

Wastewater-Irrigated Urban Agriculture in the Context of WASH in Ahmedabad, India

the impact of irrigation water quality on the incidence of diarrhea

Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.)

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von

TIMO FALKENBERG

aus

München

Bonn 2016

ABSTRACT

Rapid urbanization is characterized by the densification and spatial expansion of urban agglomerations, leading to its encroachment into agricultural land. In light of population growth, the growing food requirements of an increasingly larger population depend on decreasing agricultural land resources. Irrigation forms an important mechanism to increase agricultural productivity, however, global water scarcity renders such reliance on fresh water resources unsustainable in the long term. Urban agriculture has emerged as a strategy to convert these challenges into opportunities. Instead of displacing agricultural production, agricultural activities are integrated into the urban system, producing food in close proximity to its place of consumption. In addition, urban agriculture is a low-input system, where the inputs of production are drawn from the urban wastestream. The use of wastewater not only provides perennial irrigation water but also reduces the need for artificial fertilizers. Yet the unplanned reuse of wastewater poses health risks to both the farmers and consumers, as wastewater hosts a multitude of pathogens, chemicals and pharmaceutical residues. This research assesses the diarrheal disease risk of wastewater irrigation in the urban agriculture context of Ahmedabad, India, and compares the disease risk with the established diarrhea determinants WASH (Water, Sanitation and Hygiene).

The research was conducted in four farming communities in Ahmedabad, from August 2013 to August 2014. Each area represents an irrigation water source type, with the control group irrigating with groundwater and the three exposure groups utilizing river, canal and wastewater, respectively. The study consists of three methodological streams: epidemiological, microbiological and cross-sectional. The epidemiological methods were applied longitudinally and include a health diary, which quantifies the disease outcome, and the hygiene index. Exposure is assessed in the microbiological stream through the quantification of *E. coli* concentrations in irrigation and drinking water. The cross-sectional methods include three surveys (baseline, hygiene and farm) and anthropometric measurements of children under twelve. The methodological framework is based upon the F-diagram, which depicts the transmission routes of fecal-oral bacteria. Wastewater irrigation is conceptualized to

run parallel to open defecation in introducing fecal matter into the community environment, thus leading to the hypothesis that wastewater use induces similarly strong effects on diarrhea incidence as the WASH factors.

The irrigation water analysis reveals that both surface and wastewater do not meet the standard for restricted irrigation (9.28×10^5 and 4.02×10^9 *E. coli*/100 ml, respectively). Groundwater samples from the control area are suitable for unrestricted irrigation (411 *E. coli*/100 ml). The exposed population experience 13.3 diarrhea episodes per 1,000 person-weeks, while the incidence rate among the control group reached 7.9 episodes per 1,000 person-weeks. The ATE of irrigation water quality is 2.73, indicating additional diarrhea episodes for every log-unit increase in irrigation water contamination. Furthermore, irrigation water quality has greater adverse effects on the degree of in-household water contamination (ATE: 18.15) than the preventive effect of access to sanitation (ATE: -10.41) and personal hygiene (ATE: -14.73). Exposure to unsafe irrigation water also impacts hygiene, i.e. for every log-unit increase in contamination the hygiene index score is reduced by 2 points. The ATE of access to sanitation on diarrhea incidence could not be calculated. However, bivariate and regression analysis highlights that the preventive effects of sanitation only fully manifest if large proportions of the community have access. The ATE of wastewater irrigation is similar to that of PoU water (2.73 and 2.54, respectively). However, when considering the adverse impact of wastewater use on in-household water contamination and hygiene, additional indirect effects of wastewater on diarrhea incidence can be assumed. Therefore, wastewater irrigation is an integral part of the WASH nexus following the same transmission routes as open defecation, influencing drinking water quality and hygiene and thus adversely impacting diarrhea incidence. Mitigating the health risks of wastewater irrigation needs to be part of diarrhea prevention strategies, as pathogens are introduced into the farm environment and transferred to the community potentially undermining the efforts of WASH interventions.

ZUSAMMENFASSUNG

Die rapide fortschreitende Urbanisierung ist durch eine Verdichtung, aber auch die räumliche Ausdehnung urbaner Ballungsräume insbesondere in landwirtschaftlich genutztes Land charakterisiert. Dementsprechend müssen die Nahrungsmittel für eine ständig wachsende Bevölkerung auf zunehmend limitierten landwirtschaftlichen Nutzflächen produziert werden. Bewässerungssysteme tragen wesentlich zur landwirtschaftlichen Produktivität bei, jedoch ist die Nutzung der Wasserressourcen langfristig nicht nachhaltig. Die urbane Landwirtschaft ist ein Ansatz, um die Herausforderungen der Nahrungsmittelproduktion für urbane Zentren in Chancen umzuwandeln. Anstatt die landwirtschaftlichen Aktivitäten zu verdrängen, werden sie in das urbane System integriert, so dass die Nahrungsmittel in unmittelbarer Nähe zum Ort des Verzehrs hergestellt werden. Darüber hinaus ist urbane Landwirtschaft ein Low-Input-System, in dem die Produktionsfaktoren aus dem städtischen Abfallstrom bezogen werden. Die Nutzung von Abwasser sorgt nicht nur für die ganzjährige Verfügbarkeit von Bewässerungswasser, sondern reduziert auch den Bedarf an synthetischen Düngemitteln. Jedoch birgt die unregelmäßige Verwendung von Abwasser Gesundheitsrisiken sowohl für die Landwirte als auch die Verbraucher, da Abwasser eine Vielzahl von Krankheitserregern, Chemikalien und Arzneimittelrückstände beinhalten kann. Die vorliegende Arbeit erhebt das Risiko für Durchfallerkrankungen bei der Bewässerung mit Abwasser im Kontext der urbanen Landwirtschaft von Ahmedabad (Indien) und setzt es in Bezug zu den etablierten Determinanten von Durchfallerkrankungen des WASH (Wasser, sanitäre Anlagen und Hygiene)-Ansatzes.

Die Forschung wurde von August 2013 bis August 2014 in vier landwirtschaftlichen Gebieten Ahmedabads durchgeführt. Jedes Forschungsgebiet steht für einen bestimmten Typ von Bewässerungswasser. Die Kontrollgruppe verwendet Grundwasser und die drei Expositionsgruppen verwenden Fluss-, Kanal- oder Abwasser zur Bewässerung. Die Studie besteht aus drei methodischen Komponenten: epidemiologisch und mikrobiologisch sowie Querschnittsverfahren. Die epidemiologischen Methoden umfassen das Health Diary, das das Krankheitsvorkommen sowie den Hygieneindex erfasst. Die Exposition wird durch die Quantifizierung der *Escherichia-coli*-Konzentrationen von Bewässerungs- und Trinkwasser mikrobiologisch bewertet. Die Querschnittsverfahren umfassen drei Befragungen (Baseline, Hygiene und Landwirtschaft) und anthropometrische Messungen von Kindern unter zwölf. Das methodische Rahmenkonzept basiert auf dem F-Diagramm, das die Übertragungswege von fäkal-oralen Bakterien aufzeigt. Es

wird angenommen, dass die Abwasserbewässerung sich wie eine öffentliche Defäkation auswirkt und somit Fäkalbakterien in die Gemeinschaftsumgebung einführt. Dies führt zur Hypothese, dass die Abwassernutzung ähnlich große Auswirkungen wie die WASH-Determinanten auf die Häufigkeit der Durchfallerkrankungen hat.

Die Bewässerungswasseranalyse zeigt, dass sowohl Oberflächen- als auch Abwasser den Standard für eingeschränkte Bewässerung nicht erfüllen ($9,28 \times 10^5$ und $4,02 \times 10^9$ *E. coli*/100 ml). Grundwasserproben aus der Kontrollgruppe eignen sich für uneingeschränkte Bewässerung (411 *E. coli* /100ml). Die exponierte Bevölkerung erleidet 13,3 Durchfallepisoden pro 1.000 Personen-Wochen und die Kontrollgruppe hat eine Häufigkeit von 7,9 Episoden pro 1.000 Personen-Wochen. Der Average Treatment Effect (ATE) von Bewässerungswasser liegt bei 2,73. Zusätzlich hat die Qualität von Bewässerungswasser größere negative Auswirkungen auf das Ausmaß der im Haushalt entstandenen Wasserverschmutzung (ATE: 18,15) als die präventiven Maßnahmen wie Zugang zu sanitären Anlagen (ATE: -10,41) und persönliche Hygiene (ATE: -14,73). Kontaminiertes Bewässerungswasser hat außerdem Auswirkungen auf die Hygiene: durch jede Verschmutzungseinheit wird der Hygieneindexwert um 2 Punkte reduziert. Der ATE für Zugang zu sanitären Anlagen bezüglich der Durchfallinzidenz konnte nicht berechnet werden, jedoch haben die statistischen Analysen gezeigt, dass sich deren Präventivwirkung nur vollständig manifestiert, wenn große Teile der Gemeinschaft Zugang haben. Der ATE von Abwasserbewässerung (2,73) ist ähnlich zu dem von Trinkwasser (2,54). Wenn jedoch die negativen Auswirkungen der Abwassernutzung auf die im Haushalt entstandene Wasserverschmutzung und die Hygiene berücksichtigt werden, kann von zusätzlichen indirekten Auswirkungen der Abwassernutzung auf die Häufigkeit der Durchfallerkrankungen ausgegangen werden. Abwasserbewässerung muss daher ein integraler Bestandteil des WASH-Ansatzes sein, da dieser von den gleichen Übertragungswegen wie öffentliche Defäkation, die Trinkwasserqualität und Hygiene ausgeht. Die Milderung der gesundheitlichen Risiken der Abwasserbewässerung müssen Bestandteil von Durchfallpräventionsstrategien sein, da Krankheitserreger in das landwirtschaftliche System eingeführt werden und in das Gemeinschaftsumfeld übertragen werden. Dadurch können möglicherweise die Bemühungen der international eingeführten WASH-Interventionen untergraben werden.