



Abb. 1: Lage der Oberflächenwasserentnahme aus dem Amur bei Khabarovsk

## Russischer Markt als Chance für die in situ Aufbereitung von Grundwasser

Quelle: T. Griechuk

Die Situation der russischen Wasserwirtschaft ist angespannt. Versorgungsengpässe, Beschaffenheitsprobleme und Netzverluste sind allgegenwärtige Probleme der russischen Wasserversorgungsunternehmen. Auf der Suche nach Verfahren der Trinkwasseraufbereitung ohne aufwändige oberirdische Filtertechnik zur Enteisung und Entmanganung von Grundwasser wurden russische Spezialisten in Schweden, Finnland und Deutschland fündig. Während die unterirdische Aufbereitung von Grundwasser in Deutschland bisher nur ein Nischendasein fristet, besteht in Russland ein großes Interesse an dieser kostensparenden Technologie.

**R**ussland ist das Land mit den größten Süßwasservorräten der Welt. Vor dem Hintergrund der sich verschärfenden weltweiten Wasserkrise gibt es in Russland die Vision des Trinkwasserexports, vergleichbar dem Export von Öl, Gas und Metall. Selbst die Umleitung eines Teilstroms der sibirischen Flüsse von Norden nach Süden wird wieder ernsthaft diskutiert. Andererseits stellt die Qualität der Wasserversorgung in Russland noch immer ein zentrales gesellschaftliches Problem dar. Mehr als 50 Prozent der von et-

wa 9.000 Wasserversorgungsunternehmen belieferten 140 Millionen Einwohner Russlands trinken Wasser, das nicht den russischen Normen entspricht. In einigen Regionen ist die Trinkwasserversorgung nur stundenweise möglich. Nach Angaben des Statistischen Amtes der Russischen Föderation besteht für 33 Prozent des Trinkwassernetzes und 30 Prozent der Kanalisation sofortiger Sanierungsbedarf [1].

Vor diesem Hintergrund wurde in den letzten Jahren ein föderales Programm „Ver-

sorgung der Bevölkerung mit sauberem Wasser“ ausgearbeitet. In den nächsten Jahren sollen neben kommunalen Mitteln staatliche Finanzmittel in Höhe von mehreren Hundert Milliarden Rubel (1 € entspricht derzeit etwa 37 Rubel) bereitgestellt werden. Russland befindet sich offensichtlich inmitten einer umfassenden gesellschaftlichen Veränderung des Wassersektors, welcher zur Reformierung und Modernisierung des Systems der Wasserversorgung und schließlich zur Vergleichbarkeit mit westlichen Standards führen wird.

Vierorts erfolgt eine Umstellung der Trinkwasserversorgung von Oberflächenwasser auf Grundwasser. Dies ist auf die zunehmende Verschmutzung der Oberflächengewässer und auf den besseren Schutz der Grundwasservorräte vor schädlichen Beschaffenheitsveränderungen zurückzuführen. Ein Beispiel dafür ist die Wasserversorgung in Khabarovsk.

### Wasserversorgung in Khabarovsk

Die Stadt Khabarovsk liegt im Fernen Osten, hat etwa 600.000 Einwohner und wird über eine Flusswasserentnahme aus dem Amur versorgt (Abb. 1). Bereits in den 90er-Jahren betonten russische Wissenschaftler, dass die Wasserversorgung der am Amur gelegenen Städte Khabarovsk und Komsomolsk auf der Basis von Oberflächenwasser mittelfristig nicht aufrechterhalten werden kann. Der Hauptgrund dafür ist die stark zunehmende Verschmutzung des Amurs durch den aus China kommenden Nebenfluss Songhua (in Russland: Sungari), welcher dem Amur mit etwa 30 Prozent seines Wassers 90 Prozent seiner Schadstoffbelastung zuführt. Weltweit für Aufsehen sorgte im Jahr 2005 die Havarie in einer chinesischen chemischen Fabrik, in deren Ergebnis große Mengen giftiger Chemikalien, insbesondere Benzol, in den Amur gelangten und die Wasserversorgung der russischen Großstädte gefährdeten. Der Unfall ging in seinem Ausmaß deutlich über das in Deutschland bekannte Sandoz-Unglück am Rhein hinaus. Dabei sind im Fernen Osten und vielen anderen Regionen Russlands besondere klimatische Verhältnisse,

wie z. B. strenge Winter und Permafrostböden zu beachten. So weist der Amur bei Khabarovsk im Winter eine mächtige, befahrbare Eisdecke auf, sodass selbst flüchtige organische Schadstoffe kaum aus dem Flusswasser entweichen können. Die Aufbereitung des unterhalb der Eisdecke entnommenen Oberflächenwassers war trotz des zusätzlichen Einsatzes von Aktivkohle nicht ausreichend, um insbesondere Spuren geruchsintensiver phenolischer Verbindungen zu entfernen. Die Bevölkerung ist dementsprechend hochsensibilisiert, die Trinkwasserqualität ein Tages-thema auch im Stadtbild (Abb. 2).

Unter diesen Umständen erinnerte man sich an die bereits im Jahr 2000 im nahegelegenen Tungusbecken nachgewiesenen Grundwasservorräte. Diese lassen auf einer Fläche von 330 km<sup>2</sup> eine tägliche Entnahme von 380.000 m<sup>3</sup> zu [2]. Damals wurden die Kosten für die erste Wasserfassung und die Rohrleitungen bis in die Stadt auf 3,5 Mrd. Rubel geschätzt (ca. 100 Mio. Euro). Finanzielle Mittel in dieser Höhe konnten seitens der russischen Regierung in dieser Zeit nicht zur Verfügung gestellt werden. Erst 2005, nachdem die Chemiekatastrophe in China den Ernst der Situation erneut unter Beweis stellte, sicherte die russische Regierung der Region Khabarovsk bis 2010 eine Finanzierung in Höhe von 3,4 Mrd. Rubel für die Neuorganisation der Wasserversorgung zu. Als problematisch erweist sich inzwischen der Umstand, dass die Kostenberechnungen von 2001 überholt sind. Nach offiziellen Angaben haben sich die Investkosten innerhalb der letzten sechs Jahre vervierfacht.

Trotz aller Finanzierungsprobleme wurde festgestellt, dass die Kosten und Risiken einer Beibehaltung der üblichen Aufbereitung von Oberflächenwasser im Vergleich zu einer Grundwassergewinnung und -aufbereitung wesentlich höher wären [3].

Auf Grund der komplizierten Randbedingungen im Winter mit starkem Frost, ökologischer Restriktionen im Tungusbecken und Personalproblemen entstand der Wunsch nach einer möglichst vollautomatisierten Wassergewinnung und -aufbereitung. Untersuchungen der Grundwasserbeschaffenheit ergaben die Notwendigkeit einer Entsäuerung des Wassers und einer Entfernung von Eisen und Mangan. Der Bau oberirdischer Filteranlagen zur Enteisung und Entmanganung hätte einen enormen Energiebedarf für die Heizung in den Wintermonaten zur Folge. Insbesondere wegen der klimatischen Bedingungen und Kostenvorteile wurde eine subterrestrische Aufbereitungstechnologie favorisiert. Weitere Argumente waren die bei hohen Eisenkonzentrationen und einer geplanten Aufbereitungskapazität von 106.000 m<sup>3</sup>/d erwarteten Schwierigkeiten mit der Schlammentsorgung sowie der Brunnenverockerung und der geringen Lebensdauer der Brunnen bzw. hoher Betriebskosten für die Regenerierung.

Basierend auf Forschungsarbeiten von Prof. Valery Kulakov [2], Fernöstliche Abteilung der Russischen Akademie der Wissenschaften, Institut für Wasser und Ökologie, wurden Möglichkeiten der unterirdischen Enteisung recherchiert. Nach ►



**WEDECO Effizon® HP OZON Technologie -  
effizient & zuverlässig von 2 g/h bis 250 kg/h**

- Weltweit größtes Produkt-Portfolio mit Kapazitäten von 2 g/h bis 250 kg/h Ozonproduktion pro Anlage
- Patentierte Effizon® HP-Elektroden für höchste Effizienz und hohe Betriebssicherheit bei garantierter Ozonproduktion
- „Plug & Play“-Systeme, kompakte Rahmenmontage mit kompletter Instrumentierung
- Zertifizierter Werkstest bei voller Ozonproduktion

[www.ittwww.com](http://www.ittwww.com)

**ITT**

*Engineered for life*



Abb. 2: Straßenbild aus Khabarovsk, Juli 2007

Quelle: T. Grischek

Berechnungen schwedischer Spezialisten liegen die Investitionskosten für eine subterrestrische Aufbereitung gegenüber einer oberirdischen bei etwa 50 Prozent und die laufenden Betriebskosten bei 16 bis 20 Prozent [3]. Aktuelle Untersuchungen der Spreewasser GmbH kommen zu dem Ergebnis, dass Einsparungen bei Investitionen von 40 bis 50 Prozent und bei den Betriebskosten von 20 bis 40 Prozent möglich sind. Vorteilhaft ist dabei auch die längere Lebensdauer der Brunnen. Herkömmlichen Bohrbrunnen wird üblicherweise eine Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren zugeschrieben. Nach Ablauf dieser Zeit lässt in der Regel die Leistungs-

fähigkeit stark nach. Die Verockerung durch Eisenoxide ist dann oft so weit vorgeschritten, dass auch durch aufwändige Regenerierungsmaßnahmen nur noch geringe Verbesserungen zu erreichen sind. Die von den Autoren betrachteten in situ Enteisenungsanlagen arbeiten zum Teil seit 30 Jahren. Alterungserscheinungen an Brunnen sind hier nahezu unbekannt, sodass für die wasserwirtschaftliche Projektbewertung von in situ Enteisenungsanlagen mindestens 50 Jahre in Ansatz gebracht werden können.

Delegationen russischer Wissenschaftler, Technologen und Ökonomen besichtigten in Schweden, Finnland und Deutschland funktionierende Anlagen der unterirdischen Enteisenung. Überzeugen konnten schließlich Anlagen, die von der deutschen Firma SUBTERRA entworfen und in Betrieb genommen wurden und seit vielen Jahren erfolgreich betrieben werden. Für die Vergabe von Aufträgen nach Deutschland war das Komplettangebot des international agierenden Ingenieurkonzerns ARCADIS ausschlaggebend, der ebenfalls über Spezialisten auf dem Gebiet der unterirdischen Wasseraufbereitung verfügt und die Erfahrungsträger der Firma SUBTERRA als Partner einbezog.

### Prinzip und Entwicklung der subterrestrischen Wasseraufbereitung

Die subterrestrische Wasseraufbereitung umfasst Aufbereitungsmaßnahmen für natürliches oder angereichertes Grundwasser, bei denen das natürliche Selbstreinigungsvermögen im Grundwasserleiter ausgenutzt wird. Dieses kann durch den Eintrag von Stoffen oder Energie in den Untergrund zusätzlich unterstützt werden, sodass sich die Beschaffenheit des Grundwassers im Ergebnis des komplexen Zusammenwirkens von physikalischen, chemischen und biochemischen Prozessen verbessert.

Subterrestrische Wasseraufbereitung und in situ Grundwasserbehandlung sind inhaltlich deckungsgleiche Begriffe. Im Rahmen der Altlastensanierung findet man Verfahren der subterrestrischen Wasseraufbereitung unter dem Überbegriff „Enhanced Natural Attenuation“. Hydraulisch kann eine subterrestrische Wasseraufbereitung durch folgende Techniken organisiert werden:

- Uferfiltration (Grundwasserentnahme in der Nähe von Oberflächengewässern),
- Grundwasseranreicherung (Infiltration),
- Kombinationsbetrieb mit Infiltration und Entnahme.

Hinsichtlich der Auswirkungen auf die hydrogeochemischen Parameter des Grundwassers oder Infiltrats sind vor allem folgende Prozesse relevant, die im Untergrund ablaufen und gleiche Ergebnisse wie oberirdische Aufbereitungsverfahren liefern können:

- Enteisenung,
- Entmanganung,
- Arsenrückhalt,
- sorptive Festlegung und Abbau organischer Stoffe,
- heterotrophe und autotrophe Denitrifikation,
- Aufhärtung.

Bei der Aufbereitung von Grundwasser in Russland wie in Deutschland ist die Enteisenung/Entmanganung eine zentrale Aufgabe. Bei der oberirdischen Aufbereitung hat sich inzwischen die biologische Kontaktfiltration durchgesetzt [4]. Die dabei ablaufenden hydrogeochemischen Prozesse finden auch bei der unterirdischen Wasseraufbereitung statt. Die Anwendung wird im aktualisierten DVGW-Arbeitsblatt W 223-3 [5] beschrieben und wird hier nur kurz dargestellt.

Die Enteisenung im Untergrund basiert auf dem Zusammenwirken von Redox- und Ionenaustauschprozessen. Ein Oxidationsprozess nach Zufuhr von Sauerstoff führt zunächst zur Umwandlung von gelöstem Fe(II) in schwer lösliches Fe(III). Anschließend wird die Kationenaustauschkapazität des Grundwasserleitermaterials zur Wasserbehandlung genutzt. Das infolge des Eintrags von Sauerstoff gebildete Eisenoxidhydrat wird im Porenraum gespeichert, während gleichzeitig hauptsächlich Calciumionen die Austauscherplätze an der Bodenmatrix besetzen. Während der anschließenden Förderphase werden diese Ionen von den zweiwertigen Eisenionen verdrängt, was zu deren Rückhalt an den Austauscherplätzen führt. So kann eisenfreies Wasser gefördert werden, bis das Rückhaltevermögen aufgebraucht ist. Die Regenerierung erfolgt mit sauerstoffhaltigem Wasser. Je nach Konzentration des Eisens und weiterer sauerstoffzehrender Stoffe im Grundwasser kommen originäre Luft, sauerstoffangereicherte Luft oder technischer Sauerstoff in Betracht. Als Trägerflüssigkeit fungiert ein Teilstrom des vorher behandelten Grundwassers, der mittels Infiltration über Brunnen in den Reaktionsraum eingeleitet wird.

Die technischen Anlagen der in situ Aufbereitung des Grundwassers können hin-

### Kolloquium Unterirdische Enteisenung

am 26. September 2008 in Dresden.  
Anmeldung und Programm unter  
[www.bau.htw-dresden.de/UE](http://www.bau.htw-dresden.de/UE)

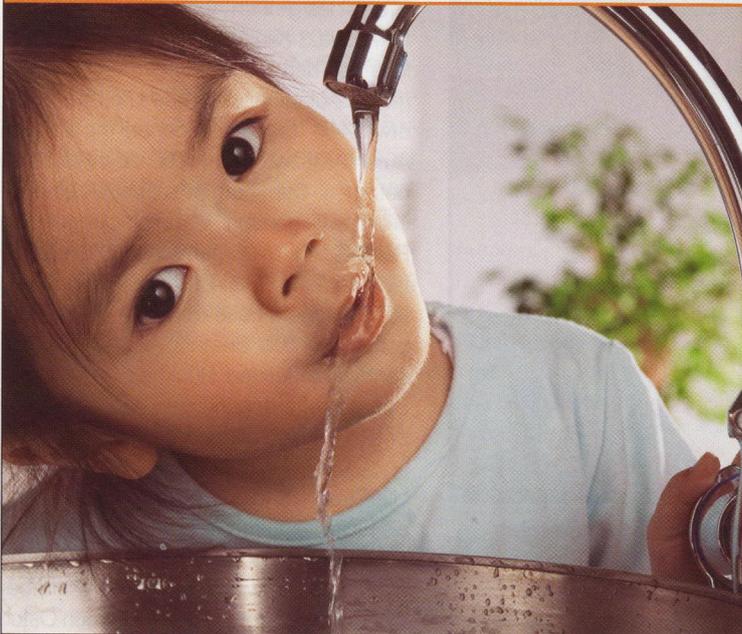
**Veranstalter:** Zentrum für Angewandte Forschung und Technologie e. V. und HTW Dresden (FH), Fachbereich Bauingenieurwesen/Architektur, Lehrbereich Wasserwesen

Besuchen Sie unsere Website:  
[www.promaqua.com](http://www.promaqua.com)

**ProMaqua**<sup>®</sup>  
 a ProMinent Company

## Reines Wasser für die Gesundheit – mit ProMinent

Experts in Chem-Feed and Water Treatment



### Zuverlässige Trinkwasseraufbereitung aus einer Hand

- Beratung, Planung, Engineering, Service und Wartung aus einer Hand
- Komplettes Produktspektrum mit Chlor-dioxid-, Ozon-, UV-, Umkehrosmose-, Chloreelektrolyse- und Dosieranlagen, Polyelektrolytansetzstationen, Schwerkraftfilter, Lagertechnik sowie Mess- und Regeltechnik
- Einhaltung aller erforderlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen wie WHO-Standards oder deutsche Trinkwasserverordnung



[www.promaqua.com/trinkwasser](http://www.promaqua.com/trinkwasser)

ProMinent ProMaqua GmbH, Heidelberg  
 Telefon +49 6221 6489-0

[www.promaqua.com](http://www.promaqua.com)

sichtlich der Infiltrationstechnologie unterschieden werden.

- Die interne Technologie arbeitet mit Hochleistungsbrunnen, die eine Doppelfunktion besitzen und abwechselnd als Entnahme- und Infiltrationsbrunnen betrieben werden. Das sauerstoffangereicherte Wasser für die Regenerierung der Reaktionszone ist ein Teilstrom des Wassers, das aus dem Entnahmebrunnen gefördert wird (bekannt als Subterra-Verfahren).
- Die externe Technologie regeneriert die Reaktionszonen über Satellitenbrunnen, wobei ein besonderes Regime der Infiltration des sauerstoffangereicherten Wassers über die Satellitenbrunnen zu beachten ist (bekannt als Vyredox-Verfahren).

Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz der Technologie ist die Ausbildung der Reaktionszone, die sowohl vom Brunnenbau als auch vom Betriebsregime abhängt. Die Reaktionszone muss in ausreichend großer Entfernung vom Brunnen aufgebaut werden, um ein ausreichendes Speichervolumen für die Ablagerung von Eisenhydroxid bereitzustellen. Eine fachgerechte

Auslegung gewährleistet in der Regel eine Brunnennutzungsdauer von mehr als 50 Jahren und eine hydraulisch nicht signifikante Verringerung des Porenvolumens um 10 bis 15 Prozent. Diese Nutzungsdauer ist nur bei einer Wasserbeschaffenheit möglich, die nicht zur Versinterung des Grundwasserleiters führt.

Der Eintrag von Sauerstoff in das Infiltrationswasser kann mittels Fallrohrbegasung, Injektionsmischern oder Druckluftverdüsung erfolgen. Je höher der erforderliche Anreicherungsgrad des Sauerstoffs im Infiltrat ist, desto höher sind die technischen Aufwendungen zur Bereitstellung des Prozessgases.

Anlagen der unterirdischen Enteisung arbeiten in der Regel vollautomatisch. Sie erfordern bei Neuerrichtung gegenüber der klassischen Enteisungstechnologie erhöhte Investitionen in den Hochleistungsbrunnen- und Messstellenbau (Abb. 3). Entscheidend für die Kosten ist das Ergiebigkeitsverhältnis, das die notwendige Infiltrationswassermenge in Bezug zur aufbereiteten Wassermenge setzt.

Ein Verfahren zur unterirdischen Enteisung wurde bereits im Jahr 1900 in Deutschland patentiert. Seit den 70er-Jahren erschienen in Europa zunehmend Veröffentlichungen über positive Erfahrungen mit der unterirdischen Enteisung. Im russischen Forschungsinstitut VODGEO in Moskau wird seit 1980 am Thema unterirdische Enteisung gearbeitet. Die Ergebnisse zahlreicher theoretischer und praktischer Untersuchungen dienen als Grundlage für eine erfolgreiche Einführung der Technologie in einer Reihe von Wasserwerken in Russland [6]. Da die Technologie vor allem in bereits bestehenden Wasserwerken eingesetzt werden soll, würde der Einsatz des Vyredox-Verfahrens mit Satellitenbrunnen zusätzliche Brunnen erfordern. Gleichzeitig ist die Ausbildung der Reaktionszone nach dem Subterra-Verfahren hydraulisch besser beherrschbar.

### Kopplung von Uferfiltration und unterirdischer Enteisung

Interessant für große Flusssysteme in Russland ist auch eine Kombination zweier subterrestrischer Aufbereitungsverfahren – der Uferfiltration und der unterirdi-