

Abwasser der Stärkeindustrie*)

Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 7.2.4 „Stärkeindustrie“ im Fachausschuß 7.2 „Industrieabwasser mit organischen Inhaltsstoffen“

Mitglieder der Arbeitsgruppe sind:

- Dr. H. Krings, Kleve (Sprecher)
Dr.-Ing. W. Donnerhack, Dresden
Dipl.-Ing. A. Krause, Hamburg
Univ.-Prof. Dr.-Ing. C. F. Seyfried, Hannover
Dr. rer. nat. G. Weller, Karlsruhe (†)

Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung
2. Allgemeines
 - 2.1 Wirtschaftliche Bedeutung der Branchen
 - 2.2 Relevante wasserrechtliche Bestimmungen
3. Produktion
 - 3.1 Allgemeines
 - 3.2 Technische Stärkegewinnung
 - 3.2.1 Getreidestärke
 - 3.2.2 Kartoffelstärke
 - 3.3 Stärkeerzeugnisse
 - 3.3.1 Allgemeines
 - 3.3.2 Modifizierte Stärken
 - 3.3.3 Hydrolyse-Produkte
 - 3.3.4 Sonstige Produkte
4. Abwasseranfall und -inhaltsstoffe
 - 4.1 Begriffsbestimmung
 - 4.1.1 Produktionsabwasser
 - 4.1.2 Kühlwasser
 - 4.1.3 Abwasser aus innerbetrieblicher Wasseraufbereitung
 - 4.1.4 Niederschlagswasser
 - 4.1.5 Sanitäres Abwasser
 - 4.2 Produktionsabwasser
 - 4.2.1 Allgemeines
 - 4.2.2 Maisstärke
 - 4.2.3 Weizenstärke
 - 4.2.4 Kartoffelstärke
 - 4.2.5 Modifizierte Stärke
 - 4.2.6 Hydrolyse-Produkte
5. Innerbetriebliche Maßnahmen
 - 5.1 Allgemeines
 - 5.2 Sedimentation
 - 5.3 Siebung und Separation
 - 5.4 Filtration
 - 5.5 Eiweißkoagulation
 - 5.6 Eindampfung
 - 5.7 Verfahrenskombination von Membranfiltration, Eiweißkoagulation und Eindampfung
 - 5.8 Sonstige Verfahren zur Wertstoffgewinnung
 - 5.9 Sonstige innerbetriebliche Maßnahmen zur Minderung von Abwasseranfall und -schmutzfracht
6. Historische Entwicklung der Behandlung von Abwasser aus der Stärkeherstellung
7. Abwasserbehandlung
 - 7.1 Mechanische Abwasserbehandlung
 - 7.2 Chemisch-physikalische Abwasserbehandlung
 - 7.3 Schlämme aus der mechanischen und chemisch-physikalischen Abwasserreinigung
 - 7.4 Biologische Abwasserbehandlung
 - 7.4.1 Abwasserlandbehandlung
 - 7.4.1.1 Verrieselung
 - 7.4.1.2 Verregnung
 - 7.4.2 Teichbehandlung
 - 7.4.3 Aerob biologische Behandlung
 - 7.4.3.1 Konventionelles Belebungsverfahren und kombinierte Verfahren

*) Anregungen zum nachfolgenden Arbeitsbericht sind erwünscht. Richten Sie diese bitte an die ATV-Hauptgeschäftsstelle, Markt 71, Postfach 11 60, W-5205 St. Augustin

- 7.4.3.2 Sönderverfahren (Deep Shaft)
- 7.4.4 Anaerob biologische Behandlung
8. Empfehlungen für die Planung von abwassertechnischen Maßnahmen
9. Beispiele für die Behandlung des Abwassers aus der Stärkeindustrie
 - 9.1 Aerobe Reinigung
 - 9.2 Anaerob-aerobe Reinigung
 - 9.2.1 Weizenstärkeabwasser
 - 9.2.2 Kartoffelstärkeabwasser anaerobe Behandlung mit nachgeschalteten Teichen
 - 9.2.3 Kartoffelstärkeabwasser anaerobe Behandlung mit Nachbehandlung in einer kommunalen aerob biologischen Klaranlage
10. Literatur

1. Zielsetzung

Dieser Arbeitsbericht dient der Beschreibung der allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) von Verfahren Einrichtungen und Betriebsweisen von Anlagen zur Minderung von Abwasseranfall und Abwasserbelastung sowie von Maßnahmen zur Behandlung des anfallenden Abwassers aus den verschiedenen Bereichen der Stärkeindustrie. Verwiesen wird auf entsprechende Verfahren und Techniken, die heute dem Stand der Technik (St.d.T.) zuzuordnen sind.

Durch Ausführungen zur Entsorgung der bei der Abwasserbehandlung entstehenden bzw. anfallenden Reststoffen sollen Anregungen zu einem geschlossenen Entsorgungskonzept gegeben werden. Die Beschreibungen der Produktionsverfahren und der Abwasseranfallstellen sollen einem in diesem Industriezweig weniger kundigen Personenkreis die Grundlagen der betrieblichen Verfahrenstechnik sowie die Anfallstellen, Zusammensetzung und Belastung des Abwassers aufzeigen.

Der Arbeitsbericht befaßt sich mit Abwasser, das in Anlagen zur Herstellung von nativer Stärke sowie folgender Produktgruppen anfällt:

- Modifizierte Stärken,
- Stärke-Hydrolyse,
- Herstellung sonstiger Stärkeprodukte.

Die in dem Arbeitsbericht verwendeten Begriffe und Abkürzungen entsprechen den technischen Richtlinien oder Normen wie DIN 4045, DIN/ISO 1227. Hingewiesen sei auf das ATV Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band V Kapitel 5.2.

2. Allgemeines

Die stärkeherstellende und -verarbeitende Industrie verwendet als Rohstoffe Mais aus dem europäischen Ausland und Übersee, Kartoffeln aus deutschen Anbaugebieten und Weizen aus in- und ausländischen Regionen.

Die Standorte der Stärkehersteller auf Getreide-Basis haben ihre Lage nach der Infrastruktur des Gebietes, z. B. Verkehrslage oder Anbaugebiet, ausgewählt. Bei den kartoffelverarbeitenden Betrieben handelt es sich um Kampagne-Betriebe, die ihren Standort direkt im Anbaugebiet haben.

Die Stärkeindustrie betreibt die Gewinnung von Stärke aus stärkehaltigem Material, wie Körner verschiedener Pflanzenarten, die der Familie der Zerealien zuzuordnen sind, oder aus den Knollen der Kartoffel. Vermerkt muß werden, daß auch andere stärkehaltige Produkte wie Reis, Tapiokawurzeln (Manioc, Cassava), Roggen, Gerste, Milo (Sorghum), Süßkartoffeln (Impomea batata), ja auch das Mark der Sago-Palmen (Sagrus laevus), verwendet werden können.

2.1 Wirtschaftliche Bedeutung

Die Stärkeindustrie in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland hat sich, ebenso wie die Stärkeindustrie der Europäischen Gemeinschaft bis zu den Jahren 1973/74, gut entwickelt. Diese Industrie ist in ihrer Entwicklung u. a. wesentlich von den jeweiligen EG-Agrarmarktregelungen abhängig, da die Rohstoffpreise jährlich von der EG-Behörde festgelegt werden. Kapazitätserweiterungen wurden in den vergangenen Jahren sowohl in der Bundesrepublik Deutschland als auch im EG-Bereich vorgenommen.

Der Gesamtmarkt für Stärke und Stärkeprodukte in der Bundesrepublik Deutschland ist nicht zu ermitteln, da es kaum Statistiken über den Stärkesektor gibt, sie zum Teil dem statistischen Geheimnis unterliegen und andererseits die Produkte soweit aufgefächert sind, daß man sie in der Statistik nicht ermitteln kann (Ergebnisse einer Umfrage).

Stärke und Stärkeprodukte finden keineswegs nur in der Nahrungsmittelindustrie Verwendung, vielmehr werden ca. 50 % aller Produkte in den chemisch-technischen Sektor geliefert.

2.2 Relevante wasserrechtliche Bestimmungen

Die Betriebe leiten vorwiegend ihr Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen ein und sind damit Indirekteinleiter (häufigere Ausnahmen hiervon gibt es bei Kartoffelstärkefabriken).

Allgemeine Hinweise für das Einleiten des Abwassers der Betriebe dieser Branche in die Kanalisation befinden sich im ATV-Arbeitsblatt A 115 (Entwurf Oktober 1990), wobei in der Regel für die Betriebe folgende Richtwerte der Anlage I des Arbeitsblattes von Bedeutung sein können:

- pH-Wert wenigstens 6,5;
höchstens 10,0
- absetzbare Stoffe nur soweit eine Schlammscheidung aus Gründen der ordnungsgemäßen Funktionsweise der öffentlichen Abwasseranlage erforderlich ist 1 ml/l nach 0,5 h
nicht begrenzt
- Abwassertemperatur 35 °C
- verseifbare Öle, Fette und Fettsäuren (schwerflüchtige lipophile Stoffe) 250 mg/l

Besondere Hinweise für die Indirekteinleiter sind in der Anlage II des ATV-Arbeitsblattes A 115 unter Punkt 4.1.15 „Stärkefabriken“ gegeben:

- Gefährdung der in und mit der Kanalisation tätigen Arbeiter durch: keine
- mögliche Beeinträchtigungen
 - der Kanalisation durch: pH-Wert unter 6,
Sulfit,
Schwimmstoffe
 - der Kläranlage durch: Blähschlamm-
bildung *
 - des Vorfluters trotz biologischer Reinigung durch: keine Stoffe
- Praktische Hinweise: Rückhaltung von Feststoffen (Stärke); hohe organische Belastung.
- Kommentar: z. B. in Folge von Defizit an Nährstoffen (Phosphor) im Abwasser

Die Herstellung von Stärkeerzeugnissen gehört nicht zu den Herkunftsbereichen von Abwasser, aus denen gefährliche Stoffe im Sinne § 7a (1) WHG zu erwarten sind. Somit ist für diese Anlagen keine wasserrechtliche Einleitungs-Genehmigung bezüglich gefährlicher Stoffe i. V. m. den Indirekteinleiterverordnungen der Länder (VGS) erforderlich.

Die Mindestanforderungen für das Einleiten von Abwasser in Gewässer nach § 7a WHG, hier 8. Allgemeine Verwaltungsvorschrift, „Kartoffelverarbeitung“ gilt nicht für die Stärkeindustrie. In

Niedersachsen gibt es eine landeseinheitliche Verfügung über die Festlegung von Einleitbedingungen für Direkteinleiter von Abwasser aus der Stärkeindustrie.

3. Produktion

3.1 Allgemeines

In Europa und weltweit steht Mais für die Verarbeitung zu Stärke an erster Stelle, dann dürften Kartoffeln und in zunehmendem Anteil Weizen folgen. Zu den verschiedenen Rohstoffen, zur Produktion, zu Produktionskapazitäten und den verschiedensten Stärkeprodukten einschließlich der Qualitätsanforderungen, gibt KEMPF (1984) eine ausführliche Übersicht.

In Tabelle 3.1.1 sind die in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) verarbeiteten Rohstoffe angegeben.

	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Kartoffeln	1 000	1 100	1 200	1 500	1 700	1 700
Mais	690	600	610	650	750	750
Weizen	280	280	340	400	450	450

Tabelle 3.1.1: Verarbeitete Rohstoffe (in 1 000 t/a) (Ergebnisse einer Umfrage)

In den alten Bundesländern bestanden 1987 14 stärkeproduzierende Betriebe (vgl. Tab. 3.1.3). Davon befand sich ein Betrieb in Hamburg, 2 Betriebe in Bayern, 8 Betriebe in Nordrhein-Westfalen und 3 Betriebe in Niedersachsen (siehe Bild 1). 1990 und 1991 haben in NRW 2 Betriebe ihre Produktion eingestellt.

Dazu kamen mit den neuen Bundesländern 1990 9 Betriebe, von denen 1991 noch 6 Betriebe arbeiten.

Zahl der Betriebe		Bundesland
1990	1991	
2	1	in Mecklenburg-Vorpommern
4	3	in Brandenburg
1	1	in Sachsen-Anhalt
2	1	in Sachsen

Tabelle 3.1.2: Zahl und Lage der Betriebe in den neuen Bundesländern.

1988 wurden in 6 Betrieben 500 000 t a Kartoffeln, in 1 Betrieb ca. 20 000 t/a Weizenmehl und in 2 Betrieben ca. 70 000 t/a Mais verarbeitet. Die beiden Maisstärkefabriken sind zwischenzeitlich stillgelegt worden. An einem der Standorte wird eine neue Weizenstärkefabrik errichtet.

Stärke	Anzahl der Produktionsstätten	Jahresproduktion (t/a)	Anteil (%)
Kartoffelstärke	5	ca. 350 000	33
Maisstärke	2	ca. 490 000	46
Weizenstärke	6 (7)*	ca. 230 000	21
Gesamt	13	ca. 1 070 000	100

*) = Ein Betrieb produziert außerhalb der Kartoffelstärke-Kampagne Weizenstärke

Tabelle 3.1.3: Produktionsstätten und Jahresproduktion in den alten Bundesländern im Jahre 1990 (Ergebnisse einer Umfrage)

Hierzu kommen noch weiterverarbeitende Produktionsstätten für die Herstellung von Zubereitungen oder von physikalischen oder chemischen Modifizierungen von Stärke.

3.2 Technische Stärkegewinnung

Aufgrund der Zielsetzung dieses Arbeitsberichtes soll eine Darstellung der unterschiedlichen Produktionsverfahren, der verschiedenen Ausgangsmaterialien und der jeweils anfallenden Nebenprodukte sowie der dann nach Abtrennung der Stärke möglichen Weiterverarbeitung gegeben werden.

Stärke ist ein polymeres Kohlenhydrat, das in körniger Form in bestimmten Pflanzen vorkommt und einem Polymer entspricht, das fast ausschließlich aus α -D-Glukose-Einheiten zusammengesetzt ist. Grundsätzlich wird handelsübliche Stärke, auch als Ausgangsmaterial für die nach verschiedensten Verfahren daraus hergestellten Stärkerzeugnisse, im sogenannten „Naßprozeß“

(Naßvermahlung) aus stärkehaltigen Materialien abgetrennt. Bisher ist es nicht gelungen, beispielsweise durch Windsichtung auf trockenem Wege, Stärke zu gewinnen, die den Qualitätsnormen entspricht (TEGGE 1984).

3.2.1 Getreidestärken

Die Stärkegewinnung auf Basis verschiedener Getreidearten, wie Mais oder Weizen, hat zahlreiche Vorteile gegenüber der Stärkegewinnung aus Kartoffeln, z. B. keine Kampagne-Verarbeitung, langzeitliche Lagerungsmöglichkeit der Rohstoffe, neben dem Hauptbestandteil Stärke ein hoher Wertstoffgehalt der Nebenprodukte, wie Keime (Oliverarbeitung), Protein-Komplex (Kleber für die Nahrungs- und Futtermittel-Industrie).

Maisstärke

Je nach Qualität wird Mais verschiedener Provenienzen, wie US-Mais, und zunehmend Mais aus geeigneten Sorten europäischer Länder (Italien, Frankreich, Spanien, Griechenland) verarbeitet.

Eine typische durchschnittliche Zusammensetzung von amerikanischem Gelbmais ist (bezogen auf die Substanz):

Wasser	16,2%
Rohprotein	8,2%
Rohfaser	2,2%
Zucker	2,2%
Stärke	60,0%
Rohfett	4,0%
Mineralstoffe	1,2%
Sonstiges	6,0%

Aus 1 000 kg Mais mit 12% Wasser lassen sich etwa folgende Bestandteile gewinnen (bezogen auf TS) (TEGGE, 1984):

Stärke	612 kg
Quellwasser-TS	61 kg
Keime	71 kg
Schalen	68 kg
Kleber (Gluten)	54 kg
Bruchmais	10 kg
(Verluste)	4 kg

Im nachfolgenden Fließschema soll der Prozeß der Maisstärkefabrikation kurz erläutert werden (Bild 3.2).

Der Mais wird nach Entfernung des Staub-Anteils mit warmem Wasser von ca. 45 °C unter Zusatz von Schwefeldioxid ca. 1,5 Tage einem Quellprozeß unterzogen. Das sogenannte Quellwasser reichert sich mit den im Maiskorn vorhandenen löslichen Bestandteilen, wie niedrigmolekulare Kohlehydrate, Aminosäuren und anorganischen Verbindungen an, wobei in einem durch das Schwefeldioxid kontrolliert gehaltenen biochemischen Prozeß u. a. Anteile von Kohlehydraten zu organischen Säuren, wie Milchsäure, umgebildet werden können.

Nach Ablauf des Quellprozesses wird das Maisquellwasser abgezogen und in Fallstrom-Verdampfern zum sogenannten „schweren Quellwasser“ eingedampft, das entweder als „Protein-Konzentrat“ den Maisschalen für das

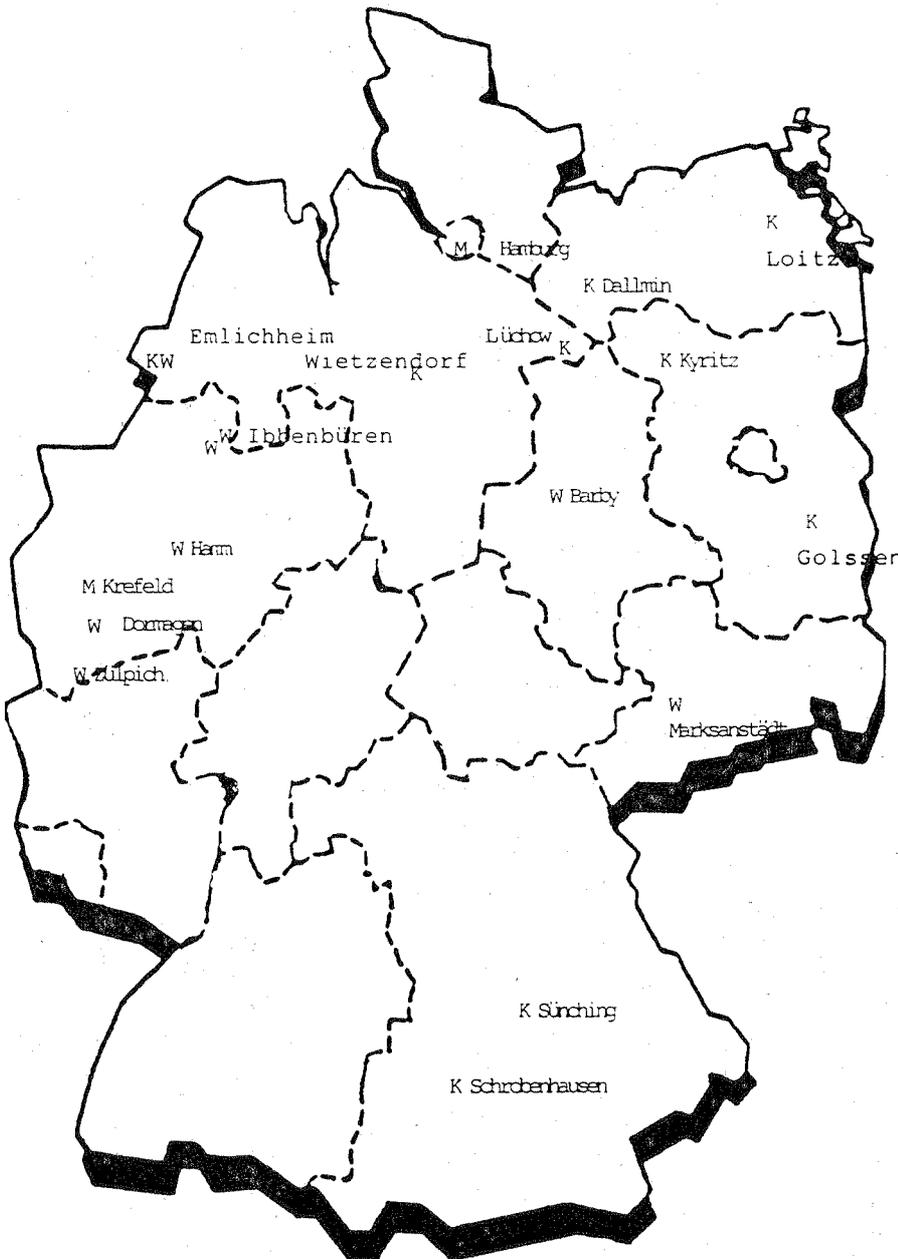


Bild 1: Standorte stärkeproduzierender und -verarbeitender Fabriken in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 1991)

Legende:

K = Kartoffel M = Mais W = Weizen

Maiskleberfutter zugesetzt wird oder als Substrat für die Herstellung von Antibiotika verwendet werden kann. Danach wird der gequollene Mais zur Freisetzung des Maiskeimlings derart grob gemahlen, damit der Keimling möglichst unverseht bleibt und nach Auswaschen von restlicher Stärke und Kleber-Anteilen, der Keimwäsche, getrocknet und zum Mais-Keimöl aufgearbeitet werden kann. Die weitere Abtrennung der Schalen und der Kleber-Anteile erfolgt über verschiedene Siebssysteme mittels Separatoren oder Hydrozyklone zur faserfreien wäßrigen Suspension von Stärke und Kleber-Anteilen. Nach Abtrennung der Kleber-Anteile und vollständiger Auswaschung der Stärke kann diese über geeignete Entwässerungssysteme (Schäl-Zentrifugen) und Schnell-Umlauf-Trockner zur nativen Mais-Stärke getrocknet werden. Als wässrige Stärkesuspension, also vor Entwässerung und vor Trocknung, kann diese zur Weiterverarbeitung, beispielsweise zu Stärke-Hydrolysate und Stärke-Modifizierungsprodukte, verwendet werden.

Der gesamte Stärke-Herstellungszug verläuft in wässriger Suspension im geschlossenen Wasserkreislauf im Gegenstrom-Prinzip. Die Nebenprodukte, Schalen-Anteile und Kleber, werden entwässert und getrocknet als Handelsprodukte Maiskleber, Maiskleberfutter und Maisklebermehl verkauft.

Weizenstärke

Grundsätzlich unterscheidet sich die Konzeption von Weizenstärkefabriken darin, ob sie als Rohstoff Weizen einsetzen und daraus Weizenmehl gewinnen oder Weizenmehl direkt verarbeiten. In beiden Fällen wird das Weizenmehl nach dem Verfahren der Trockenmüllerei gewonnen, wobei in der Regel Winterweizen aus dem Inland oder aus Ländern der Europäischen Gemeinschaft eingesetzt wird.

Qualität und Zusammensetzung können starke Schwankungsbreiten ausweisen. Das Weizenmehl, beispielsweise ca. 60% Stärke und ca. 11 bis 13% Protein enthaltend, wird zum Zweck der Vital-Kleber-Abtrennung einem Naßprozeß unterworfen, der mit dem für diesen Prozeß charakteristischen Teigbildungsverfahren beginnt. Die hierbei angewendeten Methoden haben gleichermaßen zum Ziel, das Mehleweiß zu hydratisieren und dieses sich zu einem unlöslichen und dehnbaren Feuchtkleber umformen zu lassen, der dann von der Stärke abgetrennt werden kann.

Nach der Kleberseparation, die verfahrenstechnisch auf verschiedene Weise erfolgen kann, wird der Feuchtkleber, mit ca. 30% Trockensubstanzgehalt, zumeist in Ringtrockner-Anlagen, schonend unter Erhalt der Dehnungseigenschaften getrocknet.

Die nach der Kleberseparation erhaltene wässrige Suspension mit den übrigen restlichen Mehl-Inhaltsstoffen wie Stärke, Kleie-Anteile und gelösten Substanzen wird in Separations-Stufen, meist Hydrozyklon-Systemen, in eine grobkörnige (Kornverteilung 25 bis 10 µm) „Prima-Stärke“, oder auch „A-Stärke“ genannt, mit einem hohen Reinheitsgrad, d. h. einem Proteingehalt unter 0,3%, und eine weitere Fraktion getrennt, die die feinkörnige „Sekunda-Stärke“, auch „B-Stärke“ genannt, sowie die oben genannten restlichen gelösten Substanzen enthält.

In einer weiteren Separation trennt man die konzentrierte „B-Stärke“-Fraktion von der Hauptmenge des Wassers und der darin gelösten Substanzen ab. Beide Fraktionen werden unabhängig voneinander getrocknet, die „A-Stärke“-Fraktion, nachdem sie vorher über Vakuum-Drehfilter vorentwässert wurde, zur sogenannten „Prima-Stärke“. Die andere Fraktion, „Sekunda-Stärke“, kann beispielsweise mittels Wärmebehandlung als physikalisch modifizierte Stärke zur Quellstärke aufgeschlossen werden.

Eine weitere Möglichkeit der Veredelung der „B-Stärke“ besteht darin, die wässrige „B-Stärke“-Suspension nach geeignetem enzymatischem Aufschluß der Herstellung von „Bio“-Ethanol zuzuführen.

Beispielhaft ist im Bild Nr. 3.3 ein Schema der Weizenstärkegewinnung mit den entsprechenden Wasserkreisläufen dargestellt.

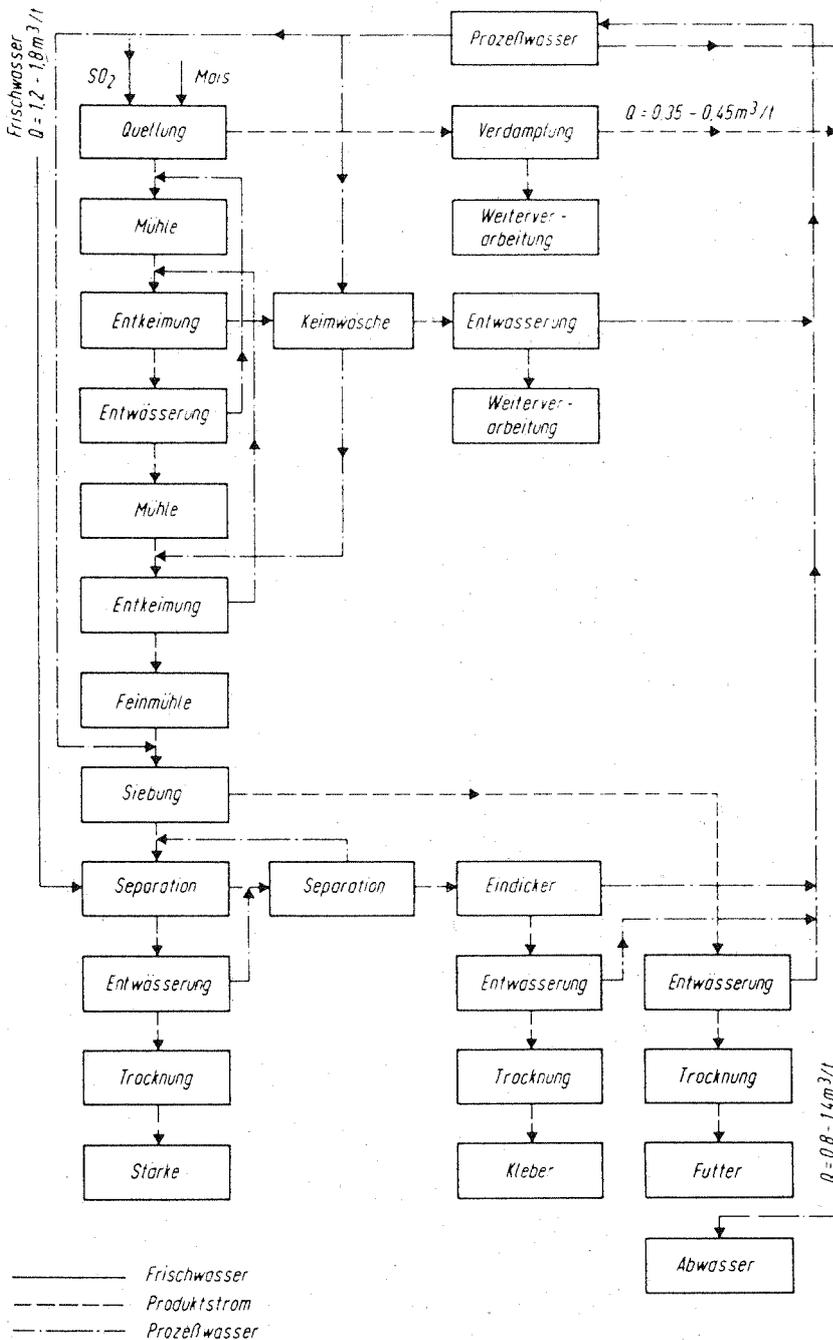


Bild 3.2: Fließschema der Maisstärkegewinnung (SEYFRIED und SAAKE, 1985)

3.2.2 Kartoffelstärke

Die Fabriken zur Kartoffelstärkegewinnung befinden sich in typischen Kartoffel-Anbaugebieten und beziehen ihre Rohstoffe aus dem Umland. Die zur Verarbeitung kommenden Industriekartoffeln weisen folgende Zusammensetzung in Mittelwerten und Schwankungsbreiten auf:

Wasser-Gehalt	75 %	(63 — 87 %)
Stärke-Gehalt	19 %	(8 — 30 %)
Roh-Protein-Gehalt	2 %	(0,7 — 4,7 %)
Rohfaser-Gehalt	1,6 %	
Asche-Gehalt	1,2 %	(0,15— 2,0% P ₂ O ₅)
Lösl. Kohlenhydrate	1,1 %	
Rohfett-Gehalt	0,15%	

Besonders charakteristisch für das Fertigprodukt der nativen Kartoffelstärke ist der gegenüber Getreidestärken weitaus höhere Gehalt an Phosphor- sowie Kalium-Verbindungen (s. Asche-

Gehalt). Diese Gehalte sind von Anbaugbiet und Düngemittelgaben abhängig (TEGGE, 1934).

Die gerodeten Kartoffeln werden meist in zwei Reinigungsstufen von Erdbestandteilen und Pflanzenresten, ähnlich wie bei der Zuckerrübenreinigung, im Waschwasser-Gegenstrom gereinigt. Die Zerkleinerung der Kartoffeln und Freisetzung der Stärkekörner erfolgt durch sogenannte Blatt-Reiben. Die Behandlung des Prozeßwassers mit Schwefeldioxid soll Verfärbungen verhindern. Die Abtrennung des Kartoffelfruchtwassers (Saft der Kartoffelknollen) ist eine primäre Voraussetzung für den gesamten Kartoffelstärkeprozeß. Damit ist sowohl die Qualität der herzustellenden nativen Stärke als auch die Gewinnung und weitere Aufbereitung des Fruchtwassers beispielsweise in der Abtrennung von Protein vorgegeben. Nach der Abtrennung des Fruchtwassers werden die Faseranteile des Reibseils von der wässrigen Suspension der Stärkekörner als Pülpe ausgewaschen, entwässert, getrocknet und als Futter der Nutzung zurückgegeben. Die abgetrennte

Stärke-Suspension wird mittels verschiedener Gegenstrom-Auswaschungen, meist in Hydrozyklon-Anlagen, von noch vorhandenen Fremdanteilen, wie gelöste Proteine und Feinfasern, separiert und kann dann nach Vorentwässerung und Trocknung zur nativen Kartoffelstärke, nach Stärke-Hydrolyse zu Verzuckerungs-Produkten oder nach physikalischer bzw. chemischer Behandlung zur modifizierten Stärke verarbeitet werden. Die erwähnte Vorentwässerung erfolgt üblicherweise durch Vakuum-Drehfilter, die Trocknung durch Stromtrockner zur handelsüblichen Kartoffelstärke mit einer Gleichgewichtsfeuchtigkeit von 18—20%.

In Bild 3.4 ist beispielhaft ein Schema der Kartoffelstärkegewinnung mit den entsprechenden Wasserkreisläufen dargestellt.

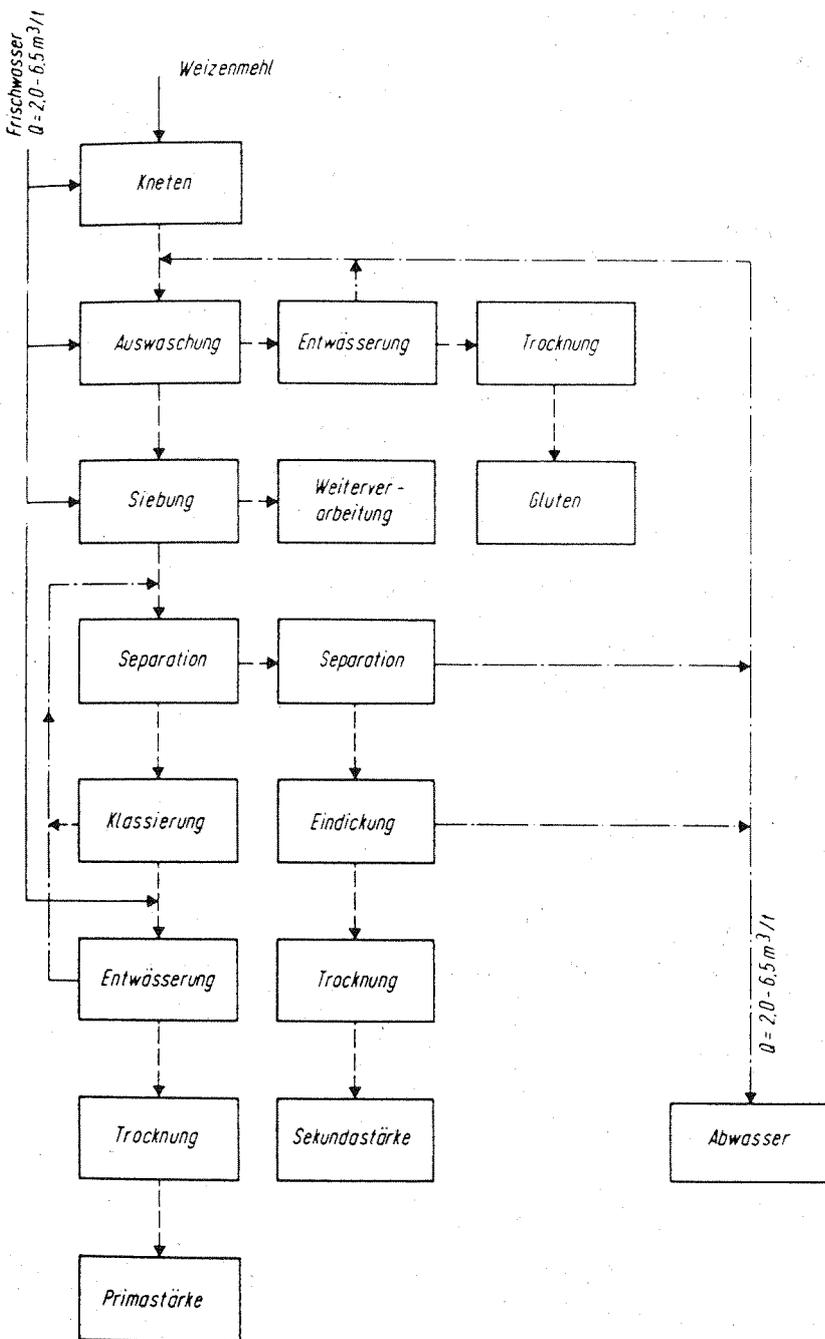


Bild 3.3: Fließschema der Weizenstärkegewinnung (SEYFRIED und SAAKE, 1985)

3.3 Stärkeerzeugnisse

3.3.1 Allgemeines

Neben der Herstellung von nativer Trockenstärke und die nach Art der verwendeten Rohstoffe anfallenden Nebenprodukte, wie Kleber und andere Komponenten für die Futtermittelherstellung, war bis vor einigen Jahrzehnten von der Weiterverarbeitung der nativen Stärke nur die Herstellung von Stärkehydrolyseprodukten, wie Glukosesirup und Dextrose, üblich.

Seit ungefähr drei Jahrzehnten nehmen die Anwendungsgebiete von Stärkeerzeugnissen, insbesondere modifizierten Stärken, zur Verwendung als Zusatzstoffe für Lebensmittel und für technische Industrien ständig zu, wie in Bild 3.5 gezeigt wird. In kürzerer Darstellung kann auch folgende Einteilung zugrunde gelegt werden:

- chemisch modifizierte Stärken, als hydrolytisch abgebaute Stärken, als oxidierte Stärken, als Stärkeether und als Stärkeester (siehe Bild 3.6).
- physikalisch modifizierte Stärken, die Quellstärken, die durch Trocknen einer Stärkepaste auf Basis von nativer oder chemisch modifizierter Stärke, ohne/oder mit Zusatz von chemischen Reagenzien, erhalten werden und die Eigenschaften haben, in Berührung mit kaltem Wasser merklich zu quellen oder kolloidale Dispersionen zu ergeben.

Stärkehydrolyseprodukte, wie verschiedenste Glukosesirupe, Dextrose und deren hydrierte Produkte.

Sonstige Produkte, wie Zubereitungen der oben genannten Stoffe oder Stoffgruppen mit Zusatz anderer chemischer Stoffe und/oder Zubereitungen.

3.3.2 Modifizierte Stärken

Die chemisch modifizierten Stärken, mit Ausnahme der durch trockenes Erhitzen, meistens in Gegenwart von Säuren, hergestellten Dextrine, zählen zu den abwasserrelevanten Stärke-Erzeugnissen. Die chemische Modifikation verläuft in der wässrigen Stärke-Suspension, meist im Batch-Verfahren, unter Zugabe einer vorgegebenen Reagenzienmenge, wie Ester- oder Etherabspaltenden Verbindungen, Säuren oder Oxidationsmittel, bei

bestimmten Temperatur-, Zeit- und pH-Einstellungen. Nach Ablauf der Reaktion wird die wässrige Suspension neutralisiert, nach Gegenstrom-Auswaschung mittels Hydrozyklon-Anlagen von löslichen anorganischen und organischen Bestandteilen (Chemikalien und durch die Reaktionsbedingungen wasserlöslichen Stärkeanteile) getrennt und nach Vorentwässerung getrocknet.

Es besteht aber auch die Möglichkeit nach Reaktionsende und Auswaschung, eine physikalische Modifizierung anzuwenden und damit eine „kaltwasserlösliche“ chemisch modifizierte Stärke herzustellen. Ferner können verschiedene chemische Modifizierungen nacheinander ablaufen.

Eine Übersicht der chemisch modifizierten Stärken sowie die Möglichkeiten zur weiteren chemischen und/oder physikalischen Modifizierung ist im Bild 3.6 aufgezeichnet. Die abwasserrelevanten Modifizierungen sind besonders gekennzeichnet.

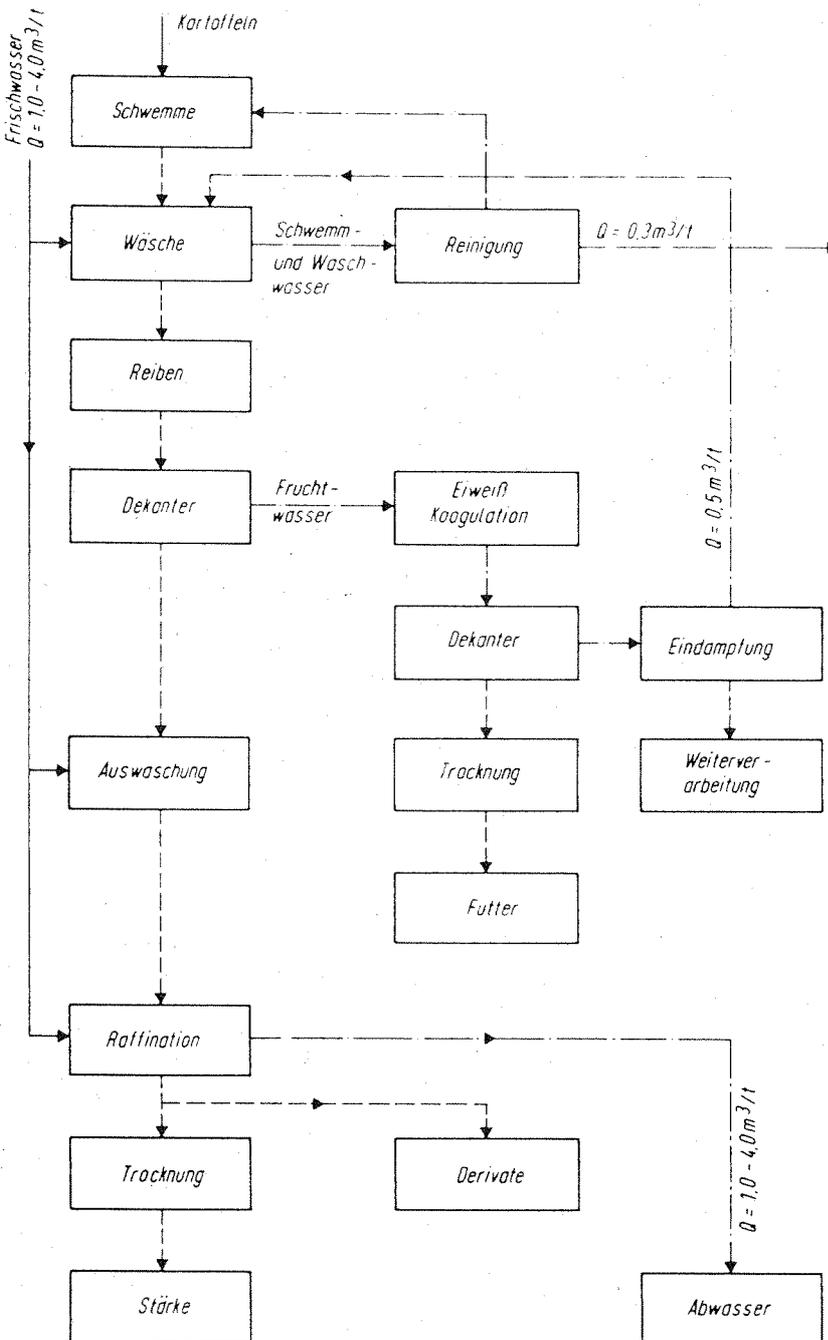


Bild 3.4: Fließschema der Kartoffelstärkegewinnung (SEYFRIED und SAAKE, 1985)

3.3.3 Hydrolyse-Produkte

Als Hydrolyse-Produkte, wie Glukosesirup und Dextrose, werden alle Produkte bezeichnet, die unter Verwendung von Stärke verschiedensten Ausgangsmaterials hergestellt werden. Definitionsgemäß wird als Hydrolyse die mehr oder weniger starke Depolymerisierung des Stärkemoleküls durch die Einwirkung von Wasser in Gegenwart eines Katalysators (Säure oder Enzym) bezeichnet, wobei die glukosidischen Bindungen im Molekül gespalten werden. Hierbei können die Katalysatoren allein oder in verschiedenster Kombination, Säure und Enzym oder Enzym und Enzym, eingesetzt werden, um verschiedenste „maßgeschneiderte“ Depolymerisationen von Stärkehydrolysaten herzustellen.

Die nach der Hydrolyse noch nicht raffinierten und konzentrierten sogenannten Dünnsäfte werden durch Adsorption mittels geeigneter Aktivkohlen, durch Behandlung mittels Ionenaustauscher-Systeme, nach Eindampfung zu Glukosesirup mit sirupartiger Konsistenz oder auch nach Kristallisation zu Dextrose aufgearbeitet. Es besteht die Möglichkeit der Malto-Dextrin-Herstellung.

Die bei der Herstellung von Hydrolyse-Produkten anfallenden Abwässer können durch die Brüdenkondensate der Eindampfanlagen, durch Regenerationsverfahren der Ionenaustauscher oder durch Spül- bzw. Reinigungswasser verursacht werden.

3.3.4 Sonstige Produkte

Unter diesem Oberbegriff sollen alle Produkte der stärkeherstellenden Betriebe zusammengefaßt sein, die bisher noch nicht ausführlich erwähnt wurden, wie die Produkte der Futtermittelherstellung und die flüssigen und pulverförmigen Zubereitungen.

VERWENDUNG VON STÄRKE UND STÄRKEPRODUKTEN

LEBENSMITTEL UND ZUSATZSTOFFE

Glukosesirup Dextrose, kristall- wasserhaltig	Stärke, oxidativ abgebaut E 1404
Dextrose, kristall- wasserfrei	Acetyliertes Distärkephosphat E 1414
Getrockneter Glukosesirup	Stärkeacetat E 1420
It. Zuckerartenverordnung	Acetyliertes Distärkeadipat E 1422
Zuckerulör E 150 Sorbit E 420	It. Zusatzstoff- Zulassungsverordnung
It. Zusatzstoff-Verkehrs- Verordnung	Physikalisch modifizierte Stärke Enzymatisch modifizierte Stärke Mit Säuren behandelte Stärke Gebleichte Stärke Phosphatstärke It. Zusatzstoff- Verkehrsverordnung

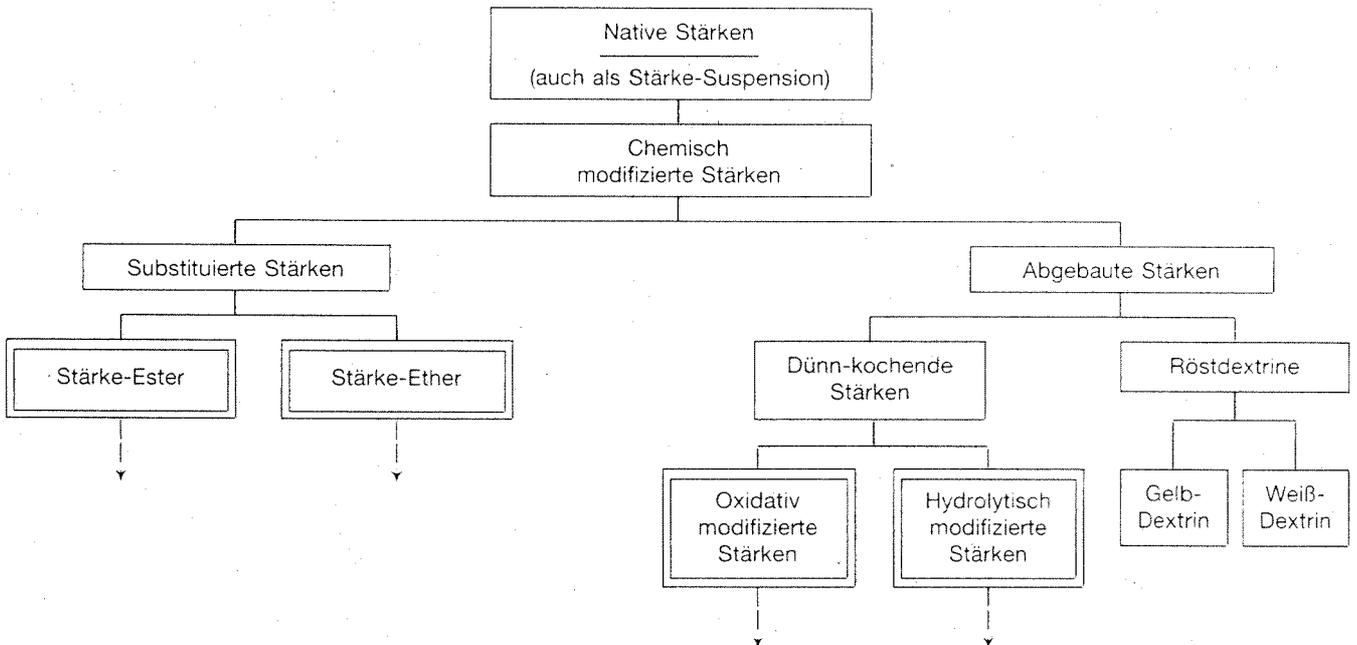
TECHNISCHE PRODUKTE

(auch Bedarfsgegenstände im Sinne des LMBG)
für chemisch-technische Industrien,
wie Papier- und Textil-Verarbeitung

Oxidierter Stärken	(Carboxylstärke) (Dialdehydstärke)
Stärkeester	(Sulfamatstärke) (Acetatstärke) (Phosphatstärke)
Stärkeether	— anionisch: (Carboxylmethylstärke) — kationisch: (Kationische Stärke)
vgl. hierzu Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes	

Die Rechtsverordnungen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes, die Zuckerarten-Verordnung, Zusatzstoff-Zulassungsordnung, Zusatzstoff-Verkehrsverordnung bzw. die Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes sind jeweils zu beachten.

Bild 3.5: Verwendung von Stärke und Stärkeprodukten als Beispiele



Anmerkung:
| Weitere chemische und/oder
| physikalische Modifizierung
v möglich.

Bild 3.6: Einteilung der modifizierten Stärken nach GRAEFE (1964) und TEGGE (1984) mit Ergänzungen als Hinweise auf abwasserrelevante Modifizierungen

4. Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe

4.1 Begriffsbestimmung

4.1.1 Produktionsabwasser

Hierzu gehören Abwasser aus der Stärke-Produktion:
Rohwarencleaning/-transportabwasser
(z. B. Kartoffelwasch- u. Schwemmwasser)
Kondensate aus Eindampfprozessen

Keimwaschung
Stärkeentwässerung/-eindickung
Stärke-Verarbeitung:
Kondensate aus Eindampfprozessen
Regenerierwasser aus Ionenaustauschern
Waschwasser aus der chemischen Modifizierung
Weiterhin zählen dazu Abwasser aus der Reinigung der Produktionsanlagen, einschließlich der Oberflächenreinigung in den

Produktionshallen und der Hof- und Betriebsverkehrsflächen, die mit Produkt- oder Rohwarenresten verunreinigt werden, sowie der Reinigung der Transporteinrichtungen.

Ebenfalls zu dieser Kategorie gehören Abwässer aus Nebenanlagen, wie Werkstätten, dem Werkslabor oder ähnlichem.

4.1.2 Kühlwasser

Direktes Kühlwasser (z. B. Fallwasser), das bei seiner Verwendung mit den in der Produktion verarbeiteten Stoffen in Berührung kommt, wird zum Produktionsabwasser gezählt.

Indirektes Kühlwasser erfährt bei seiner Nutzung nur eine Temperaturerhöhung und kann, wenn die örtlichen Gegebenheiten es zulassen, unter Beachtung wasserrechtlicher Bestimmungen direkt in ein Gewässer eingeleitet werden. Starke Anreicherung mit Luft nach Durchlaufen von Kühltürmen sowie innerbetrieblich durchgeführte Teilentsalzung mit anschließender „Verschneidung“ auf 5 bis 6 °dH, sowie andere Maßnahmen nach den Vorschriften zur Aufbereitung von Rohwasser zu Trinkwasser gelten nicht als Veränderung.

Bei diesen Betrieben werden gewöhnlich Kreisläufe mit Mehrfachnutzung der Durchflußkühlung vorgezogen.

4.1.3 Abwasser aus der innerbetrieblichen Wasseraufbereitung

Das Abwasser wird üblicherweise in die Kanalisation, bei Bestehen einer Trennkanalisation in den Niederschlagswasserkanal abgeleitet. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, das Abwasser unter Beachtung wasserrechtlicher Bestimmungen direkt in ein Gewässer einzuleiten.

4.1.4 Niederschlagswasser

Hierunter wird das von befestigten Flächen (Hof-, Straßen-, Dachflächen usw.) abfließende Wasser von Niederschlägen (Regen, Schnee usw.) verstanden.

Niederschlagswasser von Flächen, auf denen es aufgrund betrieblicher Bedingungen mit Stoffen aus dem Produktionsprozeß verunreinigt werden kann (Verladezonen, Fahrzeugreinigung usw.), wird entweder in Abscheideeinrichtungen nach DIN 1990 oder gemeinsam mit dem Produktionsabwasser behandelt und abgeleitet.

Das übrige Niederschlagswasser, auch nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik behandeltes Niederschlagswasser von Parkplätzen u. ä., kann je nach den Gegebenheiten unter Beachtung der wasserrechtlichen Bestimmungen in den Regenwasserkanal oder direkt in ein Gewässer eingeleitet werden.

4.1.5 Sanitäres Abwasser

Der Anfall dieses Abwasser hängt ab von der Zahl der Mitarbeiter des Betriebs und spielt meistens eine untergeordnete Rolle. Es ist der öffentlichen Abwasseranlage zuzuführen.

4.2 Produktionsabwasser

4.2.1 Allgemeines

Das bei der Stärkeproduktion anfallende Abwasser (m^3 Abwasser/t verarbeiteter Rohware), die Abwasserkonzentrationen und die Abwasserinhaltsstoffe sind zum einen vom Produktionsverfahren sowie von Art und Umfang der innerbetrieblichen Abwassermeidungsmaßnahmen und zum anderen von der verarbeiteten Rohware abhängig. Von Betrieb zu Betrieb können daher relativ große Schwankungen auftreten.

Durch Umstellung der Produktionsprozesse ist der spezifische Abwasseranfall in den letzten Jahren bei den Stärkefabriken in der Bundesrepublik Deutschland erheblich vermindert worden. Hier-

mit war jedoch ein Anstieg der Abwasserkonzentrationen oft verbunden, so daß die Schmutzfracht annähernd unverändert blieb.

4.2.2 Maisstärke

Bei der Maisstärkefabrikation sind die folgenden Abwasseranfallstellen möglich (vgl. Bild 3.2):

- Quellstation
- Keimwäsche
- Stärkemilchentwässerung
- Klebereindickung
- Kleberentwässerung
- Schalenentwässerung.

Die charakteristischen Inhaltsstoffe der Abwässer sind, je nach Anfallstelle, Stärke, Eiweißstoffe, Fette, Kohlehydrate und deren Abbauprodukte sowie Fasern und Schwefeldioxid.

Die an den aufgeführten Stationen anfallenden Abwässer werden zum größten Teil als Prozeßwasser im Kreislauf geführt, z. B. wird das Quellwasser (stehender Begriff für Abwasser aus der Quellstation) zunächst im Verdampfer auf Trockensubstanzgehalte von 50—55% eingedickt. Die dabei anfallenden Brüden werden ins Abwasser abgegeben (ca. 0,35—0,45 m^3/t Mais). Der BSB₅-Wert des eingedickten Quellwassers liegt nach SEYFRIED (1962) bei ca. 220 g/l. Die Brüden der Verdampfer weisen dagegen nur noch 1 700 mg/l BSB₅ auf. Die übrigen Abwässer werden im Kreislauf über den Prozeßbehälter geführt und ggf. diskontinuierlich in die Abwasserkanalisation gegeben.

Durch Kreislaufführung der Produktionswässer konnte der spezifische Abwasseranfall bei der Maisstärkeproduktion von 9—11 m^3/t auf 1,5—3,0 m^3/t reduziert werden. Die von SEYFRIED und ROSENWINKEL im Jahre 1978 durchgeführten Untersuchungen ergaben einen spezifischen Gesamtabwasseranfall von 0,8—1,4 m^3/t . In der Tabelle 4.2 sind Abwasserkennwerte angegeben, ähnliche Werte sind auch in den Veröffentlichungen von CARANSA (1975) und RADLEY (1976) zu finden.

4.2.3 Weizenstärke

Bei der Weizenstärkefabrikation fallen die Abwässer in der Separierstufe und beim Eindicken der Sekundärstärke an. Alle anderen Teilströme werden in den Prozeßwasserkreislauf zurückgeführt (vgl. Bild 3.3).

Für eine norddeutsche Weizenstärkefabrik werden von WITT (1985) die in der Tabelle 4.3 aufgelisteten Abwasserkennwerte und die in Tabelle 4.4 gezeigten Abwasserinhaltsstoffe angegeben.

Von SEYFRIED und ROSENWINKEL wurden spez. Abwassermengen und Belastungen verschiedener Betriebe ermittelt (s. hierzu Tab. 4.5).

	Prozeßwasser	Eindampfer
	(Brüden)	
spez. Abwasseranfall (m^3/t)	0,45—0,95	0,35—0,45
pH-Wert	4,3—4,6	2,3—4,5
absetzb. Stoffe (ml/l)	ca. 24,5	n. n.
CSB (mg/l)	8 000—30 000	1 900—3 000
BSB ₅ (mg/l)	9 500—14 000	900—2 200
Ges. N (mg/l)	500—1 350	4—40

Tabelle 4.1: Abwasserkennwerte für Abwässer aus der Maisstärkefabrikation (SEYFRIED u. ROSENWINKEL; 1982)

	spez. Abwasseranfall (m ³ /t)	BSB ₅ (sed.) (mg/l)	spez. BSB ₅ Fracht (kg/t)	CSB (sed.) (mg/l)	spez. CSB-Fracht (kg/t)
Eindampfer (Brüden)	0,35—0,45	1 697	0,59—0,76	2 915	1,02—1,3 ¹⁾
Prozeßwasser	0,45—0,95	11 543	5,19—10,96	17 608	7,92—16,73

Tabelle 4.2: Spez. Abwasseranfall und Schmutzfrachten für Abwässer aus der Maisstärkefabrikation (SEYFRIED u. ROSENWINKEL, 1982)

Parameter	min.	max.	arithmet. Mittel
Temperatur °C	24	30	27
pH-Wert	3,5	4,9	4,3
CSB mg/l	21 750	52 500	45 000
BSB ₅ mg/l	18 600	37 500	30 000
TOC mg/l	7 800	15 500	11 800
Ges. N mg/l	650	2 500	1 180
Ges. P mg/l	12	270	210
SO ₄ ²⁻ mg/l	43	997	270
CL ⁻ mg/l	177	1 100	370
wasserdf. org. mg/l			
Säuren (als CH ₃ COOH)	370	810	570
Gesamt-Milchsäure mg/l	460	7 290	4 500
Sed. TS g/l	0,49	11,43	4,7
org. Sed. TS %	89	98	94,3

Tabelle 4.3: Abwasser kennwerte für Abwässer aus der Weizenstärkefabrikation (WITT, 1985)

Stärke	5,4—10,6 %
Kohlenhydrate, ethanollöslich	27 —37,2 %
Pentosane	20,8—33,0 %
Rohprotein (N x 6,25)	18,9—22,5 %
Fett (Salzsäureaufschluß)	5,3— 7,8 %
Asche (800 °C)	4,7— 6,8 %

Tabelle 4.4: Abwasserinhaltsstoffe bezogen auf die Trockensubstanz eines Weizenstärkeabwassers (WITT, 1985)

	spez. Abwassermenge (m ³ /t)	BSB ₅ sed (mg/l)	spez. BSB ₅ Fracht (kg/t)	CSB sed (mg/l)	spez. CSB Fracht (kg/t)	Bemerkungen
Produktionsabwasser Firma A	3—6	12 344 (8 700)	37,0—74,1 (26,1—52,2)	18 054	54,2—106,3	1978
Produktionsabwasser Firma B	3—6	18 270 (16 544)	54,8—109,6 (49,6—99,3)	29 897 (20 000)	89,7—179,4 (60—120)	1978
	2,8—3,5	12 000—16 000	i. M. rd.45	i. M. 40 000	i. M. 120	1982
Produktionsabwasser Firma C	3—6 ¹⁾	—	—	20 414	60,9—121,8	1978

¹⁾ angenommen
 () Ablauf-, Absetz-, bzw. Neutralisationsbecken

Tabelle 4.5: Spez. Abwasseranfall und Belastungen der Abwässer aus der Weizenstärkefabrikation verschiedener Betriebe (SEYFRIED und ROSENWINKEL, 1982)

Während noch in den 60er Jahren mit einem spezifischen Abwasseranfall von bis zu 10 m³ pro Tonne Weizenmehl gerechnet werden mußte, betrug er für die von SEYFRIED und ROSENWINKEL untersuchten Weizenstärkefabriken nur noch 2,8 bis 6 m³/t im Untersuchungsjahr 1982 bzw. 1978.

Für das Jahr 1985 werden von WITT (1985) maximal 3 m³/t angegeben. Entsprechend einer Umfrage hat sich dieser Wert für die meisten Weizenstärkefabriken der alten Bundesländer bestätigt. In einigen Betrieben fallen sogar weniger als 2 m³/t an. Entsprechend höher liegen dann jedoch die Abwasserkonzentrationen.

4.2.4 Kartoffelstärke

Bei der Kartoffelstärkefabrikation fallen während der ca. 120 Tage pro Jahr dauernden Kampagne Schwemm- und Waschwässer, Fruchtwasser und Stärkewaschwasser sowie Wasser der Stärke-Vorentwässerung an (vgl. Bild 3.4).

Die charakteristischen Inhaltsstoffe dieser Abwässer sind erdige und pflanzliche Bestandteile, Kohlenhydrate und Eiweißstoffe sowie deren Abbauprodukte, Fasern, Kalium (von Bedeutung insbesondere im Fruchtwasser) und Schwefeldioxid.

Das Schwemm- und das Waschwasser wird i. d. R. weitgehend im Kreislauf geführt, dabei werden dem Wasserkreislauf etwa 0,5 bis 1,0 m³ Wasser/t Kartoffeln entzogen und als Abwasser abgeführt. Ohne Kreislaufführung würde der Abwasseranfall aus den Schwemm- und Waschwässern ca. 5—9 m³/t betragen. Entsprechend niedriger wären dann allerdings die Abwasserkonzentrationen. Zur Abscheidung der im Schwemm- und Waschwasser mitgeführten Feststoffe (vorwiegend Sand und Lehm) werden zunehmend moderne Absetzbecken mit kontinuierlicher Schlammräumung eingesetzt. Bei den Feststoffen handelt es sich vorwiegend um Sand und Lehm, die etwa 5—20 % des Rohkartoffelgewichtes ausmachen.

Bei der Stärkewäsche fallen nach SEYFRIED und ROSENWINKEL (1982) ca. 1,0—1,3 m³ Abwasser pro t Kartoffeln an. Durch die Anwendung des Hydrozyklonverfahrens läßt sich der Frischwasserbedarf und somit der Abwasseranfall auf ca. 0,2 m³/t verringern (VERBERNE, 1977).

Das aus den Kartoffeln abgetrennte Fruchtwasser wird der Kartoffeleiweißgewinnung zugeführt. Dabei werden ca. 50 % der im Fruchtwasser enthaltenen Eiweißverbindungen koaguliert und anschließend separiert (BACZKOWICZ u. TOMASIK, 1985). Der BSB₅ des Fruchtwassers läßt sich dadurch nach HUTTERER

(1978) von ca. 60 000 mg/l auf 30 000 mg/l reduzieren. Der Kaliumgehalt liegt dann bei ca. 4 000 bis 5 000 mg/l. Weitere Angaben darüber sind in der Veröffentlichung von BIFFL (1978) zu finden.

Für die Behandlung der Restfruchtwässer gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zumindest theoretisch können sie entweder membranfiltriert (PEPPER u. ORCHARD, 1981; MARQUARDT, 1984; OOSTEN, 1976; MEUSER u. SMOLNIK, 1976; MEUSER u. KÖHLER, 1981; u. a.), eingedampft (WY SOCKI, 1972; MISCHER et al., 1985) oder anaerob vorbehandelt werden (NANNINGA u. GOTTSCHAL, 1986; MUDRACK u. KUNST, 1982; SEYFRIED u. SAAKE, 1982). Bei der Eindampfung entstehen nach SEYFRIED u. SAAKE (1985) ca. 0,5 m³ Brüdenkondensat pro t Kartoffeln.

Nach Untersuchungen von SEYFRIED u. ROSENWINKEL (1982) liegt der Gesamtabwasseranfall bei der Kartoffelstärkefabrikation bei 1,5 bis 2,3 m³ Abwasser pro t Kartoffeln. Noch für die 70er Jahre wurden von ANSART (1974), CARANSA (1973), CARANSA (1975), HOLTHUIS (1972) und HUTTERER (1978) Werte von 3,0 bis 4,0 m³/t angeben.

Für eine norddeutsche Kartoffelstärkefabrik wurden von SEYFRIED und ROSENWINKEL (1982) für das Untersuchungsjahr 1978 in der Tabelle 4.6 zusammengestellten Abwasserwerte ermittelt. Dabei lagen für das Gesamtabwasser keine Maßergebnisse vor. Die angegebenen Gesamtabwasserkonzentrationen wurden unter Berücksichtigung eines 30%igen Schwemm- und Waschwasseranteils sowie 61%igen Stärkewaschwasseranteils errechnet. Die spezifischen Abwassermengen und Schmutzfrachten sind der Tabelle 4.7 zu entnehmen.

4.2.5 Modifizierte Stärken

Durch physikalische oder chemische Modifikation kann aus dem Rohstoff Stärke eine Vielzahl von Produkten hergestellt werden. Bei der physikalischen Modifikation fallen keine relevanten Abwässer an, bei der chemischen Modifikation entstehen Abwässer jedoch mit erheblicher Belastung. Generell kann festgestellt werden:

Die Abwasserbelastung ist um so höher, je größer der chemische Eingriff am Stärkekorn bzw. der molekularen Struktur ist, d. h. insbesondere durch die Erhöhung der Reaktionstemperatur, der Reaktionszeit, der Reagenzienart und der Reagenzienmenge.

Um Qualitätsanforderungen für das Fertigprodukt zu gewährleisten, ist nach der Reaktion eine entsprechende Auswaschung der Chemikalien erforderlich. Mit dieser Auswaschung erhöht sich die Abwasserbelastung, insbesondere durch die höheren wasserlöslichen Stärke-Anteile nach der chemischen Modifikation.

4.2.6 Hydrolyse-Produkte

Bei der Herstellung von Hydrolysen-Produkten ist der Abwasseranfall durch Verdampfer-Kondensat und Regenierwasser der Ionenaustauscher bedingt.

	Schwemm- und Waschwasser	Stärkeauswaschwasser	Gesamtabwasser (errechnet)
pH-Wert	6,2	5,7	5,9
absetzb. Stoffe (ml/l)	1,7	28	20,6
CSB (mg/l)	3 000	7 400	5 700
BSB ₅ (mg/l)	2 500	6 300	4 900
Ges. N (mg/l)	200	650	480
Ges. P (mg/l)	5,8	24,2	17,0

Tabelle 4.6: Abwasserkennwerte für Abwässer aus der Kartoffelstärkefabrikation (SEYFRIED und ROSENWINKEL, 1982)

	spez. Abwassermenge (m ³ /t)	BSB ₅ sed (mg/l)	spez. BSB ₅ Fracht (kg/t)	CSB (sed.) (mg/l)	spez. CSB Fracht (kg/t)
Schwemm- und Waschwasser	0,5 bis 1,0	2 547	1,27 bis 2,55	2 917	1,46 bis 2,92
Stärke aus Waschwasser	1,0 bis 1,3	6 333	6,33 bis 8,23	7 416	7,41 bis 9,63

Tabelle 4.7: Spez. Abwassermengen und Schmutzfrachten für Abwässer aus der Kartoffelstärkefabrikation (SEYFRIED und ROSENWINKEL, 1982)

5. Innerbetriebliche Maßnahmen zur Reduzierung der Abwassermenge und Schmutzfrachten

5.1 Allgemeines

Die bei der Stärkefabrikation anfallenden Prozeßwässer weisen i. d. R. relativ hohe Konzentrationen an organischen Inhaltsstoffen auf. Durch entsprechende innerbetriebliche Maßnahmen kann ein erheblicher Anteil dieser Stoffe, die bei entsprechender Weiterverarbeitung als Wertstoffe anzusehen sind (Stärke, Eiweiß), aus dem Prozeßwasser entfernt werden. Neben der Gewinnung der Wertstoffe erfolgt durch diese Maßnahmen eine Reduzierung der Abwasserkonzentrationen und Schmutzfrachten. Der Reinigungsaufwand in einer nachgeschalteten mechanischen, chemisch-physikalischen oder biologischen Abwasserbehandlungsanlage kann dadurch erheblich verringert werden. Die Reduzierung der Abwasserkonzentrationen kann durch unterschiedliche Technologien erfolgen, z. B.

- Sedimentation,
- Siebung und Separation,
- Filtration,
- Koagulation,
- Eindampfung,
- sonstige Verfahren.

Die Sedimentation, Siebung und Separation und Filtration sind prinzipiell mechanisch/physikalische Verfahren der Abwassertechnik. Sie werden trotzdem in diesem Kapitel beschrieben, weil ihr Einsatz die Mehrfachnutzung des eingesetzten Wassers überhaupt erst möglich macht und damit zur Verringerung von Abwasseranfall und Verschmutzung führt.

Nachfolgend sollen die genannten innerbetrieblichen Maßnahmen kurz dargestellt werden.

5.2 Sedimentation (siehe auch: ATV Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band III, Kapitel 3.5)

In der Abwassertechnik findet das Sedimentationsverfahren mittels Absetzbecken breite Anwendung. Es ist verfahrenstechnisch wenig aufwendig und daher im Vergleich zu anderen Verfahren zur Abscheidung von Feststoffen relativ kostengünstig. Der Einsatz dieses Verfahrens ist immer dann sinnvoll, wenn im Prozeß- oder Abwasser leicht sedimentierbare Inhaltsstoffe sind, wie Sand, Lehm und organische Partikel. Bei der Kartoffelstärkefabrikation werden Sedimentationsverfahren z. B. zur Abscheidung von vorwiegend inerten Bestandteilen aus dem Schwemm- und Waschwasser eingesetzt. Nach Abscheidung ist durch natürliche Entwässerung ein Trockensubstanzgehalt von 40 bis 60% TS im Schlamm erreichbar. Die Rückführung dieses Schlammes in die Landwirtschaft ist ein übliches Verfahren.

Die Bemessung der Absetzbecken erfolgt entweder nach der Durchlaufzeit, der Oberflächenbeschickung oder der Feststoff-

Flächenbelastung. Um die Absetzbeckensohle, die Räumvorrichtung sowie die Pumpen und Dekanter zur Schlammentwässerung vor Sandabrieb zu schützen, sind den Absetzbecken häufig Sandfänge mit Klassierern zur Abscheidung des Sandes vorgeschaltet.

Zur effektiven Abscheidung in dispergierte Erdanteile werden Metallsalzmischungen in Kombination mit gelöschtem Kalk als Flockungsmittel eingesetzt.

5.3 Siebung und Separation

Bei der Auswaschung der Stärke sind die Siebung und die Separation als wichtige verfahrenstechnische Schritte anzusehen. Durch den Einsatz hierfür geeigneter Apparaturen, läßt sich der Wassereinsatz und damit auch der Abwasseranfall deutlich verringern.

Zu den wichtigsten Siebapparaturen zählt neben dem Bogensieb das konische Zentrifugalsieb.

Bogensiebe sind gewölbte Spaltsiebe, deren Siebfläche aus Keilrosten oder Drahtgewebe gebildet werden und bei denen das Siebgut tangential auf die Siebfläche aufgegeben wird.

Konische Zentrifugalsiebe oder Strahlauswascher sind bei der Stärkefabrikation ebenso häufig anzutreffen wie Bogensiebe. Sie besitzen einen routierenden Siebkegel, in dem mittels Düsenstrahlen, z. B. die Stärkemilch von den Kartoffelreißeln getrennt wird.

Unter Separation versteht man die Trennung von Stoffgemischen nach den unterschiedlichen spezifischen Gewichten ihrer Mischungsbestandteile oder des Suspendiermittels. Bei der Stärkefabrikation erfolgt die Separation vorwiegend mittels

- Hydrozyklon-Anlagen — zur Abtrennung der Maiskeime,
- Multizyklon-Anlagen — zur Stärke-Waschung.
- Separatoren — als vertikale Vollmantelzentrifuge.
- Dekanter — als horizontale Vollmantelzentrifuge.

5.4 Filtration

Inwieweit sich die Verfahren der Filtration bei der Stärkefabrikation einsetzen lassen, wird folgend zusammenfassend dargestellt:

Kammer- und Hochdruckfilterpressen

Die Einsatzmöglichkeiten von Kammer- und Hochdruckfilterpressen wurden von WITT (1985) am Beispiel des Weizenstärkeabwassers untersucht. Für die Kammerfilterpresse ergab sich eine mittlere Filtrationsleistung von 15 l/(m²h). Aufgrund dieser geringen Fluxrate bei andererseits hohem Bedarf an Konditionierungsmitteln erscheint der Einsatz von Kammerfilterpressen zumindest für die Behandlung von Abwässern der Weizenstärkefabrikation wenig sinnvoll. Ähnliches ergab sich auch für den Einsatz von Hochdruckfilterpressen. Trotz sehr guter Filtrationsbedingungen konnte der CSB (im Rohwasser ca. 45 g/l) um nur 30 % verringert werden.

Membranfiltration

Die Membranfiltration unterscheidet sich von den anderen Filtrationsverfahren durch die Teilchengröße der abzutrennenden Stoffe und durch den Trennvorgang. Dabei erfolgt der Trennvorgang nach zwei verschiedenen Prinzipien, der Ultrafiltration und der reversiblen Osmose (FRANK, 1974). Während die Ultrafiltration ein Trennprozeß nach Molekülgröße ist, der mit sehr feinporigen Membranen erfolgt, gleichsam als Molekularsieb, ist die reversible Osmose die Umkehrung des osmotischen Verdünnungsbestrebens mittels semipermeablen Membranen unter

Druck, der höher als der osmotische Druck sein muß (MEUSER u. SMOLNIK, 1976).

Die Membranfiltration von Prozeßwässern der Stärkeindustrie zählt noch nicht zu den voll ausgereiften Verfahrenstechniken.

5.5 Eiweißkoagulation

Die in den Abwässern der Stärkefabriken enthaltenen organischen Inhaltsstoffe bestehen zu einem großen Teil aus eiweißhaltigen Verbindungen, die sich durch Hitze-koagulation mit anschließender Separation zumindest teilweise aus dem Abwasser entfernen lassen. Durch Zugabe von z. B. Schwefeldioxid, Schwefelsäure oder Salzsäure wird vor der eigentlichen Hitze-koagulation der isoelektrische Punkt eingestellt. Nach der Vorwärmung des eiweißhaltigen Abwassers auf ca. 40—45 °C erfolgt dann z. B. mit Hilfe eines Dampfstrahlerhitzers eine schockartige Temperaturerhöhung auf 110—120 °C. Zur Abtrennung des koagulierten Eiweißes werden meist Dekanter eingesetzt. Anschließend wird das Eiweiß getrocknet und an die Landwirtschaft zur Verfütterung gegeben. Neben der Eiweißgewinnung wird durch die Hitzebehandlung eine weitgehende Entkeimung des Abwassers sowie eine Verringerung der Abwasserverschmutzung erzielt. Die CSB-Reduktion beträgt ca. 40 %, die Reduktion des Gesamtstickstoffs 40-60 %.

In der Bundesrepublik erfolgt derzeit in allen Kartoffelstärkefabriken eine Fruchtwasserbehandlung durch Eiweißkoagulation. Ob sich diese Verfahrenstechnik auch in der Weizenstärkeindustrie durchsetzen wird, hängt von der Entwicklung der Futtermittelpreise ab.

5.6 Eindampfung

Die Eindampfung zählt zu den energieintensivsten Stofftrennverfahren. Bedingt durch Energiebedarf und -kosten kam die Eindampfung von industriellen Prozeßwässern bei der Stärkegewinnung aus Kartoffeln und Weizen nur in wenigen Fällen zur Anwendung. Bei der Maisverarbeitung wird die Eindampfung allgemein eingesetzt. Mehrstufige Anlagen nutzen die Kondensationswärme der entstehenden Brüden je nach Anzahl der Stufen besser, somit sind diese Anlagen gegenüber den einstufigen Anlagen weniger energieintensiv. In der Praxis werden daher Eindampfanlagen mit mindestens 3 Stufen eingesetzt. Grundsätzlich kann das bei der Eindampfung anfallende Konzentrat bis in eine pastöse Form überführt werden. Üblich sind Konzentrationen von ca. 30 bis 40 % TS. Der BSB₅ in den Brüden liegt bei ca. 200 mg/l, der CSB bei ca. 500 mg/l.

Die Eindampfung von Abwässern der Weizenstärkeproduktion ist erst nach Behandlung mit geeigneten Enzymen möglich, wie WIEG (1984) berichtet.

5.7 Verfahrenskombination von Membranfiltration, Eiweißkoagulation und Eindampfung

Um eine möglichst weitgehende Wertstoffrückgewinnung vor Abwasserreinigung zu ermöglichen, kann es technisch sinnvoll sein, die Membranfiltration, die Eiweißkoagulation und eine Eindampfung miteinander zu kombinieren. Durch Vorschaltung einer Membranfiltration vor der Eiweißkoagulation sind z. B. nach MEUSER et al. (1982) höhere Eiweißausbeuten und damit nach einer Eindampfung verbesserte CSB-Minderungsgrade zu erwarten.

In der Bundesrepublik Deutschland wird diese weitgehende Verfahrenskombination, bedingt durch die hohen Kosten, derzeit in keiner Stärkefabrik eingesetzt.

5.8 Sonstige Verfahren zur Wertstoffgewinnung

Neben diesen vorher beschriebenen Verfahren zur Wertstoffgewinnung und Verringerung der Abwasserverschmutzung gibt es noch eine Anzahl anderer Verfahren, wie die

- Verhefung.
- Vergärung (Ethanol-Gewinnung).
- Gewinnung von Antibiotika und Enzyme.
- Gewinnung von Single-Cell-Protein (SCP).

Diese Verfahren sollen nur der Vollständigkeit halber genannt werden, haben jedoch noch keine nennenswerte praktische Bedeutung.

5.9 Sonstige innerbetriebliche Maßnahmen zur Minderung von Abwasseranfall und -schmutzfracht

Nachfolgende Aufzählung ist kein vollständiger Katalog. Sie soll das Betriebspersonal zu Minderungsmaßnahmen dieser Art anregen:

- Einbau von Wasserzählern, damit eine Kontrollmöglichkeit von bestimmten Betriebsstationen zur Bilanzierung der Wassernutzung möglich ist.
- Einsatz von bedienungsfreundlichen Armaturen und Reduzierung von Schlauchanschlüssen,
- Stapelbehälter, um Stoßbelastungen der Abwasseranlagen zu vermeiden oder Reinigungslosungen im Kreislauf zu führen,
- Vorzug von Trockenreinigung, wie Absaugung in Abfüllbereichen,
- Vorgabe von Reinigungsabläufen (durch Anweisung und Belehrung),
- Einsatz von Hochdruck-Reinigungsgeräten,
- Auswahl der Reinigungsmittel unter Berücksichtigung von abwasserrelevanten Parametern. Vorgabe der optimalen Konzentrationen und Wiederverwendung von Reinigungsmittellösungen,
- Personalschulung.

6. Historische Entwicklung der Behandlung von Abwasser aus der Stärkeherstellung

Bereits im Spätmittelalter kamen von den Bürgern der Stadt Köln nachdrücklich Beschwerden über unangenehme Gerüche, die durch handwerkliche Stärkebetriebe verursacht wurden; man verlangte abgedeckte Abwassergerinne.

Bis vor ca. 30 Jahren wurden vielfach Betriebe an Standorten geplant und erstellt, ohne deren Entsorgungssituation, insbesondere die der Abwasserentsorgung, ausreichend zu berücksichtigen: dies galt auch für direkt und indirekt einleitende Betriebe zur Stärkeherstellung. Nur für solche Betriebe in vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Gebieten, zum Beispiel für Kartoffel- oder Weizenstärkeproduktion, wurde der Verregnungsmöglichkeit des Abwassers entsprechend der vorgegebenen Bodenarten und Grundwassersituation ausschlaggebende Beachtung geschenkt.

Am Anfang dieses Jahrhunderts begann man mit wissenschaftlichen „Versuchen über Reinigungsmöglichkeiten von Stärkefabrikabwässern“, wie GREVEMEYER (1951) berichtet. Zwischen 1930 und 1950 war die Verregnung und Verrieselung in landwirtschaftlicher Nutzung als Düngung mit Nährstoffanteilen an Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Verbindungen für Stärkeabwasser üblich; durch überhöhte Bewässerungsgaben kam es damals zu starken Verschmutzungen der Vorfluter. Das „Wachstum von Sphaerotilus natans war in den Vorflutern so stark, daß die Turbinen von flußabwärts liegenden Mühlen in der Leistung stark abfielen“ (CERNY, 1952).

Veröffentlichungen über die systematische Bearbeitung der biologischen Reinigung von Abwässern der Stärkefabriken sind erst ab ca. 1950 zu verzeichnen. Hier sind besonders die Arbeiten von MÜLLER-MANGOLD (1952 und 1953) zu erwähnen. Es verband sich das Wissen des Stärke-Technologen, des Analytikers und des Abwasser-Spezialisten in geradezu idealer Weise. 1958 beauftragte die Deutsche Forschungsgemeinschaft das Institut

für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Hochschule Hannover, die Frage der biologischen Reinigung von Stärkefabrikabwässern zu untersuchen.

7. Abwasserbehandlung

Ausmaß und Qualität der Behandlung richten sich nach Art und Ausmaß der Verschmutzung im Rohabwasser, den Anforderungen, die sich aus dem Betrieb der nachgeschalteten Anlagen und/oder Qualitätsanforderungen bei Einleitung ergeben, und nach dem Bemühen um eine wirtschaftliche Lösung der Verfahrenskopplung von Rückgewinnung, Vermeidungsmaßnahmen und Abwasserbehandlung.

Die Bemessung der Behandlungsstufen, insbesondere der biologischen, kann nur nach Voruntersuchungen erfolgen. Nachfolgend genannte Bemessungsbeispiele können nur als Hinweis dienen.

Folgende Verfahren zur Behandlung von Abwasser aus der Stärkeherstellung gehören einzeln oder in Kombination zu den a. a. R. d. T.

7.1 Mechanische Abwasserbehandlung (siehe auch: ATV Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band III, Kapitel 3)

Mittels mechanischer Abwasserbehandlung können ungelöste Stoffe zurückgehalten werden. Die wichtigsten geeigneten Verfahren sind: Siebverfahren, Sedimentation, Flotation.

Die Rückhaltung von Grobmaterial bedient sich geeigneter selbstreinigender Grob- und Feinrechen, Siebrechen, Filterrechen, Bogensiebe, oder Trommelsiebe.

Um eine Kreislaufführung des Kartoffelwasch- und Schwemmwassers zu ermöglichen, wird die folgende Verfahrenskopplung verwendet: Grob- und Feinsiebe für Grobstoffe, einen Sandfang für Grobsand, Sedimentation für Feinstsand. Gleichzeitig wird damit die notwendige Abwasservorbehandlung vor der biologischen Behandlung erreicht.

Mit Sedimentationsverfahren werden außer Sand auch organische Suspense (z. B. Stärke) abgeschieden. Das führt unter gewissen Bedingungen zur Geruchsbildung. Noch vor einigen Jahren kamen zur Sedimentation vorwiegend Absetzteiche zum Einsatz. Wegen der diskontinuierlichen Schlammräumung waren relativ große Teichvolumina notwendig, bei deren Räumung häufig Probleme auftraten. Deshalb sind alle in den alten Bundesländern der Bundesrepublik befindlichen Kartoffelstärkefabriken dazu übergegangen, Absetzbecken mit kontinuierlicher Räumung einzusetzen. Durch schnelles Abräumen des Schlammes und Begrenzung der Aufenthaltszeit des Abwassers in der Vorklärung ($t_R < 2$ Stunden) werden Geruchsemissionen begrenzt.

7.2 Chemisch-physikalische Abwasserbehandlung (siehe auch: ATV Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band III, Kapitel 4)

Die Behandlung von Rohwasser mit Fällung oder Flockung hat zum Ziel, eine weitergehende Minderung von im Rohwasser suspendierten und gelösten Stoffen zu erreichen, als es mit mechanischen Verfahren allein möglich ist. Mit geeigneten anorganischen oder organischen Mitteln wie Sulfaten und Chloriden von Metallsalzen oder Calciumhydroxid, aber auch mit (oder in Kombination mit) synthetischen hochmolekularen organischen Flockungshilfsmitteln können beträchtliche Frachtlastungen des Rohwassers erzielt werden (siehe auch DVGW-Schriftenreihe und VCI-Monographie).

SEYFRIED (1962) untersuchte die Möglichkeit der chemischen Fällung durch Zusatz von Kalk und Flockungshilfsmitteln. Dabei ergab sich, daß die Zudosierung der Flockungshilfsmittel nur bei der Behandlung von Kartoffelstärkewaschwässern und -schwemmwässern einen Vorteil erbrachte. HOEPKE (1965)

beschreibt die Leistung und Wirtschaftlichkeit einer chemischen Fällung mit Kalk, Eisensulfat, Zement und Flockungshilfsmittel. Er erzielte eine BSB₅-Elimination von ca. 40—45%.

Nach SEYFRIED und SAAKE (1985) wird eine chemische Fällung erst dann wirtschaftlich, wenn der ausgefällte Schlamm unter Beachtung der Rechtsverordnungen zur Herstellung von Viehfutter verwendet werden kann. Die chemisch-physikalische Abwasserbehandlung wird nicht zuletzt wegen der besonderen Schlammproblematik in dieser Branche nur bei einem Betrieb der Stärkemodifikation eingesetzt.

7.3 Schlämme aus der mechanischen und chemisch-physikalischen Abwasserreinigung

Die anfallenden Schlämme sind, soweit sie nicht verwertet werden können, zu entsorgen. Solange bei der Abwasserbehandlung keine Fällungs- und Flockungchemikalien verwendet wurden, gelten folgende Abfallschlüssel nach dem Abfallkatalog der LAGA/Stand Herbst 1980):

Abfallschlüssel	Bezeichnung	Herkunft
19901	Stärkeschlamm aus Abscheidern	Herstellung von Stärke, Kartoffelerzeugnissen, Fertiggerichten
19904	Rückstände aus der Kartoffelstärkefabrikation	Herstellung von Kartoffelstärke
19905	Rückstände aus der Maisstärkefabrikation	Herstellung von Maisstärke
94301	Rohschlamm (ohne produktionsspezifische Schlämme)	aus mechanischer Abwasserreinigung

Die Entsorgung eines mit Fällungsmitteln und Flockungshilfsmittel versetzten Schlammes ist grundsätzlich problematisch, wenn er als besonders überwachungsbedürftiger Abfall gemäß Abfallschlüssel 94801 TA Abfall eingestuft wird.

Gemäß abfallrechtlichen Bestimmungen muß überprüft werden, ob die Verwertung der Rückstände als Wirtschaftsgut möglich ist. Neben der Einarbeitung in besondere Produkte des eigenen Betriebes oder der landwirtschaftlichen Verwertung sollten die Absatzwege über gängige Abfallbörsen genutzt werden. Auch mag die Nutzung auf forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden möglich sein. Bei Nutzung auf Böden sind die Anforderungen bezüglich der Aufbringezeiten und des Gehaltes an möglicherweise vorhandenen gefährlichen Stoffen entsprechend der Klärschlamm-Verordnung-AbfKlärV vom 25. Juni 1982 (BGBl. I S. 734) zu beachten. Sie wird zur Zeit novelliert. Ein entsprechendes Gutachten der zuständigen Behörde (Landwirtschaftskammer) sollte eingeholt werden. Unter diesen Voraussetzungen dürfte bezüglich der Aufbringung von Klärschlämmen aus der mechanischen Abwasserreinigung der Stärkeindustrie keine Schwierigkeiten entstehen.

Für die Schlämme, die als besonders überwachungsbedürftig eingestuft wurden, ist nach den rechtlichen Regelungen ein Entsorgungs- bzw. Verwertungsnachweis zu führen.

7.4 Biologische Abwasserbehandlung

7.4.1 Abwasserlandbehandlung

Noch bis vor wenigen Jahren wurden die Abwässer der meisten Stärkefabriken in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutsch-

land verregnet oder verrieselt. Eine gute Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse, die sich aus der langjährigen Anwendung der Abwasserlandbehandlung ergeben haben, ist in der Veröffentlichung von SEYFRIED und SAAKE (1985) zu finden. 1985 führten hier Kartoffelstärkefabriken und eine Weizenstärkefabrik eine Abwasserlandbehandlung durch. In den neuen Bundesländern war die Abwasserlandbehandlung ebenfalls die Regel. Mangel an Behandlungsflächen bei steigendem Abwasseranfall führte zur Überlastung der genutzten Flächen. Daraufhin wurde die Landbehandlung weitgehend eingestellt. Siehe auch Allgemeine Hinweise A 4 Abwasserlandbehandlung der LAWA (1982) zu Mindestanforderungen gemäß § 7a WHG.

7.4.1.1 Verrieselung

CZYZYK und KUTERA (1964) berichten über Versuchsergebnisse der Verwertung von Stärkefabrikabwässern. Als Ergebnis der Versuche wurden für die Bewässerung land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen die folgenden Empfehlungen gegeben:

Besonders geeignete Früchte zur Bewässerung sind: Futterrüben, Mais, Futter- und Ölsamen, Kohl und Dauergrünland (Wiese). Der wesentliche Vorteil dieser Anbauarten liegt in der Unempfindlichkeit gegen überhöhte Bewässerungsgaben. Als zweckmäßige Bewässerungsgaben werden für Zuckerrüben und Kartoffeln 200—400 mm/Jahr, für Grünland, Mais, Kohl u. a. 400—800 mm/Jahr angegeben (s. auch Tab. 7.2).

Beim Getreideanbau ist eine regelmäßige Bewässerung nicht durchführbar, sie muß auf bestimmte Vegetationszeiten beschränkt werden. Leichte Böden können höhere Abwassergaben verkraften als bindende. Bei bindenden Böden ist außerdem der Anbau von Futterrüben, Mais, Kohl oder die Nutzung als Grünland empfehlenswert. Zu vermeiden ist eine Verrieselung auf dränierten Flächen, weil mangelhaft gereinigtes Abwasser zur Ableitung kommen kann. Ebenso kann eine Pflanzenschädigung sowie eine Stickstoffüberdüngung des Bodens auftreten. Hingegen sollten die Vorteile der Verrieselung/Verregnung in Waldgebieten mit besonders wasserverbrauchenden Holzarten nicht außer Acht gelassen werden. Hier kann ein Rieselplan ohne Bindung an den Anbauplan aufgestellt werden, außerdem ist bei stark wasserbrauchenden Hölzern ein Verzicht auf eine Dränung möglich.

Der Abbau der Abwasserinhaltsstoffe bei der Abwasserverrieselung in Abhängigkeit von der Bodentiefe wurde von KRAMER (1960) für die Abwässer der Zuckerfabriken untersucht. Er gelangte dabei zu folgenden Ergebnissen: Der Umfang der Reinigung steht im Zusammenhang mit der Konzentration der Schmutzstoffe im Abwasser und mit der Bodentiefe. Die in stärkerer Konzentration vorliegenden Stoffe werden besser eliminiert und die Reinigungsintensität nimmt mit zunehmender Bodentiefe ab.

Ein von SEYFRIED und ROSENWINKEL (1981) untersuchter Betrieb (Mais- und Reisstärke) verrieselte die Produktionsabwässer aus der Mais- und Reisstärkeherstellung gemeinsam mit häuslichem Abwasser. Relativ geringe Abbauraten von rd. 58% (BSB₅) wurden auf Flächen gemessen, die nur über eine relativ flach verlegte Dränage entwässerten, bei denen Kurzschlußströmungen nicht ausgeschlossen werden konnten. Der Gesamtstickstoffgehalt wurde bei einer 80 mm Verrieselung (Einzelgabe) um 65% vermindert; demgegenüber stieg der Nitrit- und Nitratgehalt durch Nitrifikationsvorgänge im dränierten Wasser an.

Untersuchungen zum Reinigungsverhalten in Abhängigkeit von der Bodentiefe bestätigen die Ergebnisse von Kramer (1960), daß mit zunehmender Bodenpassage bis etwa 1,50 m unter Gelände der CSB bis zu rund 99% reduziert wurde. Zudem wurde erkannt, daß die Abnahme unabhängig ist von den Verrieselungshöhen, die aufgebracht wurden (20—100 mm). Bei dem anstehenden Boden handelte es sich um lehmigen Sand bis sandigen Lehm. Es ist zuberücksichtigen, daß es sich bei diesem Boden um alte intensiv genutzte Kulturböden handelte.

7.4.1.2 Verregnung

Als beste Verwertung der Abwässer aus der Stärkeherstellung ergibt sich die Verregnung beim Kartoffelanbau. Bei Getreideanbau legen sich wegen der zu starken Düngewirkung des Abwassers die Getreidehalme schnell um und bedrohen den Ernteerfolg. Die Überwachung der Stickstoffdüngung ist Voraussetzung für eine kontrollierte Verregnung im Getreideanbau. Eine systematische Kontrolle der Böden und des Grundwassers ist bei Verregnung grundsätzlich über Kontrollbrunnen erforderlich.

Nach Auswertung von vergleichenden Messungen bleibt festzustellen, daß die Verregnungshöhen nicht mehr als etwa 200—300 mm/Jahr betragen sollen. Von Bedeutung ist der Düngewert des Abwassers. Bei den Einzelgaben und bei der Aufbringung mit Kanonen soll eine Beschickungshöhe von 30 mm nicht überschritten werden, der zeitliche Mindestabstand der vollen Einzelgaben sollte dabei nicht geringer als 14 Tage sein. Die besten Ergebnisse werden bei Hackfrüchten und Gemüse erzielt. Getreideanbauflächen sind für die Abwasserverregnung weniger geeignet. Auf gedrähten Flächen sollte ebenfalls die Verregnung vermieden werden, weil auch hier ungenügend gereinigtes Abwasser abgeleitet werden kann.

Nur in Ausnahmefällen mit besonders günstigen Boden- und Vegetationsverhältnissen können höhere Wassermengen und Schmutzfrachten zugelassen werden. Untersuchungen zum Wirkungsgrad bei der Abwasserlandbehandlung in einer Kartoffelstärkefabrik (SEYFRIED u. ROSENWINKEL, 1981) zeigten, daß sich auch hier, analog zu den Erkenntnissen bei der Verrieselung eine Steigerung der Abbauraten mit zunehmender Bodentiefe erkennen läßt. Die hier verregneten Abwässer bestehen aus dem Überschussschlamm einer biologischen Behandlungsstufe und aus Restfruchtwässern. Die Verregnung erfolgt auf sandigem Boden. In der Tabelle 7.1 sind die Mittelwerte des Abbaus für verschiedene Verschmutzungsparameter in Abhängigkeit von der Bodentiefe zusammengestellt.

Die Messungen zum Abbau des Abwassers im Boden aus der Weizenstärkeherstellung konnten 1978 bei 2 Herstellern durchgeführt werden. Obwohl zum Teil Niederschläge während der Verregnung bzw. Verdünnungseffekte durch Drainageabflüsse im Vorfluter berücksichtigt werden mußten, war doch ein sehr guter Abbau der organischen Inhaltsstoffe feststellbar. Die gemessenen, mittleren Abbauwirkungsgrade für den CSB lagen zwischen 95 % und 99 % bei einer Zuflußkonzentration von $C_{0, CSB}$ von rd. 20—27 g/l. Vergleichbare Abbauraten von bis zu 98 % für den BSB_5 wurden ebenfalls unabhängig voneinander auf zwei unterschiedlichen Verregnungsfeldern gemessen.

Im Gegensatz zu den Feststellungen bei Mais-, Reis- und Kartoffelstärkeabwässern konnte für das Abwasser aus der Weizenstärkeherstellung eine Zunahme des Gesamtabbaus mit zunehmender Bodentiefe ab etwa 0,5 m unter Gelände nicht mehr gemessen werden.

In den Tabellen 7.2 und 7.3 sind empfohlene und gemessene Verrieselungs- und Verregnungshöhen sowie die Abbau- und Ablaufwerte der Verschmutzung verschiedener Stärkefabrikabwässer nach der Abwasserlandbehandlung zusammengestellt.

Die Berechnung der möglichen Aufgabenhöhe sollte über eine zulässige Flächenbelastung in CSB erfolgen.

SEYFRIED und SAAKE (1985) bemerken abschließend, daß mit der Abwasserverregnung bei der Einhaltung der Grenzwerte für die Flächenbeschickung gute Reinigungserfolge zu erzielen sind. Die im Zusammenhang mit dieser Verfahrenstechnik auftretenden Probleme (Flächenmangel, Winterbetrieb, Geruchsbelästigungen, Gefahr der Grundwasserbeeinträchtigung) führen mehr und mehr zur Suche nach neuen Möglichkeiten für eine möglichst umweltgerechte und kostengünstige Abwasserreinigung.

Zur Vorreinigung der Stärkefabrikabwässer erfüllt das anaerobe, biologische Verfahren diese Anforderungen weitgehend. Aus diesem Grund haben sich bereits einige Stärkefabriken auch in

der Bundesrepublik Deutschland dazu entschlossen, betriebseigene Anaerob-Anlagen zu bauen. Um das anaerob vorbehandelte Abwasser in einen Vorfluter einleiten und somit auf eine Landbehandlung verzichten zu können, ist jedoch in jedem Falle eine aerobe, biologische Nachreinigung dieser Abwässer erforderlich. Die Nachreinigung der anaerob vorbehandelten Abwässer kann entweder in einer betriebseigenen oder in einer kommunalen Kläranlage erfolgen.

7.4.2 Teichbehandlung (vergleiche ATV Arbeitsblatt A 201: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichen für kommunales Abwasser)

Eine Abwasserbehandlung in Teichanlagen kommt jedoch aufgrund der hohen Konzentrationen des Stärkeabwassers lediglich

Einzelabgabe: 100 mm/3d		Produktion: Kartoffelstärke			
Entnahmetiefe: 1,3—1,6 m		Jahresgabe: 100 mm			
Ver- schmutzungs- parameter	Bodentiefe: 1,3 m			Bodentiefe: 1,6 m	
	Zulauf (mg/l)	Ablauf (mg/l)	Abbau (%)	Ablauf (mg/l)	Abbau (%)
BSB_5	6 333	700	88,9	620	90,2
CSB	7 100	3 090	56,5	350	95,0
Ges. Stick- stoff	655	129	80,3	119	81,8
NO_2-N	—	0,63	—	0,52	—
NO_3-N	5,8	44	—	54	—

Tabelle 7.1: Reinigungsleistung der Abwasserlandbehandlung (Verregnung) für Abwässer aus der Kartoffelstärkefabrikation

Abwasserart, Abwasserbehandlung	Abwasserabgabe		Bemerkungen	Quelle
	Jahresgabe (mm/a)	Einzelgabe (mm)		
Verrieselung	Stärkefabrik- abwasser	(200—400)	—	Zucker- rüben, Kartoffeln Czyzyka u. Kutera 1964
	Stärkefabrik- abwasser	(400—800)	(20—100)	Grünland, Mais Czyzyka u. Kutera 1964
	Mais- u. Reis- stärkefabrik- abwasser mit häusl. Abwasser	600	20—100	Grünland Seyfried u. Rosenwin- kel 1981
Verregnung	Kartoffelstärke- abwasser	(200—300) (188) (150—200) (300—400) (200)	(30) — — —	Hack- fruchte, Mais Grewer- meyer 1957 Reploh 1969 Kreuz 1950
	Restfruchtwasser	(16)	—	Kartoffeln, Rüben, Weiden Rietz 1956
	Kartoffelstärke abw.	100	100	Getreide Seyfried, Rosenwin- kel 1981
	Weizenstärke abw.	210	15—30	Grünland
Weizenstärke abw.	200—600	20—30	Grünland; Acker, Wald	

Tabelle 7.2: Empfohlene und gemessene Verrieselungs- und Verregnungshöhen (die in der Spalte Quelle genannten Autoren haben die aufgeführten Empfehlungen gegeben)

als Nachbehandlung eines anaerob vorgereinigten Abwassers in Frage. In den alten Bundesländern sind, wegen des außerordentlich großen Flächenbedarfs und der nicht immer zufriedenstellenden Reinigungsleistung, Teichanlagen kaum zu realisieren.

HUTTERER (1978) berichtet über eine Teichanlage mit nachgeschaltetem Oxidationsgraben zur Behandlung von Abwässern aus der Kartoffelstärkefabrik Gmünd (Österreich). Die Teichanlage besteht aus mehreren unbelüfteten Teichen sowie einem belüfteten Teich. Das Gesamtvolumen der Teiche beträgt ca. 530 000 m³ mit einer Teichoberfläche von ca. 200 000 m². Mammutrotoren und Belüftungskreisel sorgen für den Sauerstoffeintrag im belüfteten Teich. Der nachgeschaltete Oxidationsgraben besitzt ein Volumen von 2 500 m³ und ist mit zwei Mammutrotoren ausgestattet. Der Oxidationsgraben ist ohne Nachklär-

Kartoffelstärkefabrik de Krim anfallenden anaerob vorbehandelten Abwässer — die gesamten Abwässer von einer Kampagne — in Teichen gestapelt und dabei teilweise nachgereinigt. Der Abbau der Restverschmutzung erfolgt in einer kleinräumigen Reinigungsanlage außerhalb der Kampagne in der wärmeren Jahreszeit. Angaben über die mit diesen Teichen erzielten Reinigungsleistungen stehen nicht zur Verfügung.

7.4.3 Aerob biologische Behandlung

7.4.3.1 Konventionelles Belebungsverfahren und kombinierte Verfahren (vergleiche ATV Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band IV)

Analog zur Abwasserbehandlung in Teichanlagen sollte für hochkonzentrierte Abwasser aus der Stärkeherstellung eine Belebungsanlage nur als Nachbehandlungsstufe für anaerob vorgereinigtes Abwasser konzipiert werden. Für gering belastetes

Stärke-sorte	Regen-höhe (mm)	Entnahme-tiefe im Boden (cm)	BSB ₅ sed		CSB sed		Bemerkungen
			Ablaufwert (mg/l)	Abbau (%)	Ablaufwert (mg/l)	Abbau (%)	
Mais- und Reisstärke ¹⁾	80		(1 956)	(58)	(3 104)	(28)	April 78
	60	90			210	96,5	Sept. 78
	60	150			50	99,4	Sept. 78
	20	90			260	95,3	Sept. 78
	50	115	104	97,3	193	96,7	Okt. 78
	50	150	45	98,6	97	98,4	Okt. 78
Kartoffelstärke ²⁾	100	130	700	88,9	3 090	56,5	Dez. 78
	100	160	620	90,2	350	95,0	Dez. 78
Weizenstärke ²⁾	26	150	256	96,2	492	96,3	März 78
	27,5	50—150	169	99,0	737	96,5	Nov. 78
	20—25	50—150	164	98,6	394	—	Nov. 78

¹⁾ Verrieselung ²⁾ Verregnung

Tabelle 7.3: Abbau- und Ablaufwerte verschiedener Stärkefabrikabwässer nach der Abwasserlandbehandlung

becken konzipiert, er arbeitet intermittierend mit Belüftungs- und Absetzperioden. HUTTERER weist darauf hin, daß die seinerzeit in Österreich geforderten Einleitungsbedingungen von weniger als 30 mg/l BSB₅ nicht immer erreicht wurden.

Auch in den Niederlanden gibt es einige größere Teichanlagen zur Behandlung von Stärkefabrikabwässern. Z. B. werden die in der

Abwasser	Bezeichnung	CSB (g/l)	BSB ₅ (g/l)	TOC (g/l)	NH ₄ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	pH (—)
Kartoffelschwemmwasser, unbeh.	A	2,1	0,82	0,78	24,6	3,9	4,2
Stärkewaschwasser, unbeh.	B	10,3	6,5	3,2	766	150	6,9
Kartoffelschwemmwasser, anaerob vorbehandelt	C	0,17	0,05	0,04	42	19,5	8
Stärkewaschwasser, anaerob vorbehandelt	D	0,67 bis 1,7	0,2 bis 1,4	0,56 bis 1,4	231 bis 594	43 bis 72	7,5 bis 9
Kartoffelschwemmwasser u. Stärkewaschwasser, anaerob vorbeh.	E	1,4 bis 2,4	0,7 bis 1,1	0,74	560	54 bis 70	8,3

Tabelle 7.4: Abwasserkenwerte von unbehandelten und anaerob vorbehandelten Kartoffelstärkeabwässern (BRAUN und ATANASOFF, 1986)

Abwasser	Bezeichnung	B _R BSB ₅ (g/l·d)	Hydraulische Verweilzeit (d)	CSB ₅ (g/l)	¹⁾ CSB (%)	¹⁾ BSB (%)	NH ₄ -N ₅ (mg/l)	NO ₂ -N ₅ (mg/l)	NO ₃ -N ₅ (mg/l)	pH (—)	ISV (mg)
Kartoffelschwemmwasser, unbeh.	A	0,12—0,26	3,2—5,0	2,1	75—91	94—96	2,7—8,2	117—179	5	7,4—7,8	68—70
Stärkewaschwasser, unbeh.	B	0,7—1,1	60—95	10,3	93—95	98	50—100	235—375	15—50	8—8,4	80—99
Kartoffelschwemmwasser, anaerob vorbehandelt	C	0,1	0,5—1,25	0,17	48—66	88—94	n.n.	43—50	n.n.	7,1—7,8	91—96
Stärkewaschwasser, anaerob vorbehandelt	D	0,15—0,6	2,1—8,6	0,67—2,7	56—95	82—98	6—220	3—700	5—200	7,5—8,9	89—317
Kartoffelschwemmwasser u. Stärkewaschwasser, anaerob vorbeh.	E	0,45—0,85	1,7—5,4	1,4—2,4	77—90	94—98	32—90	290—460	20—60	6,6—7,9	64—169

n. n. = nicht nachweisbar

Tabelle 7.5: Aerobe Behandlung von unbehandelten und anaerob vorbehandelten Kartoffelstärkeabwässern (BRAUN und ATANASOFF, 1986)

Abwasser aus Wertstoffrückgewinnungsprozessen innerhalb des Betriebes ist das Verfahren ohne weitere biologische Vorbehandlung geeignet. Bei aerob biologischer Abwasserbehandlung kann das Nährstoffverhältnis C: N: P kritisch sein.

Die gemeinsame aerob biologische Behandlung von Stärkeabwasser und kommunalem Abwasser ist von Vorteil, wenn der kommunale Anteil überwiegt. Hierbei sind, insbesondere Maßnahmen gegen Blähschlamm-Bildung vorzusehen (Hausler und Malcher 1972). Über die gemeinsame Behandlung liegen Untersuchungen von SEYFRIED (1962) vor, die besagen daß zweistufige Anlagen besser geeignet sind als einstufige.

Basierend auf den Erkenntnissen von SEYFRIED (1968) wurde Anfang der 60er Jahre eine aerobe Belebungsanlage für die Gemeinde Osterholz-Scharmbeck für kommunales Abwasser und Abwasser aus einer Mais- und Reisstärkefabrik gebaut. Bei Raumbelastungen von $B_R \cdot BSB_5 = 2.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ und einer Schlammbelastung von $B_{TS} \cdot BSB_5 = 1.8 \text{ kg/kg} \cdot \text{d}$ wurden Reinigungsleistungen von bis zu 97% (B_{SB_5}) erzielt, so daß eine Ablaufkonzentration von $C_e \cdot BSB_5 = 30-50 \text{ mg/l}$ gewährleistet war. Auftretender Blähschlamm konnte durch Zugabe von Eisensulfat bzw. die direkte Einleitung von Faulwasser aus den Faulbehältern in die Belebungsanlage reduziert werden. Langjährige Betriebsergebnisse von anderen kommunalen Kläranlagen, die Stärkeabwasser mitbehandeln, zeigen, daß es auch dort häufig zu Betriebsstörungen durch Blähschlamm-Bildung und Schlammabtrieb aus den Nachklärbecken kommt.

Husmann (1934), Müller-Mangold (1952), Hoepke (1965), Caransa (1975), Oosten (1977) und Seyfried und Rosenwinkel (1981) beschreiben ihre Ergebnisse mit Anlagen, die ausschließlich Abwasser aus der Stärkeherstellung behandeln.

In Laboranlagen nach dem Belebungsverfahren wurden von BRAUN und ATANASOFF (1986) sowohl unbehandelte als auch anaerob vorbehandelte Kartoffelstärkeabwasser (vgl. Tab. 7.4) bei Zimmertemperatur untersucht. Dabei lag in den Aerob-Reaktoren die BSB_5 -Raumbelastung bei 0.1 bis 1,1 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ und die Durchlaufzeit bei 0.51 bis 9.5 Tagen (vgl. Tab. 7.5). Aus der Tabelle 6.5 geht hervor, daß sowohl mit unbehandelten als auch mit anaerob vorbehandelten Abwässern in der aeroben Stufe hohe BSB_5 -Abbaugrade von 82-98% erzielt werden können.

Beim Vergleich der CSB- und BSB_5 -Ablaufwerte zeigt sich, daß die anaerobe Vorbehandlung sowohl beim Kartoffelschwemmal als auch beim Stärkewaschwasser zu höheren Gesamtwirkungsgraden und damit zu geringeren CSB- und BSB_5 -Ablaufwerten führte (vgl. Tab. 7.6).

	CSB (mg/l)	BSB ₅ (mg/l)	
Kartoffel-schwemmwasser	anaerob vorbeh.	73	5
	unbehandelt	357	45
Stärke-waschwasser	anaerob vorbeh.	164-661	20-140
	unbehandelt	618	130
Stärkewasch-wasser und Kartoffel-schwemmwasser	anaerob vorbeh.	231-396	28-44

Tabelle 7.6: CSB- und BSB_5 -Ablaufwerte bei der aeroben Reinigung von unbehandelten und anaerob vorbehandelten Kartoffelstärkeabwässern (BRAUN und ATANASOFF, 1986)

7.4.3.2 Sonderverfahren (Deep Shaft)

OOSTEN und WEBB (1977) befaßten sich mit der Leistungsfähigkeit eines Tiefstrombelüftungsverfahrens (Deep Shaft) zur Reinigung von Abwässern aus der Kartoffelstärkefabrikation. Sie erreichten dabei 87% BSB_5 -Wirkungsgrade und 58% CSB-Elimination.

SEYFRIED und ROSENWINKEL (1981) untersuchten 1978 die mehrstufige Abwasserreinigungsanlage der Kartoffelstärkefabrik Emlichheim in der Deep Shaft Verfahren in einer der Stufen technisch umgesetzt worden ist. Das Fließschema dieser Anlage ist in Bild 9.3 dargestellt. Die Gesamtanlage besteht aus Vorklä- rung, Deep Shaft, Zwischenklärung, Belebungskaskade und Nachklärung. Die mit dieser Anlage seinerzeit erreichte Gesamt- reinigungsleistung ist in der Tabelle 7.7; die Reinigungsleistung der einzelnen Anlagenstufen in Tabelle 9.1 zusammengestellt.

7.4.4 Anaerob biologische Behandlung

Für eine weitgehende Vorbehandlung der i. d. R. hochkonzentrier- ten Abwässer aus der Stärkeherstellung hat sich in den letzten Jahren das anaerob biologische Verfahren als ein betriebswirt- schaftlich interessantes und leistungsfähiges Verfahren erwie- sen.

Die gute anaerobe Abbaubarkeit hat schon vor Jahrzehnten zu Forschungen und Untersuchungen zum anaeroben Abbau von Stärkefabrikabwässern geführt: STANDER und GIEN (1956), HEMENS et al. (1962), HAUSLER und MALCHER (1972), TAYLOR und BURM (1972), RASMUSSEN (1972) und KUNST und MUDRACK (1983).

Über die Grundlagen des anaeroben Prozeßablaufes ist in den letzten Jahren in der Fachliteratur zudem sehr viel berichtet worden. Hier wird auf die Veröffentlichungen von ZEIKUS (1980), PFEFFER (1980), MOSEY (1981), SAHM (1981), McCarty (1982), KUNST (1982), KUNST u. MUDRACK (1983), ZEHNDER u. KOCH (1983), WINTER (1985) und SEYFRIED (1985) verwiesen. Eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten mikrobiologi- schen Rahmenbedingungen und Einflußfaktoren sowie der mög- lichen einsetzbaren Anaerob-Reaktortypen ist in den Veröffentli- chungen von SEYFRIED und SAAKE (1986) und SEYFRIED (1988) zu finden.

In ihrer Veröffentlichung aus dem Jahre 1983 kommen KUNST und MUDRACK aufgrund von Laborversuchen zu dem Ergebnis, daß ein zweistufiges anaerobes Behandlungsverfahren dem Einstufenprozeß zur Behandlung starkhaltiger Abwässer vorzu- ziehen ist, daß

- durch die Trennung von Vorversäuerungs- und Methanisie- rungsstufe gegenüber dem Einstufenreaktor eine größere Prozeßstabilität erreicht werden kann.

	Zulauf Schwemm- u. Wasch- wasser (mg/l)	Ablauf 2. Nach- klärung (mg/l)	Abbau (%)
BSB ₅	2 547	64	97,5
CSB	2 917	312	89,3
Stickstoff (ges.)	200	41,3	79,4
Phosphor (ges.)	5,77	2,3	60,1
Kalium	5 442	322	27,1

Tabelle 7.7: Reinigungsleistung einer biologischen Abwasser- reinigungsanlage (Deep-Shaft-Belebungs) zur Behandlung von Kartoffelstärkeabwässern (SEYFRIED u. ROSENWINKEL, 1981)

- die Vorversäuerungsstufe sehr hoch belastet werden kann, so daß ein geringeres Gesamtvolumen beider Stufen gegenüber dem Einstufenreaktor möglich ist.

Im Vordergrund der Prozeßkontrolle eines separaten Reaktors zur

- Vorversäuerung sollte die Qualität der Säureprodukte stehen. Angestrebt werden müßten hohe Buttersäure-, Capronsäure- oder Äthanolgehalte. Hohe Propionsäuregehalte sind zu vermeiden.
- Methanisierung ist bei Gewährleistung eines optimalen pH-Wertes die wichtigste Maßnahme. Bei Zuflüssen unter pH 6,0 muß daher das vorversäuerte Abwasser gut eingemischt werden.

Es läßt sich feststellen, daß die in Laborversuchen mit Starkelösungen von MUDRACK und KUNST (1982) sowie FROSTELL (1981) gefundenen Ergebnisse sicherlich repräsentativ für die anaerobe Behandlung vorwiegend stärkehaltiger Abwässer anzusehen sind. Abwässer aus der Stärkefabrikation können jedoch neben Stärke i.d.R. auch erhebliche Eiweiß- und Fettanteile sowie Anteile an chemisch modifizierter Stärke enthalten. Da sich eiweiß- und fetthaltige Substanzen weniger schnell hydrolysieren und versäuern lassen als vorwiegend kohlenhydrathaltige (KUNST et al., 1985; BREURE u. VAN ANDEL (1983); WOLF (1986), sind die vorher dargestellten Ergebnisse nur bedingt auf die anaerobe Behandlung von Stärkefabrikabwässern übertragbar.

Als Resultat aus allen Untersuchungen kann aber folgende Aussage gemacht werden:

Die Abwässer aus der Stärkefabrikation sind in der Regel mit relativ leicht abbaubaren, vorwiegend organischen Inhaltsstoffen hoch belastet.

Das Nährstoffverhältnis C:N:P ist für anaerobe Prozesse meist ausreichend, so daß keine Nährstoffe zudosiert werden müssen. Insgesamt erfüllen die Stärkefabrikabwässer somit alle wichtigen Anforderungen, die für eine erfolgreiche anaerobe Vorreinigung von Wichtigkeit sind.

Wie Praxisbeispiele zeigen, ist gerade bei den anaeroben Stufen das „sealing-up“ aus Laborergebnissen mit besonderer Vorsicht vorzunehmen. Aus Laborversuchen abgeleitete, vielversprechende höhere Raumbelastungen, geringere Durchlaufzeiten und höhere Faulgaserträge können im Großmaßstab nicht realisiert werden. Das liegt häufig daran, daß in den Vorversuchen unter Ideabedingungen gearbeitet wird und daß die schwankenden Bedingungen des praktischen Betriebes bei der Planung nicht genügend berücksichtigt werden.

Aussagefähige Vorversuche werden mit halbtechnischen Pilotanlagen (V 2—10m³) vor Ort, mit dem tatsächlich vorhandenen Abwasser „on line“ und mengenliquot durchgeführt; nur dann liefern sie übertragbare Bemessungswerte für geplante Großanlagen.

Sehr umfangreiche halbtechnische Versuche zur anaeroben Behandlung von Abwässern aus der Weizenstärkefabrikation wurden von SEYFRIED et al. (1984) durchgeführt. Dabei befand sich die aus insgesamt sechs halbtechnischen Reaktoren (V = 1 bis 2,7 m³) bestehende Versuchsanlage vor Ort bei der Weizenstärkefabrik Kröner in Ibbenbüren. Das anfallende Weizenstärkeabwasser wurde zunächst angesäuert. Das erfolgte in einem Festbett-Reaktor (V = 1,0 m³) sowie im parallelbetriebenen durchmischten Reaktor (V = 2,7 m³). In der nachfolgenden zweiten Verfahrensstufe wurde das vorversäuerte Abwasser anschließend methanisiert. Dafür standen vier unterschiedliche Methanreaktoren (V = 1,5 m³) zur Verfügung, die parallel betrieben wurden. Und zwar ein

- völldurchmischter Reaktor mit nachgeschaltetem Absetzbecken zur Schlammrückführung (Kontaktverfahren).
- Upflow-Reaktor mit integriertem Absetzbecken (UASB).

- Festbett-Reaktor mit 75 % Füllung bezogen auf das Naßvolumen (Kunststoff-Tropfkörpermaterial von der Fa. NSW mit ca. 150 m³/m³).
- Filter-Reaktor mit 25 % Füllung (Teilfestbett-Reaktor) (Kunststoff-Trägermaterial wie vor).

Die Betriebstemperatur der Vorversäuerungs-Reaktoren betrug 30 °C und die der Methan-Reaktoren 35—37 °C. Angeimpft wurde die Versuchsanlage mit Faulschlamm aus einer kommunalen Klaranlage. Hauptziel der Untersuchungen war es, eine möglichst weitgehende Vorreinigung der anfallenden Abwässer zu erreichen und darüber hinaus Faulgas für die innerbetriebliche Nutzung zu gewinnen. Dabei sollte durch den parallelen Betrieb unterschiedlicher Reaktortypen ermittelt werden, welches Reaktorsystem die größte Betriebssicherheit, maximale Reinigungsleistung und beste Faulgasentwicklung gewährleistet. Als Entscheidungsgrundlage für die zweistufige Betriebsweise wurden die Empfehlungen aus den vorher dargestellten Untersuchungsergebnissen von MUDRACK und KUNST (1983) herangezogen.

Die besten Ergebnisse bzgl. CSB-Elimination und Gasentwicklung wurden mit dem Festbettreaktor erzielt. In der Tabelle 7.8 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

	Fölldurchmischer Reaktor (V = 2,7 m ³)	Festbett-Reaktor (75 % des Naßvolumens mit Festbett gefüllt)	Filter-Reaktor (25 % des Naßvolumens mit Festbett gefüllt)
Reaktorvolumen	—	1 500 l mit separater Nachklärung	1 500 l mit separater Nachklärung
Betriebsparameter			
Raumbelastung B ₀ (kg m ⁻³ d ⁻¹)	—	5—7	4—6
Durchlaufzeit t ₀ (d)	—	6—7,5	7—10
Parameter im Zufluß/Abfluß:			
Temperatur (°C)	27	33—37	33—37
pH-Wert	4,3	7,0—7,3	—
CSB (mg/l)	45 000	3 000—4 500	4 000—6 500
BSB (mg/l)	30 000	1 000—3 000	1 600—4 000
TOC (mg/l)	11 500	500—1 500	500—2 000
Ges. N (mg/l)	1 150	300—1 000	500—1 000
NH ₄ -N (mg/l)	—	600—800	600—800
NO ₂ -N (mg/l)	—	n.n.	n.n.
NO ₃ -N (mg/l)	—	n.n.	n.n.
org. Säuren (als Essigsäure) (mg/l)	570	300—2 000	1 500—4 000
Gesamt-Milchsäure (mg/l)	4 500	20	20
TS (g/l)	4,7	4—6	3—5
cTS (g/l)	94,3	70—80	70—80
spez. Glasproduktion:			
m ³ Faulgas/m ³ Abwasser	—	16—25	15—22
m ³ Faulgas/kg CSB elim.	—	0,4—0,6	0,35—0,55
Gaszusammensetzung:			
CH ₄ Vol. %	—	55—65	55—65
CO ₂ Vol. %	—	35—45	35—45
H ₂ S Vol. %	—	0,15—0,5	0,15—0,5

Tabelle 7.8: Gegenüberstellung der an den Festbettreaktoren erzielten Leistungen bei der anaeroben Behandlung eines Weizenstärkeabwassers (SEYFRIED et al., 1984)

Für die verfahrenstechnische Auslegung der Großanlage wurden die Ergebnisse aus den halbtechnischen Untersuchungen von SEYFRIED et al. (1984) herangezogen. Eine Beschreibung der Anlage findet sich in Abschnitt 8.

Über weitere Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab (25 m³) berichtet FROSTELL (1981) und (1983). Die Versuche wurden ebenfalls mit Abwässern aus der Weizenstärkeproduktion durchgeführt. Dabei kam ein Anaerob-Reaktor nach dem Kontaktverfahren (Anamet-System) zur Anwendung.

Das Anaerob-Reaktor-System MARS (Membrane Anaerobic Reactor System) stellt eine Modifikation zum Kontaktverfahren dar. Um den Anaerob-Schlamm aus dem gereinigten Abwasser zu trennen und in den Reaktor zurückführen zu können, wird bei diesem System anstelle des Absetzbeckens die Ultrafiltration eingesetzt. Entsprechende Pilotversuche mit Abwässern aus der Weizenstärkefabrikation wurden von LI et al. (1984) an einem 303 l-Reaktor durchgeführt.

Trotz der relativ wenigen Untersuchungen an labor- und halbtechnischen Versuchsanlagen sind in den letzten Jahren bereits mehrere Großanlagen im In- und Ausland gebaut und in Betrieb genommen worden (vgl. Tab. 7.9). Insbesondere in den Niederlanden aber auch in anderen Ländern, wie z. B. in den USA, Finnland und Australien, kam dabei häufig das UASB-System (Upflow-Reaktor) zur Anwendung. Leider sind nur von wenigen der Anlagen verwertbare Betriebsdaten veröffentlicht, die Aussagen zum Leistungsvermögen der UASB-Reaktoren zur Behandlung von Stärkefabriksabwässern sowie einen Vergleich mit den anderen Anaerob-Systemen ermöglichen. Aus den vorhandenen Firmen-Referenzlisten gehen meist lediglich das Reaktorvolumen und die geplanten Tagesfrachten hervor. Die tatsächlich vorhandenen Tagesfrachten liegen in der Regel erheblich niedriger. Die in der Tab. 7.9 angegebenen Raumbelastungen sind somit als Bemessungsraumbelastungen anzusehen, die in vielen Fällen in den Großanlagen während kurzfristiger Stoßbelastungen oder gar nicht auftreten.

Abwasserart	Maßstab der Anaerob-Anlage	Erzielte Abbaugrade	Anmerkungen zum Rohabwasser	Quelle
Verdünnter Kartoffelsaft	Laboranlage kontinuierlich betrieben (UASB-V-6 l)	η_{CSB} = 75-90 % bei t_{H} = 14,20 °C $B_{\text{P,CSB}}$ = 3 kg/(m ³ · d) bei t_{H} = 14 °C $B_{\text{R,CSB}}$ = 4-5 kg/(m ³ · d) bei t_{H} = 20 °C	$C_{\text{O,CSB}}$ = 8 250 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 13 500 mg/l	KOSTER u. LETTINGA (1985)
Kartoffel-Restfruchtwasser nach der Eiweißgewinnung	Laboranlage kontinuierlich beschickt (durchmischter Reaktor)	η_{CSB} = 83 % η_{ESB_5} = 89 % bei t_{H} = 18 d 15 m ³ Faulgas/m ³ Abwasser	$C_{\text{O,CSB}}$ = 35 800 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 13 100 mg/l Nach der Vorreinigung gemeinsame Reinigung mit Prozeßabwasser	HAUSLER u. MALCHER (1972)
Abwasser aus der Reisstärkeherstellung	Laboranlage im Batch- u. kontinuierlichem Betrieb (durchmischte Reaktoren)	η_{CSB} = 92 % bei t_{H} = 42 °C t_{H} = 4 d $B_{\text{R,CSB}}$ = 5,5 kg/(m ³ · d)	$C_{\text{O,CSB}}$ = 10 000- 15 000 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 3,5 g/l $C_{\text{O,TN}}$ = 2,6 g/l	RASMUSSEN (1972)
Stärkeabwasser	Laboranlage im kontinuierlichen Betrieb (Schlammbett- u. Filter-Reaktor) V-7 l	η_{CSB} = 90 % bei $B_{\text{P,CSB}}$ = 5 kg/(m ³ · d) η_{CSB} = 70 % bei $B_{\text{R,CSB}}$ = 10 kg/(m ³ · d) t_{H} = 30 °C	$C_{\text{O,CSB}}$ = 8 700 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 6 300 mg/l $C_{\text{O,TN}}$ = 500 mg/l künstl. Nährlösung	FROSTELL (1981)
Stärkeabwasser	Laboranlage im kontinuierlichen Betrieb (Festbett-Reaktoren) V-5 l	η_{CSB} = 83-93 % η_{ESB_5} = 89-99 % $B_{\text{R,CSB}}$ = 0,4-2,5 kg/(m ³ · d) t_{H} = 4-25 d t_{H} = 35 °C	$C_{\text{O,CSB}}$ = 10 000. 18 000 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 6 000- 10 000 mg/l	MOSEY (1978)
Weizenstärkeabwasser	Halbtechnische Anlage nach dem Anamet-System (25 m ³)	η_{CSB} = 82 % η_{ESB_5} = 95 % bei $B_{\text{P,CSB}}$ = 2,5 kg/(m ³ · d) und t_{H} = 3,6 d t_{H} = 35 °C	$C_{\text{O,CSB}}$ = 9 000 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 4 200 mg/l	FROSTELL (1981 a, 1983)
Weizenstärkeabwasser	Pilotanlage (Kontaktverfahren)	η_{CSB} = 95 % η_{ESB_5} = 97 % t_{H} = 35 °C	$C_{\text{O,CSB}}$ = 22 400 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 14 000 mg/l	ANDERSON et al. (1981)
Weizenstärkeabwasser	halbtechnische Anlage nach dem System MARS (303 l)	η_{CSB} = 99 % η_{ESB_5} = 99 % bei $B_{\text{P,CSB}}$ = 8,2 kg/(m ³ · d) und t_{H} = 4,4 d t_{H} = 35 °C	$C_{\text{O,CSB}}$ = 35 200 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 15 400 mg/l	LI et al. (1984)
Weizenstärkeabwasser	Halbtechnische Anlage mit Teilstoffbett (1,5 m ³)	η_{CSB} = 88-95 % η_{ESB_5} = 90-96 % bei $B_{\text{P,CSB}}$ = 5-10 kg/(m ³ · d) und t_{H} = 6-10 d t_{H} = 35 °C	$C_{\text{O,CSB}}$ = 45 000 mg/l $C_{\text{O,ESB}_5}$ = 30 000 mg/l	SEYFRIED et al. (1984)

Tabelle 7.9a: Leistungsdaten von Versuchs- und Großanlagen zur anaeroben Vorbehandlung von Abwässern aus der Stärkeindustrie

Es zeigt sich, daß die meisten der bislang erstellten Großanlagen zur Behandlung von Stärkefabrikabwässern zu den Biothane-Anlagen (SYSTEM UASB) zählen. Hieraus läßt sich ableiten, daß sich das UASB-System zur Behandlung dieser Abwässer relativ gut eignet. Diese gute Eignung dürfte sich allerdings nur auf Stärkefabrikabwässer mit niedrigen bis mittleren CSB-Konzentrationen beschränken. Wie Vergleichsuntersuchungen von SEY-FRIED et al. (1984) mit verschiedenen Reaktortypen zeigten, ist bei höheren CSB-Konzentrationen im Abwasser — bei der Weizenstärkeproduktion erreicht der CSB im Abwasser Werte von 40—50 g/l — beim UASB-System mit Betriebschwierigkeiten zu rechnen. Durch die dann sehr starke Faulgasentwicklung wird die aktive Biomasse teilweise aus dem Reaktor ausgeschwemmt, woraus zwangsläufig verminderte Abbauleistungen resultieren.

Darüber hinaus sind mit dem UASB-System bei höheren CSB-Raubelastungen (geringen Durchflußzeiten) nur dann zufriedenstellende Abbauleistungen zu erreichen, wenn das im Reaktor vorhandene Schlammbett genügend aktive Biomasse in Form von gut sedimentierbaren Bakterien-Pellets enthält. Liegt die aktive Biomasse in suspendierter Form vor, erbringen UASB-Reaktoren erheblich verminderte Abbauleistungen. Zu hohe NH_4 -Konzentrationen können, z. B. zu einem Zerfall der Bakterien-Pellets führen.

Zur Behandlung von höher konzentrierteren Stärkefabrikabwässern eignen sich Anaerob-Festbettreaktoren offensichtlich besser als alle anderen Reaktorsysteme (vgl. Bild 7.10). Wie Untersuchungen von FROSTELL (1981) weiter belegen, weisen diese Reaktoren im Vergleich zu den UASB-Reaktoren auch bei gerin-

Abwasserart	Maßstab der Anaerob-Anlage	Erzielte Abbaugrade	Anmerkungen zum Rohabwasser	Quelle
Weizenstärkeabwasser	Zweistufige Großanlage Vorversäuerung: $Y = 400 \text{ m}^3$ (volldurchmischer Reaktor) Methanisierung: $Y = 2300 \text{ m}^3$ (Festbett-Reaktor)	Anlage geht im Herbst 1986 in Betrieb! $B_{R,CSB} = 30/5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ $t_s = 1/7 \text{ d}$ $t = 30/37 \text{ C}$	$C_{0,CSB} = 45000 \text{ mg/l}$ $C_{0,BSB_5} = 30000 \text{ mg/l}$ $C_{0,Ges.N} = 1200 \text{ mg/l}$	
Kartoffelstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 1750 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 85\%$ 2,7 m ³ Faulgas/(m ³ · d) bei $B_{R,CSB} = 8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ $t_p = 1 \text{ d}$ $t = 35 \text{ C}$	$C_{0,CSB} = 7700 \text{ mg/l}$	SAX (1982)
Maisstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 800 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 85-91\%$ bei $B_{R,CSB} = 11 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ $t_p = 0,7-0,9 \text{ d}$ $t = 35 \text{ C}$	$C_{0,CSB} = 1500-1100 \text{ mg/l}$	ZEEVALKINK u. MAASKANT (1964)
Kartoffelstärkeabwasser	Pilotanlage (UASB)	$n_{CSB} = 90-95\%$ $n_{BSB_5} = 95-98\%$ bei $B_{R,CSB} = 7,5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ $t_p = 0,24 \text{ d}$ $t = 35 \text{ C}$	$C_{0,CSB} = 18000 \text{ mg/l}$ $C_{0,BSB_5} = 10000 \text{ mg/l}$	BELLEGEK (1980)
Stärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 500 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 80-95\%$ bei $B_{R,CSB} = 1-10 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$		BORGHANS u. GILS (1986)
Stärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 4200 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 80-90\%$ bei $B_{R,CSB} = 11 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$	$C_{0,CSB} = 30000 \text{ mg/l}$	BORGHANS u. GILS (1986)
Weizenstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 2000 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 70-85\%$	$C_{0,CSB} = 20000 \text{ mg/l}$ $C_{0,BSB_5} = 12500 \text{ mg/l}$	JANS U. PISCAER (1986)
Kartoffelstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 5000 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 75-80\%$	$C_{0,CSB} = 10000-12000 \text{ mg/l}$ $C_{0,Ges.N} = 700-900 \text{ mg/l}$ Verdünnung des Rohabwassers	HANNINGA u. GOTTSCHAL (1986)
Weizen- u. Reisstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 5000 \text{ m}^3$	$B_{R,CSB} = 0,7 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ $t = 35 \text{ C}$		BMA (1984)
Weizenstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 500 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 85\%$ $n_{BSB_5} = 93\%$ $t = 35 \text{ C}$	$C_{0,CSB} = 20000 \text{ mg/l}$ $C_{0,BSB_5} = 13500 \text{ mg/l}$	PAQUES (1984)
Gerstenstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 410 \text{ m}^3$	$B_{R,CSB} = 7,6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ $t = 35 \text{ C}$		BMA (1984)
Kartoffelstärkeabwasser	Großanlage (UASB) $Y = 1800 \text{ m}^3$	$n_{CSB} = 85\%$ bei $B_{R,CSB} = 11 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ $t_p = 2,1 \text{ d}$ $t = 35 \text{ C}$	$C_{0,CSB} = 22000 \text{ mg/l}$	OLTHOF u. OLESZKIEWICZ (1982)

Tabelle 7.9b: Leistungsdaten von Versuchs- und Großanlagen zur anaeroben Vorbehandlung von Abwässern aus der Stärkeindustrie

geren CSB-Zuflußkonzentrationen (CSB 10 g/l) und hohen hydraulischen Belastungen zufriedenstellende Abbauleistungen auf. Durch die vergleichsweise geringe Empfindlichkeit gegenüber Stoßbelastungen — bei den meisten Stärkefabriken treten erhebliche Abwassermengen- und Schmutzfrachtschwankungen auf — sind mit Anaerob-Festbettreaktoren hohe Betriebssicherheiten zu erzielen.

Das Anamet-Verfahren kann als Schwachlastverfahren angesehen werden. Dies ist z. B. aus den Planungsdaten der zu den Kontaktverfahren zählenden Anamet-Großanlage in Thunder-Bay zu ersehen. Die der Planung zugrunde gelegte CSB-Raumbelastung von 3 kg/(m³·d) liegt erheblich unter denen der UASB-Großanlagen (vgl. Bild 7.11, Tab. 6.9) und wurde hauptsächlich unter dem Aspekt hoher Betriebssicherheiten gewählt. Entsprechend hohe Durchflußzeiten im Reaktor sollten zudem zu möglichst hohen CSB-Abbaugraden führen. Wie mittlerweile feststeht und durch Betriebsergebnisse von Großanlagen mehrfach belegt ist, sind auch mit den anderen Anaerob-Systemen bei ebenfalls hoher Betriebssicherheit ähnlich gute Abbaugerichte zu erzielen; dies jedoch bei erheblich höheren CSB-Raumbelastungen bzw. kürzeren Durchflußzeiten im Reaktor (vgl. Bild 7.11 und 7.12) und somit bei der deutlich geringeren erforderlichen Reaktorvolumina.

Der Vorteil des Anamet-Verfahrens als integriertes Reinigungssystem zur vollbiologischen Abwasserbehandlung ist demnach auch nicht in der besonderen Leistungsfähigkeit der Anaerob-Stufe zu sehen. Vorteile ergeben sich vielmehr aus der Tatsache, daß in dem vordurchmischten Anaerob-Reaktor — dies gilt nicht

chend hohe Durchflußzeiten im Reaktor sollten zudem zu möglichst hohen CSB-Abbaugraden führen. Wie mittlerweile feststeht und durch Betriebsergebnisse von Großanlagen mehrfach belegt ist, sind auch mit den anderen Anaerob-Systemen bei ebenfalls hoher Betriebssicherheit ähnlich gute Abbaugerichte zu erzielen; dies jedoch bei erheblich höheren CSB-Raumbelastungen bzw. kürzeren Durchflußzeiten im Reaktor (vgl. Bild 7.11 und 7.12) und somit bei der deutlich geringeren erforderlichen Reaktorvolumina.

Abwasserart	Maßstab der Anaerob-Anlage	Erzielte Abbaugrade	Anmerkungen zum Rohabwasser	Quelle
Weizenstarke-abwasser	Großanlage (System Anamet) Y = 5700 m ³	n _{CSB} = 90 % n _{BSB} = 90 % bei B _{R,CSB} = 0,9-2,4 kg/(m ³ ·d) und B _{R,BSB} = 0,5-1,4 kg/(m ³ ·d) t _R = 5-6 d t = 37 °C	C _{CSB} = 14000-18000 mg/l C _{BSB} = 8000-3800 mg/l	BONKOSKI et al. (1983)
Abwasser aus der Starkeverzuckerung (Alkoholgewinnung)	Großanlage (System Sulzer) Vorversäuerung: Y = 1200 m ³ Methanisierung: Y = 5000 m ³	t _R = 14,2 d t = 30,37 °C	C _{CSB} = 17000 mg/l	
Weizenstarke-abwasser	Großanlage (System Sulzer) voldurchmischter Reaktor mit internem Lamellenabscheider Y = 4000 m ³	Geht im Herbst 1986 in Betrieb! Derzeit: B _{R,CSB} = 1,3 kg/(m ³ ·d) t _R = 27 d t = 37 °C	C _{CSB} = 35000 mg/l C _{BSB} = 25000 mg/l	
Weizenstarke-abwasser	Großanlage durchmischter Reaktor mit nachgeschalteter Ultrafiltration Y = 900 m ³	n _{CSB} = 90-95 % bei t _R = 4,5 d t = 35-37 °C	C _{CSB} = 17000 mg/l pH = 3,2-3,4	CHOTE et al. (1982)
Maisstarke-abwasser	Großanlage (System Clangester) Y = 1000 m ³	n _{CSB} = 93 % bei t _R = 3-5	C _{CSB} = 7200 mg/l	ROSS (1984)
Weizenstarke-abwasser	Großanlage (Anaerob-Filter) Y = 3 × 380 m ³	n _{CSB} = 65-75 % bei B _{R,CSB} = 4 kg/(m ³ ·d) und t _R = 2,5 d	C _{CSB} = 9000 mg/l	TAYLOR u BURM (1972)
Weizenstarke-abwasser	Großanlage (CSTR) Y = 1000 m ³	n _{CSB} = 65 % bei B _{R,CSB} = 3,6 kg/(m ³ ·d) und t _R = 4,7 d t = 35-37 °C	C _{CSB} = 17000 mg/l	DEMUYNCK u. NYNS (1984)
Kartoffelstarke-abwasser	-	n _{CSB} = 91 % bei B _{R,CSB} = 6,1 kg/(m ³ ·d) t = 35 °C	C _{CSB} = 28000 mg/l C _{BSB} = 15000 mg/l	LESCURE (1982)
Kartoffelstarke-abwasser	Großanlage (DKU) (Anaerob-Filter) Vorversäuerung: voldurchmischter Reaktor (Y = 1000 m ³) Methanisierung: Anaerob-Filter Y = 6 × 350 m ³	Geht voraussichtlich im Herbst 1987 in Betrieb! B _{R,CSB} = 25 kg/(m ³ ·d) t _R = 18 h t = 35-37 °C	C _{CSB} = 17000 mg/l C _{BSB} = 11000 mg/l C _{TKM} = 1050 mg/l	

Tabelle 7.9c: Leistungsdaten von Versuchs- und Großanlagen zur anaeroben Vorbehandlung von Abwässern aus der Stärkeindustrie

nur für Anamet-Reaktoren, sondern grundsätzlich für alle durchmischten Anaerob-Reaktoren — nicht nur das Rohabwasser, sondern auch der in der nachgeschalteten Aerob-Stufe anfallende Überschussschlamm behandelt werden kann und somit kaum zusätzliche Probleme mit der Schlammabeseitigung auftreten.

Folgt der Anaerob-Stufe keine aerobe Nachreinigungsstufe oder läßt sich der anfallende Überschussschlamm bei Vorhandensein einer nachgeschalteten Aerob-Stufe problemlos beseitigen, ist das Kontaktverfahren wegen seiner geringeren Leistungsfähigkeit gegenüber anderen Anaerob-Systemen (Anaerob-Filter, UASB, Wirbelbett) als weniger günstig anzusehen. Über Großanlagen nach dem MARS-System liegen derzeit zu wenig Betriebsergebnisse und Leistungsdaten vor, so daß eine genaue Beurteilung dieses Systems nicht möglich ist.

Wie aus den Bildern 7.10 und 7.12 hervorgeht, läßt sich mit allen vorher beschriebenen Anaerob-Systemen eine zufriedenstel-

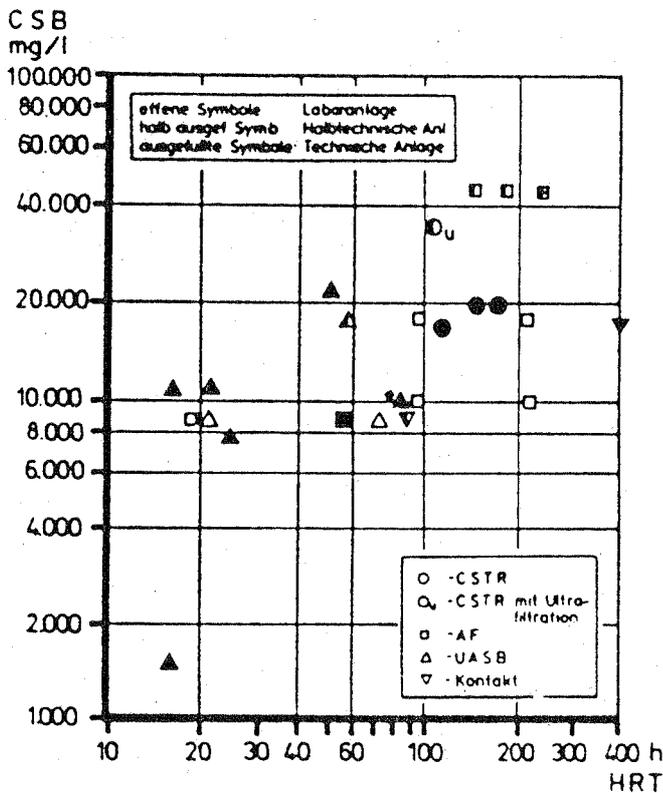


Bild 7.10: Gegenüberstellung von Rohwasser-Zuflußkonzentrationen und Durchflußzeit im Reaktor für verschiedene Anaerob-Systeme (BISCHOFFBERGER et al., 1986)

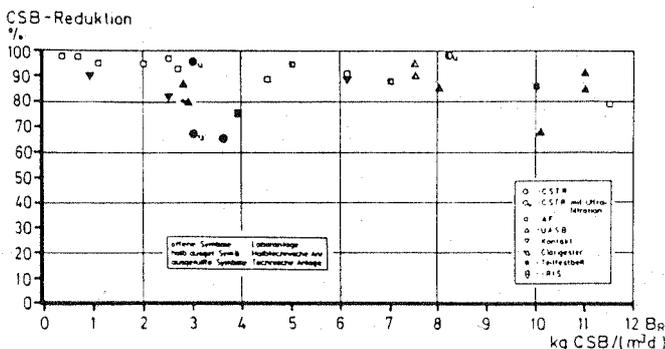


Bild 7.11: Abbaugrade in Abhängigkeit von der CSB-Raumbelastung bei Anwendung verschiedener Anaerob-Systeme (BISCHOFFBERGER et al., 1986)

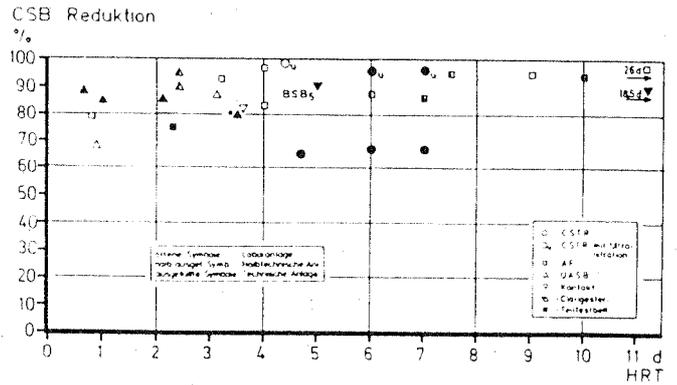


Bild 7.12: CSB-Abbaugrade in Abhängigkeit von der Durchflußzeit bei Anwendung verschiedener Anaerob-Systeme (BISCHOFFBERGER et al., 1986)

lende Vorreinigung der Abwässer aus der Stärkefabrikation erreichen. Von einigen Ausnahmen abgesehen, wurden mit den meisten Anaerob-Anlagen CSB-Abbaugrade von über 80 % und teilweise sogar über 90 % erzielt. Für die Verwertung des anfallenden Faulgasgemisches ist es, insbesondere bei der Behandlung von Abwasser aus der Kartoffelstärkefabrikation wichtig, geeignete Maßnahmen zur Gasentschwefelung vorzusehen.

8. Empfehlungen für die Planung von abwassertechnischen Maßnahmen

Mit dem Arbeitsblatt A 102 „Allgemeine Hinweise für die Planung von Abwasserablenungsanlagen und Abwasserbehandlungsanlagen bei Industrie- und Gewerbebetrieben“ hat die ATV 1990 einen aktualisierten Leitfaden für die Praxis vorgelegt.

Hier sollten deshalb nur einige wichtige Punkte herausgegriffen werden:

- Analyse der betrieblichen Wasserwirtschaft
= Wasserversorgung
= Wassernutzung
- Analyse der betrieblichen Abwasser-Situation
= Bestandsaufnahme (Abwasserkataster)
= Untersuchungsprogramm für fehlende, erforderliche Daten
- Vergleich der Istwerte mit Kosten aus technischen Regelwerken, Literatur und rechtliche Regelungen
- Ausarbeiten eines Kataloges von Maßnahmen zur Abwasserbehandlung
- Bewertung der Maßnahmenkataloge unter Berücksichtigung von rechtlichen Forderungen, von technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Vor- und Nachteilen; von möglichen öffentlichen Förderungen einschließlich steuerlicher Auswirkungen; von Gebühren und Abgaben; von Sekundär-Emissionen (Geruch, Schlammfall).

Bei der Erarbeitung von Basisdaten können nützlich sein:

- Prüfung des Fällungs- und Flockungs- und Sedimentationsverhältnis der Abwasserinhaltsstoffe, z. B. mit dem JAR-Test von Helenbold und Vogel (1969)
- Ermittlung des biologischen Abbauverhaltens der Abwasserinhaltsstoffe
= aerob: Pilot-Beliebschlammanlage nach DIN 38412 Teil 24
statischer Test nach DIN 38412 Teil 25
sonstige Hinweise nach Mahr (1981)
= anaerob: Hinweise von Mudrack und Kunst (verschiedene Arbeiten)
- Festlegung eines Programmes für verfahrenstechnische Versuche mit Abwägung des erforderlichen Maßstabes, siehe ATV

H 760 „Aufbau und Betrieb von Pilotanlagen zur Abwasserbehandlung“ (KA 4/86)

- Aufstellung eines detaillierten Programmes zur systematischen analytischen Verfolgung von Versuchen.

9. Beispiele für die Behandlung des Abwassers aus der Stärkeindustrie

9.1 Aerobe Reinigung

Eine zweistufige aerobe Anlage (Deep Shaft und Belebung) wird von einer Kartoffel- und Weizenstärkefabrik in Emlichheim zur Reinigung dieser Abwässer betrieben. Ausführliche Berichte sind in den Veröffentlichungen von SEYFRIED (1978) enthalten. Das Fließschema der Anlage ist im Bild 9.1 dargestellt. Die folgende Beschreibung entspricht den Betriebsbedingungen Stand 1982.

Das Kreislaufwasser (300 m³/d) der Kartoffelschwemme und -wäsche wird zunächst über ein Sieb von groben Teilen befreit und anschließend in einem Sandfang behandelt, in dem erdiger Sand und auch kleine Kartoffel- sowie Krautstückchen sedimentieren. Zur Entfernung der überwiegend mineralischen Schwebstoffe (Lehm, Ton, Schluff usw.) wird das Kreislaufwasser mit Kalkhydrat im pH-Wert eingestellt und danach mit 500—1 000 g AVR/m³ geflockt; die ausgeflockten Schwebstoffe werden sodann in zwei Absetzbecken mit zusammen 250 m³ abgeschieden.

Um Verstopfungen in den Schlammtrichtern der Absetzbecken zu vermeiden, wird der sedimentierte Schlamm relativ dünn mit einer größeren Wassermenge abgelassen und in einem Eindicker mit einem Volumen von 180 m³ unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln eingedickt. Der Trübwasserüberlauf wird in den Schwemm- und Waschwasserkreislauf zurückgegeben. Der Überschuß des Schwemm- und Waschwassers fließt der ersten biologischen Stufe, dem Deep Shaft zu. Dieser ist für einen maximalen Abwasserzufluß von 44 m³/h ausgelegt. Die Schmutzfracht beträgt $B_{0, BSB5} = 2\ 112\ \text{kg/d. a.}$ In dem direkt an den Deep Shaft angebauten Absetz- und Flotationsbecken, mit einem Inhalt von 50 m³, wird ein Teil des belebten Schlammes zurückgehalten und wieder in den Deep Shaft zurückgegeben. Wegen des unzulänglichen Wirkungsgrades des Absetz- und Flotationsbeckens wird das Abwasser in einem nachträglich erstellten Zwischenklärbecken mit einem Inhalt von rd. 500 m³ und einer Oberfläche von 200 m² nachgereinigt. Der sedimentierte Schlamm wird als Rücklaufschlamm in den Deep Shaft gegeben bzw. nach Erfordernis ein Teil als Überschußschlamm zur landwirtschaftlichen Verregnung gepumpt. Bei Betriebsstörungen oder bei Überlastung des Deep Shaft kann das Abwasser zum Teil, oder auch vollständig, direkt über einen Bypass in die zweite Stufe geleitet werden.

Die zweite biologische Stufe besteht aus einer schwach belasteten Belebung mit simultaner Schlammstabilisierung. Dieser fließen der Ablauf aus dem Deep Shaft mit einer Verschmutzung von etwa $C_{0, BSB5} = 1\ 000\ \text{mg/l}$ sowie Abwasser aus der Derivatherstellung mit 20 bis 30 m³/h zu. Die Verschmutzung des Abwassers aus der Herstellung von Stärkederivaten dieser Fabrik ist in der Regel relativ gering, da es sich in erster Linie um Reinigungs-, Spül- und Regenerationswässer handelt. Kurzzeitig können allerdings Spitzen auftreten, die jedoch im Durchschnitt über mehrere Stunden einen Wert von $C_{0, BSB5} = 500\text{—}600\ \text{mg/l}$ nicht überschreiten. Über kurze Zeiten sind in dem Derivatabwasser auch höhere Salzkonzentrationen zu verzeichnen, die jedoch in der zweiten biologischen Stufe ausgeglichen werden zu Werten, die in der Regel den Bereich des normalen kommunalen Abwassers nicht überschreiten. Das der zweiten biologischen Stufe zuffließende Abwasser wird in einer Venturimeßstrecke gemessen und über ein Schneckenpumpwerk in das Belebungsbecken gefördert. Insgesamt ist die zweite biologische Stufe auf einen maximalen Abwasserzufluß von 60 m³/h ausgelegt. Die Schmutz-

	CSB (mg/l)									
	Kartoffelstärkeherstellung 1977					Weizenstärkeherstellung 1978				
	Sept.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	Febr.	März.	Apr.
Ablauf zur KA ¹⁾	1870	1870	1870	2145	1880	5350	4570	5540	2730	2440
Ablauf Zwischenklärbecken nach Deep Shaft	130	115	118	140	140	130	120	140	110	160
Ablauf Nachklärbecken nach Belebungsbecken	11	10	10	12	10	16	11	12	10	13
Ablauf Schlammabsetz-	17	17	16	17	17	18	17	15	17	14
Gesamt-zufluß (mg/l)	99,4	97,0	98	97,5	97,7	95,1	97,4	98,1	98,7	94,0

¹⁾ Denat-Abwasser Einleitung direkt in 2. Belebungsstufe

Tabelle 9.1: Betriebsergebnisse der Kläranlage einer Kartoffel- und Weizenstärkefabrik

Reaktortyp	Vorversauerungs-Reaktor	Methan-Reaktor
		voll-durchmisch
Durchflußzeit T_H (d)	1 bis 1,5	—
CSB-Raumbelastung (kg/(m ³ · d))	30	5
Betriebstemperatur (°C)	30	35 bis 38
Durchmischung	außenliegende Pumpen	außenliegende Pumpen

Tabelle 9.2: Bemessungswerte für die zweistufige Anaerob-Großanlage der Weizenstärkefabrik Kröner

	Zulauf		Ablauf mg/l
	Ablauf Anaerob mg/l	Waschwasser und Kommune mg/l	
CSB	5 000—10 000	1 400	80—140
BSB ₅	2 000— 5 000	700	5— 15
TKN	800— 1 100	100	0— 2
NO ₂ -N	—	—	< 1
NO ₃ -N	—	—	5— 20
P _{ges}	170— 230	30	0,5— 10
TS ₀	800— 1 500	500	—
Q _{zu} m ³ /d	2 100	2 100	4 200

Tabelle 9.3: Kommunale Aerobanlage der Gemeinde Lüchow; durchschnittliche Zu- und Ablaufkonzentration

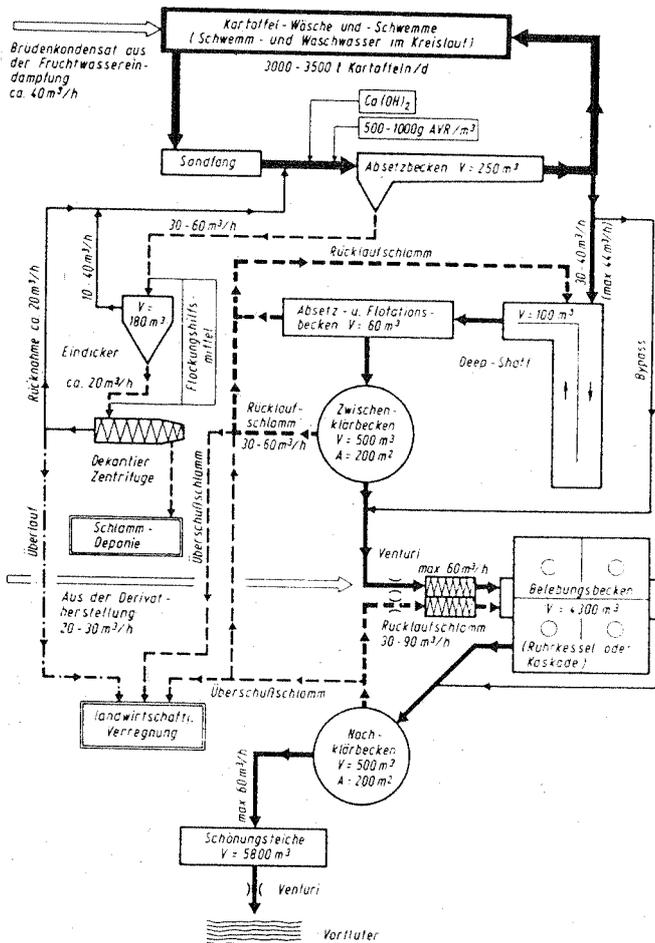


Bild 9.1: Fließschema der Abwasserreinigungsanlage der Stärkefabrik Emlichheim (SEYFRIED, 1978) (Stand: 1982)

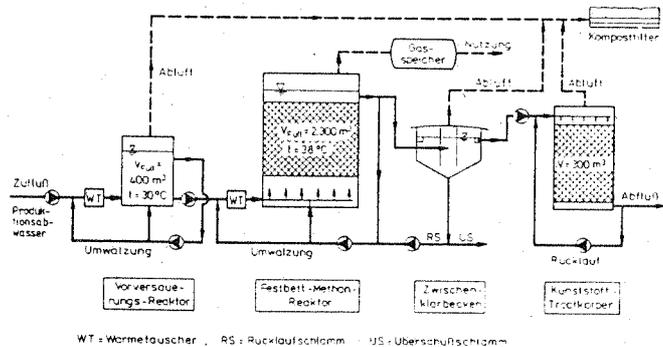


Bild 9.2: Fließschema der anaerob-aerob-Großanlage der Weizenstärkefabrik Kröner"

fracht aus dem Ablauf der Zwischenklärung und aus dem Derivatabwasser beträgt $B_{d, BSB5} = 1\ 290\ \text{kg/d}$ bei einer Schmutzkonzentration von $C_{o, BSB5} = 900\ \text{mg/l}$. Das Belebungsbecken hat einen Inhalt von rd. $4\ 300\ \text{m}^3$. Geplant ist ein Schlammgehalt von $TS_R = 6\ \text{kg/m}^3$. Die theoretische Durchlaufzeit errechnet sich zu t_R 3 Tage. Das Belebungsbecken kann als total durchmischtes Becken oder als Kaskade betrieben werden; die Belüftung erfolgt über vier Kreisel (Biorotoren) mit je $50\ \text{kg O}_2/\text{h}$ Sauerstoffeintragungsleistung. Jedem Kreisel ist eine eigene Kassette zugeordnet, da Untersuchungen an bestehenden Anlagen gezeigt haben, daß beim Betrieb mehrerer Kreisel in einem Becken ohne Zwischenwände die effektive Sauerstoffeintragungsleistung zurückgeht.

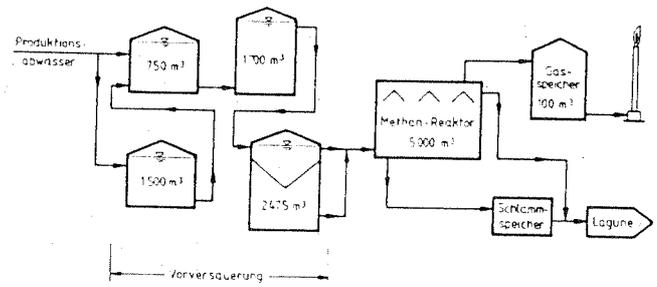


Bild 9.3: Fließschema der UASB-Anlage in „De Krim“ zur Behandlung von Kartoffelstärkeabwässern

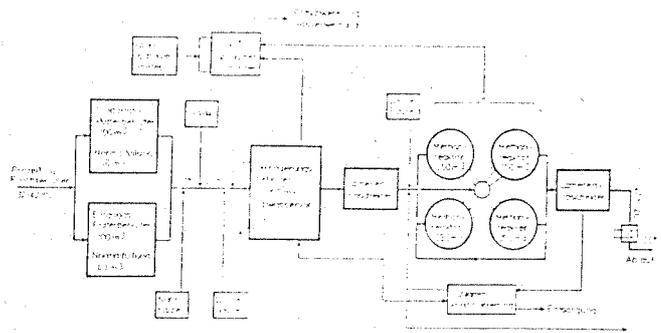


Bild 9.4: Verfahrensschema der Anaerobanlage einer Kartoffelstärkefabrik in Lüchow

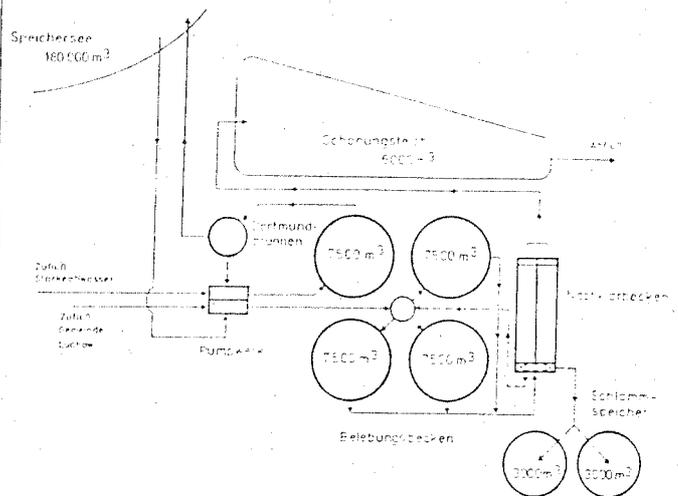


Bild 9.5: Verfahrensschema der Aerobanlage Gemeinde Lüchow für die Reinigung anaerob vorbehandelten Kartoffelstärkeabwassers

Das Nachklärbecken hat ein Volumen von rd. $500\ \text{m}^3$, eine Oberfläche von $200\ \text{m}^2$ und eine Tiefe von rd. $2,6\ \text{m}$. Bei der Planung wurde ein Schlammgehalt von $TS_R = 6\ \text{g/l}$ und ein Schlammindex von $ISV = 150\ \text{ml/g}$ zugrundegelegt. Der Rücklaufschlammstrom kann zwischen $30\text{--}90\ \text{m}^3/\text{h}$ variiert werden; er wird über eine Venturimeßstrecke gemessen und mit einer Schneckenpumpe zum Belebungsbecken gepumpt. Der Überschlußschlamm wird landwirtschaftlich verreignet. Bei vollbiologischer Reinigung mit simultaner Schlammstabilisierung wird ein Ablauf- BSB_5 im Ablauf der Nachklärung von $10\text{--}20\ \text{mg/l}$ erreicht. Der Ablauf des Nachklärbeckens der zweiten biologischen Stufe wird sodann in vorhandene Schönungsteiche mit einem Volumen von rd. $5\ 800\ \text{m}^3$ geleitet. In den Schönungsteichen erfolgt eine Nachreinigung des Abwassers; zugleich können auch geringfügige Schwankungen, die durch evtl. Betriebsstörungen in der Stärkeproduktion verursacht werden, ausgeglichen werden. Der

Ablauf aus den Schönungsteichen wird ebenfalls über eine Venturimeßstrecke gemessen und dem Vorfluter zugeleitet.

Die Tabelle 9.1 zeigt Untersuchungsergebnisse aus den Jahren 1977 und 1978 für die Reinigungsleistung der Anlage bei der Kartoffelstärke- und Weizenstärkeherstellung.

9.2 Anaerob-aerobe Reinigung

9.2.1 Weizenstärkeabwasser

Die zweistufige Anlage der Weizenstärkefabrik Kröner besteht im wesentlichen aus den Verfahrensstufen Vorversäuerung und Methanogener Stufe.

Die Vorversäuerung des Produktionsabwassers aus der Weizenstärkefabrik erfolgt im volldurchmischten Reaktor (ca. 400 m³ Füllvolumen), der bei ca. 30 °C betrieben wird. Die Umwälzung des Reaktorinhaltes wird mit einer außenliegenden Pumpe vorgenommen. Zur Desodorierung des anfallenden Faulgases ist ein Kompostfilter vorgesehen.

Die Methanisierung des vorversäuerten Abwassers erfolgt im Festbett-Methanreaktor (ca. 2 300 m³ Füllvolumen), der bei ca. 35—38 °C betrieben wird. Eine vorherige kostenaufwendige Neutralisierung des vorversäuerten Abwassers ist nicht vorgesehen. Es ist beabsichtigt, das produzierte Faulgas in der Produktion zu nutzen. Um neben den immobilisierten auch genügend suspendierte Methanorganismen im Reaktor zu halten, erfolgt eine Rückführung des im nachgeschalteten Absetzbecken sedimentierten Schlammes. Zur Verbesserung der Schlammabsetzeigenschaften (Verringerung der Nachgasung) ist dem Absetzbecken eine Kaskade mit Vakuumentgasung vorgeschaltet (70 mbar Unterdruck). Das Absetzbecken besitzt eine Oberfläche von ca. 113 m² und ist somit für eine Oberflächenbeschickung von ca. 0,15 m/h ausgelegt. Die wichtigsten Bemessungswerte für die zweistufige Anaerob-Anlage sind der Tabelle 9.2 zu entnehmen.

Um die im Weizenstärkeabwasser enthaltenen Schmutzstoffe möglichst weitgehend abzubauen, folgt der anaeroben Vorbehandlungsstufe eine aerobe Nachbehandlung mit Hilfe eines Kunststoff-Tropfkörpers (V = 300 m³). Die BSB₅-Raumbelastung beträgt ca. 3—3,5 kg/(m³ · d). Aus den von SEYFRIED et al. (1984) durchgeführten Vorversuchen sind bei diesen Raumbelastungen BSB₅-Abbaugrade — bezogen auf den Abfluß aus der Anaerob-Stufe — von 50—60% (CSB-Abbau: 30—50%) zu erwarten.

Nach einer Zwischenspeicherung des Abflusses aus dem Tropfkörper in einem Erdbecken erfolgt die Nachreinigung des Abwassers in der kommunalen Kläranlage (einstufiges Belebungsverfahren mit ca. 50 000 EG).

9.2.2 Kartoffelstärkeabwasser anaerobe Behandlung mit nachgeschalteten Teichen

Eine zweistufige Anaerobanlage mit nachgeschalteten Teichen wird in De Krim zur Reinigung der Abwässer der Kartoffelstärkefabrik AVEBE betrieben. Sehr ausführliche Untersuchungsergebnisse von dieser Anlage sind in den Veröffentlichungen von NANNINGA und GOTTSCHAL (1986) zu finden.

In der Kartoffelstärkefabrik De Krim werden derzeit von Mitte August bis Ende Januar (ca. 4 000 h) pro Stunde ca. 130 t Kartoffeln verarbeitet (ca. 520 000 t/a). Der spezifische Abwasseranfall setzt sich wie folgt zusammen:

Waschwasser	ca. 1 m ³ /t Kartoffeln
Prozeßwasser	ca. 1 m ³ /t Kartoffeln
Fruchtwasser	ca. 0,8 m ³ /t Kartoffeln
Summe	ca. 2,8 m ³ /t Kartoffeln

Insgesamt fallen somit pro Stunde ca. 360 m³ Abwasser an (8 700 m³/d). Der ersten anaeroben Behandlungsstufe werden davon jedoch nur ca. 230 m³/h (5 500 m³/d) zugeführt. Das Washwasser wird vermutlich direkt in die zweite Anaerobstufe geführt.

Die im Gesamtabwasser der Kartoffelstärkefabrik enthaltenen organischen Inhaltsstoffe setzen sich vorwiegend aus Eiweißstoffen (ca. 15 g/l), Kohlenhydraten (ca. 7 g/l), Aminosäuren (ca. 15 g/l) und Zitraten (5 g/l) zusammen. Durch Eiweißkoagulation mit nachfolgender Ultrafiltration werden ca. 80 % der Eiweißstoffe aus dem Abwasser entfernt, so daß von den 15 g/l dann nur noch ca. 3 g/l im Abwasser vorhanden sind. Die weitere Behandlung des Abwassers erfolgt auf anaerobem Wege in einer UASB-Anlage (vgl. Bild 9.3).

Im Zufluß der ersten Anaerobstufe liegt der CSB bei ca. 18 000 mg/l. Im Zulauf zum UASB-Reaktor weist das Abwasser die folgenden Kennwerte auf:

CSB	10 000—12 000 mg/l
Ges. N	700— 900 mg/l
TS	1 000— 2 000 mg/l
pH-Wert	ca. 6,5
Temperatur	ca. 35 °C
Volumenstrom	7 300— 8 300 m ³ /d

Seit der Inbetriebnahme der Anaerob-Anlage traten mehrfach erhebliche Probleme auf, wie z. B.:

- Ungenügende Versäuerungsleistung in der Vorversäuerungsstufe sowie Schleimbildung, deren Ursache noch nicht genau bekannt ist.
- Ungenügende Anströmung des Schwebefilters aus Anaerob-Schlamm im UASB-Reaktor mit Rohabwasser.
- Mammutpumpeneffekt an den Seitenwänden des UASB-Reaktors (Gaseruptionen).
- Ungenügende Schlammkonzentrationen im UASB-Reaktor (Schlammauswaschung).
- Hemmung der Methanbakterien im UASB-Reaktor bei Stickstoffkonzentrationen von 1 000—1 200 mg/l (vermutlich Zerfall der Bakterien-Pellets).

Ursprünglich bestand die Anlage aus einem Absetzteich (V = 750 m³), einem Upflow-Reaktor zur Vorversäuerung des Rohabwassers (V = 1 500 m³), einem H₂S-Strippturm und dem UASB-Reaktor zur Methanisierung des vorversäuerten Abwassers (V = 5 000 m³). Zur weiteren Reinigung auf aerobem Wege wird das gesamte Abwasser einer Kampagne in einem großräumigen Teich (ca. 550 000 m³) gespeichert.

Zur Verbesserung der Reinigungsleistung der Anaerob-Anlage wurden dem Methanisierungs-Reaktor inzwischen zwei zusätzliche Vorversäuerungs-Reaktoren vorgeschaltet (1 700 m³ und 2 475 m³). Der Vorversäuerungs-Reaktor mit einem Volumen von 2 475 m³ besitzt ein integriertes Absetzbecken (V = 925 m³). Zur verbesserten Vorversäuerung der im Abwasser enthaltenen Eiweißstoffe — Eiweißstoffe werden erheblich langsamer hydrolysiert und versäuert als Kohlenhydrate — erfolgt in diesem Reaktor offensichtlich eine Trennung der Feststoff-Durchflußzeit von der hydraulischen Durchflußzeit. Die damit verbundenen längeren Feststoff-Durchflußzeiten haben eine Intensivierung der Eiweißhydrolyse zur Folge.

Um Schlammauswaschungen aus dem UASB-Reaktor nach Stoßbelastungen so schnell wie möglich kompensieren zu können, wird der im UASB-Reaktor anfallende Überschussschlamm in einem separaten Pufferbehälter gespeichert. Das Volumen dieses Pufferbehälters dürfte bei ca. 500 m³ liegen.

Bei Addition der Volumina aller vorhandenen Vorversäuerungsräume ergeben sich ca. 6 400 m³. Hieraus resultiert in etwa eine Gesamtdurchflußzeit in der Vorversäuerung von ca. 18 h. Die Durchflußzeit im Methanisierungs-Reaktor liegt in der gleichen Größenordnung.

Der CSB-Abbaugrad der Anaerobanlage liegt etwa bei 75—80 %. Bezogen auf den im Abwasser vorhandenen gelösten CSB ergeben sich Abbaugrade um 90 %. Die durchschnittliche Faulgasproduktion liegt bei 1 250 m³/h mit Spitzenwerten bis zu 1 700 m³/h. Der Methananteil im Faulgas beträgt ca. 75 %.

Im Hinblick auf den Abbau der organischen Substanz im Rohabwasser stellen Nanninga und Gottschal fest, daß der größte Teil anaerob abgebaut und zu Kohlendioxid und Methan umgesetzt wird. Der nicht abgebaute Anteil (ca. 29 % der Zuflußfracht) besteht nur zu einem geringen Prozentsatz aus bekannten gelösten Verbindungen, wie z. B. Essig- und Propionsäure, Ethanol usw. Die produzierte Biomasse macht ebenfalls nur einen relativ kleinen Teil der nicht abgebauten organischen Substanz aus.

Wahrscheinlich setzt sich die restliche unbekannte Fraktion aus Substanzen zusammen, die bereits im Kartoffelsaft vorhanden oder während des anaeroben Abbaus der Aminosäuren entstanden sind. Diese Produkte können sich in erheblichem Maße toxisch auf den anaeroben Abbauprozess auswirken. Ein gutes Beispiel liefern dafür die schwefelhaltigen Aminosäuren, die während des anaeroben Abbaus zu toxischen flüchtigen Schwefelverbindungen umgesetzt werden können (BARKER, 1961; ZINDER U. BROCK, 1978).

9.2.3 Kartoffelstärkeabwasser anaerobe Behandlung mit Nachbehandlung in einer kommunalen aerob biologischen Kläranlage

Für die Reinigung der Abwässer einer Kartoffelstärkefabrik in Lüchow wurde eine Anaerobanlage (Festbettumlaufreaktoren, System KWU) gebaut. Das vorgereinigte Abwasser wird in die kommunalen Kläranlage geleitet. Das Verfahrensschema der Anaerobanlage ist Bild 9.4 zu entnehmen.

In der Kartoffelstärkefabrik in Lüchow werden zur Zeit von Ende August bis Mitte März stündlich 58 t Kartoffel verarbeitet, pro Kampagne 300 000 t. Der Abwasseranfall setzt sich wie folgt zusammen:

	m ³ /t Kartoffeln	m ³ /h
Waschwasser	0.43	25
Prozeßwasser	0.64	38
Fruchtwasser	0.86	50

Insgesamt fallen ca. 113 m³/h (2 700 m³/d) Abwasser an. Das Waschwasser wird direkt der kommunalen Aerobstufe zugeführt, während das Fruchtwasser und das Prozeßwasser innerbetrieblich anaerob vorgereinigt werden. Ca. 50 % der im Fruchtwasser enthaltenen Proteine werden zuvor mittels einer Einweißkoagulation zurückgewonnen. Im Prozeßwasser findet sich als Hauptverschmutzungskomponente Feinststärke.

Im Zufluß zur Anaerobstufe weist das Abwasser folgende Kennwerte auf:

CSB	16 000—18 000 mg/l
TKN	900—1 100 mg/l
TS	1 000—2 000 mg/l

Die geplante Abbauleistung (CSB = 70—80 %) konnte bei Raumbelastungen von 20—30 kg CSB/m³ d in der seit Herbst 1987 betriebenen Anlage nicht erreicht werden. Der CSB-Wirkungsgrad liegt zwischen 50 und 60 %. Probleme bereitet die Feststoff-

abtrennung (koaguliertes Eiweiß) nach der Versäuerung. Aus diesem Grund wurde der zweite Lammellenklärer, welcher ursprünglich nach der Methanstufe zum Einsatz kam, ebenfalls hinter den Versäuerungsreaktor geschaltet. Weiterhin wurde die Anlage um einen Pufferbehälter (1 000 m³) vor der Versäuerung erweitert.

Infolge der Magnesium-, Phosphor- und Ammoniumkonzentrationen besteht die Möglichkeit der Ausfällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP), welches in Form von schwerlöslichen Kristallen eine Gefahr für Rohrleitungen und Pumpen, insbesondere aber auch für das Festbettmaterial (Lavaschlacke) bedeutet, da es hier zu Verstopfungen führen kann. Die Ausfällung des MAP erfolgt jedoch nur bei hohen pH-Werten. Die Anaerobreaktoren werden daher mit einem maximalen pH-Wert von 6.8 gefahren. Die kommunale Kläranlage (Bild 9.5) wird während der Kampagne hydraulisch zu 50 % von der Schmutzfracht her jedoch zu über 90 % durch das Stärkeabwasser belastet. Da höhere Stickstoffkonzentrationen der Dimensionierung zugrunde gelegt waren und eine weitestgehende Nitrifikation/Denitrifikation gefordert war, wurde die Anlage mit einem sehr großen Belegungsvolumen (30 000 m³) ausgestattet. Weiterhin steht ein Speichervolumen von 180 000 m³ zur Verfügung. Die Anlage wird mit Schlammbelastungen von 0.05 bis 0.1 kg BSB₅/kg TS · d betrieben. Folgende Zu- und Ablaufkonzentrationen liegen durchschnittlich vor:

Bei Nutzung des Speichersees (180 000 m³) wird der Zufluß Stärkeabwasser in einem der vier Belebungsbecken unter Hochlastbedingungen aerob vorbehandelt. Das gespeicherte, so vorbehandelte Abwasser wird dann dem kommunalen Abwasser zugemischt.

Drei Belebungsbecken werden gleichzeitig über ein Schlammkontaktbecken beschickt. Die Belüftung der Becken erfolgt nach einem Zeittaktverfahren, so daß eine interemittierende Denitrifikation stattfindet. In den anoxischen Zeitintervallen werden die Becken mit Propellerrührwerken durchmischt.

Trotz der hohen Belastung aus der Anaerobanlage konnte bei Einhaltung vorgenannter Schlammbelastung vollständige Nitrifikation sowie ein weitgehender Abbau der Kohlenstoffverbindungen erreicht werden. Für die Denitrifikation und die biologische Phosphorelimination (das Schlammkontaktbecken dient gleichzeitig als Anaerobbecken) wirkt sich die schlechte Abbauleistung der Anaerobstufe positiv aus, insbesondere durch den hohen Gehalt an organischen Säuren.

10. Literatur

- ANDERSON, G. K.; DONNELLY, T.; RIPPON, G. M.: Pilot- and Full-Scale Anaerobic Digestion for the food and drink industry. Proceedings 36th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. Lafayette, Indiana (1981)
- ANSART, M.: New Developments in French Potato Starch Industry. Die Stärke, 26. Jahrg., H. 8, S. 270—274 (1974)
- ATV: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Verlag Ernst und Sohn, Berlin (1985)
- BACZKOWICZ, M.; TOMASIK, P.: A Novel Method of Utilization of Potato Juice. Starch-Stärke 37, S. 241—248 (1985)
- BARKER, H. A.: Fermentation of nitrogenous organic compounds. In the Bacteria (Edited by Gusalas, I. C. and Stannier, R. Y.), Vol 2, S. 151—207. Academic Press, New York (1961)
- BELLESEM VAN, T. M.: Methane Production from the effluent of potato starch industry. Biotechnology letters, 2, Nr. 5, S. 219 (1980)
- BIFFL, W.: Abwassererwertung und Abwasserreinigung am Beispiel einer Kartoffelstärkefabrik. Österreichische Wasserwirtschaft, 30. Jahrg., H. 5/6, S. 99—108 (1978)
- BISCHOFBERGER, W.; TEMPER, U.; PFEIFER, W.; MÜCKE VON, J.; CAROZZI, A.; STEINER, A.: Stand und Entwicklungspotentiale der anaeroben Abwasserreinigung unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland. Mitt. d. Oswald-Schulze-Stiftung, H. 7 (1986)
- BMA: Firmenschrift der Braunschweigischen Maschinenbauanstalt AG BMA, Bundesrepublik Deutschland (1984)

- BOGDANCIKOW, A.; PRICHODTKO, A.: Die Nutzung des in Stärkefabriken anfallenden Kartoffelfruchtwassers zur Berieselung von Wiesen in der Volksrepublik Polen. Zucker-Ind. (russ.) 42, Nr. 7, (1968), S. 56
- BONKOSKI, A. W.; SOINTIO, J. E.; GILLESPIE, G. R.: Anaerobic-Aerobic Treatment of a Wheat Starch Plant Effluent. A Case History. Proceedings 36th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. Lafayette, Indiana, S. 781—787 (1983)
- BORGHANS, A. J. M. L.; GILS VAN, W. M. A.: Application of the Biothane UASB Reaktor an Starch Industry Waste Waters. Aquatech 1986 in Amsterdam, Niederlande, v. 15.—19. Sept. (1986)
- BRAUN, R.; ATANASOFF, K.: Behandlung von Abwasser der Agrar- und der Getränkeindustrie. Wiener Mitteilungen. Wasser-Abwasser-Gewässer, Bd. 65 p. 1—40 (1986)
- BREURE, A. M.; ANDEL VAN, J. G.: Process Parameters for Optimal Degradation of a Protein of animal Origin. Posterpaper, Tagung AWWT in Noordwijkerhout, Niederlande (1983)
- CARANSA, A.: Bericht über die Arbeitsergebnisse mit Dorr-Oliver-Apparaturen in der Kartoffelstärkeindustrie. Die Stärke 25, H. 1, S. 27—29 (1973)
- CARANSA, A.: Integrated Starch Plant for Alternative Processing of Maize and Potatoes. Die Stärke 27, H. 7, S. 227—231 (1975)
- CERNY: Über die Einwirkung von Kartoffelstärke und Zuckerfabrikabwässern auf Vorflutgewässer. Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrg. 4, Heft 1 (1952)
- CHOATE, W. T.; HOULDSWORTH, D.; BUTLER, G. A.: Membrane-Enhanced Anaerobic Digesters. Proceedings 37th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. Lafayette, Indiana (1982)
- CRONJE, G. P. R.: Treatment of a glucose-starch waste by the anaerobic filter process. M.Sc. thesis. Faculty of Engineering, University of Cap Town (1973)
- CZYZYK, W.; KUTERA, J.: Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Verwertung von Stärkefabrikabwässern in Polen. Nauk polniczych 47 (1964) S. 201—219
- DEMUYNCK, M.; NYNS, E. J.: Biogas Plants in Europe. D. Reidel Publishing Company (1984)
- FRANK, U. F.: Zur verfahrenstechnischen Nutzung von Membranvorgängen. Dechema-Monogr., Bd. 75, S. 9 (1974)
- FROSTELL, B.: Anaerobic treatment in a sludge bed system compared with a filter system. J. WPCF, V. 53, S. 216—222 (1981)
- FROSTELL, B.: Anamnet Anaerobic-Aerobic treatment of concentrated waste waters. Proceedings 36th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Lafayette, Indiana, S. 269 (1981)
- FROSTELL, B.: Anaerobic-aerobic biological treatment of Starch Industrie Waste Waters. Starch/Stärke 35, S. 185—189 (1983)
- GRAEFE, G.: Einteilung der modifizierten Stärken. Die Stärke 16, S. 158 (1964)
- GREVEMEYER, M.: Abwasserfragen in der Stärkeindustrie. Die Stärke 7, S. 221—224 (1951)
- GREVEMEYER, M.: Die Abwasser der landwirtschaftlichen Industrien und die Verschmutzung der Wasserläufe. Die Stärke 10, S. 263—265 (1952)
- GREVEMEYER, M.: Akute Wasserversorgungs- und Abwasserbeseitigungs-Fragen in der Stärke-industrie. Die Stärke 9, S. 151—152 (1957)
- HÄUSLER, J.; MALCHER, J.: Unschädlichmachung der Abwasser durch bessere Ausnutzung des Rohstoffes bei der Kartoffelstärkeerzeugung. Die Stärke 24, S. 229—235 (1972)
- HELMBOLDT, O.; VOGEL, W.: Beurteilung von Flockungsvorgängen. Wasser, Luft und Betrieb, Vol. 13, H. 5 (1969)
- HEMENS, J.; MEIRING, P. G. J.; STANDER, G. J.: Full-Scale Anaerobic Digestion of Effluents from the Production of Maize-Starch. Water and Waste Treatment, May/Juni (1962)
- HOEPKE, E. H.: Über Versuche zur partiellen Reinigung von Stärkefabrikabwässern. Die Stärke 17, S. 197—201 (1965)
- HOLTHUIS, T. H.: Erfahrungen mit bekannten und neuentwickelten Maschinen in der Kartoffelstärkeindustrie. Die Stärke 4, S. 130-134 (1972)
- HUSMANN, W.: Reinigung der Abwasser von Stärkefabriken vom Wasser VIII S. 148—162 (1934)
- HUTTERER, J.: Abwasserwertung und -beseitigung am Beispiel der Kartoffelstärkefabrik Gmünd in Österreich. Die Stärke 2, S. 56—61 (1978)
- JANS, A. J. M.; PISCAER, P.: Anaerobic Treatment of Wheat Starch. Starch Effluent. Aquatech 1986 in Amsterdam, Niederlande, v. 15.—19. 9. (1986)
- KEMPF, W.: Recent Trends in European Community and West Germany Starch Industries. Starch/Stärke 10, S. 333—341 (1984)
- KOSTER, I. W.; LETTINGA, G.: Application of the Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) Process for Treatment of Complex Wastewaters at low Temperatures. Biotechn. u. Bioeng., Vol. XXVII, S. 1411—1417 (1985)
- KRAMER, D.: Reinigung der Abwässer von Zuckerfabriken im Boden. Zucker 13, S. 489—493 (1960)
- KREUZ, A.: Vorschläge für Reinigung und Verwertung der Abwässer einer Kartoffelmehl- und Dextrinfabrik. Die Stärke 6, S. 159—164 (1950)
- KUNST, S.: Untersuchungen zum anaeroben Abbau polymerer Kohlenhydrate zur Optimierung der Versäuerungsstufe bei anaeroben Abwasserreinigungsanlagen. Dissert. am Inst. f. Siedl.-Wasserw., Universität Hannover (1982)
- KUNST, S.; MUDRACK, K.: Untersuchungen zum anaeroben Abbau von Stärke unter besonderer Berücksichtigung einer Optimierung der Hydrolyse- und Versäuerungsstufe. gwf — wasser/abwasser 124, H. 2 (1983)
- KUNST, S.; KOENEMANN, W.; MUDRACK, K.: Untersuchungen über die anaerobe Abbaubarkeit von fett- und eiweißhaltigen Abwässern in Festbett-Reaktoren. gwf — wasser/abwasser 126, H. ?? (1985)
- LI, A.; KOTHARI, D.; CORRADI, J. J.: Application of Membrane Anaerobic Reaktor System for the Treatment of Industrial Waste Waters. Proceedings 39th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Lafayette, Indiana, S. 627 (1984)
- LESCUVE, J. P.: Application de la digestion anaerobic dans les industries agro-alimentaires. Industries Alimentaires et Agricoles 99, H. 3, S. 123 (1982)
- MAHR, I.: Untersuchungen über den Abbau von Stärke. Städtehygiene 5 (1971)
- MARQUARDT, K.: Umkehrosmose und Ultrafiltration zur Reinigung von Abwasser. KA, H. 5 (1984)
- McCarty, P. L.: One Hundred Years of Anaerobic Treatment. Anaerobic Digestion, Second Intern. Symp. on Anaerobic Digestion in Travemünde. Elsevier Biomedical Press., Amsterdam (1982)
- MEUSER, F.; KÖHLER, F.: Einsatz der Membranfiltrationstechnik zur Prozeßwasseraufbereitung in der Kartoffel- und Weizenstärkeindustrie. Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm. 7, S. 51—61 (1981)
- MEUSER, F.; KÖHLER, F.; KNOBLOCH, G.; GRAHN, H.: Gewinnung von Inhaltsstoffen aus Kartoffelfruchtwasser mit Hilfe der Membranfiltration. Inst. f. Lebensmitteltechnologie, TU Berlin, H. 5 (1982)
- MEUSER, F.; SMOLNIK, H. D.: Zur Problematik der Ultrafiltration von Weizenstärke-Prozeßwasser. Die Stärke 12 (1976)
- MISCHER, G.; KIESEWETTER, P. K.; KREBBER, R.: Eindampfung von Gasphasen-Oxidation industrieller Prozeßabwässer mit Erzeugung von Abhitzedampf. Chem.-Techn., S. 859-863 (1985)
- MOSEY, F. E.: Anaerobic Filtration. A biological treatment process for warm industrial effluents. Wat. Poll. Control 77, S. 370—378 (1978)
- MOSEY, F. E.: Anaerobic Biological Treatment of Food Industrie Waste Waters. Water Pollution Control, S. 273—291 (1981)
- MUDRACK, K.; KUNST, S.: Untersuchungen zum zweistufigen Betrieb von Reaktoren zur anaeroben Behandlung von Kohlenhydraten. Zeitschr. Wasser Abwasserforsch. 15, Nr. 6, S. 277—287 (1982)
- MÜLLER-MANGOLD, D.: Beitrag zur Abwasserfrage in der Weizenstärkeindustrie. Die Stärke 6, S. 173—180 (1952)
- MÜLLER-MANGOLD, D.: Weitere Untersuchungen über das Abwasserproblem bei der Weizenstärkegewinnung. Die Stärke 7, S. 184-190 (1953)
- NANNINGA, H. J.; GOTTSCHAL, J. C.: Anaerobic Purification of Waste Water from Potato-Starch Producing Factory. Water Res., Vol 20, No. 1, S. 97—103 (1985)
- OLTHOF, M.; OLESZKIEWICZ, J.: Anaerobic Treatment of industrial Waste Waters. Chem. Eng., Nov. 15, S. 121 (1982)
- OOSTEN, B. J.: Ultra Filtration of Potato Juice: Results in High Yield of Protein. Die Stärke 4, S. 135—137 (1976)
- OOSTEN, B. J.; WEBB, J. S.: Production of Potato Starch with Negligible Water Pollution. Die Stärke, 29, S. 20—25 (1977)
- PAQUES: Firmen-Referenzliste (1984)
- PFEFFER, J. T.: Anaerobic Digestion Processes. Anaerobic Digestion, Appl. Science Publishers, London (1980)
- PEPPER, D.; ORCHARD, A. C. J.: Starch Effluent Concentration. Starch/Stärke 33, H. 8, S. 271—274 (1981)
- RADLEY, J. A.: Industrial Uses of Starch and its Derivatives. Applied Science Publishers Ltd, London (1976)
- RASMUSSEN, G. P.: Anaerobic Treatment of Starch Waste Water. Delaware University, Juni (1972)
- REPLOH, H.: Wasser und Abwasserfragen in der Stärkeindustrie. Die Stärke, H. 8, S. 195—198 (1956)
- RIETZ, K.: Die Abwässer der Kartoffelflocken- und Kartoffelstärkefabriken und ihre Reinigung. Münchener Beiträge, B. 16 (1969)
- ROSS, W. R.: The Phenomenon of Sludge Pelletisation in the anaerobic Treatment of Maize Processing Waste. Water SA, Vol. 10, Nr. 4, S. 197—204 (1984)
- SAHM, H.: Biologie der Methanbildung. Chem.-Ing.-Tech. 53, S. 854-863 (1981)
- SAX, R. J.: Advantages of the Biothane System. Modern Brewery Age, Nr. 10, S. 5 u. 35 (1962)
- SEYFRIED, C. F.: Beitrag zur Frage der Reinigung des Abwassers der Stärkeindustrie. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Hannover, H. 10 (1962)
- SEYFRIED, C. F.: Purification of Starch Industrie Waste Water. Proceedings of the 23rd Industrial Waste Conference. Purdue University, Lafayette, S. 1103—1119 (1968)
- SEYFRIED, C. F.: Die biologische Behandlung schwieriger Industrieabwässer — Beispiele aus Forschung und Praxis. KA, H. 11, S. 932—939 (1985)
- SEYFRIED, C. F.: Verfahrenstechnik der anaeroben Abwasserreinigung — Theorie und Praxis —. Tagung „Verfahrenstechnik der mech., therm., chem. und biol. Abwasserreinigung“, Baden-Baden, 17.—19. 10. 1988. GVC, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik u. Chemieingenieurwesen, Düsseldorf 1988
- SEYFRIED, C. F.; ROSENWINKEL, K. H.: Abwässer der Stärkeindustrie, Grundlage zur Erarbeitung der Mindestanforderungen nach 7 a (1) WHG. Forschungsbericht Nr. 10206 031/05 im Auftrag des Umweltbundesamtes (1981)

SEYFRIED, C. F.; SAAKE, M.: Entwicklung in der Prozeßtechnik zur anaeroben Abwasser- und Schlammbehandlung. Vortrag auf der 15. Essener Tagung vom 10. 3.—12. 3. (1982)

SEYFRIED, C. F.; SAAKE, M.: Stärkefabriken, Stärkezucker- und Stärkesirupherstellung. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Bd. V. S. 182—213 (1985)

SEYFRIED, C. F.; SAAKE, M.: Verfahren der anaeroben Reinigung von Industrieabwässern. KA. H. 10. S. 877—893 (1986)

SEYFRIED, C. F.: Technik der anaeroben Behandlung von Industrieabwasser. Wiener Mitteilungen. Wasser, Abwasser, Gewässer, Bd. 65. C1-74 (1986)

SEYFRIED, C. F.; MUDRACK, K.; KUNST, S.; SAAKE, M.; KRÖNER, H.; WITT, W.: Untersuchungen zur anaeroben Reinigung des Abwassers der Stärkeindustrie. BMFT-Forschungsbericht (1984)

STANDER, G. J.; GIEN, I.: A Study of the Purification of Maize-Starch Factory Effluent bei Anaerobic Digestion and Biological Filtration. The Water a. San. Eng. a. Waste Treatment J. (England), Sept./Oct. (1956)

TAYLOR, D. W.; BURM, R.J.: Full-Scale Anaerobic Filter Treatment of Wheat Starch Plant Wastes. AIChE Symposium Series 69, S. 30—37 (1972)

TEGGE, G.: Stärke und Stärkedeviate. Behr's Verlag, Hamburg (1984)

VERBERNE, P.: A New Hydrocyclone Process for the Production of Potato Starch with Lowest Fresh Water Consumption. Die Stärke 29, H. 9, S. 303—307 (1977)

WEPNECKE, S.; MUDRACK, K.: Untersuchungen zum anaeroben Abbau von Stärke und Pektin in Abhängigkeit von der Fermenter-Belastung. gwf-wasser-abwasser, H. 1 (1981)

WIEG, A. J.: Enzymatische Behandlung von Abwässern der Weizenstärkeindustrie Starch/Stärke 36, Nr. 4, S. 135-140 (1984)

WINTER, J.: Mikrobiologische Grundlagen der anaeroben Schlammfäulung. gwf-wasser-abwasser, H. 2 (1985)

WITT, J.: Verfahrenstechnischer und wirtschaftlicher Vergleich von Methoden zur Reinigung des Abwassers einer Weizenstärkefabrik unter besonderer Berücksichtigung der anaeroben-aeroben Reinigung. Dissertation an der TU Berlin (1985)

WOLF, E.: Beitrag zur anaeroben Behandlung von Schwermetalle und organisch hochverschmutzten Abwässern aus der Tiermehlherstellung. Dissertation a. Institut. Siedlungswasserwirtschaft, Universität Hannover, H. 67 (1986)

WUSTHOFF/KUMPF: Handbuch des Deutschen Wasserrechts. E. Schmidt Verlag, Berlin (1958)

WYSOCKI, G.: Behandlung organisch belasteter Industrieabwasser nach dem Rückgewinnungsverfahren unter besonderer Berücksichtigung des Eindampfprozesses Industrieabwasser, S. 131—135 (1972)

ZEEVANKINK, J.A.; MAASKANT, W.: Biogas from Effluents of Starch industries by Anaerobic Treatment. Die Stärke 36, S. 131—135 (1984)

ZEHNDER, A. J. B.; KOCH, M.E.: Thermodynamic and Kinetic Interactions of the final Steps in Anaerobic Digestion. AWWT-Symposium in Noordwijkerhout, Niederlande (1983)

ZEIKUS, J.G.: Microbial Populations in Digesters. Anaerobic Digestion: Appl. Science Publishers, London (1980)

ZINDER, A. J. B.; BROCK, T.D.: Production of methane and carbon dioxide from methane thiol and dimethyl sulfide by anaerobic lake sediments. Nature 273, S. 226—228 (1978)



Jede Menge Durchfluß messen
mit unserem System DFM 1000
in Freispiegelleitungen



Experten für Meßtechnik
Rembe® GmbH · D-W-5790 Brilon
Postfach 1540 · Fax (02961) 507 14
Telefon (02961) 7405-20
Teletex 296134 = REMBE
Telex 17296134

221

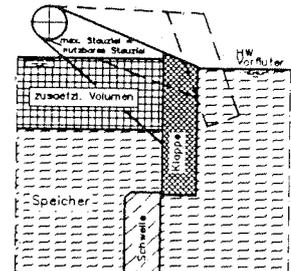
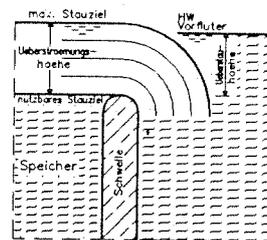
HST HST HYDRO-SYSTEMTECHNIK GMBH
EMHILDISSTRASSE 16 TELEFON: 0291/2235
D-5778 MESCHEDE TELEFAX: 0291/7691

Ihr Partner rund um's RÜB

RÜB — Entlastung
Vergleich

feste Wehrschwelle

schwimmergesteuerte Wehrklappe (ASK-Wehr)



Vorteile des ASK-Wehres:

- exakte Stauzielhaltung
- optimale Nutzung von Speichervolumen
- Hochwasserschutz bis zum Stauziel
- geringe Bauwerksgröße
- Rückhaltung von Schwimmstoffen im Kanal
- Antrieb ohne Fremdenergie
- weitgehend wartungsfreier Betrieb