„Nutzung natürlicher Reinigungskräfte - Die Uferfiltration“

Carsten K. Schmidt

Die Uferfiltration ist in Deutschland ein etabliertes, kostengünstiges Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung. Wasserwerke nutzen die natürliche Reinigungskraft des Grundwasserleiters, um ohne Einsatz von Energie und Chemikalien die Qualität des Rohwassers zu verbessern.

Bei der Uferfiltration werden in der Nähe zum Fluss (oder auch See) Brunnen errichtet. Durch eine künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels kommt es zur Ausbildung eines Absenkungstrichters mit Potentialgefälle zwischen Fluss und Förderbrunnen; Oberflächenwasser infiltriert durch die Gewässersohle in den Untergrund und strömt langsam den Brunnen zu. Das kann Wochen bis mehrere Monate dauern. Neben Uferfiltrat wird durch die Brunnen auch ein gewisser Anteil des landseitigen echten Grundwassers gefasst. Die Anteile der beiden Wasserarten können sowohl von Standort zu Standort als auch zeitlich stark variieren. Am Rhein beispielsweise schwanken die mittleren Uferfiltrat-Anteile in Abhängigkeit von der Entfernung der Brunnen zum Fluss zwischen 40 und 90 %. Bei Hochwasser breitet sich das Wasser aus dem Flussbett im Grundwasserleiter aus und in den Brunnen steigt der Anteil des Uferfiltrats entsprechend an. Bei Niedrigwasser können die Verhältnisse umgekehrt sein, sodass im Extremfall ausschließlich landseitiges Grundwasser gefördert wird.

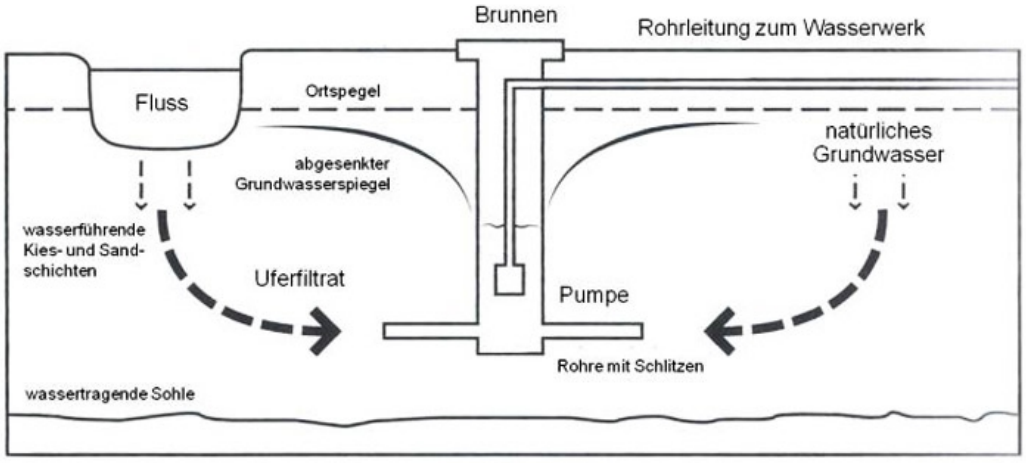

Abbildung 1: Funktionsweise einer Uferfiltrat-Gewinnung.

Die gezielte Gewinnung von Uferfiltrat begann in Deutschland in den 1870er und 1880er Jahren im Zuge des mit der Industrialisierung und dem starken Bevölkerungswachstum verbundenen erhöhten Mengenanspruchs an Trinkwasser. Zusätzlich erforderten die massiven hygienischen Probleme eine Abkehr von der direkten Nutzung von Oberflächengewässern. So wurden zum Beispiel an der Ruhr in Essen 1864 das Uferfiltrat-Wasserwerk Steele, am Rhein in Düsseldorf 1870 das Wasserwerk Flehe und an der Elbe in Dresden 1875 das Werk Saloppe zur Trinkwasserversorgung in Betrieb genommen. Auch heute noch steigt die Tendenz zur Nutzung von Uferfiltrat in der Regel mit der Besiedlungsdichte, wobei natürlich auch hydrogeologische Bedingungen eine wesentliche Rolle spielen. Wasserwerke mit Uferfiltration finden sich schwerpunktmäßig

Abbildung 2: Uferfiltrat-Brunnengalerie in Düsseldorf, Wasserwerk Flehe

Abbildung 3: Künstliche Grundwasseranreicherung in Köln, Wasserwerk Weiler.

am Rhein zwischen den Mündungen von Sieg und Ruhr, an der Elbe zwischen Dresden und Torgau sowie im Berliner Raum. Außerhalb Deutschlands werden hauptsächlich in den Niederlanden an Rhein und Maas, an der Donau in Österreich rund um Wien beginnend und weiterhin flussabwärts in der Slowakischen Republik, Ungarn und in Serbien/Montenegro Wassergewinnungsanlagen mit Uferfiltrat betrieben. Zunehmend werden auch in einigen außereuropäischen Ländern wie den USA, Südkorea, Brasilien und Indien Wassergewinnungsanlagen mit Uferfiltration genutzt.

Die Menge des gewinnbaren Uferfiltrats wird sowohl durch die Infiltrationsfläche am Fluss als auch durch die Durchlässigkeit des Aquifers (der wasserführenden Bodenschicht) begrenzt. An Standorten, an denen auch das Uferfiltrat nicht mehr zur Deckung des Trinkwasserbedarfs ausreichte, wurden häufig durch den Bau von Anreicherungsbecken zusätzliche Infiltrationsflächen geschaffen. In die Anreicherungsbecken eingebrachte Sandschichten ersetzen dabei die Infiltrationszone in der Gewässersohle. Das in die Sandbecken geleitete Oberflächenwasser sickert in den Grundwasserleiter ein und wird nach einer anschließenden Untergrundpassage wie bei der Uferfiltration mit Hilfe von Sammelbrunnen zurückgewonnen. Entsprechende Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung finden sich beispielsweise an Ruhr, Rhein, Elbe, Neckar und Neiße. Neben der Möglichkeit, die Infiltrationsmenge bedarfsgerecht zu steuern, ermöglicht die künstliche Grundwasseranreicherung auch eine vorangehende Aufbereitung des Oberflächenwassers, um eine für die Untergrundpassage geeignete Beschaffenheit zu erhalten.

Die Uferfiltration gehört somit in Deutschland seit vielen Jahrzehnten zu den etablierten, kostengünstigen und zuverlässigen Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren in der Trinkwasserproduktion. Bei Infiltration des Oberflächenwassers und während der anschließenden Untergrundpassage laufen vielfältige physikalische, biologische und chemische Prozesse ab, die ohne Einsatz von Energie und Aufbereitungschemikalien die Wasserbeschaffenheit wesentlich verbessern und im Idealfall der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit angleichen. Wichtige Vorteile gegenüber der direkten Entnahme von Oberflächenwasser sind Partikelentfernung, Rückhalt von hygienisch relevanten Mikroorganismen, Verminderung von natürlichen und anthropogen eingetragenen organischen und anorganischen Substanzen, erhöhte Sicherheit bei Stoßbelastungen durch Sorptionsvorgänge und eine Vermischung von Wässern unterschiedlicher Aufenthaltszeit im Grundwasserleiter, Temperaturausgleich, Verringerung des Bildungspotentials für Desinfektionsnebenprodukte und Erhöhung der biologischen Stabilität des Trinkwassers.

Die bei der Uferfiltration wirkenden Mechanismen zur Eliminierung von partikulären, kolloidalen und gelösten Wasserinhaltsstoffen sind vielfältig und unterliegen zahlreichen

gegenseitigen Beeinflussungen. Sie reichen von Sedimentation und Filtration (Kies und Sand als mechanischer Filter) über chemische Fällung, Sorption und Ionenaustausch bis hin zu mikrobiellem Abbau durch Mikroorganismen. Dieses Wirkungsgefüge zwischen Bestandteilen der festen und flüssigen Phase besitzt ein erhebliches Reinigungspotential gegenüber Schwebstoffen, Mikroorganismen, vor allem solchen mit pathogenen Eigenschaften, sowie organischen und anorganischen Stoffen und weist zudem als robustes Natursystem eine beachtliche Pufferkapazität gegenüber Veränderungen der Qualität des Oberflächengewässers auf. Üblicherweise werden bei der Uferfiltration 30 bis über 50 % der organischen Gesamtfracht des Wassers, gemessen als gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), entfernt.

Doch inwieweit ist die Uferfiltration auch in der Lage, anthropogene organische Verbindungen zu beseitigen, die höchst unterschiedliche physikalisch-chemische Eigenschaften haben?

Die Reinigungsleistung der Uferfiltration gegenüber organischen Schad- und Spurenstoffen beginnt mit den Vorgängen in der Infiltrationszone, in der sich die absiebbaren Sedimente und Schwebstoffe ansammeln, an die sich häufig schon im freien Wasser hydrophobe Substanzen angelagert haben. Hier trifft das Wasser mit seinen gelösten Inhaltsstoffen auf vielfältige biogene und abiogene Oberflächenstrukturen, unter deren Mithilfe viele der prinzipiell schon im freien Wasser möglichen Selbstreinigungsmechanismen eine große Beschleunigung erfahren. Da hier die flüssige Phase gegenüber der festen ständig ausgetauscht wird, können sich die dort ansiedelnden Mikroorganismen gut vermehren und neue partikuläre organische Substanz aufbauen und damit auch neue Sorptionskapazität für gelöste Spurenstoffe schaffen. In der Infiltrationsschicht läuft auf kurzem Fließweg und bei geringer Aufenthaltszeit der größte Teil der möglichen Sorptions- und mikrobiellen Abbauprozesse ab. Die Intensität der Reinigungsvorgänge geht in der nachfolgenden Untergrundpassage stark zurück, wegen der längeren Fließwege und Aufenthaltszeiten kann sie dennoch einen beträchtlichen Beitrag zur Verminderung der Schadstofffracht durch Sorption und Abbauvorgänge leisten.

Ein wesentlicher Eliminationsmechanismus von organischen Spurenstoffen ist die Sorption an Sediment- und Bodenbestandteile. In Sedimenten und Aquiferen stellt dabei häufig die organische Substanz das wesentliche Sorbens dar. Insbesondere unpolare und schlecht wasserlösliche Substanzen werden häufig bereits effektiv und nachhaltig in der Infiltrationszone fixiert. Das Ausmaß dieses Effekts kann in gewissen Grenzen über die stoffspezifische Wasserlöslichkeit bzw. über den jeweiligen Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{OW}) abgeschätzt werden. Für polare oder ionische Verbindungen sind bei der Sorption neben hydrophoben Wechselwirkungen häufig noch weitere Bindungsmechanismen von Bedeutung (z. B. Ionenaustausch).

Die wichtigste Reinigungsfunktion der Uferfiltration besteht aber im biologischen Abbau. Grundvoraussetzung für einen Abbau ist das Vorhandensein einer geeigneten Biozönose. Manche Spurenstoffe können von vielen Bakterienarten verwertet werden, andere bedürfen Spezialisten. Unter Umständen ist zunächst auch eine Adaptation der Mikroorganismen an den Spurenstoff notwendig. Art und Zusammensetzung der mikrobiellen Besiedlung stehen in enger Wechselwirkung mit dem vorherrschenden Redoxmilieu. Beim Abbau der organischen Wasserinhaltstoffe wird gelöster und gebundener Sauerstoff verbraucht, wodurch sich Verschiebungen im Redoxsystem ergeben, die ganz wesentlich Art und Umfang mikrobieller Abbauprozesse bei der Untergrundpassage bestimmen. Bei den Redoxreaktionen stellen die verfügbaren

organischen Substanzen die Elektronendonatoren dar, während reduzierbare Wasserinhaltsstoffe (O_2, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}) sowie feste Phasen (Fe(III), Mn(IV)-oxide und hydroxide) als Elektronenakzeptoren dienen. In einer anaeroben Uferfiltratstrecke nehmen nacheinander die Konzentrationen an Sauerstoff, Nitrat und Sulfat ab, während die Gehalte an Ammonium und Sulfiden zunehmen. Am Ende dieser Abfolge, die sich unter Umständen schon auf den ersten Zentimetern der Infiltrationszone einstellt, steht die Reduktion von CO_2 mit der Bildung von Methan. Die einzelnen Redoxbereiche können je nach den lokalen Bedingungen in ihrer räumlichen Ausdehnung stark schwanken. Da viele Mikroorganismen nur in bestimmten Redoxpotential-Bereichen ihren Stoffwechsel vollziehen können und das Ausmaß des mikrobiellen Abbaus zudem an ausreichende Aufenthaltszeiten gekoppelt ist und zuweilen erst verzögert einsetzt, ist auch der Abbau mancher Schadstoffe an das Vorliegen entsprechender Redoxzustände und an ausreichende Aufenthaltszeiten in diesen Bereichen gebunden. Als Konsequenz können je nach organischer Belastung des Oberflächengewässers bzw. der Infiltrationsschicht und lokalen Randbedingungen auch prinzipiell abbaubare Schadstoffe ganz unterschiedlich entfernt werden. Untersuchungen ergaben, dass die Uferfiltration die meisten (rund 80 %) der im Oberflächenwasser festgestellten organischen Spurenstoffe beseitigen kann. Bei den übrigen Stoffen ließ sich in der Regel zumindest eine Konzentrationsminderung beobachten. So werden nicht nur die meisten Arzneimittel sondern auch hormonell wirksame Substanzen wie Nonylphenol, Octylphenol, Bisphenol A, Estron, Estriol und 17ß-Estradiol effektiv bei der Uferfiltration entfernt.

Trotz der beträchtlichen Reinigungsleistung von Infiltration und Untergrundpassage bleibt die Qualität desgeförderten Uferfiltrats immer abhängig von der Beschaffenheit des versickerten Oberflächenwassers. Auch diese Art der Trinkwassergewinnung beruht auf der Nutzung von Oberflächenwasser aus Flüssen und Seen, das potenziell einer Vielzahl von Beeinträchtigungen ausgesetzt ist. Entsprechend fordern die Wasserversorgungsunternehmen eine nachhaltige Bewirtschaftung der Ressourcen. Es ist erklärtes Ziel, in den genutzten Fließgewässern eine Gewässerqualität zu erreichen, die es erlaubt, mit lediglich naturnahen Aufbereitungsverfahren wie der Uferfiltration Trinkwasser zu gewinnen. Solange das nicht gelingt, muss die natürliche Barriere der Uferfiltration in den Wasserwerken durch weitergehende Aufbereitungsschritte wie Aktivkohlefiltration, Flockung und Sedimentation, Ozonbehandlung und Desinfektion ergänzt werden.

Kontakt:

Dr. Carsten K. Schmidt

ARW - Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke e.V.
Parkgürtel 24
50823 Köln
Tel.: +49 (0)221178-4714
E-Mail: ca.schmidt@rheinenergie.com

Schlauer Fuchs

Unsere Schlaue-Fuchs-Frage zu diesem Beitrag lautete:

Was ist ein Aquifer?

http://www.arww.org/

Literatur:

[1] C.K. Schmidt, H.-J. Brauch, Benefits of riverbank filtration and artificial groundwater recharge: The German experience, In: M. Dimkic, H.-J. Brauch, M. Kavanough, Groundwater management in large river basins, 310-331, IWA Publishing (2008).

[2] C.K. Schmidt, H.-J. Brauch, Characteristics of natural attenuation processes for organic micropollutant removal during riverbank filtration, In: M. Dimkic, H.-J. Brauch, M. Kavanough, Groundwater management in large river basins, 332- 352, IWA Publishing (2008).

[3] U. Schulte-Ebbert, Künstliche Grundwasseranreicherung und Untergrundpassage, In: DVGW (Hrsg.), Wasseraufbereitung - Grundlagen und Verfahren, 403-439, Oldenburg Industrieverlag (2004).