

# Möglichkeiten und Grenzen des Recycling in der chemischen Industrie

Autor(en): **Eigenmann, Gottfried**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **75 (1983)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941275>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Möglichkeiten und Grenzen des Recycling in der chemischen Industrie

Gottfried Eigenmann

## Zusammenfassung

Seit jeher wurden in der chemischen Industrie Nebenprodukte, Hilfsstoffe und auch Abfälle wenn möglich wieder in einem Produktionsprozess eingesetzt. So wurde im 19. Jahrhundert Abfallteer aus der Leuchtgasfabrikation untersucht und als Rohstoff zur Herstellung von Farbstoffen wieder eingesetzt. Unter anderem war dies ein Faktor, der zur Entstehung der heutigen Farbstoffindustrie beitrug. Heute sind bei der Beurteilung der Möglichkeiten des Recycling verschiedene Aspekte zu berücksichtigen:

- Verwendungsmöglichkeit eines Stoffes
- Rückgewinnungskosten
- Rohstoffpreise
- Folgen der Nichtrückgewinnung und Entsorgungskosten
- Logistische Aspekte
- Arbeitshygiene

Anhand verschiedener Beispiele aus der Spezialitätenchemie werden diese Einflussgrössen dargestellt und die heutigen Möglichkeiten und Grenzen des Recycling aufgezeigt.

Dabei darf nicht ausser acht gelassen werden, dass sich diese Faktoren im Laufe der Zeit verändern können; damit verlagern sich auch die Gebiete, in denen eine Stoffrückgewinnung sinnvoll betrieben wird.

Recycling muss im Rahmen der gesamten Anstrengungen der chemischen Industrie gesehen werden, die darauf abzielen, die Herstellungsverfahren laufend zu verbessern und potentielle Umweltprobleme schon an der Quelle zu lösen. Diese wichtigen Bestrebungen helfen mit, die Gesamtbelastung der Umwelt auch bei zunehmenden Produktionsmengen zu senken.

## Einleitung

Die chemische Industrie befasst sich mit der Umwandlung von Stoffen. Aus den verschiedensten Rohstoffen stellt sie mit Hilfe chemischer Umwandlungen neue Endprodukte her. Die chemische Spezialitäten-Industrie, wie wir sie in der Schweiz zur Hauptsache kennen, verwendet dabei eine grosse Zahl verschiedenster Ausgangsstoffe, alle in verhältnismässig kleinen Mengen. Daraus werden Verkaufsprodukte wie zum Beispiel Farbstoffe, Kunststoffe, Additive, Agrochemikalien, Pharmazeutika hergestellt. Zur Durchführung der Synthesen werden zudem Hilfsstoffe benötigt; durch die Besonderheiten der chemischen Reaktionen entstehen aber auch Reaktions-Nebenprodukte. Weil die chemische Industrie Substanzen umwandelt, konnte sie seit eh und je auch Stoffe einsetzen, die in einem anderen Industriezweig nicht verwendet wurden. Vor etwa einem Jahrzehnt wurde für diesen Wiedereinsatz von Chemikalien das Wort «Recycling» geprägt. Heute ist es ein Schlagwort und eine Forderung vieler. Es ist aber wenigen bekannt, dass gerade die Farbstoffindustrie durch diese Ideen erst zustande kam. Dafür ein Beispiel: In London wurde im Jahre 1813 erstmals eine öffentliche Strasse – die Westminster-Brücke – mit Gaslaternen beleuchtet. Das Leuchtgas stammte aus der Verkokung von Steinkohle und als Nebenprodukt entstand Ammoniak und ein lästiges Abfallprodukt, für das sich niemand interessierte: Gasteer. Ammoniak setzte man als Düngemittel ein. Für

den Gasteer hatte man erst eine Verwendung, als Chemiker das Produkt analysierten und daraus aromatische Kohlenwasserstoffe und Phenol isolierten. In Berlin wurde 1834 Benzol erstmals in Nitrobenzol übergeführt. 1841 gelang dem Russen *Zinin* die Reduktion zu Anilin. 1856 schliesslich versuchte der englische Chemiker *William Henri Perkin*, Chinin chemisch darzustellen; zu seiner Überraschung entstand jedoch ein Farbstoff, der Seide blaurot färbte. Das Mauvein war geboren. Schon ein Jahr später (1857) stellte er dieses industriell her. Aus einem Abfallprodukt entstand ein gesuchter Farbstoff, der Kreis war geschlossen!

Rückblickend erkennen wir auch in dieser Reihe die Elemente: Abfallentstehung, Forschung nach Verwendungsmöglichkeiten, technische Entwicklung, Produktion. Diese Elemente sind auch heute noch mitbestimmend bei der Suche nach Möglichkeiten, einen Abfallstoff wieder einzusetzen.

## Entscheidungskriterien

Heute – wie zu jener Zeit – sind es mehrere Faktoren, die bestimmen, ob eine Stoffrückführung und Wiederverwendung möglich und sinnvoll ist.

### Verwendungsmöglichkeit

Ausschlaggebend ist die Frage, ob der betreffende Stoff, abgesehen von allen wirtschaftlichen Überlegungen, überhaupt irgendwie verwendet werden kann. In erster Linie ist dies eine Frage der chemischen Natur des Stoffes, in zweiter Linie aber auch eine Frage seiner Reinheit und Qualität. Zur Sicherung der Qualität der Verkaufsprodukte wird auch eine konstante Qualität der Rohstoffe gefordert. Diese Forderung ist im Zusammenhang mit der Herstellung von Pharmazeutika besonders streng, sie gilt aber grundsätzlich für alle Produkte.

### Rückgewinnungskosten

Die Rückgewinnungskosten hängen von mehreren Faktoren ab. Diese umfassen die Einheitlichkeit und Zusammensetzung des Abfalls, die Konzentration des gewünschten Stoffes im Abfall, die zur Rückgewinnung notwendigen Verfahrensschritte und die erforderlichen technischen Einrichtungen.

Dabei spielt besonders für niedrigkonzentrierte Abfallstoffe die Frage des Energieaufwandes eine massgebende Rolle. Rückgewinnung ist gleichbedeutend mit Extraktion und Aufkonzentrierung eines Stoffes aus einer verdünnten Form. Die Grundsätze der Thermodynamik lehren uns, dass dazu um so mehr Energie notwendig ist, je niedriger die Konzentration ist.

### Rohstoffpreise

Oft stellt sich die Frage, ob der zurückgewonnene Stoff von einer anderen Quelle billiger bezogen werden könnte. Die handelsüblichen Rohstoffkosten sind also mit den Kosten für die Rückgewinnung aus einem vorhandenen Abfall zu vergleichen.

Dabei schliessen die Rohstoffkosten ein Element ein, dessen Berücksichtigung oft gefordert wird: die Knappheit eines Stoffes resp. dessen Gesamtreserven. Bekanntlich ist die Menge eines *abbaubaren* Metalls, zum Beispiel Kupfer, in den Erzlagerstätten der Erde nicht eine gegebene fixe Grösse. Die Konzentrationsgrenze eines Erzes, über der noch eine wirtschaftliche Förderung möglich ist, sinkt, je knapper ein Element wird. Um so mehr aber steigt der Rohstoffpreis, und mit steigendem Rohstoffpreis lassen sich wieder zusätzliche, weniger konzentrierte Erze wirtschaftlich verarbeiten. Der Rohstoffpreis enthält also als Teilelement die Verfügbarkeit eines Rohstoffes.

### Folgen der Nichtrückgewinnung – Entsorgung als Alternative

Die Nichtrückgewinnung eines Stoffes kann unter Umständen negative Auswirkungen haben, und um Schäden zu vermeiden, muss ein Abfallstoff umweltgerecht entsorgt werden. Dies ist immer auch mit Entsorgungskosten verbunden, die nach dem Verursacherprinzip dem verursachenden Produkt angelastet werden. Entsorgungskosten sind daher ein Teil der Produktionskosten, die es gesamtlich zu senken gilt.

Aber nicht nur aus wirtschaftlichen, sondern auch aus entorgungstechnischen Gründen kann sich eine Stoffrückgewinnung vorteilhaft erweisen. Hier ist zu prüfen, ob ein Abfallstoff den Betrieb einer Anlage, zum Beispiel einer Kläranlage, negativ beeinflusst und daher anderweitig eliminiert werden muss.

#### Logistische Aspekte

Selbstverständlich spielen auch hier *Transportprobleme* und -kosten mit, wenn der Ort der Entstehung nicht gleich dem Ort der Verwertung ist.

Von Bedeutung ist zudem die *Gleichmässigkeit der Abfallentstehung*. Abfälle, die in grosser Menge über einen längeren Zeitraum anfallen, können eher einer Verwertung zugeführt werden, als einmalige Chargen. Für einmalige Produkte lohnt sich im allgemeinen auch kein Forschungs- und Entwicklungsaufwand zur Suche nach Verwertungsmöglichkeiten.

#### Arbeitshygiene

Die Frage der Arbeitshygiene ist im Zusammenhang mit Recycling in der chemischen Industrie weniger relevant, weil solche Verfahrensschritte dem gleich hohen Standard in Sachen Arbeitshygiene genügen müssen, wie andere chemische Synthesen. Diese Frage dürfte sich aber bei der Sortierung und Regeneration von Haushaltsabfällen bemerkbar machen, etwa wenn es darum geht, akzeptable Arbeitsbedingungen zu schaffen und Arbeitskräfte zu finden, die bereit sind, Hausmüll zu sortieren.

Unter Berücksichtigung obiger Faktoren muss nun der *Entscheid*, ob in einem bestimmten Fall eine Rückgewinnung sinnvoll ist, *fallweise* getroffen werden. Erste Priorität kommt der Verhinderung von Umweltschäden zu. Diese Schäden können jedoch verhindert werden durch sachgerechte Entsorgung einerseits oder durch Recycling andererseits.

Bei der Wahl zwischen diesen beiden Varianten wird ein Unternehmen den *Kosten der Alternativen* grosses Gewicht zumessen müssen und jene wählen, die am billigsten ist; dabei sind natürlich auch die Entsorgungskosten mitzubedenken.

Es mag scheinen, dass damit die ideellen Gesichtspunkte der Verknappung der Ressourcen zu kurz kommen. Wir haben aber oben erwähnt, dass die Knappheit einer Ressource sich in deren Preis niederschlägt. Wird ein Rohstoff knapp und teuer, so wird dessen Austausch durch Ersatzstoffe automatisch gefördert. Dabei kann als Ersatz durchaus auch dessen Gewinnung aus einem Abfallstoff in Frage kommen.

#### Zeitabhängigkeit

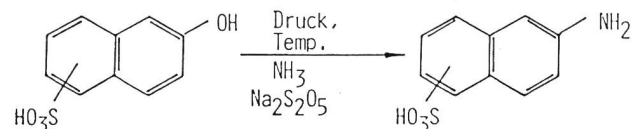
Der *Entscheid*, einen Stoff zurückzugewinnen oder nicht, kann sich mit der Zeit ändern. Jeder der obenerwähnten Faktoren ist zeitabhängig, die Rohstoffkosten infolge des sich ändernden Verhältnisses von Angebot und Nachfrage, die Rückgewinnungskosten, weil innovative Verbesserungen neue Rückgewinnungsverfahren oder -anlagen ermöglichen, die ein Recycling im Lichte der neuen Gege-

benheiten sinnvoll erscheinen lassen. Solche Änderungen können in beiden Richtungen eintreten: Beispiele zeigen, dass eine Stoffrückgewinnung im Laufe der Zeit aufgenommen oder aber auch aufgegeben werden musste.

#### Fallbeispiele

An einigen Beispielen aus der chemischen Produktion sollen nun diese theoretischen Überlegungen praktisch dargestellt werden.

*Beispiel 1: Rückgewinnung von Ammoniak und SO<sub>2</sub> aus der Synthese eines Farbstoff-Zwischenproduktes (Bucherer-Reaktion)*



*Ammoniak:* Relativ einfache Absorption des zur Synthese im Überschuss eingesetzten Ammoniaks. Der zurückgewonnene wässrige Ammoniak kann in anderen Verfahren wieder eingesetzt werden. Die Rückgewinnung erfolgt in einer Anlage, die Teil der Synthese-Apparatur ist.

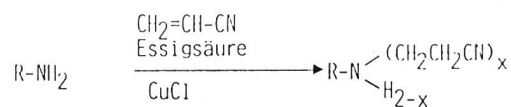
Die Emission des Überschuss-Ammoniaks in die Atmosphäre wäre auf keinen Fall tragbar; die Wiedergewinnung entspricht dem normalen Stand der Technik. Sie ist aber auch wirtschaftlich vorteilhaft. Auf dieser Anlage werden pro Jahr etwa 250 t 30%iger Ammoniak zurückgewonnen.

*Schwefeldioxid:* Bei der Aufarbeitung der Reaktionsmasse entsteht in beträchtlichen Mengen Schwefeldioxid. Dieses wird in einer zweistufigen Absorptionsanlage im Gegenstromprinzip in Natronlauge absorbiert und als 40%ige Natriumbisulfatlösung in verschiedenen anderen Syntheseverfahren wieder eingesetzt.

Eine Einleitung der sulfithaltigen Abwässer in eine Kläranlage wäre unerwünscht, weil sie zu einem hohen zusätzlichen Sauerstoffverbrauch führen würde. Auf der anderen Seite kann das Natriumbisulfat in verschiedenen Verfahren wieder eingesetzt werden. Die Rückgewinnung ist von der Kostenseite her gesehen vorteilhaft, das Natriumbisulfat ist billiger als zugekauft Bisulfat.

*Beispiel 2: Synthese eines cyanaethylierten Amins (Zwischenprodukt für die Synthese von Farbstoffen). Rückgewinnung von Ammoniak, Acrylnitril, Essigsäure, Kupfer, Methanol und Toluol*

Die Synthese erfolgt nach folgender Reaktionsgleichung:



Dieses Fabrikationsverfahren wurde vollständig überarbeitet, vor allem zur Sanierung der Abwassersituation, aber gleichzeitig auch zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Qualität. Trotzdem sind die Gestehungskosten des Endproduktes nach dem heutigen neuen Verfahren etwa 25% höher als vorher.

Folgende Stoffe werden zurückgewonnen:

*Essigsäure* und das im Überschuss eingesetzte *Acrylnitril* werden am Reaktionsende durch Destillation von der Reaktionsmasse abgetrennt und wieder eingesetzt.

Der *Kupfer-Katalysator* wird durch Komplexbildung abgetrennt, das Kupfer als Kupferhydroxid ausgefällt und abfiltriert. Ein direkter Wiedereinsatz des kupferhaltigen Schlammes ist nicht möglich; dieser wird zur Regeneration an eine Kupferhütte abgegeben.

Als Lösungsmittel werden Toluol und Methanol eingesetzt, diese werden im Laufe der Synthese abdestilliert, regeneriert und an verschiedenen Orten wieder eingesetzt.

Die Investition für die gesamten prozessspezifischen Apparaturen zur Rückgewinnung betrug etwa 1 Mio Franken. Diese Investition verlangt eine möglichst hohe Auslastung der Einrichtungen durch eine konstante Produktionsmenge.

### Beispiel 3: Rückgewinnung von Lösungsmitteln

In einer Synthese werden die verschiedensten Reaktionsschritte in Lösungsmitteln durchgeführt. Je nach Reaktionstyp sind Art und Menge der eingesetzten Lösungsmittel verschieden. Schon aus rein wirtschaftlichen Gründen werden Lösungsmittel bei der Aufarbeitung der Reaktionsgemische wenn immer möglich abgetrennt, gereinigt und wieder eingesetzt.

Die Reinigung erfolgt im allgemeinen durch Destillation, sowohl in betriebseigenen als auch in zentralen Anlagen. Je nach Menge und Lösungsmittel werden kontinuierlich oder chargenweise arbeitende Anlagen eingesetzt. Unter Umständen muss das Lösungsmittel vorgereinigt werden, zum Beispiel durch Filtration, durch Entwässerung oder durch andere Verfahren.

Diese Form von Recycling wird seit Beginn der chemischen Industrie durchgeführt; sie entspricht dem normalen Stand der Technik und ist auch aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhaft. Im Normalfall ist die Regeneration eines Lösungsmittels billiger als dessen Zukauf.

Zu wirtschaftlichen Überlegungen kommen heute mehr denn je auch Umweltschutzgründe. In besonderem Masse trifft dies für die halogenierten Lösungsmittel zu oder für solche, die zu einer Geruchsbelästigung Anlass geben könnten. Nitrobenzol und Pyridin seien als Beispiele genannt.

Aus diesem Grunde werden firmenweit Aktionsprogramme zur Erhöhung des rezyklierten Anteils durchgeführt. Voraussetzung ist die genaue Kenntnis der Mengen und der Verlustorte; diese Anstrengungen sind daher von zum Teil recht umfangreichen analytischen Untersuchungen begleitet.

Einerseits können Erfolge erzielt werden durch Änderungen der chemischen Verfahrensschritte, andererseits werden zur Regeneration dieser verhältnismässig kleinen Anteile die verschiedensten technischen Verfahren eingesetzt. Deren Wahl erfolgt jeweils aufgrund der spezifischen Gegebenheiten. Massgebend sind dabei wirtschaftliche Gesichtspunkte, aber auch Fragen der Wirksamkeit, um die aus Umweltschutzgründen geforderten niedrigen Restkonzentrationen zu erreichen.

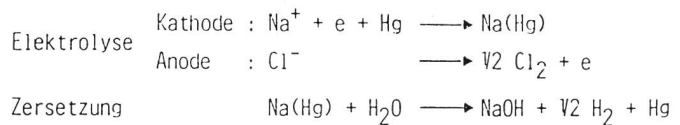
Die technischen Verfahren umfassen:

- Adsorption an Aktivkohle,
- Auskühlen und Kondensieren,
- Absorption in flüssigen Absorbentien, gefolgt von einer Regeneration
- Strippen von Lösungen,
- destillative Trennung aus flüssiger Phase,
- Extraktion aus flüssiger Phase,
- verbesserte Vakuum- und Kühlsysteme
- und andere.

Da hier die Regeneration aus einer verdünnten Lösung erfolgt, sind die Regenerationskosten oft höher als der Ersatzpreis des Lösungsmittels.

Gesamthaft werden in den Werken der Ciba-Geigy in der Schweiz pro Jahr gegen 250 000 t der verschiedensten Lösungsmittel regeneriert. Die Anstrengungen zur weiteren Erhöhung dieses Anteils werden weitergeführt.

*Beispiel 4: Elektrolyse von Kochsalz zur Gewinnung von Chlor und Natronlauge, Rückgewinnung von Quecksilber*  
Natronlauge und Chlor sind zwei Grundchemikalien, die aus der Elektrolyse von Kochsalz entstehen. Auch heute noch wird zu diesem Zweck hauptsächlich das sogenannte Amalgamverfahren eingesetzt.



Dabei bildet Quecksilber die Kathode, an der das Natrium ausgeschieden wird, in einer zweiten Stufe wird in der Folge das Natrium aus dem Quecksilbernatriumamalgam durch Wasser zersetzt, wobei sich Natronlauge und Wasserstoff bilden. Das Quecksilber fliesst aus dieser Regenerationsstufe zurück in die eigentliche Elektrolysestufe. Würde man an einem Punkt dieses Kreislaufs das in einem Tag durchfliessende Quecksilber wägen, so würde dessen Menge etwa 9000 t/Tag betragen.

An verschiedenen Stellen dieses Prozesses entstehen Abwasserströme in grösseren oder kleineren Volumen, die mehr oder weniger mit Quecksilber verunreinigt sind. Aus Umweltschutzgründen können diese Abwasserströme nicht ohne Vorbehandlung in eine Kläranlage eingeleitet werden.

Das Quecksilber wird aus den gesammelten Abwässern durch ein speziell entwickeltes Verfahren entfernt; die Hauptstufe besteht aus 2 Adsorptions-Kolonnen mit einem speziellen Ionenaustauscherharz, um das Quecksilber zu adsorbieren. Periodisch wird eine der beiden Kolonnen regeneriert und das zurückgewonnene Quecksilbersalz wird wiederum in die Elektrolyse zurückgeführt.

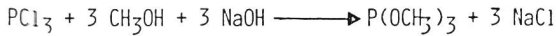
Die regenerierte Menge liegt in der Grössenordnung von  $\frac{1}{2}$  bis 1 kg/Tag, dies entspricht etwa 0,1 ppm der Umlaufmenge. Die restlichen Verluste betragen noch etwa 1 g/Tag, also etwa 0,1 ppb (der  $10^{-10}$ te Teil) der Umlaufmenge. Diese Regeneration von Quecksilber erfolgt weitgehend aus Umweltschutzgründen. Kostenmässig ist der Preis des zurückgewonnenen Quecksilbers etwa 10mal höher als der Zukaufspreis für neues Quecksilber.

Zusammenhänge zwischen Konzentration und Regenerationskosten zeigen sich bei der Rückgewinnung von Quecksilber aus Altbatterien. Während es wirtschaftlich tragbar ist, Quecksilber aus den eigentlichen Quecksilber-elementen (Gehalt etwa 40%) zurückzugewinnen, ist dies bei der Regeneration aus normalen Trockenbatterien, die noch etwa 1,5% Quecksilber enthalten, nicht mehr möglich. Erstere werden daher gesammelt und der Regeneration zugeführt, letztere werden geordnet deponiert.

### Beispiel 5: Wasserstoff aus der Elektrolyse von Kochsalz

Bei der in Beispiel 5 beschriebenen Elektrolyse entsteht als Nebenprodukt Wasserstoff. Während dieser früher nur teilweise weiterverwendet wurde, legt man heute im Rahmen der gesamten Energieproblematik grosses Gewicht auf eine möglichst vollständige Wiederverwertung. So werden bei der beschriebenen Anlage im Ciba-Geigy-Werk Monthey etwa zwei Drittel der anfallenden Menge als Energieträger eingesetzt, etwa ein Drittel wird in verschiedenen chemischen Verfahren wiederverwendet, beispielsweise zur Synthese von Salzsäuregas, für Hydrierungen und zur Regeneration von Katalysatoren. Das Energieäquivalent entspricht etwa 2000 bis 2500 t Heizöl im Jahr.

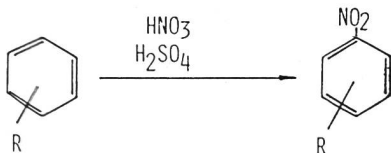
**Beispiel 6: Rückgewinnung von Kochsalz aus der Synthese von Trimethylphosphit**



Trimethylphosphit (TMP) wird in beträchtlichen Mengen als Rohstoff in der Synthese verschiedener Phosphorderivate eingesetzt. Bei seiner Herstellung entsteht durch Neutralisation der gebildeten Salzsäure Natriumchlorid in verunreinigter, wässriger Lösung. Diese wird gereinigt, um restliches Phosphat auszufällen, anschliessend wird das Kochsalz wiederum zur Herstellung von Chlor und Natronlauge in der Elektrolyse eingesetzt. Der Gestehungspreis der Salzsole aus regeneriertem Natriumchlorid ist etwa 2mal so hoch wie der Zukaufspreis für frische Sole aus den Salzlagerstätten. Die Rückgewinnung erfolgt, weil der Betrieb der Kläranlage durch diese Salz mengen beeinträchtigt werden könnte, aber auch wegen der Problematik der Salzlasten in Flüssen und Seen. Es sind also nur Umweltschutzgründe, die ausschlaggebend sind.

**Beispiel 7: Abfallschwefelsäure**

Schwefelsäure setzt man in den verschiedensten Synthese-Verfahren ein. Sie hat hauptsächlich die Funktion eines Lösungsmittels und liegt am Ende der Reaktion in verunreinigter und verdünnter Form vor. Konzentration und Art der Verunreinigung hängen vom Einsatz ab. Beispiel: Nitrierungsreaktion von Aromaten

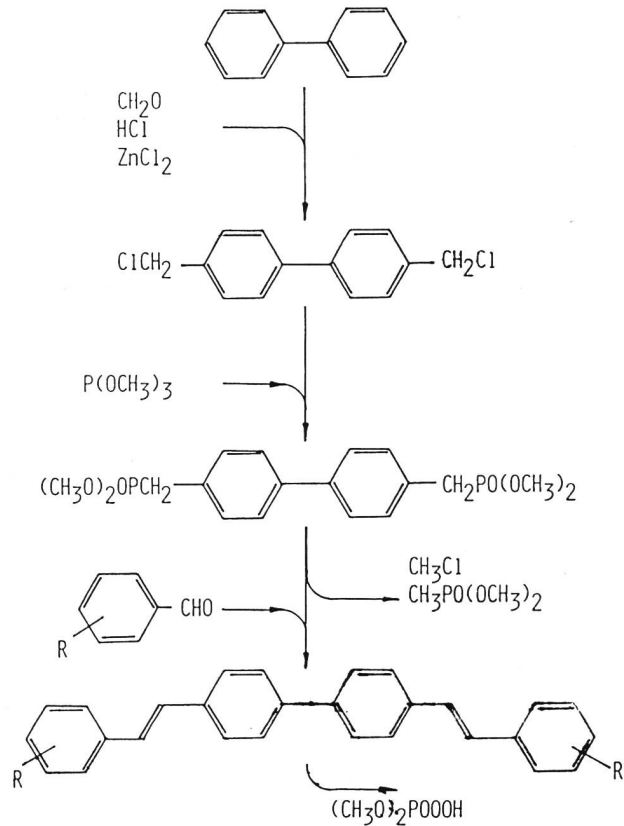


Eine Rückgewinnung oder eine sachgerechte Entfernung aus den Abwässern ist notwendig wegen der Salzproblematik unserer Flüsse, besonders aber des Rheins, aber auch weil die Neutralisationskapazität einer Kläranlage begrenzt ist. Für die Rückgewinnung existieren seit Jahrzehnten die verschiedensten industriellen Verfahren. Verschiedene Rückgewinnungsmöglichkeiten wurden daher im Vergleich zu anderen Entsorgungsmöglichkeiten eingehend untersucht. Dabei erwies sich in unserer Situation die Rückgewinnung durch sogenannte «Spaltoxidation» am vorteilhaftesten. Die Abfallsäure wird bei etwa 800°C zu Schwefeldioxid gespalten und dieses mittels des Kontaktverfahrens zu neuer Schwefelsäure aufgearbeitet. Diese Regenerationsmethode verlangt Einrichtungen, die auf grosse Durchsatzmengen hin ausgelegt und konzipiert sind. Daher wird die Rückgewinnung nicht in den eigenen Betrieben, sondern durch eine dafür spezialisierte Firma durchgeführt.

Die wirtschaftlichen Aspekte hängen von Konzentration, Gehalt an Verunreinigungen und Menge ab. Zur Spaltung der Schwefelsäure und zur Verdampfung des mitgeschleppten Wassers muss Energie aufgewendet werden. Daher ist diese Regenerationsart wirtschaftlich nur bei Konzentrationen über 40 bis 50% durchführbar. Ein eigentlicher Erlös ist für den Lieferanten in diesem Fall nicht zu erwarten. Hingegen können anderweitige Entsorgungskosten eingespart werden.

**Beispiel 8: Synthese eines optischen Aufhellers**

Die Herstellung dieser Substanz kann in einem dreistufigen Verfahren erfolgen. Dieses Beispiel erlaubt es, verschiedene Regenerationszyklen im Rahmen des Gesamtverfahrens darzustellen. Die ganze Synthese wurde im Laufe der Jahre dauernd über-



arbeitet und ausgefeilt. Sie weist heute verschiedene geschlossene Stoffkreise auf. So werden Lösungsmittel, Zinksalze, Aktivkohle, ein isomeres Phosphorderivat (Dimethylmethanphosphonat), Methylchlorid, Dimethylformamid sowie Phosphate regeneriert und zurückgeführt. Teilweise werden diese rückgewonnenen Stoffe im gleichen Verfahren wieder eingesetzt, teilweise in anderen Synthesen, teilweise verkauft.

Hinter diesen Verbesserungen liegt ein Forschungs- und Entwicklungsaufwand von etwa 5 Mio Franken, der sich über mehrere Jahre erstreckte. Auch hier wurden Möglichkeiten des Recycling im Rahmen der normalen Überarbeitung des Produktionsverfahrens gesucht und angewendet. Daraus folgte sowohl eine wirtschaftliche Verbesserung als auch eine Sanierung gewisser Umweltschutzprobleme. Diese zu werten und genau voneinander zu trennen, ist jedoch hier wie in vielen anderen Fällen nicht möglich.

Diese Beispielen zeigen, dass in den verschiedensten Syntheseverfahren Stoffe abgetrennt, gereinigt und dann wieder eingesetzt werden. Die Begründungen dazu sind zum Teil wirtschaftliche, zum Teil sind es aber reine Umweltschutzmassnahmen. Die Reihe der Beispiele könnte ohne Schwierigkeiten verlängert werden.

Daneben gibt es aber auch Fälle, bei denen trotz intensiver Bemühungen der Forschungs- und Entwicklungsabteilungen eine Rückgewinnung eines Stoffes nicht sinnvoll durchgeführt werden konnte.

So entsteht aus der Synthese eines Desinfektionsmittels für die Waschmittel-Industrie ein Nebenprodukt (ein Furanderivat), das zwar in relativ reiner Form anfällt, für das aber trotz jahrelanger Bemühungen keine Einsatzmöglichkeit gefunden werden konnte, obschon diese Substanz zum Gestehungspreis Null hätte in einer Synthese eingesetzt werden können. Dieses Beispiel zeigt eine der Grenzen des Recycling: keine Verwendungsmöglichkeit für einen bestimmten Abfallstoff. In einem anderen Fall wird

zwar die Abscheidung von Kupfer aus Abwässern durchgeführt, für die anfallenden kupferhaltigen Schlämme besteht jedoch keine Verwendungsmöglichkeit, die auch vom wirtschaftlichen Gesichtspunkt her gesehen sinnvoll ist. Solche Kupferschlämme können allenfalls kostenlos abgegeben werden, ein eigentlicher Erlös ist in der heutigen Marktsituation nicht erzielbar. Hier wurde zwar die Umweltschutzproblematik durch die Abscheidung des Kupfers aus einem Abwasserstrom gelöst, das abgeschiedene Metall wird aber nicht wieder eingesetzt.

### Zusammenfassung

Bei der Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen des Recycling in der chemischen Industrie müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Die Idee des Recycling ist in der chemischen Industrie altbekannt. Es gehört zur täglichen Arbeit aller Forschungs- und Entwicklungsabteilungen, Produktionsverfahren dauernd zu optimieren. In diesen Bestrebungen eingeschlossen ist auch die Suche nach Möglichkeiten, Abfallstoffe wenn immer möglich zu verwerten.
- Im Rahmen der vielfältigen Struktur der schweizerischen Spezialitäten-Chemie ist der Gedanke des Recycling nicht auf wenige grosse Verfahren beschränkt, sondern Stoffrückgewinnung ist das Resultat von vielen kleineren und grösseren Verbesserungen, die bei den verschiedensten Produktionsverfahren im Laufe der Zeit zum Tragen kamen. Weil das technische Know-how sehr oft nicht patentrechtlich geschützt werden kann, werden diese Details oft nicht publiziert und sind daher einer breiteren Öffentlichkeit nicht bekannt. Sie alle tragen aber bei zu dem, was heute oft unter einem anderen Modewort «Clean Technologies» als Ziel für die Zukunft dargestellt wird.
- Im Einzelfall bestimmen verschiedene Faktoren, ob eine Rückgewinnung eines Stoffes durchgeführt werden kann:
  - Verwendungsmöglichkeit
  - Rückgewinnungskosten
  - Rohstoffpreise
  - Folgen der Nichtrückgewinnung und Entsorgungskosten
  - Logistische Aspekte
  - Arbeitshygiene
- Alle der obigen Faktoren können sich im Laufe der Zeit ändern und damit die Gesamtbeurteilung «Recycling oder nicht» verändern.
- Als Folge dieser ständigen Bestrebungen, die im Rahmen der gesamten Anstrengungen zur Verbesserung der Produktionsverfahren gesehen werden müssen, sinken die relativen Mengen der verschiedensten Abfallstoffe pro Menge Nutzgut dauernd ab. Dies führt dazu, dass auch mit zunehmender chemischer Produktion die Gesamtbelastung der Umwelt nicht zunehmen wird.

Adresse des Verfassers: Dr. Gottfried Eigenmann, Zentrale Funktion Technik Konzern, Ciba-Geigy AG, 4000 Basel.

Schriftliche Fassung eines Vortrages, den der Verfasser an der Fachtagung «Abfall – Recycling als innovatorische Aufgabe der Industrie» gehalten hat. Diese Fachtagung fand am 8. Juni 1983 im Rahmen der Pro Aqua – Pro Vita 83, 9. Internationale Fachmesse für Umweltschutz, Wasser, Abwasser, Abfall, Luft, Lärm in Basel statt. Sie wurde von der Schweizerischen Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene, VGL, durchgeführt. Der Pro Aqua AG danken wir für die Erteilung des Copyrights.

Der Tagungsband mit allen Referaten kann bei der Pro Aqua AG, c/o Schweizerische Mustermesse, Postfach, CH-4021 Basel, bestellt werden.

## Speicherprogrammierbares Leitsystem für Wasserkraftwerke

Helmut Zvetko

Der dynamische Betrieb von Wasserkraftwerken, vor allem von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken, erfordert leistungsfähige Leitsysteme, welche die Bereiche Prozessautomation, Optimierung und Prozesskommunikation zuverlässig abdecken.

In der Prozessautomation steigen die Anforderungen nach einer wirkungsvollen Überwachung zum Schutz der hydroelektrischen Einrichtungen, nach schneller Bereitstellung der elektrischen Energie und im Störfall nach Präventivmassnahmen zur Aufrechterhaltung des Kraftwerkbetriebes.

Bei der Optimierung und damit der Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades eines Kraftwerkes werden in zunehmendem Masse die Parameter von der Fallhöhe, die zur Verfügung stehende Wassermenge und die Eigencharakteristik der Maschinensätze ausgewertet und das Resultat für die Einsatzstrategie benutzt.

Das Einsatzprogramm einzelner Maschinen oder ganzer Kraftwerke wird aufgrund der elektrischen Energiebilanz von einer übergeordneten Leitstelle bestimmt. Die Fernwirkanlage zwischen Kraftwerk und dem regionalen oder überregionalen Lastverteiler ermöglicht diese wirtschaftliche Betriebsführung.

Die Mensch-Maschinen-Kommunikation (MMK) stellt die Verbindung zwischen dem Kraftwerksprozess und der Bedienung her. Für diesen Dialog hat der Bedarf an erzielten, aussagekräftigen Informationen in den letzten Jahren stark zugenommen und ist deshalb nur noch mit modernen Wartenausrüstungen sicherzustellen.

Ausgehend von diesen teils sehr komplexen Anforderungen und dem inzwischen gewonnenen Vertrauen in die Mikroprozessortechnik ganz allgemein, hat sich der Einsatz von speicherprogrammierten Leitsystemen in allen Kraftwerksbereichen durchgesetzt. Bei der System- und Geräteentwicklung wurden die Eigenheiten und die hohen Anforderungen bezüglich Verfügbarkeit und Sicherheit im Kraftwerksbetrieb in den Vordergrund gestellt.

Mit dem speicherprogrammierbaren BBC-Kraftwerk-Leitsystem «Procontrol P» steht für den Wasserkraftwerk-Bereich ein dezentrales, modular aufgebautes Gerätesorti-

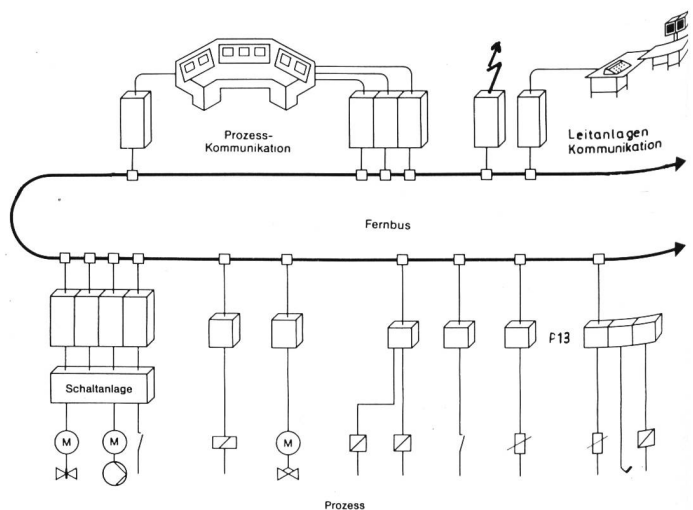


Bild 1. Konfiguration des Kraftwerk-Leitsystems «Procontrol P».