



tectraa / Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
+
Arbeitsgruppe künstliche Intelligenz - Wissensbasierte Systeme
Technische Universität Kaiserslautern

**Zentrales Erfassungssystem zur Beratung
bei Bläh- und Schwimmschlammproblemen
auf kommunalen Kläranlagen
- Schlussbericht -**



Kaiserslautern, Dezember 2003

Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft +
Zentrum für Innovative AbWassertechnologien
an der Technischen Universität Kaiserslautern
Prof. Dr.-Ing. T.G. Schmitt, Dr.-Ing. J. Hansen
Paul-Ehrlich-Str. 14
67663 Kaiserslautern

Arbeitsgruppe 'Künstliche Intelligenz – Wissensbasierte Systeme'
Technische Universität Kaiserslautern
Prof. Dr. Michael M. Richter, Dipl.-Inf. A. Stahl
Erwin-Schroedinger-Str. Geb.57
67663 Kaiserslautern

INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung für das Projekt.....	1
2	Vorgehensweise und Ziele im Rahmen des Projektes.....	3
2.1	Grundidee und Ziele des Vorhabens.....	3
2.2	Verwendete Werkzeuge und Methoden	4
2.2.1	Allgemeines.....	4
2.2.2	Prozessmodell des Fallbasierten Schließens.....	5
3	Einordnung des Projektes in die politischen und wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen des Landes.....	8
4	Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum in kommunalen Kläranlagen.....	10
4.1	Allgemeines.....	10
4.2	Definition von Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum	10
4.2.1	Blähschlamm.....	11
4.2.2	Schwimmschlamm und Schaum	11
4.3	Bedingungen, die zur Selektion fädiger Bakterien führen	12
4.4	Fädige Mikroorganismen in Kläranlagen	14
4.4.1	Beschreibung der relevanten Bakteriengruppen	14
5	Selektionsbedingungen und mögliche Bekämpfungsmaßnahmen für die am häufigsten vorkommenden fädigen Bakterien	16
5.1	Schwefelbakterien	16
5.2	Gramnegative Bakterien aus Hochlastanlagen	18
5.3	Grampositive Bakterien aus Niedriglastanlagen.....	20
6	Konkreter Ablauf des Projektes ZERBERUS	22
6.1	Aufbau einer Erfahrungsdatenbank.....	22
6.1.1	Kläranlagenbefragung und -beprobung.....	22
6.1.2	Identifizierung der fädigen Bakterien	22
6.1.3	Bestimmung der ISV relevanten Fädigkeit	22
6.1.4	Morphologische Merkmale fadenförmiger Mikroorganismen.....	23
6.1.5	Färbe- und andere Testmethoden.....	23
6.2	Identifizierung unter Verwendung von CBR.....	24
7	Vorgehensweise im Rahmen einer Internet-Anfrage	27
8	Statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse.....	29
8.1	Charakteristik der erfassten Anlagen	29
8.1.1	Größenklasse der erfassten Anlagen	29
8.1.2	Reaktorform der erfassten Anlagen.....	30
8.1.3	Schlammbelastung der erfassten Anlagen.....	30
8.2	Beschreibung der identifizierten Organismen in Abhängigkeit von den Selektionsfaktoren.....	32
8.2.1	Überblick über die identifizierten Fadenbakterien	32
8.2.2	Auftreten in Abhängigkeit von externen Randbedingungen	33
8.2.3	Auftreten in Abhängigkeit von verfahrenstechnischen Randbedingungen.....	35

8.2.4	Auftreten in Abhängigkeit von den Milieubedingungen in der Anlage	38
8.2.5	Bekämpfungsmaßnahmen	40
9	Fazit und Ausblick.....	42
	Literatur	43

1 VERANLASSUNG FÜR DAS PROJEKT

Das Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz hat im Jahr 2001 ein Projekt mit dem Titel 'Zentrales Erfassungssystem zur Beratung bei Bläh- und Schwimmschlammproblemen auf kommunalen Kläranlagen - Projekt ZERBERUS' in Auftrag gegeben.

Im Rahmen dieses Projektes haben zwei Arbeitsgruppen der Technischen Universität (TU) Kaiserslautern, das **Zentrum für Innovative AbWassertechnogien tectraa / Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft** unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt und die **Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz – Wissensbasierte Systeme** unter Leitung von Prof. Dr. Michael M. Richter, eine Softwareplattform entwickelt, die Betreiber von kommunalen und industriellen Kläranlagen bei Bläh- und Schwimmschlammproblemen beratend unterstützen kann.

Veranlassung für das Projekt ist die Tatsache, dass seit einigen Jahren auf den kommunalen Kläranlagen in Deutschland vermehrt Probleme mit Bläh- und insbesondere Schwimmschlamm sowie Schaumbildungstendenzen zu beobachten sind. Hierbei handelt es sich um Phänomene, die biologisch verursacht und auf das massenhafte Auftreten von fadenförmigen Organismen zurückzuführen sind.

Die Gründe für das verstärkte Auftreten dieser Problematik sind insbesondere in der durch den Ausbau der Anlagen sinkenden Schlammbelastung sowie in den Bemühungen zu sehen, die Betriebskosten der Anlagen durch eine Reduzierung des Fällmitteleinsatzes sowie einer Senkung der Sauerstoffgehalte in der Biologie zu minimieren. Gerade hierdurch werden jedoch Milieubedingungen eingestellt, die die Anreicherung von fadenförmigen, bläh- und schwimmschlambildenden Organismen fördern.

Die hieraus resultierenden Folgen sind in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben. Das wohl gravierendste Problem stellt der Schlammabtrieb aus der Nachklärung dar, der zum einen zu einer Erhöhung der Ablaufwerte (vor allem für die Parameter CSB und Phosphor) führt, zum anderen geht dem System Biomasse, die für die biologische Reinigung benötigt wird, verloren. Entwickelt sich ein schlecht absetzbarer Schlamm, so wird die Schlammrückführung aus der Nachklärung in das Belebungsbecken behindert. Dies führt dazu, dass im Belebungsreaktor nur ein begrenzter Trockensubstanzgehalt eingestellt werden kann, was zur Folge hat, dass auch die Stabilität der Stickstoffelimination entscheidend gestört wird. Bläh- und Schwimmschlamm wirkt somit auf nahezu sämtliche Prozesse der biologischen Abwasserbehandlung störend. Die Probleme beschränken sich jedoch nicht auf den Bereich der Abwasserreinigung. Auch im Bereich der Schlammbehandlung können erhebliche Probleme auftauchen: wird ein von bläh- und schwimmschlambildenden Bakterien dominierter Schlamm der anaeroben Schlammbehandlung zugeführt, kann es zum Schäumen des Faulbehälterinhaltes kommen; es kommt in letzter Konsequenz zum 'Überkochen' des Faulbehälters.

Die durch Bläh- und Schwimmschlamm hervorgerufenen Probleme werden von zahlreichen Abwasserbeseitigungspflichtigen als eines der derzeit drängendsten Probleme in der Abwasserbehandlung definiert.

Zur Bekämpfung der Bläh- und Schwimmschlammorganismen existieren vielfältige Lösungsvorschläge wie beispielsweise der Einsatz von Kalk, Polymeren oder Braunkohlestaub, die Einrichtung eines Selektors, das Herab- oder aber das Heraufsetzen des Sauerstoffgehaltes.

Die Problematik besteht nun darin, die 'richtige' Lösung für das jeweilige Problem zu finden. Erschwert wird diese Aufgabe dadurch, dass unterschiedliche Organismenarten existieren, die für Bläh- und Schwimmschlamm verantwortlich sein können. Ein Mittel, das die eine Bakterienart bekämpft, kann eine andere fördern. Aus diesem Grunde kann ein Mittel, das auf einer Anlage hilft, auf einer anderen Anlage zum genauen Gegenteil (also zu einem explosionsartigen Wachstum der Organismen) führen. Hieraus ist abzuleiten, dass nur eine zielgerichtete Auswahl der Mittel, nach einer vorherigen Identifizierung der spezifisch verantwortlichen Organismenart, eine wirksame Bekämpfung ermöglicht.

Es bedarf somit einer strukturierten und transparenten Entscheidungsfindung, die von erfahrenen Experten getätigt wird, die auf eine Vielzahl von (erfolgreichen und gescheiterten) Lösungsvorschlägen zurückgreifen können. Ein solches System wurde an der TU Kaiserslautern in Kooperation von zwei Arbeitsgruppen, dem Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt und der Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz – Wissensbasierte Systeme unter Leitung von Prof. Dr. Michael M. Richter, entwickelt. Hierbei wurde außerdem auf die vielfältigen Erfahrungen der Anlagenbetreiber, der Ingenieurbüros und abwassertechnischen Labore sowie der Fachbehörden zurückgegriffen, deren Wissen eine entscheidende Grundlage des Systems darstellt.

Das Projekt ZERBERUS zeigt einen Weg zu einer erfolgversprechenden Bekämpfung von Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum in kommunalen Kläranlagen auf. ZERBERUS stellt dabei keine grundsätzliche neue 'Bekämpfungsmöglichkeit' dar, sondern greift auf eine Vielzahl von (erfolgreichen und missglückten) Versuchen zur Lösung der Problematik zurück und wählt die 'erfolgversprechendste' aus. Ein wesentliches Ziel von ZERBERUS besteht darin, zur Identifizierung der für das Problem verantwortlichen Organismen ein neues Werkzeug, das sogenannte Fallbasierte Schließen (Case-Based Reasoning, CBR) bereitzustellen.

Im Rahmen des Projektes wurden hierfür über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr Informationen über insgesamt 55 rheinland-pfälzische Kläranlagen mit akuten Blähschlamm- bzw. Schwimmschlammproblemen gesammelt, die Kläranlagen im Rahmen von Ortsterminen teils mehrmals besucht und jeweils Proben des Belebtschlammes sowie von ggf. vorhandenem Schaum gezogen.

Der Schlamm bzw. Schaum wurde im Labor des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Kaiserslautern untersucht und die hierin vorhandenen fadenförmigen Bakterien mithilfe von Mikroskopie und Färbemethoden identifiziert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden dann zusammen mit den gewonnenen anlagen-spezifischen Informationen in einer Falldatenbank abgelegt. Die Vorgehensweise im Rahmen des Projektes sowie die theoretischen Grundlagen werden nachfolgend beschrieben.

2 VORGEHENSWEISE UND ZIELE IM RAHMEN DES PROJEKTES

2.1 Grundidee und Ziele des Vorhabens

Im Rahmen des Projektes ZERBERUS wurde ein Informationssystem entwickelt, das in der Lage ist, aufgrund von anlagenspezifischen Informationen die für ein Bläh- und Schwamm-schlammproblem verantwortliche Organismenart zu identifizieren und die erfolgversprechendste Möglichkeit zur Bekämpfung abzuleiten.

Das System soll dabei offen sein, d.h. der Nutzer hat die Möglichkeit (beispielsweise dialog-gesteuert über das Internet) 'sein' spezielles Blähschlammproblem zu schildern und die Randbedingungen 'seiner' Anlage (Verfahrensführung, Schlammbelastung, Aussehen des Schlamms etc.) einzugeben. Die Auswertung erfolgt 'offline' an der TU Kaiserslautern, die Vorschläge zur Bekämpfung können dann dem Betreiber z.B. auf elektronischem Weg mit- geteilt werden.

Sehr wichtig ist die Rückmeldung des Betreibers, der nach einem gewissen Zeitraum mitteilt, wie sich die Problematik entwickelt hat (Erfolg/Misserfolg). Durch das Einarbeiten der erfolg- reichen sowie der missglückten Vorschläge gewinnt das System immer mehr an Qualität ('Selbstlerneffekt'); je mehr Fallbeispiele in dem System abgelegt sind, desto besser funk- tioniert die Diagnose. Der prinzipielle Ablauf der Beratung und Entscheidungsfindung durch ZERBERUS ist in der nachfolgenden Abbildung 2.1 dargestellt.

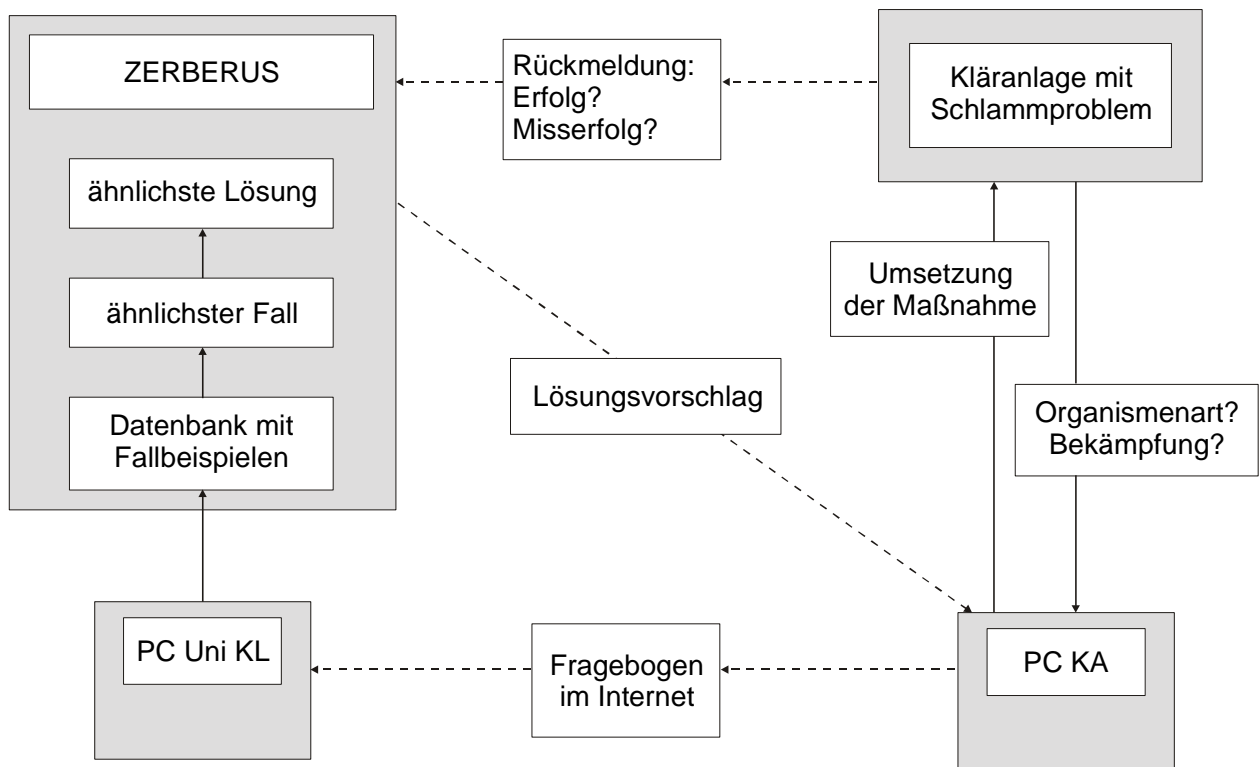


Abb. 2.1: Beratung und Entscheidungsfindung durch ZERBERUS

Das entwickelte System steht den Abwasserbeseitigungspflichtigen, den Büros, den ab-wassertechnischen Labors sowie den Wasserwirtschaftsbehörden des Landes zur Verfügung. Für die Beratung wird ein Entgelt erhoben.

2.2 Verwendete Werkzeuge und Methoden

2.2.1 Allgemeines

Die Diagnose der Organismenart und die Ableitung von bestmöglichen Vorschlägen zur Bekämpfung erfolgt auf der Grundlage von aktuellen wissensbasierten Methoden und Werkzeugen. Den Schwerpunkt bildet hierbei ein fallbasiertes System.

Fallbasiertes Schließen (CBR) ist eine Methode zur Realisierung wissensbasierter Systeme, an der seit ca. 25 Jahren im Umfeld der Forschung im Bereich der 'Künstlichen Intelligenz' intensiv gearbeitet wird. Diese Technik hat sich inzwischen zu einem eigenständigen etablierten Forschungsfeld entwickelt, welches sich ganz besonders durch seine Anwendungsnähe auszeichnet.

Die Grundidee von CBR ist in der nachstehenden Abbildung 2.2 dargestellt.

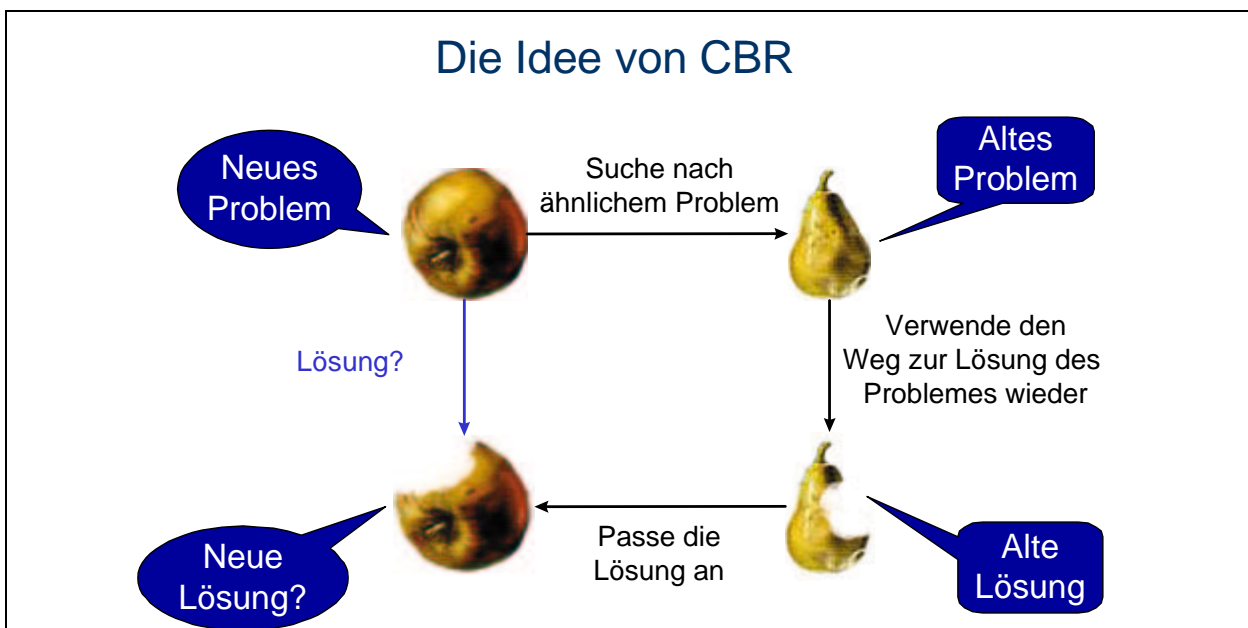


Abb. 2.2: Grundidee des Werkzeugs CBR - Fallbasiertes Schließen

Die grundlegende Idee des Fallbasierten Schließens ist somit die Auswahl und Wiederverwendung von gespeicherten Erfahrungen zur Lösung neuer Probleme. Erfahrungen werden durch eine Menge von Fällen repräsentiert und in einer Fallbasis gespeichert. Zur Lösung eines neuen Problems wird zunächst in einem *Retrieval-Schritt* ein wiederverwendbarer Fall mit Hilfe von *Ähnlichkeitsbetrachtungen* ausgewählt. Die in diesem ähnlichen Fall enthaltene Problemlösung wird dann so angepasst, dass eine Lösung des neuen Problems entsteht.

Fallbasierte Systeme, die aus dem Bestreben, menschliche Denk- und Betrachtungsweisen auf Rechnersystemen nachzubilden, entstanden sind, ermöglichen es, auch solche Vorgänge in eine Regelung einzubeziehen, die sich einer mathematischen Beschreibung entziehen, aber aufgrund von Erfahrungen von Anwendern in Form von Regeln beschrieben werden können. Sie bieten zudem bei entsprechender Gestaltung die Möglichkeit, das in ihnen enthaltene Wissen zur Bewertung von Betriebssituationen und zur Fehleranalyse heranzuziehen und damit dem Betriebspersonal Entscheidungsunterstützung zu geben.

2.2.2 Prozessmodell des Fallbasierten Schließens

Fallbasiertes Schließen bedeutet die Lösung eines neuen Problems durch Erinnerung an vergangene Problemsituationen und die Wiederverwendung der dabei gemachten Erfahrungen im Kontext dieses neuen Problems /WEß 1996/. Es setzt also die Existenz von spezifischen Erfahrungen, den sogenannten Fallbeispielen oder Fällen, voraus. Unter einem Fallbeispiel versteht man nach BERGMANN /1996/ 'die Beschreibung einer Problemsituation zusammen mit den Erfahrungen, die während der Bearbeitung des Problems gewonnen werden konnten'. In einem fallbasierten System werden die einzelnen Erfahrungen in Form von Fallbeispielen zur späteren Wiederverwertung gespeichert. Eine geeignet organisierte Sammlung dieser Fallbeispiele wird als Fallbasis bezeichnet /WEß 1996/. Um die Sammlung von Erfahrungen zum fallbasierten Lösen von Problemen nutzen zu können, muss man sich an eine bereits bekannte Situation 'erinnern'. Dies geschieht dadurch, dass aussagekräftige, das Problem möglichst eindeutig charakterisierende Attribute zu dessen Kennzeichnung herangezogen werden.

Für den Prozess des Fallbasierten Schließens wird in der Literatur nach WEß /1996/ eine große Zahl von Prozessmodellen vorgeschlagen. Im Folgenden wird das Modell nach AAMODT UND PLAZA /1994/ beschrieben, da im europäischen Raum überwiegend auf dieses Prozessmodell Bezug genommen wird. In Abbildung 2.3 ist der Grundzyklus des Fallbasierten Schließens dargestellt. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die für viele fallbasierte Systeme charakteristischen Subprozesse *Retrieve*, *Reuse*, *Revise* und *Retain* sowie die Fallbasis (*Previous Cases*) näher erläutert.

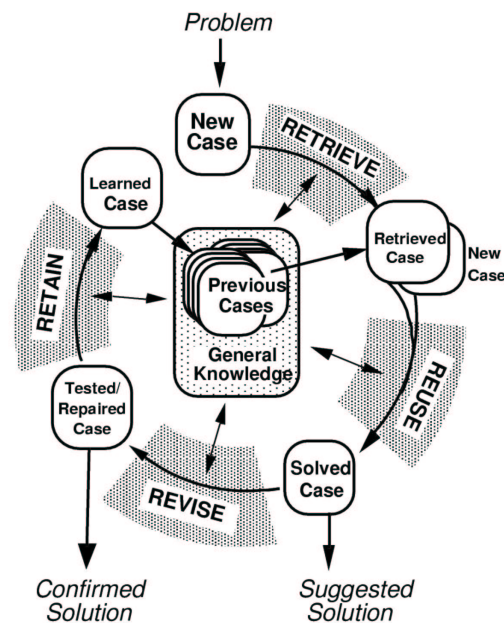


Abb. 2.3: Der Zyklus des Fallbasierten Schließens /nach AAMODT UND PLAZA 1994/

Fallbasis

Die Fallbasis stellt den Mittelpunkt des Modells dar. Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei der Fallbasis um eine Sammlung von Fällen, die neben der Beschreibung des Problems auch die Beschreibung der dazugehörigen Lösung beinhaltet. BERGMANN /1996/ definiert einen Fall F als ein Paar (p,o) , wobei p ein Problem und o eine konkrete Lösung des Problems darstellt.

In fallbasierten Systemen können solche Fälle durch Attribut-Wert-Paare repräsentiert werden, bei denen jedem Attribut ein Wert zugeordnet wird. Dabei wird ein Teil der Attribute zur Repräsentation der Problemsituation und der andere Teil zur Darstellung der dazugehörigen Lösung verwendet. In komplexeren Arbeitsgebieten finden indessen komplexere Fallrepräsentationen Anwendung, da Attribut-Wert-Paare nur für einfach strukturierte Problemgebiete geeignet sind /BERGMANN 1996/.

Retrieve-Phase

Die Retrieve-Phase ist einer der wichtigsten Schritte im Prozessmodell des Fallbasierten Schließens. Sie dient dazu, aus der Fallbasis eine Menge von Fällen auszuwählen, die geeignet sind, ein neu vorliegendes Problem zu lösen. Die Brauchbarkeit eines Falls wird über Ähnlichkeitsbeurteilungen berechnet. Zur Bestimmung der Ähnlichkeit wurde bereits eine Vielzahl von Modellen entwickelt. Im Rahmen dieser Arbeit werden zur Modellierung der Ähnlichkeit zum einen das Ähnlichkeitsmaß und zum anderen wissensbasierte Methoden angewandt. Der Modellierung von Ähnlichkeiten durch das Ähnlichkeitsmaß liegt oft eine geometrische Interpretation zugrunde. Die Fälle werden in einem n-dimensionalen Raum betrachtet, in dem jede Dimension n einem Attribut aus der Problembeschreibung entspricht. Dadurch kann die Ähnlichkeit zweier Probleme, die im n-dimensionalen Raum zwei Punkten entsprechen, auf deren geometrischen Abstand zurückgeführt werden. Eine weitere Methode, die zur Ähnlichkeitsberechnung angewendet werden kann, ist die sogenannte wissensbasierte Methode. Hierbei wird vorhandenes Hintergrundwissen zur Berechnung der Ähnlichkeiten zwischen Problemen genutzt. Voraussetzung für ein effizientes Retrieve-Verfahren ist eine geeignet strukturierte Fallbasis /BERGMANN 1996/.

Reuse-Phase

Die Reuse-Phase dient dazu, unter Anwendung der Erfahrung der durch die Retrieve-Phase ausgewählten Fälle, eine Lösung für das bestehende Problem zu erstellen. Je nach Aufgabenbereich kann sich dieser Schritt unterschiedlich aufwändig gestalten. Bei der Bearbeitung analytischer Problemfälle ist es in der Regel möglich, die Lösung aus dem durch das Retrieve-Verfahren ausgewählten Fall als Lösung für das neu vorliegende Problem zu verwenden, ohne diese anzupassen. Für synthetische Problemfälle, wie z.B. die Identifikation von Fadenbakterien oder die Ermittlung von Bekämpfungsmaßnahmen für Bläh- und Schwimmschlammprobleme, ist eine Lösungsanpassung meistens unumgänglich. Der Grund hierfür liegt im Wesentlichen an dem Spektrum möglicher Lösungen, das in synthetischen Bereichen wesentlich größer ist als in analytischen. Während im analytischen Bereich davon ausgegangen werden kann, dass für jedes Problem eine mögliche Lösung in der Fallbasis vorliegt, kann dies bei synthetischen Problemfällen nicht zwingend erwartet werden /BERGMANN 1996/.

Revise-Phase

Die Überprüfung der in der Reuse-Phase bestimmten Lösung erfolgt in der Revise-Phase. Hier wird die gefundene Lösung, falls erforderlich, modifiziert. Sie kann entweder durch eine Simulation oder durch die Validierung in der realen Welt erfolgen. Aufgrund fehlenden Simulationswissens sind Ansätze zur Simulation von Lösungen kaum verbreitet. Nach der Überprüfung der ausgegebenen Lösung in der realen Welt erhält das System vom Benutzer entweder eine positive oder negative Rückmeldung über das Ergebnis, das bei der Ausführung der gefundenen Lösung in der Realität aufgetreten ist. Die Plausibilität der Lösung

kann auch durch die Suche nach entsprechenden Gegenbeispielen überprüft werden /BERGMANN 1996/.

In dieser Arbeit erfolgt die Überprüfung der in der Reuse-Phase gefundenen Lösung anhand eines Regelmechanismus, der auf wissensbasierten Erfahrungswerten beruht.

Retain-Phase

In der Retain-Phase werden die bei der aktuellen Problemlösung gewonnenen Erfahrungen als neuer Fall im Sinne der Definition von BERGMANN /1996/ in der Fallbasis gespeichert. Die Organisation der Fallbasis ist dabei so anzupassen, dass während der Retrieve-Phase effizient auf den neuen Fall zugegriffen werden kann.

Bei der späteren Anwendung des Fallbasierten Schließens im Rahmen der Suche nach geeigneten Bekämpfungsmaßnahmen wird in diesem letzten Schritt die Rückmeldung auf den gefundenen Lösungsvorschlag in der Praxis abgewartet. In Abhängigkeit von diesem Feedback wird entschieden, ob die aktuelle Problemsituation zusammen mit der gefundenen Lösung geeignet ist, um als neuer Fall in die Fallbasis aufgenommen zu werden.

3 EINORDNUNG DES PROJEKTES IN DIE POLITISCHEN UND WASSERWIRTSCHAFTLICHEN ZIELSETZUNGEN DES LANDES

Das Land Rheinland-Pfalz verfolgt im Bereich der Wasserwirtschaft das Leitbild der Nachhaltigkeit bzw. einer nachhaltigen Entwicklung.

Dieses, im Wesentlichen von der AGENDA 21 geprägte Konzept, fordert im Sinne einer nachhaltigen Umweltvorsorge dauerhafte Nutzungsstrategien, mit deren Hilfe u.a. sichergestellt werden soll, dass die Emissionen die Aufnahme- und Regenerationsfähigkeit von Umweltmedien und Lebewesen nicht überschreiten. In diesem Sinne sollte deshalb auch ein besonderes Augenmerk auf die Entwicklung und Nutzung umweltentlastender, ökoeffizienter Technologien gelegt werden.

Bei ZERBERUS handelt es sich um ein solches Projekt, wie nachfolgend gezeigt wird:

- Nachdem in den letzten Jahren eine Vielzahl von Kläranlagen neu gebaut bzw. saniert wurden, gewinnt nun die ökologische und ökonomische Optimierung der Betriebsführung dieser Anlagen zunehmend an Bedeutung. Hierfür ist aber eine genaue Kenntnis aller relevanten Prozesse, Informationen etc. erforderlich. Diesbezüglich ist ZERBERUS, nicht zuletzt aufgrund der Einbeziehung der innovativen Möglichkeiten des Softcomputings, als eine methodische Weiterentwicklung im Bereich der Optimierung von Kläranlagen zu verstehen. ZERBERUS soll nicht nur die Ursachen der Bläh- und Schwimmschlammprobleme aufzeigen, sondern gleichzeitig auch Vorschläge für deren Bekämpfung liefern.
- ZERBERUS versteht sich als ein modellhaftes, problemorientiertes und interdisziplinäres Projekt im Bereich der prozessorientierten Umweltforschung. Das Projekt verfolgt das Ziel, ein innovatives, entscheidungsunterstützendes System zu entwickeln, das dem Benutzer die Möglichkeit bietet, eine Kläranlage vor dem Hintergrund der Bläh- und Schwimmschlammproblematik zu optimieren. Im Sinne eines additiven und vorsorgenden Umweltschutzes kann ZERBERUS somit als ein Medium verstanden werden, welches dazu beiträgt, Umweltbelastungen zu mindern sowie einen schonenderen Umgang mit der Ressource Wasser zu ermöglichen.
- Ein weiteres, grundlegendes Ziel von ZERBERUS ist es, ein für die Kläranlagenbetreiber einfach nutzbares und zugängliches System zu entwickeln. Dieses Ziel soll auch sicherstellen, dass ein Transfer der gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse in die Praxis erfolgt. Aufgrund der Nutzung des Mediums Internet, der zielgruppengerechten Vermittlung der Erkenntnisse sowie der Öffentlichkeitsarbeit (z.B. abschließendes Symposium, Publikationen in geeigneten Medien) verfügt ZERBERUS über einen potenziell hohen Multiplikatoreffekt. Die Chancen sind gut, dass ZERBERUS nicht nur eine weite Verbreitung (auch außerhalb von Rheinland-Pfalz) findet, sondern darüber hinaus auch eine hohe Ökoeffizienz in Abwasserbehandlungsanlagen ermöglicht.
- Die effiziente Bekämpfung von Bläh- und Schwimmschlamm erfordert Expertenwissen. Dieses Expertenwissen steht vielen Betreibern, Ingenieurbüros etc. im Hause nicht zur Verfügung. ZERBERUS bietet die Chance, dieses Spezialwissen zentral, leicht zugänglich und effizient allen Interessenten zur Verfügung zu stellen.
- Die Umsetzung der zukunftsorientierten Umweltpolitik des Landes im Wasser- und Abwasserbereich lässt sich nur in einer engen Kooperation zwischen der Wasserwirtschafts-

verwaltung und allen tragenden Säulen von Gesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft und Kommunen verwirklichen. Vor diesem Hintergrund ist die geschlossene Kooperation zwischen dem Ministerium für Umwelt und Forsten, dem Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung, den Hochschulen des Landes und der Kammer der Beratenden Ingenieure zu sehen. ZERBERUS stellt im Sinne dieser Kooperation ein Initialprojekt für gegenseitigen Gedanken- und Erfahrungsaustausch, Information und wechselseitige Befruchtung von Praxis und Wissenschaft dar.

Aufgrund der zuvor gemachten Ausführungen kann das Projekt ZERBERUS somit nicht nur im Sinne des Umweltschutzes, sondern auch bezüglich der Wirtschaftlichkeit als nachhaltig angesehen werden. Auch der dritten Säule des Nachhaltigkeitskonzeptes, den sogenannten sozio-ökonomischen Komponenten, wird ZERBERUS insofern gerecht, als dass dieses innovative Forschungsprojekt die Wettbewerbsfähigkeit der TU Kaiserslautern, und indirekt auch die Wettbewerbsfähigkeit der Betreiber, Ingenieurbüros, etc., also derjenigen, die ZERBERUS nutzen werden, erhöht.

4 BLÄHSCHLAMM, SCHWIMMSCHLAMM UND SCHAUM IN KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN

4.1 Allgemeines

Die Auswirkungen von Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum, die in der Regel durch das massenhafte Auftreten verschiedener fadenförmiger Bakterien hervorgerufen werden, sind gravierend. Dieses Phänomen kann sowohl die Betriebsstabilität als auch die Reinigungsleistung betroffener Kläranlagen erheblich beeinflussen /HERBST UND DOHMANN 2001/.

Das Verfahren der biologischen Abwasserreinigung beinhaltet im Wesentlichen zwei verfahrenstechnische Stufen, das Belebungsbecken und das Nachklärbecken. Dabei werden die Stoffwechselprozesse der beteiligten Organismen genutzt, um die Abwasserinhaltsstoffe abzubauen oder umzuwandeln. Das Ziel dieses Verfahrens muss es daher sein, möglichst viele Organismen im System zu halten. Nach der biologischen Reinigung im Belebungsbecken wird das gereinigte Abwasser im Nachklärbecken von der reinigenden Biomasse getrennt. Diese Einheit funktioniert jedoch nur dann mit dem gewünschten Erfolg, wenn der belebte Schlamm statisch sedimentiert, d.h. im Nachklärbecken eindickt und anschließend als Rücklaufschlamm wieder in das System zurückgeführt bzw. als Überschussschlamm abgezogen werden kann.

Als Bestandteil der Biozönose des Belebtschlammes treten fadenförmige Mikroorganismen immer auf. Liegen sie nur in geringer Dichte vor, tragen sie zur Stabilisierung der Belebtschlammflocke bei. Probleme entstehen erst dann, wenn durch massenhaftes Wachstum dieser Organismen das Absetzen der Flocken behindert wird, und diese entweder als Blähschlamm voluminös im Wasserkörper stehen oder als Schwimmschlamm bzw. Schaum an der Wasseroberfläche treiben /LEMMER 1996/.

Bei einer Änderung der Belebtschlammstruktur von einem schweren, sich leicht absetzenden flockenförmigen Schlamm derart, dass vermehrt fadenförmige Bakterien vorkommen, bricht das System des Belebtschlammverfahrens mehr oder minder schnell zusammen. Infolgedessen kann es zu folgenden Betriebsproblemen kommen:

- Schlammabtrieb aus der Nachklärung
- Reduzierung der Nitrifikationsleistung
- betriebstechnische Probleme in der Schlammbehandlung

Aufgrund dieser Betriebsprobleme ist eine Lösung des Blähschlamm-, Schwimmschlamm- und Schaumproblems für den Betrieb von Belebungsanlagen von fundamentaler Bedeutung.

4.2 Definition von Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum

Betriebsprobleme auf Kläranlagen, die durch Blähschlamm, Schwimmschlamm oder Schaum verursacht werden, haben gemeinsam, dass sie durch ein vermehrtes Wachstum von Bakterien verursacht werden, die durch eine fadenförmige Wuchsform gekennzeichnet sind /KUNST ET AL. 2000/. Nachstehend werden zur Abgrenzung der Phänomene die Begriffe näher erläutert.

4.2.1 Blähschlamm

Laut Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1 /1988/ liegt Blähschlamm dann vor, 'wenn durch die Entwicklung von fadenförmig wachsenden Mikroorganismen die Absetzeigenschaften des belebten Schlammes so weit verschlechtert werden, dass der Verdünnungsschlammindex mehr als 150 ml/g beträgt'. Hierbei stellt der Schlammindex ISV ein Maß für die Sedimentationsfähigkeit des Belebtschlammes dar. Er gibt an, welches Volumen 1 g Schlamm bezogen auf seine Trockenmasse nach 30 Minuten Absetzdauer pro Liter Belebtschlamm einnimmt. Die Definition des Blähschlammes wurde von der ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1 /1988/ absichtlich auf die Beschreibung der Schlammeigenschaften und nicht auf die Auswirkungen im Betrieb der Kläranlage bezogen, da es falsch wäre, nur das Abtreiben von belebtem Schlamm aus der Nachklärung als Blähschlamm zu bezeichnen. Zu dieser Folgeerscheinung trägt vor allem die hydraulische Belastung und die bauliche Gestaltung des Nachklärbeckens bei.

Da die fadenförmigen Bakterien durch ihr hohes Oberflächen-Volumen-Verhältnis im Vergleich zu den kompakten Flocken relativ leicht sind, setzen sie sich im Nachklärbecken oder in statischen Eindickern schlechter ab als kompakte Flocken. Das Ansteigen des Schlammindexes kann daher nach HERBST UND DOHMANN /2001/ auch als Anzeichen für ein aufkommendes Blähschlammproblem gedeutet werden. Andererseits weist hierauf bereits eine erhöhte Anzahl an Fäden, die im mikroskopischen Bild oft schon vor einem Anstieg des Schlammindexes zu erkennen sind, hin.

4.2.2 Schwimmschlamm und Schaum

STETZER /2000/ bezeichnet Schwimmschlamm als das Phänomen, das eintritt, 'wenn sich auf der Oberfläche von Belebungsbecken und auch von Nachklärbecken stabile Schichten von mehr oder weniger festem Schaum bilden, die auf dem eigentlichen Belebtschlamm/Wassergemisch der Belebungsbecken oder auf der Klarwasserzone von Nachklärbecken schwimmen'. An der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft besiedeln die fadenförmigen Mikroorganismen eine ökologische Nische, in der sie sich dem normalen Schlammabzug entziehen können.

Für die Bildung von stabilem Schwimmschlamm bzw. Schaum ist das Zusammenwirken von drei Faktoren, die in zahlreichen Literaturstellen /z.B. HERBST UND DOHMANN 2001; KUNST ET AL. 2000; LIND UND LEMMER 1998/ genannt werden, notwendig:

- fein verteilte Gasbläschen
- hydrophobe Stoffe, die durch einen hohen Prozentsatz von hydrophoben Bindungsstellen im Molekül ausgezeichnet sind
- oberflächenaktive Stoffe, die durch die Anwesenheit von hydrophoben und hydrophilen Bindungsstellen charakterisiert sind

An den Zellen einiger Vertreter der fadenförmigen Bakterien haften aufgrund ihrer hydrophoben Zelloberfläche leicht Gasblasen an. Dadurch kann dieses Bakterien-Gasblasen-Gemisch flotieren, an die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft wandern und dort stabil bestehen bleiben.

Sowohl KUNST ET AL. /2000/ als auch HERBST UND DOHMANN /2001/ stellen fest, dass Schwimmschlamm im Gegensatz zu Blähschlamm nur durch relativ wenige Gattungen faden-

förmiger Mikroorganismen in belebten Schlämmen verursacht wird. Als häufigste dominante Vertreter der fadenförmigen Mikroorganismen bei Schwimmschlamm- und Schaumproblemen nennen neben KUNST ET AL. /2000/ auch HERBST UND DOHMANN /2001/ nocardioforme Actinomyceten und *Microthrix parvicella*.

KUNST ET AL. /2000/ definieren Schaum als ein vermehrtes Wachstum von Schwimmschlammbildnern auf dem Belebungsbecken, das noch nicht manifest ist. Demnach kann Schaum sowohl den Beginn eines Schwimmschlammproblems anzeigen als auch ein eigenständiges Phänomen sein.

In der Fachliteratur wird jedoch nicht konsequent zwischen Schwimmschlamm und Schaum unterschieden. Da auch in der Praxis der Übergang zwischen diesen beiden Erscheinungen in Belebungs- und Nachklärbecken fließend ist, und die Phänomene kaum voneinander zu trennen sind, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht zwischen Schwimmschlamm und Schaum differenziert, sondern nur noch der Begriff Schwimmschlamm für beide Probleme verwendet. Die Bezeichnung Schaum wird ausschließlich im Zusammenhang mit dem massenhaften Auftreten von fadenförmigen Bakterien in Faulbehältern gebraucht. Dort können die zur Ausfäulung eingebrachten Schwimmschlämme vermehrtes Schäumen verursachen, was ebenfalls schwerwiegende Betriebsstörungen zur Folge hat.

4.3 Bedingungen, die zur Selektion fädiger Bakterien führen

In der Natur gibt es zahlreiche Mikroorganismen, die sich durch ein fadenförmiges Wachstum auszeichnen und die von den gelösten organischen und suspendierten Stoffen im Abwasser-Schlammgemisch leben können. Somit ist ihr Auftreten im belebten Schlamm nicht außergewöhnlich. Die fadenförmigen Bakterien, die in die Belebtschlammflocke eingebunden sind, dienen als 'Rückgrat' des Flockenaufbaus bzw. als Aufwuchsfläche für flockige Bakterien. Erst wenn die Fadenbakterien an Häufigkeit zunehmen, können sich zwischen den Flocken Fadengeflechte ausbilden, sodass der Eindick- und Absetzvorgang beeinträchtigt wird. Bei der massenhaften Entwicklung fadenförmiger Bakterien handelt es sich somit um eine Verschiebung des biozönotischen Gleichgewichts in der Mischbiozönose des belebten Schlamms. Hierbei erlangen die fadenförmigen Bakterien gegenüber den verfahrenstechnisch gewünschten, flockig wachsenden Organismen Wachstumsvorteile /KUNST ET AL. 2000/.

Da die Wachstumsrate der Mikroorganismen von den Nahrungs- bzw. Substratbedingungen, denen sie ausgesetzt sind, abhängt, sind diese für die Selektion von fadenförmigen Organismen von entscheidender Bedeutung. Die Abhängigkeit der Wachstumsrate von der Substratkonzentration wird durch das MONOD-Modell in Anlehnung an das Enzymmodell von MICHAELIS und MENTEN beschrieben als

$$\mu = \mu_{\max} \cdot S \cdot \frac{1}{K_S + S} ,$$

wobei μ_{\max} die maximale Wachstumsrate, S die Substratkonzentration und K_S die Substratkonzentration, bei der die halbmaximale Wachstumsrate μ erreicht wird, darstellt. Bei den meisten Abwasserreinigungsverfahren kommen volldurchmischte Becken zum Einsatz. Dadurch liegt die Substratkonzentration in der Regel weit unterhalb des K_S -Wertes der flockigen Mikroorganismen. Da die Fadenorganismen gegenüber den in der Flocke gebundenen Organismen eine größere Oberfläche in Bezug auf ihr Volumen haben und zusätzlich

durch eine hohe Substrataffinität gekennzeichnet sind, verschaffen sie sich Wachstumsvorteile, weil sie in der Lage sind, einen größeren Anteil aus dem geringen Nährstoffangebot zu entnehmen. Somit steht den flockig wachsenden Organismen nur noch ein geringer Anteil des vorliegenden Substrats zur Verfügung, wodurch ihr Wachstum stark eingeschränkt ist. Diese Zusammenhänge verdeutlicht Abbildung 4.1, in der die Wachstumsrate eines flockig wachsenden Organismus der eines fädigen Bakteriums gegenübergestellt ist.

Der schematischen Abbildung kann entnommen werden, dass der fädige Organismus I bereits bei einer sehr geringen Substratkonzentration ($K_{S,I}$) seine halbmaximale Wachstumsrate (μ_I) erreicht, wohingegen der kompakt wachsende flockige Organismus II erst bei einer höheren Substratkonzentration ($K_{S,II}$) die halbmaximale Wachstumsrate (μ_{II}) erlangt.

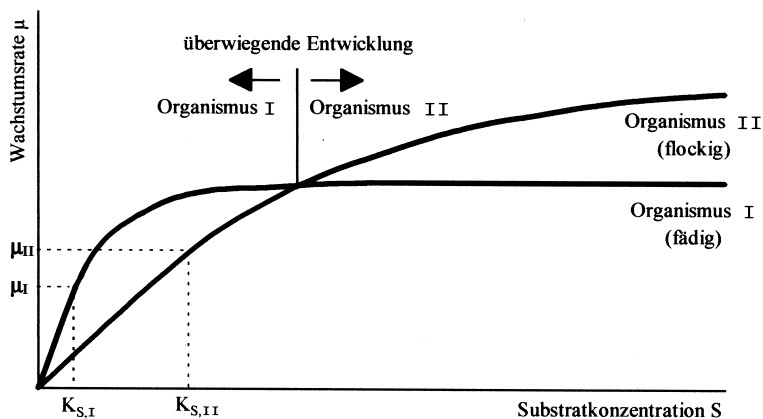


Abb: 4.1: Unterschiedliche Wachstumsraten zweier Organismen in Abhängigkeit von der Substratkonzentration /nach CHUDOBA ET AL. 1973/

Daraus ergibt sich für den Betrieb von Belebungsanlagen, dass fadenförmige Mikroorganismen vor allem bei niedrigen Substratkonzentrationen bevorzugt sind, während bei höheren Substratkonzentrationen flockige Bakterien Wachstumsvorteile erhalten. Aufgrund der Forderung nach weitergehender Behandlung zur Elimination von Stickstoff und Phosphor wurden die Volumina der Belebungsbecken in den letzten Jahren ständig vergrößert. Durch die damit verbundene Reduzierung der Schlammbelastung findet man heute auf den Kläranlagen wesentlich mehr fadenförmige Bakterien, die an die gegebenen Bedingungen angepasst sind /KUNST ET AL. 2000/. Zusätzlich begünstigt auch die Reduzierung des Sauerstoffeintrags sowie eine verringerte Zugabe von Fällmitteln aus ökonomischen Gründen das Wachstum dieser Mikroorganismen.

4.4 Fädige Mikroorganismen in Kläranlagen

Schon seit den frühen Anfängen des Belebungsverfahrens ist bekannt, dass Absatzschwierigkeiten wie das Aufblähen von Schlamm mit der Massenentwicklung von fadenförmigen Bakterien zusammenhängen. Dabei wurde bis in die 60er Jahre generell von 'Sphaerotilus, dem sogenannten Abwasserpilz', als Verursacher dieser Betriebsprobleme gesprochen. Erst 1975, nachdem Eikelboom die verschiedenen Fadenorganismen im belebten Schlamm aufgrund morphologischer und Färbekriterien unterschied, zeigte sich, dass etwa 30 verschiedene Fadenbakterien in Blähschlamm und Schwimmschlamm eine Rolle spielen. Hiervon sind etwa zehn Bakterientypen für über 90 % der Betriebsprobleme auf Kläranlagen verantwortlich. Aus diesen Arbeiten entstand der klassische Bestimmungsschlüssel nach Eikelboom, mit dem noch heute weltweit gearbeitet wird /EIKELBOOM 1977, EIKELBOOM UND VAN BUIJSEN 1992/. Mithilfe dieses Bestimmungsschlüssels werden im Wesentlichen drei Gruppen von Fadenbakterien identifiziert, die im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher beschrieben werden.

4.4.1 Beschreibung der relevanten Bakteriengruppen

Heute werden im kommunalen Bereich folgende drei Gruppen fadenförmiger Organismen unterschieden, welche zu Blähschlamm- und Schwimmschlammproblemen auf Kläranlagen führen:

- grampositive Bakterien aus Niedriglastanlagen
- gramnegative Bakterien aus Hochlastanlagen
- Schwefelbakterien

An der Schwimmschlamm-Bildung sind in der Regel die an niedrige Belastungen adaptierten grampositiven Bakterien beteiligt /LEMMER UND BAUMANN 1988/. Gelegentlich können sie aber auch bei Blähschlammproblemen zu finden sein /HERBST UND DOHMANN 2001/.

Sowohl Schwefelbakterien, die neben organischem Substrat auch reduzierte Schwefelverbindungen zur Energiegewinnung nutzen können, als auch gramnegative Bakterien aus Hochlastanlagen führen meist zu Blähschlammereignissen /BAUMANN ET AL. 2000/.

Die folgende Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die drei Bakteriengruppen mit ihren spezifischen Fadenbildnern sowie den wichtigsten Selektionsfaktoren.

Tab. 4.1: Stoffwechselgruppen fadenförmiger Bakterien in belebtem Schlamm und wichtige Selektionsfaktoren /nach LEMMER UND LIND 2000/

grampositive Bakterien aus Niedriglastanlagen	gramnegative Bakterien aus Hochlastanlagen	Schwefelbakterien
Typ 1851	<i>Sphaerotilus</i> sp.	Typ 021N
<i>Microthrix parvicella</i>	Typ 1701	Typ 0914
Typ 0041/0675	<i>Haliscomenobacter hydroxsis</i>	<i>Thiothrix</i> sp.
<i>Nostocoida limicola</i> I / II / III	Typ 0961	<i>Beggiatoa</i> sp.
Typ 0092	Typ 1863	
nocardioforme Actinomyceten		
Niedriglastanlagen mit $0,02 < B_{TS} < 0,15$ [kg BSB ₅ /(kg TS·d)] - Hydrophobie der Zelloberfläche - hydrophobes Substrat - oberflächenaktive Stoffe - N- + P-Elimination	Hochlastanlagen mit $B_{TS} > 0,15$ [kg BSB ₅ /(kg TS·d)] - N/P-Mangel - O ₂ -Mangel - volle Durchmischung - C-Elimination	- reduzierte Schwefelverbindungen - Faulprozesse

Im folgenden Kapitel werden die Selektionsbedingungen der fädigen Bakterien, die am häufigsten bei Bläh- und Schwimmschlammproblemen auf kommunalen Kläranlagen vertreten sind, näher beschrieben.

5 SELEKTIONSBEDINGUNGEN UND MÖGLICHE BEKÄMPFUNGSMÄßNAHMEN FÜR DIE AM HÄUFIGSTEN VORKOMMENDEN FÄDIGEN BAKTERIEN

5.1 Schwefelbakterien

Zu den fadenförmigen Schwefelbakterien zählen *Thiothrix* sp., *Beggiatoa* sp., Typ 021N und Typ 0914. Alle vier Typen verwenden reduzierte Schwefelverbindungen als Elektronendonatoren, die sie oxidieren und den elementaren Schwefel einlagern. Auch Schwefelwasserstoff kann verwendet werden, der durch anaerobe Sulfatreduktion im Kanal oder der Anlage entstehen kann, so dass ihr Auftreten in Kläranlagen im Allgemeinen als Indikator für Faulprozesse dient /ATV 1998/. Diese anaeroben Prozesse können schon vor der Kläranlage z.B. in langen Kanalnetzen auftreten oder infolge von Sauerstoffmangel in der Kläranlage selbst bzw. wenn anaerobe Behandlungsstufen vor der aeroben Behandlung liegen /KUNST ET AL. 2000/.

Aufgrund ihrer Besonderheiten lassen sich für die Gruppe der Schwefelbakterien folgende Selektionsfaktoren zusammenfassen /KUNST ET AL. 2000/:

- Industrielles Abwasser mit erhöhten Konzentrationen an organischen Säuren
- Abwässer mit erhöhten Schwefel- und/oder Sulfat-/Sulfidkonzentrationen
- Abwässer mit hohem CSB/N-Verhältnis
- relativ hoch belastete Belebungsanlagen mit Sauerstoffdefiziten

Die Bekämpfungsmaßnahmen stützen sich im Wesentlichen darauf, zu verhindern, dass im Kanal oder der Anlage selbst Schwefelverbindungen entstehen, die das Wachstum der Schwefelbakterien fördern. Nachfolgend sind für die beschriebenen Schwefelbakterien die einzelnen selektierenden oder hemmenden Faktoren nochmals tabellarisch zusammengestellt (Tabelle 5.1).

Tab. 5.1: Überblick über die wichtigsten Selektionsfaktoren fadenförmiger Schwefelbakterien

	<i>Thiothrix</i> sp.	<i>Beggiatoa</i> sp.	Typ 021N	Typ 0914
Abwasserzusammensetzung				
kommunales Abwasser	○	○	○	○
industrielles Abwasser	+	+	+	+
hoher Anteil leicht abbaubaren Substrats	+	+	+	
Fettsäuren	+		+	
Phosphormangel	+		+	
Stickstoffmangel			+	
Ammoniumstöße			+	
Schwefelverbindungen	+	+	+	+
hohe Abwassertemperaturen		+	+	
Reinigungsprozess				
anaerobe/anoxische Zonen	+	+	+	
niedrige Schlammbelastung			-/?	
mittlere Schlammbelastung	+		?	+
hohe Schlammbelastung	+		?	
niedriger Sauerstoffgehalt	+	+	+	
hoher Sauerstoffgehalt	○	-	○	
volldurchmischte Becken			+	
Substratgradient	-/○		-/○	
Biologische Phosphorelimination				+
vorgeschaltete Denitrifikation				-
Zuschlagstoffe				
Eisensalze			-	
Aluminiumsalze			-	
Oxidationsmittel	-		-	
Kalk			-	
Schichtsilicate			-	

- + wachstumsfördernde Wirkung
- kein Einfluss auf Wachstum
- wachstumshemmende Wirkung
- ? Literaturangaben kontrovers oder unsicher

5.2 Gramnegative Bakterien aus Hochlastanlagen

Zu den häufiger zu beobachtenden gramnegativen Bakterien aus Hochlastanlagen zählen *Sphaerotilus natans*, *Haliscomenobacter hydrossis*, Typ 021N, Typ 1701 und Typ 1863 /KUNST ET AL. 2000/. Diese Fadenbakterien treten meist in Anlagen mit einer Schlammbelastung von über 0,2 kg BSB₅/(kg TS·d) auf /HERBST UND DOHMANN 2001/. KUNST ET AL. /2000/ fanden die Fäden in Anlagen mit über 0,3 kg CSB/(kg TS·d). Meist handelt es sich dabei um nicht nitrifizierende Anlagen und/oder Anlagen mit häufigen Stoßbelastungen /HERBST UND DOHMANN 2001/. Häufiger sind sie in kommunalen Anlagen mit erheblichem Industriewasseranteil oder in rein industriellen Anlagen anzutreffen, wo größere Mengen leicht abbaubares Substrat zur Verfügung stehen /KUNST ET AL. 2000/. Die gramnegativen Fäden werden zusätzlich durch ein stark verschobenes Nährstoffverhältnis mit einem Überschuss an Kohlenstoffverbindungen bei gleichzeitigem Stickstoff- und/oder Phosphormangel gefördert. Weitere Ursachen für ein massenhaftes Auftreten können mangelhafter Sauerstoffeintrag in Phasen hoher Belastung sowie gleichmäßige Substratverteilung im Reaktor (volldurchmischte Becken) sein /ATV 1998/.

Für die gramnegativen Bakterien aus Hochlastanlagen lassen sich folgende selektierenden Faktoren zusammenfassen /ATV 1998; KUNST ET AL. 2000/:

- Anlagen mit Stoßbelastungen und ohne Nährstoffelimination
- hoher Industriewasseranteil
- hohes Kohlenstoffangebot bei gleichzeitigem Stickstoff- und Phosphormangel
- überproportional viel leicht abbaubares Substrat bei voll durchmischten Becken
- mangelhafter Sauerstoffeintrag in Phasen hoher Belastung

Als wirksamste Maßnahme gegen gramnegative Bakterien aus Hochlastanlagen wird das Erzeugen eines ausgeprägten Substratgradienten empfohlen. Dies kann durch einen aeroben Selektor oder eine vorgeschaltete Hochlaststufe geschehen. Das leicht abbaubare Substrat muss jedoch im Selektor/in der Hochlaststufe vollständig entfernt werden. Nachfolgend sind für die beschriebenen Hochlastbakterien die einzelnen selektierenden oder hemmenden Faktoren nochmals tabellarisch zusammengestellt (Tabelle 5.2).

Tab. 5.2: Überblick über die wichtigsten Selektionsfaktoren gramnegativer Bakterien aus Hochlastanlagen

	<i>Sphaerotilus natans</i>	<i>Haliscobenobacter hydrossis</i>	Typ 021N	Typ 1701	Typ 1863	Typ 0961	Typ 0803
Abwasserzusammensetzung							
kommunales Abwasser	○	+	○		+		+
industrielles Abwasser	+	+	+			+	+
hoher Anteil leicht abbaubaren Substrats	+		+				
Fettsäuren			+				
Phosphormangel	+		+				
Stickstoffmangel	+		+				
Ammoniumstöße			+				
Schwefelverbindungen			+				
hohe Abwassertemperaturen	+	+	+	+			
niedrige Abwassertemperaturen	-	○					
Reinigungsprozess							
anaerobe/anoxische Zonen		+	+				?
niedrige Schlammbelastung		?	-/?	-		?	?
mittlere Schlammbelastung	+	?	?	+	+	?	?
hohe Schlammbelastung	+	?	?	+	+		
niedriger Sauerstoffgehalt	+	+	+	+	+		
hoher Sauerstoffgehalt		-	○	-/○		+	
volldurchmischte Becken	+	+	+	+		○	
Substratgradient	-	-	-/○			-/○	
vorgeschaltete Denitrifikation							-/?
biologische Phosphorelimination							-/?
Zuschlagstoffe							
Eisensalze	-	○	-	-	-	-	
Aluminiumsalze	-	○	-				
Oxidationsmittel	-		-				
Kalk			-				
Schichtsilicate			-				

- + wachstumsfördernde Wirkung
- kein Einfluss auf Wachstum
- wachstumshemmende Wirkung
- ? Literaturangaben kontrovers oder unsicher

5.3 Grampositive Bakterien aus Niedriglastanlagen

Seit Anfang der neunziger Jahre hat sich das Spektrum der in Kläranlagen auftretenden Fadenbildner weg von den gramnegativen Hochlastbakterien zu den grampositiven Niedriglastbakterien hin verschoben /LIND UND LEMMER 1998/. Diese Entwicklung geht einher mit der Inbetriebnahme von Reinigungsstufen zur Nitrifikation und Denitrifikation sowie der biologischen Phosphorelimination /KUNST ET AL. 2000/, da sich die Betriebsbedingungen der niedrig belasteten N- und P-eliminierenden Anlagen fördernd auf das Wachstum der grampositiven Niedriglastbakterien auswirken /ATV 1998/. Für die Massenentwicklung der Fäden ist kennzeichnend, dass sie flotierende Schwimmschlammsschichten an der Oberfläche von Belebungsbecken, Nachklärungen und Faulbehältern bilden. Als häufige Vertreter zählen *Microthrix parvicella*, nocardioforme Actinomyceten, Typ 0041/0675, Typ 0092, Typ 1851 und *Nostocoida limicola* /KUNST ET AL. 2000/.

Die Gruppe der grampositiven Bakterien aus Niedriglastanlagen tritt hauptsächlich in Anlagen mit Nitrifikation/Denitrifikation auf und nicht selten auch in Anlagen, die zusätzlich über eine biologische Phosphorelimination verfügen. Im Anschluss sind die wichtigsten Bedingungen, die eine Schwimmschlammbildung durch grampositive Niedriglastbakterien begünstigen, zusammengefasst /KUNST ET AL. 2000/:

- Anlagen mit sehr niedriger BSB₅-Schlammbelastung ($\ll 0,15$ kg BSB₅/(kg TS-d))
- erhöhte Fettkonzentrationen im Abwasser
- länger währende O₂-Gehalte unter 2 mg/l in den belüfteten Zonen/Zeiten
- zeitweise hohe Ammoniumgehalte in sehr niedrig belasteten Anlagen
- Anlagen mit biologischer Phosphorelimination
- hohe Konzentrationen an längerkettigen Fettsäuren

Für die Gruppe der grampositiven Niedriglastbakterien gibt es nur wenige abgesicherte spezifische Gegenmaßnahmen /KUNST ET AL. 2000/:

- Erhöhung der Schlammbelastung auf ca. 0,15 kg BSB₅/(kg TS-d)
- Entfernung der Schwimmschlammsschichten, gesonderte Behandlung

Weiterhin gibt es unspezifische Maßnahmen, wie die Dosierung einer Vielzahl von Chemikalien. Diese Zuschlagstoffe werden als Abhilfemaßnahme auf Kläranlagen eingesetzt, meist um vorhandene Betriebsprobleme durch Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum zu mindern oder zu beheben. Die unspezifischen Maßnahmen werden unterschieden nach dem Effekt /KUNST ET AL. 2000/:

- Schädigung der Fäden mit
 - Oxidationsmittel (Ozon, Peroxid)
 - Kalk
- Beschwerung des leichten Schlammes
 - Beschwerungsstoffe wie Eisen- und/oder Aluminiumsalze und auch Kalk
 - Beschwerungs- und Aufwuchsstoffe wie Braunkohlenkoksstaub, Talk
- Förderung der Flockenbildung bzw. der flockenbildenden Organismen
 - Flockungshilfsmittel

Nachfolgend sind für die beschriebenen Niedriglastbakterien die einzelnen selektierenden oder hemmenden Faktoren nochmals tabellarisch zusammengestellt (Tabelle 5.3).

Tab. 5.3: Überblick über die wichtigsten Selektionsfaktoren grampositiver Bakterien aus Niedriglastanlagen

	<i>Microthrix parvicella</i>	nocardioforme Actinomyceten	Typ 0041/0675	Typ 0092	Typ 1851	<i>Nostocoida limicola</i>	Typ 0581
Abwasserzusammensetzung							
kommunales Abwasser	+	+		+	+		
industrielles Abwasser		+		+	+	○	
hoher Anteil leicht abbaubaren Substrats					+	+	
Fettsäuren	+	+					
Phosphormangel		○	+			?	
Stickstoffmangel		○	+			?	
Ammoniumstöße	+						
Rohabwasser			+	+	-	+	
Prozesswasser	+	+	-	○	-	○	
hohe Abwassertemperaturen	?	+	+	+			
niedrige Abwassertemperaturen	+	?	-			+	
Reinigungsprozess							
fehlender Fettabscheider	○	○		○			
anaerobe/anoxische Zonen	+	-	+	+			
niedrige Schlammbelastung	+	+	+	+	+	?	+
mittlere Schlammbelastung	+	+	+			?	
hohe Schlammbelastung	-	+					
niedriges Schlammalter		-				-	
hohes Schlammalter		+		+			
niedriger Sauerstoffgehalt	+	-	○	+			
hoher Sauerstoffgehalt	○	+	+		+		
volldurchmischte Becken	+			○		?	
Substratgradient	○	+/○	+	○	+	?	
vorgeschaltete Denitrifikation	+		?	+		○	
biologische Phosphorelimination	+	-				-	
aerober Selektor	○		-	-		-	
anaerober/anoxischer Selektor	○	-				-	
Zuschlagstoffe							
Eisensalze	+			+			
Aluminiumsalze	-	?	+		+	+	
Oxidationsmittel	○	○	-	-			
Kalk	-	-					
Schichtsilicate	○						

+ wachstumsfördernde Wirkung

○ kein Einfluss auf Wachstum

- wachstumshemmende Wirkung

? Literaturangaben kontrovers oder unsicher

6 KONKRETER ABLAUF DES PROJEKTES ZERBERUS

6.1 Aufbau einer Erfahrungsdatenbank

Für den Aufbau der Erfahrungsdatenbank erfolgt in einem ersten Schritt eine Befragung betroffener Kläranlagen sowie eine Beprobung der Anlagen bei relevanten Ereignissen. Daraufhin erfolgt die Identifizierung der fädigen Bakterien. Im Anschluss werden die gewonnenen Ergebnisse statistisch ausgewertet und mit den Erfahrungen aus der Literatur verglichen. Letztendlich wird aus den bei den Kläranlagenbefragungen und -beprobungen sowie den in der Literatur geschilderten Fallbeispielen gewonnenen Informationen eine Erfahrungsdatenbank erstellt.

6.1.1 Kläranlagenbefragung und -beprobung

Die Grundlage für die weitere Datenerhebung bildet eine umfangreiche Befragung von Anlagenbetreibern. Die Erhebung erfolgte anhand von Fragebögen, in denen die Betreiber der Kläranlagen Angaben über den Ausbau und die Betriebsführung der Anlagen sowie bzgl. der Bläh- und Schwimmschlammproblematik machten. Die Kläranlagen, die akut von Bläh- oder Schwimmschlammproblemen betroffen waren, wurden beprobt und die Belebt- bzw. Schwimmschlammproben zur Identifizierung der fädigen Mikroorganismen mikroskopisch untersucht. Bei den Besuchen der Kläranlagen wurde das Betriebspersonal detailliert über die momentane Betriebsführung und die Charakteristik des aktuellen Bläh- oder Schwimmschlammproblems befragt. Darüber hinaus wurden Informationen über den Erfolg bereits durchgeführter Maßnahmen bzw. geplante zukünftige Bekämpfungsmaßnahmen gesammelt.

6.1.2 Identifizierung der fädigen Bakterien

Vor der Identifizierung der fadenförmigen Organismen durch die Anwendung des Fallbasierten Schließens ist es zum Aufbau der Erfahrungsdatenbank erforderlich, in einer ersten Phase die Mikroorganismen durch mikroskopische Untersuchungen zu bestimmen. Auf diese Weise soll eine möglichst sichere Datengrundlage geschaffen werden.

Bei Kläranlagen mit Schwimmschlammproblemen wurde neben der suspendierten Schlammprobe zusätzlich der auf der Beckenoberfläche treibende Schlamm untersucht.

Die Identifikation der fädigen Mikroorganismen erfolgt auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen anhand der Bestimmungsschlüssel nach JENKINS ET AL. /1993/ sowie EIKELBOOM UND VAN BUIJSEN /1992/. Zur Auswertung und Dokumentation der Untersuchungsergebnisse werden Analysenformblätter zur Identifizierung fadenförmiger Mikroorganismen sowie zur mikroskopischen Untersuchung fädiger belebter Schlämme herangezogen.

6.1.3 Bestimmung der ISV relevanten Fädigkeit

Die Bestimmung der ISV relevanten Fädigkeit wird vor der eigentlichen Identifizierung der Bakterien durchgeführt und dient der groben Quantifizierung der Anzahl der Fäden. Hierzu wird das Trockenpräparat kristallviolett gefärbt und das mikroskopische Bild, in dem die Fäden aufgrund der Färbung jetzt deutlich zu erkennen sind, mit Referenzabbildungen nach KUNST ET AL. /2000/ verglichen. Durch den Abgleich des mikroskopischen Bildes der eigenen Probe mit

den Referenzabbildungen kann der Probe die entsprechende Fädigkeitsstufe zugeordnet werden. Unter Zuhilfenahme der Erfahrungswerte aus Tabelle 6.1 kann mittels der ISV relevanten Fädigkeit der zu erwartende Schlammindex ISV bestimmt werden. Bei den im Rahmen von ZERBERUS durchgeführten Untersuchungen diente die Fädigkeit auch dazu, die Bläh- und Schwimmschlammereignisse auf den einzelnen Kläranlagen in ihrer Intensität objektiv miteinander vergleichen zu können. Dies ist vor allem in Anbetracht der Tatsache wichtig, dass die Einschätzung der Anlagenbetreiber bezüglich der ‚Schwere‘ der Probleme teilweise sehr subjektiv war.

Tab 6.1: Erfahrungswerte zum Zusammenhang zwischen der ISV relevanten Fädigkeit und dem Schlammindex ISV /nach KUNST ET AL. 2000/

ISV relevante Fädigkeitsstufe	Schlammindex ISV [ml/g]
0 - 1, 2 und 3	< bzw. stabil um 150
4 und 5	> 150
6 und 6 - 7	> 200
7	nur für Schaum

6.1.4 Morphologische Merkmale fadenförmiger Mikroorganismen

Die Identifizierung anhand morphologischer Merkmale erfolgt, anders als bei den Färbemethoden, bei denen Trockenpräparate angewandt werden, am Lebendpräparat. Hierbei werden typische morphologische Merkmale zur Identifizierung des fadenförmigen Mikroorganismus herangezogen. Zu diesen Merkmalen zählen z.B. die Fadenform, die Position des Fadens in der Belebtschlammflocke, Verzweigungen innerhalb des Fadens, Fadendurchmesser oder die Zellform.

6.1.5 Färbe- und andere Testmethoden

Eine wichtige Methode zur Bestimmung der Fadenbakterien sind verschiedene Färbungen. Die unterschiedlichen Reaktionen der einzelnen fädigen Mikroorganismen auf die Färbungen sind charakteristische Merkmale, die zur Identifizierung herangezogen werden. Neben der Gram- und der Neisser-Färbung, die zu den wichtigsten Methoden der Identifizierung von Fadenbakterien zählen, wurde an den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Proben auch die PHB-Färbung durchgeführt.

Eine weitere bei den Untersuchungen angewandte Testmethode ist der sogenannte Schwefeltest, bei dem die Fähigkeit des Bakteriums, Schwefel in der Zelle einzulagern, untersucht wird.

6.2 Identifizierung unter Verwendung von CBR

Konkret wird im Rahmen des Projektes ZERBERUS die Neuanfrage einer Kläranlage, die ein (Bläh- oder Schwimmschlamm-) Problem mit einer noch unbekanntem Bakterienpopulation aufweist, mit den abgelegten (bereits gelösten) Fällen in der Falldatenbank verglichen. Zum Vergleich werden die abwasserspezifischen und verfahrenstechnischen Randbedingungen (Attribute) herangezogen, die als sogenannte Selektionsfaktoren für die fadenförmigen Organismen dienen. Diese werden entsprechend ihrer Bedeutung für das spezifische Problem gewichtet.

So wird beispielsweise dem Attribut Schlammbelastung B_{TS} eine hohe Bedeutung (entsprechend eine Gewichtung von 6) beigemessen, da die Schlammbelastung selektiv zur Unterscheidung der einzelnen Bakterienarten herangezogen werden kann, während beispielsweise die Lokalisation des Problems (also die Frage, wo das Problem auftritt: in der Biologie, in der Nachklärung,...) nur unwesentlich zur Identifizierung der Organismen beiträgt und somit nur eine Gewichtung von 1 erhält. Aufgrund von mathematischen Beziehungen werden Ähnlichkeiten ermittelt und eine Rangfolge der ähnlichsten Fälle aufgestellt.

In Abbildung 6.1 ist beispielhaft die Berechnung der Ähnlichkeit zwischen dem Schwimmschlammproblem auf der **Kläranlage Ahausen** (neues Problem ohne Lösung) und dem Problem auf der **Anlage in Beheim** (Fallbeispiel aus der Datenbank mit Lösung) dargestellt. Die Gesamtähnlichkeit zwischen dem neuen Problem und dem Fallbeispiel aus der Erfahrungsdatenbank wird als gewichtetes Mittel der Einzelähnlichkeiten wie folgt berechnet:

$$\text{Problemähnlichkeit } s_P: \quad s_P = \frac{1}{\sum \text{Gewichte}} \cdot [\sum (\text{Gewicht} \cdot \text{Ähnlichkeit})]$$

Ähnlichkeit s_P des Problems (KA Ahausen / KA Beheim):

$$\begin{aligned} s_P &= \frac{1}{66} \cdot (4 \cdot 0,94 + 4 \cdot 1,00 + 0 \cdot 1,00 + 3,5 \cdot 0,80 + 3,5 \cdot 1,00 + 3,5 \cdot 0,60 + 2 \cdot 0,92 + 5 \cdot 0,91 \\ &\quad + 5 \cdot 1,00 + 3 \cdot 1,00 + 4,5 \cdot 1,00 + 4 \cdot 0,30 + 6 \cdot 1,00 + 2,5 \cdot 0,00 + 3 \cdot 1,00 + 1 \cdot 1,00 \\ &\quad + 1 \cdot 1,00 + 4 \cdot 0,00 + 3,5 \cdot 1,00) \\ &= 0,806 \end{aligned}$$

Anhand der Ähnlichkeit der beiden Probleme, die durch die anlagen- sowie problemspezifischen Attribute charakterisiert wird, wird auf die Ähnlichkeiten der Lösungen, also der problemverursachenden Bakterientypen, geschlossen.

Diesbezüglich ist anzumerken, dass weniger der absolute Wert der Ähnlichkeit als vielmehr die Reihenfolge der ähnlichsten Fälle für die Identifizierung der fädigen Bakterien von Bedeutung ist.

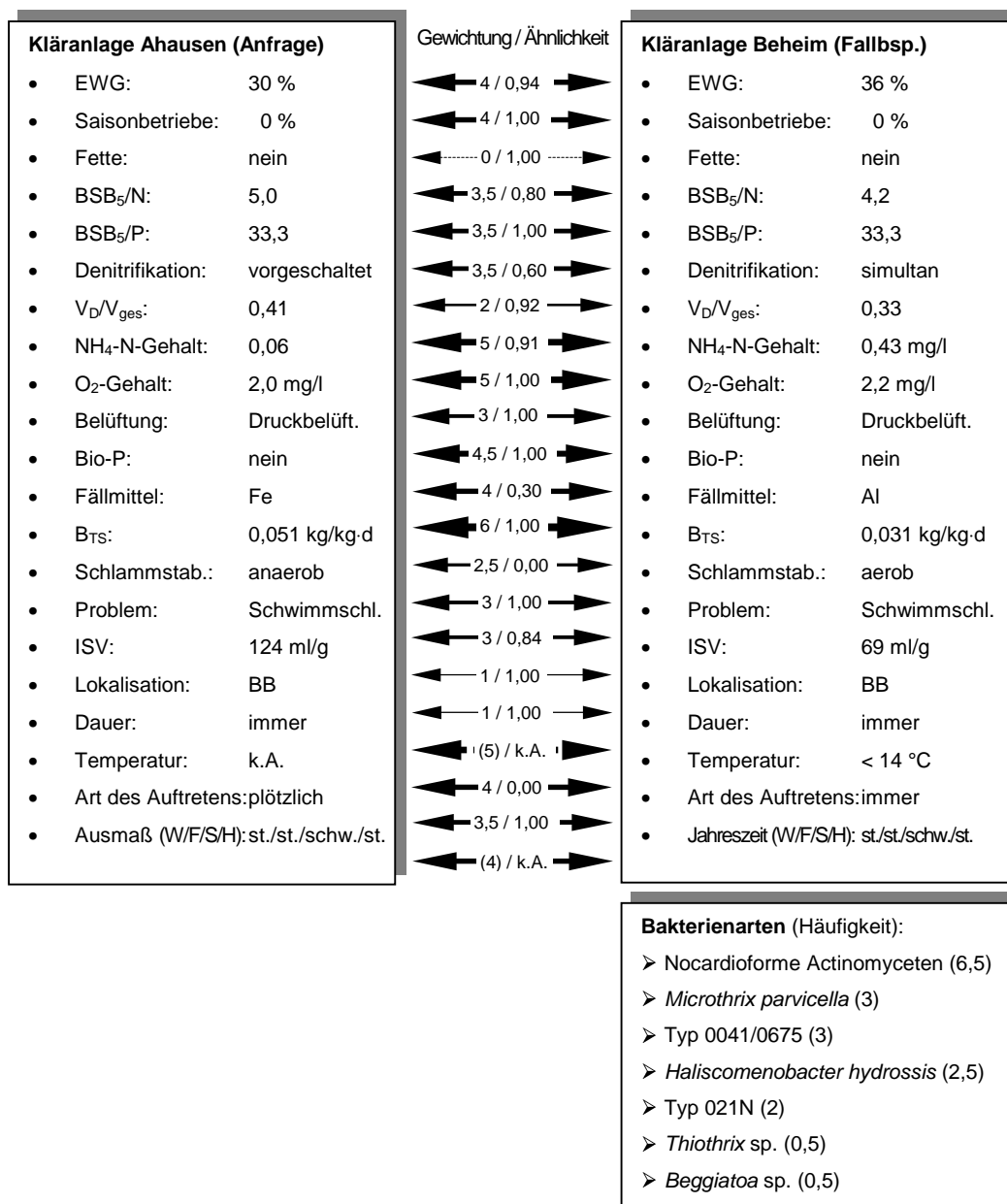


Abb. 6.1: Vergleich eines neuen Schwimmschlammproblems mit einem Fall aus der Erfahrungsdatenbank

An einem Beispiel sei der Vergleich einer Neuansfrage mit bereits abgelegten, gelösten Fällen sowie die Interpretation der Lösung verdeutlicht:

Es erfolgt eine Anfrage für die Kläranlage Cestadt. Hierbei handelt es sich um eine Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung, Vorklärung und vorgeschalteter Denitrifikation, die überwiegend im Frühjahr und Herbst unter Schwimmschlammproblemen leidet. Die verursachenden Bakterien seien unbekannt. Die durch das Programmpaket CBR-works[®] berechneten Ähnlichkeiten sind in Tabelle 6.2 dargestellt.

Der Übersichtlichkeit halber werden in diesem Beispiel nur die drei ähnlichsten Anlagen dargestellt.

Tab. 6.2: Ergebnisse der Anfrage der Kläranlage Cestadt

ähnlichste Fälle	Ähnlichkeit des Problems
KA Deheim	0,871
KA Effstein	0,845
KA Genich	0,819

Die Kläranlage Deheim, deren Problem von allen betrachteten Anlagen die höchste Ähnlichkeit zur Anfrage hat, wird an erster Stelle eingestuft. Daneben werden die Kläranlagen Effstein und KA Genich als ähnlich eingestuft, die Ähnlichkeitsmaße sind allerdings etwas geringer. In Tabelle 6.3 werden die Lösungsvektoren für die Kläranlage Cestadt dargestellt.

Tab. 6.3: Lösungsvektor für die Anfrage der Kläranlage Cestadt

Kläranlage Bakterientyp	Cestadt (Anfrage)	Deheim	Effstein	Genich
<i>Microthrix parvicella</i>	6	6,5	6	6-7
nocardioforme Actinomyceten	3	5	6	0
Typ 0041/0675	4	3	4	3-4
Typ 0092	4	0	0	0
<i>Beggiatoa</i> sp.	0	0	0	3
<i>Sphaerotilus natans</i>	0	0	0	3
<i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	2	0	2	0

Der Vergleich der identifizierten Organismen bestätigt die vorgenannte Einschätzung hinsichtlich der berechneten Ähnlichkeiten: die dominante Bakterienart in Cestadt ist *Microthrix parvicella*, daneben sind nocardioforme Actinomyceten sowie die Typen 0041/0675 und 0092 in größerer Häufigkeit vorhanden. Es zeigt sich somit das relativ typische Bild einer vergleichsweise schwach belasteten Anlage, bei der Niedriglastbakterien dominieren. Die Lösung ist somit insgesamt als zufriedenstellend einzuschätzen; auf der Grundlage der mit Hilfe der Falldatenbank 'identifizierten' Bakterien wäre somit eine zielgerichtete Einleitung von Bekämpfungsmaßnahmen möglich. Diese würde sich im Falle der Kläranlage Cestadt insbesondere an der dominierenden Art *Microthrix parvicella* orientieren.

Die sinnvollste Bekämpfungsmaßnahme wird unter Verwendung der Falldatenbank (analog der Identifizierung) sowie einer Wissensdatenbank abgeleitet. Auf die Erläuterung eines konkreten Beispiels wird an dieser Stelle jedoch verzichtet.

7 VORGEHENSWEISE IM RAHMEN EINER INTERNET-ANFRAGE

Die seit Sommer 2003 unter der Adresse <http://www.zerberus-online.de> über das World Wide Web verfügbare Website von ZERBERUS bietet neben allgemeinen Informationen über die Bläh- und Schwimmschlammproblematik spezielle Informationen zu den verursachenden Organismen (inkl. mikroskopischer Aufnahmen) sowie deren Selektionsfaktoren und Hinweise zu Bekämpfungsmöglichkeiten (vgl. Abb. 7.1). Die ZERBERUS-Homepage stellt somit für den interessierten Nutzer eine Wissensplattform dar, über die er sich erste Informationen zu der Problematik Bläh- und Schwimmschlamm abrufen kann.



Abb. 7.1: Bereitstellung von allgemeinen Informationen über die ZERBERUS-Homepage
 Kernstück der ZERBERUS-Homepage ist jedoch die Möglichkeit der Online-Beratung von Betreibern über das Internet.

In einem ersten Schritt erfolgt hierbei die Registrierung des neuen Nutzers, die organisatorischen Zwecken sowie der Vermeidung von nicht ernst gemeinten Anfragen dient. Der Nutzer erhält nach Prüfung seiner Angaben ein Passwort und hat nun die Möglichkeit, eine Beratung in Anspruch zu nehmen.

In einem nächsten Schritt erfolgt dialoggeführt die eigentliche Beratungsanfrage (vgl. Abb. 7.2). Hierbei muss der Nutzer diverse Informationen zu seiner Kläranlage (Abwasserzusammensetzung, Auslastung der Anlage, verfahrenstechnische Randbedingungen wie Volumina der Reaktionsräume, Schlammbelastung, Sauerstoffgehalte etc.) in speziell angefertigte Formblätter eingeben. Es erfolgen Plausibilitätskontrollen und ggf. Hinweise, dass eingegebene Werte nicht plausibel erscheinen.

Abb. 7.2 : Dialoggesteuerte Eingabe von Informationen zu der betroffenen Kläranlage

Danach erfolgt eine Beschreibung des speziellen Bläh- bzw. Schwimmschlammproblems. Auch diese wird anhand von speziellen Formblättern dialoggesteuert durchgeführt. Hierbei wird beispielsweise abgefragt, wie sich im Rahmen des Ereignisses der ISV verändert hat, zu welcher Jahreszeit bzw. bei welchen Temperaturen das Problem aufgetreten ist. Nach einer weiteren Prüfung werden die Daten abgeschickt, als neuer Fall gespeichert und mit den in der Erfahrungsdatenbank abgelegten Fällen entsprechend Kapitel 6 verglichen. Aus den Informationen der Fall- sowie der Wissensdatenbank erfolgt eine 'Identifizierung' der verantwortlichen Organismen sowie ein Vorschlag zur Bekämpfung, der dem Nutzer wiederum online mitgeteilt wird.

Der Betreiber setzt die Maßnahme auf seiner Kläranlage um und gibt tectraa nach einiger Zeit Rückmeldung, ob die Maßnahme erfolgreich war. Die Informationen zu der Kläranlage sowie der speziellen Schlammproblematik werden dann als neuer Fall in die ZERBERUS-Datenbank aufgenommen und so die Erfahrungsdatenbank erweitert.

8 STATISTISCHE AUSWERTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

8.1 Charakteristik der erfassten Anlagen

8.1.1 Größenklasse der erfassten Anlagen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden insgesamt 60 Kläranlagenbetreiber kontaktiert, von denen 55 Betreiber (92 %) die Rückmeldung gaben, dass ihre Kläranlage in den letzten 2 Jahren von Blähschlamm, Schwimmschlamm oder Schaum betroffen war bzw. aktuell davon betroffen ist. Einen Überblick über die erfassten Anlagen vermittelt Abbildung 8.1.

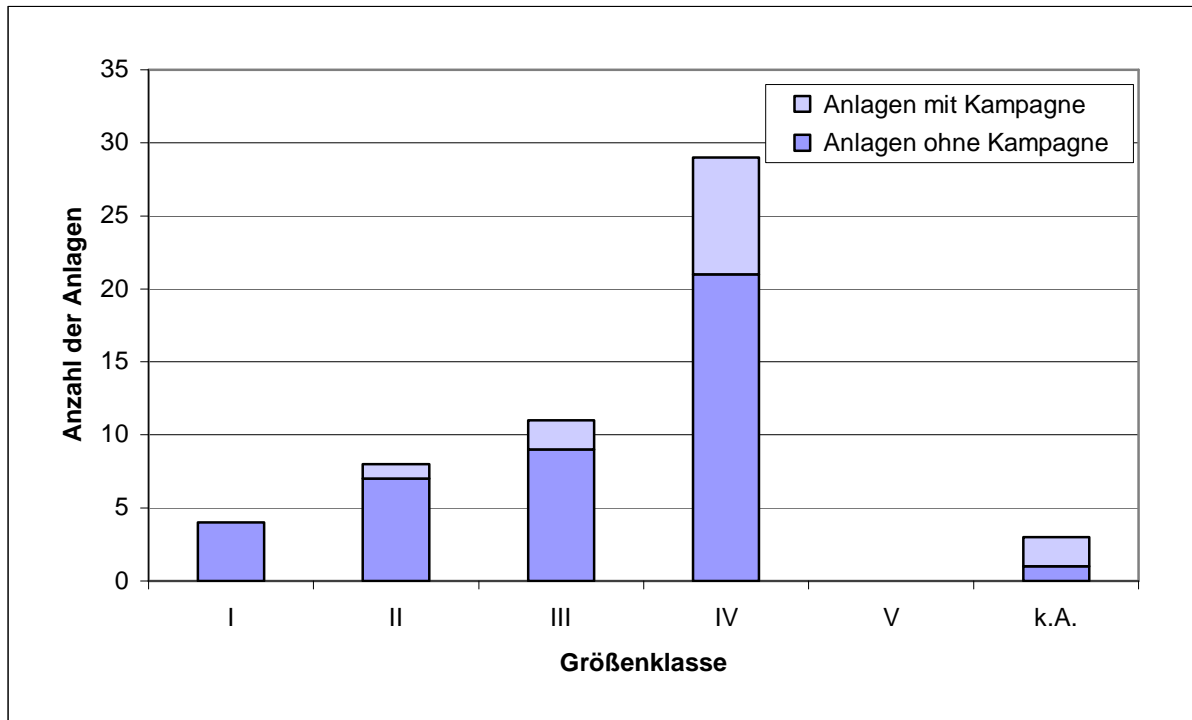


Abb. 8.1: Übersicht über die Ausbaugröße der untersuchten Anlagen

Mit Ausnahme einer Anlage, die ausschließlich industrielles Abwasser reinigt (Molkereiabwasser), handelt es sich um kommunale Kläranlagen, in denen teilweise industrielles Abwasser mitbehandelt wird. 13 der erfassten Anlagen sind zudem durch Wein- und/oder Obstkampagnen belastet. Beim überwiegenden Teil der betroffenen Anlagen handelt es sich um Kläranlagen, die von ihrer Ausbaugröße den Größenklassen 3 bzw. 4 zuzuordnen sind. Diese Tendenz wurde im Vorfeld erwartet, da diese Kläranlagen aufgrund der gesetzlichen Anforderungen nitrifizieren und zum überwiegenden Teil denitrifizieren müssen und somit in Schlammbelastungsbereichen betrieben werden, die eine Selektion von fadenförmigen Niedriglastbakterien erwarten lassen. Diese Ergebnisse decken sich auch mit den Beobachtungen, dass das Auftreten von Bläh-, aber vor allem Schwimmschlammereignissen seit Umsetzung der Nährstoffelimination in Deutschland Mitte bzw. Ende der 90er Jahre erheblich zugenommen hat /ATV 1998/.

8.1.2 Reaktorform der erfassten Anlagen

Bei der Auswertung der einschlägigen Literatur zeigte sich, dass bei einigen Organismen die (Reaktor-) Form des Belebungsbeckens für eine Selektion oder Verdrängung von Relevanz ist. Die Beckenform kann dabei nie alleiniger Faktor für das stärkere oder schwächere Wachstum einer Bakterienart sein, jedoch kann sie die Tendenz unterstützen /KUNST ET AL. 2000/. Die für das Wachstum der fadenförmigen oder flockenbildenden Bakterien wesentlichen Unterschiede bezüglich der Reaktorform beruhen auf einem Substratgradienten, der sich in den verschiedenen Reaktoren unterschiedlich stark ausbildet. Während sich in Rührkesseln annähernd kein Substratgradient ausbildet, ist in Rohrreaktoren ein ausgeprägter Substratgradient in der Regel vorhanden (Vor-Kopf-Beschickung vorausgesetzt). Der stärkste Substratgradient entsteht in Kaskadenbecken.

Abbildung 8.2 zeigt die Verteilung der auf den Kläranlagen vorgefundenen Reaktorformen.

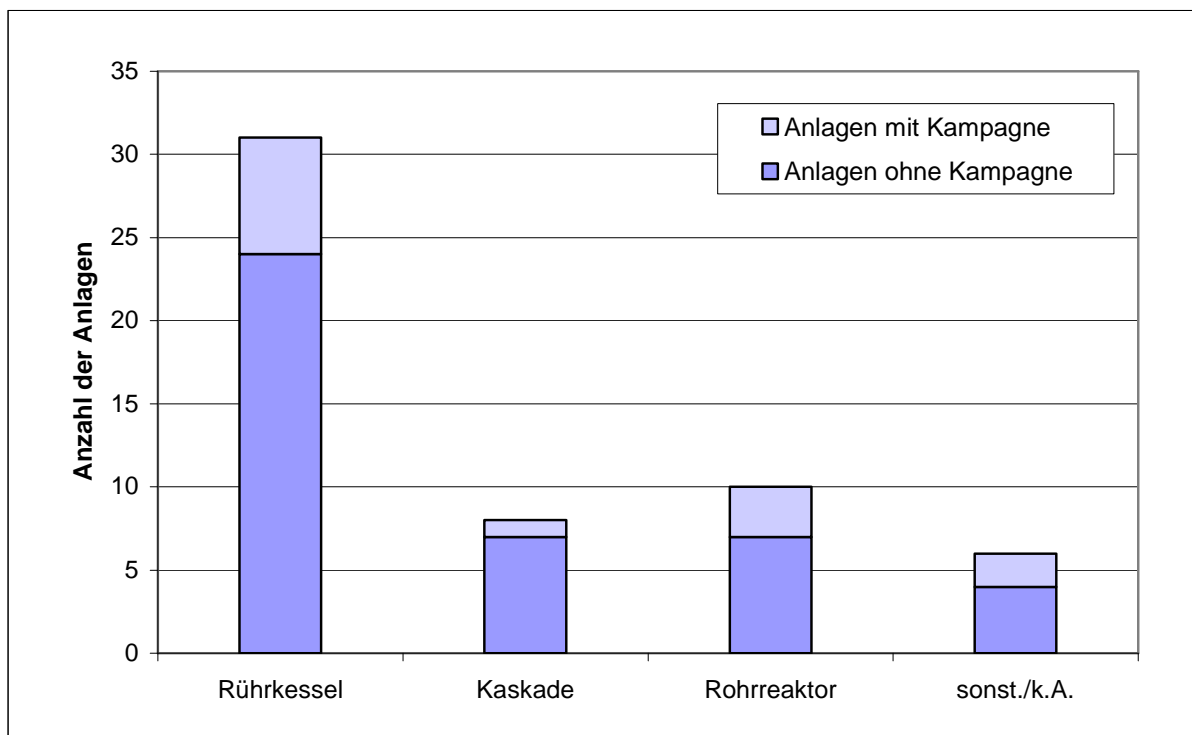


Abb. 8.2: Reaktorformen der erfassten Anlagen

Die verbreitetste Form (in ca. 60 % der Anlagen) ist der Rührkessel, Rohrreaktoren und Kaskadenbecken sind etwa gleich verteilt. Daraus folgt, dass über die Hälfte der erfassten Anlagen allein durch ihre Reaktorform stärker durch ein vermehrtes Wachstum von Fadenbakterien betroffen sein können, da viele der fadenförmigen Organismen (z.B. *Microthrix parvicella*, Typ 021N) durch einen fehlenden Substratgradienten gefördert werden.

8.1.3 Schlammbelastung der erfassten Anlagen

Die Schlammbelastung ist einer der entscheidenden Faktoren für die Selektion oder Verdrängung einzelner Bakterienarten aus der Mischbiozönose. Nachdem Anfang der neunziger Jahre auf Kläranlagen mit mehr als 5.000 angeschlossenen Einwohnerwerten eine gezielte Nährstoffelimination gesetzlich gefordert wurde, war es erforderlich, die Schlammbelastung der Anlagen zu senken, um das für die Nitrifikanten erforderliche Schlammalter einzuhalten. Die

Senkung der Schlammbelastung ging einher mit einer Abnahme der gramnegativen Bakterien aus Hochlastanlagen hin zu einem vermehrten Wachstum der grampositiven Bakterien aus Niedriglastanlagen.

Abbildung 8.3 zeigt die Schlammbelastung der Anlagen im Zusammenhang mit der Umsetzung der Schlammstabilisierung.

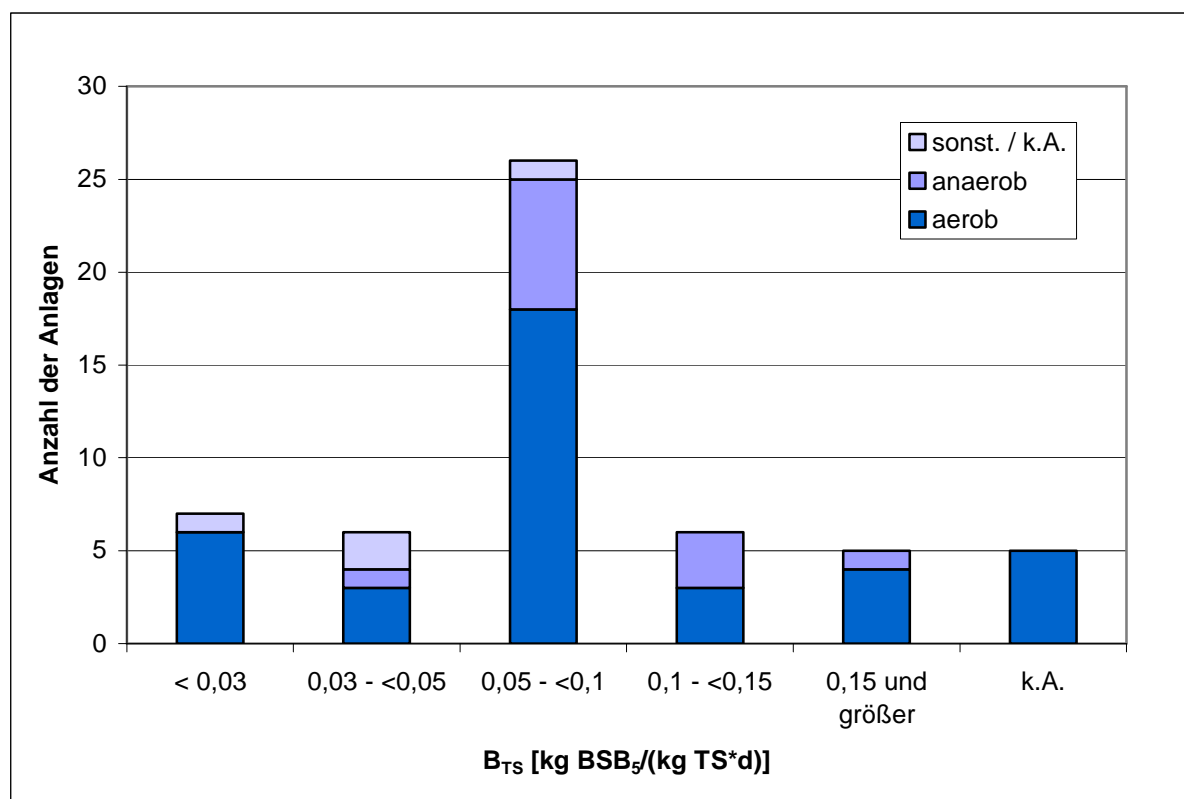


Abb. 8.3: Schlammbelastungen der erfassten Anlagen im Zusammenhang mit der Art der Schlammstabilisierung

Ein Großteil der im Rahmen des Projektes erfassten Anlagen (ca. 75 %) sind als Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung ausgebaut. Auf nur ca. 25 % der Anlagen wird der Schlamm anaerob stabilisiert, d.h. ausgefault.

Die meisten der aerob stabilisierenden Anlagen werden in einem niedrigen Schlammbelastungsbereich $B_{TS} \leq 0,05$ kg BSB₅/(kg TS·d) betrieben. Jedoch ist auffallend, dass einige der auf aerobe Stabilisierung ausgelegten Anlagen in einem deutlich höheren Schlammbelastungsbereich gefahren werden. Einige Anlagenbetreiber versuchen, so die Selektionsbedingungen für die Niedriglastorganismen zu verschlechtern.

Auf der anderen Seite ist erkennbar, dass viele der auf Schlammfäulung (und damit auf einen B_{TS} von 0,15 kg BSB₅/(kg TS·d)) ausgelegten Anlagen in einem deutlich niedrigeren Schlammbelastungsbereich betrieben werden. Nur 4 der anaerob stabilisierenden Anlagen werden mit einer für diese Betriebsweise günstigen Schlammbelastung betrieben, bei 8 der Anlagen ist die Schlammbelastung z.T. extrem niedrig. Dieser Betriebsweise liegt in vielen Fällen, der (Irr-) Glaube zu Grunde, dass das Vorhalten einer großen Schlammmasse (und damit das Betreiben der Ablage mit einem hohen Trockensubstanzgehalt) die Stabilität der Anlage erhöht. Tatsächlich wird durch diese Betriebsweise jedoch das Wachstum der fadenförmigen Niedriglastbakterien gefördert, weiterhin reduziert sich durch die weitgehende Stabili-

sierung des Schlammes im Belebungsbecken die Gasausbeute im Faulbehälter und der erforderliche Sauerstoffeintrag in die Biologie wächst.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass aufgrund der Charakteristik der erfassten Anlagen (Ausbaugröße, Reaktorform, Schlammbelastung) mit einem Überwiegen der grampositiven Niedriglastbakterien gerechnet werden musste. Des Weiteren war – sowohl bei den Orts-terminen auf den Anlagen als auch bei der Auswertung der im Rahmen von ZERBERUS ausgefüllten Fragebögen sowie der Betriebsdaten der Anlagen – festzustellen, dass bei vielen Anlagenbetreibern Unkenntnis über die Zusammenhänge zwischen dem (übermäßigen) Wachstum von Fäden und auf der Anlage eingestellten Milieubedingungen bzw. Betriebsgrößen besteht. Eine Auswertung der im Rahmen der Untersuchungen identifizierten Organismen in Abhängigkeit von den jeweiligen Selektionsfaktoren erfolgt in Kapitel 8.2.

8.2 Beschreibung der identifizierten Organismen in Abhängigkeit von den Selektionsfaktoren

8.2.1 Überblick über die identifizierten Fadenbakterien

Im Folgenden werden die mikroskopischen Ergebnisse der untersuchten Kläranlagen ausgewertet und beurteilt. Um die Anzahl der in den Anlagen gefundenen Fäden quantifizieren zu können, wurde die ISV relevante Fädigkeit bestimmt. Damit können die Blähschlamm-, Schwimmschlamm- und Schaumereignisse der einzelnen Kläranlagen in ihrer Intensität, d.h. Fädigkeitsstufe, miteinander verglichen werden. Da häufig mehrere Fadentypen der gleichen Fädigkeit nebeneinander in einer Kläranlage auftraten, wurde bei der Auswertung auf eine Unterscheidung zwischen dominantem und subdominantem Auftreten der Fadenbakterien verzichtet. Statt dessen wurden die Organismen entsprechend der Einteilung von KUNST ET AL. /2000/ in 'Häufigkeitsstufen' eingeteilt. Abbildung 8.4 zeigt das Auftreten der fadenförmigen Bakterien, unterschieden nach einer Häufigkeit von 5-7 und einer Häufigkeit von < 5.

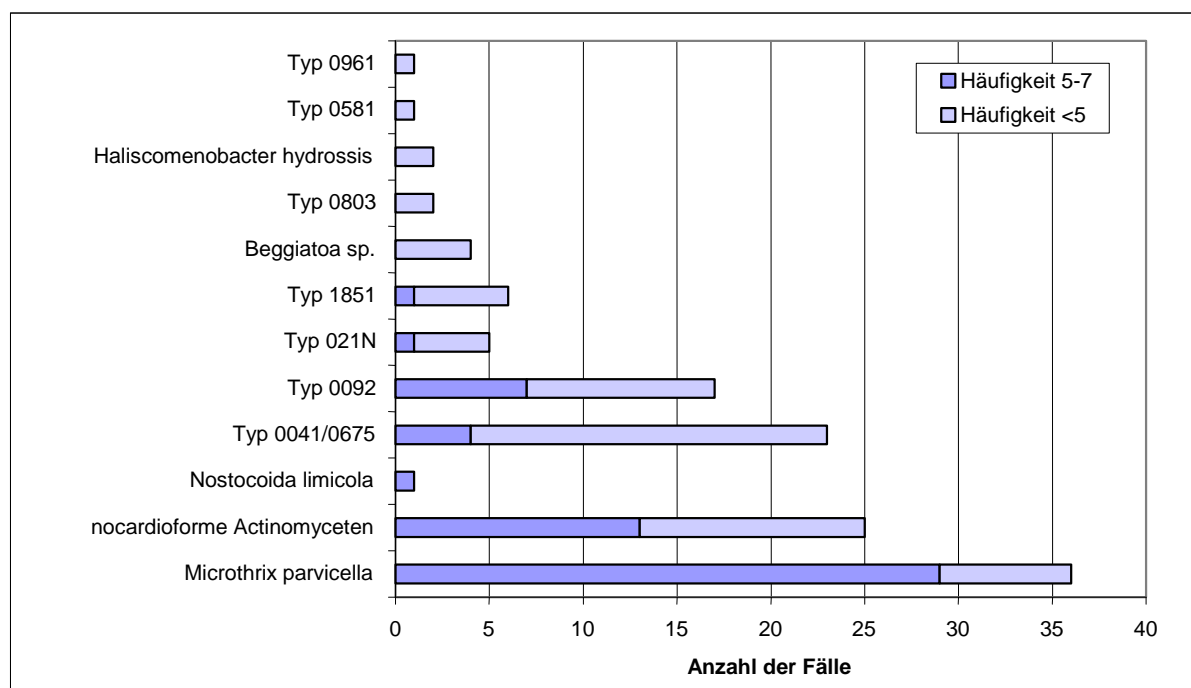


Abb. 8.4: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von ihrer Häufigkeit

Die häufigsten vorgefundenen Vertreter sind Typ 0092, Typ 0041/0675, nocardioforme Actinomyceten und insbesondere *Microthrix parvicella*. Diese Fäden gehören sämtlich der Gruppe der grampositiven Niedriglastbakterien an, die in den meist schwach belasteten kommunalen Kläranlagen optimale Lebensbedingungen vorfinden. Die Tendenz, dass Niedriglastbakterien gehäuft zu finden sind, deckt sich mit den Beobachtungen verschiedener Autoren /MATSCHÉ UND KREUZINGER 1998, KUNST ET AL. 2000, LEMMER UND LIND 2000/.

Die häufigste auftretende Bakterienart ist *M. parvicella*. In 29 Anlagen, d.h. in über 50 % der Fälle, tritt dieser Organismus mit einer Häufigkeit zwischen 5 und 7 auf, in weiteren 7 Anlagen mit einer Häufigkeit unter 5. Nocardioforme Actinomyceten und Typ 0092 treten etwa im gleichen Maße mit hohen und niedrigen Häufigkeiten auf, Typ 0041/0675 kommt vor allem mit niedrigen Häufigkeiten in den untersuchten Anlagen vor. Ein Auftreten mit hoher Häufigkeit wurde bei diesem Organismus weniger beobachtet. Da der Typ 0041/0675 häufig subdominant neben *M. parvicella* auftritt, war eine geringere Häufigkeit zu erwarten.

Die übrigen vorgefundenen Fäden treten meist in geringer Häufigkeit und nur in einzelnen Fällen auf. Beim Vergleich der Häufigkeiten und der vorgefundenen Fädigkeiten wird deutlich, dass an den Betriebsproblemen, die durch massenhaftes Wachstum von fadenbildenden Bakterien entstehen, *M. parvicella* maßgeblich beteiligt ist.

8.2.2 Auftreten in Abhängigkeit von externen Randbedingungen

Abwasserzusammensetzung

Abbildung 8.5 zeigt das Auftreten der fädigen Organismen in Abhängigkeit vom Nährstoffverhältnis, hier vereinfacht dargestellt als Relation zwischen BSB_5 und TKN.

Microthrix parvicella scheint in den untersuchten Kläranlagen nahezu unabhängig von den Nährstoffverhältnissen mit großer Häufigkeit zu wachsen. Nocardioforme Actinomyceten wachsen dagegen insbesondere bei einem Kohlenstoffüberschuss mit hoher Fädigkeit. Die Aussage von KUNST ET AL. /2000/, nach der ein niedriges C/N-Verhältnis die Fäden begünstigt, scheint sich hier nicht zu bestätigen.

Typ 0092 wird in Anlagen mit Kohlenstoffüberschuss mit hoher Fädigkeit gefunden, bei Stickstoffüberschuss treten dagegen nur geringe Fädigkeiten auf. Die Fäden des Typs 0092 scheinen durch Stickstoffmangel begünstigt zu werden.

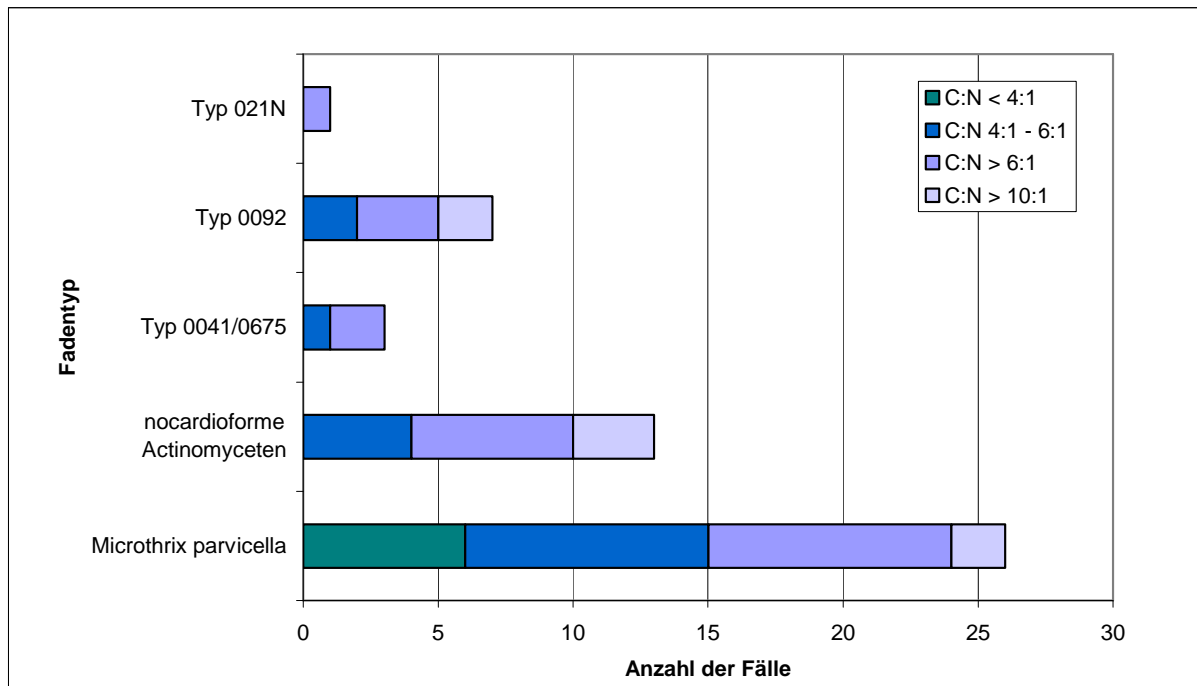


Abb. 8.5: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit vom Verhältnis BSB₅/TKN

Abwassertemperatur

Das Auftreten der Fäden in Abhängigkeit von der Jahreszeit ist in Abbildung 8.6 dargestellt.

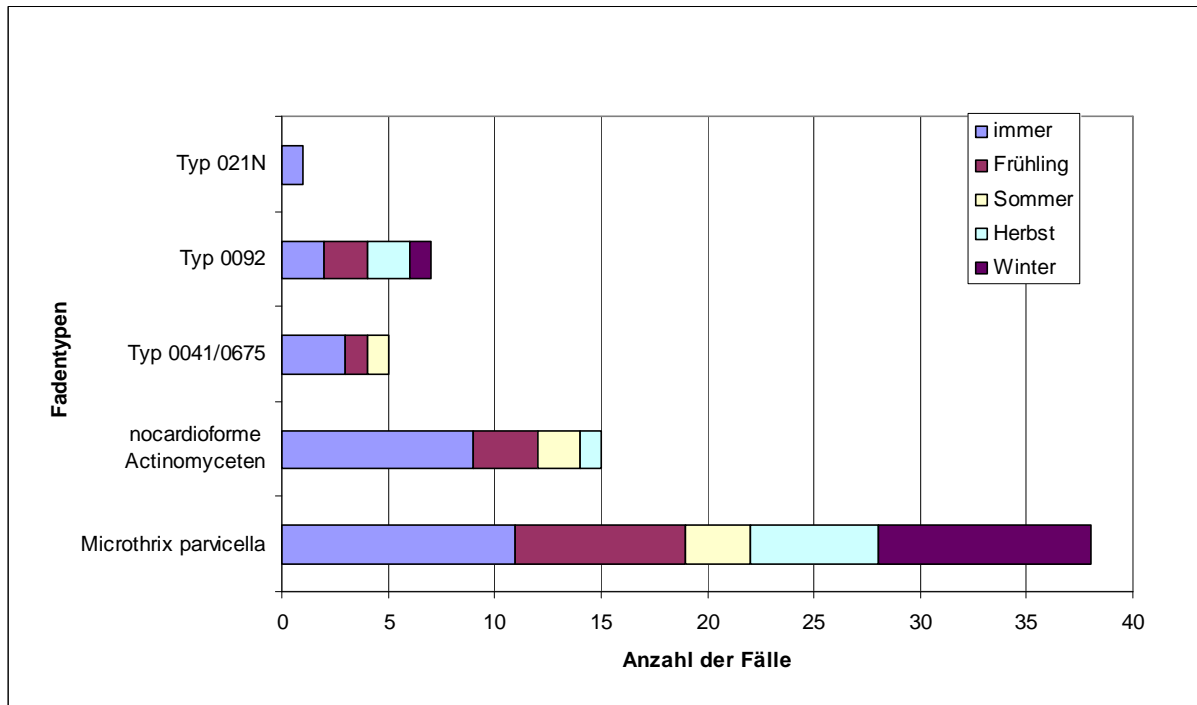


Abb. 8.6: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der Jahreszeit

Erstaunlich häufig treten hierbei die Niedriglastorganismen *Microthrix parvicella* und nocardioforme Actinomyceten das ganze Jahr über mit einer großen Häufigkeit auf. Dies widerspricht den Aussagen in der Literatur, die insbesondere für *M. parvicella* eine verstärkte Selektion bei

Abwassertemperaturen von $< 15\text{ °C}$ beschreiben. So gibt es Anlagenbetreiber, die ausschließlich im Frühjahr und Sommer Probleme mit *M. parvicella* beschreiben.

Die Typen 0041/0675 und 0092 sind auch auf einigen Anlagen ganzjährig festzustellen. Insgesamt sind deutlich weniger Problemfälle in den Sommermonaten zu verzeichnen, während das Frühjahr und der Herbst etwa gleichmäßig betroffen sind.

8.2.3 Auftreten in Abhängigkeit von verfahrenstechnischen Randbedingungen

Nachfolgend wird untersucht, bei welchen verfahrenstechnischen Randbedingungen mit einem verstärkten Wachstum der unterschiedlichen Fadenbakterien zu rechnen ist. Hierbei erfolgt eine Konzentration auf die Organismen, die dominant, also mit einer Häufigkeitsstufe von 5 – 7 auftraten.

Reaktortyp

Der am häufigsten vertretene Reaktortyp der untersuchten Kläranlagen ist der Rührkessel. Abbildung 8.7 zeigt, dass hier die meisten Fälle von Fadenbakterien mit hoher Häufigkeit auftreten. Da laut Aussage vieler Autoren gerade Rührkesselreaktoren aufgrund des fehlenden Substratgradienten das Wachstum der Fäden begünstigen, war diese Tendenz zu erwarten. Am häufigsten ist hier *Microthrix parvicella*, gefolgt von den nocardioformen Actinomyceten vertreten.

Gerade *M. parvicella* tritt in Anlagen mit Rohrreaktoren oder Kaskadenbecken ebenfalls zahlreich auf (6 von 8 Kaskadenbecken, 3 von 10 Rohrreaktoren). Dies deckt sich mit der Aussage einiger Autoren, dass diese Organismen durch einen Substratgradienten kaum zu unterdrücken sind. Die übrigen gefundenen Organismen mit hoher Häufigkeit treten deutlich häufiger in Rührkesseln als in Kaskadenbecken oder Rohrreaktoren auf. Hier scheint ein Substratgradient die Fäden tatsächlich zum Teil zu unterdrücken.

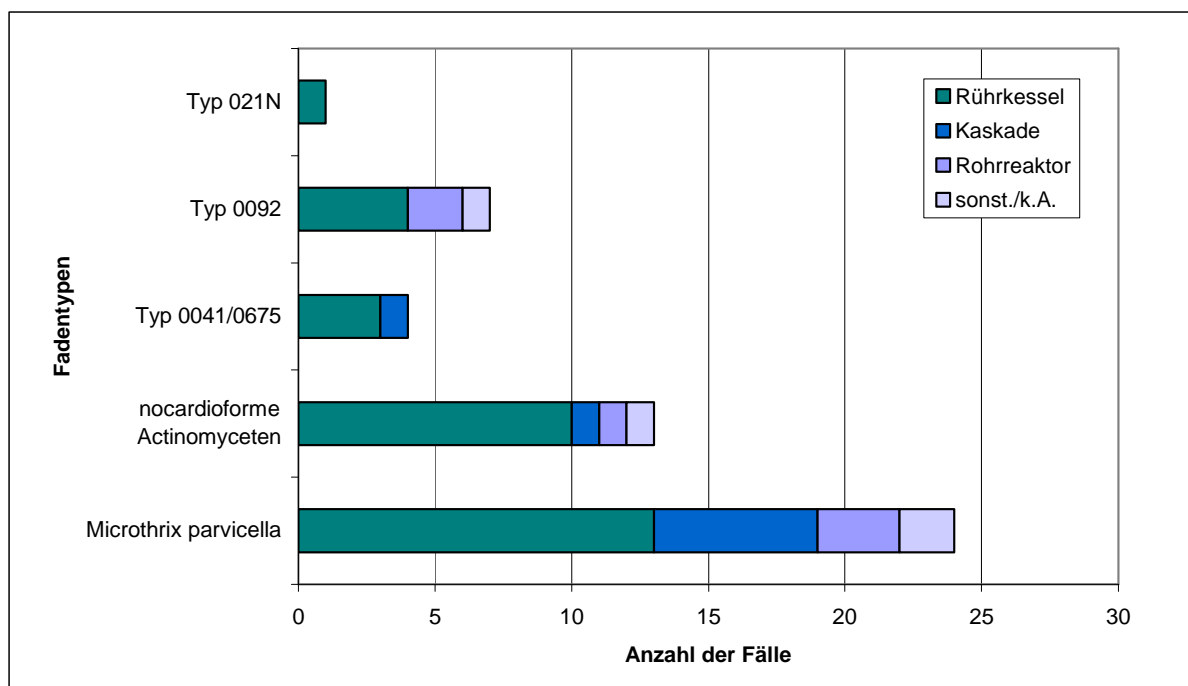


Abb. 8.7: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der Reaktorform

Schlammbelastung

Das Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der Schlammbelastung ist in Abbildung 8.8 dargestellt.

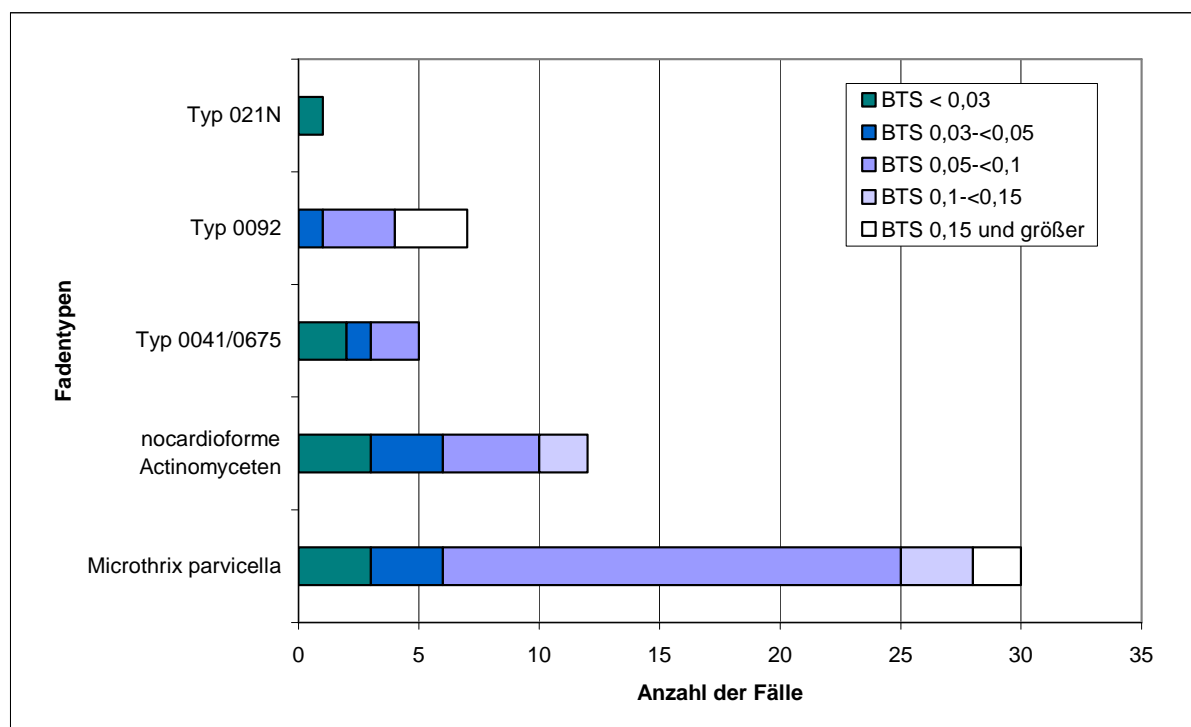


Abb. 8.8 Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der Schlammbelastung

M. parvicella scheint an den Belastungsbereich von 0,05-0,1 kg BSB₅/(kg TS-d) besonders gut angepasst zu sein. In allen Anlagen, die mit dieser Schlammbelastung betrieben werden, treten die Organismen mit großer Häufigkeit auf; ein Wachstum mit geringer Häufigkeit ist bei dieser Belastung nicht festzustellen.

Nocardioforme Actinomyceten wachsen mit großer Häufigkeit vor allem in einem Schlammbelastungsbereich von < 0,15 kg BSB₅/(kg TS-d). Im Gegensatz dazu wird in der Literatur das Wachstum nocardioformer Actinomyceten insbesondere in einem Belastungsbereich von 0,1-0,7 kg BSB₅/(kg TS-d) beschrieben. Das gesteigerte Vorkommen bei einer sehr niedrigen Schlammbelastung wird unter Umständen durch andere Selektionsfaktoren wie bspw. einen niedrigen Sauerstoffgehalt im Reaktor verursacht.

Typ 0041/0675 trat mit großer Häufigkeit bei einer Schlammbelastung bis 0,1 kg BSB₅/(kg TS-d) auf, mit geringerer Häufigkeit wächst der Organismus bei einer Schlammbelastung bis 0,15 kg BSB₅/(kg TS-d). Dagegen fanden KUNST ET AL. /2000/ die Fäden in kommunalen Anlagen mit Nährstoffelimination und einer Schlammbelastung unter 0,1 kg BSB₅/(kg TS-d) immer subdominant vor.

Die Fäden des Typs 0092 wachsen mit einer Häufigkeit von 5 - 7 bei einer Schlammbelastung von 0,03-0,1 sowie über 0,15 kg BSB₅/(kg TS-d). Die Bakterien scheinen eine niedrige Schlammbelastung zu bevorzugen, wenn sie nicht durch andere Faktoren selektiert werden. Dann sind sie sogar bei hoher Schlammbelastung zu starkem Wachstum fähig. Im Gegensatz dazu steht die Aussage von KUNST ET AL. /2000/, nach der Typ 0092 nicht über die Substrat-

qualität, sondern über die Schlammbelastung in Kombination mit der Temperatur selektiert wird.

Biologische Phosphatelimination

Die biologische Phosphorelimination kann nach Meinung einiger Autoren /z.B. GAUL UND KUNST 2002/ durch den Wechsel von aeroben und anaeroben Milieubedingungen das Wachstum einiger Fadenbildner beeinflussen. Hierbei werden unter Sauerstoffmangel Fettsäuren im Abwasser gebildet, die von vielen Fadenbakterien als Substrat genutzt werden können und so diesen Selektionsvorteile bieten.

Das Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der gezielten biologischen Phosphorelimination zeigt Abbildung 8.9.

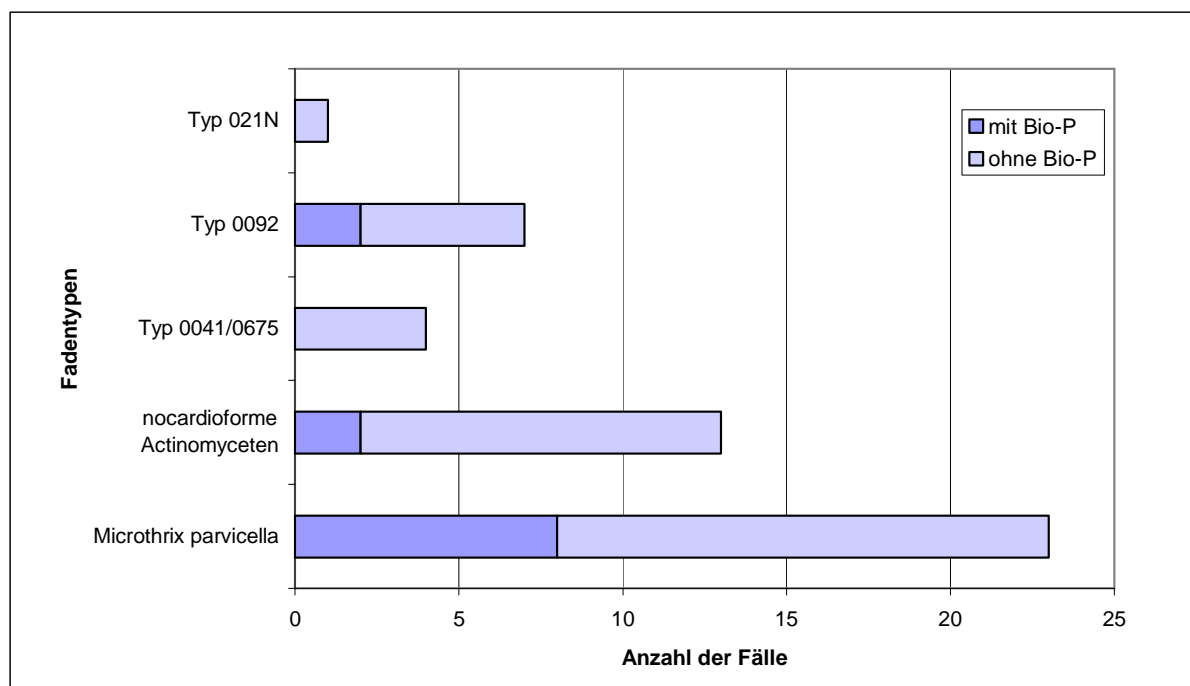


Abb. 8.9: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der biologischen Phosphatelimination

Entgegen der Aussagen von GAUL UND KUNST /2002/ wird *M. parvicella* in den untersuchten Anlagen nicht durch eine biologische Phosphorelimination gefördert. Die Organismen treten mit gleicher Häufigkeit (je ca. 40 %) in Anlagen mit und ohne biologische Phosphorelimination auf.

Nocardioforme Actinomyceten dagegen wachsen vermehrt in Anlagen ohne gezielte biologische Phosphorelimination; die Organismen werden durch anoxische und anaerobe Milieubedingungen unterdrückt. MATSCHÉ UND KREUZINGER /1998/ und LEMMER UND LIND /2000/ beschreiben Anlagen, die biologische Phosphorelimination betreiben, als weniger anfällig für Probleme mit nocardioformen Actinomyceten.

Typ 0041/0675 wächst mit hoher Fädigkeit ausschließlich in Anlagen ohne biologische Phosphorelimination, in Anlagen mit Elimination entwickelt sich der Organismus vor allem mit geringer Fädigkeit. Unter bestimmten Betriebsbedingungen können die Fäden des Typs 0041/0675 in anaeroben/anoxischen Zonen durch *M. parvicella* verdrängt werden.

Die Fäden des Typs 0092 treten nahezu unabhängig von der biologischen Phosphorelimination mit etwa gleicher Häufigkeit in Anlagen mit und ohne biologische Phosphorelimination auf, sowohl mit hoher als auch mit geringer Fädigkeit. Hier scheinen andere Selektionsfaktoren das Wachstum der Organismen zu beeinflussen. Die Aussage von LIND UND LEMMER /1998/, nach der die Dominanz der Bakterien durch anaerobe und anoxische Zonen erhöht wird, bestätigt sich nicht.

8.2.4 Auftreten in Abhängigkeit von den Milieubedingungen in der Anlage

Nachfolgend wird untersucht, bei welchen Milieubedingungen in der Anlage mit einem verstärkten Wachstum der unterschiedlichen Fadenbakterien zu rechnen ist. Hierbei werden exemplarisch nur der Sauerstoffgehalt im Belebungsreaktor sowie die Ammoniumkonzentration im Ablauf der Nachklärung zur Beurteilung herangezogen.

Sauerstoffkonzentration im Belebungsreaktor

Der Sauerstoffgehalt im Belebungsreaktor kann nach Literaturangaben einer der entscheidenden Faktoren für das verstärkte Wachstum einiger Fäden sein. Abbildung 8.10 zeigt das Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der maximalen Sauerstoffkonzentration im Belebungsreaktor.

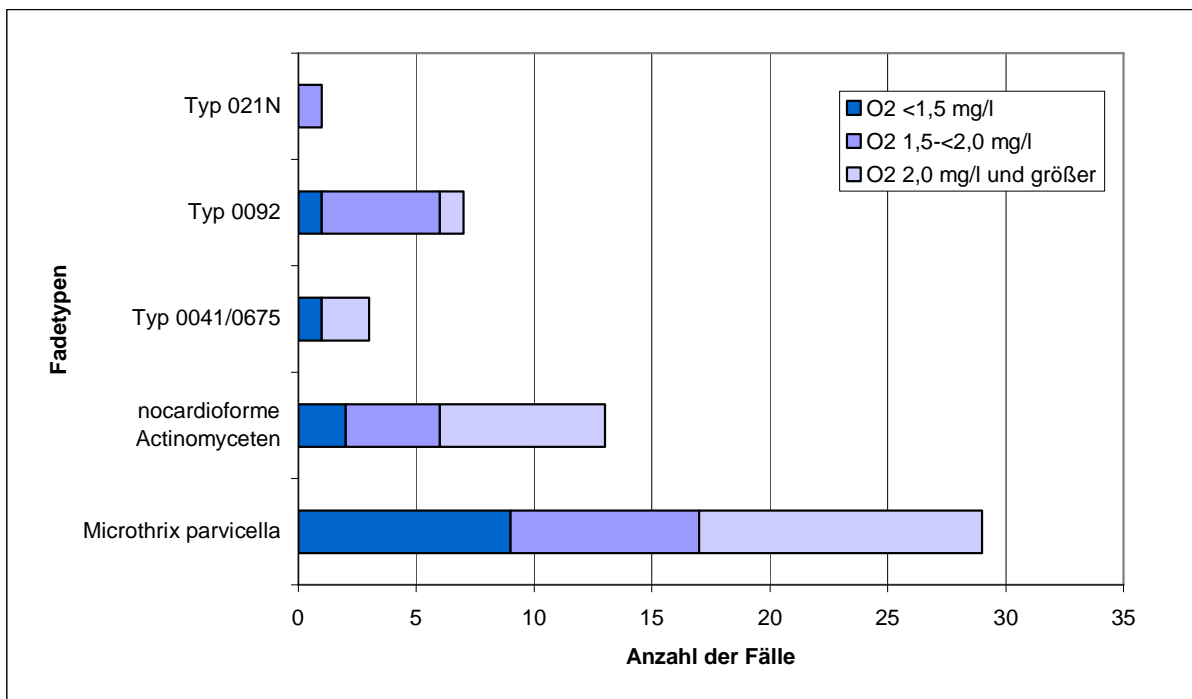


Abb. 8.10: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt im Belebungsreaktor

M. parvicella tritt in 75 % aller Anlagen mit einem durchschnittlichen Sauerstoffgehalt unter 1,5 mg/l mit großer Häufigkeit auf. Mit zunehmender Sauerstoffkonzentration nimmt das vermehrte Wachstum leicht ab, aber immer noch 48 % aller Anlagen mit einer Sauerstoffkonzentration über 2,0 mg/l sind durch eine starke Entwicklung von *M. parvicella* betroffen. Die Organismen sind demnach nicht alleine durch eine erhöhte Sauerstoffkonzentration aus der Mischbiozönose zu verdrängen, jedoch scheint eine niedrige Sauerstoffkonzentration das

Wachstum deutlich zu verstärken. Nocardioforme Actinomyceten werden durch hohe Sauerstoffkonzentrationen eher in ihrem Wachstum gefördert. In Anlagen mit hoher Sauerstoffkonzentration wachsen die Organismen vor allem mit großer Häufigkeit.

Der Typ 0041/0675 tritt nur in wenigen untersuchten Anlagen dominant auf; er scheint jedoch sowohl bei hoher als auch bei niedriger Sauerstoffkonzentration wachsen zu können. Die Organismen mit geringer Fädigkeit entwickeln sich vor allem in Anlagen mit hoher Sauerstoffkonzentration. Auch LIND UND LEMMER /2000/ beschreiben einen hohen Sauerstoffgehalt als fördernd für die Populationsentwicklung. Dagegen haben nach der ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1 /1998/ die Sauerstoffverhältnisse scheinbar keinen gravierenden Einfluss auf das Auftreten des Typs 0041/0675. Die Fäden des Typs 0092 treten vor allem bei mittleren Sauerstoffkonzentrationen von 1,5 bis 2,0 mg/l auf. Sinkt die Sauerstoffkonzentration, so entwickeln sich die Organismen überwiegend mit geringer Fädigkeit.

Ammoniumkonzentration im Ablauf

Die Ammoniumkonzentration lag bei 40 % der untersuchten Anlagen unter 1 mg/l, bei weiteren ca. 30 % wurden Ammoniumkonzentrationen zwischen 1 und 2 mg/l gemessen, in 25 % der Anlagen lagen die Konzentrationen über 2 mg/l. Die untersuchten Anlagen nitrifizieren somit fast alle vollständig. Das Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der Ammoniumkonzentration im Ablauf zeigt Abbildung 8.11.

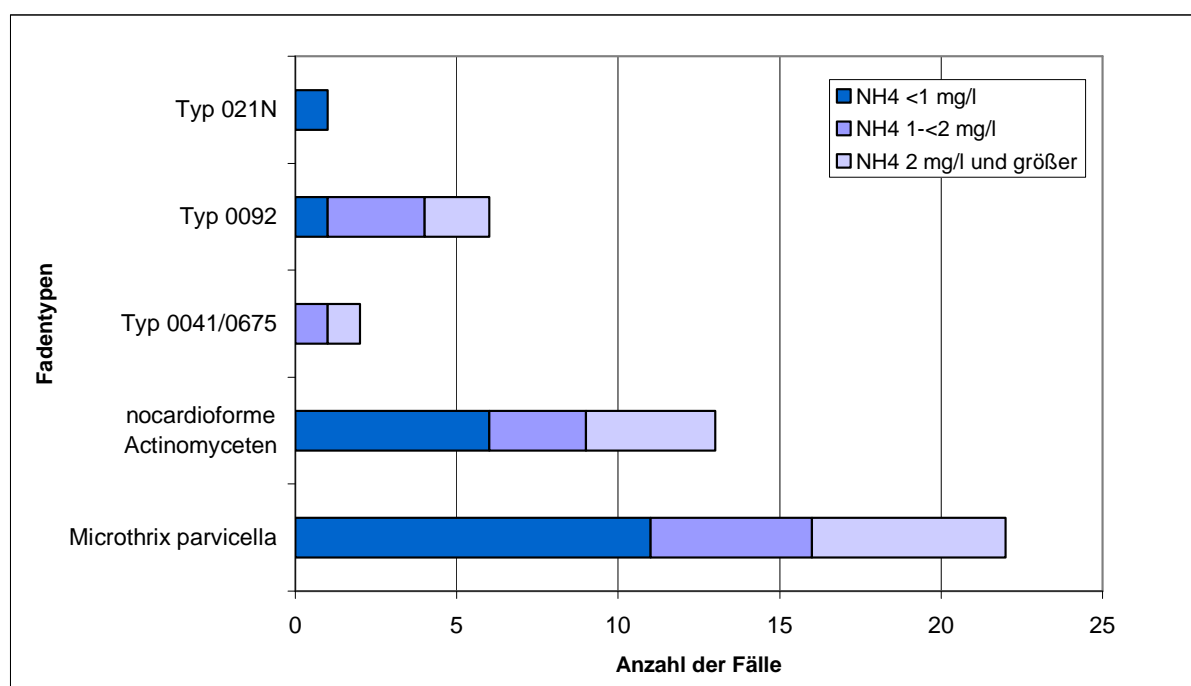


Abb. 8.11: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der Ammoniumkonzentration im Ablauf

M. parvicella wird durch eine Ammoniumkonzentration von über 2 mg/l leicht im Wachstum gefördert. In 54 % der Anlagen mit hoher Ammoniumkonzentration tritt *M. parvicella* dominant auf, bei geringerer Ammoniumkonzentration nur in je ca. 40 % der Anlagen. Entgegen den Aussagen einiger Autoren wird *M. parvicella* in den untersuchten Anlagen nur geringfügig durch eine erhöhte Ammoniumkonzentration gefördert; die Konzentration scheint nur ein untergeordneter Selektionsfaktor für den Organismus zu sein.

Nocardioforme Actinomyceten treten ebenso wie *M. parvicella* bei nahezu allen Ammoniumgehalten auf, die Fäden scheinen ebenfalls durch andere Faktoren selektiert zu werden. Die Fäden des Typs 0041/0675 dagegen wachsen nur bei Ammoniumkonzentrationen über 1 mg/l mit hoher Fädigkeit, liegen die Konzentrationen unter 1 mg/l, so entwickeln sich die Organismen nur mit geringer Häufigkeit. Auch der Typ 0092 tritt verstärkt bei Konzentrationen über 1 mg/l in den untersuchten Anlagen auf. Liegt die Ammoniumkonzentration unter 1 mg/l, so wachsen die Bakterien vermehrt mit geringer Häufigkeit.

8.2.5 Bekämpfungsmaßnahmen

Zur Bekämpfung der fadenförmigen Organismen wurden auf den untersuchten Anlagen sehr unterschiedliche Methoden angewendet. Neben der Variation des TS-Gehaltes (und damit der Schlammbelastung) sowie des Sauerstoffgehaltes in der Belebung wurde vor allem versucht, durch Zugabe von Hilfsstoffen dem Problem zu begegnen.

Hierbei wurden neben rein beschwerenden Substanzen wie Steinmehl und Braunkohlkoksstaub (also Mitteln, die die Symptome bekämpfen und durchaus zu einer Linderung der Probleme führen können), insbesondere Chemikalien auf der Basis von Metallsalzen zur Bekämpfung sowie Polymere zur Verbesserung der Flockungseigenschaften zugeführt. Die Metallsalze dienen hierbei neben der Bläh- bzw. Schwimmschlammbekämpfung auch zur chemisch-physikalischen Phosphatelimination.

Exemplarisch soll in Abbildung 8.12 das Auftreten der unterschiedlichen Fadenbakterien in Abhängigkeit vom eingesetzten Fällmittel zur chemisch-physikalischen Phosphatelimination aufgezeigt werden.

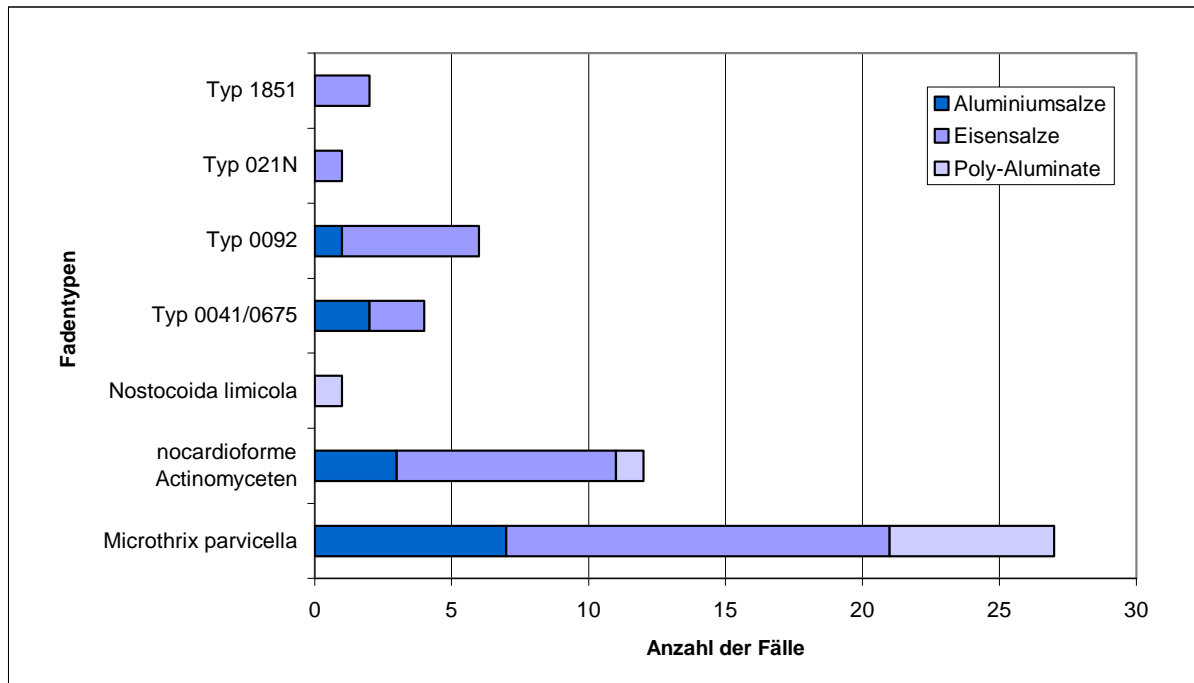


Abb. 8.12: Auftreten der Fadenbakterien in Abhängigkeit von der Ammoniumkonzentration im Ablauf

Prinzipiell ist festzustellen, dass auf etwa 60 % der Anlagen Eisensalze (z.B. Eisensulfat oder Eisenchlorid) verwendet werden, in 25 % der Anlagen Aluminiumsalze wie Aluminiumsulfat

oder Natriumaluminat. Weitere 15 % der Anlagen setzen Aluminiumchlorid bzw. Poly-Aluminiumchlorid zur Phosphat-Fällung ein.

Verschiedene Autoren beschreiben, dass eine Fällung mit Poly-Aluminiumchlorid bzw. Aluminiumchlorid eine wirksame Maßnahme gegen *M. parvicella* darstellt. Anhand der Ergebnisse der untersuchten Kläranlagen kann dies nicht bestätigt werden, da *M. parvicella* in 85 % der Anlagen, die die entsprechenden Chemikalien einsetzen, mit hoher Fädigkeit auftritt (hierbei ist jedoch anzumerken, dass die Kontrolle des 'richtigen' Einsatzes des Mittels (Zugabeort, Dosiermenge, Zeitraum der Zugabe) nicht in die Auswertung mit aufgenommen wurde). Bei den Anlagen, die herkömmliche Aluminiumsalze als Fällmittel verwenden, tritt *M. parvicella* in 58 % der Anlagen mit hoher Fädigkeit auf. Die als wachstumsfördernd beschriebenen Eisensalze /z.B. MATSCHÉ UND KREUZINGER 1998, LIND UND LEMMER 1998/ scheinen den Organismus weniger zu begünstigen als erwartet. Hier tritt der Organismus aber immer noch in 48 % der Anlagen mit erhöhter Fädigkeit auf.

Nocardioforme Actinomyceten wachsen bei einer Fällung mit Aluminiumsalzen und einer Fällung mit Eisensalzen mit etwa gleicher Häufigkeit. Lediglich bei einer Fällung mit (Poly-) Aluminaten kommen die Organismen in deutlich geringerer Häufigkeit vor. Dagegen beschreiben die ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1 /1998/ und LIND UND LEMMER /1998/, dass nocardioforme Actinomyceten durch eine Phosphat-Fällung mit Aluminiumsalzen im Wachstum gefördert werden.

Zusammenfassend ist somit festzustellen, dass eine alleinige Umstellung des Fällmittels in vielen Fällen nicht zum Erfolg führen wird. Vielmehr muss versucht werden, daneben auch andere Selektionsfaktoren so zu verändern, dass ein übermäßiges Wachstum der Fäden unterdrückt wird.

9 AUSBLICK

Die Auswertung der anhand der 55 rheinland-pfälzischen Anlagen sowie der Fälle aus der Literatur entwickelten Falldatenbank zeigt, dass es sich bei dem Problem Bläh- und Schwimmschlamm nicht um ein eindimensionales Problem handelt, sondern dass in der Regel vielfältige Faktoren zur Entstehung der Problematik führen. Dies können abwasserspezifische Faktoren wie beispielsweise eine einseitige Abwasserzusammensetzung sein, aber auch verfahrenstechnische Randbedingungen wie die eingestellte Schlammbelastung, die Art der Belüftung, der erreichbare Sauerstoffgehalt sowie das eingesetzte Fällmittel spielen bei der Entstehung der Fäden eine Rolle.

Zur Bekämpfung der Problematik wird es meist nicht ausreichend sein, nur eine Maßnahme auf der betroffenen Anlage umzusetzen, in der Regel wird ein Maßnahmenpaket 'zu schnüren sein', das die Randbedingungen der Anlage (wie beispielsweise die Erfordernis der aeroben Schlammstabilisierung, die die einstellbare Schlammbelastung nach oben begrenzt) zu berücksichtigen hat.

Patentrezepte, die auf jeder Anlage mit hundertprozentigem Erfolg eingesetzt werden können, gibt es derzeit leider nicht (insbesondere nicht bei der Bekämpfung der Niedriglastbakterien). Werden jedoch die entsprechenden Maßnahmen, die sich an den Selektionsfaktoren der identifizierten Organismen orientieren, umgesetzt, können in der Regel günstige Auswirkungen auf die Absetzfähigkeit des Schlammes beobachtet und ein ordnungsgemäßer Betrieb der Abwasserreinigungsanlage wieder möglich gemacht werden.

Literatur

Aamodt, A. und Plaza, E. (1994):

„Case-based-Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches“

in: AI Communications, Vol. 7, pp. 39 - 59

Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1 (1998):

„Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum in Belebungsanlagen – Ursachen und Bekämpfung“

in: Korrespondenz Abwasser Jg. 45, Heft 10, S. 1959 - 1968

Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1 (1988):

„Verminderung und Bekämpfung von Blähschlamm und Schwimmschlamm“

in: Korrespondenz Abwasser Jg. 35, Heft 2, S. 152 - 164

Baumann, P.; Schmitz, S. und Wedi, D. (2000):

„Konstruktive und betriebliche Maßnahmen zur Bekämpfung von Schwimmschlamm und Schaum in Belebungsanlagen“

Vortrag beim Seminar „Transparente Kläranlagen“ im Rahmen der Dr. Bruno Lange GmbH am 10.05.2000 in Stuttgart

Bergmann, R. (1996):

„Effizientes Problemlösen durch flexible Wiederverwendung von Fällen auf verschiedenen Abstraktionsebenen“

Dissertationen zur künstlichen Intelligenz, Band 138, infix, St. Augustin

Brinkmann, S. (2003):

„Entwicklung eines Maßnahmenkatalogs zur Bekämpfung von fädigen Bakterien in Kläranlagen“

Diplomarbeit am FG SIWAWI, Technische Universität Kaiserslautern

Chudoba, J.; Grau, P. und Ottova, V. (1973):

„Control of activated sludge filamentous bulking I.“

in: Water Research, Vol. 7, pp. 1163 - 1182

Eikelboom, D. H. und van Buijsen, H. J. I. (1992):

„Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung“

Hirthing-Verlag, München

Eikelboom, D. H. (1977):

„Identification of filamentous organisms in bulking activated sludge“

in: Water Science & Technology, Vol. 8, pp. 153 – 161

Gaul, T. und Kunst, S. (2002):

„Identifizierung und Quantifizierung von *Microthrix parvicella*: Erfolgskontrolle spezifischer Bekämpfungsmaßnahmen.“

Tagungsband zur Microthrix parvicella-Tagung am 25./26. Februar 2002

Herbst, H. und Dohmann, M. (2001):

„Betriebsprobleme in kommunalen Kläranlagen durch Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum“

in: Dresdner Berichte, Band 17, S. 57 - 90

Jenkins, D., Richard, M. G. und Daigger, G. J. (1993):

„Manual on the causes of control of activated sludge bulking and foaming“

Ridgelines Press, Lafayettes, California

Kunst, S.; Helmer, C. und Knoop, S. (2000):

„Betriebsprobleme auf Kläranlagen durch Blähschlamm, Schwimmschlamm, Schaum“

Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

Lemmer, H. und Lind, G. (2000):

„Blähschlamm, Schaum, Schwimmschlamm – Mikrobiologie und Gegenmaßnahmen“

Hirthammer-Verlag, München

Lemmer, H. (1996):

„Ursachen und Bekämpfung von Blähschlamm“

in: Ökologie der Abwasserorganismen; S:245 - 271

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Lemmer, H. und Baumann, M. (1988):

„Scum actinomycetes in sewage treatment plants“, Part 3, Synergisms with other sludge bacteria

in: Water Research, Vol. 22, pp. 765 - 767

Lind, G. und Lemmer, H. (1998):

„Biologische Charakterisierung von Schäumen in Belebungsanlagen“ Teil I: Bedeutung fädiger Belebtschlamm Bakterien

in: gwf Wasser-Abwasser, Heft 1, S. 1 - 6

Marques Alves, M. (2002):

„Aufbau und Erprobung einer Erfahrungsdatenbank zur Identifizierung von fädigen Bakterien unter Verwendung von Fallbasiertem Schließen“

Diplomarbeit am FG SIWAWI, Technische Universität Kaiserslautern

Matsché, N. und Kreuzinger, N. (1998):

„Blähschlamm, Schwimmschlamm, Schaum – Ursachenerkennung und Bekämpfung“

in: Wiener Mitteilungen, Band 145, S. 141 - 177

Stetzer, T. (2000):

„Ursachen der Blähschlamm-
bildung in Kläranlagen und denkbare Bekämpfungsmaßnahmen“

*in: 13. ATV-DVWK-Sonderveranstaltung der vorderpfälzischen Nachbarschaften,
S. 15 - 26, Königsbach*

Weiß, S. (1996):

„Fallbasiertes Problem lösen in wissensbasierten Systemen zur Entscheidungsfindung und Diagnostik: Grundlagen, Systeme und Entscheidungen“

Dissertationen zur künstlichen Intelligenz, Band 126, infix, St. Augustin