

INVESTITIONEN ZUR VERMINDERUNG VON UMWELTBELASTUNGEN

PROGRAMM DES BUNDESMINISTERS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ
UND REAKTORSICHERHEIT

Abwasservermeidung

Abschlußbericht 20441 – 5/33

Vorhabens – Nr.: 20173

Minimierter Wasserbedarf in der NE-Metallindustrie durch Einsatz der
Umkehrosmose

von

Dr. Reinhard Höhn

BERZELIUS Stolberg GmbH
Stolberg (Nordrhein-Westfalen)

Geschäftsführer

Dr. Urban Meurer

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

31.Juli 2009

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA 20441- 5/33	2. Abwasservermeidung	3.
4. Titel des Berichtes Minimierter Wasserbedarf in der NE-Metallindustrie durch Einsatz der Umkehrosmose		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Reinhard Höhn	8. Abschlußdatum 31.03.2009	
	9. Veröffentlichungsdatum 31.07. 2009	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Berzelius Stolberg GmbH Binsfeldhammer 14 52224 Stolberg	10. Vorh.-Nr. 20137	
	11. Seitenzahl 31	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau	12. Literaturangaben 2	
	13. Tabellen und Diagramme 5	
	14. Abbildungen 10	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Mit der Umkehrosmose können im Bereich der NE-Metallindustrie Abwässer in etwa 67% sauberes Permeat und 33% Abwasserkonzentrat aufgespalten werden, wenn bei diesem Vorgang keine Feststoffe abgeschieden werden. Das Permeat wird in der Produktion oder für die Dampferzeugung verwendet, das Konzentrat wird behandelt und eingeleitet. Aufgrund des Trennvorganges vermindert sich jedoch die Abwassermenge auf 1/3 des ursprünglichen Anfalls, und in gleichem Maße wird auch die Schadstofffracht reduziert		
17. Schlagwörter: Abwasservermeidung, Umkehrosmose		
18.	19.	20.

Report-Coversheet

1. UBA 20441-5/33	2. Wastewater reduction	3.
4. Report Title Minimised demand of water in NF-metals industry using reverse osmosis		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Reinhard W.Höhn	8. Report Date 31.03.2009	
	9. Publication Date 31.07. 2009	
6. Performing Organisation (Name, Adress) Berzelius Stolberg GmbH Binsfeldhammer 14 52224 Stolberg	10. Report-Nr. 20137	
	11. No. of Pages 31	
7. Spnsoring Agency (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau	12. No. of References 2	
	13. No. of Tables, Diag. 5	
	14. No. of Figures 10	
15. Supplementary Motes		
16. Abstract The discharge of wastewater in the NF-metalindustry can be reduced by concentration with reverse osmosis to 1/3 of the original amount, if no solids are precipitated during this process. The load of pollutants will be minimised for the same factor, and 2/3 of original water can used in production or for steam generation.		
17. Keywords Wastewater reduction, reverse osmosis		
18.	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

0.1	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	5
0.2	Vorwort	6
0.3	Kurzfassung	6
0.4	Summary	6
1	Einführung	7
1.1	Das Unternehmen	7
1.2	Ausgangslage	8
1.3	Projektziel	12
2	Durchführung des Vorhabens	14
2.1	Neue Abwasserbehandlungsanlage	14
2.2	Entflechtung der einzelnen Wasserströme	17
2.3	Die Umkehrosmoseanlage	19
3	Nachweisführung (Kontrolle der Projektziele)	21
3.1	Abwasserreduzierung und Schadstofffrachtreduzierung	21
3.1.1	Methode	21
3.1.2.	Ergebnisse	21
3.1.2.1	Abwasserreduzierung	21
3.1.2.2	Senkung der Frachten	24
4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	27
4.1	Investitionen	27
4.2	Abschätzung der Einsparung, Amortisationszeit	28
5	Zusammenfassung	30
6	Verbreitung und weitere Anwendung der Anlage	31
7	Literatur	31

0.1

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: BERZELIUS Stolberg GmbH	7
Abb. 2: Ursprüngliche Abwasserführung	10
Abb. 3: Geplante Abwasserführung	13
Abb. 4: Blockschema der neuen Abwasserbehandlungsanlage	15
Abb. 5: Ausschnitt der neuen Abwasserbehandlungsanlage	17
Abb. 6: Pumpstation zur Erfassung von Niederschlagswasser	19
Abb. 7: Ansicht der Umkehrosmoseanlage	20
Abb. 8: Aufnahmen der belegten Membran mit dem Rasterelektronenmikroskop	22
Abb. 9: Bestandteile des Belages einer verblockten Membran	23
Abb. 10: Entwicklung der eingeleiteten Schadstofffrachten 2008	26
Tab. 1: Abwassermengen und –frachten für die einzelnen Anfallstellen	9
Tab. 2: Grenzwerte für Konzentrationen und Frachten relevanter Schwermetalle im Anhang 39 der Abwasserverordnung und Ist-Werte bei BERZELIUS Stolberg GmbH	11
Tab. 3: Entwicklung von Abwassermengen und Schadstofffrachten	25
Tab. 4: Übersicht über geplante und tatsächlich getätigte Investitionen	27
Tab. 5: Statische Amortisationsrechnung	29

0.2 Vorwort

Das in diesem Bericht beschriebene Projekt „Minimierter Wasserbedarf in der NE-Metallindustrie durch Einsatz der Umkehrosmose“ bedeutet für die Firma „Berzelius“ Stolberg GmbH vor allem die Entwicklung und Umsetzung eines nachhaltigen Konzeptes zum sparsamen Umgang mit Wasser. Neben ökologischen Gründen spielten dabei auch direkte wirtschaftliche Vorteile eine Rolle, z.B. durch die Verminderung der Einleitgebühren.

Das Projekt konnte Dank der unterstützenden Anteilsfinanzierung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Umweltinnovationsprogrammes realisiert werden.

Für die Unterstützung vor und während des Projektes soll der Effizienz-Agentur NRW, insbesondere Herrn Marcus Lodde gedankt werden.

0.3 Kurzfassung

Mit der Umkehrosmose können im Bereich der NE-Metallindustrie Abwässer in etwa 67% sauberes Permeat und 33% Abwasserkonzentrat aufgespalten werden, wenn bei diesem Vorgang keine Feststoffe abgeschieden werden. Das Permeat wird in der Produktion oder für die Dampferzeugung verwendet, das Konzentrat wird behandelt und eingeleitet. Aufgrund des Trennvorganges vermindert sich jedoch die Abwassermenge auf 1/3 des ursprünglichen Anfalls, und in gleichem Maße wird auch die Schadstofffracht reduziert

0.4 Summary

The discharge of wastewater in the NF-metalindustry can be reduced by concentration with reverse osmosis to 1/3 of the original amount, if no solids are precipitated during this process. The load of pollutants will be minimised for the same factor, and 2/3 of original water can used in production or for steam generation.

1 Einführung

1.1 Das Unternehmen

Die BERZELIUS Stolberg GmbH mit Sitz im nordrheinwestfälischen Stolberg ist der Primärbleierzeuger innerhalb der BERZELIUS Metall Gruppe. Seit Umrüstung auf das energie- und umweltschonende QSL -Verfahren 1990 verfügt das Unternehmen über eine der weltweit modernsten Technologien zur Verarbeitung von Bleikonzentraten und sekundären Rohstoffen. Produziert werden jährlich etwa 150.000 t Blei in Form von Fein- und Weichblei sowie von Bleilegierungen. Die Marke "STOLBERG" ist als Qualitätsmarke an der Börse registriert.

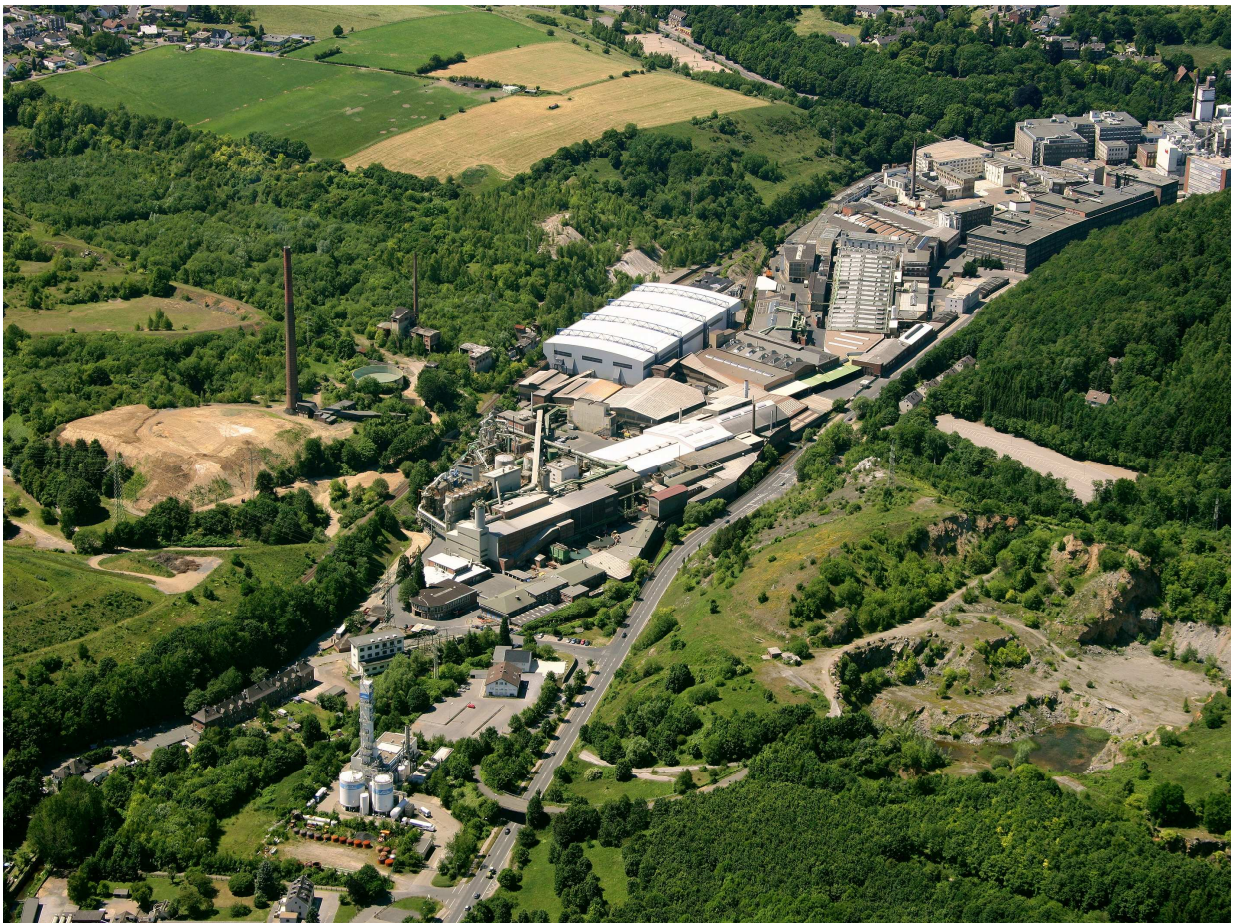


Abbildung 1: BERZELIUS Stolberg GmbH

Bei der Verarbeitung von Erzkonzentraten entstehen zwangsläufig Nebenprodukte:

Der enthaltene Schwefel wird bei der Reinigung der Prozessgase entfernt und zu Schwefelsäure umgesetzt. Die Produktion an Schwefelsäure, die ein wichtiger Grundstoff für die chemische Industrie ist, beträgt etwa 100.000 t/a.

Die in den Vorstoffen enthaltenen Edelmetalle werden im Werkblei ausgebracht, in der Raffination vom Blei getrennt und in einer Menge von etwa 300 t/a als Guldtsilber gewonnen. Dieses enthält circa 99,9% Silber sowie Gold- und Platinmetallanteile.

Als weiteres Beiprodukt werden in der Raffination aus dem Werkblei kupferhaltige Verbindungen in Form des Kupfer-Blei-Steins mit etwa 3000 t/a gewonnen.

Die BERZELIUS Stolberg GmbH wendet ein integrales Managementsystem an, das hinsichtlich Qualität nach ISO 9001 sowie ISO TS 16949, bezüglich Umweltschutz nach ISO 14001 und für den Bereich Arbeitsschutz nach OHSAS 18001 zertifiziert ist.

1.2 Ausgangslage

In der Vergangenheit wurden erfolgreich Optimierungen der Prozesse nicht nur in Bezug auf die Produktion, sondern auch hinsichtlich Umweltschutz durchgeführt. Dabei standen zunächst Aspekte der Luftreinhaltung im Vordergrund. So konnten durch die Einführung des QSL-Verfahrens und später umgesetzte weitere Maßnahmen die spezifischen Emissionen, d.h. t emittierter Stoff pro t Produkt, von Blei um 96 %, die von Schwefeldioxid um 97 % und die von Kohlendioxid um 40 % gesenkt werden.

Ähnliche Erfolge wurden auch auf dem Gebiet des Gewässerschutzes erzielt. Durch die Installation von Kühlkreisläufen und die Mehrfachnutzung von Abwässern konnte während der letzten zehn Jahre der Wasserverbrauch und die einzuleitende Abwassermenge um über 95 % reduziert werden. Verbunden

mit dieser Verminderung der Abwassermenge war allerdings die genehmigungsrechtliche Versagung einer weiteren Direkteinleitung in den Vorfluter. Es bestand daher auch aus finanziellen Erwägungen das Interesse bei BERZELIUS, die nun in die öffentliche Kanalisation abzugebenden Wassermengen möglichst gering zu halten.

Bei den bei BERZELIUS Stolberg GmbH angewandten Prozessen fallen im Jahr herstellungs- bzw. standortbedingt folgende Abwässer mit einer durchschnittlichen Menge von 30,8 m³/h an:

A1 Wasser aus Vorstoffen und Brennstoffen

A2 Niederschlagswasser vom befestigten Betriebsgelände

A3 Drainagewasser

A4 Abflutung aus Kühlkreisläufen

Sanitärwässer werden hier nicht betrachtet.

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Abwassermengen und –frachten für relevante Schwermetalle an diesen vier Anfallstellen. Die darin enthaltenen Angaben sind langjährige Durchschnittszahlen, die in einer momentanen Aufnahme jedoch stark abweichen können.

Ort	A1	A2	A3	A4
Menge m ³ /h	5,6	5,6	4,6	15,0
As g/h	90	1,7	0,2	0,3
Cd g/h	84	2,8	2,3	0,2
Pb g/h	33	10	1,4	15
Zn g/h	450	45	74	7,5

Tabelle 1: Abwassermengen und –frachten für die einzelnen Anfallstellen

Die Abwässer wurden bislang - mit Ausnahme des größten Teils des Abflutwassers aus den Kühlkreisläufen (A4) - wegen einer ähnlichen Belastung mit Schwermetallen teilweise gemeinsam in einer mehrstufigen Abwasseranlage behandelt, wobei in einer ersten Stufe vor allem der am stärksten belastete Wasserstrom A1 vorbehandelt wurde. Insgesamt wurden die Schwermetalle als Hydroxide bzw. Sulfide und die Sulfate als Gips ausgefällt und zusammen in einer Menge von ca. 1.000 t/a abgetrennt. Anschließend erfolgte gemeinsam mit dem Abflutwasser eine Indirekteinleitung. Der Fällschlamm wurde wegen des hohen Gips- und Bleianteils wieder in der Vorstoffmischung eingesetzt.

Eine Übersicht über diese Wassersituation ist vereinfacht in Abb. 2 dargestellt:

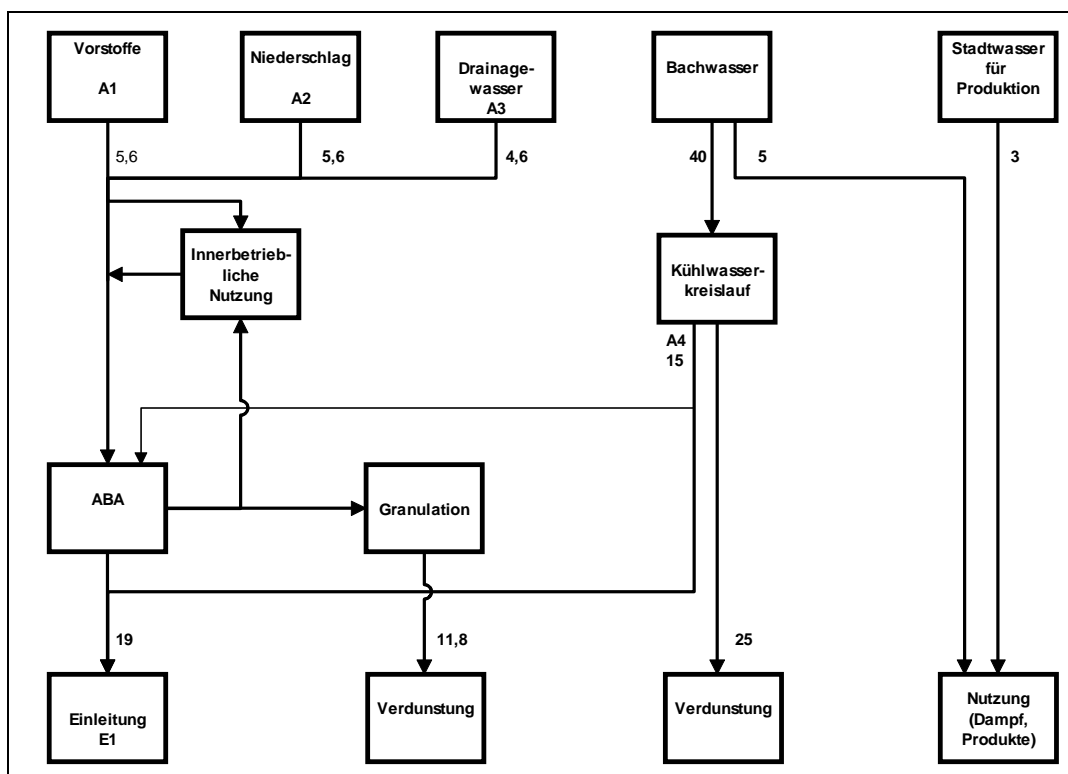


Abbildung 2: Ursprüngliche Abwasserführung

Diese hier angewandte Art der Abwasserführung und –behandlung ist im Bereich der NE-Metallerzeugung üblich und als Stand der Technik beschrieben¹.

Die Grenzwerte des entsprechenden Anhangs 39 der Abwasserverordnung² werden sicher eingehalten, wie auch die nachfolgende Tabelle für die wichtigsten Parameter zeigt:

Parameter	Konzentration [mg/l]		Fracht [g/h]*	
	Anhang 39	BERZELIUS Stolberg	Anhang 39	BERZELIUS Stolberg
As	0,1	0,02	57	0,46
Cd	0,2	0,01	86	0,22
Pb	0,5	0,07	428	1,4
Zn	1	0,08	856	1,6

Tabelle 2: Grenzwerte für Konzentrationen und Frachten relevanter Schwermetalle im Anhang 39 der Abwasserverordnung und Ist-Werte bei BERZELIUS Stolberg GmbH

(* Die produktionsspezifischen Frachtwerte ergeben sich durch Umrechnung der im Anhang 39 genannten Werte auf die aktuelle Produktion von 150.000 t Blei und 100.000 t Schwefelsäure /Jahr)

Wassersparende Maßnahmen wurden bei der Fa. BERZELIUS Stolberg GmbH in Form der Kreislaufführung von Kühlwässern oder beim Einsatz der Abwässer im Rahmen der Produktionsprozesse durchgeführt. Wegen der hohen Konzentrationen an Neutralsalzen sind jedoch nur solche Verwendungen möglich, wo keine großen Anforderungen an die Qualität des Wassers gestellt werden, z.B. im Produktionsprozess anstelle von Frischwasser zum Laugen von Flugstäuben. Damit gelang es BERZELIUS Stolberg schon vor der Durchführung des hier betrachteten Vorhabens, die einzuleitende

¹ Merkblatt ATV – DVWK- M 711– Abwässer aus der Nichteisenmetallerzeugung (Stand Februar 2004) ISBN 3-937758-01-1

² BGBl. I, Nr. 28 vom 22.06.2004, S. 1108 ff.

Abwassermenge bei einem Anfall von durchschnittlich 30,8 m³/h auf 19 m³/h zu reduzieren.

Eine weitergehende Reduzierung ist nur möglich durch eine intensivere Verwertung von Abwässern, deren Anfall nicht vermieden werden kann, zu Zwecken, für die bislang sauberes Stadt- oder Bachwasser eingesetzt wurde.

1.3 Projektziel

Mit diesem Projekt sollte beispielhaft gezeigt werden, wie belastete Abwässer aus dem Bereich der NE-Metallerzeugung in hochwertiges vollentsalztes Wasser umgewandelt werden können, das innerbetrieblich benötigt werden kann zur

- Dampferzeugung im Rahmen der Abwärmenutzung
- Einstellung des Wassergehaltes in Produkten (Schwefelsäure)
- Auffüllung von Kühlkreisläufen.

Bislang wird für diese Nutzungen Stadtwasser bzw. Oberflächenwasser verwendet. Durch den hier geplanten Einsatz von Abwasser, das für diese Nutzungen mittels Umkehrosmose behandelt worden ist, wird die Verwendung sauberer Wässer vermieden und die einzuleitende Abwassermenge sowie die Schadstofffracht reduziert. Das Prinzip der neuen Abwasserführung ist schematisch in Abb. 3 dargestellt.

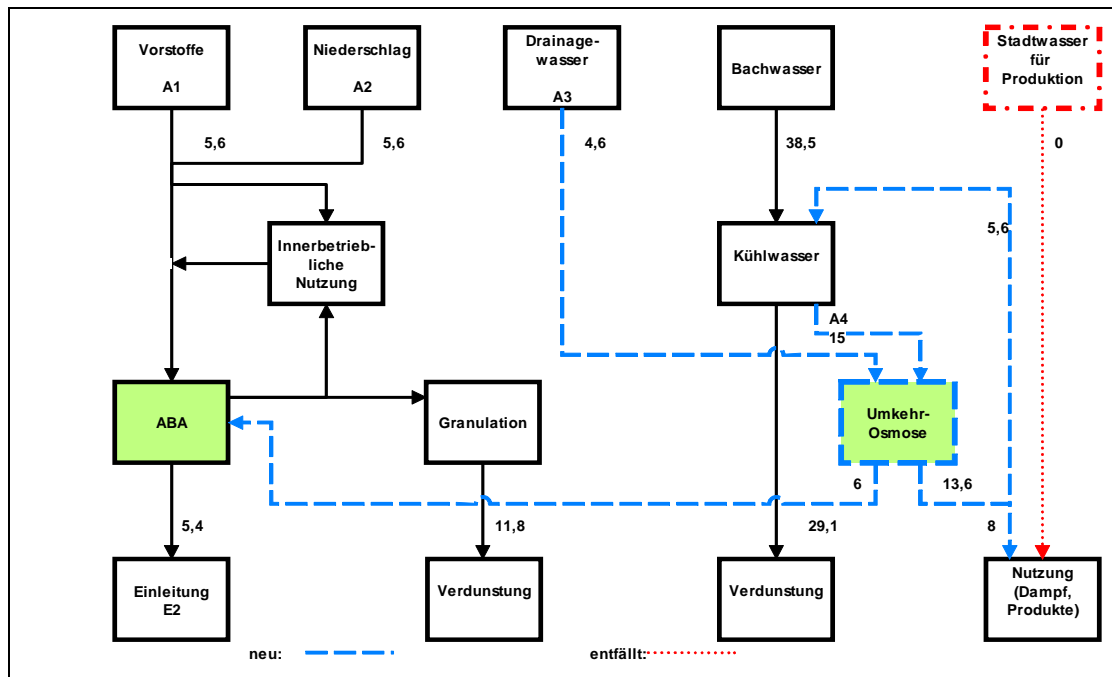


Abb. 3: Geplante Abwasserführung

Ziel war es, die Einleitung der produktionsbedingten Abwassermenge um etwa 70 % d.h. 120.000 m³/a zu reduzieren und damit auch die eingeleitete Schadstofffracht an Schwermetallen im gleichen Umfang zu vermindern. Weiterhin soll die Verwendung von Stadtwasser um etwa 25.000 m³/a und auch von Bachwasser um mindestens 50.000 m³/a reduziert werden.

2 Durchführung des Vorhabens

Die Umsetzung des Vorhabens erfolgte in drei Teilabschnitten:

- Neubau einer Abwasserbehandlungsanlage
- Entflechtung der einzelnen Abwasserströme
- Installation einer Anlage zur Erzeugung von VE-Wasser durch Umkehrosmose

2.1 Neue Abwasserbehandlungsanlage

Der Bau der neuen Abwasseranlage war erforderlich, da die bisher betriebene erste Stufe, in der speziell die besonders stark belasteten Abwässer A1 aus den Vorstoffen behandelt wurden, nur für eine Kapazität von maximal 10 m³/h ausgelegt war. Mit Betrieb der Umkehrosmoseanlage würde sich die Menge aber um den Anteil des neu anfallenden Konzentrates erhöhen, da dieses gegenüber dem Abflut- und dem Drainagewasser etwa um den Faktor drei aufkonzentriert ist und somit ebenfalls einer intensiveren Behandlung bedarf.

Die neue Anlage ist ausgelegt für einen Durchsatz von 30 m³/h. Zur Abtrennung von Schadstoffen mehrstufig chemisch-physikalische Prozesse verwendet: Die Abwässer werden mit Kalkmilch neutralisiert, und von den für unser Abwasser relevanten Elementen wird Arsen als Eisenarsenat, Cadmium, Blei und Zink als Hydroxid und Thallium als Sulfid gefällt und so abgetrennt. Diese Verfahren sind vom Prinzip nicht neu, sie haben sich mit der alten Anlage über fast 50 Jahre für unser Abwasser bewährt.

In Abbildung 4 wird das Blockschema der neuen Anlage gezeigt. Die Anlage hat 2 Sammel tanks B1 und B2, in die die gesammelten Abwässer geleitet werden. Diese Tanks können parallel oder auch in Serie betrieben werden. Es besteht dadurch die Möglichkeit, Abwässer unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung einer getrennten Behandlung bzw. Vorbehandlung zuzuführen.

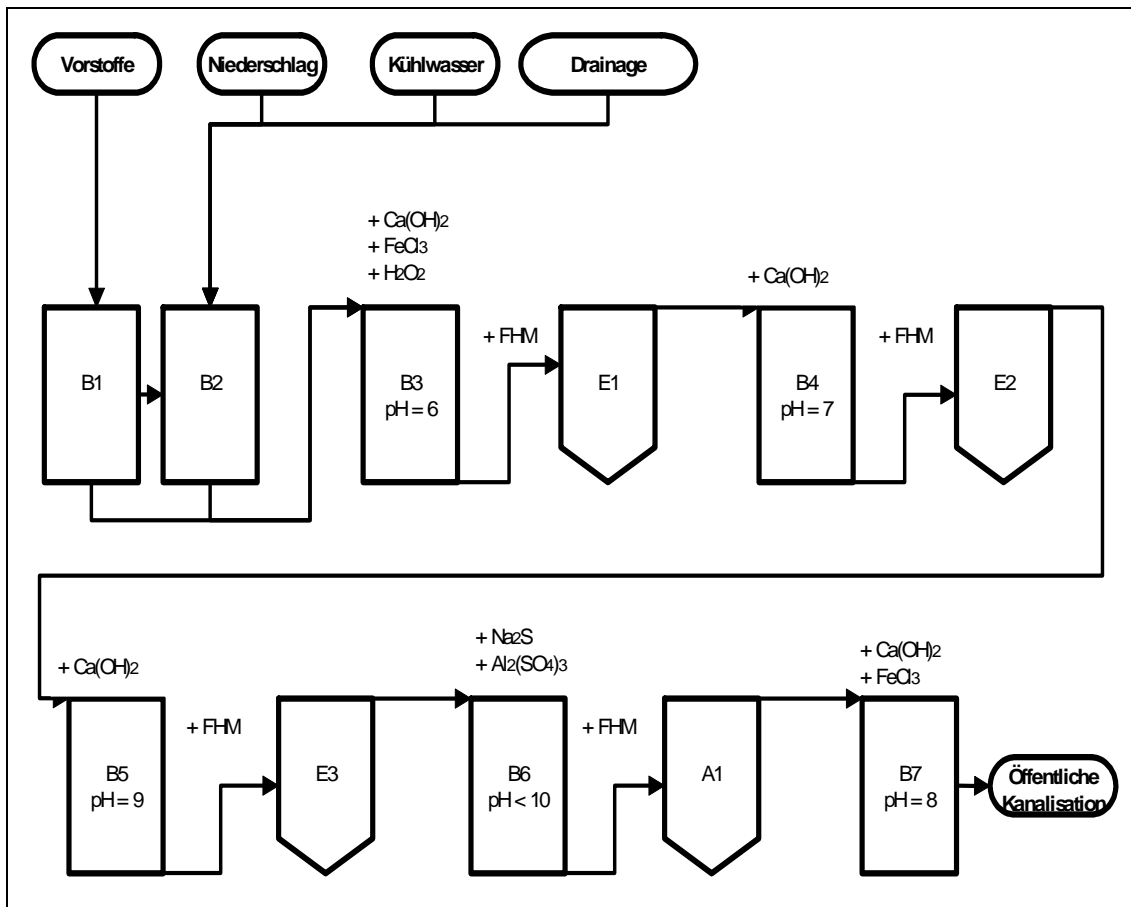


Abb. 4: Blockschema der neuen Abwasserbehandlungsanlage

Für die chemisch-physikalischen Vorgänge stehen 5 Reaktionsbehälter B3 – B7 zur Verfügung, von denen den ersten drei je ein Eindicker E1 – E3 zur Abtrennung der ausgefällten Bestandteile nachgeschaltet ist.

Im ersten Reaktionsbehälter B3 wird mit Kalkmilch eine Vorneutralisation des sauren Abwassers auf pH 6 vorgenommen. Um neben Sulfiten bzw. Sulfaten auch das Element Arsen abzutrennen, werden zusätzlich zur Kalkmilch auch Lösungen von Eisen(III)chlorid, Wasserstoffperoxid und ein Flockungshilfsmittel zugegeben. Es fallen die Oxide des Schwefels als Kalziumsulfid bzw. Kalziumsulfat und das Arsen als Eisenarsenat aus. Die Feststoffe werden über den Eindicker E1 abgetrennt.

Der Überlauf des Eindickers E1 fließt in den Reaktionsbehälter B4. Der pH-Wert wird mit Kalkmilch auf mindestens 7 eingestellt. Das im Überlauf von E1 noch enthaltene Eisen reicht aus, um einen großflockigen Niederschlag von

Eisenhydroxid zu bilden und so restliche Mengen von Arsen absorptiv auszufällen, so dass im Überlauf von E2 Arsen-Konzentrationen von $< 0,1$ mg/L sicher eingehalten werden.

Im B5 folgt durch die Einstellung des pH- Wertes auf etwa 9 die Ausfällung von Blei, Kadmium und Zink als Hydroxide. Die Abtrennung der Feststoffe erfolgt im nachgeschalteten Eindicker E3, dessen Klarüberlauf in den Reaktionsbehälter B6 zur Fällung von Thallium als Sulfid fließt. Als Fällungsreagenz werden Lösungen von Natriumsulfid zugegeben sowie als Flockungsmittel eine Aluminiumsulfatlösung zur besseren Abtrennung des Niederschlages. Auf Grund der Löslichkeit des Aluminiumsulfats darf der pH-Wert nicht >10 betragen. Dies wird durch die Zudosierung von Eisen(III)chlorid in den Überlauf des E3 gewährleistet. Die Abtrennung wird im Schrägklärer A1 vorgenommen. Der Überlauf des Schrägklärers fließt in den Behälter B7, in den zur Abtrennung des überschüssigen Sulfids eine Lösung von Eisen(III)chlorid zugegeben wird.. Durch die abschließende Einstellung des pH-Wertes auf 8 ist es möglich, ein qualitativ einleitungsfähiges Abwasser herzustellen. Das Wasser fließt zur Sicherheit über Schrägklärer und Kiesfilter der alten Anlage und wird in die städtische Kanalisation eingeleitet.

Die Anlage ist kaskadenförmig angeordnet, so dass das Abwasser nur in die Vorlagebehälter B1 oder B2 gepumpt werden muss und von dort mittels hydraulischem Gefälle in die einzelnen Behandlungsstufen fließt. Da für die Errichtung der Anlage nur eine sehr begrenzte Grundfläche zur Verfügung stand, mußte sie entsprechend über mehrere Stockwerke in die Höhe gebaut werden.

Abb. 5 zeigt einen Ausschnitt der heutigen Anlage mit den Eindickern E1, E2 und E3. Man erkennt im E2 deutlich den braunen Eisenhydroxidniederschlag, während der tiefer liegende E3 völlig klar ist.



Abb. 5: Ausschnitt

der neuen Abwasserbehandlungsanlage

2.2 Entflechtung der einzelnen Abwasserströme

In der NE-Metallerzeugung wird das Verfahren der Umkehrosmose für die Abwasserbehandlung bislang nur angewandt, um Edelmetalle aus Bädern bei der Elektroplattierung zurückzugewinnen³. Neben finanziellen Überlegungen verhindert eine Einführung des Verfahrens in anderen Bereichen auch der Umstand, dass die Abwässer in der Regel hohe Gehalte an Neutralsalzen ausweisen, so dass es bei einem Konzentrationsverfahren wie der Umkehrosmose leicht zu Feststoffausscheidungen wie z.B. Gips im System und damit zu einer Blockade des Verfahrensablaufes kommt.

Eine Anwendung der neuen Technik setzt daher voraus, dass Abwässer mit derartigen Inhaltsstoffen nach Möglichkeit von der Umkehrosmose ferngehalten werden. Dies ist nur möglich über eine konsequente Entflechtung der einzelnen

Abwasserströme unter Berücksichtigung nicht nur der Schwermetallbelastung, die ja eine Behandlung erforderlich macht, sondern auch spezieller Inhaltsstoffe wie Sulfat, Chlorid, Phosphat, Calcium und anderer Erdalkalimetalle. Die Unterscheidung wird getroffen nach „harten“ (Wasser aus den Vorstoffen) und „weichen“ Wässern (Abflutwasser, Drainagewasser, ggfs. Niederschlag).

Bei der Fa. BERZELIUS wird seit etwa 30 Jahren Niederschlagswasser, das über Dächer oder befestigte Wege und Plätze abfließt und somit verunreinigt sein kann, vor der Einleitung einer Behandlung zugeführt. Für die Erfassung und Sammlung dieser über eine Fläche von etwa 67.500 m² anfallenden Wasser steht ein System mit einer Kapazität von über 9.000 m³ zur Verfügung. Dieses Speichersystem dient vor allem der Vergleichmäßigung des Zuflusses in die Behandlungsanlage oder in die innerbetriebliche Verwendung des unregelmäßig über die Zeitschiene anfallenden Niederschlagswassers. Es ist so dimensioniert, dass statistisch gesehen eine Überlaufhäufigkeit von maximal drei Ereignissen in siebzehn Jahren gewährleistet ist.

Aus Gründen der Praktikabilität wurden jedoch in einzelnen Fällen Wasser mit teilweise unterschiedlicher Belastung wegen der örtlich zusammen liegenden Anfallstellen gemeinsam gesammelt und der Speicherung bzw. der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Für eine Entflechtung war daher die Errichtung einer neuen Pumpstation und die Installation von ca. 1.100 m Rohrleitungen erforderlich.

In Abb. 6 ist die neue Pumpstation dargestellt, mittels derer das Niederschlagswasser von einer Fläche von 16.100 m² separat gesammelt und über drei Rohrleitungen zum ca. 300 m entfernten Rückhaltebecken gefördert wird. Die Pumpstation hat ein Fassungsvermögen von 150 m³, die drei Pumpen eine Leistung von je 178 m³/h.

³ IPPC Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries, Umweltbundesamt Berlin, Dezember 2001

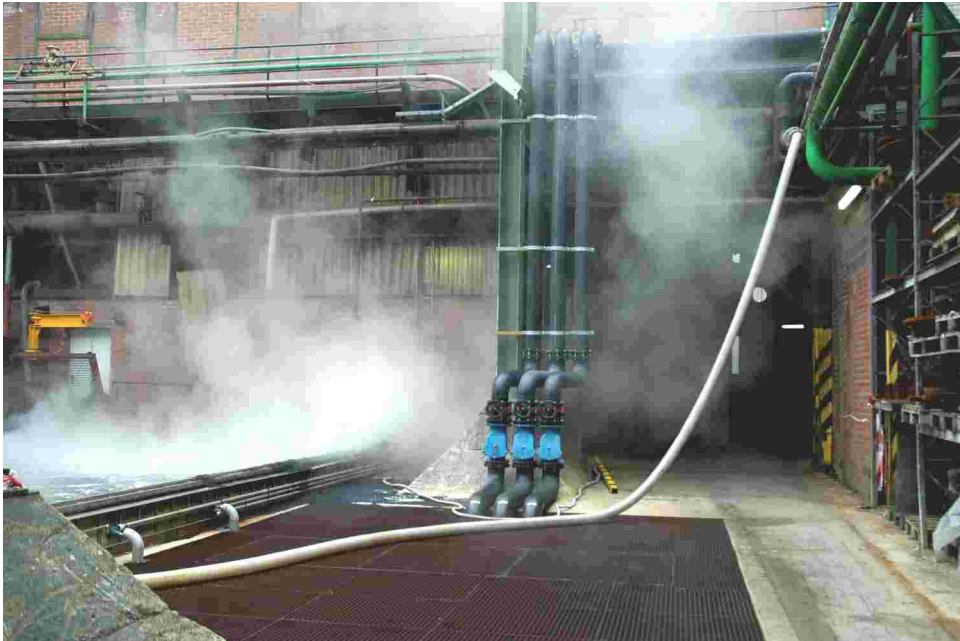


Abb. 6 Pumpstation

zur Erfassung von Niederschlagswasser

2.3 Die Umkehrosmoseanlage

Die Umkehrosmoseanlage wurde mit einer Kapazität von zwanzig m³/h Durchsatz für die Durchführung dieses Projektes neu errichtet. Wie der Name sagt, wird in ihr der natürliche Vorgang der Osmose umgekehrt: Auf der Seite der konzentrierten Lösung wird ein zur osmotischen Kraft größerer Druck ausgeübt, so dass die Wassermoleküle durch die halbdurchlässige Membran gelangen, die größeren Salzmoleküle jedoch zurückbleiben. Man erhält somit einerseits ein reines, nahezu salzfreies Wasser, das Permeat, und andererseits das zurückbehaltene Konzentrat mit entsprechend erhöhtem Salzgehalt.

Die Anlage besteht im wesentlichen aus den Komponenten

- **Eingangsmembranventil:** Dieses Membran-Ventil verhindert, dass während des Stillstandes der Anlage Wasser ungehindert durch die Anlage strömt und in den Abfluss fließen kann. Mit dem Anlauf der Anlage öffnet das Ventil und lässt Wasser in die Anlage strömen.

- **Feinfilter:** Der Feinfilter hält alle Schwebstoffe, die größer als 10 µm sind zurück, und schützt somit nachfolgende Bauelemente, speziell die Membranelemente, vor Verschmutzung und Ablagerungen.
- **Hochdruckpumpe:** Die Druckpumpe arbeitet nach dem Prinzip einer mehrstufigen Kreiselpumpe und erzeugt den für den Entsalzungsprozess notwendigen Betriebsdruck. Die Förderleistung beträgt 17 m³/h mit einem Druck von 11,3 bar
- **Membran-Elemente:** Dieses Kernstück der Anlage besteht aus insgesamt sechzehn 8“ Wickelmodulen mit jeweils 40“ Länge, die auf vier Druckrohre verteilt sind. Dabei sind jeweils zwei Druckrohre parallel und in Reihe geschaltet, so dass sich zwei parallele Stränge mit je acht in Reihe liegenden Modulen ergeben. Werkstoff der Wickelmodule ist Polyamid.

Die nachstehende Abb. 7 zeigt die in einer Halle errichtete Anlage. Man erkennt sehr gut die Anordnung der Druckrohre.



Abb. 7: Ansicht der Umkehrosmoseanlage

3 Nachweisführung (Kontrolle der Projektziele)

In diesem Kapitel werden die Methoden dargestellt, mittels derer die Realisierung der Projektziele nachgewiesen werden soll.

3.1 Abwasserreduzierung und Schadstofffrachtreduzierung

3.1.1 Methode

Zur Überprüfung der Erreichung der Ziele dieses Vorhabens wurden neben den relevanten Inhaltsstoffen des Abwassers auch die Wassermengen erfasst. Mit dem Auflegen der Mess- und Steuerungsdaten der neuen Abwasserbehandlungsanlage auf das zentrale Prozessleitsystem wurden auch die Ergebnisse der Mengenummessung kontinuierlich in digitaler Form erfasst und gesammelt, so dass Auswertungen mit Mittelungen über beliebige Zeiträume vorgenommen werden können.

Weiterhin wurden während des Jahres 2008 zusätzlich zu den regelmäßigen Untersuchungen durch ein zertifiziertes Institut täglich durch das eigene Labor an der Einleitstelle qualifizierte Stichproben des Abwassers genommen, aus denen die Konzentrationen der Elemente As, Cd, Pb, Tl und Zn sowie – im Bedarfsfall – weiterer Parameter ermittelt wurden. Mit diesen Daten konnten die täglichen Frachten ermittelt werden; gleichzeitig lieferten sie die Basis für qualifizierte Vergleiche über größere Zeiträume. Dies ist deshalb sinnvoll, da der Anfall an Abwasser z.B. produktionsbedingt oder abhängig von Niederschlägen über kürzere Zeiträume gesehen schwanken kann. Mit einer Mittelung über drei Monate sollte jedoch eine gute Aussage möglich sein.

3.1.2 Ergebnisse

3.1.2.1 Abwasserreduzierung

Zwecks Reduzierung der Abwassermenge sollten die Abflutungen der Kühlkreisläufe sowie das Drainagewasser über die Umkehrosmoseanlage so getrennt werden, dass nur der kleinere Teil – das Konzentrat - als Abwasser

behandelt und letztlich eingeleitet wird, während der überwiegende Anteil – das Permeat - in Form von praktisch vollentsalztem Wasser einer betrieblichen Verwendung zugeführt wird, für die bislang Bach- oder Stadtwasser aufbereitet wurde.

Von den chemischen Inhaltsstoffen erwiesen sich beide Wässer zunächst als geeignet. Der Einsatz des Drainagewassers läuft seit über einem Jahr völlig problemlos. Es werden pro Stunde etwa 5 m³ in 3,2 m³ Permeat und 1,8 m³ Konzentrat aufgetrennt. Für das Permeat besteht ein sehr großer innerbetrieblicher Bedarf, das Konzentrat fließt in die Abwasserbehandlung. In diesem Falle kann also die Auftrennung des ursprünglich anfallenden Abwassers in etwa 1/3 zu behandelndes Konzentrat und 2/3 direkt verwertbares Konzentrat als gelungen angesehen werden.

Schwierigkeiten macht dagegen bei der reversiblen Osmose das Abflutwasser aus den Kühlkreisläufen: Die Membranen verblocken innerhalb kürzester Zeit – in weniger als 24 Stunden – und müssen aufwendig gereinigt werden.. Abb. 8 zeigt Aufnahmen der belegten Membran mit dem Rasterelektronenmikroskop mit 50-facher bzw. 3000-facher Vergrößerung. Man erkennt, dass es sich um Partikel in einer Größe von teilweise < 1 µm handelt, die durch die vorgeschalteten Filter nicht zurückgehalten werden.

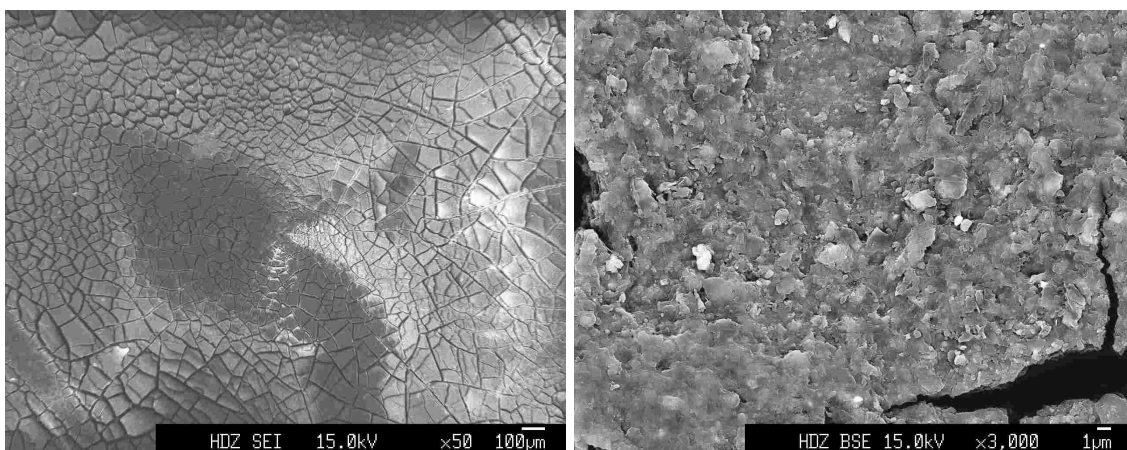


Abb. 8: Aufnahmen der belegten Membran mit dem Rasterelektronenmikroskop

Zur chemischen Charakterisierung des Belages wurden mit der Mikrosonde, gekoppelt mit einem energiedispersiven Röntgenfluoreszenzspektrometer, an verschiedenen Stellen Spektren aufgenommen. Ein solches typisches Spektrum zeigt Abb. 9. Man erkennt deutlich Elemente, die Bestandteile von mineralischen Sedimenten sind, aber auch einen hohen Kohlenstoffanteil, der auf Huminstoffe zurückzuführen ist.

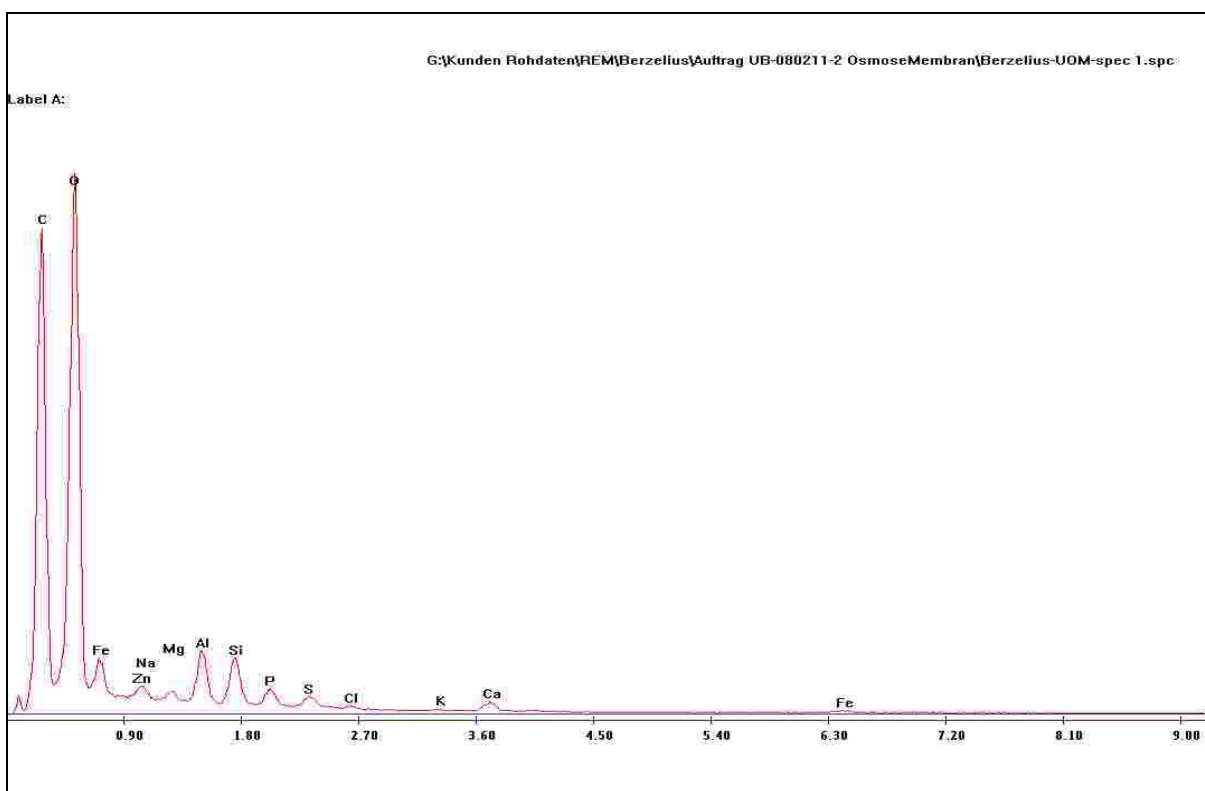


Abb. 9: Bestandteile des Belages einer verblockten Membran

Diese störenden Stoffe sind bereits in dem Wasser enthalten, das wir dem kleinen Bach für Kühlzwecke entnehmen, und können selbst durch feinste Filtration nicht entfernt werden. Um dennoch die gewünschte Reduzierung der Abwassermenge zu erreichen, müssten die Abflutungen einer Vorbehandlung unterzogen werden, oder es müsste anderes Wasser zu Kühlzwecken eingesetzt werden. Dazu wird derzeit ein Konzept entwickelt.

Die geplante Reduzierung der Stadtwassermenge für Produktionszwecke durch den Einsatz der Umkehrosmose konnte nicht erzielt werden, da die gewonnene Menge an Permeat deutlich geringer als erwartet ist. Außerdem ist inzwischen der Bedarf an vollentsalztem Wasser deutlich gestiegen. So muss aus Gründen der Qualität das Blei beim Vergießen bestimmter Legierungen mit diesem vollentsalztem Wasser statt mit normalem Kühlwasser gekühlt werden, um Störungen beim Kunden zu vermeiden.

Im Kalenderjahr 2008 wurden im Durchschnitt 16,8 m³/h eingeleitet, damit beträgt die Reduzierung der Einleitmenge 2,2 m³/h. Berücksichtigt man jedoch die Optimierungsarbeiten an den neuen Anlagen während des Jahres und betrachtet nur das vierte Quartal, so kann gesagt werden, dass nur noch durchschnittlich 14,1 m³/h eingeleitet werden. Diese Abnahme um nunmehr 4,9 m³/h ist nicht nur auf die Anwendung der Umkehrosmose für das Drainagewasser zurückzuführen, sondern auch auf zusätzliche innerbetriebliche Anwendungen des behandelten Abwassers, die infolge eines besseren Wirkungsgrades der neuen Abwasserbehandlungsanlage möglich sind.

3.1.2.2 Senkung der Frachten

Erklärtes Ziel dieses Vorhabens war neben der Verringerung der einzuleitenden Abwassermenge auch die Reduzierung der Schadstofffrachten. Damit ist ein besonderes öffentliches Interesse verbunden, da bei einer Abtrennung der Schadstoffe in der betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlage diese entweder wieder verwertet oder einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt werden, während bei einem Verbleib im Abwasser die Schadstoffe im Klärschlamm der öffentlichen Kläranlage angereichert werden. Damit besteht die Gefahr der diffusen Verbreitung dieser Stoffe über den Klärschlamm, wenn dieser nicht mit erheblichen Mehrkosten separat entsorgt werden muss.

Die nachstehende Tabelle 3 zeigt die Entwicklung der Abwassermengen und Schadstofffrachten während des Jahres 2008. Wegen der Optimierungsarbeiten

während dieses Jahres wurden die Werte für das letzte Quartal zusätzlich aufgeführt.

Die Grenzwerte beziehen sich bei der Einleitgenehmigung auf das Produkt aus höchstzulässiger Konzentration und maximaler Einleitmenge, bei Anhang 39 auf die produktionsbezogenen Angaben des Anhangs 39 zur Abwasserverordnung (vgl. Tabelle 2 S. 11).

	Wassermenge/Schadstofffracht				Grenzwerte	
	2006	Ziel	2008	2008 (4.Quartal)	Einleit- Genehmigung	Anhang 39
Menge [m³/h]	19,0	5,4	16,8	14,1	30	---
As [g/h]	0,46	0,13	0,58	0,44	3	57
Cd [g/h]	0,22	0,06	0,17	0,11	6	86
Pb [g/h]	1,4	0,40	0,84	0,44	15	428
Zn [g/h]	1,6	0,50	0,42	0,29	30	856

Tabelle 3: Entwicklung von Abwassermengen und Schadstofffrachten

Wie man sieht, wurde für die hier betrachteten Elemente in allen Fällen eine Verringerung der Frachten erzielt. Obwohl die Reduzierung der Abwassermenge nicht in dem gewünschten Maße wie geplant vorgenommen werden konnte, wurde das Ziel der Schadstofffrachtreduzierung für den Parameter Zink deutlich übertroffen, für Blei praktisch ganz und für Cadmium zur Hälfte erreicht. Für Arsen sind noch weitere Optimierungsarbeiten vorgesehen.

Durch einen Vergleich (Abb. 10) der eingeleiteten Frachten für die für uns relevanten Elemente zwischen dem 1. und dem 4. Quartal des Jahres 2008 ist bei allen Elementen eine deutliche Abnahme zu erkennen. Dass diese beim Blei relativ gering ist, liegt daran, dass die Abtrennung von Blei völlig unproblematisch war und von Anfang an zu niedrigen Werten führte.

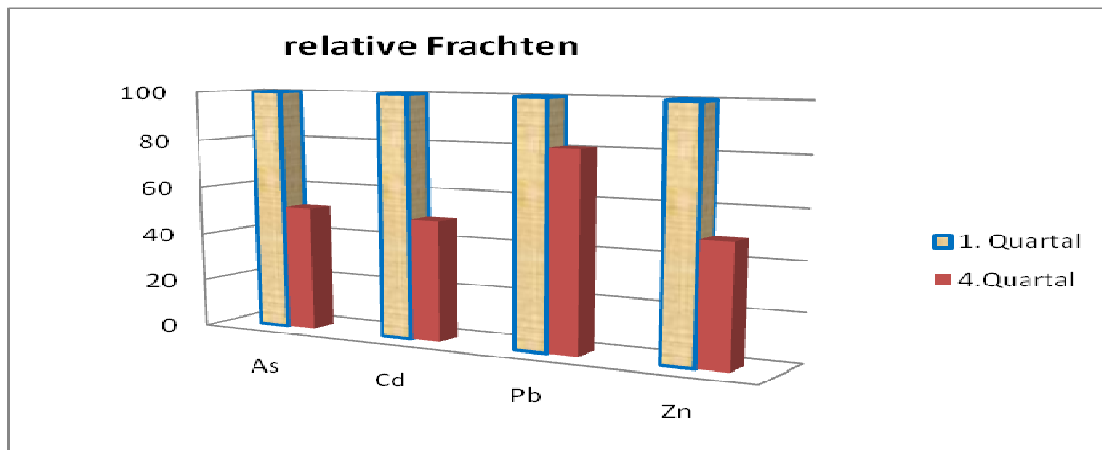


Abb. 10: Entwicklung der eingeleiteten Schadstofffrachten 2008 (1. Quartal = 100)

Durch die Optimierungsarbeiten konnten nicht nur die Frachten der Schadstoffe, sondern auch die der im Abwasser verbleibenden Neutralsalze verringert werden. Bei diesen Salzen handelt es sich vor allem um Chloride und Sulfate der Alkali- und Erdalkalimetalle, insbesondere von Natrium und Kalzium. Die Salze gelangen, wenn sie nicht bereits originär im Abwasser enthalten sind, über die Reagenzien zur Behandlung in das Wasser. Ziel der Optimierung der Anlage war es deshalb auch, die Zugabe an Fällmitteln und –hilfsmitteln möglichst gering zu halten. Sie sollte nur so hoch sein, dass eine sichere Abtrennung der Schadelemente garantiert ist.

Eine Tendenz hinsichtlich der Entwicklung des Überschusses an Fällungsreagenzien kann beispielsweise über die elektrische Leitfähigkeit des Abwassers bei annähernd gleichen pH-Werten erkannt werden: Mit den in Lösung gebliebenen Anteilen erhöht sich die Konzentration an Neutralsalzen im Wasser und damit dessen Leitfähigkeit. Durch die Optimierung der Anlage wurde die Leitfähigkeit um 22 % gesenkt, was bei einer gleichartigen Zusammensetzung des Wassers auch einer Reduzierung an Neutralsalzen im gleichen Umfang entspricht.

4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

4.1 Investitionen

Die nachfolgende Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die mit diesem Projekt verbundenen Investitionen mit Ausnahme der Abwasserbehandlungsanlage, da deren Errichtung in vergleichbaren Fällen möglicherweise nicht zwingend erforderlich ist und folgerichtig auch nicht zum förderfähigen Anteil des Vorhabens gehörte.

Die Kostensteigerungen sind zu einem erheblichen Teil auf vielfache Änderungen und Preisentwicklungen gegenüber der ersten Planung aufgrund der langen Genehmigungsphase von fast viereinhalb Jahren zurückzuführen.

Investitionssumme	geplant €	endgültig €
Installation Rohrleitungen	272.000	333.205
Installation Umkehrosmose	150.000	203.895
Messprogramm	18.000	40.884
Planungsanteil	30.000	38.995
Gesamtausgaben	470.000	616.979
Finanzierung		
Zuschuss aus dem BMU-Programm zu Förderung von Demonstrationsvorhaben	102.500	102.500
Zuschuss Messprogramm	14.400	14.400
Zuschuss Land NRW	100.000	100.000
Eigene Mittel	253.100	400.079
Gesamtausgaben	470.000	616.979

Tabelle 4: Übersicht über geplante und tatsächlich getätigte Investitionen

4.2 Abschätzung der Einsparung, Amortisationszeit

Das Einsparpotenzial dieses Projektes lag entsprechend Planung bei der Reduzierung der Betriebs- und Instandhaltungskosten der neuen

Abwasserbehandlungsanlage und der Senkung der Einleitgebühr infolge der verringerten Abwassermenge durch den Einsatz der Umkehrosmoseanlage. Danach sollte die Zeit für die Amortisation der Anlage gut vier Jahre betragen. Infolge der geringeren Trennwirkung mit der Umkehrosmose und der Kostenentwicklung bei den neuen Anlagen ergibt sich jedoch ein wesentlich ungünstigeres Bild.

Es ist vielmehr sinnvoller, eine Betrachtung für den Fall zu machen, dass für die Umsetzung des Projektes keine neue Behandlungsanlage erforderlich ist, und dass als Investitionen nur die Umkehrosmoseanlage und die Änderung in der Wasserführung, d.h. die Entflechtung der Wasserströme, in die Berechnung der Amortisationszeit einfließen. Damit kann natürlich keine Einsparung bei den Betriebsstoffen oder der Instandhaltung angesetzt werden, sondern es entstehen gegenüber dem Ausgangssituation Mehrkosten, die hier mit 50.000 €/a angenommen wurden. Die Einsparung bei der Einleitgebühr ist im Punkt *Saldo sonstiges* enthalten.

Betrachtet wurde lediglich die Verminderung der Abwassermenge um 3,2 m³/h, die direkt auf den Einsatz der Umkehrosmose zurückgeführt werden kann. Als Einleitgebühr wurden 3,20 €/m³ angesetzt. Tab. 5 zeigt als Ergebnis dieser Berechnung eine Amortisationszeit von fast 9 Jahren. Mit jeder Anwendungserweiterung der Umkehrosmoseanlage wird dieser Zeitrahmen kleiner: Bei der angestrebten Verringerung der Abwassermenge um 13,6 m³/h beträgt die Amortisationszeit nur 1,7 Jahre.

	geplant	tatsächlich
Anschaffungskosten [€]:	1.385.000	616.979
Restwert [€]:	0	0
Nutzungsdauer [a]:	10	10
Kalkulatorischer Zins [%]:	5	5
Kalkulatorische Abschreibung [€]:	138.500	61.698
Jährliche Betriebsstoffeinsparung [€]:	46.603	0
Saldo Instandhaltung [€]:	-70.724	50.000
Kapitalkosten [€]:	173.125	77.122
Saldo Sonstiges [€]:	-248.994	-89.702
Jährliche Kosteneinsparung:	193.196	9.183
Amortisationszeit [a]:	4,176	8,704

Tabelle 5: Statische Amortisationsrechnung geplant/tatsächlich

Definitionen:
Kalk. Abschreibung = (Anschaffungskosten - Restwert) / Nutzungsdauer (nicht zahlungswirksam)
Jährliche Kosteneinsparung = Betriebsstoffeinsparung - (Saldo Instandhaltung + Saldo Personal + Saldo Material + Kapitalkosten + Saldo Sonstiges)
Kapitalkosten = kalk. Abschreibung + Kalkulatorische Zinsen
Kalkulatorische Zinsen = (Anschaffungskosten + Restwert) / 2 * Kalkulationszinsfuß (zahlungswirksam)
Amortisationszeit = Kapitaleinsatz / (Jährliche Kosteneinsparung + Abschreibung)
Saldo X = Kosten Soll X - Kosten IST X

5 Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens war es, mit Schwermetallen belastete und somit behandlungsbedürftige Abwässer aus dem Bereich der NE-Metallerzeugung durch eine Vorbehandlung mittels Umkehrosmose in einen Teilstrom von Permeat mit praktisch vollentsalztem Wasser und einen zweiten Teilstrom mit Abwasserkonzentrat zu trennen, der der Abwasserbehandlungsanlage zuzuführen ist. Für das Permeat bieten sich innerbetrieblich zahlreiche Verwendungszwecke an, z.B. für die Dampferzeugung oder in den Stellen der Produktion, wo besonders sauberes Wasser eingesetzt werden muss.

Wegen der Empfindlichkeit der Membranen in der Umkehrosmoseanlage gegenüber Feststoffen sollte dieses Trennverfahren nicht allgemein auf alle Abwässer angewandt werden, sondern lediglich auf Drainagewässer und auf die Abflutwässer aus Kühlkreisläufen, die allerdings mengenmäßig den größten Anteil des anfallenden Abwassers ausmachen. Dazu war es als Vorbedingung notwendig, die verschiedenen Abwasserströme konsequent zu trennen. Wegen der erwarteten Menge an Abwasserkonzentrat musste außerdem die vorhandene Abwasserbehandlungsanlage durch eine neue ersetzt werden.

Die Umsetzung des Projektes verzögerte sich aufgrund des außergewöhnlich langwierigen Genehmigungsverfahrens von über vier Jahren seit erster Antragstellung, was sich auch sehr negativ auf die Kostenentwicklung auswirkte.

Die Anwendung dieses Verfahrens auf den Teilstrom Drainagewasser erwies sich als völlig unproblematisch und den Erwartungen entsprechend, während beim Teilstrom Abflutung aus Kühlkreisläufen unerwartete Schwierigkeiten auftauchten, die eine Anwendung dieser Technik verhinderten: Aufgrund feinsten Partikel in diesem Wasser, die durch Filtration nicht zurückgehalten werden können, kommt es zu Feststoffabscheidungen auf den Membranen und damit zu einem Stillstand des Prozesses. Versuche, mittels Zusätzen die Membranen frei zu halten, führten zu keinem Erfolg.

Dennoch ist es insgesamt gelungen, eine schon geringe Abwassermenge um etwa 25 % zu senken. Auch die Schadstofffrachten konnten je nach Element um 5 – 80 % reduziert werden.

Über dieses Vorhaben mit der Entwicklung und den Ergebnissen ist anlässlich zweier Kongresse berichtet worden.

6 Verbreitung und weitere Anwendung der Anlage

Das Verfahren, aus Abwasser mit Umkehrosmose vollentsalztes Wasser zur innerbetrieblichen Verwertung und ein in der Menge reduziertes Abwasserkonzentrat zu erzeugen, kann in vielen industriellen Bereichen angewandt werden. Voraussetzung dafür ist das Vorliegen eines Abwasserstromes, der feststofffrei und auch ohne Feststoffabscheidung aufkonzentrierbar ist. Gegebenenfalls ist eine Trennung von Abwasserströmen unter diesem Gesichtspunkt vorzunehmen.

Dieses Verfahren ist vor allem sinnvoll bei Indirekteinleitern, da hier die Verringerung der Abwassermenge direkt zu einer Kosteneinsparung führt.

7 Literatur und Bildnachweise

- 1 R. Höhn, U. Meurer, M. Wegewitz: Optimisation of the Water Resources of a Primary Lead Smelter – An Example for Sustainable Good Management, Proceedings of European Metallurgical Conference EMC 2007, S. 1127-1134
- 2 U. Meurer, R. Höhn, N. Kleinen, T. Majewski, F. Muskatewitz: Progress in Implementing a Sustainable Wastewater System for a Primary Lead Smelter, Proceedings of European Metallurgical Conference EMC 2009, S. 433-439

Bildnachweise:

Abb. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, und 10: BERZELIUS Stolberg GmbH

Abb. 8 und 9: HDZ GbR, Herzogenrath