

## Fäll- und Flockungsverfahren zur Reinigung kommunaler Abwässer

### Behandlung von Klärschlämmen bei chemischer Abwasserreinigung

E. HOSENFELD

#### 1. Übersicht

Die chemische Behandlung kommunaler Abwässer galt bisher nur als eine der Maßnahmen, die eine erhöhte Nährstoffzufuhr zu einem stehenden oder langsam fließenden Gewässer und damit eine Schädigung durch starkes Algen- und Pflanzenwachstum (= Eutrophierung) zu verhindern. Es hat sich dabei die Erkenntnis durchgesetzt, daß Phosphor in fast allen Fällen die Schlüsselkomponente darstellt. Darunter ist zu verstehen, daß Phosphor fast immer mit dem geringsten Aufwand aus den Abläufen der Kläranlagen in gefährdete Gewässer soweit reduziert werden kann, daß er im Vergleich mit anderen Komponenten, die am Algen- und Pflanzenwachstum beteiligt sind, im Unterschuß vorliegt (= Minimumfaktor) und damit wachstumsbestimmend wird.

Die Wirkungen der chemischen Fällung sind aber nicht auf die Phosphatreduktion beschränkt, vor allem die Abscheidung von biologisch schwer oder nicht abbaubaren organischen Stoffen, von Schwermetallen und von Krankheitserregern weist der Fällreinigung umfangreichere Aufgaben im Rahmen der Abwasserbehandlungsverfahren zu. Das gilt um so mehr, als im steigenden Maße Trinkwasser aus Oberflächenwasser gewonnen werden muß, wobei vor allem die in konventionellen Kläranlagen nur ungenügend abgeschiedenen Schwermetalle große Probleme aufwerfen. Außerdem kann die chemische Fällung in konventionelle ein- oder zweistufige Kläranlagen mit nur geringem Investitionsaufwand eingeführt werden, was zu einer Entlastung von Anlagen führt, deren Reinigungsleistung nicht mehr ausreicht. Wegen des großen Nachholbedarfes bei Neu- und Ausbau von Kläranlagen kann eine schnelle Ver-

besserung des Gewässerzustandes dadurch erreicht werden, daß eine mechanisch-chemische Reinigung eingerichtet wird, bis die Finanzierung einer vollbiologisch arbeitenden Kläranlage gesichert ist bzw. sonstige technische Voraussetzungen geschaffen sind. In dieser Zeit wird mit der chemischen Fällung nicht nur eine um etwa 100% gesteigerte Reduzierung der organischen Schmutzstoffe erreicht, es werden auch der Nährstoff Phosphor und die Schwermetalle maßgeblich reduziert. Für einen derart entlasteten Vorfluter ist von Bedeutung, daß gerade die schwer oder nicht abbaubaren organischen Stoffe ferngehalten werden, die seine Selbstreinigungskraft übersteigen. Schließlich muß daran gedacht werden, daß praktisch alle Schmutzstoffe ihre negative Wirkung wegen der durch viele Umstände bereits stark eingeschränkten Selbstreinigungskraft auf der gesamten Fließstrecke der Gewässer und in den aufnehmenden Meeren kaum noch verlieren.

Bei nur örtlicher Betrachtung von Eutrophierungsproblemen kommen zwei andere Möglichkeiten zur Seenregenerierung in Frage:

Eine *Direktbehandlung*, bei der Fällmittel dem See direkt zugeführt werden und die Fällungsprodukte sich auf dem Seeboden ablagern. Eine solche Maßnahme kommt nur in Sonderfällen in Betracht. Als einmaliger Prozeß zusätzlich zur Einführung einer dreistufigen (einschließlich chemischer) Reinigung der Zuläufe hat sie ihre Berechtigung, wenn die Voraussetzungen hierfür gegeben sind und geeignete Fällmittel verwendet werden.

*Ringleitungen* halten alle mit dem Kanalisationsnetz erfaßbaren Schmutz- und Schadstoffe dem See fern. Eine Ringleitung ist deshalb für den einzelnen See die beste Sanierungsmaßnahme. Sie ist jedoch oft mit großem Investitionsaufwand verbunden und wird in der Regel unter dem Gesichtspunkt eingerichtet, daß eine chemische Fällstufe in der Kläranlage am Fußpunkt der Ringleitung eingespart werden kann. Deren Vorfluter ist meist ein Fließgewässer, das durch Eutrophierung nicht gefährdet wird. Im Sinne einer weiträumigen Betrachtung des Gewässerschutzes muß darauf geachtet werden, daß Probleme bei der Wurzel angefaßt und nicht verlagert werden. Insofern ist die Ringleitung in der Regel als Zusatzmaßnahme zur Fällreinigung, nicht aber als Alternative anzusehen.

## 2. Beispiel Schweden

Abb. 1 zeigt den Anschluß der schwedischen Bevölkerung in den Jahren 1960 bis 1975 an Kläranlagen, aufgeteilt in mechanische, mecha-

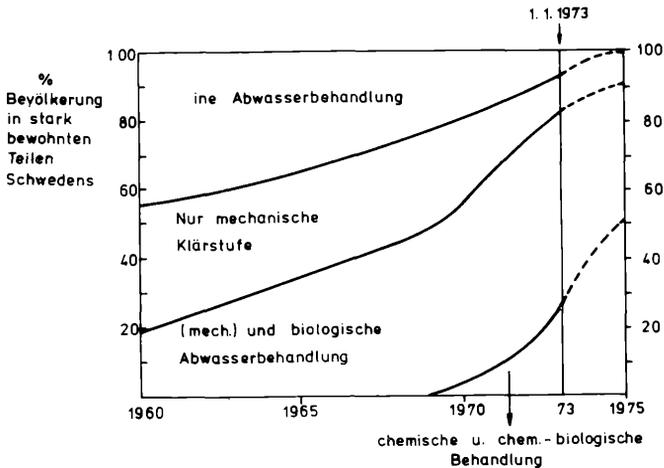


Abbildung 1

Anschluß der schwedischen Bevölkerung an Kläranlagen

nisch-biologische und in Anlagen mit chemischer Stufe. 1974/75 werden 50% der Bevölkerung in bewohnten Gebieten an Fällstufen angeschlossen sein. Dieser fast explosionsartige Anstieg kann nicht allein auf Eutrophierungsprobleme zurückgeführt werden. Die schwedischen Behörden subventionieren großzügig die Einrichtung von Fällstufen, wie in Abb. 2 dargestellt ist. Die prozentuale P-Eliminierung steht als ein Kriterium, sie gilt aber eigentlich mehr als Maßstab für die hohe Reinigungsleistung einer Kläranlage, die eine chemische Fällung beinhaltet. Die mit der Fällung über die Phosphatelimination hinaus erreichten Reinigungswirkungen wurden im Vortrag von Herrn Dr. MALZ bereits genannt, auf einige Vorteile wird später im einzelnen noch eingegangen. Übliche Ablaufwerte von Kläranlagen mit nachgeschalteter chemischer Reinigung sind 5 bis 10 mg BSBs/l, weniger als 0,5 mg P/l — unabhängig vom Phosphorgehalt im Zulauf — und Sichttiefen bis 3 m. Gleichbleibend gute Ablaufwerte sind vor allem darauf zurückzuführen, daß kurzfristige Überlastungen ausgeglichen und Stoffe, die eine biologische Reinigung stören, mit der Vorfällung eliminiert werden können. Die Wirkung der chemischen Fällung selbst wird von Belastungs- und Giftstoffen so gut wie nicht beeinträchtigt.

BSB-Abbau	Reduzierung des Phosphorgehalts		
	< 50%	50-89%	≥ 90%
	Zuschüsse in %		
60 - 74%	30	35	40
75 - 89%	30	35	45
≥ 90%	35	40	50

Abbildung 2  
Subventionierung von Baukosten schwedischer Kläranlagen

Eine P-Reduzierung auf 0,5 mg/l stellt ein sehr weit gestecktes Ziel dar. Bekanntlich werden für den Bodensee 85% P-Reduktion und Ablaufwerte unter 1 mg P/l im 24-Stundenmittel, bezogen auf das in 2 Stunden abgesetzte Rohwasser gefordert.

Man hatte in Schweden zunächst die Befürchtung, daß solche Werte nicht mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erreicht werden können. Erst durch systematische Entwicklungsarbeiten auf den Gebieten Prozeßführung, Meß- und Regeltechnik, Klärwerkseinrichtungen usw. wurde das gesteckte Ziel erreicht. Das schwedische Umweltschutzamt erklärt heute, daß der Kulminationspunkt der Gewässerverschmutzung in Schweden überschritten sei, was mit konventionellen Verfahren nicht möglich gewesen wäre.

### 3. Grundlagen der Fällung und Flockung

Die chemische Abwasserbehandlung setzt sich bekanntlich zusammen aus der Fällung und der Flockung. Fällung bedeutet Umwandlung echt gelöster in unlösliche Stoffe. Dieses erfolgt spontan, wenn z. B. hochkonzentrierte Fällmittellösungen auf Aluminium- und Eisenbasis mit pH-Werten von 1 bis 2 in das Schmutzwasser gegeben werden. Große

Turbulenz des Wassers ist für eine möglichst quantitative Fällung der Phosphate und Metalle erforderlich.

Flockung bedeutet Überführung von suspendierten Stoffen und Kolloiden in abscheidbare Flocken. Für die Agglomeration der gebildeten Mikroflocken ist eine sich abschwächende Abwasserbewegung vorteilhaft. Die Zeit für die Bildung großer absetzbarer Flocken sollte nicht unter 5 Minuten sein. Durch Zugabe von Polyelektrolyten kann die Flockenbildung verbessert, d. h. auch zeitlich verkürzt werden. Es ist also z. B. möglich, bei vorhandenen Kläranlagen mit zu geringen Aufenthaltszeiten im Absetzbecken nach der Flockung eine einwandfreie Schlammabscheidung zu gewährleisten, indem Polyelektrolyte zugegeben werden. In der Abwassertechnik werden vor allem synthetische organische Polyelektrolyte interessant, die nichtionogen, anionenaktiv oder kationenaktiv sein können.

Bei der Bildung der Flocken werden weitere Schmutzstoffe durch Einschluß und Anlagerung entfernt. Die Flocken haben eine Potentialdifferenz gegenüber der Lösung. Diese wird als Zetapotential bezeichnet. Wie aus Abb. 3 zu ersehen ist können im niedrigen Bereich, wenn das Zetapotential gegen 0 geht, auch Kolloide geflockt werden. Bei extrem hohen Abweichungen von der Nulllinie empfiehlt es sich, Polyelektrolyte zuzugeben, um eine Überdosierung von Fällmitteln zu vermeiden.

Das mit AVR bezeichnete Fällmittel wird in Schweden auf Basis Aluminiumsulfat hergestellt und in Granulatform geliefert. Es wird in etwa 80% der schwedischen Kläranlagen angewandt.

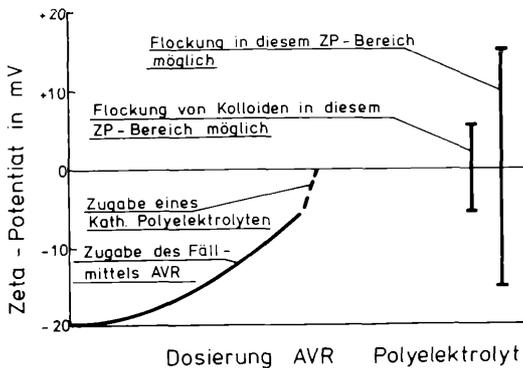


Abbildung 3  
Kombination von Fäll- und Flockungshilfsmitteln

## 4. Kosten von Fäll- und Flockungsmitteln

In Abb. 4 ist eine Aufgabenstellung für die Phosphatelimination aus kommunalen Abwässern angegeben. Pro 2 Mole P, die durch die Fällung abgeschieden werden sollen, werden bei Aluminium- und Eisensalzen drei Mole dreiwertige Metallionen benötigt. Für AVR mit ca. 10% Al- + Fe-Anteil, entsprechend 17% Al- + Fe-Oxid, bedeutet das einen

$$\begin{aligned} \text{Konz im Zulaufwasser} &= 14 \text{ gP / m}^3 \\ \text{Verzehr durch Bakterien in Biostufe} &= 3 \text{ gP / m}^3 \\ \text{zul Restgehalt im Ablauf der Anlage} &= 1 \text{ gP / m}^3 \\ \text{durch Fällung zu eliminieren} &= \underline{\underline{10 \text{ gP / m}^3}} \end{aligned}$$

$$\text{prozentuale Gesamtreduktion} \quad \frac{3+10}{14} = \underline{\underline{\text{ca. } 93\%}}$$

Abbildung 4  
Aufgabenstellung P-Elimination

$$\begin{aligned} \text{AVR - Verbrauch} &= 16 \frac{\text{g}}{\text{gP}} \cdot 10 \frac{\text{gP}}{\text{m}^3} = 160 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \\ \text{AVR - Kosten} &= 1,5 \frac{\text{öS}}{\text{kg}} \cdot 0,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \underline{\underline{0,24 \frac{\text{öS}}{\text{m}^3}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AVR - Kosten} & \\ \text{bei } 2001 \frac{\text{Abw}}{\text{E} \cdot \text{d}} &\hat{=} 5 \frac{\text{E} \cdot \text{d}}{\text{m}^3} = \\ &= \frac{0,24 \text{ öS} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot 5 \text{ E} \cdot \text{d}} = \text{ca. } \underline{\underline{0,05 \frac{\text{öS}}{\text{E} \cdot \text{d}}}} \\ &= \underline{\underline{17,5 \frac{\text{öS}}{\text{E} \cdot \text{a}}}} \end{aligned}$$

Abbildung 5  
Kalkulation von Fällmittelkosten

Fällmittelverbrauch von 16 g AVR/g P. A b b. 5 zeigt die Kalkulation des Fällmittelverbrauches an einem heute für Österreich geltenden Beispiel. Die Herstellkosten für AVR liegen in Schweden bei öS 750.—/t, d. h. bei etwa öS 900.— bis 1.100.—/t frei Verbraucher. Bei Anlieferung nach Österreich erhöhen sich die Ab-Werk-Kosten um ca. 100%, so daß in die Rechnung öS 1.500.—/t eingesetzt wurden.

Die Installationskosten einer Silo-, Dosier- und Auflösestation für AVR liegen je nach Größe und Zubehör zwischen öS 150.000.— und öS 600.000.—, für Polyelektrolyte kostet eine solche Station etwa öS 50.000.—. Diese Angaben gelten für kleinere bis mittelgroße Kläranlagen. A b b. 6 zeigt das Foto einer AVR-Station mit 50 m<sup>3</sup>-Silo. Eine solche Station wird fertig-verdrahtet angeliefert und kann innerhalb weniger Stunden aufgestellt und in Betrieb genommen werden.



Abbildung 6  
Montage einer Dosierstation für AVR mit 50 m<sup>3</sup>-Silo

Als Beispiel für die Wirksamkeit der Polyelektrolyte in Verbindung mit dem erwähnten schwedischen Fällsalz kann auf eine norddeutsche Kläranlage verwiesen werden, die nur ein Absetzbecken mit weniger als 1 Stunde Aufenthaltszeit besitzt. 70% BSB-Reduktion werden im Dauerbetrieb erreicht. Die Phosphatelimination, die ebenfalls sehr effektiv ist, wird hier nur als Nebeneffekt betrachtet.

### 5. Fällmittelarten, Kostenvergleich

Fällmittel werden auf Basis Aluminium, Eisen und als Kalk bzw. Kalziumhydroxyd angeboten. Von den erstgenannten kommen Sulfate und Chloride in Betracht, die in Abb. 7 aufgeführt sind. Diese Tabelle ist nicht vollständig, beispielsweise fehlt reines Aluminiumsulfat, das allerdings nur dann eine gute Flockenbildung bringt, wenn andere Chemikalien, z. B. Kalk, zugesetzt werden. Der Zusatz von Kalk setzt jedoch den pH-Wert herauf, sodaß die Fällung erschwert wird. Die Kombination ist darüber hinaus relativ teuer.

Am billigsten ist Eisen-II-Sulfat, das oxydiert wird, um seine Wirksamkeit zu erhöhen. Dieses kann z. B. durch Chlorierung oder durch Abzweigung des hierfür benötigten Sauerstoffs aus der in die Biologie eingetragenen Luftmenge erfolgen. Als Abfallprodukt angebotenes Eisen-

Fällungs- chemikalie	Preis öS/kg	Metall - gehalt	Dosierung		Kosten öS/m <sup>3</sup>
			g Fällungs- mittel <sub>3</sub> pro m <sup>3</sup>	g M <sup>3+</sup> pro m <sup>3</sup>	
Al-sulfat, AVR	1,5	ca. 7% Al <sup>3+</sup> ca. 3% Fe <sup>3+</sup>	100 - 170	10-17	0,15-0,25
Al-chlorid	0,75	3,3% Al <sup>3+</sup>	300 - 400	10 - 13	0,23 - 0,3
Eisen(III)chlorid	3,0	14,5% Fe <sup>3+</sup>	120 - 180	20 - 30	0,36 - 0,54
FeSO <sub>4</sub> chloriert	0,6	20% Fe <sup>3+</sup>	100 - 150	20 - 30	0,07 - 0,09
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0,3	20% Fe <sup>2+</sup>	100 - 150	20 - 30	0,03 - 0,05
Ca (OH) <sub>2</sub>	0,55	55% Ca <sup>2+</sup>	300 - 600	165 - 330	0,16 - 0,33

Abbildung 7

Fällchemikalien, Zusammensetzung, Dosierung und Kosten

II-Sulfat enthält oft unerwünschte oder sogar toxische Schwermetalle. Preise hängen stark von den örtlichen Verhältnissen ab. Die Kosten des Transportes, des Umschlages, der Lagerung in der Kläranlage, der Aufbereitung — soweit erforderlich — und der Dosierung müssen in einen Vergleich einbezogen werden, ebenso der Gehalt an unlöslichen Bestandteilen, die nur den Schlammanfall erhöhen. Die Probleme der Handhabung und die Kosten hierfür sind bei flüssigen, staub- oder granulatförmigen Fällmitteln sehr unterschiedlich.

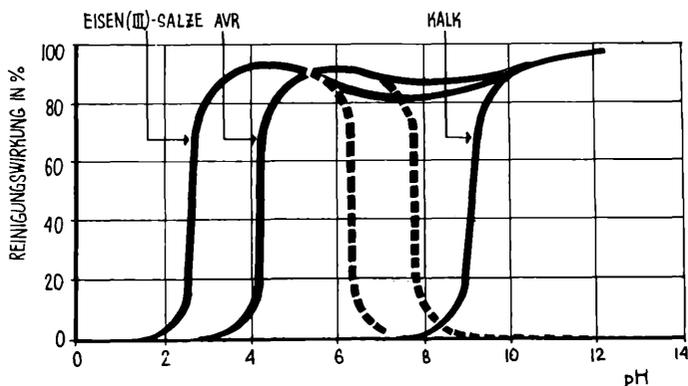


Abbildung 8

pH-Bereich für die Ausfällung von Orthophosphaten in Abwasser

## 6. Einfluß des pH-Wertes, Klärschlammanfall

Der Verbrauch an Fällungsmittel und deren Wirkung sind abhängig vom pH-Wert. Die optimalen pH-Bereiche für AVR sind denen für Eisensalze und Kalk in Abb. 8 gegenübergestellt. Aus den pH-Bereichen ist ersichtlich, daß Aluminiumsulfat in neutralem Bereich, vor allem bei  $\text{pH} = 5$  bis  $7,5$  eine gute Fällung bewirkt, bei Eisen-III-Salzen liegen die optimalen pH-Werte mehr im sauren, bei Kalk eindeutig im stark alkalischen Bereich. Diese Darstellung gilt für destilliertes Wasser. Die pH-Bereiche für Fe- und Al-Fällmittel sind für Schmutzwasser, das generell Kalziumionen enthält, breiter.

Für den Vergleich verschiedener Fällmittel ist außerdem der Anfall an Klärschlamm maßgebend. Abb. 9 zeigte eine Gegenüberstellung bei Fällung mit Al-Sulfat und Kalk. Die mit Kalk erhaltenen Mengen

17\*

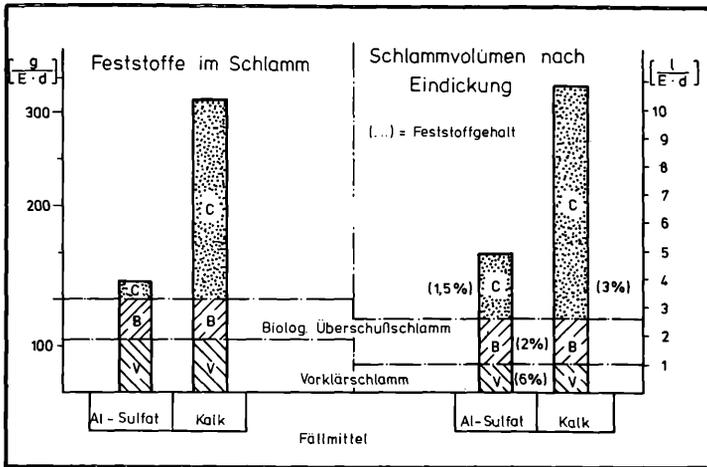


Abbildung 9

Schlammfall bei Fällung mit Al-Sulfat im Vergleich zu Kalk

chemischer Schlamm sind um fast das Zehnfache im Gewicht und um fast das Fünffache im Volumen höher. Der Kalkverbrauch liegt bei neutralem Wasser wegen des für die Fällung mit Kalk erforderlichen hohen pH-Wertes entsprechend hoch. Des weiteren ist zu beachten, daß der Ablauf einer solchen Fällstufe in der Regel neutralisiert werden muß, was nicht nur zusätzliche Kosten verursacht, sondern den Vorfluter auch mit den Neutralisationsprodukten, z. B. Gips, belastet.

## 7. Korrosions- und Unfallgefahr

Da gelöste Fällmittel pH-Werte unter 3 aufweisen, ist der Korrosions- und Unfallgefahr Beachtung zu schenken. Das gilt auch bei Aktivierung von Eisen-II-Sulfat durch Chlorierung. Chloride sind in bezug auf Korrosionen an Metallteilen kritisch. Bei Sulfaten besteht hingegen theoretisch die Gefahr, daß Betonteile der Kläranlage angegriffen werden.

Bei Dosierungen bis 300 g AVR/m<sup>3</sup> Abwasser bleibt jedoch bei normal vorbelasteten Abwässern die Sulfatkonzentration weit unter der kritischen Grenze.

## 8. Wirkung verschiedener Fällchemikalien

Aus vielen Untersuchungen, die in skandinavischen Ländern durchgeführt wurden, ist bekannt, daß Aluminiumsulfat gegenüber Eisenfällmitteln bessere Reduktionen von Phosphor und organischen Stoffen erbringt. In der Schweiz wurden bisher bekanntlich fast ausschließlich Eisenfällmittel eingesetzt. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß Eisen im Gegensatz zu Aluminium Minimumfaktor für das Algenwachstum sein kann, und z. B. für den Bodensee Auflagen bezüglich des Eisengehaltes im Ablauf der Kläranlagen erwogen werden. Da Fällmittel oft reine Eisenverbindungen oder Mischungen von Aluminium- mit Eisensulfaten oder -chloriden sind muß das Gutachten der Limnologen eingeholt werden, ob nicht unzulässig hohe Eisenabläufe in den Vorfluter entstehen.

Eisenphosphatverbindungen können sich bei aneroben Zuständen, z. B. in Bodensedimenten der Seen oder in Faultürmen rücklösen, wodurch die Wirkung der Fällung stark beeinträchtigt werden kann.

Wenn sauerstoffarmes Abwasser der Kläranlage zuläuft, kann z. B. das Fällmittel Eisenchlorid reduziert und damit unwirksam werden.

## 9. Vergleich Vor- und Simultanfällung

Im folgenden werden für den Vergleich verschiedener Fällverfahren Schemata angegeben.

Abb. 10 zeigt die Vorfällung. Da bei der Simultanfällung gleiche Baukörper vorliegen wie bei der Vorfällung, können an diesem Bild die Unterschiede dieser beiden Verfahren aufgezeigt werden. Für die Simultanfällung gibt es leider keine eindeutige Definition, da die Zugabe des Fällmittels zwischen Zu- und Ablauf des Belebungsbeckens möglich ist. Oft wird sogar die Vorfällung als Simultanfällung bezeichnet, obwohl der grundlegende Unterschied darin liegt, daß der chemische Schlamm schon im Vorklärbecken abgeschieden wird und insofern keinen schädlichen Einfluß auf die Biologie hat. Bei höheren Dosierungen von eisenhaltigen Fällmitteln ist immer wieder beobachtet worden, daß die Chemikalien die biologische Reinigung, vor allem bei hochbelasteten Biostufen negativ beeinflussen. Deshalb kann die Simultanfällung nur für Langzeitbelüftungsanlagen empfohlen werden. Da der Trend jedoch eindeutig zu hochbelasteten Biostufen geht, ist für Neuanlagen die Simultanfällung relativ uninteressant.

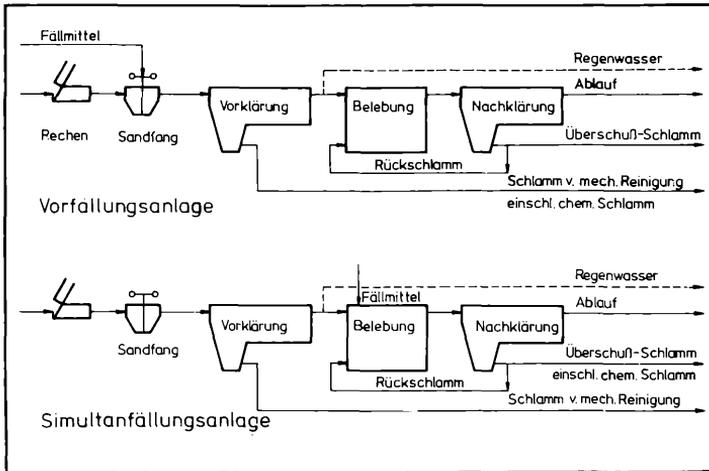


Abbildung 10  
Vor- und Simultan-Fällung

Bei Vergleich der beiden Fällverfahren ist vor allem noch auf folgende Vorteile der Vorfällung hinzuweisen:

1. Abscheidung von Schwermetallen, Öl und Chelatbildnern vor der Biostufe.
2. Entlastung der Biostufe bezüglich organischer Stoffe.
3. Kein negativer Einfluß durch Fällchemikalien in der Biostufe.
4. Verringerung des Ammoniak-BSB's durch Entlastung der Biostufe und damit Schaffung günstiger Bedingungen für Denitrifikations-Bakterien bei hochbelasteten Anlagen.
5. Geringere Ablaufwerte für BSB, P und suspendierte Stoffe.  
— Suspendierte Stoffe enthalten P und Fällmittelreste, was bei Eisenfällmitteln besonders zu beachten ist! —
6. Regenabläufe zwischen mechanischer und biologischer Stufe sind auch chemisch gereinigt.

Das in der Schweiz vielfach angewandte Eisenrückschlammverfahren arbeitet ebenfalls nach der Simultanfällung. Die Wirkung des Fällmittels wird dadurch erhöht, daß der Schlamm, der schon mit Eisenchlorid gefällten Phosphor enthält, in die Vorklärung zurückgegeben und durch

Zugabe von neuem Eisenchlorid nochmals aktiviert wird. Das Ziel dieser Maßnahme ist die Einsparung an Fällmittelkosten.

Über die Vorfällung wurde eine umfangreiche Untersuchung in der Zeit vom 29. 6. bis 14. 7. 1972 im Klärwerk Bismarck der Universität Stuttgart durchgeführt. Dabei wurde eine mit der Fällstraße identische zweite Straße ohne Fällungsmittel gefahren. Abb. 11 zeigt die Abscheidungs- und Ablaufwerte der Vorklärung und der Belebungsstufe. Alle Werte gelten für abgesetzte Proben als 24-Stundenmittel. Phosphatwerte aus filtrierten sind z. B. nur halb so hoch wie aus abgesetzten Proben. Es kam auch zu einer höheren Stickstoffreduktion in der Fällungsstraße. Hierbei handelt es sich um organisch gebundenen Stickstoff, da nur kolloidale und dispergierte Stickstoffverbindungen mit der chemischen Fällung und Flockung eliminierbar sind.

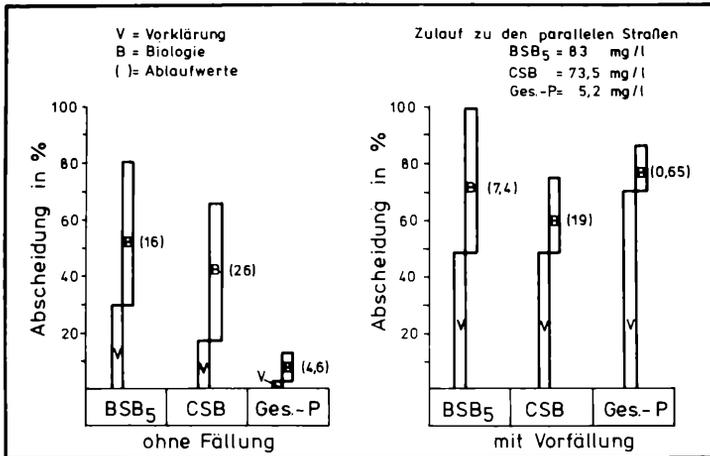


Abbildung 11  
Abscheidungs- und Ablaufwerte Vorfällung in Stuttgart-Bismarck

Abb. 12 gibt die Kurve der Zu- und Ablaufwerte für Phosphate wieder, die beiden Straßen zu- bzw. aus ihnen abließen.

Die Vorfällung bewirkte eine Erhöhung der Aktivität der biologischen Masse in der Biostufe und eine Erhöhung der Stickstoffoxydation.

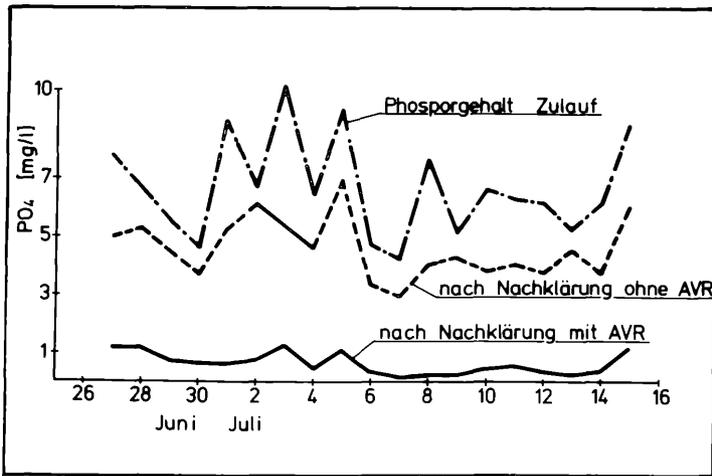


Abbildung 12  
Phosphor-Elimination mit AVR

Die Fällungsstraße produzierte nur 15% mehr Schlammvolumen und 9% mehr an -gewicht.

Die Eisengehalte im Ablauf der Fällungsstraße lagen nur um 0,1 bis 0,15 mg Fe/l höher als in der Nullstraße. Die Kurve in Abb. 13 gibt den Verlauf wieder.

## 10. Direktfällung

In Abb. 14 werden die Verfahren der Direktfällung dargestellt. Eine Biologie ist bei diesen Verfahren nicht vorhanden. Die einfache Form der Direktfällung ist gleichzusetzen mit dem mechanischen Teil einer Kläranlage mit Vorfällung. Es gibt noch eine aufwendigere Art der Direktfällung, bei der nach der mechanischen Stufe, die in diesem Falle keine chemische Reinigung übernimmt, ein Flockungsbecken und eine Schlammabscheidung eingerichtet werden. Durch Zwischenschaltung einer Biologie kann diese Anlage auf eine Nachfällung ausgebaut werden. Der chemische Schlamm wird bei dieser Art der Direktfällung gesondert aufgefangen, was gegenüber der einfacheren Art von Vorteil ist, wie später noch dargelegt wird. Die Wirkungsgrade der Direktfällung sind außerordentlich gut. Im Verhältnis Kosten zu Wirkung ist sie allen

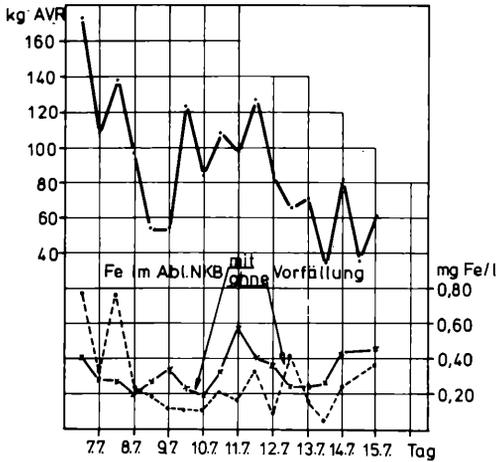


Abbildung 13  
Eisengehalt im Ablauf der Nachklärung

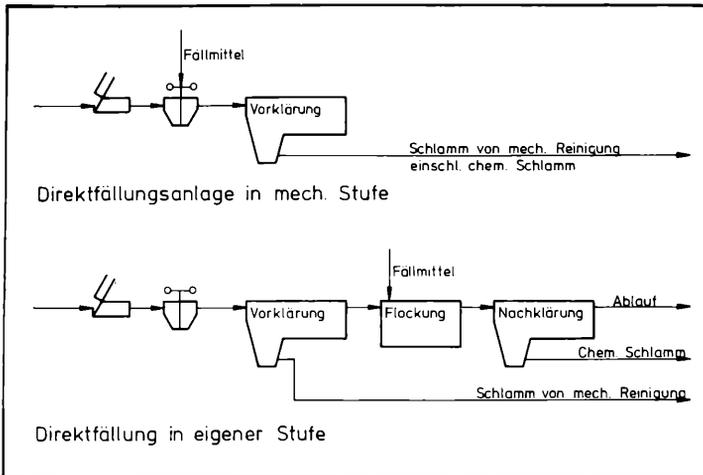


Abbildung 14  
Direktfällung

anderen Reinigungsverfahren überlegen, wenn die Ablaufwerte für organische Stoffe etwa denen einer biologischen Teilreinigung entsprechen. Vor allem als Direktmaßnahme zur Entlastung eines Vorfluters, in dessen Einzugsbereich noch wenig biologische Stufen vorhanden sind, ist diese Fällung interessant. In Küstengebieten können Direktfällungsanlagen auch langfristig als ausreichend angesehen werden.

### 11. Nachfällungsverfahren

Abb. 15 zeigt die Nachfällung, die als 3. Stufe bekannt ist und sowohl in der Tropfkörper- als auch in der Belebtschlammanlage möglich ist. Bei der letzteren fällt der chemische Schlamm immer gesondert an, bei der Tropfkörperanlage nur dann, wenn man ein Zwischenklärbecken einfügt. Auf die Zwischenklärung wird bei Tropfkörperanlagen normalerweise verzichtet, da kein Rückschlamm aufgefangen werden muß. Wird der organische Schlamm jedoch getrennt abgeschieden, so entstehen die schon erwähnten Vorteile bei der Schlammbehandlung.

Eine sehr interessante Variante der Nachfällung ist die Kompaktanlage, bei der auf die Vorklärung verzichtet wird. Vor allem bei nachträglichem Einfügen der chemischen Fällung sollte geprüft werden, ob nicht das vorhandene Vorklärbecken als Nachklärbecken geschaltet wer-

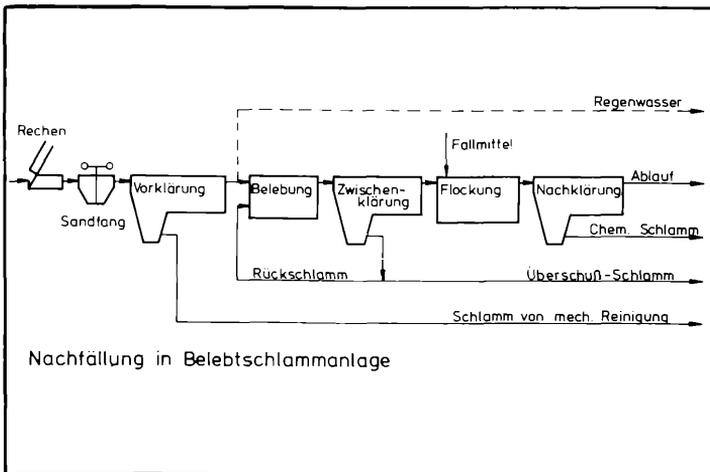


Abbildung 15  
Nachfällung

den kann. Eine Nachfällung zeigt die besten Ablaufwerte, weshalb 80 bis 85% aller schwedischen Kläranlagen mit dieser Fällungsart arbeiten, davon viele als Kompaktanlagen.

## 12. Verbesserung der biologischen Reinigung

Die Entfernung organischer Verunreinigungen durch die Fällung kann bei der Bemessung der biologischen Reinigungsstufe berücksichtigt werden, wodurch Investitions- und Betriebskosteneinsparungen in diesem Anlagenteil möglich sind. Überlastete Kläranlagen können durch Einsatz von Fällchemikalien wieder den behördlichen Anforderungen angepaßt werden, in Erholungsgebieten z. B. können Belastungsspitzen wirtschaftlicher durch Chemikaliengabe in der Saison abgefangen werden, als durch Bau und Betrieb von Kläranlagen, die für diese Spitzen ausgelegt werden.

Kunststofftropfkörper haben pro Volumeneinheit ein Vielfaches an wirksamer Fläche gegenüber konventionellen Brocken-Tropfkörpern. Sie sind weitgehend verstopfungssicher und damit für eine Kompaktanlage bestens geeignet. Für eine biologische Teilreinigung sind sie besonders wirtschaftlich, vor allem wenn die BSB-Zulaufrwerte relativ hoch sind. Eine Leistungssteigerung alter Kläranlagen kann also nicht nur mit Einführung der chemischen Fällung, bei Tropfkörperanlagen darüber hinaus auch mit Austausch von Füllkörpermaterial erfolgen.

## 13. Biologische Teilreinigung und Fällung

Abb. 16 zeigt eine Auswahl von Analysen aus schwedischen Kläranlagen mit der Nachfällung, bei denen die Zuläufe in die chemische

Nachfällung in ARA	EGW	Dosierung	Zulauf ARA	Ablauf Bio-Stufe	Ablauf ARA
Gränna	5000	120g AVR/m <sup>3</sup>	125,5	43,5	5,0mg/l
Forsbacka	2500	350g CaO/m <sup>3</sup>	273	46	8,0mg/l
Malmköping	5000	250g AVR/m <sup>3</sup>	516,5	88,5	25,5mg/l
Hagfors	12000	125g AVR/m <sup>3</sup>	214,5	47,5	14,0mg/l
Själövad	20000	100g AVR/m <sup>3</sup>	215	63	5,0mg/l

Abbildung 16  
BSB-Reduktion in schwedischen Nachfällungsanlagen

Stufe BSB-Werte aufweisen, die einer biologischen Teilreinigung entsprechen. Da die Ablaufwerte der Kläranlage bei dem für die Vollreinigung in der BRD verlangten  $BSB_5 = 25 \text{ mg/l}$  und darunter liegen, ergibt sich eine für die gesamte Abwassertechnik sehr bedeutende Überlegung. Nach Abb. 17 steigt der Baukostenindex für die BSB-Reduktion über 80% hinaus stark an. Daß die nachgeschaltete Fällung aber gerade diese, von der Investition her teurere biologische Endreinigung bewirkt, macht diese Kombination für alle Kläranlagen interessant, d. h. auch für solche, die nicht im Einzugsbereich eines durch Eutrophierung gefährdeten Vorfluters liegen.

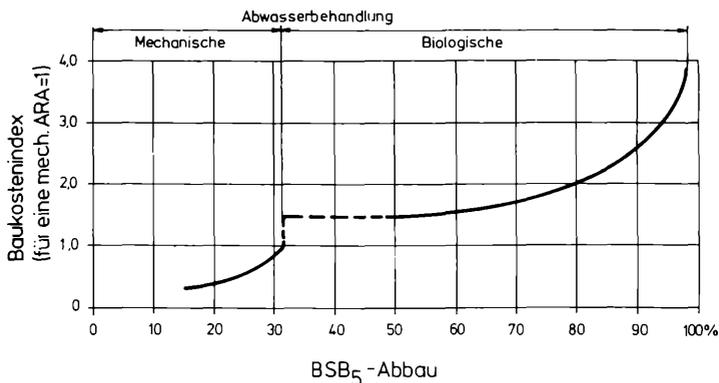


Abbildung 17

Baukosten und Reinigungsgrad (nach Prof. MÜLLER-NEUHAUS)

#### 14. Ersatz von Investitions- durch Betriebskosten

Die Baukosten für Kläranlagen sind in den Jahren 1950 bis 1970 außerordentlich stark gestiegen. Dieses ist aus Abb. 18 zu entnehmen, die die Bewegung der für Kläranlagen heranzuziehenden Baupreise, Lohn- und Energiekosten in der Bundesrepublik Deutschland zeigt. Es ist bekannt, daß diese Kosten weiterhin steigen. Der Einsatz von Chemikalien kann einen Ausweg aus dieser Situation bieten, indem vielfältige Baukosteneinsparungen im konventionellen Teil der Anlagen möglich sind.

Das setzt jedoch voraus, daß bei der Gewährung von Zuschüssen eine andere Richtung eingeschlagen wird. Werden weiterhin nur die Investitionskosten subventioniert, so werden die Kläranlage weiterhin

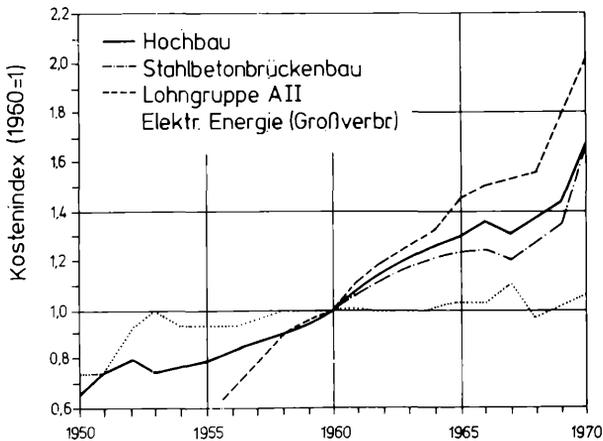


Abbildung 18

Kostenentwicklung für Errichtung und Betrieb von Kläranlagen in der BRD

hohe Baukosten erfordern, zum Teil mit dem Ziel, spätere Betriebskosten einzusparen. Volkswirtschaftlich gesehen müßte in eine Wirtschaftlichkeitsrechnung jedoch der Kapitaldienst für die gesamten Investitionen eingesetzt werden.

#### 15. Wirkungsvergleich verschiedener Fällverfahren, „Advanced Treatment“

Abb. 19 zeigt die Ablaufwerte von schwedischen Kläranlagen mit chemischer Fällung. Diese, nach Angaben von MELKERSSON aufgestellte Graphik gilt für Fällung mit Aluminium- und Eisensalzen. Für die verschiedenen Fällverfahren werden jeweils die Bereiche angegeben, zwischen denen die Ablaufwerte für BSB<sub>5</sub>, suspendierte Stoffe und Gesamtphosphor schwanken. Die Unterschiede sind bei diesen Effektivwerten erheblich größer, als bei den üblichen Angaben über prozentuale Abscheidungen. Die Vorteile der Vorfällung gegenüber der Simultanfällung treten klar zu Tage. MELKERSSON gibt außerdem Zahlen für die Fällung mit Kalk an, aus denen zu ersehen ist, daß die Ablaufwerte mit diesem Fällmittel durchschnittlich schlechter sind.

In Abb. 20 ist aufgezeigt, welche Reinigungsleistungen die verschiedenen Fällverfahren im Vergleich mit der konventionellen Abwasser-

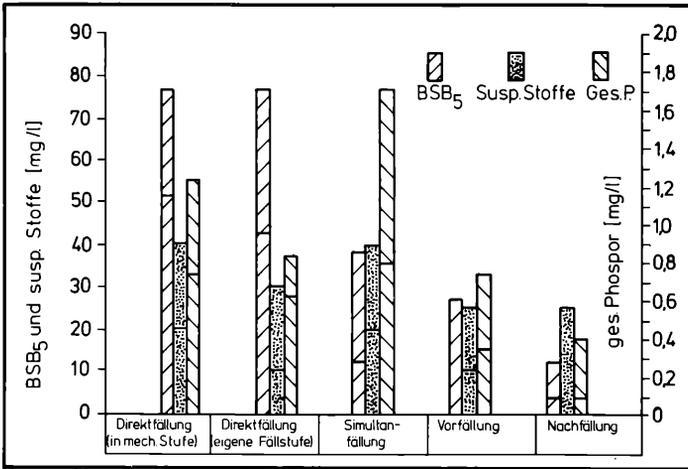


Abbildung 19  
Ablaufwerte schwedischer Kläranlagen mit chemischer Fällung

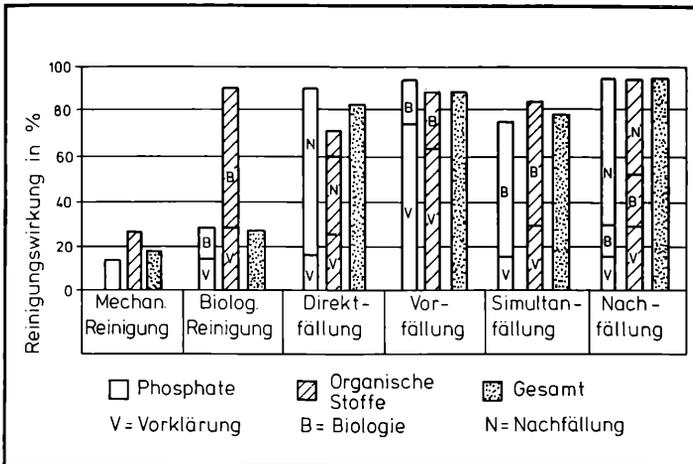


Abbildung 20  
Leistungsfähigkeit der Fällverfahren

reinigung erbringen, wenn die Sekundärschäden mit in Ansatz gebracht werden. Algen enthalten die Komponenten P : N : C etwa im Verhältnis 1 : 7 : 41. Für das Absterben der Algen, d. h. die Zersetzung der organischen Substanz wird Sauerstoff benötigt. Aus den Bodensedimenten werden die für das erneute Algenwachstum notwendigen Stoffe, z. B. Phosphor zum Teil wieder freigesetzt, so daß die Eutrophierung ein progressiver Prozeß ist, der auch sekundären Sauerstoffbedarf verursacht.

Mit der chemischen Fällung wird schon eine weitergehende Reinigung erreicht, wie an Hand der geringen Ablaufwerte für BSB, suspendierte Stoffe und P im Bild 19 gezeigt wurde. Sollen Verfahren der weitergehenden Reinigung der konventionellen Abwasserbehandlung nachgeschaltet werden, so sind die Regenerierungskosten zu beachten. Eine zwischengeschaltete chemische Fällung verlängert die Zeitintervalle für Regenerierung bzw. Reinigung erheblich und schafft z. B. für die Abwasserbehandlung mit Aktivkohle somit günstigere Voraussetzungen.

## 16. Klärschlamm anfall

Abb. 21 gibt eine Vorstellung davon, wie sich bei den drei Verfahren der chemischen Fällung, bei denen auch eine biologische Reinigung

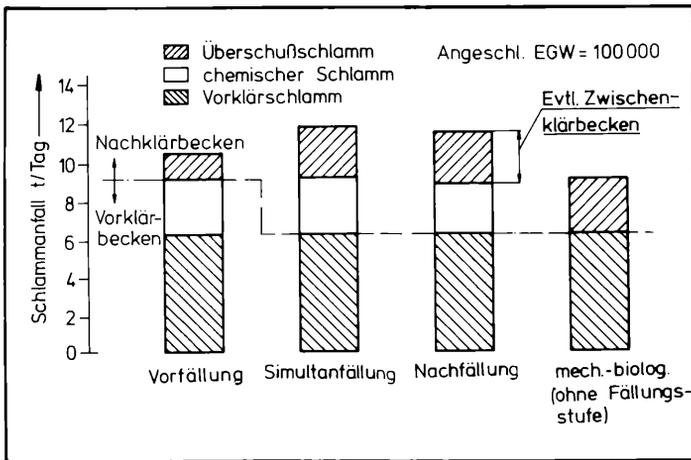


Abbildung 21  
Schlammmanfall verschiedener Fällungsverfahren

vorhanden ist, im Vergleich zur konventionellen Anlage der Schlamm-anfall ändert. Dargestellt werden die Feststoffe in Tonnen pro Tag für eine Anlage mit 100.000 angeschlossenen Einwohnern. Daneben wird angegeben, in welcher Klärstufe der Schlamm anfällt.

Es kann eine Verschiebung eintreten, indem bei der Nachfällung die Klärung hinter dem Belebungsbecken nur als grobe Zwischenklärstufe ausgeführt wird und ein Teil des organischen Schlammes mit in die chemische Stufe übertritt. Da Absetzbecken vor allem deshalb groß werden, damit eine weitgehende Schlammabtrennung erreicht wird, ist hier eine große Möglichkeit zur Einsparung von Investitionskosten in der biologischen Stufe gegeben.

### 17. Klärschlammbehandlung

Die chemische Fällung beeinflusst die Möglichkeiten der Schlammbehandlung, indem

1. mehr Klärschlamm anfällt;
2. mit der Fällung abgeschiedene Schwermetalle toxische Wirkungen für die Schlammfäulung und Schlammverwertung haben können;
3. wegen der vermehrt abgeschiedenen pathogenen Viren, Bakterien und Eier von Darmparasiten erhöhter Wert auf eine Abtötung gelegt werden muß, wenn der Schlamm auf landwirtschaftliche Nutzflächen verbracht werden soll;
4. chemischer Schlamm allein wegen des relativ geringen Anteils an organischen Stoffen nicht faulfähig ist.

Die im Sinne des Gewässerschutzes besonders zu begrüßenden Nebenwirkungen der chemischen Fällung bezüglich der Abscheidung von Schwermetallen und pathogenen Stoffen erfordern also auf der Schlammseite besondere Beachtung.

Abb. 22 zeigt die Kombinationsmöglichkeiten zur Aufbereitung der Klärschlämme. Der chemische Schlamm wird, wenn er gemeinsam mit dem Vorklär- und Überschussschlamm verwertet oder beseitigt werden soll, den beiden letztgenannten Schlammarten erst nach der Stabilisierung oder Konditionierung zugegeben. Die Entwässerungsneigung eines solchen Mischschlammes ist nach schwedischen Erfahrungen gut. Zur mechanischen Entwässerung werden vor allem Zentrifugen und Bandpressen eingesetzt, gewöhnlich werden 2 bis 4 kg Polyelektrolyt/t Trockensubstanz zugegeben.

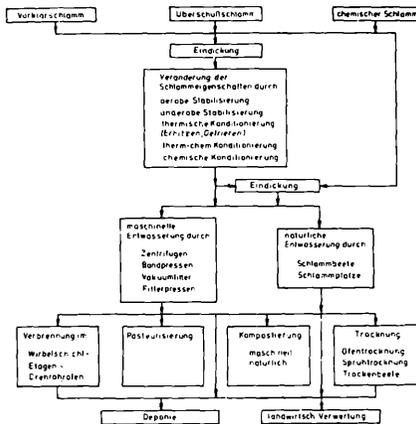


Abbildung 22

Systematik der Verfahrensmöglichkeiten zur Schlammabeseitigung

## 18. Schwermetalle im chemischen Klärschlamm

Die Abscheidung von Schwermetallen bei der Vorfällung mit AVR gibt Abb. 23 wieder. Die Messungen wurden im März/April 1972 in der Kläranlage Skarpsno bei Oslo durchgeführt.

Abb. 24 zeigt die im Klärschlamm schwedischer Kläranlagen mit Fällstufen gefundenen Metallgehalte. Die Mittelwerte liegen fast alle unterhalb der Grenzen, die für eine Schlammfäulung kritisch sind. Bei Kupfer, Zink, Blei und Quecksilber jedoch können die Grenzen überschritten werden, so daß anstelle einer Fäulung z. B. die thermische oder chemische Konditionierung gewählt werden muß. Nach einer Untersuchung des Water Pollution Research Laboratory Instituts Stevenage sind bei konventioneller Abwasserbehandlung, d. h. ohne chemische Fällung fast 40% der Störungen bei Faulprozessen in England auf Schwermetalle zurückzuführen. Nach einem Vorschlag dieses Instituts können die Metallgehalte durch Zugabe von Natriumsulfid entscheidend reduziert werden.

## 19. Tendenzen der Klärschlammbehandlung

In Zukunft wird sich der Klärschlammfall erhöhen, und zwar sowohl mit dem Ausbau konventioneller Kläranlagen als auch mit der Einführung der chemischen Fällung. Es wird dann erforderlich, aber auch

Skarpsno (Oslo)  
Abwasserreinigungs -Anlage  
März - April 1972  
AVR 90g/m<sup>3</sup>  
Vorfällung

	Einlauf [mg/l]	mech./chem. Stufe [mg/l]	Ablauf ARA [mg/l]	Reduktion [%]
Cu	0,14	0,07	0,05	64
Pb	0,08	0,009	0,007	91
Hg	0,02	0,017	0,008	60
Cd	0,001	0,0007	0,0002	80
Fe	0,8	0,4	0,4	50
pH	7,4	6,9	7,2	

Abbildung 23  
Abscheidung von Schwermetallen mit AVR

Metalle	Proben- zahl	Min. Wert	Max. Wert	Mittelwert	Einheit pro luftgetrok- neten Schlamm
Eisen (Fe)	56	0,2	2,2	1,9	%
Mangan (Mn)	56	36	2 384	480	mg/kg
Kobalt (Co)	56	2	158	30	mg/kg
Nickel (Ni)	56	16	790	110	mg/kg
Kupfer (Cu)	56	28	4 634	1053	mg/kg
Zink (Zn)	56	114	12 465	2 502	mg/kg
Cadmium (Cd)	56	1	61	16	mg/kg
Blei (Pb)	56	52	2 062	324	mg/kg
Quecksilber (Hg)	68	0,22	3 913	9,4	mg/kg

Abbildung 24  
Metallgehalte in Schlämmen aus schwedischen Kläranlagen

möglich sein, für die Unterbringung in der Landwirtschaft geeignete Schlämme auszusortieren. Die weniger geeigneten Schlämme werden in steigendem Maße verbrannt werden müssen, wozu sich der Wirbelschichtofen besonders eignet. Eventuell lohnt sich die gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm mit Kunststoff- oder Gummiabfällen, um deren Heizwert auszunutzen. Eine Kompostierung von Klärschlamm gemeinsam mit Hausmüll ist abzulehnen, wenn der Kompost landwirtschaftlich verwertet werden soll. Es wurden in solchen Produkten zu hohe Werte für Benzpyren und andere krebserregende Stoffe festgestellt. Thermische Konditionierungsverfahren, vor allem die Pyrolyse werden in Zukunft sicher an Bedeutung gewinnen, wobei wirtschaftliche Anlagegrößen notwendig sind. Die Schlammfäulung verliert infolge der gänderten Kostensituation für die Energierückgewinnung in der einzelnen Kläranlage an Bedeutung. Gefaulter Schlamm ist bakteriologisch nicht einwandfrei. Ein Faulturm mit nachgeschalteter Pasteurisierung erfordert vor allem für kleine Kläranlagen relativ hohe Investitionen. Es erscheint zweckmäßig, daß kleinere Kläranlagen nur noch eine Entwässerung von Frischschlamm vornehmen. So gibt es z. B. die Möglichkeit, Klärschlamm auf einfachste Art in Trevira-Schläuchen auf Feststoffgehalte um 20% zu entwässern, wobei

### Daten am Einlauf

angeschlossene E GW = 100.000

Mischentwässerung

Trockenwetterzulauf = 25.000 m<sup>3</sup>/d

Tagesmittelwert = 1.250 m<sup>3</sup>/h

B S B<sub>5</sub>-Gehalt = 240 g/m<sup>3</sup>

P - Gehalt = 12 g/m<sup>3</sup>

Abbildung 25  
Vergleichskalkulation, Aufgabenstellung

Polyelektrolyte zugegeben werden. Die Kapselung für Lagerung und Transport zu einer zentralen Schlammaufbereitungsanlage ist heute kein technisches Problem.

## 20. Vergleich der Investitions- und Betriebskosten

Auf der Basis der gezeigten Auslegungsgrundlagen wurden die Investitions- und Betriebskosten für Kläranlagen mit verschiedenen Fällungsarten mit den entsprechenden Kosten der konventionellen Anlage verglichen. Die Bezugsdaten für die Bemessung der Anlagen wurden bei allen Varianten gleichgesetzt, sie sind in Abbildung 25 dargestellt.

In Abbildung 26 werden die wesentlichen Einzelkosten, die der Kalkulation der Betriebskosten zugrunde gelegt sind, aufgezeigt.

Betriebsmittel	Instandhaltung und Reparaturen	} 1% Inv. Bauteil 2% Inv. mech. Teil
	Reinwasser	
	Betriebswasser	0,05 DM/m <sup>3</sup>
	Schmiermittel	
	Sonstige Nebenausgaben und Chemikalien	} Pauschale 15 000 DM/a
	Fällmittel (AVR)	
	Abfuhr - Rechengut - Sand - Schlamm	
Energie	Strom	0,08 DM/KWh
	Heizöl	100,- DM/t
	Kraftstoffe	500,- DM/t
	Gas (Gutschrift)	1,2 Dpf/Mcal
Personal u. a.	Löhne und Gehälter	} 20 000,- DM/Pers.-a
	Ausbildung	
	Sozialleistungen	
	Verwaltungskosten	20% Pers.Kosten

Abbildung 26  
Vergleichskalkulation, Betriebskosten

Die Werte für Abschreibung und Verzinsung sind in Abbildung 27 zusammengefaßt.

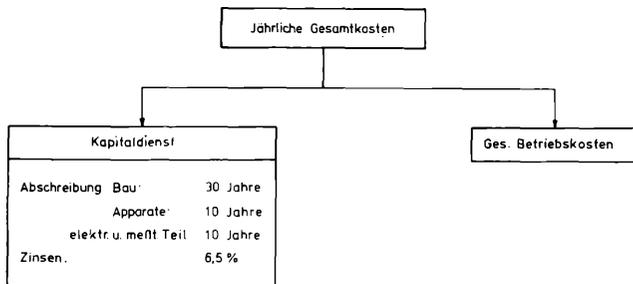


Abbildung 27  
Vergleichskalkulation, Zinsen und Abschreibung

Die Kostenfaktoren für die wichtigsten Fällverfahren im Vergleich zu konventionellen Abwasserbehandlungen sind in Abb. 28 gegenübergestellt. Die Investitions- und die Jahreskosten für die konventionelle Abwasser- und Schlammbehandlung sind als 100% berechnet. Die entsprechenden Kosten für die Behandlung einschließlich der Fällung sind als prozentuale Abweichungen aus der Gegenüberstellung ersichtlich.

Bei Neuanlagen ergeben sich für den Wasserteil einer Kläranlage mit chemischer Vorfällung gegenüber konventionellen Anlagen geringere Investitionskosten, bei Kläranlagen mit chemischer Nachfällung ist sowohl der Wasserteil wie auch der Schlammteil teurer. Die Gesamtkosten als Summe von Betriebskosten und Kapitaldienst liegen bei Anlagen mit chemischer Fällung um 4 bis 26% über den Kosten der konventionellen Anlagen, wobei die Schlammbehandlung eingeschlossen ist.

## 21. Kreisprozesse

S. I. JØRGENSEN berichtete 1972 in London über ein Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus chemischem Klärschlamm für Düngezwecke. Abb. 29 zeigt die Fällreinigung des Abwassers, die mit 400 bis 500 g Kalziumhydroxyd, 100 g Bentonit und 1 g Polyelektrolyt pro m<sup>3</sup> Abwasser durchgeführt wird. Daran schließt sich ein Ionenaustauschprozeß an. Nach 16 Stunden ist eine Regeneration mit Ammoniaklösung und in einer zweiten Stufe mit Natronlauge erforderlich. Ammoniak wird ebenso wie die eingesetzte Natronlauge wieder zurückgewonnen.

Investitionskosten

ARA	Abwasser- behandlung	Schlamm- behandlung	gesamt
mech.-biolog.	100 %	100 %	100 %
Vorfällung	96 %	127 %	103 %
Nachfällung	109 %	113 %	110 %
Kompaktanlage	93 %	114 %	98 %
Direktfällung	82 %	102 %	87 %

Jährliche Gesamtkosten

ARA mech.-biolog.	100 %
ARA mit Vorfällung	122 %
ARA mit Nachfällung	126 %
ARA als Kompaktan- lage m. Nachfällg.	121 %
ARA als Direktfällung	104 %

Abbildung 28

Kostenfaktoren für Kläranlagen mit 100.000 EGW

Der chemische Schlamm wird zusammen mit der Ammoniakregenerierung in einem Drehofen getrocknet. Das gereinigte Wasser soll von hoher Qualität sein, so daß nach einer Chlorierung an eine Wiederverwendung gedacht werden kann.

75 bis 80% des Kalkes können innerhalb der Anlage im Kreislauf gefahren werden. Dadurch wird der Phosphatgehalt gesteigert, um für die Feldverbringung eine günstige Relation von Ca : P : N zu erhalten.

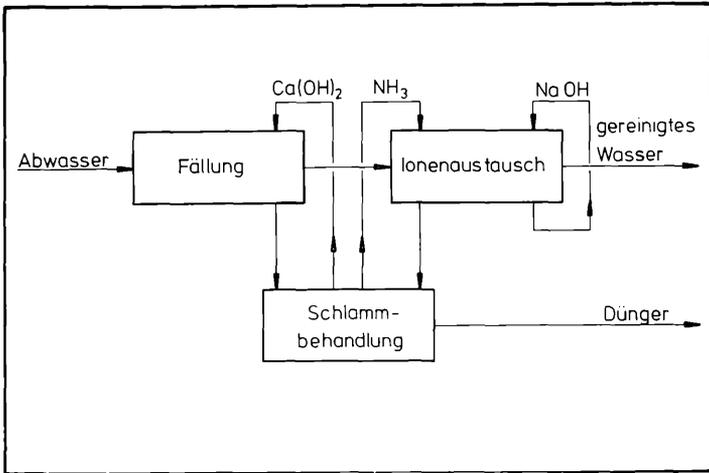


Abbildung 29  
Abwasserbehandlung mit Chemikalienrückführung

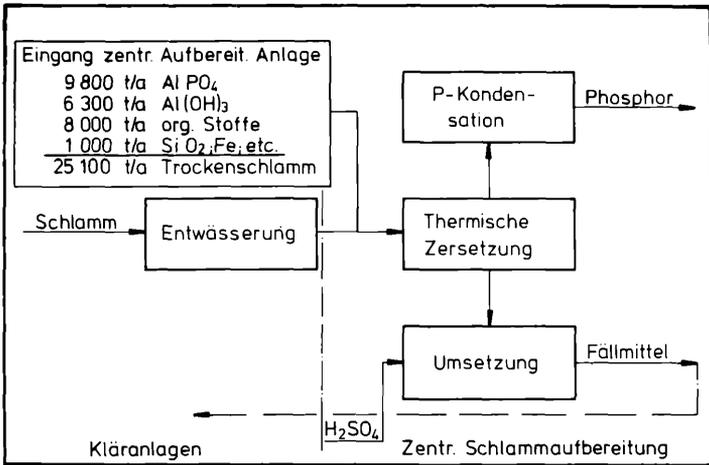


Abbildung 30  
Kreisprozeß für Phosphor und Fällchemikalien

Abb. 30 zeigt ein Modell, das BRODERSEN und LARSEN von der Atomenergie-Kommission Risø für die Verwendung aller in Dänemark anfallenden chemischen Klärschlämme zur Herstellung von elementarem Phosphor und Rückführung des Aluminiumsulfats als flüssiges Fällmittel aufgebaut haben. 37% der kommunalen Abwässer = 250 Mio m<sup>3</sup>/Jahr sind nach den behördlichen Vorschriften chemisch in 200 bis 300 Kläranlagen zu reinigen. Es wird vorgeschlagen, den Schlamm nach der mechanischen Entwässerung einem Gefrier-Tau-Verfahren zur weiteren Volumenreduzierung zu unterziehen, um auf diese Weise auch die anschließende Trocknung zu verbilligen. Der Schlamm wird mit den im linken Feld angegebenen Anteilen einer zentralen Aufbereitungsanlage zugeführt. In dieser Anlage sollen aus 25.000 t/Jahr Schlamm 2.500 t elementarer Phosphor und 120.000 t Aluminiumsulfatlösung mit 7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gewonnen werden. Als unverwertbarer Rest werden nur 1.000 bis 2.000 t pro Jahr angegeben. Gegenüber dem klassischen elektrothermischen Verfahren mit Einsatz von Rohphosphaten wird mit geringeren Temperaturen gearbeitet. Deshalb wird angenommen, daß die teure elektrische Aufschlußenergie durch Heizöl oder Gas ersetzt werden kann. Außerdem entfallen die Zuschlagstoffe Koks und Kies. Vorgeschaltet wird ein Crackprozeß zur Aufspaltung der organischen Stoffe und zur Wasserabspaltung aus dem Aluminiumhydroxyd. Dieser Prozeßschritt soll durch Verbrennen des Crackgases energieautark sein. Für den thermischen Aufschluß wird eine Gleichung angegeben, aus der ein geringerer Energiebedarf ersichtlich ist im Vergleich zum klassischen Verfahren der Phosphorherstellung. In einer dritten Stufe wird Aluminiumoxyd unter Zusatz von Schwefelsäure aus der Schlacke herausgelöst.

Die Weltvorräte an Rohphosphaten, an Bauxiten und Pyriten sind so bedeutend, daß von der Rohstoffseite her keine Notwendigkeit besteht, Phosphor und Fällchemikalien aus Klärschlämmen zurückzugewinnen. Außer rein wirtschaftlichen Gründen sollten aber auch ökologische Gesichtspunkte den Anreiz dafür geben, daß solche Kreisprozesse großtechnische Anwendung finden. Ob diese über die Düngephosphate oder über die Herstellung von elementarem Phosphor verlaufen, kann heute noch nicht abgeschätzt werden. Ein Zusatz von chemischen Schlämmen in klassische Anlagen zur Phosphorherstellung zum teilweisen Ersatz von Rohphosphaten ist denkbar, wird aber dann nur für einen geringen Teil der chemischen Schlämme in Frage kommen. Die Feldverbringung der chemischen Klärschlämme ist relativ problemlos. Mit der Anreicherung an Phosphaten, die durch die Fällung aus dem Abwasser eliminiert wurden, wird eine Einsparung an mineralischen Düngephosphaten erreicht.

Das ist von besonderer Bedeutung, da bekanntlich mineralische Dünger an der Eutrophierung einen nennenswerten Anteil haben.

## 22. Zusammenfassung

Es wird aufgezeigt, daß die Verfahren der chemischen Abwasserbehandlung technisch ausgereift und wirtschaftlich sind. Dank der umfangreichen Vorarbeiten sind mit der Einführung der Fällverfahren grundsätzlich keine Schwierigkeiten mehr zu erwarten. Entwicklungen sind vor allem für die Einführung von Kreisprozessen erforderlich. Durch Kombination der biologischen Teilreinigung — für die sich Kunststoffropfkörper besonders eignen — mit einer nachgeschalteten Fällstufe lassen sich voraussichtlich besonders geringe Investitions- und Betriebskosten bei einer verbesserten Reinigung kommunaler Abwässer erreichen. Eine Direktfällung ohne biologische Reinigung bietet sich vor allem als Übergangslösung an, anstelle der Simultanfällung sollte die Vorfällung gewählt werden, wenn die Baukosten für die „3. Stufe“ noch nicht aufgebracht werden können.

Der mit der chemischen Fällung vermehrt anfallende Klärschlamm sollte zu einem Umdenken bei der Auswahl der Schlammbehandlungsverfahren, vor allem für kleinere Kläranlagen führen. Eine Verwendung der mit der Fällung phosphatreicherer Schlämme in der Landwirtschaft ist problemlos, solange die mit der Fällung vermehrt abgeschiedenen Schwermetalle dieses erlauben. Die chemische Fällreinigung ist heute nicht mehr nur eine Maßnahme gegen die Eutrophierung einzelner Seen, nach dem Beispiel Schwedens verdient sie generelle Beachtung, um den Zustand der Gewässer kurzfristig und wirkungsvoll zu verbessern.

## Literatur

1. AHL T., KARLGREN L., OLSSON E. und TULLANDER V.: Haushaltsabwasser; Vatten 23, 178 1967. In schwedischer Sprache.
2. ANDERSON A. und NILSSON K. O.: Agricultural College, Uppsala Enrichment of Trace Elements from Sewage Sludge, Fertilizer in Soils and Plants.
3. Arbeitsbericht des SKR-STF-Komitees, veröffentlicht in der Fachzeitschrift Renare Vatten. Teknisk Tidskrifts förslag, 1968. In schwedischer Sprache.
4. Bericht des Statens Naturvårdsverk (L. ULMGREN) SNV-PM 294 vom 30. 1. 1973.
5. BOUVENG H. O.: schwedisches Forschungsinstitut für Wasser- und Luftreinigung, „Sewage Treatment“, Vortrag Jönköping 1972.

6. BOUVENG H. O.: „Zur chemischen Behandlung von städt. Abwässern“, Vortrag München (Ifat 1972).
7. BRODERSEN K. und I. LARSEN: Atomenergiekommission Risø, Dänemark, „Aufbereitung von Klärschlamm bei Fällreinigung kommunaler Abwässer mit Al-Sulfat.
8. DAHLHOFF B. (Friedrich Uhde GmbH, Dortmund): „Chemical Wastewater Treatment“, Tokyo 10. 3. 1973.
9. v. d. EMDE: „Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer“, Band 4, Wien 1969.
10. HOKERVALL E. (Stadt Stockholm): Betriebserfahrungen aus Stockholmer Kläranlagen, Frankfurt Januar 1972.
11. Institut für Siedlungswasserbau und Wassergütwirtschaft der Universität Stuttgart, WAGNER R. und ZERRES H.: „Untersuchungen über Phosphorelimination durch Vorfällung mit techn. Al-Sulfat.
12. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees vom 1. 6. 1967.
13. JØRGENSEN S. E., Verløse, Denmark: „A new Method of Removing Phosphorus to Produce a Ready Fertilizer“, W. R. Pergamon Press 1973, Vol. 7.
14. LOHMANN J. (Friedrich Uhde GmbH, Dortmund): Schlammbehandlung in Kläranlagen mit chemischer Fällung, Frankfurt Januar 1972.
15. MELKERSSON K. A., NILSSON R. und STENDHAL K. (Boliden AB, Helsingborg): Chemische Abwasserbehandlung in biologischen Becken, Vatten 24, 132 1968. In schwedischer Sprache.
16. MELKERSSON K. A.: Phosphorus in chemical and physical Treatment Processes, W. R. Pergamon Press 1973, Vol. 7.
17. NILSSON R.: Reinigung kommunaler Abwässer, Foderjournalen 6, 26 1967. In schwedischer Sprache.
18. NILSSON R.: „Metallabscheidung aus kommunalen Abwässern durch chemische Behandlung“, Water Research Pergamon Press 1971, Vol. 5. In schwedischer Sprache.
19. SICKERT, E.: Bau- und Betriebskosten von biologischen Kläranlagen, Entwicklung und Folgerungen, gwf 113/Heft 6.
20. SWANWICK D. I. (Water Pollution Research Laboratory Stevenage): „Some Effects of Metals Discharged in Effluents and Possibilities of Recovery“, Cambridge, March 1973.
21. THOMAS E. A.: Phosphate removal by recirculating iron sludge. Journal WPCF, Vol. 44, Nr. 2, Februar 1972.
22. ULMGREN L. (National Environment Protection Board, Sweden): Phosphorelimination in schwedischen Abwasserreinigungsanlagen. Modern Kemi 3/1969. In schwedischer Sprache.
23. ULMGREN L.: „Chemical Precipitation, experiences from existing plants“, 25. 9. 1972.
24. ULMGREN L.: Phosphor in Waschmitteln ohne Bedeutung bei chem. Abwasserreinigung, Teknisk Tidskrift 1973, 3.

Anschrift des Verfassers: Oberingenieur Egon HOSENFELD, Friedrich Uhde GmbH., Deggingsstraße 10—12, D - 4600 Dortmund.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1972-1973

Band/Volume: [1972-1973](#)

Autor(en)/Author(s): Hosenfeld E.

Artikel/Article: [Fäll- und Flockungsverfahren zur Reinigung kommunaler Abwässer  
Behandlung von Klärschlämmen bei chemischer Abwasserreinigung 251-282](#)