

2

KÜNSTLICHE GRUNDWASSERANREICH- RUNG IM HESSISCHEN RIED - DIE GRUNDLAGE ZUR LANGFRISTIGEN SICHERSTELLUNG DER ÖFFENTLICHEN TRINKWASSERVERSORGUNG IM RHEIN- MAIN-GEBIET

Lilo Weber, Hermann Mikat

Hessenwasser GmbH & Co. KG

Taunusstraße 100

64521 Groß-Gerau

2.1 Einleitung

Die Grundwasserbewirtschaftung im Hessischen Ried findet aufgrund der intensiven Landnutzung mit konkurrierenden Interessen in einem ausgeprägten Spannungsfeld statt. Vielfältige Nutzungsansprüche auf engstem Raum erfordern eine hochkomplexe, integrierte Grundwasserbewirtschaftung zur langfristigen Sicherung der Wasserversorgung.

Nicht das mittlere Grundwasserstandsniveau sorgt im Hessischen Ried für Probleme, sondern die witterungsbedingten Phasen ausgeprägt niedriger bzw. hoher Grundwasserstände. Sie verstärken die Nutzungskonflikte zwischen Naturschutz und Forst auf der einen sowie Siedlungsschutz und Landwirtschaft auf der anderen Seite.

Frühzeitig wurden im Hessischen Ried umfassende Strategien und Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement etabliert. In Zuordnung zu großen Wasserwerken wurden sukzessive Infiltrationsanlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung eingerichtet. Durch die Versickerung von zu Trinkwasserqualität aufbereitetem Rheinwasser konnten die mit der Förderung verbundenen Grundwasserspiegelabsenkungen zur Vermeidung von Setzungsschäden auf ein erträgliches Maß reduziert werden. Zusätzlich kann das Dargebot durch die Infiltration erhöht werden.

Vom Regierungspräsidium in Darmstadt wurde 1999 ein Grundwasserbewirtschaftungsplan aufgestellt [1]. Die wasserrechtlich zulässigen Fördermengen sind an Richtwerte und untere Grenzgrundwasserstände ausgewählter Referenzmessstellen gekoppelt, die im Grundwasserbewirtschaftungsplan festgesetzt sind. Die Schwankungsbreite um den Richtwert wurde aus langjährig beobachteten Erkenntnissen des Grundwasserhaushaltes und den in der Abwägung festgesetzten unteren Grenzgrundwasserständen abgeleitet. Im Einflussbereich der Infiltrationsanlagen werden Aufhöhungen durch bescheidrechtliche Abschaltwerte begrenzt. Analoge Grundwasserstandsvorgaben sind in den Wasserrechtsbescheiden für Standorte außerhalb des Hessischen Rieds (z.B. Stadtwald Frankfurt) enthalten.

Eine fundierte Quantifizierung der Grundwasserneubildung für die Beurteilung des nutzbaren Grundwasserdargebots ist im nördlichen Oberrheingraben von besonderer Bedeutung. Im Hessischen Ried wird die Grundwasserneubildung maßgeblich von den Niederschlägen, den Zuflüssen aus dem Odenwald sowie

den Wechselwirkungen (Infiltration, Entwässerung) mit den natürlichen Fließgewässern und den Grabensystemen bestimmt. Die Grundwasserneubildung weist eine große Schwankungsbreite auf. In Trockenperioden (1971-1976, 1989-1992) fiel die Grundwasserneubildung mit rund 60 mm/a sehr gering aus, in Nassperioden (1977-1982, 2001 und 2002) erreichte sie über 160 mm/a [2]. Entsprechend ausgeprägt sind die Schwankungen der Grundwasserstände zwischen nassen und trockenen Witterungsperioden.

2.2 Trinkwasserversorgung in der Rhein-Main-Region

Die Hessenwasser GmbH & Co. KG (Hessenwasser) stellt im Rhein-Main-Gebiet das Trinkwasser für über 2 Millionen Einwohner und die dort ansässigen Wirtschaftsunternehmen bereit. Die mittlere jährliche Trinkwasserabgabe beträgt rund 100 Mio. m³, davon werden 60% aus 28 Trinkwassergewinnungsanlagen der Hessenwasser gewonnen. Die übrige Menge wird im Wesentlichen von Vorlieferanten aus dem nördlichen Vogelsberg und dem südlichen Hessischen Ried bezogen.

Der zur Sicherstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Südhessen erforderliche Mengenausgleich zwischen den Dargebotsgebieten und den großstädtischen Bedarfsräumen erfolgt über den Leitungsverbund Rhein-Main. Der Leitungsverbund in der Rhein-Main-Region basiert auf einem sich historisch entwickelten Verbundsystem, durch das die hydrogeologisch gegebenen Dargebotsgebiete im Raum Vogelsberg/Kinzig/Spessart, im Raum Vogelsberg/Wetterau und im Hessischen Ried mit den Bedarfsgebieten im Ballungsraum verbunden wurden. Angeschlossen an dieses Verbundsystem sind auch Gebiete mit geringem Wasserdargebot wie der Taunus. Das Transportleitungssystem der Hessenwasser bildet das Kernstück des Leitungsverbundes.

In der Wasserbilanz Rhein-Main sind neun Versorgungsgebiete definiert, die diese Hauptversorgungsstruktur abbilden (Bild 2.1).

Die Hauptlieferströme sind gekennzeichnet durch die Breite der Pfeilsignatur; von untergeordneter Bedeutung sind Lieferströme aus dem Bereich Wetterau in den Bereich Hintertaunus und aus dem Raum Darmstadt/Groß-Gerau in den Raum Darmstadt/Dieburg. Die Trinkwasserversorgung in der Rhein-Main-Region basiert auf den Lieferströmen aus dem Hessischen Ried (Versorgungsgebiete 6 und 9)

in den Raum Frankfurt/Vordertaunus und in die Region Wiesbaden in Höhe von insgesamt etwa 32 Mio. m³/a und Lieferungen aus den Bereichen Wetterau und Main-Kinzig in den Raum Frankfurt in Höhe von etwa 23 Mio. m³/a [3].

Regierungsbezirk Darmstadt
Südhausen

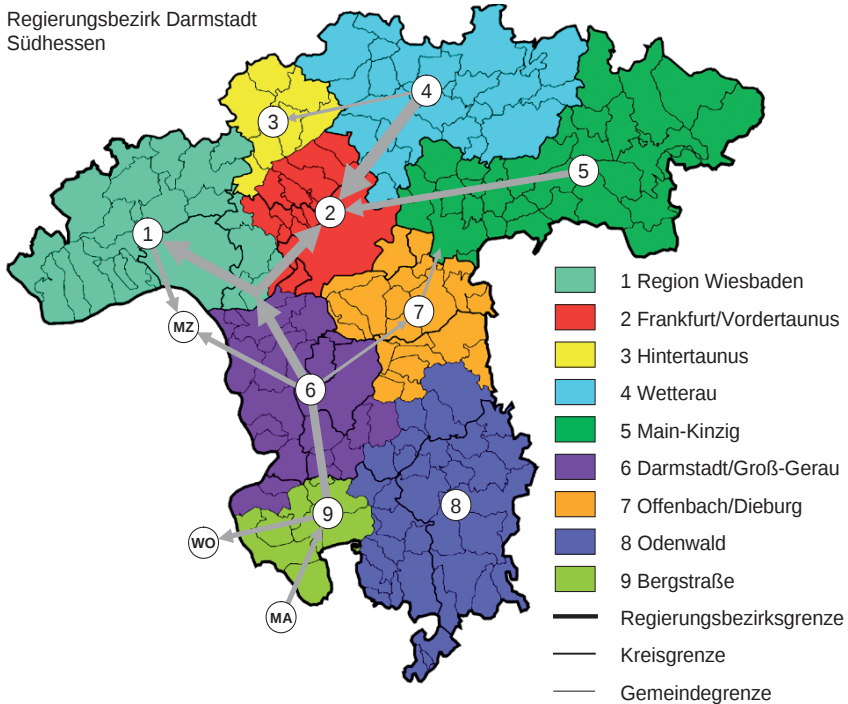


Bild 2.1: Hauptversorgungsstruktur im Regierungsbezirk Darmstadt 2008 [2]

2.3 Mengenkonzepion Eigengewinnung und Bezug

Die Mengenkonzepion zur Belieferung der Rhein-Main-Region in Form von Eigengewinnung und Bezug ist mittelbar mit der Infiltration von aufbereitetem Oberflächenwasser und dessen Versickerung im Vorfeld des WW Schierstein in Wiesbaden, den Stadtwaldwasserwerken in Frankfurt und den Wasserwerken im Hessischen Ried verknüpft. Unter Berücksichtigung der Bedarfsansätze für Trockenjahre aus dem regionalen Bedarfsnachweis der Hessenwasser steht der Abgabemenge von 111,5 Mio. m³/a in einer Trockenperiode ein Infiltrationsbe-

darf von 46 Mio. m³/a gegenüber. In einem einzelnen Trockenjahr wie 2003 ist der Verbrauch nur um etwa 4 % bis 5 % erhöht. Im Hessischen Ried war 2003 die Infiltration wegen hoher Grundwasserstände von Januar bis Oktober außer Betrieb. Bisher schwankt hier der Infiltrationsbedarf unter Berücksichtigung von klimatisch bedingten Speicherauffüllungen und -zehrungen zwischen 0 und 22 Mio. m³/a ohne die beantragte Erhöhung der Wasserrechte. Nach Erhalt der beantragten Wasserrechte im Hessischen Ried wird sich die Menge bis auf 38 Mio. m³/a erhöhen.

Die durch den Grundwasserbewirtschaftungsplan festgeschriebenen Bewirtschaftungsgrundlagen können nur durch die ständige Optimierung und Rehabilitation der Infiltrationsanlage eingehalten werden. Die Steuerung von Entnahme und Infiltration erfolgt durch ein nach Grundwasserständen gesteuertes integriertes regionales Grundwassermanagement unter Beachtung ökologischer, ökonomischer und bescheidrechtlicher Randbedingungen. Neben den infiltrationsgestützten Anlagen verfügt die Hessenwasser über weitere Entnahmebrunnen ohne vorgeschaltete Sickerorgane.

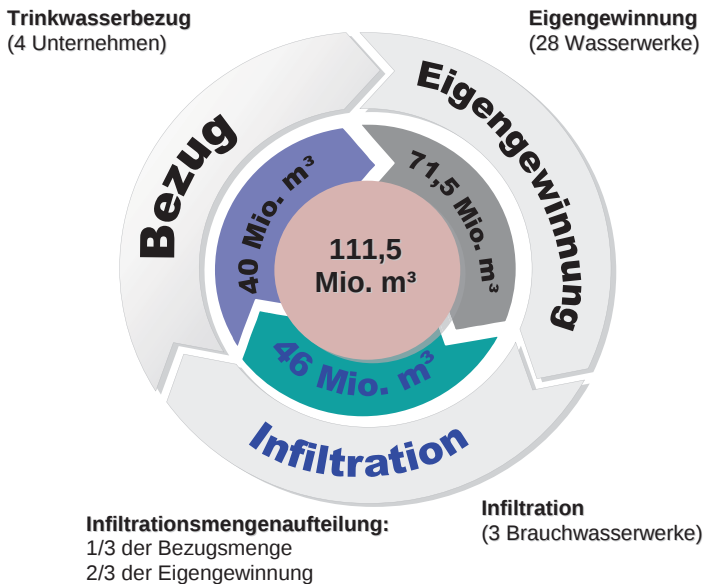


Bild 2.2: Eigengewinnung, Bezug und Infiltration – Mengenkonzepion in einem Trockenjahr

Langfristig ausgelegte Lieferbeziehungen bilden einen wesentlichen Anteil an der Versorgung des Rhein-Main-Gebiets. Einige Bezugsmengen sind von ökologischen Randbedingungen in den Gewinnungsgebieten abhängig und zur Bedarfsentwicklung gegenläufig. Über das integrierte regionale Grundwassermanagement der Hessenwasser werden die sich dort ergebenden Fehlmengen redundant vorgehalten. Grundlage hierfür ist wieder die uneingeschränkte Verfügbarkeit der Infiltrationsanlagen.

Aus Bild 2.3 können die Anlagenzahl, der Anlagentyp und die Lage der Anlage entnommen werden.

Aufbereitetes Rheinwasser

- 3 Versickerungsbecken
- 47 Infiltrationsbrunnen
- 1 Sickerleitung
- 4 Sickerschlitzgräben

Aufbereitetes Mainwasser

- 2 Sickerleitungen
- 18 Kiesbohrlöcher
- 2 Infiltrationsbrunnen

Aufbereitetes Rheinwasser

- 12 Sickerschlitzgräben
- 179 Kiesbohrlöcher
- 3 ehemalige Entwässerungsgräben
- 2 Schluckbrunnen
- 2 Versickerungsbecken

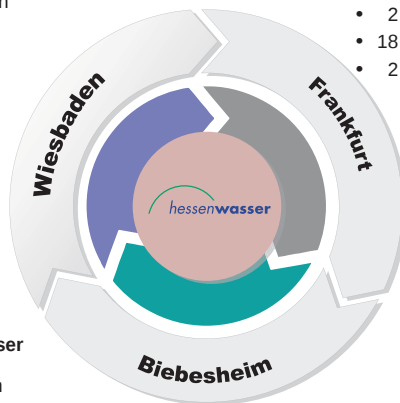


Bild 2.3: Standorte der Infiltrationsanlagen

2.4 Infiltration im Hessischen Ried

Für die Trinkwasserversorgung im Rhein-Main-Gebiet bilden die Sande und Kiese des Pleistozäns (Quartär), deren Mächtigkeit im Rheingraben von Norden nach Süden zunimmt, einen bedeutsamen Wasserspeicher. Das Altquartär besteht aus einer Wechselfolge von Schluffen und Sanden, die von jungquartären sandig-kie-

sigen Sedimenten, in die Ton-/Schluffzwischenlagen eingelagert sind, überlagert werden. Den Abschluss der jungquartären Schichtenfolge bilden jungpleistozäne Flugsande und die holozäne Rhein- und Neckarablagerungen.

Im Vorfeld der großen Wasserwerke für die Wasserbeschaffung der Hessenwasser und des WW Jägersburg des Wasserbeschaffungsverbandes Riedgruppe Ost befinden sich die Infiltrationsanlagen des Wasserverbandes Hessisches Ried.

Der Wasserverband Hessisches Ried (WHR) hat die Aufgabe, die landwirtschaftliche Beregnung (5.400 Hektar) im Hessischen Ried und die Grundwasseranreicherung im Einzugsbereich der Förderanlagen seiner Mitglieder sicherzustellen. Die landwirtschaftliche Beregnung hat gegenüber der Infiltration Vorrang, so dass die Infiltrationsorgane instationär beaufschlagt werden müssen. Hessenwasser als Verbandsmitglied und Geschäftsführer des Verbandes hat eine zentrale Rolle bei der Grundwasserbewirtschaftung des Hessischen Rieds inne.

Im Wasserwerk Biebesheim des WHR wird Rheinwasser entnommen und zu einem Wasser mit Trinkwasserqualität aufbereitet. Über ein erdverlegtes Rohrleitungssystem wird dieses Wasser für die Beregnung und die Infiltration zur Verfügung gestellt. Die Kapazität des Wasserwerks beträgt pro Jahr bis zu 43 Mio. m³. Hiervon stehen 38 Mio. m³/a zur Grundwasseranreicherung und bis zu 5 Mio. m³/a zur landwirtschaftlichen Beregnung zur Verfügung. Im Hessischen Ried wurden drei Anlagenstandorte zwischen 1989 und 1998 in Betrieb genommen. Ein vierter Standort befindet sich momentan im Bau. Angepasst an die Standort- und Untergrundverhältnisse erfolgt die Grundwasseranreicherung über Schluckbrunnen, Kiesbohrlöcher, Sickerschlitzzgräben und ehemalige Entwässerungsgräben.

Die Zuordnung von Entnahmefrühen und Infiltrationsorganen mit dem wasserrechtlich bedingten Verhältnis von Infiltration und Entnahme bei mittleren Grundwasserständen in den verschiedenen Gewinnungsgebieten ist in Tabelle 2.1 aufgeschlüsselt.

Die große Anzahl der Infiltrationsanlagen im Vorfeld der Gewinnungsanlagen im Hessischen Ried bedingt einen hohen Aufwand in Betrieb, Instandhaltung und Steuerung dieser Anlagen. Kernelement zur zeitnahen integrierten aktiven Steuerung der Infiltrations- und Entnahmeanlagen ist die aktuelle Grundwasserstandsentswicklung. Steuerungsziel bzw. Leitbild bei der grundwasserstandsorientierten Ressourcenbewirtschaftung sind die mittleren Grundwasserstände,

gemessen am genehmigten Grundwasserschwankungsbereich. Bei wechselnden klimatischen Bedingungen erfolgt eine Anpassung auf die mit den Grundwasserstandszielen angepasste Nettoentnahme. Als Nettoentnahme (langfristig nutzbares Dargebot) wird dabei die Entnahmemenge abzüglich der räumlich zugeordneten Infiltrationsmenge bezeichnet. Die Nettoentnahme ist aufgrund der räumlichen Nähe ein bilanzielles Maß für die summarische Auswirkung von Entnahmen und Infiltrationen auf die Grundwasserstände. Am Beispiel des WW Allmendfeld kann die Entwicklung der Nettoentnahme durch behördliche Vorgaben aus Tabelle 2.2 entnommen werden.

Tabelle 2.1: Gegenüberstellung Infiltration und Entnahme bei mittleren Verhältnissen

Wasserwerk/ Infiltrationsanlage	Brunnen Anzahl	Infiltrations- gewerke Anzahl	Entnahme Mio. m ³	Infiltration Mio. m ³	Entnahme/ Infiltration Verhältnis
WW Schierstein	42	55	5,0	4,0	1,25 : 1
Stadtwald Frankfurt	49	22	9,0	4,5	2 : 1
Hessisches Ried					
WW Eschollbrücken	20	14	12,52	1,98	6,3 : 1
WW Allmendfeld	15	119	14,59	8,67	1,7 : 1
WW Jägersburg	13	65	12,20	6,58	1,9 : 1
Gesamt	139	275	53,31	25,73	2 : 1

Die Infiltration im Vorfeld der verbundwirksamen Wasserwerke im Hessischen Ried in Verbindung mit dem Rückgang der industriellen Grundwasserentnahme und der öffentlichen Trinkwasserversorgung führt zu einem Grundwasseranstieg. Der Aufspiegelungsbereich durch die Infiltration und der Aufhöhungsbereich durch reduzierte Entnahmen sind daher nur teilweise deckungsgleich. Im Bereich Eschollbrücken/Pfungstadt sind die Grundwasserstände zum Teil mehr als 3 m, im Gernsheimer und Jägersburger Wald um über 2 m, gegenüber dem mittleren Vergleichszustand 1985 angestiegen. Der Infiltrationsanteil an der Aufhöhung beträgt im engeren Bereich der Infiltrationsanlage unter mittleren Bedingungen ca. 1 m bis 1,5 m [4].

Tabelle 2.2: Einschränkung der Entnahmemengen durch Wasserrechtsauflagen

Situation	Zeitraum	Entnahmemenge Mio. m³/a	Infiltrationsmenge Mio. m³/a	Langfristig nutzbares Dargebot Mio. m³/a
Ursprünglich	1971-1976	ca. 22,0	-	ca. 22,0
Vor Grundwasserbewirtschaftungsplan	ab 1977	12,5	-	12,5
Nach Grundwasserbewirtschaftungsplan	ab 1977	12,8	6,5	6,3
Beantragte Entnahmemenge	ab 2004	15,8	9,5	6,3
Beantragte Entnahmemenge	ab 2013	17,8	11,5	6,3

Beruhend auf dem aktuellen Bedarf, den prognostizierten Bedarfsmengen, dem Witterungsgeschehen, dem aktuellen Grundwasserflurabstand, der prognostizierten Grundwasserstandsentwicklung, den Auflagen aus den Genehmigungsbescheiden und den betrieblichen Vorgaben des Wasserverbandes (Revisionsstillstand, Beregnungsbedarf etc.) erfolgt die unterjährige und mehrjährige Steuerung der Anlagen zur Entnahme und Infiltration nach lokalen Konzepten. In Nassperioden kann dies bis zur Einstellung der Infiltration führen, um die Gefahr von Vernässungsschäden nicht zu vergrößern. In Trockenperioden werden die Infiltrationsmengen entsprechend gesteigert, um einen übermäßigen Rückgang der Grundwasserstände zu vermeiden und die unteren Grenzgrundwasserstände abzusichern.

2.5 Infiltrationsorgane

Die Versickerung von aufbereitetem Rheinwasser im Hessischen Ried erfolgt in Abhängigkeit von den geologischen, hydrogeologischen und grundwasserhydraulischen Randbedingungen über unterschiedlich ausgebaute Infiltrationsorgane. Die Infiltrationsorgane variieren in ihrer Flächeninanspruchnahme, im Ausbau und im Leistungsvermögen. Der mit dem Ausbau verbundene Instandhaltungsaufwand unterscheidet sich grundlegend voneinander. Die Beschickung der Infiltrationsanlagen erfolgt im freien Auslauf.

Im Oktober 1989 wurde die Infiltrationsanlage Eschollbrücken/Pfungstadt, bestehend aus 9 Sickerschlitzgräben, in Betrieb genommen. Die Sickerschlitzgräben (Bild 2.4) haben eine Länge von 100 m (Ausnahme SSG 9 mit 40 m), eine Tiefe von 6 m und eine Breite von 1 m. Die Sickerschlitze wurden korrespondierend zum Anstehenden mit einer Quarzsandfüllung in einer Mächtigkeit von 5,4 m ausgebaut. Als Gegenfilter dient eine Quarzsandauflage von 0,6 m in einer Körnung von 0,71 mm - 1,25 mm. Jedes Organ ist für eine Versickerungsleistung von 2.000 m³/Tag konzipiert. Die Beschickung der Sickerschlitze erfolgt über ein an der Stirnseite der Organe verbautes Drainrohr. Neben den Sickerschlitzen stehen weitere 5 Organe aus der Versuchsanlage zur Verfügung.

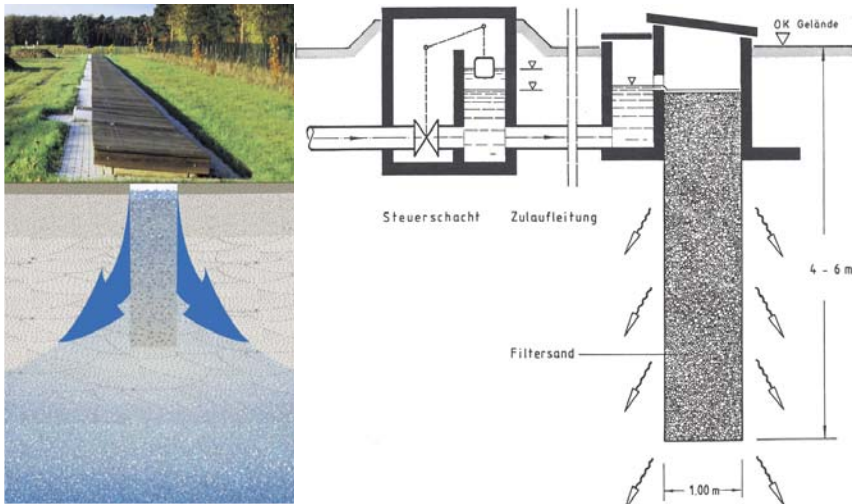


Bild 2.4: Sickerschlitzgraben mit Querschnitt [4]

Ab 1996 wurden im Gernsheimer Wald als flächensparende Alternative zu den Sickerschlitzgräben Kiesbohrlochgruppen mit 7 großkalibrigen Einzelbohrungen in Betrieb genommen. Die Bohrungen haben einen Durchmesser von 1,5 m und eine Tiefe von 6 m, die rechnerische Leistungsfähigkeit entspricht der des Sickerschlitzgrabens (75 m) im Gernsheimer Wald.

Diese Bauform wurde gewählt, da für die Errichtung von Sickerschlitzen im Wald die Rodung eines zusammenhängenden Geländestreifens notwendig gewesen wäre. Die großkalibrigen Einzelbohrungen konnten in Abhängigkeit vom Baum-

bestand flexibel angeordnet werden. Ein Kriterium für die Anordnung der Einzelbohrungen war, dass ein gleichmäßiger Aufstau, entsprechend dem eines Sickerschlitzgrabens, erreicht wird.

Zur Gewährleistung einer optimalen Infiltrationsleistung an den Standorten bedarf es genauer Kenntnisse der Korngrößenverteilung der anstehenden Lockergesteine. Mit Kernbohrungen wurden die Standorte erkundet und der Ausbau pro Organ spezifisch festgelegt, unter der Prämisse einer hohen Infiltrationsleistung und eines geringen Druckverlustes zur Ausbildung einer gesättigten Strömung im Untergrund. Zur Verifizierung der Bohrkernansprachen wurden Proben zur Siebanalyse aus feinkörnigen Profilabschnitten ausgewählt, die infiltrationshemmend wirken könnten. Im Rahmen der Bohrarbeiten wurden in den Einzelbohrungen bis zu 4,0 m unter GOK hauptsächlich Mittelsande mit schwacher Fein- und Grobsandfraktion angetroffen. Mit zunehmender Tiefe wird das Material im Allgemeinen etwas grobkörniger. Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen in einem Bereich von $3 \cdot 10^{-4}$ m/s. Die Herstellung der Kiesbohrlöcher erfolgte über verrohrte Greiferbohrungen. Die Bohrungen wurden mit Filterkies (2 mm - 3,15 mm) aufgefüllt und mit einer oberflächlich austauschbaren Sandauflage (0,71 mm - 1,25 mm), die als Gegenfilter dient, versehen. Die Einbindung der Organe in den Wald und der technische Ausbau können aus Bild 2.5 entnommen werden.

Im Jägersburger Wald wurden ab 1998 12 Kiesbohrlochgruppen in Betrieb genommen. Zwecks Eingriffsminimierung in die Waldbestände wurden die Kiesbohrlochgruppen auf 5 Einzelbohrungen über eine Strecke von rd. 80 m reduziert. Die Bohrungen wurden mit einem Durchmesser von 1,5 m und zur Erhaltung der Mantelfläche bis zu 9 m tief ausgebaut.

Nach den Erfahrungen aus 20 Jahren Infiltrationsbetrieb können folgende in Tabelle 2.3 dargestellte Leistungsverhältnisse angenommen werden:

Kiesbohrlöcher und Sickerschlitze wurden zur Messung des Druckverlustes mit Peilrohren ausgerüstet, die abhängig vom Ausbau der Organe in verschiedenen Tiefen verfiltert sind. Als Peilrohre werden 30 mm starke PVC-Rohre eingesetzt. Die an den Innenpegeln gemessenen Drücke spiegeln den zeitlichen Ablauf des Alterungsprozesses bzw. den hydraulischen Widerstand im Infiltrationsorgane wider. Im Rahmen verschiedener Regenerationsprojekte wurden die Pegel mit Data-Logger ausgestattet. Zur Überwachung der Grundwasserstandsaufhöhung

wurden in unmittelbarer Nähe zu den Infiltrationsorganen im Ober- und Unterstrom sowie beiderseits der Infiltrationsorgane Stahlrammfilter in 1 ¼“ als Außenpegel eingerichtet, die den Grundwasserspiegelstand bis in 7 m erkunden. Diese wurden im Ober- und Unterstrom in einem Rasterabstand von 10 m, 20 - 25 m und 50 m abgeteuf. Ergänzt werden die Rammfilterlanzen durch Einfach- und Doppelmessstellen (DN 150), die im Ober- und Unterstrom in weiterer Entfernung zu den Infiltrationsorganen eingerichtet wurden.

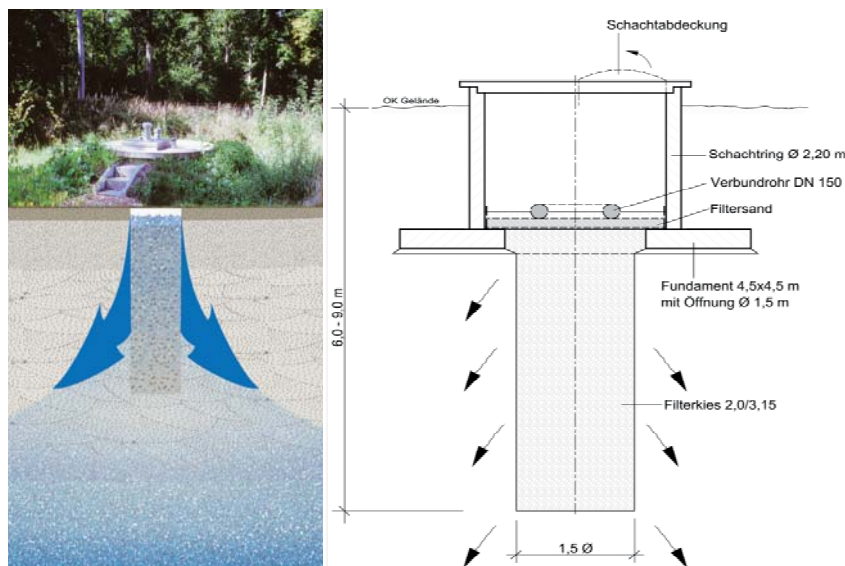


Bild 2.5: Kiesbohrlochgruppe im Gernsheimer Wald mit Querschnitt [4]

Tabelle 2.3: Versickerungsleistung der Infiltrationsorgane

Infiltrationsorgan	Grundwasserflurabstand (m)	Infiltrationsleistung m³/d
Sickerschlitzgraben (Eschollbrücken 100 m)	7,5 - 10,0	1.000 - 4.500
Sickerschlitzgraben (Gernsheim 75 m)	3,0 - 4,0	1.400 - 3.000
Kiesbohrlochgruppe (Gernsheim/7er Gruppe)	3,0 - 4,0	1.400 - 3.000

Neben den technischen Infiltrationsorganen werden seit 1993 im Gernsheimer Wald und seit 1996 im Jägersburger Wald ehemalige Entwässerungsgräben zur Grundwasseranreicherung eingesetzt, die über eine Länge von mehreren 100 m zur Versickerung genutzt werden. Sie bleiben im Weiteren unberücksichtigt.

2.6 Rheinwasseraufbereitung in Biebesheim

Oberflächenwasser wird über mehrere Verfahrensstufen zu einem Wasser mit Trinkwasserqualität aufbereitet. Die sieben Aufbereitungsschritte umfassen eine mechanische Reinigungsstufe, Vorozonung, Primärflockung einschließlich Sedimentation, Hauptozonung, Sekundärflockung, Mehrschichtfiltration und Aktivkohlefiltration. In Tabelle 2.4 sind typische Qualitätsdaten des aufbereiteten Rheinwassers zusammengestellt.

Tabelle 2.4: Qualitätsdaten Infiltrationswasser

Parameter	Infiltrationswasser Biebesheim (2011)
Temperatur in °C	6,6 - 29,9
pH-Wert	6,9 - 7,4
Sauerstoff in mg/l	4,2 - 11,1
Leitfähigkeit in µS/cm (25°C)	416 - 630
Trübung in FNU	0,02 - 0,11
Eisen in mg/l	< 0,005 - 0,07
Sulfat in mg/l	28,3 - 79,4
TOC in mg/l	0,4 - 1,0

Physikalische, chemische und mikrobiologische Aufbereitungsverfahren sind aufeinander abgestimmt und bilden ein technisches Multi-Barrieren-System. Die Anlage ist so konzipiert, dass den Infiltrationsorganen, im Gegensatz zu den Ausführungen im DVGW-Arbeitsblatt W 126 [5], keine Reinigungsaufgabe zukommt.

Im DVGW-Arbeitsblatt W 126 werden Grundwasseranreicherungsorgane gezielt als weitere Reinigungsstufe zu der Abscheidung von partikulären Wasserinhaltsstoffen, dem biologischen Abbau organischer Wasserinhaltsstoffe, den

qualitativen Veränderungen durch chemisch-physikalische Reaktionen mit den Filtermaterialien, dem Rückhalt und der Eliminierung von Mikroorganismen angesehen [5]. Hierbei darf es jedoch nicht zu unzulässigen qualitativen und quantitativen Beeinträchtigungen des Grundwassers kommen. Die Aufbereitung des Rohwassers zur Entfernung von Partikeln und Nährstoffen erfolgt im Bedarfsfall. Grundwasseranreicherungsanlagen, die als zusätzliche Reinigungsstufe genutzt werden, sind folglich einer regelmäßigen Ertüchtigung zu unterziehen.

2.7 Infiltrationsleistung und Einflussgrößen

Die Infiltrationsleistung wird maßgeblich durch die hydrogeologischen Standortverhältnisse, den Ausbau der Organe, die Beschaffenheit des Filtermaterials, die Bewirtschaftung, die hydraulischen Gradienten, die Ausbildung von Grenzflächen sowie durch die Temperatur und Beschaffenheit des Infiltrationswassers beeinflusst.

2.7.1 Flurabstände

Der in den letzten Jahrzehnten im Hessischen Ried stattgefundene großflächige Grundwasseranstieg führte zu einer Verringerung des hydraulischen Gradienten zwischen der unbespannten Grundwasseroberfläche und dem Niveau des Wassers im Infiltrationsorgan. Dieser Potentialunterschied hat eine Reduzierung des Infiltrationsvermögens zur Folge. Ein Anstieg des Grundwasserspiegels von beispielsweise ca. 2,5 m auf 2 m uGOK hatte eine Leistungsreduzierung von rd. 20 % zur Folge (Tabelle 2.5). Bei geringen Flurabständen sollte vor der Durchführung von Regenerationsmaßnahmen geprüft werden, ob eine Überlagerung durch die Verringerung des hydraulischen Gradienten vorliegt. Zur Wiederherstellung des hydraulischen Gradienten genügt ein Niveauausgleich im Schachtbauwerk, um die erforderliche Infiltrationsleistung wieder einzustellen.

Tabelle 2.5: Abschätzung Einfluss hydraulischer Gradient

Wasserspiegelhöhe	$\Delta h^1 = 2,5 \text{ m}$ $\Delta h^2 = 2,0 \text{ m}$	$\Delta h^1 = 2,0 \text{ m}$ $\Delta h^2 = 1,5 \text{ m}$	$\Delta h^1 = 1,5 \text{ m}$ $\Delta h^2 = 1,0 \text{ m}$
für $Q_1 = 100 \text{ \%}$	$Q_2 = 80 \text{ \%}$	$Q_2 = 75 \text{ \%}$	$Q_2 = 67 \text{ \%}$
Leistungseinbuße	- 20 %	- 25 %	- 33 %

2.7.2 Viskosität

Die Temperatur des aufbereiteten Rheinwassers weist jahreszeitliche Schwankungen von über 20 °C auf. Einhergehend mit der Änderung der Viskosität des Wassers ergeben sich im Winterbetrieb Einbußen im Infiltrationsvermögen von bis zu 40 % (Tabelle 2.6) bezogen auf die Maximalleistung im Sommer. Der Vorrang der landwirtschaftlichen Bewässerung in den Monaten März bis September hat zur Folge, dass die maximalen Infiltrationsleistungen nicht voll ausgeschöpft werden können.

Tabelle 2.6: Abschätzung Einfluss der Temperatur

Temperaturänderung	$T^1 = 20\text{ °C}$ $T^2 = 10\text{ °C}$	$T^1 = 25\text{ °C}$ $T^2 = 5\text{ °C}$
für $Q_1 = 100\text{ %}$	$Q_2 = 77\text{ %}$	$Q_2 = 60\text{ %}$
Leistungseinbuße	- 23 %	- 40 %

2.7.3 Porenluft

Der Infiltrationsbetrieb basiert auf dem Vorrang der landwirtschaftlichen Beregnung und stellt hohe Anforderungen an den Anfahrbetrieb der Kiesbohrlöcher. Gleiches gilt bei einem Rheinalarm und bei dem jährlich durchgeführten Revisionsstillstand des WW Biebesheim von im Mittel ca. 4 Wochen, in der Regel zu Beginn des Kalenderjahres. In den Nahbereichen der Infiltrationsorgane fallen die Grundwasserstände, bedingt durch die Revision des WW, um ca. 0,2 bis 0,4 m kurzfristig ab.

Beim Wiederaufstart der Organe kann eine Verringerung des Porenraums durch den Einschluss von Porenluft auftreten. Begünstigt durch die hohen Sauerstoffkonzentrationen des Infiltrationswassers können sich darüber hinaus bei hohen Temperaturgradienten zwischen der Umgebungstemperatur und dem Infiltrationswasser partiell Gasblasen im Filtermaterial bilden. Ein weiterer Faktor ist die Bildung von Kohlendioxid durch mikrobielle Aktivitäten im Organ. Die eingeschlossene Luft kann in der Regel nur langsam entweichen und führt zu einem erhöhten Filterwiderstand mit einer Leistungsreduzierung (Bild 2.6).

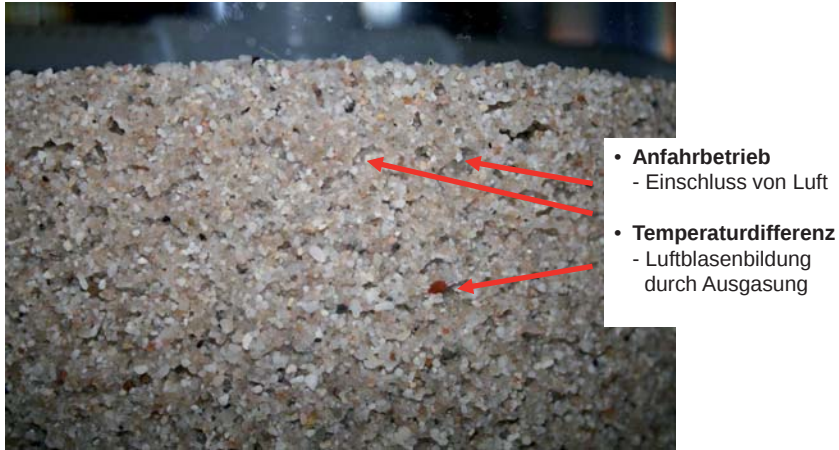


Bild 2.6: Lufteinschlüsse beim Anfahrbetrieb

Abhilfe schafft die langsame Verdrängung der im Porenraum vorhandenen Luft durch einen gestuften Anfahrbetrieb bis zur vorgegebenen Sollmenge von maximal $200 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{ges}) je Kiesbohrlochgruppe. Versuche von Holländer zeigten, dass Luft, die im Porenraum verbleibt, zu einer Steigerung der Anlagerung von Partikeln führt. Die mittig im Porenraum positionierten Luftblasen behinderten den Partikeltransport so stark, dass sogar feinere Partikel nur noch eine Filterstrecke von 30 cm zurücklegen konnten [6].

2.8 Kolmationsauslöser

Kolmationen sind gekennzeichnet durch Anlagerung von Feinstmaterial in Infiltrationsrichtung. Diese basieren auf mineralischer und organischer Herkunft und führen zu einer Ummantelung der primären Kiesstruktur mit Verschluss der interstitiellen Räume. Begünstigt wird die Akkumulation durch die Verlagerung von Unterkorn und Abrieb aus dem Filterkies/-sand und biogenen Aktivitäten. Porenkanäle werden durch Feinmaterial verstopft, die durchflusswirksamen Porositäten herabgesetzt, Eintrittswiderstände steigen in Folge der Porenraumreduzierung durch die Ablagerungen kontinuierlich an. Dies kann messtechnisch durch die in unterschiedlichen Tiefen im Organ verfilterten Peilrohre dargestellt werden.

Zur Identifizierung der Faktoren, die zu einer Kolmation führen, wurden über mehrere Infiltrationszyklen Langzeitversuche an Kiesbohrlöchern und einem Sickerschleitzgraben durchgeführt. Umfangreiche hydrologische, chemisch-physikalische und mikrobiologische Überwachungsprogramme haben den Langzeitversuch begleitet.

Kolmationen in Kiesbohrlöchern zeichnen sich durch rotbraune bis dunkelbraune Ablagerungen auf den oberen 2 bis 3 cm des Gegenfilters (Bild 2.7) aus. Ähnlich den Verfärbungen im Filterkies von Brunnen weist der Farbumschlag nach dunkelbraun auf eine Inkrustation von Eisen-Oxihydrat an das Korngerüst im Filterkies hin.



Bild 2.7: Kolmationsprodukte aus einem Kiesbohrloch [7]

Nach Regenerierung der Kiesbohrlöcher treten bereits ab einer Flächenbeaufschlagung von $20.000 \text{ m}^3/\text{m}^2$ Kolmationserscheinungen auf. Bei anderen Organen gleicher Bauweise setzt dieser Effekt erst bei deutlich höheren Infiltrationsleistungen ein. Ursachen dieser Variabilität konnten bisher noch nicht eindeutig zugewiesen werden. An Sickerschleitzgräben am gleichen Standort wurden bisher auch bei einer Flächenbeaufschlagung von über $55.000 \text{ m}^3/\text{m}^2$ keine Anzeichen einer Kolmation nachgewiesen.

2.8.1 Zustand der Zuleitung

In Leitungssystemen verursachen schnelle Änderungen des Volumenstroms hydraulische Stöße, die zu einer Mobilisierung von Ablagerungen und dem Eintrag von Partikeln in das Infiltrationsorgan führen. Diese Effekte konnten durch Untersuchungen mit Filterbeuteln am Ausgang einer alten Graugussleitung an einem anderen Infiltrationsstandort beobachtet werden. Die Anlagen im Hessischen Ried wurden zur Sicherheit mit einer 20 cm mächtigen Sandauflage als Gegenfilter ausgebaut, auch wenn diese Effekte hier in den Hintergrund treten.

2.8.2 Filtergeschwindigkeit und Korngefüge

Bauartbedingt weisen die Kiesbohrlöcher eine geringere Filteroberfläche und dementsprechend beim gleichen Volumenstrom eine deutlich höhere Filtergeschwindigkeit gegenüber den Sickerschlitzen auf. Die mittlere Filtergeschwindigkeit in Kiesbohrlöchern liegt mit ca. 5 m/h bis 7 m/h im Bereich von offenen Schnellfiltern. In den obersten Zentimetern der Sandauflage (Gegenfilter) treten die höchsten Porenkanalgeschwindigkeiten auf.

Tabelle 2.7: Mittlere Filtergeschwindigkeit

Infiltrationsanlage	Q_{soil} m ³ /h	Filterfläche m ²	Filtergeschwindigkeit t m/h
Sickerschlitz 75 m	100	75	1,3
Kiesbohrloch 7er Gruppe	100	18	5,6
Kiesbohrloch 5er Gruppe	100	13	7,0

Zur beachten ist, dass die in Tabelle 2.7 errechnete Filtergeschwindigkeit des dort angeführten Sickerschlitzen tatsächlich um den Faktor 2 höher ist, da bei einer Nennleistung von 100 m³/h die Sandoberfläche nur zu 50 Prozent benetzt ist. Die Filterfläche der Kiesbohrlöcher ist bei dieser Leistung, unabhängig von der Baugruppe (5 oder 7), komplett überdeckt.

Zur Identifizierung der Vorgänge, die zur Kolmation eines Kiesbohrlochs führen, wurden Säulenversuche mit unterschiedlichem Filteraufbau und abgestufter Filterbeschickung im halbtechnischen Maßstab durchgeführt.

Es konnte beobachtet werden, dass im Rahmen der Einbringung des Filtermaterials Bereiche mit Verdichtungen in der Schüttung auftreten (Bild 2.8). Diese Schüttbänder bewirken lokal auftretend hohe Porenkanalgeschwindigkeiten einhergehend mit der sukzessiven Ausbildung eines Kolmationshorizontes.



Bild 2.8: Bildung von Schüttungsbändern beim Füllvorgang

Suffosions- und Schüttbänder basieren auf unterschiedlichen Prozessen. Schüttbänder, die beim Füllvorgang entstehen, sind lagestabil und werden in unterschiedlichen Tiefen ausgebildet. Suffosionsbänder treten auf, wenn durch die Überschreitung der kritischen Grenzgeschwindigkeit Material aus der verbauten Körnungsstufe vertikal verschleppt wird. Die Verschleppung des Kornes durch die vertikale Durchströmung der Säulen schreitet so lange voran, bis die kritische Grenzgeschwindigkeit unterschritten wird. Das ausgespülte und verlagerte Kornband bildet die obere Grenzfläche der Kolmationsschicht (Suffosionsbänder) aus. Die vorangeschrittene Ausspülung des Korngerüsts im Gegenfilter ist in der Bild 2.9 gut erkennbar.

Unter der vereinfachten Annahme, dass die benötigte Geschwindigkeit zur Intensiventsandung von Brunnenfiltern mit dem Ausspüleffekt in einem Kiesbohrloch gleichzusetzen ist und der verbaute Filterkies einen mittleren Durchlässigkeitsko-

effizienten von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s aufweist [8], beträgt die kritische Grenzgeschwindigkeit in der Kieslagerung 17 m/h, in der Sandauflage 5 m/h (kf-Wert $5 \cdot 10^{-4}$ m/s) [9].



Bild 2.9: Ausspüleffekt an der Oberfläche des Gegenfilters (Suffusionsband)

2.8.3 Beschaffenheit der Kiese und Sande

Kolmationserscheinungen an Kiesbohrlöchern werden durch Unterkornagglomeration und Ablagerungen des Abriebs in der verbauten Schüttung begünstigt.

An Kiesen und Sanden verschiedener Lagerstätten wurden zur Bestimmung der Beschaffenheit des Filtermaterials und dessen Einflussgrößen zur Kolmationsbildung Eluatuntersuchungen durchgeführt. Hier zeigten sich deutliche Unterschiede in Materialeigenschaften und -beschaffenheit (Unterkornanteil, Anteil an bioverfügbaren Stoffen, Abrieb) [7].

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde in Folge ausschließlich das Filtermaterial, das in den Versuchen die günstigsten Eigenschaften aufwies, verbaut. Der mit möglichen Qualitätsänderungen einhergehende fortschreitende Abbau einer Lagerstätte sowie der Materialabrieb beim Transport erfordern dennoch zusätzliche Wareneingangskontrollen. Vor dem Verbau wird der Materialabrieb so weit als möglich vor Ort ausgeschwemmt.

Die Ausbildung axialer Schüttbänder kann durch einen gleichmäßigen Schüttvorgang beim Befüllen der Infiltrationsorgane minimiert werden.

2.8.4 Abiotische und biotische Vorgänge

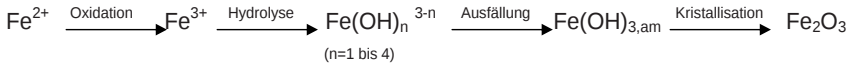
Biotische und abiotische Vorgänge als Ursache für Kolmationsprozesse werden in der Literatur vielfach bei der Infiltration von Oberflächenwasser, von Uferfiltrat oder mit einfachen Verfahren aufbereitetem Wasser beschrieben. Diese Wässer enthalten für das Wachstum von Mikroorganismen relevante Nährstoffgehalte, Eisenkonzentrationen im mg/l-Bereich und/oder quantifizierbare Trübstoffmengen. In Folge der Nutzung der Infiltrationsorgane zur weiteren Aufbereitung des Wassers müssen sie regelmäßig regeneriert werden. Aus diesem Grund schlägt Bouwer (2002) vor, das zu infiltrierende Wasser auf Trinkwasserqualität zu reinigen, so dass Verstopfungsprozesse auszuschließen sind [10].

Das im Hessischen Ried infiltrierte Wasser hat bereits Trinkwasserqualität. Die Infiltrationsorgane haben lediglich die Aufgabe, das Wasser gleichmäßig dem Aquifer zuzuführen. Die Betrachtung für die Kolmation spezifischer Parameter im aufbereiteten Rheinwasser gibt außerdem keinen Hinweis darauf, dass eine Kolmation in den Infiltrationsorganen zu erwarten wäre. Das aufbereitete Rheinwasser weist eine äußerst geringe Trübung (Median 0,03 FNU) auf, die Eisen- und Mangan-Gehalte liegen in der Regel unterhalb der Bestimmungsgrenze (5 µg/l für Fe und 1 µg/l für Mn) und der TOC bei ≤ 1 mg/l. Der assimilierbare organische Kohlenstoff (AOC) bewegt sich in einem Bereich, in dem keine Wiederverkeimung des Wassers zu erwarten ist. Schwankungen in der Qualität des aufbereiteten Wassers sind gering. Jedoch kann mit der Erhöhung der Porenkanalgeschwindigkeit ein vermehrter Nährstofftransport die biotischen Aktivitäten begünstigen.

Wie aufgrund der Beschaffenheit des Infiltrationswassers zu erwarten, wird in den Sickerschlitzgräben auch nach Jahren keine Kolmation beobachtet. In den Kiesbohrlöchern stellt sich hingegen, in Verbindung mit hohen Infiltrationsleistungen, bereits nach ca. einem halben Jahr ein Leistungsrückgang durch Oberflächenkolmation ein. Die Kolmationsschicht bildet sich unter Zunahme der Masse der abgelagerten Hauptbestandteile Eisen, TOC (Bild 2.10) sowie der Komponenten Aluminium, Silizium und Calcium bei gleichzeitiger Abnahme der Infiltrationsrate.

Der TOC indiziert als Summenparameter sorbierte organische Stoffe und die Biomasse der Mikroorganismen. Im Wasser gelöstes Fe^{2+} wird oxidiert, das gebildete

Eisen(III)hydroxid haftet am Filtermaterial an. In Folge von Mineralisationsprozessen entwässern die weichen flockigen Ablagerungen. Ein Alterungsprozess führt zur Verockerung der Porenräume und zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit, ähnlich den Prozessen in Brunnenbauwerken.



Diese Prozesse werden in der Literatur vielfach beschrieben. Jedoch finden sich keine Daten zur Kolmationsneigung von Infiltrationsorganen, die mit Wasser mit einer Eisenkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze betrieben werden.

Vergleiche verschiedener Kiesbohrlochgruppen, die mit dem gleichen Wasser beaufschlagt wurden, zeigen bei gleicher Flächenbeaufschlagung deutlich variierende Ablagerungsmassen. Ursachen hierfür können vielschichtig sein, sie sind noch nicht im Detail geklärt.

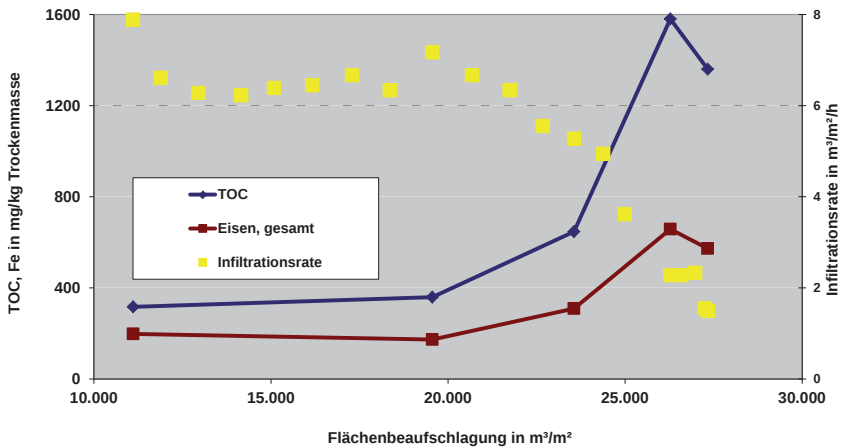


Bild 2.10: Ausbildung der Kolmationsschicht (Hauptkomponenten) während eines Infiltrationszyklus. Ergebnisse aus dem HNO_3 -Eluat bei pH 2

2.9 Ausblick

Das integrierte regionale Grundwassermanagement der Hessenwasser gewährleistet auch unter sich ändernden Randbedingungen eine ökologisch orientierte Grundwasserbewirtschaftung und langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung in der Rhein-Main-Region unter Beachtung eines effizienten, wirtschaftlichen und nachhaltigen Umgangs mit der Ressource Wasser.

Die Grundwasseranreicherung über die Infiltrationsanlagen der Hessenwasser und des Wasserverbandes Hessisches Ried ist die Voraussetzung für das integrierte, regionale Grundwassermanagement. Zur Stabilisierung der Grundwasserstände auf das behördlicherseits, unter ökologischen Aspekten festgelegte Niveau sind funktionsfähige und leistungsstarke Infiltrationsorgane notwendig. Die Flexibilität dieser Anlagen und die damit verbundene Absicherung des nutzbaren Dargebots ermöglicht es, Fehlmengen in anderen Gewinnungsgebieten des Leitungsverbundes zu substituieren.

Obgleich ihres nachweisbaren ökologischen Nutzens ist der Betrieb von Infiltrationsorganen in Form von Kiesbohrlöchern kosten- und arbeitsintensiv. Rückgänge in der Versickerungsleistung haben unmittelbar Auswirkungen auf das Förderregime und die Versorgungssicherheit in der Rhein-Main-Region.

Die Kolmation in den Kiesbohrlöchern unterliegt vielfältigen gebiets- und anlagenspezifischen Einflüssen. Tiefergehende Untersuchungen zur Minimierung der bestimmenden Kolmationseinflussgrößen sind notwendig, um die vorhandenen Anlagen weiter zu optimieren. Regenerierungserfolge durch den Austausch der kolmatierten oberflächennahen Schicht lassen den Schluss zu, dass neben der Viskosität des Wassers und dem hydraulischen Gradienten die Kolmation der oberflächennahen Sandschicht die Infiltrationsleistung maßgeblich beeinflusst.

Basierend auf den Erkenntnissen der durchgeführten Untersuchungen erfolgt eine Bewertung aller im Einsatz befindlichen Infiltrationsorgane als Grundlage für den anstehenden Neubau weiterer Anlagen und die Optimierung der vorhandenen Infiltrationsorgane.

Im Hinblick auf die sich deutschlandweit verschärfenden wasser- und naturschutzrechtlichen Vorgaben in den Entnahmeverfahren in Verbindung mit den prognostizierten Klimaszenarien ist zu erwarten, dass die Auswirkungen von

Grundwasserentnahmen großräumig durch Aufspiegelungen ausgeglichen werden müssen, um die ökologischen Systeme nicht zu beeinträchtigen. Zur Einhaltung der Vorgaben aus den Wasserrechtsbescheiden bedarf es einer aktiven Grundwasserbewirtschaftung zur Stabilisierung der Grundwasserstände, um entnahme- oder infiltrationsbedingte Trocken- und/oder Vernässungsschäden zu verhindern.

Die sich daraus zwangsläufig ergebende, hochgradig instationäre Bewirtschaftung des Aquifers bedarf übergreifender Kenntnis der Prozesse, die die Versickerung von aufbereitetem Oberflächenwasser in Trinkwasserqualität maßgeblich beeinflussen. Die bisher vorliegenden Erfahrungen liefern erste Anhaltspunkte, zeigen aber auf, dass weitergehende Untersuchungen zum Verständnis der Prozesse zwingend erforderlich sind.

Literatur

- [1] Regierungspräsidium Darmstadt (1999): Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried, Darmstadt, mit Anpassung der Tabelle 31, veröffentlicht im Staatsanzeiger für das Land Hessen S. 1704 vom 31. Juli 2006.
- [2] Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Hessenwasser GmbH & Co. KG (2010): Abschlussbericht BMBF-Fördermaßnahme Forschungen für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen: Anpassungsstrategien an Klimatrends und Extremwetter und Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement, Darmstadt.
- [3] Herber, W.; Wagner, H.; Roth, U. (2008): Der Regionale Wasserbedarfsnachweis der Hessenwasser GmbH & Co. KG. gwf-Wasser/Abwasser 149 (2008), Nr. 10, S. 773-779.
- [4] Weber, L.; Mikat, H. (2011): Grundwasseranreicherungsanlagen im Hessischen Ried, bbr Heft 01/2011, S. 44-49.
- [5] DVGW-Arbeitsblatt W126 (07/2007): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung für die Trinkwassergewinnung.

- [6] Holländer, M.; Boochs, P.; Billib, M; Panda, S. (04/2005): Labor-Säulenversuche zur Untersuchung von Clogging-Effekten im Grundwasserleiter – Einfluss von physikalischen An- und Ablagerungen, Gasblasen und biologischer Aktivität. Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie 4/2005; S. 205-215.
- [7] Weber, L.; Mikat, H. (2011): Grundwasseranreicherungsanlagen im Hessischen Ried – Leistungsvermögen und Rehabilitation, bbr Heft 06/2011, S. 40-45.
- [8] Brandt Gerdes Sitzmann (1995): Infiltrationsanlage Allmendfeld, Bewertung der Versuchsinfiltation in Organ 4, Projekt-Nr. 2206/95, unveröffentlichtes Gutachten.
- [9] Nillert, P. (2008): Bemessung der Kammerförderrate bei der Intensiventsandung von Brunnenfiltern, bbr Heft 10/2008, S. 52-61.
- [10] Bouwer, H. (2002): Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeol. J. 10 (1); S 121-142.

