

Abb. 1: Einfriedung der Schutzzone I einer Wasserfassungsanlage mit öffentlich zugänglichem Weg (Zone II)

Abgrenzungskriterien für die Schutzzone I (Fassungsbereich)

Quelle: Treskatis

Mikrobiologische Belastungen des Rohwassers stehen bei der Trinkwassergewinnung in Deutschland nicht regelmäßig auf der Tagesordnung, sodass das bisherige Konzept der Abgrenzung der engeren Schutzzone II als erfolgreich beurteilt werden kann. In Ausnahmefällen, vor allem in hoch durchlässigen Grundwasserleitern und nach besonderen hydrologischen Ereignissen, treten jedoch lokal und fassungsnah, also in der Schutzzone I, mikrobiologische Rohwasserbelastungen in Brunnen und Quellen auf, die Anlass für eine Ursachenforschung sein müssen.

von: Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis (Bieske und Partner GmbH)

Der Fassungsbereich (Zone I) grenzt unmittelbar an die engere Schutzzone (Zone II). Die Festsetzung der Schutzzonengrenzen erfolgt nach DVGW-Arbeitsblatt W 101 [1] grundsätzlich nach hydrogeologischen und hydraulischen Kriterien. Während für die engere Schutzzone ein hydrogeologisch begründetes Fließzeitkriterium (mindestens 50 Tage Fließzeit bis zur Fassung bzw. nicht weniger als 100 m Fließweg) herangezogen wird, wird die Ausdehnung der Zone I rein geometrisch allseitig mindestens 10 m um Brunnen und mindestens 20 m oberstrom einer Quellfassung definiert [1].

In Zone I sind nur Handlungen erlaubt, die der Sicherung der Wassergewinnung dienen, Unbefugten ist

das Betreten verboten. In Zone II hingegen werden vor allem mikrobiologische Gefährdungspotenziale, wie z. B. Beweidung, Abwasserversickerungen und Baumaßnahmen, als nicht tragbar eingestuft und verboten. Im Gegensatz zum Fassungsbereich ist die Zone II meist bis zur Einfriedung der Fassung frei zugänglich (Abb. 1). Die Einfriedung ist vielfach nicht identisch mit der festgesetzten Zone I, da sie sich an den örtlichen Grundstückspartellen und Eigentumsverhältnissen orientiert. Dadurch kann einerseits eine großzügigere Einfriedung, andererseits aber auch eine „zu klein bemessene“ Abzäunung des Fassungsbereichs in Relation zur festgesetzten Zone I vorkommen.

Die damit verbundene Problematik fassungsnaher Keimeinträge oder die Folgen von Zugänglichkeiten der Flächen nahe der Wassergewinnungsanlagen durch die Öffentlichkeit sind Anlass, konkrete hydrogeologisch-hydraulische Abgrenzungskriterien für den Fassungsbereich (Schutzzone I) zu diskutieren.

Hydrogeologisch-hydraulische Randbedingungen

Der Hauptwasserumsatz erfolgt in den Grundwasserleitern, die in Deutschland zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, in den oberen 10 bis 20 m unter Gelände. In dieser Zone beeinflussen Fördereffekte die vertikale Verlagerung von Wasservolumina, Partikeln und

Stoffen in die Fassung. Der Absenkungstrichter von Brunnen füllt sich in ungespannten Grundwasserleitern auf, entleert sich in Funktion der Untergrounddurchlässigkeit, der Förderzeit und des Fördervolumenstroms und sorgt für eine Beschleunigung oder Retardation von partikulären und chemischen Substanzen. Dieser hydraulische Prozess wirkt sowohl im Fassungsgebiet (hier mit dem größten Gradienten!) als auch in der engeren Schutzzone II.

Die hydraulischen Eigenschaften, die Vernetzung der wasserwegsameren Hohlräume und deren räumliche Verteilung verändern sich mit zunehmender Tiefe. Vor allem in Festgesteinsgrundwasserleitern besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen der hydraulischen Durchlässigkeit und Kluftvernetzung mit der Tiefe. Die vertikale Wasserdurchlässigkeit kann in einem Festgesteinsareal in den ersten 100 m mit der Tiefe um mehr als fünf Zehnerpotenzen abnehmen [2]. Die Wiederergänzung und der Stofftransport von der ungesättigten Zone in den darunter anstehenden Grundwasserraum werden bei starken Durchlässigkeitskontrasten zwischen den geologischen Schichten fast ausschließlich durch die räumliche Vertei-

lung der gut wasserwegsameren, präferentiellen Fließwege und den Grad der Wassersättigung dieser Hohlräume gesteuert [3]. Der Wasseraustausch zwischen der ungesättigten und gesättigten Zone ist somit direkt abhängig vom Vorhandensein vertikal wirksamer Durchlässigkeitskontraste und einem ausreichenden, transportwirksamen Wasservolumen pro Zeiteinheit.

Aus diesem Kontext heraus wird das für die meisten mikrobiologischen Befundlagen im Rohwasser erforderliche Zusammentreffen hoher Quellstärken, großer Wasservolumina pro Zeiteinheit und rascher Verlagerungsgeschwindigkeiten von der Erdoberfläche in die gesättigte Zone bzw. in die Fassungsanlage erklärbar.

Hohe Quellstärken für Keime, deren Nährstoffe oder chemische Stoffe werden in der Nähe von Fassungsanlagen nicht nur von den unmittelbaren Umfeldnutzungen, wie z. B. der Landwirtschaft oder von fassungsnahe Verkehrswegen bzw. Siedlungen, generiert. Partikuläre Einträge, wie beispielsweise Mikroorganismen aus fassungsfernen Bereichen, unterliegen in den meisten Aquiferen einer Elimi-

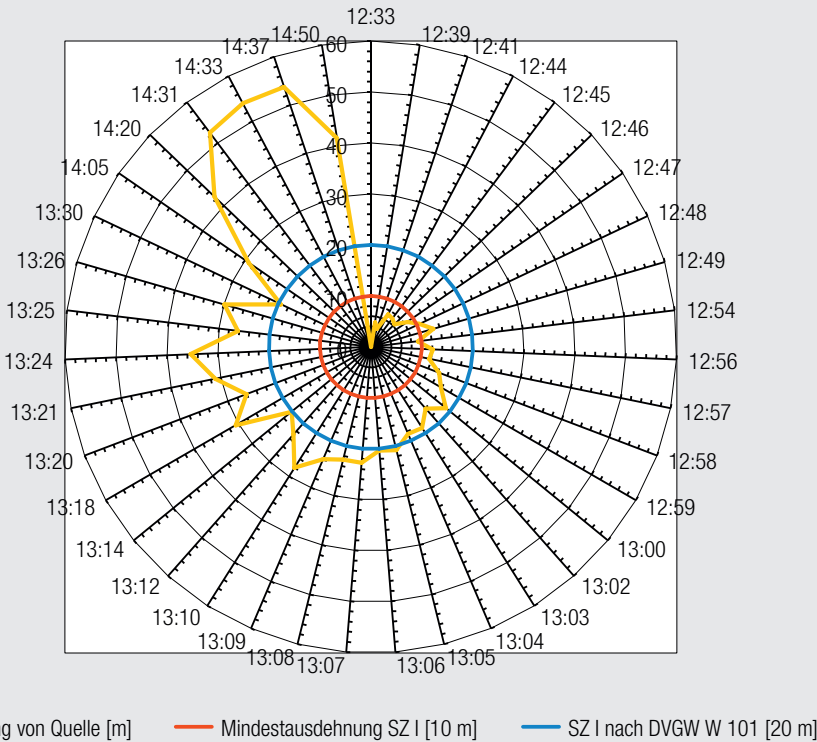
nierung und Retardation. Der Freizeitdruck auf die unmittelbar an Wassergewinnungsanlagen angrenzenden Flächen und illegale Abfallablagerungen am Zaun zur Zone I führen bei ungünstigen geologischen Randbedingungen zur Bildung ausreichender und mit dem Sickerwasser verlagerbaren „Quellen“ von mikrobiologisch relevanten Verunreinigungen (z. B. Hundekot) (Tab. 1). Den meisten Besuchern von Freizeit- und Grünflächen um Wassergewinnungsanlagen sind diese Zusammenhänge nicht bewusst. Erfahrungen zeigen, dass die Hemmschwelle mit jedem Stück Abfall weiter sinkt, sodass die „Quellstärke“ dieser „Kleinvolumina“ in Fassungsnahe immer weiter zunehmen kann.

Tracergasuntersuchungen und Markierungsversuche an Brunnen und Quellfassungen bestätigten, dass die meisten im Rohwasser entdeckten mikrobiologischen Einträge in Folge von hydrologischen Ereignissen über fassungsnahe, präferenzielle Wegsamkeiten erfolgten [4]. Diese haben im Fassungsgebiet sowohl geologische als auch anthropogene Ursachen und werden bisher bei der Abgrenzung der Zone I nicht explizit berücksichtigt. Dazu gehören beispiels-

Tabelle 1: Verrottungszeiten typischer Abfälle von Freizeitflächen. Nach Unterlagen des OeAV [9]

Gegenstand/Abfalltyp	Verrottungszeit	Art der Stoff- und Partikelfreisetzung
Bananen- und Orangenschalen	1 bis 3 Jahre	Keime
Papiertaschentuch	1 bis 5 Jahre	Keime
Zigarettenstummel	2 bis 7 Jahre	Schwermetalle und Chemikalien
Kaugummi	5 Jahre	Keime
Plastikflasche	100 bis 5.000 Jahre	meist inert, mikrobiologisch i. d. R. nicht verwertbar
Plastiktüte	120 bis 1.000 Jahre	meist inert, mikrobiologisch i. d. R. nicht verwertbar (Ausnahme: kompostierbare Tüten)
Aluminiumpapier	200 bis 400 Jahre	bei saurer Deposition: Freisetzung von Schwermetallen
Alu- oder Weißblechdose	400 bis 600 Jahre	bei saurer Deposition: Freisetzung von Schwermetallen
Babywindel, Damenbinde	500 bis 800 Jahre	Keime
Glasflasche	>> 4.000 Jahre	inert, mikrobiologisch nicht verwertbar
Styropor	>> 6.000 Jahre	inert, mikrobiologisch nicht verwertbar
Batterien, Autobatterie	100 bis 1.000 Jahre	Schwermetalle und Chemikalien
Kot	je nach Höhenlage und Klima mehrere Wochen (gemäßigtes Klima) bis Jahrzehnte und Jahrhunderte (Hochgebirge)	Keime (kurzfristig hohe Quellstärke, je nach Überlebensrate der Mikroorganismen; jedoch langfristig erhöhtes Nährstoffangebot für Grundwasserkeime möglich)

Quelle: Nach Unterlagen des OeAV [9]



Quelle: Treskatis

Abb. 2: Zeitlich-räumliches Verteilungsmuster der Tracergasaustritte um eine Quelfassung. Die Austritte > 10 m und > 20 m weisen nach, dass es in diesem Fall präferenzielle Fließwege auch außerhalb der beiden geometrischen Abstandskriterien für die Zone I gibt.

weise flachgründige Grundwasserüberdeckungen, hoch durchlässige Böden und Verwitterungszonen über dem Ausgangsgestein, aber auch tieferreichende

Wurzelkanäle von Bäumen und Gehölzen und die heterogen durchlässigen Verfüllungen von Baugruben für die unterirdischen Infrastrukturen auf ei-

nem Fassungs Gelände, die bei ausreichenden Wasservolumina transportwirksam werden [5–8]. Hinzu kommen die genannten Freizeitnutzungen und der zunehmende öffentliche „Druck“ auf Grünflächen, die in den urbanen und ländlichen Ballungsräumen an die Wasserschutzgebiete grenzen oder zu den fassungsnahen Schutzzonen gehören.

Bei vielen Brunnen und Quelfassungen konnte mithilfe der Tracergas-methode und mit Markierungsversuchen gezeigt werden, dass die aktuelle Abgrenzung der Zone I und die Einfriedung des Fassungs-bereichs nicht ausreichen, um bei den standörtlichen Vulnerabilitäten den vorbeugenden Grundwasserschutz zu gewährleisten (Abb. 2).

Potenzielle Eintrags-szenarien und Abgrenzungskriterien

Unter der Annahme eines oberflächen-nah anstehenden, engmaschigen Hohlraum-systems in der ungesättigten Zone mit einer vertikalen, gut wasser-durchlässigen Verbindung zum Grund-wasserraum und einem ausreichenden

Tabelle 2: Idealierte Standortrandbedingungen im Vergleich zu den realen hydrogeologisch-hydraulischen Bedingungen im unmittelbaren Fassungs-bereich einer Wassergewinnungs-anlage

Idealierte Randbedingung des bisherigen Abgrenzungskonzeptes für den Fassungs-bereich

Die geologischen Schichten um eine Brunnenbohrung oder Quelfassung lagern +/- horizontal, sind in etwa gleich mächtig und durchlässig.

Punktuell erhobene hydrogeologisch-hydraulische Kenngrößen der Schichten sind in der Fläche und mit der Tiefe inter- und extrapolierbar.

Die Bildung und Verlagerung von größeren Wasservolumina aus periodischen Grundwasserlinsen und schwebendem Grundwasser in der ungesättigten Zone (z. B. an geologischen und anthropogenen Schichtgrenzen mit Durchlässigkeitskontrasten, wie z. B. Hangrutschungen, Wurzelkanälen, Tierbauten, Rohrgräben, Bohrlochrändern etc.) werden nicht berücksichtigt.

Einschätzung der realen Situation (Grundlage für eine Neubetrachtung der Abgrenzungskriterien)

Die Topografie der Schichten unter GOK ist vor allem in der Verwitterungs- und Auflockerungszone bzgl. Lagerung und Mächtigkeit heterogen und bzgl. der Durchlässigkeit meist stark anisotrop. Gesteinsrippen, sedimentäre oder tektonisch-strukturelle Depressionen und Schluckhorizonte in den Schichten sammeln und leiten das Sickerwasser über ein Netzwerk von Hohlräumen zur Fassung (z. B. periodische Bildung von Grundwasserlinsen und schwebendem Grundwasser).

Im Fassungs-umfeld treffen geologisch und anthropogen bedingte Anisotropien und Heterogenitäten zusammen. Zusätzliche Einflüsse der Vegetation, der morphologischen Exposition und der Geländegestaltung werden durch punktuelle Kenngrößen nur unzureichend (meist zufällig) erfassbar.

Die laterale und vertikale Verlagerung periodisch sich sammelnder Grundwasservolumina in der ungesättigten Zone ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die rasche Verlagerung von Stoffen und Partikeln in den Grundwasserraum [3].

Quelle: Treskatis

Tabelle 3: Kenngrößen und Parameter zur hydrogeologisch-hydraulisch begründeten Abgrenzung des Fassungsbereichs

Kategorie	Parameter/Kenngröße mit Bestimmungsmethode	Zielstellung
hydrogeologisch-hydraulische Kenngrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Kornverteilung der Grundwasserüberdeckung (Siebanalyse) • Durchlässigkeitsbeiwert (Siebanalyse oder Infiltrationsversuche) • Wassergehalt/Porenvolumen (Bohrkerne) • vertikale Verlagerungsgeschwindigkeit (Versickerungs- und Markierungsversuche) • Möglichkeit der geogenen Bildung gesteinsabhängiger präferenzierter Fließwege: Klüfte, Karststrukturen, Dolinen, Rutschzonen, Bergerzreibungen etc. 	Ermittlung der Variation der Durchlässigkeitskontraste innerhalb des Fassungsbereichs; Beurteilungsgrundlage und Abschätzung des Risikopotenzials zur Bildung von Grundwasserlinsen, die nach Überflutungen oder Starkregen versickerungswirksam werden können
fassungstechnische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> • Abdichtungsart im Übergang von der gesättigten Zone bis zur GOK (Geophysik, Tracergasversuche) • Gestaltung und Abdichtung des Abschlussbauwerkes • Einbindung des Brunnenkopfes in das Bauwerk • Lage der Quelfassung in Relation zum Quellsammelschacht • Lage und Verfüllung von Rohrgräben und anderen verfüllten Baugruben, rückgebauten Grundwassermessstellen, Brunnen etc. 	Überprüfung der Dichtheit der Bauwerke, ihrer Anbindung an den geologischen Untergrund und Abschätzung von möglichen technischen Schwachstellen mit Verbindung zur GOK und zum Grundwasserraum
geomorphologische und geländebedingte Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> • Zufahrtswege, Wanderwege, Holzrückewege mit und ohne Begleitgräben • Morphologische Randbedingungen, die eine Wasseransammlung im Untergrund und an der GOK fördern (Gräben, Senken, Hangzonen, Rutschungen, Hakenschlagen) • Gehölze und Bäume mit Wurzeln im Fassungsraum • Tierbauten (bevorzugt an den Abschlussbauwerken oder Quellschächten und in der Überdeckung der Fassungsstränge von Quellen) • Wildwechsel, Suhlen, Fütterungs- und Kirrungstellen • Lage der Wasserfassung in der Nähe von Siedlungen mit entsprechendem Freizeitdruck und Nutzung zum „Gassi gehen“ 	Abschätzung der Überflutungsgefährdung und der sekundären Bildung von vertikalen Wegsamkeiten und Risikozonen mit Verbindung zum Grundwasserraum; Überprüfung der möglichen Einbeziehung von morphologischen und anthropogenen Strukturen in den Fassungsraum, um direkte Einträge in solchen Risikozonen zu vermeiden

Quelle: Treskatis

Wasservolumenstrom ergeben sich folgende potenziell fassungsnahe Eintragszenarien für Stoffe und Partikel auf der Rohwasserseite:

- spitzgipfliger Verlauf einer mikrobiologischen Nachweiskurve: rascher Eintrag mit großer Quellstärke; bei hoher Untergrunddurchlässigkeit rasches Abklingen; diese Eintragsart wird oft in Schotter- und Karstgrundwasserleitern nach Überflutungen und Starkregen festgestellt. Je nach Frequenz der Probenahmen auf der Rohwasserseite bleiben diese Einträge meist unerkannt.
- flachgipfliger Verlauf mit und ohne Trend („tailing“): allmählicher, länger andauernder Eintrag mit periodisch unregelmäßig steigender, abfallender oder gleichbleibender Quellstärke sowie mit nur langsamen Abklingen; diese Eintragsart wird in sandigen oder klüftigen Grundwasserleitern mit vertikalen

präferenzellen Fließwegen und einer retardierenden Porenmatrix angetroffen. Diese Einträge werden bei den stichpunktartigen Beprobungen am häufigsten erkannt.

Das bisherige geometrische Abgrenzungskriterium für den Fassungsbereich geht von idealisierten Randbedingungen aus, die standortspezifisch nicht immer erfüllt sind (Tab. 2).

Neben den hydrogeologisch-hydraulischen Kenngrößen können die in Tabelle 3 zusammengestellten Kriterien und Parameter für eine fachlich begründbare Abgrenzung der Zone I genutzt werden. Die meisten hydrogeologischen Parameter sind ohne große Aufwendungen ermittelbar, sie sind aber nur punktuell aussagekräftig. Daher müssen diese Kenngrößen mit fassungstechnischen und flächenbezogenen Daten und Eigenschaften des Fassungsereichs gekoppelt werden.

Fazit

Die rein geometrische Abgrenzung des Fassungsereiches muss nach den Erkenntnissen der Fachliteratur und den Untersuchungen des Autors auf den Prüfstand. Bisher werden ausschließlich grundstücksbezogene Katastergrenzen für die Einfriedung und faktische Festsetzung der Zone I herangezogen. Inzwischen konnte gezeigt werden, dass die meisten mikrobiologischen Positivbefunde im Rohwasser von Brunnen und Quellen, die im oberen Grundwasserstockwerk verfiltert sind, bevorzugt nach besonderen hydrologischen Ereignissen und bei Vorliegen von vertikalen Verbindungen zwischen der Geländeoberfläche und der Fassung fassungsnahe auftreten. Diese Verbindungen sind einerseits bautechnisch, andererseits hydrogeologisch bedingt. Hinzu kommen die Einflüsse der Geomorphologie und der Vegetation im Nahbereich der Fassung.

Da die meisten einfach zu bestimmen- den hydrogeologisch-hydraulischen Kenngrößen allein keine zuverlässige Risikoabschätzung zulassen, wird hier eine integrierte Prüfung des Fassungs- umfeldes nach

- hydrogeologisch-hydraulischen,
- fassungstechnischen und
- morphologisch-vegetationsbezoge- nen Kriterien

vorgeschlagen.

Die Prüfung eines Standortes könnte folgende Untersuchungen umfassen:

- flächige Erkundung des Geländes durch Kartierung der geomorphologischen Strukturen, die eine Überflutung bzw. Wasseransammlung und Erosion nach Starkregen begünstigen können,
- Auswertung der mikrobiologischen und chemischen Bestandsanalysen in Relation zu hydrologischen Ereignissen und der Fördermenge bzw. Quellschüttung,
- Bestimmung der Kopplung von unterirdischen Wegsamkeiten zwischen der Fassung und der Geländeoberkante (Tracergastests),
- Bestimmung der Art und des Auf-

baus der Überdeckung des unverwitterten Ausgangsgesteins im Umfeld der Fassung (minimalintensive Sondierbohrungen),

- Bestimmung der erforderlichen Abdichtungszonen und der Bereiche, in denen ein Oberflächenwassermanagement umgesetzt werden muss (Eingrenzung z. B. durch Salztracerversuche).

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel, bei dem der Fassungs-bereich aufgrund solcher Untersuchungen und Risikoeinschätzungen neu abgegrenzt und abgedichtet wurde. In diesem Fall umfasst die

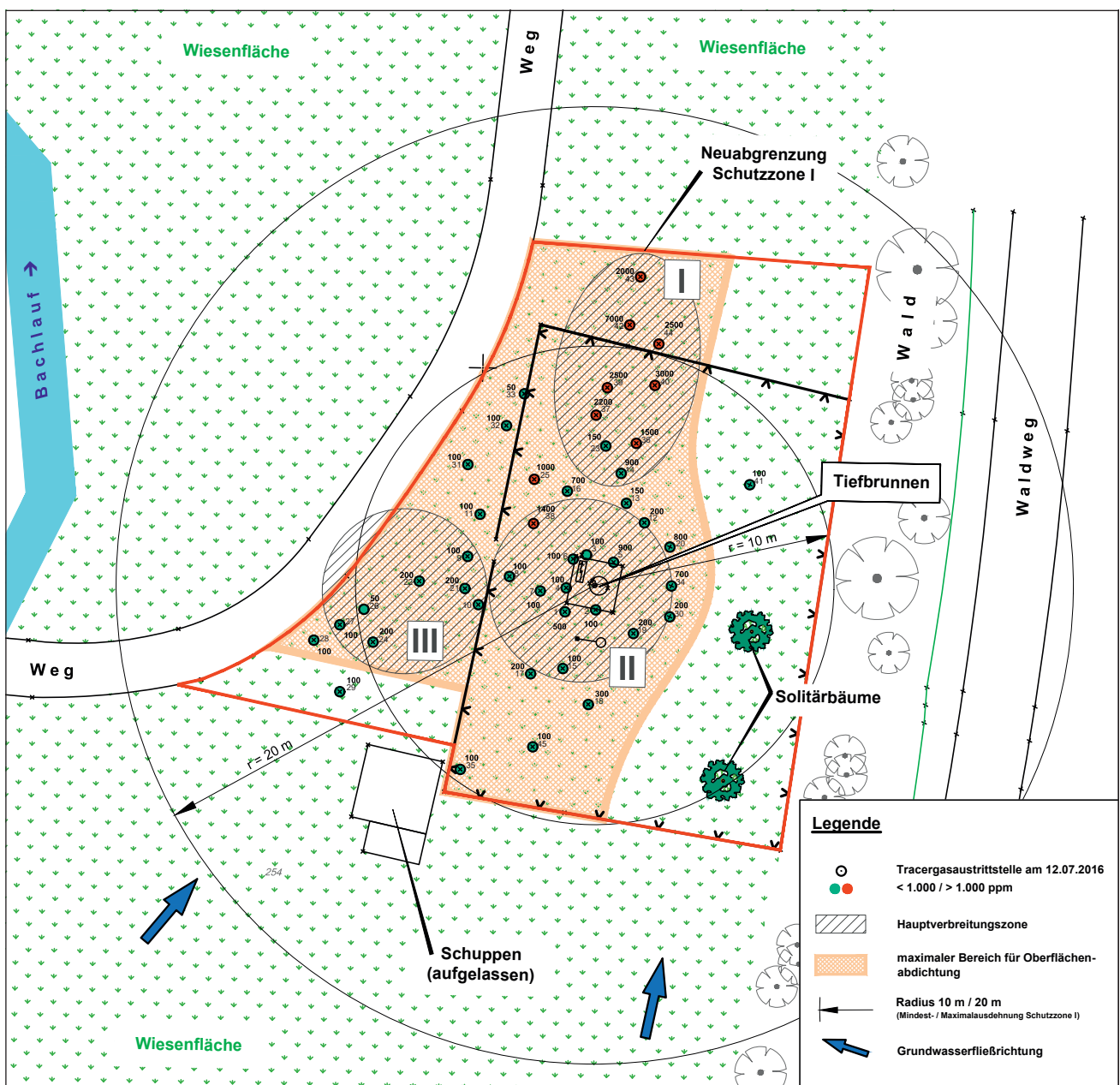


Abb. 3: Beispiel einer Abgrenzung des Fassungs-bereichs nach verschiedenen hydrogeologisch-hydraulischen, fassungstechnischen und morphologischen Kriterien (rote Linie entspricht hier im Beispiel der festzusetzenden Schutzzone I)

Quelle: Treskatts



Quelle: Treskatis

Abb. 4: Beispiel für die Ausführung eines Oberflächenwassermanagements bei der Sanierung einer Quelfassung, die ursprünglich von Fremdwasserzutritten entlang eines Forstweges und seines Begleitgrabens betroffen war

Zone I den gesamten Abdichtungsbe-
reich inklusive dessen Randentwässerung. Ferner wurde hier auch ein Oberflächenwassermanagement ausgeführt (Abb. 4). Der neu abgegrenzte Fassungsbe-
reich sollte nach folgenden Gesichtspunkten gestaltet werden:

- Je nach Befundlage und Ergebnissen von Bohrlochgeophysik und Tracergasmessungen: nachträgliche Abdichtung der Fassung in der ungesättigten Zone (Brunnenkopf, Sperrrohr, Quellschacht etc.)
- Befestigung der Zufahrt zum Brunnen bzw. Quellsammelschacht mit einer verdichteten wassergebundenen Decke mit robuster Graseinsaat
- Gefälle grundsätzlich weg von der Fassung mit Ableitung des Wassers in Richtung Unterstrom
- Entfernung von Wurzelstöcken und Abdichtung der Fehlstellen in der

Grundwasserüberdeckung; keine Neuanpflanzungen, sondern Graseinsaat, ggfs. mit Erosionsschutz (Abb. 4)

- Auffüllung und Abdichtung von Versickerungsstellen
- Ausstattung von Leitungsgräben mit Lehmriegeln und Abdeckungen mit Dachprofil
- Umleitung von Besucherströmen weg von der Fassung; Wegesperrung am Rande der Fassungszone, vor allem im Oberstrom von Quelfassungen und oberflächennahen Brunnen ■

Literatur

[1] DVGW-Arbeitsblatt W 101: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser (Stand 06/2006).

[2] Sanford, W. E. (2017): Estimating regional scale permeability-depth relations in a fractured-rock terrain using groundwater-flow model calibration. in: Hydrogeol. Journ. (2017) 25: 405 – 421.

[3] Nimmo, J. R., Creasey, K. M., Perkins, K. S. & Mirus, B. B. (2017): Preferential flow, diffuse flow, and perching in an interbedded fractured-rock unsaturated zone. in: Hydrogeol. Journ. (2017) 25: 421 – 444.

[4] Treskatis, C. (2017 b): Keime im Brunnen- oder Quellwasser: Mögliche Eintragswege und Monitoringstra-

tegien in: DVGW energie | wasser-praxis 5/2017, S. 29 – 35.

[5] Treskatis, C. & Tauchmann, H. (2013): Quelfassungsanlagen zur Trinkwassergewinnung: 673 S.

[6] Treskatis, C. & Zimmer, G. (2013): Tracergasdetektionsmethode der Ville de Luxembourg zur Auffindung von Undichtigkeiten im Umfeld von Quelfassungsanlagen der Trinkwasserversorgung. in: DVGW energie | wasser-praxis 4/2013: 36 – 43.

[7] Treskatis, C. (2015 a): Praktische Durchführung von Tracergastests zur Erkundung von Undichtigkeiten an Brunnen. in: bbr 1/2015: 82 – 88.

[8] Treskatis, C. (2015 b): Grundlagen und Anwendung von Tracergastests zur Ortung von Eintragswegen für Sickerwasser in Trinkwasserfassungen. in: gwf-Wasser/Abwasser 5/2015: 524 – 536.

[9] Reitter, B. (2017): Saubere Berge – (M)ein Betrag zum ungetrübten Naturerlebnis, in: OeAv Bergauf, Heft 01/2017, S.28–31.

Weiterführende Literatur

Treskatis, C. (2017 a): Hygienische Gefährdungspotenziale von Brunnen und Quellen in der Schutzzone I. in: bbr 2/2017: 56 – 62.

Der Autor

Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis ist wissenschaftlicher Leiter bei der Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH und apl. Professor am IWAR der TU Darmstadt

Kontakt:

Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis
apl. Professor am IWAR der
TU Darmstadt
c/o Bieske und Partner GmbH
Im Pesch 79
53797 Lohmar
E-Mail: c.treskatis@bup-gup.de
Internet: www.bup-gup.de