

Studie: Dynamik der Klarwasseranteile in Oberflächengewässern und mögliche Herausforderungen für die Trinkwassergewinnung in Deutschland

Zusammenfassung der Ergebnisse

1 Hintergrund und Zielstellung dieser Studie

Neben der Nutzung von natürlichem Grundwasser und Quellwasser (knapp 70 % der öffentlichen Wasserversorgung) leisten auch Flüsse und Seen einen wichtigen Beitrag für die Trinkwassergewinnung in Deutschland. In der Regel erfolgt die Entnahme indirekt über eine Uferfiltration oder eine künstliche Grundwasseranreicherung (circa 17 % der öffentlichen Wasserversorgung). Neben Regenwasser, landwirtschaftlichen Entwässerungen oder industriellen Direktleitungen nehmen Flüsse häufig aber auch behandeltes kommunales Abwasser (im Folgenden: ‚Klarwasser‘) und damit abwasserbürtige Stoffe auf. Diese werden dadurch Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufes. Der relative Anteil von Klarwasser in den Flüssen hängt direkt vom Abflussregime des aufnehmenden Gewässers ab. Dieses kann sich im Zuge des Klimawandels in vielen Fließgewässern Deutschlands deutlich verändern.

Um sich diesen Fragestellungen anzunehmen, wurde im Auftrag des Umweltbundesamts die Studie „Dynamik der Klarwasseranteile in Oberflächengewässern und mögliche Herausforderungen für die Trinkwassergewinnung in Deutschland“ von der Technischen Universität München in Zusammenarbeit mit der DHI WASY GmbH im Zeitraum von September 2017 bis Juli 2018 erstellt. Die vorliegende Studie erlaubt erstmalig eine deutschlandweite quantitative Einschätzung der Klarwasseranteile in Oberflächengewässern, deren zeitliches Auftreten bei unterschiedlichen Abflussbedingungen sowie die Bedeutung der Klarwasseranteile für die Trinkwassergewinnung über Uferfiltration und künstliche Grundwasseranreicherung.

2 Methodik

2.1 Abschätzung des dynamischen Abflussverhaltens im Zuge des Klimawandels

Da das Abflussregime von Fließgewässern saisonalen Dynamiken unterliegt und sich diese im Zuge des Klimawandels ändern können, wurden im Rahmen dieser Studie Langzeitreihen des mittleren Abflusses (MQ) und mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ) für die bedeutendsten Flusseinzugsgebiete in Deutschland betrachtet. Dafür wurden Pegel- und Abflussdaten von Datenbanken der Bundesanstalt für Gewässerkunde, der Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbücher sowie der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes berücksichtigt. Zur Darstellung der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Abflussverhältnisse wurden MQ- und MNQ-Bedingungen in Relation zu Abflüssen in besonders trockenen und feuchten Jahren gesetzt. Für die wichtigsten deutschen Flusseinzugsgebiete mit Relevanz für die Trinkwassergewinnung zeigt sich, dass Abflussverhältnisse deutlich unter MQ Bedingungen häufig über viele Monate dominieren.

2.2 Erfassung von Klarwassereinleitungen zur Berechnung der relativen Klarwasseranteile

Für das deutsche Gewässernetz wurden flächendeckend Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen über deren durchschnittliche Abwasservolumenströme bestimmt und die relativen Klarwasseranteile in den Oberflächengewässern für MQ und MNQ Bedingungen berechnet. Dafür wurden Daten der Europäischen Umweltagentur (European Environmental Agency, EEA) genutzt, die auf der Berichterstattung der EU-Mitgliedstaaten zur „Europäischen Kommunalabwasser-Richtlinie“ (91/271/EWG) (Rat der Europäischen Union 1991) basieren. Seit Dezember 2017 stellt auch das Umweltbundesamt parallel zur EEA nationale Daten über berichtspflichtige kommunale Kläranlagen (>2.000 EW) im Rahmen der Richtlinie 91/271/EWG auf ihrem Internet-Portal ‚Thru.de‘ zur Verfügung. Diese Datenbanken erfassen keine Kläranlagen kleiner 2.000 Einwohner, die jedoch insbesondere in Bundesländern mit einer ausgeprägten kleinskaligen Struktur der Abwasserbehandlung relevant sind (wie in den Freistaaten Bayern, Thüringen oder Sachsen). Daher wurden, sofern verfügbar, ergänzend Quellen genutzt, die Angaben zu Anlagen kleiner 2.000 EW beinhalten. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Studie Einleitungen aus 7.550 kommunalen Kläranlagen in Deutschland berücksichtigt.

Die Klarwassereinleitungen sowie die berechneten relativen Anteile bei unterschiedlichen Abflussbedingungen wurden in einem geografischen Informationssystem (GIS) und in Karten für ausgewählte Flusseinzugsgebiete visuell dargestellt. Eine Validierung der berechneten Klarwasseranteile erfolgte an verschiedenen Flussabschnitten mit Hilfe von Messdaten für konservative Spurenstoffe (wie z.B. Carbamazepin, Oxipurinol, Methylbenzotriazol).

2.3 Relevante Standorte der Trinkwassergewinnung

Für die Identifikation der Wasserwerke, die Oberflächengewässer direkt oder indirekt mittels Grundwasseranreicherung bzw. Uferfiltration zur Trinkwassergewinnung nutzen, existieren in Deutschland keine freizugänglichen und einheitlichen Datenbanken. Daher wurden für die Bundesländer, in denen Uferfiltration oder künstliche Grundwasseranreicherung praktiziert wird, Standorte der Trinkwassergewinnung über ausgewiesene Wasserschutzgebietszonen ermittelt. Im Rahmen dieser Studie wurde die Ausweisung der Zonen I zur Identifizierung von Wassergewinnungsanlagen via Grundwasseranreicherung bzw. Uferfiltration verwendet, da sich die Brunnen für die Trinkwassergewinnung nach den gesetzlichen Vorschriften in dieser Zone befinden müssen.

Die Praxis der Uferfiltration oder künstlicher Grundwasseranreicherung für die Trinkwassergewinnung ist von einer Vielzahl von standortspezifischen Faktoren abhängig (wie die Qualität des Oberflächengewässers; hydrogeologische Aspekte der Filterstrecken; relativer Einfluss des landseitigen Grundwassers). Ebenso sind hydrobiochemische Faktoren ausschlaggebend (wie hydraulische Durchlässigkeit, vorherrschende Redoxbedingungen oder die Leistungsfähigkeit der mikrobiologischen Gemeinschaft im Untergrund). Daher ist eine generelle Aussage über ein mögliches Gefährdungspotential bei erhöhten Klarwasseranteilen im Oberflächengewässer und deren Auswirkung auf die Trinkwassergewinnung nicht möglich und muss immer standortabhängig erfolgen. Diese standortabhängige Betrachtung wurde für ausgewählte Fallbeispiele an Fließgewässern mit erhöhten Klarwasseranteilen durchgeführt und durch verfügbare Messdaten konservativer, abwasserbürtiger Stoffe validiert. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen und einer qualitativen Risikoabschätzung werden in der Studie Trinkwasserversorgern und Umweltbehörden Handlungsoptionen für einen vorsorgenden Grundwasser- und Trinkwasserschutz vorgeschlagen.

3 Dynamik der Klarwasseranteile in Fließgewässern

3.1 Relevanz erhöhter Klarwasseranteile im Fließgewässer

Das Auftreten erhöhter Klarwasseranteile in einem Oberflächengewässer, welches via Uferfiltration oder künstlicher Grundwasseranreicherung zur Trinkwassergewinnung beiträgt, stellt per se kein Risiko für die öffentliche Gesundheit dar. Maßgeblich für die Bewertung eines potenziell erhöhten Risikos bei einer naturnahen Trinkwassergewinnung sind die oben genannten standortspezifischen hydrobiogeologischen Bedingungen der Bodenpassage. Diese bestimmen den Rückhalt chemischer und mikrobiologischer Schadstoffe. Entscheidend für die Effizienz einer Bodenpassage sind die mittlere Verweilzeit im Untergrund sowie der Anteil landseitigen Grundwassers und der sich daraus ergebende relative Uferfiltratanteil. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Leistungsfähigkeit der Bodenpassage ist dabei auch die Qualität des Oberflächengewässers. Diese Faktoren beeinflussen nachhaltig die Qualität des angereicherten Grundwassers bzw. Rohwassers für die Trinkwassergewinnung.

Wenn die sogenannte 50-Tage-Linie, die maßgebend für die Auslegung von Grundwasserentnahmebrunnen ist, auch unter wechselnden hydraulischen Abflussbedingungen sicher eingehalten werden kann, ist eine nachteilige Beeinträchtigung der mikrobiologischen Qualität des durch Uferfiltration oder künstliche Grundwasseranreicherungen gewonnenen Rohwassers nicht zu befürchten. Sorge besteht allenfalls an Standorten, an denen eine Uferfiltration ohne genaue Kenntnisse der lokalen hydrogeologischen Bedingungen praktiziert wird und aus Unkenntnis als ‚Trinkwassergewinnung aus Grundwasser‘ angesehen wird.

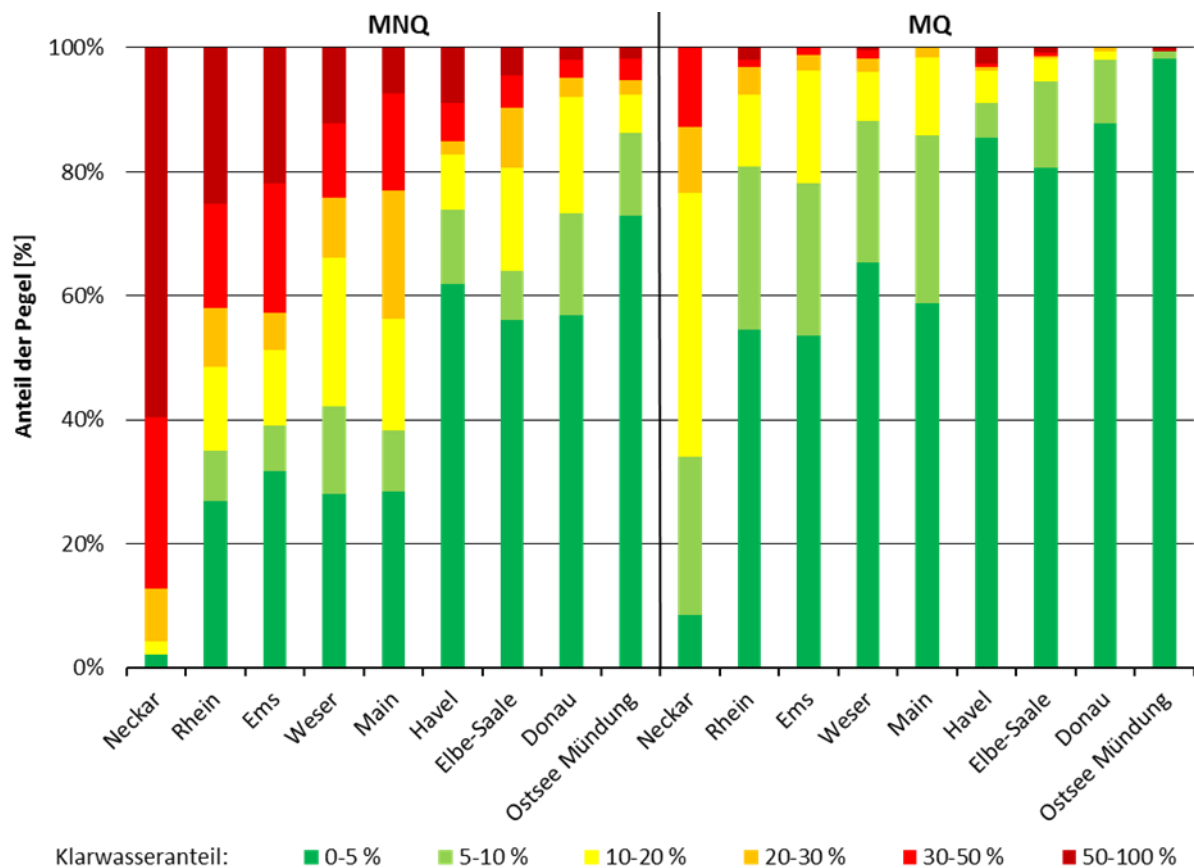
Mit dem Klarwasser können auch chemische Stoffe mit gesundheitlicher Relevanz (z.B. Pharmaka, Haushalts- und Industriechemikalien) in Oberflächengewässer gelangen. Weitere mögliche Quellen für Schadstoffeinträge sind landwirtschaftlichen Aktivitäten (z.B. Pestizide) oder Mischwasserüberläufe. Für chemische Stoffe gelten die Anforderungen der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) sowie die von der Trinkwasserkommission und vom Umweltbundesamt vorgeschlagenen Leitwerte (LWTW) und die gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) für bisher nicht geregelte Verbindungen (wie organische Spurenstoffe oder Metabolite von Pflanzenschutzmitteln). Dabei sei angemerkt, dass das GOW Konzept keine rechtliche Bindung hat und die vom UBA ausgewiesenen Werte deutlich niedriger liegen als toxikologisch abgeleitete Werte mit entsprechend soliderer Datengrundlage wie Trinkwassergrenzwerte oder LWTW. Daher besteht bei Überschreitungen von GOW kein Anlass zu gesundheitlicher Besorgnis. Bei einer Überschreitung dieser Vorsorgewerte empfiehlt das Umweltbundesamtes aus trinkwasserhygienischen Gründen jedoch Maßnahmen zu ergreifen, die wirkungsvoll zu einer Unterschreitung der GOW beitragen, um eine potenzielle Gefährdung langfristig sicher auszuschließen.

3.2 Klarwasseranteile in Fließgewässern bei mittleren und niedrigen Abflussbedingungen

Die Ergebnisse dieser Studie lassen erstmalig eine flächendeckende Abschätzung der relativen Klarwasseranteile in deutschen Fließgewässern zu. Nach den Erkenntnissen dieser Studie liegen die Klarwasseranteile bei mittleren Abflussverhältnissen deutschlandweit in den meisten Oberläufen im Bereich von 0-5 % (Abbildung Z-1). Klarwasseranteile von > 5-10 % sowie > 10-20 % dominieren in größeren Teilflusseinzugsgebieten in oder unterhalb von Ballungsräumen (z.B. Havel, Neckar, Niederrhein, Maas, Mittelrhein) sowie in abflussschwachen Gewässern (z.B. Main, Ems, Neckar). Bei Niedrigwasserbedingungen verschiebt sich dieses Bild deutlich. Bei MNQ-Ab-

flussbedingungen dominieren Klarwasseranteile von > 10-20 % deutschlandweit in einer Vielzahl von Gewässern. In etlichen Teileinzugsgebieten liegen die Klarwasseranteile über weite Strecken im Bereich von > 20-30 % (z.B. Elbe/Saale, Weser, Mittelrhein). Abschnitte des Mains, der Ems, der Weser und der Havel sowie gerade die rechtsseitigen Zuflüsse des Rheins weisen Klarwasseranteile bei MNQ-Bedingungen von > 30-50 % auf. Teileinzugsgebiete des Neckars, der Ostsee, des Nieder- und Mittelrheins sowie der Ems weisen bei Niedrigwasserbedingungen Klarwasseranteile von über 50 % auf.

Abbildung Z- 1: Verteilung der Klarwasseranteile ausgewählter Flusseinzugsgebiete unter MNQ- und MQ-Abflussbedingungen unter Berücksichtigung aller Pegel (n=2344)



Quelle: Darstellung der TU München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

4 Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung

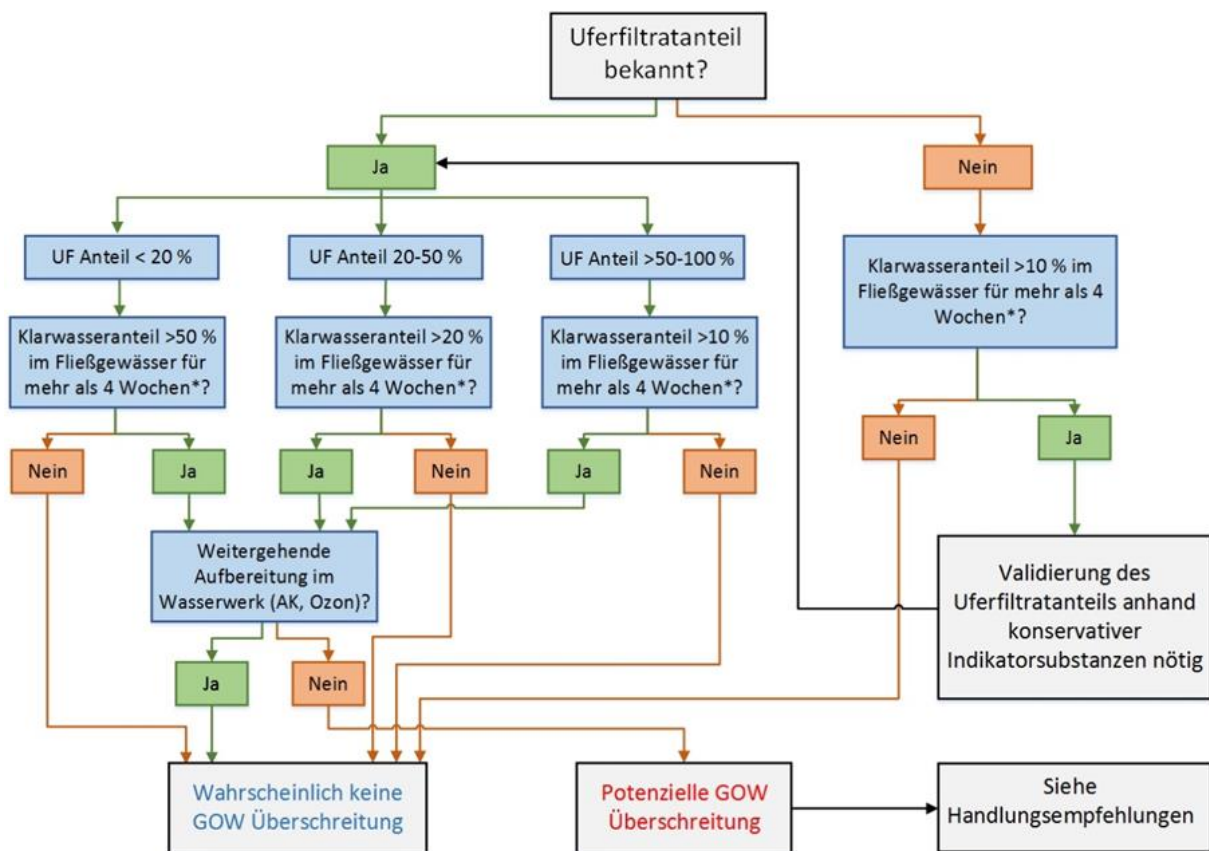
4.1 Entscheidungsdiagramm zur Einordnung potenzieller GOW Überschreitungen für chemische Stoffe

Für die Einordnung der Relevanz erhöhter Klarwasseranteile für die Trinkwassergewinnung sind zum einen der relative Klarwasseranteil im Oberflächengewässer und zum anderen der relative Anteil des Uferfiltrats im Rohwasser maßgebend. Im Rahmen dieser Studie wurde ein Entscheidungsdiagramm für die Einschätzung potenzieller Überschreitungen von gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) für chemische Stoffe entwickelt (Abbildung Z-2). Dabei ist zu beachten, dass ein GOW nicht den gleichen Stellenwert wie ein Grenzwert hat, sondern als Vorsorgewert fungiert. Dieser vorsorgende Charakter liegt dem Entscheidungsdiagramm zugrunde. Für die Überschreitung dieses Vorsorgewertes empfiehlt das Umweltbundesamt die Beachtung von

Maßnahmenhöchstwerten, die den Faktor 10 über dem GOW nicht überschreiten sollen. Dieser Logik folgend wurde in dieser Studie eine 3-fache Überschreitung eines GOW als relevanter Schwellenwert festgelegt.

Dieses Konzept wurde anhand von vorliegenden Ergebnissen aus Messkampagnen an verschiedenen Uferfiltrationsstandorten und bei ausgewählten Fallbeispielen auch durch verfügbare Messdaten konservativer, abwasserbürtiger Stoffe validiert. Als geeignete Indikatorsubstanzen für diese Validierung erwiesen sich die Verbindungen Carbamazepin, Oxipurinol, 4-Methylbenzotriazol, Primidon, Sucralose und EDTA.

Abbildung Z- 2: Entscheidungshilfe für die Einordnung der Relevanz erhöhter Klarwasseranteile bei der Uferfiltration und Wahrscheinlichkeit einer potenziellen GOW Überschreitung im Rohwasser⁺.



Quelle: Darstellung der TU München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

⁺ In dieser Studie wurde eine 3-fache Überschreitung eines GOW als relevanter Schwellenwert festgelegt. Eine potenzielle GOW Überschreitung auf der Grundlage dieser Entscheidungshilfe wird anhand des Metaboliten Oxipurinol (GOW von 0,3 µg/l) in dem Abschlussbericht der Studie erläutert. Nach der getroffenen Abschätzung würde bereits bei einem Uferfiltratanteil von 30 % und einem Klarwasseranteil von 10 % der GOW von 0,3 µg/l erreicht. Bei 50 % Uferfiltrat im Förderbrunnen würde bereits ein Klarwasseranteil von mehr als 20 % im Gewässer in einer 3-fachen Überschreitung des GOW resultieren, was weitere Maßnahmen nach sich ziehen könnte.

* Es wird angenommen, dass bei einem Zeitraum von 4 Wochen erhöhte Konzentrationen konservativer Spurenstoffe aus dem Fließgewässer trotz Dispersion und Verdünnung mit landseitigem Grundwasser in der Brunnenfassung nachweisbar sind.

4.2 Relative Klarwasser- und Uferfiltratanteile für die Überschreitung von GOW für chemische Stoffe

Eine Einschätzung der Relevanz erhöhter Klarwasseranteile ist grundsätzlich standortspezifisch. Allerdings dominieren wie oben ausgeführt bei Niedrigwasserabflussregimen in vielen Oberflächengewässern Klarwasseranteile von > 10-20 %. In etlichen Teileinzugsgebieten über weite Strecken auch Klarwasseranteile von > 20-30 % (z.B. Elbe/Saale, Weser, Mittelrhein) sowie von > 30-50 % (z.B. Abschnitte des Mains, der Ems, der Weser und der Havel sowie die rechtsseitigen Zuflüsse des Rheins) ermittelt.

Sowohl die in dieser Studie angestellten Berechnungen als auch die Validierung der Ergebnisse mit Spurenstoffdaten aus Messkampagnen zeigen, dass es bei Standorten mit Uferfiltratanteilen unter 20 %, aber Klarwasseranteilen im Oberflächengewässer von mehr als 50 %, ebenso zu einer Überschreitung eines GOW von 0,3 µg/l kommen kann, wie bei Uferfiltratanteilen von 50-100 % und Klarwasseranteilen um die 10 % im Fließgewässer.

Entscheidend ist dabei auch der Zeitraum, in dem erhöhte Klarwasseranteile im Gewässer auftreten. Es wird davon ausgegangen, dass sich bei einem Zustand erhöhter Klarwasseranteile von länger als 4 Wochen (trotz Dispersion und Verdünnung mit landseitigem Grundwasser im Untergrund) erhöhte Konzentrationen konservativer organischer Spurenstoffe in den Förderbrunnen einstellen, insbesondere bei Fließzeiten von deutlich unter 50 Tagen.

Wenn basierend auf den berechneten Klarwasseranteilen in dieser Studie und bekannten oder vermuteten Uferfiltratanteilen das Risiko einer GOW Überschreitungen erhöht ist und die Wasserwerke keine weitergehenden physikalischen oder chemischen Wasseraufbereitungsverfahren im Wasserwerk anwenden, sollte das entsprechende Wasserversorgungsunternehmen oder die zuständige Landesbehörde weitere Untersuchungen vor Ort in Erwägung ziehen. Diese sind im Folgenden näher ausgeführt.

5 Handlungsempfehlungen bei potenziellen GOW Überschreitungen

Besteht als Ergebnis einer ersten Einschätzung die Vermutung einer potenziellen GOW Überschreitung für chemische Stoffe, sollten folgende Handlungsempfehlungen berücksichtigt werden:

- ▶ Der **berechnete Klarwasseranteil im Fließgewässer** (GIS-Modell) sollte durch gezielte Messkampagnen ausgewählter Indikatorsubstanzen (wie Carbamazepin, Oxipurinol, 4-Methylbenzotriazol, Primidon, Sucralose, EDTA) bestätigt werden. Die Messungen dafür sind bei unterschiedlichen Abflussbedingungen (MQ, MNQ) mehrmals zu wiederholen.
- ▶ Für den betroffenen Standort sollten zudem die **Uferfiltratanteile** durch Messkampagnen konservativer Klarwassertracer (s. empfohlene Indikatorsubstanzen) im Uferfiltrat bei MQ- und MNQ-Abflussbedingungen validiert werden.
- ▶ Falls für den Standort nicht schon vorhanden, sollten Uferfiltratanteile durch **hydrogeologische Untersuchungen und eine standortspezifische Modellierung** validiert werden. Eine Modellierung kann bei Berücksichtigung standortspezifischer Daten zu den Randbedingungen einer Uferfiltration auch eine verlässlichere Aussage zu den Fließzeiten im Grundwasser

ermöglichen. Ein standortspezifisches und validiertes Grundwassermodell kann zudem abzuschätzen, ob die 50-Tage-Linie auch unter wechselnden hydraulischen Abflussbedingungen sicher eingehalten wird.

- ▶ Für den betroffenen Standort sollte eine **Analyse des Einzugsgebietes** im Oberstrom bezüglich existierender Einleiter erfolgen. Diese sollte die eingeleiteten Mengen und, wo vorhanden, auch die Qualität der Einleitungen kommunaler Kläranlagen, Misch- und Regenwasserentlastungen, industrieller Direkteinleiter und landwirtschaftlicher Entwässerungsbauwerke einschließen. Das Ergebnis dieser Analyse kann andeuten, wo sich potenzielle Einleitungen, die die Trinkwassergewinnung nachteilig beeinträchtigen, vermeiden oder reduzieren ließen.
- ▶ Falls erhöhte Klarwasseranteile im Rohwasser bestätigt werden und sich diese nicht kurzfristig reduzieren lassen, sollten Maßnahmen am Ort der Einleitung sowie **alternative Aufbereitungsstrategien bzw. Gewinnungsoptionen** für die Trinkwassergewinnung sondiert werden.

Der Fokus dieses Vorhabens lag auf der Einschätzung kommunaler Abwassereinleitungen in Oberflächengewässer. Weiterer Untersuchungsbedarf besteht, um die Relevanz weiterer Einleitungen in Gewässer wie Regen- oder Mischwasserentlastungen, industrielle Direkteinleiter sowie Drainagen aus der Landwirtschaft einzuschätzen.

6 Fazit

Die Betrachtung konkreter Fallbeispiele im Rahmen dieser Studie unterstreicht die Notwendigkeit eines umfassenden Verständnisses der Dynamik des gesamten Einzugsgebietes bei einer Wassergewinnung aus Uferfiltration oder künstlicher Grundwasseranreicherung.

Dies beinhaltet die Klarwasseranteile im Oberstrom eines Oberflächengewässers sowie die lokalen hydrogeologischen Bedingungen einer Uferfiltration bzw. künstlichen Grundwasseranreicherung. Bisher haben viele Landesbehörden und Wasserversorgungsunternehmen diese einzugsgebietsbezogene Datengrundlage noch nicht erarbeitet und keine entsprechende Risikoabschätzung vorgenommen. Dort, wo hohe Klarwasseranteile auftreten und die Uferfiltration einen substantiellen Anteil am gewonnenen Rohwasser hat, besteht dahingehend Handlungsbedarf.

Die Ergebnisse dieser Studie erlauben eine erste Abschätzung der lokalen Klarwasseranteile sowie deren Dauer für den Großteil der Fließgewässer in Deutschland unter MQ und MNQ Abflussbedingungen. Landesbehörden sollten darauf aufbauend Untersuchungen anstellen, um die Situation einer potenziell beeinträchtigten naturnahen Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat und künstlicher Grundwasseranreicherung besser abzuschätzen. Im Zuge des Klimawandels werden Klarwasseranteile in den Oberflächengewässern zunehmen und somit qualitativ sowohl für den ökologischen und chemischen Zustand des Gewässers als auch für die Trinkwasserversorgung eine noch größere Rolle spielen.