

Sphaerotilus natans, gelöste und ungelöste Fragen

Professor Dr. Ludwig Scheuring, München¹

Wenn auch das Abwasser als solches noch nicht salonfähig geworden ist und es auch wohl nie werden wird, so sind doch die Zeiten endgültig vorüber, zu denen es nicht beachtet oder als unumgängliches, lästiges Übel angesehen wurde, dem man möglichst aus dem Wege ging. Die Abwasserfrage, die Beschäftigung mit ihr und ihre Lösung sind zu einem wichtigen Problem geworden, dessen volkswirtschaftliche und auch zivilisatorische Bedeutung immer mehr erkannt wird. Eine immer größere Zahl von Wissenschaftlern und Praktikern — Techniker der verschiedenen Fachrichtungen, Chemiker, Biologen und Hygieniker — beschäftigt sich mit der Beseitigung, der Unschädlichmachung und der Verwertung von häuslichen, kommunalen, gewerblichen und industriellen Abwässern und sieht darin ihre Lebensaufgabe.

Wer einmal das Problem Abwasser in seiner ganzen Größe, seinem Umfang, seiner Vielgestaltigkeit und seiner Wichtigkeit erkannt hat, wird immer wieder an seiner Lösung arbeiten, getreu dem Worte von Nietzsche: Es kann alles zur Leidenschaft werden, man muß es nur oft genug tun.

Wenn ich Ihnen heute über einen Organismus berichten darf, der allen Abwasserfachleuten und allen an der Reinhaltung der Gewässer Interessierten bekannt ist und schon Kopfschmerzen gemacht hat, so ist es uns eine Genugtuung, daß es gelang, unsere Kenntnisse der Biologie von Sphaerotilus, des häufigsten „Abwasserpilzes“, der gar kein echter Pilz, sondern ein Fadenbakterium ist, zu erweitern. Daß leider noch manche Fragen ungelöst sind, deutet der Titel des Vortrages an.

Sphaerotilus natans, der von „Betroffenen“ häufig und mit einem gewissen Recht Sph. „satans“ genannt wird, ist der Wasserfeind Nr. 1. Überall dort, wo eiweiß- und kohlenhydrathaltige Abwässer in Vorfluter gelangen, wuchern die langen, klebrigen, nur 2 bis 5 μ dicken, an einer Unterlage haftenden Fäden. Sie besitzen eine Schleimscheide in der reihenförmig die 3 bis 11 μ langen Bakterienzellen stecken. Sie bilden Bündel, Zotten, Rasen, Fladen und Polster, die so dicht und geschlossen sein kön-

¹ Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse aus: L. Scheuring und G. Höhnl, Sphaerotilus natans, seine Ökologie und Physiologie, in: Schriften des Vereins der Zellstoff- und Papier-Chemiker und -Ingenieure, Bd. 26, Darmstadt 1956. Vorgetragen von Dr. Claus Zehender.

nen, daß sie die natürliche Lebensgemeinschaft der Flußsohle überdecken und vernichten. Die Wasserströmung reißt Flocken und Fladen von dem Bewuchs ab und verfrachtet sie als Pilz- oder Flockentreiben zu Tal, meist über weitere Strecken, als sich die eigentliche Pilzwachstumszone unterhalb einer Abwasserquelle erstreckt.

In Stillwasserbereichen, besonders in Stauräumen, kommen die Pilze zum Absetzen und bilden Pilzschlammبانke. Diese faulen, entziehen dem Wasser den Sauerstoff und steigen, besonders wenn sie mit Faulgasen angereichert sind, bei steigender Wassertemperatur hoch. Sie verursachen oft einen totalen Sauerstoffschwund, der katastrophale Fischsterben zur Folge hat und zusammen mit den triftenden Flocken den Gemeingebrauch am Wasser schädigt oder unmöglich macht.

Jedem Abwasserfachmann und Fischer ist bekannt, daß *Sphaerotilus*-wucherungen und Pilztreiben in der kühleren Jahreszeit, besonders im Herbst üppiger sind als im Sommer, und diese Tatsache führte zu der Annahme, daß *Sphaerotilus* ein kälteliebender Organismus sei. Dies stimmt jedoch nicht ganz. Tatsächlich wächst *Sphaerotilus* in einem sehr breiten Temperaturbereich von 2,5 bis 43 ° C. In 162 Kulturversuchen im Stufen-thermostaten verhielten sich allerdings verschiedene *Sphaerotilus*-Stämme nicht ganz gleich, sondern ergaben bei entsprechenden Temperaturen verschiedene Zuwachsmengen. Bei einem Wildstamm aus der Donau setzte das Wachstum schon bei 4 ° ein, bei einem schon lange in Kultur befindlichen Laborstamm erst bei 9 °. Ersterer erreichte seine obere Wachstumsgrenze bei 32 °, letzterer bei 41 °. Besonders interessant ist, daß die Erntegewichte mit steigenden Wärmegraden rasch ansteigen, bei 10 °, bzw. 15 °, ein Maximum erreichen und dann langsam abnehmen.

Zu betonen ist noch, daß das Wachstum nicht streng der RGT-Regel folgt. Wohl setzt das Wachstum bei höheren Temperaturen rascher ein, nimmt aber nach drei bis vier Tagen ab, weil offenbar der Stoffwechselmechanismus geschädigt wird. Die Erntegewichte bleiben dabei hinter denen der optimalen Temperaturen zurück.

Für den Wildstamm aus der Donau wurden die im Kulturversuch gewonnenen Ergebnisse durch zweijährige Freilandbeobachtungen und Temperaturmessungen unterhalb der Zellstoff-Fabrik Ehingen bestätigt. Unter 4 ° erfolgten kein Wachstum und keine Vermehrung und es ist sicher, daß *Sphaerotilus* durch tiefere Temperaturen geschädigt wird. Wenn längere Zeit die Wassertemperatur 2 ° und darunter beträgt, neigen die Pilzbeläge dazu, sich bei steigenden Wärmegraden und steigenden Wasserständen von der Unterlage zu lösen. Das öfter im Frühjahr zu beobachtende starke Pilztreiben nach der Schneeschmelze hat darin seinen Grund.

Angaben, daß in unserem Klima *Sphaerotilus* auch bei 2⁰ und weniger wächst, sind sicher falsch. Offen bleibt die Frage, ob er sich in kälteren Ländern an niedere Temperaturen anpaßt.

Wenn zweifelsohne im Herbst und Frühjahr die Verpilzung in verschmutzten Flüssen zunimmt, so beruht dies darauf, daß bei niederen Wassertemperaturen andere, wärmeliebende Bakterien in ihrem Wachstum gehemmt werden und deshalb *Sphaerotilus*, der bei 10⁰ optimal gedeiht, mehr Nährstoffe zur Verfügung stehen.

Auch für den pH-Bereich, der von *Sphaerotilus* vertragen wird, wurde seine Wachstumspotenz gravimetrisch verfolgt. Auch hier zeigte der Wildstamm ein engeres Intervall als der Laborstamm. Es liegt zwischen pH 5,8 und 8,5, bzw. zwischen 5,5 und 9,5, mit Optima zwischen 5,8 und 6,5, bzw. 5,8 und 7,5.

Auffallend war, daß in verdünnten Buchenabläugen mit einem pH 6 das üppige Wachstum von *Sphaerotilus* sofort aufhörte, wenn der pH-Wert um nur 0,2 sank.

Die Abbaugeschwindigkeit der gut ausnutzbaren Glukose, bei verschiedenen pH-Werten, wurde in der Warburg-Apparatur durch Bestimmung der Sauerstoffaufnahme verfolgt. Die Versuche zeigten, daß dieser Zucker am raschesten bei pH 6—7 abgebaut wird, und daß *Sphaerotilus* gegen saure Reaktion weit empfindlicher ist als gegen alkalische.

Mit diesen experimentellen Ergebnissen stimmen Freilandbeobachtungen völlig überein. In einem stark mit Sulfitabläugen überlasteten Wildbach, der zunächst durch Moränenschotter fließt und dann in Jura-Kalk übertritt, fehlte *Sphaerotilus* praktisch völlig bis durch den abwärts anstehenden Kalk die Reaktion von pH 5,5 auf pH 6,0 erhöht wurde.

In einem anderen Falle verschwand der *Sphaerotilus*-Bewuchs unterhalb der Abwassereinleitungsstelle als das Zellstoffwerk eine Verdampferanlage einbaute, die durch ihre sauren Brüdenkondensate die Reaktion des Gesamtabwassers auf pH 5,5 herabdrückte, und trat erst wieder auf als weiter unterhalb durch die hohe Kalkhärte des Wassers — 14 DHG — die Reaktion abgestumpft war.

Massenvorkommen von *Sphaerotilus* werden nur in fließenden, unreinigten Gewässern beobachtet und ihr Erscheinungsbild ist recht verschieden. Bald überzieht ein geschlossenes, rasenartiges Polster oder ein fellartiger, schleimiger Belag die Ufer und den Gewässergrund, bald hängen am Ufergebüsch, an Gräsern und Wasserpflanzen mehr oder weniger lange, fingerförmige bis schafschwanzähnliche Zotten, bald aber können nur einzelne, kleine, zarte, oft fiederförmige Flöckchen und Büschel an Steinen und Pflanzen beobachtet werden.

Immer ist das Wachstum, das an eine Unterlage gebunden ist, in der Nähe der Einleitungsstelle der Abwässer üppiger und dichter, als nach dessen stärkerer Verdünnung und zeigt somit seine Abhängigkeit von der Nährstoffkonzentration an.

Das geschilderte Erscheinungsbild zeigt aber auch Beziehungen zur Wasserströmung. An rasch fließenden Stellen findet man mehr flächige, polster- und fellartige Beläge, in langsam strömenden Strecken mehr einzelne Zotten, Büschel und fiederförmige Flocken. In mit Abwasser belasteten Seen tritt *Sphaerotilus* nur in kleinen Flocken an, der durch den Wind bewegten Uferzone auf.

Aus diesen Erscheinungen schlossen die Praktiker, die meisten älteren Autoren und von den jüngeren besonders Liebmann (1951), daß *Sphaerotilus* für sein Gedeihen einer bestimmten, relativ kräftigen Strömung bedürfe und ausgesprochen strömungsabhängig sei, obgleich die Tatsache, daß er sich in Standkulturen und auch auf festen Nährböden züchten läßt, gegen diese Ansicht spricht.

Wir gingen 1952 bei der Schaffung unserer Zirkulations- und Durchflußapparaturen, bei denen die Nährflüssigkeit in ständiger Bewegung gehalten wird, von dem Gedanken aus, daß die Wasserbewegung als solche für das Gedeihen von *Sphaerotilus* nicht ausschlaggebend ist, sondern daß durch sie, wie im fließenden Bach, der Bakterienkolonie ständig neue Nährstoffe zugeführt werden.

Hier seien kurz die Versuchsapparaturen geschildert. In dem Zirkulationsapparat, der in der Zellstoff-Fabrik Waldhof, Werk Wangen, stand, einem elliptischen Trog, der gegen einfallenden Schmutz abgedeckt war, wurde die Kulturflüssigkeit — verdünnte Sulfitablauge — durch ein Paddelrad in zirkulierender Bewegung — 5 bis 25 cm/sec — gehalten und belüftet. Als Anhaftflächen für *Sphaerotilus*-Flocken dienten Siebe aus V 4 A-Stahl. Der Trog wurde mit gewaschenen Pilzflocken aus dem Vorfluter, oder mit Reinkulturen von *Sphaerotilus* beimpft. Der Nährstoffabbau wurde durch Bestimmung des KMnO_4 -Verbrauchs verfolgt und, wenn dieser nicht weiter absank, wurde die zugewachsene Pilzsubstanz quantitativ gesammelt und bestimmt.

Die Entwicklung der Durchflußapparaturen im Labor der Schwäbischen Zellstoff AG, Ehingen, kostete sehr viel Mühe und Zeit bis sie zuverlässig arbeiteten. Die am meisten verwendete Apparatur bestand aus einem Kulturgefäß mit einem Röhrenfilter als Ansatzstelle für den *Sphaerotilus*-Bewuchs, einem Wasserstandrohr mit Ablauf und einem Druckausgleichschlauch. Nach Beimpfung mit *Sphaerotilus*-Reinkulturen wurde die Filterkerze von unten nach oben von der Nährlösung umspült, die aus einem vorgeschalteten Misch- und Belüftungsgefäß zufloß.

Der Hauptunterschied zwischen der Zirkulations- und der Durchlaufapparatur war der, daß in ersterer die gleiche Kulturflüssigkeit ständig zirkulierte, während in der letzteren immer neue zu- und abfloß.

Die anderen Methoden und Apparate, die benutzt wurden, Stand- und Schüttelkulturen, wie sie in der Bakteriologie üblich sind, und die Warburg-Apparatur zur Bestimmung des Gasstoffwechsels dürfen hier als bekannt vorausgesetzt werden.

Entsprechend seinem Vorkommen in fließenden Gewässern wurde *Sphaerotilus* allgemein als stark sauerstoffbedürftig angesehen. Die Versuche von Naumann (1933), seinen Sauerstoffbedarf zu bestimmen, befriedigten nicht und nur Stokes (1952) hatte mit der Warburg-Apparatur festgestellt, daß *Sphaerotilus* mit sehr wenig Sauerstoff auskommt und vorübergehend sogar anaerobe Bedingungen ertragen kann.

Im Zirkulationstrog konnte *Sphaerotilus* noch bei einem Sauerstoffgehalt von 2—2,5 mg/l leben, zeigte aber wirklich gutes Wachstum erst bei 3 mg/l. Weiter wurde in der Warburg-Apparatur in 252 Versuchen mit 756 Einzelmessungen der Atmungsquotient von vier Wildstämmen und dem Laborstamm bestimmt. Für erstere lag der QO_2 -Wert zwischen 12,12 und 16,0, für letzteren betrug er 8,28. Diese Zahlen zeigen, daß der O_2 -Bedarf von *Sphaerotilus* verglichen mit dem anderer Bakterien recht niedrig ist und z. B. gegenüber dem von *Azotobakter* nur ein Zehntel beträgt.

Zweifelsohne beruht diese Tatsache auf der sehr geringen Wachstumsgeschwindigkeit von *Sphaerotilus*. Diese schließt aber nicht aus, daß es über starken *Sphaerotilus*-Wucherungen in Flüssen zu beträchtlichen O_2 -Defiziten kommen kann. Entsprechende Reihenmessungen und Freilandbeobachtungen fehlen noch.

Trotz seines Vorkommens in Gewässern mit recht verschiedenen Härtegraden ist die Toleranz von *Sphaerotilus* gegenüber dem Salzgehalt nicht besonders groß. Lackey und Wattie (1940) hatten als Grenzwerte für die Gesamtnährsalzkonzentration 0,03 % festgestellt. Dieser Wert ist aber zu niedrig.

In Fleischextraktlösungen mit steigenden Zusätzen von Kochsalz erhielten wir geringeres Wachstum von *Sphaerotilus* bei Konzentrationen von 0,2 % und es blieb bei 0,3 % völlig aus. In der Warburg-Apparatur beeinflussten Phosphatpufferlösungen bis zu 0,14 % die Atmung von *Sphaerotilus* überhaupt nicht, höhere schädigten sie in steigendem Maße, und 0,56 % verursachten irreversible Schädigungen an den Zellen.

Der experimentell festgestellte Grenzwert für die erträgliche Salzkonzentration liegt somit bei 0,2 %, und dieser stimmt mit Freilandbeobach-

tungen gut überein. Stärker versalzene Flüsse, z. B. im Kaliabbaugebiet zeigen keine Verpilzung.

Über die von *Sphaerotilus* ausnutzbaren N-Quellen gingen die vorliegenden Literaturangaben weit auseinander und auf eine Besprechung kann deshalb verzichtet werden.

Fest steht jetzt, daß von anorganischen N-Verbindungen molekularer Stickstoff und Nitrite nicht ausgenutzt werden. Gut verwertet *Sphaerotilus* Nitrate, jedoch kann er nur schlecht Ammonium-Verbindungen umsetzen.

Letztere ermöglichen zwar eine gewisse Entwicklung, können aber kein Massenwachstum unterhalten. Diese Erscheinung zeigt sich besonders oft in städtischen Kläranlagen, wo eigentlich gut ausnutzbare C-Quellen reichlich zur Verfügung stehen.

Von organischen N-Quellen kommen für *Sphaerotilus* in erster Linie Aminosäuren, Peptone und gelöste Eiweiße in Betracht und in beschränktem Umfange auch Harnstoff. Letzterer kann deshalb keine Massentwicklung induzieren, weil er offenbar von *Sphaerotilus* durch eine Urease in CO_2 und NH_4 zerlegt wird. Weitere Untersuchungen zu diesem Punkt wären erwünscht.

Daß Aminosäuren eine gute N-Quelle, z. T. auch ein gutes Nährsubstrat für *Sphaerotilus* sind, ist schon seit Linde (1913) bekannt und wurde von Lackey & Wattie (1940), von Wuhrmann (1949) und von Stokes (1954) bestätigt. Nach Wuhrmann sollten Aminosäuren sogar für die Entwicklung von *Sphaerotilus* unentbehrlich sein, aber nur in Konzentrationen von 200—300 γ/l ; höhere sollten sogar giftig wirken.

Die Wuhrmann'schen Angaben stimmen jedoch nicht ganz, da man noch gutes Wachstum von *Sphaerotilus* in Fleischextraktlösungen, die einzelne Aminosäuren in Konzentrationen bis zu 100 000 γ/l enthalten, beobachten kann.

Wie die folgende Tabelle zeigt, sind gewisse Aminosäuren eine hervorragende N-Quelle und können zur gleichen Zeit auch der Kohlenstoffversorgung dienen. Andere erfüllen erstere Aufgabe nur beschränkt und versagen bei letzterer. Dabei ist keine Abhängigkeit von der chemischen Konfiguration dieser Verbindungen zu ihrer Verwertbarkeit zu erkennen.

Peptone und lösliche Eiweiße — Albumine und Globuline — sind sowohl hervorragende N- wie C-Spender und werden durch oxydativen Abbau, dem eine Spaltung der Peptidbindung vorangeht, umgesetzt. Darauf beruht das Massenvorkommen von *Sphaerotilus* auf den Abwässern von Molkereien und beim Zusammentreffen von pepton- und eiweißhaltigen Abwässern mit zuckerhaltigen.

Substrat	N-Quelle	C-Quelle
Alanin	++++	+++
Asparagin	+++++	++++
Asparaginsäure	++++	+++
Arginin	+++	+
Glutamin	+++++	+++
Glutaminsäure	+++	++
Methionin	+++	—
Threonin	+++	—
Tyrosin	+	—
Leuzin	+	—
Cystin	+	—

Wachstumsintensität von Sphaerotilus auf Aminosäuren in Kolbenkulturen nach 20 Tagen; Anzahl der + gibt das rel. Zuwachsverhältnis an, bei — kein Wachstum

Eine Verwertung von ungelösten Eiweißen, wie sie in städtischen und manchen gewerblichen Abwässern vorkommen, durch *Sphaerotilus* nachzuweisen, ist bisher nicht gelungen. Der biologische Abbau dieser Substanzen erfolgt im Vorfluter höchstwahrscheinlich durch spezifische, eiweißzersetzende Bakterien, auf deren Abbauprodukten *Sphaerotilus* erst gedeihen kann.

Aus dem Massenvorkommen von *Sphaerotilus* unterhalb bekannter Abwasserquellen und aus Kulturversuchen war schon lange bekannt, daß er besonders üppig auf verschiedenen Zuckerarten und Eiweißabbauprodukten gedeiht. Wuhrmann (1946) und Lackey & Wattie (1947) haben noch die gute Verwertbarkeit von organischen Säuren nachgewiesen. Wir prüften im Kulturversuch und durch Messung des Atmungsstoffwechsels als C-Quellen: Alkohole, Kohlenhydrate, organische Säuren, Aminosäuren und Eiweißstoffe.

Nach früheren und eigenen Untersuchungen werden einwertige Alkohole — Methanol, Athanol, Butanol und Propanol — nur mäßig oder schlecht verwertet. Der 3-wertige Alkohol Glycerin steigert dagegen den Atmungs-

stoffwechsel um 150 %, ebenso wurden 6-wertige Alkohole wie Mannit und Sorbit abgebaut.

Über die Verwertbarkeit von Kohlenhydraten durch *Sphaerotilus* liegen sehr zahlreiche Beobachtungen vor. Wir prüften die Pentosen: Arabinose, Xylose, Ribose und Rhamnose; die Hexosen: Mannose, Galaktose, Fruktose und Glucose; die Disaccharide: Cellobiose, Maltose und Saccharose und das Polysaccharid Stärke.

Am besten werden verwertet Glucose und Mannose, die in verschiedenen Konzentrationen mit gleichbleibender Geschwindigkeit abgebaut werden. Weit weniger günstig ist Galaktose und direkt schlecht Fruktose.

Von Disacchariden werden Maltose gut, Saccharose mäßig und Cellobiose gar nicht verwertet. Für die Verwertbarkeit der Disaccharide ist sowohl ihre glycosidische Bindung als auch die Umsatzgeschwindigkeit der sie zusammensetzenden Monosen maßgebend.

Pentosen lieferten in Standkulturen nur einen geringen oder keinen Zuwachs. Der oxydative Abbau von Xylose und Ribose vollzog sich um ein Drittel bis ein Viertel langsamer als der von Glucose; Rhamnose hemmte die Atmung. Nicht ausgenutzt wird Stärke.

Ungeklärt bleiben gewisse Unterschiede zwischen diesen Befunden und den Angaben früherer Untersucher.

Eine Überraschung ergaben die Salze organischer Säuren. In Nährböden mit Laktat, Azetat und Malat zeigte *Sphaerotilus* gutes Wachstum, mäßiges mit Fumarat, Succinat und Pyruvat, schlechtes mit Oxalat und Formiat und überhaupt keines mit Propionat, Citrat und Glukuronat.

Besonders überraschte die hohe Geschwindigkeit des oxydativen Abbaus der Milch- und Essigsäure, zweier Säuren, die in vielen Abwässern auftreten können. Erstere steigerte die O_2 -Aufnahme um über 500 %, letztere um beinahe 500 %.

In stark verpilzten Flüssen kann es bei stoßweiser Zuführung dieser Säuren durch rasche O_2 -Zehrung zu Fischsterben kommen, deren Ursache bisher nicht erkennbar war.

Nachdem die Studien von einigen Zellstoffwerken subventioniert waren, wurde den verschiedenen Abwässern der Zellstoffindustrie, d. h. Buchen- und Fichtensulfitablaugen, Sprit- und Hefeschlempen und Brüdenkondensaten besondere Beachtung geschenkt und festgestellt, in welchen Grenzkonzentrationen bei Verdünnung mit Wasser sie noch *Sphaerotilus*-Wachstum unterhalten können.

Von *Sphaerotilus* ausgenutzt werden die in den genannten Abwässern enthaltenen Zuckerarten und organischen Säuren, nicht abgebaut werden Ligninverbindungen.

Die Versuche liefen in den Durchflußapparaturen in Ehingen bei Temperaturen von 12—13,5° C. Je nach der Konzentration der Nährlösung deren O₂-Gehalt 9—9,5 mg/l betrug, erschien das erste Pilzwachstum 16 Stunden bis 15 Tage nach der Beimpfung auf der Filterkerze. Die Laufzeit der Einzelversuche betrug 3 bis 52 Tage.

Der Habitus des *Sphaerotilus*-Bewuchses wechselte von fellartigen Überzügen in starken Ablaugen-Wassergemischen über büschelige, zottige Fadenbündel in mittelstarken, zu einem seidigen, hauchdünnen und fragilen Flaum in den schwächsten. In den Gemischen mit Schlempen und Brüdenkondensat war der Bewuchs immer feiner und dünner.

Wachstum wurde erzielt bei folgenden Verdünnungen:

Buchenablaugen	von 1	27 bis 1 : 934 000
Fichtenablaugen	von 1	50 bis 1 : 694 000
Hefeschlempen	von 1	38 bis 1 : 517 000
Spritschlempen	von 1	100 bis 1 : 352 000
Brüdenkondensat	von 1	65 bis 1 : 25 000

Die geringste Konzentration von Gesamtzucker war in diesen Versuchen 0,02 mg/l.

Die Ergebnisse dieser Versuche dürfen aber nicht auf den Vorfluter übertragen werden. In den Zuchtgefäßen betrug die Strömungsgeschwindigkeiten nur 1—10 mm/sec und nur bei ihnen konnte sich der feine *Sphaerotilus*-Bewuchs halten, schon eine geringe Erhöhung der Fließgeschwindigkeit trug ihn ab.

In einem langsam fließenden Bach — 1 bis 4 cm/sec — kann gutes bis üppiges Pilzwachstum erwartet werden bei folgenden Verdünnungen:

Buchenablaugen	1 : 50 000 bis 1	100 000
Fichtenablaugen	1 : 45 000 bis 1	95 000
Hefeschlempen	1 10 000 bis 1	25 000
Spritschlempen	1 10 000 bis 1	25 000
Brüdenkondensat	1 3 000 bis 1	10 000

In rascher strömenden Vorflutern dürften nur die stärkeren Konzentrationen wirksam sein.

Diese Zahlen geben eine Möglichkeit, die Verpilzung durch Zellstoffabwässer in Vorflutern zu verringern oder gar zu verhindern. Einmal zeigen sie, daß durch die Verspritzung und Verhefung der Ablaugen die Gefahr einer Massenentwicklung im Vorfluter um rund ein Fünftel und durch Verdampfung und Verbrennung derselben je nach ihrer Erfassung — im vorliegenden Fall rund 90 % — auf ein Fünfzehntel bis ein Zwanzigstel herabgedrückt werden kann. Dann geht aus ihnen hervor, daß

durch eine möglichst weitgehende und rasche Verdünnung der Abwässer mit Flußwasser die Verpilzung wirksam bekämpft werden kann. Dies wäre in größeren Vorflutern dadurch zu erreichen, daß die Abwässer nicht, wie meist der Fall, am Ufer, sondern möglichst über die ganze Flußbreite verteilt eingeleitet werden. In einem kleinen Vorfluter von rund $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ konnte mit dieser Einleitungsart bei gleichzeitiger Vergleichmäßigung der Ablaugenabgabe einer kleinen Zellstoff-Fabrik eine entschiedene Verminderung des Pilzwachstums erzielt werden.

Eine völlig andere Möglichkeit zur Verringerung des Sphaerotilus-Wachstums bietet seine recht geringe Wachstumsgeschwindigkeit. In den Standkulturen muß man selbst in optimalen Nährlösungen noch Anwachzeiten von 12 bis 24 Stunden feststellen. Dies läßt die Möglichkeit zu, durch intermittierende Abwasserabgaben die Verpilzung in großen Vorflutern zu verhindern.

Versuchsweise wurde deshalb durch die Durchlaufapparaturen nur zeitweise Nährlösung geschickt. Ein Ablaugen-Wassergemisch 1 : 15 000 lieferte dabei, wenn es eine Stunde lang in 11 stündigem Wechsel mit Wasser gegeben wurde, erst nach 9 Tagen einen kaum sichtbaren Flaum. Ohne unser Wissen waren in den USA in einer großen am Columbia River gelegenen Zellstoff-Fabrik in Camas, Wash., ähnliche Versuche mit einem ähnlichen Ergebnis gemacht und bereits in die Praxis umgesetzt worden, wie Amberg (1956) berichtete. Es gelang dort durch die täglich nur 2- bis 6 stündige Einleitung der Ablaugen einer Tagesproduktion von 500 t, die Massentwicklung im Vorfluter weitgehend zu unterbinden.

Leider muß man aber zugestehen, daß ein solches Großexperiment in Europa kaum möglich ist, schon weil hier die meisten Flüsse gestaut sind und einzelne Ablaugenstöße sich überschneiden und dann wohl Sauerstoffschwund erzeugen würden.

Bei der Wichtigkeit der Sphaerotilus-Entwicklung bezüglich der Reinhaltung der Flüsse und deren biologischer Selbstreinigung hat es nicht an Versuchen gefehlt, den „Produktionsstandard“ von Sphaerotilus zu bestimmen, d. h. die Menge von Bakteriensubstanz, die auf einer bestimmten Abwasserquelle in einem Fluß wächst. Aber die Versuche von Naumann (1932—34) mußten scheitern, weil der Stoffwechsel von Sphaerotilus nicht genügend bekannt war.

Ebenso sind alle die Versuche unbefriedigend, die Stärke des Pilztreibens in einem Fluß quantitativ nach verschiedenen Methoden von Potonié und Wundsch, Schröder, Gennerich und Sikora, Liebmann und Demoll und Liebmann zu bestimmen.

Die Gründe dafür liegen zum Teil in der Methode, zum anderen Teil in der zeitlich und örtlich unregelmäßigen Stärke des Pilztreibens, wofür

wir die Ursachen noch nicht genügend kennen. Da sich auch gewisse Schwierigkeiten in der Bestimmung des Pilznaßgewichtes ergeben, versuchten wir, den Produktionsstandart für *Sphaerotilus* auf einer bestimmten Abwasserquelle, deren Stärke und Zusammensetzung bekannt ist, durch direkte Bestimmung des P f e f f e r'schen Ökonomischen Koeffizienten (OK) zu erhalten.

Der OK ist der Quotient

$$\frac{\text{gebildete Bakteriensubstanz in g}}{\text{verbrauchtes Substrat in g}}$$

bzw. er kann nach K a n d l e r (1950), wenn mit analytisch reinen Substanzen gearbeitet wird, gleichgesetzt werden dem „Synthetischen Wirkungsgrad“ (SW), dem Quotienten

$$\frac{\text{assimiliertes Substrat}}{\text{veratmetes Substrat}}$$

Der OK von *Sphaerotilus* auf Glucose wurde sowohl direkt analytisch in Kolbenkulturen, als auch durch Messung des SW in der Warburg-Apparatur mit 0,19 bestimmt. Der OK auf Xylose wurde wegen des geringen Zuwachses von *Sphaerotilus* auf Pentosen nur über die Bestimmung des SW mit 0,12 ermittelt.

Direkt wurde in dem Zirkulationstrog der OK für Fichtenablage aus dem Zuwachs von *Sphaerotilus*-Substanz in vier Einzelversuchen im Mittel mit 0,16 bestimmt.

Da die in den Sulfitablaugen vorhandenen Pentosen und Hexosen bekannt sind und erstere in der Hauptsache durch Xylose, letztere zum größten Teil durch Glucose gedeckt werden, läßt sich der „theoretische“ OK für Fichten- und Buchenablaugen aus dem OK für Xylose und Glucose berechnen. Das Verhältnis Pentosen zu Hexosen in Fichtenablaugen ist 35 : 65 und daraus errechnet sich ein OK von 0,17, der mit dem direkt ermittelten sehr gut übereinstimmt. Für Buchenablaugen ist das Verhältnis Pentosen zu Hexosen 65 : 35 und daraus ergibt sich ein Theoretischer OK von 0,14.

Mit Hilfe dieser beiden Werte läßt sich nun auch der Produktionsstandard von *Sphaerotilus* für Zellstoffabwässer berechnen.

Nachdem der Gehalt von Fichtenablaugen 30—35 g/l ist und je to Zellstoff rund 9 m³ Ablage anfallen, können je to Zellstoff 46—53 kg *Sphaerotilus*-Trockensubstanz heranwachsen. Für Buchenablaugen beträgt dieser Zuwachs 50—88 kg.

Umfangreiche Bestimmungen des Wassergehaltes der *Sphaerotilus*-Naßsubstanz ergaben einen Durchschnittswert von 94 %, so daß für 1 to

Fichtenzellstoff 770—880 kg und für 1 to Buchenzellstoff 830—1460 kg Sphaerotilus entstehen können. Zu betonen ist jedoch, daß diese Zahlen in der Praxis nie voll erreicht werden, da auch noch andere Abbauvorgänge stattfinden.

Eine Entwicklung über ein gewisses Maß wird auch nicht erfolgen, da ein ständiger Abtransport von Pilzflocken stattfindet, wenn auch gerade diese Erscheinung noch nicht genügend geklärt ist.

Auf jeden Fall aber geben diese Produktionsstandardzahlen eine Vergleichsmöglichkeit bezüglich des Anteils, den in vorliegendem Fall Zellstoffabwässer an der Gesamtverpilzung verursachen, wenn noch andere Abwasserarten zur Verpilzung beitragen.

Leider fehlen uns für die meisten Abwässer, die ebenfalls Eiweißabbauprodukte und organische Säuren enthalten, z. B. kommunale Abwässer, die entsprechenden OK.

Bisher wurde nur noch der OK auf Fleischextrakt bestimmt, welcher 0,36 beträgt.

Offen sind noch Bestimmungen für die wichtigsten organischen Säuren und Aminosäuren, besonders im Hinblick auf Molkereien, Brauereien und Brennerien. Wichtig erscheinen dabei die Aminosäuren, die bereits in der Sphaerotilus-Substanz selbst nachgewiesen sind.

Für häusliche Abwässer einen OK, gewissermaßen einen EWG für Sphaerotilus im Zirkulationstrog zu bestimmen, waren bisher erfolglos, doch hoffen wir, auf anderen Wegen zum Ziel zu kommen.

Offen stehen auch noch Fragen, wie sich der Abbau der Sphaerotilus-Flocken unter anaeroben Bedingungen vollzieht und welche hydrologischen Bedingungen den Absetzvorgang beeinflussen.

Ungelöst ist auch noch die Frage, warum auf gleichen oder ähnlichen Abwässern in dem einen Fall Sphaerotilus auftritt, in dem anderen echte Pilze wie *Fusarium aquaeductuum* oder *Leptomitus lacteus* wuchern. So macht uns zur Zeit das praktisch völlige Verschwinden von Sphaerotilus in der Donau unterhalb der Schwäbischen Zellstoff AG., wo er seit 1938 ständig beobachtet wurde, und sein Ersatz durch *Leptomitus* Kopfzerbrechen. Dort war bei eingehenden Flußuntersuchungen am 24. Oktober 1956 eine monotone, wenn auch nicht sehr starke Entwicklung von Sphaerotilus mit ganz sporadischem Vorkommen von *Leptomitus* festgestellt worden. Jetzt stellten wir bei einer Untersuchung am 6. Februar 1957 das umgekehrte Verhältnis fest.

Auch unterhalb von Lenzing in der Ager hat sich gegenüber den Untersuchungen aus den Jahren 1940—45 das Vorkommen von Sphaerotilus natans und *Fusarium aquaeductuum* entschieden zu Gunsten des letzteren verschoben.

Es wird noch viel Zeit und Mühe kosten, den Gründen für diesen Wechsel in der Verpilzung auf die Spur zu kommen und weitere Rätsel um *Sphaerotilus* zu lösen.

DISKUSSION

Liepolt

Da man nunmehr die das Wachstum des *Sphaerotilus natans* besonders fördernden Faktoren im großen und ganzen kennt, wäre der nächste Schritt der, durch entsprechende, nach Möglichkeit innerbetriebliche Maßnahmen dem Abwasser jene Eigenschaften zu geben, die ein starkes Wachstum dieser Fadenbakterien im Vorfluter nicht mehr zulassen.

Ferner wäre zu prüfen, inwieweit man sich die Selbstreinigungskraft dieser Bakterien zum Abbau der wachstumsfördernden organischen Stoffverbindungen in eigenen Reaktionsbecken, z. B. in Belebtschlammanlagen, zunutze machen könnte.

Für die Praxis ist auch von Interesse, ob sich ein perzentueller Anteil aller in einen Vorfluter entwässernden Abwassereinbringer an der Gesamtverpilzung des Gewässers — zumindest in einer bestimmten Strecke — festlegen läßt.

Zehender

Zunächst ging es darum, die Verdünnungsgrade festzulegen, bei denen Sulfitablaugen im Vorfluter noch Pilzwachstum erzeugen können und Anhaltspunkte zu gewinnen zur Berechnung der sich möglicherweise bildenden Pilzsubstanz, die sich auf einer bekannten Abwassermenge entwickeln kann. Dadurch gewänne man auch einen Schlüssel zur Aufteilung von Schäden, die durch verschiedene, das Pilzwachstum fördernde Abwasserarten verursacht werden. Zu untersuchen ist noch, welche andere Abwasserorganismen ebenfalls Massentwicklung auf bestimmten Abwasserarten zeigen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1957

Band/Volume: [1957](#)

Autor(en)/Author(s): Scheuring Ludwig

Artikel/Article: [Sphaerotilus natans, gelöste und ungelöste Fragen 39-51](#)