



Doctoral Thesis

Mehrfachnutzung von Abwasser in der chemischen Industrie

Author(s):

Jödicke, Gerald

Publication Date:

2000

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003913212> →

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. 13670

Mehrfachnutzung von Abwasser in der chemischen Industrie

Abhandlung zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der
Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

vorgelegt von
Gerald Jödicke
Dipl. Chem. ETH
geboren am 17. 7. 1968
in München

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Konrad Hungerbühler, Referent
Prof. Dr. Willi Gujer, Korreferent

Zürich, Mai 2000

1. Zusammenfassung

Die Mehrfachnutzung von Abwasser ist ein Konzept, das dem Gedanken der integrierten Entwicklung in der chemischen Industrie Rechnung trägt. In der Prozessintegrationsforschung wurden sowohl graphische als auch mathematische Methoden vorgeschlagen, wie für eine gegebene Anzahl Aktivitäten die Möglichkeiten der Mehrfachnutzung von Abwasser systematisch untersucht werden können.

In dieser Dissertation wird ein neues MILP-Modell (mixed integer linear programming) präsentiert, das die Ermittlung des besten Mehrfachnutzungs-Designs auch unter geringem zeitlichen Aufwand erlaubt. Für die Beschreibung der zulässigen Mehrfachnutzungen von Abwasser wird anstelle der sonst üblichen Beschreibung mit Konzentrationsgrenzwerten die Verwendung einer Konnektivitätsmatrix vorgeschlagen. Die Elemente der Konnektivitätsmatrix $conM_{i,j}$ geben Auskunft, ob die Wiederverwendung des Abwassers von Aktivität i in Aktivität j erlaubt ist ($conM_{i,j} = 1$) oder nicht ($conM_{i,j} = 0$). Die Einträge der Matrix sind durch die Befragung von Experten leicht zu erhalten und erlauben eine flexible Berücksichtigung verschiedenster Randbedingungen.

Die Zielfunktion des Optimierungsmodells setzt sich aus den Frischwasser- und Abwassergebühren sowie den Pumpenergie- und den Investitionskosten (Verrohrung und Installation neuer Puffertanks) zusammen. Bei der Berechnung der Rohrleitungskosten wird berücksichtigt, dass Leitungen verzweigt oder auch zusammengeführt werden können.

Um Aktivitäten mit diskontinuierlichem Wasserbedarf in die Optimierung mit einbeziehen zu können, werden die Abwasserflüsse vor der Wiederverwendung in einem Tank gepuffert. Für die Berechnung des besten Designs wird zunächst eine unbegrenzte Speicherkapazität der Puffertanks angenommen und mit dem mittleren Wasserbedarf jeder Aktivität gerechnet. Anschliessend wird für die ausgewählten Designs die Zielfunktion mit der realen Tankkapazität und dem realen Produktionsplan neu berechnet.

Anhand des Beispiels Textilfarbstoffproduktion wurde gezeigt, wie die neu entwickelte Methode der Prozessintegration in der chemischen Industrie angewendet werden kann. Die Messdaten aus der Grob- und der anschliessenden Feinanalyse der Wasserflüsse bildeten die Grundlage für die Definition der Systemgrenzen der Untersuchung. Für die Erstellung der Konnektivitätsmatrix wurden Fachleute befragt und die Ergebnisse dieser

Umfrage aggregiert. Zusammen mit den firmenspezifischen Kostenparametern wurde ein Optimierungsmodell erstellt, mit dem für verschiedene Zeithorizonte die Gesamtkosten minimiert werden können. Die so erhaltenen Flussdiagramme können unter ökonomischen, ökologischen und technischen Aspekten diskutiert und das attraktivste Design ausgewählt werden. In dem betrachteten Beispiel konnte der Wasserbedarf innerhalb der Systemgrenzen um 16 bis 24 % gesenkt werden. Die Amortisationszeit des vorgeschlagenen Designs beträgt 1-1.6 Jahre. Mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation wurden die Stabilität der Designauswahl und die Unsicherheit der Amortisationszeit untersucht.

Durch die Verwendung der Konnektivitätsmatrix konnte neben der Berücksichtigung der technischen Randbedingungen auch die Akzeptanz bei den Entscheidungsträgern gesichert werden: Die am Entwicklungsprozess beteiligten Mitarbeiter konnten die Berücksichtigung ihrer Angaben nachvollziehen und die Konsistenz der vorgeschlagenen Designs mit Hilfe der Konnektivitätsmatrix leicht überprüfen. Auch wenn der mathematische Formalismus den Anwendern verborgen blieb, konnte so das Vertrauen in die automatisierten Rechenschritte gefördert werden.

Der unterschiedlich grosse Nutzen einer Reduktion der Abwassermenge wurde anhand von Szenarien diskutiert. Für das untersuchte Fallbeispiel liegt der unmittelbare Nutzen in einer leichten Reduktion des gesamten Elektrizitätsbedarfs und einer Verbesserung des Eliminationsgrads der Kläranlage.

Mit dem hier präsentierten Ansatz ist es gelungen, die Durchführung eines Abwasserintegrationsprojekts zu beschleunigen und damit die Anwendung der Prozessintegrationsmethode zu fördern. Durch die Berücksichtigung der Investitionskosten und durch den nachvollziehbaren Umgang mit technischen Randbedingungen konnte die Akzeptanz bei den Entscheidungsträgern erhöht werden. Zukünftige Abwasserintegrationsprojekte haben deshalb eine höhere Chance, in einem Produktionsbetrieb bis zur Umsetzung zu gelangen.

2. Abstract

The reuse of wastewater is a concept based on the ideas of integrated development in chemical industry. Several tools, both graphically and mathematically oriented, were developed in order to systematically search for the best reuse designs.

In this thesis a new MILP-model (mixed integer linear programming) is presented which allows for the fast identification of the best reuse designs. In order to describe the reuse potential of wastewater the use of a connectivity matrix $conM_{i,j}$ is proposed: Binary information expresses whether the reuse of wastewater from one activity in another activity is allowed ($conM_{i,j} = 1$) or not ($conM_{i,j} = 0$). This approach contrasts with the commonly used models based on concentration limits. The connectivity matrix is established easily and allows the integration of various feasibility aspects.

The objective function of the model comprises the sum of operating costs (pumping energy, water supply, and wastewater treatment) and the investment costs (piping and new holding tanks). For the calculation of the piping costs the possibility of splitting or merging pipes is taken into account.

In order to handle activities with discontinuous water demand in the model, each wastewater has to pass a holding tank before it can be reused. For the calculation of the best designs an infinite tank capacity is assumed and the average water demands of the processes are used. The objective function is then recalculated for the obtained designs with the real tank capacities and schedules.

The model was applied to an industrial case study of textile dyestuff production to show its applicability. The system boundaries were defined based on the results of a coarse and a following detailed water flow analysis. The connectivity matrix was established by consulting experts and aggregating the obtained answers to a single matrix. Using this connectivity matrix and the in-house cost parameters for freshwater, wastewater, energy and piping, a MILP-model was formulated. The model was used to calculate the lowest total cost for different time horizons and to identify the corresponding flowcharts. The flowcharts can then be discussed under economic, ecological, and technical aspects and the most attractive design can be selected. In the presented case study the water demand within the system boundaries could be reduced by 16 to 24 %. The payback time of the suggested reuse design is 1 to 1.6 years. The robustness of design selection and the uncertainty of the payback times were investigated using a Monte-Carlo simulation.

The connectivity matrix proved to consider all technical constraints and to find acceptance from the decision makers: the engineers involved in the project could easily identify their specifications and check the consistency of the suggested designs with the help of the connectivity matrix. Even though the mathematical formalism remains hidden, the automated procedure thus obtained general approval.

The benefit of implementing wastewater reuse options is discussed with the help of scenarios. For the discussed case study the immediate benefit emanates from an reduced overall electricity demand and an slightly increased elimination rate in the sewage treatment plant.

The new approach presented here has been shown to accelerate the procedure of a process integration project and, hence, foster its application. The acceptability for decision makers has been improved by the consideration of the investment costs during the optimisation process and a comprehensible representation of technical constraints. Therefore, it becomes more likely that results of future water integration projects will be implemented in industry.