

UNTERSUCHUNGEN ZUR AUFNAHME VON LÖSEMITTELN DURCH ORGANOPHILIERTER BENTONITE

Investigations on the Adsorption of Solvents by Organophilic Bentonite Clays

K. KUHN & A. WEISS

Institut für Anorganische Chemie der Universität München
Meiserstr. 1, 8000 München

ZUSAMMENFASSUNG

Organophilierte Montmorillonite (Bentonite) lassen sich nach entsprechender Konditionierung zur Entfernung von Lösemitteln aus der Abluft und aus Abwasser einsetzen. Die Aufnahmekapazität der Bentonite wird durch das als Organophilierungsmittel verwendete kationische Tensid und die Eigenschaften des eingesetzten Lösemittels beeinflusst.

Unterschiede in der mittleren Schichtladung des Bentonites wirken sich nur bei recht hohen oder recht niedrigen Schichtladungswerten durch einen geringen Kapazitätsabfall aus.

ABSTRACT

After a special treatment organophilic montmorillonites (bentonite clays) can be used to remove organic solvents from exhaust air. The capacity of bentonites treated in this way is mainly determined by the nature of the cationic surfactants used as organophilic agents and the properties of the organic solvent. The mean layer charge is

of less influence. The adsorptive capacity is slightly decreased in bentonites with very low or very high layer charge density.

1. EINLEITUNG

Smectite mit geeigneten organischen Zwischenschichtkationen können unter geeigneten Bedingungen nahezu alle polaren organischen Moleküle in den Schichtzwischenraum intercalieren. Als polare Baueinheit reicht dabei bereits eine einzige π -Bindung pro Molekül. Je nach Molekülgestalt bzw. Größe ist diese Intercalation mit einer mehr oder weniger ausgeprägten Aufweitung des Schichtabstandes verbunden.

Durch die organischen Zwischenschichtkationen wird der gesamte Schichtzwischenraum ausgeprägt organophil. Der hydrophile Charakter wird deutlich geschwächt. Deshalb können viele organische Moleküle auch dann noch gebunden werden, wenn sie in wäßriger Lösung vorliegen, wie Untersuchungen von G.W. BEALL (1983, 1985) und T.A. WOLFE u.a. (1986) zeigen. G.W. BEALL (1985) schlägt deshalb in seiner Patentvorschrift vor, sie statt oder gemeinsam mit Aktivkohle bei der Reinigung von verunreinigtem Abwasser einzusetzen.

Die Intercalation kann aber auch aus der Gasphase erfolgen. Daher könnten diese Bentonite den Aktivkohlen auch bei der Entfernung von Lösemitteln aus der Abluft Konkurrenz machen. So haben z.B. McBRIDE u.a. (1975) gezeigt, daß Benzoldampf von organophilierten Bentoniten in nennenswerten Mengen aufgenommen wird.

Durch geeignete Wahl von Tonmineral und Organophilierungsmittel können zusätzlich spezifische Adsorptions- und Intercalations-Eigenschaften erreicht werden, so daß formal für jeden Lösemitteltyp optimale Ton-Tensid-Paare konstruiert werden können, die in ihrer Kapazität handelsübliche Aktivkohlen zwar nicht erreichen, aber ihnen doch sehr nahe kommen dürften.

Die organophilierten Bentonite können organische Komponenten auf 3 verschiedene Arten festhalten. Die größte Bindungskapazität liegt vor, wenn sich die zu adsorbierenden Moleküle so in den Schichtzwischenraum einlagern, daß dieser aufgeweitet wird.

Häufig wird beim Eintausch der Tensid-Kationen in den Schichtzwischenraum keine dichteste Packung erzielt. In solchen Fällen können bestimmte organische Moleküle aufgenommen werden und die Hohlräume auffüllen, ohne daß sich der Schichtabstand erhöht.

Im einfachsten Fall, mit der geringsten Aufnahmekapazität, liegen keine inneren Hohlräume vor. Es besteht energetisch auch keine Möglichkeit zur Schichtaufweitung. Trotzdem können erhebliche Mengen an der äußeren Oberfläche adsorbiert werden. Die wirksame Größe kann je nach Versuchsbedingungen zwischen ca. 20 - ca. 250 m²/g variiert werden, so daß noch beachtliche Mengen gebunden werden können.

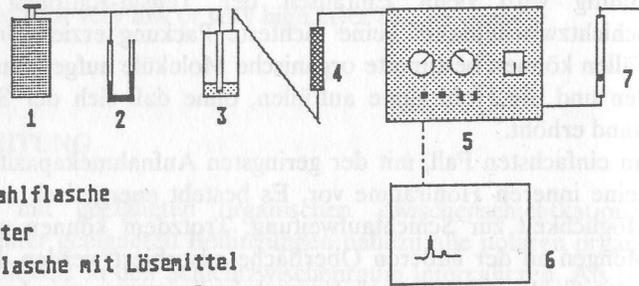
Die große Variationsbreite der Eigenschaften organophilerter Bentonite kann dazu benutzt werden, aus einer Mischung nur bestimmte Lösemittel zu adsorbieren und damit zu deren Reinigung beizutragen.

So beschreiben TARAMASSO u.a. (1971) den Einsatz von organophilierten Bentoniten als Säulenfüllung in der Gaschromatographie zur Trennung von ortho-, meta- und para-Xylenen.

Eine Rückgewinnung der adsorbierten Lösemittel läßt sich problemlos durch Erwärmen der organophilierten Bentonite erreichen. Die so regenerierten Bentonite können ohne nennenswerte Kapazitätsverluste erneut zur Lösemitteladsorption eingesetzt werden. Problematische Verbindungen lassen sich nach der Anwendung durch Glühen des Tonminerals thermisch vernichten.

2. VERSUCHSAUFBAU UND VERWENDETE MATERIALIEN

Die organophilierten Bentonite wurden in einer Meßanordnung untersucht, in der ein Stickstoffstrom über eine Waschflasche mit verschiedenen organischen Verbindungen beladen wurde. Der Lösungsmitteldampf strömte anschließend durch eine mit Bentonit gefüllte Säule. Über einen nachgeschalteten Gaschromatographen wurde der Durchbruch der organischen Verbindungen verfolgt. Manometer und Durchflußmesser dienten zur Einstellung vergleichbarer Meßbedingungen.



- 1: N₂-Stahlflasche
- 2: Manometer
- 3: Waschflasche mit Lösemittel
- 4: Säule mit organophilen Ton
- 5: Gaschromatograph
- 6: Integrator
- 7: Durchflußmesser

Abb. 1: Versuchsaufbau

Für die praktische Anwendung ist das Durchbruchverhalten sehr wichtig. Der Durchbruch, d.h. das Auftreten nennenswerter Konzentrationen in der Abluft hinter der Säule kann schleppend oder recht scharf erfolgen. Bei den meisten Bentoniten ist der Durchbruchpunkt recht scharf. Er wurde deshalb als Zeitpunkt für den Abbruch des Versuchs verwendet.

Die Kapazität des Bentonites wurde durch die Gewichts-differenz der gefüllten Säule vor und nach dem Versuch ermittelt.

Blindversuche mit reinem Stickstoffstrom ergaben nur geringfügige Gewichts-differenzen. Diese Gewichtsabnahmen sind auf Trocknungseffekte zurückzuführen, die auf der Abnahme der Restfeuchte der Tone im trockenen Stickstoffstrom beruhen.

17 verschiedene Tonminerale, von denen aus vorangegangenen Arbeiten die mittlere Schichtladung und der Anteil verschiedener Schichtladungsbereiche bekannt waren (TSIPOURI 1986), wurden mit 10 verschiedenen kationischen Tensiden beladen.

Die Tonminerale wurden zum größten Teil keinem speziellen Reinigungs-verfahren unterworfen, sondern so, wie sie aus der Grube kamen, gemahlen und mit der Tensidlösung umgesetzt.

Tab. 1: Verwendete Tonminerale

Bezeichnung	Herkunft	mittlere Schichtladung: Bemerkungen
1	Crook County, Wyoming	0.326 Bed B
2	Carter County, Montana	0.337 Bed F
3	Upton, Wyoming	0.335 Bed E, gelbgrau
4	Upton, Wyoming	0.322 Bed E, graugrün
6	Carter County, Wyoming	0.341 Bed F, Sect.2
8	Crook County, Wyoming	0.313 Bed A
13	Upton Clayspur, Wyoming	0.305
14	Miller Reed, Wyoming	0.287
23	Milos Vouvado, Griechenland	0.351
GR1	Milos Sagouris, Griechenland	0.347
S...	Schwaiba, Niederbayern	0.34
Bt...	Wyoming	
B...	Unterrupsroth, Rhön	Beidellit
TG...	Tixogele d. Fa. Südchemie	
L...	Laponit Grade B	synthetisch

Tab. 2: Als organische Zwischenschichtkationen verwendete Tenside

...14N	Tetradecylammonium-	
...16N	Hexadecylammonium-	
...18N	Octadecylammonium-	
...16P	Hexadecylpyridinium-	
...18P	Octadecylpyridinium-	
...16/3N	Trimethylhexadecylammonium-	
...18/2N	Dimethyldioctadecylammonium-	(Präpagen WK)
ohne Bez.	" "	
...VP	Typenbezeichnung der Fa. Südchemie	
...VP/S	" "	
...VZ	" "	

Die Proben 1-14 wurden auf einer Exkursion anlässlich der International Clay Conference in Denver/Col. gesammelt.

Herstellung und Konditionierung der organophilierten Bentonite erfordern besondere Beachtung. Zunächst wurden die Zwischenschichtkationen gegen Ammoniumionen oder langkettige Pyridiniumionen möglichst quantitativ ausgetauscht.

Nach einer ausreichend langen Austauschzeit (8-14 Tage) wurden die nun organophilierten Tonminerale abgenutscht, mehrfach mit destilliertem Wasser gewaschen und mit Ethanol angeteigt. Die pastöse Masse wurde anschließend durch ein Sieb mit 0,3 mm Maschenweite gepresst, wobei etwa 2-3 mm lange Formkörper entstanden. Diese konnten nach dem Trocknen bei Raumtemperatur direkt als Säulenfüllung eingesetzt werden.

Die für die Versuche verwendeten HPLC-Leersäulen mit einem Innenvolumen von 2,1 ml und einer Länge von 12,5 cm wurden mit etwa einem Gramm des oben beschriebenen konditionierten Tons gefüllt.

Die Fließgeschwindigkeit wurde auf 1 Liter pro Stunde eingestellt; dazu mußte ein Stickstoffüberdruck von 5 - 10 Torr angelegt werden.

Die Versuchsdauer betrug je nach Lösemittel zwischen 10 Minuten und 7 Stunden.

Bei gleichem Bentonit und variiertem Tensid ergaben sich für die einzelnen Aufnahmekapazitäten für verschiedene organische Verbindungen relativ große Unterschiede.

3. ERGEBNISSE

In einer ersten Versuchsreihe wurde der Einfluß verschiedener, als Zwischenschichtkationen eingesetzter Tenside auf die Aufnahmekapazität des Bentonites untersucht.

Als Bentonit diente bei allen Versuchen die Fraktion D 5/2 aus der Bentonitgrube Schwaiba in Niederbayern.

In der Abb. 2 sind die Bindungskapazitäten bis zum Durchbruch in mmol Lösemittel pro Gramm Adsorbens aufgetragen. Die sechs

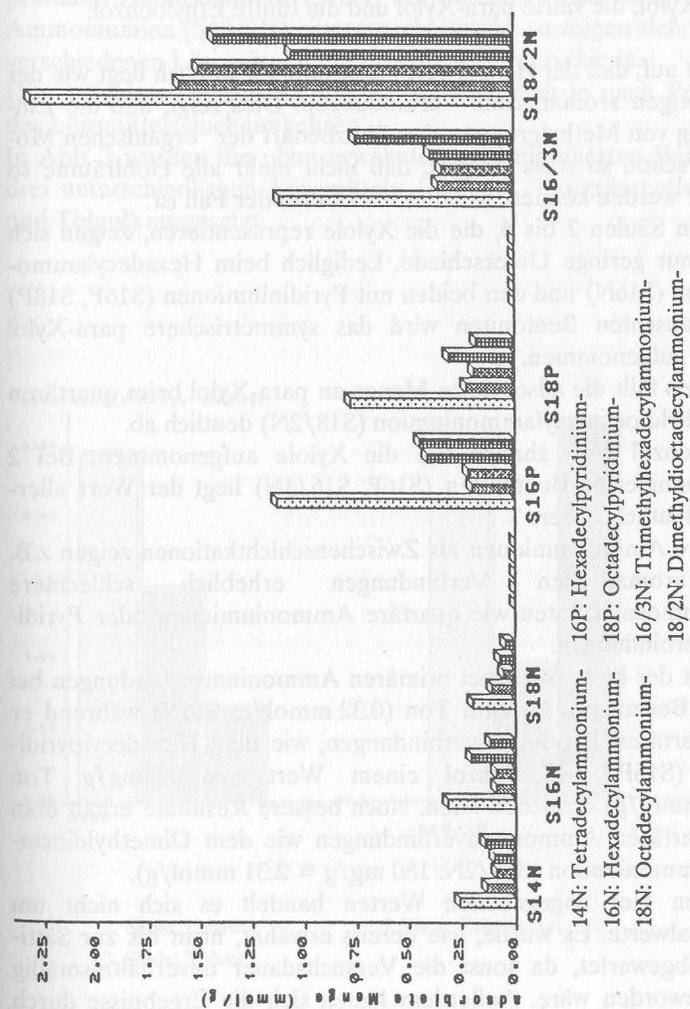


Abb. 2: Einfluß verschiedener Tenside bei gleichem Bentonit

Säulengruppen beziehen sich auf die unterschiedlichen Zwischenschichtkationen im gleichen Ausgangsbentonit. Dabei repräsentiert die erste Säule jeweils Benzol, die zweite ortho-Xylol, die dritte meta-Xylol, die vierte para-Xylol und die fünfte Ethylbenzol.

Es fällt auf, daß der Benzolwert meist doppelt so hoch liegt wie der der übrigen aromatischen Verbindungen. Dies zeigt, daß die Einführung von Methylgruppen den Platzbedarf der organischen Moleküle schon so stark steigert, daß nicht mehr alle Hohlräume so besetzt werden können, wie dies bei Benzol der Fall ist.

Bei den Säulen 2 bis 4, die die Xylole repräsentieren, zeigen sich meist nur geringe Unterschiede. Lediglich beim Hexadecylammoniumion (S16N) und den beiden mit Pyridiniumionen (S16P, S18P) ausgetauschten Bentoniten wird das symmetrischere para-Xylol besser aufgenommen.

Dagegen fällt die adsorbierte Menge an para-Xylol beim quartären Dimethyldioctadecylammoniumion (S18/2N) deutlich ab.

Ethylbenzol wird ähnlich wie die Xylole aufgenommen. Bei 2 organophilierten Bentoniten (S16P, S16/3N) liegt der Wert allerdings deutlich höher.

Primäre Ammoniumionen als Zwischenschichtkationen zeigen z.B. bei aromatischen Verbindungen erheblich schlechtere Aufnahmekapazitäten wie quartäre Ammoniumionen oder Pyridiniumverbindungen.

So liegt der beste Wert bei primären Ammoniumverbindungen bei 25 mg Benzol pro Gramm Ton (0,32 mmol/g; S16N) während er bei quartären Pyridiniumverbindungen, wie dem Hexadecylpyridinium (S16P) bei Benzol einem Wert von 88 mg/g Ton (1,13 mmol/g) erreichen kann. Noch bessere Resultate erhält man bei quartären Ammoniumverbindungen wie dem Dimethyldioctadecylammoniumion (S18/2N: 180 mg/g \approx 2,31 mmol/g).

Bei den hier angegebenen Werten handelt es sich nicht um Maximalwerte. Es wurde, wie bereits erwähnt, nicht bis zur Sättigung abgewartet, da sonst die Versuchsdauer unverhältnismäßig lang geworden wäre. Außerdem lassen sich die Ergebnisse durch Verwendung längerer Säulen oder geringerer Fließgeschwindigkeiten erheblich steigern.

Für die Aufnahmekapazitäten sind auch die Eigenschaften des Lösemittels von Bedeutung.

Vergleicht man die Aufnahmekapazitäten eines Tones mit einem primären Ammoniumion (S16N) mit einem, in den ein quartäres Ammoniumion (S18/2N) eingetauscht wurde, so zeigen sich für die verschiedenen Lösemittel recht erhebliche Unterschiede.

Die Aufnahmekapazitäten können sich nämlich je nach Polarität des Lösemittels auch umkehren.

In Abb. 3 wurden die oben erwähnten organophilierten Bentonite drei unterschiedlichen Lösemitteln (Ethanol, Essigsäureethylester und Toluol) ausgesetzt.

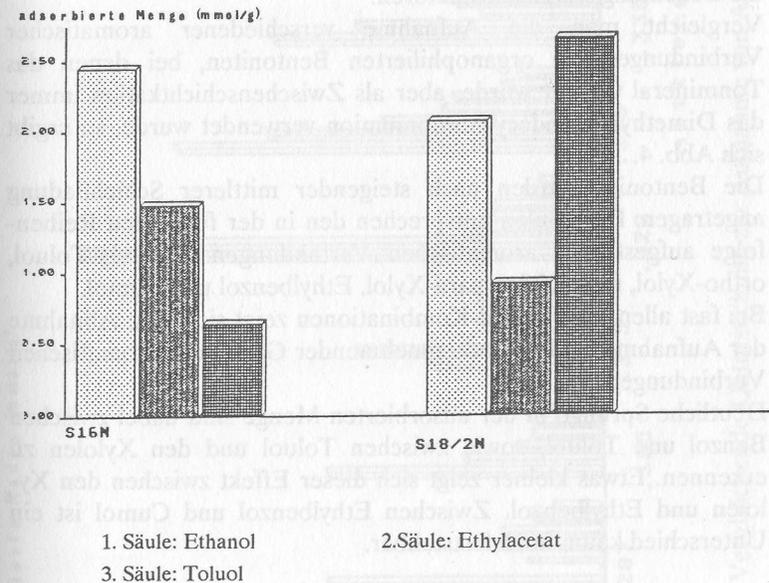


Abb. 3: Unterschiede in der Lösemittelaufnahme bei zwei verschiedenen Tensiden (Hexadecylammonium-Dimethyldioctadecylammonium-) und gleichem Bentonit

Ist die Aufnahmekapazität für Ethanol und Ethylacetat beim Decylammoniumhexaion (S16N) größer als beim Dimethyldioctadecylammonium (S18/2N). Umgekehrt ergibt sich für das zweitgenannte Tensid bei unpolaren Verbindungen eine um Größenordnungen bessere Kapazität (Toluol: S16N: $59 \text{ mg/g} \approx 0.65 \text{ mmol/g}$ - S18/2N: $260 \text{ mg/g} \approx 2.83 \text{ mmol/g}$ Ton).

Während sich innerhalb homologer Reihen von organischen Verbindungen bestimmte optimale Bentonit-Tensid-Paare angeben lassen, können andere Paare bei anderen Verbindungen bessere Ergebnisse liefern.

Großen Einfluß auf die Aufnahmekapazität hat erwartungsgemäß die Wahl der untersuchten Verbindung.

Um die Auswirkungen von sterischen Faktoren, Dipolmomenten und polaren Gruppen zu untersuchen, wurden mehrere homologe Reihen untersucht. Sehr deutlich zeigt sich bei fast allen Bentoniten die Bedeutung sterischer Faktoren.

Vergleicht man die Aufnahme verschiedener aromatischer Verbindungen bei organophilierten Bentoniten, bei denen das Tonmineral variiert wurde, aber als Zwischenschichtkation immer das Dimethyldioctadecylammonium verwendet wurde, so ergibt sich Abb. 4.

Die Bentonite wurden nach steigender mittlerer Schichtladung angetragen. Die Säulen entsprechen den in der folgenden Reihenfolge aufgestellten aromatischen Verbindungen: Benzol, Toluol, ortho-Xylol, meta-Xylol, para-Xylol, Ethylbenzol und Cumol.

Bei fast allen Ton-Tensid-Kombinationen zeigt sich eine Abnahme der Aufnahmekapazität mit zunehmender Größe der aromatischen Verbindungen.

Deutliche Sprünge in der adsorbierten Menge sind dabei zwischen Benzol und Toluol, sowie zwischen Toluol und den Xylenen zu erkennen. Etwas kleiner zeigt sich dieser Effekt zwischen den Xylenen und Ethylbenzol. Zwischen Ethylbenzol und Cumol ist ein Unterschied kaum noch feststellbar.

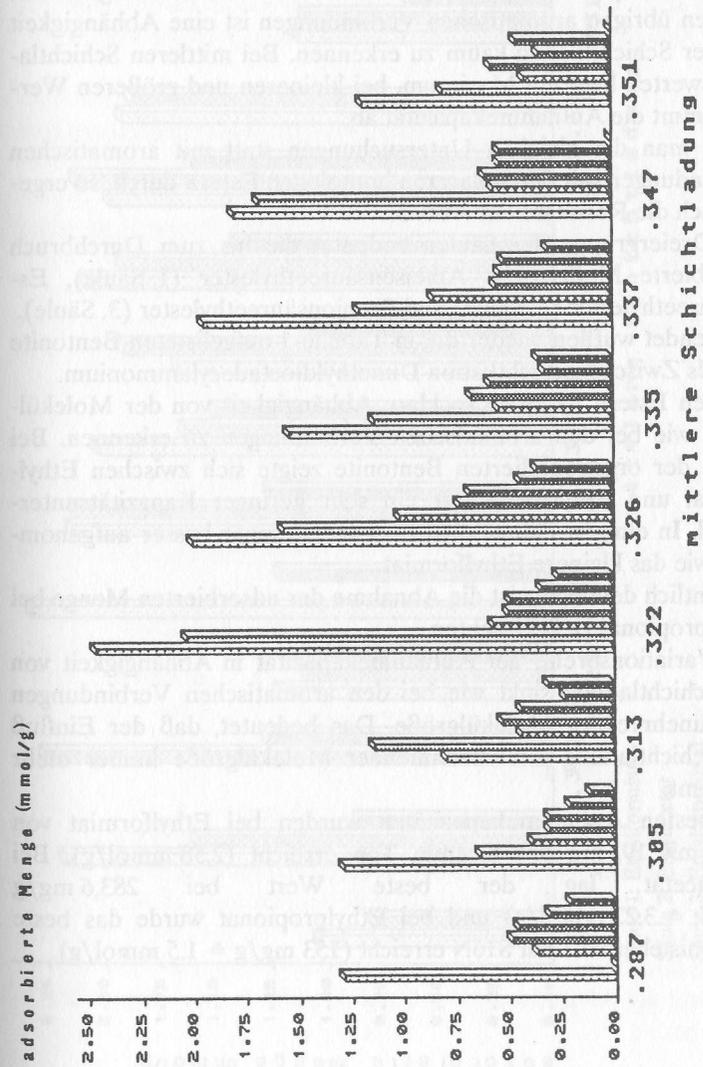


Abb. 4: Vergleichende Untersuchung zur Aufnahme von Aromaten

Der Einfluß der Schichtladung läßt sich nicht so klar interpretieren. Bei Benzol und Toluol treten deutliche Unterschiede in der Aufnahmekapazität in Abhängigkeit von der Schichtladung hervor. Bei den übrigen aromatischen Verbindungen ist eine Abhängigkeit von der Schichtladung kaum zu erkennen. Bei mittleren Schichtladungswerten liegt ein Maximum, bei kleineren und größeren Werten nimmt die Aufnahmekapazität ab.

Führt man die gleichen Untersuchungen statt mit aromatischen Verbindungen mit den polareren homologen Estern durch, so ergeben sich die Resultate der Abb. 5.

Die Dreiergruppe der Säulen bedeutet die bis zum Durchbruch adsorbierte Menge von Ameisensäureethylester (1. Säule), Essigsäureethylester (2. Säule) und Propionsäureethylester (3. Säule). Verwendet wurden wieder die in Tabelle 1 aufgelisteten Bentonite und als Zwischenschichtkation Dimethyldioctadecylammonium.

Bei den Estern ist keine so klare Abhängigkeit von der Molekülgröße wie bei den aromatischen Verbindungen zu erkennen. Bei vielen der organophilierten Bentonite zeigte sich zwischen Ethylformiat und Ethylacetat nur ein sehr geringer Kapazitätsunterschied. In einigen Fällen wird Ethylacetat sogar besser aufgenommen wie das kleinere Ethylformiat.

Wesentlich deutlicher ist die Abnahme der adsorbierten Menge bei Ethylpropionat zu beobachten.

Die Variationsbreite der Aufnahmekapazität in Abhängigkeit von der Schichtladung sinkt wie bei den aromatischen Verbindungen mit zunehmender Molekülgröße. Das bedeutet, daß der Einfluß der Schichtladung mit zunehmender Molekülgröße immer mehr abnimmt.

Die besten Aufnahmekapazitäten wurden bei Ethylformiat von S16P mit 191 mg pro Gramm Ton erreicht (2.58 mmol/g). Bei Ethylacetat lag der beste Wert bei 283,6 mg/g (S16N; ≈ 3.22 mmol/g) und bei Ethylpropionat wurde das beste Ergebnis ebenfalls mit S16N erreicht (153 mg/g ≈ 1.5 mmol/g).

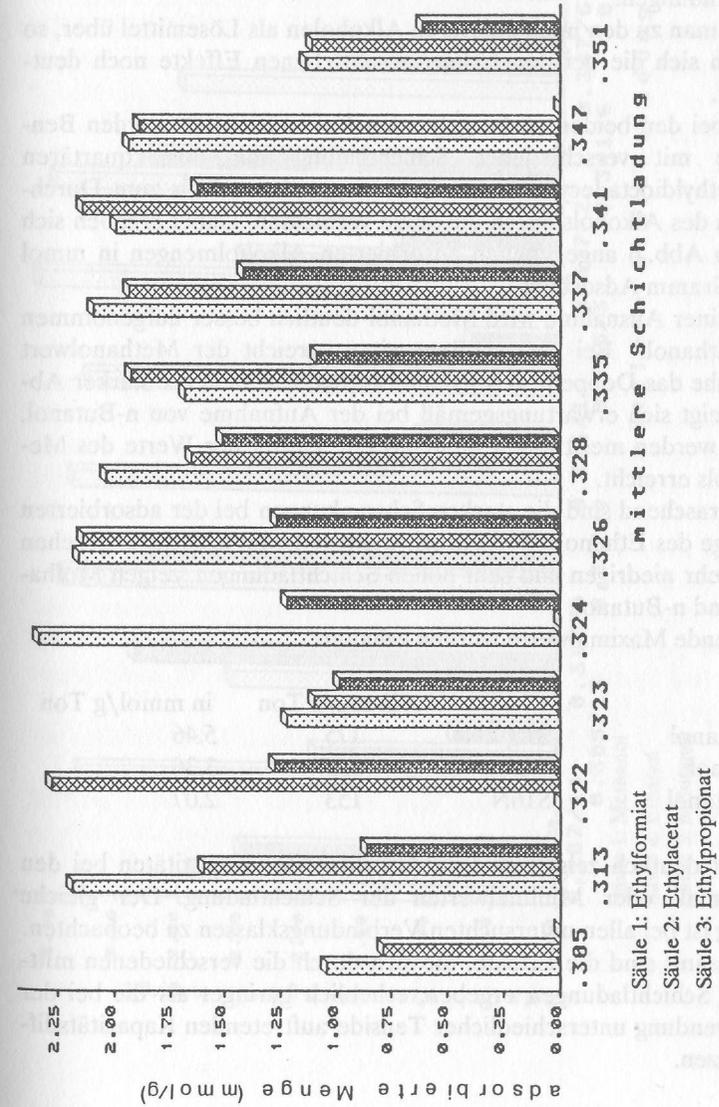


Abb. 5: Der Einfluß der Schichtladung verschiedener Bentonite

Bedingt durch die kleinere Molekülgröße liegen die molaren Aufnahmekapazitäten durchweg höher als bei den aromatischen Verbindungen.

Geht man zu den noch polarerer Alkoholen als Lösemittel über, so zeigen sich die bei den Estern beschriebenen Effekte noch deutlicher.

Wie bei den beiden vorhergehenden Versuchsreihen wurden Bentonite mit verschiedener Schichtladung mit dem quartären Dimethyldioctadecylammoniumion umgesetzt und bis zum Durchbruch des Alkohols durch die Säule vermessen. Dabei ergaben sich die in Abb. 6 angegebenen adsorbierten Alkoholmengen in mmol pro Gramm Adsorbens.

Mit einer Ausnahme wird Methanol deutlich besser aufgenommen als Ethanol. Bei einigen Bentoniten erreicht der Methanolwert beinahe das Doppelte des Ethanolwertes. Ein weiterer starker Abfall zeigt sich erwartungsgemäß bei der Aufnahme von n-Butanol. Hier werden meist kaum mehr als ein Viertel der Werte des Methanols erreicht.

Überraschend sind die starken Schwankungen bei der adsorbierten Menge des Ethanols. Wesentlich weniger Unterschiede, abgesehen von sehr niedrigen und sehr hohen Schichtladungen, zeigen Methanol und n-Butanol.

Folgende Maximalwerte wurden erhalten:

		in mg/g Ton	in mmol/g Ton
Methanol	S18/2N	175	5.46
Ethanol	8	155	3.36
n-Butanol	S16N	153	2.07

Recht deutlich zeigt sich eine Abnahme der Kapazitäten bei den Maximal- oder Minimalwerten der Schichtladung. Der gleiche Gang ist bei allen untersuchten Verbindungsklassen zu beobachten. Insgesamt sind die Effekte, die sich durch die verschiedenen mittleren Schichtladungen ergeben, erheblich geringer als die bei der Verwendung unterschiedlicher Tenside auftretenden Kapazitätsdifferenzen.

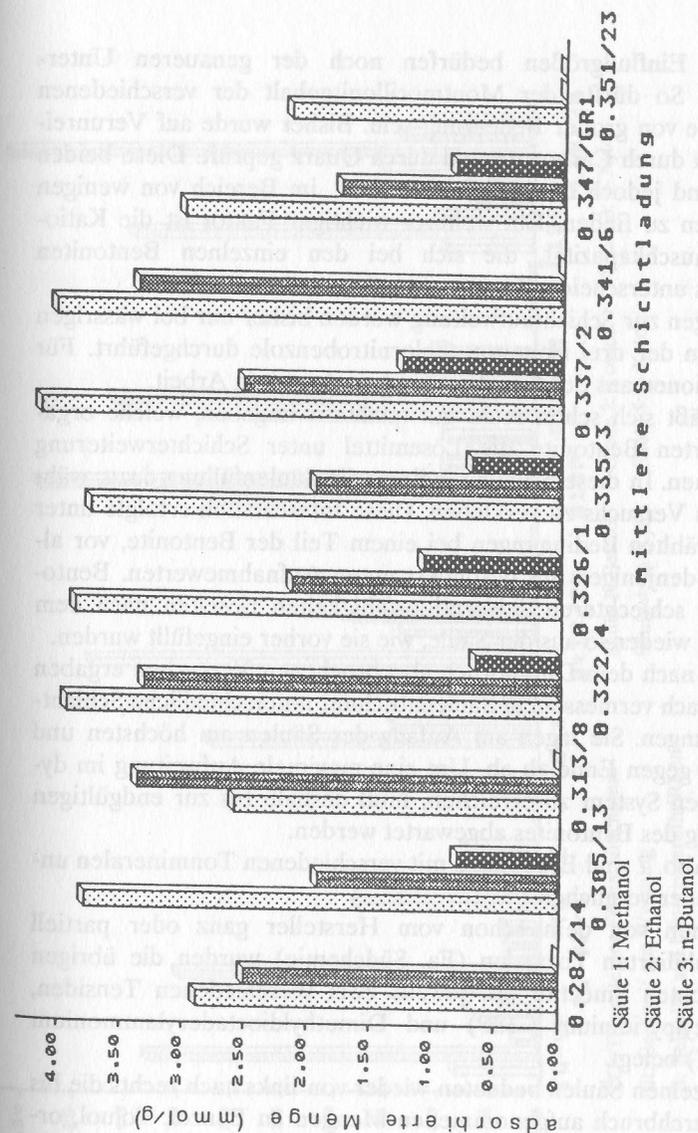


Abb. 6: Die Aufnahmekapazität organophilierter Bentonite bei verschiedenen Alkoholen

Weitere Einflußgrößen bedürfen noch der genaueren Untersuchung. So dürfte der Montmorillonitgehalt der verschiedenen Bentonite von großer Bedeutung sein. Bisher wurde auf Verunreinigungen durch Carbonate und durch Quarz geprüft. Diese beiden Stoffe sind jedoch nur spurenweise bzw. im Bereich von wenigen Prozenten zu finden. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Kationenaustauschkapazität, die sich bei den einzelnen Bentoniten ebenfalls unterscheiden kann.

Messungen zur Schichtaufweitung wurden bisher nur bei wässrigen Lösungen der drei isomeren Chlornitrobenzole durchgeführt. Für Adsorptionen aus der Gasphase sind sie derzeit in Arbeit.

Bisher läßt sich schon recht gut qualitativ angeben, welche organophilierten Bentonite die Lösemittel unter Schichterweiterung aufnehmen. In diesem Falle tendierte die Säulenfüllung dazu, während des Versuchs zu verkleben. Diese Intercalation erfolgte unter den gewählten Bedingungen bei einem Teil der Bentonite, vor allem bei denjenigen mit besonders guten Aufnahmewerten. Bentonite mit schlechteren Adsorptionsfähigkeiten rieselten nach dem Versuch wieder so aus der Säule, wie sie vorher eingefüllt wurden.

Bei den nach dem Durchbruch abgebrochenen Versuchen ergaben sich je nach vermessenem Säulenabschnitt unterschiedliche Schichtaufweitungen. Sie lagen am Anfang der Säulen am höchsten und nahmen gegen Ende zu ab. Um eine maximale Aufweitung im dynamischen System zu erreichen, muß deshalb bis zur endgültigen Sättigung des Bentonites abgewartet werden.

In der Abb. 7 sind Ergebnisse mit verschiedenen Tonmineralen untereinander verglichen.

Abgesehen von dem schon vom Hersteller ganz oder partiell organophilierten Tixogelen (Fa. Südchemie) wurden die übrigen untersuchten Smectite mit jeweils zwei verschiedenen Tensiden, Octadecylpyridinium (-18P) und Dimethyldioctadecylammonium (-18/2N) belegt.

Die einzelnen Säulen bedeuten wieder von links nach rechts die bis zum Durchbruch aufgenommenen Mengen an Benzol, Toluol, ortho-Xylol, meta-Xylol und para-Xylol.

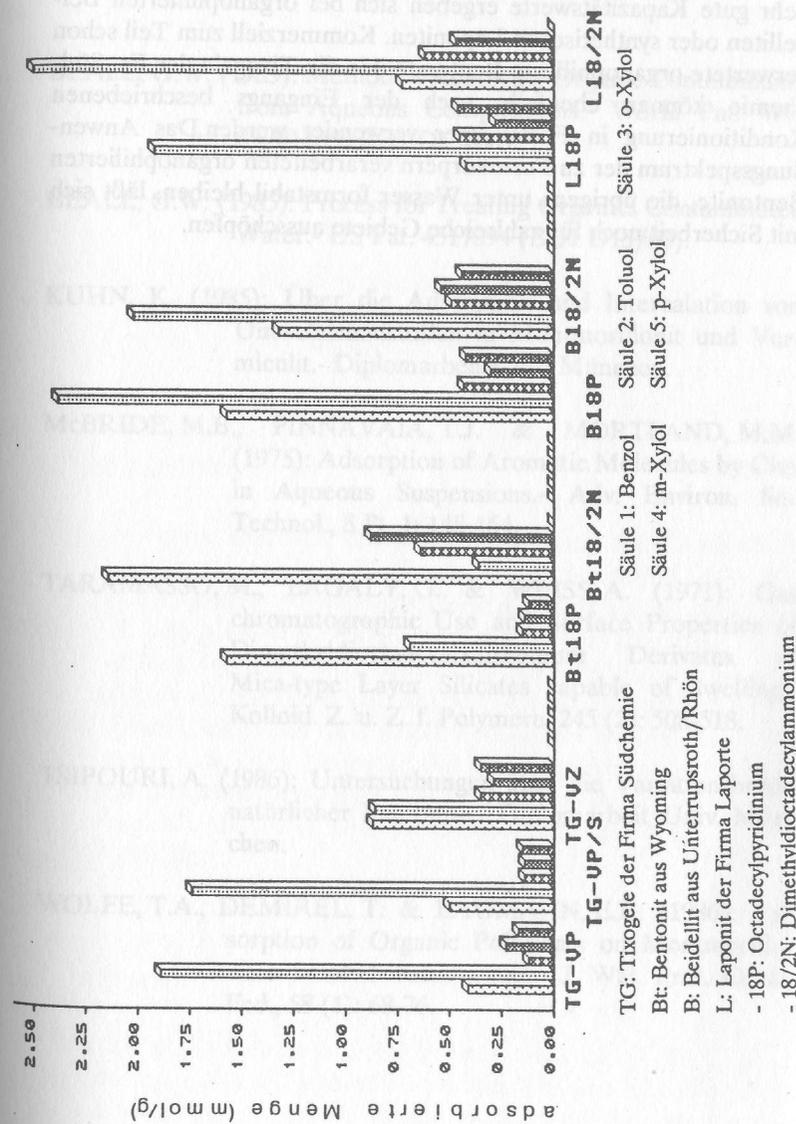


Abb. 7: Vergleich verschiedener Tonminerale

Sehr gute Kapazitätswerte ergeben sich bei organophilisierten Beidelliten oder synthetischen Laponiten. Kommerziell zum Teil schon verwertete organophilisierte Bentonite wie die Tixogele der Fa. Südschemie können ebenfalls nach der Eingangs beschriebenen Konditionierung in Formkörper verwendet werden. Das Anwendungsspektrum der zu Formkörpern verarbeiteten organophilisierten Bentonite, die übrigens unter Wasser formstabil bleiben, läßt sich mit Sicherheit noch für zahlreiche Gebiete ausschöpfen.

4. LITERATUR

- BEALL, G.W. (1983): Method of Removing Organic Contaminants from Aqueous Compositions.- World Pat. WO 83/01205 (BO1 D15/00).
- BEALL, G.W. (1985): Process for Treating Organics Contaminated Water.- US Pat. 4517094 (BO1 D15/00).
- KUHN, K. (1985): Über die Adsorption und Intercalation von Umweltschadstoffen in Montmorillonit und Vermiculit.- Diplomarbeit Univ. München.
- McBRIDE, M.B., PINNAVAIA, T.J. & MORTLAND, M.M. (1975): Adsorption of Aromatic Molecules by Clay in Aqueous Suspensions.- Adv. Environ. Sci. Technol., 8 Pt. 1: 145-154.
- TARAMASSO, M., LAGALY, G. & WEISS, A. (1971): Gas chromatographic Use and Surface Properties of Dimethyldioctadecylammonium Derivates of Mica-type Layer Silicates capable of Swelling.- Kolloid. Z. u. Z. f. Polymere, 245 (2): 508-518.
- TSIPOURI, A. (1986): Untersuchungen über die Variationsbreite natürlicher Bentonite.- Diplomarbeit Univ. München.
- WOLFE, T.A., DEMIREL, T. & BAUMANN, E.R. (1986): Adsorption of Organic Pollutants on Montmorillonites Treated with Amines.- J. Wat. Prot. Contr. Fed., 58 (1): 68-76.

ABSTRACT

The clays play an important role in waste technology due to their particular properties. To control increasing problems of waste water in the developing countries a physical-chemical process for the treatment of the industrial waste water by using clay minerals as adsorbents. The use of the local available chemicals has been investigated.