



**■ REGELBLÄTTER**  
des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

**ÖWAV-Regelblatt 214**

**Markierungsversuche in der  
Hydrologie und Hydrogeologie**

**Wien 2007**

In Kommission bei:  
ON Österreichisches Normungsinstitut  
A-1020 Wien, Heinestraße 38

Dieses Regelblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher  
Gemeinschaftsarbeit.

Dieses Regelblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für eine fachgerechte  
Lösung. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder  
für die richtige Anwendung im konkreten Fall. Eine etwaige Haftung der Urheber ist ausgeschlossen.

Es wird darauf hingewiesen, dass alle Angaben in diesem Regelblatt trotz  
sorgfältigster Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen.

© 2007 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.  
Alle Rechte vorbehalten.  
Printed in Austria 2007

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des  
Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verbandes unzulässig und strafbar.  
Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die  
Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Selbstverlag des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Wien  
In Kommission bei ON Österreichisches Normungsinstitut, 1020 Wien  
Satz und Layout: Mag. Fritz Randl (ÖWAV)  
Druck: Druckerei Fischer KG, 1010 Wien

## Vorwort

Markierungsversuche werden vor allem im Zusammenhang mit Fragen des Grundwasserschutzes durchgeführt, um Fließwege und Verweilzeiten des Wassers zu erkunden. Damit können Verbindungen zwischen Einspeise- und Wiederaustrittstellen festgestellt, Einzugsgebiete von Quellen und Brunnen abgesteckt oder Anhaltspunkte über Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung des Wassers gewonnen werden.

Obwohl bestimmte Fragestellungen auch mit alternativen Methoden (z. B. durch Abflussuntersuchungen, geologische Kartierungen, hydrochemische Analysen) bearbeitet und beantwortet werden können, lassen sich im Streitfalle, vor allem im Behördenverfahren, eindeutige Ergebnisse oft nur durch sorgfältig geplante und durchgeführte Markierungsversuche erzielen.

Für Österreich fehlte bisher Erläuterndes in leicht zugänglicher und komprimierter Form, sowohl über die fachlichen Anforderungen an die Ausführenden solcher Versuche als auch über die rechtlichen Aspekte, die mit solchen Versuchen in Zusammenhang stehen.

Die Frage des Schutzes öffentlicher Interessen und bestehender Rechte im Einwirkungsbereich derartiger Versuche, insbesondere aber die Frage einer eventuellen wasserrechtlichen Bewilligungspflicht, erfordert eine allgemeingültige und umfassende Antwort.

Dabei ist aufgrund der Vielfalt der zum Einsatz gelangenden Markierungsmittel eine Abschätzung ihrer Auswirkung auf die Beschaffenheit des Wassers notwendig. Nicht zuletzt ist auch die Frage zu stellen, ob das ins Auge gefasste Markierungsmittel geeignet ist, das Versuchsziel zu erreichen.

Wie zahlreiche Markierungsversuche gezeigt haben, können Markierungsstoffe viele Jahre im Grundwasserkörper verbleiben und periodisch oder episodisch über lange Zeiträume zutage treten. Die Ergebnisse solcher Versuche sind auch künftig von Bedeutung. Daher ist für eine Dokumentation bereits durchgeführter wie auch zukünftiger Versuche an einer Stelle zu sorgen, die Kontinuität gewährleistet. Diesem Anliegen wird im vorliegenden Regelblatt besondere Aufmerksamkeit gewidmet und eine praktikable Lösung initiiert.

Der Bedarf eines Regelblatts für Markierungsversuche lässt sich auch aus den diesbezüglichen Vorgangsweisen anderer Staaten ableiten, deren Regelungen hier vorgestellt werden. In diesem Zusammenhang wird besonders auf die „Praxishilfe für den Einsatz künstlicher Tracer“ (2002) der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie verwiesen.

Um auch für Österreich eine derartige Hilfe zu bieten, wurde in der ÖWAV-Fachgruppe „Wasserhaushalt und Wasservorsorge“ beschlossen, ein Regelblatt auszuarbeiten, das den speziellen rechtlichen Verhältnissen unserer Republik und dem aktuellen Stand der Markierungs-technik Rechnung trägt.

Mit dem vorliegenden Regelblatt 214 „Markierungsversuche in der Hydrologie und Hydrogeologie“ hofft der ÖWAV, dieses Ziel zu erreichen und sowohl der Praxis als auch der Wissenschaft Hilfestellung zur reibungslosen und erfolgreichen Abwicklung solcher Versuche zu bieten.

ÖSTERREICHISCHER  
WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND

Wien, im Juni 2007

**An der Erarbeitung des ÖWAV-Regelblatts 214 haben mitgewirkt:****Als Leiter:**

Univ.-Prof. Dr. Hans ZOJER, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz  
(Leitung bis 06.02.2004)

Dr. Ralf BENISCHKE, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz  
(Leitung ab 07.11.2004)

**Ausschussmitglieder:**

DI Jutta EYBL, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

Mag. Wolfgang GADERMAYR, ZT-Büro Mag. Wolfgang Gadermayr, Hallein

Dr. Gert GASSE, Dr. Gert Gasser Hydrogeologie Bohrwesen GmbH, Jenbach

HR Univ.-Doz. Dr. Peter HACKER, Austrian Research Centers GmbH – ARC, Seibersdorf

DI Reinhold HAIDER, Hydrologische Untersuchungsstelle Salzburg

Dr. Gerhard HOBIGER, Geologische Bundesanstalt, Wien

MR Univ.-Doz. Mag. Dr. Martin KRALIK, Umweltbundesamt GmbH, Wien

Dr. Gerhard KUSCHNIG, MA 31 – Wiener Wasserwerke, Wien

Mag. Gunter LABNER, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz

Mag. Dr. Gerhard SCHUBERT, Geologische Bundesanstalt, Wien

HR Dr. Peter SCHURL, Unabhängiger Verwaltungssenat für die Steiermark, Graz

Dr. Stefan RAKASEDER, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, St. Pölten

Dr. Jochen SCHLAMBERGER, Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt

Univ.-Prof. DI Dr. Jean Friedrich SCHNEIDER, Universität für Bodenkultur

Univ.-Prof. Dr. Jürgen SCHÖN, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz

MR i.R. Dr. Gerhard VÖLKL, Vösendorf

Ing. Rudolf WAGNER, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz

HR i.R. Univ.-Prof. Dr. Hilmar ZETINIGG, Graz

**Für den ÖWAV:**

DI Georg GRÜNER, Referent für den Fachbereich Wasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

Andreas Gaul, Referent für den Fachbereich Wasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

**Danksagung:**

*Folgenden externen Beratern, die nicht im Ausschuss vertreten waren, sei für ihre Beiträge gedankt:*

Dr. Luca D'AMELIO, Geokarst Engineering S.r.l., Triest

Dr. sc.nat. Ronald KOZEL, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Hydrologie, Sektion Hydrogeologie, Bern

Prof. Dr.-Ing. Piotr MALOSZEWSKI, Institut für Grundwasserökologie, GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, München

Mag. rer.nat. Nikola TRIŠIĆ, Umweltagentur der Republik Slowenien, Ljubljana

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>7</b>
1.1	Zielsetzung von Markierungsversuchen .....	7
1.2	Was sind Tracer? .....	7
1.3	Historische Entwicklung.....	8
1.4	Einsatzbereiche .....	9
<b>2</b>	<b>Arten von Tracern und deren Eigenschaften .....</b>	<b>11</b>
2.1	Tracerübersicht .....	11
2.1.1	Partikeltracer.....	11
2.1.2	Gelöste Tracer .....	12
2.1.3	Umwelt- und Gesundheitsaspekte gelöster Tracer .....	18
2.2	Übersicht der Analyseverfahren.....	19
<b>3</b>	<b>Organisation und Durchführung .....</b>	<b>22</b>
3.1	Planung und Vorbereitung .....	22
3.2	Vorbegehungen .....	22
3.3	Tracerauswahl.....	24
3.4	Tracervorbereitung.....	27
3.5	Einspeisung .....	29
3.5.1	Auswahl der Einspeisestelle .....	29
3.5.2	Wahl der Tracermenge.....	29
3.5.3	Einspeisezeitpunkt.....	30
3.5.4	Vorarbeiten zur Einspeisung.....	30
3.5.5	Einspeisung des Tracers.....	31
3.6	Beobachtung und Beprobung .....	31
3.6.1	Auswahl der Beobachtungsstellen.....	31
3.6.2	Beobachtungsprogramm, Versuchsdauer.....	32
3.6.3	Beobachtung des Traceraustritts .....	33
<b>4</b>	<b>Auswertung und Interpretation .....</b>	<b>36</b>
4.1	Datenerfordernisse und Datenqualität.....	36
4.2	Tracerdurchgang – Charakteristische Kennwerte .....	36
4.2.1	Die Durchgangskurve .....	36
4.2.2	Transportzeit und Transportgeschwindigkeit.....	37
4.2.3	Wiederausbringung .....	39
4.3	Interpretation .....	39
<b>5</b>	<b>Dokumentation .....</b>	<b>41</b>
5.1	Berichtlegung.....	41
5.2	Datenbank .....	42

<b>6</b>	<b>Rechtsgrundlagen .....</b>	<b>43</b>
6.1	Rechtliche Grundlagen bei Markierungsversuchen .....	43
6.1.1	Einleitung .....	43
6.1.2	Allgemeine Reinhaltungspflicht .....	43
6.1.3	Bewilligungspflicht bei Markierungsversuchen .....	44
6.1.4	Schutz- und Schongebiete .....	45
6.1.5	Empfohlene Vorgangsweise aus wasserrechtlicher Sicht.....	46
6.2	Internationaler Vergleich .....	46
6.2.1	Bayern (Deutschland) .....	47
6.2.2	England .....	47
6.2.3	Italien .....	48
6.2.4	Slowenien .....	48
6.2.5	Schweiz .....	49
<b>7</b>	<b>Fachkompetenz und Ausbildung zur Durchführung von Markierungsversuchen .</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>Glossar der Fachbegriffe .....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>Literatur und Unterlagen.....</b>	<b>54</b>
9.1	Fachliteratur .....	54
9.2	Normen.....	57
9.3	Regeln und Richtlinien.....	57
9.4	Rechtsliteratur .....	58
9.5	Gesetzliche Grundlagen .....	58
<b>10</b>	<b>Dokumentations- und Informationsstellen.....</b>	<b>59</b>
10.1	Zentrale Datenarchivierungsstelle des Bundes (Stand 2006) .....	59
10.2	Informationsstellen der einzelnen Bundesländer (Stand 2006) .....	59
10.3	Weitere Informationsstellen .....	60
	<b>ÖWAV-Regelwerk .....</b>	<b>63</b>

# 1 Allgemeines

## 1.1 Zielsetzung von Markierungsversuchen

Die Kenntnis der konkreten Bewegung des Wassers im geologischen Untergrund oder in Oberflächengewässern ist eines der wichtigsten Ziele bei hydrologischen, hydrogeologischen oder auch wasserwirtschaftlichen Untersuchungen. Um diese Bewegung näher erfassen zu können, stehen zahlreiche Methoden zur Verfügung, von denen die Methoden der Tracerhydrologie einen erheblichen Beitrag leisten können.

## 1.2 Was sind Tracer?

Die Bezeichnung Tracer kommt aus dem Englischen und meint allgemein Stoffe und Parameter, die in besonders typischer Weise Auskunft über die Herkunft des Wassers, über seine Fließwege oder auch über seine Bewegungsformen geben können.

Tracer können chemisch-physikalische Kennwerte sein, wie die Wassertemperatur und die elektrische Leitfähigkeit, oder jeder beliebige Inhaltsstoff eines Wassers, ob er nun natürlicherweise im Wasserkreislauf enthalten ist oder durch den Menschen absichtlich eingebracht worden ist. Daher werden in der Tracerhydrologie natürliche und sogenannte „künstliche“ Tracer unterschieden. Diese Unterscheidung wird eher willkürlich getroffen, da dazu auch Substanzen zählen, die normalerweise nicht im natürlichen Wasserkreislauf enthalten sind, die jedoch als „Nebenprodukt“ der menschlichen Tätigkeit entstehen. Einmal in den globalen Wasserkreislauf eingebracht nehmen sie in der Folge ohne weiteres Zutun des Menschen an diesem Kreislauf teil, bis sie entweder durch chemisch-physikalische Prozesse umgewandelt oder durch fortlaufende Vermischung und Verdünnung im Wasser mit den gängigen Methoden nicht mehr nachweisbar sind. In weiterer Folge sind sie dann zu natürlichen Tracern „mutiert“. Derartige Substanzen sind zum Beispiel radioaktive Isotope, wie sie durch die Kernwaffenversuche der Fünfziger- und Sechzigerjahre des vorigen Jahrhunderts in der Atmosphäre freigesetzt worden sind, oder Spurengase wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe, die mit dem Phänomen „Ozonloch“ in Zusammenhang gebracht werden. Die genannten Substanzen wurden nicht primär mit Absicht in der Umwelt freigesetzt, sondern waren erst die Folge menschlicher Handlungen aus ganz anderen Motiven.

Im Rahmen der folgenden Ausführungen sind spezielle durch den Menschen durchgeführte Experimente gemeint, die durch absichtliches Einbringen von Substanzen in den Wasserkreislauf dazu beitragen sollen, die konkrete Wasserbewegung zu erfassen. Ein zu untersuchendes Wasservorkommen wird zu diesem Zweck mit einer bestimmten Substanz markiert. Daher wird im Deutschen von Markierungsstoffen (Markierungsmitteln) gesprochen. So gesehen kann man auch das in einen Bach hineingeworfene Stück Holz als Tracer oder Markierungsstoff und die damit verbundene Tätigkeit als einen Markierungsversuch bezeichnen, wenn damit die Fließgeschwindigkeit des Wassers bestimmt werden soll oder die Zeit, die das Stück Holz benötigt, um vom Eingabepunkt bis zu einem Punkt stromabwärts zu gelangen.

Beim Einsatz von Tracern ergeben sich für die zu verwendenden Substanzen je nach Fragestellung unterschiedliche Anforderungen an die Tracereigenschaften. Anzustreben wäre an sich der ideale Tracer, spezifisch für die jeweilige Versuchssituation. Einen idealen Tracer gibt es in der Realität allerdings nicht, sodass in Modifikation des Voranstehenden für einen Versuch unter Berücksichtigung aller zu erwartenden Randbedingungen der jeweils optimale Tracer zu suchen ist. Selbst die Forderung nach dem jeweils optimalen Tracer ist in der Praxis nur schwer erfüllbar. Daher sind bei der praktischen Durchführung von Versuchen oft viele weitere Kompromisse einzugehen, um zu einem für das Ziel des Versuchs akzeptablen Ergebnis zu kommen.

## 1.3 Historische Entwicklung

Die Geschichte der Tracerhydrologie ist eng mit der historischen Entwicklung der Karsthydrogeologie verknüpft. Schon vor jener Zeit, als man in Fachkreisen den hydraulischen Zusammenhang unterirdischer Wassersysteme im Karst heftig diskutierte, verwendete man Markierungsstoffe, um die unterirdischen Wasserwege nachzuzeichnen, anfangs allerdings mit untauglichen Mitteln wie Ölen oder Holzpartikeln, die aufgrund ihrer Schwimmfähigkeit die Wegigkeit in die Tiefe und wieder zum Vorfluter empor nicht nachvollziehen konnten.

In den 70er-Jahren des 19. Jhdts. wurde mit den ersten Donauversuchen ein bedeutender Meilenstein gesetzt. Man hatte versickerndes Donauwasser bei Immendingen mit Natriumfluorescein und Kalisalz markiert und die Tracer bei der Aachquelle wiedergefunden. Damit war der qualitative Nachweis einer unterirdischen Wasserscheide zwischen zwei Flusssystemen europäischer Ordnung (Donau – Rhein) gelungen (KNOP, 1878). Am Beginn des 20. Jahrhunderts wurde eine Reihe von groß angelegten Markierungsversuchen mit Lithiumsalzen und radioaktiven Tracern im dinarischen Karstgebiet durchgeführt, bei denen zum ersten Mal äußerst empfindliche spektroskopische und radiologische Nachweismethoden Verwendung fanden (VORTMANN & TIMEUS, 1910). Einzelne pionierhafte Versuche wurden 1927 im mittelsteirischen Karst durchgeführt. Danach war es bis in die 50er-Jahre des 20. Jhdts. relativ still um die Tracerhydrologie. Erst den Forschungsarbeiten von F. BAUER, V. MAURIN und J. ZÖTL ist es zu verdanken, dass diese Methode wieder auflebte (BAUER, ZÖTL & MAYR, 1959; MAURIN & ZÖTL, 1959).

Sehr oft war die unsachgemäße Vorbereitung und Ausführung von Markierungsversuchen die Ursache, dass die Ergebnisse dürfzig oder überhaupt nicht verwendbar waren. Während es bis 1950 bei der Anwendung von Markierungsstoffen lediglich um den Nachweis unterirdischer Karstwasserzusammenhänge in lokalen Maßstäben handelte, ging man nun daran, ganze Gebirgsstücke durch eine Kombination unterschiedlicher Tracermarkierungen zu untersuchen. Im Falle der Sporentrift verblieb das Resultat als qualitative Aussage, während man beim Einsatz von Fluoreszenztracern und anorganischen Salzen bei gleichzeitigen Schüttungsmessungen von Quellen auch zu quantitativen Aussagen gelangte, die die Wiederausbringung der eingegebenen Tracer berechnen ließen und so quantitative Aussagen über das Speichervermögen des Karstquifers ermöglichten. Die Ergebnisse waren zum Teil sehr überraschend und führten schließlich zu Thesen, die eine radial-divergierende Entwässerung nahe legten, ohne eine episodische oder jahreszeitliche Auffüllung und Entleerung lokaler Aquifere zu berücksichtigen. Die Theorie der radial-divergierenden Entwässerung in den Plateaubergen der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen hielt etwa 20 Jahre. Erst die Wiederholung früherer Versuche (z. B. im Dachstein; BAUER, 1989) und weitere Tracerstudien (z. B. auf der Petzen und am Dobratsch, im Höllengebirge oder im Warscheneckgebirge) sowie auch andere Markierungsexperimente und nicht zuletzt systematische Isotopenuntersuchungen erbrachten neue Erkenntnisse, die eine unterirdische Karstentwässerung wesentlich kleinräumiger strukturiert erscheinen lassen als bisher angenommen. Heute werden Tracerversuche meist als Abschluss von Regionalstudien mit kleinerem Raumbezug durchgeführt, dafür aber auch wiederholt, um die hydrodynamischen Prozesse im Karstquifer besser zu verstehen und praktische Maßnahmen darauf aufzubauen.

Die Gründung und die Initiativen der „Internationalen Arbeitsgruppe für Tracerhydrologie“ (Association of Tracer Hydrology – ATH, hervorgegangen aus dem SUWT – Symposium on Underground Water Tracing) hat wesentlich zur wissenschaftlichen Entwicklung der Markierungstechnik beigetragen, vorerst durch gemeinsame Ausführung von Tracerversuchen der teilnehmenden Institutionen, später auch durch die Kombination mit hydrogeochemischen und isotopenhydrologischen Methoden, deren Stoffe auch als Umwelttracer bezeichnet werden. Ab den späten 70er-Jahren wurden auch die seichtliegenden Porengrundwässer in den Untersuchungsrahmen eingebunden. Die gemeinsamen Untersuchungen wurden schließlich bei internationalen Tagungen vorgestellt und die Weiterentwicklung diskutiert.

## Tagungsorte und Untersuchungsgebiete:

- 1967, Graz (MAURIN & ZÖTL, 1967): Untersuchungsraum Mittelsteirischer Karst
- 1970, Freiburg im Breisgau (BATSCHÉ et al., 1970): Untersuchungsraum Schwäbische Alb
- 1976, Bled (GOSPODARIC & ZÖTL, 1976): Untersuchungsraum Einzugsgebiet der Ljubljanica, Porengrundwasser Savinja (Slowenien)
- 1981, Bern (MÜLLER & HARUM, 1980; LEIBUNDGUT & HARUM, 1981; BÖGLI & HARUM, 1981): Untersuchungsraum Neuenburger Jura, Muotatal – Zentralschweiz, Porengrundwasser Langetental, Schweizer Mittelland
- 1986, Athen (MORFIS & ZOJER, 1986): Untersuchungsraum zentraler Peloponnes
- 1992, Karlsruhe (ATH, 1992): Untersuchungsraum südlicher Schwarzwald, Lurbachsystem (Mittelsteirischer Karst), Porengrundwasserkörper Wilerwald (Schweiz) und Merdingen (Baden-Württemberg)
- 1996, Portoroz (KRANJC, 1997): Untersuchungsraum Südwest-Slowenien
- 2001, München (ATH, 2001): Untersuchung mehrerer Karst- und Kluftwassersysteme, der ungesättigten und gesättigten Zone von Porenaquiferen

## 1.4 Einsatzbereiche

Bei welchen Fragestellungen ist der Einsatz von Tracern sinnvoll? Die klassische Fragestellung betrifft den Nachweis einer Fließverbindung sowie der Fließgeschwindigkeit zwischen Einspeise- und Beobachtungsstelle. So konnten zum Beispiel in den letzten Jahrzehnten die weiträumigen Zusammenhänge in den verkarsteten Bereichen der Nördlichen Kalkalpen aufgezeigt werden. Das Niederschlagswasser, das auf den weiten abflusslosen Kalkhochplateaus z. B. des Toten Gebirges oder des Dachsteins infiltriert, strömt in einem komplizierten Netzwerk von Klüften und unterirdischen Karstkanälen Quellen am Rande des Gebirgsstocks zu. Durch Tracerversuche konnten dabei die Einzugsbereiche der Quellen näher bestimmt werden. Freilich ist damit zunächst nur eine Punktinformation verbunden, die detaillierte Abgrenzung des Einzugsbereichs einer Quelle wird dadurch noch nicht erreicht. Auch ist damit noch nichts darüber ausgesagt, ob Wässer zu allen Zeiten von einem bestimmten Punkt einer Quelle zuströmen, oder ob nicht Änderungen im jahreszeitlichen Verlauf, zur Schneeschmelze oder in der herbstlichen Trockenphase, eintreten, und Einzugsbereiche je nach Jahreszeit und vorangegangenen Niederschlägen einmal größer oder auch kleiner sein können.

Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen können durch den gezielten Einsatz von Tracern Befunde bzw. Schlussfolgerungen aus geologischen und hydrologischen Untersuchungen besser oder überhaupt erst abgesichert werden. Zahlreiche Tracerversuche, die nach vorausgehenden hydrogeologischen Studien durchgeführt worden sind, haben dazu beigetragen, die fachliche Grundlage von Schongebietsverordnungen und Rahmenverfügungen zum Schutz von Wasservorkommen zu liefern.

Besondere Bedeutung kommt auch der Frage nach der zeitlichen Reaktion eines Wasservorkommens auf Ereignisse im Einzugsgebiet zu, sei es die Reaktionszeit auf einen Niederschlag oder einen Schadstoffeintrag (z. B. durch Bestimmung der Verweilzeiten). Die genaue Kenntnis der Reaktionszeiten liefert in weiterer Folge Grundlagen für möglicherweise notwendige Schutzmaßnahmen. Man denke nur an ein Porengrundwasserfeld, aus dem Wasser durch Brunnen gefördert wird und wo von außerhalb gelegenen Geländeteilen wie landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Straßen Einträge potenzieller Schadstoffe oder zumindest unerwünschter Substanzen in Betracht gezogen werden müssen. Auch in diesem Fall liefert der Markierungsversuch wertvolle Informationen über das Transportverhalten von Substanzen im Wasser. Durch die Kombination von Pump- und Markierungsversuchen können nicht nur das hydraulische Verhalten des Grundwasserfelds, sondern auch die Reaktionen auf Ereignisse im Brunneneinzugsbereich abgeschätzt oder sogar quantifiziert werden. Diese für den Schutzgedanken wichtigen Überlegungen sollten bei modernen Wasserversorgungskonzepten schon in deren Planungsstadium einfließen.

Der Einsatz von Umweltisotopen des Wassers gestattet gemeinsam mit den Ergebnissen weiterer hydrologischer Methoden (z. B. hydrochemischen Analysendaten) Aussagen über den Zusammenhang von Oberflächen- und Grundwasser, über Mischungsvorgänge die Differenzierung von Direkt- und Basisabfluss und die Höhenlage von Einzugsgebieten. Im Rahmen von Deponieuntersuchungen können wertvolle Informationen sowohl über Grundwasserkontaminationen als auch über Reaktionsvorgänge im Deponiekörper gewonnen werden.

Bei anderen Fragestellungen kann mittels Tracerversuchen der Stofftransport in seinem räumlichen und zeitlichen Verhalten (z. B. saisonale Infiltration, chemische und biologische Prozesse, Pflanzenverfügbarkeit des Wassers) in der ungesättigten (z. B. Boden) und gesättigten Zone untersucht werden. Dadurch ergeben sich wiederum bessere Kenntnisse z. B. bei landwirtschaftlich genutzten Flächen über die Dynamik der Düngerumsetzung im Boden, was zusammen mit den Ergebnissen auf Basis anderer Untersuchungsmethoden in Empfehlungen zum gezielten Düngemitteleinsatz führen kann.

Auch in Fließgewässern, Seen und Stauräumen oder bei der Lösung technischer Probleme können Tracer eingesetzt werden. Vor allem in turbulenten Gebirgsbächen, aber auch in geschlossenen Rohrleitungen, wo die Messung von Durchflüssen mit herkömmlichen Methoden nur schwer oder nicht möglich ist, können die abfließenden Wassermengen durch den Einsatz von Tracern mittels sogenannter Verdünnungsmessungen bestimmt werden. Bei Seen und Stauräumen besteht wiederum die Möglichkeit, Durchmischungsvorgänge zu erfassen. Dichtheitsprobleme bei Staudämmen sind der Tracermethodik ebenfalls zugänglich, wenn es um die Lokalisierung undichter Stellen oder die Quantifizierung von Wasserverlusten geht.

Für qualitative und quantitative Fragestellungen werden Tracerversuche in Oberflächengewässern (z. B. für Durchfluss-, Volumen- und Mischungsbestimmungen), zur Klärung einer Verbindung zwischen einem Vorfluter und Brunnen/Quellen sowie im Zuge von Projektierungen oder Überprüfungen von Wasserversorgungsanlagen durchgeführt. Durch die meist eindeutige Aussage, die bei ordnungsgemäßer Durchführung erzielt werden kann, kommt diese Methodik aber auch im Rahmen behördlicher und gerichtlicher Verfahren zum Einsatz. Weitere Bereiche liegen in der Land- und Forstwirtschaft (z. B. Stoffflussexperimente), im Wasserbau und in der Abwassertechnik (z. B. Leckstellensuche), in der Bautechnik (z. B. bei Gebäudeschäden), in der Werkstoffbearbeitung und für Prozesssimulationen sowie in der Strömungstechnik.

Die Markierung von Tiefengrundwässern mit von Oberfläche eingebrachten Tracern wurde ein integraler Bestandteil bei der Erschließung und der nachhaltigen Nutzung geothermaler Felder, besonders seit es um Fragen und Probleme der Reinjektion geht. Künstliche Markierungen sollen dem Wissenschaftler Informationen über die Hydrologie/Hydrogeologie eines Geothermalfelds verschaffen. Durch Markierungen werden sukzessiv die Strukturen, die Verbindungen oder das Fehlen solcher zwischen verschiedenen Teilen der geothermalen Felder, die Fließgeschwindigkeit und die Fließrichtung der Tiefengrundwässer sowie die Charakteristik (z. B. die hydraulische Leitfähigkeit) des geklüfteten Gebirges erfasst, welches den Aquifer bildet.

Obwohl die Darstellung in diesem Regelblatt vor allem auf Markierungsversuche mit konservativen (nicht reaktiven) Stoffen unter natürlichen hydraulischen Bedingungen abzielt, muss darauf hingewiesen werden, dass Versuche in Lockersedimenten, aber auch in Kluftgrundwasserleitern auch unter verschiedenen künstlich induzierten hydraulischen Randbedingungen sowohl mit konservativen aber auch mit reaktiven Tracern durchgeführt werden (DOMENICO & SCHWARTZ, 1998). Beispielsweise werden im Rahmen angewandter Forschung Multitracer-Tests eingesetzt, um Informationen über organische Schadstoffphasen im Untergrund zu erhalten. Beim Einsatz neuartiger Tracer, wie z. B. DNA-Tracer (in diesem Regelblatt nicht dargestellt), die zumindest theoretisch eine fast unlimitierte Anzahl von eindeutig unterscheidbaren Tracerinjektionen bei Multitracer-Tests erlauben (PTAK et al., 2004), werden Fragen der Bewertung ihres Einsatzes aus ökotoxikologischer und rechtlicher Sicht mit dem bisherigen zur Verfügung stehenden Instrumentarien zu beantworten sein.

## 2 Arten von Tracern und deren Eigenschaften

### 2.1 Tracerübersicht

#### 2.1.1 Partikeltracer

Partikeltracer sind sicherlich die schon am frühesten zur Markierung des Wassers eingesetzten Substanzen. Aus der Art der verschiedenen Tracer kann zunächst der triviale Schluss gezogen werden, dass jedes Partikel, das ins Wasser geworfen wird, letztlich eine Art Tracer darstellt, einige mit guten, andere mit schlechten hydrologischen Eigenschaften. Im Wesentlichen werden Partikeltracer nur zur qualitativen Feststellung von möglichen Fließverbindungen bzw. zur Überprüfung der Filterwirkung des Aquifers eingesetzt.

#### Sporen

Die Eignung von Sporen als Tracer wurde erstmals ausführlich von MAYR (1953) an Gletscherabflüssen untersucht. Daraus wurde letztlich die Sporeentriftmethode durch Anfärben der Sporen (DECHANT, 1996) zu einem Stand entwickelt, der es erlaubte, mehrere Tracer gleichzeitig einzusetzen. Als besonders geeignet erwies sich *Lycopodium clavatum* (Kolbenbärlapp).

Als vorteilhaft beim Sporeneinsatz – dies gilt im Großen und Ganzen auch für andere Partikel – erweist sich, dass

- eine einzelne Spore auch bei höchster Verdünnung als Indiz erhalten bleibt,
- aus medizinischer Sicht Sporen in fast unbeschränkt hoher Zahl eingesetzt werden können (in 1 kg: 100 bis 300 Milliarden),
- unterschiedlich gefärbte Sporen gleichzeitig an verschiedenen Orten, aber unter den gleichen hydrologisch-hydraulischen Bedingungen und ohne erhöhten Beobachtungsaufwand eingesetzt werden können,
- der Nachweis, die Sporenauszählung, keine Hochtechnologie benötigt,
- ihr Einsatz praktisch in jedem chemischen Milieu möglich ist, auch bei lang andauernden Versuchen,
- ihre Dichte von rund 1.1 g/cm<sup>3</sup> vorteilhaft ist,
- die Sporen im Planktonnetz akkumuliert werden.

Die Grenzen des Sporeneinsatzes liegen in

- der Filtration der Sporen in engen Poren- und Trennfugenhohlräumen,
- der Sedimentation bei langsamem Grundwasserfließgeschwindigkeiten (<10 cm/h).

#### Bakterien

Bedeutung für die Tracermethodik haben im Wesentlichen nur zwei Bakterienarten:

- *Serratia marcescens* (früher *Bacillus prodigiosus*): Größe ca. 0.3 \* 0.3 \* 1 µm; kommt im Wasser äußerst selten vor, häufig jedoch im klinischen Bereich als opportunistisch-pathogener Keim. Für Gesunde ist das Bakterium relativ harmlos, vor allem die pigmentierten Stämme
- *Escherichia coli*: Größe ca. 1 \* 2 \* 0.5 µm; kommt nur im Warmblüterorganismus vor und ist bei Auftreten im Wasser ein Anzeiger für eine mögliche fäkale Verunreinigung. Als Tracer wird der nicht-pathogene Stamm ATCC 11229 verwendet.

Für die Dimensionierung der Schutzzone II führten die von KNORR (1937, 1951) gewonnenen Erfahrungen mit Bakterien (*Escherichia coli*) zur Einführung der 50-Tage-Grenze in Deutschland (DVGW-Richtlinie W 101, 1995) und der 60-Tage-Grenze in Österreich (ÖVGW-Richtlinie W 72, 2004).

## **Bakteriophagen**

Sie sind Viren, die ein Wirtsbakterium befallen können. Verschiedene Stämme von Phagen kommen für Tracerversuche zum Einsatz, vor allem Coliphagen. Die Aufbereitung erfolgt in mikrobiologischen Labors und ist Spezialistenarbeit. Die Nachweisempfindlichkeit ist sehr hoch, sodass mit geeigneten Filtermethoden Verdünnungen von 1 : 10<sup>18</sup> (1 Phag/100 l Wasser) der Untersuchung und Auswertung zugänglich werden.

## **Viren**

Inaktivierte Polioviren und andere nicht-pathogene Typen wurden schon verwendet. Auch für die Untersuchung dieser Klasse von Tracern kommen nur spezialisierte Untersuchungslabors in Frage.

Nachteile beim Einsatz dieser drei oben angeführten organischen Tracer ergeben sich aus teilweise problematischen Nachweismethoden und der des Öfteren beobachteten nicht eindeutigen Interpretierbarkeit von Versuchen mit Triftkörpern.

## **Mikrosphären**

Es handelt sich um Kunststoffpartikel in Kugelform, die monodispers (nur in einer definierten Korngrößenklasse) hergestellt werden und nach Bedarf mit Fluoreszenzfarben oder anderen Farben gefärbt werden können. Aufgrund ihrer Größenverteilung eignen sie sich auch für automatische Zählgeräte. Die Farbstoffe werden auf einem Latexgerüst fixiert oder es werden für bestimmte Untersuchungszwecke funktionelle Gruppen angegliedert.

## **Sonstige**

Kork, Papierschnitzel, Holzmehl, Spreu, Algen, Hefe, magneticsensitive Tracer. Diese haben sich letztlich, speziell wegen ihres unvorteilhaften spezifischen Gewichts, in der Hydro(geo)logie nicht bewährt.

### **2.1.2 Gelöste Tracer**

Unter gelösten Tracern werden wasserlösliche Substanzen verstanden, von denen aber nur wenige tatsächlich für hydrologische oder hydrogeologische Zwecke verwendbar sind.

Die in *Tabelle 2 und 3* zusammengestellten physikalisch-chemischen Kenndaten und allgemeinen Hinweise zu gelösten Tracern sind auch hinsichtlich der Randbedingungen während ihres Einsatzes zu bewerten. Schwankungen der Wassertemperatur, der Dichte und der Viskosität der Tracerlösung, Veränderungen der Tracerlöslichkeit in Wässern unterschiedlich hoher Mineralisierung, mit unterschiedlichem Chemismus und verschiedenen hohen Wassertemperaturen, Änderungen des pH-Werts, Stabilität oder Instabilität vor allem der organischen Farbstoffe gegenüber fotochemischem Zerfall oder gegenüber mikrobiellen Einflüssen haben Auswirkungen auf das Tracerverhalten sowohl am Eingabeort als auch beim Transport im Untergrund. Vielfach sind die genannten Auswirkungen erst bei einem konkreten Markierungsversuch erkennbar. Welcher Tracer unter welchen Bedingungen günstige Eigenschaften für ein optimales Versuchsergebnis aufweist, ist schon bei der Versuchsplanung mitzuberücksichtigen.

## **Anorganische Salze**

Die Anwendung von verschiedensten Salzverbindungen (*Tabelle 1 und 2*) ist gängige Praxis, wobei Natriumchlorid (NaCl, Kochsalz) weitaus am häufigsten verwendet wird. Interessant sind solche Salze, die mit leicht verfügbaren Methoden nachweisbar sind (z. B. durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit) oder bei bestimmten Fragestellungen solche Salze, die im Wasser natürlicherweise nur in sehr geringen Mengen vorkommen, wie z. B. Lithiumchlorid (LiCl) oder Natriumbromid (NaBr).

*Tabelle 1: Anorganische Salze. Aus der Vielzahl möglicher anorganischer Salze eignen sich nur einige wenige für den Einsatz bei hydrologischen und hydrogeologischen Fragestellungen. Wichtig für die Auswahl sind natürliche Häufigkeit der Einzelkomponenten einer Verbindung, Löslichkeit und Kosten. Die gebräuchlicheren Salztracer sind in der Tabelle in Fettdruck gehalten, die nur selten oder nicht gebräuchlichen grau unterlegt*

	Borate	Bromide (Br)	Carbonate (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	Chloride (Cl)	Fluoride (F <sup>-</sup> )	Iodide (I <sup>-</sup> )	Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
Lithium (Li <sup>+</sup> )	Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	<b>LiBr</b>	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	LiCl	LiF	Lil	<b>LiNO<sub>3</sub></b>	Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Natrium (Na <sup>+</sup> )	<b>Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub></b>	<b>NaBr</b>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<b>NaCl</b>	NaF	Nal	<b>NaNO<sub>3</sub></b>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Kalium (K <sup>+</sup> )	K <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	<b>KBr</b>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<b>KCl</b>	KF	KI	<b>KNO<sub>3</sub></b>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	MgBO <sub>4</sub>	MgBr <sub>2</sub>	MgCO <sub>3</sub>	<b>MgCl<sub>2</sub></b>	MgF <sub>2</sub>	MgI <sub>2</sub>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	CaBO <sub>4</sub>	CaBr <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	CaI <sub>2</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub>
Strontium (Sr <sup>2+</sup> )	SrBO <sub>4</sub>	SrBr <sub>2</sub>	SrCO <sub>3</sub>	<b>SrCl<sub>2</sub></b>	SrF <sub>2</sub>	SrI <sub>2</sub>	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Sr <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	SrSO <sub>4</sub>
Caesium (Cs <sup>+</sup> )		CsBr	Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CsCl	CsF	CsI	CsNO <sub>3</sub>	Cs <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Cs <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	<b>NH<sub>4</sub>Br</b>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	NH <sub>4</sub> F	NH <sub>4</sub> I	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>

*Tabelle 2: Gebräuchliche Salztracer (Stoffdaten). LD50: Ratte, oral; k. A.: keine Angaben*

Bezeichnung	Summenformel	CASRN	Formelmasse (IUPAC 2001)	Löslichkeit (g/l; 25 °C) (CRC 1997)	Löslichkeit (g/l; 10 °C) (CRC 1997)	Dichte (g/cm <sup>3</sup> ; 20 °C)	LD50 (mg/kg)
di-Natriumtetraborat-decahydrat (Borax)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	1303-96-4	381.37	*51.4 (20 °C)	k. A.	1.72	*2660
Ammoniumbromid	NH <sub>4</sub> Br	12124-97-9	97.94	780	672	2.43	*2714
Lithiumbromid	LiBr	7550-35-8	86.85	1804	1506	3.46	*1800
Kaliumbromid	KBr	7758-02-3	119.00	676	595	2.74	*3070
Natriumbromid	NaBr	7647-15-6	102.89	943	848	3.20	*3500
Lithiumchlorid	LiCl	7447-41-8	42.39	843	738	2.07	*526
Natriumchlorid	NaCl	7647-14-5	58.44	359	357	2.17	*3000
Kaliumchlorid	KCl	7447-40-7	74.55	354	309	1.99	*2600
Magnesiumchlorid	MgCl <sub>2</sub>	7786-30-3	95.21	558	535	2.33	*2800
Magnesiumchlorid-hexahydrat	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	7791-18-6	203.30	*1670 (20 °C)	k. A.	1.56	*8100
Strontiumchlorid	SrCl <sub>2</sub>	10476-85-4	158.53	546	491	3.05	*2250
Strontiumchlorid-hexahydrat	SrCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	10025-70-4	266.62	*530 (20 °C)	483	1.96	k. A.
Ammoniumsulfat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7783-20-2	132.14	761	727	1.77	*2840
Lithiumnitrat	LiNO <sub>3</sub>	7790-69-4	68.95	1017	602	2.38	k. A.
Natriumnitrat	NaNO <sub>3</sub>	7631-99-4	84.99	909	798	2.26	*1267
Kaliumnitrat	KNO <sub>3</sub>	7757-79-1	101.10	382	214	2.11	*3750
Ammoniumnitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	6484-52-2	80.04	2119	1506	1.72	*2462

CASRN: Chemical Abstracts Service Registry Number

LD50: letale Dosis in mg/kg Körpergewicht, die für 50 % der Testsubjekte tödlich ist

\*VWR International (2005): Chemikalien Reagenzien. – Katalog, Darmstadt (Merck KGaA)

LIDE, D.R., Ed. (1997): CRC Handbook of Chemistry and Physics. – 78th ed., Boca Raton-New York (CRC Press)

COPLEN, T.B. (2001): Atomic Weights of the Elements 1999. – Pure Appl. Chem., **73** (4), 667-683, IUPAC.

## Organische Farbstoffe

Eine sehr wichtige Stellung nehmen die organischen Farbstoffe; insbesondere die fluoreszierenden Farbstoffe in der Tracerhydrologie ein (*Tabelle 3*). Eine bestimmte Klasse von ursprünglich als Zufallsprodukt in der Textilfarbsterzeugung entdeckten Stoffen eignet sich hervorragend für Anwendungen in der Hydrologie und Hydrogeologie. Beispiele sind Natrium-Fluorescein, als Handelsprodukt auch unter dem Namen Uranin bekannt, oder verschiede-

ne optische Aufheller wie Tinopal. Durch ihre auch in sehr großen Verdünnungen messbare Fluoreszenz im UV- bzw. im sichtbaren Bereich des Lichts und eine über mehrere Größenordnungen lineare Konzentrationsabhängigkeit wurden sie schon sehr früh eingesetzt (siehe [Kapitel 1.3](#)). Die visuelle Wahrnehmbarkeit in offenen Gewässern hängt einerseits stark von der Konzentration, andererseits aber auch von den örtlichen Lichtverhältnissen, der optischen Schichtdicke des Messmediums und einer allfälligen Schwebstoffführung bzw. organischen Belastungen ab. So kann z. B. Uranin in einem Flusslauf mit ca. 1 m Wasserstand auch dann noch mit freiem Auge erkannt werden, wenn eine am selben Ort entnommene Wasserprobe im Becherglas keinerlei Anzeichen einer Färbung zeigt.

Tabelle 3: Übersicht über gängige Fluoreszenztracer. k. A. keine Angaben

	Uranin	Eosin G (gelblich)	Sulforhodamin G	Sulforhodamin B	Rhodamin B	Rhodamin WT	Pyranin	Na-Naphthionat	Tinopal CBS-X
C.I. Nr.	45 350	45 380	45 220	45 100	45 170	k. A.	59 040	k. A.	351
C.I. Name	Acid Yellow 73	Acid Red 87	Acid Red 50	Acid Red 52	Basic Violet 10	Acid Red 388	Solvent Green 7	k. A.	Fluorescent Brightener 351
CASRN	518-47-8	17372-87-1	5873-16-5	3520-42-1	81-88-9	37299-86-8	6358-69-6	130-13-2	27322-41-8
NIOSH-RTECS	LM 5425000	LM 5850000	k. A.	BP 6750000	BP 3675000	KH 2737000	UR 2700000	k. A.	DB 5044530
Summenformel	$C_{20}H_{10}Na_2O_5$	$C_{20}H_6Br_4Na_2O_5$	$C_{25}H_{26}N_2Na_2O_7S_2$	$C_{25}H_{29}N_2NaO_7S_2$	$C_{28}H_{31}ClN_2O_3$	$C_{29}H_{29}ClN_2Na_2O_5$	$C_{16}H_7Na_3O_{10}S_3$	$C_{10}H_8NNaO_3S \cdot xH_2O$	$C_{28}H_{20}Na_2O_6S_2$
Formelmasse	376.27	691.85	608.71	556.62	479.01	566.98	524.39	245.23 + $H_2O$	562.56
Löslichkeit (g/l)	500	300	20	20	15	flüssig	178	240	25 (25 °C)
Nachweisgrenze (mg/m³)	0.001	0.01	0.005	0.006	0.006	0.006	0.008	0.3	0.3
Fotolytische Halbwertszeit (h)	11 sehr niedrig	6 sehr niedrig	770 hoch	820 hoch	780 hoch	1300 hoch	46 niedrig	41 niedrig	31 niedrig
pH-Abhängigkeit	hoch	mittel	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	hoch	niedrig	niedrig
Sorptionstendenz	sehr niedrig	niedrig	mäßig	mäßig	hoch	mäßig	sehr niedrig	niedrig	hoch
Temperatur-koeff.	0.004	-0.00036	0.0035	0.029	0.027	0.027	0.0019	k. A.	-0.0365
Anregungsmax. (nm)	491	515	535	560	555	558	405 / 465	325	364
Fluoreszenzmax. (nm)	515	535	555	584	580	583	512	420	434
Wellenlängen-Diff.	24	20	20	24	25	25	107 / 47	95	70
Hersteller	MERCK, FLUKA, RIEDEL de HAEN, SIGMA-ALDRICH, ORGANIC DYESTUFF CORP.	MERCK, FLUKA, RIEDEL de HAEN, BASF	ORGANIC DYE-STUFF CORP. (USA)	MERCK, FLUKA, RIEDEL de HAEN, BASF, ORGANIC DYESTUFF CORP.	MERCK, FLUKA, RIEDEL de HAEN, BASF	DUPONT, COLE PALMER, ORGANIC DYESTUFF CORP.	BAYER, SERVA, LANXESS	FLUKA	CIBA-Geigy

C.I. Nr.: Colour Index Number

C.I. Name: Colour Index Name

CASRN: Chemical Abstracts Service Registry Number

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health, USA

RTECS: Registry of toxic effects of chemical substances

Formelmassen (gerundet auf 2 Dezimalen) nach IUPAC (COPLEN, 2001)

Löslichkeit: in  $H_2O$ -dest bei 20 °C

Nachweisgrenze: nicht statistisch definiert, sondern Angabe für praktisch erreichbare Werte in reinem Wasser, hohe Schwebstoffführung kann die Werte drastisch verschlechtern

Fotolytische Halbwertszeit: jene Zeit in Stunden, nach der unter definierten Versuchsbedingungen in Testlösungen die Fluoreszenz zur Hälfte abgenommen hat (BEHRENS &amp; TEICHMANN, 1982)

Temp.-koeff.: Temperaturkoeffizient, welcher die Abnahme der Fluoreszenzintensität pro °C Erwärmung angibt

Anregungs- und Fluoreszenzmaxima beziehen sich auf alkalisches Milieu (pH 7–8.5) und Wasser als Lösungsmittel. Die Zahlenwerte sind ein Anhalt, im konkreten Fall müssen die optischen Eigenschaften an Hand eines Referenzmaterials untersucht werden.

Hersteller: Es sind nur die gängigsten Hersteller angeführt.

## Isotopentracer

Die Radioisotope einer Reihe von Elementen gehören zu jener Gruppe von Tracern, die sich in der hydrogeologischen Praxis bewährt haben.

Die speziellen Techniken und die Rücksichten auf den Strahlenschutz, die bei der Einspeisung, der Probenahme und der Analytik angewendet werden müssen, machen allerdings ihren Einsatz im Allgemeinen aufwendig und teuer.

Radioaktive Tracer werden aufgrund ihrer Strahlung nachgewiesen. Im Gegensatz zu jenen **radioaktiven** Tracern, die bereits zum Zeitpunkt ihres Einsatzes Strahlung unterschiedlicher Art abgeben ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Strahler), werden **aktivierungsanalytische** Stoffe zunächst als nicht-radioaktive Tracer eingespeist und erhalten ihre Aktivität erst nach der Probennahme und der nachfolgenden Bestrahlung im Reaktor.

Als Tracer haben sich vor allem jene Radionuklide und Isopenverbindungen (EDTE-Komplexe) bewährt, die  $\gamma$ -Strahlen aussenden, und die auch noch nach extrem starker Verdünnung vor Ort mithilfe hochempfindlicher Detektoren nachzuweisen sind.

Eben diese hohe Mess- und Nachweisempfindlichkeit radioaktiver Stoffe ist das Besondere dieser Tracer, daher genügen für eine Markierung bereits kleinste Mengen, wodurch die chemische Belastung für die Gewässer äußerst gering gehalten werden kann. Für den guten Nachweis sind vor allem die Art und Intensität der Strahlung maßgebend. Die injizierte Tracermenge kann deshalb zumeist weit geringer gehalten werden, als bei den übrigen Tracern erforderlich wäre – womit die physikalischen Eigenschaften des markierten Wassers praktisch nicht verändert werden. Die Radioaktivität hat keinen Einfluss auf die Transporteigenschaften des betreffenden Tracers. Das Transportverhalten, der Durchgang durch den Aquifer, hängt allein von den chemischen Eigenschaften des Tracers ab.

Außerdem „verschwinden“ diese Tracer aufgrund ihres radioaktiven Zerfalls mit der Zeit aus dem markierten System. Bei kurzen Halbwertszeiten ist daher auch eine mehrmalige Verwendung des gleichen Tracers im selben Gebiet möglich. Da sich der Zerfall statistisch exakt nach dem Zerfallsgesetz berechnen lässt, ist hierin keine weitere Unsicherheit gegeben. Zusätzlich zu den klassischen Fragestellungen können mit den Isotopentracern Aufgaben gelöst und Studien durchgeführt werden, für die sich andere Markierungsstoffe nicht eignen. Isopenverbindungen können „maßgeschneiderte“ Eigenschaften für gezielte Fragestellungen erhalten (z. B. für Fragen des Düngertransports in der ungesättigten Zone).

Als Nachteil ist zweifellos die mögliche Strahlenbelastung zu sehen, die sich hauptsächlich bei der Tracereingabe für das Personal ergibt, die aber nach technischen Vorkehrungen und unter Befolgung der rechtlichen Bestimmungen und der Strahlenschutzverordnung ausgeschaltet werden kann. Nach Verdünnung und Verteilung im hydrologischen System ist die spezifische Radioaktivität im Wasser so niedrig, dass die von ihr ausgehende Strahlenbelastung nur unwesentlich über der Umweltstrahlung liegt.

Fragen über die Herkunft und Neubildung der Grundwässer sowie deren mittlere Verweilzeit im Untergrund können mithilfe der **Umweltisotope** beantwortet werden – und zwar über deren Konzentration und Zusammensetzung. Als Umweltisotope werden die stabilen und radioaktiven Isotope von chemischen Elementen bezeichnet, die in unserer Umwelt vorkommen. Für hydrologische Fragestellungen werden am häufigsten die Isotope der Elemente des Wassermoleküls und die des Kohlenstoffs analysiert.

Wasserstoff- und Sauerstoffisotope, die Teile des Wassermoleküls sind, eignen sich hervorragend als Tracer, da sie keine Bindung mit dem Grundwasserleiter eingehen. Von diesen Isopen ist allein das schwere Wasserstoffisotop Tritium ( ${}^3\text{H}$ ) instabil, es zählt zur niedrigsten radio-toxikologischen Klasse. Nachteilig für den raschen Nachweis ist, dass Tritium ein  $\beta$ -Strahler ist und sich damit im Gelände nur sehr schwer nachweisen lässt.

Neben dem Umweltisotop Tritium haben sich für spezielle Anwendungen auch die radioaktiven Tracer Jod-131, Brom-82, Chrom-51, Indium-111m und Technetium-99m in der Markierungstechnik bewährt. Ihre Halbwertszeiten sind relativ kurz, ihre chemischen Eigenschaften allerdings so unterschiedlich, dass ihr Einsatz entsprechend der fachlichen Aufgabenstellung erfolgt. So werden Jod-131 und Indium-111m wesentlich stärker durch klastisches und organisches Material sorbiert als Br-82 und Technetium-99m. Diese Vorgänge können allerdings mittels Komplexbildner (z. B. EDTE-Komplex) gesteuert werden, sodass für den Aquifer, wie etwa im Falle des Kobalt-58- und des Chrom-51-EDTE-Komplexes, „maßgeschneiderte“ Tracer entstehen.

In den folgenden Tabellen sind die in der Tracerhydrologie erfolgreich verwendeten künstlichen Radioisotope (*Tabelle 4*) und aktivierungsanalytischen Tracer (*Tabelle 5*) angeführt:

*Tabelle 4: Radioisotope in der Tracerhydrologie*

Radioisotop	Chemische Verbindung	Halbwertszeit (T 1/2)	Strahler	Max. zulässige Konz. im Trinkwasser (*) (kBq/m <sup>3</sup> )
<sup>3</sup> H (T)	HTO	12.43 a	$\beta$	$1 \times 10^2$
<sup>99m</sup> Tc	TcO <sub>4</sub>	6.0 h	$\gamma$	$6,2 \times 10^3$
<sup>24</sup> Na	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	15.0 h	$\beta, \gamma$	$3,2 \times 10^2$
<sup>82</sup> Br	NH <sub>4</sub> Br	35.7 h	$\beta, \gamma$	$2,5 \times 10^2$
<sup>198</sup> Au	HAuCl <sub>4</sub>	2.7 d	$\beta, \gamma$	$1,4 \times 10^2$
<sup>111</sup> In	InCl	ca. 3 d	$\gamma$	$4,7 \times 10^2$
<sup>131</sup> I	KI	8.05 d	$\beta, \gamma$	$6,2 \times 10^0$
<sup>51</sup> Cr	Cr-EDTE-Komplex	27.8 d	$\gamma$	$3,6 \times 10^3$
<sup>114m</sup> In	In-EDTE-Komplex	50 d	$\beta, \gamma$	$3,3 \times 10^1$
<sup>58</sup> Co	(Co(CN) <sub>6</sub> ) <sup>3-</sup> -Komplex	70.8 d	$\beta, \gamma$	$1,9 \times 10^2$

(\*) die Berechnungen gehen von einer jährlichen Konsumationsmenge von 730 l/Jahr (entspricht durchschnittlichem Trinkwasserkonsum von 2 l/Tag/Person), von Dosiskonversionsfaktoren [h(g)] für Erwachsene, von einer Ingestion nach RL96/29/EURATOM sowie von einer Gesamtrichtdosis von < 0,1 mSv/Jahr aus (entsprechend der Trinkwasserverordnung BGBl II Nr. 304/2001, p. 1815, bzw. ÖNORM S 5251)

*Tabelle 5: Aktivierungsanalytische Tracer, T 1/2: Halbwertszeit nach Aktivierung*

Tracer-Element	Chemische Verbindung	Aktivierungsprodukt	T 1/2
Brom	Br	<sup>80</sup> Br	17.6 min
Indium	In-EDTE-Komplex	<sup>116m</sup> In	54 min
Dysprosium	Dy-EDTE-Komplex	<sup>165</sup> Dy	139 min

### Sonstige gelöste Tracer

Gerade im Bereich der sogenannten chemischen Tracer gibt es eine Unzahl von Substanzen, die gelöst grundsätzlich als hydrologisch brauchbar angesehen werden können. Doch abgesehen von ihrem unbeabsichtigten Eintrag in den Wasserkreislauf (bei Unglücksfällen verschiedenster Art) scheiden die meisten aufgrund ihrer Reaktivität und mangelnden Umweltverträglichkeit, ihrer potenziellen Gesundheitsgefährdung oder auch nur aus Gründen zu hoher Herstellungskosten aus.

### 2.1.3 Umwelt- und Gesundheitsaspekte gelöster Tracer

Jede Wasserbenutzung führt nicht nur zu quantitativen, sondern auch zu qualitativen Beeinflussungen. Wachsendes Umweltbewusstsein erfordert daher auch bei der Einbringung von Markierungsstoffen in das Grundwasser oder in ein Oberflächengewässer eine entsprechende Kenntnis allfälliger umweltrelevanter Effekte. Kenntnisse zur Toxizität und zum Abbauverhalten sind daher von besonderer Wichtigkeit, dazu gehört auch die richtige Einschätzung der bei einem Markierungsversuch einzusetzenden Mengen.

Die Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Tracersubstanzen beinhalten Angaben zur Humantoxizität sowie zur Ökotoxizität, erstere als Indikator für mögliche Beeinträchtigungen von Trinkwasserversorgungen, letztere als Indikator für Beeinträchtigungen des aquatischen Lebens, insbesondere in Oberflächengewässern.

Für die in diesem Leitfaden angeführten Tracer ([Tabelle 6](#)) wurde im Rahmen eines Arbeitskreises beim Deutschen Umweltbundesamt eine human- und ökotoxikologische Bewertung durchgeführt (DEUTSCHES UMWELTBUNDESAMT, 1997). Neben der Auswertung entsprechender Literatur wurden auch eigene Tests durchgeführt. Die Vergleichbarkeit von Literaturdaten, vor allem über ältere Testergebnisse, ist zum Teil schwierig, da nicht immer alle Versuchsbedingungen (z. B. genaue Bezeichnung der Testsubjekte, Expositions- bzw. Verabreichungsdauer und -art, Konzentrationen etc.) mitgeteilt wurden. Einen groben Anhalt liefern die in den Sicherheitsdatenblättern der Hersteller angeführten LC50- bzw. LD50-Werte (LC50: letale Konzentration in mg/l, bzw. LD50: letale Dosis in mg/kg Körpergewicht), die den Tod von 50 % der Testsubjekte bedeuten. Ein Vergleich ist jedoch nur dann möglich, wenn die Testbedingungen exakt dokumentiert sind.

Die Methodik für humantoxikologische Untersuchungen stellt eines der schwierigsten Kapitel dar. Dazu bedient man sich der In-Vitro- („im Reagenzglas“) und der In-Vivo- („am lebenden Organismus“) Methoden. Im Rahmen dieser Methoden werden die Mutagenität und in weiterer Folge die Karzinogenität in abgestuften Verfahren untersucht. Mutagenitätstests sind im Vergleich zu Untersuchungen der Karzinogenität leichter und billiger durchzuführen, darüber hinaus besteht im Allgemeinen auch eine enge Korrelation zwischen Mutagenität und Karzinogenität. Wichtige In-Vitro-Tests, bei denen die Beeinflussungen hinsichtlich bestimmter Zelltypen untersucht werden, sind der Salmonella-Mikrosomtest und die zytogenetische Analyse von Säugetierzellen. Für In-Vivo-Tests werden Mäuse, Ratten, Kaninchen und Hamster herangezogen. Direkte Untersuchungen am Menschen erfolgten bisher nur im Ausnahmefall, z. B. bei der Untersuchung von Hautirritationen oder bei der Verwendung von Fluoreszenzfarbstoffen als Kontrast- oder Färbemittel in der Medizin.

Ökotoxikologische Untersuchungen umfassen Tests zur Fischtoxizität bzw. an Weich- bzw. Krustentieren. Derartige Untersuchungen sind von Interesse für die Bewertung der Belastungen während der Dauer eines Markierungsversuchs und insbesondere im Bereich der Eingaben bestehen.

Zusammenfassend kam der oben erwähnte Arbeitskreis zum Schluss, dass der überwiegende Teil der in der Hydrologie bzw. Hydrogeologie eingesetzten Markierungsmittel weitgehend unbedenklich ist.

*Tabelle 6: Zusammenfassende Übersicht zur toxikologischen Bewertung von Markierungsstoffen. Die nachstehende Übersicht ist dem Bericht des Deutschen Umweltbundesamts (1997) entnommen. T: toxikologische Tests, L: Literaturrecherche, W: Expertenwissen*

Markierungsstoff *)	Toxikologische Bewertung	Bewertungsgrundlage
Uranin	unbedenklich	T, L
Eosin gelblich	unbedenklich	L, W
Sulforhodamin G	unbedenklich	T
Sulforhodamin B	ökotoxikologisch bedenklich	T
Rhodamin B	nicht zu empfehlen	T, L
Rhodamin WT	nicht zu empfehlen	T
Pyranin	unbedenklich	T
Na-Naphthionat	unbedenklich	T
Tinopal CBS-X	unbedenklich	T
Lithiumsalze	mit Einschränkungen unbedenklich	L, W
Strontiumsalze	mit Einschränkungen unbedenklich	L, W
Bromide	mit Einschränkungen unbedenklich	L, W
Aktivierungsanalytische Tracer	mit Einschränkungen unbedenklich	L, W
Fluoreszierende Mikrosphären	unbedenklich	T, W
Sporen	unbedenklich	T, W

\*) unter verschiedenen Handelsbezeichnungen

Die in *Tabelle 6* angeführten Markierungsstoffe sowie Chloride unterliegen nicht den Bestimmungen der Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer – QZV Chemie OG (BGBl. 96/2006), doch ist beim Einsatz von Chloridverbindungen, insbesondere bei der Verwendung von Natriumchlorid (Kochsalz), zu berücksichtigen, dass die Konzentrationen beim Wiederaustritt in Trinkwasserversorgungsanlagen die Grenzwerte für Chlorid und Natrium für Trinkwasser nicht übersteigen. Gemäß Trinkwasserverordnung (BGBl 304/2001) gelten folgende Grenzwerte:

- Chlorid: ..... 200 mg/l
- Natrium: ..... 200 mg/l

Der Einsatz von Kochsalz bei Durchflussmessungen in Fließgewässern (Salzverdünnungsmethode) stellt erfahrungsgemäß keine Gefährdung aquatischer Organismen (Fische) dar, da die hier auftretenden Konzentrationen nur über einen sehr kurzen Zeitraum wirksam sind.

**Für alle Tracer gilt das Minimierungsgebot („so wenig wie möglich, so viel wie notwendig“).**

## 2.2 Übersicht der Analyseverfahren

In den *Tabellen 7 und 8* erfolgt die Bewertung der Analyseverfahren ohne Anwendung zusätzlicher Anreicherungs- und Extraktionsmethoden. Eine Übersicht der Analyseverfahren für Isotope ist den *Tabellen 9 bis 11* zu entnehmen. Vorausgesetzt wird, dass die Analytik in entsprechend ausgerüsteten Labors und ebenso durch entsprechend ausgebildetes Personal erfolgt.

Tabelle 7: Verfahren für Partikeltracer (Abkürzungen und Zeichen s. unten)

Verfahren	gefärbte Bärlappsporen	fluoreszierende Sporen	Mikrosphären
1. Probensammlung a) Planktonnetz b) Wasserprobe c) Membranfiltration	a), c)	a), c)	b), c)
2. chemische und mechanische Trennverfahren	+	+	—
3. mikroskopische Auszählung	+	+	+
4. Zytometrie	—	—	+

Tabelle 8: Verfahren für Salze und Fluoreszenztracer (Abkürzungen und Zeichen s. unten)

Verfahren	Anorganische Salze	Fluoreszenz- tracer	Nachweisgrenze
A-SPM	—	+	F +
F-SPM	—	+++	F +++
IR-SPM	—	+	F +
FAAS	++	—	S ++
FAES	++	—	S ++
ICP	++	—	S ++(+)
ICP-MS	+++	—	S +++ F —
IC-LF/AMP	++	—	S +++
IC-UV	+(-)	+	S ++ F +
HPLC-UV	+(-)	+	S ++ F +
HPLC-FLU	—	+++	F ++
Konduktometrie	(+)	—	S (+)
Potentiometrie	+(-)	—	S +
Polarografie, Amperometrie	++(+)	—	S +(-)

— nicht anwendbar, + geeignet (Verfahren), ++ Standard bis gut, +++ sehr gut, höchste Empfindlichkeit und Selektivität, ++(+) je nach konkreter Methodik

S: Salze, F: Fluoreszenztracer

A-SPM: Absorptions-Spektrofotometrie

F-SPM: Fluoreszenz-Spektrofotometrie

IR-SPM: Infrarotspektrofotometrie

FAAS: Flammen-Atomabsorptions-Spektrofotometrie

FAES: Flammen-Atomemissions-Spektrofotometrie

ICP: Induktiv-gekoppelte Plasmaemissions-Spektrofotometrie

ICP-MS: Induktiv-gekoppelte Plasmaemissions-Spektrofotometrie mit nachgeschalteter Massenspektrometrie

IC-LF/AMP: Ionenchromatografie mit Leitfähigkeits- bzw. amperometrischer Detektion

IC-UV: Ionenchromatografie mit UV-Detektion

HPLC-UV: Hochleistungs-Flüssigkeitschromatografie mit UV-Detektion

HPLC-FLU: Hochleistungs-Flüssigkeitschromatografie mit Fluoreszenz-Detektion

Eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Analyseverfahren kann durch Kopplung verschiedener Verfahren erreicht werden, insbesondere durch quantitative Anreicherung. In der Übersicht nicht enthalten sind biochemische Methoden wie z. B. enzymatische Verfahren. Dabei werden zum Nachweis eines Tracers Enzyme mit hoher Substanzspezifität eingesetzt. In der Tracerhydrologie spielen diese Verfahren bisher keine Rolle.

*Tabelle 9: Analyseverfahren für stabile Isotope (Schlüssel am Ende von [Tabelle 11](#))*

Isotop	Verfahren	Ort der Messung	Messunsicherheit
<sup>2</sup> H	4	Labor	± 1.0 %
<sup>18</sup> O	4	Labor	± 0.1 %
<sup>13</sup> C	4	Labor	± 0.1 %
<sup>15</sup> N	4	Labor	± 0.1 %

*Tabelle 10: Analyseverfahren für Radioisotope (Schlüssel am Ende von [Tabelle 11](#))*

Radioisotop	Strahler	Verfahren	Ort der Messung	Nachweisgrenze Bq/l
<sup>3</sup> H	β	1	Labor	0.03
<sup>99m</sup> Tc	γ	2, (3)	Labor	10
<sup>24</sup> Na	γ	2, 3	Labor (Feld) *)	5 (ca. 70)
<sup>82</sup> Br	γ	2, 3	Labor (Feld) *)	5 (ca. 70)
<sup>198</sup> Au	γ	2, 3	Labor	5
<sup>111</sup> In	γ	2, 3	Labor	5
<sup>131</sup> I	γ	2, 3	Labor (Feld) *)	5 (ca. 200)
<sup>51</sup> Cr	γ	2, 3	Labor (Feld) *)	35 (ca. 2000)
<sup>114m</sup> In	γ	2, 3	Labor	30
<sup>58</sup> Co	γ	2, 3	Labor (Feld) *)	5 (ca. 180)

\*) die Nachweisgrenze im Gelände ist ein Vielfaches von der im Labor, auch abhängig von der Art des Detektors und der Abschirmung

*Tabelle 11: Verfahren für aktivierungsanalytische Tracer (Schlüssel am Ende der Tabelle)*

Tracer-Element	Chemische Verbindung	Verfahren
Brom	NH <sub>4</sub> Br	1, 2
Indium	In-EDTE *)	1, 2
Dysprosium	Dy-EDTE	1, 2

\*) EDTE = Ethylen-Diamin-Tetra-Essigsäure

#### **Messverfahren für Radioisotope**

Betastrahler: 1 = Flüssigszintillator, Zählrohr

Gammastrahler: 2 = NaJ-Kristalldetektor, Geiger-Müller-Detektor

3 = NaJ-Szintillationsdetektor, Halbleiterdetektor, Ge-Detektor (mit und ohne Vielkanalanalysatoren)

#### **Messverfahren für stabile Isotope**

4 = Massenspektrometer

#### **Aktivierungsanalyse**

1 = Aktivierung durch Neutronenbestrahlung,

2 = NaJ-Szintillationsdetektor, Halbleiterdetektor, Ge-Detektor (mit und ohne Vielkanalanalysatoren)

## 3 Organisation und Durchführung

### 3.1 Planung und Vorbereitung

Jeder Markierungsversuch stellt einen Eingriff in den untersuchten Wasserkörper dar. Um ein eindeutiges und möglichst aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, sind eine gewissenhafte Vorbereitung und Grundlagenbeschaffung sowie eine organisatorisch und fachlich einwandfreie Durchführung auch hinsichtlich des für die Fragestellung optimalen Zeitraums erforderlich.

Der Umfang der Planungsarbeiten richtet sich nach den Zielen des Markierungsversuchs. Es ist erforderlich, eine klare Abgrenzung der Aufgaben- und Fragestellungen im Zuge der Vorbereitung gemeinsam mit dem Auftraggeber und den beteiligten Personen oder Parteien durchzuführen. Notwendige Voruntersuchungen, die erfahrungsgemäß zeit- und kostenaufwendig sind, sind mit dem Auftraggeber im Voraus abzusprechen.

Im vorgesehenen Untersuchungsgebiet sind unter Sichtung und Bewertung vorhandener Unterlagen vor allem zu erheben:

- Ergebnisse bereits durchgeföhrter Markierungsversuche (insbesondere eingesetzte Tracer)
- Quell- und Brunnenaufnahmen
- geologische und hydrogeologische (einschließlich speläologischer) Aufnahmen
- hydrografische und hydrometeorologische Grundlagen
- Trinkwasserfassungen (Einzelversorgungen oder kommunale Versorgungen, Planung von Ersatzwasserversorgungen während der Versuchsdauer im Falle von unerwarteten Färbungen)
- andere Wassernutzungen
- Wasserrechte
- Besitz- und Eigentumsverhältnisse
- Naturschutzbestimmungen
- Sonstige rechtliche Belange.

Eine Planung darf keinesfalls nur vom sprichwörtlichen grünen Tisch aus erfolgen, sondern muss sich vor Ort fortsetzen. Persönliche Kontaktaufnahme mit allen betroffenen öffentlichen Stellen, Körperschaften und Privatpersonen ist zu empfehlen. Sind die notwendigen Unterlagen-erhebungen und Bewertungen durchgeführt, kann die Detailplanung erfolgen. Vorbegehungen im Gelände können dann meist rationeller und effektiver durchgeführt werden.

### 3.2 Vorbegehungen

Wichtig ist, dass für die Versuchsdurchführung relevante Informationen aus Gesprächskontakten mit dem Auftraggeber und involvierten Personen und Institutionen sowie aus der Unterlagenerhebung im Gelände überprüft werden. Die Besitzverhältnisse und die Zugänglichkeit müssen vor der Versuchsdurchführung geklärt werden. Bei behördlichen und gerichtlichen Verfahren kann es unter Umständen notwendig sein, die Zugänglichkeit per Bescheid oder sogar Gerichtsbeschluss zu erwirken.

Die Geländebegehungen müssen die vorgesehenen Einspeisungsstellen wie auch alle Beobachtungsstellen erfassen. Begehungen sollten auch bei unterschiedlichen hydrometeorologischen Verhältnissen (z. B. Schneeschmelze, Niederwasser, Regen) stattfinden. Wenn dies nicht möglich ist, muss zumindest versucht werden, die Wasserführung und Zugänglichkeit bei anderen Verhältnissen abzuschätzen. In Siedlungsgebieten sowie bei ober- oder untertägigen Bauwerken treten noch zusätzliche Gesichtspunkte hinzu, insbesondere Sicherheitsfragen (z. B. sichere Zugänglichkeit und Gefährdungsminimierung für durchführendes Personal bei Kanal-, Stollen- und Tunnelbauwerken, Kraftwerksbauten etc.).

## **Karst- und Kluftgrundwasserleiter**

Im hochalpinen Bereich ist zu beachten, dass Schwinden oft nur zu bestimmten Jahreszeiten und unter speziellen hydrologischen Situationen (z. B. Schneeschmelze, Starkregenereignisse) aktiv sind. Die Suche nach geeigneten Einspeisungsstellen, insbesondere die „Schwindensuche“ im Karst, ist ein ganz wesentlicher Teil der Vorbereitung eines Markierungsversuchs, da für Einspeisungen Stellen zu bevorzugen sind, an denen ständig Wasser in den Untergrund eintritt. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese Stellen in den Kartenwerken zu finden sind. Sogar eingetragene Quellsignaturen weisen nicht unbedingt auf wirklich existierende und für eine Einspeisung geeignete Wasserstellen hin. Sie sind allenfalls Anhaltspunkte, deren Umgebung genau abgesucht werden muss.

Für die Suche nach geeigneten Einspeisungsstellen empfiehlt es sich, ortskundige Personen, z. B. interessierte Grundstücksbesitzer, Forst- und Jagdaufsichtsorgane oder Mitglieder alpiner Vereine zu gewinnen. Eine Kontaktaufnahme mit Personen aus dem Kreis der Höhlenkundlichen Vereine, die im Verband Österreichischer Höhlenforscher zusammengeschlossen sind, ist ebenfalls zu empfehlen. Der Verband und seine Mitgliedsvereine führen einen flächen-deckenden Kataster über Höhlen und Karsterscheinungen und halten regelmäßig fachliche Kurse und Schulungen für ihre Mitglieder ab, sodass in vielen Fällen eine gewisse Fachkenntnis erwartet werden kann. Der österreichische Höhlenkataster ist nach Gebirgsgruppen gegliedert und enthält Unterlagen, in denen sich Beobachtungen über Wasser führende Höhlen oder gelegentlich auch über Karstquellen finden lassen.

In nicht verkarsteten Gebieten werden im Verhältnis zu den Karstgebieten nur wenige Unterlagen über geeignete Einspeisungsstellen vorhanden sein. Dort müssen für Einspeisungen entweder vorhandene künstliche Aufschlüsse verwendet oder neue hergestellt werden. Wichtig ist dabei die Kenntnis des effektiv Wasser führenden Bereichs.

Bei Markierungsversuchen im Hochgebirge und in schwer zugänglichen Gebieten kann es notwendig sein, Hubschrauber einzusetzen. Im Zuge der Begehungen müssen dafür die entsprechenden Lande- oder Absetzplätze für Außenlasten festgelegt werden, wofür Personen mit entsprechender Erfahrung (z. B. Bergrettung) beigezogen werden sollten.

Die gewissenhafte Festlegung des Beobachtungsrahmens erfordert stets umfangreiche Vorbegehungen. Grundsätzlich muss zunächst davon ausgegangen werden, dass alle Wasser-austrittstellen, die tiefer als die Einspeisungsstelle liegen, von einer Einspeisung betroffen werden können. Wenn eine detaillierte Quellaufnahme des Gebiets vorliegt, erleichtert das die Arbeit wesentlich. Trotzdem müssen die Quellen begangen und die genauen Beobachtungspunkte festgelegt werden. Bei Quellgruppen sind unbedingt mehrere Austritte zu beobachten, weil es sich immer wieder gezeigt hat, dass in den einzelnen Austritten unterschiedliche Tracerkonzentrationen auftreten, was unter Umständen detailliertere Aussagen über den Entwässerungsmechanismus des zugrunde liegenden Aquifers zulässt.

## **Porengrundwasserleiter**

Einspeisungen in Porengrundwasserleiter werden meist in dafür geeignete Sonden, Brunnen, Bohrungen oder Röschen erfolgen. Vorbegehungen sind wichtig, um die Zufahrtsmöglichkeiten und die technische Abwicklung der Einspeisung zu gewährleisten. Vor allem aber ist der Absteckung des Beobachtungsrahmens großes Augenmerk zu schenken. Alle Bohrungen, Brunnen und allfällige natürliche Grundwasseraustritte sind zu erfassen und die Vorfluter auf mögliche Grundwasserex- und -infiltrationen abzusuchen.

Tracerversuche in Lockersedimenten werden häufig von Bohrungen aus durchgeführt. In diesem Fall kann der Tracer direkt in die grundwassergesättigte Zone eingebracht werden. Bekanntlich wird ein Aquifer aufgrund seines inhomogenen Aufbaus vom Grundwasser nicht gleichförmig durchflossen, es gibt innerhalb der gesättigten Zone Teufenabschnitte, in denen das Wasser stagniert und solche, in denen es fließt. Von Bedeutung für die Einspeisung ist es,

den Tracer in den effektiven Teil des Grundwasserleiters zu injizieren, denn nur dann ist der zeitgerechte und gesamte Abzug des Tracers gewährleistet. Zur Auffindung der effektiv Wasser führenden Abschnitte wird mit der Flügelradsonde (Flowmeter, Rheometer) die vertikale Geschwindigkeitsverteilung bestimmt. Damit ist eine Lokalisierung geeigneter Einspeisehorizonte möglich.

### **Tiefengrundwasser**

Tracerversuche im Rahmen von Tiefengrundwasseruntersuchungen sind besonders anspruchsvoll, da die Einzugsgebiete dieser Wässer zumeist weit ausgedehnt sind, in große Tiefen reichen können, die Fließbewegungen in Summe sehr langsam sind und die Gesamtmineralisation der Wässer häufig überdurchschnittlich hoch ist. Erschwerend kommt hinzu, dass es zumeist nur wenige Aufschlüsse dieser Wässer in der näheren Umgebung der Einspeisestelle gibt. Abgesehen davon bestehen riesige Unterschiede in der Vorbereitung und Durchführung eines Markierungsversuchs im Tiefengrundwasserkörper selbst – also von Bohrung zu Bohrung – oder eines Markierungsversuchs von der Landoberfläche aus.

Es muss daher noch vehementer als bei seichter liegenden Grundwässern gefordert werden, mit dem Markierungsversuch erst dann zu beginnen, wenn die umfassenden Voruntersuchungen abgeschlossen sind. Diese müssen Informationen liefern über:

- die Lage sämtlicher Grundwassererschließungen und natürlicher Wasseraustritte im Umfeld des betroffenen Objekts
- die quantitativen und qualitativen Kennwerte dieser Stellen (besonderes Augenmerk ist auf die isotopische Zusammensetzung der Wässer zu legen, da daraus hervorgeht, ob eine Jungwasserkomponente im „alten“ Tiefengrundwasser enthalten ist)
- den Ausbau der Bohrungen
- die Tiefenlage der effektiven Grundwasserleiter
- die Druckverhältnisse
- die Funktion und Wirksamkeit von Injektionsvorrichtungen (Packersysteme, besonders wichtig bei Brunnen-zu-Brunnen-Markierungen)
- die Geologie, Tektonik und Hydrologie (bei Markierungen von der Oberfläche aus müssen exakte Unterlagen vorliegen)
- da derartige Versuche zumeist im karbonatischen Gebirge durchgeführt werden, sind die Aufnahme der Karstformen an der Oberfläche und ihre Bewertung als Injektionsort besonders wichtig
- Art und Weise der Probennahme (Techniken)
- Wer und was können durch den Versuch betroffen sein?
- Wäre eine Überdosierung der Tracermenge am Ort eines möglichen Wiederaustritts problematisch?

### **3.3 Tracerauswahl**

Nach Abschluss der Vorarbeiten kann unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Tracer (siehe [Kapitel 2](#)) endgültig festgelegt werden, welcher Markierungsstoff zum Einsatz kommen kann. Dazu sind die Erkenntnisse aus den Vorbereitungsarbeiten und den Vorbegehung zu berücksichtigen. Die Vor- und Nachteile der Tracereigenschaften müssen unter dem Gesichtspunkt der speziellen Anwendungsbedingungen beurteilt und entsprechend berücksichtigt werden. Da der Zugang zu Isotopentracern und ihre Anwendung im Allgemeinen nur einem autorisierten und spezialisierten Personenkreis und entsprechend ausgestatteten Labors vorbehalten bleiben, ist bei einem geplanten Einsatz mit diesem Personenkreis Kontakt aufzunehmen.

## **Partikeltracer**

Partikeltracer wie gefärbte (vor allem fluoreszenzmarkierte) Sporen, Bakterien, Bakteriophagen und Mikrosphären bieten aufgrund ihrer Größe die Möglichkeit, Aussagen zu hygienischen Fragestellungen zu liefern (vgl. [Kapitel 2.1.1](#)).

### **Vorteile:**

Durch verfügbare Anfärbemethoden (bei Sporen und Mikrosphären) sowie unterschiedliche Spezies bei Bakterien, Bakteriophagen und Viren steht eine Vielzahl unterschiedlicher Tracer bereit, die zumindest theoretisch bei Multitracerversuchen gleichzeitig zum Einsatz kommen können. Beim Einsatz in Karstaquiferen und gut durchlässigen Kluftaquiferen kann der Nachweis mittels Partikeltracer ein besonders schlagkräftiges Indiz für mangelnde Filterwirkung sein.

### **Nachteile:**

Neben der nur qualitativen Aussagemöglichkeit und der eingeschränkten Anwendbarkeit im Porengrundwasser liegen Nachteile in der Notwendigkeit, Proben vor der Untersuchung (vor allem bei der Anwendung von Bakterien, Bakteriophagen und Viren) in entsprechend technisch und personell ausgestatteten Labors aufzubereiten. Während bei gelösten Tracern vielfach automatisierte instrumentell-analytische Verfahren eingesetzt werden können, erfordert die Untersuchung von Partikeltracern meist erhöhten Personalaufwand und damit erhöhte Kosten.

## **Salze**

Salze (im Allgemeinen handelsübliches Kochsalz, Natriumchlorid) können bei entsprechenden Konzentrationen über die elektrische Leitfähigkeit gemessen werden. Bei gleichzeitigem Einsatz unterschiedlicher Salze (z. B. Natriumchlorid und Kaliumchlorid) ist eine Messung der Gesamtsalzkonzentration über die elektrische Leitfähigkeit zwar ebenfalls möglich, eine Auf trennung in die unterschiedlichen Komponenten jedoch nur durch Labormessungen oder selektive Feldmesssysteme. Auch bei einem schon vor dem Versuch vorhandenen hohen Blindwert (z. B. Chlorid im Abwasser) können andere Salze, wie z. B. Lithium-Chlorid eingesetzt werden. In diesem Fall wird Lithium labortechnisch analysiert.

### **Vorteile:**

- einfacher Nachweis über die elektrische Leitfähigkeit, leicht an Ort und Stelle zu messen. Es können dazu auch mit Datensammlern gekoppelte Messsysteme eingesetzt werden, um auf diese Weise Durchgangskurven kontinuierlich aufzuzeichnen. Dadurch kann die Häufigkeit der Entnahme von Wasserproben insbesondere in der Anfangsphase eines allfälligen Durchgangs drastisch verringert werden
- geringere Kontaminationsgefahr bei der Einspeisung im Vergleich zu Fluoreszentracern
- Wiederholungen relativ einfach möglich
- kostengünstig (bei guter Zufahrtsmöglichkeit zur Einspeisestelle können auch größere Mengen als Sole vorgelöst von Salinenbetrieben kostengünstig bezogen werden).

### **Nachteile:**

- Veränderung der physikalischen Eigenschaften des Wassers (Dichteerhöhung, unter Umständen Absinken in tiefere Aquiferbereiche), in Porenaquiferen – insbesondere bei langsam fließenden Grundwässern – nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar
- um ein Vielfaches höhere Nachweisgrenzen als bei Fluoreszentracern, daher oft große Mengen erforderlich
- aufgrund der hohen Anfangskonzentrationen am Eingabeort unter Umständen Beeinträchtigung der ökologischen Verhältnisse
- Neigung zu Ionenaustauschreaktionen in tonmineralhaltigen Sedimenten (während der Anionenanteil insbesondere bei Chloriden als mobile Komponente weitgehend erhalten bleibt, kann es bei den Kationen, z. B. Natrium oder Kalium, zu einer reversiblen Fixierung an Tonminerale kommen, bei gleichzeitigem Tausch gegen ursprünglich fixiertes Calcium, das als mobile Komponente an das Wasser abgegeben wird).

## **Fluoreszenztracer**

Fluoreszenztracer haben gegenüber Salzen wesentlich tiefere Nachweisgrenzen (vgl. [Tabelle 3](#)). Am häufigsten wird der Fluoreszenzfarbstoff Uranin eingesetzt. Beim gleichzeitigen Einsatz mehrerer Fluoreszenzfarbstoffe ist zu beachten, dass eine Trennung labortechnisch ohne weiteres möglich ist, jedoch die Analytik dadurch verteuert wird. Nach Möglichkeit ist daher darauf zu achten, dass eine gegenseitige Beeinflussung vermieden wird.

### **Vorteile:**

- sehr hohe Nachweisempfindlichkeit, daher über große Distanzen mit im Verhältnis zu Salzen geringen Mengen einsetzbar
- im Allgemeinen ökologisch unbedenklich (Einschränkungen s. [Tabelle 6](#))
- kein natürlicher Hintergrundwert, in anthropogen beeinflussten Bereichen kann es aber z. B. aus der Verwendung von Waschmitteln oder Streusalz mit Farbstoffzusätzen zu einem erhöhten Blindwert kommen
- gezielte Wahl des Tracers, wenn mit Sorptionseffekten gerechnet werden muss. So wird Uranin vorwiegend in karbonatdominierten Aquiferen eingesetzt. In Aquiferen silikatischer Gesteine (Quarzite, Gneise etc.) empfiehlt sich aufgrund niedrigerer (saurer) pH-Werte des Grundwassers der Einsatz von Eosin oder Sulforhodamin G, da Uranin in diesem Fall schlechtere Sorptionseigenschaften aufweist
- hohe Selektivität der Nachweisverfahren auch bei Vorliegen mehrerer Fluoreszenztracer nebeneinander
- trotz des höheren Preises im Vergleich zu Salzen eher kostenneutral oder sogar kostengünstiger, da nur ein Bruchteil an Tracermenge eingesetzt werden muss.

### **Nachteile:**

- tonmineralhaltige Sedimente schließen die Verwendung mancher Fluoreszenztracer aus. Tonminerale können aber nicht nur in Porengrundwasserleitern, sondern auch in Karst- und Kluftgrundwasserleitern vorkommen; z. B. bleibt bei Kalkglimmerschiefer der Glimmer häufig als Lösungsrückstand zurück, welcher den Tracer sorbieren kann
- labortechnisch ist die eindeutige Trennung von nebeneinander in einer Probe vorliegenden Fluoreszenztracern problemlos möglich. Je nach Wahl des Analysenverfahrens ist jedoch zu berücksichtigen, dass es vor allem bei hohen Konzentrationsunterschieden nebeneinander vorliegender Tracer zu Verschlechterungen der erzielbaren Nachweisgrenzen kommen kann
- einige Fluoreszenztracer (vor allem Eosin, Uranin und Tinopal) sind in hohem Maße lichtempfindlich. Eine Beobachtung unmittelbar am Quellaustritt ist notwendig. Für Markierungen von Oberflächenwässern eignen sich diese schlecht. Wenn zum Beispiel eine Uraninlösung mit Regnern im prallen Sonnenlicht versprüht wird, um den flächenhaften Eintrag in das Grundwasser zu untersuchen, so wird ein stark verfälschtes Ergebnis erzielt werden
- manche Tracer werden stark von organischen Substanzen sorbiert, sie eignen sich nicht für den Einsatz in stark belasteten Gewässern oder im Abwasserbereich (z. B. Rhodamin WT, Sulforhodamin B, Tinopal CBS-X)
- höherer instrumentell-analytischer Aufwand z. B. im Vergleich zu Leitfähigkeitsmessungen.

## **Isotopentracer**

Der gezielte Einsatz radioaktiver und nichtradioaktiver Isotope und Isotopenverbindungen (EDTE-Komplexe) erfolgt bei ähnlichen Fragen, wie bei den zuvor genannten Tracern. Allerdings ist die Palette der verfügbaren Isotopentracer größer und die Einsatzmöglichkeiten sind vielseitiger. Die Einschränkung liegt lediglich in der räumlichen Anwendung begründet.

Beim Einsatz radioaktiver Tracer sind speziell entwickelte Sonden für die Injektion, Detektoren für die In-situ-Messung der Strahlungsintensität und geeignete Oberflächen für die Registrierung und Speicherung der Messdaten erforderlich.

Der Großteil der in *Tabelle 5* in *Kapitel 2.1.2* aufgelisteten radioaktiven Tracer wird aufgrund von Strahlenschutzüberlegungen hauptsächlich in der **Mehrbohrloch-Methode** bzw. in flächenmäßig begrenzten Feldversuchen eingesetzt, bei welchen die Durchführenden bereits zu Beginn des Versuchs Vorstellungen über die Grundwasserfließrichtung haben und auch die Durchgangszeiten in ihrer Größenordnung abgeschätzt werden können.

Im Speziellen werden Isotopentracer eingesetzt:

- in der gesättigten Zone zur Charakterisierung eines Aquifers (Porosität, hydraulische Leitfähigkeit, Speichergröße etc.)
- in einem Grundwasserkörper zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit, der Fließrichtung und zur Untersuchung von Mischungsprozessen
- zur Kalibrierung von hydraulischen bzw. Stofftransportmodellen.

Neben der Mehrbohrloch-Methode werden radioaktive Stoffe auch in der **Einbohrloch-Methode** eingesetzt. Auf diese Weise können in einem einzigen Bohrloch Fließbewegungen des Grundwassers quantitativ bestimmt werden, die zwischen dem Bereich der Selbstdiffusion und turbulentem Strömen liegen. Der Einsatz dieser Methode setzt Messsonden, geeignete Tracer und Filterpegel, die den Grundwasserleiter erschließen, voraus. Negative Auswirkungen auf die Messergebnisse ergeben sich, wenn der Ausbau der Bohrung für diese Methode nicht entsprechend durchgeführt wurde.

Zu den Einbohrloch-Methoden, bei denen radioaktive Tracer von Vorteil sind, zählen:

- die Bestimmung der Filtergeschwindigkeit in einer spezifischen Teufe nach dem Tracerverdünnungsverfahren. Dafür wird ein kurzlebiges Radionuklid mit geringem Sorptionspotenzial gewählt
- die Bestimmung der Fließrichtung nach dem Traceranlagerungsverfahren. Dafür wird ein Radionuklid mit hohem Sorptionspotenzial gewählt
- die Erfassung der Vertikalströmung in einer Bohrung nach dem Prinzip der Abstandsmessung. Dafür wird ein kurzlebiges Radionuklid mit geringem Sorptionspotenzial gewählt
- die Gesamtböhrloch-Markierung nach dem Tracerverdünnungsverfahren zur Erfassung der effektiv Wasser führenden Grundwasserzonen.

### 3.4 Tracervorbereitung

Ein wesentlicher Aspekt ist die Vermeidung von Kontaminationen. Es ist immer sehr problematisch, Tracerspuren in einzelnen Proben interpretieren zu müssen, wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie aus Verschleppungen stammen. Schon bei der Beschaffung des Markierungsstoffs muss sichergestellt sein, dass dieser bei Produktion und Abfüllung nicht mit anderen Substanzen in Berührung gekommen ist, die das Ergebnis verfälschen können. Dies gilt in gleichem Maße für Partikeltracer, insbesondere Sporen, für Salze oder für Fluoreszenzfarbstoffe.

Die Manipulation mit Markierungsstoffen (auch in der Originalverpackung!) sollte räumlich und personell streng vom messtechnischen Bereich und Personal getrennt werden.

Besondere Vorsicht ist bei Markierungsstoffen geboten, die in Pulverform geliefert und die für die Einspeisung vorgelöst werden müssen. Wenn möglich sollte eine Vorlösung außerhalb des Untersuchungsgebiets und außerhalb der später zur Analytik verwendeten Laborräumlichkeiten erfolgen. Dazu geeignete Räumlichkeiten sollten folgenden Ansprüchen gerecht werden:

- günstig ist ein geräumiger, leicht zu reinigender Feuchtraum mit Bodenauslass oder ein nicht für Zwecke der Traceranalytik verwendeter Laborraum
- Wasseranschluss
- keine Zugluft, kein Durchgangsraum

Folgendes Material ist bereitzustellen:

- Plastikkanister in ausreichender Anzahl mit Reserve
- handliche Rührkübel, Rührstäbe
- Schöpfkellen passend in die Öffnungen der Farbstoffgebinde
- Trichter mit Sieb, passend in die Kanisteröffnung
- Putztücher, Putzpapier
- wasserfester Schreiber
- Müllsäcke
- Verpackungsmaterial (Plastikfolie, -säcke, Klebeband).

Für die Manipulationen sind mindestens zwei Personen notwendig, wobei eine nicht mit den Farbstoffen in Berührung kommen darf, sondern nur als Zureicher fungiert. Als Arbeitsschutz sind bereitzustellen:

- Einwegoverall
- Gummistiefel
- Gummihandschuhe (Reserve)
- Kopf-, Mund- und Augenschutz.

Die Farbstoffe, Kanister und Geräte sind zu sortieren und griffbereit zu halten, sowie eindeutig zu beschriften. Werden verschiedene Farbstoffe gelöst, sind für jeden eigene Rührkübel, Trichter etc. zu verwenden. Das Verpackungsmaterial und alle kontaminierten Gegenstände sind nach Gebrauch sofort in das bereitgestellte Müllgefäß oder in einen Müllsack zu entsorgen. Da die Fluoreszenzfarbstoffe meist in feinster Pulverform geliefert werden, besteht die Gefahr, dass das Pulver durch den geringsten Luftzug ein ganzes Labor kontaminieren kann. Es ist deshalb vorsichtig damit zu hantieren und ein Mundschutz zu verwenden. Aus diesem Grund darf auf keinen Fall gleichzeitig mit verschiedenen Farbstoffen hantiert werden.

Bei Partikeltracern wird keine echte Lösung im chemisch-physikalischen Sinne hergestellt sondern eine Suspension. Bei Sporen sollte pro 1 kg mindestens die dreifache Wassermenge zur Suspensionsherstellung verwendet werden. Da beim Einsatz von Bakterien, Phagen, Viren und Mikrosphären nur geringe Wasservolumina nötig sind, werden die Tracer in suspenderter Form vom Hersteller bzw. vom Untersuchungslabor geliefert, sodass vor Ort die Suspension nicht erst hergestellt werden muss, sondern direkt eingespeist werden kann. Für die Wahl der richtigen Einspeisemengen ist mit dem Hersteller oder mit dem Untersuchungslabor Rücksprache zu halten.

Bei gelösten Tracern (Salze und organische Farbstoffe) ist die Löslichkeit der Markierungsstoffe in Wasser sehr unterschiedlich. Sie variiert in weiten Grenzen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur und der Gesamtmineralisierung des verwendeten Wassers. Eine Hilfe zur Abschätzung der Löslichkeit bei Salztracern bietet [Tabelle 2](#). Für 1 kg Farbstoffpulver der gängigen Fluoreszenztracer können für natürliche Wässer folgende Erfahrungswerte (siehe auch [Tabelle 3](#)) zugegeben werden:

- Uranin ..... 10 l Wasser
- Eosin ..... 10 l Wasser
- Sulforhodamin G ..... 40 l Wasser
- Sulforhodamin B ..... 20 l Wasser
- Pyranin ..... 10 l Wasser
- Na-Naphtionat ..... 20 l Wasser
- Tinopal CBS-X ..... 50 l Wasser + Zugabe von Komplexon (oder äquivalentem Komplexbildner).

Für Isotopentracer sind im Allgemeinen nur geringe Einspeisevolumina erforderlich. Diesbezüglich ist mit den für eine Anwendung autorisierten Personen oder Institutionen Rücksprache zu halten.

Generell lösen sich die Markierungsstoffe besser in warmem Wasser. Besonders gilt dies für Tinopal, das auch zu Schaum- und Klumpenbildung neigt. Es sollten immer Reservekanister vorbereitet werden, weil manchmal ein konzentrierter Bodensatz im Rührgefäß verbleibt. Muss der Rest in einen zweiten Kanister gefüllt werden, so ist auf beiden Kanistern deutlich zu vermerken, dass Kanister A und B zusammen z. B. ein Kilogramm gelöster Farbe enthalten. Genaues, deutliches Beschriften der Gebinde ist sehr wichtig, damit keine Verwechslungen vorkommen. Kanister erst in abgekühltem Zustand gut verschließen. Bei Hubschraubertransporten können in Folge der raschen Änderung des atmosphärischen Drucks Plastikgebinde undicht werden (auf Luftreserve im Gebinde achten!). Daher ist für eine zusätzliche Plastikverpackung der Gebinde zu sorgen.

Nach Möglichkeit sollten für diese Arbeiten dieselben Personen wie später für die Einspeisungen eingesetzt werden, weil diese dann schon mit den Eigenheiten der Farbstoffe und der Gebinde und dem Umgang mit dem kontaminierten Material vertraut sind.

## 3.5 Einspeisung

Die technischen Anforderungen bei der Einspeisung sind sehr unterschiedlich, je nachdem, ob es sich um eine Einspeisung in eine wasserlose Doline im Hochgebirge, in eine aktive Wasserschwinde, in eine Rösche in einen Schotterkörper, in eine Bohrung oder in ein Oberflächengewässer handelt.

### 3.5.1 Auswahl der Einspeisestelle

Vor der Einspeisung eines Markierungsstoffs ist sicherzustellen, dass die Stelle auch Wasser abführen kann. Der Idealfall, dass in ein versinkendes Fließgewässer eingespeist werden kann, ist nicht immer gegeben. Die Schluckfähigkeit der vorgesehenen Einspeisestelle sollte im Zweifelsfall durch einen Sickerversuch überprüft werden. Im Zuge der Auswahl ist auch die Klärung der technischen und rechtlichen Zugänglichkeit zur Einspeisestelle erforderlich. So ist mit dem Grundeigentümer rechtzeitig Kontakt aufzunehmen und die Zufahrts- bzw. Zugangsmöglichkeit zu sichern (z. B. bei abgeschränkten Güter- und Forstwegen).

Eine immer wiederkehrende Fragestellung und ein häufiger Anlass für Markierungsversuche ist die Einsickerung von Bach- oder Flusswasser in Porengrundwasserkörper und die Verbindung zu Brunnen oder Quellen. Für die Markierung eines Oberflächengewässers müssen meist größere Tracermengen eingesetzt und höhere Konzentrationen in Kauf genommen werden.

Werden in bestimmten Gewässerabschnitten Versickerungsstellen vermutet, kann es in Abhängigkeit von der Fragestellung sinnvoll sein, am Ufer oder im Gewässerbett ein Rohr senkrecht einzugraben. Fällt der Wasserspiegel im Rohr unter die Gewässerohle ab, hat man ein Indiz dafür, dass hier eine Versickerung erfolgt. Dadurch ist es möglich, den Markierungsstoff in relativ geringen Mengen in den Untergrund konzentriert einzubringen, um den Grundwasserstrom zu markieren, ohne dass im Gewässer eine Färbung auftritt. Außerdem kann in diesem Fall der Vorfluter stromab auf allfällige Exfiltrationen beobachtet werden.

### 3.5.2 Wahl der Tracermenge

Die Festlegung der richtigen **Tracermenge** ist besonders schwierig und richtet sich nach der Fragestellung und dem Markierungsmittel. Sie kann erst nach ausreichender Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse abgeschätzt werden. Hier helfen vor allem einschlägige Erfahrung und die Heranziehung von Ergebnissen aus vergleichbaren Untersuchungen. Berechnungsformeln können nicht, oder nur in ganz besonderen Fällen angewendet werden (KÄSS, 2004).

Die Tracermenge sollte ausreichen, um einen eindeutigen Durchgang während der Beobachtungsdauer sicherzustellen.

Beim Einsatz von Fluoreszenzfarbstoffen soll eine sichtbare Färbung von Quellen und vor allem von Wasserversorgungen vermieden werden. Die Sichtbarkeitsgrenze bei Fluoreszenzfarbstoffen liegt im Allgemeinen über  $10 \text{ mg/m}^3$ , während die Nachweisgrenze mehrere Zehnerpotenzen (z. B. für Uranin ca.  $0.001 \text{ mg/m}^3$ ) darunter liegt. Beim Einsatz von Direktmessungen (Feldmessgeräte) ist die schlechtere Nachweisgrenze gegenüber Labormessungen zu berücksichtigen.

### 3.5.3 Einspeisezeitpunkt

Der Einspeisezeitpunkt richtet sich nach der Fragestellung und ist oft von einer bestimmten hydrologischen Situation abhängig. Bei einer Einspeisung in einer niederschlagsreichen Periode, während eines Niederschlagsereignisses oder der Schneeschmelze kann erwartet werden, dass der Tracer im Aquifer rasch weitertransportiert und wieder ausgebracht wird. Bestimmte Fragestellungen können es aber erforderlich machen, den Versuch bei einspeise-technisch schwierigen Bedingungen (Niederwasser, Trockenheit) durchzuführen. Dann ist besonderes Augenmerk auf die Bereitstellung der erforderlichen Spülwassermenge zu legen.

Über den Einspeisezeitpunkt sind die Wasserberechtigten (z. B. Wasserversorgungsunternehmen, Fischereiberechtigte etc.) rechtzeitig zu benachrichtigen.

### 3.5.4 Vorarbeiten zur Einspeisung

Wenn zu erkennen ist, dass an einer vorgesehenen Einspeisestelle zumindest zeitweise (z. B. nach Regen oder Schneeschmelze) Wasser versinkt, kann eine Vorspülung von 100 l Wasser genügen, um den Tracer zuzuführen. Der Nachspülung sind keine Grenzen gesetzt, je mehr desto besser. Allerdings sollte die Spülwassermenge konstant gehalten werden, damit nicht durch einen Wasserschwall unterirdische Gefäße gefüllt werden, aus denen das Wasser dann nicht weiter abfließen kann.

Bei Einspeisestellen, die über lange Perioden trocken sind, muss wesentlich mehr vor- und nachgespült werden. Dafür kann auch Wasser nahe liegender Quellen oder Fließgewässer zugeleitet werden. Bei Verwendung von Wassertanks aus landwirtschaftlichen Betrieben oder von der Feuerwehr ist zu überprüfen, ob diese nicht durch vorherige Verwendungen kontaminiert sind.

Für die Abschätzung der Spülmengen ist es nützlich, sich den Weg vorzustellen, den der Markierungsstoff zurücklegen muss, bis er ständig fließendes Wasser erreicht. Zu bedenken ist, dass Felsflächen benetzt sowie Lockersedimente durchsetzt werden müssen. Die Möglichkeiten des Wassertransports (z. B. bei Hubschraubertransporten) setzen der Menge des Spülwassers meist Grenzen.

Um eine gleichmäßige Spülung zu erreichen, ist es zweckmäßig, einen Vorratsbehälter (z. B. 200-Liter-Fass) aufzustellen und die Spülwassermenge mittels Heber und Schlauchleitung zur Einspeisestelle zu leiten. Die eigentlichen Transportgebinde sollten nicht zu groß sein, 25-Liter-Kanister haben sich bewährt, gefüllte 200-Liter-Fässer hingegen sind im Gelände kaum noch zu handhaben.

In Porengrundwasserleitern muss das für Einspeisezwecke verwendete Wasser in vielen Fällen zur Einspeisestelle transportiert werden. Es sollte aber vorzugsweise aus dem zu untersuchenden Aquifer entnommen werden. Dieses Wasser ist vorher unbedingt auf Tracerspuren und seine Verträglichkeit mit dem vorgesehenen Markierungsstoff zu untersuchen. Vorspülungen sind im Allgemeinen nicht notwendig, doch kann durch Auffüllversuche mit dem aus demselben Aquifer entnommenen Wasser die Funktionsfähigkeit von Filterstrecken getestet werden. Die Einspeisung des Tracers und eine allfällige Nachspülung haben so zu erfolgen, dass eine Erhöhung des Wasserspiegels in der Bohrung so weit wie möglich vermieden wird. Dadurch kann verhindert werden, dass der Tracer in Bereiche der sonst ungesättigten Zone

gelangt und für den Transport im Grundwasser zumindest während der Versuchsdauer nicht mehr zur Verfügung steht.

### 3.5.5 Einspeisung des Tracers

Die Einspeisung soll durch geschultes, verlässliches Personal erfolgen. Von Vorteil ist die Einbindung lokaler Mitarbeiter (z. B. Wassermeister, Mitglieder der Feuerwehr oder alpiner Vereine), wodurch auch eine bessere Akzeptanz der Arbeiten in der Bevölkerung erreicht werden kann.

Das an der Einspeisung beteiligte Personal soll später nicht zur Probenahme eingesetzt werden, da eine Verschleppung des Tracers (z. B. durch anhaftende Pulverrückstände an Kleidungsstücken oder den Händen) die Aussagekraft des gesamten Versuchs gefährden kann.

Der Tracer sollte vorgelöst und in dichten Gebinden zur Einspeisestelle transportiert werden. Ist dies aufgrund der Unzugänglichkeit nicht möglich, kann der Tracer auch vor Ort aufgelöst werden. Wenn die Tracerlösung mittels Heber und Schlauch vorsichtig eingespeist wird, ist die Verschleppungsgefahr sehr gering.

Während bei den Markierungen der Wässer in Karst-, Kluft- und Porenquellen zumeist das Verfahren der momentanen Tracerinjektion (Einspeisevorgang erfolgt innerhalb kurzer Zeit) praktiziert wird, kommt bei Markierungen von Oberflächengewässern z.T. auch das kontinuierliche Einspeiseverfahren (konstante Einspeisemenge über einen längeren Zeitraum) zur Anwendung.

Weiters ist bei der Markierung eines Fließgewässers besonders darauf zu achten, wo die Einspeisung erfolgen muss (mittig vom Gewässer oder gleichmäßig verteilt über den gesamten Durchflussquerschnitt), damit der Tracer tatsächlich am gewünschten Uferabschnitt vorbeizieht, bzw. unterstromig gleichmäßig im Oberflächenwasser vermischt wird. Letzteres ist auch von der Strömungsgeschwindigkeit und von der Oberfläche des Gewässerbettes abhängig.

Über alle Aktivitäten zur Einspeisung muss ein genaues Protokoll geführt werden, das auch dem Bericht beizufügen ist (siehe [Kapitel 5.1](#)).

Besonderes Augenmerk ist auf den Abtransport des kontaminierten Materials (Verpackung kontaminierte Kübel, Rührstäbe, Gefäße, Überkleidung, Schuhwerk etc. sofort nach Verwendung) zu legen, damit Verschleppungen des Markierungsstoffs vermieden werden. Ein Lagern kontaminierten Materials bis zur Abholung zu einem späteren Zeitpunkt sollte vermieden werden.

## 3.6 Beobachtung und Beprobung

### 3.6.1 Auswahl der Beobachtungsstellen

Alle Quellen, Grundwassersonden, Brunnen sowie alle aus dem Untersuchungsgebiet ausfließenden Gewässer müssen erfasst und eindeutig bezeichnet werden. Aus diesen sind für den Versuch nach hydrogeologischen Kriterien jene auszuwählen, die für die Klärung der vorliegenden Fragestellung zu beproben sind.

Beobachtungsstellen sollten bei Quellen möglichst nahe beim Wasseraustritt situiert werden (Lichtempfindlichkeit mancher Fluoreszenztracer, Vermeidung von Kontaminationsmöglichkeiten etc.).

Vor der Einspeisung sollten alle Beobachtungsstellen gemeinsam mit dem eingesetzten Beobachtungspersonal begangen werden, um den genauen Probenahmevergäng zu erklären, Verwechslungen der Beobachtungsstellen zu vermeiden und um technische Anleitungen (Pumpbetrieb, Betrieb des Probennehmers etc.) zu geben.

Des Weiteren sind Fahrberechtigungen zu besorgen, die Probenaufbewahrung und der Probenversand sind zu organisieren und allenfalls örtliche Aufsichtsorgane wie Jäger, Fischer oder Organe der Berg- und Naturwacht zu informieren.

Das Beobachtungsnetz mit den Bezeichnungen und Nummern der Beobachtungsstellen (allenfalls auch Kennzeichnung im Gelände) muss in übersichtlichen Karten oder Plänen dargestellt werden, die den Beobachtern zur Verfügung stehen und auch dem Bericht angeschlossen werden müssen.

### **3.6.2 Beobachtungsprogramm, Versuchsdauer**

Ein gut durchdachtes Beobachtungs- und Messprogramm kann die Effizienz wesentlich steigern und Kosten sparen. Nach der Auswahl sind die Art und das Intervall der Probenahme für jede Beprobungsstelle festzulegen.

Eine lückenlose Serie von Blindproben ist vor der Einspeisung zu untersuchen, um sicherzustellen, dass vorgesehene Tracer nicht aus früheren Versuchen oder aus Kontaminationen anderer Art in Beobachtungsstellen bereits vorhanden sind. Dies gilt in gleicher Weise auch bei der Verwendung von Feldmessgeräten, die eine ausreichend lange Zeit vor der Einspeisung vor Ort installiert sein sollten, um einen allfälligen natürlichen oder anthropogenen verursachten Hintergrundwert zu erfassen.

Nicht allen Beobachtungsstellen wird dieselbe Wertigkeit zukommen. Basierend auf der hydro(geo)logischen Kartierung, den Informationen aus der Isotopenhydrologie (über Verweilzeiten der Wässer) und Hydrochemie sowie allfälligen Vorstellungen (z. B. aus Geologie oder Speläologie) über die Art und Weise des Abflussmechanismus ist die Probenahmehäufigkeit zu bestimmen.

Die Probenahmefrequenz hängt von den hydrogeologischen Umfeldbedingungen (Karst, Kluft- oder Porengrundwasserleiter), von der Entfernung der Einspeisestelle zur Beobachtungsstelle, den hydrometeorologischen Bedingungen sowie der Versuchsdauer ab. Während manche Beobachtungsstellen in der Intensivphase in kurzen Intervallen, eventuell stündlich durch automatische Probennehmer beprobt werden müssen, werden andere Stellen einmal täglich, manchmal vielleicht nur einmal wöchentlich gemeinsam mit dem Wechsel von Aktivkohlefiltern beprobt. Nach einer gewissen Zeit kann das Programm eingeschränkt werden.

Bei besonders schwer zugänglichen Einzugsgebieten, aus denen nicht unbedingt ein Tracer-austritt erwartet wird, kann es auch genügen, den Gesamtabfluss zu beobachten. Sollte aber doch wider Erwarten dort ein Tracer auftreten, so ist unverzüglich auch dieses Gebiet bis ins Detail zu beobachten, um den Tracer-austritt exakt zu lokalisieren. Das heißt aber, dass die Vorbegehungen und Quellaufnahmen auch alle diese entlegenen Gebiete umfassen und dass die Proben so rasch wie möglich untersucht werden müssen, um das laufende Beobachtungsprogramm rechtzeitig adaptieren zu können.

Die Versuchsdauer richtet sich nach den hydrogeologischen Umfeldbedingungen sowie der dem Markierungsversuch zugrunde liegenden Fragestellung. Bei technisch-hygienischen Fragestellungen wird vielfach eine Beobachtungsdauer von mindestens 60 Tagen einzuplanen sein.

Wichtig ist die Option, das Beobachtungsprogramm in gewissem Rahmen (eventuell durch monatliche Wechsel der Aktivkohlefilter an ausgewählten Stellen) über das projektmäßig vorgesehene Ende hinaus weiterzuführen, wenn bis dahin nicht alle Tracer oder einzelne Tracer nur in geringem Maße zum Austritt gekommen sind. Die weiterführende Beobachtung kann dann mittels längerfristig eingesetzter Aktivkohlefilter („Dauerkohlen“) durchgeführt werden. Eine möglicherweise lange Verweildauer eines Tracers im Untergrund – auch über mehrere Jahre – ist schon bei der Versuchsplanung zu berücksichtigen und mit dem Auftraggeber abzusprechen.

### 3.6.3 Beobachtung des Traceraustritts

In der Praxis hat es sich bewährt, ortansässige Mitarbeiter von Wasserversorgungsunternehmen (z. B. Wassermeister) in die Versuchsdurchführung einzubinden. Bei der Auswahl des Beobachtungspersonals sollte besonders auf die Verlässlichkeit geachtet werden. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, dass Beobachter nicht nur der Probenlieferung eine Begleitliste mitgeben, sondern auch ein Beobachtungsbuch führen, in das sie alle Angaben zur Probenahme und allfällige Vorkommnisse eintragen. Probenverwechslungen oder Lücken in den Probenserien können dadurch manchmal nachträglich identifiziert werden. Wichtig ist es, die Beobachter von der Notwendigkeit exakter Zeitangaben zu überzeugen, die nicht als Kontrolle des Beobachters anzusehen sind, sondern für die Versuchauswertung ausschlaggebende Bedeutung haben.

Besondere Vorsichtsmaßnahmen sind zu treffen, wenn einzelne Beobachtungsstellen hohe Konzentrationen von Markierungsstoffen aufweisen, denn dann kann es auch bei den Probenahmen zu Verschleppungen kommen.

Zur Beobachtung des Traceraustritts stehen grundsätzlich folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- manuelle Entnahme von Wasserproben
- Entnahme mittels automatischer Probennehmer
- Entnahme mittels Pumpe
- Direktmessungen mit Feldmessgeräten
- Beprobung mit Aktivkohlefiltern
- Beprobung mittels Planktonnetz bei Sporen.

In der überwiegenden Zahl der Fälle werden bei Markierungsversuchen manuell Wasserproben entnommen. Bei Fluoreszenztracern ist es Stand der Technik, sowohl Wasserproben zur Bestimmung der exakten Konzentration zu entnehmen, als auch Aktivkohlefilter zur Absicherung einzusetzen. Die doppelte Beprobung mit Wasserproben und Aktivkohlefiltern hat auch den Vorteil, dass im erweiterten Rahmen des Beobachtungsplans mithilfe der über einen längeren Zeitraum exponierten Filter eine erste Übersicht über allfällige Traceraustritte gewonnen werden kann. Je nach Ergebnis dieser qualitativen Beobachtung werden dann die Direktproben aus den korrespondierenden Zeitabschnitten analysiert. Umgekehrt ist bei negativen Ergebnissen mittels Aktivkohlefiltern trotzdem eine stichprobenartige Analyse durch Direktproben zu empfehlen.

Der Einsatz automatischer Probenahmegeräte, einschließlich Geräten zur teufenspezifischen Probenahme, von Online-Messsonden oder anderen Feldmessgeräten wird zunehmend Stand der Technik.

Der Einsatz von Planktonnetzen erfolgt nur beim Einsatz von Sporeentracern. Ihre Verwendung ist aufgrund des relativ hohen Aufwands für Aufbereitung und Analyse heute weniger oder nicht mehr gebräuchlich.

#### Entnahme von Wasserproben

Für die Messung der Wasserproben im Labor genügen bei heutiger instrumenteller Analysetechnik sehr geringe Wassermengen. Im Allgemeinen wird mit 50-ml-Gebinden das Auslangen gefunden werden können (auch bei der Bestimmung mehrerer gelöster Tracer nebeneinander). Im Zweifelsfall ist mit dem analysierenden Labor Rücksprache zu halten.

Für die Direktbeprobung sind Braunglasflaschen als Einweggebinde zweckmäßig. Eine Reinigung der Flaschen zur Wiederverwendung wäre zu aufwendig und aus Gründen der Umweltbelastung nicht zu verantworten. Plastikflaschen wären vor allem für den Versand viel praktischer, doch werden manche Farbstoffe an der Plastikoberfläche sorbiert, was eine be-

trächtliche Verminderung der Konzentration in der Wasserprobe bedeuten kann. Die Flaschen sind zunächst ca. halb zu befüllen, zu schütteln und zu leeren. Danach ist die Flasche bis auf eine kleine Luftreserve (Druckausgleich) zu füllen und dicht zu verschließen. Bei der Probenahme ist darauf zu achten, dass die Innenseite des Verschlusses oder der Flaschenhals nicht berührt wird. Eine besondere Kühlung der Proben ist normalerweise nicht notwendig, außer es handelt sich um stark organisch belastetes Wasser, in dem biologische Abbauprozesse eintreten können. Auf jeden Fall sollten die Proben lichtgeschützt gelagert und so rasch wie möglich dem Labor zugeführt werden. Erscheint eine eigene Kühlung notwendig, sind die Proben entweder umgehend ins Labor zu bringen oder eigene Behältnisse (Kühlkisten und -taschen etc.) für den Probentransport vorzubereiten.

Mit automatischen Probenahmegeräten lassen sich sowohl Personalkosten reduzieren als auch in kürzeren Zeitintervallen Proben ziehen. Bei ihrem Einsatz (Achtung auf ausreichende Energieversorgung, sichere Aufstellung und Fixierung bei Überflutungsgefahr etc.) ist zu berücksichtigen, dass diese Geräte einer größeren Kontaminationsgefahr unterliegen, besser geschultes Personal erfordert und bei einem Geräteausfall die gesamte Versuchsdurchführung gefährdet sein kann. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass Versuchswiederholungen bei Markierungsversuchen vielfach nicht oder nur mit erheblichen Mehrkosten möglich sind.

Die entnommenen Wasserproben sollten während des Versuchs regelmäßig in ein zu Tracermessungen befähigtes Labor gebracht werden. Insbesondere bei Fluoreszenzfarbstoffen empfiehlt sich eine baldige Messung nach der Entnahme, um den Einfluss mikrobieller Abbauprozesse möglichst gering zu halten.

### **Direktmessungen**

Bei allen vor Ort an einer Beobachtungsstelle installierten Feldmessgeräten (Messsonden, Detektoren) ist auf eine ausreichende Energieversorgung und auf eine sichere Aufstellung (z. B. bei Überflutungsgefahr) zu achten. Da mit einem Geräteausfall immer gerechnet werden muss, ist zu empfehlen, bei derartigen Beobachtungsstellen zusätzlich zumindest mit Aktivkohlefiltern zu beproben. Insoweit die Geräte Einstellmöglichkeiten für ausreichend kurze Messintervalle bei gleichzeitiger hoher Speicherkapazität bieten, kann ein Tracerdurchgang an einer Beobachtungsstelle vor Ort und mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst werden.

Die Aufzeichnung der elektrischen Leitfähigkeit (für Salztracer) mithilfe von geeigneten Messsonden und Datensammern ist Stand der Technik. In ähnlicher Weise erfolgt auch die Aufzeichnung von Messwerten mittels ionenselektiver Elektroden z. B. für Natrium oder Bromid. Derartige Systeme sind allerdings noch aufwendiger zu betreuen, da sie, um zu einer quantitativen Aussage zu kommen, mit entsprechenden Standards kalibriert werden müssen, außer es werden nur die Rohsignale aufgezeichnet und diese später im Labor anhand analysierter Wasserproben referenziert. Auch beim Einsatz von Feldfluorimetern oder Gamma-Detektoren (für eingespeiste Radionuklide) ist zu beachten, dass diese kalibriert oder mittels im Labor analysierter Wasserproben referenziert werden müssen.

Für alle Feldmessgeräte ist festzuhalten, dass sie gegenüber den Labormessungen im Allgemeinen eine geringere Nachweisempfindlichkeit bzw. eine höhere Messunsicherheit aufweisen. Wie groß diese Unterschiede sind, hängt im Wesentlichen von den verwendeten Geräten, dem eingesetzten Tracer und der erforderlichen Kalibration ab. Der Vorteil einer Direktmessung ist, dass eine hohe Datendichte erreicht, ein Ergebnis schneller bewertet und der Beobachtungs- bzw. Entnahmeplan bei Bedarf rasch angepasst werden kann.

### **Beprobung mit Aktivkohlefiltern**

Beim Einsatz von Fluoreszenztracern hat sich die zusätzliche Beobachtung mittels Aktivkohlefiltern bewährt. Diese erlauben aber nur einen qualitativen Nachweis des Tracers und werden im Allgemeinen als Ergänzung zu den Wasserproben oder an schwierig zu erreichenden Beo-

bachtungsstellen eingesetzt. Da der Tracer im Rahmen der Sorptionskapazität der Aktivkohle in und an dieser akkumuliert wird, lassen sich auf diese Weise bis zu mehreren Zehnerpotenzen niedrigere Konzentrationen als in den Wasserproben nachweisen. Aktivkohlefilter sind üblicherweise nicht im Handel erhältlich, werden aber von manchen Instituten in Eigenregie hergestellt und können allenfalls dort bezogen werden.

Der Aktivkohlefilter besteht aus einem Kunststoffgazesäckchen, welches mit hochreiner Aktivkohle befüllt und mit einer Nummer versehen ist. Die Aktivkohle sorbiert den Tracer, der im Labor mittels geeigneter Lösungsmittel eluiert werden kann. Aktivkohle ist der sogenannten „Tierkohle“ äquivalent, wie sie aus der Human- und Veterinärmedizin oder aus Trinkwasser-aufbereitungsanlagen bekannt ist. Die Kohlesäckchen werden im Allgemeinen wöchentlich gewechselt, können zum Nachweis eines Tracers an unzugänglichen Beobachtungsstellen aber auch über einen längeren Zeitraum eingehängt bleiben. Es ist jedoch zu beachten, dass bei Beobachtungsstellen mit hoher organischer Hintergrundbelastung die Aktivkohle nach kurzer Zeit nicht mehr in der Lage ist, den Tracer zu sorbieren. Zur Entnahme sind die Kohlesäckchen nur am Gazerand zu berühren und anschließend in Kunststoffhüllen zu verpacken, um Kontaminationen zu vermeiden.

### Probenahme bei Partikeltracern

Bei der Verwendung von gefärbten bzw. fluoreszenzmarkierten **Sporen** werden speziell adaptierte Planktonnetze eingesetzt, die an der Beobachtungsstelle exponiert werden. Bei der Probenahme wird aus dem Planktonnetz eine Sammelprobe „ausgemolken“, wobei der gesamte Detritus in die Probenflasche gefüllt wird. Die Proben werden im Labor aufbereitet (Abtrennung der Grobfraktion und Herstellung der Sporenpräparate). Die Präparate werden im normalen Licht- oder auch Fluoreszenzmikroskop auf ihren Sporengehalt ausgezählt. Diese Tätigkeit ist sehr zeitaufwendig und erfordert große Erfahrung und Übung.

Die Beprobung beim Einsatz von **Mikrosphären** (gefärbte oder fluoreszenzmarkierte „Kunststoffkugelchen“) erfolgt durch einfache Entnahme von Wasserproben. Darauf folgen die Aufbereitung und das Mikroskopieren im Labor. Unter günstigen Bedingungen (z. B. geringe Trübebelastung) ist auch eine Online-Erfassung der Mikrosphären mit speziellen Zählgeräten möglich.

Die Beprobung auf **Phagen** erfolgt wie bei den Mikrosphären mittels Wasserprobenentnahme. Allerdings sollten als Entnahmegeräte keimfreie Braunglasflaschen mit mindestens 100 ml Inhalt verwendet werden. Die Lagerung sollte in Kühlbehältern bei etwa 4 °C lichtgeschützt erfolgen, bei längeren Lagerzeiten ist auch Einfrieren der Proben zulässig. Welche Art der Lagerung oder Vorbehandlung der Proben zulässig ist, ist mit dem analysierenden Labor abzusprechen.

## 4 Auswertung und Interpretation

### 4.1 Datenerfordernisse und Datenqualität

Bei der Auswertung von Tracerversuchen ist man vorerst auf die Rohdaten der Analytik angewiesen. Hierbei ist zu unterscheiden, welche Mess- und Beprobungsmethoden (manuelle oder automatische Wasserprobenentnahme, Online-Messung mit Feldfluorimetern oder ionenselektiven Elektroden, Gamma-Detektoren, Aktivkohlebeprobung, Sporenbeprobung etc.) im Feld und welche Analysemethoden im Labor (HPLC, Spektral-Fluorimeter, Mikroskopie etc.) zur Anwendung gelangen.

Ein wichtiger Schritt bereits bei der Planung eines Versuchs ist die Erfassung eines möglichen, schon vor der Tracereingabe bestehenden geogenen oder anthropogenen Hintergrunds, der den Versuchsablauf oder die Auswertung beeinflussen könnte. Hintergrundwerte können aber auch durch Kontaminationen bei der Handhabung des Tracers oder instrumentelle Einflüsse bei der Analytik verursacht werden. Die Hauptursache für Hintergrundwerte sind entweder Kontaminationen oder vorbestehende anthropogene Einflüsse aus Haushalts- oder gewerblichen Aktivitäten (z. B. Waschmittelzusätze im Abwasser). Geogene Einflüsse können durch natürliche organische Belastungen (z. B. Huminstoffe) entstehen. Während eines Tracerdurchgangs ist es nur selten möglich, den vorhandenen Hintergrund mitzufassen. Meist muss ein konstanter Wert angenommen werden, der von den analytischen Rohwerten bei der Endauswertung abgezogen werden muss. Jedenfalls sind eine sorgfältige Hintergrundanalyse und eine Abschätzung aller analytischer Messunsicherheiten ein wichtiger Bestandteil der Auswertung.

### 4.2 Tracerdurchgang – Charakteristische Kennwerte

#### 4.2.1 Die Durchgangskurve

Die Ergebnisse eines Tracerversuches können in Verbindung mit anderen Parametern (Niederschlag, Schüttung, chemisch-physikalische Parameter) in einem Zeit-Parameterdiagramm, der Durchgangskurve, anschaulich dargestellt werden. Beispielhaft ist in [Abbildung 1](#) ein Zeit-Konzentrationsdiagramm mit Schüttung und Wiederausbringung dargestellt. In gleicher Weise kann auch ein Zeit-Massenfluss (Fracht)-Diagramm erstellt werden. Die Form der Durchgangskurve hängt von vielen Einflussfaktoren ab:

- Art der Eingabe
- Art der Beprobung und des Beprobungsintervalls
- Niederschläge und Abflussmengen
- Art des Aquifers (z. B. Kluftentwässerung, Strömen in Porenhohlräumen)
- Überlagerung mehrerer Teildurchgänge (ein- und mehrgipelige Durchgänge)
- Mischungs- und Dispersionsvorgänge im Aquifer etc.

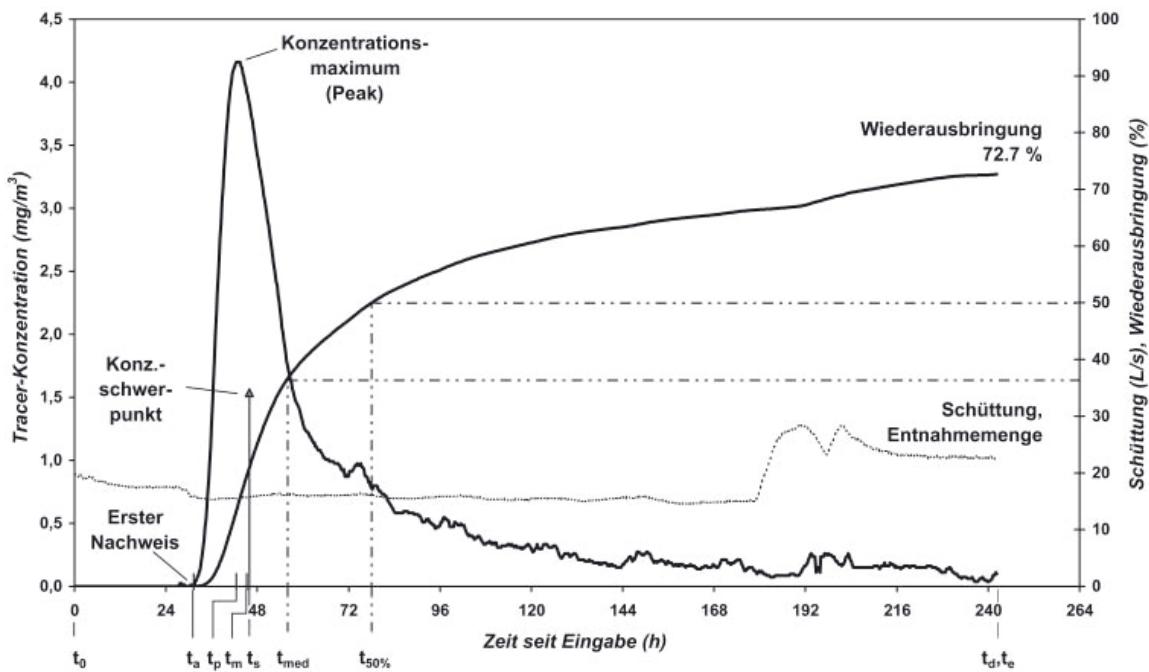


Abbildung 1: Tracerdurchgangskurve (Zeit-Konzentration) mit Schüttungsverlauf während des Durchgangs. Die Form ergibt sich aus einer Momentaneingabe. Die im Bereich des auslaufenden Kurvenasts auftretenden Schwankungen werden i. Allg. durch unterschiedlich wirksame Retentionsvorgänge im markierten System verursacht. Im auslaufenden Ast verursacht der starke Schüttungsanstieg nochmals einen kleinen aber merkbaren Konzentrationsanstieg. Der zeitliche Verlauf der Wiederausbringung ist in Prozent der injizierten Tracermenge angegeben.  $t_0$  = Eingabezeit,  $t_a$  = Zeit zwischen Eingabe und erstem Nachweis,  $t_p$  = Zeit zwischen Eingabe und Maximal-(Peak)-Konzentration,  $t_m$  = mittlere Transportzeit (aus 1D-Tracermodell; WERNER, 1998),  $t_s$  = Zeit zwischen Eingabe und Konzentrationsschwerpunkt,  $t_{med}$  = Medianzeit bei 50 % des beobachteten wieder ausgebrachten Tracers,  $t_{50\%}$  = Zeit, bei der 50 % der injizierten Tracermasse wieder ausgebracht wurden,  $t_d$  = Gesamtdauer des beobachteten Durchgangs zwischen erstem Nachweis und dem Ende der Beobachtung,  $t_e$  = Zeit zwischen Eingabe und dem Ende der Beobachtung oder Messung

Eine Momentaneingabe führt bei Versuchen in Fließgewässern oder in Karstsystemen im Allgemeinen zu relativ scharf ausgebildeten Durchgängen, bei Eingabe ins Porengrundwasser unter Pumpbedingungen meistens zu lang gezogenen Durchgängen. Kontinuierliche Eingaben bzw. Eingaben mit konstanter Zuflussmenge über einen bestimmten Zeitraum ergeben im Allgemeinen Konzentrationsplateaus.

Auch Mischungsvorgänge und unterschiedliche Transportpfade im Aquifer können sich in den Durchgängen abbilden, z. B. wenn „mehrgipelige“ Durchgänge zu beobachten sind. Unter Erfüllung aller Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße Durchführung eines Tracerversuchs können solche Effekte nur dann eintreten, wenn der Tracer über mehrere Transportpfade zur Beobachtungsstelle gelangt, die mit unterschiedlichen Weg-/Zeitstrecken zusammenhängen.

#### 4.2.2 Transportzeit und Transportgeschwindigkeit

Als Kennwerte für den Transportvorgang und in weiterer Folge für die Wasserbewegung können aus dem Tracerdurchgang verschiedene Transportzeiten bzw. -geschwindigkeiten errechnet werden (Tabelle 12).

*Tabelle 12: Übersicht über wichtige berechenbare Transportzeiten und -geschwindigkeiten. Im einfachsten Fall können schon aus Rohdaten (z. B. Anzeigewerte eines Messinstrument) Transportzeiten errechnet werden. Für weitergehende Berechnungen sind zusätzlich Werte der Konzentrationen bzw. des Massenflusses (der Fracht) notwendig. Um Geschwindigkeiten zu errechnen, sind Transport- bzw. Fließdistanzen notwendig. Konzentrationen in Masse/Volumen (mg/l, µg/l, mg/m³, ppb), Massenfluss in Masse/Zeiteinheit (mg/s o. Ä.).*

Kennwert	Benötigte Angaben aus den genannten Kategorien zur Berechnung des Kennwerts		
	Rohdaten	Konzentrationen	Massenfluss
Erster Nachweis (Zeitpunkt)	Datum/Uhrzeit, Zeit seit Eingabe	Datum/Uhrzeit, Zeit seit Eingabe	Datum/Uhrzeit, Zeit seit Eingabe, Schüttung (Entnahme)
Maximum (Peak) (Zeitpunkt)	Datum/Uhrzeit, Zeit seit Eingabe	Datum/Uhrzeit, Zeit seit Eingabe	Datum/Uhrzeit, Zeit seit Eingabe, Schüttung (Entnahme)
Schwerpunkt (Zeitpunkt)		Zeit seit Eingabe	Zeit seit Eingabe Schüttung (Entnahme)
Intensive Abstandsgeschwindigkeit (erster Nachweis)	Zeit seit Eingabe, Abstand (Distanz)	Zeit seit Eingabe, Abstand (Distanz)	Zeit seit Eingabe, Schüttung (Entnahme) Abstand (Distanz)
Dominierende Abstandsgeschwindigkeit (Maximum)	Zeit seit Eingabe, Abstand (Distanz)	Zeit seit Eingabe, Abstand (Distanz)	Zeit seit Eingabe, Schüttung (Entnahme) Abstand (Distanz)
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit (s. Text bzw. Glossar)		Zeit seit Eingabe, Abstand (Distanz)	Zeit seit Eingabe, Schüttung (Entnahme) Abstand (Distanz)

Für Berechnungen von Abstandsgeschwindigkeiten werden die kürzesten Horizontaldistanzen zwischen der Eingabestelle und einer betroffenen Beobachtungsstelle aus einer topografischen Karte oder einem Geländeplan entnommen. Da der wahre Transportweg im Untergrund niemals exakt bekannt ist, stellt dies einen Kompromiss dar. Die daraus ermittelten Geschwindigkeiten stellen daher immer Minimalwerte dar. Streng genommen sind nur bei einem idealen Tracer die ermittelten Geschwindigkeiten einer Fließgeschwindigkeit des transportierenden Wassers gleichzusetzen, in der Realität sind dies jedoch im Allgemeinen Transportgeschwindigkeiten, die nur für den jeweiligen Tracer Gültigkeit haben.

Die Bestimmung des Zeitpunkts des ersten Nachweises und der damit verknüpften Geschwindigkeit sind im Wesentlichen vom verwendeten Analyseverfahren und einer sorgfältigen Erfassung des natürlichen oder anthropogenen Hintergrunds sowie von der Art der Beprobung abhängig.

Der Zeitpunkt des Konzentrationsmaximums (engl. Peak) und die entsprechende Geschwindigkeit sind kaum vom Analysenverfahren, sondern im Wesentlichen vom Mess- oder Beprobungsintervall abhängig.

Als kritisch ist die Berechnung der mittleren Abstandsgeschwindigkeit (Transportgeschwindigkeit) anzusehen. Sie entspricht dem Mittel aller während des Tracerversuchs an einer bestimmten Beobachtungsstelle erhaltenen Transportgeschwindigkeiten (vgl. Glossar). Sind bei einem Tracerversuch nur Konzentrationswerte, aber keine Schüttungs- bzw. Entnahmemengen verfügbar, kann nur aus den Zeit- und Konzentrationsdaten eine mittlere Transportzeit abgeschätzt werden. Sind Schüttungs- oder Entnahmemengen verfügbar, ist die mittlere Transportzeit aus den Zeit- und Massenflussdaten zu berechnen. Unterschiede zwischen

Berechnungen auf Basis von Konzentrationen bzw. Massenflussdaten können sich bei stark schwankenden Schüttungen bzw. Entnahmemengen ergeben.

Der Ausbreitungsvorgang beim Tracertransport ist neben anderen Einflussfaktoren (Art des Tracers und seiner Eingabe etc.) von den Aquifereigenschaften abhängig und ist grundsätzlich als dreidimensionaler Vorgang anzusehen. Während in geschlossenen Gerinnen und in Karstkanälen der Ausbreitungsvorgang oft in guter Näherung als eindimensional angesehen werden kann (Transportkomponente nur in der Fließrichtung), müssen im Porengrundwasser oder in den meisten Kluftaquiferen auch Transportkomponenten quer (transversal) und vertikal zur Hauptfließrichtung berücksichtigt werden. Neben verschiedenen Näherungsmethoden sind für eine zuverlässige Schätzung der mittleren Abstandsgeschwindigkeit (Transportgeschwindigkeit) entsprechende Tracer-Transportmodelle anzuwenden (MALOSZEWSKI & ZUBER, 1992; WERNER, 1998; RAUSCH et al., 2002; SCHUDEL et al., 2002; SCHWARTZ & ZHANG, 2003).

#### 4.2.3 Wiederausbringung

Die Wiederausbringung des eingegebenen Tracers kann dann berechnet werden, wenn der Massenfluss als Produkt von Tracerkonzentration und Wassermenge (bei Quellen als natürlicher Abfluss, bei Brunnen als Pumpmenge, bei Fließgewässern als Durchflussmenge) für die Auswertung zur Verfügung steht. Eine hohe Ausbringung verweist im Festgestein auf ein recht einfaches Infiltration-Exfiltration-System.

Die Wiederausbringung errechnet sich bei positivem Nachweis und quantitativer Auswertung für eine Beobachtungsstelle aus der Integration des Massenflusses über die Zeit.

Erfahrungsgemäß ist die Abflussmenge an den Beobachtungsstellen häufig nur mit sehr begrenzter Genauigkeit erfassbar. Schätzungen von Abflussmengen (Schüttungen) und ihre Verwendung zur Berechnung der Wiederausbringung können bestenfalls zu einem überschlägigen Ergebnis führen.

Die gesamte Wiederausbringung (Summe der Wiederausbringung des eingesetzten Markierungsmittels an allen Stellen positiven Nachweises) kann auch als qualitatives Bewertungskriterium für einen Versuch herangezogen werden. Bei vollständiger (auch zeitlicher) Erfassung aller Austrittsstellen stellt eine Wiederausbringung von weniger als 100 % (was meistens der Fall ist) einen Hinweis dar, wie viel Tracer im System während der Beobachtungszeit (temporär) gebunden wurde. Bei nicht vollständiger Wiederausbringung deutet dies daher auf Reaktivität des Tracers, längerfristige Retention oder Ausbringung unterhalb der Nachweigrenze hin. Bei einer errechneten Wiederausbringung von mehr als 100 % (häufig unter Hochwasserverhältnissen) liegen die Unsicherheiten meist in fehlerhafter Bestimmung des Abflusses und kaum in fehlerhafter Analytik.

### 4.3 Interpretation

Die Bewertung und Interpretation von Versuchsergebnissen setzt eine umfassende Kenntnis der Rahmenbedingungen (Geologie, Hydrologie etc.) voraus, sollte entsprechend ausgebildeten und erfahrenen Fachleuten vorbehalten bleiben und hinsichtlich der Fragestellung zu einer konkreten und eindeutigen Aussage führen.

Dabei sind folgende Grundsätze zu beachten:

- ein eindeutiger Durchgang kann als Beweis für eine tatsächliche Fließverbindung zwischen Einspeise- und Entnahme- bzw. Beobachtungsstelle angenommen werden
- Einzelnachweise eines Tracers, vor allem bei nur sporadischem Auftreten, sind mit besonderer Vorsicht zu bewerten, da es sich um Kontaminationen oder Mängel in der Erfassung des natürlichen oder anthropogenen bedingten Hintergrunds handeln kann

- nur ein positives Ergebnis, das keiner Kontaminationsquelle und keinem natürlichen oder anthropogenen Hintergrund entstammt, ist für eine Fließverbindung eindeutig
- ein negatives Ergebnis ist im Allgemeinen nicht eindeutig, falls nicht durch weitere Untersuchungen und Beobachtungen Fehlerquellen ausgeschlossen werden können. **Aus einem negativ verlaufenden Tracerversuch kann daher niemals geschlossen werden, dass keine Fließverbindung besteht**, da durch übermäßige Verdünnung, durch Sorption, durch mikrobiellen Abbau, durch chemische Reaktionen oder durch zu frühen Abbruch der Beobachtung der eingegebene Tracer nicht nachweisbar sein könnte
- jeder Markierungsversuch stellt nur eine „Momentaufnahme“ des untersuchten hydrogeologischen Systems unter den jeweils vor und während des Versuchs herrschenden Randbedingungen (Hydrometeorologie, Speicherverhalten des Aquifers, Lage der Wasserscheide etc.) dar. Dies ist von besonderer Bedeutung für die Bemessung von Schutzzonen. Im Allgemeinen werden sich bei positiven Tracernachweisen jeweils nur Mindestausdehnungen des für eine Beobachtungsstelle jeweils gültigen hydrografischen Einzugsgebiets ergeben
- wann immer möglich und vertretbar sollten vor allem bei größeren Planungsvorhaben Tracerversuche unter verschiedenen hydrometeorologischen Randbedingungen und mit unterschiedlichen Tracern durchgeführt werden (Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit).

Von großem Vorteil ist der gleichzeitige Einsatz verschiedener Tracer bei ein und demselben Versuch. Die Besichtigung verschiedener Schwinden oder anderer Versinkungsstellen eines Gebirgsstocks bietet die Möglichkeit, die Grundzüge der unterirdischen Entwässerung dieses Gebiets unter Kenntnis der hydrologischen Bedingungen zu klären. Die Hydrologie ist deshalb besonders wichtig, weil ein unterschiedlicher „Auffüllungsgrad“ des hydrogeologischen Systems einen differenzierten Abfluss aus dem Gebiet mit sich bringt. Die Wiederholung eines Tracerversuchs bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen ist daher anzuraten, weil sich durch die unterschiedlich schnelle Entleerung oder Auffüllung des Systems sogar die Fließrichtung des unterirdischen Wassers ändern kann.

## 5 Dokumentation

### 5.1 Berichtlegung

Um den wasserwirtschaftlichen Anforderungen zu entsprechen, ist nach Abschluss eines Markierungsversuchs ein Bericht anzufertigen. Der Bericht hat eine lückenlose und detaillierte Dokumentation aller Versuchphasen und Ergebnisse zu enthalten. Er gliedert sich in folgende Punkte:

#### Allgemeines und Veranlassung:

- Der Auftraggeber, die Veranlassung, die Fragestellung, die Ziele sowie die rechtlichen und technischen Hintergründe sind anzuführen.

#### Unterlagen:

- Sämtliche für den Markierungsversuch relevanten Unterlagen (bestehende Rechte, topografische Karten, geologische Karten, hydrogeologische Untersuchungen, Bescheide und Gutachten) sind aufzulisten.

#### Gebietsdarstellung:

- geologische, hydrogeologische und hydrologische Situation
- Aufnahme von Quellen, Brunnen
- wasserwirtschaftliche Nutzungen (Wasserver- und -entsorgungen etc.)
- Schutz- und Schongebiete
- bestehende Voruntersuchungsergebnisse.

#### Durchführung:

In diesem Punkt sind die Methodik der Versuchsdurchführung, der Beobachtung, die Probenahmeart, das eingesetzte Personal und die Analytik (Labor, Methoden) anzugeben. Folgende Punkte sind anzuführen:

- Datum, Beginn und Ende der Einspeisung
- Markierungsstoff, exakte Bezeichnung, Menge und Volumen
- Art der Einspeisung (vorgelöst, vor Ort aufgelöst, momentan bzw. kontinuierlich)
- Zeit, Menge und Art der Vor- bzw. Nachspülung
- Herkunft und Transport des Spülwassers
- bei Einspeisung in Fließgewässer die Durchflussmenge
- Zeitraum und Intervalle der Beobachtung
- Art der Beobachtung (Probenahme oder Online-Messung)
- Anzahl von entnommenen, analysierten und allfälligen Rückstell-Proben
- spezielle hydrologische und meteorologische Beobachtungen während der Versuchsdurchführung (Wetterlage)
- Beschreibung und Skizzen der Einspeise- und Beobachtungsstellen, mit Angabe über Aquifertyp, Einspeise- bzw. Beobachtungstiefe im Bohrloch (GOK)
- jede Einspeisestelle und alle Beobachtungsstellen sind in eine topografische Karte (ÖK) einzutragen und ihre Lage in einem Koordinatensystem (z. B. Bundesmeldenetz) sowie ihre Seehöhe sind anzugeben.
- Fotodokumentation (insbesondere Einspeise- und Beobachtungsstellen)
- Namen: Protokollführer, Einspeiser, Beobachter, Hilfskräfte
- getroffene Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationen, Entsorgung kontaminierten Materials.

### **Auswertung und Ergebnis:**

- Die Ergebnisse der durchgeführten Wasseranalysen, der Aktivkohleuntersuchungen (mit Angabe der Expositionszeit), sowie der eingesetzten Datenlogger oder weiterer Feldmesssysteme sind in tabellarischer und grafischer Form aufzubereiten. Tracerdurchgänge sind grafisch darzustellen und auszuwerten (erster Nachweis, maximale Konzentration, Transportzeiten und -geschwindigkeiten).

### **Beurteilung des Markierungsversuches:**

- Bei der Beurteilung ist auf die eingangs erwähnte Fragestellung einzugehen und es sind die entsprechenden hydrogeologischen, hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen einzubeziehen
- Bei der Auswertung von Markierungsversuchen in gerichtlichen und behördlichen Streitverfahren ist zu beachten, dass nur ein eindeutiger Nachweis des Markierungsstoffs ein nachvollziehbares, verwertbares Ergebnis darstellt. Konnte der Markierungsstoff nicht nachgewiesen werden, ist eine Begründung dafür anzuführen.

## **5.2 Datenbank**

Bisher wurden viele Tracerversuche ohne Einbindung der Verwaltungsbehörden bzw. der Wasserwirtschaft durchgeführt. Dies hatte zur Folge, dass bisher kein genauer Überblick über bereits durchgeführte Untersuchungen vorliegt und wertvolle Kenntnisse verloren gingen.

Nunmehr wurde im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft eine Datenbank zur Archivierung von Markierungsversuchen eingerichtet.

Damit wird ein Überblick erreicht, in welchen Landesteilen, insbesondere in welchen Gebirgsstöcken oder Porengrundwasserfeldern Versuche durchgeführt, welche Tracer eingesetzt, welche Eingabestellen beschickt, welche Stellen beprobt und welche wesentlichen Ergebnisse erzielt wurden. In der Datenbank werden nicht alle Detailergebnisse eines Versuchs erfasst, sondern nur die wesentlichen Kennwerte. Für Details wird auf die beim Auftraggeber aufliegenden Berichte verwiesen.

Um Interessenten Auskünfte erteilen und Aktualisierungen rasch durchführen zu können, müssen Ausführende von Markierungsversuchen die entsprechenden Daten der Abteilung Wasserhaushalt (Hydrografisches Zentralbüro) im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft übermitteln. Dies hat in der unter <http://wasser.lebensministerium.at> → Wasser → Wassernet → Der Wasserkreislauf bzw. <http://www.wassernet.at/article/archive/5700> erläuterten Form zu erfolgen. Dort besteht auch ein Link zur Ansicht der vorhandenen Daten in Form einer Übersichtskarte.

Die Archivierung der Daten soll Planer, Ausführende und andere Interessenten in die Lage versetzen, bestehende Ergebnisse von Markierungsversuchen frühzeitig in ihre Planungen mit einzubeziehen.

## 6 Rechtsgrundlagen

### 6.1 Rechtliche Grundlagen bei Markierungsversuchen

#### 6.1.1 Einleitung

Von Bedeutung sind in wasserrechtlicher Hinsicht bei Markierungsversuchen vor allem folgende Bestimmungen des Wasserrechtsgesetzes 1959, BGBl. Nr. 215/1959, i. d. g. F. (im Folgenden kurz: WRG 1959):

- § 30 WRG 1959 (Ziele)
- § 31 WRG 1959 (Allgemeine Sorge für die Reinhaltung)
- § 34 und § 35 WRG 1959 (Schutz von Wasserversorgungsanlagen)

und vor allem die Sonderbestimmung des

- § 56 WRG 1959 (Vorübergehende Eingriffe in den Wasserhaushalt).

Im § 30 WRG 1959 sind die Ziele der nachhaltigen Bewirtschaftung der Gewässer genannt. Entsprechend dieser Bestimmung sind alle Gewässer einschließlich des Grundwassers so reinzuhalten und zu schützen, dass

- die Gesundheit von Mensch und Tier nicht gefährdet werden kann
- eine nachhaltige Wassernutzung gefördert wird und
- insbesondere das Grundwasser sowie das Quellwasser als Trinkwasser verwendet werden können.

Zum Schutz dieser Ziele findet sich im § 31 WRG 1959 eine allgemeine Reinhaltungspflicht für jedermann sowie eine erhöhte Sorgfaltspflicht für Experten und im § 56 WRG 1959 eine Bewilligungspflicht für vorübergehende Eingriffe in den Wasserhaushalt (z. B. Markierungsversuche).

#### 6.1.2 Allgemeine Reinhaltungspflicht

Die allgemeine Sorgfaltspflicht für die Reinhaltung von Gewässern gemäß § 31 Abs. 1 WRG 1959 bedeutet, dass jedermann, dessen Anlagen, Maßnahmen oder Unterlassungen eine Einwirkung auf ein Gewässer herbeiführen können, sich so zu verhalten hat, dass eine Gewässerverunreinigung vermieden wird, die den Bestimmungen des § 30 WRG 1959 zuwiderläuft und nicht durch eine wasserrechtliche Bewilligung gedeckt ist.

Nicht jede Verunreinigung ist jedoch wasserrechtlich von Bedeutung, sondern nur eine solche, durch die eine mehr als geringfügige Einwirkung verursacht wird. Eine mehr als geringfügige Einwirkung auf ein Gewässer liegt vor, wenn sie einer zweckentsprechenden Nutzung der Gewässer entgegensteht. Unter zweckentsprechender Nutzung eines Gewässers ist eine den Zielen des § 30 WRG 1959 (siehe oben) entsprechende Nutzung zu verstehen, die z. B. die Gesundheit von Mensch und Tier nicht gefährdet und den Gemeingebräuch sowie insbesondere die Nutzung von Grund- und Quellwasser als Trinkwasser nicht verhindert.

Diese allgemeine Sorgfaltspflicht richtet sich an alle unabhängig davon, ob die Anlage oder Maßnahme wasserrechtlich bewilligungspflichtig ist oder nicht. Der Gesetzgeber geht davon aus, dass jedermann mit der im Sinne des § 1297 (Allgemeine Sorgfaltspflicht von jedem), zutreffendenfalls mit der im Sinne des § 1299 (Besondere Sorgfaltspflicht der Sachverständigen) des Allgemeinen Bürgerlichen Gesetzbuchs (im Folgenden kurz: ABGB) gebotenen Sorgfalt vorgeht. Die besondere Sorgfaltspflicht nach § 1299 ABGB bedeutet, dass der Gesetzgeber davon ausgeht, dass der Betreiber von besonderen Maßnahmen, für die besondere Fähigkeiten und Kenntnisse erforderlich sind – wie z. B. von Markierungsversuchen –, auch über

die besonderen erforderlichen Fähigkeiten und Kenntnisse verfügt und für einen Mangel an diesen Fähigkeiten auch haftet.

Die Organisationsleitung eines Tracerversuchs hat deshalb immer darauf zu achten, dass durch die Markierung eines Gewässers keine Gewässerverunreinigung verursacht bzw. diese Gefahr bereits im Vorfeld des Versuchs minimiert wird.

Tritt trotz aller Sorgfalt eine Verunreinigung auf, die rechtlich bedeutsam ist, so hat gemäß § 31 Abs. 2 WRG 1959 der Verursacher unverzüglich die zur Vermeidung einer Verunreinigung erforderlichen Maßnahmen selbst zu treffen oder zu veranlassen (Pflicht zur Beseitigung der Verunreinigung) und die örtlich zuständige Bezirksverwaltungsbehörde und bei Gefahr im Verzug (z. B. bei Verunreinigung einer Trinkwasserversorgungsanlage) den Bürgermeister oder die nächste Dienststelle des öffentlichen Sicherheitsdiensts zu verständigen (Meldepflicht).

Kommt der Verursacher der Beseitigungspflicht nicht ordnungsgemäß nach, können die notwendigen Maßnahmen durch die Behörde auf Kosten des Verursachers vorgeschrieben werden.

Bei Verstößen gegen die allgemeine Reinhaltungspflicht können den Verursacher verwaltungsstrafrechtliche, schadenersatzrechtliche, aber unter Umständen auch strafrechtliche Folgen treffen.

### 6.1.3 Bewilligungspflicht bei Markierungsversuchen

Vor der Durchführung eines Markierungsversuchs stellt sich aus wasserrechtlicher Sicht die wesentliche Frage: Ist der Markierungsversuch wasserrechtlich bewilligungspflichtig oder nicht? Diese Frage ist durch Anwendung des § 56 WRG 1959 zu beantworten, der eine Spezialbewilligungspflicht für vorübergehende Eingriffe in den Wasserhaushalt normiert.

§ 56 Abs. 1 WRG 1959 lautet: „Vorübergehende Eingriffe in den Wasserhaushalt, wie z. B. Pumpversuche oder wasserbauliche und wasserwirtschaftliche Versuche in der freien Natur, bedürfen einer Bewilligung der Wasserrechtsbehörde, wenn eine Beeinträchtigung öffentlicher Interessen oder eine Verletzung bestehender Rechte (§ 12 WRG) zu befürchten ist. Gemäß § 56 Abs. 2 WRG 1959 finden im Übrigen darauf alle Bestimmungen des Wasserrechtsge setzes, die für Wasserbenutzungsanlagen gelten, einschließlich der Bestimmungen über Zwangsrechte sinngemäß Anwendung.“

Die öffentlichen Interessen, die durch das Wasserrecht geschützt werden, sind im § 105 WRG 1959 aufgezählt, z. B. die öffentliche Sicherheit oder die Gesundheit von Menschen. Diese Aufzählung ist nicht abschließend, sondern wird auch durch die Rechtsprechung ergänzt.

Die geschützten **bestehenden Rechte** im Sinne des § 12 Abs. 2 WRG 1959 sind:

- rechtmäßig geübte Wassernutzungen, das sind durch Bewilligungsbescheid eingeräumte Wasserbenutzungsrechte (z. B. kommunale oder private Wasserversorgungsanlagen)
- Nutzungsbefugnisse nach § 5 Abs. 2 WRG 1959, das sind bewilligungsfreie Nutzungen von Privatgewässern (z. B. Brunnen oder Quellnutzungen im bewilligungsfreien Rahmen)
- das Grundeigentum, das sowohl den Grund und Boden als auch die darauf befindlichen Baulichkeiten umfasst.

Im Motivenbericht der Regierungsvorlage zur Bestimmung des § 56 WRG wird ausgeführt:

*„Eine sorgfältige Planung wasserwirtschaftlicher Großvorhaben fordert öfters auch Versuche in der Natur. Die neue Bestimmung will solche – wenn auch nur vorübergehende – Eingriffe, die sowohl öffentliche als auch private Interessen als auch private Rechte berühren können, durch ein Bewilligungsverfahren ermöglichen und auch kontrollieren.“*

Gemäß § 56 WRG 1959 bewilligungspflichtige Maßnahmen müssen den Charakter von Versuchen wie Pumpversuche oder wasserbauliche und wasserwirtschaftliche Versuche in der freien Natur haben. Der Zweck allein ist dafür bestimmend, ob eine Anlage oder Maßnahme als vorübergehender Eingriff in den Wasserhaushalt oder als bewilligungspflichtige Wasserbenutzungsanlage bzw. Maßnahme im Sinne der §§ 9 (Besondere Wasserbenutzung an öffentlichen Gewässern und privaten Tagwässern), 10 (Benutzung des Grundwassers) und 32 (Bewilligungspflichtige Einwirkung) WRG 1959 zu beurteilen ist.

Der Gesetzgeber hat an sich keine besonderen Rechtsfolgen an die Erfüllung des Spezialbewilligungstatbestands des § 56 WRG 1959 geknüpft, da gemäß § 56 Abs. 2 WRG 1959 ohnehin alle Bestimmungen, die für Wasserbenutzungsanlagen gelten, sinngemäß anzuwenden sind. Im Rahmen einer teleologischen Interpretation kann man jedoch davon ausgehen, dass gesetzlich vorgesehene Verfahrenserleichterungen (z. B. vereinfachte Pläne gemäß § 103, vereinfachte vorläufige Überprüfung gemäß § 104 Abs. 5) und eine – wegen des vorübergehenden Charakters des Eingriffs – großzügigere Handhabung des § 105 bei Verfahren nach § 56 WRG 1959 gerechtfertigt sind.<sup>1)</sup>

Als vorübergehende Eingriffe sind nur Maßnahmen anzusehen, die nicht selbst Gegenstand einer Wasseranlage sind, sondern deren Vorbereitung dienen. § 56 WRG 1959 hat insbesondere Versuche, und das umfasst auch Markierungsversuche, zum Gegenstand.

Eine Bewilligungspflicht für derartige Eingriffe besteht nur, wenn eine Beeinträchtigung öffentlicher Interessen (z. B. die Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität des Grundwassers und damit verbunden gesundheitliche Schäden) oder eine Verletzung bestehender Rechte (§ 12) zu befürchten ist. Wenn bei einem Markierungsversuch aufgrund der eingebrachten Stoffe oder Stoffmengen zu befürchten ist, dass eine wasserrechtlich bewilligte oder eine nach § 5 Abs. 2 WRG 1959 bewilligungsfreie Trinkwasserversorgungsanlage und somit ein bestehendes Recht im Sinne des § 12 WRG 1959 nicht mehr als solches genutzt werden kann, wäre der Versuch aufgrund der damit verbundenen Verletzung eines fremden Rechts eindeutig bewilligungspflichtig. Die Frage, ob ein bewilligungspflichtiger Versuch vorliegt, hängt vor allem von den eingesetzten Stoffen ab, und ist einerseits vom Untersucher selbst, aber auch vor allem von den damit befassten Amtssachverständigen für Hydrogeologie und Hygiene zu beantworten. Diese Auswirkungen müssen solche des Versuchs sein; mögliche spätere Auswirkungen des eventuell folgenden Vorhabens stehen der Bewilligung des Versuchs nicht entgegen.

Markierungs-(Tracer-)Versuche bedürfen im Allgemeinen – mangels entsprechender Auswirkungen – keiner wasserrechtlichen Bewilligung. Derartige Versuche sollten jedoch mit der wasserwirtschaftlichen Planung bzw. dem Hydrografischen Dienst des jeweiligen Bundeslands abgestimmt werden, um nicht etwaige andere Untersuchungen zu stören und damit selbst an Aussagekraft zu verlieren.<sup>2)</sup>

Die Durchführung eines wasserrechtlichen Bewilligungsverfahrens und die Erteilung einer wasserrechtlichen Bewilligung hat für den Organisator eines Tracerversuchs große Vorteile, da er durch die erteilte Bewilligung eine rechtlich geschützte Position erwirbt, die er gegenüber Dritten auch rechtlich durchsetzen kann, und er bei Einhaltung der behördlichen Vorschriften auch die Gefahr von verwaltungsstrafrechtlichen und strafrechtlichen sowie schadensersatzrechtlichen Folgen abstreift.

#### 6.1.4 Schutz- und Schongebiete

Über den Rahmen des § 56 WRG 1959 hinaus können regional in Schutz- und Schongebieten noch weitere Ge- und Verbote sowie Anzeige- und Bewilligungspflichten für Markierungsversuche festgelegt sein. Gemäß §§ 34 und 35 WRG 1959 können nämlich in derartigen durch die Wasserrechtsbehörde festgesetzten Gebieten besondere Anordnungen über die Bewirt-

<sup>1)</sup> Raschauer, Kommentar zum Wasserrecht, § 56 WRG, Randnummer 1

<sup>2)</sup> Oberleitner, Das österreichische Wasserrechtsgesetz 1959, § 56 WRG, Randnummer 5

schaftung getroffen werden, die zur Folge haben können, dass auch Maßnahmen, die nicht nach § 56 WRG 1959 bewilligungspflichtig sind, verboten oder anzeigen- bzw. bewilligungspflichtig sind.

### 6.1.5 Empfohlene Vorgangsweise aus wasserrechtlicher Sicht

- 1) Kontaktaufnahme mit der wasserwirtschaftlichen Planung des jeweiligen Bundeslands zur Klärung, ob und welche Schutz- und Schongebiete sich im Untersuchungsgebiet befinden und welche Anordnungen darin gelten, und Nachfrage nach Ergebnissen früherer wasserwirtschaftlicher Versuche und nach laufenden Untersuchungen sowie eventueller Unterstützungsersklärung durch das wasserwirtschaftliche Planungsorgan
- 2) Absprache über eingesetzte Wirkstoffe und Klärung der eventuell damit verbundenen Folgen für öffentliche Interessen und fremde Rechte und insbesondere für das untersuchte Gewässer mit den Amtssachverständigen bzw. der wasserwirtschaftlichen Planung
- 3) Ist eine Beeinträchtigung öffentlicher Interessen oder eine Verletzung fremder Rechte zu befürchten, muss bei der zuständigen Wasserrechtsbehörde, der jeweiligen Bezirksverwaltungsbehörde, eine wasserrechtliche Bewilligung beantragt werden
- 4) Ein Antrag ist entsprechend dem § 103 WRG 1959 mit den für eine Beurteilung erforderlichen Unterlagen zu versehen
- 5) Handelt es sich um keinen wasserrechtlich bewilligungspflichtigen Markierungsversuch, sind die allgemeine Reinhaltungspflicht sowie die besondere Sorgfaltspflicht für Experten und die damit verbundenen Beseitigungs- und Meldepflichten nach § 31 Abs. 1 und Abs. 3 WRG 1959 zu beachten
- 6) Vor der Durchführung einer wasserrechtlichen Verhandlung, aber auch unabhängig von einem Bewilligungsverfahren, sollte mit allen bewilligten Wasserberechtigten, allen bewilligungsfreien Nutzern von Privatgewässern nach § 5 Abs. 2 WRG 1959 und allen Grundeigentümern, bei denen eine Verletzung ihrer Rechte zu befürchten ist, Kontakt aufgenommen und die Zustimmung eingeholt werden
- 7) Wurde eine wasserrechtliche Bewilligung für den Markierungsversuch erteilt, ist dieser unter strikter Einhaltung der erteilten Auflagen und Bedingungen durchzuführen
- 8) Die Ergebnisse sollten der wasserwirtschaftlichen Planung bzw. den hydrografischen Diensten des jeweiligen Bundeslands zu Verfügung gestellt werden, nicht zuletzt, damit auch zukünftige wasserwirtschaftliche Versuche darauf wieder aufbauen können.

## 6.2 Internationaler Vergleich

Der internationale Vergleich zeigt, dass die gesetzlichen Grundlagen, die darauf begründeten Verordnungen und sonstigen Regeln für die Durchführung von Markierungsversuchen in den beispielhaft angeführten Ländern unterschiedlich sind. Obwohl praktisch alle Länder grundlegende Bestimmungen zur Benutzung und zum Schutz des Wassers haben, ist die Erlaubnis zur Durchführung von Markierungsversuchen nicht in allen Ländern mit gleicher Strenge geregelt. Am striktesten scheinen die Regulierungen in Bayern und Slowenien zu sein, wo eine Genehmigungspflicht herrscht. In England werden zumindest die Anzeige und die Kontaktaufnahme mit den zuständigen Behörden empfohlen. Am freizügigsten erscheinen die derzeitigen Regelungen in Österreich, der Schweiz und in Italien.

Mit Ausnahme der Schweiz und Liechtensteins sind alle Nachbarländer Österreichs Mitglieder der Europäischen Union, weshalb grundsätzlich in all diesen Ländern auch die EU-Richtlinien im Bereich der Wasserwirtschaft Eingang in die jeweiligen Rechtsordnungen gefunden haben. So war die Wasserrahmenrichtlinie in Österreich bis 22.12.2003 in nationales Recht umzusetzen, was mit der Wasserrechtsgesetznovelle 2003 erfolgte. Allgemein ergibt sich aus dieser Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie, dass bis zum Jahr 2015 bei allen Wasserkörpern ein guter Zustand zu erreichen ist. Aus der Wasserrahmenrichtlinie selbst sind keine unmittelbar wirksamen Regeln für Markierungsversuche ableitbar, aber bei grenzüberschreitenden Markierungsversuchen sind auch die einschlägigen Rechtsgrundlagen der jeweils betroffenen Länder zu berücksichtigen.

## 6.2.1 Bayern (Deutschland)

### Quelle:

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2002)

### Gesetzliche Grundlagen:

- Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2002)
- Wasserschutzgebietsverordnungen.

### Behörden:

- Kreisverwaltungsbehörde bzw. kreisfreie Stadt
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (zur Bestimmung der zuständigen Behörde in Zweifelsfällen, z. B. bei großräumigen Versuchen).

### Allgemeine Vorgangsweise:

Das Einleiten von Markierungsmitteln in oberirdische Gewässer oder in das Grundwasser stellt eine Gewässerbenutzung nach WHG § 3 Abs. 1 Nr. 4 bzw. 5 dar, die nach WHG § 2 Abs. 1 einer wasserrechtlichen Erlaubnis bedarf.

Vor Durchführung eines Markierungsversuchs ist an die wasserrechtlich zuständige Behörde ein wasserrechtlicher Antrag zu stellen. Im Vollzug erfolgt zunächst die Antragstellung (6 bis 8 Wochen vor Versuchsdurchführung) bei der Behörde, die eine Prüfung durch den Amtssachverständigen veranlasst, worauf eine Erlaubnis oder Versagung erfolgt. Mindestens 2 Wochen vor der tatsächlichen Durchführung müssen die zuständigen Behörden, Gemeinden und Polizeidienststellen per Anzeige vom bevorstehenden Beginn schriftlich verständigt werden.

Erlaubnisfrei sind Versuche, die im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht von den Wasserwirtschaftsämtern selbst durchgeführt werden, soweit sie nicht geeignet sind, eine schädliche Veränderung herbeizuführen. Eine erlaubnisfreie Benutzung liegt auch bei Übungen und Erprobungen für Verteidigungszwecke sowie zur Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung vor.

## 6.2.2 England

### Quelle:

R.S. WARD et al. (1998)

### Gesetzliche Grundlagen:

- Water Supply (Water Quality) Regulations 1989
- Water Resources Act 1991
- Environment Act 1995
- Groundwater Directive (EC Directive on the Protection of Groundwater Against Pollution by Certain Dangerous Substances – 80/68/EEC.

### Behörden:

- Environment Agency: Im Statut (Environment Act 1995) sind u. a. folgende Pflichten entsprechend dem Water Resources Act 1991 festgelegt: Kontrolle der Einleitungen in das Grundwasser und Übernahme früherer Bestimmungen aus dem National Rivers Authority Policy-Dokument „Policy and Practice for the Protection of Groundwater“
- Drinking Water Inspectorate.

### Allgemeine Vorgangsweise:

Ähnlich wie in Österreich kommt es bei geringfügigen Inanspruchnahmen von Gewässern durch eine Markierung nicht zu Behördenverfahren, obwohl eine Kontrolle entsprechend dem Water Resources Act 1991 möglich wäre.

Zu beachten ist jedoch auch wie in Österreich die Grundwasserrichtlinie (EU-Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verunreinigung durch bestimmte gefährliche Stoffe – 80/68/EEC), wobei zwischen Substanzen unterschieden wird, die zwar als Tracer geeignet, aber in Liste I als solche Stoffe genannt sind, die unter keinen Umständen eingeleitet werden dürfen,

und solche Stoffe (Liste II), deren Einleitung Beschränkungen unterliegt. Inwieweit Stoffe der Liste II als Tracer akzeptabel sind, wird offen gelassen und es wird empfohlen, Direktiven von der Environment Agency einzuholen.

Weiters wird empfohlen, alle geplanten Tracertests einem Groundwater Protection Officer der Environment Agency zu melden, um mögliche Beeinträchtigungen beurteilen zu können. Bei einer möglichen Beeinträchtigung konsultiert die Environment Agency den Wasserversorger (bei öffentlicher Trinkwasserversorgung) oder den Local Authority Environmental Health Officer (bei privater Trinkwasserversorgung).

Wasserversorger sind nach den Water Supply (Water Quality) Regulations 1989 verantwortlich, dass die Wasserversorgung unbeeinträchtigt bleibt. Im Falle eines Tracerversuchs und bei möglichen Risiken wird durch den Wasserversorger und/oder die Environment Agency das Drinking Water Inspectorate eingeschaltet.

### 6.2.3 Italien

#### **Quelle:**

Geokarst Engineering S.r.l. (brfl. Mitt. 2005). Eine auf Markierungsversuche und ihre gesetzliche Regelung ausgerichtete Publikation ist nicht verfügbar. Die Ausführungen beziehen sich auf die Verhältnisse in der „Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia“.

#### **Gesetzliche Grundlagen:**

- zahlreiche nationale Gesetze und Bestimmungen (Normativa Principale) auf Regions- bzw. Provinzebene zum Schutz der Umwelt insbesondere des Wassers
- EURATOM-Normen für radioaktive Tracer.

#### **Behörden:**

- eine Behörde, die speziell für Bewilligungen von Markierungsversuchen zuständig wäre, oder Behörden, die auf jeden Fall zu kontaktieren sind, wurden nicht genannt.

#### **Allgemeine Vorgangsweise:**

Eine besondere Vorgangsweise gibt es nicht, doch wird empfohlen, jene Institutionen, die von einem Markierungsversuch aller Voraussicht nach betroffen sein könnten, vorab zu informieren:

- Bürgermeister (Sindaco del Comune) der betroffenen Gemeinden
- Forstverwaltungen (Corpo Forestale)
- Natur- bzw. Nationalparkverwaltungen
- Regionale Umweltagentur (ARPA – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente)
- Lokale Sanitätsbehörde (USL – Unità Sanitaria Locale)
- Umweltschutzabteilung der Carabinieri – Nucleo Operativo Ecologico (N.O.E.) dei Carabinieri.

### 6.2.4 Slowenien

#### **Quelle:**

Umweltagentur der Republik Slowenien (Ministrstvo za okolje in prostor – MOP, Agencija Republike Slovenije za okolje – ARSO), eine auf Markierungsversuche und ihre gesetzliche Regelung ausgerichtete Publikation ist nicht verfügbar.

#### **Gesetzliche Grundlagen:**

- Wassergesetz (Zakon o vodah, Uradni list RS 67/02, 110/02)
- Naturschutzgesetz (Zakon o varstvu okolja, Uradni list RS st. 41/04).

#### **Behörden:**

- Umweltagentur der Republik Slowenien im Ministerium für Umwelt und Raumplanung
- Nationales Büro für Chemikalien im Gesundheitsministerium der Republik Slowenien (Ministrstvo za zdravje, Urad Republike Slovenije za kemikalije), diese Stelle ist zuständig

beim Import und zur Übersicht über die Verwendung aller Chemikalien (somit auch für die verwendeten Tracer).

#### **Allgemeine Vorgangsweise:**

Markierungsversuche gelten als Eingriff in das Gewässer und müssen entsprechend dem Wassergesetz bewilligt werden. Weiters sind alle Untersuchungen im Bereich des Grundwassers bewilligungspflichtig.

Vor der Durchführung eines Markierungsversuchs muss ein Projekt über die geplanten Maßnahmen bei der Behörde (Umweltagentur der Republik Slowenien) eingereicht und bewilligt werden. Die Ergebnisse des Versuchs müssen ebenfalls an das Ministerium übermittelt werden.

### **6.2.5 Schweiz**

#### **Quelle:**

SCHUDEL et al. (2002)

#### **Gesetzliche Grundlagen:**

- Gewässerschutzgesetz (vom 24.01.1991)
- Gewässerschutzverordnung (vom 28.10.1998)
- Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (vom 26.06.1995)
- Wegleitung Grundwasserschutz, Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2004).

#### **Behörden:**

- Bundesamt für Gesundheit (BAG) für Humantoxikologie
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) für Koordination und Archivierung der Markierungsversuche im Grundwasser, Ökotoxikologie, Grundwasserschutz
- Kantonale Ämter für Umwelt (AFUs) für Archivierung der Markierungsversuche, z.T. Meldepflicht
- Kantonale Laboratorien für die Beurteilung von Markierungsversuchen im Zusammenhang mit der Überwachung der Wasserqualität in Trinkwasserfassungen.

#### **Allgemeine Vorgangsweise:**

Seit 1984 gibt es die Zentrale Koordinationsstelle für Markierungsversuche (Info-Tracer) beim Bundesamt für Umwelt (BAFU). Sie wurde mit Unterstützung der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie (SGH) eingerichtet. Sie koordiniert und archiviert alle Markierungsversuche, sowohl Eingabe in das Grundwasser, in die ungesättigte Zone sowie in Oberflächengewässer. Die Unterstützung der Koordinationsstelle ist kostenlos, potenziellen Planern wird empfohlen, auf freiwilliger Basis Markierungsversuche frühzeitig anzukündigen, um zeitliche und räumliche Überschneidungen bei Versuchen zu vermeiden. Eine Meldepflicht besteht nicht, ca. 2/3 der Markierungsversuche werden gemeldet.

Nach der Meldung informiert das BAFU die zuständige kantonale Fachstelle. Die Behörden der Kantone regeln die Durchführung von Tracerversuchen auf unterschiedliche Weise. Sie empfehlen die Befolgung der Praxishilfe (SCHUDEL et al., 2002). Eine Bewilligung ist nur in wenigen Kantonen notwendig.

## Fachkompetenz und Ausbildung zur Durchführung von Markierungsversuchen

Die Durchführung von Markierungsversuchen erfordert nach den bisherigen Ausführungen einschlägige fachliche Kenntnisse in den Bereichen der Geologie, der Hydrologie und der Chemie sowie praktische Erfahrung. Daher sollte eine entsprechende fachliche Kompetenz (Fachkundigkeit) vorausgesetzt werden.

In jedem Fall ist der Fachkundige als Verantwortlicher für die Durchführung von Markierungsversuchen zu benennen (siehe [Kapitel 6.1.2](#); besondere Sorgfaltspflicht nach §§ 1297 und 1299 ABGB).

Markierungsversuche werden vorwiegend von Wasserwirkschaftern, Kulturtechnikern, Hydrologen, Geologen (Hydrogeologen) sowie von Speläologen (Höhlenforschern) durchgeführt. Darüber hinaus können Fachkundige für Tracerversuche auch sein: Hygieniker, Amtsärzte, Bauingenieure, Umwelttechniker, Chemiker und Bodenmechaniker.

Abzuleiten ist daraus, dass eine entsprechende theoretische Ausbildung und praktische Erfahrungen mit Tracerversuchen erforderlich sind.

Der positive Nachweis der Teilnahme an einschlägiger Ausbildung (Kurse, Universitätslehrgänge) wäre eine Voraussetzung für den Nachweis der Fachkundigkeit zur Durchführung von Tracerversuchen.

Zu allgemeinen Begriffen der Hydrologie und Hydrogeologie sei auf die Ausführungen in den Normenwerken verwiesen (ÖNORM EN ISO 772, ÖNORM B 2400, ÖNORM B 2400/A1). Im Folgenden werden einige Begriffe erläutert, die sich speziell auf die Methodik der Grundwassermarkierung beziehen oder die in den Normenwerken nicht oder nicht ausreichend dokumentiert sind.

**Aquifer:** Grundwasserleiter (ÖNORM B 2400 und B 2400/A1)

**Abstandsgeschwindigkeit:** errechnete Geschwindigkeit als Quotient aus der kürzesten Fließ- bzw. Transportstrecke des Tracers zwischen einem Eingabepunkt und einem Beobachtungspunkt (die Fließ- bzw. Transportstrecke wird im Allgemeinen aus dem Horizontalabstand der beiden Punkte bestimmt).

**Aus einem Tracerversuch sind direkt nur Transportzeiten bestimmbar.**

Die Zeit zwischen Eingabe des Tracers und erstem Nachweis an einer Beobachtungsstelle kann als **minimale** Transportzeit bezeichnet werden. Daraus kann eine **maximale** (auch **intensive**) **A.** berechnet werden. In der Praxis wird als Eingabezeit der Beginn der Tracereingabe verwendet. Die minimale Transportzeit ist für die Bemessung von Schutz- und Schongebieten von besonderer Bedeutung, sie ist aber stark von der erreichbaren analytischen Nachweisgrenze abhängig.

Jene Geschwindigkeit, die sich aus der Zeit zwischen Eingabe und dem Maximum der Tracerkonzentration am Beobachtungspunkt ergibt (dominierende Transportzeit), wird in der Literatur als **dominierende A.** (auch **Peakgeschw.**) bezeichnet.

Für die Berechnung der mittleren Fließ- bzw. Transportzeit und damit verbunden der mittleren Abstandsgeschwindigkeit finden sich in der Literatur verschiedene Näherungsverfahren (z. B. Summenkurvenverfahren, Momentenverfahren). Den Medianwert der Summenkurve des beobachteten Tracer-Massenflusses (engl. tracer flux) als Schätzwert für die mittlere Transportzeit anzusehen, ergibt nur bei nahezu symmetrischen Durchgangskurven einen brauchbaren Näherungswert.

Im eindimensionalen Fall (z. B. in sehr guter Näherung bei Karstkanälen) kann über die Berechnung des Schwerpunkts der Tracerkonzentrationskurve bzw. der Kurve des Tracer-Massenflusses auch die Berechnung der mittleren Fließ- bzw. Transportzeit und damit der mittleren Abstandsgeschwindigkeit erfolgen, dies allerdings nur bei vollständiger Beobachtung des Durchgangs und Annahme eines idealen Tracers.

Da Tracernachweise jedoch von der Nachweisgrenze des verwendeten Verfahrens abhängen, Durchgänge vielfach nicht vollständig beobachtet werden können und im Porengrundwasser weitere Transportkomponenten sowohl quer als auch vertikal zur generellen Transportrichtung hinzukommen, ist eine zuverlässige Schätzung der **mittleren Transportzeit** und damit die Berechnung einer **mittleren A.** nur durch ein entsprechendes Tracertransportmodell zu erreichen (MALOSZEWSKI & ZUBER, 1992; WERNER, 1998)

**Dispersion:** jeder mechanische Vermischungsprozess während des Tracertransports und damit verbundener räumlicher und zeitlicher Konzentrationsänderung. Da es sich um einen räumlich variabel ablaufenden Prozess handelt, wird zwischen longitudinaler (in Fließrichtung), transversaler (quer zu Fließrichtung) und vertikaler (senkrecht zu longitudinaler und transversaler D.) Dispersion unterschieden

**Dosiskonversionsfaktor:** Quotient der Folgeäquivalentdosis und der Aktivität eines Radionuklids, das durch einmalige Zufuhr in den Körper gelangt ist

**Fluoreszenz:** Emission elektromagnetischer Wellen charakteristischer Energie durch spezifische Anregung (vgl. ÖNORM EN ISO 772)

**geothermales Feld:** hydrologisch und/oder geografisch abgrenzbares Gebiet mit einem Vorkommen an durch Erdwärme aufgeheizten Wässern

**gesättigte Zone:** Boden- oder Gesteinsbereiche, in denen die Hohlräume vollständig mit Wasser ausgefüllt sind (ÖNORM B 2400 und B 2400/A1)

**Gesamtdosis:** die durch Ingestion der jährlichen Konsumationsmenge von Trinkwasser durch Radionuklide bewirkte effektive Dosis, ohne Berücksichtigung der Beiträge von Tritium, Kalium-40, Radon und Radonfolgeprodukten

**Gesamtrichtdosis:** Sie stellt lt. Trinkwasserverordnung einen Richtwert für die Gesamtdosis dar. Sie ist jener Wert der Gesamtdosis, bei deren Überschreitung gemäß Trinkwasserverordnung, BGBI. II Nr. 304/2001, Abhilfemaßnahmen überlegt werden sollten und gegebenenfalls von der Behörde vorgeschrieben werden können. In dieser Verordnung ist dafür ein Richtwert von 0,1 mSv und ein Bezugszeitraum von 1 Jahr festgelegt

**Ingestion:** Aufnahme eines Stoffes mit der Nahrung bzw. über den Verdauungstrakt

**Isotope:** Atomkerne mit gleicher Protonenzahl (Kernladungszahl, Ordnungszahl), aber unterschiedlicher Neutronenzahl und damit unterschiedlicher Massenzahl. Stabile I. wie Sauerstoff-18 und Deuterium werden als künstliche Tracer vorwiegend in Laborexperimenten eingesetzt, untergeordnet aber auch bei kleinräumigen Feldversuchen, selten bei Versuchen in mächtigeren Grundwasserleitern bzw. auf längere Distanzen. Als natürliche Tracer – sie sind Bestandteil des Wasserkreislaufs – finden sie Anwendung bei der Berechnung von Speichervolumina oder Einzugsgebietsabschätzungen, instabile Isotope (radioaktive I., auch Radioisotope) wie z. B. Tritium finden ebenfalls Anwendung, als künstlicher Tracer aufgrund von Strahlenschutzbestimmungen selten, jedoch als natürlicher Tracer im Rahmen von Grundwasseraltersdatierungen

**Karzinogenität:** Fähigkeit einer Substanz, Krebs auszulösen

**Mutagenität:** Fähigkeit einer Substanz, Mutationen (Änderungen im Erbgut einer Zelle) zu verursachen

**Ökotoxizität:** Schadenswirkung von Substanzen auf den Menschen, Ökosysteme und Lebensgemeinschaften und deren direkte oder indirekte Rückwirkungen auf die Gesundheit

**Porengrundwasserfeld:** Synonym für ein hydrologisch und/oder geografisch abgrenzbares Gebiet mit einem Porengrundwasserleiter (ÖNORM B 2400 und B 2400/A1)

**radial-divergierende Entwässerung:** aus früheren Markierungsversuchen in Karstmassiven abgeleitetes Entwässerungsmuster, wonach ein zum Zentrum ansteigender, kuppelartig (kalottenhaft) ausgebildeter und den ganzen Gebirgsstock umfassender, einheitlicher Karstgrundwasserkörper nach allen Richtungen abfließt

**Radionuklide:** radioaktive Elemente, die sich durch radioaktiven Zerfall (Radioaktivität), vor allem unter Aussendung von  $\alpha$ -,  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Strahlung, in andere Elemente umwandeln. Radionuklide eines chemischen Elements mit unterschiedlichen Massenzahlen heißen Radioisotope

**Rösche:** bergmännischer Ausdruck für künstlich angelegten Graben, Schürfgrube

**Schwinde:** Ort, an dem Wasser rasch ausschließlich gravitativ in den Untergrund eintritt, auch Versinkung (ÖNORM B 2400)

**Sorption:** Bindung von Atomen, Ionen und Molekülen an Feststoffoberflächen durch chemische und physikalische Kräfte. Insbesondere Tonminerale sorbieren entsprechend geladene Inhaltsstoffe des Wassers, im Speziellen kationische Tracer (beim Kochsalz z. B. Na-Ion, bei organischen Farbstoffen z. B. Rhodamine). Ebenso, aber seltener, können auch anionische Tracer sorbiert werden. Beim Einsatz von Kochsalz können z. B. Natrium-Ionen an aktiven Oberflächen von Tonmineralen (z. B. bei Höhlensedimenten) temporär adsorbiert und statt derer schon adsorbierte Ionen (z. B. Calcium-Ionen) desorbiert werden

**Sorptionspotenzial:** Fähigkeit, einen Stoff durch Oberflächeneffekte zumindest temporär zu binden. So hat z. B. Aktivkohle ein begrenztes Sorptionspotenzial für die Adsorption von Tracern, das von der Gesamtmenge der eingesetzten Aktivkohle und den aktiven Oberflächen einzelner Aktivkohlepartikel abhängig ist

**Speläologie:** Höhlenkunde

**Sporen:** pflanzliche Keimzellen (z. B. von Bärlapp)

**Sporenlift:** Markierung von Gewässern durch Einsatz im Allgemeinen gefärbter oder fluoreszenzmarkierter Sporen

**Tiefengrundwasser:** Grundwasser in den tieferen Schichten der Erdrinde, das eine weiträumige Überlagerung durch Deckschichten, eine lange Aufenthaltsdauer und meist besondere physikalisch-chemische Eigenschaften aufweist (ÖNORM B 2400)

**Transportgeschwindigkeit:** siehe Abstandsgeschwindigkeit

**ungesättigte Zone:** Boden- oder Gesteinsbereiche, in denen die Hohlräume nicht vollständig mit Wasser gefüllt sind (ÖNORM B 2400 und B 2400/A1)

**Verdünnungsmessung:** Messverfahren, bei dem der Durchfluss aus dem Konzentrationsverhältnis zwischen dem eingegebenen Tracer und dem an einer Beobachtungsstelle erfassten Tracer berechnet wird (vgl. ÖNORM EN ISO 772)

**Wiederausbringung:** synonym für Wiedererhalt, engl. Recovery

**zytogenetischer Test:** Test, bei dem allfällige Abweichungen von der normalen Chromosomenausbildung untersucht werden

**Zytometrie:** Verfahren für die Erfassung von Zellen, kann auch zur automatisierten Erfassung von Partikeltracern (insbesondere Sporen und Mikrosphären) eingesetzt werden

## 9 Literatur und Unterlagen

### 9.1 Fachliteratur

In der folgenden Zusammenstellung der Fachliteratur sind neben den im Text zitierten Autoren auch weitere Arbeiten von allgemeiner Bedeutung über Markierungsversuche in Österreich aufgenommen, die größere Bereiche betreffen.

ATH – ASSOCIATION OF TRACER HYDROLOGY, Ed. (1992): Transport Phenomena in Different Aquifers (Investigations 1987–1992). – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **1992**, 3–283, Graz

ATH – ASSOCIATION OF TRACER HYDROLOGY, Ed. (2001): Tracer Studies in the Unsaturated Zone and Groundwater (Investigations 1996–2001). – Beitr. z. Hydrogeologie, **2001**, 3–232, Graz

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2002): Hinweise für die Durchführung und die Begutachtung von Markierungsversuchen in Gewässern. – Merkblatt Nr. 3.1/1, 16 S., München

BATSCHE, H., BAUER, F., BEHRENS, H., BUCHTELA, H., DOMBROWSKI, H. J., GEISLER, R., GEYH, M. A., HÖTZL, H., HRIBAR, F., KÄSS, W., MAIRHOFER, J., MAURIN, V., MOSER, H., NEUMAIER, F., SCHMITZ, J., SCHNITZER, W. A., SCHREINER, A., VOGG, H. & ZÖTL, J. (1967): Kombinierte Karstwasseruntersuchungen im Gebiet der Donauversickerung (Baden-Württemberg) in den Jahren 1966–1969. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **22**, 5–166, Graz

BAUER, F. (1969): Karsthydrologische Untersuchungen im Schneeaalpenstollen in den steirisch-niederösterreichischen Kalkalpen. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **21**, 193–214, Graz

BAUER, F. (1989): Die unterirdischen Abflussverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz. – Report UBA-89-28, 73 S., Wien

BAUER, F., ZÖTL, J. & MAYR, A. (1959): Neue karsthydrografische Forschungen und ihre Bedeutung für Wasserwirtschaft und Quellschutz – Ergebnisse des im Jahre 1958 vom Speläologischen Institut (Wien) im Dachsteingebiet durchgeföhrten Sporenliftversuches. – Wasser und Abwasser, **3**, 280–297, Wien

BEHRENS, H. & TEICHMANN, G. (1982): Neue Ergebnisse über den Lichteinfluss auf Fluoreszenztracer. – Beitr. z. Geol. Schweiz – Hydrologie, **28 I**, 69–77, Bern

BENISCHKE, R., HARUM, T. & STADLER, H. (1997): Zur Hydrologie und Hydrogeologie des Gebietes Peggau-Tanneben-Semriach. – In: BENISCHKE, R., MAURIN, V., EHRENREICH, H., HARUM, T. & STADLER, H., Karsthydrogeologische Untersuchungen im Tannebenmassiv (mittelsteirischer Karst), Berichte d. wasserwirtschaftl. Planung, **80**, 47–93, Graz

BENISCHKE, R., SCHUBERT, G. & ZOJER, Hans (2006): Die hydrogeologischen Verhältnisse im Höllengebirge. – In: WEIDINGER, J.T. & SPITZBART, I., Hrsg., Beiträge zur Geologie des Gmundner Bezirks, Gmundner Geo-Studien 3, 7–12, Gmunden

BÖGLI, A. & HARUM, T., Schriftl. (1981): Hydrogeologische Untersuchungen im Karst des hinteren Muotatales (Schweiz). – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **33**, 125–264, Graz

DECHANT, M. (1996): Entwicklungen zu einer verbesserten Anwendung der Sporenliftmethode. – Beitr. z. Hydrogeologie, **47**, 159–174, Graz

- DEUTSCHES UMWELTBUNDESAMT (1997): Human- und ökotoxikologische Bewertung von Markierungsmitteln im Grundwasser. – *Grundwasser*, 1997 (2), 61–64, Berlin
- DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. (1998): *Physical and Chemical Hydrogeology*. – 2. Aufl., 506 S., New York (J. Wiley & Sons)
- GASPAR, E., Ed. (1997): *Modern Trends in Tracer Hydrology*. – Vol I, 145 S., Vol II, 137 S., Boca Raton, Florida (CRC Press)
- GOSPODARIC, R. & ZÖTL, J., Schriftl. (1976): Markierung unterirdischer Wässer (Untersuchungen in Slowenien 1972–1973). – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **28**, 5–257, Graz
- HACKER, P. (1986): In-situ-Messungen mit ausgewählten Methoden in der Hydrogeologie der Lockersedimente. – *Österr. Wasserwirtschaft*, **38** (7/8), 162–170, Wien
- HACKER, P. (1990): Die Umweltisotope Deuterium, Sauerstoff-18, Tritium und Kohlenstoff-14. – In: GANGL, G., *Hydrogeologische Untersuchungen an den Heilquellen von Bad Deutsch Altenburg (Niederösterreich) im Rahmen der Vorarbeiten für das Donaukraftwerk Hainburg*, *Österr. Wasserwirtschaft*, **42** (1/2), 10–14, Wien
- HACKER, P. (1991): Karsthydrologische Untersuchungen im Weizer Bergland. – *Berichte d. wasserwirtschaftl. Planung*, **71**, 105 S., Graz
- HACKER, P. (1997): Ausgewählte geophysikalische Bohrlochuntersuchungen beim Brunnenbau zur Klärung der Grundwasserführung. – *DVGW-Schriftenreihe Wasser* Nr. 89, 151–171, Bonn
- HACKER, P. & SPENDLINGWIMMER, R. (1989): Karstwasservorkommen Oberes Erlauftal. Forschungsvorhaben NA 6e/1982-1987, Endbericht-Kurzfassung. – *NÖ-Schriften* Nr. 24, 36 S., Wien
- HUBER, A., PÖSCHL, M. & ZETINIGG, H. (1991): Markierungsversuche in der Steiermark. – *Berichte d. wasserwirtschaftl. Planung*, **72**, 104 S., Graz
- KÄSS, W. (Hg., 2004): *Geohydrologische Markierungstechnik*. – Lehrb. d. Hydrogeologie, 2. Aufl., 9, 519 S., Berlin-Stuttgart (Borntraeger)
- KNOP, A. (1878): Über die hydrografischen Beziehungen zwischen der Donau und der Aachquelle im badischen Oberlande. – *N. Jb. Min., Geol. u. Paläont.*, **1878**, 350–363, Stuttgart
- KNORR, M. (1937): Die Schutzzonenfrage in der Wasserhygiene. – *GWF*, **80**, 330–334 und 350–355, München
- KNORR, M. (1951): Zur Beurteilung der Ergänzung und des Schutzes großer Grundwasservorkommen. – *GWF*, **95**, 104–110 und 151–155, München
- KRANJC, A., Ed. (1997): *Karst Hydrogeological Investigations in South-Western Slovenia*. – *Acta Karsologica*, **XXVI** (1), 388 S., Ljubljana
- LEDITZKY, H. P., RAMSPACHER, P. & SUTTERLÜTTI, R. (1990): Hydrogeologische Untersuchungen zur Abklärung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen (Gamperdonatal, Vorarlberg). – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **41**, 5–34, Graz
- LEIBUNDGUT, Chr. & HARUM, T., Schriftl. (1981): Tracerhydrologische Untersuchungen im Langetental (Schweiz). – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **33**, 5–123, Graz

- MALOSZEWSKI, P. & ZUBER, A. (1992): On the calibration and validation of mathematical models for the interpretation of tracer experiments in groundwater. – *Advances in Water Resources*, **15**, 47–62
- MAURIN, V. & ZÖTL, J., (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **10/11**, 184 S., Graz
- MAURIN, V. & ZÖTL, J., Schriftl. (1967): Fachtagung über die Anwendung von Markierungsstoffen zur Verfolgung unterirdischer Wässer in Graz vom 28. März bis 1. April 1966. – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **18/19**, 413 S., Graz
- MAYR, A. (1953): Blütenpollen und pflanzliche Sporen als Mittel zur Untersuchung von Quellen und Karstwässern. – *Anz. math.-naturw. Kl., Österr. Akad. Wiss*, **90**, 94–98, Wien
- MORFIS, A. & ZOJER, H., Eds. (1986): Karst Hydrogeology of the Central and Eastern Peloponnesus (Greece). – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **37/38**, 1–301, Graz
- MÜLLER, I. & HARUM, T., Schriftl. (1980): Karsthydrologische Untersuchungen mit natürlichen und künstlichen Tracern im Neuenburger Jura (Schweiz). – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **32**, 5–100, Graz
- POLTNIG, W., PROBST, G. & ZOJER, H. (1996): Untersuchungen zur Speicherung und zum Schutz von Karstwässern der Villacher Alpe (Kärnten). – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **87**, 75–90, Wien
- PTAK, T., PIEPENBRINK, M. & MARTAC, E. (2004): Tracer tests for the investigation of heterogeneous porous media and stochastic modelling of flow and transport – a review of some recent developments. – *J. Hydrology*, **294**, 122–163
- RAMSPACHER, P., ZOJER, H., HERZOG, U., GOSPODARIC, R., STRUCL, I. & STICHLER, W. (1986): Karsthydrogeologische Untersuchungen des Petzenmassivs unter Verwendung natürlicher und künstlicher Tracer. – In: MORFIS, A. & PARASKEVOPOULOU, P., Eds., Proc. 5th Int. Symp. on Underground Water Tracing, Athens 1986, 377–388, Athen
- RAMSPACHER, P., RIEPLER, F., ZOJER, H. & STICHLER, W. (1991): Hydrogeologie des Förolacher Stollens, Gailtaler Alpen (Kärnten). – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **42**, 9–60, Graz
- RAUSCH, R., SCHÄFER, W. & WAGNER, C. (2002): Einführung in die Transportmodellierung im Grundwasser. – 183 S., Berlin-Stuttgart (Gebr. Borntraeger)
- SCHUDEL, B., BIAGGI, D., DERVEY, T., KOZEL, R., MÜLLER, I., ROSS, J. H. & U. SCHINDLER (2002): Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie – Praxishilfe. – Berichte d. Bundesamtes f. Wasser u. Geologie, Serie Geologie Nr. 3, 91 S., Bern
- SCHWARTZ, F. & ZHANG, H. (2003): Fundamentals of Ground Water. – 592 S., New York (J. Wiley & Sons)
- TOUSSAINT, B. (1971): Hydrogeologie und Karstgenese des Tennengebirges (Salzburger Kalkalpen). – *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **23**, 5–115, Graz
- VÖLKL, G. (1977): Karstwasser und Grundwasser in den Quellen der Leoganger Steinberge. – *Geogr. Jahresber. aus Österreich*, **XXXV** (1973–1974), 31–49, Wien

VÖLKL, G. (1988): Karsthydrologische Untersuchungen im Kaisergebirge. Markierungsversuche zur Feststellung der Quelleinzugsgebiete als Grundlage für Schutz- und Schongebietsverordnungen. – Report UBA-88-024, 60 S., Wien

VORTMANN, G. & TIMEUS, G. (1910): L'applicazione del cloruro di litio nelle indagini d'idrologia sotterranea – Le origine del Timavo. – Boll. Soc. Adriat. Sci. Naturali, **XXV**, 223–237, Trieste

WARD, R. S., WILLIAMS, A. T., BARKER, J. A., BREWERTON, L. J. & I. N. GALE (1998): Groundwater Tracer Tests: a review and guidelines for their use in British aquifers. – British Geological Survey Technical Report WD/98/19, Keyworth, Nottingham

WERNER, A. (1998): Hydraulische Charakterisierung von Karstsystemen mit künstlichen Tracern. – Schriftenr. Angew. Geol. Karlsruhe, **51**, 169 S., Karlsruhe

ZÖTL, J. G. (1974): Karsthydrogeologie. – 291 S., Wien/New York (Springer)

## 9.2 Normen

ÖNORM EN ISO 772 Hydrometrische Festlegungen. Begriffe und Zeichen (ISO 772:1996) (Ausgabe 01.07.2000)

ÖNORM B 2400 Hydrologie – Hydrografische Fachausdrücke und Zeichen. Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772 (Ausgabe 01.01.2003)

ÖNORM B 2400/A1 Hydrologie – Hydrografische Fachausdrücke und Zeichen. Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772 und ÖNORM EN ISO 772/A1 (Änderung) (Ausgabe 01.06.2004)

ÖNORM S 5251 Bestimmung und Bewertung der Gesamtdosis durch Radionuklide im Trinkwasser (Ausgabe 01.03.2005)

## 9.3 Regeln und Richtlinien

DVGW – Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches (1995): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. – DVGW-Richtlinie W 101 (Ausgabe 2/95)

DVGW – Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches (2005): DVGW-Merkblatt W 109 (Stand 2005) – Planung, Durchführung und Auswertung von Markierungsversuchen bei der Wassergewinnung

ÖVGW – Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (2004): ÖVGW-Richtlinie W 72, Schutz- und Schongebiete. – 47 S., Wien

ÖWAV – Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2007): Praktische Anleitung für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen. – 2. Aufl., ÖWAV-Regelblatt 201, 80 S., Wien

Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates der Europäischen Union vom 13.05.1996: Richtlinie zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlung

## 9.4 Rechtsliteratur

KAAN, R. & BRAUMÜLLER, G. (2000): Handbuch Wasserrecht (für Österreich). – 1052 S., Wien (Linde Verlag)

OBERLEITNER, F. (2004): Das österreichische Wasserrechtsgesetz 1959. – XXII, 586 S., Wien (Manz)

RASCHAUER, B. (1993): Wasserrecht – Kommentar. – 750 S., Wien (Springer)

## 9.5 Gesetzliche Grundlagen

Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch (ABGB) i. d. g. F.

Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer – QZV Chemie OG, BGBl. II Nr. 96/2006: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des Zielzustandes für Oberflächengewässer

Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz 2002, BGBl. I Nr. 147/2002: Bundesgesetz, mit dem das Strahlenschutzgesetz sowie das Maß- und Eichgesetz geändert werden

Strahlenschutzgesetz 1969, BGBl. Nr. 227/1969: Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft vor Schäden durch ionisierende Strahlen

Strahlenschutzverordnung, BGBl. Nr. 47/1972: Verordnung über Maßnahmen zum Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft vor Schäden durch ionisierende Strahlen

Trinkwasserverordnung – TWV, BGBl. II Nr. 304/2001: Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch

Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959), BGBl. Nr. 215/1959 i. d. g. F.

## 10 Dokumentations- und Informationsstellen

### 10.1 Zentrale Datenarchivierungsstelle des Bundes (Stand 2006)

Die Aktualisierung der Archivierungsstellen des Datenbestands erfolgt ausschließlich über die Abteilung Wasserhaushalt (Hydrografisches Zentralbüro) im BMLFUW.

**Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft**  
Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt (Hydrografisches Zentralbüro)  
Marxergasse 2  
1030 Wien  
Tel.: 01/71100/6942  
E-Mail: [wasserhaushalt@lebensministerium.at](mailto:wasserhaushalt@lebensministerium.at)  
Web: [www.wassernet.at/article/archive/5700/](http://www.wassernet.at/article/archive/5700/)

### 10.2 Informationsstellen der einzelnen Bundesländer (Stand 2006)

**Amt der Burgenländischen Landesregierung**  
Abteilung 9 – Wasser- und Abfallwirtschaft  
Landhaus Neu, Europaplatz 1  
7000 Eisenstadt  
Tel.: 02682/600-2500  
E-Mail: [post.wasser-abfall@bgld.gv.at](mailto:post.wasser-abfall@bgld.gv.at)  
Web: [www.burgenland.at](http://www.burgenland.at)

**Amt der Kärntner Landesregierung**  
Abteilung 15 – Umwelt  
Unterabteilung Geologie und Bodenschutz  
Flatschacher Straße 70  
9010 Klagenfurt  
Tel.: 050/536-31512  
E-Mail: [abt15.geologie@ktn.gv.at](mailto:abt15.geologie@ktn.gv.at)  
Web: [www.ktn.gv.at](http://www.ktn.gv.at)

**Amt der Niederösterreichischen Landesregierung**  
Gruppe Wasser  
Abteilung Wasserwirtschaft (WA 2)  
Landhausplatz 1  
3100 St. Pölten  
Tel.: 02742/9005-14271  
E-Mail: [post.wa2@noel.gv.at](mailto:post.wa2@noel.gv.at)  
Web: [www.noel.gv.at](http://www.noel.gv.at)

**Amt der Oberösterreichischen Landesregierung**  
Abteilung Wasserwirtschaft  
Unterabteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft  
Kärntner Straße 12  
4020 Linz  
Tel.: 0732/7720-12478  
E-Mail: [w-gtw.post@ooe.gv.at](mailto:w-gtw.post@ooe.gv.at)  
Web: [www.ooe.gv.at](http://www.ooe.gv.at)

**Amt der Salzburger Landesregierung**

Referat 6/64 – Hydrografischer Landesdienst bzw. Referat 6/03 – Landesgeologischer Dienst  
Michael-Pacher-Straße 36  
Postfach 527  
5010 Salzburg  
**Tel.:** 0662/8042-4318 bzw. 0662/8042-4155  
**E-Mail:** [wasserwirtschaft@salzburg.gv.at](mailto:wasserwirtschaft@salzburg.gv.at)  
**Web:** [www.salzburg.gv.at](http://www.salzburg.gv.at)

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung**

Fachabteilung 19A – Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft  
Referat Hydrografie  
Stempfergasse 7  
Postfach 630  
8010 Graz  
**Tel.:** 0316/877-2025  
**E-Mail:** [fa19a@stmk.gv.at](mailto:fa19a@stmk.gv.at)  
**Web:** [www.stmk.gv.at](http://www.stmk.gv.at)

**Amt der Tiroler Landesregierung**

Abt. VIh – Wasserwirtschaft  
Herrengasse 1–3  
6010 Innsbruck  
**Tel.:** 0512/508-4201  
**E-Mail:** [wasserwirtschaft@tirol.gv.at](mailto:wasserwirtschaft@tirol.gv.at)  
**Web:** [www.tirol.gv.at](http://www.tirol.gv.at)

**Amt der Vorarlberger Landesregierung**

Abteilung VIId – Wasserwirtschaft  
Josef-Huter-Straße 35  
6901 Bregenz  
**Tel.:** 05574/511-27405  
**E-Mail:** [wasserwirtschaft@vorarlberg.at](mailto:wasserwirtschaft@vorarlberg.at)  
**Web:** [www.vorarlberg.gv.at](http://www.vorarlberg.gv.at)

**Magistrat der Stadt Wien**

MA 45 – Wasserbau  
Wilhelminenstraße 93  
1160 Wien  
**Tel.:** 01/4000-96519  
**E-Mail:** [post@m45.magwien.gv.at](mailto:post@m45.magwien.gv.at)  
**Web:** [www.magwien.gv.at](http://www.magwien.gv.at)

## 10.3 Weitere Informationsstellen

**Austrian Research Centres GmbH ARC, Seibersdorf**

Geschäftsfeld Wasser  
2444 Seibersdorf  
**Tel.:** 050550-3450  
**Web:** [www.arcs.ac.at](http://www.arcs.ac.at)

**Geologische Bundesanstalt**

Abteilung Hydrogeologie

Neulinggasse 38

1031 Wien

**Tel.:** 01/712 56 74-0

**Web:** [www.geologie.ac.at](http://www.geologie.ac.at)

**Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH**

Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik

Elisabethstraße 16/2

8010 Graz

**Tel.:** 0316/876-1373

**Web:** [www.joanneum.at/wrm](http://www.joanneum.at/wrm)

**Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV)**

Marc-Aurel-Straße 5

1010 Wien

**Tel.:** 01/535 57 20-0

**Web:** [www.oewav.at](http://www.oewav.at)

**Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW)**

Schubertring 14

1010 Wien

**Tel.:** 01/513 15 88

**Web:** [www.ovgw.at](http://www.ovgw.at)

**Umweltbundesamt GmbH**

Abt. Grundwasser

Spittelauer Lände 5

1090 Wien

**Tel.:** 01/31304-0

**Web:** [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at)

**Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten**

**Wien, Niederösterreich, Burgenland**

Karlsgasse 9

1040 Wien

**Tel.:** 01/505 58 07

**Web:** [www.arching.at](http://www.arching.at)

**Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten für Kärnten**

8.-Mai-Straße 28

9020 Klagenfurt

**Tel.:** 0463/51 12 05-5

**Web:** [www.aikammer.org](http://www.aikammer.org)

**Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten Oberösterreich**

Kaarstraße 2/II

4040 Linz

**Tel.:** 0732/73 83 94-0

**Web:** [www.aikammeros.org](http://www.aikammeros.org)

**Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten für Salzburg**

Gebirgsjägerplatz 10

5020 Salzburg

**Tel.:** 0662/87 23 83

**Web:** [www.aikammeros.org](http://www.aikammeros.org)

**Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten für Steiermark**

Schönaugasse 7/1  
8011 Graz  
**Tel.:** 0316/ 82 63 44-0  
**Web:** [www.aikammer.org](http://www.aikammer.org)

**Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten für Tirol und Vorarlberg**

Rennweg 1  
6020 Innsbruck  
**Tel.:** 0512/58 83 35  
**Web:** [www.archwest.at](http://www.archwest.at)

# ÖWAV-REGELWERK

Die nachstehend angeführten Preise gelten für **gedruckte Ausgaben** der angeführten Titel und verstehen sich exkl. USt. zuzügl. Versandkosten. ÖWAV-Mitglieder erhalten im Einzelverkauf 15 % Rabatt auf den Listenpreis, im Abonnement 20 % (**gilt nur für Druckversion!**).

ÖWAV-Regelblätter und -Arbeitsbehelfe **ab Erscheinungsjahr 1999** sind auch **digital** (CD, Download) erhältlich, Preise entnehmen Sie bitte dem Webshop des Österreichischen Normungsinstituts, [www.on-norm.at](http://www.on-norm.at).  
(Die Preisliste ist **gültig bis 31. Dezember 2007**. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.)

## A) Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Regelblätter erschienen)

### Abwassertechnik und Gewässerschutz

ÖWAV-Regelblatt 1	Abwasserentsorgung im Gebirge. 3., vollständige überarbeitete Auflage. 2000. ( <i>Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich</i> )	
ÖWWV-Regelblatt 2	Das Fachpersonal auf Abwasserreinigungsanlagen – Merksätze für Gemeinden und Abwasserverbände. 1978. ( <i>vergriffen</i> )	
ÖWWV-Regelblatt 3	Hinweise für das Ableiten von Abwasser aus Schlachtanlagen und fleischverarbeitenden Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage. Überarb. Neuauflage 1992. Euro 16,80	
ÖWAV-Regelblatt 4	Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus Betrieben in eine öffentliche Kanalisationsanlage. 2., vollständige überarbeitete Auflage. 2001. Euro 22,40	
ÖWWV-Regelblatt 5	Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Abwasserkanälen. 1980. Euro 5,40	
ÖWAV-Regelblatt 6	Fremdüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen. Teil 1: Fremdüberwachung gemäß 1. AEV für kommunales Abwasser. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 1998. Euro 14,60	
	Teil 2: Gesamtprüfung. 2000. Euro 13,90	
ÖWAV-Regelblatt 7	Mindestausrüstung für die Eigen- und Betriebsüberwachung biologischer Abwasserreinigungsanlagen (inkl. Indirekteinleiterüberwachung). 4., vollständig überarbeitete Auflage. 2003. Euro 18,40	
ÖWAV-Regelblatt 8	Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus oberflächenbehandelnden Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage oder einen Vorfluter. Neuauflage 1993. Euro 19,90	
ÖWWV-Regelblatt 9 <sup>**</sup> )	Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren. 1981. Euro 5,40	
ÖWWV-Regelblatt 10 <sup>**</sup> )	Richtlinien für die Ausführung von Abwassermeßschächten. 1981. ( <i>vergriffen</i> )	
ÖWWV-Regelblatt 11 <sup>**</sup> )	Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen. 1982. ( <i>vergriffen</i> )	
ÖWWV-Regelblatt 12	Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus milchbe- und -verarbeitenden Betrieben in eine Abwasseranlage. 1982. ( <i>vergriffen</i> )	
ÖWAV-Regelblatt 13 <sup>**</sup> )	Betriebsprotokolle für Abwasserreinigungsanlagen. 2., vollständig überarbeitete Auflage 1995. Euro 29,10	
	Beiblatt zum ÖWAV-Regelblatt 13. 1998. Euro 3,70	
ÖWAV-Regelblatt 14	Sicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen (Kläranlagen) – Bau und Einrichtung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2000. Euro 13,90	
ÖWAV-Regelblatt 15	Der Klärfacharbeiter – Berufsbild, Ausbildungsplan und Prüfungsordnung. 2., vollst. überarb. Auflage. 1997. Euro 18,40	
ÖWAV-Regelblatt 16	Einleitung von Abwasser aus Kfz-Tankstellen, Kfz-Waschplätzen und Werkstätten in öffentliche Abwasseranlagen oder in Vorfluter. 3., überarbeitete Auflage. 2006. Euro 23,20	
ÖWAV-Regelblatt 17	Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2004. ( <i>Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich</i> )	

<sup>\*)</sup> vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Anwendung empfohlen.

<sup>\*\*)</sup> vom Bundesministerium für Bauten und Technik zur Anwendung empfohlen.

ÖWAV-Regelblatt 18	Sicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen (Kläranlagen) – Ausrüstung und Betrieb. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2000.	Euro 11,50
ÖWWV-Regelblatt 19	Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen. 1987.	Euro 14,60
ÖWWV-Regelblatt 20	Musterbetriebsordnung für Abwasserreinigungsanlagen. 1988.	Euro 12,90
ÖWAV-Regelblatt 21	Kanalkataster. 2., vollständige überarbeitete Auflage. 1998.	Euro 24,60
ÖWWV-Regelblatt 22	Kanalwartung und Kanalerhaltung. 1989.	(vergriffen)
ÖWWV-Regelblatt 23	Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen. 1991.	Euro 12,20
ÖWWV-Regelblatt 24	EDV-Einsatz auf Kläranlagen. Prozeßleittechnik – Prozeßdatenverarbeitung. 1991.	Euro 13,90
ÖWWV-Regelblatt 25	Abwasserentsorgung in dünn besiedelten Gebieten. 1992.	Euro 16,10
ÖWAV-Regelblatt 26	Hinweise für das Einleiten von Abwässern aus Weinbau- und Kellereibetrieben in eine Abwasseranlage. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2006.	Euro 18,40
ÖWAV-Regelblatt 27	Möglichkeiten der Entsorgung von Senkgrubeninhalten und Schlämmen aus Kleinkläranlagen. 1992.	(vergriffen)
ÖWAV-Regelblatt 28	Unterirdische Kanalsanierung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2007.	Euro 18,40
ÖWAV-Regelblatt 29	Entsorgung von Räumgut aus kommunalen Abwasseranlagen. 1994.	Euro 17,70
ÖWAV-Regelblatt 30	Sicherheitsrichtlinien für den Bau und Betrieb von Faulgasbehältern auf Abwasserreinigungs- und Abfallbehandlungsanlagen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2003.	Euro 17,70
ÖWAV-Regelblatt 31	Deponiesickerwasser. Reaktordeponie. 2000.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 32	Sicherheit auf Abwasserableitungsanlagen (Kanalisationsanlagen) – Bau und Einrichtung, Ausrüstung und Betrieb. 2000.	Euro 15,30
ÖWAV-Regelblatt 33	Überwachung wasserrechtlich nicht bewilligungspflichtiger Indirekteinleiter. 2002.	Euro 13,90
ÖWAV-Regelblatt 34	Hochdruckreinigung von Kanälen. 2003.	Euro 20,60
ÖWAV-Regelblatt 35	Behandlung von Niederschlagswässern. 2003.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 36	Dienstanweisung für das Betriebspersonal von Abwasserbehandlungsanlagen. Inkl. CD-ROM. 2003.	Euro 20,60
ÖWAV-Regelblatt 38	Überprüfung stationärer Durchflussmesseinrichtungen auf Abwasserreinigungsanlagen. 2007.	Euro 18,40

## **Wasserhaushalt und Wasservorsorge**

ÖWAV-Regelblatt 201	Praktische Anleitung für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen. 2., überarbeitete Auflage. 2007.	Euro 27,00
ÖWWV-Regelblatt 202 <sup>1)</sup>	Tiefengrundwässer und Trinkwasserversorgung. 1986.	(vergriffen)
ÖWWV-Regelblatt 203 <sup>1)</sup>	Trinkwassernotversorgung. 1989.	(zurückgezogen)
ÖWWV-Regelblatt 204	Richtlinien für die Wasserversorgung im alpinen Bereich. 1990.	Euro 12,20
ÖWWV-Regelblatt 205 <sup>1)</sup>	Nutzung und Schutz von Quellen aus nicht verkarsteten Bereichen. 1990.	Euro 19,90
ÖWAV-Regelblatt 206	Klein- und Einzeltrinkwasserversorgungsanlagen (gemeinsam mit ÖVGW). 1993.	(vergriffen)
ÖWAV-Regelblatt 207	Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme (AGE). 1993.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 208	Bohrungen zur Grundwassererkundung. 1993.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 209	Entscheidungshilfen für Planung, Anlage, Bau und Betrieb von Golfplätzen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. 1993.	(vergriffen)
ÖWAV-Regelblatt 210	Beschneiungsanlagen. Wasserwirtschaft – Ökologie – Hygiene – Betrieb. 1996.	Euro 16,10
ÖWAV-Regelblatt 211	Nutzung artesischer und gespannter Grundwässer. 2000.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 212	Skipisten. 1999.	Euro 24,60

<sup>1)</sup> .... vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Anwendung empfohlen.

<sup>1)</sup> ... Erschienen als ÖVGW-Regelblatt W 74 (1989). Ersetzt durch Neuauflage 2006. Bezug: ON Österreichisches Normungsinstitut, A-1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-805.

ÖWAV-Regelblatt 213	Tiefbohrungen zur Wassergewinnung. 2002.	Euro 27,00
ÖWAV-Regelblatt 214	Markierungsversuche in der Hydrologie und Hydrogeologie	Euro 24,60

### **Wasserbau und Ökologie**

ÖWWV-Regelblatt 301 <sup>1)</sup>	Leitfaden für den natur- und landschaftsbezogenen Schutzwasserbau an Fließgewässern. 2. Auflage 1985.	Euro 29,10
ÖWAV-Regelblatt 302	Expertenliste Biologie des ÖWAV. 2., überarbeitete Auflage 1999.	Euro 13,90

### **Qualität und Hygiene**

ÖWAV-Regelblatt 401	Grundwasseruntersuchungen zur Beurteilung von altlastenverdächtigen Altablagerungen. 1992.	Euro 16,10
ÖWAV-Regelblatt 402	Einfache Analysenverfahren auf Abfallbehandlungsanlagen. Teil 2: Eingangs-, Verfahrens- und Endproduktkontrolle auf Kompostierungsanlagen. 1999.	Euro 15,30
ÖWAV-Regelblatt 403 <sup>2)</sup>	Nutzwasserverwendung. Mitteilung über die Verwendung von Nutzwasser in Gebäuden, ausgenommen Industrielle Anwendungen. 1998. (zurückgezogen)	
ÖWAV-Regelblatt 404	Sicherheit, Gesundheitsschutz und Arbeitshygiene für Beschäftigte in der Abfallwirtschaft. 2001.	Euro 23,20
ÖWAV-Regelblatt 405	Arbeitshygienische und arbeitsmedizinische Richtlinien für Abwasseranlagen. 2004.	Euro 20,60
ÖWAV-Regelblatt 406	Begriffe der Membrantechnologie. 2002.	Euro 21,50

### **Abfallwirtschaft**

ÖWAV-Regelblatt 501	Ermittlung des Kapazitätsbedarfs für Kompostanlagen zur Verarbeitung getrennt erfaßter biogener Abfälle. 1996. (vergriffen)	
ÖWAV-Regelblatt 502	Entgasung von Deponiekörpern. 1997.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 503	Allgemeine Ausführungsrichtlinien für stationäre Problemstoffsammelstellen. 1997.	Euro 18,40
ÖWAV-Regelblatt 504	Deponieeingangskontrolle. Anforderungsprofil für Leiter der Eingangskontrolle und Kontrollpersonal, Ausbildungsplan. 1997.	Euro 17,70
ÖWAV-Regelblatt 505	Einfache Analysenverfahren auf Abfallbehandlungsanlagen. Teil 1: Eingangskontrolle auf Deponien. 1997.	Euro 20,60
ÖWAV-Regelblatt 506	Das Fachpersonal für Problemstoffsammelstellen. Anforderungsprofil und Ausbildungsplan. 1997.	Euro 12,90
ÖWAV-Regelblatt 507	Fachkraft Abfallwirtschaft. Anforderungen an die Ausbildung des Betriebspersonals von Abfallbehandlungsanlagen. 1998.	Euro 11,50
ÖWAV-Regelblatt 508	Musterbetriebsprotokoll für Bioabfallkompostierungsanlagen. 1998.	Euro 23,00
ÖWAV-Regelblatt 509	Abfallminimierung. Begriffe – Evaluierung – Berechnungsbeispiele. 2000.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 510	Problemstoff-Ausbildungslehrgänge. Ausbildung zum Befugten für die Problemstoffsammlung bzw. zum Abfallrechtlichen Geschäftsführer für kommunale Problemstoffsammlung. 1999.	Euro 15,30
ÖWAV-Regelblatt 511	Notwendige Sorgfalt bei der Durchführung der Eingangskontrolle auf Abfalldeponien. Teil 1: Schwerpunkt Bodenaushub- und Baurestmassendeponien. 2001.	Euro 23,20
ÖWAV-Regelblatt 512	Abfallrechtlicher Geschäftsführer gemäß § 26 AWG 2002. Anforderungen und Ausbildungsinhalte für abfallrechtliche Geschäftsführer und Erlaubniswerber. 2002.	Euro 21,50
ÖWAV-Regelblatt 513	Betrieb von Biofiltern. 2002.	Euro 20,60
ÖWAV-Regelblatt 514	Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft. 2003. ( <b>Gratis-download</b> von <a href="http://www.oewav.at">www.oewav.at</a> >> Download >> Regelblätter)	

<sup>1)</sup>.... vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Anwendung empfohlen.

<sup>2)</sup>... Erschienen als ÖVGW-Mitteilung W 86 (1998). Ersetzt durch Neuauflage 2005. Bezug: ON Österreichisches Normungsinstitut, A-1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-805.

ÖWAV-Regelblatt 515	Anaerobe Abfallbehandlung. 2005.	Euro 27,00
ÖWAV-Regelblatt 516	Ausbildungskurs für das Betriebspersonal von Biogasanlagen. Anforderungen und Ausbildungsinhalte. 2006.	Euro 19,90

**Recht und Wirtschaft**

ÖWAV-Regelblatt 601	Ermittlung der Nachsorgekosten-Rückstellung bei Deponieanlagen. 1998. Rechenmodell auf CD-ROM ( <i>auf Anfrage</i> )	Euro 30,70
---------------------	---	------------

## B) Arbeitsbehelfe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Arbeitsbehelfe erschienen)

### Abwassertechnik und Gewässerschutz

ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 1	Die Ausbildung von Klärwärtern auf Lehrkläranlagen. 1981. (vergriffen)	
ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 8	Kläranlagennachbarschaften in Österreich – Ein Beitrag zur Reinhaltung der Gewässer. 1991.	Euro 10,00
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 9	Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen. Teil 1: Ablaufqualität – Bewertung und Beurteilung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2000.	Euro 9,20
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 14	Eigen- und Betriebsüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen (> 50 EW). 2., vollständig überarbeitete Auflage. 1998.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 22	Kläranlagenzustandsbericht. 1999.	Euro 16,80
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 24	Evaluierung von Arbeitsplätzen in Abwasseranlagen und deren Dokumentation. 2000.	Euro 19,30
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 25	Indirekteinleiterkataster. 1999.	Euro 12,20
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 27	Praktikum auf Lehrkanalanlagen (Ausbildungskanalbetrieben). 2000.	Euro 11,50
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 29	Öffentlichkeitsarbeit auf Kläranlagen (inkl. Arbeitsmaterialien für Pflichtschulen). 2004.	Euro 21,50
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 31	Membrantechnologie – Verfahren zur Abwasserbehandlung. 2003.	Euro 24,60
ÖWAV-Arbeitsbehelf 34	Leitfaden für die Ausschreibung der Hochdruckreinigung von Kanälen. 2005.	Euro 21,50
ÖWAV-Arbeitsbehelf 36	Praxishilfe zum Erstellen des Explosionsschutzdokuments (ExSD) für abwassertechnische Anlagen (Kanal- und Kläranlagen). 2006.	Euro 21,50

### Wasserhaushalt und Wasservorsorge

ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 2	Grundwasser-Schongebiete. 1984.	Euro 8,30
ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 3	Wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte für die Projektierung von Grundwasserwärmepumpenanlagen (GWPA). 1986.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 19	Leitfaden für die Bearbeitung von Grundwassersanierungsgebieten. 1996.	Euro 20,60

### Wasserbau und Ökologie

ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 4	Grundsätze der Gewässerinstandhaltung. 1987.	Euro 6,90
--------------------------	--	-----------

### Qualität und Hygiene

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 11	Empfehlungen für Bewässerungswasser. 2., überarbeitete Auflage. 2003.	Euro 21,50
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 30	Informationen zum Membranbelebungsverfahren. 2002.	Euro 23,20
ÖWAV-Arbeitsbehelf 32	Anwendung von Membranverfahren in der Reinwassertechnologie. 2005.	Euro 21,50

### Recht und Wirtschaft

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 5	Mustersatzungen für Hochwasserschutzverbände. 3., überarb. Auflage. 2003. ( <b>Gratisdownload</b> von <a href="http://www.oewav.at">www.oewav.at</a> >> Download >> Arbeitsbehelfe)	
ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 6	Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Abwasserverbänden. 1988.	(vergriffen)

ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 7	Grundsätze für die Versicherung von Abwasserentsorgungsanlagen. 1988.	Euro 10,00
	Ergänzungsbuch: Grundsätze für Versicherungsfragen in der Siedlungswasserwirtschaft. 1991.	Euro 3,10
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 10	Betriebs- und Betreuungsgemeinschaften in der Abwasserentsorgung. 1993.	Euro 21,50
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 12	Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von WasserverSORGS- und Abfallverbänden. Ergänzungsbuch zum Arbeitsbehelf Nr. 6. 1993.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 13	Mustersatzungen für Wasserversorgungs- und Reinhalteverbände. 2., überarbeitete Auflage. 2003. ( <i>Gratisdownload</i> von <a href="http://www.oewav.at">www.oewav.at</a> >> Download >> Arbeitsbehelfe)	
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 15	Mustersatzungen für Abfallwirtschaftsverbände. 1996.	Euro 18,40
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 16	Grundsätze der Gebührenkalkulation in der Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft. 1996.	Euro 34,50
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 18	Musterbetriebskostenrechnung am Beispiel der Abwasserentsorgung. 1996.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 20	Anwendung des UVP-Gesetzes. 1996.	Euro 33,10
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 21	Abfallgebührenkalkulation und Abfallgebührenmodelle. Ein Arbeitsbehelf für Gemeinden. 1997.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 23	Geschäftsbedingungen für die Indirekteinleitung in öffentliche Kanalisationen. 2., überarbeitete Auflage. 2002.	Euro 23,20
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 28	Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Ver- und Entsorgungsverbänden. 2000.	Euro 27,00
ÖWAV-Arbeitsbehelf 33	Leitfaden für die Vorgangsweise bei der Auftragsvergabe in der Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft. 2004.	Euro 27,00
ÖWAV-Arbeitsbehelf 35	Aktuelle Finanzierungsmöglichkeiten für die Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft. 2005.	Euro 23,20

#### **Abfallwirtschaft**

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 17	Logistik in der Abfallwirtschaft. 1996.	Euro 18,40
---------------------------	---	------------

#### **Umweltschutz allgemein**

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 26	Anwendung EDV-gestützter Modellrechnung im Umweltschutz. 2000.	Euro 21,50
---------------------------	--	------------

## **Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen**

1. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1992/93“. 1993.	(vergriffen)
2. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1994/95“. 1995.	(vergriffen)
3. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1996“. 1996.	(vergriffen)
4. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1997“. 1997.	Euro 49,20
5. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1998“. 1998.	Euro 46,10
6. Folge:	„Grundkurs für das Betriebspersonal von Kanalisationen“. 1998.	Euro 50,00
7. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1999“. 1999.	(vergriffen)
8. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 2000“. 2000.	(vergriffen)
9. Folge:	„Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2001“. 2001.	Euro 50,00
10. Folge:	„Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2002“. 2002.	(vergriffen)
11. Folge:	„Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2003“. 2003.	Euro 51,60
12. Folge:	„Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2004“. 2004.	Euro 51,60
13. Folge:	„Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2005“. 2005.	Euro 51,60
14. Folge:	„Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2006“. 2006.	Euro 51,60

## **Merkblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes**

(Bis August 1992 als ÖWWV-Merkblätter erschienen)

- |                |  |
|----------------|--|
| ÖWAV-Merkblatt | ÖPUL – Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung. Merkblatt für Landwirte und Kläranlagenbetreiber. 2000. <i>Euro 0,60</i>   |
| ÖWAV-Merkblatt | Hygiene-Merkblatt für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen. 2004. ( <b>Gratis-download</b> von <a href="http://www.oewav.at">www.oewav.at</a> >> Download >> Merkblätter)                                |
| ÖWAV-Merkblatt | Mindestanforderung für die Sicherheitsausrüstung im Kanalbetrieb. 2005. ( <b>Gratis-download</b> von <a href="http://www.oewav.at">www.oewav.at</a> >> Download >> Merkblätter)                              |
| ÖWAV-Merkblatt | Zivil- und strafrechtliche Haftung und Verantwortung in Wasser-, Abwasser- und Abfallverbänden. 2006. ( <b>Gratisdownload</b> von <a href="http://www.oewav.at">www.oewav.at</a> >> Download >> Merkblätter) |

**Arbeitsbehelfe, Regelblätter sowie Publikationen der Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen sind zu beziehen über: ON Österreichisches Normungsinstitut, A-1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-805, Fax DW 818, [sales@on-norm.at](mailto:sales@on-norm.at), [www.on-norm.at](http://www.on-norm.at).**

## **ÖWAV-Umweltmerkblätter**

(zuvor als ÖWAV-WIFI-Umweltmerkblätter erschienen)

- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Autobus-, Taxi- und Mietwagenunternehmen. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Autoverwertungsbetriebe. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Betreiber von Campingplätzen. 2005.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Frächter. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Holz bearbeitende Betriebe. 2005.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Kfz-Freiwashplätze und Waschanlagen. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Kfz-Werkstätten. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für kleine Molkereien und Käsereien. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für kleine Schlachtbetriebe und Fleischer. 2005.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für die Lagerung von Chemikalien in Betrieben. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Lkw-Waschplätze. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Sägewerke. 2005.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Tankstellen. 2004.  
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Weinbau und Weinkellereien. 2004.

**ÖWAV-Merkblätter können kostenlos von der Website des ÖWAV, [www.oewav.at](http://www.oewav.at), Bereich „Download“ heruntergeladen werden.**

## NOTIZEN

---

## NOTIZEN

---

## NOTIZEN

---



# Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

A-1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Telefon: 01/535 57 20, Telefax: 01/535 40 64, e-Mail: buero@oewav.at

Zusammenschluss aller an der Wasser- und Abfallwirtschaft interessierten Kreise aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.

## Veranstaltungen

Österreichische Wasserwirtschaftstagung  
Österreichische Abfallwirtschaftstagung  
Österreichische Umweltrechtstage  
Verbandstag der österreichischen Wasser- und Abfallverbände  
Tagung Hochwasserschutz  
Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen  
Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft  
Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abwasser- und Abfallbehandlungsanlagen  
Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagennachbarschaften  
Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen  
Exkursionen im In- und Ausland  
Vorträge

## Fachausschüsse und Arbeitsgruppen

Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen, Merkblättern, Gutachten und Studien für bestimmte Fachgebiete der Wasser- und Abfallwirtschaft

## Beratung und Information

Auskünfte und individuelle Beratung  
Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Dokumentationsstelle „Wasser – Abfall“, Öffentlichkeitsarbeit

## Veröffentlichungen

Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW) <sup>1)</sup>  
Tätigkeitsbericht des ÖWAV  
Wasser- und Abfallrechtliche Judikatur in Leitsatzform <sup>\*)</sup>  
Schriftenreihe des ÖWAV <sup>\*)</sup>  
Regelblätter <sup>\*)</sup>, Arbeitsbehelfe <sup>\*)</sup> und Merkblätter des ÖWAV  
ÖWAV-WIFI-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe  
Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen <sup>\*)</sup>  
KA-Betriebsinfo <sup>1)</sup>  
Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer <sup>1)</sup>  
Schriftenreihe „Die Talsperren Österreichs“ <sup>1)</sup>  
Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft der TU Graz <sup>1)</sup>  
Veröffentlichungsreihe Konstruktiver Wasserbau/Landschaftswasserbau der TU Wien <sup>1)</sup>

## Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA  
(vormals European Water Pollution Control Association – EWPCA)

## Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EUREAU (gem. mit ÖVGW)
- International Water Association – IWA (vormals International Water Services Association – IWSA und International Association on Water Quality – IAWQ, gem. mit ÖVGW)
- International Commission on Large Dams – ICOLD
- International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)
- International Solid Waste Association (ISWA)

<sup>\*)</sup> im Kommissionsverlag bei ON Österreichisches Normungsinstitut, Wien

<sup>1)</sup> Mitherausgeber