



**Schriftenreihe**

**Siedlungswasserwirtschaft und Umwelt**

Heft  
**18**

---

**Roland Koch, Volker Preuß, Thomas Koch und Ralph Schöpke**

Verminderung der Sulfatbelastung neutralisierter  
Grubenwässer mittels Nanofiltration  
- Laborversuche zur Verfahrensentwicklung -

**Cottbus 2009**

---

Herausgeber:  
Lehrstuhl Wassertechnik und Siedlungswasserbau  
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. R. Koch

ISBN 3-934294-25-1

Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. R. Koch  
Lehrstuhl Wassertechnik und Siedlungswasserbau  
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus

Vertrieb: Eigenverlag des Lehrstuhls Wassertechnik und Siedlungswasserbau  
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus  
Siemens-Halske-Ring 8  
03046 Cottbus  
Tel.: 0049-355-69-4302  
Fax: 0049-355-69-3025  
e-mail: [wassertechnik@tu-cottbus.de](mailto:wassertechnik@tu-cottbus.de)

Alle Rechte vorbehalten. Wiedergabe nur mit Genehmigung des  
Lehrstuhls Wassertechnik und Siedlungswasserbau  
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus,  
Siemens-Halske-Ring 8, 03046 Cottbus

Cottbus 2009

ISBN 3-934294-25-1

## **Vorwort**

Die Wechselwirkungen zwischen dem Braunkohlenbergbau und dem Wasserhaushalt des Lausitzer Bergbaureviers stehen seit Jahren im Fokus der Forschungstätigkeiten des Lehrstuhls Wassertechnik & Siedlungswasserbau der BTU Cottbus. Nach ersten Untersuchungen zum Prozessverständnis der Genese bergbaubeeinflusster Wässer konzentrieren sich die Forschungsthemen seither auf die Verfahrensentwicklung mit dem Ziel, den regionalen Wasserhaushalt zu stärken und eine Gefahrenabwehr bei exponierten Wasserkörpern zu ermöglichen.

Der Inhalt dieses Heftes resultiert aus der Bearbeitung des durch das BMBF geförderten Forschungsthemas „Entwicklung eines Verfahrens zur Minimierung der Sulfatbelastung neutralisierter Gruben-/Oberflächenwässer mittels Nanofiltration“ (BMBF 02WB0868). Die Bearbeitung wurde durch eine Co-Finanzierung der Vattenfall Europe Mining AG ermöglicht. Beiden Mittelgebern gilt der besondere Dank der Bearbeiter.

“Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WB0868 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.”

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Verfahrenstechnisches Konzept</b>	<b>2</b>
2.1.1	Nanofiltration als 1. Prozessstufe	3
2.1.2	Externes Seeding als 2. Stufe Prozessstufe	6
<b>2.2</b>	<b>Stand der Entwicklung zur Aufbereitung komplizierter Wässer mit Membranverfahren</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Rohwasser</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Laboranlage zur Nanofiltration</b>	<b>16</b>
3.2.1	Anlagenbeschreibung	16
3.2.2	Verwendete Membranen	18
3.2.3	Verwendete Spacer	18
3.2.4	Verwendete Reiniger	19
<b>3.3</b>	<b>Versuchsaufbaus zur Kristallisation</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Membranscreening</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Untersuchungen zum Membranprozess</b>	<b>22</b>
4.2.1	Variation der Betriebsparameter im Kreislaufbetrieb	22
4.2.2	Aufbereitungsprozess im Kreislaufbetrieb	23
4.2.3	Aufbereitungsprozess im feed & bleed-Betrieb	23
<b>4.3</b>	<b>Untersuchungen zur Kristallisation</b>	<b>24</b>
4.3.1	Vorversuche zur Kristallkeimbildung	24
4.3.2	Wirksamkeit des Kristallisationsreaktors	24
<b>5</b>	<b>Auswertung und Ergebnisse</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Membranenscreening</b>	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>Vorversuche zur Keimbildung</b>	<b>26</b>
<b>5.3</b>	<b>Kreislaufversuche</b>	<b>28</b>
5.3.1	Variation der Betriebsbedingungen	28
5.3.2	Dauerversuche	32

---

<b>5.4</b>	<b>„Feed and Bleed“-Betrieb</b>	<b>36</b>
5.4.1	Dauerversuche	36
5.4.2	Beschaffenheit des aufbereiteten Wassers	50
5.4.3	Membranreinigung	51
<b>5.5</b>	<b>Erzielte Ergebnisse</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b><i>Strömungsmechanische Analyse</i></b>	<b>52</b>
<b>6.1</b>	<b>Beschreibung des Strömungsvorgangs</b>	<b>52</b>
<b>6.2</b>	<b>Verhinderung der Anlagerung von Kristallen</b>	<b>54</b>
6.2.1	Erhöhung der Schubspannung	54
6.2.2	Erzeugung von Spannungen zwischen Wand und Kristallschicht	58
6.2.3	Mechanische Beseitigung der Ablagerungen	61
6.2.4	Strömungsmechanische Beseitigung der Ablagerungen	62
<b>6.3</b>	<b>Erzielte Ergebnisse</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b><i>Kostenannahme der Wasseraufbereitung</i></b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b><i>Zusammenfassung</i></b>	<b>65</b>
<b>9</b>	<b><i>Ausblick</i></b>	<b>67</b>
<b>10</b>	<b><i>Literatur</i></b>	<b>68</b>
<b>11</b>	<b><i>Abbildungsverzeichnis</i></b>	<b>70</b>
<b>12</b>	<b><i>Tabellenverzeichnis</i></b>	<b>73</b>

## 1 Einleitung

Das Lausitzer Revier ist seit über 100 Jahren Abbaugbiet für Braunkohle. Für die Trockenhaltung der Tagebaue sind umfangreiche wassertechnische Maßnahmen vor, während und nach der Kohleförderung notwendig. Hierzu gehört unter anderem die Behandlung des anfallenden Grubenwassers. Nach Durchströmen von Abraumkippen ist das Wasser mit Reaktionsprodukten aus der Verwitterung von Pyrit und Markasit befrachtet. Daher wird es in Grubenwasserreinigungsanlagen aufbereitet. Durch Belüftung, Zuführung von Kalkmilch und Zugabe von Flockungshilfsmitteln lassen sich Eisenoxidhydrate ausfällen und pH-neutrale Verhältnisse einstellen. Damit werden die behördlichen Vorgaben erfüllt. In zunehmenden Maße gelangen die durch den aktiven Bergbau in die Spree eingetragenen Sulfatfrachten in den Focus des behördlichen wie auch politischen Interesses. Auf Grund der herausgestellten Bedeutung der Vorflut Spree für die Region Berlin und Brandenburg, mit sehr differenzierten Nutzungsansprüchen und Funktionen für den Natur- und Wasserhaushalt, ergeben sich Konkurrenzsituationen. Insbesondere bei Wasserwerken, welche Wasser der Spree durch Uferfiltration oder Grundwasseranreicherung als Rohwasser nutzen, wirken sich die bergbaubürtigen Sulfatmengen ab einer bestimmten Konzentration limitierend auf die Trinkwasserproduktion aus.

Im Rahmen des Vorhabens „Entwicklung eines Verfahrens zur Minimierung der Sulfatbelastung neutralisierter Gruben-/Prozesswässer mittels Nanofiltration“ wird geprüft, ob mit diesem Verfahrensansatz ein sinnvoller Beitrag zur Sulfatproblematik geleistet werden kann. Mehrere Aspekte erscheinen hierfür vorteilhaft. Die Wasseraufbereitung ist bei Umgebungstemperatur möglich. Dadurch ist der Energieverbrauch im Wesentlichen auf Pumpenleistungen beschränkt. Stofftrennung bzw. Qualitäts-Änderung sind ohne Zusatzstoffe möglich. Kapazitätserweiterungen sind durch Modulbauweise nachträglich realisierbar.

Für die Umsetzung der Entwicklung ist ein 2-stufiges Aufbereitungsverfahren vorgesehen:

Erste Verfahrensstufe ist die Nanofiltration. Entscheidend für die Wahl dieses Membranverfahrens ist das Rückhaltevermögen zweiwertiger Ionen. Somit ist ein Aufkonzentrieren der Sulfationen möglich. In einer zweiten Verfahrensstufe wird das aufkonzentrierte Wasser abgereichert. Hierbei ist der chemische Prozess der Gipskristallisation nutzbar. Dadurch wird die Gipsübersättigung des Prozesswassers der Filtration abgebaut.

Ziel dieser Arbeit ist, geeignete Membranen für die Nanofiltration zu finden. Neben der Ermittlung optimaler Parameter bezüglich Filtratleistung und Rückhaltevermögen, steht eine störungsfreie und energiesparende Betriebsweise des Verfahrens im Vordergrund. Weiterhin sollen erste Erkenntnisse für die Planung der Kristallisationsstufe gewonnen werden.