

Hohe AOX durch PVC: Eine Methode zur Verursacherermittlung und Konzepte für emissionsverhindernde Maßnahmen

Bestimmung von PVC als Komponente aus dem Summenparameter AOX
mittels NMR-Spektroskopie

Bernd W. K. Diehl, Melanie Mertens, Werner Ockels

Zusammenfassung

Wenn PVC-Partikel mit dem Abwasser in den Klärschlamm gelangen, wird der in der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) angegebene Summenparameter AOX für kommunale Klärschlämme deutlich erhöht und überschreitet häufig den zulässigen Grenzwert. PVC (Polyvinylchlorid) besteht zu 57 % aus Chlor und wird bei der AOX-Bestimmung erfaßt.

Das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte PVC/AOX-Projekt Herrieden zeigt auf, wie durch eine Zusammenarbeit von Kommune, Einleiter und Fachleuten die PVC-bedingte hohe AOX-Belastung im Klärschlamm der Stadt gesenkt wird und der Schlamm wieder einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt werden kann. Dazu wird der Einleiter durch gezielte Klärschlamm und Sielhautanalysen lokalisiert und anschließend werden emissionsverhindernde Maßnahmen angewandt.

Das Gesamtkonzept zur Senkung der PVC-Belastungen, bestehend aus gezielter Analytik und abwassertechnischen Lösungen, ist auf ähnliche Fälle übertragbar und bietet konkrete Lösungsansätze für andere Kommunen.

PVC/AOX-Projekt Herrieden

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

1. Einleitung

In Herrieden liegt seit Einführung der Untersuchungspflicht für AOX im Jahre 1992 bei allen Untersuchungen der AOX mit Werten zwischen 540 und 1700 mg/kg deutlich über dem zulässigen Grenzwert von 500 mg/kg (**Abb. 1**). Alle anderen Parameter unterschreiten dagegen deutlich die gesetzlich geforderten Werte. Aufgrund des überhöhten AOX ist eine landwirtschaftliche Nutzung des ansonsten verwertungsfähigen Schlammes seit 1992 nicht mehr möglich, obwohl dies zuvor jahrelang praktiziert wurde. Die Mehrkosten für die derzeitige Klärschlammensorgung (Entwässerung und Deponie) gegenüber der landwirtschaftlichen Verwertung belaufen sich seitdem auf ca. 40.000 DM pro Jahr (11 DM/EW*a).

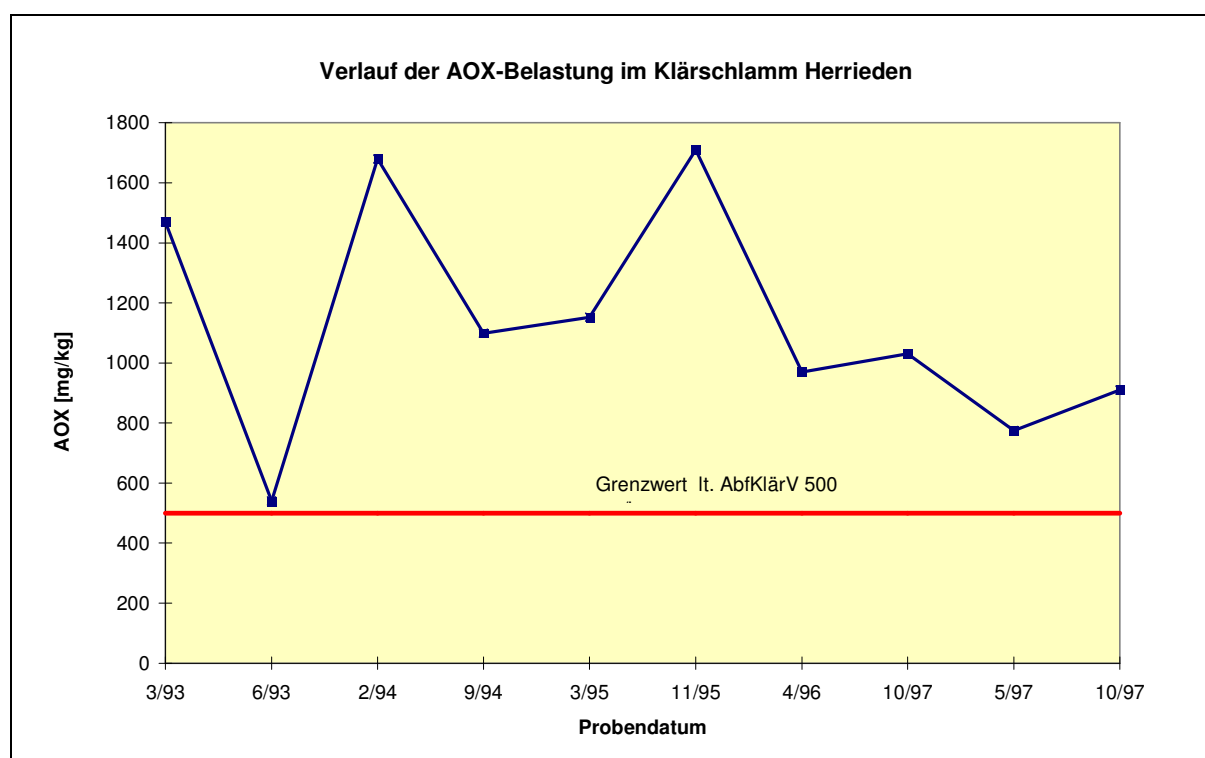


Abb. 1 Entwicklung der AOX-Gehalte im Klärschlamm Herrieden

Im Januar 1997 identifizierte Spectral Service GmbH, Köln, mit der NMR-Methode PVC als Ursache für die hohen AOX-Gehalte im Klärschlamm der Stadt Herrieden. Als Verursacher für die PVC-Einträge kam ein PVC-verarbeitender Betrieb in Betracht (Produktion von Fensterprofilen und Rolläden aus PVC).

Daraufhin wurde im Juni 1997 von Spectral Service in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt (AgPU) und der Stadt Herrieden das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte PVC/AOX-Projekt Herrieden initiiert.

PVC/AOX-Projekt Herrieden

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Ziel dieses Projektes ist es, den Klärschlamm, der abgesehen vom AOX allen Anforderungen der AbfKlärV genügt, durch Senkung der AOX-Belastung einer landwirtschaftlichen Verwertung zuführen zu können und für die Stadt Herrieden bei der Klärschlamm entsorgung rund 400 DM/t TS einzusparen.

Dazu wird durch gezielte Klärschlamm- und Sielhautanalysen mittels Kernresonanzspektroskopie (NMR) der Einleiter ermittelt. Darüber hinaus wird in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro ETA-plus ein übertragbares Konzept für technische Lösungen zur Verfügung entwickelt, mit dem auch andere Kommunen PVC-Emissionen senken können.

2. Gesetzliche Situation der Klärschlamm entsorgung

Gemäß den Vorgaben des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) gilt bei Einhaltung der maximal zulässigen Schadstoffgehalte lt. AbfKlärV als oberste Priorität die stoffliche Verwertung für kommunale Klärschlämme, beispielsweise in Landwirtschaft und Landbau als Dünger und Bodenverbesserer.

Durch die AbfKlärV werden die rechtlichen Grundlagen geschaffen, die eine schadlose Verwertung in der Landwirtschaft gewährleisten und dem vorsorgenden Bodenschutz dienen. In der **Tab. 1** sind die maximal zulässigen Schadstoffgehalte für verwertungsfähige Klärschlämme dargestellt.

Tab. 1 Maximal zulässige Schadstoffgehalte für den Klärschlamm, Angaben in mg/kg Trockenmasse [1]

Stoff	AbfKlärV 1982	AbfKlärV 1992	EG-Richtlinie 86/278/EWG
Blei	1200	900	750 - 1200
Cadmium	20	10	20 - 40
Chrom	1200	900	1)
Kupfer	1200	800	1000 - 1750
Nickel	200	200	300 - 400
Quecksilber	25	8	16 - 25
Zink	3000	2500	2500 - 4000
Dioxine/Furane	/	100 ng TE/kg	/
AOX	/	500	/
PCB	/	je 0,2	/

¹⁾ noch nicht festgelegt

PVC/AOX-Projekt Herrieden

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Bei Überschreitung nur eines der Grenzwerte ist eine landwirtschaftliche Verwertung des Schlammes nicht zulässig und dieser muß in der Regel einer thermischen Behandlung zugeführt werden. Die damit verbundenen Kosten liegen deutlich höher als bei der landwirtschaftlichen Verwertung (Tab. 2). Die Deponierung unbehandelter und auch getrockneter Klärschlämme ist lt. TA Siedlungsabfall spätestens ab dem Jahr 2005 nicht mehr zulässig. Schlämme müssen zukünftig vor ihrer Ablagerung - in der Regel thermisch - behandelt werden.

Tab. 2 Struktur und Kosten der Klärschlamm Entsorgung [2]

Verwertungsweg	Anteil	Kosten (DM/t TS)
Landwirtschaft	ca. 32 %	270 - 665 ¹⁾
Deponie nach Entwässerung	ca. 55 %	763 - 1300
Verbrennung ²⁾	ca. 10 %	1050 - 1300
Kompostierung	3 - 4 %	k.A.

1) Verwertung von flüssigem Klärschlamm
2) nach Entwässerung mit nachfolgender Ablagerung von Schlacken und Aschen

3. Der Summenparameter AOX und die NMR-Methode

Mit dem Summenparameter AOX werden die adsorbierten organischen Halogenverbindungen erfaßt, wobei X für die Halogene Chlor und Brom steht.

Die Grenzwerte für die organischen Schadstoffe AOX, PCDD/PCDF und PCB wurden 1992 in die Änderung der AbfKlärV aufgenommen, um einer schleichenden Anreicherung der im Boden nur schwer abbaubaren organischen Schadstoffe entgegenzuwirken. Bei den Werten handelt es sich um Vorsorgewerte, die keine toxikologisch begründeten Schadstoffschwellen darstellen.

Bei der AOX-Bestimmung nach DIN 38 414 Teil 18 werden zunächst die anorganischen Halogenverbindungen durch Elution mit einer halogenidfreien, salpetersauren Lösung aus dem Schlamm verdrängt. Anschließend wird der eluierte Schlamm zusammen mit Aktivkohle im Sauerstoffstrom verbrannt, wobei die organisch gebundenen Halogene zu Halogenwasserstoff umgesetzt werden, dessen Massenanteil bestimmt wird. Der AOX als Summenparameter läßt dabei keine Rückschlüsse auf die Einzelkomponenten zu.

PVC enthält mit 57 % einen hohen Chloranteil und wird bei dieser Bestimmung als AOX erfaßt. Ist PVC im Klärschlamm enthalten, so ist es maßgeblich die Ursache für hohe AOX. In der BRD werden jährlich xxxx Tonnen PVC verarbeitet. Dabei sind Speditionunternehmen, die PVC-Pulver transportieren sowie PVC-Verarbeiter wesentliche Eintragsquellen für PVC ins Abwasser. Bei den Speditionen gelangt das pulverförmige Granulat vorwiegend mit dem Spülwasser der Silofahrzeuge ins Abwasser. PVC-verarbeitende Betriebe verursachen PVC-Einträge im wesentlichen durch verschüttetes PVC-Pulver, das vom Betriebs-

gelände mit dem Oberflächenwasser in den Kanal gelangt.

Zur Aufklärung hoher AOX-Werte im Klärschlamm wurde von Spectral Service eine Bestimmungsmethode für PVC mittels Kernresonanzspektroskopie (NMR) entwickelt [3]. Mit der NMR-Methode ist es möglich, PVC eindeutig als Einzelkomponente aus dem Summenparameter AOX zu identifizieren und zu quantifizieren. Sie stellt somit eine Möglichkeit zur Aufklärung des Halogeneintrags in das Abwasser und den Klärschlamm dar.

Für Schadstoffe in Abwasser und Klärschlamm gilt im Sinne eines vorsorgenden Umwelt- und Bodenschutzes grundsätzlich ein Minimierungsgebot und Kläranlagenbetreiber sind angehalten, alle ihnen zur Verfügung stehenden Mittel zur Schadstoffreduzierung einzusetzen. Eine Verursacherermittlung bei den Indirekteinleitern in Verbindung mit Maßnahmen, die künftige Einträge unerwünschter Stoffe verhindern, tragen wesentlich zur Schadstoffminimierung bei. An dieser Stelle setzt das hier vorgestellte Projekt an.

4. Möglichkeiten der Probenahme

Zur Auffindung unzulässiger Schadstoffeinleitungen in das Kanalnetz existieren verschiedene Möglichkeiten, den oder die Einleiter zu ermitteln. Die schnellste Methode besteht in der direkten Beprobung der Verdachtsfirmen. Voraussetzung ist dabei eine kontinuierliche Einleitung. Wenn es sich jedoch um diskontinuierliche Einleitungen handelt, die möglicherweise nur einige Minuten oder Stunden dauern, so wird eine direkte Beprobung nur durch Zufall zum richtigen Ergebnis führen. Eine weitere Methode ist der Einsatz eines sogenannten Kanalspions, mit dem Ionenaustauscher oder Aktivkohleeinheiten in den Kanal gebracht werden. Die im vorbeiströmenden Abwasser gelösten Schadstoffe wie Schwermetalle oder adsorbierbare organische Halogenverbindungen werden dabei im Austauscher fixiert oder an Aktivkohle adsorbiert und können anschließend analysiert werden [4]. Auch bei dieser Methode ist Voraussetzung, daß z.Z. der Messung tatsächlich Schadstoffe im Abwasser enthalten sind.

Die bei diesem Projekt angewandte Methode besteht in der Untersuchung von Kanalsediment und Sielhaut. Dabei werden die im Kanal abgelagerten Feststoffe (Sedimente) sowie Sielhäute, die sich entlang der Kanalwandung gebildet haben, untersucht. Die Sielhaut besteht aus Bakterien- und Pilzbewuchs, der mit dem Abwasser in direktem Kontakt steht (**Abb. 2**). Diese Sielhaut kann bis zu 1 cm Schichtdicke erreichen und erneuert sich in bestimmten Abständen, abhängig vom Alter und den Strömungsverhältnissen im Abwasserkanal. In der Sielhaut reichern sich Schadstoffe aus dem vorbeiströmenden Abwasser an und bewirken so einen Memory-Effekt von u.U. einigen Wochen. Nach Regenfällen, bei denen Sedimente und Sielhäute aus dem Kanal gespült werden, sind im Klärschlamm beispielsweise erhöhte Schwermetallkonzentrationen feststellbar [5]. Die Sielhaut

PVC/AOX-Projekt Herrieden

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

stellt ein Gedächtnis des Kanals dar, mit dem auch stoßweise Belastungen des Abwassers erfaßt werden können. Andere Untersuchungen [6] konnten belegen, daß sich die Sielhaut als Indikator für zeitlich begrenzte AOX-Emissionen im Kanalnetz gut eignet. Da auch in Herrieden nicht mit kontinuierlichen PVC-Emissionen zu rechnen war, wurde die Sediment- und Sielhautuntersuchung als Verfahren der Wahl herangezogen.

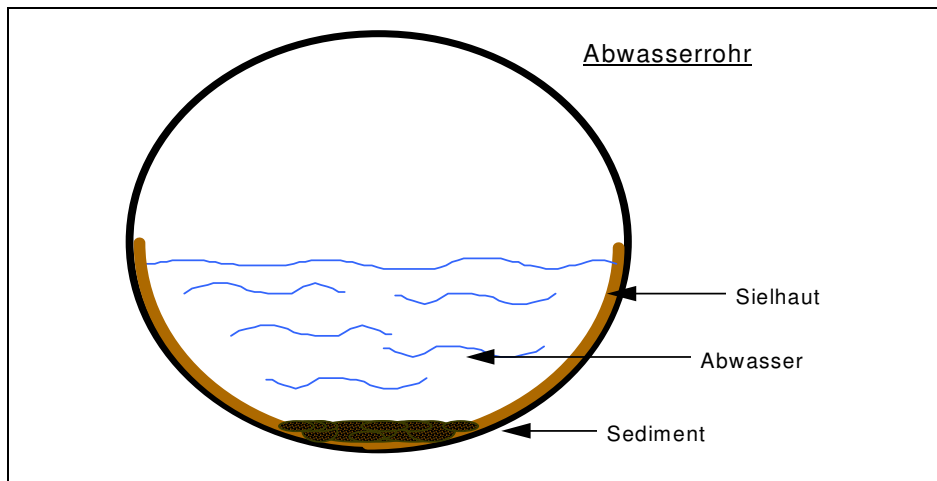


Abb. 2 Sediment und Sielhautbewuchs im Kanalrohr

5. Durchführung des PVC/ AOX-Projektes Herrieden

5.1 Probenahme

Die Probenahmestellen wurden so gewählt, daß alle potentiellen Emittenten erfaßt und ggf. unerkannte Emissionsquellen identifiziert werden können. In Herrieden wurde an drei Zeitpunkten in Abständen von etwa einem Monat Proben bestehend Sediment und Sielhaut gezogen. Sediment und Sielhaut einer Probenstelle wurden dabei gemischt und werden nachfolgend als Sielhautprobe bezeichnet. Als Probenstellen wurden Schächte von ausgewählten Gewerbebetrieben und aus Wohngebieten gewählt. Bei den Gewerbebetrieben lagen die Probenstellen auf dem Firmengelände, so daß eine Kontamination von anderen Betrieben ausgeschlossen werden konnte. In denselben Zeiträumen erfolgte eine Klärschlamm-Probenahme. Sowohl Sielhaut als auch Klärschlamm wurden nach der NMR-Methode analysiert.

5.2 NMR-Methode

Zur Probenvorbereitung werden etwa 1 bis 5 Gramm der getrockneten und pulverisierten Probe im Soxhlet zunächst mit einem organischen Lösungsmittelgemisch vorextrahiert. Bei der anschließenden Soxhletextraktion mit Tetrahydrofuran (THF) wird selektiv PVC herausgelöst. Der zur Trockene eingedampfte Extrakt wird mit dem internen Standard Thymol versetzt, in deuterierten THF/ Benzol gelöst und zur ^1H -NMR-Messung eingesetzt. Die charakteristischen Resonanzen im NMR-Experiment ermöglichen die direkte Bestimmung von PVC, wobei die quantitative Auswertung durch Integration und Vergleich der Signale von PVC und internem Standard erfolgt. Ebenso können auch PVC-Copolymere (z.B. PE-PVC-Copos) identifiziert werden. In **Abb. 3** ist ein Ausschnitt aus dem ^1H -NMR-Spektrum einer Sielhautprobe dargestellt und

Abb. 4 zeigt das ^1H -NMR-Spektrum eines PE-PVC-Copolymers.

Die Nachweisgrenze der NMR-Methode ist maßgeblich von der Matrix abhängig und liegt für Sielhaut und Klärschlamm bei etwa 30 ppm.

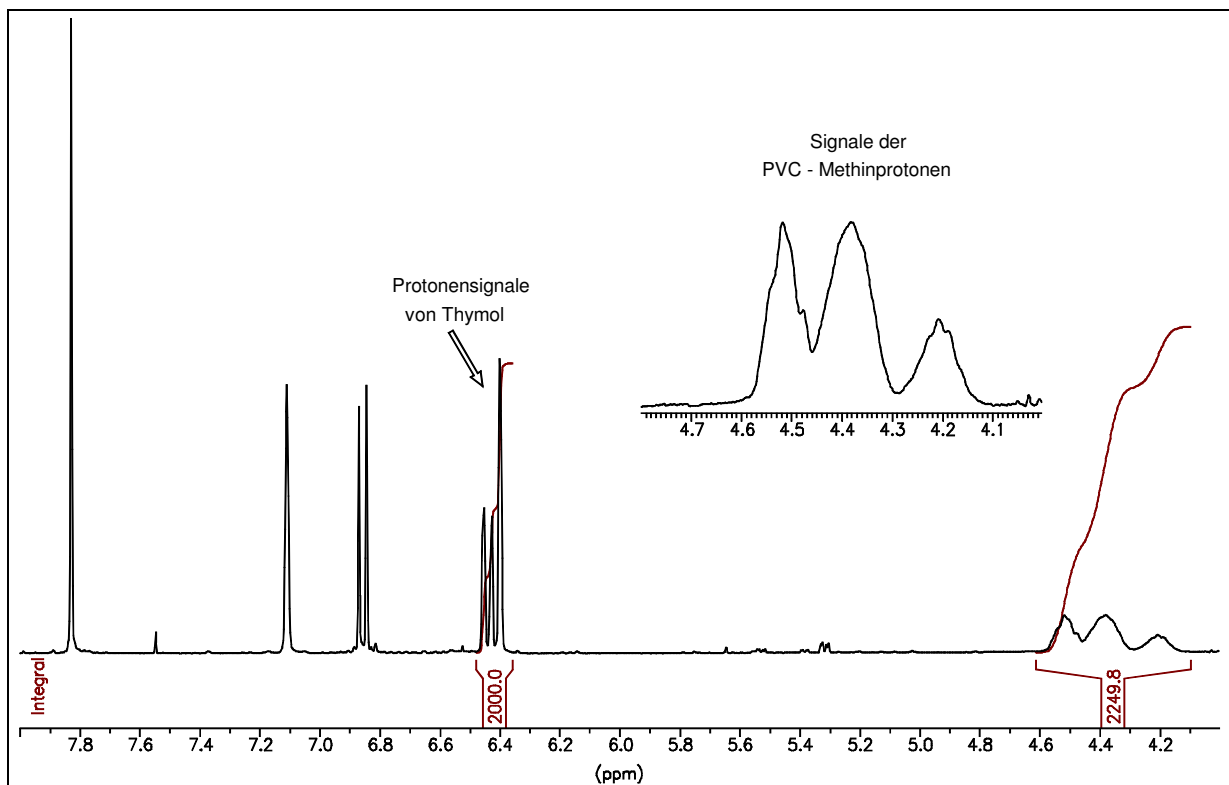


Abb. 3 ^1H -NMR-Spektrum einer Sielhautprobe des PVC-Verarbeiters in Herrieden

In **Abb. 3** sind zwischen 4,1 und 4,6 ppm die charakteristischen Signale der PVC-Methinprotonen zu erkennen, die zur Integration für die quantitative Bestimmung herangezogen werden. Ebenso erhält man bei den PVC-Copolymeren charakteristische Signale im Bereich zwischen 3,5 - 4,6 ppm (

Abb. 4).

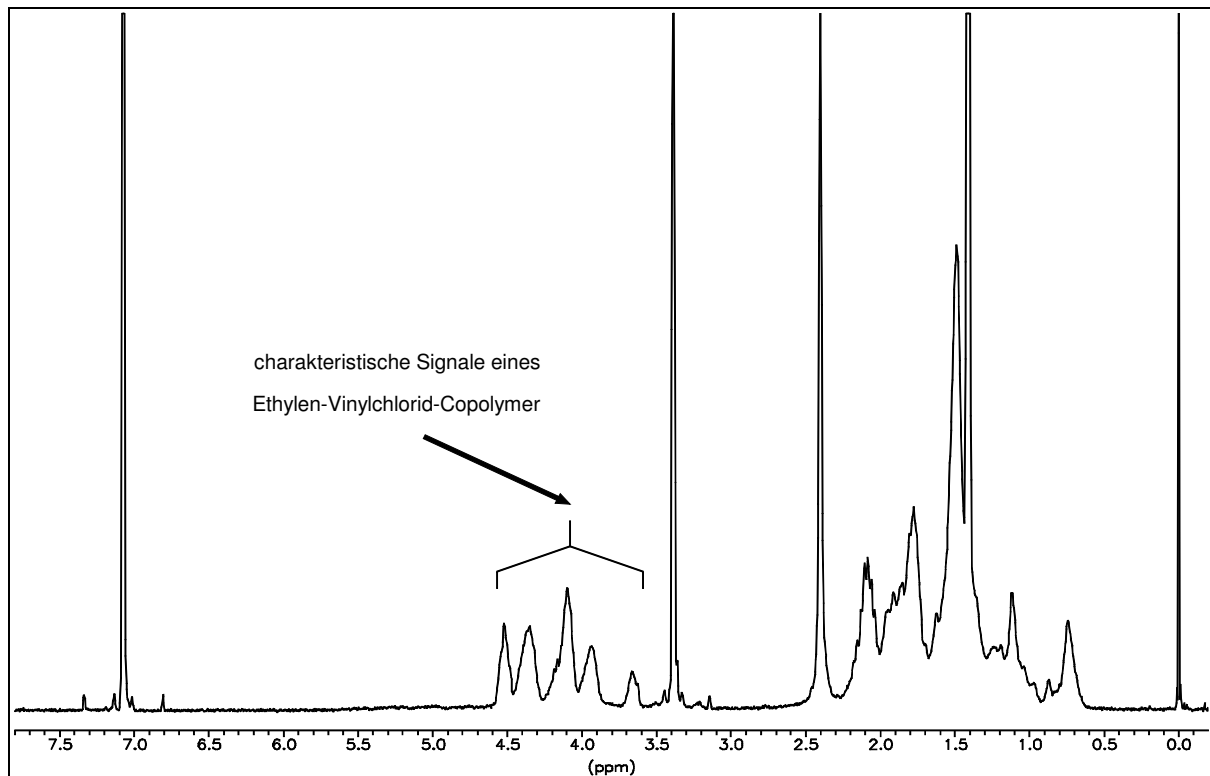


Abb. 4 ^1H -NMR-Spektrum eines PVC-Copolymers (Ethylen-Vinylchlorid-Copolymer)

Für die Eichkurve zur PVC-Bestimmung (**Abb. 5**) wurden unterschiedliche Mengen PVC-Pulver jeweils in 500 μl THF- d_8 und 200 μl Benzol- d_6 gemessen. Die ^1H -NMR-Spektren wurden aufgenommen mit einem NMR-Spektrometer AC-P 300 (BRUKER, Karlsruhe, D), ausgestattet mit automatischem Probengeber und QNP-Meßkopf für die Kerne ^1H , ^{13}C , ^{19}F und ^{31}P .

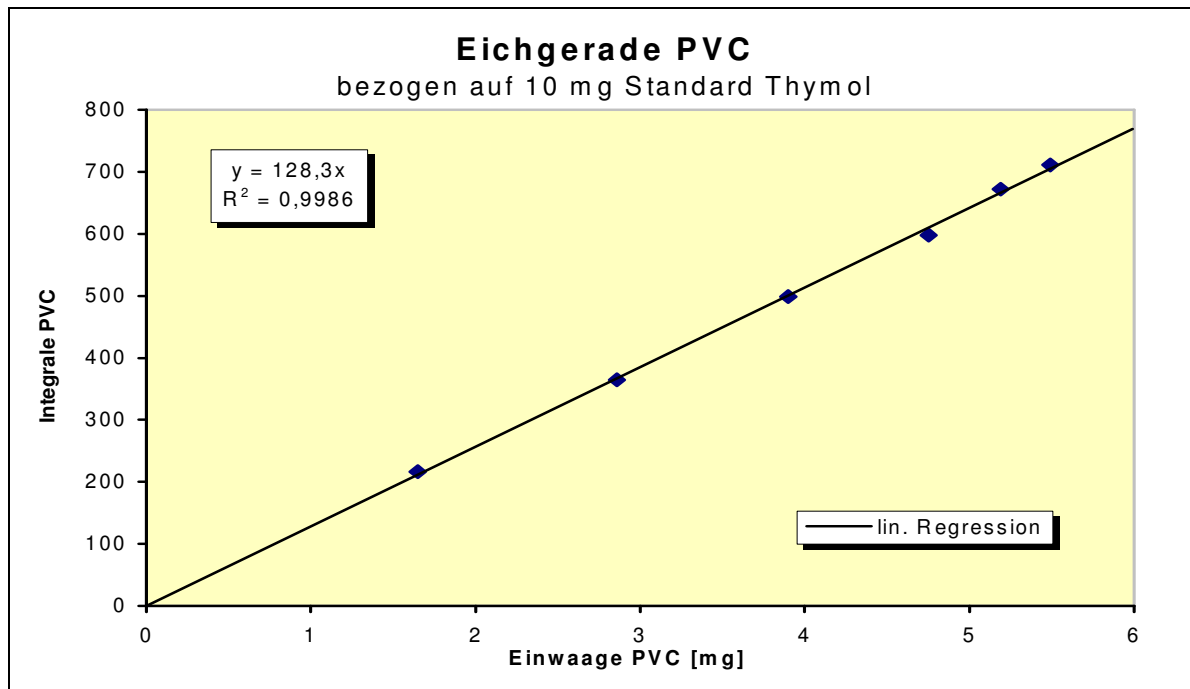


Abb. 5 Eichkurve für die PVC-Bestimmung

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Sielhautuntersuchungen

Die Sielhautproben wurden nach der NMR-Methode auf PVC untersucht. Die Ergebnisse von drei Probenahmen wurden zusammengefaßt und sind in **Abb. 6** dargestellt. Eindeutig konnte dabei - wie vermutet - der PVC-Verarbeiter als hauptsächlicher PVC-Emittent lokalisiert werden.

PVC/AOX-Projekt Herrieden

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

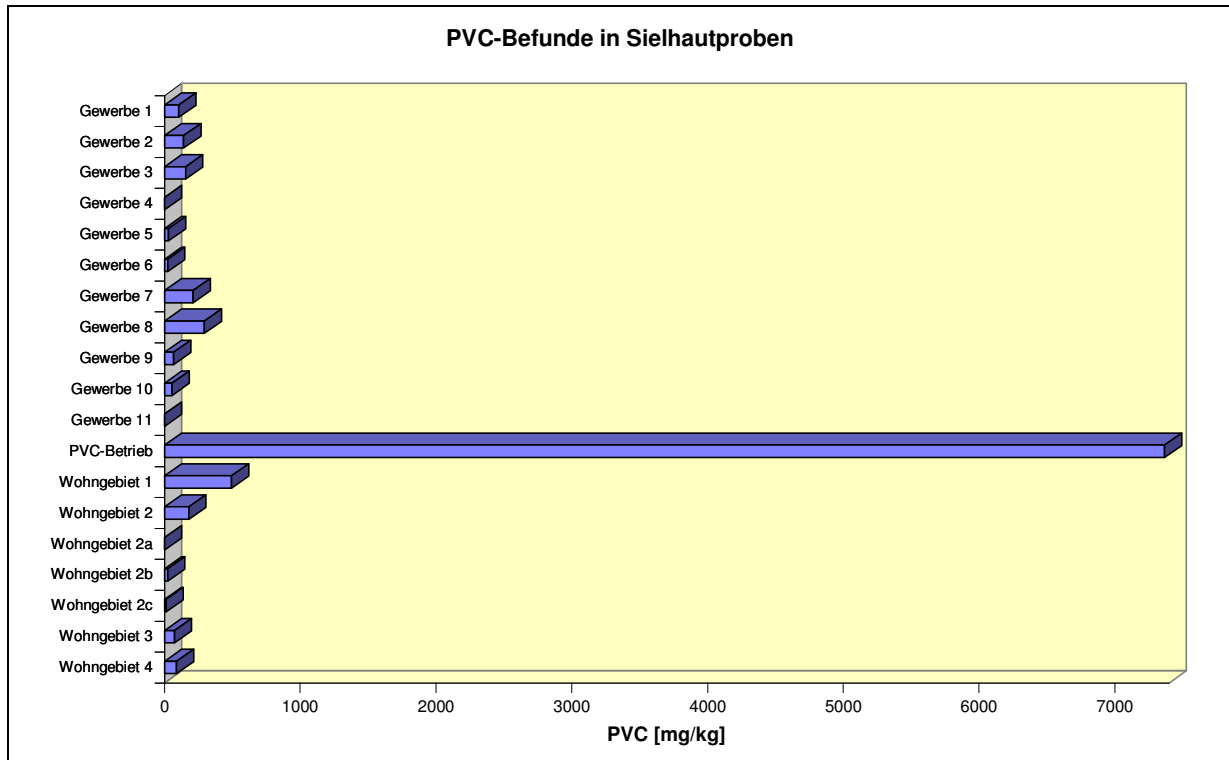


Abb. 6 Ergebnisse der Sielhautuntersuchungen

Es wurden jedoch auch in fast allen anderen Proben kleinere Mengen an PVC bestimmt, die allerdings um den Faktor 20 bis 400 geringer sind und somit als Ursache für die hohe AOX-Belastung im Klärschlamm nur eine geringe Bedeutung haben. Dabei kann eine Kontaminierung der beprobten Schächte ausgehend vom PVC-verarbeitenden Betrieb ausgeschlossen werden, da alle anderen Probenstellen vor dem PVC-Betrieb liegen.

Insgesamt lassen die Ergebnisse auf diffuse Eintragsquellen und eine daraus resultierende Grundbelastung mit PVC schließen. Vermutlich ist ein Abrieb aus PVC-Abwasserrohren eine Ursache für die PVC-Befunde, die in fast allen Proben auftreten. Sand und kleinere Steine im Abwassersystem werden durch den Kanal gespült und können dabei das Ablösen feiner PVC-Partikel bewirken. Dies läßt vermuten, daß auch PVC neben anderen Stoffen eine Ursache für die AOX-Grundbelastung von Klärschlämmen ist, die in Schlämmen kommunaler Herkunft bei 200 - 400 mg/kg AOX liegt [7]. Gesicherte Aussagen über Herkunft und Einfluß auf die AOX-Grundbelastung können derzeit aber nicht geliefert werden. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich, die nicht Gegenstand dieses Projektes waren.

5.3.2 Klärschlammuntersuchungen

In Abständen von etwa einem Monat wurden Klärschlammproben in Mehrfachbestimmung mit der NMR-Methode auf PVC untersucht. Bei zwei Proben ist zudem nach der DIN-Methode der AOX-Gehalt bestimmt worden.

In allen Proben wurden hohe PVC-Gehalte gefunden. Entsprechend einem Chloranteil von 57 Prozent in PVC lassen sich daraus theoretische AOX-Werte ableiten, die alleine durch das PVC verursacht sind. In **Abb. 7** sind die Ergebnisse der Klärschlammuntersuchungen dargestellt.

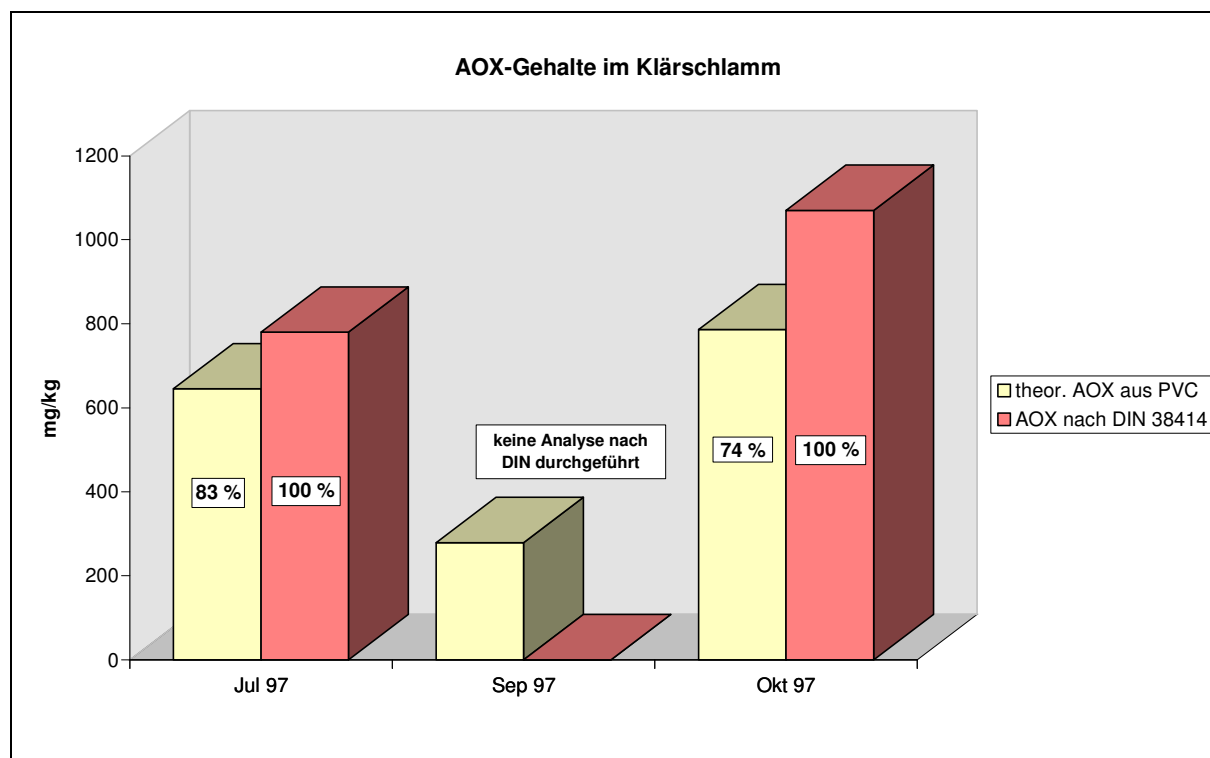


Abb. 7 Ergebnisse der Klärschlammuntersuchungen

Bei den Proben, die sowohl auf PVC als auch auf AOX untersucht wurden, zeigt sich, daß rund 80 % des AOX durch PVC verursacht ist.

Der relativ geringe PVC-Gehalt in der zweiten Probe ist wahrscheinlich auf eine regenarme Periode im Sommer zurückzuführen, in der die Kanäle nicht durch Regenwasser gespült werden und somit entsprechend weniger Schadstoffe in den Klärschlamm gelangen. Die unerwünschten Stoffe reichern sich bis zum nächsten größeren Regen in Sielhaut und Sediment an und gelangen erst dann in den Klärschlamm.

Zunächst wurde auch vermutet, daß ein sorgfältigerer Umgang mit dem PVC innerhalb des Betriebes den PVC-Rückgang bei der zweiten Probe bewirkt hat. Nach den Ergebnissen der Klärschlammprobe von Oktober konnte diese Vermutung aber nicht bestätigt werden. Ein

umsichtiges Verhalten beim Umgang mit dem Rohstoff PVC wird sich vermutlich erst langfristig und nur geringfügig in den Klärschlammuntersuchungen bemerkbar machen. Eine deutliche Abnahme des AOX unterhalb des Grenzwertes ist nur nach umfassenden Maßnahmen zu erwarten, bei denen alle Betriebsabläufe und Emissionsquellen berücksichtigt werden.

5.4. Konzept für Lösungsmöglichkeiten

Durch das Ingenieurbüro ETA-plus, Köln, wird derzeit ein Konzept erstellt, in dem am Beispiel des PVC-Verarbeiters in Herrieden emissionsverhindernde Maßnahmen erarbeitet werden, die übertragbar sind auf andere Betriebe.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Betriebsanalyse durchgeführt, in der sowohl der Umgang mit dem PVC als auch Prozeßabläufe und Produktströme betrachtet werden. Dabei werden Schwachstellen aufgezeigt und Konzepte für eine Optimierung erarbeitet.

Für die Abwasserreinigung kann beispielsweise die Crossflow-Filtration eingesetzt werden. Mit dieser Technik lassen sich die Kunststoff-Partikel ohne weitere Hilfstoffe abtrennen und im Konzentrat anreichern. Nach Entwässerung kann der stichfeste PVC-Abfall entsorgt werden. Beim Einsatz einer Wasserbehandlungsanlage kann sowohl das Prozeßwasser (Kühlwasser) als auch das mit PVC-Partikeln beladene Oberflächenwasser des Betriebsgeländes in die Filtrationsanlage integriert werden. Das aufbereitete Wasser läßt sich innerbetrieblich als Kühlwasser wiederverwerten (Kreislaufprozeß) oder kann in anderen Bereichen, z.B. zur Fahrzeugreinigung, eingesetzt werden und den Frischwasserverbrauch reduzieren.

Das Konzept bietet somit konkrete Ansätze für einen prozeß- und produktintegrierten Umweltschutz bei der PVC-Verarbeitung, mit dem große Wassermengen eingespart und unerwünschte Emissionen verhindert werden können.

6. Schlußbetrachtungen

Durch systematische Klärschlamm- und Sichelhautanalysen mit der NMR-Methode konnte PVC als Ursache der hohen AOX-Werte im Klärschlamm bestimmt und der Einleiter eindeutig identifiziert werden. Die Klärschlammuntersuchungen ergaben, daß rund 80 Prozent des AOX durch PVC verursacht werden. Für die Umsetzung und Realisierung von emissionsverhindernden Maßnahmen bietet das erstellte Konzept konkrete Lösungsansätze.

Der besondere Ansatz dieses Projektes ist der Einsatz der NMR-Spektroskopie zur Bestimmung von PVC als Einzelstoff aus dem Summenparameter AOX. Das Verfahren stellt eine sichere und schnelle Methode dar, den PVC-Einleiter eindeutig zu ermitteln. Neben PVC können ebenso PVC-Copolymere bestimmt werden. Dabei sind sowohl Klärschlamm, Sichelhaut als auch Abwasser als Probenmedium geeignet.

Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchungen ist die Tatsache, daß PVC auch unabhängig von PVC-Betrieben an vielen Stellen des Kanalnetzes gefunden wird, beispielsweise in Wohngebieten. Dies legt die Vermutung nahe, daß PVC neben anderen Stoffen einen nicht unerheblichen Beitrag zu der allgemein beobachteten AOX-Grundbelastung von Klärschlämmen liefert. Dieser Fragestellung konnte im Rahmen dieses Projektes nicht nachgegangen werden und bedarf weiterer Untersuchungen.

Darüberhinaus zeigt das Projekt Herrieden, wie durch die kooperative Zusammenarbeit von Kommune, Fachleuten und dem Einleiter umweltentlastende Maßnahmen und Kosteneinsparungen bei der Klärschlammentsorgung erreicht werden können. Hervorzuheben ist dabei, daß der Einleiter nicht als „Umweltsünder“ vorgeführt wird, sondern vielmehr in einen konstruktiven und effektiven Prozeß zur Emissions- und Kostenminderung einbezogen wird.

Unabhängig von dem Projekt wurden AOX-belastete Klärschlamme aus der gesamten BRD hinsichtlich PVC untersucht (**Abb. 8**). Dabei wird deutlich, daß PVC-verursachte AOX-Belastungen ein überregionales Problemfeld darstellen.

Vor dem Hintergrund, daß sowohl die Analytik als auch die entsprechende Filtertechnik zur Verfügung stehen und mehrfach erfolgreich in der Praxis realisiert sind, sollte dieses Projekt als Anreiz für andere Kommunen dienen, das Know-how zu nutzen und vermeidbare Emissionen zu verhindern.

PVC/AOX-Projekt Herrieden

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

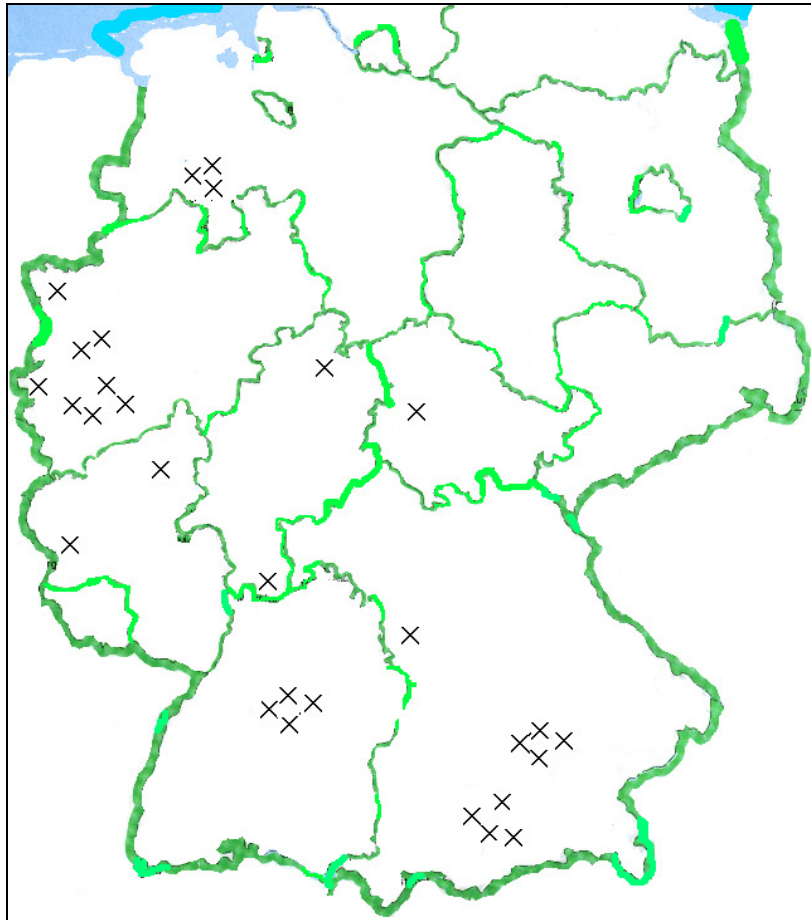


Abb. 8 Klärschlämme aus der BRD mit hohen PVC-Gehalten [8]

Literatur

- [1] BMU, Bericht gem. Artikel 17 der EG Richtlinie 86/278/EWG über die Klärschlammverwertung in der BRD, Berichtszeitraum 1991 bis 1994, Bonn/Berlin 1996
- [2] Witte H., Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung - Ökonomie oder Ökologie?, IWB e.V.
- [3] Mertens M., Methodenentwicklung zur Identifizierung und Quantifizierung von PVC in Klärschlamm mittels NMR-Spektroskopie, Diplomarbeit FH Aachen, Abt. Jülich, 1995
- [4] Langenohl T., Verbesserung der Klärschlammqualität durch gezielte Sielhautuntersuchungen, Wasser Abwasser Praxis 1, 1996
- [5] Gutekunst B., Praktische Erfahrungen und Ergebnisse aus Sielhautuntersuchungen zur Ermittlung schwermetallhaltiger Einleitungen; Korresp. Abwasser 36, 1989
- [6] Laschka D., Sielhautuntersuchungen zur Lokalisierung von AOX-Emittenten im Kanalnetz, Korresp. Abwasser 4, 1991
- [7] Leschber R., Organische Halogenverbindungen im Klärschlamm - Bedeutung für die landwirtschaftliche Schlammverwertung
- [8] Spectral Service GmbH, Köln, Eigene Untersuchungen 1995-1997