

## **Zusammenfassung**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung der Möglichkeiten in Jordanien vorkommende natürliche Zeolithe für die Entfernung von Nährstoff- und Schwermetallionen aus belastetem Wasser zu verwenden.

Bei den Untersuchungen wurden zwei zeolithhaltige Gesteinssorten verwendet, die als Braune- und Rote-Zeolithe bezeichnet werden. Als Ergebnis stellte sich heraus, daß beide Gemische sehr unterschiedliche Eigenschaften haben.

Die dominanten Zeolithmineralien, die in der Korngrößenfraktion 1-0,315 mm der roten Zeolithe gefunden wurden, sind: Phillipsite, Chabazite und Harmotome. Bei Analyse der gleichen Korngrößenfraktion der braunen Zeolithe stellten sich als die dominanten Zeolithmineralien Phillipsite, Faujasite und Harmotom dar.

Die Ergebnisse der Bestimmung der gesamten Ionenaustauschkapazität zeigen relativ große Schwankungen. Diese Unterschiede hängen von verschiedenen Randbedingungen ab: Die Methode (Batch-Reaktor oder Ionenaustauschsäule) mit der die Analyse durchgeführt wird, hat ebenso Einfluß wie die Wahl der verwendeten Salzlösung. Die Ergebnisse der Kationaustauschkapazitätsversuche zeigen, daß die roten Zeolithe (2,96 meq/g) eine merkbar höhere Kapazität als die braunen Zeolithe (1,84 meq/g) haben.

Die Ergebnisse der Zeolithadsorptionskapazität wurden in einem Versuch erzielt, bei dem auf Ionenaustauschsäulen aus einem Luftstrom Wasserdampf und Ammoniak adsorbiert worden waren. Braune Zeolithe besitzen eine höhere Adsorptionskapazität für Wasserdampf als die roten Zeolithe. Die größte Adsorptionskapazität wird bei den braunen Zeolithen nach thermischer Aktivierung durch Aufheizen auf eine Temperatur von 150°-250°C erreicht.

Die mit verdünnten Säurelösungen behandelten Zeolithproben zeigten keine veränderte Adsorptionskapazität für H<sub>2</sub>O, jedoch für NH<sub>3</sub>. Die Wirkung der chemischen Behandlung auf die beiden Zeolithe ergab folgendes: Die höchste Adsorptionskapazität für NH<sub>3</sub> zeigte die Ca-Form der beiden Zeolith-Arten. Die Adsorptionskapazität der chemisch behandelten roten Zeolithe für H<sub>2</sub>O wurde nicht wesentlich verändert, bei den braunen Zeolithen wurde bei Verwendung der Ca-Form die höchste Menge an adsorbiertem H<sub>2</sub>O erreicht.

Die unbehandelte rote Zeolithprobe (1-0,315mm) zeigte, im Vergleich zum braunen Zeolith (20g/kg), eine höhere Adsorptionskapazität für NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (46g/kg) nachdem sie mit einer Ammoniumstandardlösung behandelt worden war. Diese Kapazität sank auf Mengen bis zu 2,2g/kg für die roten Zeolithe und 1g/kg für die braunen Zeolithe nachdem beide Zeolithe mit Gülle behandelt worden waren. Diese niedrige Kapazität ergibt sich wegen der hohen Konzentrationen von Fremdkationen (Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> und Mg<sup>2+</sup>) und wahrscheinlich auch der gelösten und suspendierten Organika. Mit der Adsorption von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aus der Gülle mit Hilfe von den Zeolithen wurde ebenfalls Phosphor aus der Gülle entfernt. Die Elimination des Phosphors stieg an bei Verwendung einer größeren Menge der Zeolithe. Es war zu bemerken, daß bei der Verwendung von braunen Zeolithen eine höhere adsorbierte Menge an Phosphat (723mg/kg) erreicht wurde. Der Grund hierfür ist, daß der braune Zeolith einen hohen Prozentsatz an CaCO<sub>3</sub> als Begleitmineral enthält.

Mit Hilfe von Leitungswasser oder bidestilliertem Wasser wurde das vorher aus der Standardlösung oder aus der Gülle adsorbierte NH<sub>4</sub><sup>+</sup> eluiert. Als Ergebnis kam heraus, daß aus den roten Zeolithen eine höhere Menge Ammonium (87%), im Vergleich mit den braunen Zeolithen (76%), eluiert wurde. Außerdem erfolgte die Elution des Ammonium aus den roten Zeolithen langsamer, was charakteristisch für diese ist. Die gleichen Ergebnisse wurden bei Untersuchung der Elution des vorher aus der Gülle adsorbierten Ammoniums an den Zeolithen gefunden. Benutzt man eine große Menge an Zeolithen für den Elutionsprozeß,

## Zusammenfassung

desto besser und langsamer sind die Elutionsverhältnisse für das Ammonium. Bei Verwendung von bidestilliertem Wasser bei der Elution wurde viel Ammonium aus den Zeolithen desorbiert, obwohl dieses Wasser keine Kationen enthielt.

Die Menge des im Elutionsprozeß wieder gelösten Phosphors ist unabhängig von der eingesetzten Zeolithmenge; es scheint jedoch, daß der pH-Wert der Lösung entscheidende Wirkung bei der Elution besitzt.

Die Adsorptionskapazität von natürlichen jordanischen Zeolithen für Schwermetallionen aus einfachen und komplexen Lösungen war Gegenstand der weiteren Untersuchungen. Die Versuche wurden in Batchreaktoren und in Ionenaustauschsäulen durchgeführt. Für die Versuche wurden Zeolithe in verschiedenen Formen verwendet: unbehandelte Formen und Zeolithe in ihren Ca-, K- und Na-Formen

Im Batchreaktorsystem zeigte sich für die Korngrößenfraktion 1-0,315mm der unbehandelten braunen Zeolithe eine höhere Effektivität bei der Entfernung von  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  und  $\text{Zn}^{2+}$  Ionen aus jeweils nur ein Salz enthaltenden Lösungen als für die gleiche Korngrößenfraktion der roten Zeolithe.

Im Gegensatz dazu wurden  $\text{Pb}^{2+}$ -Ionen von beiden Zeolith-Arten praktisch gleich stark adsorbiert (145-150mg/g). Die Entfernung von  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  und  $\text{Zn}^{2+}$  aus wässrigen Lösungen durch den braunen Zeolithen geschieht nicht nur durch Ionenaustausch sondern auch durch Adsorption an äußeren Oberflächen des Zeolithrohstoffes. Auf der anderen Seite war die Gesamtadsorption von  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  und  $\text{Zn}^{2+}$  beim roten Zeolith geringer als die gesamte Adsorptionskapazität dieses Stoffes. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei der Adsorption von  $\text{Cu}^{2+}$  und  $\text{Ni}^{2+}$  durch die braunen Zeolithe beobachtet. Es könnte sein, daß nicht alle Ionen in der Lage waren an den Zeolithmineralien Austauschplätze zu finden.

Der Einsatz von Fremdionen ( $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Na}^+$ ) hat folgende Effekte:

- Die Adsorption von  $\text{Pb}^{2+}$  - und  $\text{Cu}^{2+}$  -Ionen wurde nicht durch die Fremdionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , ...) beeinflusst, sondern war abhängig vom verwendeten Regenerationstypus.
- Die Gesamtadsorption von  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  und  $\text{Ni}^{2+}$  war stark abhängig vom verwendeten Regenerationstypus und wurde ebenfalls nicht durch  $\text{Ca}^{2+}$  oder  $\text{Na}^+$  Ionen in der Lösung beeinflusst.

Die Fließgeschwindigkeit der Lösung beeinflusste die Adsorptionskapazität der Zeolithe in den Ionenaustauschsäulen. Die Durchbruchkurven sind zu höheren Durchsatzvolumina verschoben, wenn eine Durchflußrate von 400ml/Stunde anstelle von 600ml/Stunde gewählt wird. Gleichzeitig wurde eine höhere Effizienz bei der Entfernung der Schwermetallionen beobachtet.

Aus den Ergebnissen für die beiden verwendeten Zeolitharten in ihren regenerierten Formen in den Ionenaustauschsäulen, kann man erkennen, daß die braunen Zeolithe in der Na-Form eine besonders hohe Adsorptionskapazität für Schwermetallionen aus der Lösung besitzen. Desweiteren stieg ihre Adsorptionskapazität für Schwermetallionen durch Wiederholung des Regeneration-Elutions-Prozesses in der gleichen Ionenaustauschsäule an.

Die Menge der aus den Zeolithen extrahierten Schwermetallionen ist sehr variabel und hängt sowohl stark von der Art der benutzten Regenerationslösung als auch von der vorher verwendeten Zeolithform (Ca-, K- oder Na-Form) ab. Im allgemeinen wurden von der Na-Form der braunen Zeolithe mehr Schwermetallionen adsorbiert und dann auch wieder desorbiert. Die Menge an umgesetzten Schwermetallionen stieg durch einen zweiten Regenerationszyklus noch an. Eine Ausnahme bildete das  $\text{Cu}^{2+}$ -Ion, welches aus den Zeolithmineralien weitgehend nicht wieder desorbiert wurde. Der Grund hierfür könnte sein, daß das Kupfer durch Fällung an der äußeren Oberfläche des Zeolithrohstoffes oder innerhalb der Zeolithstruktur entfernt worden war.