



Dezentrales Grauwasser-Recycling

Synergien eines urbanen Metabolismus am Beispiel von Kigali, Ruanda

Grauwasser, Recycling, Stoffstromanalyse, Urbane Landwirtschaft, Urbaner Metabolismus, Abwasser

Christin Zeitz, Bernd Franke

Der Bedarf an Anbauflächen, Bewässerung und Dünger drängt städtische Bauern in Entwicklungsländern zum unhygienischen direkten Kontakt mit Abwasser. Das ifeu erhob und testete das Potenzial einer dezentralen Grauwasser-aufbereitung angepasst an informelle Stadtteile in der ruandischen Hauptstadt Kigali. Der hohe Anteil von 60 bis 70 % Grauwasser am Gesamtabwasseraufkommen, die vorherrschend getrennte Ableitung (Latrinen für Schwarzwasser) und die hohe Reinigungseffizienz von Pilot-Pflanzenkläranlagen zeigen den Weg eines ressourcenschonenden Wassermanagements mit vielfältigen Vorteilen für die urbane Landwirtschaft auf.

Grauwasser – eine weltweit vernachlässigte Ressource

Im Gegensatz zu Schwarzwasser (Abwässer aus Toiletten) und Küchenabwässern (fettreiche Abwässer mit Lebensmittelresten) ist Grauwasser gering belastetes, fäkalienfreies Abwasser aus Körperhygiene, Wäscherei und Reinigung [1]. In Übereinstimmung mit den UN Nachhaltigkeitszielen SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“ und SDG 6: „Sauberes Wasser und sanitäre Grundversorgung“ ist das Recycling von Grauwasser eine Kernkomponente in der nachhaltigen Wasserwirtschaft, um Slums aufzuwerten und den Zugang zur Grundversorgung für alle zu verbessern [2]. Die lokale Wiederverwendung von aufbereitetem Grauwasser zur Lebensmittelproduktion oder für Toilettenspülungen spart Ressourcen und Kosten und fördert die Grundwasserneubildung durch lokale Versickerung (Sponge City Concept) oder gleicht über Wasserflächen das Mikroklima insbesondere in Städten und wasserarmen Regionen aus.

Technisch und ökonomisch ist eine dezentrale Grauwasseraufbereitung zu hygienisch einwandfreiem Betriebswasser sowohl für Einzelhaushalte als auch für Wohnblöcke durch angepasste Verfahren möglich. Auch in Deutschland wäre die dezentrale Grauwasseraufbereitung möglich, setzt jedoch die getrennte Erfassung des Grauwassers voraus. Beispiele finden sich in ambitionierten Neubauprojekten wie etwa beim Quartier Jenfelder Au in Hamburg. Der hier realisierte HAMBURG WATER Cycle® umfasst neben der Trennung und dezentralen Aufbereitung der Schwarz- und Grauwasserströme auch die Energiegewinnung aus Abwasser. Die getrennte Erfassung der Abwasserströme als Schwarz- und Grauwasser in den Haushalten ebnet den Weg

zu mehr Ressourceneffizienz in der weltweiten Siedlungswasserwirtschaft. Hier liegt auch eine große Chance für informelle, ungeplante Stadtteile, die meist weder über hausinterne Leitungssysteme noch über eine zentrale Abwasserableitung und -behandlung verfügen. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts Rapid Planning untersuchte das ifeu das Potenzial einer dezentralen Grauwasserbehandlung und deren Synergien mit der urbanen Landwirtschaft speziell für informelle Stadtteile der ruandischen Hauptstadt Kigali.

Das Projekt Rapid Planning

Das vom BMBF geförderte Rapid Planning Projekt – „Nachhaltiges Infrastruktur-, Umwelt- und Ressourcenmanagement für hochdynamische Metropolen“ unterstützte die Entwicklung einer schnell umsetzbaren und sektorübergreifenden Stadtplanungsmethodik für die Ver- und Entsorgungssektoren Wasser, Abwasser, städtische Landwirtschaft, feste Abfälle und Energie. Ziel war die Identifikation und Nutzung von Synergien, die durch sektorübergreifende Infrastrukturplanung im Sinne eines urbanen Metabolismus geschaffen werden können. Die integrierte sektorübergreifende Planung erfordert, mehr noch als die sektorale Planung, räumlich aufgelöste Daten zu den urbanen Verbrauchs- und Erzeugungsmustern, um die Eignung zentraler oder dezentraler Infrastrukturlösungen prüfen zu können. Der Zugang zu verlässlichen Planungsdaten stellt eine bedeutende Hürde für politische Entscheidungsträger bei der Integration des urbanen Metabolismus in der Stadtplanung dar. Dafür entwickelte das Projekt zusammen mit den Verwaltungen der Millionenstädte Kigali/Ruanda und Da Nang/Vietnam eine Methodik, mit

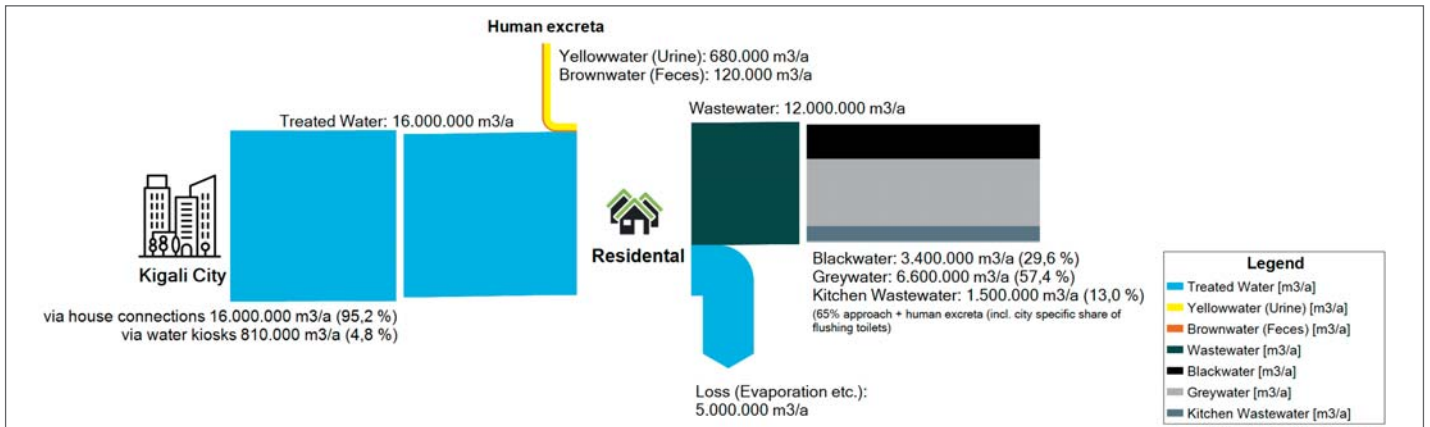


Bild 1: Stoffstromanalyse des Wasser- und Abwassersektors von Kigali/Ruanda 2016. © Zeitz/ ifeu

der Städte schnelleren Zugang zu ihren aktuellen und zukünftigen Daten in räumlicher Auflösung erhalten können. Dies umfasst eine Kombination von kleinskaligen Datenerhebungen, Fernerkundungen und Stoffstromanalysen. Als Sankey-Diagramme dargestellt, bilden Stoffstromanalysen ein entscheidungsunterstützendes Werkzeug und eine ideale Grundlage für die Kommunikation und Planung von Infrastrukturen in hochdynamischen Städten [3]. Innerhalb des Forschungskonsortiums von 11 deutschen Institutionen und UNHABITAT arbeitete das ifeu an der Stoffstromanalyse als Grundlage für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement und an der praktischen Implementierung identifizierter Synergien in Agatare, einem informellen Stadtteil Kigalis.

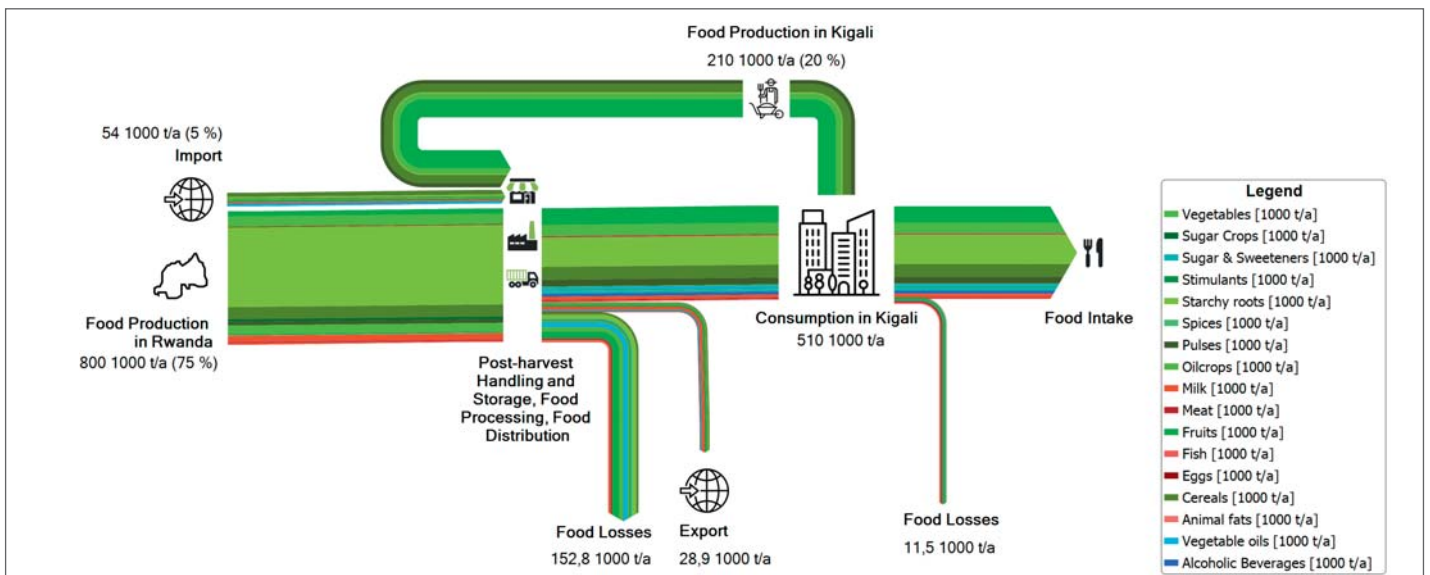
und (b) die Nutzung organischer Abfälle und von Klärschlamm für die Düngerproduktion. **Bild 1** und **Bild 2** zeigen Ergebnisse der Stoffstromanalyse als Sankey-Diagramm.

Die Frischwasserversorgung in Kigali erfolgt überwiegend netzwerkgebunden und zentral durch die Water and Sanitation Company (WASAC). Im Jahr 2016 waren 95 % der Haushalte über Leitungen und 5 % über Wasserkioske versorgt. Der Verbrauch der Haushalte Kigalis von 16 Mio. m³ entsprach 2016 bei einer Bevölkerung von 1,3 Mio. Einwohnern einem vergleichsweise geringen Pro-Kopf-Verbrauch von etwa 33l pro Tag. In Deutschland liegt der Wert bei 122l pro Tag [4]. Im Jahr 2016 stammten 94 % der gesamten Wasserversorgung von Kigali aus Oberflächengewässern (30,5 Mio. m³) und 6 % aus Grundwasser (1,9 Mio. m³). Die Leitungsverluste waren mit 35,5 % sehr hoch; rund 11 Mio. m³ Non-Revenue Water versickerte oder wurde ohne Zahlung abgezweigt und führt somit zu wirtschaftlichen Verlusten von WASAC. Wasserknappheit insbesondere in den Trockenzeiten sowie steigende Kosten machen Wasser in Kigali zu einer wertvollen und zunehmend nachgefragten Ressource.

Bild 2: Stoffstromanalyse des Lebensmittelsektors von Kigali/Ruanda 2016. © ifeu, Urban Food Model / Rapid Planning

Stoffstromanalyse des Abwasser- und Lebensmittelsektors in Kigali

Das größte Potenzial sektorübergreifender Synergien wurde auf der Grundlage der Stoffstromanalysen für den Nahrungsmittelsektor durch Maßnahmen im Abwasser- und Abfallsektor ermittelt: (a) die dezentrale Grauwasserbehandlung zur Sicherung der Wasserqualität für die Nahrungsmittelproduktion





Die Abwasserentsorgung Kigalis ist nicht zentral organisiert. Ein stadtweiter Kanalanschluss an eine zentrale Kläranlage ist aufgrund der geringen Abwassermenge, des niedrigen mittleren Einkommens der Bevölkerung und der hügeligen Topographie nicht wirtschaftlich [5]. Da in Kigali im Untersuchungszeitraum rund 91 % aller Haushalte Sickergruben-Latrinen ohne Wasserspülung verwendeten [6], bestehen 58 % des anfallenden häuslichen Abwassers aus Grauwasser. Im Jahr 2016 fielen rund 6,6 Mio. m³ Grauwasser im privaten Sektor an und wurden meist unbehandelt in die Regenwasserkanalisation oder in Sickergruben ohne Filterbarriere eingeleitet.

Die Mengen von Urin und Fäkalien durch menschliche Ausscheidungen lagen im Jahr 2016 bei 0,8 Mio. m³ (0,68 Mio. m³ Gelbwasser und 0,12 Mio. m³ Braunwasser), davon landeten bis zu 0,72 Mio. m³ unverdünnt in Grubenlatrinen, meist ohne Filterbarriere [7]. Zusammen mit dem Abwasser aus Toiletenspülungen lag die Schwarzwassermenge 2016 bei 3,4 Mio. m³. Spültoiletten sind meist an Klärgruben (Septic tanks) angeschlossen, allerdings mit unbekanntem Wartungsstandards.

Die mangelnde Grauwasserbehandlung und Niederschlagsrückhaltung im Einzugsgebiet führt zu Verschmutzung, Hygienrisiken und Überflutung der landwirtschaftlich genutzten Feuchtgebiete in Kigali. Wie in vielen schnell wachsenden Städten in Entwicklungsländern benötigen städtische Bauern außer Raum Wasser und Dünger, sie kommen deshalb mitunter direkt mit Abwasser in Kontakt, das aufgrund der fehlenden Abwasserinfrastruktur bei- des vermeintlich kostenlos zur Verfügung stellt [8].

Die urbane Landwirtschaft am Fuße der dicht besiedelten teilweise steilen Hügelketten Kigalis spielt eine wichtige Rolle in der städtischen Versorgung mit frischen Lebensmitteln und prägt gleichzeitig als Nahholungsgebiet das Landschaftsbild der Stadt. Der Mangel an Dünger, eine ineffiziente Bewässerung, die Trockenzeiten und erratische Niederschläge schränken die Produktivität der urbanen Landwirtschaft ein.

Im Jahr 2013 wurden 75 % der Nahrungsmittel für Kigali außerhalb von Kigali im Inland produziert (0,8 Mio. t), 5 % wurden importiert (54 000 t) und

20 % wurden von der urbanen Landwirtschaft innerhalb Kigalis produziert (0,21 Mio. t). Die städtische Agrarproduktion umfasst Gemüse und Obst (inkl. stärkehaltige Wurzeln und Hülsenfrüchte) sowie Getreide und hatte im Jahr 2013 einen Anteil von 21 % bzw. 41 % an der Gesamtnachfrage der Stadt. Ein Vergleich der gesamten Pro-Kopf-Nahrungsmenge der Bevölkerung von Kigali mit dem deutschen durchschnittlichen Nährstoffverbrauch [9] zeigt eine geringere Energie-, Protein- und Fettaufnahme. Die Verluste von frischen Lebensmitteln wurden mit 0,15 Mio. t pro Jahr ermittelt, hauptsächlich auf Nachernte-, Verarbeitungs- und Verteilungsebene.

Dezentrales Grauwasserrecycling in Kigali, Ruanda – eine Option zum Upgrading

Nach Angaben der Stadt Kigali [10] sind 78 % der Siedlungen in Kigali informell gebaut worden. Eine Untersuchung vom ifeu und der Hochschule Ostfalia zeigte, dass der Anteil Grauwasser am gesamten häuslichen Abwasser für informelle Stadtteile bis zu 70 % betragen kann. Das Grauwasser wird vor der Einleitung in die Umwelt weder behandelt noch recycelt. Zwar regelt das Rwanda Standards Board (RSB) die zulässigen Grenzwerte für die Einleitung von häuslichem Abwasser [11], duldet jedoch mangels Alternativen die illegale Einleitung von Grauwasser in Regenwasserkanäle, die in den landwirtschaftlich genutzten Feuchtgebieten münden (Bild 3).

Ziel der Projektkomponente „Dezentrale Grauwasserbehandlung“ war es, das Potenzial einer dezentralen, kostengünstigen Technik zur Behandlung und Wiederverwertung von Haushaltsgrauwasser als Interims- oder Hybridtechnologie wissenschaftlich zu testen und bislang fehlende Daten über Haushaltsgrauwasser (Menge, Eigenschaften, Wege und Senken) zu sammeln.

Eine 2016 vom ifeu durchgeführte Befragung von 293 Haushalten zum häuslichen Grauwassermanagement im Stadtteil Agatare bestätigte, dass Grauwasser zumeist direkt oder indirekt in Regenwasserkanäle eingeleitet wird. Für die untersuchten Pilotsysteme erfolgte die Anpassung des technischen Designs einer Vertikalen Pflanzenkläranlage (Vertical Flow Constructed Wetland) [12]

Bild 3:
Der Weg des Grauwassers vom Haushalt, über die Regenwasserkanäle bis zu den landwirtschaftlich genutzten Feuchtgebieten in Kigali/Ruanda
© Joost/ Ostfalia, Zeitz und Dietzsch/ ifeu

an die lokalen Bedingungen und mit verfügbaren Materialien und die anschließende Konstruktion und Installation in Zusammenarbeit mit lokalen Partnern (**Bild 4** und **Bild 5**). Die Haushaltsmitglieder wurden in der Anwendung und Wartung des Systems geschult. Das Low-Tech-System wird ohne elektrische Pumpen beschickt und ist modular aufgebaut, um ein Upscaling auf verschiedene Haushaltsgrößen zu ermöglichen. Der technische Aufbau umfasst sieben Reinigungsstufen (**Bild 4**). Das Grauwasser wird über einen Trichter mit Sieb, das größere Partikel zurückhält, in das System eingefüllt (1). In einem Fettfangbehälter mit definiertem Volumen verlangsamt sich das Grauwasser, so dass Fett aufschwimmt (2) und sich feste Partikel absetzen (3). Die Verweilzeit im Fettfang führt zur Umwandlung von organischen Feststoffen in lösliche organische Säuren (4). Zur Bekämpfung der dabei entstehenden Gerüche wird Holzkohle eingesetzt. Durch regelmäßige Beschickung des Systems wird das Grauwasser in einen Sandfilter bestimmter Höhe und Korngröße und mit Vetivergras als Phytoremediationsmittel geschoben: Nährstoffe und Wasser werden vom Vetivergras aufgenommen und in Biomasse umgewandelt (5), überschüssige feine Schwebeteilchen herausgefiltert (6) und die löslichen organischen Säuren von Bakterien aufgenommen und verstoffwechselt (7).

Die wissenschaftliche Überwachung über einen Zeitraum von sechs Monaten in den Jahren 2016 und 2017 erbrachte den Nachweis, dass eine signifikante Reinigung des häuslichen Grauwassers erreicht wird. Monatliche chemische und mikrobiologische Analysen im Zu- und Ablauf des Systems belegen die Reduzierung der Verschmutzungsindikatoren Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) um 96 %, Fäkalcoliforme (FC) um 99,88 %, Summe der suspendierten Feststoffe (TSS) um 98 %, Gesamtstickstoff (TN) um 85 % und Gesamtphosphor (TP) um 67 %. Die Wasserqualität nach der Behandlung entspricht

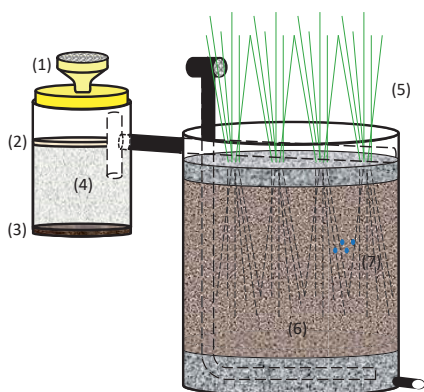
den ruandischen und internationalen Grenzwerten für die Einleitung [11, 13] und dem WHO-Grenzwert [14] der FC für die Wiederverwendung in der Bewässerung in der Landwirtschaft.

Im Ergebnis steht den Haushalten Betriebswasser für die Bewässerung des angeschlossenen Gemüsegartens und für Putzzwecke zur Verfügung, was zu deutlichen Wassereinsparungen führt. Die hygienische Qualität des angebauten Gemüses wurde im Jahr 2018 durch Analysen des Labors der Universität Ruanda bestätigt und zeigt weder coliforme Bakterien noch Parasitenbefall. Das erste dezentrale Grauwasseraufbereitungssystem wird seither täglich genutzt und wird wegen der positiven Wassereinsparungen und der Bewässerung für den häuslichen Nutzgarten vom Eigentümer auch über die Projektlaufzeit hinaus kontinuierlich gewartet.

Die Messungen in Haushalten und in Regenwasserkanälen sowie die Daten zur Pilotanlage ermöglichten eine verlässliche Stoffstromanalyse und Bewertung der Umweltwirkungen für den Stadtteil Agatare. Dort werden derzeit jährlich rund 20 000 m³ Grauwasser (40 % des gesamten anfallenden Grauwassers) mit etwa 35 t CSB, 280 × 10¹² Cfu FC, 14 t TSS, 0,5 t TN und 0,1 t TP über Drainagen in die landwirtschaftlich genutzten Feuchtgebiete eingeleitet.

Der hohe Anteil von 60 bis 70 % Grauwasser am Gesamtabwasseraufkommen in Kigali, die vorherrschend getrennte Ableitung und die hohe Reinigungseffizienz in Pilot-Pflanzenkläranlagen, zeigen den Weg eines ressourcenschonenden Wassermanagements für Kigali mit vielfältigen Vorteilen für die urbane Landwirtschaft auf. Das dezentrale Grauwasserrecycling zu hygienisch sauberem einwandfreiem Bewässerungswassers für die urbane Landwirtschaft kann die Nahrungsmittelproduktion und somit den urbanen Selbstversorgungsgrad mit Obst und Gemüse insbesondere während der Trockenzeit steigern und die Verschmutzung der Feuchtgebiete und des Grundwassers aufhalten.

Bild 4 (links), **Bild 5** (Mitte) und **Bild 6** (rechts): Schema und Foto der Pilotanlage zur dezentralen Grauwasserbehandlung und anschließende Nutzung in Gemüsegärten sowie QR Code zum Rapid Planning Kurzfilm Amazi n'ubutaka – Water and Soil © Zeitzi/ ifeu

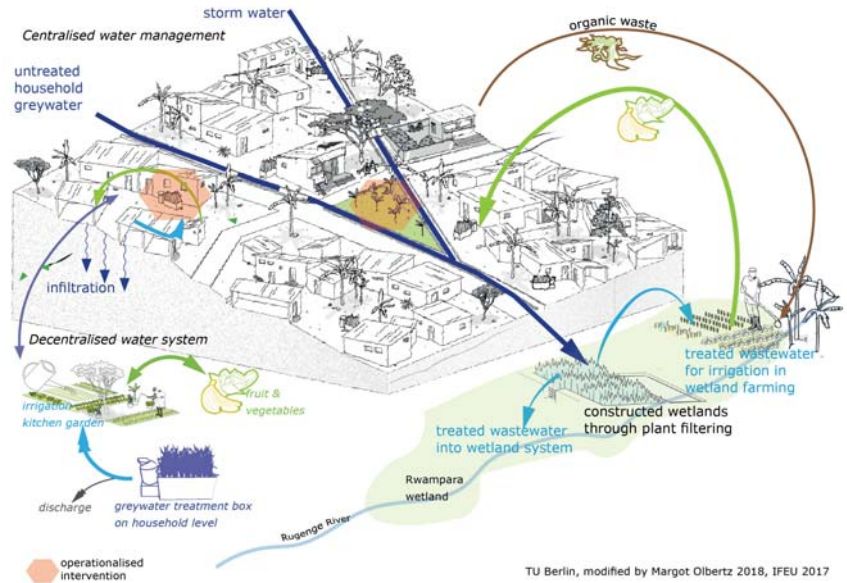


Das ifeu und die Projektpartner der TU Berlin und Hochschule Ostfalia empfehlen dezentrale, einzugsgebietsbezogene Grauwasserbehandlungsanlagen an den Hangfüßen gemäß der erfolgreich getesteten Technik der Vertikalen Pflanzenkläranlage mit Vorbehandlung und Speicherbecken. Dies stellt eine integrierte, kostengünstige Option dar, um informelle Stadtteile aufzuwerten und die urbane Landwirtschaft zu stärken (Bild 7). Im Gegensatz zu einer kosten- und ressourcenintensiven zentralen Abwassersammlung und -behandlung, bietet die dezentrale Grauwasseraufbereitung eine angepasste Lösung für die Stadt Kigali mit ihren vielen Hügeln. Neben der Elektromobilität, ist dies ein weiteres gutes Beispiel von Leapfrogging, welches das Überspringen von Entwicklungsstufen in Ruanda möglich machen könnte.

Der Kurzfilm Amazi n'ubutaka – Water and Soil dokumentiert die praktische Arbeit des Rapid Planning Projekts in Kigali/Ruanda, siehe QR-Code (Bild 6).

LITERATUR

- [1] DIN: EN 12056-1: Gravity drainage systems inside buildings – Part 1: General and performance, 2000.
- [2] UN: The 17 Sustainable Development Goals. 2016, online verfügbar unter: <https://sdgs.un.org/goals>.
- [3] Brunner, P. H., Rechberger, H.: Practical handbook of material flow analysis. Boca Raton, FL: CRC/Lewis, 2004.
- [4] bdew, Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V.: Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauches 1990 – 2018, 2019. (Zugegriffen am 7. März 2020.) Online verfügbar unter: <http://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-des-personenbezogenen-wassergebrauchs/>.
- [5] OPM: Kigali Urban Sanitation Study, Presentations at Worldbank Sanitation Study Workshop Kigali March 2017, 2017.
- [6] NISR und MINECOFIN: Rwanda Fourth Population and Housing Census (2012 RPHC) – Thematic Report: Characteristics of households and housing, Kigali, Rwanda, 2012.
- [7] NISR: Thematic report – Environment and natural resources (EICV) Integrated Household Living Conditions Survey, National Institute of Statistics of Rwanda, Kigali, Rwanda, März 2016.
- [8] Foeken, D. W. J.: To subsidise my income: urban farming in an East-African town, 223, 2006. <https://openaccess.leidenuniv.nl/handle/1887/14742> (Zugegriffen am 6. Feb. 2017).
- [9] MRI und BMEL: Nationale Verzehrsstudie II – Lebensmittelverzehr und Nährstoffzufuhr auf Basis von 24h-Recalls“, 2013. <https://www.mri.bund.de/de/institute/ernaehrungsverhalten/forschungsprojekte/nvsii/> (Zugegriffen am 28. Juli 2020).
- [10] City of Kigali (CoK): An 8-in-1 affordable urban Housing Block inaugurated in Kimisagara, 2018. https://kigalicity.gov.rw/index.php?id=131&tx_news_pi1%5Bnews%5D=42&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=c0f4418727324d3adeb68272b8cf3562 (Zugegriffen am 25. Okt. 2020).



TU Berlin, modified by Margot Olbertz 2018, ifeu 2017

- [11] RSB: RSB RS 110:2009 Water Quality – Tolerance limits of discharged domestic wastewater, 2009.
- [12] Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P., Zurbrügg, C.: Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2014.
- [13] BGBl: Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV) BGBl. I S. 1108, 2625, 2016. <http://www.gesetze-im-internet.de/abwv/> (Zugegriffen am 7. Feb. 2017).
- [14] WHO (Hrsg.): Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines, 2000, (zugegriffen am 12. Apr. 2017. Verfügbar unter: <http://www.who.int/iris/handle/10665/57600>).

Bild 7:
Dezentrales Grauwasser-
management
am Hangfuß für
Agatare/Kigali.
© TU Berlin mo-
dif. von M. Olbertz
2018, ifeu 2017

AUTOR*INNEN



Christin Zeitz
Dipl. Geoökologin
Projektleiterin

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg gGmbH
Kontakt: christin.zeitz@ifeu.de



Bernd Franke
Biologe
Themen- und Projektleiter

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg gGmbH
Kontakt: bernd.franke@ifeu.de