



Doctoral Thesis

Ökobilanzen in der Siedlungswasserwirtschaft

Author(s):

Hügel, Katrin

Publication Date:

2000

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004129075> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 13913

Ökobilanzen in der Siedlungswasserwirtschaft

ABHANDLUNG
zu Erlangung des Titels
Doktorin der Technischen Wissenschaften
der
Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

vorgelegt von
Katrin Hügel
DIPL.-ING. Bauingenieurwesen, TU Braunschweig
geboren am 31.3.1966
in Kiel, Bundesrepublik Deutschland

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. W. Gujer, Referent
Prof. Dr. K. Hungerbühler, Korreferent
Dr. T. Larsen, Korreferentin

Zürich, 2000

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit „Ökobilanzen in der Siedlungswasserwirtschaft“ geht zwei zentralen Fragen nach:

- Wo liegen die Möglichkeiten und Grenzen des Werkzeugs „Ökobilanz“, wenn es für die Beurteilung einer Umwelttechnologie wie der Abwasserentsorgung eingesetzt wird?
- Wo liegen Ansatzpunkte für eine Optimierung dieser Technologie, die das Potential für eine deutliche Steigerung der Effizienz im Umgang mit Ressourcen bergen?

Ausgangspunkt war die Frage, wie der Aspekt der Nachhaltigkeit in Optimierungsüberlegungen der Siedlungswasserwirtschaft integriert werden kann. Basierend auf einer Literaturrecherche wurden zwei zentrale Anliegen für eine „nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft“ identifiziert: die Reduktion des Rohstoffverbrauchs und die Minimierung schädlicher Emissionen in die Umwelt. Technologische Anpassungen führen in der Regel nicht geradlinig zu einer Optimierung dieser beiden Aspekte. Vielmehr sind Einsparungen in einem Bereich meist verbunden mit Mehraufwendungen in einem anderen: so können beispielsweise grosse Bauvolumina durch Einsatz von Chemikalien im Betrieb reduziert werden oder eine verbesserte Reinigungsleistung wird mit erhöhtem Energiebedarf erkaufte. Daher bedarf es eines integrativen Ansatzes, der es uns erlaubt, verschiedenartige Beeinträchtigungen der „Ressource Umwelt“ miteinander zu vergleichen. Ökobilanzen sind ein Werkzeug, das ursprünglich dafür entwickelt wurde, Produkte und Dienstleistungen über ihren gesamten Lebenszyklus hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen zu vergleichen. Es ist ein weitgehend standardisiertes Werkzeug, das die von uns gesuchte Funktion bereitstellt.

Die methodischen Probleme bei der Anwendung der Ökobilanz im hier beschriebenen Kontext können in drei wesentliche Bereiche unterteilt werden: Modellbildung & funktionelle Einheit, Wirkungsabschätzung und Datenmanagement.

Die Schwierigkeiten, die sich bei der Modellbildung und der Definition der funktionellen Einheit¹ ergeben, haben unterschiedliche Ursachen: Zum einen wollen wir bei der Optimierung der Abwasserentsorgung die Funktion „Gewässer schützen“ in die Beurteilung mit einbeziehen, damit auch Technologien mit unterschiedlicher Reinigungsleistung einander gegenübergestellt werden können. Dieses Vorgehen entspricht nicht dem ursprünglichen Ansatz der Methode, der davon ausgeht, dass Varianten verglichen werden, die dieselbe Funktion bereitstellen. Zum anderen setzen innovative Technologien vermehrt auf Massnahmen an der Quelle, also ausserhalb des traditionellen Systems der Abwasserentsorgung. Dies erfordert eine erweiterte Systembetrachtung. In dieser Arbeit werden vier allgemeine Anwendungstypen für Ökobilanzen in der Abwasserentsorgung entwickelt, mit denen diese Probleme klar strukturiert werden. Je nach Typ resultieren unterschiedliche Anforderungen an die Definition der funktionellen Einheit und die Modellbildung.

Möchte man Aussagen über die ökologische Effizienz der Abwasserentsorgung machen, so ergibt sich das Problem, dass heute verfügbaren Methoden der Wirkungsabschätzung wesentliche umweltrelevante Leistungen des Systems nicht erfassen. Im

¹ die funktionelle Einheit ist das quantitative Mass für die Performance des betrachteten Systems

Vergleich verschiedener Methoden kann gezeigt werden, dass es sich um ein systematisches Problem handelt. Es sind v.a. kurzfristige und lokale Phänomene, die in die Ökobilanz nicht eingehen. Gerade diese Aspekte sind jedoch Kernaufgaben der Abwasserentsorgung. Solange diese Einschränkung bei der Bewertung der Umweltauswirkungen bestehen, kann die Effizienz vieler Massnahmen mit einer Ökobilanz nicht angemessen beurteilt werden.

Ein grosses Handicap bei der praktischen Durchführung von Ökobilanzen für Abwasserentsorgungssysteme resultiert daraus, dass Sachbilanzdaten für umfangreiche Infrastrukturen und deren Betrieb erhoben werden müssen. Für viele unspezifische Industrieprodukte (z.B. Strom) kann dabei auf bestehende Ökoinventare zurückgegriffen werden. Für ‚abwasserspezifische‘ Produkte (Rohre, Pumpen usw.) stehen dagegen nur wenig detaillierte Sachbilanzdaten zur Verfügung. In dieser Arbeit wurde die Struktur für eine relationale Datenbank erarbeitet, mit der Sachbilanzdaten für spezifische Elemente der Siedlungswasserwirtschaft modulartig verwaltet werden. Die Struktur ist so angelegt, dass zum einen einmal erhobene Basisinformationen für verschiedene Ökobilanzen verwendet werden können. Zum anderen werden „Metadaten“ erfasst, die die Gestalt und die Funktion der einzelnen Elemente beschreiben und damit die Grundlage dafür bieten, die erhobenen Daten in bezug auf verschiedene Optimierungsüberlegungen auszuwerten.

Die zweite Fragestellung dieser Arbeit besteht darin, Ansatzpunkte für eine signifikante Steigerung der Ressourceneffizienz in der Abwasserentsorgung zu identifizieren. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Studie weisen darauf hin, dass das verbleibende Potential für eine technische Optimierung von Kläranlagen unter den bestehenden Randbedingungen beschränkt ist. Deutliche Veränderungen versprechen demgegenüber innovative Technologien, die das heutige System der Abwasserentsorgung grundsätzlich in Frage stellen. Meist gehen sie von Massnahmen an der Quelle aus und beeinflussen damit bereits die Zusammensetzung des anfallenden Abwassers (Stichwort: *waste design*). Da gerade die Beurteilung solcher Lösungsansätze von den zuvor diskutierten Problemen bei der Wirkungsabschätzung betroffen ist, sollte die Einbindung lokaler und akuter Umweltprobleme in die Bewertungsmethoden forciert werden.

Generell beurteile ich den *Lebenszyklus*-Ansatz, der mit Ökobilanzen in die Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft getragen wird, als wertvolle Bereicherung. Er fordert einerseits vor- und nachgelagerte Prozesse konsequent in die Betrachtung mit einzubeziehen. Andererseits zwingt er uns, Annahmen und Bewertungsansätze explizit zu formulieren und die Funktion, die das System bereitstellt, zu hinterfragen. Auf dieser Grundlage kann die z.T. emotional geführte Diskussion um umweltpolitische Entscheide objektiviert werden.

SUMMARY

This study is concerned with two questions: First, can Life Cycle Analysis be successfully applied to a technology as complex as municipal wastewater treatment? What are its advantages and limitations in such a context? Second, how can municipal wastewater treatment technology be made more efficient in environmental terms?

The motivation for this study was the attempt to translate the general postulate of environmental sustainability to the context of urban water management, and municipal wastewater treatment in particular. A literature review suggested two central concerns that have to be addressed if environmental sustainability is to be served: a reduction of the use of raw materials, and a reduction of emissions to the environment. Fine-tuning and gradual adaption of existing technologies in general do not serve both concerns at once. Rather, it is typical that improvement of one aspect worsens the other. For example, the size of infrastructure installations can be reduced (and building materials be saved) at the expense of an increase in the use of operating chemicals. A higher degree of water purification (i.e., a reduction of environmental emissions from the treated effluent) requires more operating energy.

To tackle these trade-offs and come to a conclusive picture of the overall environmental performance of a technology, we need an integrative approach that allows us to compare variegated environmental impacts. Life Cycle Assessment (LCA), originally developed for the comparison of products and services across their entire life span, is such an approach that has become standardized over the last decade.

We found that three methodological problems arise when applying LCA to municipal wastewater treatment technologies: Model formulation and functional units; impact assessment (the translation and aggregation of individual emissions and resource uses into environmental effects); and data management.

The difficulties associated with model formulation and functional units have several causes. On the one hand, when assessing the ecological performance of a wastewater treatment system, we want to include the system service "protection of surface waters." This is because different technologies can differ in the degree of protection they afford to surface waters. This is at odds with what conventional LCA method stipulates: that only such technologies or products be compared that deliver the same service. On the other hand, innovative technologies are increasingly geared at source control, rather than end-of-pipe abatement. This implies that they act outside of the traditional scope of wastewater treatment. For an assessment to be conclusive, the system boundaries have to be widened beyond what one would consider the scope traditional urban wastewater treatment technology. This study develops a typology of four prototypes of LCA that are tailored to specific questions typical for wastewater management. Each type requires a different definition of functional unit and model formulation.

As to impact assessment, conventional LCA suffers a major problem. The different methodologies for impact assessment (the translation of individual emissions into environmental effects) omit crucial environmental attributes (services and emissions) of the system under study. In comparing different methodologies for impact assessment, we could show that this problem is of a systematic nature. The attributes that LCA omits are mainly short-term, acute, and local. But it is mostly acute and local emissions the control of which is the core task of municipal wastewater treatment. As long as this

insufficient treatment of such effects persists, LCA is not an appropriate tool for assessing environmental sustainability of wastewater treatment.

A problem in the practical application of an LCA to wastewater treatment is the overwhelming data requirement. Emission and resource use inventories have to be assembled for the construction and operation of large infrastructure systems. For many generic industrial inputs, like electricity, inventories exist in the literature. For other, more specialized inputs like pipes and pumps, there are few if any detailed emission inventories. In the course of this study, a relational database was constructed that facilitates the administration of data relevant to wastewater treatment technology in modular form. The structure of this database allows the use of raw data in different LCAs. Also, it offers "meta-data" which let the user arrange the raw data into different aggregates that are appropriate to different frames of analysis.

The second topic of this study is to identify opportunities for significantly improving natural resource efficiency in wastewater management. We found that the potential for such improvement within the confines of traditional wastewater treatment technology is limited. However, significant improvements seem possible with a change of the underlying technological paradigm, towards more source reduction and, in effect, control of wastewater composition (as suggested by the concept of "waste design"). The evaluation of these new technological approaches would suffer in a conventional LCA, which omits acute and local effects, hence it is imperative that methods are developed to include such effects into LCA.

On the whole, bearing in mind the above caveats, I consider the application of LCA to wastewater treatment technology to yield many benefits. It enforces a systematic consideration of secondary and tertiary processes. Also, it forces us to spell out assumptions and grounds for evaluation, and to reflect critically on the function that we ascribe to this technological system. This can help render the discussion of environmental policy measures, often tinged with emotion, a little bit more objective.