

Nitratentfernung mit Umkehrosmose: vom Konzept zur Umsetzung

Steigende Nitratkonzentrationen im Grundwasser stellen Wasserversorgungsunternehmen vor die Herausforderung, den in der Trinkwasserverordnung genannten Nitrat-Grenzwert einzuhalten. Sofern wünschenswerte, vorbeugende Maßnahmen im Einzugsgebiet nicht fruchten, sind Wasserwerke gefordert, anderweitige Lösungen umzusetzen. Das Beispiel von Groß-Umstadt in Hessen zeigt, wie die Umkehrosmose als maßgeschneiderte und betriebsstabile Alternative für die Entfernung von Nitrat in Wasserwerken eingesetzt werden kann.

von: Björn Mattheß (Stadt Groß-Umstadt) & Dr. Uwe Müller (TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser)

Die Wasserversorgung der Stadt Groß-Umstadt bei Darmstadt in Hessen versorgt mehr als 20.000 Einwohnerinnen und Einwohner in Groß-Umstadt und den eingemeindeten Stadtteilen mit Trinkwasser. Dazu ist die Wasserversorgung in mehrere Versorgungsgebiete untergliedert, wobei das Trinkwasser aus insgesamt 13 Brunnen und sieben Quellen gewonnen wird. Die Tiefzone und die Hochzone Groß-Umstadt sowie im Spitzenbedarf fünf weitere Stadtteile wurden ursprünglich im Wesentlichen über eine Pumpstation mit 700.000 m³/a Trinkwasser versorgt. Hierzu wurde Grundwasser aus fünf Brunnen gefördert und verteilt. Die einzelnen Brunnen sind unterschiedlich ausgebaut und fassen Grundwasser aus einer Tiefe von ca. 30 bis 90 m.

In den letzten drei Jahrzehnten hat die Nitratkonzentration im Wasser der fünf

Brunnen kontinuierlich zugenommen; in einzelnen Brunnenwässern erreichten die Nitratkonzentrationen zum Zeitpunkt der Planung im Jahr 2016 Werte von etwa 60 Milligramm pro Liter (mg/l). Nur durch eine Mischung der Wasser konnte in dieser Zeit der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von 50 mg/l gerade noch eingehalten werden. Der ansteigende Trend der Nitratkonzentrationen wurde frühzeitig durch die Wasserversorgung erkannt und Maßnahmen zum Einzugsgebietsschutz initiiert: So förderte die Stadt Groß-Umstadt beispielsweise über Rahmen- und Kooperationsverträge mit der Landwirtschaft grundwasserschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen im Bereich der Brunnen. Im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Gewässerschutz und Landwirtschaft (AGGL) im Auftrag des Landes Hessen zur Verminderung des Nitrat- und Phosphoreintrages wurde dem Ge-

biet um Groß-Umstadt die höchste Maßnahmenpriorität zugeordnet. Allerdings gelang es mit den verschiedenen vorsorgenden Maßnahmen nicht, den Anstieg der Nitratkonzentration hinreichend zu vermindern. Nach aktuellen Messergebnissen aus dem November 2022 besteht die Situation mit Nitratkonzentrationen von bis zu 61 mg/l fort.

Um trotz hoher Nitratwerte weiter Trinkwasser aus ortsnahen Rohwasserfassungen bereitstellen zu können, entschieden sich die Verantwortlichen, technische Maßnahmen zu ergreifen. Im Jahr 2017 initiierte die Wasserversorgung der Stadt Groß-Umstadt eine Zusammenarbeit mit dem TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, um eine Umkehrosmoseanlage zu konzipieren. In Deutschland werden bisher knapp 100 solcher Umkehrosmoseanlagen in der öffentlichen Wasserversorgung betrie-

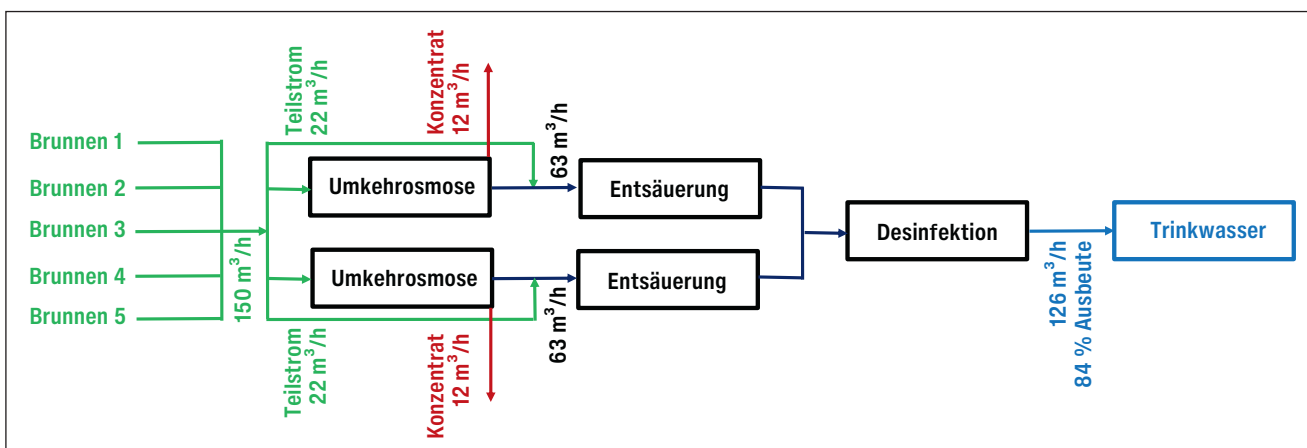


Abb. 1: Verfahrensschema der Aufbereitungsanlage

Quelle: TZW

ben – in vielen Fällen war das TZW in die Konzeption involviert und verfügt deshalb über umfangreiche Praxiserfahrung.

Umkehrosioseanlagen werden in Deutschland überwiegend zur zentralen Enthärtung eingesetzt. Bedingt durch den relativ geringen Salzgehalt der Rohwässer im Inland, kann ein Betrieb mit einem wesentlich geringeren Druck und einem entsprechend niedrigen Energiebedarf im Vergleich zu Meerwasserentsalzungsanlagen erfolgen. Die Umkehrosioseanlagen im Inland werden daher oft als Niederdruck-Umkehrosioseanlagen bezeichnet.

Wasserinhaltsstoffe werden durch Niederdruck-Umkehrosiose unspezifisch und mehrheitlich praktisch vollständig zurückgehalten. Der Rückhalt von Nitrat mit knapp 90 Prozent, abhängig vom Membrantyp, ist allerdings etwas geringer als beispielsweise von Calcium oder Sulfat, wo oft mehr als 98 Prozent Rückhalt erreicht werden. Alle entfernten Wasserinhaltsstoffe liegen im Konzentrat vor. Um das Ausfallen von schwer löslichen Salzen auf der Membran (sogenanntes Scaling) zu verhindern, werden verschiedene Maßnahmen vorgesehen. Die Dosierung einer inhibierenden Substanz (Antiscalants) in den Zulauf der Umkehrosiose, typischerweise weniger als 0,5 mg/l bezogen auf die Wirksubstanz, erlaubt den Betrieb bei einer höheren Ausbeute und damit einer besseren Energieeffizienz. Die Umkehrosiose kann beim Anlagendesign sehr gut an lokale Anforderungen angepasst werden. Gleichzeitig ist sie gut automatisierbar, was den erforderlichen Personaleinsatz im späteren Betrieb erheblich vermindert.

Die Brunnenwässer von Groß-Umstadt sind mit einer elektrischen Leitfähigkeit von ca. 900 Mikrosiemens pro Zentimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (bei 25 °C) relativ stark mineralisiert. Die Nitratgehalte in den Brunnen liegen zwischen 38 und 62 mg/l. Die Härte bewegt sich je nach Brunnen im Bereich zwischen 17 und 27 Grad deutscher Härte (°dH). Zudem weisen die Brunnenwässer ein hohes Calcitabscheidepotenzial von 10 bis 37 mg/l auf. Dies impliziert ein relativ hohes Scalingpotenzial bei der Behandlung mit Umkehrosiose, was bei der Anlagendimensionierung zu berücksichtigen ist. Eisen und Mangan wurde nicht nachgewiesen. Unter bestimmten Witterungsbedingungen kann eines der fünf Brunnenwässer etwas erhöhte Trübungen aufweisen, was auf Basis langjähriger Betriebserfahrungen jedoch keine separate Aufbereitungsstufe erfordert.

Konzeption der Umkehrosioseanlage

Die Umkehrosiose wurde für eine maximale Trinkwasserabgabe von 126 m³/h konzipiert. Dazu werden die Wässer der fünf Brunnen in Groß-Umstadt zunächst in einem Rohwasserbehälter zusammengeführt und in zwei Teilströme aufgeteilt. Ein Teilstrom wird mit Umkehrosiose behandelt, der zweite Teilstrom ohne Behandlung um die Umkehrosiose herumgeführt. Im Anschluss werden beide Teilströme wieder verschnitten, einer mechanischen Entsäuerung unterzogen und abschließend durch UV-Bestrahlung desinfiziert.

Bei der Konzeption der Umkehrosioseanlage wurden verschiedene Lastfälle zur Ermittlung der erforderlichen Trinkwassermenge betrachtet. Dabei fanden mögliche Außerbetriebnahmen von einzelnen Brunnen sowie die erforderlichen Trinkwasserbedarfe bei Normal- und Spitzenabgabe Berücksichtigung. Im Ergebnis wurden zwei Umkehrosiose-Straßen mit einer Trinkwasserproduktion von jeweils 63 m³/h vorgesehen, welche variierende Trinkwasserbedarfe ohne längere Stillstandszeiten abdecken können und eine Redundanz gewährleisten. Das Mischungsverhältnis von behandeltem und unbehandeltem Teilstrom bestimmt die Zusammensetzung des Trinkwassers – im vorliegenden Fall wurde das Verhältnis so gewählt, dass im Trinkwasser eine Nitratkonzentration von ca. 23 mg/l resultiert. Diese vergleichsweise geringe Konzentration wurde seitens der Verbraucher gewünscht. Mit der Nitratentfernung verbunden ist naturgemäß auch eine Verminderung der Härte. Im vorliegenden Fall beträgt die Härte im Trinkwasser 8,7 °dH. Das Verfahrensschema ist in **Abbildung 1** zusammengefasst.

Für eine Prognose zum künftigen Anstieg der Nitratkonzentration im Rohwasser wurden spezifisch für jeden Brunnen Szenarien entwickelt. Nitratkonzentrationen von bis zu 90 mg/l in bis zu zwei der fünf Brunnen können mit der gewählten zweistraßigen Konfiguration der Umkehrosioseanlage beherrscht werden. Unter diesen Bedingungen steigt im Trinkwasser die Nitratkonzentration auf bis zu 32 mg/l an, womit der Grenz- ▶



AQUADOSIL®

Doppelstöckige Entsäuerungsanlage
im Wasserwerk Echthausen der Wasserwerke Westfalen GmbH.
Durchsatz = 4.000 m³/h, CO₂-Absenkung von 14 mg/l auf unter 3 mg/l.

Hochleistungssystem zur physikalischen Entsäuerung

- CO₂-Entfernung bis 1,5 mg/l
Damit werden Anforderungen der neuen TrinkwV an die Entsäuerung (pH > 7,7; Calcitlösekapazität < 5 mg/l) bei nahezu allen natürlichen Wässern eingehalten

Korrosionsinhibitoren

- gebrauchsfertige Dosierlösungen zur Vermeidung von Korrosionsschäden in Trinkwasserleitungen (phosphatfrei oder phosphathaltig)

Saure Entmanganung

- Verwendung eines patentgeschützten kohlen säure stabilen Filtermaterials (Dosifilt®)
- Einsatz in Rohwässern bei pH-Werten ab 6,5
- bei hohen Eisengehalten als Mehrschichtfilter in Kombination mit Anthrazit

Aquadosil Wasseraufbereitung GmbH
45352 Essen, 0201 / 86148-60
www.aquadosil.de



Abb. 2: Außenansicht des Wasserwerks in Groß-Umstadt

wert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l weiterhin deutlich unterschritten wird. Für den Fall von einem noch extremeren Anstieg der Nitratkonzentration in mehreren Brunnenwässern wurde planerisch die Nachrüstung einer dritten Straße vorgesehen. In einem solchen Fall würde praktisch eine Vollstrombehandlung des Rohwassers erfolgen. Daher wurde ebenfalls eine Teilstromaufhärtung des Permeats, bestehend aus einer Kalkfilterstufe mit Kalksilo einschließlich CO₂-Dosierung, planerisch vorgesehen.

Aufgrund des relativ hohen Scalingpotenzials des Mischwassers der fünf Brunnen wurden bereits bei der Konzeption der Umkehrosmoseanlage folgende Gegenmaßnahmen vorgesehen:

- Die Ausbeute der Umkehrosmoseanlage wurde auf 77 Prozent beschränkt. Daraus errechnet sich unter Berücksichtigung des Teilstroms eine Gesamtausbeute von 84 Prozent für die Umkehrosmoseanlage zur Nitratentfernung.
- Im Ablauf der zweiten Stufe wurde eine relativ hohe Abströmgeschwindigkeit des Konzentrates vorgesehen. Dadurch bildet sich das Konzentrationsprofil an der Membranoberfläche weniger stark aus (Konzentrationspolarisation). Für die Realisierung wurden sechs Druckrohre in der ersten Stufe und lediglich zwei Druckrohre in der zweiten Stufe vorgesehen. Jedes Druckrohr enthält jeweils sechs Umkehrosmose-Membranmodule und weist unter Berücksichtigung der

Verrohrung eine Länge von etwa 7 m und ein Durchmesser von etwa 20 cm auf.

- Um das Risiko der Bildung von Kristallisationskeimen auf der Membranoberfläche zu vermeiden, wenn Konzentrat oder Rohwasser in der Anlage verbleibt (z. B. bei betriebstypischen Anlagenstillständen in Phasen geringen Trinkwasserbedarfs), wurde eine Permeatspülung vorgesehen. Vor Abfahren der Anlage wird Rohwasser bzw. Konzentrat durch Permeat aus der Anlage verdrängt. Der Permeatbedarf für diese Maßnahme ist mit weniger als 1 Prozent der produzierten Permeatmenge gering.
- Sofern Scaling auftritt, steht eine stationäre Cleaning-in-Place-Anlage (CIP-Anlage) zur Verfügung, mit der jede der beiden Membranstufen einer Straße getrennt gereinigt werden kann.

Als Antiscalant wurde ein Mischprodukt aus Phosphon- und Polyacrylsäure gewählt. Das Konzentrat wird in die Kanalisation abgeleitet.

Großtechnische Umsetzung und Betriebserfahrungen

Die Anlage wurde vom planenden Ingenieurbüro Jung in einem Gebäude mit einer Grundfläche von ca. 300 m² untergebracht. Im Außenbereich wurde für die oben beschriebenen möglichen Erweiterungen der Aufbereitungsanlage eine zusätzliche Fläche von 140 m² planerisch reserviert. Zur Energiever-

sorgung des Wasserwerks kommen eine Fotovoltaikanlage mit einer Leistung von bis zu 63 Kilowattstunden (kWh) sowie eine Netzersatzanlage mit einer Leistung von 320 kW zum Einsatz. Dadurch gelingt selbst bei einem flächen-deckenden Stromausfall ein netzunabhängiger Betrieb der Anlage für vier Tage. Das Gebäude für die Netzersatzanlage befindet sich neben der Aufbereitungsanlage (Abb. 2), die Behälter für Rohmischwasser, Reinwasser, Permeat und chemische Reinigung (CIP) wurden gemeinsam mit den Pumpen und der Umkehrosmoseanlage im Kellergeschoss angeordnet. In **Abbildung 3** sind im Vordergrund die beiden kompakt angeordneten Umkehrosmose-Straßen zu sehen. Im unteren Teil jeder Straße sind die sechs Druckrohre der ersten Stufe und darüber die beiden Druckrohre der zweiten Stufe angeordnet. Die beiden Flachbettbelüfter zur physikalischen Entsäuerung mit Ventilatoren (Abb. 4) und Lagerraum mit Doppelboden für den Antiscalant befinden sich gemeinsam mit der Schaltwarte sowie einem Labor- und Besprechungsraum im Erdgeschoss. Die Anlage ist mit umfangreicher Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR-Technik) ausgerüstet und in der Schaltzentrale laufen etwa 2.700 Datenpunkte zusammen. Ein Teil davon gehört zur Umkehrosmoseanlage, wo online alle Drücke und Flüsse erfasst werden. Wasserqualitätsparameter wie elektrische Leitfähigkeit, Nitratwerte und pH-Wert werden ebenfalls online überwacht.

Die Anlage ist am 1. Oktober 2021 in Betrieb gegangen und verfügt zum ▶



Quelle: Stadt Groß-Umstadt

Abb. 3: Kompakt angeordnete zweistraßige Umkehrosmoseanlage



Quelle: Stadt Groß-Umstadt

Abb. 4: Entsäuerung durch Flachbettbelüfter



Die **SHT, Sanitär- und Heizungstechnik Ausgabe 9**, enthält Beiträge zu den Themen Sanitär-, Heizungs- sowie Lüftungstechnik und stellt Referenzobjekte sowie neue Produkte und Normen aus diesen Bereichen vor. Lesen Sie darüber hinaus u. a. mehr zu den Themen:

- **Trinkwasserverordnung 2023**
Das Masterdokument der Trinkwasserhygiene
- **Wohnungstationen**
Wohnungsbestand energetisch aufwerten
- **Wärmepumpe**
Mit Luft- und Sole-Wasser- Wärmepumpen kühlen

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter www.sht-online.de.
Kostenloses Probeheft unter vertrieb@krammerag.de.



Tab. 1: Gegenüberstellung von vorausgerechneten und gemessenen Betriebsparametern der Umkehrosmose (UO)

Parameter	Einheit	Vordimensionierung UO 2016	UO-Straße 1 9. August 2022	UO-Straße 2 9. August 2022
Ausbeute	Prozent	77,0	76,8	76,8
Zulauf UO 1. Stufe	m ³ /h	53,0	52,8	52,8
Zulauf UO 2. Stufe	m ³ /h	20,0	19,2	19,1
Druck Feed UO	bar	6,9	6,6	6,6
Druck Konzentrat UO	bar	4,6	3,7	3,7

Quelle: Stadt Groß-Umstadt

Tab. 2: Rohwasserbeschaffenheit sowie vorausgerechnete und gemessene Trinkwasserqualität

Parameter	Einheit	Rohwasser Analyse 2016	Trinkwasser Rechnung 2016	Trinkwasser, Messung 8. November 2022
Nitrat	mg/l	53,5	23,4	21,5
Calcium	mg/l	132,5	48,2	50,0
Natrium	mg/l	9,4	3,4	4,7
Chlorid	mg/l	44,3	15,7	16,8
Sulfat	mg/l	46,9	16,6	15,5
pH-Wert	-	7,15	7,81	7,77
Härte	°dH	23,9	8,7	9,0

Quelle: Stadt Groß-Umstadt

Tab. 3: Vorausgerechnete und gemessene Konzentratbeschaffenheit

Parameter	Einheit	Rechnung 2016	Messung 26. April 2022
Nitrat	mg/l	225	217
Phosphor, gesamt	mg/l	0,6	0,53
Calcium	mg/l	567	584
Natrium	mg/l	40	35
Chlorid	mg/l	191	198
Sulfat	mg/l	203	191
pH-Wert	-	7,75	7,84
Härte	°dH	102	105

Quelle: Stadt Groß-Umstadt

Zeitpunkt der Abfassung dieses Artikels über Betriebserfahrungen von 18 Monaten. Die **Tabelle 1** zeigt eine Gegenüberstellung der bei der Planung ermittelten Parameter und den nach der Inbetriebnahme gemessenen Werten. Hierbei ist ersichtlich, dass der vorausgerechnete Druck im Feed und damit der korrespon-

dierende Energiebedarf allein für den Umkehrosmoseprozess von ca. 0,23 kWh bezogen auf den Kubikmeter Trinkwasser etwa dem großtechnisch gemessenen Wert entspricht. Etwas unterschätzt wurde hingegen der Druckverlust in der Anlage (höherer vorausgerechneter Druck im Konzentrat),

was hier jedoch keine praktischen Auswirkungen hat.

Eine ebenfalls sehr gute Übereinstimmung zeigt sich für die vorausgerechnete und gemessene Trinkwasserqualität entsprechend **Tabelle 2**. Analoges gilt für die Konzentratbeschaffenheit nach **Tabelle 3**. Hierbei ist auch erkennbar, dass die Konzentration an Phosphor gesamt im Konzentrat mit ca. 0,5 mg/l vergleichsweise gering ausfällt, obgleich das Rohwasser ein relativ hohes Scalingpotenzial aufweist.

Seit ihrer Inbetriebnahme läuft die Anlage stabil. Eine chemische Reinigung der Membranen (CIP) wurde bisher nicht vorgenommen, da sowohl Drücke als auch Salzurückhalt konstant bleiben. Der Aufwand für den Betrieb einschließlich Wartung beträgt durchschnittlich 16 Stunden pro Monat. Die Anlage ist ein gutes Beispiel dafür, wie moderne Technik für lokale Anforderungen maßgeschneidert werden kann, um auch ungewöhnliche Herausforderungen effizient zu lösen.

Danksagung

Die Autoren danken den zahlreichen in die Detailplanung und die Realisierung des Projektes involvierten Firmen für das konstruktive Zusammenwirken. ■

Die Autoren

Björn Mattheß ist Betriebsleiter der Wasserversorgung und Abwasserreinigung der Stadt Groß-Umstadt.

Dr. Uwe Müller ist Projektleiter Umkehrosmose und Forschungskoordinator beim TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser in Karlsruhe.

Kontakt:

Dr. Uwe Müller
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser
Karlsruher Str. 84
76139 Karlsruhe
Tel.: 0721 9678-257
E-Mail: uwe.mueller@tzw.de
Internet: www.tzw.de