



Doctoral Thesis

Environmental Assessment of Waste-Solvent Treatment in the Swiss Chemical Industry

Author(s):

Capello, Christian

Publication Date:

2006

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005182460> →

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 No. 16458

Environmental Assessment of Waste-Solvent Treatment in the Swiss Chemical Industry

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by
Christian Capello
Dipl. Umwelt-Natw. ETH (Swiss Federal Institute of Technology)
born on September 2, 1976
in Zurich (Switzerland)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Konrad Hungerbühler, examiner
Prof. Dr. Philipp Rudolf von Rohr, co-examiner
Dr. Rolf Frischknecht, co-examiner
Dr. Stefanie Hellweg, co-examiner

Zürich, 2006

Abstract

The Swiss chemical industry is striving to achieve sustainable treatment of their waste solvents. But so far no instruments or tools have been developed that allow for a quantitative environmental assessment of waste-solvent treatment technologies, such as incineration and solvent regeneration. Therefore, it is the goal of this thesis to provide a framework based on the life-cycle assessment (LCA) methodology that facilitates decision support for the environmental improvement of waste-solvent treatment in chemical industry.

To this end, a model for waste-solvent distillation is developed. The model allows for the estimation of energy and ancillary use as well as of the amounts of emissions as a function of only a few input parameters that are typically available to decision makers in the chemical industry. Generic data ranges for this purpose were calculated based on a comprehensive statistical analysis of 150 industrial waste-solvent distillation processes. These data ranges can be used as generic values when primary data of distillation processes are missing. Moreover, distribution functions were fitted to the empirical data.

In order to compare environmental impacts of distillation and incineration for specific, user-defined waste-solvent mixtures, the new model of distillation has been combined with existing models of incineration in a software tool named *ecosolvent*. The tool is designed with a tiered structure to allow for a high degree of flexibility regarding information needs. Uncertainties of the model outputs are calculated quantitatively using stochastic modeling (Monte Carlo analysis) or the method of bounding analysis (calculation of environmental best cases and worst cases). Generally, the more complete the user information is, the lower the uncertainties in the model outputs. The results of two case studies, both existing distillation processes in chemical industry, once of an ethyl acetate mixture and once of an alcohol mixture, showed that the environmental impact calculated with the generic values using the *ecosolvent* tool encompassed the results calculated with primary data from industry. Thus, the generic data ranges used in the *ecosolvent* tool were appropriate to approximate missing inventory data. Moreover, the comparison of the results of distillation to incineration showed that with regard to the ethyl acetate case study, even with approximated inventory data of distillation a clear result was obtained.

Finally, a systematic comparison of distillation and incineration was made to derive general recommendations for the environmental optimal choice of treatment technology. To this end, the *ecosolvent* tool was used to calculate systematically the environmental impact considering a large range of process conditions and waste-solvent mixtures. The results showed that none of the treatment technologies is generally environmentally superior to another, but that the optimal option depends on the waste-solvent mixture and process conditions. Rules of thumb were derived that help to identify the environmentally favorable treatment technology depending on the waste-solvent properties. Additionally, a result table is presented for the 45 most important solvents used in Swiss chemical industry showing under which process conditions distillation is generally environmentally superior to incineration. For six solvents, distillation was the environmentally optimal treatment technology, even at low solvent recoveries in the distillation process.

Based on the general recommendations and the *ecosolvent* tool a framework for decision support in waste-solvent management was developed. This framework is easily applicable and can therefore be used by non-environmental experts. It is very flexible in terms of information needs. Thus, it can be used to assess the environmental impact of waste-solvent treatment processes in retrospect. Retrospective assessments often have the advantage of accurate data being available that leads to results with small uncertainty ranges. It can also be used in the early phase of process development, making use of the reliable generic data ranges and generally applicable rules of thumb. In the early phase of process development, changes in the waste-solvent treatment technology as a consequence of environmental considerations is more practicable than in established processes. Finally, the proposed framework may also be used to promote strategic investment decisions when new production processes are developed or production volume is increased and, as a consequence, new waste-solvent treatment capacity is needed.

Zusammenfassung

Die Schweizerische chemische Industrie ist bestrebt, ihre Abfall-Lösungsmittel (ALM) ökologisch nachhaltig zu behandeln. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurden aber noch keinerlei Instrumente oder Computerprogramme entwickelt, welche die Umweltauswirkungen der ALM-Behandlungstechnologien (Verbrennung und Lösungsmittelregeneration mittels Destillation) quantitativ erfassen können. Deshalb war es das Ziel der vorliegenden Dissertation, basierend auf der Methode der Ökobilanz ein Verfahren zu entwickeln, mit dem Umweltwirkungen quantifiziert und diese als ökologische Kriterien in die Entscheidungsfindung im ALM-Management aufgenommen werden können.

Die Umweltwirkung einer ALM-Behandlungstechnologie hängt sehr stark von den physikalisch-chemischen Eigenschaften des ALM und von den verfahrenstechnischen Eigenschaften ab. Daher werden Modelle benötigt, um fallspezifische Umweltwirkungen zu berechnen. In dieser Arbeit wurde ein solches Modell für die Destillation von ALM entwickelt. Es basiert auf generischen Wertebereichen, die durch eine umfassende statistische Analyse von 150 industriellen ALM-Destillationen berechnet wurden. Diese generischen Wertebereiche werden als Näherung verwendet, falls keine Primärdaten für einen Destillationsprozess zur Verfügung stehen. Zudem wurden für alle empirischen Datenpunkte auch Wahrscheinlichkeitsfunktionen angepasst.

Um die Umweltwirkungen von Destillation und Verbrennung für spezifische ALM-Gemische zu vergleichen, wurde das neu entwickelte Modell der Destillation mit bestehenden Modellen der ALM-Verbrennung in einem Softwaretool namens "*ecosolvent*" vereint. Um verlässliche Resultate zu erhalten, werden darin Parameterunsicherheiten quantitativ erfasst. Dies geschieht entweder mittels stochastischer Modellierung (Monte Carlo Analyse) oder indem jeweils ein ökologischer Best-Case und Worst-Case berechnet wird. Dabei nimmt die Unsicherheit der Resultate ab, je mehr Information über eine Behandlungstechnologie zur Verfügung steht. Mit dem "*ecosolvent*" Tool wurden die Umweltwirkungen von zwei Fallstudien, einem Essigester-Gemisch und einem Alkohol-Gemisch, berechnet. Es zeigte sich, dass die Resultate, die aus den generischen Wertebereichen berechnet wurden, diejenigen, die mittels Primärdaten der Industrie erhalten wurden, in allen Fällen einschliessen und somit geeignete Abschätzungen sind. Ausserdem wurden in der Essigester-Fallstudie

signifikante Resultate für den Vergleich zwischen Verbrennung und Destillation erhalten, selbst wenn mit den generischen Wertebereichen gerechnet wurde.

In einem letzten Schritt wurde die Destillation systematisch mit der Verbrennung verglichen. Dazu wurde die *ecosolvent* Software benutzt, um die Umweltwirkungen beider Technologien für verschiedene ALM-Gemische und unter unterschiedlichen Prozessbedingungen zu berechnen. Es zeigte sich, dass keine Technologie grundsätzlich umweltfreundlicher ist, aber je nach ALM-Gemisch und Prozessbedingungen eine Technologie signifikant unterschiedliche Umweltwirkungen aufweisen kann. Auf Grund dieser Analyse konnten aber allgemeingültige Daumenregeln abgeleitet werden, die helfen, je nach ALM-Eigenschaften die ökologische bessere Technologie zu identifizieren. Zusätzlich wurde für die 45 wichtigsten Lösungsmittel, die in der Schweizerischen chemischen Industrie eingesetzt werden, eine Übersichtstabelle erarbeitet. Diese zeigt spezifisch für alle Lösungsmittel, unter welchen Prozessbedingungen die Destillation die umweltfreundlichere Technologie ist.

Basierend auf den Daumenregeln, der Übersichtstabelle und dem "*ecosolvent*" Tool wurde ein Verfahren entwickelt, das die Entscheidungsfindung im ALM-Management unterstützt, indem ökologische Kriterien während unterschiedlicher Stufen der Prozessentwicklung bereitgestellt werden. Das entwickelte Verfahren ist auch für Nicht-Umweltexperten einfach anwendbar. Zudem ist es sehr flexibel betreffend der benötigten Eingabeinformationen. Daher kann dieses Verfahren vielseitig eingesetzt werden. Zum einen kann es angewendet werden, um bestehende Prozesse ökologisch zu bewerten. Eine solche retrospektive Bewertung hat oft den Vorteil, dass genaue (Mess-) Daten zur Verfügung stehen und somit Resultate mit sehr kleinen Unsicherheiten behaftet sind. Andererseits können aber auch Umweltwirkungen von Prozessen abgeschätzt werden, die noch in der Planungsphase sind, weil fehlende Informationen mittels der generischen Wertebereiche und allgemeingültigen Daumenregeln näherungsweise bestimmt werden. Der Vorteil der Prozessbewertung während der frühen Planungsphasen ist, dass eine Änderung der ALM-Behandlungstechnologie einfacher durchführbar ist, als bei bereits bestehenden Prozessen. Schliesslich kann dieses Verfahren wegen der hohen Flexibilität auch bei strategischen Investitionsentscheidungen im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Produktionsprozesse oder mit einem vergrösserten Produktionsvolumen und damit benötigter neuer ALM-Behandlungskapazität angewendet werden.