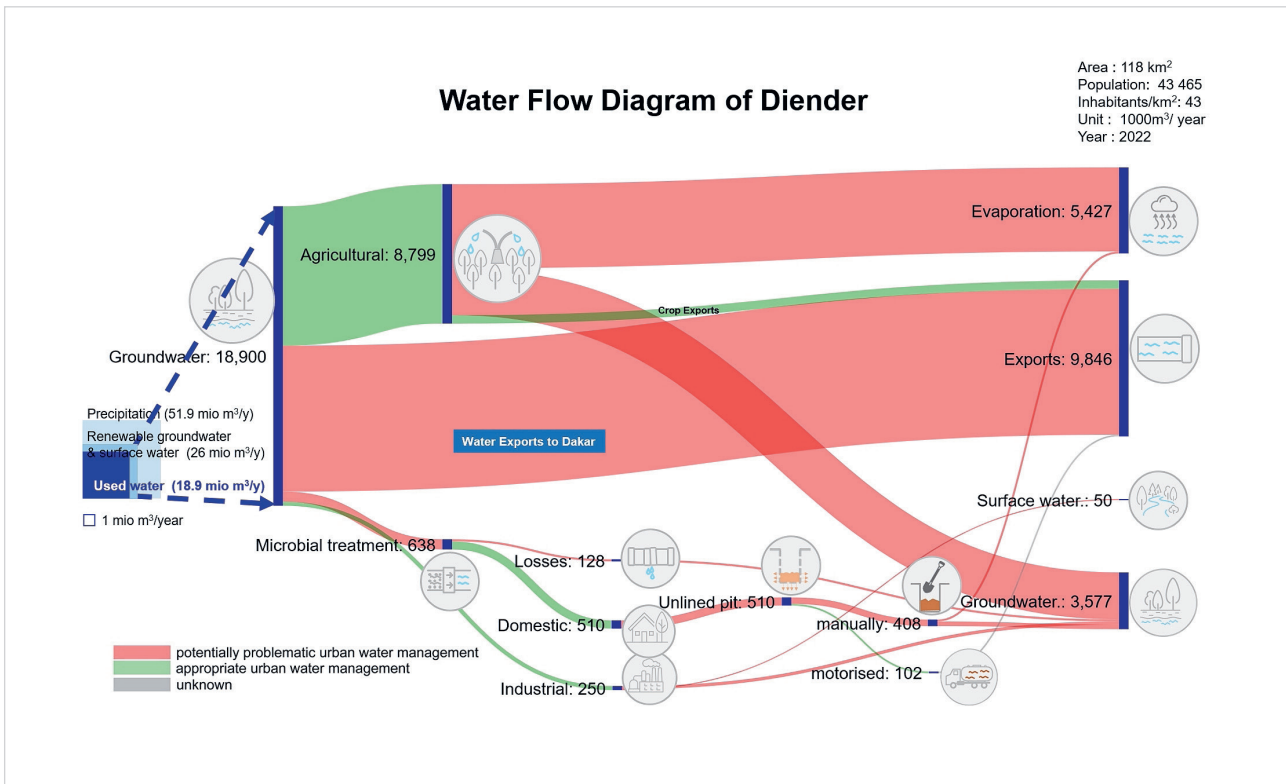


Fig. 5 Wasserflussdiagramm von Diender, Vorort von Dakar in Senegal.

und Wasser nicht in nennenswerten Mengen wiederverwendet wird. In diesen Bereichen könnten Optimierungen vorgenommen werden.

VORSTÄDTE VON DAKAR

In Senegal wurde das WFD vom lokalen HEKS-Büro mit Unterstützung eines Konsulenten in drei Vorstädten von Dakar angewendet. Dabei wurden über mehrere Monate verschiedene Workshops mit Vertretern der Zivilgesellschaft, Bauern, Grossbauern und der Regierung durchgeführt. Dieser Prozess führte zu einer breiten Akzeptanz der Ergebnisse.

Die drei WFD visualisierten den Wasserexport aus den Vorstädten in die Hauptstadt Dakar, das Fehlen einer Abwasserbehandlung, das grosse Potenzial, Regenwasser zu nutzen, sowie die grossen Verluste durch Evapotranspiration bei der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen. Beispielhaft zeigt das WFD der Gemeinde Diender (Fig. 5), dass etwa die Hälfte des genutzten Wassers in die Hauptstadt Dakar exportiert wird. Die sanitären Einrichtungen sind unzureichend und belasten das Grundwasser. Zudem verschmutzt belastetes Wasser aus der Landwirtschaft die vorhandenen Wasserressourcen.

Der Prozess, der zur Erstellung der WFD nötig war, führte dazu, dass nun ein Komitee für die integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen eingerichtet wird, in dem die drei Gemeinden, die technischen Dienste und alle anderen Akteure vertreten sind, die in die Bewirtschaftung der Wasserressourcen involviert sind. So sollen die Herausforderungen angegangen und breit abgestützte Massnahmen getroffen werden. Ausserdem hat das Ministerium für Wasser und Sanitärversorgung in Senegal Interesse geäussert, das WFD in weiteren Gemeinden zu replizieren und je nachdem standardmässig in den Plänen für Wasserressourcenmanagement zu verwenden, die auf Gemeindeebene erstellt werden.

LAUSANNE – NOUAKHOTT

Auch die Stadt Lausanne hat mit der Erarbeitung eines WFD begonnen. Speziell im Fall von Lausanne ist die Städtepartnerschaft mit Nouakchott, der Hauptstadt Mauretaniens, die seit 2009 im Rahmen von *Solidarit'eau Suisse* (<https://solidariteausuisse.ch/>) besteht. Eine solche Partnerschaft ermöglicht einen gegenseitigen

Erfahrungs- und Wissensaustausch und fördert sinnvolle Wasserprojekte. Es wurden bereits zahlreiche Aktivitäten durchgeführt, um den Wasserzugang der Bevölkerung in Nouakchott zu verbessern. Nun soll in beiden Städten, Lausanne und Nouakchott, ein WFD erstellt werden, um den Wissensaustausch zu unterstützen. Ziel des WFD in diesem Fall ist unter anderem, die Verbesserungen durch die Partnerschaft für die Bevölkerung zu dokumentieren. Gerade für öffentliche Partnerschaften zwischen Wasserversorgungen oder Gemeinden sehen wir Potenzial für das WFD. Deshalb wurde eine Zusammenarbeit mit dem *Global Water Operator's Partnership Alliance* (GWOPA; <https://unhabitat.org/programme/global-water-operators-partnerships-alliance>) initiiert.

AUSBLICK

Seit 2020 entwickelt und verbessert die Eawag zusammen mit ihren Partnern die WFD-Methode laufend. Die verschiedenen Beispiele zeigen auf, dass das WFD als Instrument für Aufklärungsarbeit, als Diskussionsgrundlage für unterschiedliche Interessensvertreter und als Planungsinstrument für ein nachhaltiges, widerstandsfähiges Wassermanagement in urbanen Räumen dienen kann. Um dieses Potenzial auszuschöpfen und die Anwendung zu fördern, wird die Anleitung laufend verbessert. Längerfristig ist geplant, ein benutzerfreundliches Webportal zu erarbeiten. Bei der Weiterentwicklung der Methode stehen zwei Punkte im Fokus: Zum einen soll ermöglicht werden, mit dem WFD Aussagen zur Resilienz einer Stadt gegenüber dem Klimawandel zu treffen. Zum anderen soll das Potenzial der Anwendung des WFD im Schweizer Kontext genauer betrachtet werden.

KLIMARESILIENZ DES WASSERHAUSHALTES BEURTEILEN

Der Klimawandel hat direkte Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. Dürren und Starkniederschläge nehmen zu, was zu Wasserknappheit und Beeinträchtigung der Servicequalität führen kann. Vor diesem Hintergrund erachten es die Eawag und die DEZA als erforderlich, dass mit dem WFD Aussagen zur Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel gemacht werden können. Wird die Wasserversorgung und die Abwasserbehandlung unterbrochen im Falle

eines Klimaereignisses (Dürre, Überschwemmung)? Können sie in nützlicher Frist wieder gewährleistet werden? Sind die Wasserressourcen nach wie vor nutzbar? Solche und ähnliche Fragen sollen mit einer Erweiterung des WFD beantwortet werden können. Auch diese soll einfach anwendbar, verständlich und mit limitierten zeitlichen und finanziellen Ressourcen realisierbar sein.

NUTZEN DES WFD FÜR SCHWEIZER STÄDTE UND GEMEINDEN

Ursprünglich wurde das WFD für einkommensschwache Länder entwickelt. Während des Prozesses äusserten aber auch verschiedene grössere Schweizer Städte, darunter St. Gallen, Zürich, Lausanne und der Kanton Genf, ihr Interesse an einem WFD, weil es einen Gesamtüberblick ermöglicht und zu Kommunikationszwecken verwendet werden kann. Die Experten der Eawag sehen vor allem Potenzial, um verschiedene Szenarien unter den Einflüssen des Klimawandels abzubilden. Zusammen mit dem VSA will die Eawag nun das Potenzial im Schweizer Kontext untersuchen. Dazu werden verschiedene Akteure im Oktober 2023 zu einem Austausch eingeladen. Dabei sollen Bedürfnisse und Ideen der potenziellen Anwender abgeholt werden. Zusätzlich sollen in verschiedenen kleineren Gemeinden WFD erstellt werden.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Seneviratne, S.I. et al. (2012): *Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, UK, and New York, NY, USA*
- [2] Marlow, D.R. et al. (2013): *Towards sustainable urban water management: A critical reassessment. Water Research 47(20): 7150-61. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.046>*
- [3] Narayan, A.S. et al. (2021): *Advancements in and Integration of Water, Sanitation, and Solid Waste for Low- and Middle-Income Countries. Annual Review of Environment and Resources 46: 193-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-030620-042304>*
- [4] Stauer, P.; Ort, C. (2012): *Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen. Faktenblatt «Diffuse Mikroverunreinigungs-Emissionen aus Siedlungen (DIMES)». Eawag. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A14774>*

SVGW-Veranstaltung

Fachtagung Fernwärme 2023

mit Simultanübersetzung

Grand Casino Luzern

Donnerstag, 9. November 2023

09:30 – 15:50 Uhr, mit Mittagessen und Abschlussapéro



Referate und Simultanübersetzung auf Deutsch und Französisch
Tagungsdokumentation als PDF