

## REGIONALISIERUNG VON GRUNDWASSERGÜTEPARAMETERN

Andreas Scheidleder, Johannes Grath, Claudia Schramm und Steffen Uhlig

### 1. Einleitung

Bei der Regionalisierung von Grundwassergütedaten werden Punktdaten in Flächeninformation transformiert. Diese Informationen dienen einerseits der visuellen Darstellung eines Zustands oder einer zeitlichen Entwicklung, dem Aufzeigen von Handlungsspielräumen und Handlungsbedarf sowie der Demonstration des Einhaltens oder Verfehlens gesetzlicher Normen und Ziele.

Welche Information dargestellt werden soll bzw. muss und wie sie am besten transportiert werden kann, um der Beantwortung der Fragestellung zu entsprechen, leitet sich einerseits von den gesetzlichen Erfordernissen und andererseits von den Erwartungen der Zielgruppe ab. Dies betrifft sowohl die Art und Komplexität der Darstellung als auch das Niveau der Aggregation.

Die Umwandlung der Daten in Information basiert letztendlich auf den genannten Rahmenbedingungen, die einerseits bereits in den gesetzlichen Grundlagen mehr oder weniger detailliert vorgegeben sein können bzw. von Experten entsprechend interpretiert werden müssen und umfasst einfache graphische Darstellungen bis hin zu hochkomplexen statistischen Bearbeitungen.

Die grundsätzliche Frage, was darzustellen bzw. zu demonstrieren ist, bildet gemeinsam mit dem konzeptionellen Verständnis des Grundwassersystems die Basis für das Messnetzdesign, das Probenahmedesign, die Analytik und die statistische Verarbeitung der Daten. Dieser Ablauf, basierend auf den wasserwirtschaftlichen Fragestellungen und den Erfordernissen für die Information an die Entscheidungsträger, die Öffentlichkeit und sonstige Zielgruppen ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt. Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann das konzeptionelle Modell verbessert und allenfalls das Monitoring Design adaptiert werden.

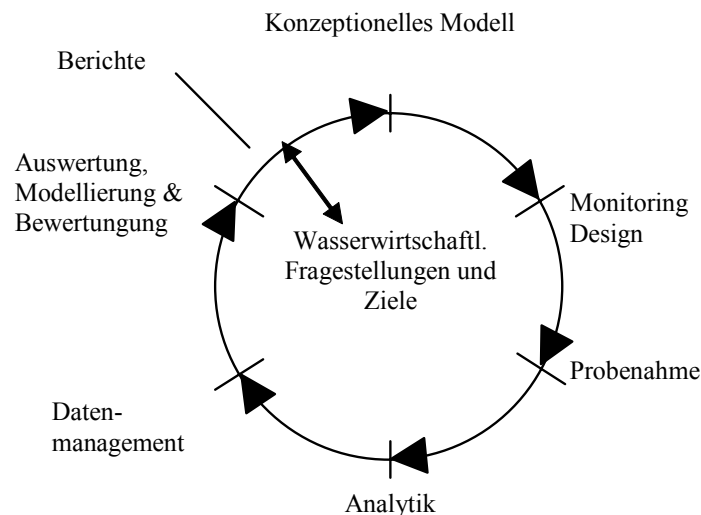


Abb. 1: Der Monitoring Zyklus (CIS WG C, 2006)

Grundwasserqualitätsinformationen werden auf verschiedenen Ebenen von unterschiedlichen Zielgruppen benötigt. Die unterschiedlichen Kombinationen von Informationsbedarf und Zielgruppe eröffnen ein breites Spektrum an Regionalisierungsmöglichkeiten und -notwendigkeiten. Besondere Betrachtung erfordern Aussagen, die für jene Bereiche getroffen werden müssen, für die eigentlich keine ausreichenden Datengrundlagen vorliegen. Unter Einbeziehung von Erfahrungen und Erkenntnissen aus ähnlichen Bereichen können Analogieschlüsse helfen, diese Wissenslücke zu überbrücken.

Nachfolgend soll am Beispiel unterschiedlicher Informationsbedürfnisse und gesetzlicher Vorgaben demonstriert werden, wie Grundwasserqualitätsparameter regionalisiert werden können und müssen und wie Aussagen in Gebieten getroffen werden können, wo keine gemessenen Daten vorliegen.

## **2. Beurteilung der Wassergüte in Österreich**

Das österreichische Wasserrechtsgesetz legt die grundsätzlichen Ziele für die Qualität des Grundwassers fest. Werden diese Ziel nicht erreicht, können bzw. müssen entsprechende gegensteuernde Maßnahmen ergriffen werden. Eine wesentliche Grundlage zur Bewertung bzw. Überprüfung, ob das Ziel, betreffend Zustand und Entwicklung der österreichischen Grundwasserqualität erreicht ist, stellt die Grundwasserschwellenwertverordnung (GSwV, BGBl. 502/1991 i.d.g. F.) dar. Die Grundlage für die Erhebung der Qualitätsdaten ist in der Wassergüte-Erhebungsverordnung (WGEV, BGBl. Nr. 338/91 i.d.g.F.) festgelegt auf deren Basis seit 1991 Qualitätsdaten in Österreich erhoben werden.

Die GSwV legt fest, dass die Bewertung der Grundwasserqualität auf Basis von Grundwassergebieten zu erfolgen hat. Die Abgrenzung dieser Gebiete erfolgte anhand von (hydro)geologischen und administrativen Kriterien. Mit Stand 2006 werden in Österreich 158 Grundwassergebiete beobachtet und bewertet. Die beobachteten Quellen werden sog. Gebirgsgruppen zugeordnet. Der Zustand dieser Grundwässer wird mit rd. 2.000 Grundwassermessstellen erfasst, die grundsätzlich vier Mal jährlich beprobt werden.

Entsprechend den Vorgaben der GSwV ist für jedes Grundwassergebiet der Zustand festzustellen, wobei die Regionalisierungskriterien wie folgt dargelegt sind:

- Für jede Messstelle wird über den Beurteilungszeitraum von 2 Jahren ein arithmetischer Mittelwert eines Grundwasserinhaltsstoffs errechnet.
- Eine Messstelle wird als ‚gefährdet‘ eingestuft wenn der arithmetische Mittelwert der Messstelle den zugehörigen Schwellenwert überschreitet. Auszunehmen davon sind Messstellen mit geogener oder sonstiger natürlicher Hintergrundbelastung durch diesen Grundwasserinhaltsstoff.
- Ein Grundwassergebiet wird als ‚Beobachtungsgebiet‘ bezeichnet, wenn mindestens 30 % aller Messstellen dieses Gebietes als ‚gefährdet‘ eingestuft sind.

- Ein Grundwassergebiet wird als ‚voraussichtliches Maßnahmensgebiet‘ bezeichnet, wenn mindestens 50 % aller Messstellen dieses Gebietes als ‚gefährdet‘ eingestuft sind.

Zusätzlich ist zu beachten, dass die Auswertung nur vorgenommen werden darf, wenn mindestens 5 Beprobungen an jeder Messstelle vorliegen.

Die Visualisierung der Informationen und Ergebnisse erfolgt regelmäßig im Bericht zur ‚Wassergüte in Österreich‘ (BMLFUW/Umweltbundesamt, 2005) in Form von Karten sowohl auf der Ebene der Grundwassergebiete als auch auf Ebene der Messstellen.

Die Ergebnisse auf der Ebene der Grundwassergebiete zeigt Abbildung 2, die einen raschen Überblick über den Gesamtzustand des Grundwassers durch die Kennzeichnung von Grundwassergebieten als Beobachtungs- und voraussichtlichen Maßnahmensgebiete erlaubt, wobei hierbei die Auswertungen für die Parameter Nitrat, Nitrit, Ammonium, Orthophosphat, Chlorid, Natrium, Kalium, Atrazin, Desethylatrazin und Bentazon zusammengefasst dargestellt werden.

Eine Darstellung der Grundwasserqualitätssituation auf Messstellenebene gibt Abbildung 3, wo die Visualisierung der mittleren klassifizierten Konzentrationsgehalte eines Parameters je Messstelle eine detailliertere räumliche Betrachtung erlaubt.

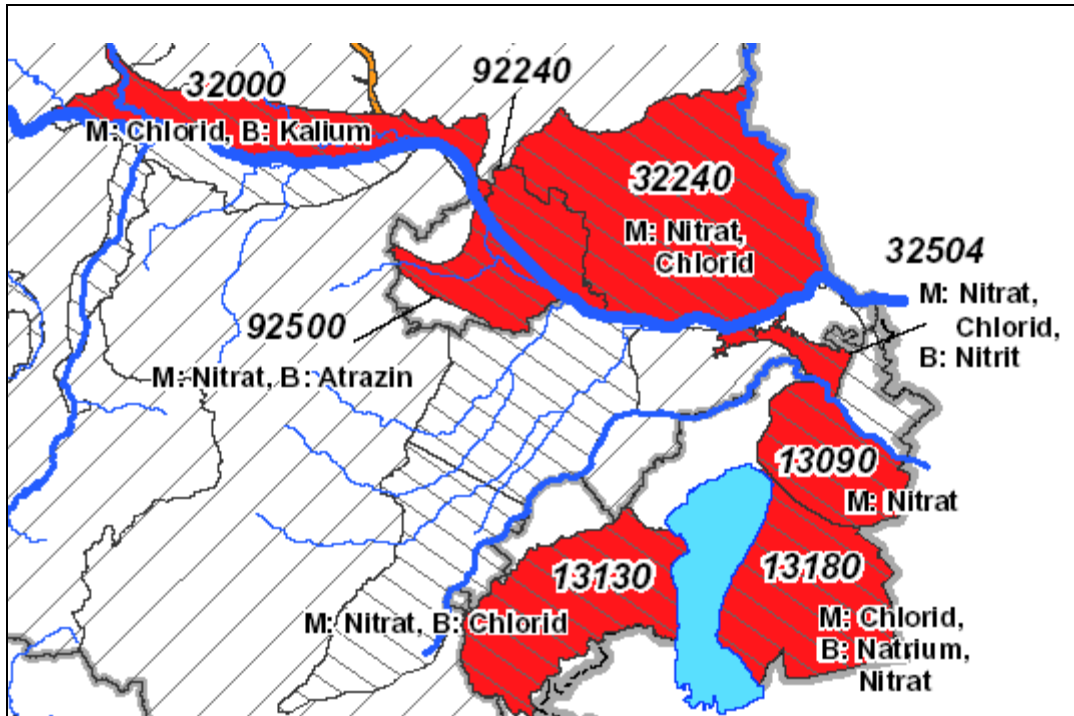
Eine derartige Darstellung kann als Basis für die Erstellung bzw. einer schrittweisen Verbesserung des konzeptionellen Verständnisses im Grundwassergebiete dienen sowie zur Analyse von Ursache-Wirkungs-Beziehungen und der Umsetzung von Maßnahmen.

### **3. Grundwasserstatistik Projekt – [www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net)**

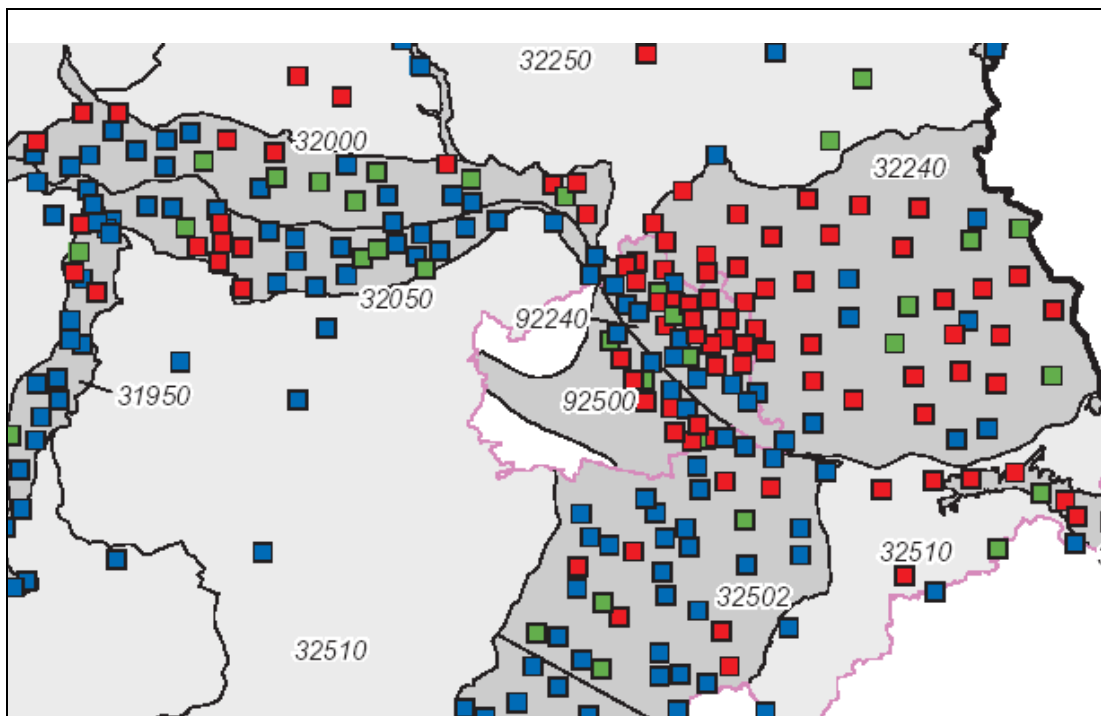
Die Betrachtungs- und Beurteilungseinheit der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) für Belange des Grundwassers ist der Grundwasserkörper. Der Grundwasserkörper wird als Managementeinheit innerhalb eines Flusseinzugsgebietes definiert.

Bis spätestens 2015 muss der gute Zustand des Grundwassers erreicht werden. Eine Verschlechterung des Zustands aller Grundwasserkörper ist zu verhindern. Darüber hinaus sind signifikante und anhaltende steigende Trends aufgrund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umzukehren (Europäische Kommission, 2005).

Die Erreichung dieser Ziele ist entsprechend nachzuweisen. Die Richtlinie verlangt, dass die Grundwassergütedaten in geeigneter Form zuerst auf Messstellenebene aggregiert werden, um den chemischen Zustand des Grundwassers nach den Vorgaben der Richtlinie entsprechend bestimmen zu können. Darüber hinaus soll mit diesen Daten der statistische Nachweis eines steigenden Trends und einer Trendumkehr möglich sein.



**Abb. 2:** Beobachtungsgebiete und voraussichtliche Maßnahmengemeinden gem. GSwV im Beobachtungszeitraum (2001–2002) für zusammenhängende Grundwassergebiete. Ausschnitt. (Umweltbundesamt, 2004)



**Abb. 3:** Mittlere Nitratgehalte im Beobachtungszeitraum (2001–2002) der Messstellen, eingeteilt in Konzentrationsklassen. Ausschnitt. (BMLFUW/Umweltbundesamt, 2005)

Bereits im Jahr 1999 hat die Europäische Kommission ein Forschungsprojekt initiiert, das zum Ziel hatte, Methoden für die Datenaggregation und Methoden für die Ermittlung von Trends bzw. von Trendumkehr auf Ebene von Grundwasserkörpern zu erarbeiten. Dieses sogenannte „Grundwasserstatistik Projekt“ wurde unter der Leitung des Umweltbundesamtes mit Partnern aus insgesamt 11 Europäischen Ländern durchgeführt. Im Rahmen der Arbeiten erfolgte zunächst die Erhebung der Methoden, in den einzelnen Ländern bereits in Anwendung waren (siehe Kapitel 3.1). Darauf aufbauend wurden verschiedene statistische Methoden diskutiert, beschrieben und getestet sowie geeignete Methoden für Aggregation, Trend- und Trendumkehrermittlung vorgeschlagen. (siehe Kapitel 3.2). Die gesamten Ergebnisse sind unter [www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net) dargestellt bzw. als „Technical Report Nr. 1: The EU Water Framework Directive: statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results“ von der Europäischen Kommission veröffentlicht (Europäische Kommission, 2001).

Die Erfordernisse an die gesuchte Methode waren klar umrissen. Die Methodik musste:

- statistisch korrekt und
- pragmatisch sein.
- Sie sollte Schadstoffkonzentrationen unter der Bestimmungsgrenze sowie
- ungleichmäßig verteilte Konzentrationen innerhalb eines Grundwasserkörpers berücksichtigen.
- Europaweit anwendbar, unter Berücksichtigung der Vielfalt an Grundwasserkörpern (hydrogeologische Charakteristik, Größe, Nutzungen, Messnetz etc.), sowie
- anwendbar für alle Arten von Parametern und
- auf die Vorgaben der WRRL abgestimmt sein.

### **3.1 Übersicht über international verwendete Methoden zur Regionalisierung**

In den europäischen Mitgliedsstaaten erfolgt die Regionalisierung bzw. Aggregation von Grundwassergüteparametern zur Beurteilung des chemischen Zustands auf die Ebene von Grundwasserkörpern auf unterschiedliche Weisen. Folgende Methoden konnten im Rahmen der Inventur zum Grundwasserstatistik Projekt ([www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net)) zusammengefasst werden:

- Median: Dänemark, Großbritannien, Österreich und Portugal;
- Arithmetisches Mittel (teilweise mit Vertrauensbereich): Niederland, Österreich und Spanien;
- Mittelwert basierend auf der log-normal Verteilung (mit Vertrauensbereich): Belgien;
- Prozentueller Anteil von Messstellen mit guter Qualität (teilweise mit Toleranzbereich): Deutschland und Niederlande;

Minimum und Maximum in einem Grundwasserkörper werden von allen Ländern als Zusatzinformation berücksichtigt jedoch nicht als alleinige Parameter herangezogen, um den Zustand des Grundwasserkörpers zu beurteilen.

Die verschiedenen Methoden sind hinsichtlich ihrer Aussagekraft unterschiedlich leistungsfähig. Beispielsweise wird die Variabilität der Daten sowohl über die Zeit als auch über die Fläche unterschiedlich stark berücksichtigt. Die Wahl der Methode leitet sich von Fall zu Fall von den Zielen des Monitorings ab.

### **3.2 Diskutierte Methoden zur Umsetzung der WRRL**

Damit in Übereinstimmung mit den Erfordernissen der WRRL eine statistisch fehlerfreie Datenaggregation garantiert werden kann, wurde von der Arbeitsgruppe des Grundwasserstatistik Projekts als Vorbedingung definiert, dass für homogene Grundwasserkörper (hinsichtlich hydrogeologischem Aufbau und Verteilung der Belastungen) die Homogenität des Messnetzes im Sinne einer räumlichen Repräsentativität gegeben sein muss. Bei heterogenen Grundwasserkörpern sollte das Messnetz die hydrogeologischen Gegebenheiten entsprechend repräsentieren. Zur Beurteilung der Homogenität eines Messnetzes wurden insgesamt fünf Methoden untersucht. Die Messstellen sollten gleichmäßig über den Grundwasserkörper verteilt sein, es sollte zu keiner Anhäufung von Messstellen kommen und jede Messstelle sollte einen ähnlich großen Anteil im Grundwasserkörper repräsentieren.

Zur Ausarbeitung eines geeigneten Aggregierungsalgorithmus für die Zustand- und Trendbestimmung wurden insgesamt sieben etablierte statistische Methoden für die gebietsweise Datenaggregation auf ihre Eigenschaften und ihre Eignung für die Zwecke der WRRL getestet. Basis für die räumliche Aggregation ist das arithmetische Mittel je Messstelle, wie in der WRRL vorgegeben. Die Trendbeurteilung sollte jedenfalls auf den Methoden der Datenaggregation zur Zustandsbeurteilung aufbauen. Folgende Methoden der Datenaggregation wurden untersucht:

- Quantilen (Median, 70 % Perzentile)
- Arithmetisches Mittel und Konfidenzbereich
- Gewichtetes arithmetisches Mittel und Konfidenzbereich
- Kriging Mittelwert und Konfidenzbereich (auch 70 % Perzentil)
- Maximum likelihood Ansatz basierend auf der zensierten Log-Normal-Verteilung (Mittelwert und 70 % Perzentil)
- Prozentsatz von Messstellen mit guter Qualität
- Minimum, Maximum

Die verschiedenen Methoden wurden analysiert, in ein Auswertetool integriert und mithilfe von Testdaten, die von den Partnern zur Verfügung gestellt wurden, auf ihre Eignung getestet inwieweit sie die Erfordernisse erfüllen.

### 3.3 Vorgeschlagene Methoden zur Umsetzung der WRRL

Nach eingehenden Tests der diskutierten Methoden mit den verfügbaren Testdaten einigte sich die Arbeitsgruppe auf folgende Empfehlung:

Zur Berechnung eines Gebietsmittelwertes wurde eine pragmatische Methode erarbeitet und vorgeschlagen. Im Prinzip handelt es sich dabei um das arithmetische Mittel (AM) und dessen 95 % Vertrauensgrenze ( $CL_{AM}$  = confidence limit). Sollte unter bestimmten Bedingungen (unterschiedliche Messstellendichte in Teilgebieten, Grundwasserkörper-Charakteristik etc.) die Berechnung des Gebietsmittelwertes mit dem AM statistisch nicht zulässig sein, wird vorgeschlagen, die Berechnung eines gewichteten arithmetischen Mittels ( $wAM$  = weighted AM) und dessen Vertrauensgrenze ( $CL_{wAM}$ ) unter Berücksichtigung verschiedener Teil-Grundwasserkörper durchzuführen. Im Falle einer Grenzwertüberschreitung durch die Vertrauensgrenze  $CL_{wAM}$  ist es gestattet, diese Ergebnisse mit einer neuerlichen Berechnung des Mittelwerts und dessen Vertrauensgrenze zu überprüfen, wobei in diesem Fall jede einzelne Messstelle mit jenem Flächenanteil gewichtet wird, den sie repräsentiert (= Kriging-Mittelwert [KM], Vertrauensgrenze [ $CL_{KM}$ ])

Um auch bei Grundwasserkörpern mit sehr wenigen Messstellen eine ausreichend zuverlässige Schätzung gewährleisten zu können, wird vorgeschlagen, die obere Vertrauensgrenze (mit einem Signifikanzniveau  $\alpha = 5\%$ ) des (gewichteten) arithmetischen Mittels (bzw. den Kriging-Mittelwert) heranzuziehen anstatt den arithmetischen Mittelwert selbst. Der obere Vertrauensbereich hängt ab von der Variabilität des Konzentrationsniveaus innerhalb eines Grundwasserkörpers und der Anzahl der Messstellen. Das CL sinkt mit steigender Messstellenanzahl bzw. mit einer sinkenden Variabilität des Konzentrationsniveaus. Die Anwendung des CL erlaubt die Reduzierung von Messstellen in Grundwasserkörpern, bei denen das Konzentrationsniveau weit unterhalb eines Grenzwertes liegt, und legt die Verdichtung des Messnetzes in jenen Grundwasserkörpern nahe, die Konzentrationen nahe des Grenzwertes aufweisen.

Wenn ein Grundwasserkörper in mehrere homogene Teil-Grundwasserkörper geteilt werden kann, soll das gewichtete arithmetische Mittel ( $wAM$ ) unter Berücksichtigung der flächenmäßigen Anteile der Teil-Grundwasserkörper und der jeweiligen AM berechnet werden.

Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Berechnung des Gebietsmittelwertes mit Hilfe der Kriging-Methode keiner Modellierung der regionalen Konzentrationsniveaus von Schadstoffen im Grundwasserkörper entspricht und die Ergebnisse daher nicht als solche gesehen werden dürfen. Die Kriging-Methode wird ausschließlich zur Korrektur einer ungleichen Messstellenverteilung angewendet, also nicht um innerhalb eines Grundwasserkörpers regionalisierte Konzentrationsniveaus abzuschätzen und diese in einer Karte darzustellen.

### **3.4 Ausblick Grundwasser-Tochterraichtlinie**

Die WRRL sieht vor, dass detaillierte Vorgaben zur Beurteilung des Zustands der Grundwasserqualität in der sogenannten Grundwasser-Tochterraichtlinie festgelegt werden. Diese Richtlinie liegt derzeit im Entwurf vor. Sobald sie vom Parlament verabschiedet ist, wird sich eine europäische Arbeitsgruppe damit befassen, basierend auf den vorliegenden Arbeiten, die gesetzlichen Vorgaben in Form eines Leitfadens zu präzisieren. Sollte die Tochterraichtlinie nicht zustande kommen, so obliegt es den Mitgliedsstaaten geeignete Methoden auf nationaler Ebene anzuwenden.

## **4. Ausgewählte Beispiele bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Österreich**

Die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie sind im österreichischen Recht im Wasserrechtsgesetz implementiert. Verschiedene detaillierte Vorgaben wurden bzw. werden noch im Wege von Verordnungen erlassen.

Die Umsetzung der WRRL erfordert eine schrittweise Vorgehensweise, wobei die Abgrenzung und Beschreibung von Grundwasserkörpern sowie die Beurteilung des Risikos, die Ziele der Richtlinie bis 2015 nicht zu erreichen, bereits zu erledigen waren. Die nachfolgend beschriebenen Aktivitäten tragen mittelbar oder unmittelbar zur Umsetzung der WRRL bei.

### **4.1 IST-Bestandsaufnahme**

Im Zuge der Umsetzung der WRRL war bis Ende 2005 eine Beurteilung erforderlich, für welche Grundwasserkörper ein Risiko besteht, dass sie im Jahr 2015 die Ziele der WRRL eines guten chemischen Zustandes nicht erreichen (IST-Bestandsaufnahme).

Diese IST-Bestandsaufnahme entsprechend WRRL erfolgte in Österreich für die Beurteilung der Grundwasserqualität auf Basis gemessener Daten. Mangels Vorgaben in der WRRL wurde diese Beurteilung anhand der Kriterien und der Methodik der GSwV, wie bereits im vorangegangenen Kapitel 2 erläutert, durchgeführt.

Eine besondere Herausforderung bestand jedoch darin, dass im Gegensatz zur WGEV-basierten Abgrenzung von Grundwassergebieten nun infolge der Erfordernisse der WRRL eine flächendeckende Abgrenzung von Grundwasserkörpern erfolgte. Nicht für alle neu abgegrenzten Grundwasserkörper lagen somit Messdaten vor und auch die vorliegenden Messreihen erfüllten vielerorts nicht die entsprechenden Kriterien der GSwV zur Beurteilung des Zustandes (mindestens 5 Beprobungen je Messstelle und Beurteilungszeitraum).

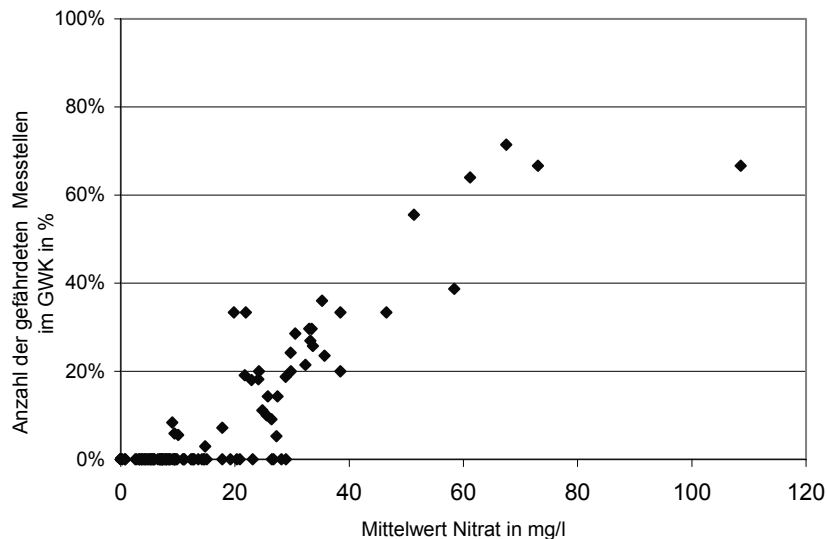
Eine Beurteilung des Risikos musste dennoch getroffen werden, wofür ein statistisches Modell entwickelt wurde, anhand dessen mittels Analogieschlüssen das Konzentrationsniveau der erforderlichen Grundwassergüteparameter von Einflussfaktoren abgeleitet wurde. Dieses Modell ergänzte gleichsam jene Bereiche in denen es zu einer Nicht-Anwendbarkeit der Zustandsbeurteilung gemäß GSwV kam,



also für jene Grundwassergebiete in denen zu wenig oder in Einzelfällen keine Messstellen bzw. Daten verfügbar waren.

Ein wesentlicher Teil dieses Modells umfasste die Regionalisierung (Aggregation) von Einflussfaktoren unterschiedlichster Ebenen (Grundwasserkörper-, Gemeinde- oder Messstellen-Ebene) auf die einheitliche Ebene der Grundwasserkörper um zu einer regionalisierten Risikoaussage für den einzelnen Grundwasserkörper zu gelangen. Mehr als 150 Einfluss- und Risikofaktoren wurden in die Untersuchung einbezogen.

Da zwischen dem Anteil gefährdeter Messstellen je Grundwassergebiet (entsprechend GSwV) und dem jeweiligen arithmetischen Mittel über das Gebiet ein gut ausgeprägter linearer Zusammenhang besteht und sich das arithmetische Mittel für statistische Abschätzungen gut eignet, wurde das statistische Modell (gewichtetes multifaktorielles Quotientenmodell) zur Risikoabschätzung auf Basis der Mittelwerte der Grundwasserkörper angewendet.



**Abb. 4:** Beziehung zwischen Grundwasserkörper-Mittelwert und Anteil gefährdeter Messstellen im Grundwasserkörper (in %) für Nitrat

Die für die verschiedenen Parameter ausgearbeiteten Modelle lassen sich unmittelbar zur Prognose des mittleren Konzentrationsniveaus in einem Grundwasserkörper heranziehen. Gleichwohl ist – bei einem dichten, repräsentativen Messnetz – dem gemessenen Mittelwert in der Regel der Vorzug gegenüber einem Modellwert zu geben, denn Fehler sowohl im Modell als auch in der zugrunde liegenden Datenbasis sind nie ganz zu vermeiden. Andererseits ist auch bei einem gemessenen Mittelwert selbst bei einem repräsentativen Messnetz zumindest von einem zufälligen Fehler auszugehen, so dass unter Umständen auch eine Kombination von Modellmittelwert und Messwertmittelwert sinnvoll sein kann. So bietet es sich bei geringer Anzahl von Messstellen oder bei nicht ausreichend repräsentativen Messnetzen an, die genannten Mittelwerte in geeigneter Weise (eventuell gewichtet) zu mitteln, um eine möglichst genaue Schätzung des Konzentrationsniveaus zu gewinnen.

Die im Rahmen des Quotientenmodells erfassten Faktoren sind zunächst als Risikoindikatoren zu interpretieren. Dies bedeutet noch nicht, dass nach Reduzierung eines Risikoindikators automatisch mit einer Reduzierung der Grundwasserbelastung zu rechnen ist. Vielmehr ist nicht auszuschließen, dass der Risikoindikator mit der tatsächlichen Ursache für die Grundwasserbelastung nur hoch korreliert ist - nach einer Reduzierung des Risikoindikators wäre dann unter Umständen die Korrelation dieses Indikators mit der tatsächlichen Ursache für die Grundwasserbelastung nicht mehr gegeben. Ob also ein Risikoindikator tatsächlich ein Risikofaktor ist, kann nur anhand von fachlichen Überlegungen überprüft werden. Wenn jedoch eine klare Verbindung zwischen Risikoindikator und den zugehörigen Belastungsursachen vorliegt, kann dieser Risikoindikator auch zur Festlegung von Maßnahmen zur Belastungsreduzierung verwendet werden.

Liegt keine klare Verbindung zwischen Risikoindikator und Belastungsursache vor, können dennoch die im Modell ermittelten Risikoindikatoren zur Abschätzung der Grundwasserbelastung herangezogen werden. Dies gilt auch bei einer Betrachtung zeitlicher Trends: Ebenso wie die Messstellenmittelwerte können auch die berechneten Effekte der Risikoindikatoren zur Trendabschätzung verwendet werden. Eine solche Analyse kann einerseits verwendet werden, um bessere Einblicke in die tatsächlichen Ursachen der Grundwasserbelastung zu erhalten, andererseits gestattet sie eine sehr präzise Prognose der weiteren Entwicklung.

## **4.2 Hydrochemische Karte**

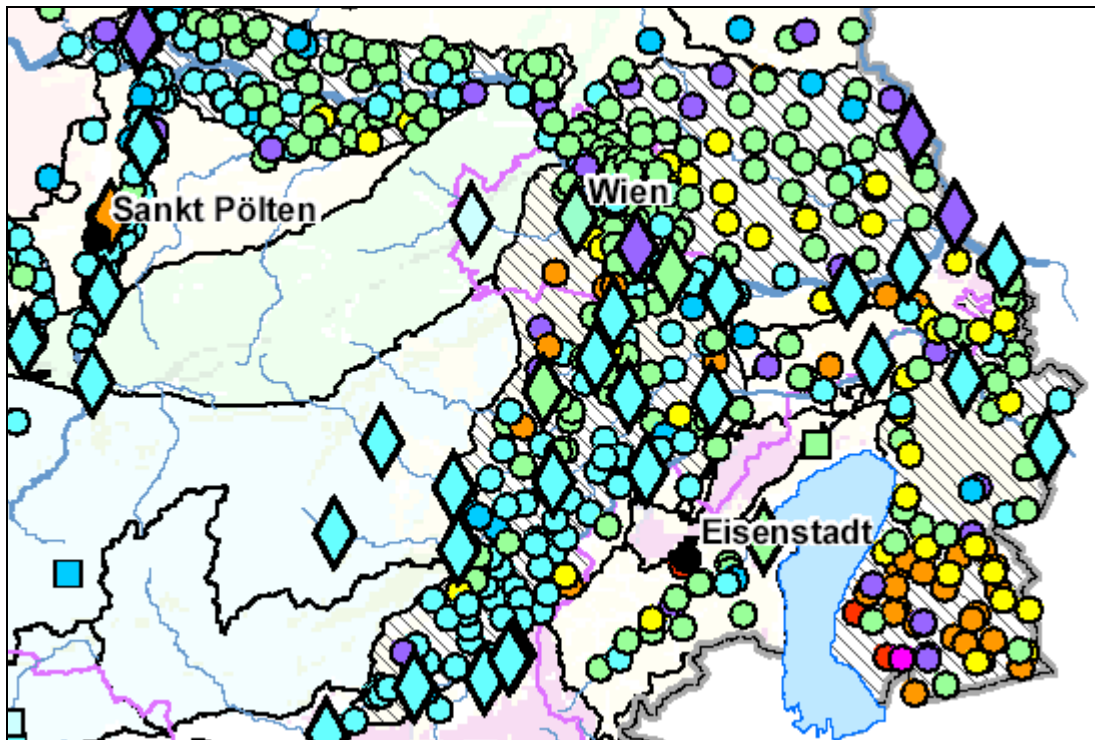
Der geochemische Gesteinshintergrund beeinflusst die Eigenschaften des Wassers, als wohl bekanntestes Beispiel dafür ist die Wasserhärte zu nennen. Das Umweltbundesamt erstellte in Kooperation mit dem Lebensministerium und basierend auf den Daten der österreichischen Wassergütererhebung eine hydrochemische Karte (Kralik et al., 2005), die in eindrucksvoller Weise zeigt, wie die geologischen Einheiten Österreichs im Wasserchemismus abgebildet werden. Gleichzeitig werden aber auch anthropogene Einflüsse ersichtlich.

Grundlegende Idee für eine Klassifizierung der Wasserchemie in Österreich war die Überprüfung der Abgrenzung der Grundwasserkörper im Zuge der Umsetzung der WRRL.

Die hydrochemische Verteilung der Elemente (hydrochemische Fazies) zeigt zusammen mit der Mineralisierung der Wässer eine Abfolge von Reaktionen mit den Gesteinen an und ist ein Indikator für die Richtung des Grundwasserstromes.

Mit Hilfe der Darstellung des Wasserchemismus durch das international gebräuchliche trilineare Diagramm nach Piper wurden Wassertypen nach Furtak und Langguth in Äquivalent-% mit kleineren Modifikationen abgegrenzt.

Demnach können in den österreichischen Grundwasserleitern sieben Wassertypen unterschieden werden, denen die einzelnen Messstellen zugeordnet wurden. Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus der Hydrochemischen Karte Österreichs.



**Abb. 5:** Ausschnitt aus der Hydrochemischen Karte Österreich. (Kralik et al., 2005)

Als beispielhaftes Ergebnis der Analyse zeigte sich, dass, wenn man den Nitratgehalt der Wässer in Relation zur gesamten Ionensumme setzt, mit zunehmender Gesamtionensumme auch die Nitratwerte ansteigen. Dies bedeutet, dass mit zunehmender Mineralisierung die Nitratgehalte im Wasser nicht nur durch menschlichen Einfluss sondern auch durch den natürlichen Hintergrund erhöht werden.

Die Ergebnisse dieser Karte tragen zu einem besseren konzeptionellen Verständnis der Ursache-Wirkungs-Beziehungen im Grundwasser beträchtlich bei und können eine differenzierte und zielgerichtete Vorgangsweise bei der Umsetzung von Maßnahmen unterstützen.

### 4.3 Geogene Hintergrundwerte oberflächennaher Grundwasserkörper

Die WRRL sowie die künftige Grundwasser-Tochterraichtlinie sehen die Festlegung von nationalen Hintergrundwerten vor. Diese Hintergrundwerte sind notwendig, um die Beiträge aus den menschlichen Tätigkeiten abgrenzen zu können. Dies soll insbesondere bei der Bewertung des Zustandes berücksichtigt werden (BRIDGE, 2006). Im Rahmen eines Projektes der Geologischen Bundesanstalt im Auftrag des Lebensministeriums wurden erstmals flächendeckend für Österreich hydrochemische Hintergrundwert für eine Reihe von Grundwasserqualitätsparametern in allen oberflächennahen Grundwasserkörpern abgeleitet (Hobiger & Klein, 2004). Der ermittelte Hintergrundwert ist dabei ein auf den einzelnen Grundwasserkörper regionalisierter Wert für einen Grundwassergüteparameter.

In die Analyse flossen eine Vielzahl vorhandener hydrochemischer und geochemischer Daten aus Forschungs- und Beobachtungsprogrammen des Bundes und der Bundesländer ein sowie zusätzliche Hilfsdaten wie Corine-Landcover und geologische Karten.

Sämtliche hydrochemischen Daten wurden einheitlich parametrisiert und zur Regionalisierung und Visualisierung in einer GIS-fähigen Datenbank zusammengeführt. Die Ableitung konkreter Hintergrundwerte erfolgte über kombinierte geostatistische, hydrogeologische und hydrochemische Interpretationsschritte. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden in Form von Karten dargestellt.

Zu Beginn der Untersuchung stand eine gründliche Analyse der vorhandenen Daten hinsichtlich Plausibilität und Brauchbarkeit denn die Daten wurden ja auf Basis der individuellen Zielsetzungen dieser unterschiedlichsten Projekte maßgeschneidert generiert. Nicht immer waren die Daten auch für die Zwecke dieser Studie geeignet. Aus der verbleibenden Datenmenge wurden zuerst jene Datensätze extrahiert, die nicht anthropogen beeinflusst waren. Unterstützend dazu wurden unter anderem Hauptkomponentenanalysen durchgeführt, um über die räumliche Verteilung errechneter Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Parametern anthropogene Einflüsse erkennen zu können.

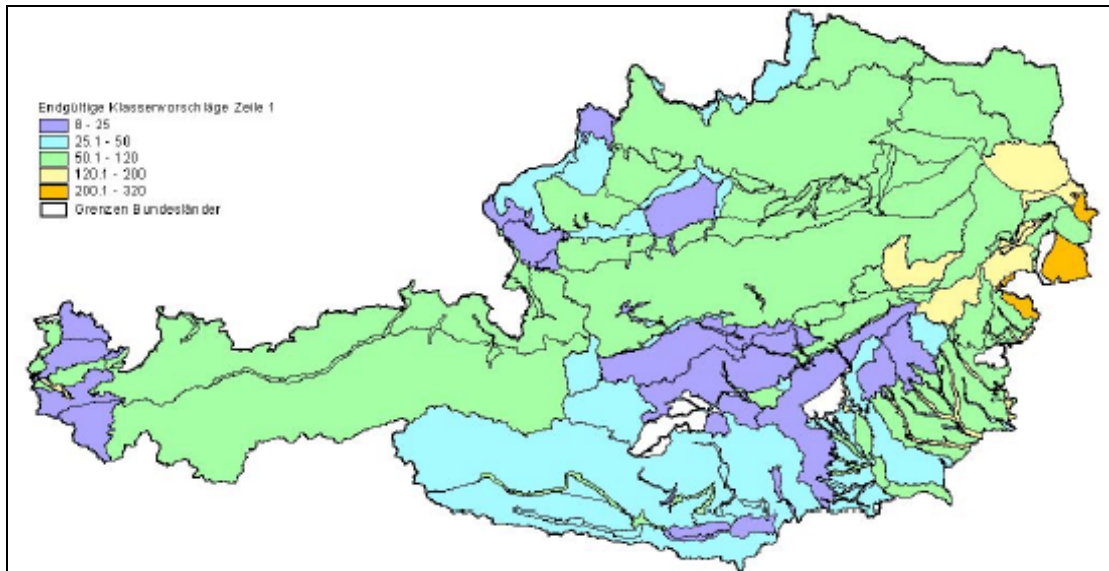
Die verbleibenden Daten wurden in einem ersten Schritt je Grundwasserkörper statistisch analysiert. Im Anschluss daran kam es zu einer Zusammenfassung der einzelnen Hintergrundwerte zu Klassen, um sowohl eine leichtere Visualisierung als auch eine Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Die Datendichte war jedoch über das gesamte Bundesgebiet gesehen recht unterschiedlich. Es standen Grundwasserkörper mit einer hohen Anzahl an Analysen Grundwasserkörpern ohne eine einzige Analyse gegenüber. Auch wiesen Analyseserien sehr häufig nur einen geringen Parameterumfang auf. Bei einer Reihe von Parametern reichte die Datenlage hydrochemischer Analysen nicht aus, für alle Grundwasserkörper und Gruppen von Grundwasserkörpern Hintergrundwerte zu definieren. In diesen Fällen wird auf zwei Grundlagen zurückgegriffen: einerseits auf Ergebnisse in benachbarten, lithologisch vergleichbar aufgebauten Grundwasserkörpern und andererseits auf Ergebnisse anderer geochemischer Untersuchungen. Dabei werden die Hintergrundwerte nicht statistisch rechnerisch ermittelt, sondern gutachterlich vergeben und eindeutig dokumentiert. An Hand dieser Vorgangsweise ist eine flächendeckende Darstellung für alle Grundwasserkörper des Bundesgebietes möglich.

## **5. Zustand der Umwelt in Europa - Regionalisierung auf die Ebene von Europa**

Die Europäische Umweltagentur (EUA, [www.eea.eu.int](http://www.eea.eu.int)) hat den Auftrag, Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit rechtzeitig sachdienliche, themenspezifische und zuverlässige Informationen für die Entwicklung und

Umsetzung solider Umweltpolitiken in der Europäischen Union und in anderen EUA-Mitgliedsländern bereitzustellen, um damit eine nachhaltige Entwicklung zu fördern und zu einer deutlichen, messbaren Verbesserung der Umwelt Europas beizutragen.



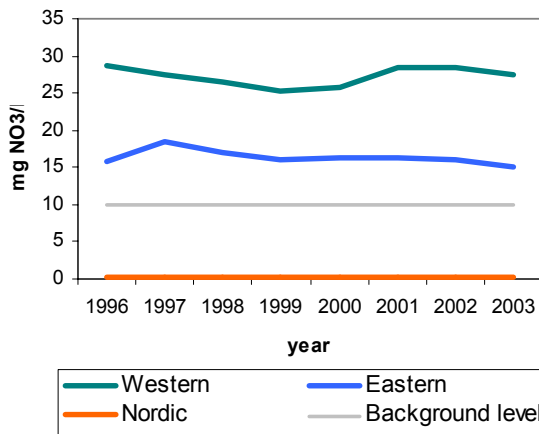
**Abb. 6:** Beispiel für die endgültige klassifizierte Darstellung geogener Hintergrundwerte für die abgegrenzten Grundwasserkörper und Gruppen von Grundwasserkörpern (Hobiger & Klein, 2004).

Zu diesem Zweck werden die besten in den Einzelstaaten verfügbaren Umweltdaten zusammengefasst und den Benutzern in verschiedenen Berichtsformaten zur Verfügung gestellt. Um die Ziele zu erreichen und die geforderten Fragen der Politik angemessen zu beantworten, werden die gesammelten Daten entsprechend hoch aggregiert und als Indikatoren aufbereitet. Eine Reihe von Grafiken visualisieren die Kernbotschaft zur gestellten Frage. Die erforderliche Regionalisierungsebene sind die Mitgliedsländer bzw. Europa.

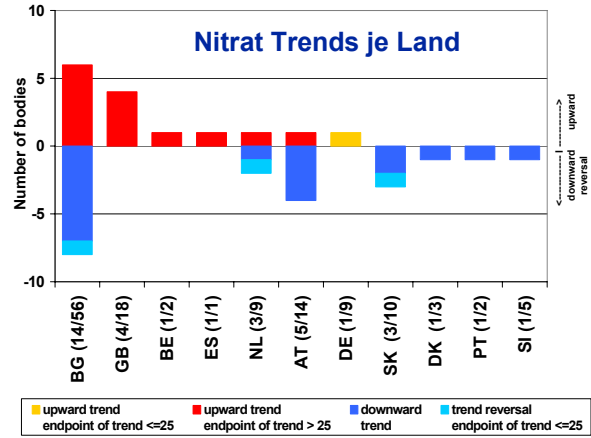
Die nachfolgenden Abbildungen demonstrieren beispielhaft am Indikator „Nitrat im Grundwasser“, die Hauptelemente der Indikatoren der EUA: Schlüsselfrage, Kernbotschaft und Grafik und sie zeigen, wie hoch aggregiert die Botschaften der EUA aufbereitet sind (EUA, im Entwurf)

**Schlüsselfrage:** Ist die Nitratkonzentration in Europa rückläufig?

**Kernbotschaft:** Die Nitratgehalte im Grundwasser verhalten sich seit den frühen 1990er Jahren relativ stabil. Unterschiede im Konzentrationsniveau bestehen zwischen den Regionen.



**Abb. 7:** Zeitliche Entwicklung der Mediankonzentration von Nitrat im Grundwasser (1996–2003) in den Regionen Europas.



**Abb. 8:** Anzahl an Grundwasserkörpern je Land mit statistisch signifikanten Trends für Nitrat.

## 6. Ausblick und Resümee

Durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen und durch die erkannten Erfordernisse des Grundwasserschutzes sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene kommt der Regionalisierung von Grundwasserqualitätsdaten ein immer größerer Stellenwert zu.

Wie im Beitrag dargestellt, ist die Grundwassergüteüberwachung mit einem entsprechenden Monitoring-Design aufbauend auf die Kenntnis des Grundwasserkörpers, der unterschiedlichen Einflussfaktoren, der Nutzungsansprüche und abhängiger aquatischer und terrestrischer Ökosysteme (konzeptionelles Verständnis) eine unbedingte Erfordernis. Die Informationen über die einzelnen Grundwasserkörper wie sie im Zuge der Umsetzung der WRRL systematisch erhoben wurden, die Abschätzung der natürlichen Hintergrundkonzentrationen, die Darstellung der Hydrochemie, Auswertungen über das Rückhaltevermögen gelöster Stoffe durch das IKT Petzenkirchen etc. stellen bereits eine gute Grundlage für weiter führende Arbeiten dar.

Mit entsprechenden Monitoring-Daten sollte eine Regionalisierung von Qualitätsdaten für einzelne Grundwasserkörper, aber auch die Ableitung von Analogieschlüssen für ähnlich gelagerte, aber gering beobachtete Grundwasserkörper möglich sein. Daher kommt der regelmäßigen Überprüfung der wasserwirtschaftlichen Erfordernisse sowie

des Informationsbedarfes eine große Bedeutung zu. Die Ergebnisse der Überprüfung müssen dann in die Konzeption des Monitoringsystems einfließen.

Derartige Grundlagen sind sowohl für die Beurteilung örtlich begrenzter als auch flächenhaft auftretender Belastungen sowie für die Ableitung von Maßnahmen erforderlich.

## 7. Literatur

BGBI. 502/91 i.d.g. F: Grundwasserschwellenwertverordnung (GSwV).

BGBI. 338/91 i.d.g. F: Wassergüteehebungsverordnung (WGEV).

BMLFUW/Umweltbundesamt (2005) Wassergüte in Österreich, Jahresbericht 2004. Wien.

Umweltbundesamt (2004) Umweltsituation in Österreich. Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat. Wien.

CIS WG C (2006) Monitoring Guidance for Groundwater. Entwurf. EU Arbeitsgruppe WG C 'Grundwasser'.

BMLFUW (2005) Österreichischer Bericht der IST-Bestandsaufnahme. Wien.

Europäische Kommission (2001) The EU Water Framework Directive: statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results. Technical Report Nr. 1. [www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net).

Europäische Kommission (2005) Groundwater Summary Report. Technical report on groundwater body characterisation, monitoring and risk assessment issues as discussed at the WG C workshops in 2003–2004. Brüssel.

Kralik M., I. Zieritz, J. Grath, G. Vincze, R. Philippitsch, H. Pavlik (2005) Hydrochemische Karte Österreichs, Mittelwerte von Wassergüteehebungsdaten (WGEV-Daten) 1991–2001. 2. überarbeitete Auflage. Umweltbundesamt BE-216.

Hobiger G., P. Klein (2004) Geogene Hintergrundgehalte oberflächennaher Grundwasserkörper (GEOHINT). Österreichweite Abschätzung von regionalisierten, hydrochemischen Hintergrundgehalten in oberflächennahen Grundwasserkörpern auf der Basis geochemischer und wasserchemischer Analysendaten zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG. Geologische Bundesanstalt. Wien.

Europäische Umweltagentur (EUA), im Entwurf: Nutrients in freshwater. <http://themes.eea.eu.int/indicators/>.

BRIDGE (2006) Background cRiteria for the IDentification of Groundwater thresholds. [www.wfd-bridge.net](http://www.wfd-bridge.net).

**Anschrift der Verfasser:**

Dipl.-Ing. Andreas Scheidleder  
Dipl.-Ing. Johannes Grath  
Dipl.-Ing. Claudia Schramm  
Umweltbundesamt  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien  
Email: andreas.scheidleder@umweltbundesamt.at

PD Dr. habil. Dipl.-Math. Steffen Uhlig  
quo data - Gesellschaft für Qualitätsmanagement und Statistik mbH  
Dresden  
Email: uhlig@quodata.de