

NAQUA – Grundwasserqualität in der Schweiz 2002/2003

EIN:
diverse
Einzelstoffe

- CN⁻
- NTA
- EDTA

HKW:
halogenierte
Kohlenwasser-
stoffe

- Chloroform
- 1,1,1-Trichlor-
ethan
- Tetrachlo-
kohlenstoff
- Tri (Trichlor-
ethylen)
- Per (Tetrachlor-
ethylen)

BT:
BTEX; MTBE

- Benzol
- Ethylbenzol
- Toluol

GP:
Grundprogramm

- Leitfähigkeit
- Trübung
- pH

PE:
Pestizide

- Atrazin
- Desethyl-
atrazin
- Desisopropyl-
atrazin
- Simazin
- Terbutylazin
- Terbutryn
- Metribuzin

SM:
Schwermetalle
sensu lato

- Cr gesamt
- Ni
- Cu
- Be
- Co
- Ti
- Hg
- As
- Pb
- Cd
- Se

PAN:
Phosphat;
Ammonium;
Nitrit

- PO₄³⁺
- NO₄⁺
- NO₂⁻



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**



Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL

**NAQUA –
Grundwasserqualität
in der Schweiz
2002/2003**

Herausgegeben
vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
und vom Bundesamt für Wasser und Geologie BWG,
Bern 2004

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
und Bundesamt für Wasser und Geologie BWG
*BUWAL und BWG sind Ämter des Eidgenössischen
Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK*

Autoren

BUWAL:

Reto Muralt, Sybille Kilchmann, Frédéric Guhl,
Samuel Cornaz, alle Abteilung Gewässerschutz

BWG:

Thilo Herold, David Clavien, Ronald Kozel,
alle Abteilung Landesgeologie

Die Zusammenfassung (Seiten 11 bis 18) redigierte
Beat Jordi, Journalist BR, Biel

Zitierung

BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT /
BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.) 2004:
NAQUA – Grundwasserqualität in der Schweiz
2002/2003. Bern. 204 S.

Layout Bericht

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Layout «Das Wichtigste in Kürze»

Brigitte Schrade (BUWAL)

Bildnachweis «Das Wichtigste in Kürze»

BUWAL/AURA: 11;

BWG: 11 (links), 12 , 17 rechts (3 Bilder), 18;

Fotoagentur AURA, Luzern: 13;

BUWAL/Docuphot: 15, 16, 17 links

Umschlag

AVD, Hans-Peter Hauser, Bern

Bezug

BBL

Verkauf Bundespublikationen

CH-3003 Bern

Fax +41 (0)31 325 50 58

Internet: www.bundespublikationen.ch

Bestellnummer:

804.901.d

Dieser Bericht ist auch in französischer Sprache
erhältlich (Bestellnummer 804.901.f).

Die Publikation ist auch als PDF im Internet
abrufbar: www.buwalshop.ch oder
www.bwg.admin.ch.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5	2.4 Grundparameter	110
Zusammenfassung	7	2.4.1 Einleitung	110
Résumé	8	2.4.2 Allgemeine Übersicht	110
Riassunto	9	2.4.3 Feldparameter	112
Summary	10	2.4.4 Haupt- und Nebenbestandteile, Spurenelemente	118
Das Wichtigste in Kürze	11	3 Folgerungen und Ausblick	137
1 Einleitung	19	4 Bibliografie und unterstützende Stellen	141
1.1 Ziele der Grundwasserbeobachtung des Bundes	19	Anhänge	
1.2 Gesetzliche Grundlagen	20	A1 Resultate	146
1.3 Historie	20	A2 Zeitreihen einzelner Parameter der Messstellen NAQUA _{TREND}	158
1.4 Messnetz NAQUA	21	A3 Verwendete Limiten zur Beurteilung der Grundwasserqualität	203
1.4.1 Kriterien zur Auswahl der Messstellen	22		
1.4.2 Teilmessnetz NAQUA _{TREND}	24		
1.4.3 Teilmessnetz NAQUA _{SPEZ}	31		
1.5 Auswertung der Ergebnisse	38		
1.5.1 Berechnungen / Statistik	38		
1.5.2 Auswertung in Bezug auf Bodennutzung, Höhenlage, landwirtschaftliche Zone und Geologie	40		
2 Ergebnisse	44		
2.1 Stickstoffverbindungen	44		
2.1.1 Einleitung	44		
2.1.2 Ammonium (NH ₄ ⁺)	45		
2.1.3 Nitrit (NO ₂ ⁻)	47		
2.1.4 Nitrat (NO ₃ ⁻)	49		
2.2 Pflanzenschutzmittel (PSM)	69		
2.2.1 Einleitung	69		
2.2.2 Durchgeführte Analysen	71		
2.2.3 Resultate	73		
2.2.4 Beurteilung	82		
2.2.5 Verhältnis Nitrat/Pflanzenschutzmittel	87		
2.3 Kohlenwasserstoffe (KW) und MTBE	90		
2.3.1 Einleitung	90		
2.3.2 Durchgeführte Analysen	90		
2.3.3 Monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (MAKW)	92		
2.3.4 MTBE	95		
2.3.5 Flüchtige halogenierte (aliphatische) Kohlenwasserstoffe (FHKW)	98		
2.3.6 Übrige Kohlenwasserstoffe	102		
2.3.7 Zusammenfassende Betrachtung aller Stoffe	102		
2.3.8 Beurteilung	105		

Vorwort

Nur was man kennt, kann man schützen und nachhaltig nutzen

Die naturnahe Grundwasserqualität ist die wichtigste Voraussetzung für eine hohe Trinkwasserqualität, auf welche Bürgerinnen und Bürger ein Anrecht haben. Bisher fehlte jedoch ein repräsentativer gesamtschweizerischer Überblick über den Zustand des Rohstoffes Grundwasser. Selbst über so prominente Schadstoffe wie Nitrat und Pflanzenschutzmittel konnten keine gesamtschweizerischen Aussagen gemacht und schon gar keine für die ganze Schweiz gültigen zeitlichen Veränderungen aufgezeigt werden.

Die Daten des nationalen Netzes zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers (NAQUA) füllen nun erstmals diese Lücke und erlauben es dem Bund, der Forderung des Gewässerschutzgesetzes (Art. 57) nach gesamtschweizerischen Erhebungen zum Zustand der unterirdischen Gewässer nachzukommen. Möglich gemacht hat dies die enge Zusammenarbeit zwischen den kantonalen Gewässerschutzfachstellen sowie dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und dem Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG).

Auch wenn in der Aufbauphase des Netzes noch nicht alle für das Grundwasser problematischen Stoffe unter die Lupe genommen werden konnten und wegen der kurzen Zeit seit dessen Inbetriebnahme noch keine verlässlichen Tendenzen dokumentiert sind, so steigt das Wissen um den Zustand unseres Grundwassers mit dieser Publikation bereits erheblich. Und wir sehen, die Grundwasserqualität ist im Allgemeinen gut. Es zeigen sich aber auch Warnsignale wie z.B. das häufige und verbreitete Auftreten von Pflanzenschutzmittel- und Kohlenwasserstoffspuren in den untersuchten Grundwasservorkommen, die nun zielgerichtet weiter verfolgt und deren Ursachen im Detail analysiert werden müssen.

Das nationale Messnetz NAQUA legt mit dieser ersten Datenpublikation die Basis für eine nachhaltige Bewirtschaftung eines unserer wenigen einheimischen Rohstoffe. Darauf aufbauend lassen sich die notwendigen Massnahmen definieren, welche nötig sind, um die erkannten Qualitätsprobleme zu lösen.

Bundesamt für
Umwelt, Wald und Landschaft

Dr. Ph. Roch
Direktor

Bundesamt für
Wasser und Geologie

Dr. Chr. Furrer
Direktor

Zusammenfassung

D

Der vorliegende Bericht enthält die erste Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse des nationalen Messnetzes zur Beobachtung der Grundwasserqualität NAQUA, das seit 1997 sukzessive aufgebaut wurde. Er ermöglicht zum ersten Mal eine breit abgestützte, weitgehend repräsentative Darstellung des Zustands der wichtigen schweizerischen Grundwasservorkommen und erweitert und ergänzt somit die Anstrengungen verschiedener Kantone bei der Grundwasserbeobachtung auf ihrem Kantonsgebiet.

Der Bericht ermöglicht eine Standortbestimmung über die Grundwasserqualität auf nationaler Ebene und bildet die Grundlage für zukünftige Bewertungen der langfristigen Entwicklung umweltrelevanter Parameter. Der Bericht zeigt an Hand gezielter Analysen auf, dass die chemische Grundwasserqualität in den wichtigen Grundwasservorkommen der Schweiz im Allgemeinen gut ist. Besonders die erhöhten Nitratwerte sowie häufig gefundene Spuren von künstlichen und langlebigen Substanzen wie Pflanzenschutzmittel und Kohlenwasserstoffe weisen aber auf eine deutliche Beeinflussung der Grundwasserqualität durch menschliche Einflüsse hin.

Auswertungen zeigen, dass die Intensität dieser Einflüsse stark von Faktoren wie der Bodennutzung bzw. der Art der Grundwasserleiter abhängt. So sind die Grundwasserleiter des Mittellandes, wo die Mehrzahl der Bevölkerung lebt und wo die Flächennutzung durch Landwirtschaft, Siedlungen, Verkehr und Industrie besonders intensiv ist, am stärksten durch Schadstoffe beeinflusst. Dabei werden in verschiedenen Fällen auch die numerischen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung an als Trinkwasser genutztes Grundwasser überschritten.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass das Grundwasser nach heutigem Kenntnisstand ohne gesundheitliche Bedenken als Trinkwasser genutzt werden kann. Dieser Befund ist einerseits eine Bestätigung für die bisherigen Anstrengungen im Grundwasserschutz, andererseits ist er aber auch eine Warnung vor einer schleichenden Verschlechterung der Grundwasserqualität durch die zunehmend intensivere Landnutzung.

Das NAQUA-Messnetz erlaubt es, die Entwicklung der Grundwasserqualität in der Schweiz über längere Zeiträume zu verfolgen und so die für die Weiterentwicklung des Grundwasserschutzes notwendigen Erkenntnisse zu gewinnen.

Stichwörter:

Grundwasserqualität,
Grundwasserbeobach-
tung, NAQUA, Nitrat,
Pflanzenschutzmittel,
Kohlenwasserstoffe,
MTBE

Résumé

F Le présent rapport contient la première présentation d'ensemble et la première mise en valeur des résultats du réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines NAQUA, mis en place progressivement depuis 1997. Il permet pour la première fois une représentation solidement étayée et largement représentative de l'état des principaux réservoirs aquifères en Suisse. Il élargit et complète par là même les efforts des cantons dans l'observation des eaux souterraines sur leur territoire.

Le rapport dresse un état des lieux de la qualité des eaux souterraines au niveau national et constitue la base pour de futures évaluations de l'évolution à long terme de paramètres pertinents pour l'environnement. A partir d'analyses ciblées, il montre que la qualité chimique des eaux souterraines dans les principaux réservoirs aquifères de Suisse est dans l'ensemble bonne. Cependant, les teneurs élevées en nitrates ainsi que les traces souvent rencontrées de substances de synthèse persistantes, comme les produits phytosanitaires et les hydrocarbures, en particulier, signalent l'influence marquée des actions humaines sur la qualité de l'eau souterraine.

L'interprétation montre que l'ampleur de cette influence dépend fortement de facteurs tels que l'utilisation du sol ou bien le type d'aquifère. Ainsi les aquifères les plus fortement influencés par les polluants sont ceux du Plateau, là où vit la grande majorité de la population et où l'utilisation de l'espace par l'agriculture, les zones urbanisées, le trafic et l'industrie est particulièrement intense. Avec cela, les exigences chiffrées de l'Ordonnance sur la protection des eaux applicables à l'eau souterraine utilisée comme eau potable sont dépassées dans certains cas.

Mots-clés :
qualité des eaux
souterraines,
observation des eaux
souterraines, réseau
NAQUA, nitrates,
produits
phytosanitaires,
hydrocarbures, MTBE

Les résultats obtenus montrent toutefois que l'eau souterraine, en l'état actuel des connaissances, peut être utilisée comme eau potable sans hésitation du point de vue sanitaire. Ce résultat est d'une part, une confirmation du bien-fondé des efforts menés jusqu'ici dans le domaine de la protection des eaux souterraines et d'autre part, un signal de mise en garde contre une dégradation insidieuse de la qualité des eaux souterraines du fait de l'utilisation de plus en plus intensive du territoire.

Le réseau de mesures NAQUA permet de suivre à long terme l'évolution de la qualité des eaux souterraines en Suisse et d'acquies ainsi les connaissances nécessaires au développement de leur protection.

Riassunto

I

Il presente rapporto fornisce per la prima volta sia il quadro completo che l'analisi dei risultati scaturiti dalla Rete nazionale d'osservazione della qualità delle acque sotterranee NAQUA, allestita gradualmente dal 1997. Lo studio consente una descrizione ampiamente rappresentativa dello stato delle più importanti falde acquifere svizzere ampliando e completando in tal modo gli sforzi compiuti da vari Cantoni nell'ambito del monitoraggio delle acque sotterranee sul loro territorio.

La pubblicazione permette di fare il punto della situazione per quanto riguarda la qualità delle acque sotterranee a livello nazionale e costituisce la base per future valutazioni dell'andamento di lungo periodo dei parametri ambientali. Il rapporto illustra, mediante analisi mirate, che la qualità chimica delle acque delle più importanti falde acquifere è in genere buona su tutto il territorio nazionale. Vi sono tuttavia alcuni indicatori, in particolare gli elevati valori di nitrati e le tracce di sostanze sintetiche e persistenti come i prodotti fitosanitari e gli idrocarburi, che rivelano la presenza di un forte impatto sulla qualità delle acque sotterranee causato da influssi antropici.

Le analisi dimostrano anche che l'intensità di tali influssi dipende fortemente da fattori come l'utilizzazione del suolo o dal tipo di acquifero. Nell'Altipiano, ad esempio, dove vive la maggior parte della popolazione e dove lo sfruttamento di aree geografiche da parte dell'agricoltura, degli insediamenti, del traffico e dell'industria è particolarmente intenso, si registra la concentrazione più elevata di inquinanti negli acquiferi. In parecchi casi, per le acque sotterranee utilizzate come acqua potabile si verifica anche il superamento dei valori limite stabiliti dall'ordinanza sulla protezione delle acque.

I risultati dello studio rivelano però anche che, in base allo stato attuale delle conoscenze, le acque sotterranee possono essere utilizzate come acqua potabile senza che ciò comporti conseguenze negative per la salute. Questo dato di fatto conferma da un lato gli sforzi compiuti sinora nell'ambito della protezione delle acque sotterranee, dall'altro rappresenta anche un monito di fronte al lento deterioramento della qualità delle acque sotterranee provocato dall'intensificazione dell'uso del territorio.

La rete di misurazione NAQUA consente di monitorare sul lungo periodo l'andamento della qualità delle acque sotterranee in Svizzera al fine di acquisire le conoscenze necessarie per l'ulteriore sviluppo della protezione delle acque sotterranee.

Parole chiave:
qualità delle acque
sotterranee,
monitoraggio delle
acque sotterranee,
NAQUA, nitrati, prodotti
fitosanitari, idrocarburi,
MTBE

Summary

E This report contains the first compilation and analysis of the results of the National Network for the Observation of Groundwater Quality NAQUA, which has been gradually set up since 1997. For the first time it allows a broad-based, representative description of the state of important Swiss groundwater resources and thus extends and supplements the efforts of various cantons to monitor groundwater in their regions.

The report describes the present state of the groundwater quality at national level and forms the basis for future evaluations of the long-term evolution of environmentally relevant parameters. On the basis of specific analyses, the report shows that chemical quality of Switzerland's major groundwater resources is in general good. However, increased nitrate levels and frequently found traces of synthetic and long-lived substances such as pesticides and hydrocarbons show clear influences on groundwater quality due to human activities.

The intensity of these influences depends to a great extent on factors such as land use or the type of aquifer. Thus, the aquifers of the Swiss Plateau, where the majority of the population lives and where land use for agriculture, settlements, transport and industry is particularly intensive, are most affected by pollutants. In several cases, the water quality requirements of the Water Protection Ordinance laid down for groundwater used as drinking water are exceeded.

Keywords:
groundwater quality,
groundwater
monitoring, NAQUA,
nitrate, pesticides,
hydrocarbons, MTBE
(Methyl Tertiary Butyl
Ether)

However, according to the present state of knowledge, groundwater can safely be used as drinking water. The results of this report confirm the efforts made to date to protect groundwater, but at the same time are warnings against creeping deterioration in the quality of groundwater due to increasingly intensive land use.

The NAQUA observation network allows to monitor the long-term evolution of groundwater quality in Switzerland and thus to obtain the knowledge necessary for the further development of groundwater protection in Switzerland.



Bis 2002 gab es in der Schweiz keine landesweite Übersicht über die Qualität der Grundwasservorkommen. Inzwischen hat das Beobachtungsprogramm NAQUA diese Lücke geschlossen. Es ermöglicht den Umweltbehörden damit ein rechtzeitiges Reagieren auf unerwünschte Veränderungen der Grundwasserqualität. Vor allem im dicht besiedelten und intensiv genutzten Mittelland weisen die Analysen für eine Vielzahl von Fassungen Belastungen mit Nitrat, Pestiziden und Kohlenwasserstoffen nach. Obwohl die gefundenen Konzentrationen kein Gesundheitsrisiko darstellen, mahnen sie doch zur Vorsicht. Um die Qualität des Trinkwassers zu erhalten, muss das Grundwasser künftig noch besser geschützt werden.



Mit einem Anteil von über 80 Prozent ist das Grundwasser hier zu Lande die mit Abstand wichtigste Ressource für die Trinkwasserversorgung. Vor allem in den dicht besiedelten und wirtschaftlich intensiv genutzten Fluss-ebenen des Mittellandes und der grossen Alpentäler sind die ergiebigen Grundwasservorkommen einer Vielzahl von Gefahren durch menschliche Aktivitäten ausgesetzt. Rückstände von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln, Brenn- und Treibstoffen, Industriechemikalien und weiteren wassergefährdenden Stoffen können das verletzte Gut beeinträchtigen. Um die Trinkwasserreserven vor diesen Risiken zu bewahren, braucht es einen vorsorglichen Schutz des Grundwassers. Dies bedingt unter anderem, dass neue Gefährdungen und negative Entwicklungen frühzeitig erkannt werden.

Ein landesweiter Überblick

Bis anhin fehlten aber auf nationaler Ebene vergleichbare und repräsentative Daten über die Grundwasserqualität. Zwar führen auch die Kantone auf ihrem Gebiet seit längerem Analysen des Grundwassers durch.



Grundwasser-Probenahmen im Feld für das Beobachtungsprogramm NAQUA.

Diese Erhebungen sind aber in ihrer Durchführung zu verschieden und zu wenig vernetzt, als dass man deren Ergebnisse zusammenfassen und für eine aussagekräftige nationale Übersicht nutzen könnte. Aus diesem Grund haben die Bundesämter BUWAL und BWG in Zusammenarbeit mit den Kantonen seit 1997 das nationale Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers NAQUA aufgebaut. Es umfasst landesweit rund 550 Messstellen, die in der Regel alle drei Monate beprobt werden und liefert nun seit 2002 die für einen nationalen Überblick notwendigen Daten.

Mit dem Programm will der Bund – zusammen mit den Kantonen – die aktuelle Grundwasserqualität sowie deren mittel- und langfristige Entwicklung erfassen und dokumentieren. Dabei konzentriert man sich auf eine breite Palette von chemisch-physikalischen Parametern und klammert die Mikrobiologie vorerst aus. NAQUA ermöglicht es, gezielt nach Schadstoffen zu suchen und deren Verlauf zu beobachten. Problematische Entwicklungen und allfällige Lücken beim Grundwasserschutz können dadurch rechtzeitig entdeckt und angegangen werden. Anhand der Zeitreihen lässt sich zudem die Wirksamkeit bereits getroffener und künftiger Schutzmassnahmen beurteilen.

Das Messnetz gibt nicht nur einen weitgehend repräsentativen Gesamtüberblick, sondern erlaubt auch Aussa-

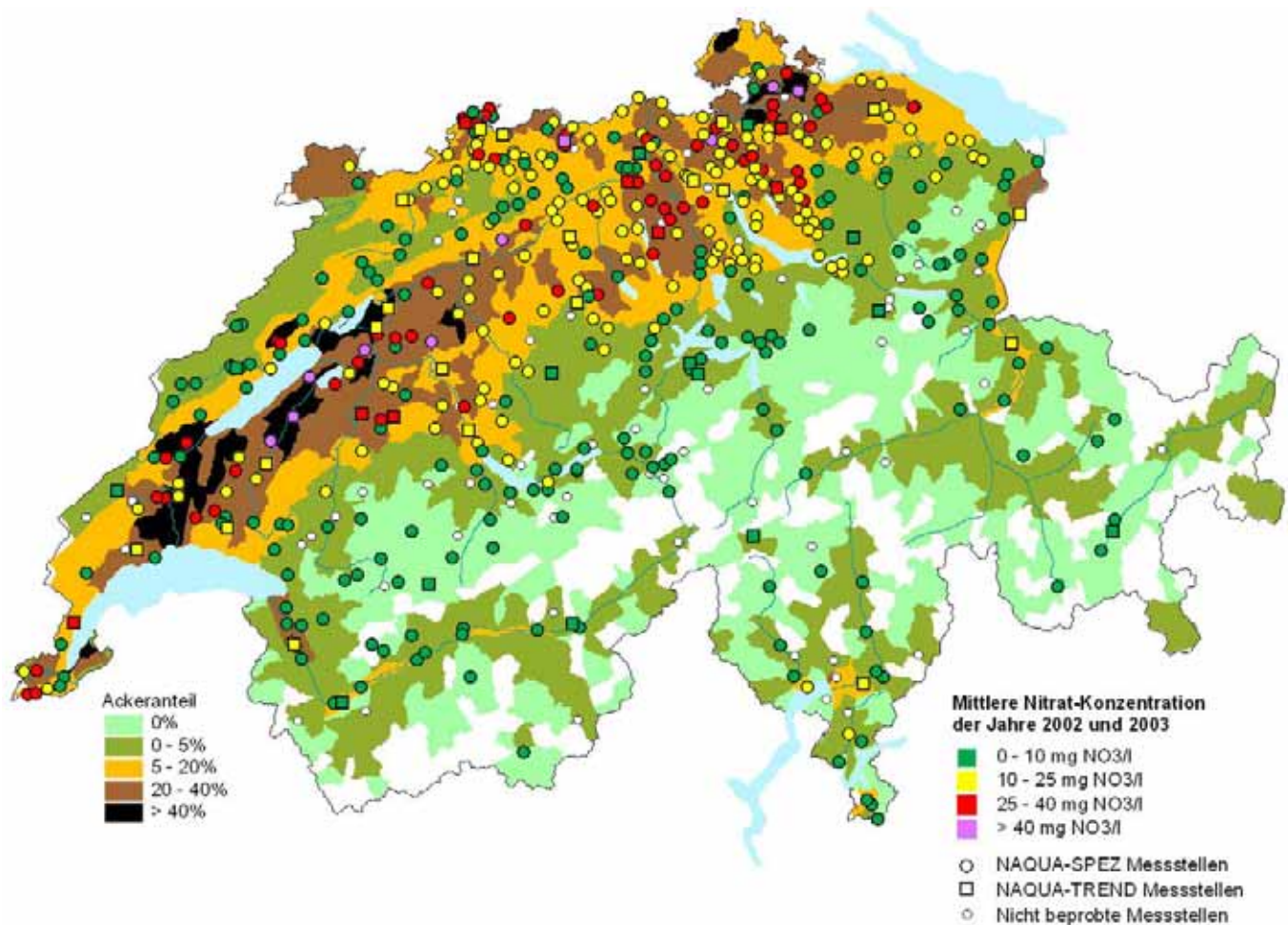


gen über die Situation und bestimmte Entwicklungstendenzen in den einzelnen Grossregionen der Schweiz.

Nitrat bleibt ein Dauerbrenner

Unbelastetes Grundwasser enthält in der Schweiz von Natur aus fast kein Nitrat, das heisst nur wenige Milligramm pro Liter (mg/l). Gut 80% der untersuchten Messstellen erfüllen die in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) festgelegte Anforderung von maximal 25 mg/l, wie die NAQUA-Resultate aus den Jahren 2002 und 2003 zeigen. Etwas mehr als 15% der ausgewählten Messstandorte liegen im Bereich zwischen 25 und 40 mg/l, und weitere 4% der analysierten Grundwasservorkommen überschreiten beim maximalen Nitratgehalt den Trinkwassersertoleranzwert von 40 mg/l.

Praktisch alle Nitratwerte über 25 mg/l finden sich im Mittelland zwischen Genfer- und Bodensee, in der Region Basel, am Jurafluss sowie in den landwirtschaftlich ebenfalls intensiv genutzten Jura-tälern. Dagegen enthält das Grundwasser in den Voralpen, im Alpenraum sowie auf der Alpensüdseite deutlich geringere Nitratkonzentrationen von unter 10 mg/l. Zwar zeigen die Analysen auch in den inneralpinen Tälern – insbesondere im Tessin – leicht erhöhte Werte zwischen 10 und 25 mg/l, doch hat man hier keine Gehalte über 40 mg/l gefunden.



Maximaler Nitratgehalt der untersuchten Messstellen in den Jahren 2002/2003: In den Regionen des Mittellandes mit intensivem Ackerbau misst man die höchsten Nitratkonzentrationen



Problematischer Ackerbau

Die NAQUA-Resultate bestätigen damit den deutlichen Zusammenhang mit der Bodennutzung. Probleme treten primär in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten oder in Agglomerationen auf. Dabei ist der Ackerbau mit Abstand die wichtigste Ursache für erhöhte Nitratkonzentrationen. Während im Durchschnitt aller geprüften Messstellen knapp 20% die Anforderung der GSchV nicht erfüllen, gilt dies in Ackerbauzonen für 52% der untersuchten Standorte.

Werte über 40 mg/l finden sich fast ausschliesslich in Höhenlagen unterhalb von 600 Metern über Meer. Auch dies ist ein deutliches Indiz für die

Abhängigkeit von der Intensität und Art der landwirtschaftlichen Nutzung – respektive für den Einfluss der Siedlungsdichte. In den höher gelegenen Gebieten der Bergzone und des Sommerungsgebiets ergeben die Auswertungen erwartungsgemäss keine nennenswert erhöhten Nitratgehalte. In urbanen Gebieten registriert man bei 22% der Messstellen maximale Werte über 25 mg/l. Neben den auch hier häufig vorhandenen landwirtschaftlichen Einflüssen kommen für diese Belastungen im Siedlungsbereich verschiedene weitere Ursachen in Frage – so zum Beispiel undichte Abwasserleitungen oder intensiv gedüngten Rasenflächen von Grünanlagen und Sportplätzen.

Tendenzielle Abnahme der Nitratgehalte

Der Vergleich mit den wenigen zur Verfügung stehenden Messresultaten aus früheren Erhebungen zeigt für die Zeit zwischen 1989 und 1996 praktisch stabile durchschnittliche Nitratgehalte. Bis 2001 folgt dann bei vielen Fassungen eine kontinuierliche Abnahme, die sich anschliessend eher noch verstärkt. Der Trend zu sinkenden Nitratkonzentrationen lässt sich zwar nicht überall, aber immerhin bei rund zwei Dritteln der dokumentierten Messstellen beobachten.

Die Gründe für diesen Rückgang sind vielfältig, dürften aber insbesondere im Strukturwandel der schweizerischen Landwirtschaft zu suchen sein. Durch die wirtschaftlichen und ökologischen Entwicklungen seit 1990 sind in den letzten Jahren zum Beispiel mehr Ausgleichsflächen und Pufferstreifen entstanden. Positive Auswirkungen zeigen auch die gezielten Massnahmen einzelner Kantone und Wasserversorgungen im Einzugsgebiet von stark belasteten Grundwasserfassungen. Die Sanierungsprogramme nach Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) umfassen grundlegende betriebliche Strukturveränderungen mit einer Extensivierung von Ackerland, wobei die Bauern für ihre Einkommenseinbussen entschädigt werden. Diese Anstrengungen führten bei zahlreichen überdurchschnittlich belasteten Trinkwasserfassungen zu einem deutlichen Rückgang der Nitratgehalte.

Die anhaltende Überschreitung der GSchV-Anforderungen in Ackerbaugebieten zeigt freilich auch, dass solche Umstellungen – wie die vermehrte Weidenutzung ehemaliger Ackerflächen – weiter ausgebaut werden müssen, um die Qualität des Grundwassers dauerhaft zu verbessern.

Auswaschung von Pflanzenschutzmitteln

Im Jahr 2002 sind in der Schweiz rund 1'600 Tonnen Pflanzenschutzmittel (PSM) verkauft worden. Das zugelassene Angebot umfasst über 350 organisch-synthetische Wirkstoffe in mehr als 1'000 verschiedenen Produkten. Absatzrenner sind in erster Linie Fungizide und Saatbeizmittel mit einem Anteil von rund 48%, gefolgt von den Herbiziden mit etwa 43% sowie den Insektiziden, die zirka 8% ausmachen.

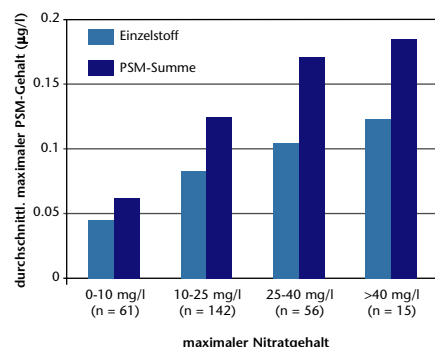
Diese Substanzen können zusammen mit den Niederschlägen die schützende Bodenschicht passieren und auf diesem Weg auch ins Grundwasser gelangen. Die Auswaschung der Wirkstoffe wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Entscheidend sind vor allem die Stoffeigenschaften der ausgebrachten PSM, der Bodencharakter, das Niederschlagsgeschehen, die Fliesswege im Untergrund sowie die Hydrogeologie des Grundwasserleiters. Der Eintrag ins Grundwasser ist also in der Regel kein kontinuierlicher Vorgang, sondern kann sich von Jahr zu Jahr stark unterscheiden.

Gemäss der GSchV soll das Grundwasser prinzipiell keine langlebigen künstlichen Substanzen – und somit auch keine Pflanzenschutzmittel – enthalten. Aus Vorsorgegründen legt die Verordnung zusätzlich einen Anforderungswert an genutztes oder zur Nutzung vorgesehenes Grundwasser fest. Dieser beträgt maximal 0,1 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) für jede Einzelsubstanz. Die vom Bund erlassene Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) setzt den Toleranzwert für Trinkwasser aus Sicht des Lebensmittelrechts ebenfalls bei 0,1 $\mu\text{g/l}$ je Einzelsubstanz fest und bestimmt zudem eine Maximalsumme aller PSM von 0,5 $\mu\text{g/l}$.

PSM im Grundwasser

In der Untersuchungsperiode 2002 und 2003 weisen die NAQUA-Analysen bei zirka 60% der Messstellen PSM nach. Rund 12% aller Standorte überschreiten dabei die Anforderung der GSchV. 72% aller Nachweise entfallen auf das Totalherbizid Atrazin und seine Abbauprodukte. Wie beim Nitrat sind Ackerbau- und Siedlungsgebiete im intensiv genutzten Talgebiet wiederum am stärksten betroffen. Im Bereich dieser Hauptbodennutzungen enthalten 80% der untersuchten Fassungen Spuren von PSM. Davon können etwa 20% die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung nicht einhalten.

Die Problematik der Pflanzenschutzmittel tangiert aber nicht nur das Mittelland, sondern auch weite Gebiete im Rhonetal, Tessin und Jura. Dies hängt damit zusammen, dass PSM – neben dem Ackerbau – auch in Obst- und Rebkulturen sowie im Gemüsebau zum Einsatz kommen. Ausserhalb dieser landwirtschaftlichen Hauptanwendungen werden sie aber auch in Baumschulen, Privatgärten, Sportanlagen, Industriearealen oder entlang von Verkehrswegen ausgebracht.

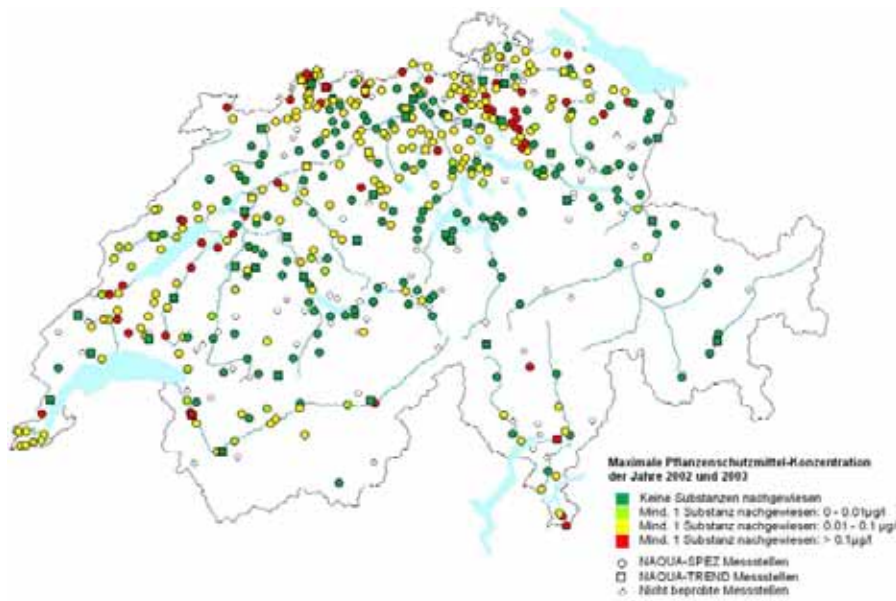


Je höher der maximale Nitratgehalt des Grundwassers, desto höher sind in der Regel auch die Konzentrationen an Pflanzenschutzmitteln.

Es braucht strengere Auflagen für Pflanzenschutzmittel

Nach heutigem Wissensstand stellen die gefundenen PSM-Konzentrationen für den Menschen keine Gesundheitsgefährdung dar. Obwohl die Situation also nicht gravierend ist, besteht angesichts der zahlreichen Messstellen mit nachgewiesenen PSM-Spuren aber doch Anlass zur Besorgnis. Im Gegensatz zum Nitrat genügen bei Pflanzenschutzmitteln bereits kleine Mengen, um das Grundwasser weiträumig und langfristig zu verunreinigen. So können sie Trinkwasserfassungen noch Jahre nach ihrer Anwendung belasten.

Speziell in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gegenden sowie im Siedlungsgebiet braucht es deshalb weitere Anstrengungen, um den Eintrag von PSM ins Grundwasser zu reduzieren. Mögliche Massnahmen sind zum Beispiel verschärfte gesetzliche Auflagen für persistente Pflanzenschutzmittel, grundsätzliche Anwendungsverbote für PSM in der unmittelbaren Umgebung von Trinkwasserfassungen (Grundwasserschutzzone S2), eine verstärkte Förderung des biologischen Landbaus, Aufklärungskampagnen bei Landwirten, Gartenbesitzern, Hauswarten und Strassenmeistern sowie eine konsequente Kontrolle des Ausbringverbots entlang von Strassen, Wegen und Plätzen. Die Datenlage erlaubt im Moment noch keine Aussagen zur langfristigen Entwicklung der PSM-Belastungen im Grundwasser.



Maximale Pestizidgehalte der untersuchten Messstellen in den Jahren 2002/2003: Anders als beim Nitrat registriert man auch im Jura, im Rhonetal und im Tessin erhöhte Werte.

Noch bestehen Kenntnislücken

Obschon sowohl Nitrat als auch Pflanzenschutzmittel hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammen, ist die Belastung des Grundwassers mit diesen Schadstoffen nicht überall vergleichbar. In der Regel enthalten Fassungen mit hohen Nitratbelastungen zwar auch mehr PSM. Bedingt durch punktuelle Emissionsquellen können aber im Einzelfall auch Grundwasservorkommen mit geringem Nitratgehalt hohe Pestizidkonzentrationen aufweisen. Umgekehrt gibt es aber ebenso Fassungen, die trotz erhöhten Nitratwerten keine PSM enthalten.

Angesichts der Vielzahl von organisch-synthetischen PSM können die NAQUA-Analysen kein vollständiges Gesamtbild der im Grundwasser vorkommenden Pestizide liefern. So weiss man zum Beispiel noch wenig über die Belastung der Fassungen mit dem meistverkauften Totalherbizid Glyphosat, das gut 10% des gesamtschweizerischen PSM-Absatzes ausmacht oder von Pflanzenschutzmitteln, welche zwar in kleinen Mengen angewendet werden, jedoch ein hohes Umweltschädigungspotential aufweisen. Diese Kenntnislücke soll jedoch mit einer geplanten Ausweitung des NAQUA-Grundprogramms auf weitere Substanzen geschlossen werden.

Nach wie vor gelangen zu viele Rückstände von Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser.

Belastung mit Kohlenwasserstoffen

Die Gruppe der Kohlenwasserstoffe (KW) umfasst tausende von Substanzen mit unterschiedlichen chemischen Eigenschaften. Mengenmässig wichtigste Kategorie sind die Brenn- und Treibstoffe, welche auch bei uns in relativ grossen Mengen in die Umwelt gelangen. Allein im Jahr 2002 hat die Schweiz fast 11,7 Millionen Tonnen Erdölprodukte verbraucht, was pro Person 1600 Kilo entspricht. Die Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen VOC beliefen sich 2001 auf rund 132'500 Tonnen und konzentrieren sich hauptsächlich auf Gewerbe- und Industriegebiete sowie auf viel befahrene Verkehrswege. Über den Boden oder infiltrierende Fließgewässer gelangen Rückstände dieser Substanzen auch ins Grundwasser.

Je intensiver die Besiedlung und wirtschaftliche Nutzung einer Region, desto stärker sind in der Regel auch die KW-Belastungen im Untergrund. Im Grundwasser von urbanen Gegenden finden sich denn auch mehr Substanzen und höhere Maximalwerte.

Die NAQUA-Untersuchungen weisen in 45% der untersuchten Grundwasservorkommen Spuren von KW nach. Dabei überschreiten 7,5% aller Messstellen den in der GSchV festgelegten Anforderungswert für flüchtige halogenierte KW von 1 µg/l. Die Datenbasis ist hier aber kleiner als bei den Pflanzenschutzmitteln.

Im Umfeld der stark industrialisierten Zentren mit dichter Besiedlung misst man die höchsten Gehalte an Kohlenwasserstoffen.

Insbesondere wegen zu hohen Belastungen mit chlorierten Lösungsmitteln mussten in der Schweiz vor allem in den letzten drei Jahrzehnten bereits etliche Trinkwasserfassungen stillgelegt werden. Weil diese Brunnen für das Beobachtungsnetz in der Regel nicht mehr zur Verfügung stehen, vermitteln die NAQUA-Ergebnisse für die relevanten KW-Schadstoffe in den dicht besiedelten und intensiv bewirtschafteten Regionen wohl eher ein zu positives Bild. Dies gilt im Übrigen auch für die Verschmutzung des Grundwassers mit Nitrat und Pflanzenschutzmitteln.



MTBE – ein neuer Stoff im Grundwasser

Die am häufigsten gefundene – den KW verwandte – Substanz ist Methyl-tert-Butylether oder kurz MTBE. Diese organische Chemikalie hat das Blei als Anti-Klopffmittel im Benzin abgelöst – entsprechend gross ist ihr Verbrauch. Der Inlandabsatz erreicht fast 100'000 Tonnen pro Jahr, von denen schätzungsweise 500 bis 2'600 Tonnen als Verdunstungsverluste direkt in die Umwelt gelangen.

MTBE ist gut wasserlöslich, wird von den Bodenpartikeln nur schlecht zurückgehalten und im Untergrund kaum abgebaut. Trotz geringer Toxizität können schon kleine Konzentrationen die-



Jedes Jahr werden Millionen Tonnen von Kohlenwasserstoffen verbraucht. Über den Boden und die Gewässer gelangen Spuren dieser Substanzen auch ins Grundwasser.



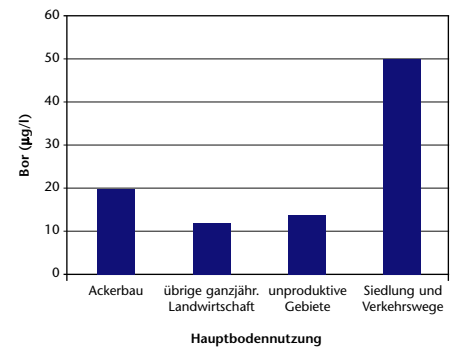
Nur langjährige Messreihen schaffen Klarheit

ser Substanz das Trinkwasser ungeniessbar machen, besitzt MTBE doch eine sehr niedrige Geruchs- und Geschmacksgrenze von nur wenigen µg/l. Anders als etwa in Kalifornien liegen die bisher in inländischen Grundwasservorkommen gefundenen Konzentrationen aber deutlich unter den kritischen Werten. Dies hängt damit zusammen, dass die Vorschriften für Benzintanks in der Schweiz wesentlich strenger sind als in den USA und Treibstoffe bei uns weniger MTBE enthalten. Die Entwicklung der MTBE-Gehalte im Grundwasser ist aber konsequent weiterzuverfolgen, um eine allfällige Verschlechterung der Situation rasch erkennen zu können. Bei MTBE zeigt sich beispielhaft, welche Leistungen das Messnetz NAQUA für die umfassende Beobachtung der Grundwasserqualität und die Früherkennung von neu auftretenden Schadstoffen im Inland erbringen kann.



Um die langfristige Entwicklung des Grundwassers besser beurteilen zu können, werden im Rahmen von NAQUA nicht nur problematische Substanzen – wie Nitrat, Pflanzenschutzmittel oder Kohlenwasserstoffe – gemessen, sondern eine Vielzahl von chemischen Inhaltsstoffen und Spurenbestandteilen des Wassers. Dazu gehören zum Beispiel Calcium, Magnesium, Bor oder Sulfat. Zum Teil handelt es sich dabei um Indikatoren für direkte menschliche Einflüsse, einige der Parameter zeigen dagegen eher natürliche Veränderungen an. Damit lassen sich auch generelle Umstellungen der Grundwasserchemie durch Umwelteinflüsse wie die allgemeine Erwärmung, allfällige Veränderungen der Niederschlagsmengen oder den sauren Regen beobachten. Generell kann man feststellen, dass die geologischen Verhältnisse hier zu Lande günstig sind, so dass zum Beispiel Arsen aus gesamtschweizerischer Perspektive kein Problem darstellt. Weil – mit Ausnahme des Nitrats – langjährige Vergleichswerte für die gesamte Schweiz fehlen und die vorliegenden Datenreihen zu kurz sind, lässt sich derzeit nicht beurteilen, ob die Konzentrationen der verschiedenen chemischen Stoffe im Grundwasser eher zunehmen oder rückläufig sind. Vorerst ist also nicht abzuschätzen, ob zum Beispiel der Klimawandel oder veränderte Methoden der Bodenbearbeitung Auswirkungen auf die Grundwasserqualität haben. Die NAQUA-Analysen der kommenden Jahre werden hier jedoch mehr Aufschluss geben.

Die Chemikalie MTBE wird dem Benzin als Anti-Klopfmittel beigemischt. Die regelmässigen Grundwasseruntersuchungen im Rahmen von NAQUA verhindern, dass neue Stoffe unerkannt zu Qualitätsproblemen führen.



Median der Borgehalte in Abhängigkeit der Hauptbodennutzung. Im Bereich von Siedlungen und Verkehrswegen misst man die höchsten durchschnittlichen Bor-Konzentrationen im Grundwasser. Das Element stammt zum Teil aber auch aus natürlichen Quellen.



Was bleibt zu tun?

Trotz der ermittelten Belastungen mit Nitrat, Pflanzenschutzmitteln und Kohlenwasserstoffen ist unser Grundwasser – und damit auch das Trinkwasser – generell von guter Qualität und kann deshalb ohne gesundheitliche Bedenken konsumiert werden.

Dennoch sind die unerwünschten Spuren von Schadstoffen im Grundwasser als Warnsignal ernst zu nehmen. Der während Jahrzehnten allzu sorglose Umgang mit einer Unmenge von wassergefährdenden Chemikalien und die fortschreitende Überbauung der Einzugsgebiete wichtiger Grundwasservorkommen gefährden die unterirdische Ressource und erschweren deren Schutz.

Umso wichtiger ist es, überall die Grundwasserschutzzonen ordnungsgemäss auszuscheiden und die erforderlichen Massnahmen zum Schutz des Grundwassers zu ergreifen.



Trotz vielfältigen menschlichen Einflüssen ist das Grundwasser in der Schweiz generell von guter Qualität. Um dieses Naturprodukt langfristig zu erhalten, müssen in allen Fassungsgebieten die erforderlichen Grundwasserschutzzonen ausgeschieden werden.

1 Einleitung

1.1 Ziele der Grundwasserbeobachtung des Bundes

Grundwasser ist unsere wichtigste Trinkwasserressource

Mehr als 80 Prozent des Trink- und Brauchwassers werden in der Schweiz aus Grundwasser gewonnen. Das Grundwasser ist damit unsere wichtigste Ressource für die Versorgung mit Trinkwasser und stellt somit auch einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor dar. Grundwasser ist jedoch ein verletzliches Gut, das vor allem durch die allgegenwärtigen menschlichen Tätigkeiten beeinträchtigt werden kann. Deshalb ist eine umfassende Strategie zum Schutz der Grundwasservorkommen notwendig, die in erster Linie auf präventiven Schutzmassnahmen beruht.

Langfristige Grundwasserbeobachtung als Voraussetzung für den Grundwasserschutz

Die langfristige Beobachtung der Grundwasservorkommen bezüglich Menge und Qualität ist eine wesentliche Voraussetzung für einen wirkungsvollen Grundwasserschutz, denn die erforderlichen Massnahmen können nur dann rechtzeitig und zweckmässig angeordnet werden, wenn negative Entwicklungen der Grundwasserqualität frühzeitig erkannt werden. Die Kantone beobachten zwar ebenfalls die Grundwasserqualität, wegen der unterschiedlichen Ausgestaltung und Beprobungsintensität dieser kantonalen Überwachung lassen sich deren Resultate aber nicht zu einer repräsentativen nationalen Übersicht zusammenfassen.

Auf nationaler Ebene wurde bis anhin nur ein Messnetz zur quantitativen Beobachtung des Grundwassers (NABESS) geführt, ein landesweiter Überblick über die Qualität des Grundwassers war somit nicht möglich. Diese Lücke füllt seit 1997 das nationale Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers NAQUA^[1, 2, 3]. Seine Ziele sind die folgenden:

- Dokumentation der aktuellen Grundwasserqualität in der Schweiz sowie deren mittel- und langfristigen Entwicklung.
- Gezielte Beobachtung der Entwicklung ausgewählter Problem- und Schadstoffe in den Grundwasservorkommen der Schweiz.
- Lieferung von Grundlagen für die Früherkennung problematischer Entwicklungen der Grundwasserqualität und die Optimierung des Grundwasserschutzes in der Schweiz.
- Kontrolle der Wirksamkeit (Erfolgskontrolle) heutiger und zukünftiger gesetzlicher, technischer, organisatorischer oder administrativer Massnahmen im Grundwasserschutz und anderen, den Grundwasserschutz beeinflussenden Politikbereichen (z.B. die Neuausrichtung der Agrarpolitik).
- Hydrogeochemische Charakterisierung und Klassifizierung der wichtigen Grundwasservorkommen der Schweiz.

1.2 Gesetzliche Grundlagen

Bundesverfassung

Gewässerschutzgesetz (GSchG)

Die Bundesverfassung (BV) verpflichtet den Bund, «im Rahmen seiner Zuständigkeiten für die häushälterische Nutzung und den Schutz der Wasservorkommen sowie für die Abwehr schädigender Einwirkungen des Wassers» zu sorgen und Grundsätze über «die Erhaltung und Erschliessung der Wasservorkommen» aufzustellen (Art. 76 Abs. 1 und 2 BV). Das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991 (Gewässerschutzgesetz, GSchG^[4]) erteilt dem Bund den Auftrag, «Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse» durchzuführen «über die Wasserqualität der ober- und unterirdischen Gewässer» (Art. 57 Abs. 1 GSchG). Im Weiteren «stellt er die Ergebnisse und die Auswertung der Erhebungen Interessierten zur Verfügung» (Art. 57 Abs. 3 GSchG), und er informiert «die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz und den Zustand der Gewässer» (Art. 50 Abs. 1 GSchG). Zusätzlich führen die Kantone «die weiteren Erhebungen durch, die für den Vollzug ... erforderlich sind», und «teilen die Ergebnisse den Bundesstellen mit» (Art. 58 Abs. 1 GSchG).

1.3 Historie

Erste Ansätze für eine nationale qualitative Grundwasserbeobachtung wurden bereits Ende der 1970er-Jahre erarbeitet. Mitte der 1980er-Jahre trug das damalige Bundesamt für Umweltschutz rund 130'000 Messwerte von 282 Messstellen aus 24 Kantonen zusammen. Diese wurden ausgewertet und veröffentlicht^[5]. Die daraus gewonnenen Ergebnisse erlaubten zwar keine für die gesamte Schweiz repräsentative Beschreibung des qualitativen Zustands der (für die Trinkwassergewinnung genutzten) Grundwasservorkommen; sie zeigten hingegen klar die Notwendigkeit einer national repräsentativen Grundwasserbeobachtung auf.

In der Folge wurden zu Beginn der 1990er-Jahre ein Konzept und eine Machbarkeitsstudie für ein nationales Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers erarbeitet. Die beiden Bundesämter für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und für Wasser und Geologie (BWG) begannen mit der Planung und dem Aufbau des Messnetzes NAQUA und der zur Auswertung der Daten notwendigen Datenbank. Mit den ersten Probennahmen in zwei Messstellen am 15.9.1997 begann die operative Phase des Messnetzes. Per Ende 2003 war der geplante Endausbau des Messnetzes weitgehend abgeschlossen.

1.4 Messnetz NAQUA

Zwei Teilmessnetze: NAQUA_{TREND} und NAQUA_{SPEZ}

Das Messnetz NAQUA umfasst zwei Teilmessnetze, in welchen das Grundwasser aus unterschiedlichen, aber sich ergänzenden Blickwinkeln beobachtet wird: das Langzeit- oder Basismessnetz NAQUA_{TREND} und das Messnetz für Spezialuntersuchungen NAQUA_{SPEZ}. Die Messnetze und Messstellen werden in einem Spezialband detailliert beschrieben^[6].

Ziel der Grundwasserbeobachtung im Rahmen von NAQUA ist nicht das Auffinden von Qualitätsproblemen in einzelnen Grundwasserfassungen oder -vorkommen. Vielmehr sollen die gesamtschweizerische Situation erfasst und deren Entwicklungen dokumentiert werden. Zeigen sich in einzelnen Messstellen relevante Qualitätsprobleme, so werden die kantonalen Fachstellen informiert, welche für die allenfalls notwendigen Massnahmen zuständig sind. Der vorliegende Bericht geht nur beispielhaft auf solche Einzelprobleme ein.

Die einzelnen Messstellen befinden sich in Besitz von Wasserversorgungen, Gemeinden oder Privaten. Für die meisten Messstellen liegen keine Einwilligungen der Fassungseigentümer vor, welche eine Veröffentlichung der Identität der einzelnen Messstellen erlauben würden. Die Darstellung der Resultate zu den Messstellen erfolgt daher in anonymisierter Form, so dass keine direkten Rückschlüsse auf einzelne Fassungen gezogen werden können.

Rund 550 Messstellen NAQUA

Das Messnetz NAQUA erlaubt einen repräsentativen, wenn auch noch nicht vollständigen Überblick über die chemische Beschaffenheit der für die Grundwassernutzung wichtigen schweizerischen Vorkommen. Die Messstellendichte von rund 550 Messstellen für die ganze Schweiz erlaubt zudem eine Beurteilung der Situation in den einzelnen Grossregionen der Schweiz (z.B. Mittelland, Jura, Voralpen, alpine Täler, Alpensüdseite). Demgegenüber ist das Messnetz NAQUA nicht für kleinräumige Interpretationen konzipiert, die Messstellendichte ist dafür klar zu gering. Daher können aus den vorliegenden Resultaten keine repräsentativen Schlüsse über den Zustand der Grundwasservorkommen in einzelnen Regionen wie Emmental, Oberwallis, Fricktal, Ajoie, Churer Rheintal usw. gezogen werden. Entsprechende kleinräumige Auswertungen liegen in erster Linie im Aufgabenbereich der kantonalen Grundwasserbeobachtung bzw. -überwachung.

Die zusammengefassten Rohdaten der Untersuchungen im Rahmen der nationalen Grundwasserbeobachtung finden sich im Anhang 1, die interpretierten Daten werden im laufenden Text aufgeführt.

1.4.1 Kriterien zur Auswahl der Messstellen

Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach Kriterien, welche so weit wie möglich repräsentative Aussagen über die typischen genutzten Grundwasservorkommen der Schweiz erlauben^[7, 8, 9, 10, 11]. Nach Möglichkeit wurden bestehende Messstellen und ihre Installationen berücksichtigt. Bei deren Auswahl kamen folgende Kriterien zur Anwendung:

Typ (Quelle, Piezometer, Pumpbrunnen): Grundsätzlich liefern grosse Quellen und Brunnen Durchschnittswerte für grössere Einzugsgebiete, wogegen kleine Quellen und Piezometer lediglich lokal begrenzte Einflüsse auf den Wasserchemismus widerspiegeln.

Geologie und Hydrogeologie: Die chemische Beschaffenheit des Grundwassers wird in erster Linie durch die (hydro)geologischen Verhältnisse geprägt. Hier spielt auch der Einfluss von infiltrierendem Oberflächenwasser eine wichtige Rolle.

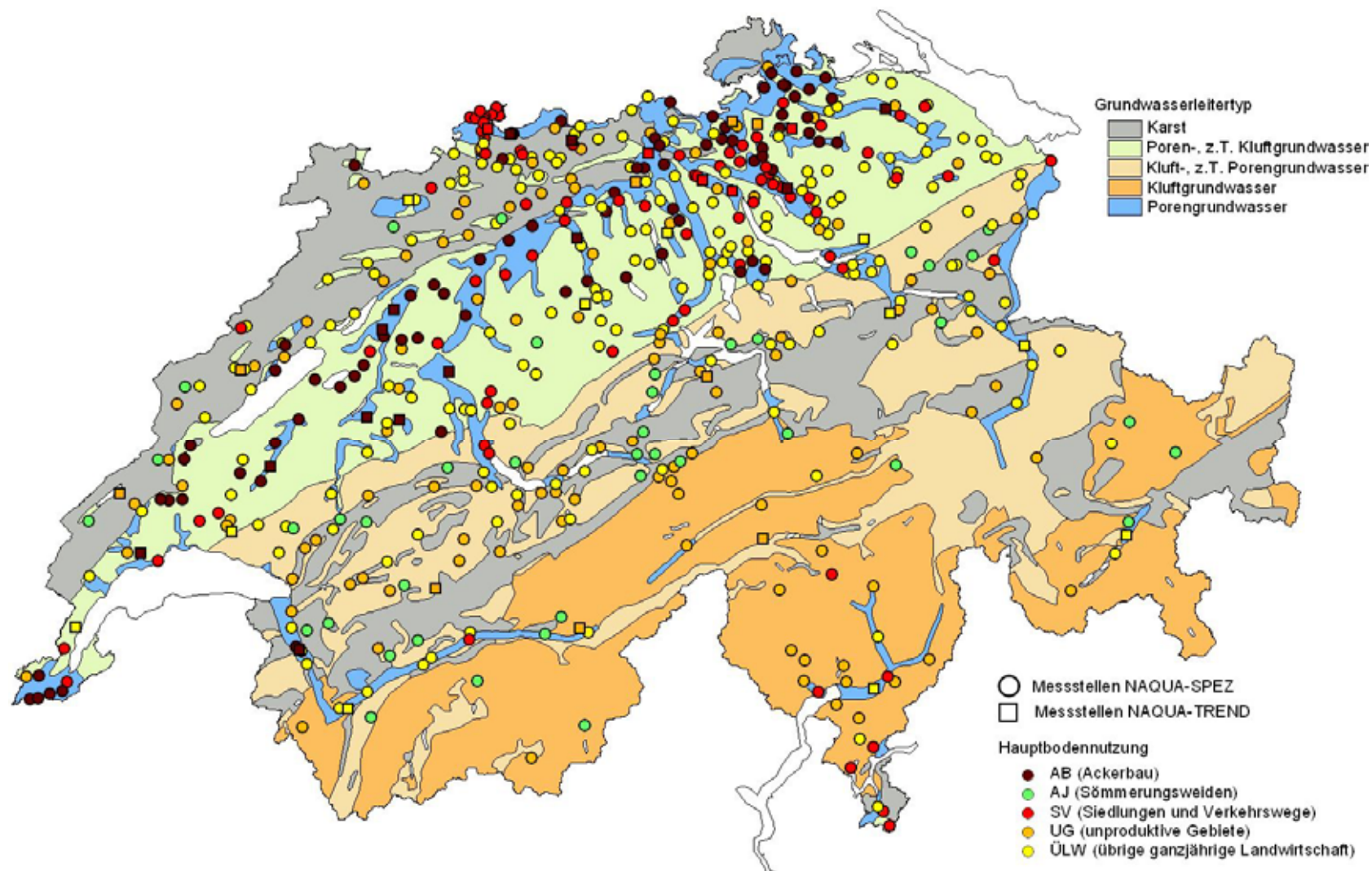
Naturräumliche Gliederung und Höhenlage: Diese Gliederung berücksichtigt die klimatischen Faktoren wie Temperatur, Niederschlagsmenge, Mächtigkeit der Böden usw. als weitere wichtige Einflussgrössen für Menge und chemische Beschaffenheit des Grundwassers.

Bodennutzung: Die Bodennutzung ist ein wichtiges Kriterium, da sie neben der Geologie und der naturräumlichen Gliederung der wichtigste Einflussfaktor auf die chemische Beschaffenheit des Grundwassers ist. Deshalb wurde darauf geachtet, dass die ausgewählten Messstellen repräsentativ für die wichtigsten aktuellen Bodennutzungsarten sind^[12, 13].

Trinkwassernutzung: Um möglichst repräsentative Aussagen über den Zustand und die Entwicklung der wichtigsten Trinkwasserressource der Schweiz gewährleisten zu können, aber auch aus logistischen, technischen und finanziellen Gründen, wurden vorwiegend Messstellen ausgewählt, die für die Trinkwassernutzung verwendet werden. Eine Ausnahme bilden solche Messstellen, die zwar nicht mehr genutzt werden, bei denen es aber weiterhin möglich ist, Proben zu nehmen, oder Piezometer.

Messstellenausbau und -standort: Dieses Kriterium wurde nur als Ausschlusskriterium bei ungünstigen Verhältnissen wie z.B. korrodierten Installationen, ungünstigen Probennahmemöglichkeiten, Lawinengefährdung usw. verwendet. Dadurch wird auch ein zu grosser Einfluss des Messstellenausbaus auf die chemische Beschaffenheit des analysierten Grundwassers vermieden.

Die Verteilung der Messstellen und die ihnen zugeordnete Hauptbodennutzung im jeweiligen Einzugsgebiet (vgl. auch Kapitel 1.5) zeigt Abbildung 1.

Abb. 1: Verteilung der Messstellen NAQUA mit Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet und vorherrschendem Grundwasserleitertyp^[14].

1.4.2 Teilmessnetz NAQUA_{TREND}

Langfristige Entwicklung der Grundwasserqualität

60 verschiedene Parameter

Mit dem Basismessnetz NAQUA_{TREND} wird die langfristige Entwicklung der Grundwasserqualität beobachtet. Im Endausbau wird das Messnetz 50 über die ganze Schweiz verteilte Messstellen umfassen. Ende 2003 waren davon 44 Messstellen in Betrieb. An diesen Standorten werden regelmässig Grundwasserproben entnommen und bis zu **60 verschiedene Parameter** analysiert. Die Messstellen werden sukzessive mit Instrumenten zur kontinuierlichen Messung des Wasserstandes bzw. der Quellschüttung, der Wassertemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit ausgerüstet.

Im September 1997 wurden bei den ersten beiden Messstellen des Messnetzes Proben zur Bestimmung der Wasserchemie entnommen. Im Laufe der Jahre wurde das Messnetz mit weiteren Messstellen erweitert (Abb. 2).

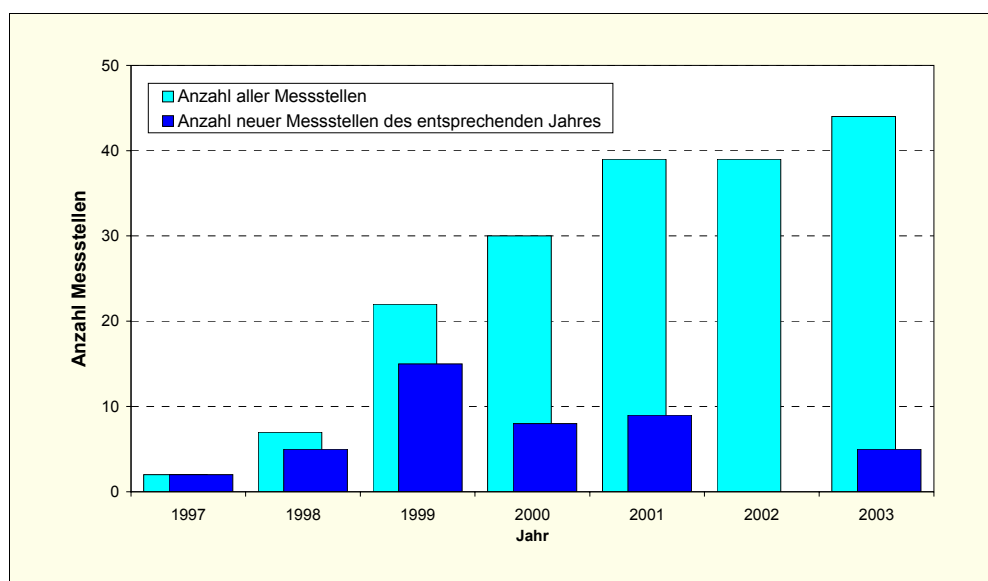


Abb. 2:
Zunahme der Anzahl
Messstellen NAQUA_{TREND}
von 1997 bis 2003.

Teilmessnetz NAQUA_{TREND} wird durch den Bund betrieben

Standardisierte Abläufe

Das Messnetz NAQUA_{TREND} wird vollständig durch den Bund betrieben. Die Probennahme erfolgt nach einheitlichen Vorschriften durch Fachleute des Bundes. Die Analysen werden nach einheitlichen Kriterien durch ein beauftragtes Speziallabor durchgeführt. Damit ist die für eine Langzeitbeobachtung unerlässliche Einheitlichkeit und Kontinuität sowohl der eingesetzten Geräte als auch der entsprechenden Beprobungs- und Analysemethoden gewährleistet, und die Resultate bleiben über lange Zeiträume hinweg vergleichbar.

Tabelle 1: Auswahlkriterien der Messstellen NAQUA_{TREND}, Stand 31.12.2003.

Kriterium	Eigenschaft	Anzahl Messstellen	
Erschliessungstyp	Quelle	12	
	Grundwasserpumpwerk	29	
	Piezometer	3	
	Total	44	
Untergrund	Festgestein	Karst; z.B. Kalke (KE)	6
		klastische Gesteine; z.B. Sandstein (KG)	3
		kristalline Gesteine; z.B. Granit (KR)	2
	Lockergestein	Schotter in Talsohlen (ST)	29
		Schotter ausserhalb von Talsohlen (SA)	4
		Moräne (MR)	0
		Schuttbildungen (SB)	0
	Total	44	
Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet	Ackerbau (AB)	15	
	übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)	14	
	unproduktive Gebiete (UG) ¹	9	
	Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)	6	
	Total	44	
Naturräumliche Gliederung	Mittelland und Randgebiete	27	
	Alpen	13	
	Jura	4	
	Total	44	
Höhenlage über Meer	<600 m	31	
	600–1000 m	8	
	1000–1500 m	3	
	1500–2500 m	2	
	Total	44	
Nutzung	genutzt	40	
	ungenutzt	4	
	Total	44	

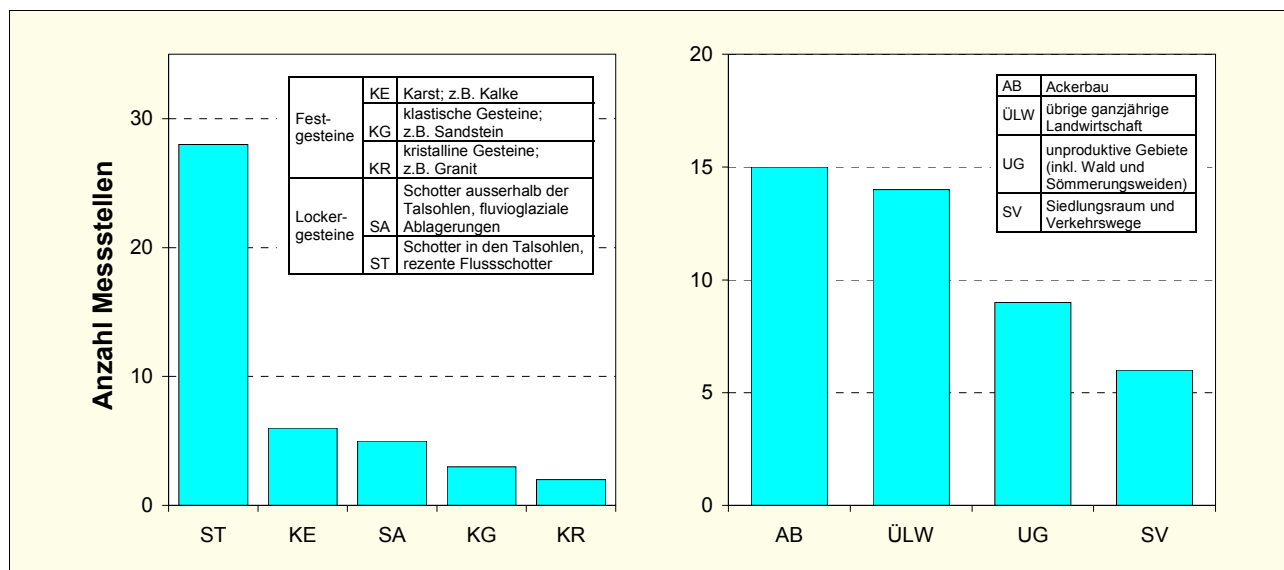


Abb. 3: Aufteilung der Messstellen NAQUA_{TREND} nach Geologie und Hauptbodennutzung.

¹ Diese Kategorie umfasst die Hauptbodennutzungen Wald, Sömmerungsweiden und unproduktive Gebiete im engeren Sinn (Ödland).

**Sieben Analytik-Module
mit routineanalytischen
Untersuchungen**

**Wichtigste bekannte
Belastungsparameter**

1.4.2.1 Untersuchte Parameter

Das Analytikprogramm besteht aus sieben Modulen, deren jeweilige Parameter routineanalytisch erfasst werden können^[15] (Abb. 4). Es umfasst ein für alle Messstellen einheitliches Grundprogramm, welches bei jeder Probennahme durchgeführt wird und mit dem die Haupt- und Nebeninhaltsstoffe weitgehend umfassend analysiert werden. Dazu kommen verschiedene Zusatzprogramme – je nach Bodennutzung im Einzugsgebiet und chemischer Charakteristik bzw. bereits beobachteter anthropogener Belastung der jeweiligen Messstelle. Sie erfassen die wichtigsten bekannten Belastungsparameter. Im Minimum wird jedes Zusatzprogramm pro Messstelle und Jahr einmal durchgeführt, um die Vergleichbarkeit der Daten auf nationaler Ebene langfristig sicherstellen zu können.

Momentan werden bei 21 Messstellen der Wasserstand bzw. die Quellschüttung, die Wassertemperatur und die elektrische Leitfähigkeit kontinuierlich aufgezeichnet.

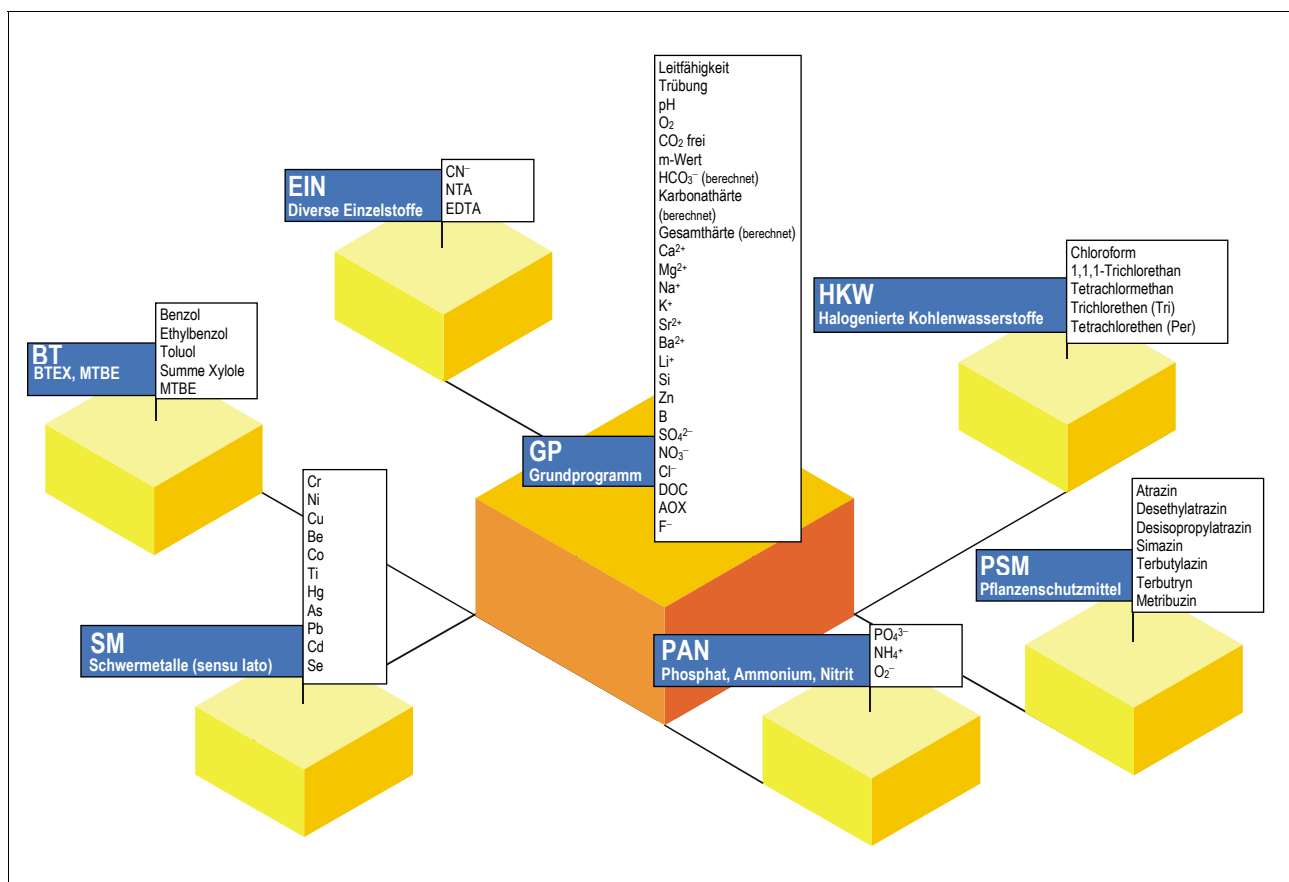


Abb. 4: Die sieben Module des Analytikprogramms NAQUA-TREND.

**Periodische Probenahme
mit identischer Systematik
für alle Messstellen**

1.4.2.2 Probennahmefrequenz

Die Probennahmen erfolgen mit einer fixen, für alle Messstellen identischen Systematik. Jede neu installierte Messstelle wird in ihrem ersten Betriebsjahr monatlich beprobt, um sie anhand der erhobenen Parameter zu charakterisieren (Abb. 5). Dabei werden bei jeder Probennahme das Grundprogramm und alle drei Monate die sechs Zusatzprogramme gemessen (vgl. Abb. 4). Im zweiten Betriebsjahr werden noch alle zwei Monate Proben genommen, ab dem dritten Jahr wird in der Regel auf vier Probennahmen reduziert. Es besteht jedoch die Option, die Probennahmefrequenz auf Grund spezieller Fragestellungen oder lokaler Bedingungen individuell anzupassen.

Vor allem während des ersten Betriebsjahres einer Messstelle mit einer monatlichen Probennahmefrequenz können Variationen der Grundwasserparameter wesentlich besser erkannt werden als im dreimonatigen Rhythmus (vgl. Anhang 2).

1.4.2.3 Datenverarbeitung

Die kontinuierlich aufgezeichneten Daten (Schüttung, Wasserstand, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit) werden in einer Datenbank des Bundes kontrolliert, bei Bedarf korrigiert und archiviert.

Die Ergebnisse der Grundwasseranalysen werden vom beauftragten externen Labor an den Bund geliefert, wo sie zusammen mit den im Feld erhobenen Daten auf ihre Plausibilität überprüft werden. Die überprüften Daten werden in der GIS-gestützten Datenbank des Projekts NAQUA gespeichert und für die Auswertungen bereitgestellt.

[illegible]

Dokumentation von der Probennahmeplanung bis zur Analyse	1.4.2.4 Qualitätssicherung (QS) Im Rahmen eines QS-Systems ist die Gewährleistung zuverlässiger Mess- und Analyseergebnisse mit definierter Qualität ein zentrales Anliegen. Damit eine möglichst hohe Datenqualität im Teilmessnetz NAQUA_{TREND} erreicht wird, müssen alle Bereiche – von der Probennahmeplanung über die Probennahme bis zur Analyse – im Rahmen einer Qualitätskontrolle berücksichtigt werden. Es wurde Wert darauf gelegt, für NAQUA_{TREND} ein QS-Programm aufzubauen, das einerseits die Überwachung der formalen Abläufe beinhaltet und andererseits auch eine Überprüfung und bei Bedarf eine Anpassung der Inhalte ermöglicht. Damit die Qualität der Daten jederzeit überprüfbar und nachvollziehbar ist, werden für jede Probennahme ausführliche Protokolle über die Probennahme und -lagerung, die Validierung der Messgeräte wie auch über die Messwerte erstellt.
QS durch interne und externe Fachkontrollen	Neben den laborinternen Massnahmen zur QS wurden bisher im Rahmen des QS-Programms von NAQUA_{TREND} für die Analyseresultate die Plausibilität der Einzelwerte (z.B. Vergleich mit Extremwerten) und der Analyse (z.B. Ionenbilanz) kontrolliert. Diese Kontrollen erfolgen vorwiegend durch externe Fachexperten wie auch von Seiten des Bundes. Zusätzlich ermöglicht das Analytik-Historienfile eine schnelle Übersicht über etwaige Änderungen der Bestimmungsgrenzen (BG) oder der Analysemethoden. Um schweizweit vergleichbare Messresultate zu erhalten, werden alle Analysen in einem einzigen Labor mit einem zertifizierten Qualitätsmanagement-System durchgeführt. Die Qualitätssicherung dieses Labors wird u.a. mit Hilfe von Vergleichsuntersuchungen gewährleistet (z.B. mit Ringversuchen). Neben den oben beispielhaft aufgeführten Massnahmen zur Kontrolle der Messwerte erfolgen detaillierte Abklärungen für jede Messstelle. Die Ergebnisse werden in einem Bericht über die hydrogeologische und über die hydrochemische Standortcharakterisierung für jede Messstelle festgehalten und nach Abschluss der Arbeiten zusammenfassend publiziert^[6].
Rückkoppelnder QS-Prozess	Die aufgeführten QS-Massnahmen ermöglichen eine Kontrolle der Messqualität, so dass bei nicht zufrieden stellenden Befunden die Ursache der mangelhaften Qualität ermittelt und die notwendigen Korrekturen veranlasst werden können. Das Ziel eines zuverlässigen und sich rückkoppelnden QS-Prozesses ist somit gegeben.

Tabelle 2: Auflistung der Bestimmungsgrenzen (BG) und Analysemethoden
(für die genaue Bezeichnung der Analysenmodule vgl. Abb. 4).

Modul	Parameter ²	Einheit	BG	Probenbehälter		Methode	Referenzmethode
				Material	Vol [ml]		
Feld-messungen	Leitfähigkeit (25 °C)	[µS/cm]					
	Wassertemperatur	[°C]					
	pH						
	O ₂ -Sättigung	[%]					
Grund-programm (GP)	Trübung	[TE/F]	0.1	Glas	500	photometrisch	SLMB 27A/5
	CO ₂ , frei	[mg/l]	1	Glas	250	titrimetrisch	SLMB 27A/35
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	[mg/l]			250		
	Karbonathärte	[°fH]			250		
	Gesamthärte	[°fH]			250		
	Calcium (Ca ²⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Magnesium (Mg ²⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Natrium (Na ⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Kalium (K ⁺)	[mg/l]	0.1	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Strontium (Sr ²⁺)	[mg/l]	0.01	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Barium (Ba ²⁺)	[mg/l]	0.01	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Lithium (Li ⁺)	[mg/l]	0.02	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Silizium (Si)	[mg/l]	0.01	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Zink (Zn)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Bor (B)	[µg/l]	2	PE	250	ICP-OES	DIN EN ISO 11885
	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	[mg/l]	1	Glas	250	IC	SLMB 27A/30
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	[mg/l]	0.1	Glas	250	IC	SLMB 27A/30
	Chlorid (Cl ⁻)	[mg/l]	0.1	Glas	250	IC	SLMB 27A/30
	Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	[mg C/l]	0.05	Glas	500	IR-Methode	DIN EN 1484-H3
	AOX	[µg/l]	1	Glas	500	coulometrisch	DIN EN 1485-H14
	Fluorid (F ⁻)	[mg/l]	0.01	Glas	250	potentiometrisch	SLMB 27A/25.1
PAN	Phosphat (PO ₄ ³⁻)	[mg/l]	0.01	Glas	500	photometrisch	SLMB 27A/27
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	[mg/l]	0.03	Glas	500	photometrisch	SLMB 27A/21
	Nitrit (NO ₂ ⁻)	[mg/l]	0.01	Glas	500	photometrisch	SLMB 27A/22
Schwermetalle (SM)	Chrom (Cr)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Nickel (Ni)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Kupfer (Cu)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Beryllium (Be)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Kobalt (Co)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Titan (Ti)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Quecksilber (Hg)	[µg/l]	0.5	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN 12338
	Arsen (As)	[µg/l]	0.5	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11969
	Blei (Pb)	[µg/l]	1	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
	Cadmium (Cd)	[µg/l]	0.2	PE	250	ICP-OES (+Ultraschallzerstäuber)	DIN EN ISO 11885
halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW)	Selen (Se)	[µg/l]	1	PE	250	AAS-Hydrid	Veritas
	Chloroform	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10301
	1,1,1-Trichlorethan	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10301
	Tetrachlormethan	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10301
	Trichlorethen	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10301
BTEX, MTBE (BT)	Tetrachlorethen	[µg/l]	0.02	Glas	500	GC-ECD	DIN EN ISO 10301
	Benzol	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-MS	DIN 38407
	Toluol	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-MS	DIN 38407
	Ethylbenzol	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-MS	DIN 38407
	Summe Xylole	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-MS	DIN 38407
Pflanzen-schutzmittel (PSM)	MTBE	[µg/l]	0.05	Glas	500	GC-MS	BUWAL [16]
	Atrazin	[µg/l]	0.01	Glas	500	GC-MS	Veritas
	Desethylatrazin	[µg/l]	0.01	Glas	500	GC-MS	Veritas
	Desisopropylatrazin	[µg/l]	0.01	Glas	500	GC-MS	Veritas
	Simazin	[µg/l]	0.01	Glas	500	GC-MS	Veritas
	Terbutylazin	[µg/l]	0.01	Glas	500	GC-MS	Veritas
	Terbutryn	[µg/l]	0.01	Glas	500	GC-MS	Veritas
Einzelstoffe (EIN)	Metribuzin	[µg/l]	0.01	Glas	500	GC-MS	Veritas
	Cyanid (CN ⁻)	[mg/l]	0.01	Glas	250	photometrisch	DIN 38405
	NTA	[µg/l]	0.5	Glas	500	GC-MS	SLMB 27A/44
	EDTA	[µg/l]	0.5	Glas	500	GC-MS	SLMB 27A/44

1.4.3 Teilmessnetz NAQUA_{SPEZ}

Rund 500 Messstellen NAQUA_{SPEZ}

Mit dem Messnetz NAQUA_{SPEZ} werden gezielte und umfassende Untersuchungen zu bestimmten Schadstoffen durchgeführt. Zurzeit existieren rund 500 über die Schweiz³ verteilte Messstellen. Je nach Fragestellung wird eine gezielte Auswahl der zur Verfügung stehenden Messstellen beprobt.

Das Messnetz NAQUA_{SPEZ} wurde in Zusammenarbeit mit den kantonalen Fachstellen für Grundwasserschutz erarbeitet^[11] und wird soweit zweckmässig auch in Zusammenarbeit mit diesen Fachstellen betrieben. Die Probennahme in den NAQUA_{SPEZ}-Messstellen erfolgt in der Regel durch die kantonalen Fachstellen, in Einzelfällen auch durch spezialisierte private Büros. Die Analysen werden je nach Kanton in verschiedenen akkreditierten Speziallabors (Kantonslabors, Laboratorien der Ämter für Umweltschutz, private Laboratorien) durchgeführt. Nur so können innerhalb eines kurzen Zeitraumes mehrere hundert Messstellen mit hoher Qualität beprobt und analysiert werden.

Die Analyse der Proben in verschiedenen Laboratorien hat zur Folge, dass zum Teil unterschiedliche Analysemethoden mit unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen für den gleichen Parameter zur Anwendung gelangen. Besonders bei den Analysen der organischen Spurenstoffe (Pflanzenschutzmittel, Kohlenwasserstoffe) bestehen je nach Labor Unterschiede bei den Bestimmungsgrenzen.

Flächendeckende Untersuchungen mit NAQUA_{SPEZ}

Die Messkampagnen im Rahmen von NAQUA_{SPEZ} ergeben flächendeckende aussagekräftige Momentaufnahmen der schweizerischen Grundwasservorkommen bezüglich der untersuchten Schadstoffe. Im Laufe der Zeit fügen sich diese Momentaufnahmen zu Zeitreihen zusammen und erlauben so eine zuverlässige Beurteilung der mittel- und langfristigen Entwicklung dieser Schadstoffe im Grundwasser.

² Die im Wasser hauptsächlich als Ionen gelösten Parameter werden mit der entsprechenden Oxidationszahl aufgeführt. Davon ausgenommen sind Zink und die Schwermetalle, welche in wässriger Lösung zum Teil verschiedene Oxidationszahlen aufweisen können, die jedoch von der gewählten Analyse-methode nicht unterschieden werden. Silizium und Bor (im Wasser hauptsächlich als undissoziierte ortho-Kieselsäure bzw. als Borsäure vorliegend), werden als Elemente ohne Oxydationsstufe aufgeführt.

³ Bis zur Drucklegung dieses Berichts beteiligten sich die folgenden Kantone nicht am Programm NAQUA_{SPEZ}: Appenzell Ausser rhoden, Schaffhausen.

Tabelle 3: Messstellen NAQUA_{SPEZ} (Stand am 31.12.2003).

Kriterium	Eigenschaft	Anzahl Messstellen	
Erschliessungstyp	Quelle	260	
	Grundwasserpumpwerk	243	
	Piezometer	5	
	Total	508	
Untergrund ⁴	Festgestein	Karst; z.B. Kalke (KE)	105
		klastische Gesteine; z.B. Sandstein (KG)	55
		kristalline Gesteine; z.B. Granit (KR)	23
	Lockergestein	Schotter in Talsohlen (ST)	228
		Schotter ausserhalb von Talsohlen (SA)	26
		Moräne (MR)	46
		Schuttbildungen (SB)	25
	Total	508	
Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet ⁵	Ackerbau (AB)	85	
	übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)	178	
	Sömmerungsweiden (AJ)	42	
	Wald (WA) und unproduktive Gebiete (UG)	118	
	Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)	85	
	Total	508	
Naturräumliche Gliederung	Mittelland und Randgebiete	210	
	Jura	99	
	Alpen und Voralpen	176	
	Alpensüdseite	23	
	Total	508	
Höhenlage über Meer	<400 m	79	
	400–600 m	217	
	600–800 m	99	
	800–1000 m	49	
	1000–1500 m	40	
	>1500 m	24	
	Total	508	
Nutzung	Trinkwasser	483	
	Brauchwasser	8	
	Ungenutzt	17	
	Total	508	

Nach Möglichkeit werden Messstellen aus den kantonalen Beobachtungsnetzen berücksichtigt

Die Kriterien zur Auswahl der Messstellen sind in ^[11] beschrieben. Bei der definitiven Auswahl waren die lokalen Kenntnisse der kantonalen Fachstellen unabdingbar. Nach Möglichkeit wurden Messstellen berücksichtigt, die bereits in kantonalen Überwachungs- bzw. Beobachtungsnetzen eingebunden sind.

Eine Einschränkung bei der Auswahl der Messstellen entstand aus der Tatsache, dass in der Vergangenheit zahlreiche Grundwasserfassungen aufgegeben wurden,

⁴ Die geologische Zuordnung kann in Einzelfällen auf Grund der zurzeit laufenden Überprüfung der Messstellencharakterisierung noch ändern.

⁵ Die Zuordnung zu den Hauptbodennutzungen kann sich auf Grund der zurzeit laufenden Überprüfung der Messstellencharakterisierung teilweise noch ändern. Die Sammelnutzung ÜLW wird in diesem Zusammenhang in detailliertere Nutzungen aufgeteilt werden (vgl. Kapitel 1.5.2).

wenn bei trinkwasserrelevanten Parametern wie z.B. Nitrat, Pflanzenschutzmitteln oder chlorierten Kohlenwasserstoffen die Belastung für die Trinkwassernutzung zu hoch wurde. Solche Fassungen konnten in der Regel nicht in den Messstellenkatalog aufgenommen werden, sei es, weil keine Pumpen mehr installiert sind, die Fassungen geschlossen wurden oder die entsprechenden Fassungen nicht mehr in den kantonalen Beobachtungsnetzen enthalten sind.

Hoch belastete Grundwasservorkommen sind eher untervertreten

Damit ist das Segment von hoch belasteten Grundwasservorkommen (unabhängig von der Nutzung des Grundwassers) im Messnetz NAQUA vermutlich untervertreten, wie dies übrigens auch in den kantonalen Messnetzen der Fall sein dürfte. Die Resultate der trinkwasserrelevanten Schadstoffe werden daher in den dicht besiedelten und intensiv bewirtschafteten Regionen ein eher optimistisches Bild des generellen Zustands der Grundwasservorkommen vermitteln.

Je nach untersuchten Schadstoffen wird eine andere Messstellenauswahl erstellt

1.4.3.1 Auswahl der für die Kampagnen eingesetzten Messstellen

Für die spezifischen Kampagnen auf einzelne Schadstoffe oder Schadstoffgruppen werden nicht immer alle Messstellen des NAQUA_{SPEZ}-Katalogs benötigt, nicht zuletzt auch aus finanziellen und operationellen Gründen. Bei der Auswahl der Messstellen für die jeweiligen Kampagnen wird insbesondere berücksichtigt, ob im Einzugsgebiet der Messstelle Nutzungen vorhanden sind, welche einen menschlichen Einfluss auf die Wasserqualität als möglich erscheinen lassen und dieser sich mit den untersuchten Parametern beurteilen lässt.

Selbstverständlich wird in jeder Kampagne eine gewisse Anzahl Messstellen mit einbezogen, bei denen ein menschlicher Einfluss ausgeschlossen werden kann oder wenig wahrscheinlich ist. Die Analysen dieser Messstellen dienen als Referenzwerte.

Langfristige Beobachtung verlangt ein stabiles Messnetz

Um die gewonnenen Daten langfristig vergleichen und somit allfällige Entwicklungen erkennen zu können, sollten die einzelnen Kampagnen über längere Zeit mit möglichst unveränderter Messstellenauswahl betrieben werden. Da die Messstellen nicht einer Bundeshoheit unterstehen, sondern einzelnen Wasserversorgungen, Gemeinden oder Privaten gehören, werden sich jedoch gewisse Messstellenänderungen (z.B. infolge Nutzungsaufgabe einer Fassung) nicht immer vermeiden lassen.

Zwei Untersuchungsprogramme in den Jahren 2002 und 2003

In den Jahren 2002 und 2003 wurden zwei Kampagnen zu den Bereichen Landwirtschaft bzw. Verkehr und Industrie durchgeführt. Im Startjahr 2002 konnten diese Kampagnen je nach Kanton nur abgestuft umgesetzt werden, d.h. je nach Kanton begannen die Untersuchungen früher oder später im Jahr. 2003 stellte eine Konsolidierungsphase dar, in welcher beide Kampagnen von Beginn weg in einer grösseren Anzahl Kantone durchgeführt werden konnten.

Messstellenset Landwirtschaft

Für diese Kampagne wurden in erster Linie Messstellen ausgewählt, deren Einzugsgebiet von ganzjähriger Landwirtschaft geprägt ist. Da die untersuchten Parameter zum Teil auch durch Siedlungsraum und Verkehrswege beeinflusst werden

können, wurden auch Messstellen mit diesen Charakteristika berücksichtigt. Insgesamt wurden 426 (2002) bzw. 420 (2003) Messstellen ausgewählt. Die für die beiden Jahre 2002/2003 zusammengefassten Zahlen finden sich in Tabelle 4.

Messstellenset Verkehr und Industrie

Für diese Kampagne wurden in erster Linie Messstellen ausgewählt, deren Einzugsgebiet im besiedelten Raum liegt und/oder von grösseren Verkehrsinfrastrukturbauten geprägt wird. Insgesamt wurden 186⁶ (2002) bzw. 387 (2003) Messstellen ausgewählt.

Tabelle 4: Für die Kampagnen 2002/2003 ausgewählte NAQUA_{SPEZ}-Messstellen pro Hauptbodennutzung.

Hauptbodennutzung	Messstellen in Grundausswahl	Messstellen Stickstoff		Messstellen PSM		Messstellen Industrie & Verkehr	
	n	n	%	n	%	n	%
Ackerbau	85	84	99	81	95	72	85
übrige ganzjährige Landwirtschaft	178	173	97	172	97	149	84
Sommerungsweiden	42	29	69	26	62	25	60
Wald und unproduktive Gebiete	118	72	61	67	57	59	50
Siedlungsraum und Verkehrswege	85	84	99	83	98	82	96

1.4.3.2 Untersuchte Parameter

Feldparameter

Im Gegensatz zum Messnetz NAQUA_{TREND} werden zurzeit bei NAQUA_{SPEZ} vom Bund keine allgemeinen (geogenen) chemischen Parameter analysiert. Die Untersuchungen beschränken sich auf Feldparameter sowie die gezielt gesuchten Schadstoffe. Folgende Feldparameter werden nach Möglichkeit bei allen Kampagnen aufgenommen:

- Wasserstand bzw. Quellschüttung
- elektrische Leitfähigkeit
- Wassertemperatur
- Sauerstoffgehalt

Kampagne Landwirtschaft

Untersuchungsprogramm Landwirtschaft

Die Kampagne Landwirtschaft ermittelt die Situation in Bezug auf ausgewählte landwirtschaftliche Hilfsstoffe, welche teilweise aber auch in Siedlungsgebieten und entlang von Verkehrswegen auftreten können. Das Untersuchungsprogramm umfasst für alle Messstellen ein identisches Grundprogramm (Tab. 5).

⁶ Im Jahr 2002 wurde die Kampagne Verkehr und Industrie lediglich in 7 Kantonen als Pilotprojekt umgesetzt.

Tabelle 5: Kampagne Landwirtschaft, Grundprogramm.

	untersuchte Substanz	Substanzklasse	hauptsächliche Herkunft (Stickstoffverbindungen) bzw. Anwendung (Pflanzenschutzmittel)
Stickstoffverbindungen	Nitrat	-	Düngemittel, landwirtschaftliche Bodenbearbeitung, Abwasser
	Ammonium	-	Abwasser, Gülle, Düngemittel, Abfalldeponien, Abbau organischer Substanz, Reduktion von Stickstoff
	Nitrit	-	Abwasser, Zwischenprodukt bei der Reduktion von Nitrat bzw. Oxydation von Ammonium
Pflanzenschutzmittel	Atrazin	Triazin-Herbizid	Mais (in anderen Kulturen und generell in Karstgebieten Anwendung verboten) ⁷
	Desethylatrazin	Triazin-Metabolit	Abbauprodukt des Atrazins
	Desisopropylatrazin	Triazin-Metabolit	Abbauprodukt des Atrazins
	Simazin	Triazin-Herbizid	Weinbau, Obstbau, Beerenkulturen, Rhabarber, Spargeln, Mais und forstliche Pflanzgärten ⁷
	Terbutylazin	Triazin-Herbizid	Weinbau, Kernobst, Mais
	Isoproturon	Phenylharnstoff-Herbizid	Getreide
	Diuron	Phenylharnstoff-Herbizid	Weinbau, Kernobst, Spargeln, forstliche Pflanzgärten

Die sieben Substanzen des Grundprogramms sind einerseits häufig angewandte Pflanzenschutzmittel. Andererseits gehören sie zu den routinemässigen Analyseprogrammen verschiedener kantonaler und privater Laboratorien und stellen somit einen kleinsten gemeinsamen Nenner für die analytischen Möglichkeiten der verschiedenen beteiligten Laboratorien dar.

Maximal 78 PSM-Substanzen pro Messstelle untersucht

Dieses Grundprogramm wurde entsprechend den Möglichkeiten des Labors auf andere Substanzen ausgeweitet. Im Rahmen der Kampagne Landwirtschaft wurden Analysen von rund 15 verschiedenen Labors mit teilweise unterschiedlichen Analyseprogrammen durchgeführt. Bei zahlreichen Messstellen wurden bis maximal 56 (2002) bzw. 78 (2003) verschiedene PSM-Substanzen pro Messstelle untersucht. Insgesamt liegen in jeweils unterschiedlicher Anzahl Analysen von 97 (2002) bzw. 124 (2003) Substanzen vor, wovon deren 62 (2002) bzw. 79 (2003) in der Schweiz als Wirkstoff für die Anwendung in der Landwirtschaft zugelassen sind. Details finden sich im Anhang 1.

Untersuchungsprogramm Verkehr und Industrie

Kampagne Verkehr und Industrie

Die Kampagne Verkehr und Industrie ermittelt die Situation in Bezug auf ausgewählte, für den motorisierten Verkehr und industrielle und gewerbliche Anwendungen typische Schadstoffe. Allerdings weisen zahlreiche dieser Schadstoffe eine derart weit verbreitete Verwendung auf, dass auch Kleingewerbe, Haushalte und Landwirtschaft im Einzelfall als Emittenten in Frage kommen (z.B. können gewisse

⁷ Seit 2004 ist die Anwendung von Atrazin und Simazin auch in der Grundwasserschutzzone S2 verboten.

Pflanzenschutzmittel, welche als Emulsion formuliert sind, grosse Mengen aromatischer Lösungsmittel wie Xylol oder Ethylbenzol enthalten). Das Untersuchungsprogramm umfasst für alle Messstellen ein identisches Grundprogramm (Tab. 6). Im Jahr 2002 wurde es lediglich als Pilotkampagne in 7 Kantonen durchgeführt, ab 2003 liegen die Ergebnisse eines vollständigen Untersuchungsprogramms vor.

Tabelle 6: Kampagne Verkehr und Industrie, Grundprogramm.

Substanz	Verwendung
MTBE (Methyl-tert-butylether)	Treibstoffzusatz (Antiklopffmittel, Bleiersatz)
Monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	
Benzol	Bestandteil von Benzin und anderen Treibstoffen.
Toluol	Bestandteil von Benzin und anderen Treibstoffen. Auch Grundstoff in der chemischen Synthese und Lösungsmittel (Farben, Lacke, Klebstoffe, Öle, Harze usw.).
Ethylbenzol	Bestandteil von Benzin und anderen Treibstoffen. Auch Ausgangsstoff in der Kunststoffproduktion (Herstellung von Styrol) und Lösungsmittel (Farben, Lacke, Pflanzenschutzmittel).
Xylol (m/p-Xylol; o-Xylol)	Bestandteil von Benzin und anderen Treibstoffen. Auch Lösungsmittel (Farben, Leder, Gummi, Pflanzenschutzmittel).

Die fünf Substanzen des Grundprogramms sind häufig verwendete Kohlenwasserstoffe und gehören zu den routinemässigen Analyseprogrammen verschiedener kantonaler und privater Laboratorien. Sie stellen einen kleinsten gemeinsamen Nenner für die analytischen Möglichkeiten der verschiedenen beteiligten Laboratorien dar.

**Maximal 63 Substanzen
pro Messstelle untersucht**

Dieses Grundprogramm wurde entsprechend den Möglichkeiten des Labors auf weitere Substanzen ausgeweitet, wie z.B. aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW), polyzyklische KW, flüchtige halogenierte KW (FHKW) usw. Im Rahmen der Kampagne Verkehr und Industrie wurden bei etlichen Messstellen bis zu 60 (2002) bzw. 63 (2003) verschiedene Substanzen pro Messstelle untersucht. Insgesamt liegen in unterschiedlicher Anzahl Analysen von 69 (2002) bzw. 73 (2003) Substanzen vor. Details dazu finden sich im Anhang 1.

1.4.3.3 Probennahmefrequenz

Die Probennahmefrequenz bei einer Messstelle ergibt sich aus verschiedenen Faktoren:

- der Wahrscheinlichkeit einer Beeinflussung durch menschliche Aktivitäten,
- den hydrogeologischen Eigenschaften der Messstelle (Variabilität der hydraulischen Bedingungen, besonders unter Berücksichtigung des Einflusses der Jahreszeiten, Karstgebiete usw.),
- der Variabilität der hydrochemischen Parameter, soweit diese aus älteren Analysen ermittelt werden kann.

Die Probennahmen sollten grundsätzlich in einer den spezifischen Eigenschaften jeder Messstelle angepassten Frequenz erfolgen. Aus operationellen Gründen kann jedoch maximal eine Probennahme alle drei Monate durchgeführt werden. So liegt zumindest eine Messung pro Saison vor, und der Zustand der Grundwasservorkommen wird zu den verschiedenen hydrologischen Bedingungen im Laufe eines Jahres dokumentiert. Bei etlichen Messstellen kann jedoch ebenfalls aus operationellen Gründen selbst die viermalige Probennahme pro Jahr zurzeit nicht realisiert werden.

Grundsätzlich mindestens eine Probennahme pro Jahreszeit

Normalerweise erfolgen die Probennahmen in den Monaten Februar, Mai, August und November. Messstellen mit starkem Einfluss von menschlicher Tätigkeit oder mit hoher Variabilität von Schüttung und Chemismus werden nach Möglichkeit viermal jährlich beprobt. Die übrigen Messstellen hingegen werden in der Regel nur zweimal beprobt, im Frühling (hohe Grundwasserstände, Anwendungsperiode für Pflanzenschutzmittel) und im Herbst (niedrige Grundwasserstände).

Wichtige Rolle der Datenlieferanten

1.4.3.4 Qualitätssicherung (QS)

Im Teilmessnetz NAQUA_{SPEZ} ist es nicht möglich, die Qualität der Probennahmen und Analysen mit der gleichen Intensität zu kontrollieren wie bei NAQUA_{TREND}. Dies ist auf die dezentrale Organisation der Untersuchungen, mehrheitlich durch die Kantone, zurückzuführen. Der Bund muss sich hier stärker auf die Qualifikation der beteiligten kantonalen Fachstellen, Laboratorien und beauftragten Geologiebüros verlassen.

Die für die Probennahmen verantwortlichen Fachstellen bzw. Büros erstellen Protokolle über die Probennahmen. Ebenso liefern die Laboratorien im Rahmen der standardisierten Datenübermittlung Angaben zu den Analysemethoden sowie Bestimmungs- und Nachweisgrenzen.

Datenlieferungen werden von einer Fachperson genau kontrolliert

Jede Datenlieferung wird von einer Fachperson des Bundes geprüft und auf Plausibilität untersucht. Allfällige Unklarheiten, von den kantonalen Fachstellen und Labors rapportierte Probleme oder sonstige aus dem Rahmen fallende Beobachtungen werden dokumentiert.

Alle von den kantonalen Fachstellen bzw. Laboratorien gelieferten Originaldaten werden mit den zugehörigen Angaben zu den verwendeten Analysemethoden, Einheiten und Bestimmungsgrenzen separat abgespeichert, so dass sie jederzeit reproduzierbar sind. Wie bei NAQUA_{TREND} wird ein Analysen-Historienfile erstellt und fortlaufend aktualisiert.

Nur plausible Daten werden interpretiert

Die Daten werden beim Import in die Datenbank mit einem Status versehen (unterhalb der Bestimmungsgrenze, nicht plausibel, nicht geprüft, provisorisch oder plausibel). Für die Auswertungen wurden nur Daten mit den Stati «unterhalb der Bestimmungsgrenze» oder «plausibel» verwendet.

1.5 Auswertung der Ergebnisse

1.5.1 Berechnungen / Statistik

Statistische Kennzahlen

Für die Berechnung der statistischen Kennzahlen der untersuchten Parameter (Mittelwert, Median, Quantile) stellt sich das Problem der Behandlung jener Messungen, deren Resultate unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen. Diese variiert je nach Labor. Die höchste angegebene Bestimmungsgrenze beträgt je nach Parameter bis rund das 50fache der tiefsten Bestimmungsgrenze.

Die für viele Substanzen geringe Nachweisquote und die teilweise hohen Bestimmungsgrenzen führen dazu, dass bei den meisten PSM und Substanzen aus Verkehr und Industrie sowohl der Median wie selbst das 90%-Quantil tiefer sind, als die höchste Bestimmungsgrenze. Somit verlieren sowohl Median wie Quantile für die Gesamtheit der Messungen an Aussagekraft.

Wenn zur Berechnung von Mittelwerten die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze auf 50% der Bestimmungsgrenze gesetzt würden, ergäbe dies eine unzulässige Verfälschung der Resultate, ebenso wie eine Gleichsetzung dieser Werte mit Null.

Im Weiteren sind Mittelwerte zu Parametern, die nur selten nachgewiesen werden, wenig sinnvoll, wenn sie über alle Messungen berechnet werden: Bei einer positiven und neunundneunzig negativen Messungen sagt ein Mittelwert über alle hundert Messungen wenig aus.

Aus diesen Gründen wurden die statistischen Kennzahlen ausschliesslich mit den positiven Messungen berechnet.

Die statistischen Angaben zu den einzelnen Substanzen ermöglichen daher Aussagen darüber:

- bei wie vielen der untersuchten Messstellen die Substanz nachgewiesen wurde (absolut und in Prozent),
- bei wie vielen der untersuchten Messstellen die Substanz eine Überschreitung einer Limite (Anforderungswert, Toleranzwert, Grenzwert oder Indikatorwert) aufweist (absolut und in Prozent),
- bei wie vielen Messungen die Substanz nachgewiesen wurde (absolut und in Prozent),
- bei wie vielen Messungen die Substanz eine Überschreitung einer Limite (Anforderungswert, Toleranzwert, Grenzwert oder Indikatorwert) aufweist (absolut und in Prozent),
- wie hoch Mittelwert, Median, 1. und 3. Quartil der positiven Messungen sind.

Die statistischen Kennzahlen beantworten somit die Fragen «Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit, eine Substanz zu finden, und – falls sie gefunden wird – in welcher Grössenordnung liegen die Werte?».

Verwendung von Maximalwerten bei der Interpretation nur teilweise nachgewiesener Parameter

Neben den oben bereits ausgeführten Problemen bei der Berechnung statistischer Kennzahlen wie dem Mittelwert bei Substanzen, die nur in einem Teil der Messungen nachgewiesen werden, besteht ein weiteres ungelöstes Problem in der unterschiedlichen Anzahl Messungen pro Messstelle: Aus verschiedenen Gründen liegen je nach Kanton und Lage der Messstellen eine bis vier Analysen pro Jahr und Messstelle vor (vgl. Kapitel 1.4.3.3).

Um bei der Auswertung der Parameter wie Pflanzenschutzmittel oder Kohlenwasserstoffe und MTBE diese Probleme so weit wie möglich umgehen zu können, wurde für diese Auswertungen ausschliesslich mit den festgestellten Maximalwerten pro Messstelle gearbeitet.⁸

Zeitliche Entwicklung der untersuchten Parameter

Die gesamtschweizerischen Untersuchungen im Rahmen von NAQUA sind noch zu kurz, um die zeitliche Entwicklung der verschiedenen Substanzen mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen erkennen und darstellen zu können: Maximal liegen für zwei Messstellen Daten von sechs Jahren vor, während für den grössten Teil der Messstellen erst seit 2002 Daten erhoben werden.

Auch anhand von Daten zu den NAQUA-Messstellen, welche vor dem Start der NAQUA-Untersuchungen von anderen Stellen (Kantone, Wasserversorgungen) erhoben worden sind, lassen sich kaum zeitliche Entwicklungen dokumentieren. So liegen nur von sehr wenigen Messstellen ältere Daten zu Pflanzenschutzmitteln, Kohlenwasserstoffen oder MTBE vor, welche z.B. die Konzentrationsentwicklung dieser Substanzen im Grundwasser in den letzten rund 10 Jahren abbilden würden.

Einzig beim Nitrat konnten von den Kantonen für etliche Messstellen Daten zurück bis 1990 gewonnen werden. Dennoch bleibt auch hier die Datenbasis für die Auswertung der Entwicklung des Nitratgehalts seit Beginn der 1990er-Jahre schmal (vgl. Kapitel 2.1.4.3): Es konnten lediglich für 158 in den Jahren 2002 und 2003 untersuchte NAQUA-Messstellen aus 11 Kantonen Daten zurück bis 1990 erhoben werden. Selbst für diese 158 Messstellen mussten die Daten aus jeweils drei Jahren zusammengefasst werden, um für die Perioden 1989–1991, 1994–1996 und 1999–2001 einigermaßen schlüssige Aussagen machen zu können. Die Anzahl dabei verwendeter Messwerte kann von Messstelle zu Messstelle, aber auch innerhalb einer Messstelle zwischen den verschiedenen Perioden sehr stark variieren.

⁸ Im Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass sowohl die numerischen Anforderungen nach GSchV^[17] wie auch die Toleranz- und Grenzwerte nach FIV^[18] sich nicht auf mittlere Gehalte beziehen, sondern jederzeit einzuhalten sind bzw. zum Zeitpunkt der Abgabe an die Konsumentinnen und Konsumenten gelten.

Es ist nicht möglich, nur Messwerte zu berücksichtigen, die in allen Messstellen gleichzeitig erhoben wurden. Die ermittelten Ergebnisse sind eher als Hinweis auf die Richtung und allenfalls auch auf die grobe Grössenordnung eines Trends zu betrachten, denn als absolut repräsentative Werte.

Erst im Lauf der Zeit wird es möglich sein, für die verschiedenen untersuchten Parameter schweizweit deren Entwicklung im Grundwasser zu beschreiben und die dargestellten Tendenzen gegebenenfalls zu bestätigen bzw. zu vertiefen.

Ein Grundwasserbeobachtungsnetz wie NAQUA ist in der Lage, die Entwicklung stichprobenmässig erhobener Konzentrationen zu verfolgen. Demgegenüber kann es nicht dazu verwendet werden, Stofffrachten zu berechnen und deren Entwicklung zu dokumentieren. Zu diesem Zweck müsste eine sehr viel dichtere Beprobung durchgeführt werden, verbunden mit einer kontinuierlichen Aufzeichnung der Schüttung der untersuchten Quellen und detaillierten Modellrechnungen über den Grundwasserabfluss bei den beprobten Pumpbrunnen.

Überschreitung von Limiten

In verschiedenen Erlassen sind numerische Limiten für den Gehalt diverser Substanzen im Grundwasser aufgeführt:

- Numerische Anforderungen der GSchV^[17] an Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt wird bzw. für diese Nutzung vorgesehen ist. Bei einer Überschreitung dieser Anforderungen müssen die zuständigen Behörden Art, Ausmass und Ursache der Verunreinigung abklären und geeignete Massnahmen zum Schutz des Grundwasservorkommens ergreifen (Art. 47 GSchV). Diese numerischen Anforderungen sind grundwasserschützerisch begründet.
- Toleranz- bzw. Grenzwerte der FIV^[18] an Trinkwasser bei der Abgabe an die Konsumentinnen und Konsumenten. Bei einer Überschreitung des Toleranzwerts gilt das Trinkwasser als verunreinigt oder sonst im Wert vermindert, bei einer Überschreitung des Grenzwerts gilt es als nicht für die Ernährung geeignet. Toleranz- und Grenzwerte sind gesundheitlich begründet.
- Indikatorwerte der Wegleitung Grundwasserschutz^[19], deren Überschreitung in der Regel auf eine anthropogen bedingte Belastung des Grundwassers hinweist und zu Abklärungen über die Ursache der Wertüberschreitung Anlass geben sollte.

Die im Rahmen von NAQUA untersuchten Parameter werden in Bezug auf die aufgeführten Limiten beurteilt.

Die verschiedenen Limiten sind in Anhang 3 detailliert aufgelistet.

1.5.2 Auswertung in Bezug auf Bodennutzung, Höhenlage, landwirtschaftliche Zone und Geologie

Die Untersuchungen im Rahmen des Beobachtungsnetzes NAQUA sind dreigeteilt: landwirtschaftliche Parameter, Schadstoffe aus Verkehr und Industrie und übrige

Parameter. Bei den Parametern aus Landwirtschaft, Verkehr und Industrie liegen Daten aus beiden Teilmessnetzen (NAQUA_{TREND} und NAQUA_{SPEZ}) vor, bei den übrigen Parametern mehrheitlich lediglich aus dem Teilmessnetz NAQUA_{TREND}. Die Darstellung und Interpretation der Resultate folgt dieser Dreiteilung.

**Kleinräumige Landschaft
führt zu Nutzungsüber-
lagerungen im Einzugs-
gebiet vieler Messstellen**

Die schweizerische Landschaft ist sehr kleinräumig, die Flächennutzung ist oft intensiv, und im Einzugsgebiet einer Messstelle überlagern sich häufig verschiedene Nutzungsarten bzw. verändern sich die Nutzungen im Lauf der Zeit. Dies hat zur Folge, dass bei einigen Messstellen die als Kriterium zur Auswahl der Messstellen (Auswahlkriterium) definierte Hauptflächennutzung im Einzugsgebiet relativ wenig repräsentativ ist beziehungsweise andere Flächennutzungen ebenfalls einen gewichtigen Teil des Einzugsgebiets beeinflussen.

Infiltrierendes Wasser aus Flüssen und Bächen kann zusätzlich den Einfluss der menschlichen Aktivitäten auf die Grundwasserchemie zumindest teilweise maskieren, z.B. durch Verdünnung des aus intensivem Ackerbau stammenden Nitrats. Die entsprechenden Detailkenntnisse fehlen jedoch zurzeit noch für zahlreiche Messstellen.

Aus diesen Gründen werden die Flächennutzungen im Einzugsgebiet und die Verhältnisse in Bezug auf die Infiltration von Oberflächenwasser zurzeit für jede Messstelle überprüft und detailliert ausgewertet. Es wird daher erst zu einem späteren Zeitpunkt möglich sein, die Messresultate in Abhängigkeit der verschiedenen Bodennutzungen und der Infiltration von Oberflächenwasser detaillierter auszuwerten.

Für die **Parameter aus Landwirtschaft, Verkehr und Industrie** wurden folgende Interpretationen in Bezug auf die Eigenschaften des Einzugsgebiets bzw. den Standort der Messstelle durchgeführt:

**Beurteilung nach
Hauptbodennutzung**

Einteilung der Messstellen auf Grund der **Hauptbodennutzung** im Einzugsgebiet der Messstellen gemäss **Auswahlkriterium** (vgl. Tab. 1 und 3). Es wurden fünf Hauptnutzungsarten gewählt:

- | | |
|---|------------|
| • Ackerbau | AB |
| • übrige ganzjährige landwirtschaftliche Bewirtschaftung
(im weiteren Text als übrige ganzjährige Landwirtschaft bezeichnet) | ÜLW |
| • Sömmerungsweiden (Alp- und Juraweiden) | AJ |
| • Wald | WA |
| und unproduktive Gebiete | UG |
| • Siedlungsraum und Verkehrswege | SV |

Die Kategorie **übrige ganzjährige Landwirtschaft** umfasst sehr unterschiedlich intensive Bewirtschaftungsformen (Obst- und Rebbau, Futterbau mit teilweise hohem Ackerbauanteil, Wiesen und Weiden in verschiedenen Höhenlagen und mit verschieden intensiver Nutzung). Diese Sammelkategorie wurde deshalb eingeführt, weil die detaillierte Auftrennung in die einzelnen unterschiedlich intensiven Nut-

zungen nach ^[12] und ^[13] zurzeit noch nicht möglich ist. Nach erfolgter detaillierter Messstellencharakterisierung wird dieses Manko – soweit aufgrund der Kleinräumigkeit überhaupt möglich – behoben.

Die Abgrenzung zwischen den einzelnen Hauptnutzungsarten weist in Ermangelung einer detaillierten Analyse der Einzugsgebiete der einzelnen Messstellen teilweise noch Ungenauigkeiten auf. Auch diese Ungenauigkeiten werden in der nächsten Auflage des Grundwasserberichts auf Grund der laufenden Charakterisierung der Messstellen weitgehend behoben sein.

**Beurteilung nach
Höhenlage**

Einteilung der Messstellen nach **Höhenlage** der Messstelle. Die Höhenlage einer Messstelle gibt Hinweise auf die potenzielle Intensität der menschlichen Nutzung im Einzugsgebiet: Je höher eine Messstelle gelegen ist, umso weniger wahrscheinlich ist im Durchschnitt eine intensive Nutzung.

- ≤400 m
- 400–600 m
- 600–800 m
- 800–1000 m
- >1000 m

Diese Einteilung nimmt keine Rücksicht auf die mittlere Höhenlage und die effektive Bodennutzung der Einzugsgebiete. Vor allem bei Messstellen an Hangfüssen und im Bereich infiltrierender Fliessgewässer ergeben sich gewisse Unschärfen, insgesamt dürfte dadurch aber das Bild nur unwesentlich verfälscht werden.

**Beurteilung nach
landwirtschaftlicher Zone**

Einteilung der Messstellen nach **landwirtschaftlicher Zone**, in welcher sich die Messstelle befindet. Die landwirtschaftlichen Zonen geben ebenfalls einen Hinweis auf die durchschnittliche Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung oder der Besiedlung. Zudem umschreiben sie annähernd die naturräumliche Gliederung der Schweiz: Acker- und Übergangszone repräsentieren grosso modo das Mittelland, die Ajoie, das Rhonetal und die tiefen Lagen des Tessins mit der intensivsten Nutzung, die Hügelzone entspricht den tieferen Lagen der Voralpenregion und dem Tafeljura mit einer im Durchschnitt mittleren Intensität der Nutzung, während die Bergzonen und das Sömmerungsgebiet die Alpen und den Faltenjura mit der im Schnitt geringsten Nutzungsintensität repräsentieren.

- Ackerbauzone
- Übergangszone
(Zusammenfassung von Übergangs- und erweiterter Übergangszone)
- Hügelzone
- Bergzone (Zusammenfassung der Bergzonen I bis IV)
- Sömmerungsgebiet

Die Zuordnung der Messstellen zu den landwirtschaftlichen Zonen erfolgte mit Hilfe des Polygondatensatzes «Landwirtschaftliche Zonengrenzen»^[20]. Diese Einteilung nimmt ebenfalls keine Rücksicht auf die effektive Lage und Bodennutzung des Einzugsgebiets. Zudem erlauben die landwirtschaftlichen Zonen keine saubere

Trennung der Flächen nach Nutzungsintensität. So liegt z.B. die für intensive Landwirtschaft geeignete Fläche des oberen Rhonetals bei Brig in der Bergzone I, genauso wie die angrenzenden steilen Hänge. Dennoch stören diese Einschränkungen die Interpretation der Gesamtheit der Daten nur in untergeordnetem Ausmass.

**Beurteilung nach Geologie
des Grundwasserleiters**

Für die **übrigen Parameter** (Feldparameter, Haupt- und Nebenbestandteile, anorganische Spuren, AOX) wurde zusätzlich eine Interpretation in Bezug auf die **Geologie des Grundwasserleiters** durchgeführt (vgl. Tab. 1 und 3), da die Gehalte der Mehrheit dieser Parameter in erster Linie geogen bedingt sind:

- | | |
|--|-----------|
| • Karst; z.B. Kalke | KE |
| • klastische Gesteine; z.B. Sandstein oder Nagelfluh | KG |
| • kristalline Gesteine; z.B. Granit, Gneis usw. | KR |
| • Schotter in Talsohlen | ST |
| • Schotter ausserhalb von Talsohlen | SA |

Für die Auswertung der Parameter Leitfähigkeit, Temperatur und Sauerstoffgehalt konnten zusätzlich Messstellen mit folgendem geologischen Untergrund ausgewertet werden:

- | | |
|-------------------|-----------|
| • Moräne | MR |
| • Schuttbildungen | SB |

Weil für die grosse Mehrzahl der übrigen Parameter nur Untersuchungen an 44 Messstellen durchgeführt werden konnten, wurden für die Interpretation in Bezug auf die **Hauptbodennutzung** im Einzugsgebiet der Messstellen gemäss **Auswahlkriterium** nur vier Hauptnutzungsarten gewählt:

- | | |
|---|------------|
| • Ackerbau | AB |
| • übrige ganzjährige Landwirtschaft | ÜLW |
| • Wald, unproduktive Gebiete ss. und Sömmerungsweiden, zusammengefasst als unproduktive Gebiete sl. | UG |
| • Siedlungsraum und Verkehrswege | SV |

2 Ergebnisse

2.1 Stickstoffverbindungen

2.1.1 Einleitung

Stickstoff ist ein wichtiger Pflanzennährstoff

Stickstoff (N) ist ein wichtiger Pflanzennährstoff. Ohne Stickstoffdüngung ist keine zeitgemässe Landwirtschaft denkbar. Stickstoff gelangt auf vielfältige Weise und in verschiedenen Formen in den Boden (als Ammonium- oder Nitratmineraldünger, Ammoniak und Stickoxyde aus der Luft, organisch gebundener Stickstoff mit Gülle, Mist und Pflanzenresten, Ammoniak mit Gülle, Mistsaft oder aus lecken Abwasserleitungen).

Erhöhte Ammoniumgehalte können lecke Abwasserleitungen oder Gülle anzeigen

Ammonium bildet sich beim biologischen Abbau von Eiweissverbindungen, die in seltenen Fällen auch natürlicherweise ins Grundwasser gelangen können. Ausserdem kann sich Ammonium bei Abwesenheit von Sauerstoff im Grundwasser durch die Reduktion von Nitrat bzw. elementarem Stickstoff bilden, so dass unter speziellen natürlichen Bedingungen (z.B. Grundwässer mit hohen Gehalten an gelöstem organischem Kohlenstoff bzw. in Grundwasserleitern mit hohem Gehalt an organischem Material) erhöhte Ammoniumkonzentrationen vorkommen können. Erhöhte Gehalte an Ammonium im Grundwasser können auf nahe gelegene lecke Abwasserleitungen oder akute Verschmutzungen mit Gülle oder Ammoniummineraldünger sowie auf Standorte mit starker organischer Belastung (z.B. Sickerwässer aus Haushaltabfalldeponien) hinweisen.

Die Gewässerschutzverordnung (GSchV^[17]) kennt zwei verschiedene numerische Anforderungen für Ammonium: 0.1 mg/l bei oxischen Verhältnissen und 0.5 mg/l (vgl. Tab. 7) bei anoxischen Verhältnissen, um den natürlichen Spezialfällen Rechnung zu tragen. Diese beiden Werte finden sich auch in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV^[18]) als Toleranzwerte für Trinkwasser.

Bei Anwesenheit von Sauerstoff wird Ammonium unter Sauerstoffzehrung zu Nitrat oxidiert (Nitrifikation).

Nitrit ist nur selten stabil

Nitrit ist eine Stickstoffverbindung, die in sauerstoffarmen Wässern als Zwischenprodukt bei der Reduktion von Nitrat zu elementarem Stickstoff (Denitrifikation) entstehen kann. Auch bei der Umwandlung von Ammonium zu Nitrat entsteht Nitrit als Zwischenprodukt, und erhöhte Nitritkonzentrationen können somit ebenfalls auf den Einfluss von Abwasser hinweisen. Nitrit ist nur in reduzierenden Wässern einigermaßen stabil.

Die GSchV kennt für Nitrit keine numerische Anforderung an Grundwasser. Die Wegleitung Grundwasserschutz^[20] definiert einen Indikatorwert von 0.05 mg/l, dessen Überschreitung auf anthropogene Beeinflussung hinweist. Für Trinkwasser gilt ein Toleranzwert von 0.1 mg/l^[18].

Nitrat ist die für Pflanzen verfügbare Form des Stickstoffs

Nitrat ist die für Pflanzen verfügbare Form des Stickstoffs und ist sehr gut wasserlöslich. Im Boden werden die verschiedenen Stickstoffformen (Ammonium, organisch gebundener Stickstoff) vor allem von Bakterien teilweise in Nitrat umgebaut. Dabei spielen verschiedene Faktoren wie die Intensität der Bodenbearbeitung (z.B. Bodenumbau), Temperatur, Bodenfeuchte und Bodenbedeckung eine Rolle. So bildet sich unter einem intensiv ackerbaulich genutzten Boden bereits ohne zusätzliche Stickstoffdüngung deutlich mehr Nitrat als z.B. unter Dauergrünland oder im Wald. Zudem erleichtern die Bodenbearbeitung und die zeitweise fehlende Pflanzendecke die Infiltration von Sickerwasser und somit die Auswaschung des Nitrats.

Die im Boden vorhandene Menge Nitrat kann von den Pflanzen meist nicht vollständig aufgenommen werden. Daher wird vor allem in flachgründigen und gut durchlässigen Böden ein Teil des Nitrats durch die Niederschläge ins Grundwasser ausgewaschen, vor allem auch auf Brachflächen, da hier keine Pflanzen das zur Verfügung stehende Nitrat aufnehmen können.

Unbeeinflusstes Grundwasser enthält nur wenige mg/l Nitrat

Bei naturnahen Verhältnissen (z.B. in den Alpen) enthält Grundwasser in der Schweiz höchstens wenige Milligramm Nitrat pro Liter^[21], bei reduzierenden Wässern kann der Nitratgehalt auch unterhalb der analytischen Nachweisgrenze liegen (Reduktion des Nitrats zu elementarem Stickstoff). Nur in speziellen Situationen enthalten natürliche Grundwässer deutlich mehr als wenige Milligramm Nitrat pro Liter (z.B. Sickerwasser aus trockengelegten Mooren oder aus grossen Rodungsflächen). Nitratgehalte über ca. 6 bis 10 mg/l sind in aller Regel auf anthropogene Beeinflussung zurückzuführen.

Erhöhte Nitratgehalte weisen auf intensive landwirtschaftliche Bodenbearbeitung hin

Erhöhte Nitratgehalte sind meist ein Hinweis auf intensive landwirtschaftliche Bodenbearbeitung (z.B. Acker- und Gemüsebau), die zu wenig auf die Standorteigenschaften Rücksicht nimmt. Allerdings können auch unsachgemässe und übermässige Düngung, undichte Abwasserleitungen, Kompostsaft, erhöhter Eintrag von Stickoxyden und Ammoniak aus der Luft oder übermässiges Düngen von Gartenanlagen zu erhöhten Nitratkonzentrationen im Grundwasser führen.

Die GSchV^[17] kennt eine numerische Anforderung von 25 mg/l, während für Trinkwasser in der FIV^[18] ein Toleranzwert von 40 mg/l gilt.

2.1.2 Ammonium (NH₄⁺)

2.1.2.1 Resultate

Aus den Jahren 1997 bis 2001 liegen die Resultate aus 2 (1997) bis 39 (2001) Messstellen vor. Bei 3.5% der Analysen bzw. 31% der Messstellen wurde Ammonium nachgewiesen (Mittelwert der Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze = 0.039 mg/l, Maximalwert = 0.08 mg/l). In den Jahren 2002 und 2003 wurden 443 bzw. 427 Messstellen untersucht. Bei 23% der Analysen bzw. 43% der untersuchten Messstellen konnte Ammonium nachgewiesen werden (Mittelwert der Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze = 0.015 mg/l, Maximalwert = 0.24 mg/l, vgl. Tab. 7).

Tabelle 7: Resultate der Ammoniumbestimmungen seit 1997.

Jahr	BG (mg/l)	Messstellen			Messungen			Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
		n	$\geq$ BG	>Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	Min. (mg/l)	Max. (mg/l)	Mittel (mg/l)	Median (mg/l)	1. Quartil (mg/l)	3. Quartil (mg/l)
1997–2001	0.030	39	12	0	469	17	0	0.030	0.080	0.039	0.030	0.030	0.040
2002	0.001–0.05	443	121	0 ⁹	1045	217	0	0.001	0.210	0.016	0.010	0.005	0.026
2003	0.001–0.05	427	161	2 ¹⁰	1158	297	2	0.001	0.240	0.014	0.008	0.005	0.018

Limite = Anforderungswert nach GSchV für oxische Verhältnisse (0.1 mg/l) bzw. für anoxische Verhältnisse (0.5 mg/l);

BG = Bestimmungsgrenze, n = Anzahl

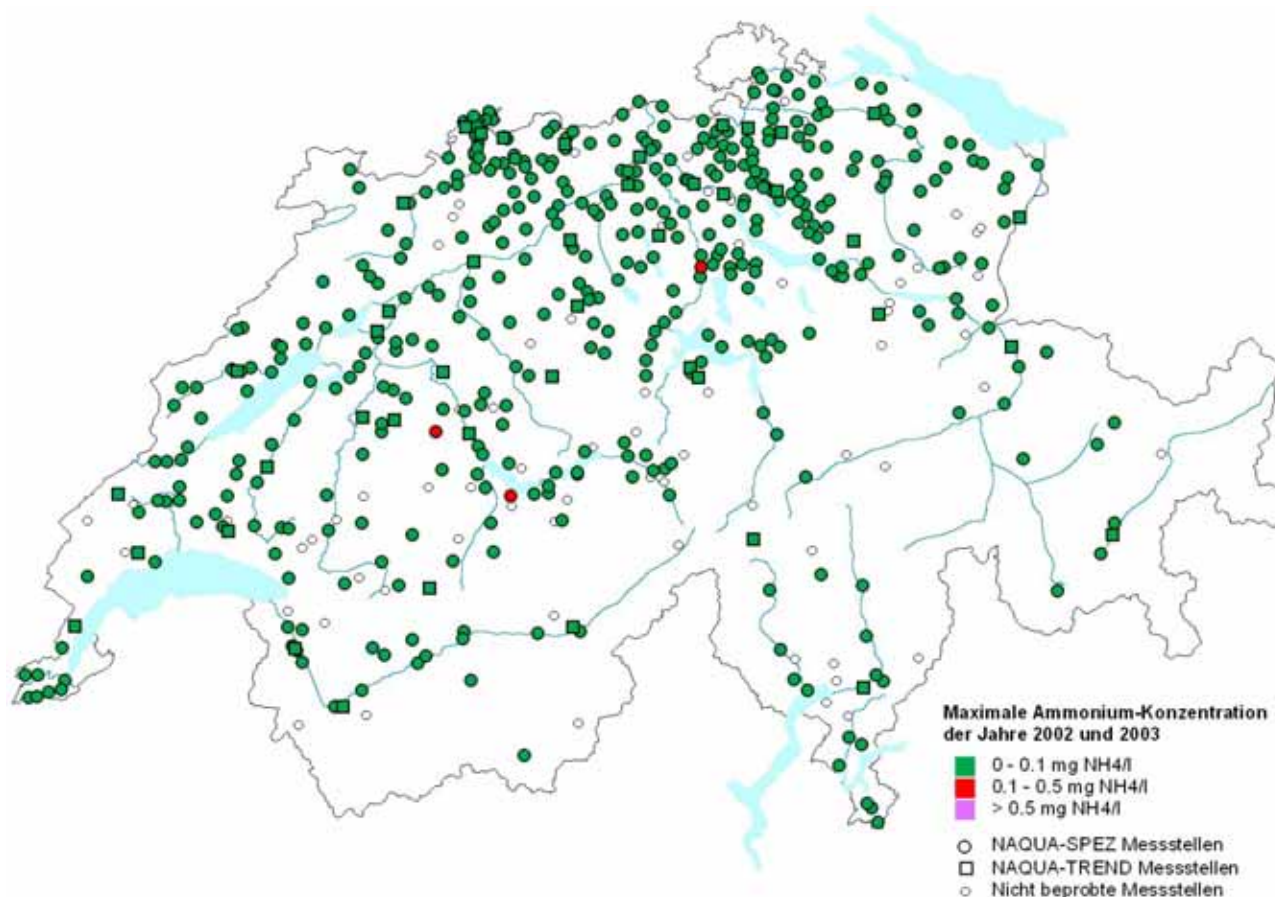


Abb. 6: Maximaler Ammoniumgehalt der untersuchten Messstellen 2002/2003 (kartografische Grundlage^[22]).

⁹ Eine Messstelle weist einen Ammoniumgehalt von >0.1 mg/l (Anforderungswert der GSchV^[17] für oxisches Grundwasser) auf. Da es sich dabei um ein anoxisches Grundwasser handelt, für welches in der GSchV eine Anforderung von 0.5 mg/l gilt, wurde dennoch keine Limite überschritten.

¹⁰ Die Anforderung für Grundwasser bei oxischen Verhältnissen (0.1 mg/l) wurde 3-mal überschritten. Darunter findet sich dasselbe anoxische Grundwasser wie 2002.

In den Jahren 1997 bis 2001 zeigt keine Messung eine Überschreitung der numerischen Anforderung der GSchV^[17].

Auch für die Jahre 2002 und 2003 wurde die numerische Anforderung der GSchV nur vereinzelt überschritten: Im Jahr 2002 lag lediglich eine der 443 untersuchten Messstellen über der numerischen Anforderung für oxische Verhältnisse (Wert = 0.21 mg/l), 2003 waren es deren drei von 427 untersuchten Messstellen.

2.1.2.2 Beurteilung

Beim Ammonium liegen gesamtschweizerisch keine Hinweise auf relevante Verschmutzungen durch übermässige Anwendung von Ammoniumdünger, mit organischem Material belastete Standorte oder defekte Abwasserleitungen vor, auch wenn in den Jahren 2002 und 2003 bei insgesamt drei Messstellen eine Überschreitung der numerischen Anforderung der GSchV an Grundwasser (bei oxischen Verhältnissen) festgestellt wurde. Dabei handelt es sich einerseits um ein Grundwasservorkommen mit reduzierenden Verhältnissen, in welchem kein Nitrat mehr nachgewiesen werden konnte, andererseits um zwei Quellen mit oxischen Verhältnissen, bei welchen im November 2003 leicht erhöhte Ammoniumgehalte von 0.14 bzw. 0.15 mg/l gemessen wurden. Diese Werte sind vermutlich auf Gülleaustragung während der Vegetationsruhe (zur Leerung der Güllegrube vor dem Winter) zurückzuführen. Bei den festgestellten Verschmutzungen handelt es sich um lokale Phänomene, die aus gesamtschweizerischer Sicht kein Problem darstellen.

2.1.3 Nitrit (NO₂⁻)

2.1.3.1 Resultate

Aus den Jahren 1997 bis 2001 liegen die Resultate aus 2 (1997) bis 39 (2001) Messstellen vor. Bei 1.5% der Analysen bzw. 13% der Messstellen wurde Nitrit nachgewiesen (Mittelwert der Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze = 0.015 mg/l, Maximalwert = 0.03 mg/l). 2002 und 2003 wurden 445 bzw. 446 Messstellen untersucht. Bei 12% der Analysen bzw. 23% der untersuchten Messstellen konnte Nitrit nachgewiesen werden (Mittelwert der Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze = 0.008 mg/l, Maximalwert = 0.082 mg/l, vgl. Tab. 8).

Tabelle 8: Resultate der Nitritbestimmungen seit 1997.

Jahr	BG (mg/l)	Messstellen			Messungen			Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
		n	$\geq$ BG	>Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	Min. (mg/l)	Max. (mg/l)	Mittel (mg/l)	Median (mg/l)	1. Quartil (mg/l)	3. Quartil (mg/l)
1997–2001	0.010	39	5	0	469	7	0	0.010	0.030	0.015	0.010	0.010	0.017
2002	0.001–0.026	445	85	0	1047	164	0	0.001	0.053	0.008	0.004	0.003	0.009
2003	0.001–0.049	446	65	0	1206	116	0	0.001	0.082	0.009	0.007	0.003	0.010

Limite = Toleranzwert nach FIV^[16] (0.1 mg/l); BG = Bestimmungsgrenze, n = Anzahl

Seit Beginn der Untersuchungen im Jahr 1997 liegen keine Werte vor, welche den Trinkwassertoleranzwert von 0.1 mg/l überschreiten.

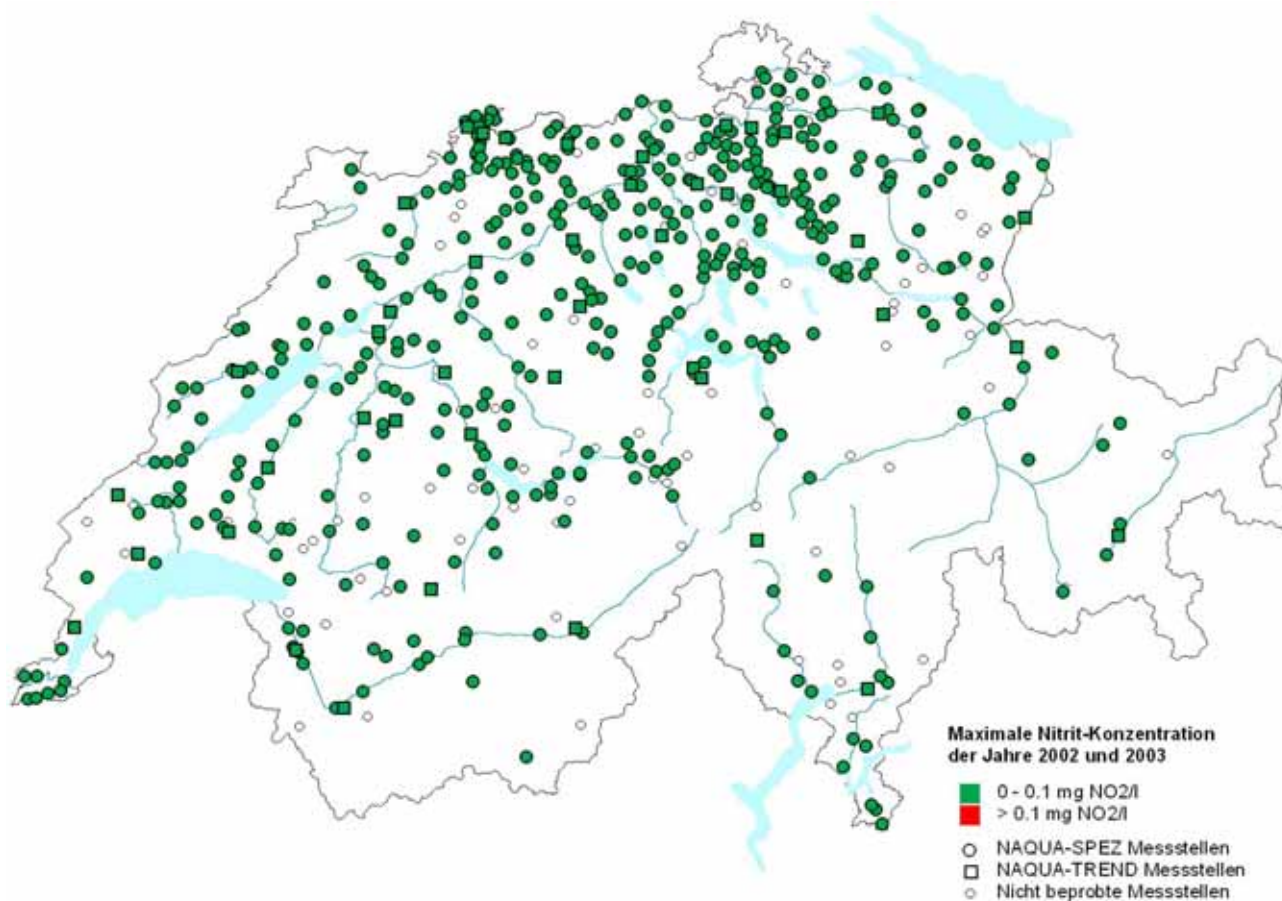


Abb. 7: Maximaler Nitritgehalt der untersuchten Messstellen 2002/2003 (kartografische Grundlage^[22]).

**Gesamtschweizerisch
keine Probleme mit Nitrit
im Grundwasser**

2.1.3.2 Beurteilung

Beim Nitrit liegen erwartungsgemäss gesamtschweizerisch keine Hinweise auf Grundwasserverschmutzungen durch defekte Abwasserleitungen vor. Dies schliesst lokale Grundwasserverschmutzungen nicht aus, gesamtschweizerisch stellen solche Verschmutzungen jedoch zurzeit kein Problem dar.

2.1.4 Nitrat (NO₃⁻)

2.1.4.1 Resultate

Nitrat: Überblick

Aus den Jahren 1997 bis 2001 liegen die Resultate aus 2 (1997) bis 39 (2001) Messstellen vor. Nitrat wurde mit einer Ausnahme in allen Messungen nachgewiesen (Mittelwert der Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze = 16.2 mg/l, Maximalwert = 46.7 mg/l). 2002 und 2003 wurden 450 bzw. 446 Messstellen untersucht (in beiden Jahren zusammen 468¹¹). In 99% der Analysen bzw. 99.5% der untersuchten Messstellen konnte Nitrat nachgewiesen werden (Mittelwert der 2435 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze = 15.9 mg/l, Maximalwert = 85 mg/l; vgl. Tab. 9).

Tabelle 9: Resultate der Nitratbestimmungen seit 1997.

Jahr	BG (mg/l)	Messstellen			Messungen			Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
		n	$\geq$ BG	>Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	Min. (mg/l)	Max. (mg/l)	Mittel (mg/l)	Median (mg/l)	1. Quartil (mg/l)	3. Quartil (mg/l)
1997–2001	0.1	39	39	12	622	621	139	0.1	46.7	16.2	14.9	4.5	23.9
2002	0.1–1	450	446	82	1198	1189	234	0.2	85.0	15.7	13.9	6.6	22.7
2003	0.1–1	446	442	86	1251	1246	253	0.2	70.0	16.1	14.0	6.9	23.0
2002/2003	0.1–1	468	466	91	2449	2435	487	0.2	85.0	15.9	14.0	6.8	23.0

Limite = Anforderungswert nach GSchV^[17] (25 mg/l); BG = Bestimmungsgrenze, n = Anzahl

Wegen der geringen Anzahl untersuchter Messstellen vor 2000 werden im Folgenden nur die Resultate seit 2000 interpretiert. Tabelle 10 zeigt auf, in wie vielen Messstellen die numerische Anforderung der Gewässerschutzverordnung^[17] an Grundwasser¹² (25 mg/l) bzw. der Trinkwassertoleranzwert (40 mg/l) beim maximalen Nitratgehalt überschritten wurde bzw. über die unterschiedliche Verteilung der Nitratmittelwerte.

¹¹ Die höhere Zahl untersuchter Messstellen für den Zusammenzug beider Jahre ergibt sich daraus, dass eine gewisse Anzahl Messstellen jeweils nur in einem Jahr untersucht wurde.

¹² Anhang 2 Ziffer 22 GSchV: «Anforderung an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist» = 5.6 mg/l N (entspricht 25 mg/l Nitrat).

Tabelle 10: Anzahl und Prozentsatz der Messstellen, in welchen verordnete Maximalwerte überschritten wurden sowie Verteilung der Mittelwerte. Total untersuchte Messstellen 2002/2003: 468.

Jahr	maximaler Nitratgehalt						mittlerer Nitratgehalt ¹³					
	0–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l		0–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
2000–2001 ¹⁴	26	67.0	11	28.0	2	5.0	31	79.5	7	18.0	1	2.5
2002	368	81.8	67	14.9	15	3.3	374	83.1	66	14.7	10	2.2
2003	360	80.7	70	15.7	16	3.6	371	83.2	63	14.1	12	2.7
2002/03	377	80.5	72	15.4	19	4.1	388	82.9	69	14.7	11	2.4

Verordnete Maximalwerte: Anforderung nach GSchV = 25 mg/l, Trinkwassertoleranzwert = 40 mg/l; n = Anzahl Messstellen

Die prozentualen Überschreitungen der numerischen Anforderung der GSchV bzw. des Trinkwassertoleranzwertes zwischen der Periode 2000/2001 und den nachfolgenden Jahren können nicht verglichen werden: Bis 2001 war nur eine erste Tranche des Teilmessnetzes NAQUA_{TREND} in Betrieb, so dass rund 12-mal weniger Messstellen untersucht werden konnten als ab 2002 (zur Entwicklung des Nitratgehaltes seit Beginn der 90er-Jahre vgl. Kap. 2.1.4.3).

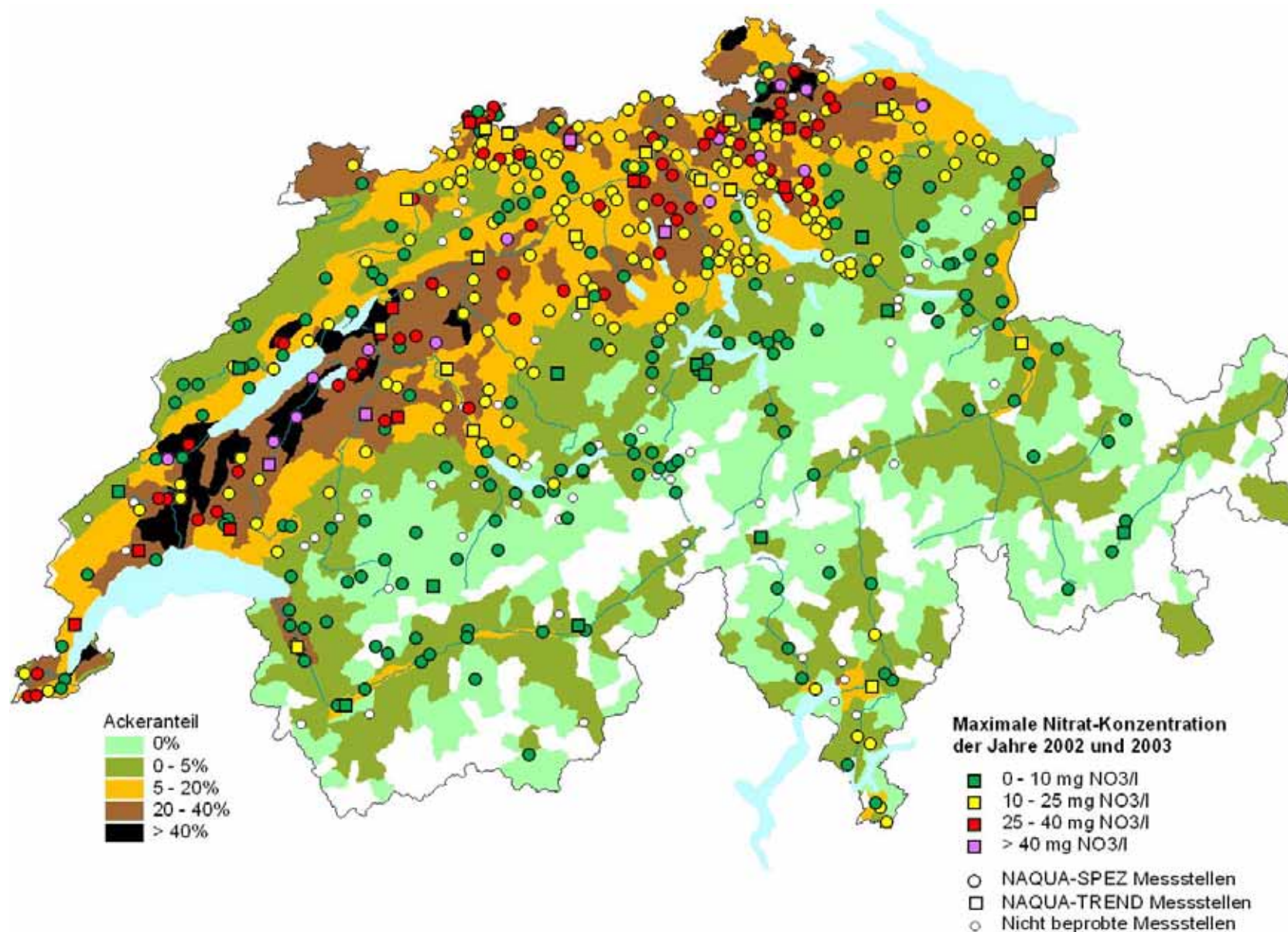
Keine signifikanten Unterschiede zwischen 2002 und 2003

Die Unterschiede zwischen den Jahren 2002 und 2003 sind nur gering. Zudem ist die Zeitspanne von lediglich zwei Jahren grundsätzlich zu kurz, um allfällige Unterschiede im Nitratgehalt interpretieren zu können. Innerhalb einer so kurzen Zeitspanne hängt die Entwicklung des Nitratgehaltes in übergroßem Ausmass von kurzfristigen Faktoren ab, wie z.B. Fruchtfolgen oder extremen Klimaereignissen (Rekordsommer 2003 mit grossem Niederschlagsdefizit!). Ebenso können sich Unterschiede im Probennahmezeitpunkt in Bezug auf die jährliche Klimaentwicklung (z.B. Zeitspanne zwischen den ersten grossen Herbstniederschlägen und der Probennahme im November) sowie kleine Veränderungen in der Messstellenauswahl relativ stark auf die Resultate auswirken.

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen einen Überblick über die räumliche Verteilung der in den Jahren 2002 und 2003 gemessenen maximalen und mittleren Nitratgehalte.

¹³ Der mittlere Nitratgehalt ist vorsichtig zu interpretieren. Je nach Messstelle variiert die Anzahl zur Verfügung stehender Messungen stark (zwischen 1 bis 11 Messungen pro Jahr).

¹⁴ Nur Messstellen des Messnetzes NAQUA_{TREND}.



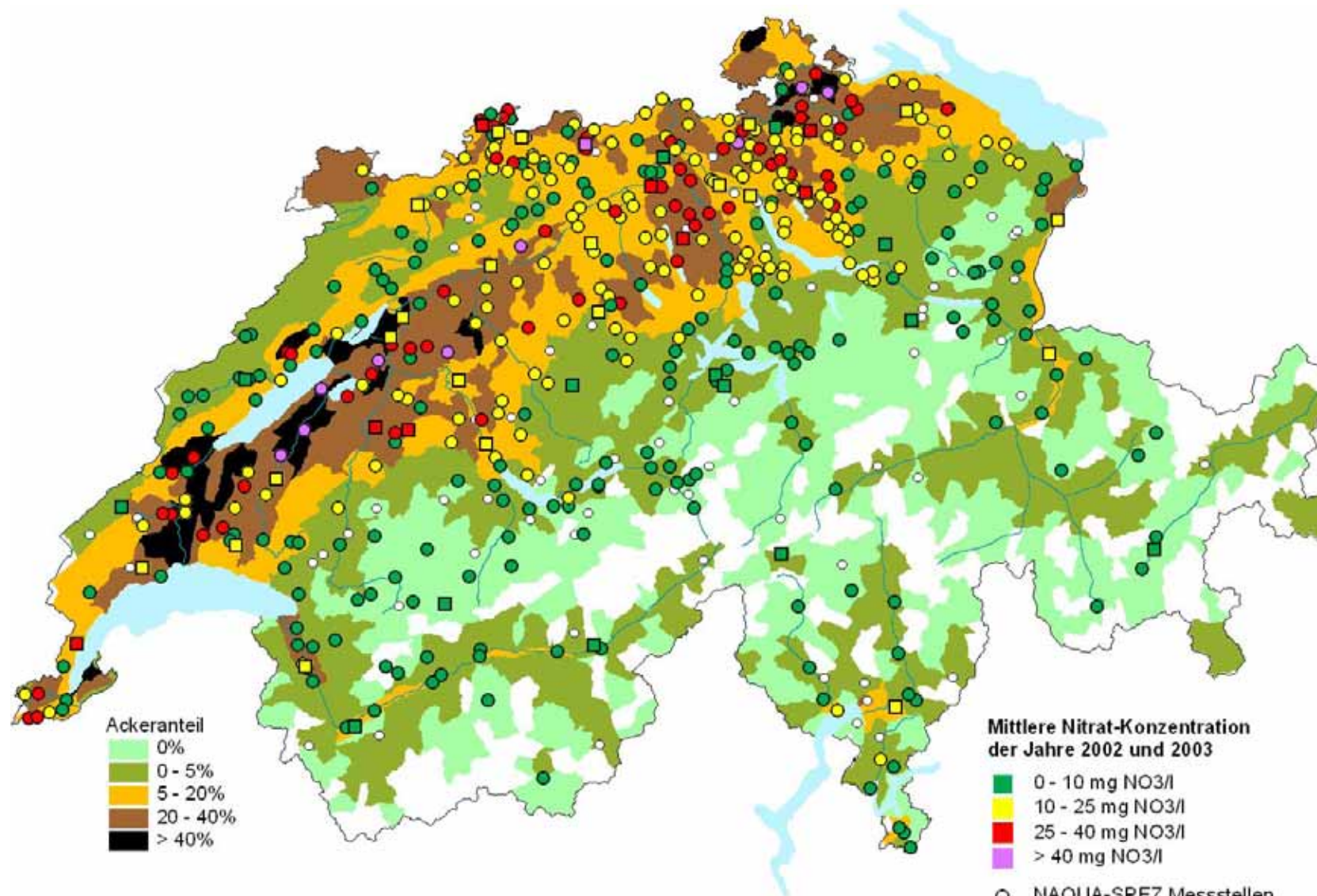


Abb. 9: Mittlerer Nitratgehalt der untersuchten Messstellen 2002/2003 (kartografische Grundlage^[22]; Daten zum Ackeranteil^[23], aggregiert nach^[24]).

Nitrat: Verteilung der Nitratgehalte in Abhängigkeit von Bodennutzung und Höhenlage

Für die Interpretation der Nitratgehalte in Abhängigkeit von Bodennutzung und Höhenlage des Einzugsgebietes wurden die Kriterien nach Kapitel 1.5.2 angewendet.

Tabelle 11: Prozentuale Verteilung des mittleren ($\bar{x}$) und maximalen (Max.) Nitratgehaltes pro Messstelle in Abhängigkeit der Hauptbodennutzung (2002/2003).

	≤10 mg/l		10–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l	
	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)
Ackerbau (n = 92)	8.7	5.5	44.5	42.4	37.0	39.1	9.8	13.0
Siedlungsraum und Verkehrswege (n = 87)	26.4	20.7	54.0	57.5	17.3	18.4	2.3	3.4
übrige ganzjährige Landwirtschaft (n = 184)	45.7	38.1	45.1	50.5	9.2	9.8	0.0	1.6
Wald und unproduktive Gebiete (n = 76)	82.9	80.3	13.2	15.8	3.9	2.6	0.0	1.3
Sömmerungsweiden (n = 29)	96.6	96.6	3.4	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0

n = Anzahl Messstellen

Abb. 10:
Prozentuale Verteilung des mittleren Nitratgehalts pro Messstelle in Abhängigkeit der Hauptbodennutzung (2002/2003).

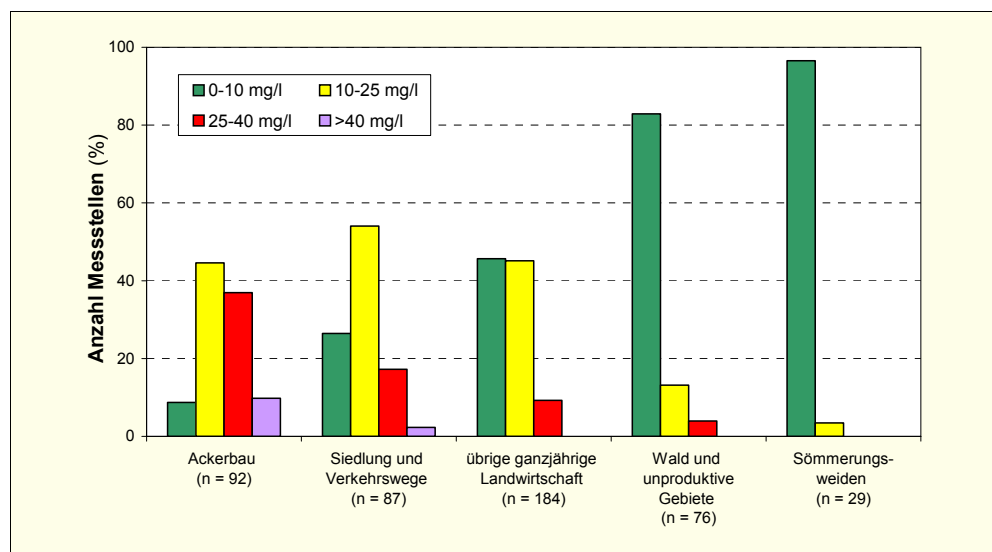


Abb. 11:
Mittelwerte der mittleren und maximalen Nitratgehalte pro Messstelle in Abhängigkeit der Hauptbodennutzung (2002/2003).

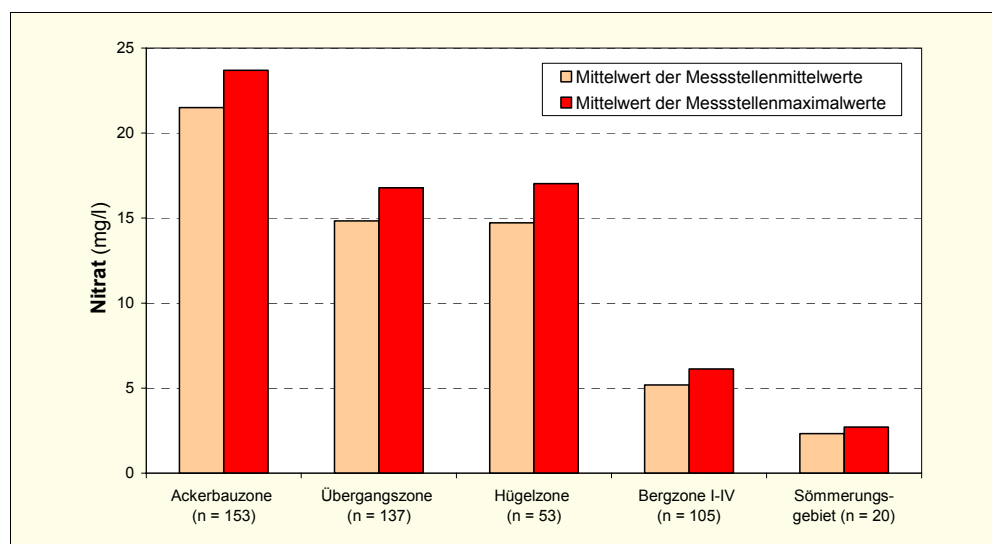


Tabelle 12: Prozentuale Verteilung des mittleren ($\bar{x}$) und maximalen (Max.) Nitratgehaltes pro Messstelle in Abhängigkeit der Höhenlage (2002/2003).

	≤ 10 mg/l		10–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l	
	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)
0–400 m (n = 85)	31.8	20.0	51.7	61.2	15.3	17.6	1.2	1.2
401–600 m (n = 218)	26.6	22.5	48.6	49.5	20.2	20.7	4.6	7.3
601–800 m (n = 92)	58.7	54.3	29.3	32.6	12.0	10.9	0.0	2.2
801–1000 m (n = 36)	81.8	81.8	15.2	15.2	3.0	3.0	0.0	0.0
>1000 m (n = 37)	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

n = Anzahl Messstellen

Abb. 12:
Prozentuale Verteilung des mittleren Nitratgehaltes pro Messstelle in Abhängigkeit der Höhenlage (2002/2003).

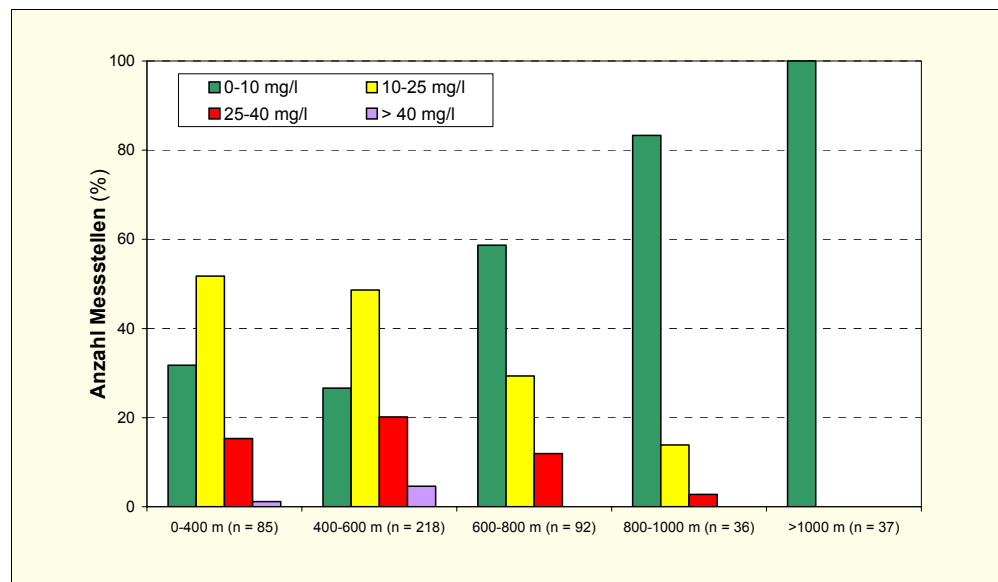


Tabelle 13: Prozentuale Verteilung des mittleren ($\bar{x}$) und maximalen (Max.) Nitratgehalts pro Messstelle in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Zone (2002/2003).

	≤ 10 mg/l		10–25 mg/l		25–40 mg/l		>40 mg/l	
	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)	$\bar{x}$ (%)	Max. (%)
Ackerbauzone (n = 153)	14.4	11.8	50.3	49.0	28.8	30.1	6.5	9.1
Übergangszone (n = 137)	32.8	24.8	56.2	61.3	11.0	11.7	0.0	2.2
Hügelzone (n = 53)	41.5	33.9	37.7	43.4	18.9	18.9	1.9	3.8
Bergzone I-IV (n = 105)	92.4	87.6	7.6	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Sömmerungsgebiet (n = 20)	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

n = Anzahl Messstellen

Abb. 13:
Prozentuale Verteilung des mittleren Nitratgehalts pro Messstelle in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Zone (2002/2003).

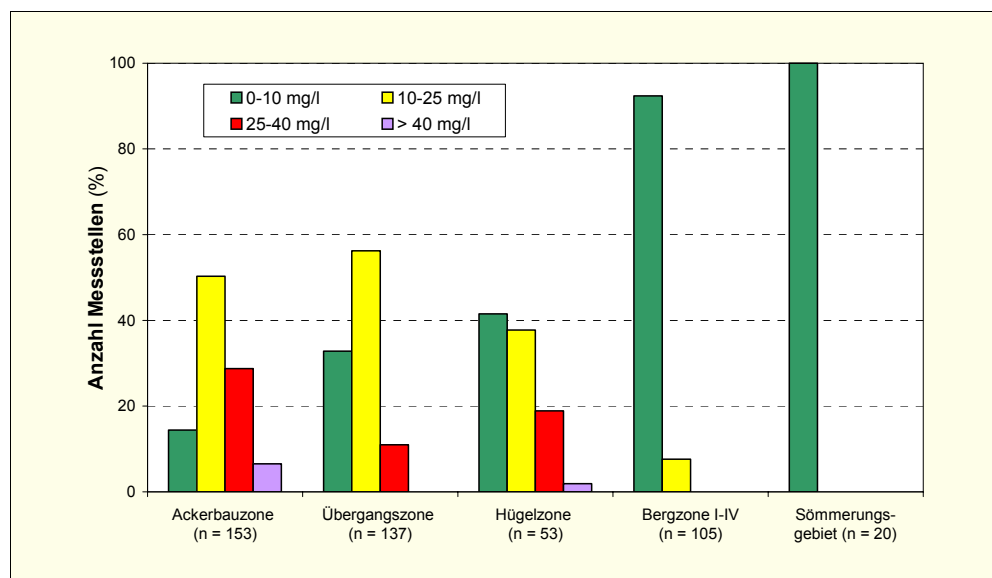
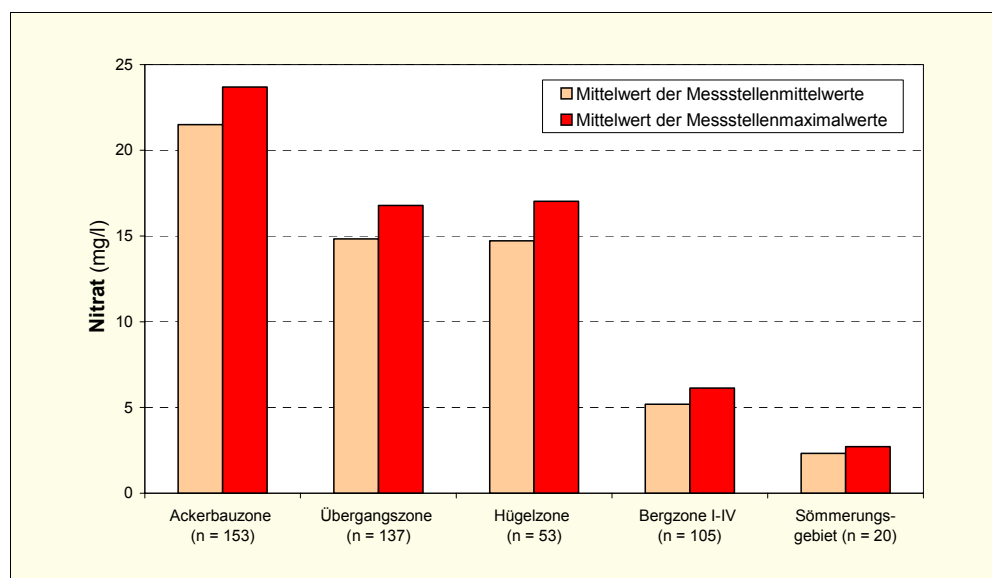


Abb. 14:
Mittelwerte der mittleren und maximalen Nitratgehalte pro Messstelle in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Zone (2002/2003).



Anforderung der GSchV an Grundwasser (max. 25 mg/l) wird fast nur im Mittelland überschritten

2.1.4.2 Beurteilung

Die aktuelle Situation ist eindeutig: Die numerische Anforderung der GSchV^[17] von 25 mg/l wird fast nur in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Tälern und Ebenen des Mittellandes oder in Agglomerationen überschritten, hier allerdings in zum Teil grosser Zahl. In intensiven **Ackerbaugebieten** werden häufig auch Werte über dem Trinkwassertoleranzwert von 40 mg/l gemessen. So weisen in der **Ackerbauzone** rund 39% der untersuchten Messstellen maximale Nitratgehalte >25 mg/l auf, d.h., hier wird die numerische Anforderung der Gewässerschutzverordnung nicht eingehalten (Tab. 13). Bei 52% der Messstellen mit der Hauptbodennutzung **Ackerbau** liegt der maximale Nitratgehalt über der Anforderung der GSchV (Tab. 11). Aber auch in urbanen Gebieten (**Siedlungsraum und Verkehrswege**) finden sich teilweise deutlich erhöhte Nitratgehalte: Hier zeigen 22% der Messstellen maximale Werte über 25 mg/l. In den Gebieten mit **anderen Hauptnutzungsarten** bestehen hingegen meist nur geringe Nitratbelastungen.

Keine erhöhten Nitratgehalte in der Bergzone und im Sömmerungsgebiet

Rund 14% der Messstellen in der **Übergangszone** weisen maximale Nitratgehalte über 25 mg/l auf, in der **Hügelzone** sind es rund 22%. Die im Durchschnitt etwas geringere maximale Nitratbelastung in der Übergangszone gegenüber der Hügelzone könnte damit zusammenhängen, dass sich etliche Messstellen der Übergangszone im Tessin befinden, wo auf Grund der Hauptbodennutzung in der Regel nur eine geringe Nitratauswaschung stattfindet und/oder weil verschiedene Messstellen im Einflussbereich grösserer Fließgewässer liegen (Infiltration von wenig belastetem Oberflächenwasser). Demgegenüber befinden sich die Messstellen in der Hügelzone nur ausnahmsweise im Einflussbereich eines grösseren Fließgewässers. In den höher gelegenen Gebieten der **Bergzone** und des **Sömmerungsgebiets** wurden keine nennenswert erhöhten Nitratgehalte festgestellt.

Der klare Zusammenhang zwischen Hauptbodennutzung und Nitratgehalt zeigt sich auch an der Höhe des **durchschnittlichen maximalen Nitratgehalts** der Messstellen: Bei der Hauptbodennutzung **Ackerbau** liegt der mittlere Maximalgehalt mit 27.5 mg/l deutlich über der numerischen Anforderung der GSchV, während der Wert von 3.4 mg/l für Sömmerungsweiden in etwa der natürlichen Nitratkonzentration unbelasteter Wässer entspricht (Abb. 11).

Bei drei Messstellen in der Kategorie **Wald und unproduktive Gebiete**, die eine Überschreitung der numerischen Anforderung der GSchV anzeigen, besteht zusätzlich zur Lage im Wald ein starker Einfluss durch intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen (vgl. Tab. 11 und Abb. 10).

Die drei Messstellen mit Hauptbodennutzung **Siedlungsraum und Verkehrswege**, bei welchen der Trinkwassertoleranzwert überschritten wird, weisen zusätzlich einen starken Einfluss durch intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen auf.

Erhöhte Nitratgehalte vor allem in Ackerbaugebieten, teilweise auch in Siedlungsgebieten

Es bestätigt sich somit, dass hohe Nitratbelastungen in erster Linie in Ackerbaugebieten und untergeordnet auch in intensiven Siedlungsräumen auftreten. Während die für die hohen Nitratgehalte in Ackerbaugebieten verantwortlichen Prozesse klar sind (vgl. Kapitel 2.1.1), kommen für die Belastungen im Siedlungsbereich verschiedene Mechanismen in Betracht: lecke Abwasserleitungen, lokal stark erhöhter

stelle und Kanton liegen monatliche, vierteljährliche, jährliche, zwei- bis dreijährliche oder unregelmässige Probennahmen vor. Die Probennahmefrequenz ist oft unabhängig von der chemischen Variabilität eines Grundwasservorkommens.

Bei zahlreichen Messstellen änderte sich die Probennahmefrequenz im Lauf der Zeit markant, so dass zu Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraums sehr unterschiedliche Datenmengen vorliegen können.

Die Variabilität der Nitratgehalte wird daher pro Messstelle je nach Kanton und Zeitraum bzw. Jahr unterschiedlich genau bzw. intensiv erfasst. Bei Messstellen mit hoher Variabilität ist die Vergleichbarkeit über den Beobachtungszeitraum nicht gegeben, und auch zwischen den Kantonen können systematische Unterschiede auftreten, da die Variabilität der Nitratgehalte unterschiedlich genau erfasst wurde. Die Mittelwerte der Messstellen sind daher im Laufe der Zeit nicht gleichwertig. Eine unterschiedliche Anzahl Messwerte pro Vergleichsperiode wirkt sich aber auch bei der Betrachtung der gefundenen Maximalwerte negativ aus: Vor allem bei Messstellen mit hoher Variabilität wird hier die Vergleichbarkeit sehr stark eingeschränkt, da die Wahrscheinlichkeit, einen hohen Wert zu finden, bei sinkender Probennahmefrequenz abnimmt. Diese Problematik gilt es insbesondere beim Vergleich mit den in den Jahren 2002 und 2003 erhobenen Daten zu beachten, da hier Werte aus lediglich 2 Jahren vorhanden sind (gegenüber 3 Jahren in den Vergleichsperioden).

Der genaue Entnahmeort der historischen Proben ist oft nicht oder nur unklar dokumentiert. Es kann nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden, dass im Laufe der Zeit für die gleiche Messstelle verschiedene Entnahmeorte beprobt wurden (z.B. bei Fassungen mit mehreren Fassungssträngen, d.h. möglicherweise unterschiedlichen Teileinzugsgebieten).

Einschränkungen der Repräsentativität der untersuchten Stichproben

Die intensivsten Untersuchungen liegen von Grundwasservorkommen mit hohen Nitratgehalten vor, während «problemlose» Grundwasservorkommen eher zurückhaltend untersucht wurden und deren Variabilität somit weniger genau bekannt ist.

Problematische Fassungen werden oft aufgegeben

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Grundwasserfassungen mit zu hohen Nitratgehalten aufgegeben, und es werden dort seither keine Messungen mehr durchgeführt. Dieses Segment an Grundwasservorkommen fällt somit aus der Langzeitbeobachtung heraus, womit das Gesamtbild in unbekanntem Ausmass verfälscht wird.

Im Vergleich zur Gesamtheit der schweizerischen Grundwasservorkommen und deren regionaler Variabilität ist die zur Verfügung stehende Auswahl an Messstellen relativ gering und vor allem regional zu wenig repräsentativ verteilt (für die Entwicklung seit 1989 liegen lediglich Angaben aus 11 Kantonen vor).

Verfügbare Daten

Um bei all diesen Einschränkungen Vergleiche über einen Zeitraum von wenigstens 10 Jahren (seit 1990) anstellen zu können, wurden die vorhandenen Daten über mehrere Jahre zusammengefasst. Es wurden jeweils folgende Jahre zusammengezogen: 1989–1991, 1994–1996, 1999–2001 und 2002/2003 (aktuelle Werte des Messnetzes NAQUA).

**Für 1989–2003:
nur Daten von 158 Mess-
stellen aus 11 Kantonen**

Insgesamt liegen für den Zeitraum von **1989 bis 2001** die Daten von **171** NAQUA-Messstellen aus 11 Kantonen vor. Rund 35% dieser Messstellen betreffen den Kanton Zürich und 19% den Kanton Bern. Wird die Entwicklung **bis 2003** betrachtet, verbleiben lediglich noch **158** Messstellen für die Auswertung (Tab. 14).

Anhand zusätzlicher Daten aus ^[25] und ^[26] konnten weitere 271 Messstellen aus den Kantonen Bern und Zürich für die Periode von 1989 bis 2001 ausgewertet werden und für die Periode von 1994 bis 2001 zusätzlich noch Messstellen aus ^[27], ^[28] und ^[29] (Kantone Aargau, Luzern und Wallis).

Die Auswertung aller verfügbaren Daten – d.h. inkl. jener, die nicht von NAQUA-Messstellen stammen – ergab bei der relativen Veränderung des Nitratgehalts eine derart gute Übereinstimmung mit den Daten von ausschliesslich NAQUA-Messstellen, dass die Interpretation der Entwicklung des Nitratgehalts anhand der Daten aus den 158 NAQUA-Messstellen durchgeführt wurde.

Es versteht sich von selbst, dass diese Daten lediglich Hinweise auf die Richtung bzw. die Grössenordnung von Trends geben, nicht jedoch statistisch erhärtete Aussagen erlauben. Insbesondere muss darauf hingewiesen werden, dass die für die Beurteilung der Langzeitentwicklung zur Verfügung stehende Messstellenauswahl weder regional noch bezüglich Bodennutzung repräsentativ ist.

Entwicklung der Nitratgehalte 1989–2003

Tabelle 14: Veränderung des durchschnittlichen mittleren Nitratgehalts seit 1989.
(Daten von 158 Messstellen aus 11 Kantonen)

durchschnittlicher Nitratgehalt (mg/l)				durchschnittliche Veränderung 1989/91 bis 2002/2003	
1989–1991	1994–1996	1999–2001	2002–2003	mg/l	Prozent
20.9	21.3	19.3	17.2	-3.7	-18

**Stabiler Nitratgehalt
Anfangs bis Mitte 90er-
Jahre**

Zwischen **Anfang und Mitte der 90er-Jahre** lässt sich im Durchschnitt ein leichter Anstieg der Nitratgehalte beobachten. Wegen der eingeschränkten Datenlage kann aber höchstens von einer **stabilen Entwicklung** gesprochen werden. Die beobachtete Veränderung von durchschnittlich 0.4 mg/l liegt klar innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite des Nitratgehalts auf Grund kurzfristiger klimatischer Variationen.

Abnahme Mitte bis Ende 90er-Jahre

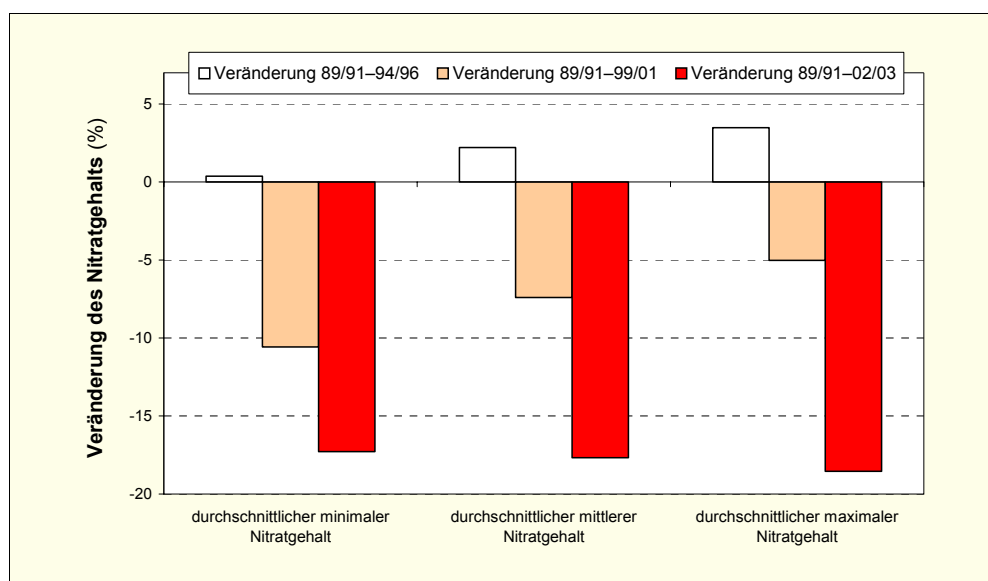
Zwischen **Mitte und Ende der 90er-Jahre** lässt sich eine relativ deutliche Abnahme des mittleren Nitratgehalts von rund 2 mg/l feststellen, was rund 10% des ursprünglichen Nitratgehalts entspricht.

Zwischen **Ende der 90er-Jahre (Periode 1999–2001) und 2002/2003** sank der durchschnittliche mittlere Nitratgehalt gegenüber der Periode 1999–2001 noch einmal um rund 10%.

Abnahme verstärkt sich

Insgesamt lässt sich somit zwischen der Periode 1989–1991 und den Jahren 2002/2003 eine deutlich Abnahme des durchschnittlichen Nitratgehalts in einer Grössenordnung von zwischen 10 und 20% feststellen. Nachdem die mittleren Nitratgehalte bis Mitte der 90er-Jahre praktisch stabil geblieben waren, ist nach ca. 1995 eine deutliche Abnahme des Nitratgehalts zu beobachten, die sich in den letzten Jahren noch verstärkte. Diese Tendenz scheint die ähnliche Entwicklung in Flüssen wie der Glatt oder der Thur, um wenige Jahre verzögert, nachzuvollziehen^[30].

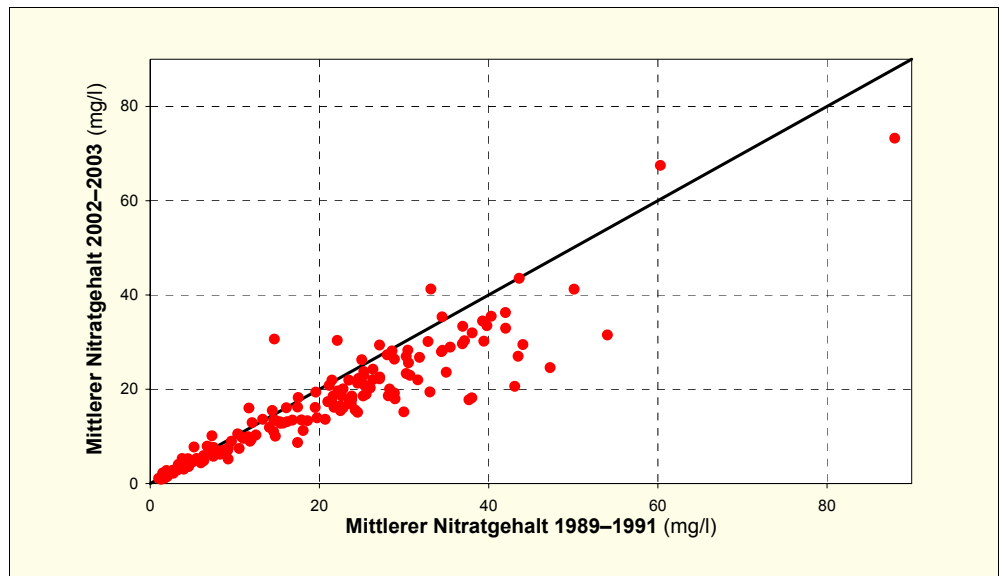
Abb. 15:
Veränderung des durchschnittlichen minimalen, mittleren und maximalen Nitratgehalts zwischen den Perioden 1989–1991, 1994–1996, 1999–2001 und 2002/2003 (158 Messstellen NAQUA).



Bei rund 1/3 der Messstellen keine Abnahme des Nitratgehalts

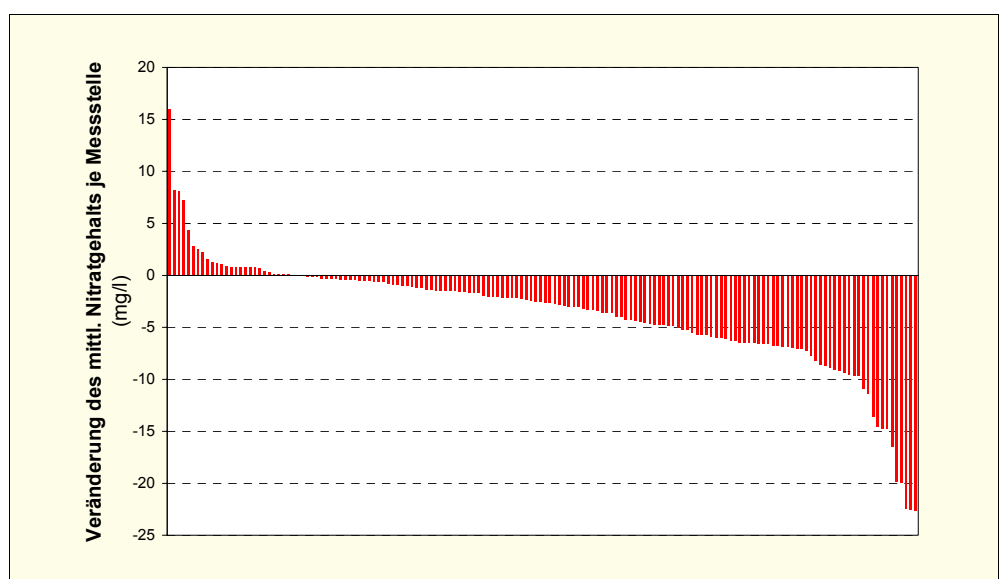
Allerdings kann dieser generelle Trend nicht überall gleich beobachtet werden. Die Variabilität der Veränderung des Nitratgehaltes ist sehr gross (vgl. auch Kapitel 2.1.4.4). Bei rund 68% der Messstellen zeigt sich zwischen den Perioden 1989–1991 und 2002/2003 ein Rückgang des mittleren Nitratgehalts zwischen 1 und 22.7 mg/l, während auf der anderen Seite bei rund 8% der Fassungen eine Zunahme zwischen 1 und 16 mg/l zu beobachten ist (Abb. 16 und 17). Rund 24% der Messstellen zeigen einen stabilen Nitratgehalt (Variation zwischen +1 und –1 mg/l).

Abb. 16:
Verhältnis zwischen dem
mittleren Nitratgehalt
1989–1991 und 2002/2003.
Unveränderte Werte liegen
auf der Geraden durch den
Ursprung (158 Messstel-
len).



Zwischen den einzelnen Hauptbodennutzungen oder den verschiedenen landwirtschaftlichen Zonen lässt sich kein klarer Unterschied in der Abnahme des Nitratgehalts feststellen. Bei allen Auswertungen ergibt sich für alle Hauptbodennutzungen bzw. landwirtschaftlichen Zonen im Durchschnitt eine Reduktion des Nitratgehalts seit der Periode 1989–1991. Je nach Hauptbodennutzung beträgt die durchschnittliche Abnahme des mittleren Nitratgehalts zwischen rund 16 bis 20% des Ausgangswerts der Periode 1989–1991. Diese Aussagen sind jedoch rein qualitativ, da die Anzahl auswertbarer Messstellen pro Bodennutzungsart teilweise sehr gering ist.

Abb. 17:
Zu- bzw. Abnahme des
mittleren Nitratgehaltes
zwischen den Perioden
1989–1991 und 2002/2003
pro Messstelle (158 Mess-
stellen).



Zudem wird die durchschnittliche Abnahme des Nitratgehalts z.B. bei den Hauptbodennutzungen Wald, Sömmerungsweiden und ungenutzte Flächen durch einige wenige Messstellen mit hohem Nitratgehalt bestimmt, bei denen offensichtlich die angenommene Hauptbodennutzung nicht genügend zutrifft. Ohne diese wenigen Messstellen ergibt sich hier kaum eine erkennbare Verminderung des durchschnittlichen Nitratgehalts.

Beurteilung

**Veränderungen in der
Landwirtschaft bewirken
Senkung der Nitratgehalte**

Die anhand der verfügbaren Daten beobachtete Nitratentwicklung seit 1989 ist ein Hinweis darauf, dass allgemeine (ökologische und ökonomische) Veränderungen in der Landwirtschaft zumindest für einen Teil der beobachteten durchschnittlichen Abnahme verantwortlich sind. Welcher Anteil der Nitratentwicklung durch diese Veränderungen in der Landwirtschaft bedingt ist, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Neben den allgemeinen Veränderungen in der Landwirtschaft spielen sicher auch gezielte Massnahmen einzelner Kantone bzw. Wasserversorger im Einzugsgebiet stark belasteter Fassungen eine wichtige Rolle (Sanierungen nach Artikel 62a GSchG^[4], Förderung von Direktsaatprogrammen und Winterbedeckungen, gezielte Extensivierung in Grundwasserschutzzonen S2 usw.). Auf Letzteres könnte auch die bei den Messstellen mit den höchsten Nitratgehalten beobachtete stärkste relative Abnahme des Nitratgehalts hinweisen.

Auch eine Abnahme des Stickstoffeintrags aus der Luft, welche sich aus den seit Ende der 80er-Jahre verminderten Stickoxydemissionen des Verkehrs eigentlich ergeben sollte und die sich vor allem in den dichter besiedelten Gebieten des Mittellandes auswirken dürfte, könnte zu einer sinkenden Nitratbelastung im Grundwasser beitragen. Allerdings liegen für diese Hypothese bis anhin keine aussagekräftigen Daten zur Entwicklung des Stickstoffeintrags aus der Luft vor.

**Abnahme des
Nitratgehalts ist
wahrscheinlich teilweise
auch klimatisch begründet**

Klimatische Entwicklungen (z.B. der extreme Sommer 2003) können zumindest für einen Teil des deutlichen Rückgangs der Nitratgehalte in einigen Messstellen nach der Periode 1999–2001 mitverantwortlich sein. Ein Hinweis auf solche klimatischen Einflüsse sind die ausserordentlich hohen Nitratgehalte, welche in einigen Messstellen im November 2003 und/oder Februar/März 2004 nach durchgehend sehr tiefen Nitratgehalten im Frühling/Sommer 2003 beobachtet wurden.

2.1.4.4 Exemplarische Nitratganglinien

Im Folgenden werden die Nitratganglinien einiger Messstellen seit 1989 dokumentiert. Dabei zeigt sich die Vielfalt der möglichen Entwicklungen des Nitratgehalts, je nach Region, Grundwasserleiter, Hauptbodennutzung usw. Bei den aufgeführten Haupt- und (falls in bedeutendem Umfang vorhanden) Nebenbodennutzungen handelt es sich um die in Kapitel 1.5.2 beschriebenen Typen, die verwendeten Abkürzungen finden sich in Tabelle 3.

Zahlreiche Quellen, teilweise aber auch Grundwasserpumpwerke zeigen unregelmässige grosse Schwankungen des Nitratgehalts (Abb. 20 Messstelle (1), Abb. 21, Abb. 24, Abb. 26, Abb. 29 Messstelle (1)). Aufgrund der bei verschiedenen Messstellen bis anhin zu geringen Probennahmedichte lassen sich dabei weder die Entwicklung des Nitratgehalts noch die Bandbreite und Frequenz der Schwankungen beurteilen (Abb. 21, Abb. 26, Abb. 29 Messstelle (1)). Erst die zeitlich engere Beprobung (beispielsweise bei der Messstelle in Abb. 30 im Rahmen von NAQUA) bringt die zuvor nicht dokumentierte deutlich stärkere Schwankung an den Tag.

Auch wenn – wie in Kapitel 2.1.4.3 aufgezeigt – eine Mehrzahl der seit Ende der 1980er-Jahre dokumentierten Messstellen eine Abnahme des Nitratgehalts aufweist, ist dieser generelle Trend für rund ein Drittel der Messstellen nicht zutreffend. Offensichtlich liegt bei etlichen Grundwasservorkommen eine starke Abhängigkeit von lokalen Begebenheiten, Fassungs- oder kantonsspezifischen Schutzmassnahmen und regional unterschiedlich ausgeprägten Entwicklungen in der landwirtschaftlichen Nutzung vor.

Die zu beobachtenden Tendenzen sind weitgehend unabhängig von der Höhe des Nitratgehalts. Auch bei sehr hohen Nitratgehalten lässt sich sowohl eine deutliche Abnahme wie auch ein mehr oder weniger stabiler Verlauf beobachten, und dies selbst innerhalb der gleichen Region und bei einer fast identischen hydrogeologischen Situation und gleicher Hauptbodennutzung (Abb. 18).

Die mehrheitliche Tendenz zu sinkenden Nitratgehalten ist äusserst unterschiedlich ausgeprägt. So finden sich Messstellen, mit einem Nitratgehaltsmaximum in der ersten Hälfte der 1990er-Jahre (Abb. 18 Messstelle (1), Abb. 25 Messstelle (1), Abb. 28 Messstelle (1)), in der Mitte bis zweiten Hälfte der 1990er-Jahre (Abb. 27 Messstelle (1), Abb. 28 Messstelle (2) und (3)) sowie solche mit einem Maximum Anfangs der 2000er-Jahre (Abb. 19).

Andere Messstellen wiederum zeigen über den ganzen Zeitraum von 14 Jahren praktisch keine längerfristige signifikante Tendenz im Nitratgehalt (Abb. 18 Messstelle (2), Abb. 20 Messstelle (2), Abb. 23 Messstelle (2), Abb. 25 Messstelle (2), Abb. 29 Messstelle (2), Abb. 31).

Etliche Messstellen zeigen eine verstärkte Abnahme des Nitratgehalts seit 2001 oder gar besonders im Jahr 2003, eventuell als Reaktion auf den sehr heissen und trockenen Sommer 2003 (Abb. 18 Messstelle (1), Abb. 19, Abb. 21, Abb. 22, Abb. 23 Messstelle (1), Abb. 28 Messstellen (1) und (3)).

Schliesslich zeigt Abb. 27 den Zusammenhang zwischen gezielten Sanierungsmassnahmen und Nitratgehalt in zwei Messstellen mit praktisch identischer Hauptbodennutzung, Hydrogeologie, Höhenlage und klimatischer Region: während die eine Messstelle (2) aufgrund der Massnahmen in einem Nitratsanierungsprojekt nach Artikel 62a GSchG^[4] eine deutliche Abnahme des Nitratgehalts von rund 45 mg/l auf unter 30 mg/l zeigt, verharrt der Nitratgehalt der zweiten Messstelle (1) nach einem vorübergehenden Anstieg Mitte der 1990er-Jahre auf dem Niveau von Ende der 1980er-Jahre.

Abb. 18:
Zwei Quellen, westl. Mittel-
land (Molasse, 535 (1) bzw.
532 m ü. M. (2)). Hauptbo-
dennutzung AB (1 und 2),
Nebennutzung WA (2).

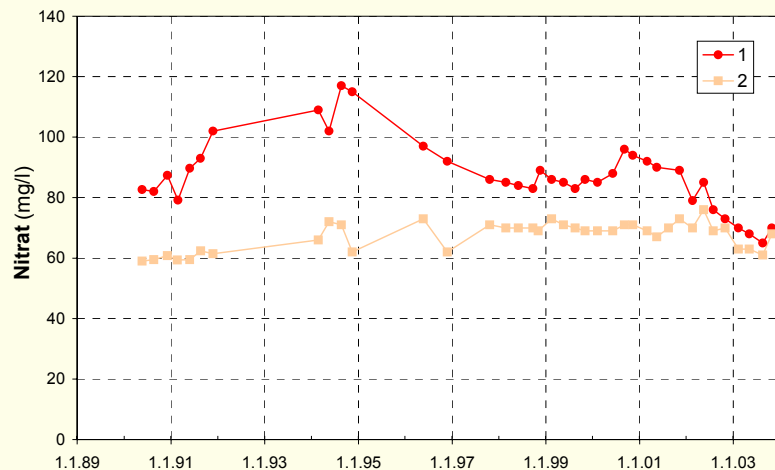


Abb. 19:
Grundwasserpumpwerk,
westl. Mittelland (Schotter
ohne grosses Fließgewäs-
ser, 446 m ü. M.). Haupt-
bodennutzung AB.

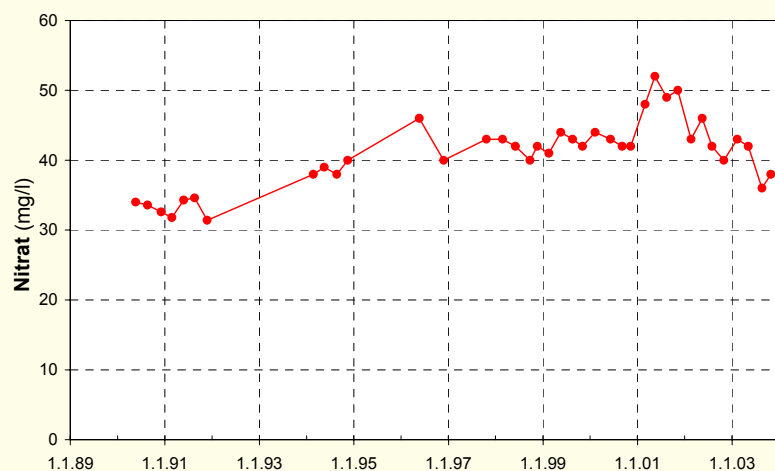


Abb. 20:
Zwei Quellen am Südfuss
des Faltenjuras (Karst, 480
(1) bzw. 490 m ü. M. (2)).
Hauptbodennutzung ÜLW,
Nebennutzung WA.

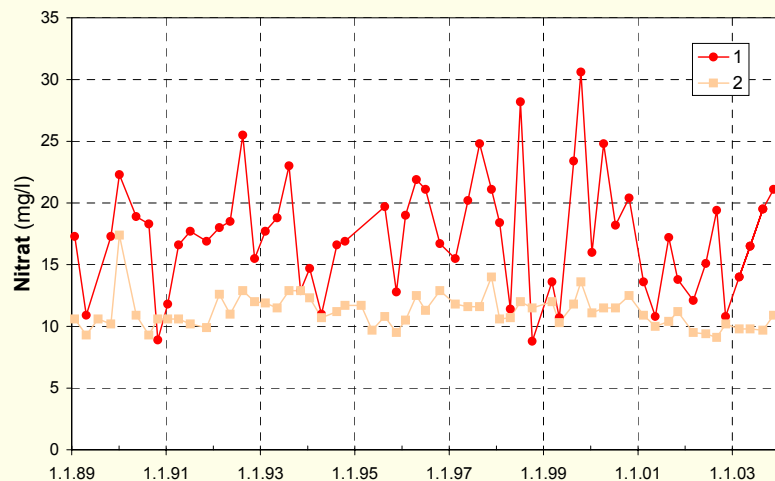


Abb. 21:
Grundwasserpumpwerk,
westl. Mittelland (Schotter,
Einflussbereich eines klei-
neren Fließgewässers,
460 m ü. M.).
Hauptbodennutzung SV,
Nebenbodennutzung ÜLW.

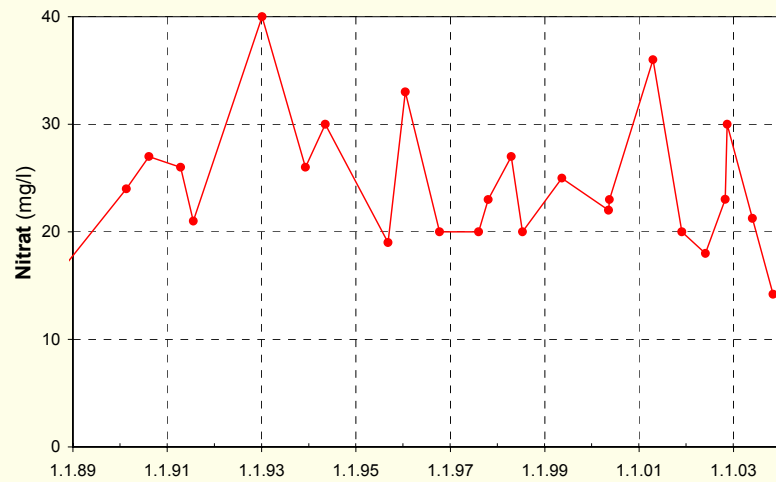


Abb. 22:
Quelle, Mittelland (Moräne
über Molasse, 642 m ü.M.).
Hauptbodennutzung ÜLW,
Nebenbodennutzung WA.

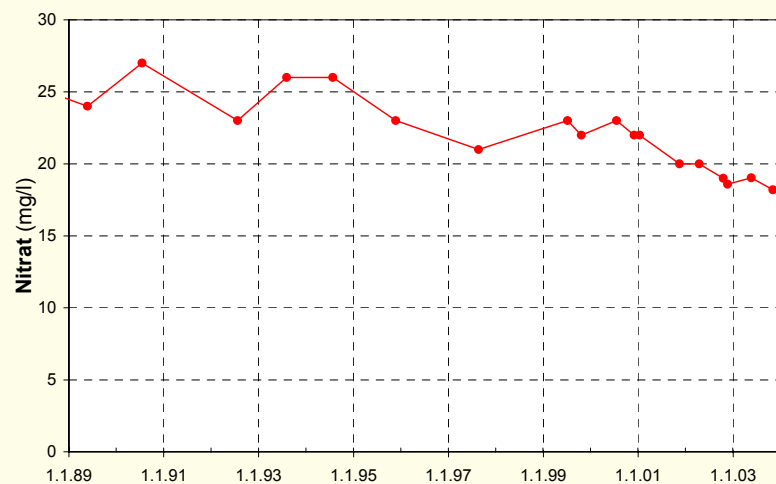


Abb. 23:
Zwei Grundwasserpump-
werke, zentrales Mittelland:
(1) Schotter ausserhalb des
direkten Einflussbereichs
eines Flusses, 525 m ü. M.
Hauptbodennutzung ÜLW,
Nebenbodennutzung AB.
(2) Schotter im Einfluss-
bereich eines kleineren
Fließgewässers, teilweise
reduzierende Bedingungen
im Grundwasserleiter,
439 m ü.M.
Hauptbodennutzung AB.

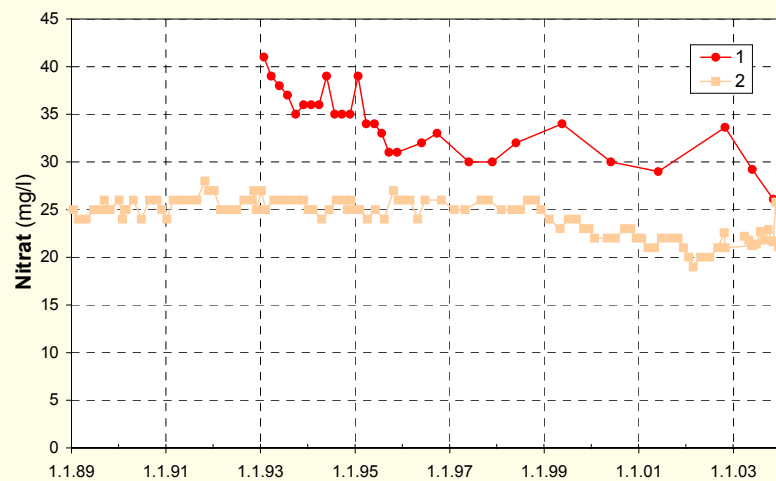


Abb. 24:
Grundwasserpumpwerk,
Nordwestschweiz (Schotter,
267 m ü. M.). Hauptboden-
nutzung SV.

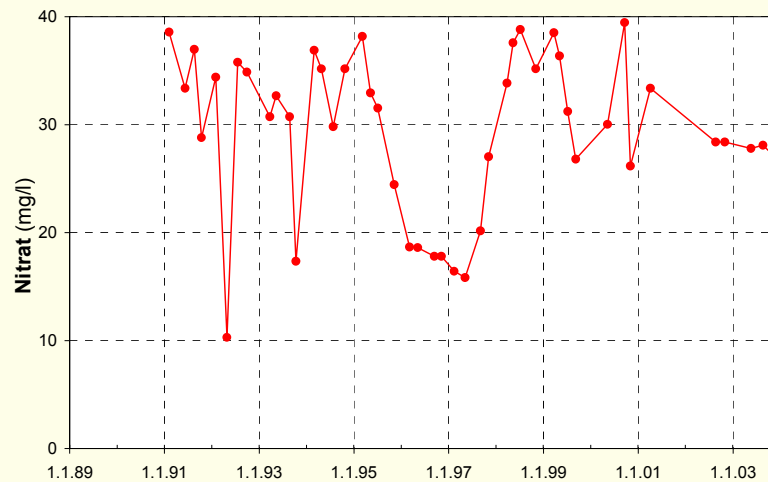


Abb. 25:
Zwei Grundwasserpump-
werke, nordwestl. Mittel-
land: (1) Aaretalschotter,
427 m ü. M. Hauptboden-
nutzung AB, Nebennutzung
WA. (2) Aaretalschotter
(nur ca. 70 m von der Aare
entfernt, 388 m ü. M.).
Hauptbodennutzung SV.

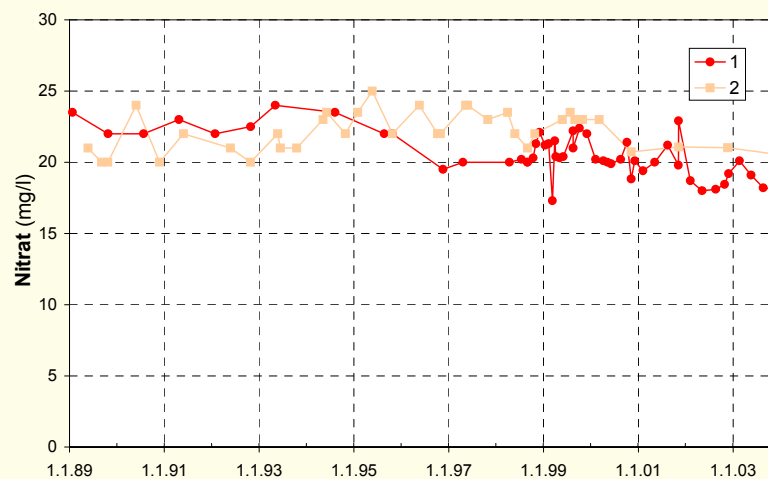


Abb. 26:
Grundwasserpumpwerk,
östl. Mittelland (Schotter
ausserhalb des Einflussbe-
reichs eines Fliessgewäs-
sers, 612 m ü. M.). Haupt-
bodennutzung ÜLW.

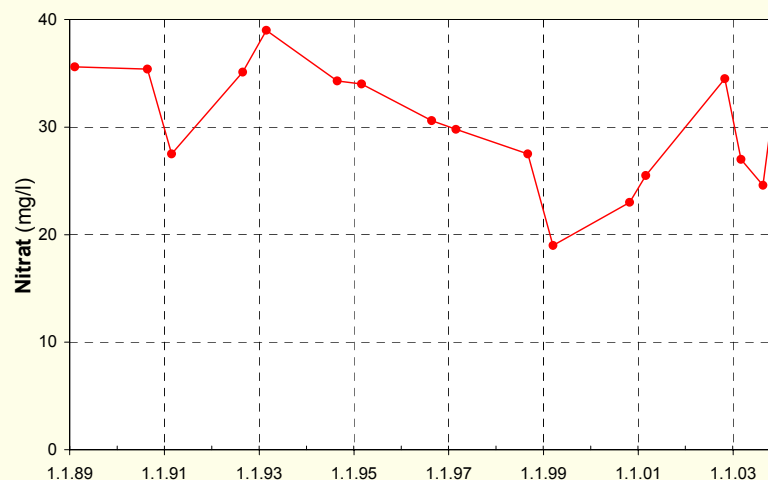


Abb. 27:
Zwei Grundwasserpumpwerke, östl. Mittelland
(Schotter ausserhalb des
Einflussbereichs eines
Fließgewässers,
476 m ü. M. (1), 467 m ü. M.
(2)). Hauptbodennutzung
AB; Nebenbodennutzung
(1) SV.

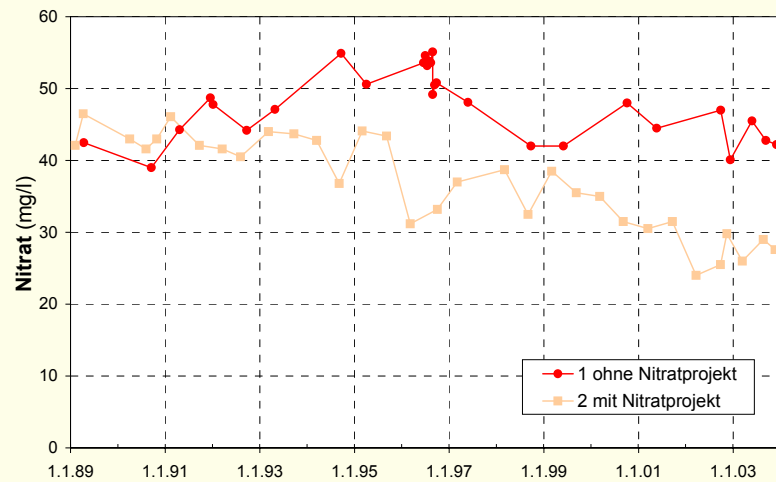


Abb. 28:
Drei Grundwasserpumpwerke, östl. Mittelland. (1)
Schotter, Einflussbereich eines
kleinen Fließgewässers,
436 m ü. M. Hauptbodennutzung
SV, Nebenbodennutzung AB. (2) Schotter,
Einflussbereich eines
mittleren Fließgewässers,
371 m ü. M. Hauptbodennutzung
WA, Nebenbodennutzung AB. (3) Schotter,
Einflussbereich eines grossen
Fließgewässers, 387 m ü. M.
Hauptbodennutzung SV.

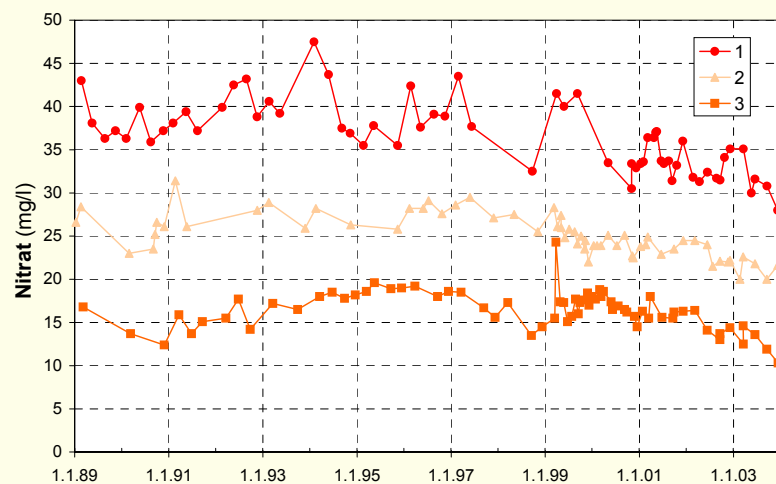


Abb. 29:
Zwei Grundwasserpumpwerke, östl. Mittelland, in
derselben Gemeinde
(Schotter ausserhalb des
Einflussbereichs eines
Flusses, 549 m ü. M. (1),
539 m ü. M. (2)). Hauptbodennutzung
ÜLW (1) bzw.
SV (2).

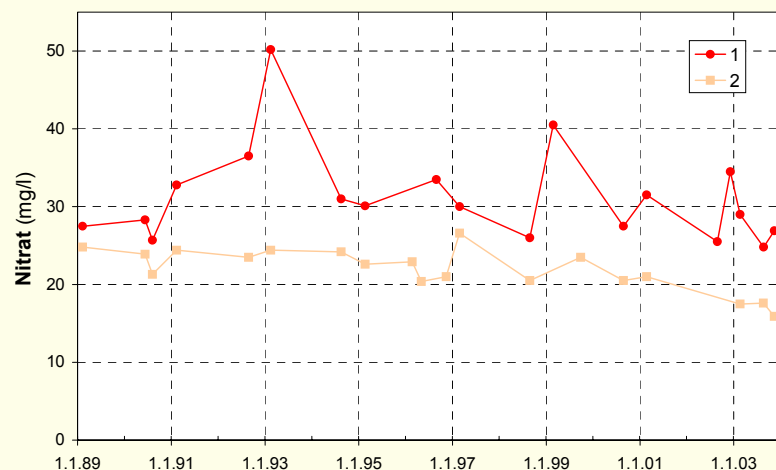


Abb. 30:
Quelle, Zentralschweiz
(Voralpen, 630 m ü. M.).
Hauptbodennutzung WA,
Nebennutzung AJ.

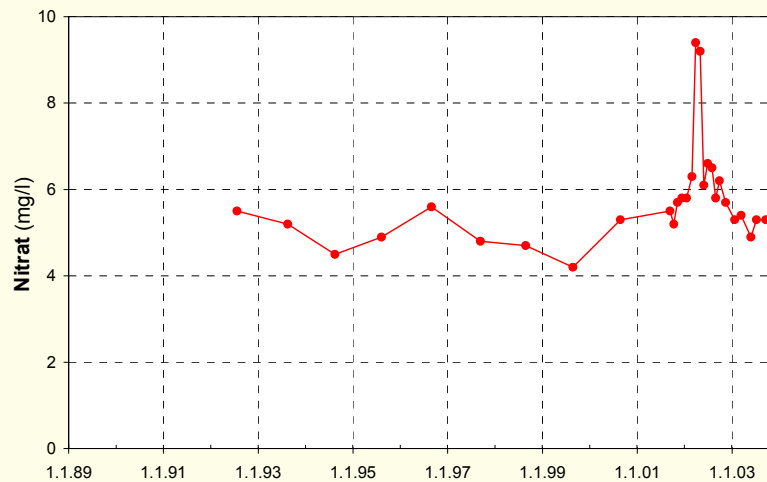
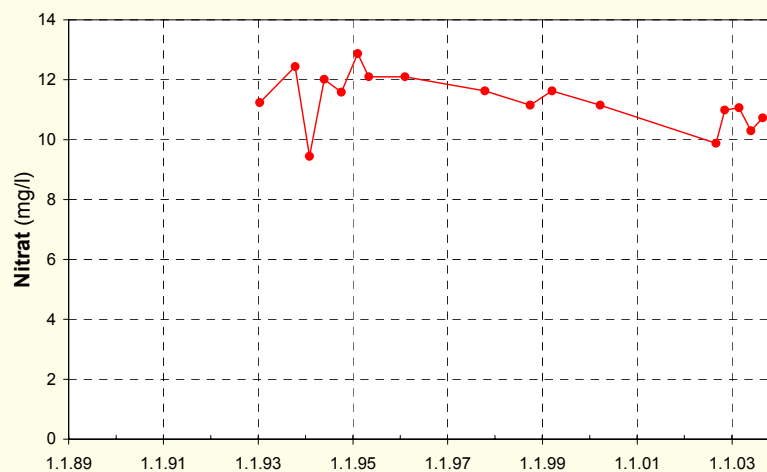


Abb. 31:
Grundwasserpumpwerk,
Alpensüdseite (Schotter
entlang eines kleineren
Flusses, 328 m ü. M.).
Hauptbodennutzung ÜLW,
Nebennutzung SV.



2.2 Pflanzenschutzmittel (PSM)

2.2.1 Einleitung

Über 350 PSM-Wirkstoffe in der Schweiz zugelassen

In der Schweiz sind über 350 organisch-synthetische Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe zur Anwendung zugelassen, welche in über 1000 verschiedenen Produkten zum Verkauf gelangen (Herbizide, Insektizide, Akarizide, Fungizide, Saatbeizmittel, Rodentizide, Wachstumsregulatoren usw.)^[31,32]. Im Jahr 2002 wurden in der Schweiz rund 1600 bis 1700 Tonnen PSM verkauft^{[33]15}.

Den grössten Anteil der verkauften PSM weisen die Fungizide und Saatbeizmittel (rund 48%), gefolgt von den Herbiziden (rund 43%) und den Insektiziden (rund 8%) auf. Das in der Schweiz meistverkaufte organisch-synthetische PSM ist das Totalherbizid Glyphosat (rund 165 t), gefolgt vom Fungizid Folpet (rund 111 t). Das wohl bekannteste PSM, das Totalherbizid Atrazin, rangiert mit rund 36 t auf Rang 7 der organisch-synthetischen PSM.

Die gesamte Verkaufsmenge ist dabei seit mehreren Jahren deutlich rückläufig, im Jahr 1990 betrug sie noch rund 2400 bis 2500 t.

Neben Veränderungen im agrarpolitischen Umfeld und der Einführung von wirksameren PSM spielten auch gesetzliche Massnahmen vor allem bei den Herbiziden eine wichtige Rolle beim Rückgang der verkauften PSM-Mengen. Seit den 1980er-Jahren wurden laufend verschärfte Anwendungseinschränkungen für Herbizide, insbesondere für Triazine, erlassen: generelles Anwendungsverbot für Herbizide entlang von zunächst öffentlichen, später auch privaten Strassen, Wegen und Plätzen, generelles Verbot des Einsatzes von Triazinen bei Eisenbahnanlagen und in Karstgebieten sowie ausserhalb des Maisanbaus, massive Reduktion der erlaubten Höchstmengen pro Hektare usw.

Die verschiedenen PSM-Wirkstoffe weisen stark unterschiedliche Eigenschaften auf, welche auch die Wahrscheinlichkeit einer Auswaschung ins Grundwasser beeinflussen: Wasserlöslichkeit, Dampfdruck, Abbaubarkeit unter verschiedensten Bedingungen auf der Pflanze, im Boden oder im Grundwasser, Adsorptionseigenschaften an Bodenpartikeln. Im Weiteren spielt auch die von Verwendungszweck und Wirkungsweise abhängige Anwendungsart eine Rolle: direkt auf den Boden (z.B. Bodenherbizide wie Atrazin oder Isoproturon) oder auf die Pflanze (z.B. das Blattherbizid Glyphosat oder die meisten Fungizide). Auch die je nach PSM-Wirkstoff und dessen Verwendungszweck unterschiedlichen Anwendungsmengen, -zeitpunkte und -häufigkeiten beeinflussen die Wahrscheinlichkeit der Auswaschung.

¹⁵ Die in ^[33] für 2002 effektiv angegebene Menge beträgt 1525 t, die erfassten Daten repräsentieren jedoch nur rund 90 bis 95% des gesamten schweizerischen Marktes^[34].

**Anforderung der GSchV
an Grundwasser:
maximal 0.1 µg/l**

Die Gewässerschutzverordnung^[17] formuliert als ökologisches Ziel für Grundwasser, dass keine langlebigen künstlichen Substanzen – also auch keine PSM – darin enthalten sein sollten¹⁶. Aus Vorsorgegründen wurde zudem eine numerische Anforderung an genutztes oder zur Nutzung vorgesehenes Grundwasser von 0.1 µg/l für jede PSM-Einzelsubstanz in der GSchV festgelegt. Für Trinkwasser gilt in der FIV^[18] ein lebensmittelrechtlicher Toleranzwert von ebenfalls 0.1 µg/l je Einzelsubstanz bzw. von 0.5 µg/l für die Summe aller PSM-Substanzen.

**Verschiedenste Parameter
beeinflussen die PSM-
Auswaschung**

Die Auswaschung grösserer Mengen an PSM ins Grundwasser ist auf Grund der chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Substanzen in der Regel wenig wahrscheinlich. Um die numerische Anforderung von 0.1 µg/l im Grundwasser zu überschreiten, reichen jedoch bereits sehr geringe Verlustraten der ausgebrachten PSM: So genügt bei einer Anwendungsmenge von 1 kg/ha theoretisch die Auswaschung von rund 0.04% der ausgebrachten Menge (bei einer jährlichen Grundwasserneubildung von 350 l/m²) um die numerische Anforderung im Grundwasser zu erreichen. Damit ist die Gefahr einer Grundwasserverunreinigung auch bei geringen Auswaschungsraten gross.

Neben den Stoffeigenschaften spielen weitere Faktoren eine wichtige Rolle beim Eintrag von PSM ins Grundwasser: Hydrogeologische Eigenschaften des Grundwasserleiters (Karst, Lockergestein, Kluftgestein), Bodeneigenschaften und -mächtigkeit (z.B. Ton-, Sand- und Humusgehalt), Vorhandensein so genannter präferenzzieller Fliesswege (z.B. Kiesnester oder Trockenrisse im Boden), Infiltration von Fliessgewässern, Hangneigung, Niederschlagsgeschehen vor, während und nach der Anwendung, Distanz des Anwendungsgebiets zur Messstelle usw. Schliesslich kann auch unsachgemässer Umgang mit PSM wie z.B. zu hohe Anwendungsmengen, falscher Anwendungszeitpunkt, Missachtung von Anwendungsbeschränkungen oder vorschriftswidrige Beseitigung von Spritzmittelresten zum Eintrag von PSM ins Grundwasser führen.

**PSM-Auswaschung:
in der Regel kein
kontinuierlicher Vorgang**

Aus der Kombination von Stoffeigenschaften, Niederschlagsgeschehen, Einsatzzeitpunkt der PSM und Eigenschaften des Grundwasserleiters ergibt sich, dass der Eintrag von PSM ins Grundwasser in der Regel kein kontinuierlicher Vorgang ist und sich von Jahr zu Jahr stark unterscheiden kann. So kann z.B. auch ein rasch abbaubares PSM ins Grundwasser ausgewaschen werden, wenn kurz nach der Anwendung (und noch vor einem wesentlichen Abbau des PSM) ein grösseres Niederschlagsereignis erfolgt. Eignet sich kein solches Niederschlagsereignis, wird der Stoff hingegen das Grundwasser in der Regel nicht erreichen. Demgegenüber können schlecht abbaubare PSM wie z.B. das Atrazin auch dann ins Grundwasser gelangen, wenn auf die Anwendung eine monatelange Trockenperiode folgt.

Der Nachweis von PSM im Grundwasser hängt im Weiteren auch vom Zeitpunkt der Probennahme ab: Ein schnell abbaubares PSM kann nur dann im Grundwasser nachgewiesen werden, wenn einerseits vor seinem Abbau eine Grundwasserneubil-

¹⁶ Anhang 1 Ziffer 2 Absatz 3 Buchstabe b GSchV.

derung stattfindet und andererseits die Probennahme nur kurze Zeit nach dem Eintrag ins Grundwasser erfolgt. Auch gut wasserlösliche PSM können oft nicht nachgewiesen werden, da sie wegen ihrer guten Löslichkeit sehr rasch ausgewaschen werden und daher für eine erfolgreiche Probennahme nur ein kurzes Zeitfenster offen steht. Demgegenüber hängt der Nachweis von schlecht abbaubaren und wenig wasserlöslichen PSM wie dem Atrazin viel weniger stark vom Probennahmezeitpunkt ab.

Um ins Grundwasser gelangte PSM mit Sicherheit nachweisen und die auftretenden Höchstbelastungen erkennen zu können, müsste die Probennahme daher gezielt auf die eingesetzten Stoffe, den Einsatzzeitpunkt, die pedologischen und hydrogeologischen Standortverhältnisse und die Entwicklung des Niederschlagsgeschehens im Einzugsgebiet abgestimmt werden. Dies ist in einem grossräumigen Beobachtungsnetz mit regelmässigen Stichproben wie NAQUA sowohl aus organisatorischen als auch aus finanziellen Gründen ausgeschlossen.

**Auch Abbauprodukte und
Beistoffe gelangen ins
Grundwasser**

Neben den eigentlichen PSM-Wirkstoffen können auch Abbauprodukte (so genannte Metaboliten), welche beim Abbau der Wirkstoffe entstehen, sowie produktionsbedingte Verunreinigungen und Beistoffe¹⁷ ins Grundwasser gelangen. Bekannte Abbauprodukte sind z.B. Desethylatrazin oder Desisopropylatrazin (aus Atrazin) oder AMPA (aus Glyphosat). Eine produktionsbedingte Verunreinigung des Atrazins ist das in der Schweiz nicht zugelassene Herbizid Propazin.

2.2.2 Durchgeführte Analysen

Die unterschiedlichen Stoffeigenschaften der PSM widerspiegeln sich in den zur Analyse der einzelnen Stoffe notwendigen Methoden. Für nur knapp ein Drittel der zugelassenen Wirkstoffe existieren routinemässige Analyseverfahren^[35] und auch von diesen Substanzen sind häufig bloss rund 5 bis 10 in der Schweiz zugelassene PSM-Wirkstoffe in die Analytikprogramme verschiedener Labors aufgenommen.

Im Rahmen von NAQUA wurde daher ein aus lediglich 5 PSM-Wirkstoffen und 2 Abbauprodukten bestehendes Grundprogramm definiert, welches je nach Möglichkeiten des ausführenden Labors erweitert wurde: Atrazin, Desethylatrazin, Desisopropylatrazin, Diuron, Isoproturon, Simazin, Terbutylazin (vgl. Kap. 1.4.3.2).

Aus diesem Grund liegen je nach Messstelle Analysen einer z.T. stark unterschiedlich hohen Anzahl PSM-Substanzen vor (Tab. 15 und 16).

¹⁷ Stoffe, welche die Wirkung des PSM unterstützen; z.B. organische Lösungsmittel wie Trimethylbenzol, Ethylbenzol oder Xylol bei gewissen Insektiziden.

Tabelle 15: PSM-Analysen 2002; Anzahl analysierter Stoffe und Messstellen.

Anzahl analysierter Stoffe	davon in der Schweiz zugelassene Wirkstoffe	Anzahl Messstellen	Kantone
7	5	87	AG, BS, GE, GR, NAQUA _{TREND}
8	6	24	BL
11	8	4	LU
13	8	42	AG, NW, OW, SZ
13	10	18	LU
21	18	29	SG
22	18	3	JU
23	19	33	BE, SO
43	32	56	FR, NE, VD
49	39	4	ZH
56	29	115	BE, TG, VS, ZG, ZH

Insgesamt sind aus dem Jahr 2002 Analysen für 97 verschiedene PSM-Wirkstoffe und Abbauprodukte verfügbar, maximal 884 Analysen pro Wirkstoff (z.B. Atrazin), minimal 4 Analysen (z.B. Bentazon). Davon sind 62 als Wirkstoffe in der Schweiz zugelassen. Für lediglich 13 davon liegen Resultate aus mehr als der Hälfte der untersuchten Messstellen vor, bei 16 Wirkstoffen liegen Resultate für weniger als 10% der Messstellen vor. Die detaillierten Zahlen für alle untersuchten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten finden sich in Anhang 1.

Tabelle 16: PSM-Analysen 2003; Anzahl analysierter Stoffe und Messstellen.

Anzahl analysierter Stoffe	davon in der Schweiz zugelassene Wirkstoffe	Anzahl Messstellen	Kantone
7	5	158	AG, BE, GE, SG, TI, NAQUA _{TREND}
9	6	23	BL
10	8	1	BS
11	6	1	AI
13	7	10	GR
13	8	16	NW, OW, SZ, UR
13	10	22	LU
22	18	37	BE, JU, SO
43	31	57	FR, NE, VD
52	40	9	ZH
56	30	95	SO, TG, VS, ZG, ZH
67	46	8	BS
78	54	3	BS

Im Jahr 2003 wurden 124 verschiedene PSM-Wirkstoffe und Abbauprodukte untersucht, mit maximal 1114 Analysen pro Wirkstoff (z.B. Atrazin), minimal 1 Analyse (Terbacil). 79 dieser Substanzen sind als Wirkstoffe in der Schweiz zugelassen. Für lediglich 9 in der Schweiz zugelassene Wirkstoffe liegen Resultate aus mehr als der Hälfte der untersuchten Messstellen vor, bei 32 Wirkstoffen liegen Resultate für weniger als 10% der Messstellen vor.

2.2.3 Resultate

PSM: Überblick

Wie beim Nitrat sind auch für die PSM aus den Jahren 1997 bis 2001 Resultate aus 2 (1997) bis 39 (2001) Messstellen vorhanden. Trotz der relativ hohen Bestimmungsgrenze von 0.05 µg/l und der Beschränkung auf 7 untersuchte Wirkstoffe und Abbauprodukte wurden in diesen Jahren in 18% der Messstellen PSM nachgewiesen. Häufigster gefundener Wirkstoff war das Atrazin (Mittelwert der 13 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 317 Analysen) = 0.107 µg/l, Maximalwert = 0.24 µg/l). Wegen der beschränkten Aussagekraft der Erhebungen vor 2002 werden nachfolgend nur noch die Daten ab 2002 berücksichtigt.

2002 und 2003 wurden 415 bzw. 440 Messstellen untersucht (in beiden Jahren zusammen 455¹⁸), in 60% der Messstellen wurden PSM nachgewiesen. Häufigster gefundener Stoff war das Abbauprodukt Desethylatrazin (Mittelwert der 821 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 1998 Analysen) = 0.066 µg/l, Maximalwert = 1.17 µg/l; Tab. 17).

Tabelle 17: Die sechs am häufigsten gefundenen PSM-Substanzen 2002/2003 (detaillierte Resultate aller untersuchten Substanzen siehe Anhang 1).

Substanz	BG (µg/l)	Messstellen			Messungen			Statistik (nur Messungen ≥ BG)					
		n	≥BG	>Limite	n	≥BG	>Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
2002													
Desethylatrazin	0.002–0.05	414	194	26	884	379	45	0.003	0.920	0.065	0.040	0.025	0.070
Atrazin	0.002–0.05	414	153	18	884	277	27	0.001	0.797	0.046	0.025	0.017	0.046
Simazin	0.002–0.05	414	72	1	884	121	1	0.001	0.128	0.016	0.011	0.009	0.020
Terbutylazin	0.001–0.05	414	35	1	882	42	2	0.004	0.130	0.020	0.012	0.008	0.022
Desisopropyl- atrazin	0.005–0.05	413	30	1	852	45	2	0.008	0.147	0.029	0.020	0.016	0.033
Propazin	0.01–0.05	276	11	0	529	13	0	0.010	0.025	0.013	0.010	0.010	0.017
2003													
Desethylatrazin	0.002–0.05	439	184	29	1114	442	59	0.003	1.17	0.067	0.040	0.022	0.071
Atrazin	0.002–0.05	439	172	21	1114	368	44	0.053	0.029	0.015	0.059	0.053	0.029
Simazin	0.002–0.05	439	97	1	1114	200	2	0.017	0.012	0.008	0.020	0.017	0.012
Desisopropyl- atrazin	0.005–0.05	438	41	1	1101	79	2	0.009	0.12	0.028	0.021	0.015	0.031
Terbutylazin	0.001–0.05	439	32	0	1114	32	0	0.016	0.010	0.008	0.017	0.016	0.010
Cyanazin	0.001–0.02	165	16	1	421	17	1	0.010	0.138	0.025	0.014	0.013	0.020

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl; Limite = Anforderung nach GSchV⁽¹⁷⁾ (0.1 µg/l)

¹⁸ Die höhere Zahl untersuchter Messstellen für den Zusammenschluss beider Jahre ergibt sich daraus, dass eine gewisse Anzahl Messstellen jeweils nur in einem Jahr untersucht wurde.

Die Auswertung der Resultate erfolgte ausschliesslich anhand der ermittelten maximalen PSM-Gehalte. Auf die Interpretation mittlerer Gehalte wurde bewusst verzichtet, da mittlere Gehalte aus diversen Gründen kaum sinnvolle Daten ergeben und nur eine rein qualitative Interpretation zulassen: unterschiedliche Bestimmungsgrenzen der verschiedenen Laboratorien für die gleiche Substanz, unbekannter effektiver PSM-Gehalt bei Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze, unterschiedliche Anzahl Messungen pro Messstelle, Jahr und Jahreszeit (vgl. 1.5.1).

33 verschiedene Substanzen wurden nachgewiesen

2002 und 2003 konnten insgesamt 21 verschiedene in der Schweiz zugelassene Wirkstoffe (2002: 19, 2003: 16) und 12 (2002: 7, 2003: 9) nicht zugelassene Wirkstoffe oder Abbauprodukte nachgewiesen werden.

95% aller Nachweise betreffen Triazine

Von total 2218 PSM-Nachweisen 2002 und 2003 entfielen 645 oder 29% auf das Totalherbizid Atrazin und 821 bzw. 37% auf sein Abbauprodukt Desethylatrazin. Insgesamt machen Atrazin und seine Abbauprodukte 72% aller Nachweise aus. Die beiden Herbizide Atrazin und Simazin sind zusammen mit den Abbauprodukten des Atrazin für 86%, alle Herbizide aus der Gruppe der Triazine und deren Abbauprodukte zusammen gar für 95% aller Nachweise verantwortlich (Abb. 32).

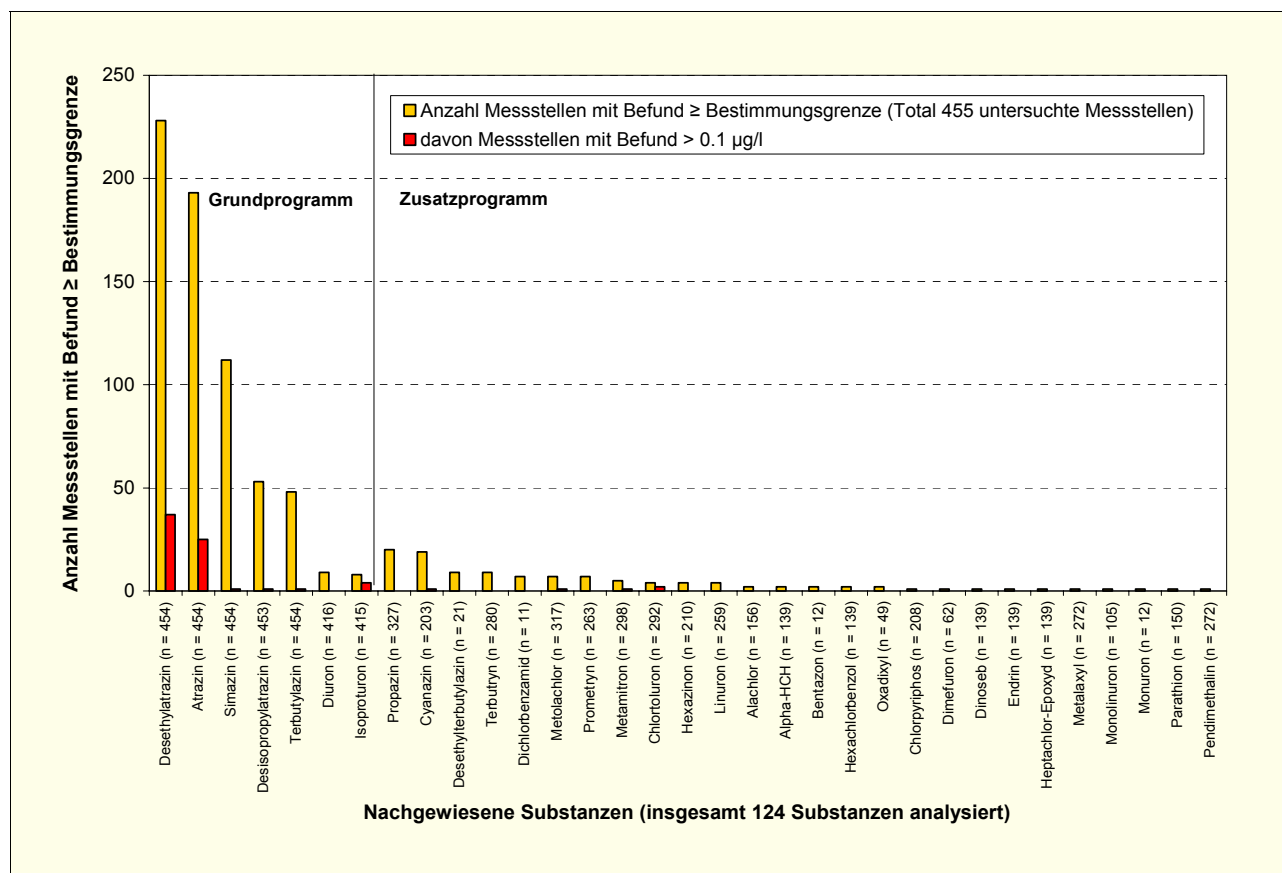


Abb. 32: 2002 und 2003 nachgewiesene PSM-Substanzen. Die Zahlen in Klammern bezeichnen die Anzahl untersuchter Messstellen pro Substanz.

Insgesamt weisen in den Jahren 2002 und 2003 rund 60% der untersuchten Messstellen einen positiven Befund auf, bei rund 12% wurde die numerische Anforderung der GSchV^[17] an Grundwasser in Bezug auf PSM¹⁹ mindestens ein Mal überschritten. Tabelle 18 zeigt zudem auf, in wie vielen Messstellen der Trinkwassertoleranzwert der FIV²⁰ überschritten wurde.

Tabelle 18: PSM, Anteil Messstellen mit PSM-Nachweis und maximaler Gehalt einer Einzelsubstanz in den untersuchten Messstellen.

Total untersuchte Messstellen: 455 (2002 = 415; 2003 = 440).

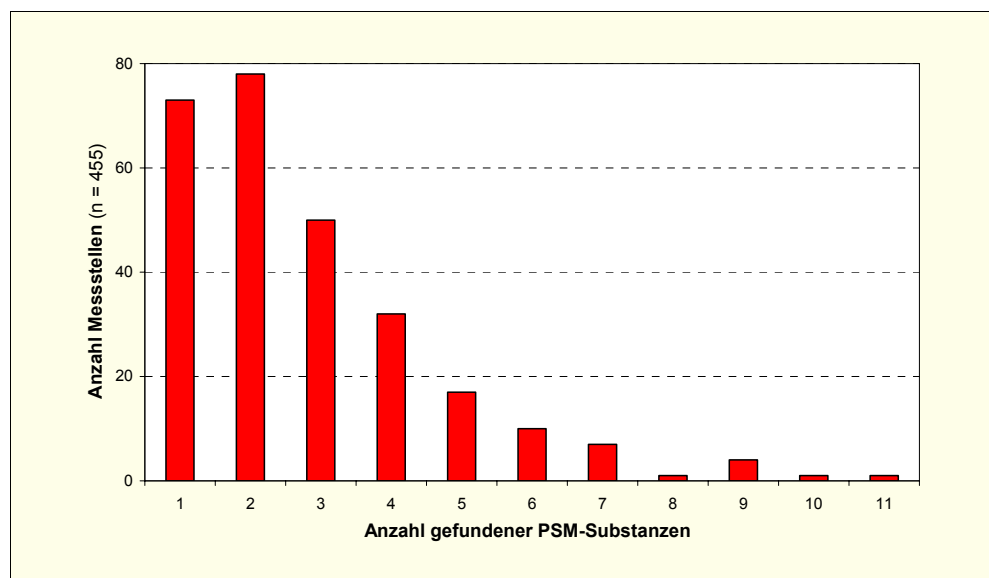
Jahr	≥BG		≥BG, ≤0.01 µg/l		0.01–0.05 µg/l		0.05–0.1 µg/l		>0.1 µg/l		Summe PSM >0.5 µg/l	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	224	54	19	5	117	28	50	12	38	9	7	2
2003	223	51	16	4	120	27	49	11	38	9	6	1
02/03	274	60	24	5	140	31	57	13	53	12	9	2

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl Messstellen

Maximal 11 Substanzen in einer Messstelle

Beim grössten Teil der untersuchten Messstellen mit positivem PSM-Befund konnten 1 bis 3 verschiedene Substanzen nachgewiesen werden, im schlechtesten Fall jedoch bis zu 11 (Abb. 33).

Abb. 33:
2002 und 2003 nachgewiesene Anzahl verschiedener PSM-Wirkstoffe je Messstelle (lediglich 5 Wirkstoffe wurden in praktisch allen Messstellen untersucht, 2 weitere Substanzen in 90% der Messstellen).



¹⁹ Anhang 2 Ziffer 22 GSchV: «Anforderung an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist» = 0.1 µg/l je Einzelstoff.

²⁰ 0.1 µg/l je Einzelstoff bzw. 0.5 µg/l für die Summe der organischen Pestizide.

In der Messstelle mit den meisten nachgewiesenen Substanzen wurden gefunden:

Alachlor, Atrazin, Cyanazin, Desethylatrazin, Desisopropylatrazin, Metalaxyl, Metamitron, Metolachlor, Prometryn, Terbutryn und Terbutylazin.

Es handelt sich dabei um ein Grundwasservorkommen im Landwirtschaftsgebiet, wenn auch im weiteren Abstrombereich einer Chemiefabrik, von Eisenbahngeleisen, Siedlungsraum und ehemaligen Kiesabbaustellen. Altlasten aus Produktion und Verlad von Pflanzenschutzmitteln sowie der Deponierung von Produktionsresten sind hier nicht völlig ausgeschlossen.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass nur 5 Substanzen in praktisch allen Messstellen untersucht wurden, weitere 2 Substanzen noch in rund 90% der Messstellen. Alle übrigen Substanzen wurden lediglich in 0.7 bis maximal rund 60% der Messstellen untersucht.

Abbildung 34 zeigt die räumliche Verteilung der 2002 und 2003 gemessenen maximalen Gehalte eines Einzelstoffes pro Messstelle (maximal 17 Analysen pro Messstelle).

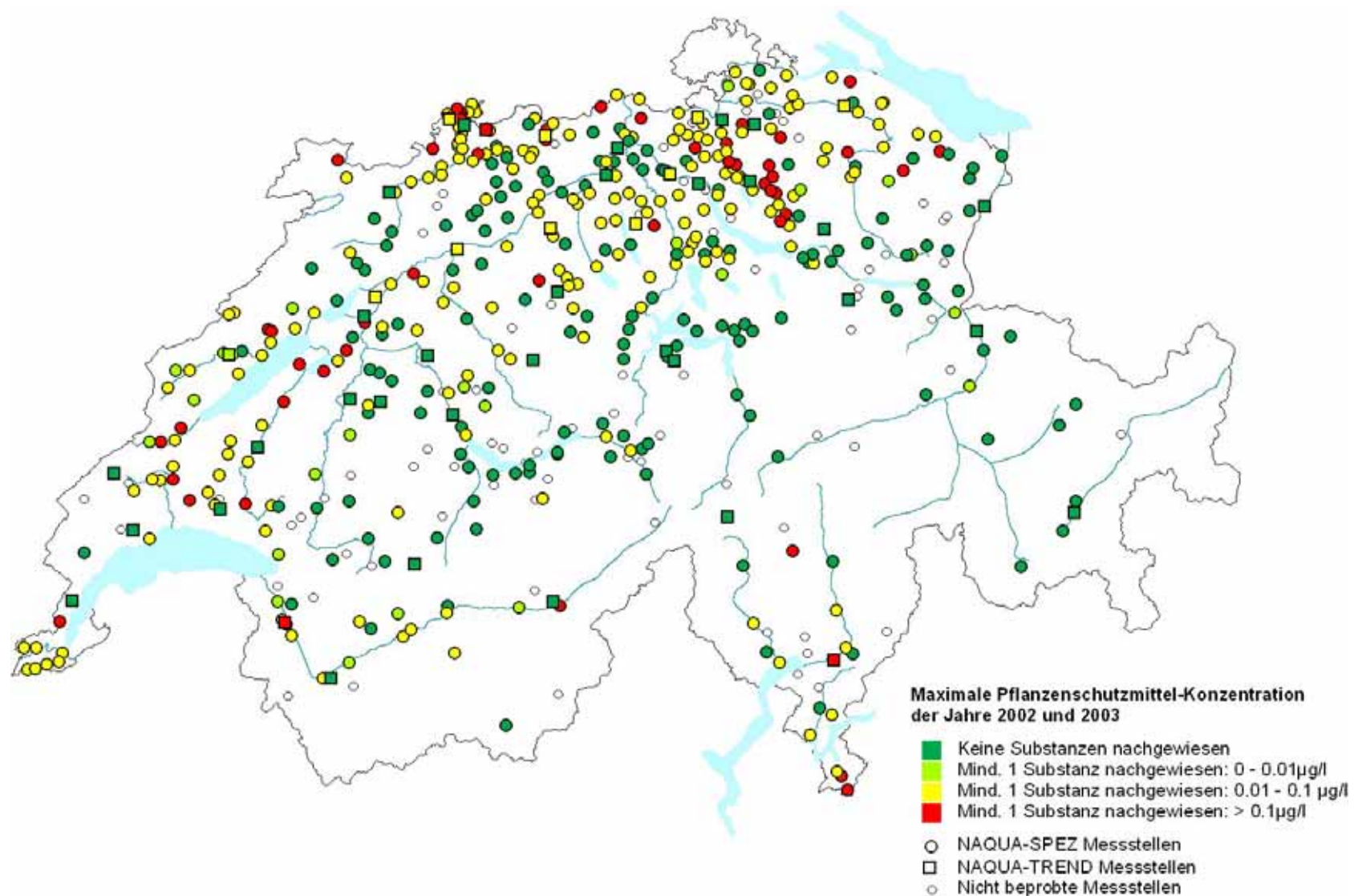


Abb. 34: Maximale PSM-Gehalte (Einzelstoffe) der untersuchten Messstellen in den Jahren 2002/2003 (kartografische Grundlage^[22]).
Die Kategorie <0.01 µg/l wurde separat ausgeschieden, weil nur wenige Labors in der Lage sind, so tiefe Gehalte nachzuweisen.

In 40% der Messstellen wurde in mehr als der Hälfte der Analysen PSM nachgewiesen

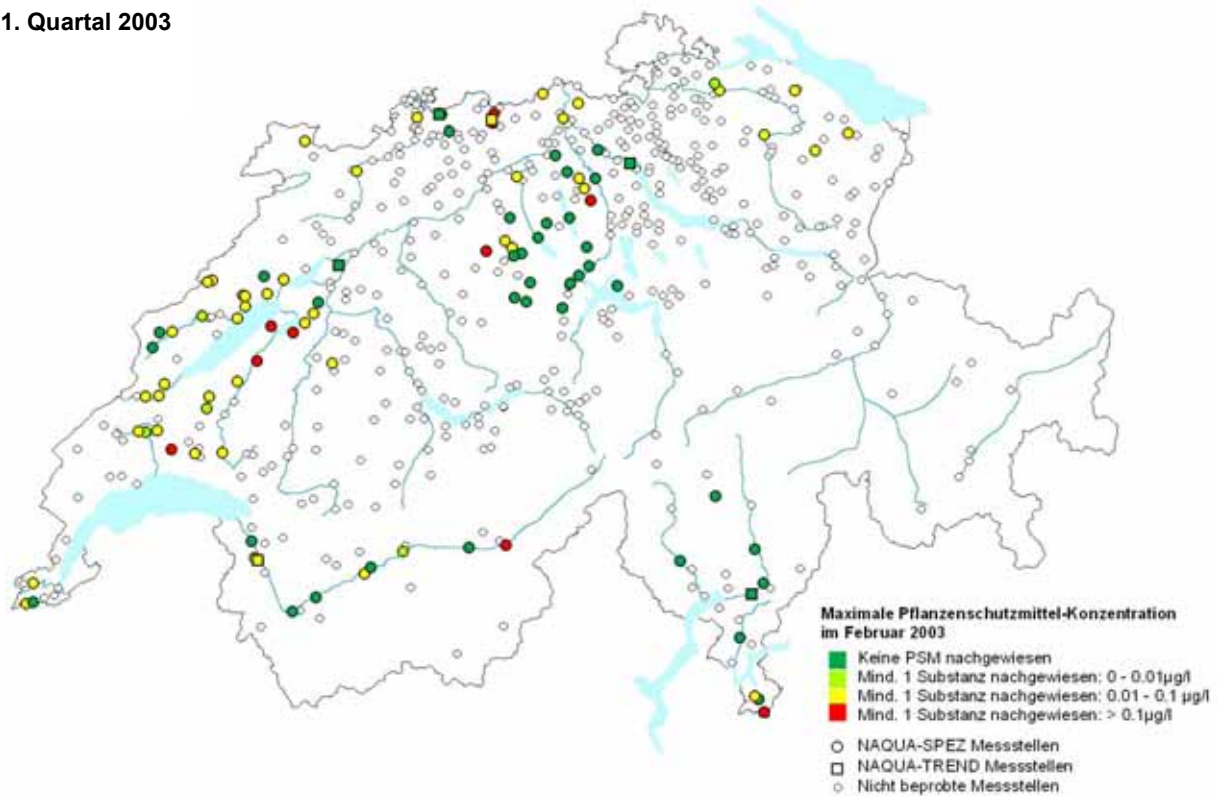
Da nicht alle Messstellen die gleiche Anzahl Analysen in den Jahren 2002 und 2003 aufweisen, ist eine Beurteilung der Häufigkeit des PSM-Nachweises nur beschränkt möglich. Tabelle 19 zeigt diese Nachweishäufigkeit. Bei 182 Messstellen (40% der untersuchten Messstellen, in Tabelle 19 grün und gelb unterlegte Felder) wurden in mehr als 50% der Untersuchungen PSM nachgewiesen, bei 138 Messstellen sogar bei jeder Untersuchung (30%, gelb unterlegte Felder). Demgegenüber weisen 69 Messstellen (15%, blau unterlegte Felder) nur sporadisch nachweisbare PSM-Belastungen auf, die im Einzelfall allerdings auch die numerische Anforderung der GSchV^[17] von 0.1 µg/l deutlich überschreiten können.

Tabelle 19: Häufigkeit der positiven PSM-Befunde 2002/2003 (Erklärung der Farben siehe Text).

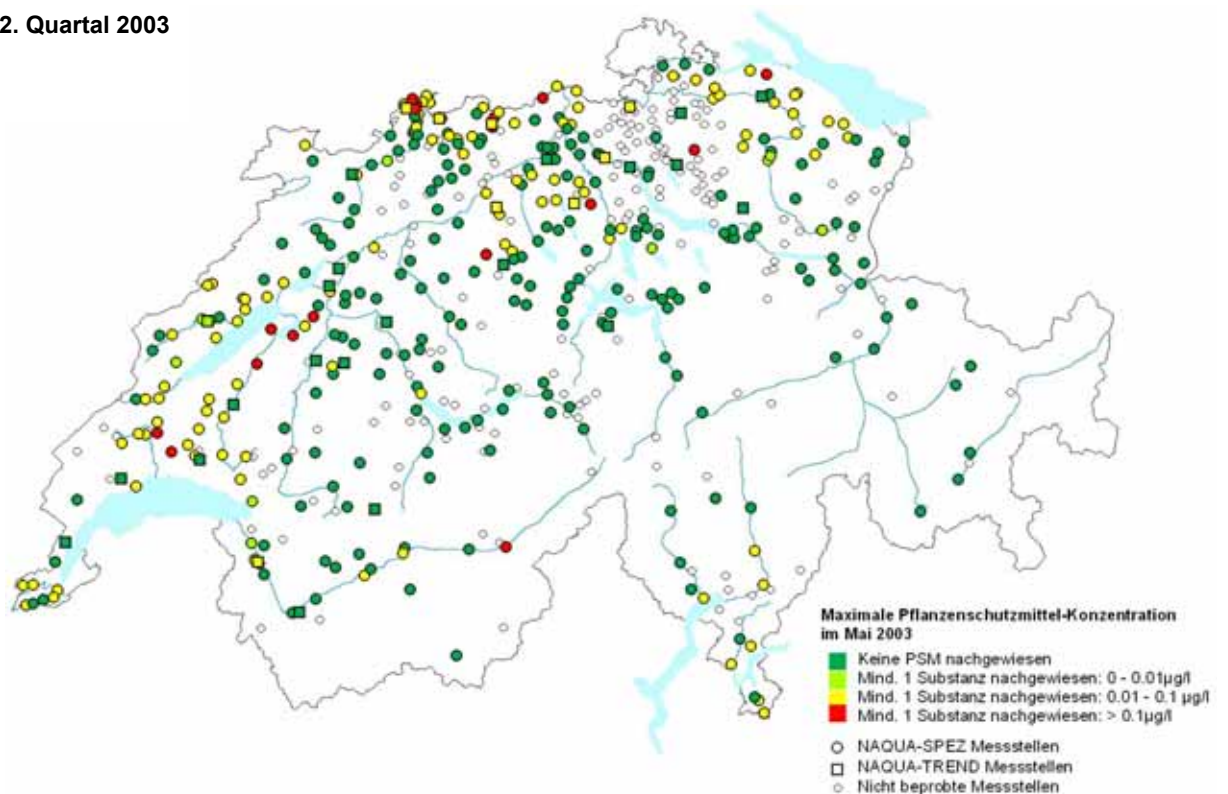
Anzahl Analysen pro Messstelle	Anzahl Messstellen	Anzahl positiver Befunde								
		1	2	3	4	5	6	7	8	>8
		Anzahl Messstellen je Anzahl positiver Befunde								
1	6	6								
2	26	8	18							
3	44	11	7	26						
4	57	17	10	8	22					
5	39	7	3	1	4	24				
6	28	5	4	4	1	6	8			
7	51	11	3	1	3	1	8	24		
8	19	1	2	2	0	0	1	3	10	
>8	4	2	0	1	0	0	0	1	0	0
Total	274	68	47	43	30	31	17	28	10	0

Die regionale Verteilung der Häufigkeit des PSM-Nachweises lässt sich aus Abb. 35 ersehen, in welcher die quartalsweisen Probennahmen des Jahres 2003 einzeln dargestellt sind. Dabei ist zu beachten, dass mehrere Kantone im ersten Quartal 2003 aus operationellen Gründen noch nicht an den Untersuchungen teilnehmen konnten.

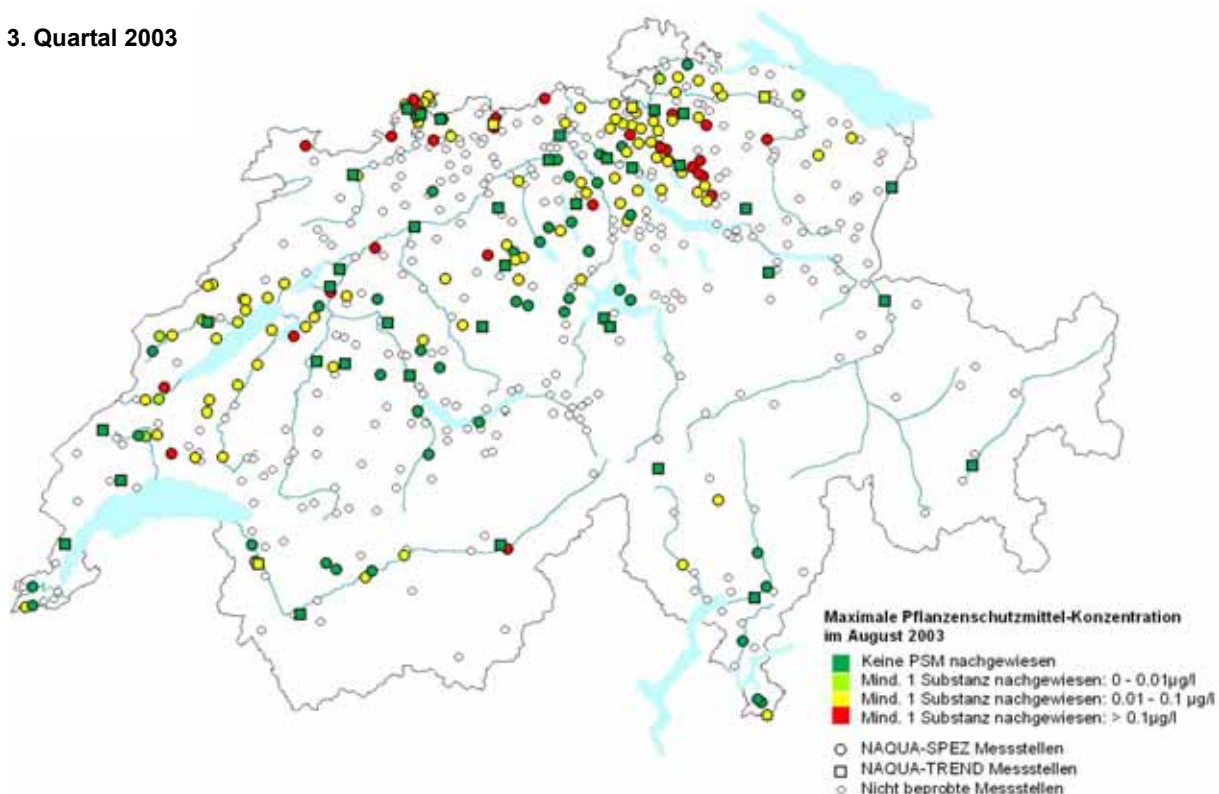
1. Quartal 2003



2. Quartal 2003



3. Quartal 2003



4. Quartal 2003

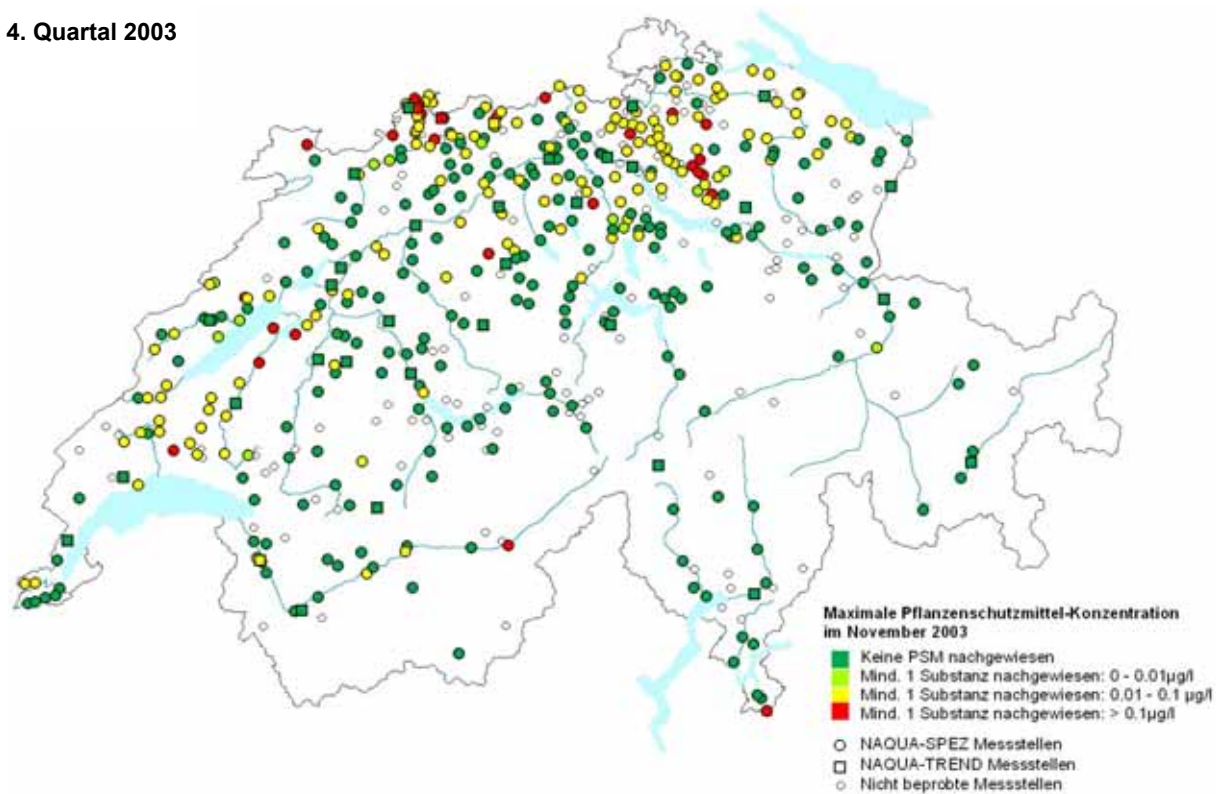


Abb. 35: Quartalsweise PSM-Analysen 2003 (kartografische Grundlage^[22]).

PSM: Verteilung der PSM-Nachweise in Abhängigkeit von Hauptbodennutzung und Höhenlage

Die Interpretation der PSM-Nachweise in den verschiedenen untersuchten Grundwasservorkommen erfolgte nach den gleichen Grundsätzen wie beim Nitrat (vgl. Kap. 1.5.2).

Abb. 36:
Prozentuale Verteilung der PSM-Befunde sowie des maximalen PSM-Gehalts >0.1 µg/l (Einzelstoff) in Abhängigkeit der Hauptbodennutzung (2002/2003).

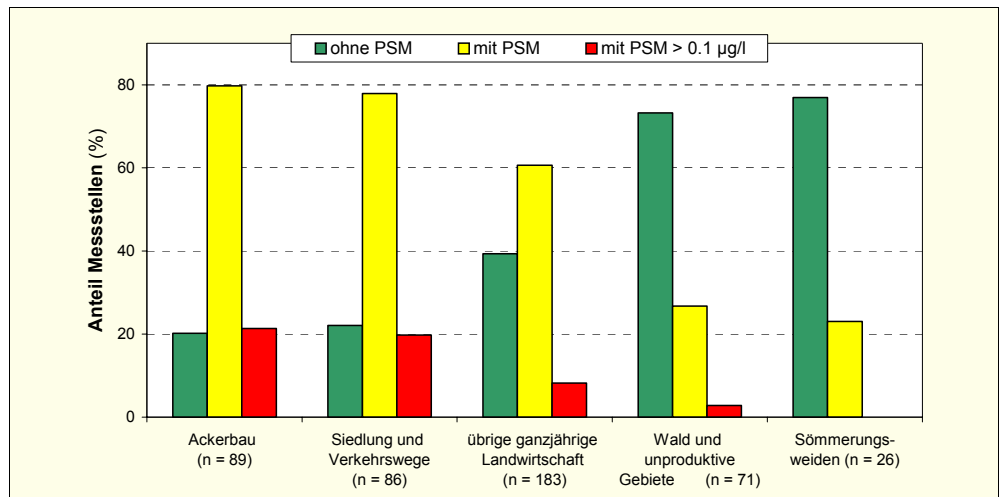


Abb. 37:
Prozentuale Verteilung der PSM-Befunde sowie des maximalen PSM-Gehalts >0.1 µg/l (Einzelstoff) in Abhängigkeit der Höhenlage der Messstelle (2002/2003).

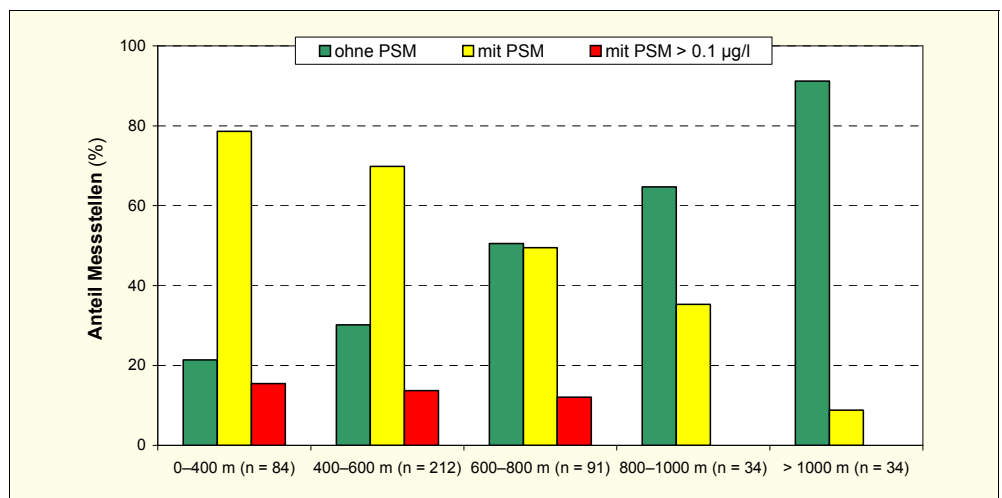
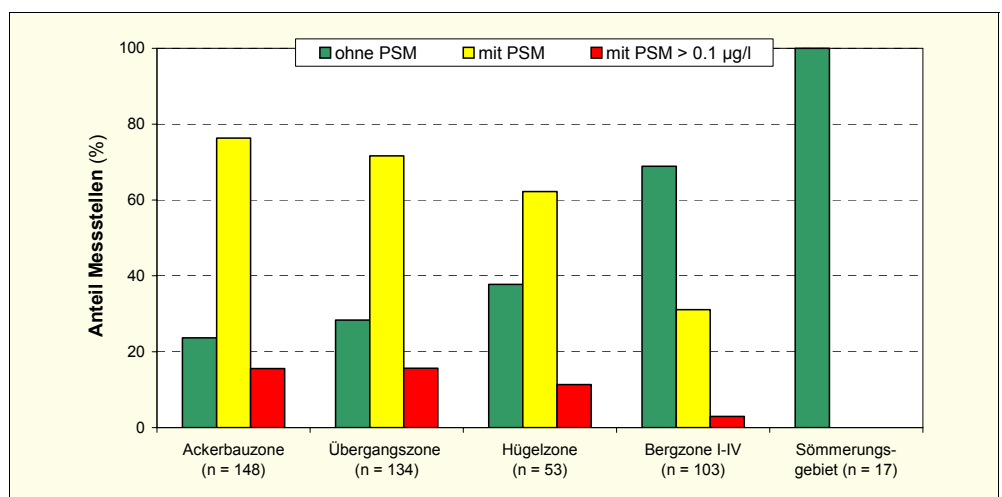


Abb. 38:
Prozentuale Verteilung der PSM-Befunde sowie des maximalen PSM-Gehalts 0.1 µg/l (Einzelstoff) in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Zone (2002/2003).



2.2.4 Beurteilung

Die Resultate der PSM-Untersuchungen im Rahmen von NAQUA weisen in erster Linie jene PSM-Wirkstoffe und Abbauprodukte nach, die in allen routinemässigen Analytikprogrammen enthalten sind und/oder deren Verhalten in der Umwelt ein mehr oder weniger permanentes Auftreten im Grundwasser bewirkt. Dies ist insbesondere bei Atrazin und seinem Abbauprodukt Desethylatrazin sowie weiteren Triazininen der Fall.

Demgegenüber werden schnell abbaubare und/oder gut wasserlösliche Stoffe nur selten oder gar nicht gefunden, auch wenn sie kurzfristig im Grundwasser vorhanden sein sollten (vgl. 2.2.1). Dies gilt ebenso für aufwändig zu analysierende Stoffe, die nur in wenigen Messstellen oder überhaupt nicht untersucht werden konnten. Es ist zudem auch wenig wahrscheinlich, dass bei stark variierenden PSM-Gehalten die eigentlichen Belastungsspitzen mit der bestenfalls vierteljährlichen Stichprobennahme erfasst werden können.

Aus einem fehlenden Nachweis kann also nicht mit Sicherheit geschlossen werden, dass der entsprechende Stoff im Grundwasser nicht vorkommt. Genauso wenig lässt sich aus den gefundenen Belastungen schliessen, dass dies die maximal zu erwartenden Belastungen in den schweizerischen Grundwasservorkommen sind.

**Über einige wichtige PSM
sind zurzeit keine
Aussagen möglich**

Über einige wichtige und in grossen Mengen angewendete PSM-Wirkstoffe wie z.B. das Glyphosat können zurzeit keine Aussagen gemacht werden. Hier existiert keine routinemässig anwendbare Analysemethode, und im Rahmen von NAQUA konnte dieser Stoff deshalb bis anhin nicht untersucht werden.

Insgesamt ist die Situation bei den PSM ähnlich wie beim Nitrat: Belastete Grundwasservorkommen finden sich in erster Linie im Talgebiet (Ackerbau-, Übergangs- und Hügellzone bis max. rund 800 m) und in intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteten oder besiedelten Gebieten. Während allerdings beim Nitrat die Belastung in Ackerbaugebieten deutlich höher ist als im Siedlungsbereich, ist sie bei den PSM zwischen diesen beiden Hauptbodennutzungen kaum unterscheidbar. Zudem finden sich im Gegensatz zum Nitrat erhöhte PSM-Belastungen auch ausserhalb des Mittellandes, im Rhonetal, im Tessin und im Jura.

Hier zeigen sich zwei wesentliche Unterschiede zum Nitrat: Einerseits treten erhöhte Nitratgehalte vor allem in Gebieten mit intensivem Ackerbau auf, während PSM auch in anderen landwirtschaftlichen Kulturen wie Obst- und Rebbau oder Gemüsebau, in Baumschulen, Privatgärten, Sportanlagen, auf Industriearealen oder entlang von Verkehrswegen in grösseren Mengen eingesetzt werden oder bis in jüngste Vergangenheit eingesetzt wurden. Andererseits ist das Auswaschungsverhalten von Nitrat und PSM stark unterschiedlich, so dass bei den PSM bereits die Auswaschung eines minimalen Anteils der ausgebrachten Menge genügt, um das Grundwasser zu verunreinigen, während beim Nitrat deutlich höhere Mengen im Boden vorhanden sein und ausgewaschen werden müssen, bevor eine echte Verunreinigung des Grundwassers vorliegt.

80% der untersuchten
Messstellen in Einzugs-
gebieten mit Ackerbau
oder Siedlungen weisen
PSM auf

In von **Ackerbau** bzw. **Siedlungen** dominierten Einzugsgebieten weisen rund 80% der Messstellen Spuren von PSM auf, gegenüber 60% in der Gesamtheit der untersuchten Messstellen. Die numerische Anforderung der GSchV von 0.1 µg/l wird hier in rund 20% der Messstellen überschritten. Der durchschnittliche maximale Gehalt an PSM (**nur Messstellen mit PSM-Nachweis berücksichtigt**) liegt in Ackerbau- wie in Siedlungsgebieten in einer ähnlichen Grössenordnung (0.12 bzw. 0.09 µg/l). Diese beiden Hauptbodennutzungen unterscheiden sich somit kaum in Bezug auf PSM-Nachweise. Allerdings muss auch festgestellt werden, dass aufgrund der kleinräumigen intensiven Nutzung in den Ackerbau- und Siedlungsgebieten bei vielen Messstellen eine saubere Trennung der verschiedenen Nutzungsarten kaum möglich ist.

Demgegenüber zeigen sich in den übrigen Hauptbodennutzungen deutlich niedrigere mittlere PSM-Maximalgehalte: **übrige Landwirtschaft** 0.06 µg/l, **Wald und unproduktive Gebiete** 0.05 µg/l. Auf eine Auswertung der Sömmerungsweiden wurde verzichtet, da hier lediglich 6 von 26 untersuchten Messstellen einen PSM-Nachweis ergaben.

Oberhalb von 800 m
bestehen nur geringe
Belastungen

Alle Messstellen mit Werten >0.1 µg/l liegen **unterhalb von 800 m**; hier liegt der Anteil Messstellen, in welchen die numerische Anforderung der GSchV^[17] von 0.1 µg/l überschritten wird, bei rund 14% (gegenüber rund 12% insgesamt. Vereinzelte PSM-Nachweise finden sich aber auch in Messstellen **oberhalb von 1000 m**, allerdings nur mit sehr geringen Konzentrationen. Hier könnte es sich um Rückstände sporadischer Anwendungen entlang von Erschliessungsstrassen, auf verunkrauteten Flächen in der unmittelbaren Umgebung von Viehtränken und Alpökonomiegebäuden oder z.B. in Gärten von Ferienhäusern handeln.

Bei rund einem Viertel aller untersuchten Messstellen überschreitet der maximale PSM-Gehalt 0.05 µg/l und somit die Hälfte der numerischen Anforderung der GSchV von 0.1 µg/l. Bei mehr als einem Drittel der untersuchten Messstellen übersteigt die maximale Summe aller gefundenen PSM-Substanzen diesen Wert von 0.05 µg/l.

Ein Teil der Atrazin-
Nachweise geht auf
frühere Anwendung
entlang von Eisenbahn-
linien zurück

Ein Teil der gefundenen **Atrazin-** bzw. **Desethylatrazin-**Spuren kann vermutlich auf Rückstände aus der Atrazin-Anwendung entlang von Eisenbahnlinien bis Ende der 80er-Jahre des letzten Jahrhunderts zurückgeführt werden. Hier liegen also eigentliche Altlasten vor. Eine Analyse der wahrscheinlichen Einzugsgebiete zeigt jedoch, dass sich diese Hypothese bei mindestens 50% der positiven Befunde von Atrazin bzw. Desethylatrazin ausschliessen lässt, liegt doch in diesen Fällen mit grösster Wahrscheinlichkeit keine Eisenbahnlinie im Einzugsgebiet. Allerdings kann auch die Herkunft aus der Anwendung von Atrazin entlang von Strassen, Wegen oder Plätzen nicht ausgeschlossen werden.

Das Verhältnis des Abbauproduktes Desethylatrazin (DEA) zu seiner Ausgangssubstanz Atrazin mag einen Hinweis auf das Alter der gefundenen Rückstände geben: Je höher dieses Verhältnis ist, umso wahrscheinlicher ist es, dass die gefundenen

Rückstände älteren Datums sind und es sich nicht um Rückstände aus einer rezenten Anwendung handelt. Allerdings dürften auch natürliche Phänomene zu einem raschen Abbau von Atrazin führen, womit auch bei rezenter Anwendung des Atrazins ein hoher DEA-Anteil vorliegen kann. Umgekehrt können für den Abbau des Atrazins ungünstige Bedingungen im Untergrund auch bei relativ alten Atrazindepots dazu führen, dass im Verhältnis zum Atrazin nur wenig DEA vorhanden ist.

Rund 50% der Atrazin-Nachweise sind wahrscheinlich auf rezente Anwendungen zurückzuführen

Bei etwa 22% der Analysen mit positivem Befund auf Atrazin oder DEA liegt mehr als doppelt so viel DEA als Atrazin vor, bei weiteren 23% der Analysen wurde nur DEA gefunden. In diesen Fällen besteht also eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass es sich um Rückstände aus Anwendungen handelt, die mehrere Jahre zurückliegen. Umgekehrt heisst dies, dass bei ebenfalls etwa der Hälfte der positiven Analysen die Wahrscheinlichkeit erhöht ist, dass die Atrazin- bzw. DEA-Spuren aus einer erst vor kurzem erfolgten Anwendung stammen. Unter diesen Wasserproben finden sich wiederum etliche, in deren Einzugsgebiet eine Eisenbahnlinie liegt, womit für die entsprechenden Messstellen die Hypothese einer Altlast aus der Anwendung von Atrazin entlang der Eisenbahnlinie eher in den Hintergrund tritt.

Der relativ häufige Nachweis von **Propazin**, einem in der Schweiz nicht zugelassenen Herbizid aus der Triazin-Gruppe, ist möglicherweise auf eine produktionsbedingte Verschmutzung des angewendeten Atrazins zurückzuführen. Auf jeden Fall tritt Propazin ausschliesslich zusammen mit Atrazin auf.

Relativ grosser Anteil der Simazin-, Cyanazin- und Terbutylazin-Nachweise in Siedlungsgebieten

Auch die übrigen nachgewiesenen Triazin-Herbizide (**Cyanazin, Metamitron, Prometryn, Simazin, Terbutryn, Terbutylazin**) treten fast ausschliesslich (in 90.5% der Fälle) zusammen mit Atrazin oder seinen Abbauprodukten auf. Auffällig ist der gegenüber Atrazin und Desethylatrazin erhöhte Anteil positiver Befunde unter der Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege: Finden sich rund 25% der positiven Atrazin- bzw. Desethylatrazinbefunde unter dieser Hauptbodennutzung, sind es bei Simazin rund 30%, Cyanazin 36% und Terbutylazin 40%. Offensichtlich stammt ein nicht unwesentlicher Teil dieser Herbizidspuren aus der Anwendung im Siedlungsbereich.

Prometryn ist in der Schweiz ebenfalls nicht zugelassen. Dennoch wurde dieses Herbizid in sieben Messstellen – wenn auch in sehr niedrigen Konzentrationen – nachgewiesen. Während bei vier Messstellen allenfalls Produktionsstandorte der chemischen Industrie für die Rückstände im Grundwasser verantwortlich sein könnten, weisen die übrigen drei Messstellen eher auf die widerrechtliche Anwendung dieses Produktes hin.

Das lediglich sporadische Auftreten von PSM wie **Endrin** und **Hexachlorbenzol** (in der Schweiz nicht zugelassen) sowie **Isoproturon** weist auf die Schwierigkeiten hin, mit denen das Monitoring derartiger nur kurzfristig und z.T. sehr lokal angewendeter Substanzen verbunden ist. Ob sie ins Grundwasser gelangen bzw. im Grundwasser nachgewiesen werden können, hängt von Faktoren ab, die je nach Standort, Jahreszeit und Witterung von Jahr zu Jahr stark variieren.

Führte Rekordsommer 2003 zu einer leicht geringeren Belastungssituation gegenüber 2002?

So überschreiten beispielsweise 2002 die beiden Wirkstoffe **Chlortoluron** bzw. **Metamitron** bei insgesamt 6 Nachweisen je einmal die numerische Anforderung der GSchV von 0.1 µg/l. 2003 konnten hingegen, bei insgesamt nur noch 3 Nachweisen, keine Überschreitungen der numerischen Anforderung nachgewiesen werden.

Von 48 sowohl 2002 wie auch 2003 untersuchten Messstellen, die 2002 und/oder 2003 einen maximalen PSM-Gehalt von >0.1 µg/l aufweisen, zeigen 30 Messstellen eine Abnahme, 18 Messstellen eine Zunahme des maximalen PSM-Gehalts im Jahr 2003 gegenüber 2002. Der mittlere maximale PSM-Gehalt dieser 48 Messstellen nahm im gleichen Zeitraum von 0.2 auf 0.17 µg/l ab.

Diese Entwicklung steht eventuell in Zusammenhang mit der grossen Trockenheit im Sommer/Herbst 2003, welche einerseits zu Veränderungen beim Einsatz von PSM geführt haben könnte, andererseits eine Auswaschung der PSM-Substanzen über längere Zeit weitgehend verhinderte. Weil die zur Verfügung stehenden Daten jedoch nur einen Zeitraum von zwei Jahren abdecken, sind zurzeit keine schlüssigen Aussagen zu dieser Problematik möglich.

Keine PSM-Befunde in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen

Die Resultate zeigen, dass in den untersuchten Messstellen keine PSM-Konzentrationen auftreten, die nach heutigem Wissensstand für den Menschen eine Gesundheitsgefährdung bedeuten. Allfällige Auswirkungen der gefundenen Konzentrationen auf Pflanzen und Tiere können in Ermangelung entsprechender Grundlagen zurzeit nicht beurteilt werden.

Gleichzeitig gibt aber der hohe Prozentsatz an untersuchten Grundwasservorkommen mit nachweisbaren PSM-Rückständen von rund 60% auch zu Besorgnis Anlass, umso mehr als bei immerhin rund 12% der untersuchten Messstellen sowohl die numerische Anforderung der GSchV an als Trinkwasser genutztes Grundwasser als auch der lebensmittelrechtliche Toleranzwert für Trinkwasser für PSM (0.1 µg/l) überschritten wurden.

Bei weiteren rund 13% der Messstellen wurden 50% des Anforderungswerts (0.05 µg/l) überschritten (Tab. 18).

Zudem ist nur in wenigen Fällen damit zu rechnen, dass die durchgeführten Untersuchungen die effektiven Maximalgehalte aller jeweils ins Grundwasser gelangenden PSM-Substanzen erfasst haben (vgl. Kapitel 2.2.1). Die tatsächliche Situation dürfte daher eher ungünstiger sein, als die vorliegenden Ergebnisse aufzeigen.

Ebenfalls bedenklich ist, dass auch in vielen Messstellen, deren Einzugsgebiet fast ausschliesslich von Siedlungsraum, Industrie und Verkehrsflächen beeinflusst ist, zahlreiche PSM in zum Teil recht hohen Konzentrationen nachgewiesen werden können. Die Messstellen, die einen eigentlichen «Stoffcocktail» aufweisen (bis 11 Substanzen), liegen oft nahe an ausgedehnten Siedlungs- und Industriegebieten. Auch das Herbizid Atrazin (einschliesslich seiner Abbauprodukte), das eigentlich nur noch für den Maisanbau zugelassen ist, wird in Siedlungsgebieten häufig angetroffen.

**Historische Daten fehlen:
Bisherige Entwicklung der
PSM-Gehalte kann nicht
aufgezeigt werden**

Auf Grund weitgehend fehlender historischer PSM-Daten zu den NAQUA-Messstellen ist es nicht möglich, von den heute vorliegenden Daten auf die längerfristige Entwicklung der PSM-Belastung des Grundwassers in der Schweiz zu schliessen. Zwar führte das Anwendungsverbot von Atrazin auf Gleisen und von Herbiziden generell entlang von Gleisen und Strassen sowie die Beschränkung der Atrazinanwendung auf den Maisanbau²¹ ausserhalb von Karstgebieten ohne Zweifel zu einer in verschiedenen Fällen gut dokumentierten deutlichen Abnahme der Atrazinbelastung im Grundwasser. Damit sich aber die weitere Entwicklung der PSM-Belastungen im Grundwasser gesamtschweizerisch erfassen und zuverlässig beurteilen lässt, müssen die PSM-Anwendung in der Landwirtschaft und im Siedlungsbereich erfasst und die Beobachtungen am NAQUA-Messnetz mit gezielten Messungen noch intensiviert werden.

²¹ Atrazin darf neben Mais auch noch auf Chinaschilf eingesetzt werden (wie beim Mais jeweils maximal eine Anwendung pro Jahr bis spätestens Ende Juni). Chinaschilf ist jedoch flächenmässig bedeutungslos.

2.2.5 Verhältnis Nitrat/Pflanzenschutzmittel

Nitrat- und PSM-Gehalte verlaufen nur teilweise parallel

Sowohl Nitrat wie auch PSM werden schwergewichtig von der Landwirtschaft emittiert. Die resultierende Grundwasserbelastung der beiden Stoffe verhält sich jedoch nicht linear. Die Annahme, dass ein Grundwasservorkommen umso mehr PSM enthält, je mehr Nitrat gefunden wird, ist zwar in der Tendenz richtig, in dieser Vereinfachung aber nicht zutreffend.

Wahrscheinlichkeit für hohe PSM-Gehalte ist bei hohen Nitratgehalten grösser.

Offensichtlich ist die Wahrscheinlichkeit, PSM im Grundwasser anzutreffen, bei Grundwasservorkommen mit erhöhten Nitratgehalten grösser als bei Grundwasservorkommen mit tiefen Nitratgehalten. Auch die maximalen PSM-Gehalte (sowohl für Einzelstoffe als auch für die PSM-Summe) und die Anzahl der gefundenen PSM-Wirkstoffe sind bei erhöhten Nitratgehalten im Schnitt höher (Tab. 20 sowie Abb. 39 bis 41). So weisen mehr als 70% der Messstellen mit maximalem Nitratgehalt >10 mg/l PSM-Spuren auf, aber nur 35% der Messstellen mit Nitratgehalt ≤10 mg/l. Zudem weisen mehr als 20% der Messstellen mit einem maximalen Nitratgehalt >25 mg/l maximale PSM-Gehalte eines Einzelstoffes >0.1 µg/l auf, gegenüber nur 2% der Messstellen mit einem maximalen Nitratgehalt ≤10.

Während sich somit zwischen den Messstellen mit hohen und denjenigen mit tiefen Nitratgehalten ein deutlicher Unterschied in der Wahrscheinlichkeit einer PSM-Präsenz bzw. eines maximalen PSM-Gehaltes >0.1 µg/l ergibt, ist dieser Unterschied zwischen den Kategorien 10–25 mg/l und >25 mg/l nur relativ gering.

Im Einzelfall können aber auch Grundwasservorkommen mit sehr geringem Nitratgehalt hohe PSM-Gehalte aufweisen und Grundwasservorkommen mit hohem Nitratgehalt enthalten unter Umständen keine PSM (Tab. 20). Bei allen vier Messstellen mit PSM-Gehalten >0.1 µg/l und Nitratgehalten ≤10 mg/l handelt es sich jedoch nicht um typische Standorte für die Beobachtung der Auswirkungen intensiver Landwirtschaft (vgl. weiter unten).

Tabelle 20: Verhältnis zwischen dem maximalen Nitratgehalt und dem Auftreten von PSM bzw. dem maximalen PSM-Gehalt in allen untersuchten Messstellen (2002/2003).

Maximaler Nitratgehalt	Anzahl Messstellen	Anzahl Messstellen mit PSM	Anteil Messstellen mit PSM (%)	Anzahl Messstellen mit PSM >0.1 µg/l (Einzelstoff)	Anteil Messstellen mit PSM >0.1 µg/l (%)
>40 mg/l	19	15	79	4	21
25–40 mg/l	70	56	80	17	24
10–25 mg/l	191	142	74	28	15
0–10 mg/l	175	61	35	4	2

Abb. 39:
Anteil Messstellen mit
PSM-Nachweis in Abhän-
gigkeit des maximalen
Nitratgehaltes (2002/2003).

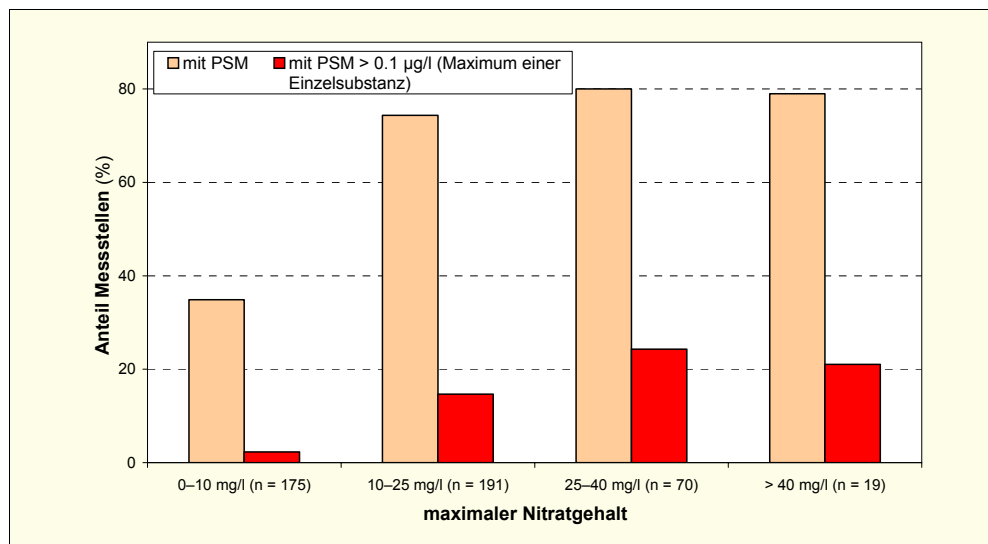


Abb. 40:
Durchschnittliche maximale
PSM-Gehalte der Messstel-
len mit PSM-Nachweis in
Abhängigkeit des maxima-
len Nitratgehaltes
(2002/2003).

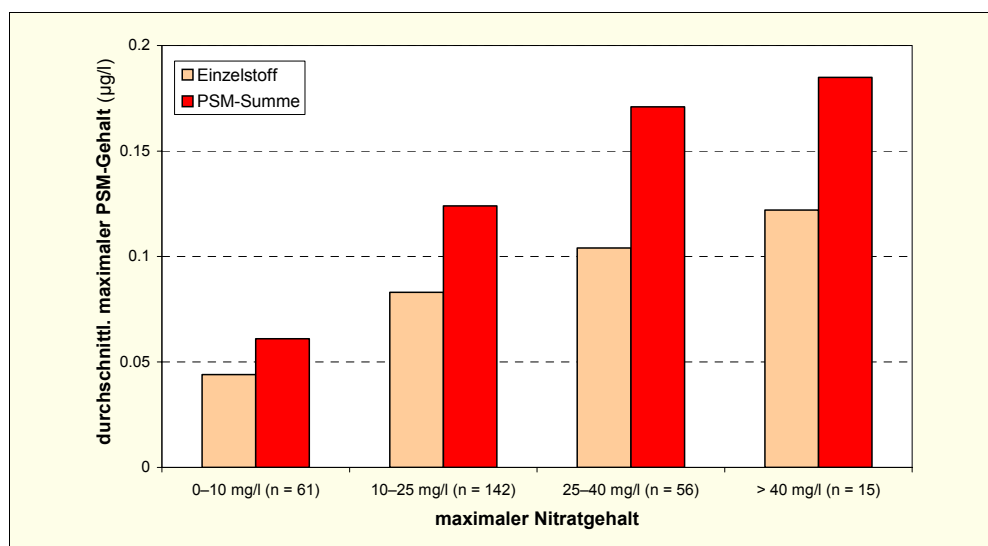
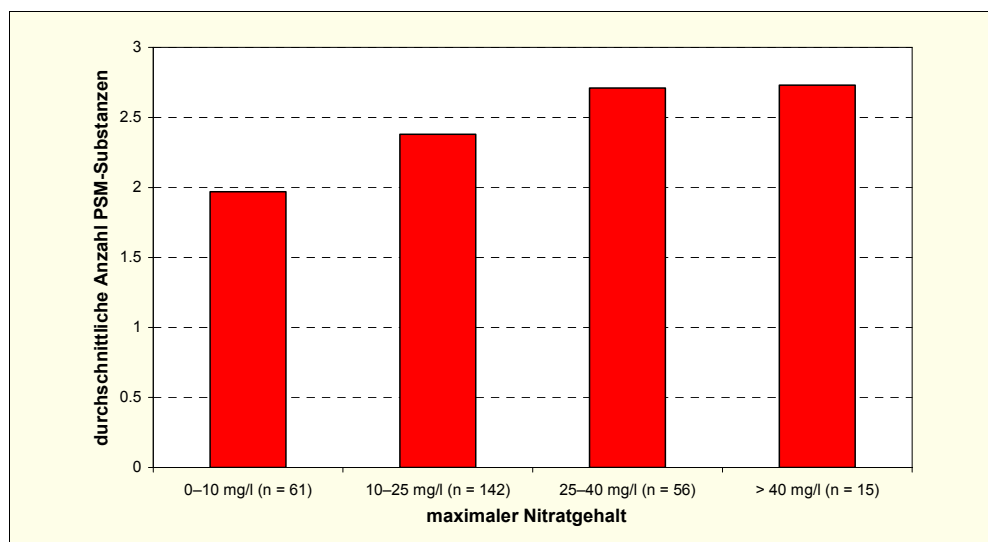


Abb. 41:
Durchschnittliche Anzahl
nachgewiesene PSM-Sub-
stanzen (nur die sieben
Substanzen des Grundpro-
gramms) in den Messstel-
len mit PSM-Nachweis in
Abhängigkeit des maxima-
len Nitratgehaltes
(2002/2003).



**Höhere PSM-Gehalte im
Grundwasser bei mehr als
10 mg/l Nitrat**

Die deutliche Abstufung liegt somit bei einem maximalen Nitratgehalt von ca. 10 mg/l:

- Unterhalb von 10 mg/l liegt die Wahrscheinlichkeit, PSM-Spuren zu finden, bei rund 35%, darüber bei mehr als 70%.
- Unterhalb von 10 mg/l liegt die durchschnittliche PSM-Summe bei positivem Befund deutlich unter 0.1 µg/l, darüber wird dieser Wert im Durchschnitt klar überschritten.
- Unterhalb von 10 mg/l ist die Wahrscheinlichkeit, maximale PSM-Gehalte (Einzelstoffe) >0.1 µg/l zu finden, sehr gering, sie liegt bei lediglich rund 2%. Oberhalb von 10 mg/l steigt diese Wahrscheinlichkeit deutlich an und liegt bei rund 15–24%.
- Unterhalb von 10 mg/l können entweder die gefundenen maximalen PSM-Gehalte über 0.1 µg/l mit grosser Wahrscheinlichkeit durch Faktoren erklärt werden, die nichts mit der Landwirtschaft zu tun haben, oder der tiefe Nitratgehalt lässt sich durch besondere Umstände erklären: Eine Messstelle liegt in einer Grossstadt, und bei einer zweiten Messstelle liegen reduzierende Verhältnisse vor, d.h., ein ursprünglich höherer Nitratgehalt wurde durch Nitratabbau im Grundwasserleiter auf weniger als 1 mg/l vermindert. Die dritte Messstelle liegt zwar in einer landwirtschaftlich genutzten Fläche, insgesamt findet aber im Einzugsgebiet nur wenig intensive Landwirtschaft statt. Es handelt sich um ein Brauchwasserpumpwerk ohne Schutzzonen, das eine einmalige relativ hohe Belastung mit dem im Getreideanbau verwendeten Herbizid Isoproturon aufweist. Dieses wurde vermutlich auch in der unmittelbaren Umgebung des Pumpwerks appliziert. Die vierte Messstelle schliesslich liegt nicht nur im Abstrom von Maisäckern, sondern auch von Strassen und Eisenbahnen und erhält vermutlich eine starke Verdünnung durch infiltrierendes Flusswasser.

Somit zeigt sich einerseits ein recht deutlicher Zusammenhang zwischen erhöhten Nitratgehalten und der Präsenz von PSM im Grundwasser. Andererseits widerspiegeln die Daten auch fundamentale Unterschiede:

- Während es für hohe Nitratgehalte die Auswaschung aus einem relativ grossen Anteil eines Einzugsgebietes braucht, genügt für die PSM-Präsenz unter Umständen eine relativ kleine Punktquelle.
- Während Nitrat in erster Linie ein Problemstoff aus dem intensiven Ackerbau ist und nur sekundär auch in Siedlungsgebieten in erhöhten Konzentrationen ausgewaschen wird, wurden und werden PSM viel verbreiteter angewendet (in Spezialkulturen, Baumschulen, Gärtnereien, Privatgärten, auf Industriearealen, entlang von Verkehrswegen usw.).
- Die am häufigsten gefundenen PSM-Substanz Atrazin und seine Abbauprodukte sowie Simazin haften gut an Bodenpartikeln, sind im Boden nur schlecht und langsam abbaubar (Halbwertszeit je nach Verhältnissen >1 Jahr) und verfügen nur über eine relativ geringe Wasserlöslichkeit. Somit können diese Stoffe unter Umständen noch viele Jahre nach einer Anwendung fortlaufend ins Grundwasser ausgewaschen werden, während Nitrat im Boden kaum zurückgehalten wird und die Nitratgehalte je nach Grundwasserleiter bereits nach relativ kurzer Zeit auf Veränderungen der Bewirtschaftungsweise reagieren.

2.3 Kohlenwasserstoffe (KW) und MTBE

2.3.1 Einleitung

Kohlenwasserstoffe sind eine äusserst heterogene und vielseitige Stoffgruppe. Tausende verschiedener KW-Substanzen mit unterschiedlichsten chemischen Eigenschaften und ökologischen und toxikologischen Auswirkungen werden weltweit und auch in der Schweiz eingesetzt und in die Umwelt ausgebracht: Treib-, Brenn- und Schmierstoffe, Lösungsmittel, Ausgangsstoffe für die chemische Industrie, Nebenprodukte bei der chemischen Synthese, Abbauprodukte und Verbrennungsrückstände von Kunststoffen usw. Die Anwendungsbereiche gehen dabei teilweise weit über die eigentliche industrielle oder gewerbliche Verwendung hinaus, z.B. bei Lacken, Farben, Verdünnern, Pinselreinigern, Treibstoffen usw., die auch in Privathaushalten in grossen Mengen eingesetzt werden.

Kohlenwasserstoffe werden in riesigen Mengen gewonnen bzw. hergestellt und verwendet und gelangen somit auch in relativ grossen Mengen in die Umwelt. So verbrauchte die Schweiz z.B. im Jahr 2002 11'662'000 t Erdölprodukte, mehr als die Hälfte davon als Treibstoffe (Benzin, Diesel, Flugtreibstoff)^[36]. Vom als Antiklopfmittel im Benzin eingesetzten Methyl-tert-butylether (MTBE) werden jährlich rund 100'000 t eingesetzt^[37,38]. Für das Jahr 2001 wurden die Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen (VOC²²) auf rund 132'500 t berechnet, wovon rund 70'000 t aus Industrie und Gewerbe und 24'000 t aus dem motorisierten Verkehr, d.h. aus der Verdunstung von Treibstoffen stammen^[39]. Noch drei Jahre zuvor betrug die VOC-Emission gar 160'000 t, wovon rund 87'000 t aus Industrie und Gewerbe und 36'000 t aus dem motorisierten Verkehr stammten.

2.3.2 Durchgeführte Analysen

Kohlenwasserstoffe werden in verschiedene Gruppen unterteilt, welche sich teilweise überschneiden. Im Rahmen des Messnetzes NAQUA wird das Schwergewicht der Untersuchungen auf die **monozyklischen aromatischen MAKW** (hauptsächlich die so genannten BTEX), das als Treibstoffzusatz verwendete MTBE und die **flüchtigen²³ halogenierten FHKW** gelegt (vgl. Kap. 1.4.3.2). Insgesamt liegen Analysen von 73 Substanzen und 2 Summenparametern vor. Pro Messstelle wurden maximal 63 Substanzen analysiert (Tab. 21 und 22).

²² Kohlenwasserstoffe sensu lato und MTBE stellen einen wesentlichen Teil der VOC dar.

²³ Ein Kohlenwasserstoff gilt als flüchtig, wenn sein Siedepunkt bei Standarddruck <250 °C ist.

Tabelle 21: Kohlenwasserstoffe und MTBE 2002; Anzahl analysierte Stoffe und Messstellen.

Anzahl analysierter Stoffe	Anzahl Messstellen 2002	Kantone
11	34	NAQUA _{TREND}
23	15	LU
45	21	BE
47	11	SO
53	72	BE, FR, SO, TG, VS, ZH
60	57	ZH

Tabelle 22: Kohlenwasserstoffe und MTBE 2003; Anzahl analysierte Stoffe und Messstellen.

Anzahl analysierter Stoffe	Anzahl Messstellen 2003	Kantone
6	31	AI, JU, SG, NAQUA _{TREND}
13	35	NAQUA _{TREND}
23	15	LU
32	12	BS
54	94	AG, FR, GR, SO, TG, VS, ZG, ZH
57	16	NW, OW, SZ, UR
58	16	NE
59	8	GE
60	57	BE, SO
60	19	VD
61	38	BL, TI
63	60	ZH

Im Jahr 2002 wurden die Kohlenwasserstoffe und MTBE nur in sieben Kantonen im Rahmen einer Pilotkampagne sowie in den Messstellen NAQUA_{TREND} untersucht. Erst 2003 konnte eine umfassende schweizweite Kampagne erfolgen.

Die Liste aller im Rahmen von NAQUA in den Jahren 2002/2003 untersuchten Parameter findet sich im Anhang 1.

Die Auswertung der Resultate der Kohlenwasserstoffe und des MTBE erfolgte ausschliesslich über die ermittelten maximalen Gehalte. Auf eine Berechnung und Interpretation von mittleren Gehalten wurde bewusst verzichtet, da mittlere Gehalte aus verschiedenen Gründen kaum sinnvolle Daten ergeben und nur eine rein qualitative Interpretation zulassen: unterschiedliche Bestimmungsgrenzen der verschiedenen Laboratorien für die gleiche Substanz, unbekannter effektiver KW-Gehalt bei Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze, unterschiedliche Anzahl Messungen pro Messstelle und Jahr (vgl. 1.5.1).

2.3.3 Monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (MAKW)

2.3.3.1 Einleitung

MAKW sind vor allem
Benzinbestandteile und
Lösungsmittel

Die MAKW, vor allem die **BTEX** Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole, sind im Benzin sowie in geringerem Ausmass in anderen Erdölprodukten wie Heizöl, Diesel oder Kerosin enthalten. Benzin kann z.B. bis zu 1% Benzol, 3% Ethylbenzol und je über 10% Toluol und Xylole enthalten. 2002 wurden in der Schweiz rund 3.8 Mio. t Autobenzin verbraucht^[36]. Zudem werden MAKW häufig als Ausgangsstoffe bei chemischen Synthesen und als Lösungsmittel verwendet.

MAKW können über die Verdunstung (z.B. beim Transportieren, Lagern, Umschlagen und Betanken, beim Betrieb von Verbrennungsmotoren, bei der Verwendung von lösungsmittelhaltigen Farben oder in der chemischen Produktion) in die Luft und via Regen in ober- und unterirdische Gewässer gelangen. Auf Grund ihrer hohen Flüchtigkeit und Reaktionsfreudigkeit sowie der relativ geringen Wasserlöslichkeit dürfte dieser Eintragsweg jedoch in der Regel nur eine geringe Bedeutung haben. Der hauptsächliche Eintrag ins Grundwasser dürfte somit durch den nachlässigen Umgang mit und die unsachgemässe Beseitigung von Lösungsmitteln sowie nach Unfällen oder aus defekten Lagereinrichtungen erfolgen.

Obwohl die Löslichkeit der MAKW in Wasser im Allgemeinen relativ gering ist, ist sie oft deutlich grösser als bei verschiedenen PSM. Während z.B. das am häufigsten im Grundwasser gefundene PSM Atrazin eine Löslichkeit von lediglich 28 mg/l (bei 20° C) aufweist, sind bei 20° C rund 1770 mg/l Benzol, 870 mg/l Ethylbenzol, 500 mg/l Toluol oder 200 mg/l Xylol löslich.

Zu den MAKW gehören weitere Benzolformen mit substituierenden Alkylresten wie z.B. verschiedene Formen des Trimethylbenzols oder mit substituierenden Alkenylresten wie das Styrol (Vinylbenzol). Ebenfalls in diese Gruppe fallen halogenierte MAKW wie z.B. das Chlorbenzol. Hier ergibt sich eine Überschneidung mit der Kategorie der halogenierten Kohlenwasserstoffe.

Anforderung der GSchV
an Grundwasser:
maximal 1 µg/l

Für MAKW gilt in der GSchV^[17] eine numerische Anforderung an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, von 1 µg/l je Einzelstoff.

2.3.3.2 Resultate

Aus den Jahren 1997 bis 2001 liegen Resultate aus 2 (1997) bis 39 (2001) Messstellen vor. In 15% der Messstellen konnten MAKW nachgewiesen werden. Häufigste gefundene Substanz war das Toluol (Mittelwert der 9 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 262 Analysen) = 2.02 µg/l, Maximalwert = 10.5 µg/l).

Häufigster gefundener
MAKW ist Toluol

2002 und 2003 wurden 210 bzw. 401 Messstellen untersucht (in beiden Jahren zusammen 413²⁴), in 11.9% der Messstellen wurden MAKW nachgewiesen. Häufigster gefundener Stoff war wiederum das Toluol (Mittelwert der 53 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 1205 Analysen) = 0.26 µg/l, Maximalwert = 3.5 µg/l; Tab. 23).

²⁴ Die höhere Zahl untersuchter Messstellen für den Zusammenzug beider Jahre ergibt sich daraus, dass eine gewisse Anzahl Messstellen jeweils nur in einem Jahr untersucht wurde.

Tabelle 23: Die sechs am häufigsten gefundenen MAKW 2002/2003
(detaillierte Resultate aller untersuchten MAKW siehe Anhang 1).

	Messstellen				Messungen			Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
2002													
Toluol	0.03–0.2	210	10	0	315	11	0	0.10	0.30	0.17	0.20	0.10	0.20
Ethylbenzol	0.03–0.2	210	3	0	315	3	0	0.10	0.10				
Benzol	0.03–0.2	210	1	0	315	1	0	0.10	0.10				
1,2,4-Trimethylbenzol	0.03–0.2	177	1	0	244	1	0	0.07	0.07				
1,3,5-Trimethylbenzol	0.03–0.2	177	1	0	244	1	0	0.05	0.05				
Styrol (Vinylbenzol)	0.03–0.2	177	1	0	244	1	0	0.50	0.50				
2003													
Toluol	0.01–0.5	400	37	1	890	42	1	0.02	3.50	0.28	0.10	0.10	0.20
m/p-Xylol ²⁵	0.01–0.5	365	6	1	782	7	1	0.20	1.70	0.54	0.20	0.20	0.65
Benzol	0.01–0.5	400	4	1	890	5	2	0.10	9.50	2.88	0.80	0.40	3.60
1,2,4-Trimethylbenzol	0.03–0.5	335	3	0	724	3	0	0.05	0.54				
Ethylbenzol	0.01–0.5	400	2	0	890	2	0	0.10	0.20				
o-Xylol	0.01–0.5	365	1	1	782	2	2	2.40	2.50				

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl, Limite = Anforderung GSchV (1 $\mu\text{g/l}$)

Auf Grund der geringen Anzahl Messstellen vor 2002 werden nachfolgend nur die Daten ab 2002 interpretiert (Tab. 24).

Tabelle 24: MAKW, maximaler Gehalt einer Einzelsubstanz.
Auswertung der Analysen nach Messstellen.

Jahr	$\geq$ BG		$\leq 0.1 \mu\text{g/l}$		0.1–1 $\mu\text{g/l}$		>1 $\mu\text{g/l}$	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	11	5	1	0.5	10	4.5	0	0
2003	44	11	20	5.0	22	5.5	2	0.5
2002/2003	49	11.9	19	4.6	28	6.8	2	0.5

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl Messstellen

Der durchschnittliche maximale Gehalt an MAKW bei Messstellen mit positivem Befund liegt bei 0.68 $\mu\text{g/l}$ (Summe) bzw. 0.48 $\mu\text{g/l}$ (Einzelsstoff). Es wurden maximal sechs verschiedene MAKW pro Messstelle gefunden.

Die numerische Anforderung der GSchV (1 $\mu\text{g/l}$) wurde in 6 Analysen überschritten.

²⁵ In einem Teil der Messstellen wurde statt der einzelnen Xylol-Isomere nur das Total der Xylol-Isomere analysiert.

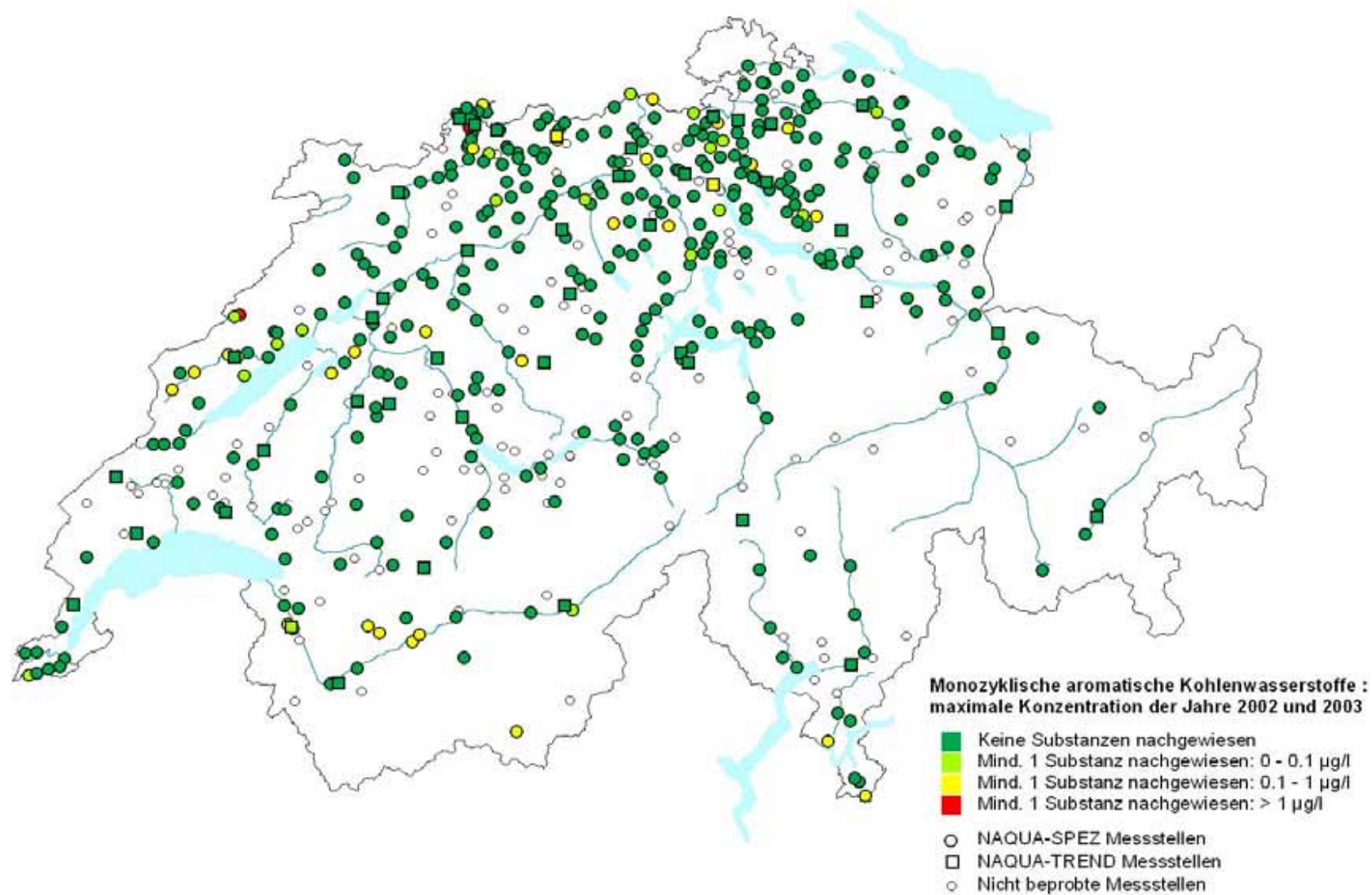


Abb. 42: Maximale Gehalte an MAKW (Einzelstoffe, v.a. BTEX) der untersuchten Messstellen in den Jahren 2002/2003 (kartografische Grundlage^[22]).
Die Kategorie 0–0.1 µg/l wurde separat ausgeschieden, weil nicht alle Labors in der Lage sind, so tiefe Gehalte nachzuweisen.

2.3.4 MTBE

2.3.4.1 Einleitung

MTBE-Jahresverbrauch in der Schweiz = 100'000 t

MTBE (Methyl-tert-butylether) ist eine der weltweit in grösster Menge produzierten und verbrauchten organischen Chemikalien. Sie hat im Benzin seit 1985 nach und nach das Blei als Antiklopfmittel abgelöst. MTBE ist relativ gut wasserlöslich (rund 50 g/l bei 25° C), wird nur schlecht an Bodenpartikel adsorbiert und im Untergrund kaum abgebaut. Zudem wird in der Schweiz die enorme Menge von fast 100'000 t jährlich verbraucht, wovon geschätzte 500 bis 2600 t pro Jahr v.a. über Verdunstungsverluste in die Umwelt gelangen^[37, 38]. Daneben gelangt eine unbekannte Menge MTBE über Unfälle und aus lecken Tanks in die Umwelt.

MTBE besitzt sehr niedrige Geruchs- und Geschmacksgrenzen: sehr empfindliche Personen können bereits bei Gehalten von rund 2.5 µg/l eine Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung des Wassers feststellen. Es kann somit trotz seiner geringen Toxizität schon in kleinen Konzentrationen Trinkwasser ungeniessbar machen. Auf Grund seiner hohen Persistenz und Mobilität und der niedrigen Geruchs- und Geschmacksgrenze stellt MTBE ein potentielles Risiko für als Trinkwasser genutztes Grundwasser dar. In verschiedenen Ländern (v.a. USA, speziell in Kalifornien) weisen zahlreiche Grundwasservorkommen MTBE-Gehalte auf, welche das Grundwasser für die Trinkwassernutzung unbrauchbar machen. Auch in der Schweiz wurde in den letzten Jahren vermehrt MTBE in Grundwasservorkommen nachgewiesen, allerdings mit einer Ausnahme ausschliesslich in einem Konzentrationsbereich deutlich unterhalb der Geruchs- und Geschmacksgrenze. Aus verschiedenen Gründen ist die Situation in der Schweiz in Bezug auf MTBE wesentlich weniger problematisch als z.B. in Kalifornien (strengere Vorschriften für Tankanlagen, geringerer durchschnittlicher MTBE-Gehalt im Benzin).

Es gibt nur eine numerische Anforderung für MTBE in Bezug auf Altlasten

Für MTBE im Grund- oder Trinkwasser gibt es zurzeit in der Schweiz keine gesetzlichen Limiten (numerische Anforderung nach GSchV^[17], Toleranz- oder Grenzwert nach FIV^[18]). Einzig in der Altlastenverordnung ist für die Beurteilung von belasteten Standorten ein Konzentrationswert von 200 µg/l aufgeführt. Die Wegleitung Grundwasserschutz^[19] führt einen Indikatorwert für Grundwasser von 2 µg/l auf. Wird dieser Wert überschritten, sind Abklärungen zur Ursache der Verschmutzung und allfällige Sanierungsmassnahmen angebracht.

2.3.4.2 Resultate

Aus den Jahren 1997 bis 2001 liegen Resultate aus 2 bis 39 Messstellen vor. In 23% der Messstellen konnte MTBE je einmal nachgewiesen werden (Mittelwert der 9 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 200 Analysen) = 0.19 µg/l, Maximalwert = 0.35 µg/l).

MTBE-Spuren in 20% der untersuchten Messstellen

2002 und 2003 wurden 210 bzw. 400 Messstellen untersucht (in beiden Jahren zusammen 413), in 19.8% der Messstellen wurde MTBE nachgewiesen (Mittelwert der 159 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 1203 Analysen) = 0.15 µg/l, Maximalwert = 2.1 µg/l; Tab. 25).

Tabelle 25: Resultate der MTBE-Bestimmungen 2002/2003.

	Messstellen				Messungen			Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
2002													
MTBE	0.03–0.2	210	21	0	315	24	0	0.03	0.50	0.13	0.10	0.06	0.17
2003													
MTBE	0.03–1	400	72	1	888	135	1	0.03	2.10	0.15	0.09	0.05	0.19

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl; Limite = Indikatorwert der Begleitung Grundwasserschutz (2 $\mu\text{g/l}$)

Auf Grund der geringen Anzahl Messstellen vor 2002 werden nachfolgend nur die Daten ab 2002 interpretiert (Tab. 26).

Tabelle 26: MTBE, maximaler Gehalt. Auswertung der Analysen nach Messstellen.

Jahr	$\geq$ BG		$\leq 0.1 \mu\text{g/l}$		0.1–2 $\mu\text{g/l}$		$>2 \mu\text{g/l}$	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	21	10	15	7.1	6	2.9	0	0
2003	72	18	45	11.2	26	6.5	1	0.3
2002/03	82	19.8	52	12.6	29	7	1	0.2

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl

Während in den Jahren 2002 und 2003 zwar in rund 20% der untersuchten Messstellen MTBE nachgewiesen werden konnte, wurde der Indikatorwert der Begleitung Grundwasserschutz^[19] von 2 $\mu\text{g/l}$ lediglich in einer Messstelle überschritten, der zweithöchste gemessene Wert lag bei 0.5 $\mu\text{g/l}$.

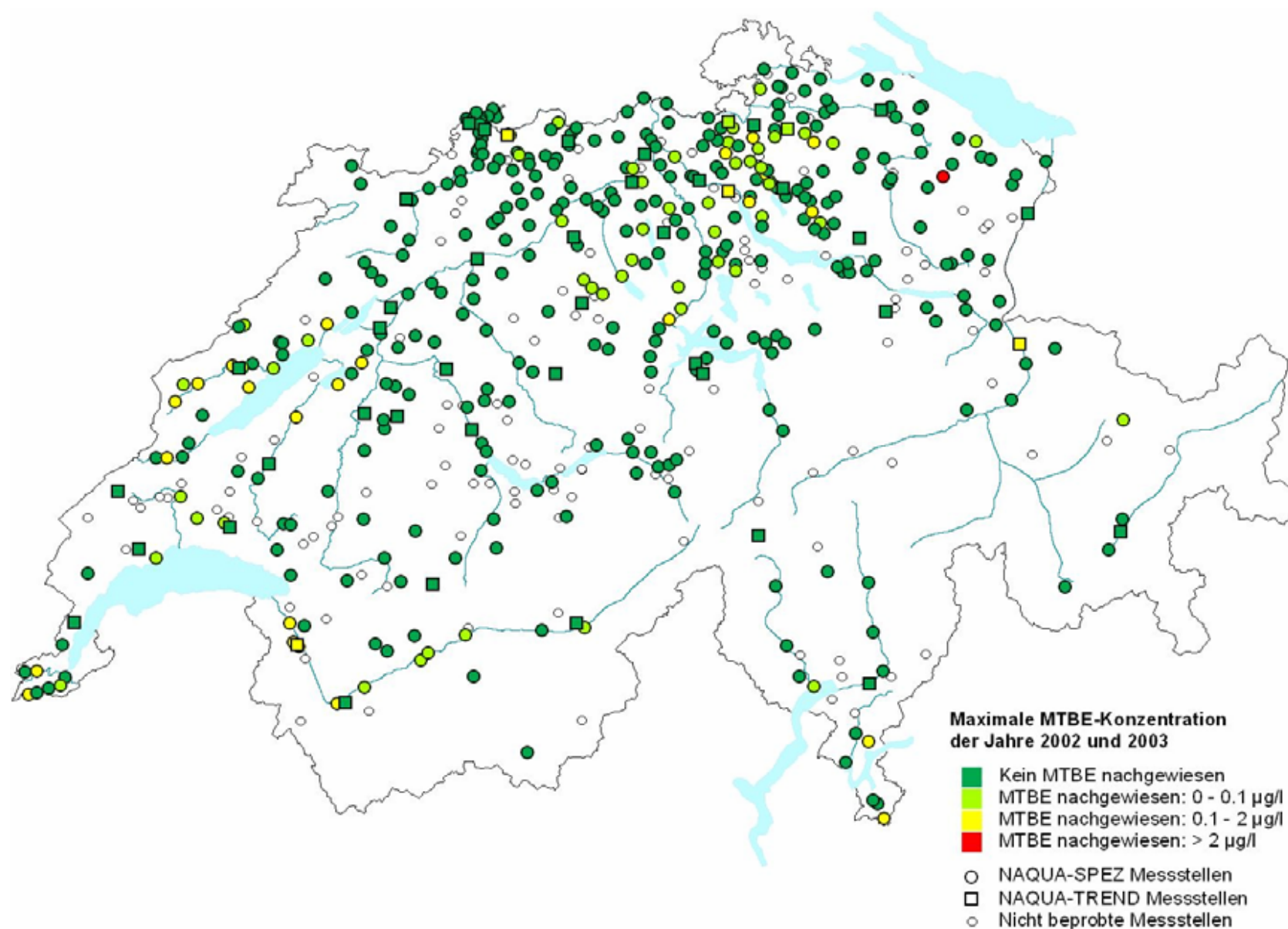


Abb. 43: Maximaler Gehalt an MTBE der untersuchten Messstellen in den Jahren 2002/2003 (kartografische Grundlage^[22]).

Die Kategorie 0–0.1 µg/l wurde separat ausgeschieden, weil nicht alle Labors in der Lage sind, so tiefe Gehalte nachzuweisen.

2.3.5 Flüchtige halogenierte (aliphatische) Kohlenwasserstoffe (FHKW)

2.3.5.1 Einleitung

Anwendung der FHKW:
weit verbreitet

FHKW enthalten anstelle eines oder mehrerer Wasserstoffionen Halogene (Chlor, Fluor, Brom, Jod). Es handelt sich um Stoffe, die in Industrie und Gewerbe häufig verwendet werden (Ausgangs- und Zwischenprodukte bei der Synthese von Kunststoffen, Verdüner von Klebern, Lacken, Farben oder anderen Anstrichmitteln, Lösungsmittel z.B. in der Metallverarbeitung oder in chemischen Reinigungen, Extraktionsmittel für Fette, Pestizide usw.). FHKW können auch als unerwünschte Nebenprodukte bei chemischen Prozessen und bei der Verbrennung von Kunststoffen oder anderer FHKW entstehen (z.B. Chloroform und andere Trihalogenmethane bei der Chlordesinfektion von Wasser in Anwesenheit organischer Substanzen oder als Nebenprodukt der Chlorbleiche).

FHKW sind oft giftig oder kanzerogen. Sie sind meist sehr stabil, reichern sich im Fettgewebe von Lebewesen an und sind biologisch meist nur schlecht abbaubar. Bekannte Vertreter der FHKW sind neben den Trihalogenmethanen auch 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen (Synonyme: Tri, Trichlorethylen), Tetrachlorethen (Synonyme: Per, Perchlorethylen), Tetrachlormethan (Synonym: Tetrachlorkohlenstoff) sowie Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW, Freone). Schwer flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe wie PCB, Dioxine und Furane wurden im Rahmen von NAQUA nicht untersucht, hingegen finden sich unter den untersuchten PSM einige Vertreter dieser Kategorie (z.B. DDT oder Lindan).

Auf Grund ihrer teilweise hohen Toxizität und Kanzerogenität wurden in den letzten rund 20 Jahren Anstrengungen zur Reduktion des Verbrauchs flüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe unternommen. Ihr Einsatz hat denn auch deutlich abgenommen.

Anforderung der GSchV
an Grundwasser: maximal
1 µg/l je Einzelstoff

Für FHKW gilt in der GSchV^[17] eine numerische Anforderung an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, von 1 µg/l je Einzelstoff. Für Trinkwasser gilt in der FIV^[18] ein Toleranzwert für FHKW von 20 µg/l (als Chlor berechnet) bei gechlortem Wasser bzw. von 8 µg/l (als Chlor berechnet) aus Umweltkontamination.

2.3.5.2 Resultate

Aus den Jahren 1997 bis 2001 liegen Resultate aus 2 bis 39 Messstellen vor. In 33% der Messstellen konnten FHKW nachgewiesen werden. Häufigste gefundene Substanz war das Tetrachlorethen (Mittelwert der 65 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 268 Analysen) = 1.64 µg/l, Maximalwert = 10.6 µg/l).

FHKW-Spuren in 32.5%
der untersuchten
Messstellen

2002 und 2003 wurden 210 bzw. 401 Messstellen untersucht (in beiden Jahren zusammen 413). In 32.5% der Messstellen wurden FHKW nachgewiesen. Häufigster gefundener Stoff war das Tetrachlorethen (Mittelwert der 265 Analysen $\geq$ Bestimmungsgrenze (von total 1231 Analysen) = 1.05 µg/l, Maximalwert = 25 µg/l; Tab. 27).

Auf Grund der geringen Anzahl Messstellen werden nachfolgend nur die Daten ab 2002 interpretiert (Tab. 27 und 28).

Tabelle 27: Die sechs am häufigsten gefundenen FHKW 2002/2003 (detaillierte Resultate aller untersuchten FHKW siehe Anhang 1).

	Messstellen				Messungen			Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
2002													
Tetrachlorethen	0.02–0.2	210	32	4	353	70	14	0.02	8.80	0.65	0.30	0.16	0.45
Trichlorethen	0.03–0.2	210	25	1	353	35	1	0.05	1.79	0.30	0.20	0.10	0.35
1,1,1-Trichlorethan	0.03–0.2	210	19	1	353	33	1	0.05	3.80	0.45	0.14	0.10	0.25
Chloroform	0.05–0.5	195	12	0	324	15	0	0.05	0.55	0.22	0.13	0.11	0.25
Trichlorfluormethan	0.05	57	5	0	57	5	0	0.05	0.46	0.22	0.18	0.16	0.25
cis-1,2-Dichlorethen	0.05–0.2	162	2	0	215	3	0	0.30	0.42				
2003													
Tetrachlorethen	0.01–0.2	371	73	20	878	195	50	0.02	25.00	1.19	0.36	0.16	1.05
Trichlorethen	0.01–0.2	371	70	9	878	181	16	0.03	5.40	0.44	0.25	0.10	0.44
Chloroform	0.01–0.2	356	46	0	834	103	0	0.02	0.73	0.23	0.20	0.09	0.31
1,1,1-Trichlorethan	0.01–0.2	371	44	7	878	105	12	0.01	5.20	0.49	0.10	0.08	0.38
Trichlorfluormethan	0.01–0.2	226	13	1	424	19	2	0.01	1.46	0.22	0.10	0.02	0.14
cis-1,2-Dichlorethen	0.03–0.2	308	11	0	645	27	0	0.03	0.80	0.28	0.21	0.13	0.40

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl; Limite = Anforderung GSchV⁽¹⁷⁾ (1 $\mu\text{g/l}$)

Tabelle 28: FHKW, maximaler Gehalt einer Einzelsubstanz. Auswertung der Analysen nach Messstellen.

Jahr	$\geq$ BG		0.03–0.1 $\mu\text{g/l}$		0.1–1 $\mu\text{g/l}$		>1 $\mu\text{g/l}$	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2002	54	25.5	5	2.5	43	20.5	6	3
2003	130	32.5	19	4.5	80	20	31	7.5
2002/03	134	32.5	16	4	87	21	31	7.5

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl Messstellen

FHKW sind die am häufigsten gefundenen KW (Tetrachlorethen an 1. Stelle)

FHKW sind die mit Abstand am häufigsten gefundenen Kohlenwasserstoffe. Insgesamt konnten 2002 und 2003 18 verschiedene FHKW-Substanzen nachgewiesen werden. Von total 851 FHKW-Nachweisen entfielen 265 (31%) auf Tetrachlorethen, 216 (25%) auf Trichlorethen, 138 (16%) auf 1,1,1-Trichlorethan und 118 (14%) auf Chloroform (vgl. Anh. 1 und Abb. 45), womit diese vier Substanzen insgesamt für 86% der Nachweise verantwortlich sind.

Der durchschnittliche maximale Gehalt an FHKW bei Messstellen mit positivem Befund liegt bei 1.5 µg/l (Summe) bzw. 1.2 µg/l (Einzelstoff).

Numerische Anforderung der GSchV an Grundwasser in 7.5% der untersuchten Messstellen überschritten

Die numerische Anforderung der GSchV^[17] (1 µg/l) wurde in 31 Fällen (7.5%) überschritten: in 20 Fällen durch Tetrachlorethen (maximale Werte je Messstelle von 1.3–25 µg/l), in 9 Messstellen durch Trichlorethen (1.1–5.4 µg/l), in 6 Fällen durch 1,1,1-Trichlorethan (2–5.2 µg/l), 2-mal durch Bromoform (1.66 und 1.74 µg/l) sowie je 1-mal durch Trichlorfluormethan (1.46 µg/l) und Dibromchlormethan (1.17 µg/l). Die maximale Summe an FHKW betrug 25.8 µg/l, der maximale Gehalt eines Einzelstoffes 25 µg/l. In 3 Messstellen wurde auch der Toleranzwert für ungechlortes Trinkwasser nach FIV^[18] (Summe FHKW = maximal 8 µg/l, ausgedrückt als Chlor) überschritten.

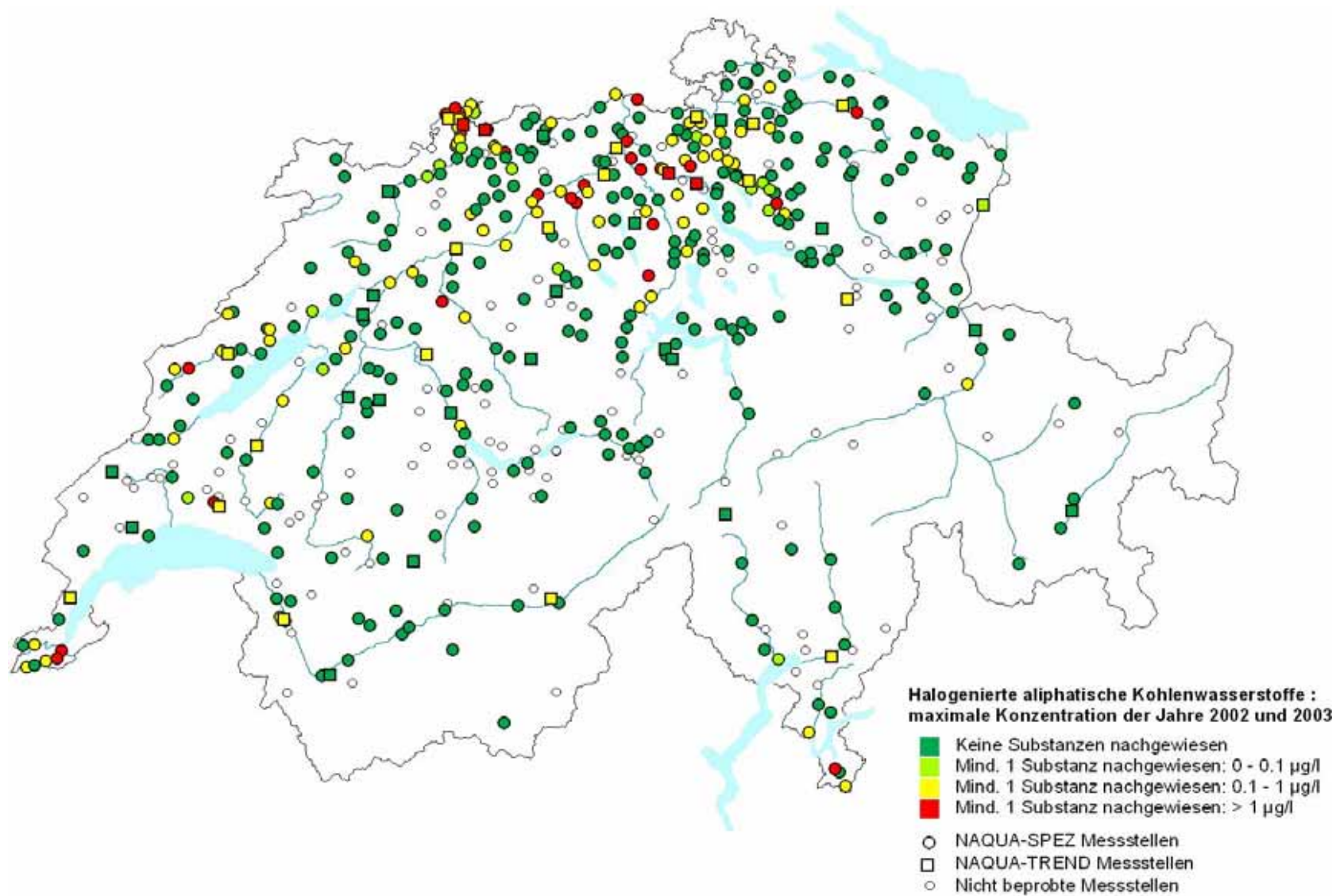


Abb. 44: Maximaler Gehalt an FHKW der untersuchten Messstellen in den Jahren 2002/2003 (Einzelstoff) (kartografische Grundlage^[22]).
Die Kategorie 0–0.1 µg/l wurde separat ausgeschieden, weil nicht alle Labors in der Lage sind, so tiefe Gehalte nachzuweisen.

2.3.6 Übrige Kohlenwasserstoffe

Die übrigen untersuchten Kohlenwasserstoffe umfassen aliphatische KW wie z.B. n-Hexan oder n-Octan (Treibstoffbestandteile) oder den polyzyklischen aromatischen KW (PAK) Naphthalin (früher Hauptbestandteil von Mottenkugeln, heute v. a. Ausgangsprodukt bei der Synthese von Farbstoffen, PSM, Lösungsmitteln usw.). Aliphatische KW wurden in jeweils 15 (2002 und 2003) Messstellen, Naphthalin in 162 (2002) bzw. 308 (2003) Messstellen analysiert. Einzig Naphthalin konnte dabei 2003 in einer Messstelle mit einem Wert von 0.08 µg/l – also knapp unterhalb der numerischen Anforderung der GSchV^[17] von 0.1 µg/l – nachgewiesen werden.

2.3.7 Zusammenfassende Betrachtung aller Stoffe

Kohlenwasserstoffe und MTBE: Übersicht

MTBE ist die am häufigsten gefundene Substanz aus der Gruppe der für Verkehr und Industrie typischen Stoffe, dicht gefolgt von Tetrachlorethen und Trichlorethen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die beiden letztgenannten Substanzen nicht zum Grundprogramm der Untersuchungen gehörten. Immerhin wurden sie in 383 (gegenüber 413 Messstellen beim MTBE) untersucht. Wenn man hingegen die Überschreitung der numerischen Anforderungen der GSchV bzw. des Indikatorwerts der Wegleitung Grundwasserschutz betrachtet, liegt Tetrachlorethen an der Spitze, MTBE stellt bei dieser Betrachtungsweise kein Problem dar (Abb. 45).

Bei 40% der Befunde wurde nur eine Substanz nachgewiesen

In 76 von 186 untersuchten Messstellen mit positivem Befund auf Kohlenwasserstoffe und MTBE konnte nur eine Substanz nachgewiesen werden, in einer Messstelle aber maximal 10 Substanzen (Abb. 46).

Es ist allerdings noch einmal darauf hinzuweisen, dass nur 5 Substanzen in allen Messstellen analysiert wurden (die verschiedenen Xylol-Isomere als eine Substanz betrachtet). Lediglich 9 weitere Substanzen wurden noch in mehr als 80% der Messstellen untersucht, alle übrigen Substanzen in knapp 4 bis 80% der Messstellen.

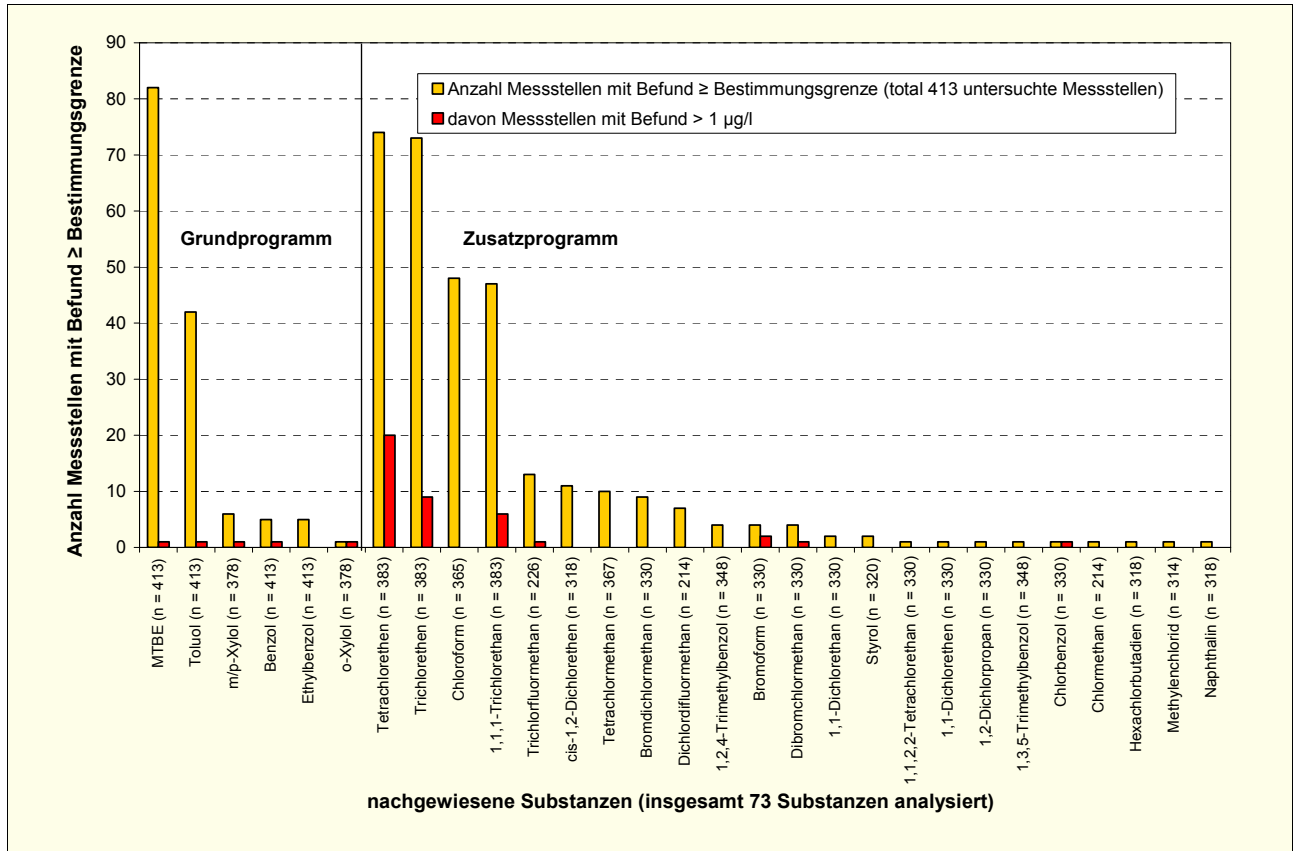
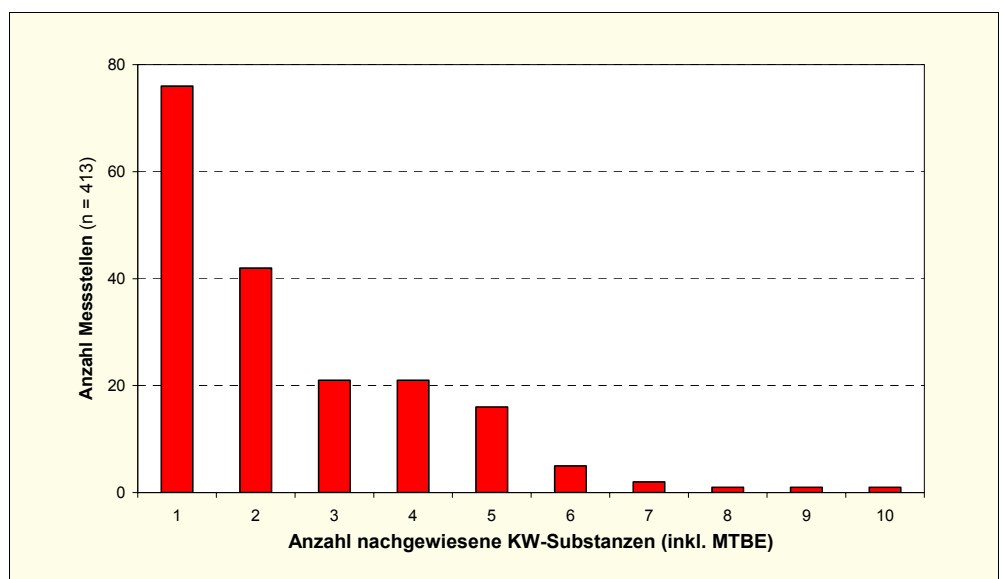


Abb. 45: 2002 und 2003 nachgewiesene Kohlenwasserstoffe und MTBE. Die Zahlen in Klammern bezeichnen die Anzahl untersuchter Messstellen pro Substanz. (o-Xylol: Bei weiteren 35 Messstellen wurde die Summe aller Xylol-Isomere analysiert. Es erfolgten keine Nachweise).

Abb. 46:
2002 und 2003 nachgewiesene Anzahl verschiedener KW-Substanzen und MTBE je Messstelle (lediglich 5 Substanzen wurden in allen Messstellen untersucht).



Kohlenwasserstoffe und MTBE: Verteilung der Nachweise in Abhängigkeit von Hauptbodennutzung und Höhenlage

Abb. 47:
Prozentuale Verteilung der positiven KW- (alle Stoffe), FHKW- und MTBE-Befunde in Abhängigkeit der Hauptbodennutzung. Im Total der KW ist MTBE eingeschlossen. (2002/2003;
n = Anzahl Messstellen,
BG = Bestimmungsgrenze)

Die Interpretation der Nachweise von Kohlenwasserstoffen und MTBE in den verschiedenen untersuchten Grundwasservorkommen erfolgte nach den gleichen Grundsätzen wie bei Nitrat und PSM (vgl. Kap. 1.5.2).

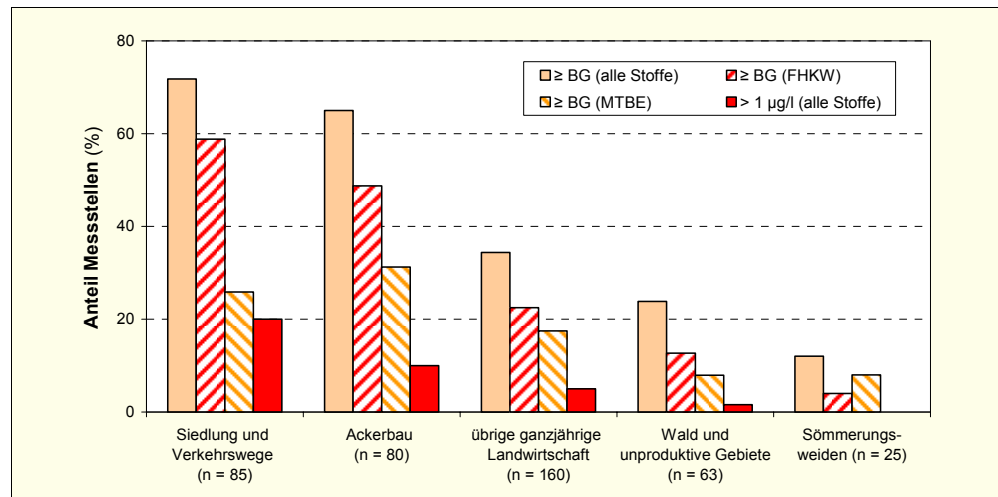


Abb. 48:
Prozentuale Verteilung der positiven KW- (alle Stoffe), FHKW- und MTBE-Befunde in Abhängigkeit der Höhenlage. Im Total der KW ist MTBE eingeschlossen. (2002/2003;
n = Anzahl Messstellen,
BG = Bestimmungsgrenze)

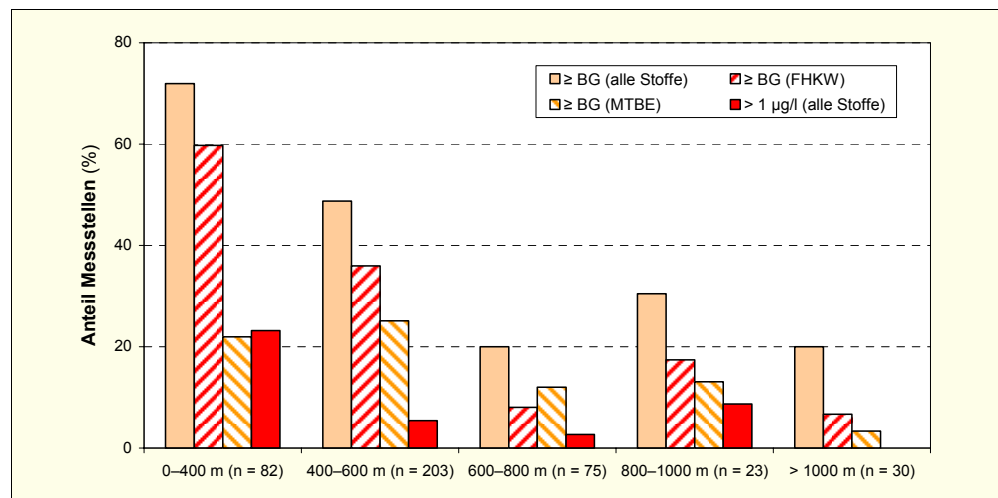
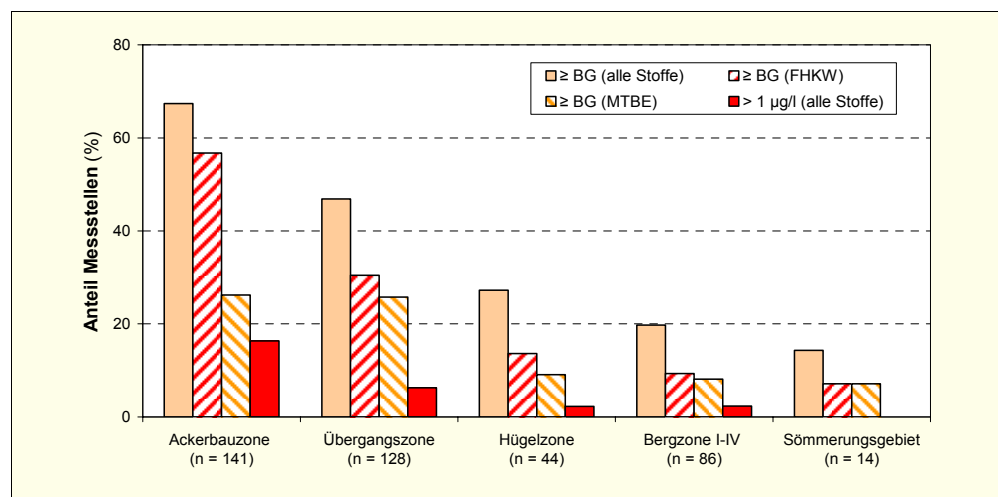


Abb. 49:
Prozentuale Verteilung der positiven KW- (alle Stoffe), FHKW- und MTBE-Befunde in Abhängigkeit von der Landwirtschaftszone. Im Total der KW ist MTBE eingeschlossen. (2002/2003;
n = Anzahl Messstellen,
BG = Bestimmungsgrenze)



2.3.8 Beurteilung

2.3.8.1 Allgemein

KW und MTBE: weniger häufig gefunden als PSM

Kohlenwasserstoffe und MTBE wurden prozentual weniger häufig gefunden als PSM (rund 45% gegenüber 60% positive Befunde bezogen auf Messstellen). Aus dem Jahr 2002 liegen jedoch lediglich Resultate aus 7 Pilotkantonen und dem Teilmessnetz NAQUA_{TREND} vor, so dass die Datenbasis insgesamt schmäler als bei den PSM ist.

In den Grundzügen zeigt sich bei den Kohlenwasserstoffen das erwartete Bild: Je urbaner und intensiver genutzt eine Region ist, umso eher treten KW-Belastungen im Grundwasser auf, umso mehr Substanzen werden gefunden und umso höher sind im Allgemeinen die gefundenen Maximalwerte.

KW und MTBE: in urbanisierten Regionen am häufigsten gefunden

Auch wenn bei etlichen Messstellen mit positivem Befund die Hauptbodennutzung (gemäss Auswahlkriterium) Ackerbau oder übrige ganzjährige Landwirtschaft ist, finden sich bei detaillierter Betrachtung doch in einer Mehrzahl der betroffenen Messstellen wichtige urbane Elemente in der näheren Umgebung (bis max. 1 km Distanz zur Messstelle): Autobahnen, Hauptverkehrsstrassen, Eisenbahnlinien, Flugplätze, Tankstellen, Raffinerien, Tanklager, Industrieanlagen oder Wohnquartiere. Bei etlichen Messstellen finden sich auch ehemalige Abbaustandorte für Kies, Torf oder Lehm in der näheren Umgebung, womit hier die Präsenz von belasteten Standorten (Abfalldeponien in Grubenauffüllungen) nicht ausgeschlossen werden kann.

Dennoch finden sich einzelne Nachweise auch in anthropogen kaum beeinflussten Grundwasservorkommen, teilweise sogar in grossen Höhenlagen. Während dies bei einzelnen Messstellen ein Hinweis auf die umfassende Verbreitung der gefundenen BTEX oder FHKW als Lösungsmittel (in Farben, Pinselreiniger, Pestiziden, Baumaterialien usw.) bzw. als Treibstoffbestandteil ist, könnte es sich bei anderen Messstellen mit bloss einmaligem Befund allenfalls auch um Kontaminationen bei der Probennahme handeln. Bei den gefundenen äusserst geringen Konzentrationen genügen bereits kleinste Verunreinigungen (z.B. durch Benzinspuren an den Händen oder den Kleidern des Probennehmers), um eine Kontamination der Probe z.B. mit Toluol zu bewirken.

2.3.8.2 Monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (v.a. BTEX)

MAKW-Spuren: in 12% der untersuchten Messstellen

MAKW wurden in rund 12% der untersuchten Messstellen, mehrheitlich in relativ geringen Konzentrationen gefunden. Häufigste Substanz ist das sowohl als Lösungsmittel wie auch als Benzinbestandteil weit verbreitete Toluol. Die relativ geringe Anzahl der positiven Befunde erlaubt keine differenzierte statistische Auswertung bezüglich der Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet.

Dennoch lässt sich eine gewisse Abhängigkeit der positiven MAKW-Befunde von der Nutzungsintensität feststellen: unter der Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege ist der Anteil Messstellen mit Nachweis von MAKW mit rund

16.5% im Vergleich zu rund 10.5% positiver Messstellen unter den übrigen Nutzungsarten deutlich erhöht. Auch der mittlere maximale Gehalt eines MAKW-Einzelstoffes ist unter der Nutzungsart Siedlungsraum und Verkehrswege mit 0.9 µg/l rund 3-mal höher als unter den übrigen Nutzungsarten.

Toluol-Spuren: relativ häufig in Karstquellen

Allerdings fällt auf, dass neben Messstellen in urbanisierten bzw. von grösseren Strassen durchquerten Regionen auch einzelne Messstellen in stark ländlichen Regionen oder gar Fassungen im Berggebiet Spuren von Toluol aufweisen können. Auffällig ist ebenfalls die relative Häufigkeit positiver Toluol-Befunde in den untersuchten Karstquellen. Bei diesen sehr vulnerablen Grundwasservorkommen fehlt oft eine schützende Bodenschicht, welche ausgelaufene Treibstoffe oder Lösungsmittel zurückhalten könnte, so dass unter Umständen bereits kleine Treibstoffverluste zu einer Grundwasserverschmutzung führen können.

Die Beobachtungsreihe ist noch kurz, und somit lässt sich noch wenig über das längerfristige Verhalten der monozyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe in den untersuchten Messstellen aussagen. Bis anhin scheint es sich aber meist nur um ein sporadisches Auftreten zu handeln, was auf sehr lokale Einträge kleinerer Lösungsmittel- oder Benzinmengen wohl v.a. bei unsorgfältiger Anwendung oder z.B. durch Tropfverluste bei parkierten Autos schliessen lässt. So wurde Toluol lediglich in 7 von 42 positiv beprobten Messstellen mehr als einmal nachgewiesen.

Die numerische Anforderung der GSchV^[17] (maximaler Gehalt an MAKW von 1 µg/l) wurde nur in 2 Messstellen überschritten. Es handelt sich dabei einerseits um einen seit langem bekannten Unfallstandort im urbanen Raum, andererseits um eine ebenfalls in städtischer Umgebung gelegene Karstquelle.

MTBE: am häufigsten gefundene Einzelsubstanz unter den Stoffen aus Verkehr und Industrie

2.3.8.3 Methyl-tert-butylether (MTBE)

MTBE ist die am häufigsten gefundene Einzelsubstanz der Schadstoffe aus Verkehr und Industrie. Dieses häufige Auftreten ist in Anbetracht der enormen Menge des eingesetzten MTBE und seiner Umwelteigenschaften nicht verwunderlich. Dennoch sind sowohl die Häufigkeit wie auch die gefundenen Konzentrationen – gerade auch im Vergleich zu den PSM und den chlorierten Kohlenwasserstoffen – im Allgemeinen als relativ gering zu bewerten.

Beim MTBE zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Anzahl positiver Befunde und auch der gefundenen Konzentrationen von der «Gesamturbanisierung» einer Region.

In Bezug auf die Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet der untersuchten Messstellen wird dieser Zusammenhang jedoch undeutlich: So ist zwar die durchschnittliche maximale MTBE-Konzentration bei der Nutzungsart Siedlungsraum und Verkehrswege doppelt so hoch wie bei der Nutzungsart Ackerbau (0.23 µg/l gegenüber 0.13 µg/l), der Anteil positiver Messstellen liegt jedoch unter Ackerbau bei rund 31%, gegenüber rund 26% in Siedlungsgebieten.

**Je urbaner eine Region,
umso häufiger MTBE im
Grundwasser**

Regional betrachtet ist der Befund aber eindeutig: Je urbaner eine Region ist, je häufiger Tankstellen oder verkehrsreiche Strassen oder gar Tanklager oder eine Raffinerie in der näheren Umgebung einer Messstelle liegen, umso eher finden sich Spuren von MTBE im Grundwasser. In Höhenlagen unter 600 m wurden in 24%, oberhalb von 800 m hingegen nur in 7.5% der untersuchten Messstellen MTBE-Spuren nachgewiesen.

Die gefundenen MTBE-Konzentrationen und auch die regionale Verteilung bestätigen weitestgehend die Hypothese, wonach der Grossteil des im Grundwasser gefundenen MTBE durch diffuse Verluste (Verdunstung beim Tanken und Betrieb der Motorfahrzeuge) und anschliessenden Eintrag durch das Auswaschen mittels Niederschlägen aus der Atmosphäre stammt^[38].

**MTBE in den meisten
Messstellen nur
sporadisch nachgewiesen**

In der Mehrzahl der Messstellen mit MTBE-Spuren ist das Auftreten von MTBE sporadisch, d.h., es besteht keine permanente nachweisbare MTBE-Belastung. Dies deutet auf einen Eintrag, der in Abhängigkeit der kurzfristigen Wetterentwicklung und der Grundwasserneubildung (unterschiedliche Bedingungen für Verdunstung, Abbau in der Atmosphäre, Ausregnen, Infiltration) nicht kontinuierlich erfolgt und der bis anhin auch zu keiner nennenswerten Anreicherung im Untergrund führte (Tab. 29).

Tabelle 29: Häufigkeit der MTBE-Nachweise in den einzelnen Messstellen.

	n	in % der Messstellen mit MTBE	in % aller Messstellen
Messstellen insgesamt mit MTBE-Nachweis	82		20
Messstellen mit 100% Analysen $\geq$ BG	20	24	5
Messstellen mit mehr als 50% Analysen $\geq$ BG	30	37	7
Messstellen mit weniger als 50% Analysen $\geq$ BG	52	63	13

n = Anzahl Messstellen; BG = Bestimmungsgrenze

**MTBE zurzeit weder
toxikologisch noch
ästhetisch ein Problem
Häufige MTBE-Präsenz
unerwünscht**

Die gefundenen Konzentrationen liegen mit einer Ausnahme deutlich unterhalb des Indikatorwertes der Wegleitung Grundwasserschutz von 2 $\mu\text{g/l}$ ^[19] und stellen somit zurzeit weder (umwelt)-toxikologisch noch ästhetisch (Geruch, Geschmack) ein Problem für die Grundwasserqualität dar. Dennoch ist die gehäufte Präsenz dieser künstlichen Substanz im Grundwasser (und somit teilweise auch im Trinkwasser) äusserst unerwünscht.

Sie widerspricht auch dem ökologischen Ziel der GSchV^[17], wonach die Qualität des Grundwassers einem naturnahen Zustand entsprechen sollte und naturfremde Stoffe im Grundwasser nicht nachweisbar sein sollten. Die weitere Entwicklung dieses Schadstoffes im Grundwasser muss daher sorgfältig beobachtet werden.

Bei der Messstelle, in welcher der Indikatorwert der Wegleitung Grundwasserschutz überschritten wird, handelt es sich um eine Grundwasserfassung im Abstrom einer Industriezone. Der gefundene Wert weist auf einen Unfall bzw. das Versickern von Benzin im Einzugsgebiet hin.

2.3.8.4 Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW)

Vor allem Tetra- und Trichlorethen wurden gefunden

Die häufigsten positiven Befunde liefern die chlorierten Kohlenwasserstoffe Tetrachlorethen (Per) und Trichlorethen (Tri) sowie etwas weniger häufig das 1,1,1-Trichlorethan und das Chloroform.

Vereinzelt treten Substanzen wie Trichlorfluormethan, Dichlordifluormethan, Tetrachlormethan, Bromdichlormethan, Dibromchlormethan, Tribrommethan, cis-1,2-Dichlorethen oder 1,1-Dichlorethan auf. Bei den ersten beiden dieser Stoffe handelt es sich um so genannte Freone (Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, FCKW), die als Kühl- und Treibmittel in grossen Mengen eingesetzt worden sind, deren Produktion und Einsatz aber inzwischen wegen ihrer ozonschichtzerstörenden Wirkung verboten sind. Bei den anderen Stoffen handelt es sich um Lösungsmittel, Nebenprodukte der Chlorierung oder Abbauprodukte anderer FHKW (z.B. cis-1,2-Dichlorethen).

Da das spezifische Gewicht dieser Substanzen höher als jenes von Wasser ist und sie meist nur in geringem Mass wasserlöslich sind, sammeln sie sich am Grund der Grundwasservorkommen an und können dort auch Jahrzehnte nach ihrem Eindringen in den Untergrund das Grundwasser noch belasten.

FHKW am deutlichsten mit Urbanität des Einzugsgebiets verbunden

Die FHKW zeigen am deutlichsten eine positive Korrelation zur Urbanität des Einzugsgebietes eines Grundwasservorkommens, sowohl im Prozentsatz positiver Befunde wie auch in den gefundenen Konzentrationen: Je urbaner eine Gegend, umso eher treten FHKW in umso höheren Konzentrationen im Grundwasser auf.

Infolge der Langlebigkeit von Verschmutzungen mit FHKW kann ohne Kenntnis einer längeren Datenreihe nicht entschieden werden, ob es sich bei den gefundenen Belastungen um aktuelle oder um historische Verschmutzungen handelt (belastete Standorte, z.B. von chemischen Reinigungen, Metall verarbeitenden Betrieben oder zugedeckten Deponien im Einzugsgebiet).

Anhand von Flurnamen oder Spuren im Gelände kann bei verschiedenen Messstellen darauf geschlossen werden, dass in deren Umgebung früher Lehm-, Kies- oder Torfabbau betrieben worden ist und somit belastete Standorte in Grubenauffüllungen nicht ausgeschlossen werden können.

Die relativ häufigen Nachweise von Chloroform (Trichlormethan) sind in einigen Fällen (besonders bei gleichzeitigem Auftreten anderer Trihalogenmethane) vermutlich auf Rückstände aus der Desinfektion des geförderten Grundwassers mit Chlor zurückzuführen. Dies weist auf eine nicht korrekte Probennahme (Entnahme von behandeltem Wasser statt von Rohwasser) oder auf Rückfluss von behandeltem Wasser in den Rohwasserbereich hin. In den übrigen Fällen ist wie bei den anderen

FHKW mit industriell-gewerblichen Emissionen oder belasteten Standorten als Ursache der Belastungen zu rechnen. Rückstände aus der Anwendung von Chlor in Privathaushalten (z.B. Javel-Lösung als Reinigungsmittel oder zur Desinfektion eines Swimmingpools usw.) sind ebenfalls als Ursache denkbar.

**Situation bei FHKW
nicht alarmierend
aber unbefriedigend**

Die Situation im Bereich der flüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe ist im Allgemeinen zwar nicht alarmierend, aber doch unbefriedigend: In 25% der untersuchten Messstellen (41% der Messstellen mit Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege) konnten FHKW in Konzentrationen unterhalb der numerischen Anforderung der GSchV^[17] (1 µg/l) nachgewiesen werden. In 7.5% der untersuchten Messstellen (18% unter Siedlungsraum und Verkehrswegen) wird sogar die numerische Anforderung von 1 µg/l überschritten, womit sich deutliche Qualitätsprobleme zeigen, die je nach Verwendung des Grundwassers auch zu Abklärungen und Sanierungsarbeiten nach Artikel 47 GSchV Anlass geben.

Zusätzlich zu den Befunden des Programms NAQUA muss festgehalten werden, dass in der Vergangenheit etliche stark mit FHKW belastete Trinkwasserfassungen aufgegeben worden sind und daher für das Messnetz NAQUA nicht zur Verfügung stehen. Mit ganz wenigen Ausnahmen fehlt im Messnetz NAQUA auch der Aspekt der belasteten Standorte, welche das Grundwasser oft mit Kohlenwasserstoffen, insbesondere FHKW kontaminieren. Die Ergebnisse des Messnetzes NAQUA für die FHKW zeigen daher für den besiedelten Raum der Schweiz mit Sicherheit ein eher etwas zu optimistisches Bild.

2.4 Grundparameter

2.4.1 Einleitung

Limitierende Faktoren bei der Auswertung

In diesem Kapitel wird die Beschaffenheit des Grundwassers in den Messstellen in Bezug auf die Geologie und die Hauptbodennutzung dargestellt und kommentiert. Nicht berücksichtigt sind Parameter, die bereits in den vorhergehenden Kapiteln diskutiert wurden.

Die hier dargestellten Parameter wurden mehrheitlich nur in den Messstellen des Teilmessnetzes NAQUA_{TREND} untersucht. Es liegen somit vorwiegend Daten aus maximal 44 Messstellen vor.

Der relativ kurze Beobachtungszeitraum von maximal 6 Jahren an 2 Messstellen (Inbetriebnahme 1997) und von minimal 1 Jahr bei 5 Messstellen erlaubt es noch nicht, aussagekräftige zeitliche Entwicklungen darzustellen. Aus diesem Grund geht es hier vorwiegend um die Beschreibung des Ist-Zustands des Grundwassers. Tendenzen können, wenn überhaupt, nur über kurzfristige Zeiträume aufgezeigt werden.

Im Folgenden werden die Daten vor 2000 nicht verwendet, da die Anzahl der für diesen Zeitraum zur Verfügung stehender Messstellen allzu gering ist. Diese Daten finden sich jedoch in Form zusammenfassender Grafiken im Anhang 2.

Bei der Interpretation der Parameter, welche ausschliesslich in den 44 Messstellen des Teilmessnetzes NAQUA_{TREND} erhoben wurden, ist im Weiteren zu beachten, dass Grundwasserleiter in Molassegesteinen (Typ KG) mit lediglich 3 und solche in kristallinen Gesteinen (Typ KR) sogar nur mit 2 Messstellen vertreten sind.

Für die Zuordnung der Messstellen zu einer bestimmten Hauptbodennutzung wurde die flächenmässig dominierende Bodennutzung innerhalb des Einzugsgebiets übernommen (vgl. Tab. 1 und Kapitel 1.5.2). Somit sind kleinere, aber den Chemismus u.U. intensiver beeinflussende Bodennutzungen nicht berücksichtigt.

2.4.2 Allgemeine Übersicht

Messstellen mit klassischem Wasserchemismus

Die Verteilung der Messstellen über die ganze Schweiz ermöglicht die Beobachtung des klassischen Spektrums des Wasserchemismus normaler Grundwässer. 38 Messstellen (86%) gehören den beiden eng verwandten Typen Ca-HCO₃ und Ca-Mg-HCO₃ an, so dass die Variabilität des beobachteten Chemismus stark eingeschränkt ist (Abb. 50). Die elektrische Leitfähigkeit bewegt sich zwischen 25 µS/cm bei Grundwasser aus einem kristallinen Schottervorkommen und 1062 µS/cm bei einer Quelle aus Karbonatgesteinen. Die untersuchten Grundwässer sind durch Calcium und Bikarbonat dominiert. Magnesium und Sulfat sind die einzigen weiteren Inhaltsstoffe, welche bei einigen Messstellen mehr als 10 meq% zum Gesamtionengehalt beitragen.

Zwischen Wassertyp und Geologie oder Hauptbodennutzung lassen sich anhand der 44 Messstellen mit vollständigen chemischen Analysen zurzeit keine eindeutigen Zusammenhänge erkennen.

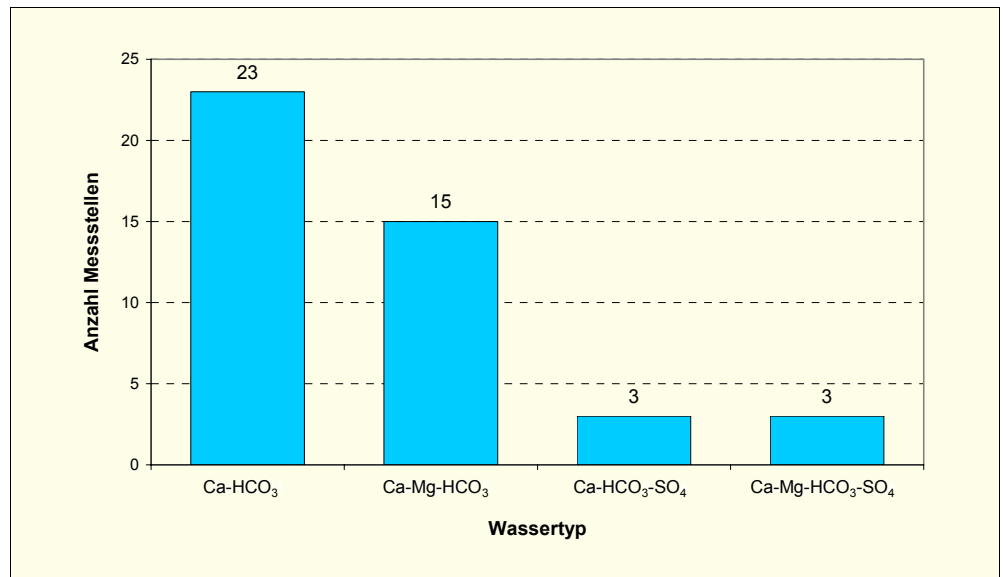


Abb. 50:
Aufteilung der Messstellen
NAQUA_{TREND} auf die ver-
schiedenen Wassertypen.

Bei der zum Teil bis zu sechs Jahre dauernden Beobachtung konnte im Rahmen der bisherigen Untersuchungen von NAQUA_{TREND} nur ein Teil der analysierten Spurenstoffe überhaupt nachgewiesen werden. Einige Substanzen wurden nur in einem Teil der Analysen bzw. Messstellen gefunden:

**Schwermetalle
kaum nachgewiesen**

Barium (Ba), Bor (B), AOX, Phosphat (PO₄) und Zink (Zn) wurden in rund 40% (Zn) bis 80% (Ba) der Analysen nachgewiesen, bei Arsen (As), Kupfer (Cu), Chrom (Cr), Ammonium (NH₄), Nitrit (NO₂), Nickel (Ni), Beryllium (Be), Titan (Ti) und Lithium (Li) sind nur vereinzelte Analysen positiv (Abb. 51).

Blei (Pb), Kobalt (Co), Quecksilber (Hg), Cadmium (Cd), Selen (Se), Cyanid (CN), Nitrilotriessigsäure (NTA) und Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) wurden seit 2000 nie gefunden.

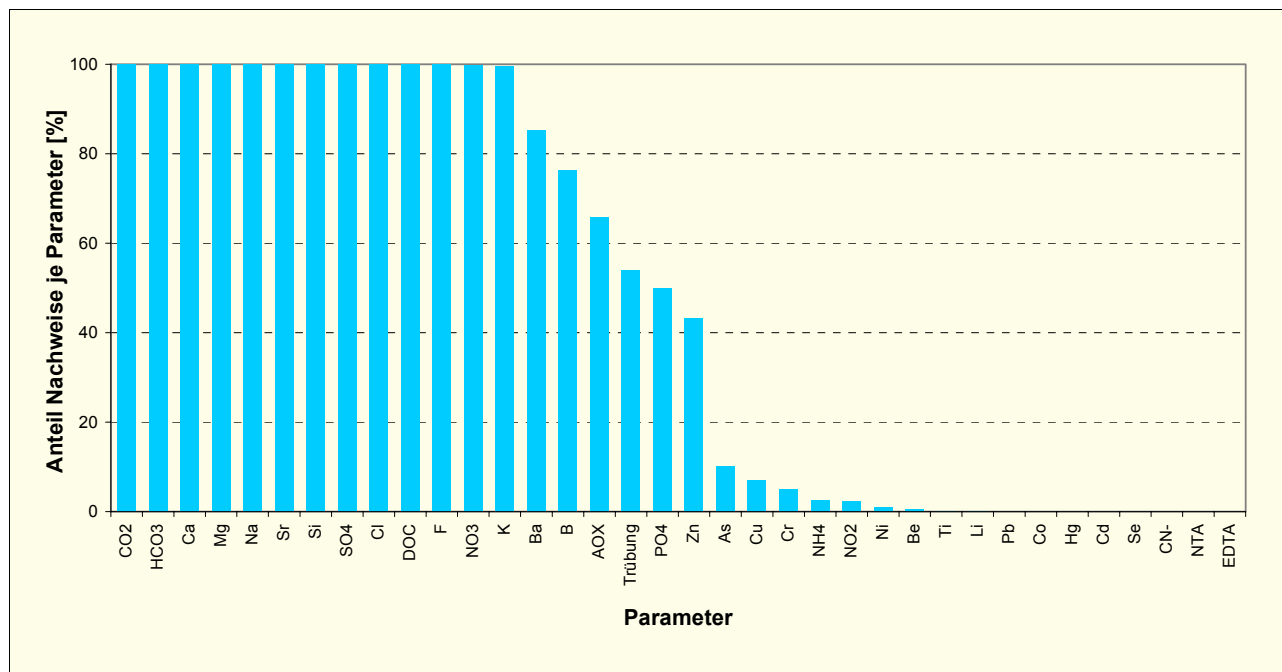


Abb. 51: Rangstatistik der Nachweise der analysierten Parameter.

2.4.3 Feldparameter

Neben der Messung der Feldparameter während der Probennahme werden bei zahlreichen NAQUA_{TREND}-Messstellen auch Leitfähigkeit, Temperatur, Schüttung und Wasserstand kontinuierlich mit Datenloggern registriert (vgl. 1.4.2.1). Dies ist für die Einordnung der stichprobenartigen Einzelmessungen in das Gesamtverhalten des Grundwasserleiters unverzichtbar.

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Mass für den Gehalt der im Grundwasser gelösten Stoffe (Ionen, Elektrolyte) und hängt in erster Linie von der Beschaffenheit des Bodens, den klimatischen Bedingungen im Einzugsgebiet, der Verweilzeit des Grundwassers sowie der mineralogischen Zusammensetzung des Grundwasserleiters ab. Veränderungen der Leitfähigkeit können sowohl anthropogene (Grundwasser-
verunreinigung) als auch natürliche Ursachen haben (z.B. Verdünnung durch Niederschlagswasser, Infiltration von schwach mineralisiertem Flusswasser).

Die Auswertungen der NAQUA-Messstellen, bei denen ausreichende chemische Analysen vorliegen, zeigen dass die elektrische Leitfähigkeit der Grundwässer in erster Linie durch die Calcium- und Bikarbonatgehalte bestimmt wird. Ein verstärkter Einfluss von Magnesium oder Sulfat ist nur untergeordnet zu beobachten.

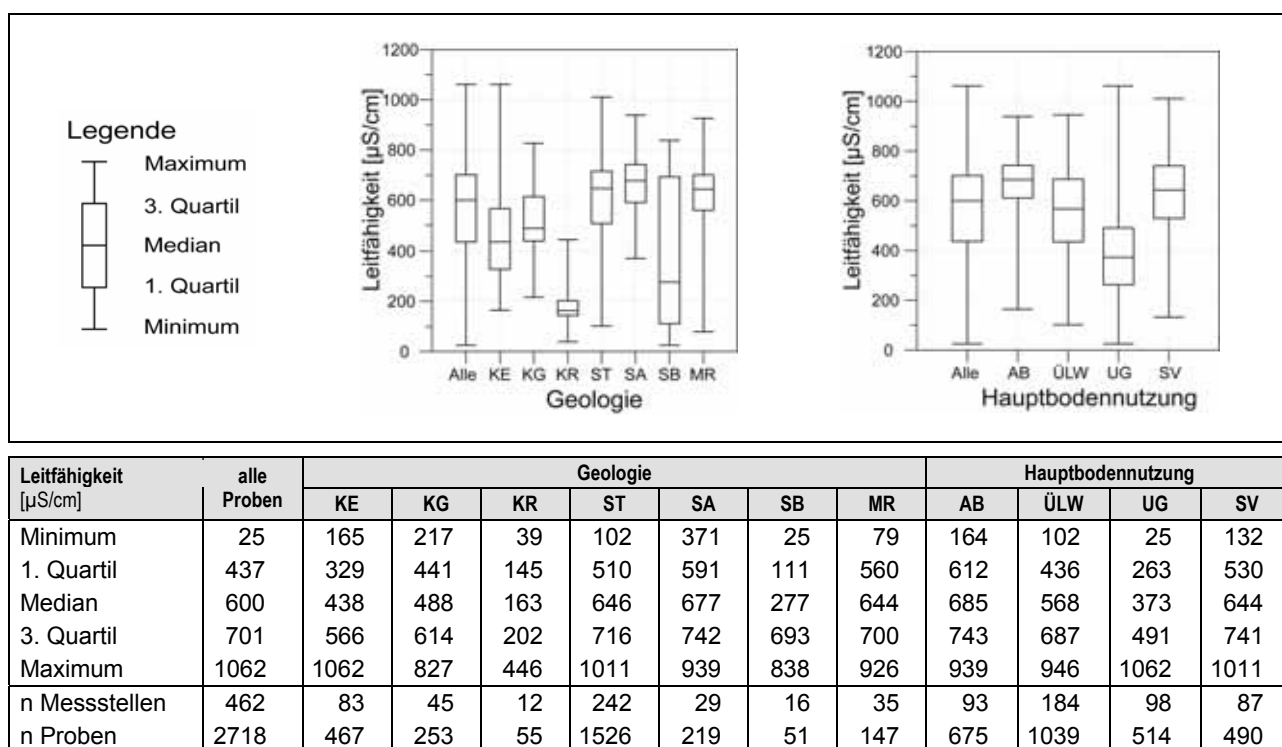


Abb. 52: Elektrische Leitfähigkeit (bei 25 °C) in Abhängigkeit von Geologie des Grundwasserleiters und Hauptbodennutzung²⁶.

Der Median der Leitfähigkeitswerte liegt bei 600 µS/cm, bei einem Minimalwert von 25 und einem Maximalwert von 1062 µS/cm.

Die grösste Variabilität (909 µS/cm) zeigen die Schottergrundwasserleiter der Talsohlen (Typ ST), da hier die mineralogische Zusammensetzung der Schotterkomponenten sehr grosse Unterschiede aufweist (einerseits kristalline, andererseits kar-

²⁶ Zur Bedeutung der Abkürzungen vgl. Tabellen 1 und 3.

bonatische Schotter), zum Teil Infiltration von Flusswasser eine Rolle spielt und mit insgesamt 242 Messstellen rund die Hälfte aller Messstellen zu diesem Typ gehören.

Eine fast ebenso grosse Variabilität (897 $\mu\text{S}/\text{cm}$) weisen die Karstgrundwässer (Typ KE) auf, wobei hier ein grosser Teil der Variabilität durch die Mischung von sulfatreichem Grundwasser mit karbonatischem Grundwasser bestimmt wird, welche zum Maximalwert von 1062 $\mu\text{S}/\text{cm}$ führt.

Generell werden im Grundwasser kristalliner Messstellen (Typ KR) mit einem Median von 163 $\mu\text{S}/\text{cm}$ niedrige elektrische Leitfähigkeiten gemessen. Diese Messstellen sind zudem anthropogen wenig beeinflusst.

Bei einer Messstelle des Geologietyps SB (Schuttbildungen), bei welcher die Schutt Komponenten des Grundwasserleiters aus kristallinen Gesteinen bestehen, wurde die tiefste Leitfähigkeit (25 $\mu\text{S}/\text{cm}$) Ende Oktober gemessen. Wahrscheinlich führte hier ein Hochwasserereignis zu diesem tiefen Wert.

In Abhängigkeit von der Bodennutzung ist zu beobachten, dass die höchsten Medianwerte der Leitfähigkeit bei den Hauptbodennutzungen Ackerbau (AB) sowie Siedlungsraum und Verkehrswege (SV) gemessen werden. Dies ist zumindest teilweise auf menschliche Aktivitäten wie Strassensalzung, undichte Kanalisationsleitungen oder intensive Düngung und Bodenbearbeitung zurückzuführen. Andererseits spielen hier aber auch die in tieferen Lagen tendenziell erhöhten CO_2 -Gehalte im Grundwasser eine Rolle, die zu einer erhöhten Löslichkeit von Karbonaten und somit auch zu einer erhöhten Mineralisierung des Grundwassers führen.

Temperatur

Die Temperatur des Grundwassers wird natürlicherweise von verschiedenen Faktoren beeinflusst: Klima und Höhenlage des Einzugsgebiets bzw. der Messstelle, Verweildauer im Untergrund in Verbindung mit der Zirkulationstiefe des Grundwassers, usw.

Auch anthropogene Einflüsse können zu Veränderungen der Temperatur führen, insbesondere ein hoher Urbanisierungsgrad. In Städten können daher oft um 2 bis 3 °C höhere Grundwassertemperaturen beobachtet werden als in nicht urbanisierten Gebieten^[40].

Grössere Temperaturschwankungen eines Grundwassers geben Hinweise auf oberflächliche Beeinflussungen oder auf eine zeitlich variable Mischung verschiedener Wässer.

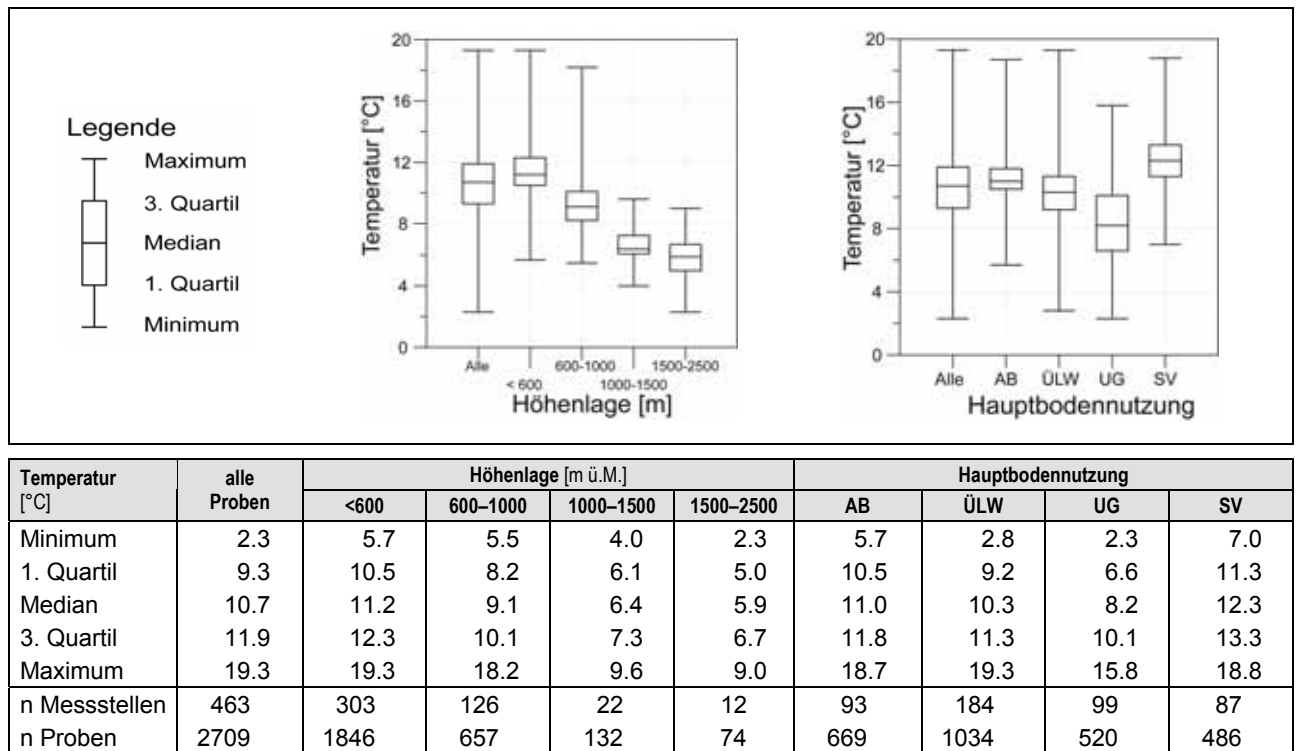


Abb. 53: Temperatur des Grundwassers in Abhängigkeit von der Höhenlage der Messstelle und der Hauptbodennutzung.

Der Median aller Messungen der Grundwassertemperatur liegt bei 10.7 °C. Mit zunehmender Höhenlage der Messstelle nimmt die Temperatur ab.

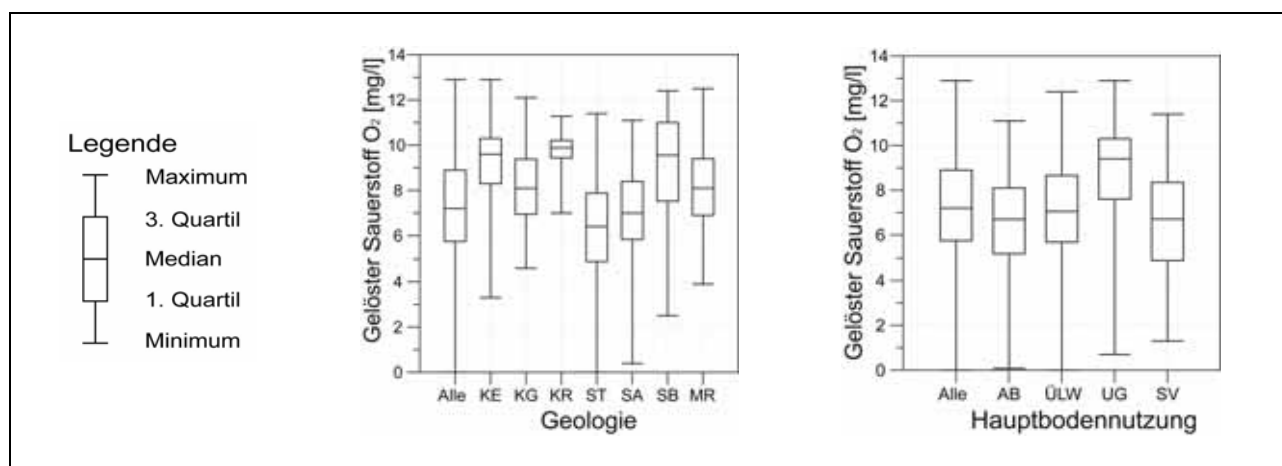
Messstellen mit Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege (SV) weisen tendenziell eine gegenüber dem Median aller Messstellen erhöhte Temperatur auf. Die Werte schwanken dabei zwischen 7.0 °C und 18.8 °C, mit einem Median von 12.3°C. Ähnliche Beobachtungen von generell erhöhten Temperaturen in urbanen Gebieten wurden auch im Ausland gemacht^[40]. Allerdings ist zu beachten, dass fast alle Messstellen des NAQUA-Messnetzes mit dieser Hauptbodennutzung unterhalb von 600 m ü. M. liegen und somit bereits von Natur aus eher höhere Grundwassertemperaturen aufweisen.

Der Extremwert von 19.3 °C bei einem Grundwasser ausserhalb der urban beeinflussten Gebiete kann auf die Zumischung von aufsteigendem Thermalwasser zurückgeführt werden.

Die niedrigen Temperaturen zahlreicher Messstellen in den unproduktiven Gebieten (UG) sind auf die hoch gelegenen Einzugsgebiete dieser Messstellen zurückzuführen.

Gelöster Sauerstoff

Die Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser wird u.a. durch die Wassertemperatur, den Druck und die Menge der im Wasser gelösten Inhaltsstoffe bestimmt. Eine hohe Konzentration organischer Stoffe, verbunden mit einer dadurch erhöhten mikrobiellen Aktivität, kann zu reduzierenden Bedingungen im Grundwasserleiter führen und damit eine Verminderung des Sauerstoffgehalts bewirken. Dieser Effekt kann z.B. durch oberflächennahe Tonhorizonte oder Oberflächenversiegelung verstärkt werden, da dadurch die Zufuhr von Sauerstoff behindert wird. Niedrige Sauerstoffgehalte weisen daher auf reduzierende Verhältnisse hin.



Gelöster Sauerstoff O ₂ [mg/l]	alle Proben	Geologie							Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	SB	MR	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	0.0	3.3	4.6	7.0	0.0	0.4	2.5	3.9	0.1	0.0	0.7	1.3
1. Quartil	5.8	8.3	7.0	9.5	4.9	5.8	7.5	6.9	5.2	5.7	7.6	4.9
Median	7.2	9.6	8.1	9.9	6.4	7.0	9.6	8.1	6.7	7.1	9.4	6.7
3. Quartil	8.9	10.3	9.4	10.2	7.9	8.4	11.0	9.4	8.1	8.7	10.3	8.4
Maximum	12.9	12.9	12.1	11.3	11.4	11.1	12.4	12.5	11.1	12.4	12.9	11.4
n Messstellen	387	67	39	10	202	25	11	33	80	157	80	70
n Proben	2159	348	187	49	1258	178	27	112	557	815	407	380

Abb. 54: Gelöster Sauerstoff in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Der Median aller Messungen von 7.2 mg/l liegt im normalen Bereich der Sauerstoffkonzentration in unbelasteten Grundwässern (6 bis 12 mg/l nach ^[41]). Die höchsten Medianwerte finden sich in den Karst-, Kluft- und Schuttgrundwasserleitern (KE, KR, SB). Wahrscheinlich spielen vor allem bei den Typen KE und KR einerseits die hydraulischen Bedingungen in diesen Grundwasserleitern eine Rolle, andererseits aber auch die Höhenlage dieser Messstellen mit entsprechend tiefen Wassertemperaturen und geringer Belastung durch anthropogen bedingte organische Einträge. Einzelne Werte mit bis zu 12.9 mg/l liegen leicht über der theoretisch möglichen Höchstkonzentration im Wasser. Diese Werte sind z.B. bei Karstquellen auf Hochwasserereignisse während der Probennahme zurückzuführen, bei denen

das Wasser an Sauerstoff übersättigt und eine Entgasung während der Messung zu beobachten war.

Mehrere Messstellen aus den Schottergrundwasserleitern (Typ ST und SA) weisen nur sehr geringe Sauerstoffgehalte (<1.5 mg/l) auf.

pH

Der pH wird vor allem durch den Gehalt an freier Kohlensäure bestimmt. Er kann aber auch durch die Bodennutzung (z.B. Einsatz von Ammoniumdünger) oder durch natürliche Prozesse (z.B. Stoffwechselvorgänge zwischen Pflanzen und Boden, Bildung von Huminsäuren beim Abbau organischen Materials usw.) beeinflusst werden. Zudem kann der pH-Wert in Grundwässern durch sauren Regen (H^+ -Eintrag) in wenig gepufferten, d.h. karbonatfreien Böden abgesenkt werden.

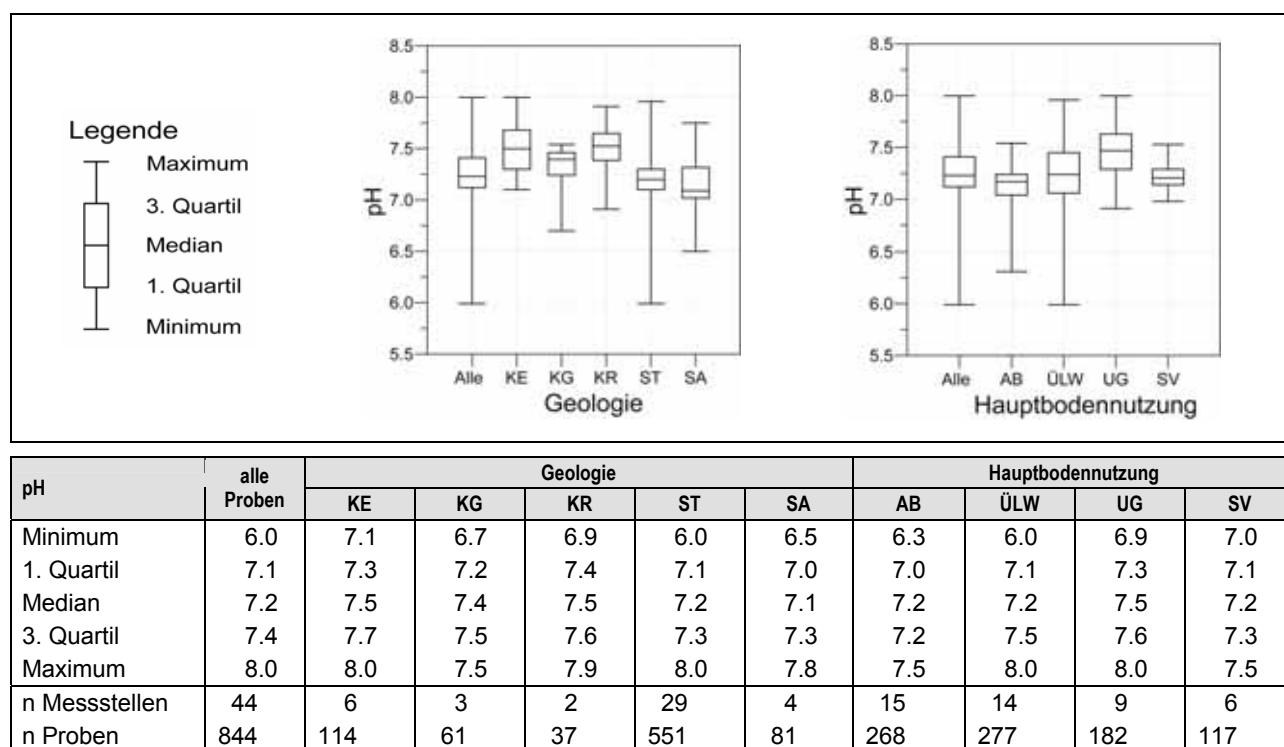


Abb. 55: pH in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Die gemessenen pH-Werte schwanken um einen pH-Wert von 7.2, der typisch für Wässer aus karbonatischen Grundwasserleitern ist. Die grösste Schwankungsbreite von 6.0 bis 8.0 ist bei den Schottergrundwässern zu beobachten. Der tiefste Wert findet sich hier typischerweise, wie bei der Leitfähigkeit, in einem Schottergrundwasserleiter mit kristallinen Bestandteilen.

Die pH-Werte zeigen keine Korrelation mit den verschiedenen Hauptbodennutzungen, sie werden praktisch ausschliesslich durch die Geologie des Grundwasserleiters bzw. den Karbonatgehalt der Böden im Einzugsgebiet bestimmt.

2.4.4 Haupt- und Nebenbestandteile, Spurenelemente

Wie im Kapitel 2.4.2 beschrieben, wurden nicht alle untersuchten Parameter nachgewiesen. Für einen weiteren Teil der Parameter liegen nur vereinzelte Nachweise vor, so dass eine statistische Auswertung nicht möglich ist. Daher werden im Folgenden jene Parameter dargestellt, bei denen genügend positive Nachweise vorliegen.

Trübung

Die Trübung im Grundwasser wird in erster Linie durch Partikel hervorgerufen. Dabei handelt es sich um ungelöste Mineralien, organische Partikel und Kolloide aus der Bodenerosion oder um Mikroorganismen (Algen oder Bakterien). Zusätzlich können aber auch durch Ausgasen (z.B. von CO₂) oder Änderungen des pH-Werts gelöste Inhaltsstoffe ausflocken.

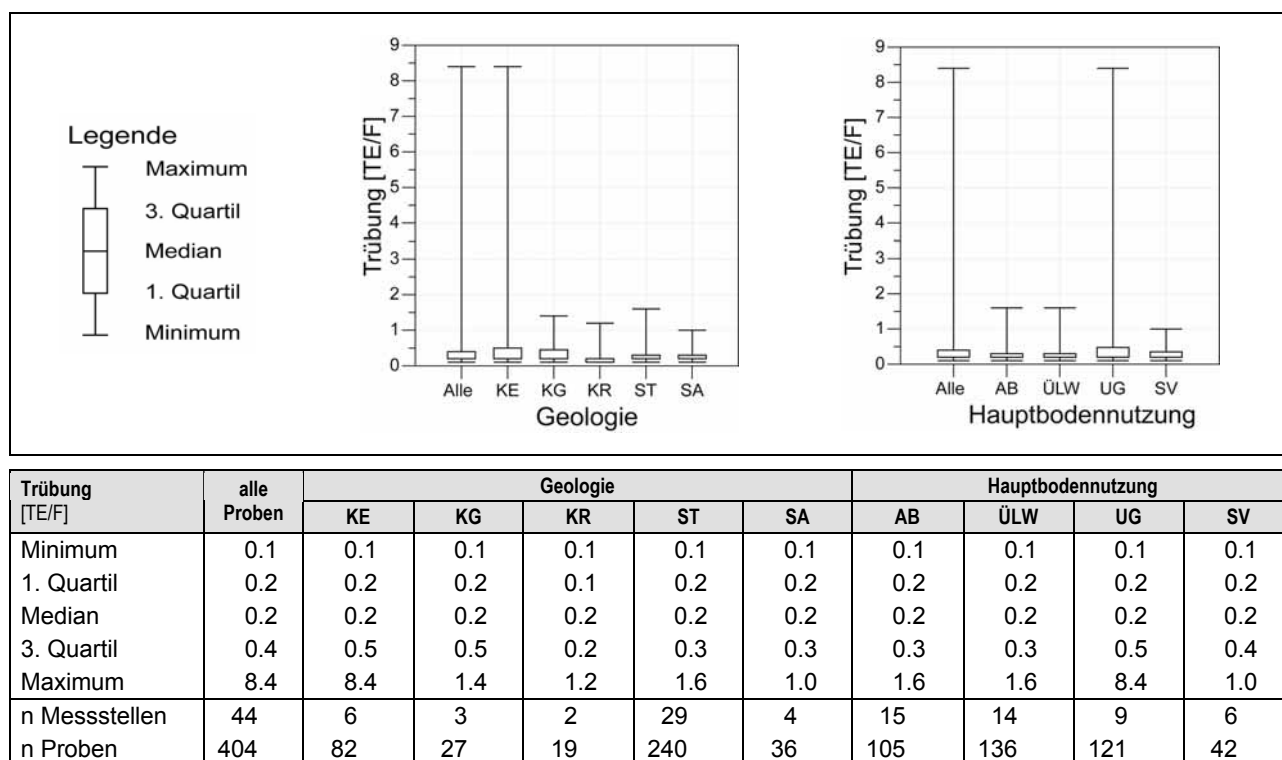


Abb. 56: Trübung in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

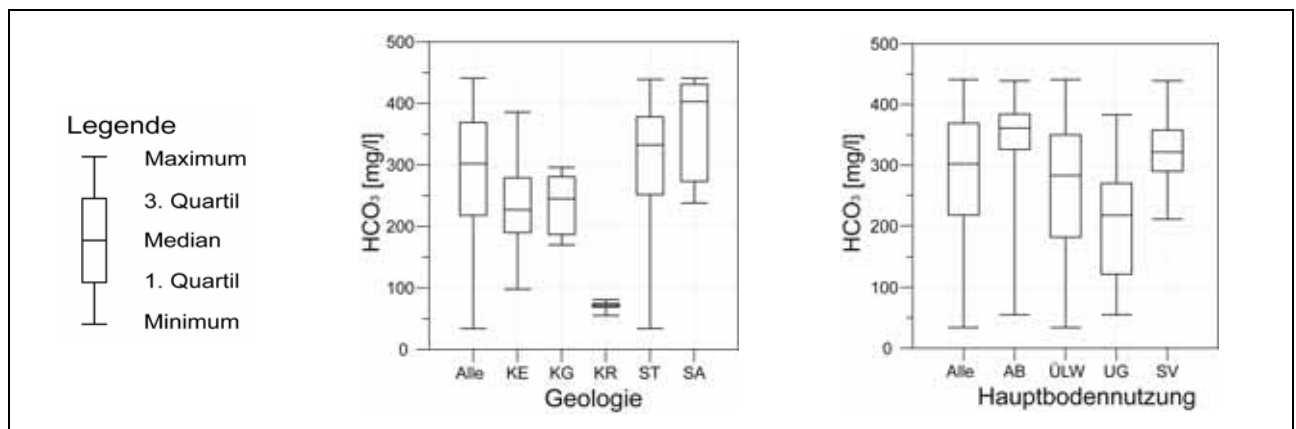
Die Trübungswerte sind mehrheitlich niedrig und von geringer Variabilität, so wie es für normale Grundwässer zu erwarten ist. Ein Teil der Messstellen im Karst (Grundwasserleitertyp KE) bildet jedoch eine Ausnahme und weist unter starken Schwankungen teilweise hohe Trübungswerte auf (Maximum 8.4 TE/F). Dies ist für die betroffenen Karstgrundwasserleiter typisch, da eine filtrierende Bodenschicht weitgehend fehlt.

Bikarbonat (Hydrogenkarbonat, HCO_3^-)

Der Gehalt an Bikarbonat ist vor allem vom Vorhandensein von Karbonatmineralien in Boden und Grundwasserleiter sowie dem CO_2 -Gehalt in der Bodenluft im Einzugsgebiet abhängig. Nach ^[41] liegt der Bikarbonatgehalt anthropogen unbeeinflusster Grundwässer zwischen 50 und 400 mg/l.

Der Median des Bikarbonatgehalts liegt mit 302 mg/l im Bereich der unbelasteten Grundwässer. Einzelne Messungen liegen über 400 mg/l, in einer Messstelle wird der Wert von 50 mg/l unterschritten.

Die niedrigsten Bikarbonatgehalte (Minimalwert 34 mg/l) sind typischerweise bei einer Messstelle in kristallinen Schottern und bei den Messstellen in kristallinen Gesteinen (KR) zu beobachten, wo sowohl das Angebot an Karbonatmineralien wie auch der CO_2 -Anteil im Boden (auf Grund der Höhenlage der Einzugsgebiete der betroffenen Messstellen) sehr gering sind. Alle 3 Messstellen weisen eine deutliche Untersättigung an Kalzit auf.



HCO_3^- [mg/l]	alle Proben	Geologie					Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	34	98	170	55	34	237	55	34	55	211
1. Quartil	218	190	187	69	252	273	326	183	122	290
Median	302	227	245	72	333	403	361	283	218	322
3. Quartil	369	279	281	75	378	431	384	350	270	358
Maximum	441	386	296	81	439	441	439	441	383	439
n Messstellen	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n Proben	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Abb. 57: Bikarbonatgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Hohe Bikarbonatgehalte treten vor allem bei den Schottergrundwässern (SA und ST) auf. Dies ergibt sich aus einer Kombination mehrerer Faktoren: Diese Messstellen liegen mehrheitlich in tiefen Lagen mit gut ausgebildeten Böden und intensiver Bodennutzung (hoher CO_2 -Gehalt in der Bodenluft), die Grundwasserleiter bestehen meist aus Karbonatgeröllen, die Fließgeschwindigkeiten sind relativ niedrig, und die Aufenthaltszeit des Grundwassers im Grundwasserleiter ist somit relativ

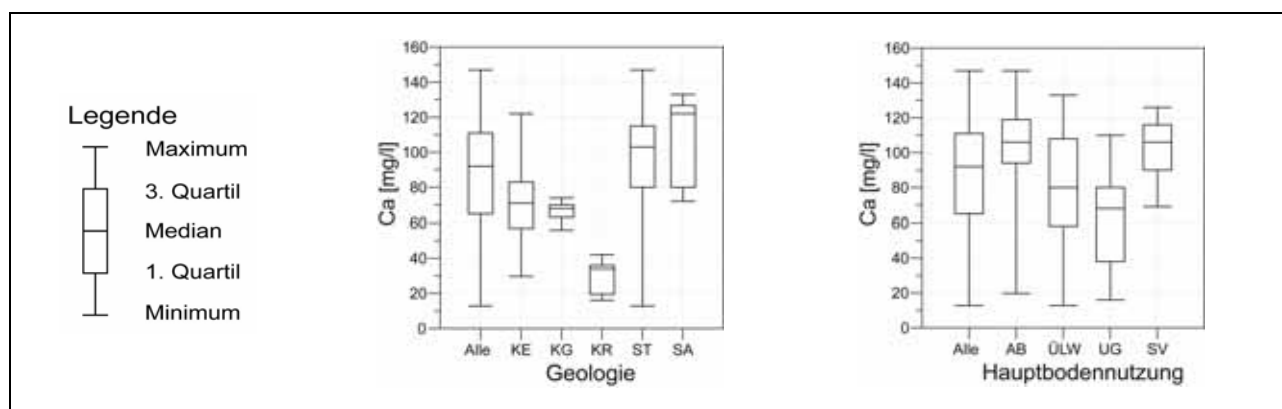
lang, die in Kontakt mit dem Wasser stehende Gesteinsoberfläche ist gross, und auf Grund des oft geringen Flurabstands kann das Grundwasser über längere Zeit mit der Bodenluft CO₂ austauschen.

Calcium (Ca²⁺)

Calcium ist das dominierende Kation im Grundwasser und bestimmt die Wasserhärte massgeblich.

Grundwässer in kristallinen Grundwasserleitern weisen in der Regel geringe Calciumgehalte auf (<100 mg/l), wogegen in karbonathaltigen Grundwasserleitern natürlicherweise Gehalte um die 100 mg/l oder höher beobachtet werden^[41]. Massiv höhere natürliche Calciumgehalte sind in Grundwässern möglich, die Gips bzw. Anhydrit gelöst haben.

Der natürliche Calciumgehalt des Grundwassers kann durch den Einfluss unterschiedlichster anthropogener Quellen überlagert werden. So führen z.B. intensive Bodenbearbeitung (über die erhöhte CO₂-Produktion im Boden), aber auch industrielle Emissionen (z.B. Glas- und Zementherstellung, Bauschuttdeponien usw.) zu erhöhten Calciumgehalten im Grundwasser.



Ca [mg/l]	alle Proben	Geologie					Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	12.8	29.7	56.0	16.0	12.8	72.0	19.7	12.8	16.0	69.0
1. Quartil	65.0	57.0	63.0	19.6	80.0	80.0	94.0	58.3	38.0	90.3
Median	92.0	71.0	68.0	34.0	103.0	122.0	106.0	80.0	68.0	106.0
3. Quartil	111.0	83.0	70.0	36.0	115.0	126.8	119.0	108.0	80.0	116.0
Maximum	147.0	122.0	74.0	42.1	147.0	133.0	147.0	133.0	110.0	126.0
n Messstellen	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n Proben	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Abb. 58: Calciumgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Generell zeigen die Calciumgehalte wie erwartet eine ähnliche Tendenz wie das Bikarbonat. Die Messstellen weisen überwiegend einen Calciumgehalt von unter 100 mg/l auf. Der Median liegt mit 92 mg/l im normalen Bereich unbelasteter Grundwässer aus kalkhaltigen Grundwasserleitern^[42].

Die niedrigsten Werte finden sich bei Messstellen aus Kristallingesteinen (KR) bzw. kristallinen Schottern (Minimalwert 16.0 mg/l bzw. 12.8 mg/l). Diese Wässer sind auch gegenüber Kalzit deutlich untersättigt (vgl. Bikarbonat). Aber auch Grundwässer aus Karstgrundwasserleitern (KE) weisen zum Teil sehr tiefe Calciumgehalte auf. Beim entsprechenden Minimalwert von 29.7 mg/l ist allerdings zu beachten, dass es sich dabei um eine Messstelle mit deutlicher Bachwasserinfiltration handelt.

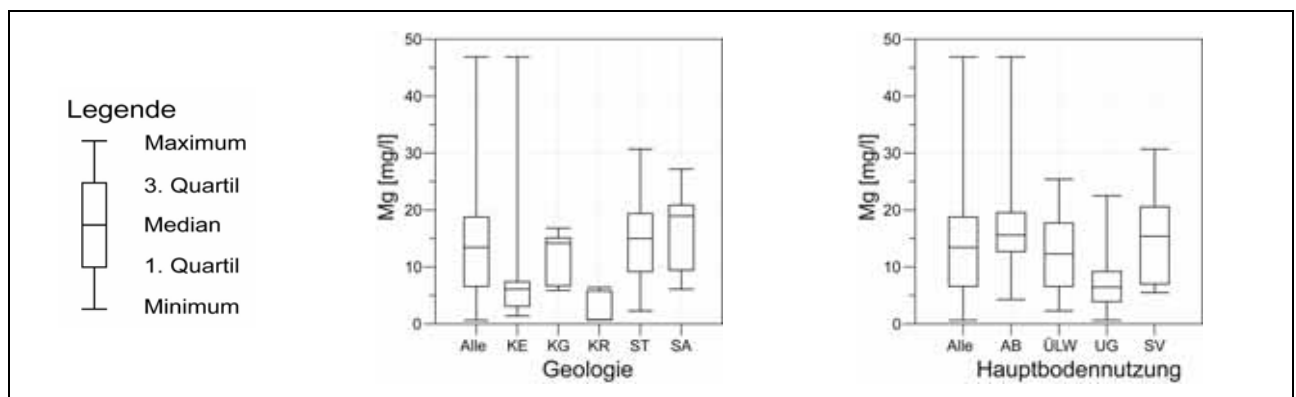
Der höchste Calciumgehalt von 147 mg/l findet sich wie beim Bikarbonat im Schottergrundwasser unter landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen.

Eine eindeutige Abhängigkeit der Calciumgehalte von der Hauptbodennutzung kann zurzeit nicht beobachtet werden.

Magnesium (Mg^{2+})

Magnesium ist der zweite wesentliche Härtebildner im Grundwasser. Es ist allerdings in der Natur deutlich weniger verfügbar als Calcium. Magnesium geht vor allem bei der Verwitterung von magnesiumhaltigen Karbonatmineralien (Dolomit, Magnesit, Mg-Kalzit) in Lösung, kann aber auch bei Grundwässern mit längerer Aufenthaltsdauer im Untergrund durch Kationenaustausch an Tonmineralien das Calcium teilweise ersetzen. In kristallinen Gesteinen kann auch die Verwitterung von magnesiumhaltigen Silikatmineralien Magnesium liefern.

Anthropogen gelangt Magnesium durch Düngemittel oder Sickerwässer (Hausmüll- oder Bauschuttdeponien) ins Grundwasser.



Mg [mg/l]	alle Proben	Geologie					Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	0.6	1.4	5.9	0.6	2.3	6.1	4.3	2.3	0.6	5.5
1. Quartil	6.0	3.1	6.7	0.7	9.2	9.5	12.7	6.6	3.9	7.0
Median	13.5	6.1	14.2	0.7	15.0	19.0	15.6	12.3	6.5	15.4
3. Quartil	18.8	7.4	15.1	5.8	19.4	20.9	19.6	17.7	9.2	20.6
Maximum	46.9	46.9	16.8	6.4	30.7	27.2	46.9	25.4	22.5	30.7
n Messstellen	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n Proben	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Abb. 59: Magnesiumgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Der Median des Magnesiumgehalts liegt bei 13.5 mg/l, was im natürlichen Bereich durchschnittlicher Grundwässer ist^[41]. Auch die Medianwerte der einzelnen Grundwasserleitertypen bzw. der Hauptbodennutzungen befinden sich immer noch deutlich unter dem oberen Limit von ca. 40 mg/l für unbelastete Wässer. Nur eine einzige Messstelle weist – geogen bedingt – leicht höhere Werte auf (Median = 43 mg/l, Maximum = 46.9 mg/l). Es handelt sich dabei um eine Quelle aus dem Muschelkalk, deren Wasser auch durch dolomitreiche Sedimente fliesst. Bei allen übrigen Messstellen liegen selbst die Maximalwerte unterhalb von 40 mg/l (Maximum = 30.7 mg/l).

Wegen der bereits erwähnten Messstelle mit erhöhtem Mg-Gehalt liegt der Maximalwert der Karstgrundwässer (Typ KE) deutlich über den maximalen Werten der anderen Grundwasserleitertypen. Demgegenüber ist der Median der Karstgrundwässer vergleichsweise tief, wie dies für die rasch fliessenden Grundwässer aus kalzitdominierten Karstgrundwasserleitern zu erwarten ist. In den Schottergrundwässern (ST und SA) ist der Median mit 15.0 bzw. 19.0 mg/l (analog zu den Calciumgehalten) am höchsten.

Die tiefsten Gehalte an Magnesium liefern wiederum die Messstellen in Grundwasserleitern aus Kristallingesteinen (KR). Hier findet sich der minimale Magnesiumgehalt von 0.6 mg/l.

Um anthropogene Einflüsse auf den Magnesiumgehalt nachweisen zu können, sind einerseits die beobachteten Gehalte zu niedrig und andererseits die Beobachtungsreihen zu wenig lang.

Natrium (Na⁺)

Natrium ist ein so genanntes konservatives Element: Einmal in Lösung, gibt es praktisch keine Reaktionen, welche es wieder aus dem Grundwasser entfernen könnten. Ein minimaler Natriumgehalt des Grundwassers wird durch die Niederschläge eingetragen. Im Grundwasserleiter geht Natrium hauptsächlich durch Kationenaustausch an Tonmineralien (Austausch von Calcium gegen Natrium) oder bei der Lösung von Steinsalz in Lösung. In kristallinen Gesteinen kann auch durch die Verwitterung natriumhaltiger Silikate Natrium in Lösung gehen. In unbelasteten Grundwässern (ohne Kontakt zu Evaporiten) liegen die Natriumgehalte zwischen 1 bis 20 mg/l^[41]. Anthropogene Einträge sind vorwiegend auf den Einsatz von Tausalzen zurückzuführen^[42]. Aber auch durch den Eintrag von häuslichen oder industriellen Abwässern können erhöhte Natriumgehalte im Grundwasser verursacht werden. Gerade im Bereich von Siedlungsflächen besteht ein erhöhtes Eintragspotential durch defekte Kanalisationsleitungen.

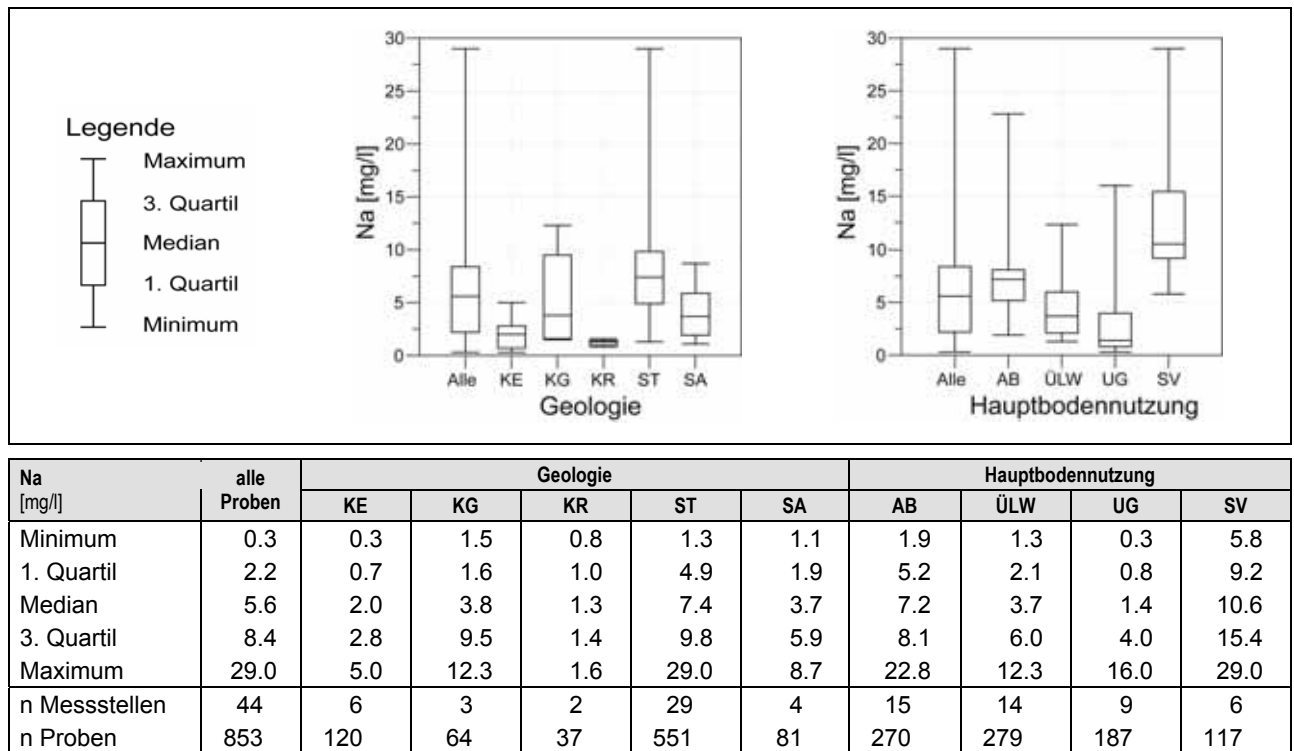


Abb. 60: Natriumgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Mit einem Median von 5.6 mg/l ist der Natriumgehalt in den untersuchten Grundwässern eher tief und mehrheitlich natürlich bedingt.

Geogen bedingt kommt Natrium in den Karstgrundwasserleitern (KE) und in den kristallinen Grundwasserleitern (KR) in relativ niedrigen Konzentrationen vor. Die Werte schwanken dabei zwischen 0.3 mg/l und 5.0 mg/l.

Deutlich erhöhte Natriumgehalte sind bei den Schottergrundwässern des Typs ST zu beobachten. Hier weist eine Messstelle Maximalwerte bis 29.0 mg/l (Median dieser Messstelle = 25.9 mg/l) auf. Diese Werte liegen damit deutlich über den geogenen Werten normaler Grundwässer ohne Kontakt zu Evaporiten. Die Messstelle liegt in einer Grossstadt. Wahrscheinlich sind die hohen Natriumwerte auf eine anthropogene Beeinflussung zurückzuführen (Auftaumittel, Abwasserversickerung).

Allgemein liegt der Median von 10.6 mg/l für die Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege deutlich über den Werten der anderen Hauptbodennutzungen, was auf anthropogene Beeinflussung zurückzuführen sein dürfte.

Kalium (K^+)

In unbelasteten Grundwässern stammt Kalium in erster Linie aus der Verwitterung von Kaliumglimmern (Biotit, Muskovit) oder von Kalifeldspat oder aus evaporitischen Kaliumsalzen (z.B. KCl). Unbelastete Grundwässer mit einem Natriumgehalt unter 10 mg/l weisen in der Regel einen Kaliumgehalt von 1 bis 5 mg/l auf^[41].

Anthropogen gelangt Kalium z.B. durch den Einsatz von Düngemitteln oder Sickerwasserzutritte von Abfalldeponien ins Grundwasser. Kalium wird von Tonmineralien stark absorbiert und kann somit bei längerer Aufenthaltsdauer in tonhaltigen Grundwasserleitern wieder aus dem Grundwasser entfernt werden.

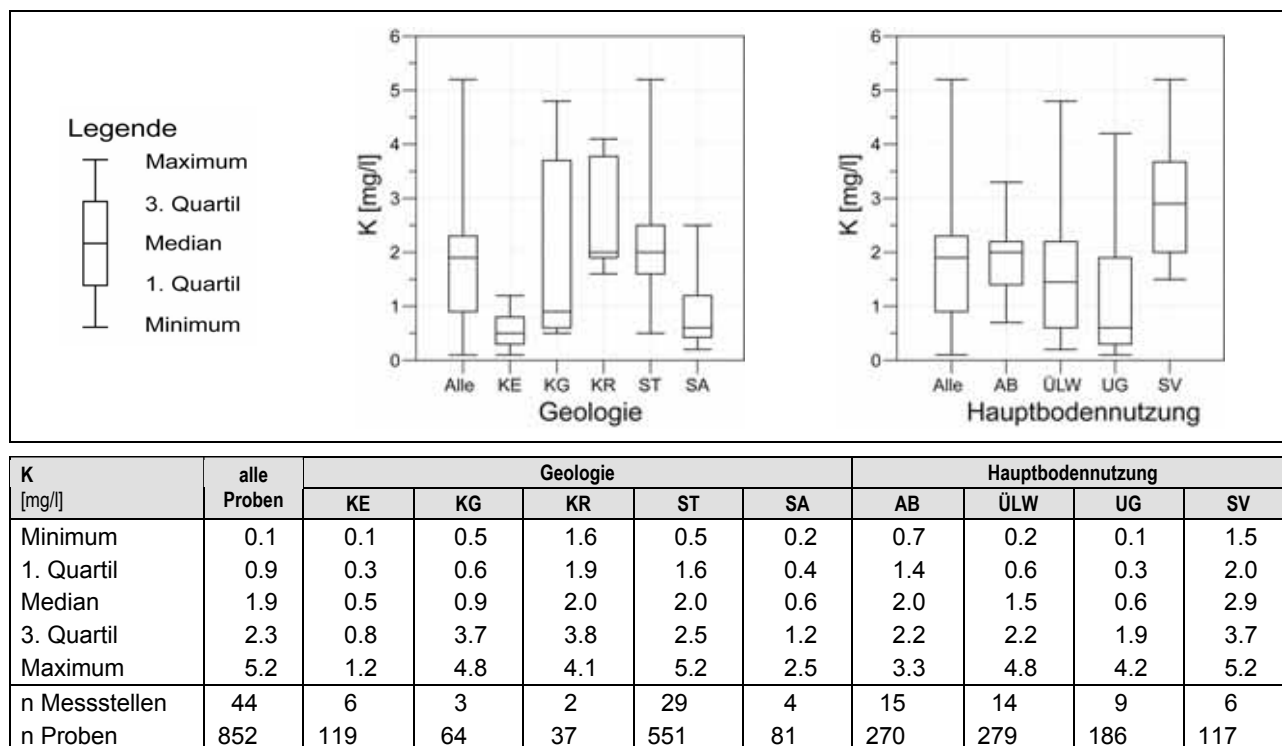


Abb. 61: Kaliumgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

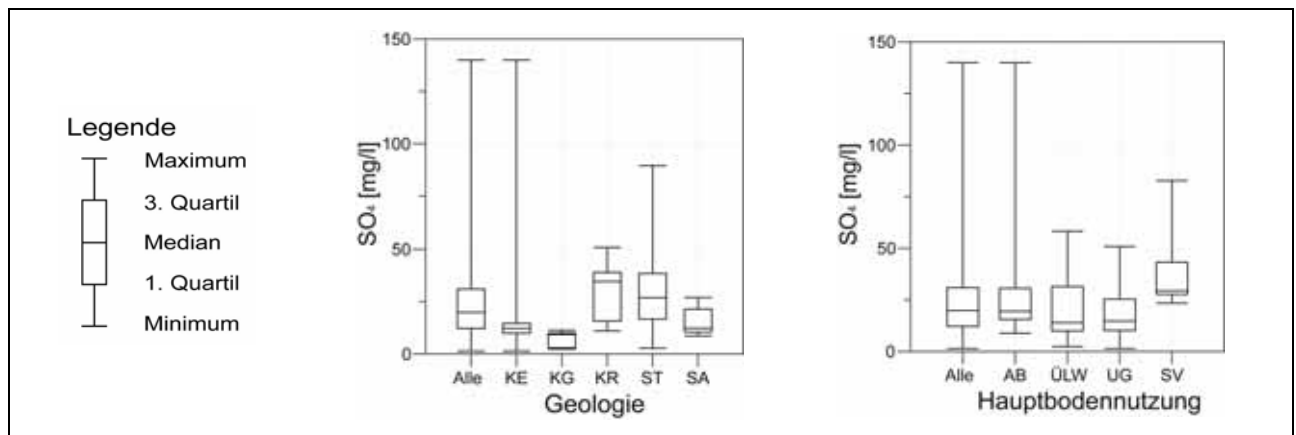
Der relativ tiefe Medianwert aller untersuchten Grundwässer von 1.9 mg/l deutet an, dass der Kaliumgehalt des Wassers vorwiegend natürlichen Ursprungs ist. Die tiefsten Werte werden in den Karstgrundwässern gemessen, da in den karbonatischen Gesteinen dieser Grundwasserleiter relativ wenig Kalium vorhanden ist und in diesen Gebieten meist nur wenig intensive landwirtschaftliche Tätigkeiten vorliegen.

Der Maximalwert von 5.2 mg/l kann in einem Schottergrundwasser in einer Grossstadt beobachtet werden. Eine Beeinflussung durch landwirtschaftliche Tätigkeiten lässt sich somit ausschliessen. Die genaue Herkunft dieses erhöhten Werts kann allerdings nicht beurteilt werden.

Obwohl der Medianwert mit 2.9 mg/l für die Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege (SV) im Allgemeinen relativ tief ist, liegt er doch deutlich über den Medianwerten der anderen Hauptbodennutzungen. Dieser höhere Wert ist wahrscheinlich auf eine Beeinflussung durch menschliche Tätigkeiten zurückzuführen. Ebenso kann eine stetige Abnahme der Medianwerte mit sinkender Intensität der Hauptbodennutzung beobachtet werden.

Sulfat (SO_4^{2-})

Sulfat gelangt vor allem durch die Lösung von evaporitischen Sulfatmineralien (z.B. Gips, Anhydrit) ins Grundwasser. Auf Grund der relativ hohen Löslichkeit von Sulfat kann Grundwasser unter durchschnittlichen Bedingungen bis ca. 1.5 g/l lösen. Eine weitere Sulfatquelle ist die Oxydation sulfidischer Mineralien (z.B. Pyrit). Zudem wird Sulfat auch durch den Abbau von Biomasse im Boden freigesetzt. Sulfat kann ebenfalls durch zahlreiche menschliche Tätigkeiten ins Grundwasser gelangen: schwefelhaltige Düngemittel, Schwefeldioxyd-Niederschläge aus der Luft, industrielle Abwässer, Sickerwässer von Abfalldeponien, Bauschutt usw. Durch die Tätigkeit spezieller Bakterien kann im Wasser gelöstes Sulfat in anoxischen Grundwässern reduziert und z.B. zu Schwefelwasserstoffgas (H_2S) umgewandelt werden.



SO_4 [mg/l]	alle Proben	Geologie					Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	1.4	1.4	2.4	11.0	2.8	8.7	8.8	2.4	1.4	23.4
1. Quartil	12.2	9.9	2.9	15.8	16.7	10.5	15.6	10.0	10.2	27.7
Median	19.0	12.2	9.3	34.6	26.8	12.3	19.5	14.0	14.8	19.5
3. Quartil	31.0	14.6	9.9	39.0	38.5	21.4	30.7	31.5	25.4	43.3
Maximum	140.0	140.0	11.3	50.9	89.5	26.9	140.0	58.3	50.9	82.8
n Messstellen	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n Proben	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Abb. 62: Sulfatgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Der Median aller untersuchten Grundwässer von 19.0 mg/l ist relativ niedrig und liegt unter dem Wert von max. 30 mg/l für unbelastete Grundwässer ohne Kontakt zu evaporitischen Gesteinen^[41].

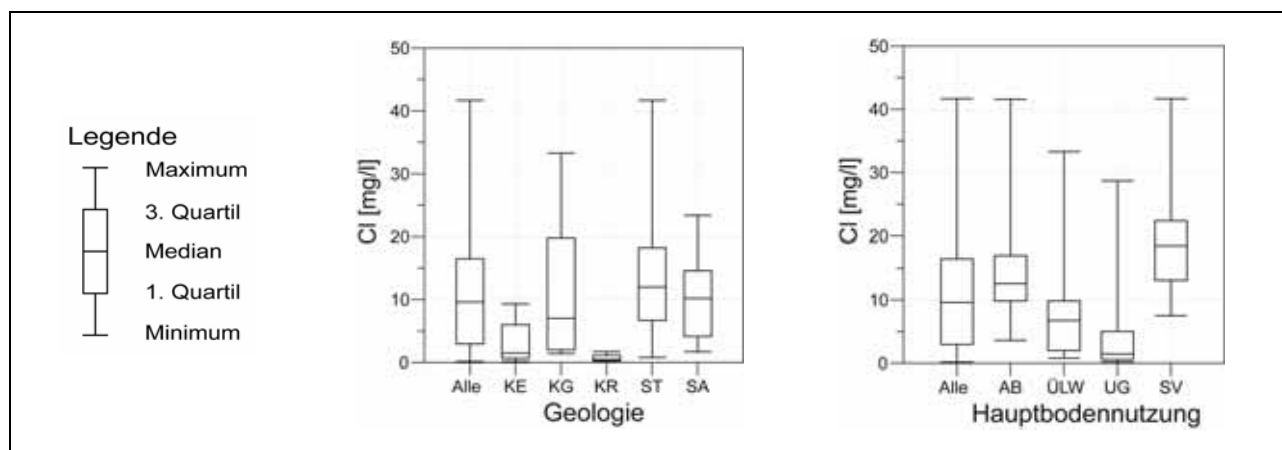
Vereinzelte sind auch sehr niedrige Werte von minimal 1.4 mg/l in Karstgrundwässern (KE) zu beobachten. Offensichtlich liegt hier im Boden und im Gestein des Grundwasserleiters nur ein geringes Angebot an Sulfat vor.

Die höchsten Sulfatgehalte (Maximum = 140 mg/l) werden bei einer Karstquelle aus dem Muschelkalk gefunden (Typ KE). Bei dieser Messstelle nimmt im Sommer/Herbst parallel zur Abnahme der Quellschüttung das Nitrat geringfügig ab, Sulfat-, Calcium- und Magnesiumgehalte nehmen hingegen zu (lineare Beziehung). Dies weist auf eine Mischung zweier verschiedener Wässer hin: einerseits ein oberflächennahes, typisches Karstwasser aus dem Muschelkalk und andererseits ein stärker mineralisiertes Grundwasser aus sulfathaltigeren Schichten.

Chlorid (Cl)

Chlorid ist ein konservatives Element. Die natürlichen Quellen des Chlorids sind oft dieselben wie beim Natrium. Allerdings gelangt Chlorid nicht durch Ionenaustausch ins Grundwasser, und auch die Verwitterung von Silikatmineralien spielt kaum eine Rolle.

Anthropogen verursachte Chloridbelastungen sind häufig auf Strassenabschwemmungen (Auftausalz) zurückzuführen. Aber auch Industrie- und Haushaltsabfälle oder chloridhaltige Düngemittel können Chlorid ins Grundwasser eintragen.



Cl [mg/l]	alle Proben	Geologie					Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	0.2	0.2	1.4	0.2	0.8	1.7	3.6	0.8	0.2	7.5
1. Quartil	3.0	0.7	2.0	0.3	6.7	4.2	9.9	2.0	0.6	13.1
Median	9.6	1.5	7.0	0.5	12.0	10.2	12.6	6.8	1.5	18.6
3. Quartil	16.5	6.0	19.8	0.7	18.2	14.6	17.0	9.8	5.0	22.4
Maximum	41.7	9.3	33.3	1.7	41.7	23.4	41.6	33.3	28.7	41.7
n Messstellen	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n Proben	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

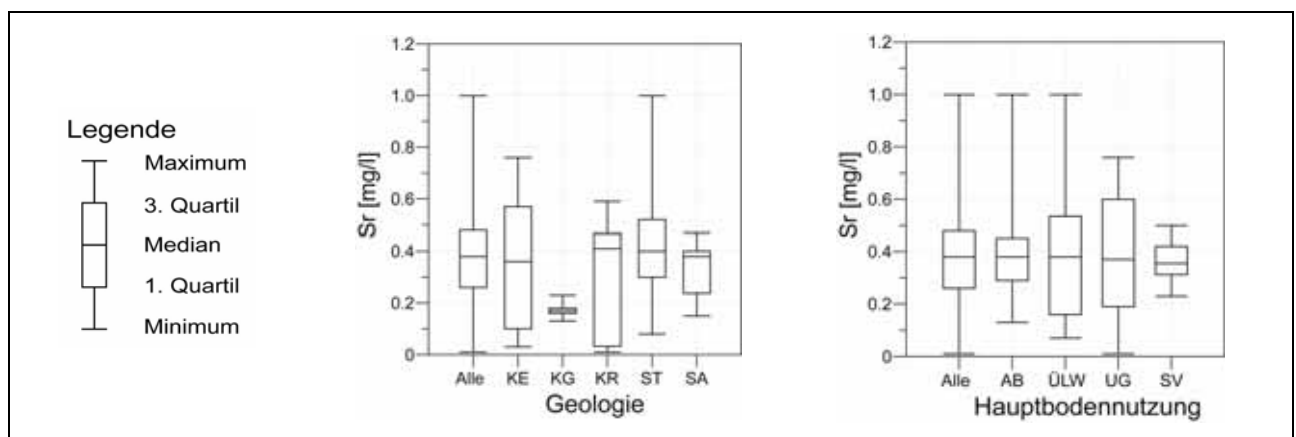
Abb. 63: Chloridgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Im Allgemeinen sind die Chloridgehalte mit einem Median von 9.6 mg/l relativ niedrig und liegen somit im Bereich unbelasteter Grundwässer ohne Kontakt zu Evaporitgesteinen^[41]. Vor allem die Medianwerte kristalliner Grundwässer (KR) oder Grundwässer der Hauptbodennutzung ungenutzte Gebiete (UG) sind mit 0.5 mg/l, bzw. 1.5 mg/l sehr tief und widerspiegeln so die Abwesenheit relevanter anthropogener Beeinflussungen.

Demgegenüber ist der Median der Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege mit einem Wert von 18.6 mg/l (Maximum = 41.7 mg/l) deutlich erhöht. Wie bei Natrium ist dies wahrscheinlich auf anthropogene Beeinflussung zurückzuführen.

Strontium (Sr^{2+})

Strontium gelangt vor allem durch die Verwitterung strontiumhaltiger Minerale ins Grundwasser. Weitere Quellen können auch anthropogener Natur sein (z.B. Industrie, Pharmazie, Nukleartechnik usw.^[43]).



Sr [mg/l]	alle Proben	Geologie					Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	0.01	0.03	0.13	0.01	0.08	0.15	0.13	0.07	0.01	0.23
1. Quartil	0.26	0.10	0.16	0.03	0.30	0.24	0.29	0.16	0.19	0.31
Median	0.38	0.36	0.17	0.41	0.40	0.38	0.38	0.38	0.37	0.36
3. Quartil	0.48	0.57	0.18	0.47	0.52	0.40	0.45	0.54	0.60	0.42
Maximum	1.00	0.76	0.23	0.59	1.00	0.47	1.00	1.00	0.76	0.50
n Messstellen	44	6	3	2	29	4	15	14	9	6
n Proben	853	120	64	37	551	81	270	279	187	117

Abb. 64: Strontiumgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Die Auswertungen zeigen keine besonderen Tendenzen bezüglich des Strontiumgehalts. Der Median liegt für alle Grundwasseranalysen bei 0.38 mg/l und ist damit im Bereich der Angaben anderer Untersuchungen (0.01 bis 1.0 mg/l)^[41].

Barium (Ba^{2+})

Barium tritt in der Natur vor allem als Baryt (BaSO_4) auf, kann aber auch Calcium in Apatit oder Calcit ersetzen oder den Platz des Kaliums in kaliumhaltigen Mineralien (K-Feldspat, Glimmer) einnehmen. Bei der Verwitterung dieser Mineralien geht Barium in Lösung, wird allerdings stark an Tonmineralien gebunden. Im Grundwasser ist Barium meist als Spurenelement nachzuweisen. Seine Höchstkonzentration wird in der Regel durch die Löslichkeit des Baryts begrenzt und liegt in der Grössenordnung von 0.06 mg/l bei Sulfatgehalten von rund 50 bis 100 mg/l. Barium ist im Grundwasser meist natürlicher Herkunft, allerdings wird Barium auch in zahlreichen industriellen Anwendungen eingesetzt (z.B. für Bohrspülungen, Papierindustrie, Keramik- und Glasindustrie, diverse Füllstoffe, Feuerwerkskörper) und kann so auch über Abwässer in das Grundwasser eingetragen werden.

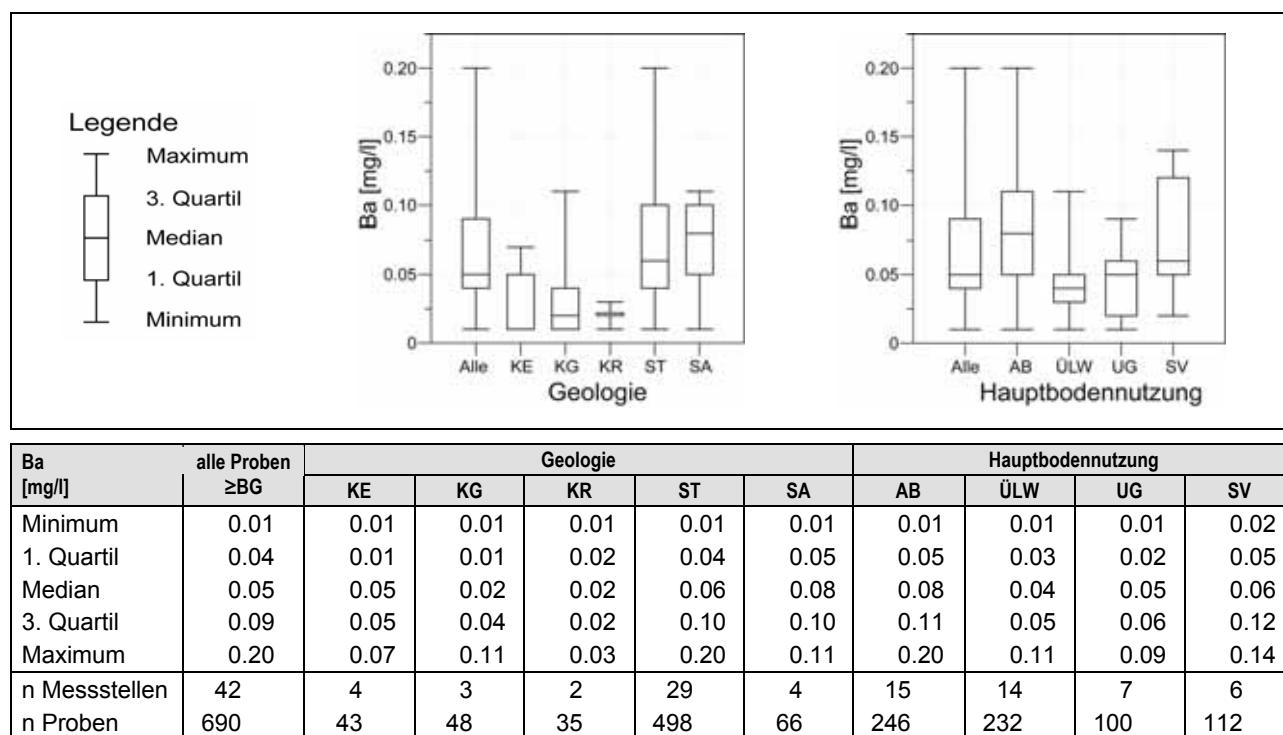


Abb. 65: Bariumgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung (nur Analysen und Messstellen mit Werten $\geq$ Bestimmungsgrenze ausgewertet; rund 15% der Analysen sind negativ).

Die Bariumgehalte der Grundwässer, in denen Barium quantifiziert werden konnte, liegen mit einem Median von 0.05 mg/l relativ nahe bei der Bestimmungsgrenze von 0.01 mg/l.

Die tiefsten Bariumgehalte treten generell in den klastischen (KG), kristallinen (KR) und Karstgrundwasserleitern (KE) auf. Die Messstellen in den Schottergrundwasserleitern (ST und SA) weisen deutlich höhere Medianwerte und auch den höchsten Maximalwert auf.

Die Hauptbodennutzungen Ackerbau (AB) sowie Siedlungsraum und Verkehr (SV) weisen leicht höhere Medianwerte auf als die zwei anderen Hauptbodennutzungen. Allerdings kann aufgrund der vorliegenden Daten nicht entschieden werden, ob die Abweichungen im Bariumgehalt durch die unterschiedliche Geologie oder die unterschiedlich intensive Nutzung bedingt sind, gehören doch die Messstellen mit den höchsten Bariumkonzentrationen sowohl zu den Schottergrundwässern wie auch zu den intensiven Hauptbodennutzungen Ackerbau und Siedlungsraum und Verkehrswege. Zudem liegt bei 9 von 11 Messstellen mit Bariumgehalt ≥ 0.1 mg/l sowie bei allen übrigen 12 Messstellen, deren Sulfatgehalt 30 mg/l übersteigt, eine Sättigung bzw. sogar Übersättigung gegenüber Baryt vor. Der maximale Bariumgehalt in all diesen Messstellen wird somit nicht durch die Geologie des Grundwasserleiters oder die Hauptbodennutzung bestimmt, sondern durch die maximale Löslichkeit des Baryts. Dies führt dazu, dass z.B. bei 3 Messstellen der maximale Bariumgehalt 0.03 mg/l gar nicht überschreiten kann.

Silizium (Si)

Silizium ist nach Sauerstoff das zweithäufigste Element der Erde. Es tritt in der Natur jedoch fast ausschliesslich in schwer löslichen Mineralien (z.B. Quarz, Feldspat, Glimmer) auf. Diese Mineralien sind auch die wichtigsten Bestandteile der häufigsten Gesteine (Sandstein, Granit, Gneis usw.) mit Ausnahme der Karbonatgesteine (Kalke, Dolomite). Silizium gelangt durch die Gesteinsverwitterung ins Grundwasser. Dieser Prozess ist im Allgemeinen allerdings langsam, so dass junge Grundwässer in Gesteinen mit geringem Siliziumgehalt nur wenig Silizium enthalten können. Die maximal mögliche Konzentration des Silizium im Grundwasser wird in der Regel durch die Löslichkeit von Quarz oder Chalcedon²⁷ bestimmt, die ihrerseits stark von der Wassertemperatur abhängig ist. Die Konzentrationen im Grundwasser können von wenigen mg/l bis zu einigen Zehnern mg/l reichen^[41], liegen im Mittel jedoch zwischen 12 bis 17 mg/l^[42]. Im Grundwasser liegt Silizium meist als undissoziierte Kieselsäure (H_4SiO_4) vor.

Anthropogen verursachte Siliziumeinträge können z.B. auch aus Bauschuttdeponien stammen^[42].

²⁷ Chalcedon ist kryptokristalliner Quarz und weist eine höhere Wasserlöslichkeit als normaler Quarz auf. Im tiefen Temperaturbereich, d.h. bei den in den untersuchten Wässern vorherrschenden Temperaturen, wird die Siliziumlöslichkeit durch die Löslichkeit des Chalcedon bestimmt.

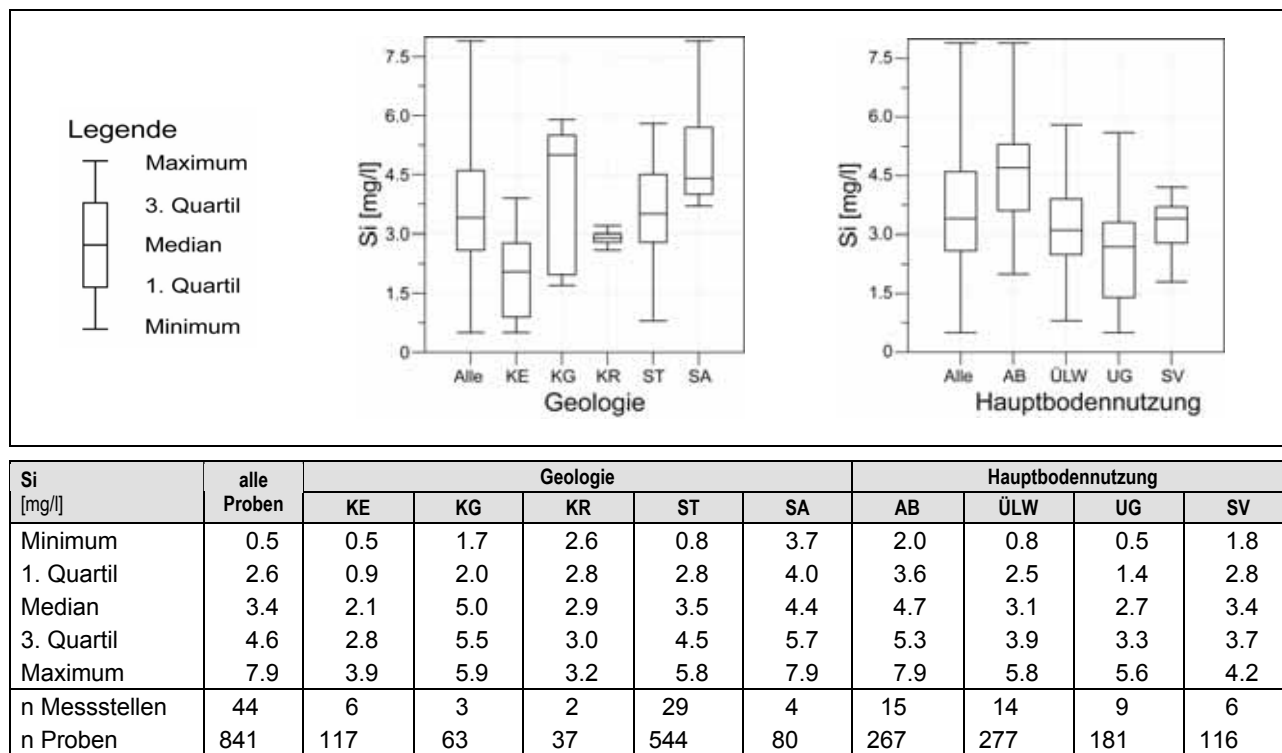


Abb. 66: Siliziumgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Der Median aller Messungen von Silizium beträgt 3.4 mg/l.

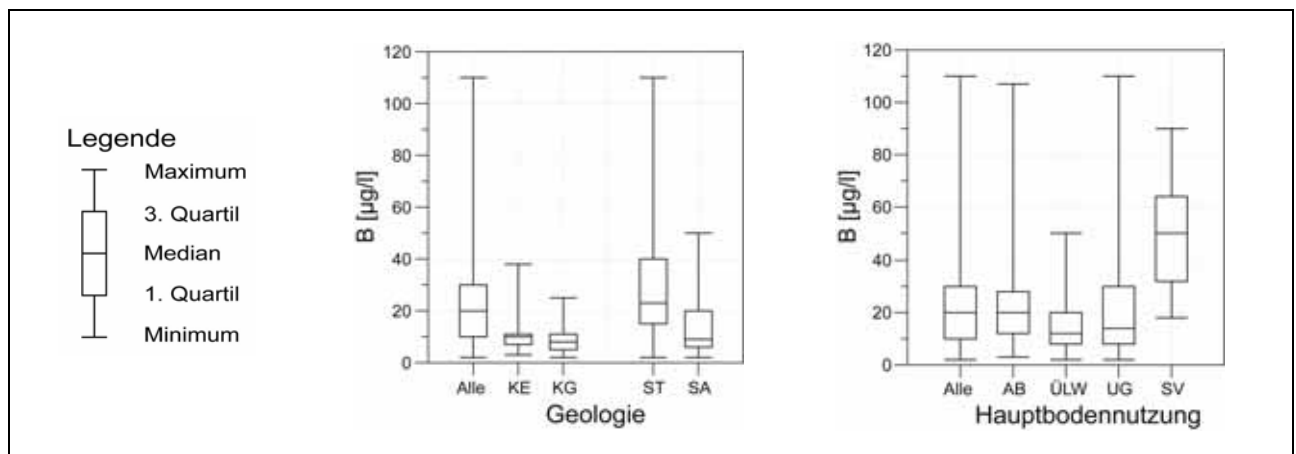
Anhand der Medianwerte der einzelnen Grundwasserleitertypen können leichte Unterschiede festgestellt werden. Die Karstwässer (KE) weisen mit einem Median von 2.1 mg/l die niedrigsten Siliziumgehalte auf. Dies ist die logische Folge davon, dass die Karstgrundwasserleiter aus karbonatischen Gesteinen bestehen und ein gewichtiger Teil der Karstwässer nur sehr kurze unterirdische Aufenthaltszeiten aufweist. So zeigen denn alle 6 Messstellen des Grundwasserleitertyps KE eine deutliche Untersättigung gegenüber Chalcedon auf. Die Schottergrundwässer ausserhalb von Talsohlen (SA) enthalten am meisten Silizium (Median 4.4 mg/l, Maximalwert 7.9 mg/l). Auch die Messstellen in den klastischen Gesteinen (KG) sind relativ siliziumreich (Median 5.0 mg/l); hier weisen 2 von 3 Messstellen eine Sättigung gegenüber Chalcedon auf, was einerseits auf siliziumreiches Aquifergestein, andererseits auf relativ lange Aufenthaltszeiten im Untergrund hinweist. Die geringen Siliziumgehalte der Kristallinwässer (KR) sind Ausdruck der niedrigen Temperaturen und kurzen Aufenthaltszeit dieser Grundwässer im Untergrund, zeigen doch beide Messstellen eine Untersättigung gegenüber Chalcedon.

Bor (B)

Bor ist in der Natur in zahlreichen Mineralien als Spurenstoff enthalten (z.B. in Turmalin, Glimmer, Amphibole). In Sedimenten reichert es sich vor allem in organischem Material und in Tonmineralien an. Bor ist gut wasserlöslich und geht bei der Verwitterung schnell in Lösung. Im Grundwasser liegt es meistens als undissoziierte Borsäure (H_3BO_3) vor. ^[41] nennt für unbelastete Grundwässer Maximalgehalte von bis zu 1 mg/l. In den meisten Grundwässern liegen die Borgehalte im Bereich von einigen $\mu\text{g/l}$ bis zu einigen Zehnern $\mu\text{g/l}$ ^[43]. Als geogener Hintergrundwert werden Werte $<10 \mu\text{g/l}$ bis $65 \mu\text{g/l}$ angegeben^[44].

Bor wird in Waschmitteln in grosser Menge als Bleichmittel eingesetzt (als Natrium-Perborat). Weitere Anwendungsbereiche sind Glasherstellung, Flammschutzmittel, Pharmazeutika, Düngemittel, Insektizide usw.

Auf Grund seiner grossen Mobilität und seines konservativen Verhaltens im Grundwasser (vgl. Natrium) ist Bor ein wichtiger Indikator für die Infiltration von Abwasser, Oberflächenwasser oder Deponiesickerwasser.



B [µg/l]	alle Proben ≥BG	Geologie					Hauptbodennutzung			
		KE	KG	KR	ST	SA	AB	ÜLW	UG	SV
Minimum	2	3	2	14	2	2	3	2	2	18
1. Quartil	10	7	5		15	6	12	8	8	32
Median	20	10	8		23	9	20	12	14	50
3. Quartil	30	11	11		40	20	28	20	30	64
Maximum	110	38	25	14	110	50	107	50	110	90
n Messstellen	42	5	3	1	29	4	15	14	7	6
n Proben	670	66	40	1	507	56	250	213	90	117

Abb. 67: Borgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung
(nur Analysen und Messstellen mit Werten $\geq$ Bestimmungsgrenze ausgewertet;
rund 28% der Analysen sind negativ).

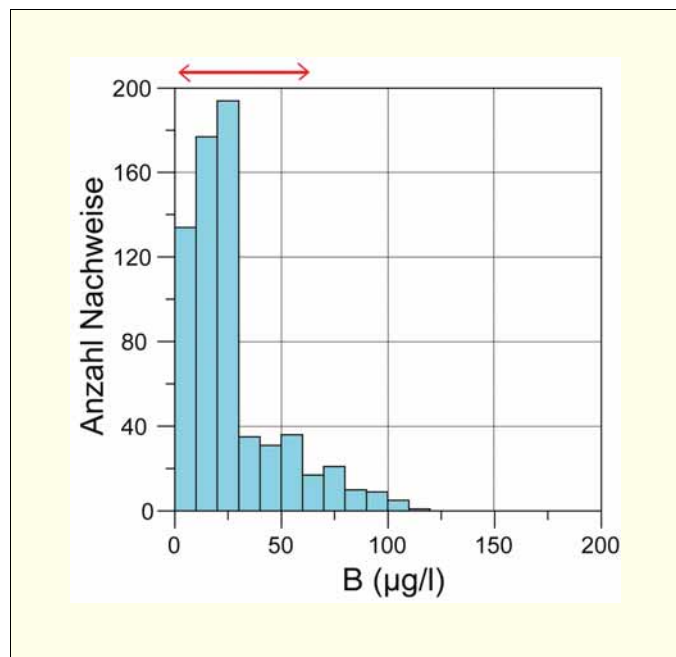
Der Median des natürlichen Borgehalts in schweizerischen Grundwässern liegt nach ^[21] zwischen ca. 3 µg/l (Molassegundwasserleiter) und 63 µg/l (Evaporite in den Voralpen). Nach ^[15] können Werte ab ca. 50 µg/l bereits auf anthropogen belastetes Grundwasser hinweisen.

Der Median des Borgehalts der untersuchten Grundwässer, in denen Bor nachgewiesen werden konnte, liegt bei 20 µg/l (Minimum = 2 µg/l; Maximum = 110 µg/l). Bor konnte nicht in allen Messstellen nachgewiesen werden.

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass der grösste Teil der gemessenen Borgehalte innerhalb des Bereichs der natürlichen Borkonzentrationen liegt. Werte mit einer höheren Konzentration (bezogen auf den Median) sind vor allem in den Schottergrundwässern (ST) anzutreffen.

Von 5 Messstellen mit einem Median >50 µg/l gehören 3 zur Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege (SV) und 1 zur Hauptbodennutzung Ackerbau (AB). 1 weitere Messstelle gehört zur Hauptbodennutzung unproduktive Gebiete (UG) (hoher Anteil an Wald im Einzugsgebiet). Allerdings finden sich hier bedeutende Nebennutzungen in den Bereichen Ackerbau und Siedlungsraum und Verkehrswege sowie ein infiltrierender Fluss mit starker Belastung an diversen Schadstoffen. Hier wurden der höchste Medianwert (90 µg/l) und ein sehr hoher Maximalwert (110 µg/l) gemessen. Dieser hohe Borgehalt könnte auf die Infiltration von Flusswasser (mit bedeutendem Anteil an gereinigtem Haushaltabwasser) zurückzuführen sein.

Abb. 68:
Häufigkeitsverteilung der
Bor-Nachweise (Analysen
≥Bestimmungsgrenze). Der
Bereich der natürlichen Bor-
gehalte nach ^[44] ist mit einem
Pfeil eingezeichnet.



Fluor (F⁻)

Fluor kommt in der Natur vor allem in Mineralien wie Fluorit (CaF₂) oder Fluorapatit (Ca₅(PO₄)₃F), aber auch als Spurenelement z.B. in Turmalin vor und gelangt bei der Verwitterung dieser Mineralien in Lösung. Kristalline Gesteine weisen oft höhere Fluorgehalte auf. Fluor wird aber auch in sedimentären Tonmineralien angereichert.

Fluor kommt als Flussmittel in der Metallindustrie zur Anwendung und wird in Zahnpasten oder Kochsalz als Mittel zur Kariesprophylaxe eingesetzt.

In unbelasteten Grundwässern werden in der Regel geringe Konzentrationen von unter 1 mg/l beobachtet^[41]. Für Trinkwasser gilt ein Toleranzwert nach FIV^[18] von 1.5 mg/l.

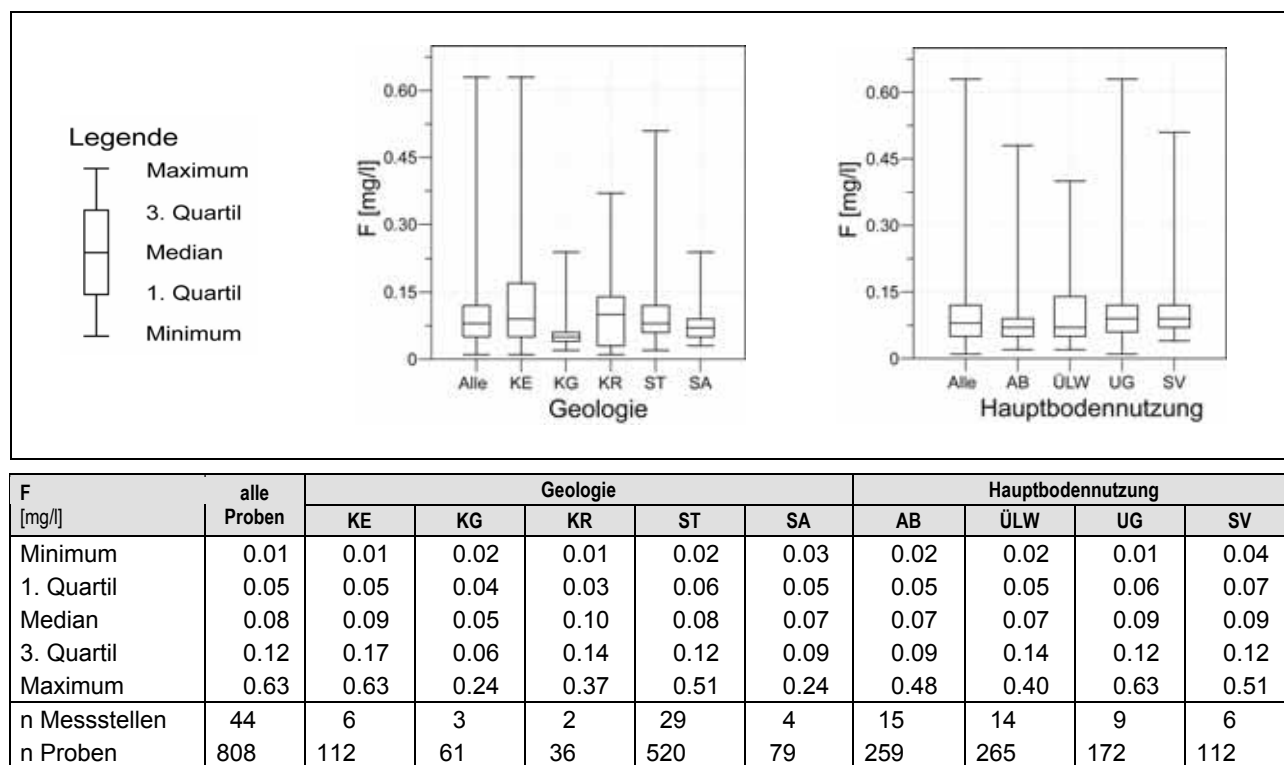


Abb. 69: Fluorgehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Der Median aller Messungen beträgt 0.08 mg/l und liegt damit im Bereich unbelasteter Grundwässer. Der Trinkwassertoleranzwert wird nie überschritten.

In Bezug auf die Geologie des Grundwasserleiters oder die Hauptbodennutzung können keine wesentlichen Tendenzen beobachtet werden. Einzig zwei Karstquellen mit Maximalwerten von 0.47 mg/l bzw. 0.63 mg/l weisen vereinzelt höhere Werte auf.

DOC (Dissolved Organic Carbon = gelöster organischer Kohlenstoff)

Der DOC umfasst als Summenparameter die im Wasser gelösten organischen Verbindungen und ist ein Mass für die Belastung des Wassers mit organischen Substanzen.

Natürlicherweise werden erhöhte DOC-Konzentrationen im Grundwasser z.B. durch den Eintrag von Huminsäuren aus Mooren oder humusreichen Böden verursacht. Dieser Eintrag ist naturgemäss in den vulnerablen Karstgrundwasserleitern mit geringmächtiger bis fehlender filtrierender Bodenschicht höher. Anthropogen erhöht wird der DOC im Grundwasser z.B. durch die Infiltration von Abwässern, Gülle, Deponiesickerwässer oder die Abschwemmung organischen Materials (Erosion) von landwirtschaftlich genutzten Böden. In der GSchV^[17] besteht für den DOC eine numerische Anforderung an als Trinkwasser genutztes Grundwasser von 2 mg/l.

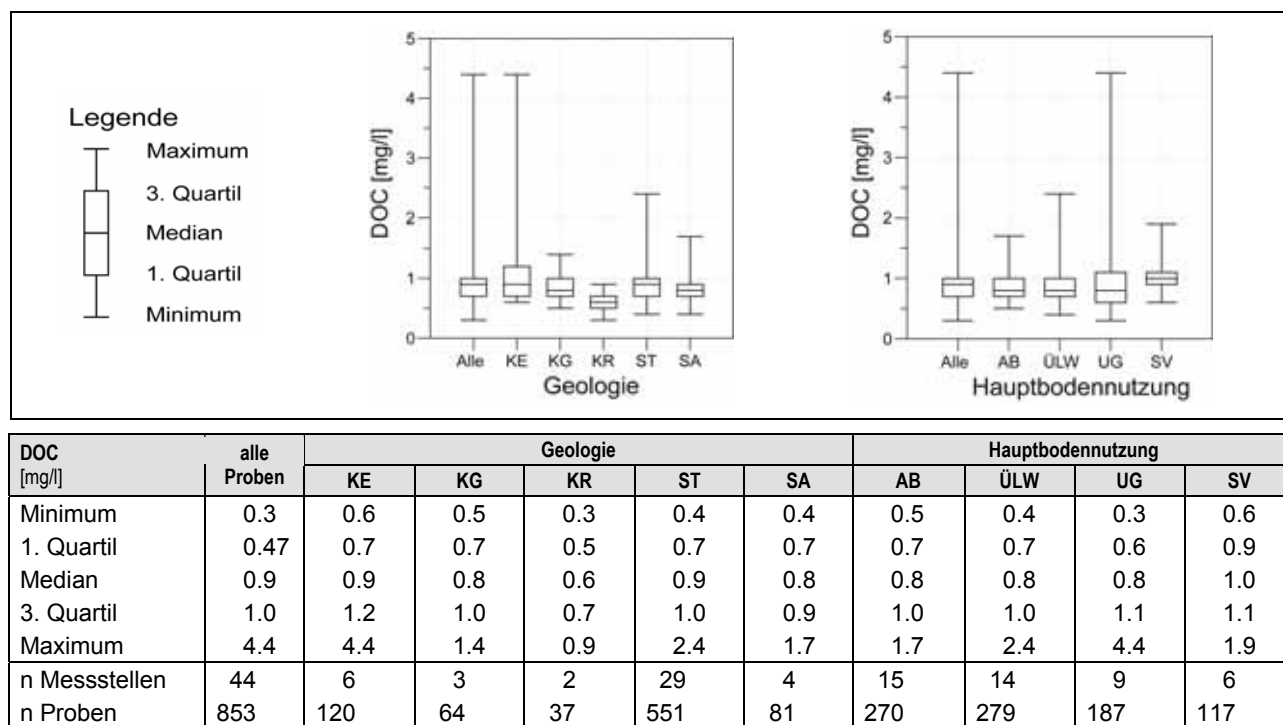


Abb. 70: DOC-Gehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung.

Der Median aller Messungen beträgt 0.9 mg/l und ist damit sehr niedrig.

Der Maximalwert von 4.4 mg/l wird bei einer Karstquelle beobachtet. Der Median von 2.1 mg/l ist bei dieser Messstelle ebenfalls deutlich höher als bei allen anderen Messstellen, es ist auch die einzige Messstelle, in welcher die numerische Anforderung der GSchV von 2 mg/l mehrmals überschritten wird. Eine einzige weitere Messstelle weist bei insgesamt 23 Analysen einen Wert knapp über der numerischen Anforderung auf. Weitere Differenzierungen nach Geologie und Hauptbodennutzung der Messstellen lassen die vorhandenen Daten nicht zu.

AOX

Der Summenparameter AOX umfasst eine Vielzahl von halogenierten Kohlenwasserstoffen mit stark unterschiedlicher Umweltrelevanz und Herkunft (Lösungsmittel, Rückstände der Chlorbleiche, Verbrennungsrückstände, PSM usw.). Auf Grund der in die Umwelt ausgebrachten Mengen stellen halogenhaltige PSM (z.B. Atrazin, Simazin, Terbutylazin) eine wichtige potenzielle AOX-Quelle dar. Obwohl mit der AOX-Bestimmung nicht alle Halogenorganika erfasst werden, gibt sie doch oft einen näherungsweisen Überblick von Xenobiotika-Belastungen im Grundwasser und damit den Hinweis auf anthropogene Beeinflussungen.

AOX können in geringen Mengen jedoch auch natürlichen Ursprungs sein (produziert z.B. von Pflanzen, Pilzen, Bakterien, Insekten). In der Regel können AOX-Resultate nicht direkt mit gemessenen halogenierten Einzelsubstanzen korreliert werden. Die Aussagekraft des Parameters AOX in Bezug auf die Belastung des Grundwassers durch menschliche Aktivitäten und speziell die Art der menschlichen Aktivitäten ist daher eingeschränkt.

Für AOX gilt in der GSchV^[17] eine numerische Anforderung an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, von 10 µg/l Halogen. Allgemein werden AOX-Gehalte als Chloridäquivalent angegeben.

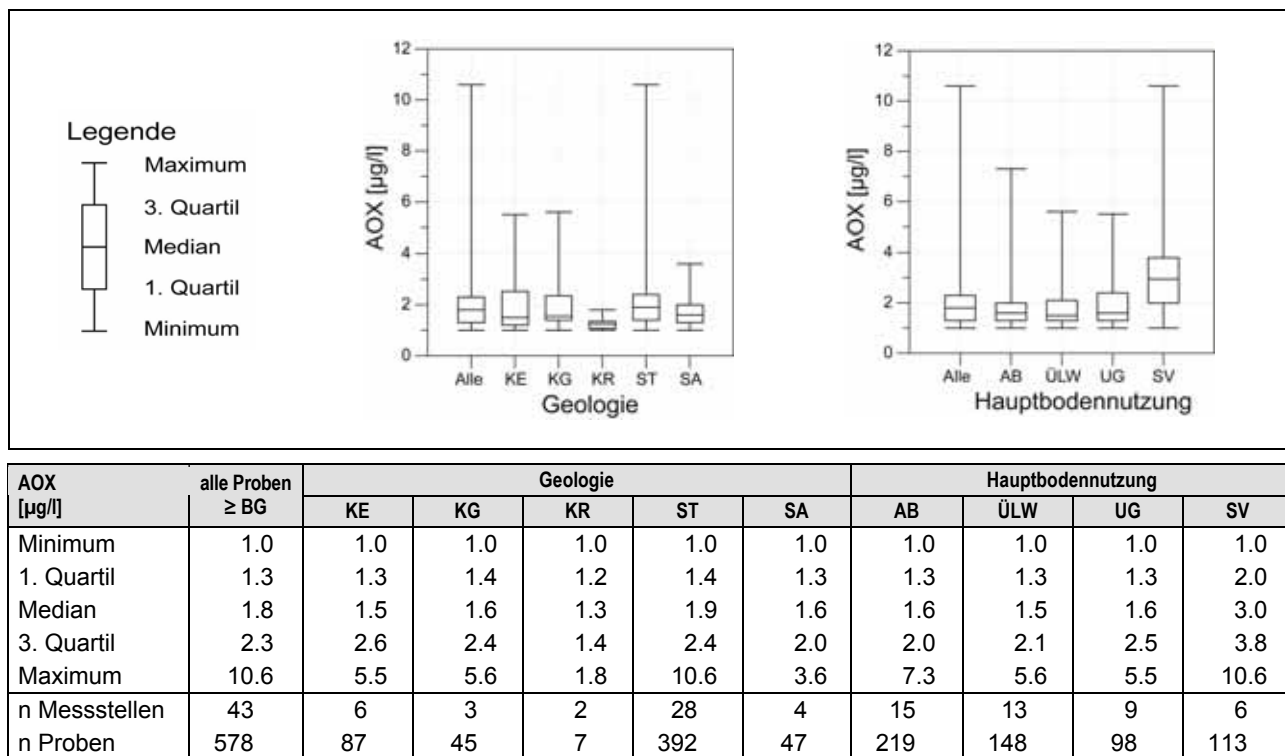


Abb. 71: AOX-Gehalt in Abhängigkeit von Geologie und Hauptbodennutzung
(nur Analysen und Messstellen mit Werten ≥ Bestimmungsgrenze ausgewertet,
rund 32% der Analysen sind negativ).

Der Median aller Grundwasserproben, in denen AOX nachgewiesen wurden, beträgt 1.8 µg/l. Bis auf eine Messstelle sind AOX in allen untersuchten Messstellen nachweisbar.

Auch wenn es sich bei der Messstelle mit dem höchsten gemessenen AOX-Wert um eine Grundwasserfassung in stark urbanisiertem Gebiet handelt und hier auch die höchsten FHKW-Konzentrationen vorliegen, kann keine eindeutige Korrelation zwischen Hauptbodennutzung des Einzugsgebiets und AOX festgestellt werden. Es ist vor allem eine besonders stark belastete Messstelle mit der Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege (SV), welche für die gegenüber den anderen Hauptbodennutzungen leicht erhöhten Median- und Maximalwerte dieser Nutzungskategorie verantwortlich ist. Da selbst in Messstellen ohne jegliche intensive Nutzung im Einzugsgebiet und ohne Nachweis von HKW oder Pestiziden z.T. deutliche AOX-Werte (bis 5.5 µg/l in einer hauptsächlich von Wald beeinflussten Messstelle) vorkommen, muss davon ausgegangen werden, dass sich hinter diesen Werten auch natürliche Substanzen verbergen, die als AOX analysiert werden.

Die vorliegenden Befunde zeigen jedoch, dass die oft als Faustregel für belastetes Grundwasser betrachtete Grenze von 10 µg/l AOX (entsprechend der numerischen Anforderung der GSchV) nur mit Vorbehalt angewendet werden sollte: Die Messstelle mit dem höchsten AOX-Wert von 10.6 µg/l zeigt zusätzlich auch eine Überschreitung der numerischen Anforderung der GSchV an als Trinkwasser genutztes Grundwasser sowohl für Trichlorethen wie auch für Tetrachlorethen, für Letzteres gar eine Überschreitung des Trinkwasser-Toleranzwerts. Der AOX-Gehalt in dieser Messstelle liegt jedoch bei insgesamt 30 Messungen seit dem 1.1.2000 nur einmal über 10 µg/l, der Median liegt gar nur bei 6.6 µg/l.

3 Folgerungen und Ausblick

Die Qualität des schweizerischen Grundwassers ist im Allgemeinen gut. Immerhin kann rund die Hälfte des als Trinkwasser genutzten Grundwassers ohne jegliche Behandlung direkt ins Verteilnetz eingespiesen werden.

Dennoch hinterlassen die dichte Besiedlung und die intensive Nutzung unseres Landes ihre Spuren im Grundwasser:

In rund 20% der untersuchten Messstellen wird die numerische Anforderung der GSchV^[17] für Nitrat von 25 mg/l überschritten. 60% der untersuchten Messstellen weisen Spuren von Pflanzenschutzmitteln auf, in etwa 12% der Messstellen überschreiten diese Spuren ebenfalls den Anforderungswert (0.1 µg/l). Ein Drittel der Messstellen enthält Spuren von flüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen und ein Fünftel Spuren des Benzinzusatzstoffes MTBE. In rund 7.5% der untersuchten Messstellen überschreiten auch die flüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe die numerische Anforderung der GSchV (1 µg/l).

Die gefundenen Werte liegen nach heutigem Stand des Wissens in einer Grössenordnung, in welcher keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten ist. Unser Trinkwasser kann also weiterhin ohne gesundheitliche Bedenken direkt ab Wasserhahn konsumiert werden, umso mehr als das abgegebene Trinkwasser in der Regel durch das Zumischen von unbelastetem Wasser eine bessere Qualität aufweist, als die untersuchten Rohwässer.

Die gefundenen Werte sind hingegen als Warnsignal zu werten, als deutlicher Hinweis darauf, dass die Bemühungen zum Schutz der Grundwasservorkommen intensiv weitergeführt werden müssen, nachdem gerade im Bereich des planerischen Grundwasserschutzes und der Umsetzung der Schutzbestimmungen allzu lange zu wenig konsequent vorgegangen worden ist.

Es zeigt sich klar, dass z.B. die definitive Ausscheidung ordnungsgemässer Grundwasserschutzzonen und der Erlass entsprechender Schutzzonenreglemente oder die Beseitigung schutzzonenfremder Nutzungen besonders in stärker urbanisierten Gebieten von grosser Bedeutung ist.

Der oft sorglose Umgang mit einer Unmenge wassergefährdender Chemikalien wie z.B. Pflanzenschutz- und Lösungsmittel und die fortschreitende Überbauung der Einzugsgebiete wichtiger Grundwasservorkommen durch Industrie- und Verkehrsanlagen sowie Wohnsiedlungen führen zu einer konkreten Gefährdung des Grundwassers und erschweren heute den Vollzug eines wirksamen Grundwasserschutzes.

Diese Problematik zeigt sich exemplarisch anhand zahlreicher Trinkwasserfassungen, die in den letzten Jahrzehnten wegen zu hoher Belastungen mit Nitrat, Pflanzenschutzmitteln oder halogenierten Kohlenwasserstoffen stillgelegt wurden oder deren Wasser seither aufbereitet wird, was beides mit grossen Kosten für die Allgemeinheit verbunden ist.

Nitrat

Insgesamt ergeben die Nitratuntersuchungen ein Bild, das die schweizerische Politik zur Nitratreduktion im Grundwasser im grossen Ganzen zu bestätigen scheint: Die Nitratgehalte sind in den letzten rund 10 Jahren in einer signifikanten Zahl von Grundwasservorkommen gesunken. Dies hängt mit hoher Wahrscheinlichkeit auch mit den agrarpolitischen Entwicklungen des letzten Jahrzehnts zusammen.

Allerdings wurden über die allgemeinen Massnahmen der Landwirtschaft hinaus bei zahlreichen nitratbelasteten Trinkwasserfassungen grosse zusätzliche Anstrengungen zur Verminderung der Nitratauswaschung unternommen (z.B. Extensivierung der Landwirtschaft in der Grundwasserschutzzone S2, Programme zur Winterbegrünung, Düngeberatung usw.).

In verschiedenen Grundwasservorkommen, speziell in den Ackerbaugebieten des schweizerischen Mittellandes, genügen die allgemeinen Massnahmen der Landwirtschaft jedoch nicht, um die numerische Anforderung der GSchV an den Nitratgehalt des genutzten Grundwassers (≤ 25 mg/l) zu erfüllen. Hier sind weiterhin zusätzliche Massnahmen der Landwirtschaft nötig, wie sie z.B. im Rahmen der Sanierungsprogramme nach Artikel 62a GSchG^[4] möglich sind, damit in Zukunft diese Anforderung eingehalten werden kann.

Als Beispiel für diese speziellen Sanierungsanstrengungen zeigt Abb. 72 die Nitratentwicklung in einer Grundwasserfassung im Kanton Aargau, in deren Einzugsgebiet seit 1996 intensive Anstrengungen zur Reduktion der Nitratauswaschung unternommen werden. Es wurden u.a. rund 22 ha Ackerland stillgelegt, so dass heute insgesamt 45.3 von 61.6 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche im Einzugsgebiet als Grünland genutzt werden.

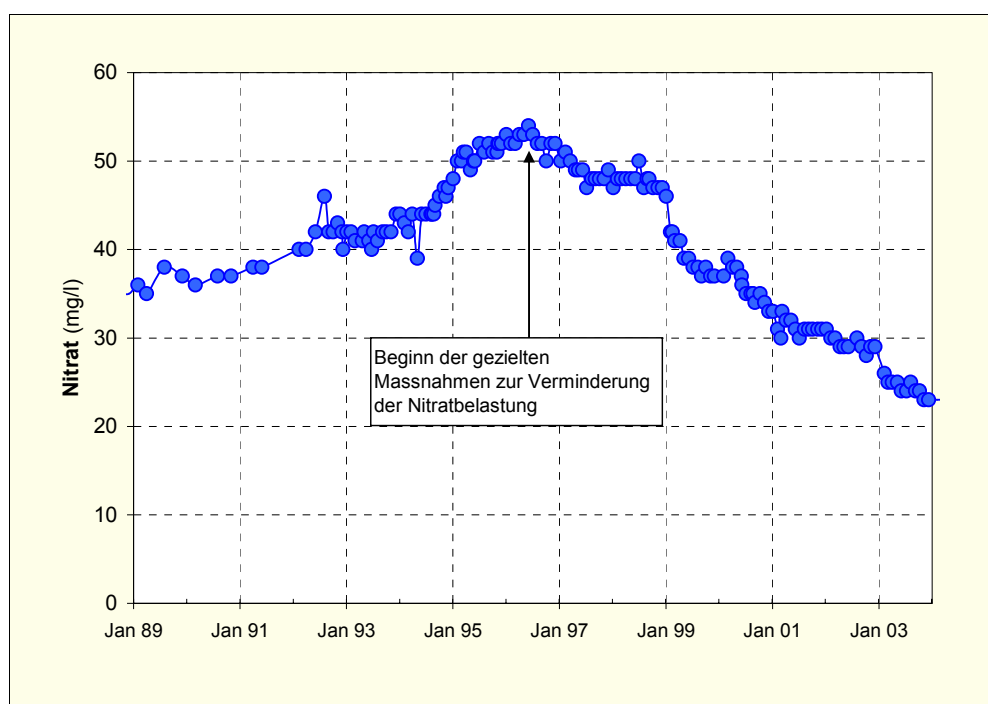


Abb. 72:
Entwicklung des Nitrat-
gehalts in einer Grundwas-
serfassung mit gezieltem
Nitratsanierungsprojekt^[45].

Pflanzenschutzmittel (PSM)

Die Situation im Bereich der PSM ist im Allgemeinen nicht gravierend, jedoch besteht angesichts der grossen Anzahl Messstellen mit Nachweis von PSM und deren Abbauprodukten (Metaboliten) Anlass zur Besorgnis. Zudem entwickelt sich der Einsatz von PSM fortlaufend; neue Substanzen gewinnen Marktanteile, die unter Umständen bis anhin gar nicht untersucht werden können und über deren Verhalten in der Umwelt noch kaum Kenntnisse vorhanden sind.

Vor allem in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher oder gartenbaulicher Nutzung sowie im Siedlungsbereich sind weitere Anstrengungen zur Reduktion des PSM-Eintrags ins Grundwasser nötig, wie beispielsweise ein grundsätzliches Anwendungsverbot von PSM in der unmittelbaren Umgebung von Trinkwasserfassungen (engere Grundwasserschutzzone S2 und ähnlich sensible Bereiche), eine verstärkte Förderung des biologischen Landbaus, gezielte Beratung und Information der Landwirte, Gartenbesitzer, Hauswarte und Strassenmeister sowie konsequente Kontrollen und Umsetzung des Anwendungsverbots von PSM entlang von Strassen, Wegen und Plätzen. Verschärfte Auflagen, zum Beispiel ein Abgabeverbot an Personen ohne Fachausbildung bzw. Fachbewilligung für PSM mit persistenten Wirkstoffen wie die Triazine, wären weitere sinnvolle Massnahmen.

Kohlenwasserstoffe und MTBE

Das Auftreten von Kohlenwasserstoffen und MTBE im Grundwasser ist zwar etwas weniger verbreitet als jenes der PSM. Dennoch ist auch hier die hohe Zahl von rund 31.5 bzw. 20% untersuchter Messstellen mit positivem Befund Besorgnis erregend. Da auch bei den Schadstoffen aus Verkehr und Industrie kaum gesamtschweizerisch repräsentative Datenreihen vorhanden sind, kann zurzeit nicht entschieden werden, ob die Belastungen eher ab- oder zunehmen. Auf Grund der dokumentierten Abnahme des Verbrauchs halogenierter Lösungsmittel in Industrie und Gewerbe in den letzten Jahren wäre zwar eine längerfristige Abnahme der Grundwasserbelastungen zu erwarten. Die hohe Persistenz dieser Stoffe dürfte allerdings zur Folge haben, dass diese Abnahme nur äusserst langsam vonstatten geht.

Das Antiklopfmittel MTBE stellt in der Schweiz zurzeit kein bedeutendes Grundwasserproblem dar. Allerdings sind die häufig gefundenen MTBE-Spuren in den untersuchten Grundwasservorkommen ein deutliches Warnsignal. Ob sich allenfalls eine Änderung der schweizerischen Politik beim MTBE aufdrängen wird (z.B. ein Verbot dieses Stoffes), kann erst die langjährige Grundwasserbeobachtung zeigen. Allerdings kann bereits heute das Risiko von Grundwasserbelastungen durch MTBE (wie auch durch BTEX) durch sparsamen Umgang mit Treibstoffen und den Verzicht auf das bei den meisten Motoren unnötige Superbenzin deutlich verringert werden.

Auf Kurs, aber noch nicht am Ziel

Die bisherigen Resultate der Grundwasserbeobachtung im Rahmen des Messnetzes NAQUA belegen, wie wichtig die langfristig angelegte Beobachtung der Grundwasserqualität ist. Nur sie erlaubt es zu erkennen, ob die festgestellten Grundwasserbelastungen zu- oder abnehmen, ob die bereits ergriffenen Massnahmen zum Schutz des Grundwassers effizient sind und genügen. Dies gilt speziell für die Beobachtung der langfristigen Entwicklung der Nitrat- und PSM-Gehalte, welche wichtige Grundlagen für die Erfolgskontrolle von Raumplanung, Umwelt- und Landwirtschaftspolitik darstellen.

Auch bei den Schadstoffen aus Verkehr und Industrie fehlen gesamtschweizerische langjährige Vergleichswerte weitgehend. Die Beobachtung dieser Stoffe im Grundwasser im Rahmen von NAQUA muss daher ebenfalls konsequent weitergeführt werden.

Die Beobachtung der «unproblematischen» Wasserinhaltsstoffe – wie z.B. Calcium, Sulfat usw. – wird erst im Laufe der Zeit Aussagen über eine allfällige Veränderung der Grundwasserqualität z.B. als Reaktion auf Klimaveränderungen oder veränderte Bodenbearbeitungsmethoden in der Landwirtschaft möglich machen.

Die in diesem Bericht vorgestellten Parameter müssen deshalb weiterhin regelmässig untersucht und ausgewertet werden. Soweit jedoch die bisherigen Resultate keinerlei Anzeichen von Veränderungen bzw. wesentlichen anthropogenen Beeinflussungen im gesamtschweizerischen Rahmen zeigen (z.B. Ammonium, Nitrit), genügt eine sporadische Überprüfung vollauf.

Bei den PSM drängt sich hingegen eine Ausweitung und Intensivierung des Grundprogramms im Rahmen der finanziellen und operationellen Möglichkeiten des Programms NAQUA sowie der labortechnischen Möglichkeiten der verschiedenen beteiligten Laboratorien auf. Weitere, häufig angewendete Substanzen – wie z.B. das Blattherbizid Glyphosat – sollen in die Untersuchungen eingeschlossen werden und jene Messstellen intensiver beprobt werden, bei denen bis anhin lediglich eine Messung pro Jahr erfolgen konnte und bei denen sich aufgrund der Bodennutzung eine intensivere Beprobung aufdrängt.

Um die Schwankungen der PSM-Gehalte im Grundwasser besser abschätzen zu können, ist eine Spezialuntersuchung an einigen ausgewählten Messstellen geplant, an welchen die Beprobungsintervalle während der Anwendungsperiode der PSM deutlich verkürzt werden sollen.

Im Rahmen der nationalen Beobachtung der Grundwasserqualität wird auch die Diskussion um weitere Mikroverunreinigungen wie z.B. Arzneimittel oder endokrine Stoffe aufmerksam verfolgt. Eine entsprechende Pilotkampagne ist in Planung.

Das Messnetz zur nationalen Grundwasserbeobachtung soll weiterhin auf möglichst effiziente und wirkungsvolle Weise eine repräsentative Beurteilung des Zustands und der Entwicklung unserer wichtigsten Trinkwasserressourcen gewährleisten. Dazu sind ergänzende Detailstudien, z.B. zu den verschiedenen Flächennutzungen im Einzugsgebiet, geplant oder bereits im Gang.

4 Bibliografie und unterstützende Stellen

Bibliografie

- [1] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg.) 1998: *NAQUA. Das nationale Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers*. Publikumsbroschüre, BUWAL, Bern.
- [2] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT, BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.) 2002: *NAQUA News 2002*. Faltblatt DIV-2501-D, BUWAL/BWG, Bern.
- [3] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT, BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.) 2003: *NAQUA News 2003*. Faltblatt DIV-2510-D, BUWAL/BWG, Bern.
- [4] *Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer* (Gewässerschutzgesetz, GSchG), SR 814.20.
- [5] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg.) 1993: *Situation der Trinkwasserversorgung*. Schriftenreihe Umwelt 212, BUWAL, Bern.
- [6] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT, BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.): *NAQUA – Grundwasserqualität in der Schweiz. Das Messnetz*. In Vorbereitung.
- [7] IB GROMBACH & Co. AG 1992: *Qualitätsüberwachung des Grundwassers durch den Bund. Vorschlag für die Ermittlung des Messstellennetzes*. Unveröffentlichter Bericht für das BUWAL.
- [8] IB GROMBACH & Co. AG 1996: *Nationale Grundwasserqualitätsbeobachtung (Projekt NAQUA). Kurzbeschreibung des Projekts*. Unveröffentlichter Bericht für das BUWAL.
- [9] MATOUSEK, BAUMANN & NIGGLI AG 1998: *NAQUA_{TREND}. Vorschlag für 24 Messstellen zur Langzeitbeobachtung*. Unveröffentlichter Bericht für das BUWAL.
- [10] MATOUSEK, BAUMANN & NIGGLI AG 1999: *NAQUA_{TREND}. Vorschlag für 26 Messstellen zur Langzeitbeobachtung*. Unveröffentlichter Bericht für das BUWAL.
- [11] MATOUSEK, BAUMANN & NIGGLI AG 1998: *NAQUA_{SPEZ}. Grundlagen-Messnetz. Soll-Bestandesliste der Messstellen*. Unveröffentlichter Bericht für das BUWAL.
- [12] BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg.) 1998: *GEOSTAT. Arealstatistik der Schweiz 1979/85, 15 Nutzungsarten, Datensatz auf Stufe Gemeinde*. BfS, Neuchâtel.
- [13] BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg.) 1998: *GEOSTAT. Landwirtschaftlich und gartenbaulich genutztes Land nach Hauptkulturen*. Datensatz auf Stufe Gemeinde. BfS, Neuchâtel.
- [14] BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.) 2003: *Hydrogeologische Übersichtskarte der Schweiz*. BWG, Bern.
- [15] GREBER E., BAUMANN A., CORNAZ S., HEROLD T., KOZEL R., MURALT R., ZOBRIST J. 2002: *Grundwasserqualität in der Schweiz*. GWA 3/2002, 191–201.
- [16] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg.) 2000: *Analysenmethoden für Feststoff- und Wasserproben aus belasteten Standorten und Aushubmaterial*. Vollzug Umwelt 3407, BUWAL, Bern.
- [17] *Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998* (GSchV), SR 814.201.
- [18] *Verordnung des EDI vom 26. Juni 1995 über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln* (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV), SR 817.021.

- [19] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg.) 2004: *Wegleitung Grundwasserschutz*. Vollzug Umwelt, BUWAL, Bern.
- [20] BUNDESAMT FÜR STATISTIK, BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2002: *Landwirtschaftliche Zonengrenzen*. Polygondatensatz 1:25'000, BFS, Bern.
- [21] KILCHMANN S. 2001: *Typology of recent groundwaters from different aquifer environments based on geogenic tracer elements*. Dissertation Nr. 2411 EPFL, Lausanne.
- [22] EUROSTAT-GISCO 1992: *Kartenbasis Schweiz*. UNEP-GRID Genf.
- [23] BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg.) 2001: *Eidgenössische landwirtschaftliche Betriebszählung 2000*. BfS, Neuchâtel.
- [24] LANDESHYDROLOGIE UND LANDES GEOLOGIE (Hrsg.) 1992: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Tafel 1.2: Kenngrößen kleiner Einzugsgebiete. LHG, Bern.
- [25] AMT FÜR ABFALL, WASSER, ENERGIE UND LUFT DES KANTONS ZÜRICH (Hrsg.) 2000: *Qualitative Grundwasserbeobachtung im Kanton Zürich 2000*. AWEL, Zürich.
- [26] SPIESS E. 2004: *Ökomassnahmen und Nitratgehalt des Grundwassers*. Agrarforschung 11(6), 246–251.
- [27] BAUDEPARTEMENT DES KANTONS AARGAU (Hrsg.) 1999, 2000: *Hydrologisches Jahrbuch des Kantons Aargau 1999 bzw. 2000*. Abteilung Umweltschutz, Aarau.
- [28] KANTONALES LABORATORIUM LUZERN (Hrsg.) 2002: *Jahresbericht 2002*. Kantonales Laboratorium, Luzern.
- [29] AMT FÜR UMWELTSCHUTZ KANTON WALLIS 2002: *Nitratwerte 1992–2001*. Persönliche Mitteilung.
- [30] BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg.) 2002: *Umwelt Schweiz 2002: Statistik und Analysen*. BfS, Neuchâtel.
- [31] *Verordnung vom 23. Juni 1999 über die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittel-Verordnung)*. SR 916.161.
- [32] BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) 2003: *Pflanzenschutzmittelverzeichnis 2003*. http://www.blw.admin.ch/pflanzenschutzverz/pb_home_d.html.
- [33] SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCHE INDUSTRIE SGCI 2003: *Pflanzenschutzmittelstatistik Schweiz 2002*. Unveröffentlichter Bericht.
- [34] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg.) 2003: *Reduktion der Umweltrisiken von Düngern und Pflanzenschutzmitteln. Ausführlichere Fassung des Berichts, den der Bundesrat am 21. Mai 2003 verabschiedet hat*. BUWAL, Bern.
- [35] ANGHERN D. 2001: *Keine Pflanzenschutzmittel im Trinkwasser*. GWA 12/2001, 841–846.
- [36] BUNDESAMT FÜR ENERGIE (Hrsg.) 2003: *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2002*. <http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/statistikperspektiven/gesamtenergie/9.pdf>.
- [37] SCHMIDT T. C., HADERLEIN S. B. 2000: *Does the use of MTBE pose environmental problems in Switzerland?* EAWAG, Dübendorf, nicht publiziert.
- [38] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg.) 2002: *Abschätzung der Altlastenrelevanz von Methyl-tert-butylether (MTBE)*. Umwelt-Materialien Nr. 151, BUWAL, Bern.
- [39] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg.) 2003: *Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998 und 2001*. BUWAL, Bern, http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/oekonomie/voc/voc_1998_2001.pdf.

- [40] HÖTZL H., MAKURAT A. 1981: *Veränderungen der Grundwassertemperaturen unter dicht bebauten Flächen am Beispiel der Stadt Karlsruhe*. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 132. p. 767–777.
- [41] MATTHESS G. 1994: *Die Beschaffenheit des Grundwassers*. Bornträger, 499 S., Berlin.
- [42] DVWK-Schriftenreihe 110 1996: *Hydrogeochemische Stoffsysteme – Teil I*. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser. Bonn.
- [43] DVWK-Schriftenreihe 117 1998: *Hydrogeochemische Stoffsysteme – Teil II*. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser. Bonn.
- [44] SCHLEYER R., KERNDORF H. 1992: *Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen*. Wiley-VCH, Weinheim.
- [45] GEMEINDE WOHLenschwil AG 2004: *Ganglinie des Nitratgehaltes in der Grundwasserfassung Froberg 1978–2004*. Persönliche Mitteilung, Christoph Ziltener, Fachstelle Düngung und Umwelt Liebegg.

Unterstützende Kantonale Ämter und öffentliche Laboratorien

Die unten aufgeführten kantonalen Amtsstellen und öffentlichen Laboratorien arbeiteten beim Aufbau des Messnetzes NAQUA mit den beteiligten Bundesstellen zusammen oder unterstützen dessen Betrieb: Sie lieferten Stammdaten der Messstellen und historische Analysenresultate oder unterstützen und führen die Probenahmen und zum Teil auch die Analysen im Rahmen der Untersuchungskampagnen NAQUA_{SPEZ} durch:

Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt
 Kantonslabor Aargau
 Amt für Umweltschutz des Kantons Appenzell Innerrhoden
 Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft
 Kantonslabor Basel-Landschaft
 Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt
 Labor des Amtes für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt
 Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern
 Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern
 Kantonslabor Bern
 Office de la protection de l'environnement du canton de Fribourg
 Laboratoire de l'office de la protection de l'environnement du canton de Fribourg
 Service cantonal de géologie du canton de Genève
 Laboratoire du service de la protection de la consommation du canton de Genève
 Laboratoire du service de l'eau des services industriels de Genève
 Amt für Umwelt des Kantons Graubünden
 Kantonslabor Graubünden
 Office des eaux et de la protection de la nature du canton du Jura
 Laboratoire cantonal du canton du Jura
 Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern

Kantonslabor Luzern
 Service cantonal de la protection de l'environnement du canton de Neuchâtel
 Laboratoire du service de la protection de l'environnement du canton de Neuchâtel
 Amt für Umweltschutz des Kantons Nidwalden
 Amt für Umwelt und Energie des Kantons Obwalden
 Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen
 Kantonslabor St. Gallen
 Amt für Umweltschutz des Kantons Schwyz
 Amt für Umwelt des Kantons Solothurn
 Amt für Umwelt des Kantons Thurgau
 Labor des Amtes für Umweltschutz des Kantons Thurgau
 Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo del cantone del Ticino
 Laboratorio della sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo del cantone
 del Ticino
 Amt für Umweltschutz des Kantons Uri
 Laboratorium der Urkantone
 Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud
 Laboratoire cantonal du canton de Vaud
 Dienststelle für Umweltschutz des Kantons Wallis
 Labor der Dienststelle für Umweltschutz des Kantons Wallis
 Amt für Umweltschutz des Kantons Zug
 Labor für Lebensmittelkontrolle des Kantons Zug
 Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
 Labor des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
 Kantonslabor Zürich

Anhänge

	Seite
A1 Resultate	146
1997–2001: Stickstoffverbindungen	146
2002: Stickstoffverbindungen	146
2003: Stickstoffverbindungen	146
1997–2001: Pflanzenschutzmittel	147
2002: Pflanzenschutzmittel	147
2003: Pflanzenschutzmittel	150
1997–2001: Kohlenwasserstoffe und MTBE	153
2002: Kohlenwasserstoffe und MTBE	153
2003: Kohlenwasserstoffe und MTBE	155
2000–2003: Grundparameter	157
 A2 Zeitreihen einzelner Parameter der Messstellen NAQUA_{TREND}	 158
 A3 Verwendete Limiten zur Beurteilung der Grundwasserqualität	 203

A1 Resultate

Auf Grund der Vereinbarungen zwischen den einzelnen Kantonen, den Fassungseigentümern und dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft können für die Mehrzahl der Messstellen des Messnetzes NAQUA keine Daten veröffentlicht werden, welche Rückschlüsse auf einzelne Grundwasserfassungen erlauben würden. Daher werden die Resultate nur in Form zusammenfassender Tabellen dargestellt.

Erläuterungen zu den Tabellen

Limite	Numerische Anforderung der GSchV ^[17] an Trinkwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist, Toleranzwert der FIV ^[18] für Trinkwasser oder Indikatorwert der Wegleitung Grundwasserschutz ^[19] (vgl. Anhang 3).
BG	Bestimmungsgrenze.
n	Anzahl.
Typ (Pflanzen- schutzmittel)	A = Akarizid; AL = Algizid; F = Fungizid; H = Herbizid; I = Insektizid; M = Metabolit; N = Nematizid; NP = Nebenprodukt; R = Insekten-Repellent; S = Saatbeizmittel. W = Wachstumsregulator.
Typ (Kohlenwasser- stoffe und MTBE)	ali. KW = aliphatische Kohlenwasserstoffe; FHKW = flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe; MAKW = monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe; PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.

1997–2001: Stickstoffverbindungen

Substanz		Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	BG (mg/l)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. (mg/l)	Max. (mg/l)	Mittel (mg/l)	Median (mg/l)	1. Quartil (mg/l)	3. Quartil (mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.03	39	12	0	30.8	0	469	17	0	3.6	0	0.03	0.08	0.039	0.03	0.03	0.04
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0.01	39	5	0	12.8	0	469	7	0	1.5	0	0.01	0.03	0.015	0.01	0.01	0.017
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0.1–1	39	39	12	100	30.8	621	620	139	99.8	22.4	0.1	46.7	16.2	14.9	4.5	23.9

2002: Stickstoffverbindungen

Substanz		Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	BG (mg/l)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. (mg/l)	Max. (mg/l)	Mittel (mg/l)	Median (mg/l)	1. Quartil (mg/l)	3. Quartil (mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.001–0.05	443	121	0 ¹	27.3	0	1045	217	0	20.8	0	0.001	0.210	0.016	0.010	0.005	0.026
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0.001–0.026	445	85	0	19.1	0	1047	164	0	15.7	0	0.001	0.053	0.008	0.004	0.003	0.009
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0.1–1	450	446	82	99.1	18.2	1198	1189	234	99.2	19.5	0.2	85	15.7	13.9	6.6	22.7

2003: Stickstoffverbindungen

Substanz		Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	BG (mg/l)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. (mg/l)	Max. (mg/l)	Mittel (mg/l)	Median (mg/l)	1. Quartil (mg/l)	3. Quartil (mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.001–0.05	427	161	2 ²	37.7	0.5	1158	297	2	25.6	0.2	0.001	0.240	0.014	0.008	0.005	0.018
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0.001–0.049	446	65	0	14.6	0	1206	116	0	9.6	0	0.001	0.082	0.009	0.007	0.003	0.010
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0.1–1	446	442	86	99.1	19.3	1251	1246	253	99.6	20.2	0.2	70	16.1	14.0	6.9	23.0

¹ Die Anforderung für Grundwasser bei oxischen Verhältnissen (0.1 mg/l) wurde 1-mal überschritten; die betroffene Messstelle führt aber ein anoxisches Grundwasser, für welches eine Anforderung von 0.5 mg/l gilt, die nicht überschritten wurde.

² Die Anforderung für Grundwasser bei oxischen Verhältnissen (0.1 mg/l) wurde 3-mal überschritten. Bei einer Messstelle handelt es sich um dieselbe wie 2002.

1997–2001: Pflanzenschutzmittel

A) In der Schweiz zugelassene Wirkstoffe

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	Typ	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
Atrazin	H	0.05	39	8	3	20.5	7.7	317	13	6	4.1	1.9	0.051	0.240	0.107	0.090	0.069	0.120
Metribuzin	H	0.05	39	1	0	2.5	0	229	1	0	0.4	0	0.100	0.100				
Simazin	H	0.05	39	0	0	0	0	229	0	0	0	0						
Terbutryn	H	0.05	39	0	0	0	0	229	0	0	0	0						
Terbutylazin	H	0.05	39	0	0	0	0	229	0	0	0	0						

B) Abbauprodukte

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	Typ	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
Desethylatrazin	M	0.05	39	3	0	7.7	0	284	6	0	2.1	0	0.050	0.080	0.060	0.050	0.050	0.058
Desisopropylatrazin	M	0.05	39	1	0	2.5	0	284	1	0	0.4	0	0.090	0.090				

2002: Pflanzenschutzmittel

A) In der Schweiz zugelassene Wirkstoffe

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	Typ	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
Grundprogramm NAQUASPEZ																		
Atrazin	H	0.002–0.05	414	153	18	37.0	4.3	884	277	27	31.3	3.1	0.001	0.797	0.046	0.025	0.017	0.046
Simazin	H	0.002–0.05	414	72	1	17.4	0.2	884	121	1	13.7	0.1	0.001	0.128	0.016	0.011	0.009	0.020
Terbutylazin	H	0.001–0.05	414	35	1	8.5	0.2	882	42	2	4.8	0.2	0.004	0.130	0.020	0.012	0.008	0.022
Diuron	H	0.001–0.05	353	7	0	2.0	0	730	12	0	1.6	0	0.003	0.057	0.016	0.008	0.004	0.020
Isoproturon	H	0.001–0.05	353	7	4	2.0	1.1	734	7	4	1.0	0.5	0.017	0.380	0.169	0.190	0.035	0.263
Zusatzprogramm																		
Cyanazin	H	0.001–0.02	177	9	0	5.1	0	367	9	0	2.5	0	0.010	0.035	0.018	0.016	0.014	0.020
Terbutryn	H	0.001–0.05	228	6	0	2.6	0	380	6	0	1.6	0	0.010	0.024	0.015	0.012	0.011	0.018
Metamitron	H	0.005–0.05	261	4	1	1.5	0.4	494	4	1	0.8	0.2	0.065	0.115	0.084	0.079	0.067	0.096
Metolachlor	H	0.002–0.05	258	3	0	1.2	0	488	4	0	0.8	0	0.010	0.026	0.017	0.017	0.014	0.020
Linuron	H	0.01–0.05	210	3	0	1.4	0	410	3	0	0.7	0	0.017	0.025				
Chlortoluron	H	0.002–0.05	252	2	2	0.8	0.8	456	2	2	0.4	0.4	0.193	0.199				
Alachlor	H	0.01–0.05	121	1	0	0.8	0	182	1	0	0.5	0	0.020	0.020				
Bentazon	H	0.02	4	1	0	25.0	0	4	1	0	25.0	0	0.060	0.060				
Chlorpyrifos	I	0.01–0.05	172	1	0	0.6	0	357	1	0	0.3	0	0.021	0.021				
Dimefuron	H	0.002–0.01	59	1	0	1.7	0	191	1	0	0.5	0	0.085	0.085				
Dinoseb	H	0.02–0.04	116	1	0	0.9	0	172	1	0	0.6	0	0.037	0.037				
Metalaxyl	F, S	0.02–0.05	236	1	0	0.4	0	433	1	0	0.2	0	0.024	0.024				
Parathion	I	0.02	116	1	0	0.9	0	172	1	0	0.6	0	0.020	0.020				
Pendimethalin	H	0.01–0.05	236	1	0	0.4	0	433	1	0	0.2	0	0.010	0.010				
2,4-D	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Bromopropylat	I, A	0.01	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Bromoxynil	H	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
	Typ	BG (µg/l)	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
Carbendazim	F, S	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Carbofuran	I, N, M	0.005–0.05	208	0	0	0	0	406	0	0	0	0						
Chlorbromuron	H	0.002–0.01	175	0	0	0	0	363	0	0	0	0						
Chloridazon	H	0.025–0.05	89	0	0	0	0	228	0	0	0	0						
Chlorthalonil	F	0.04	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Cypermethrin	I	0.05	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Cyproconazol	F	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Diazinon	I, A	0.01–0.05	180	0	0	0	0	248	0	0	0	0						
Dichlorprop (2,4-DP)	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Diffufenican	H	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Dimethenamid	H	0.01	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Dimethoat	I, M	0.01–0.05	66	0	0	0	0	76	0	0	0	0						
Endosulfan (Alpha-)	I, A	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Endosulfan (Beta-)	I, A	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Ethofumesat	H	0.01–0.05	122	0	0	0	0	261	0	0	0	0						
Fenpropimorph	F	0.01–0.05	151	0	0	0	0	219	0	0	0	0						
Fluroxypyr	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Lindan	S (I)	0.01–0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
MCPA	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
MCPB	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
MCPP (Mecoprop)	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Metazachlor	H	0.01–0.05	51	0	0	0	0	69	0	0	0	0						
Methabenzthiazuron	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Methyl-Parathion	I	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Metobromuron	H, F	0.001–0.02	60	0	0	0	0	189	0	0	0	0						
Metoxuron	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Metribuzin	H	0.01–0.05	193	0	0	0	0	447	0	0	0	0						
Metsulfuron-methyl	H	0.01	3	0	0	0	0	6	0	0	0	0						
Monolinuron	H	0.01–0.05	81	0	0	0	0	231	0	0	0	0						
Napropamid	H	0.002	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Oxadixyl	F	0.05	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Penconazol	F	0.01	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Permethrin	I	0.02–0.05	33	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Pirimicarbe	I	0.01	150	0	0	0	0	211	0	0	0	0						
Propachlor	H	0.01–0.025	89	0	0	0	0	218	0	0	0	0						
Propiconazol	F	0.025–0.1	60	0	0	0	0	189	0	0	0	0						
Sulcotrion	H	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Tetrachlorvinphos	I, A	0.003–0.02	172	0	0	0	0	357	0	0	0	0						
Triclopyr	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
Trifluralin	H	0.01–0.05	205	0	0	0	0	400	0	0	0	0						
Vinclozolin	F	0.003	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						

B) In der Schweiz nicht zugelassene Wirkstoffe, Abbau- und Nebenprodukte sowie nicht landwirtschaftlich genutzte Stoffe

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	Typ	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
Grundprogramm NAQUASPEZ																		
Desethylatrazin	M	0.002–0.05	414	194	26	46.9	6.3	884	379	45	42.9	5.1	0.003	0.920	0.065	0.040	0.025	0.070
Desisopropylatrazin	M	0.005–0.05	413	30	1	7.3	0.2	852	45	2	5.3	0.2	0.008	0.147	0.029	0.020	0.016	0.033
Zusatzprogramm																		
Propazin	H, NP	0.01–0.05	276	11	0	4.0	0	529	13	0	2.5	0	0.010	0.025	0.013	0.010	0.010	0.017
Alpha-HCH	I	0.01–0.02	116	2	0	1.7	0	172	3	0	1.7	0	0.010	0.026				
Hexachlorbenzol	F	0.02	116	2	0	1.7	0	172	2	0	1.2	0	0.020	0.021				
Prometryn	H	0.01–0.025	214	2	0	0.9	0	424	2	0	0.5	0	0.020	0.020				
Endrin	I	0.05	116	1	0	0.9	0	172	1	0	0.6	0	0.058	0.058				
2,4,5-T	H, W	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
2,4,5-TP (Fenoprop)	H	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
2,4-DB	H, W	0.02	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0						
2,4'-DDD	M	0.01–0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
2,4'-DDE	M	0.01–0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
2,4'-DDT	I	0.01–0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
4,4'-DDD	M	0.01–0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
4,4'-DDE	M	0.01–0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
4,4'-DDT	I	0.01–0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Aldrin	I	0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Ametryn	H	0.01–0.05	177	0	0	0	0	367	0	0	0	0						
Beta-HCH	NP	0.01–0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Bromacil	H	0.02–0.05	79	0	0	0	0	126	0	0	0	0						
DEET	R	0.01–0.025	122	0	0	0	0	261	0	0	0	0						
Delta-HCH	NP	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Desethylterbutylazin	M	0.05	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0						
Dieldrin	M	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Endosulfan sulfat	M	0.02	172	0	0	0	0	357	0	0	0	0						
Fluometuron	H	0.025	26	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Heptachlor	I	0.02–0.05	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Hexazinon	H	0.01–0.02	174	0	0	0	0	361	0	0	0	0						
Malathion	I, A	0.01–0.1	118	0	0	0	0	176	0	0	0	0						
Methoxychlor	I	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Molinat	H	0.01	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						
Propoxur	I	0.025	56	0	0	0	0	185	0	0	0	0						
Sebuthylazin	H	0.01–0.025	174	0	0	0	0	361	0	0	0	0						
t-Heptachlor-Epoxyd	M	0.02	116	0	0	0	0	172	0	0	0	0						

2003: Pflanzenschutzmittel

A) In der Schweiz zugelassene Wirkstoffe

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	Typ	BG ($\mu\text{g/l}$)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% > Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% > Limite	Min. ($\mu\text{g/l}$)	Max. ($\mu\text{g/l}$)	Mittel ($\mu\text{g/l}$)	Median ($\mu\text{g/l}$)	1. Quartil ($\mu\text{g/l}$)	3. Quartil ($\mu\text{g/l}$)
Grundprogramm NAQUASPEZ																		
Atrazin	H	0.002–0.05	439	172	21	39.2	4.8	1114	368	44	33.0	3.9	0.003	0.967	0.053	0.029	0.015	0.059
Simazin	H	0.002–0.05	439	97	1	22.1	0.2	1114	200	2	18.0	0.2	0.001	0.122	0.017	0.012	0.008	0.020
Terbutylazin	H	0.001–0.05	439	32	0	7.3	0	1114	32	0	2.9	0	0.004	0.094	0.016	0.010	0.008	0.017
Diuron	H	0.001–0.05	401	6	0	1.5	0	981	6	0	0.6	0	0.002	0.040	0.012	0.008	0.003	0.012
Isoproturon	H	0.001–0.05	390	2	0	0.5	0	970	4	0	0.4	0	0.020	0.080	0.048	0.045	0.028	0.065
Zusatzprogramm																		
Cyanazin	H	0.001–0.02	165	16	1	9.7	0.6	421	17	1	4.0	0.2	0.010	0.138	0.025	0.014	0.013	0.020
Metolachlor	H	0.002–0.05	250	6	1	2.4	0.4	595	14	3	2.4	0.5	0.005	0.160	0.037	0.014	0.010	0.017
Metalaxyl	F, S	0.005–0.05	205	1	0	0.5	0	474	3	0	0.6	0	0.020	0.043				
Terbutryn	H	0.005–0.05	188	3	0	1.6	0	439	3	0	0.7	0	0.013	0.040				
Bentazon	H	0.01–0.02	12	2	0	16.7	0	15	2	0	13.3	0	0.040	0.040				
Chlortoluron	H	0.002–0.05	226	2	0	0.9	0	510	2	0	0.4	0	0.003	0.011				
Oxadixyl	F	0.005–0.05	20	2	0	10.0	0	41	2	0	4.9	0	0.005	0.060				
Alachlor	H	0.005–0.05	119	1	0	0.8	0	270	1	0	0.4	0	0.050	0.050				
Linuron	H	0.01–0.15	221	1	0	0.5	0	499	1	0	0.2	0	0.038	0.038				
Metamitron	H	0.005–0.05	231	1	0	0.4	0	561	1	0	0.2	0	0.028	0.028				
Monolinuron	H	0.01–0.05	104	1	0	1.0	0	303	1	0	0.3	0	0.028	0.028				
2,4-D	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Alpha-Endosulfan	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Azinphos-methyl	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Beta-Endosulfan	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Bromopropylat	I, A	0.01	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Bromoxynil	H	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Carbendazim	F, S	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Carbofuran	I, N, M	0.005–0.01	163	0	0	0	0	412	0	0	0	0						
Chlorbromuron	H	0.002–0.025	175	0	0	0	0	436	0	0	0	0						
Chlorfenvinphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Chloridazon	H	0.005–0.05	101	0	0	0	0	248	0	0	0	0						
Chlorothalonil	F	0.04	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Chlorpyrifos-(ethyl)	I	0.005–0.05	170	0	0	0	0	432	0	0	0	0						
Chlorpyrifos-methyl	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Cypermethrin	I	0.05	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0						
Cyproconazole	F	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Diazinon	I, A	0.005–0.05	148	0	0	0	0	291	0	0	0	0						
Dichlofluanid	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Dichlorprop (2,4-DP)	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Dichlorvos (DDVP)	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Diffufenican	H	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Dimefuron	H	0.002–0.01	61	0	0	0	0	195	0	0	0	0						
Dimethachlor	H	0.01	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0						
Dimethenamid	H	0.005–0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Dimethoat	I, M	0.005–0.05	53	0	0	0	0	74	0	0	0	0						
Dinoseb	H	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Ethofumesat	H	0.005–0.05	110	0	0	0	0	257	0	0	0	0						
Fenitrothion	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
	Typ	BG (µg/l)	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
Fenpropimorph	F	0.005–0.05	148	0	0	0	0	288	0	0	0	0						
Fluroxypyr	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Iprodione	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Lindan	S (I)	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
MCPA	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
MCPB	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
MCPB (Mecoprop)	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Metazachlor	H	0.005–0.05	42	0	0	0	0	116	0	0	0	0						
Methabenzthiazuron	H	0.02–0.025	21	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Metobromuron	H, F	0.001–0.025	78	0	0	0	0	216	0	0	0	0						
Metoxuron	H	0.02–0.025	21	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Metribuzin	H	0.01–0.05	143	0	0	0	0	356	0	0	0	0						
Metsulfuron-methyl	H	0.01–0.01	4	0	0	0	0	12	0	0	0	0						
Mevinphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Napropamid	H	0.002	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Orbencarb	H	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Parathion(-ethyl)	I	0.005–0.02	113	0	0	0	0	249	0	0	0	0						
Parathion-methyl	I	0.005–0.05	113	0	0	0	0	249	0	0	0	0						
Penconazol	F	0.005–0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Pendimethalin	H	0.005–0.05	205	0	0	0	0	474	0	0	0	0						
Permethrin	I	0.05	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0						
Pirimicarbe	I	0.005–0.01	119	0	0	0	0	270	0	0	0	0						
Propachlor	H	0.01–0.025	66	0	0	0	0	192	0	0	0	0						
Propiconazol	F	0.01–0.025	66	0	0	0	0	192	0	0	0	0						
Propyzamid	H	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Prosulfocarb	H	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Pyrazophos	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Sulcotrion	H	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Tebuconazol	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Tebutam	H	0.005–0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Terbacil	H	0.02	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0						
Tetrachlorvinphos	I, A	0.003–0.02	159	0	0	0	0	400	0	0	0	0						
Triclopyr	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
Trifluralin	H	0.005–0.05	203	0	0	0	0	465	0	0	0	0						
Vinclozolin	F	0.003–0.005	68	0	0	0	0	215	0	0	0	0						

B) In der Schweiz nicht zugelassene Wirkstoffe, Abbau- und Nebenprodukte sowie nicht landwirtschaftlich genutzte Stoffe

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen $\geq$ BG)					
	Typ	BG (μ g/l)	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	n	$\geq$ BG	>Limite	% $\geq$ BG	% >Limite	Min. (μ g/l)	Max. (μ g/l)	Mittel (μ g/l)	Median (μ g/l)	1. Quartil (μ g/l)	3. Quartil (μ g/l)
Grundprogramm NAQUASPEZ																		
Desethylatrazin	M	0.002–0.05	439	184	29	41.9	6.6	1114	442	59	39.7	5.3	0.003	1.170	0.067	0.040	0.022	0.071
Desisopropylatrazin	M	0.005–0.05	438	41	1	9.4	0.2	1101	79	2	7.2	0.2	0.009	0.120	0.028	0.021	0.015	0.031
Zusatzprogramm																		
Propazin	H,NP	0.005–0.05	259	16	0	6.2	0	594	32	0	5.4	0	0.005	0.032	0.014	0.012	0.010	0.014
Desethylterbutylazin	M	0.005	11	9	0	81.8	0	32	22	0	68.8	0	0.006	0.013	0.009	0.009	0.007	0.011
Dichlorbenzamid	M	0.005	11	7	0	63.6	0	32	17	0	53.1	0	0.005	0.047	0.020	0.014	0.011	0.029
Prometryn	H	0.005–0.025	197	6	0	3.0	0	486	15	0	3.1	0	0.005	0.024	0.012	0.010	0.009	0.013
Hexazinon	H	0.005–0.025	172	4	0	2.3	0	441	12	0	2.7	0	0.005	0.018	0.011	0.010	0.008	0.014
Heptachlor Epoxyde	M	0.05	102	1	0	1.0	0	217	1	0	0.5	0	0.090	0.090				
Monuron	H	0.025	12	1	0	8.3	0	24	1	0	4.2	0	0.028	0.028				
2,4,5-T	H,W	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
2,4,5-TP (Fenoprop)	H	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
2,4-DB	H,W	0.01–0.02	12	0	0	0	0	15	0	0	0	0						
2,4'-DDD	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
2,4'-DDE	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
2,4'-DDT	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
4,4'-DDD	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
4,4'-DDE	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
4,4'-DDT	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Aldrin	I	0.02–0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Alpha-HCH	I	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Ametryn	H	0.005–0.05	186	0	0	0	0	473	0	0	0	0						
Azinphos-ethyl	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Beta-HCH	NP	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Bromacil	H	0.02–0.05	49	0	0	0	0	128	0	0	0	0						
DEET	R	0.005–0.05	110	0	0	0	0	257	0	0	0	0						
Delta-HCH	NP	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Dieldrin	M	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Endosulfan sulfat	M	0.02–0.1	159	0	0	0	0	400	0	0	0	0						
Endrin	I	0.05	102	0	0	0	0	216	0	0	0	0						
Fenthion	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Fluometuron	H	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Heptachlor	I	0.05	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Hexachlorbenzol	F	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Irgarol 1051	AL	0.005–0.01	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0						
Iso-Chloridazon	NP	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Malathion	I	0.005–0.1	115	0	0	0	0	258	0	0	0	0						
Methoxychlor	I	0.02	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Molinat	H	0.01	102	0	0	0	0	217	0	0	0	0						
Propetamphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Propoxur	I	0.025	57	0	0	0	0	183	0	0	0	0						
Quinalphos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Sebutylazin	H	0.01–0.025	161	0	0	0	0	409	0	0	0	0						
Terbumeton	H	0.005–0.066	12	0	0	0	0	33	0	0	0	0						
Tolclofos-methyl	F	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
Triazophos	I	0.005	11	0	0	0	0	32	0	0	0	0						

1997–2001: Kohlenwasserstoffe und MTBE

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
	Typ	BG (µg/l)	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
MTBE	Ether	0.1	39	9	0	23.1	0	200	9	0	4.5	0	0.12	0.34	0.19	0.18	0.17	0.19
Trichlorethen	FHKW	0.2	39	9	1	23.1	2.5	268	30	2	11.2	0.8	0.20	1.33	0.46	0.30	0.20	0.65
Tetrachlorethen	FHKW	0.02	39	8	2	20.5	5.1	268	65	15	24.3	5.6	0.02	10.60	1.63	0.13	0.09	0.87
Toluol	MAKW	0.1	39	6	3	15.4	7.7	262	9	3	3.4	1.1	0.10	10.50	2.02	0.21	0.11	1.30
1,1,1-Trichlorethan	FHKW	0.2	39	5	0	12.8	0	268	25	0	9.3	0	0.20	0.96	0.36	0.34	0.26	0.37
Ethylbenzol	MAKW	0.1	39	1	0	2.5	0	262	1	0	0.4	0	0.16	0.16				
Tetrachlormethan	FHKW	0.05	39	1	0	2.5	0	268	1	0	0.4	0	0.14	0.14				
Xylole total	MAKW	0.1	39	1	0	2.5	0	262	1	0	0.4	0	0.57	0.57				
Benzol	MAKW	0.1	39	0	0	0	0	262	0	0	0	0						
Chloroform	FHKW	0.5	39	0	0	0	0	268	0	0	0	0						

2002: Kohlenwasserstoffe und MTBE

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
	Typ	BG (µg/l)	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
Grundprogramm NAQUASPEZ																		
MTBE	Ether	0.03–0.2	210	21	0	10.0	0	315	24	0	7.6	0	0.03	0.50	0.13	0.10	0.06	0.17
Toluol	MAKW	0.03–0.2	210	10	0	4.8	0	315	11	0	3.5	0	0.10	0.30	0.17	0.20	0.10	0.20
Ethylbenzol	MAKW	0.03–0.2	210	3	0	1.4	0	315	3	0	1	0	0.10	0.10				
Benzol	MAKW	0.03–0.2	210	1	0	0.5	0	315	1	0	0.3	0	0.10	0.10				
m/p-Xylol ³	MAKW	0.03–0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0						
o-Xylol	MAKW	0.03–0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0						
Xylole total	MAKW	0.1	39	0	0	0	0	71	0	0	0	0						
Zusatzprogramm																		
Tetrachlorethen	FHKW	0.02–0.2	210	32	4	15.2	1.9	353	70	14	19.8	4	0.02	8.80	0.65	0.30	0.16	0.45
Trichlorethen	FHKW	0.03–0.2	210	25	1	11.9	0.5	353	35	1	9.9	0.3	0.05	1.79	0.30	0.20	0.10	0.35
1,1,1-Trichlorethan	FHKW	0.03–0.2	210	19	1	9.0	0.5	353	33	1	9.3	0.3	0.05	3.80	0.45	0.14	0.10	0.25
Chloroform	FHKW	0.05–0.5	195	12	0	6.2	0	324	15	0	4.6	0	0.05	0.55	0.22	0.13	0.11	0.25
Trichlorfluormethan	FHKW	0.05	57	5	0	8.8	0	57	5	0	8.8	0	0.05	0.46	0.22	0.18	0.16	0.25
cis-1,2-Dichlorethen	FHKW	0.05–0.2	162	2	0	1.2	0	215	3	0	1.4	0	0.30	0.42				
Dichlordifluormethan	FHKW	0.05	57	2	0	3.5	0	57	2	0	3.5	0	0.06	0.12				
Tetrachlormethan	FHKW	0.03–0.5	210	2	0	1.0	0	353	2	0	0.6	0	0.16	0.26				
1,2,4-Trimethylbenzol	MAKW	0.03–0.2	177	1	0	0.6	0	244	1	0	0.4	0	0.07	0.07				
1,3,5-Trimethylbenzol	MAKW	0.03–0.2	177	1	0	0.6	0	244	1	0	0.4	0	0.05	0.05				
Bromdichlormethan	FHKW	0.05–0.2	162	1	0	0.6	0	215	1	0	0.5	0	0.44	0.44				
1,1-Dichlorethan	FHKW	0.05–0.2	162	1	0	0.6	0	215	1	0	0.5	0	0.05	0.05				
Styrol (Vinylbenzol)	MAKW	0.03–0.2	177	1	0	0.6	0	244	1	0	0.4	0	0.50	0.50				
1,1,1,2-Tetrachlorethan	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,1,2,2-Tetrachlorethan	FHKW	0.05–0.4	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
1,1,2-Trichlorethan	FHKW	0.05–0.5	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,1-Dichlorethen	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,1-Dichlorpropen	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2,3-Trichlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				

³ In einem Teil der Messstellen wurde anstelle der einzelnen Xylol-Isomere nur das Total der Xylol-Isomere analysiert.

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
	Typ	BG (µg/l)	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
1,2,3-Trichlorpropan	FHKW	0.05–0.2	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
1,2,3-Trimethylbenzol	MAKW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
1,2,4-Trichlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2-Dibrom-3-Chlorpropan	FHKW	0.05–5	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
1,2-Dibromethan	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2-Dichlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,2-Dichlorethan	FHKW	0.05–0.2	130	0	0	0	0	194	0	0	0	0	0	0				
1,2-Dichlorpropan	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,3-Dichlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,3-Dichlorpropan	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
1,4-Dichlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
2,2-Dichlorpropan	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
2-Chlortoluol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
4-Chlortoluol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Brombenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Bromchlormethan	FHKW	0.05–0.2	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
Brommethan	FHKW	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
Bromoform	FHKW	0.05–0.2	130	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0				
Chlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Chlorethan	FHKW	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
Chlorethen	FHKW	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
Chlormethan	FHKW	0.05	57	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0				
cis-1,3-Dichlorpropen	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Dibromchlormethan	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Dibrommethan	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Hexachlorbutadien	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Isopropylbenzol	MAKW	0.03–0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0	0	0				
m/p-Ethyltoluol	MAKW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
Methylenchlorid	FHKW	0.05–5	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
Naphthalin	PAK	0.05–0.2	162	0	0	0	0	226	0	0	0	0	0	0				
n-Butylbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
n-Decan	ali. KW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-Heptan	ali. KW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-Hexan	ali. KW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-Nonan	ali. KW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-Octan	ali. KW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
n-Propylbenzol	MAKW	0.03–0.2	177	0	0	0	0	244	0	0	0	0	0	0				
o-Ethyltoluol	MAKW	0.03	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0				
p-Isopropyltoluol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
sec-Butylbenzol	MAKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
tert-Butylbenzol	MAKW	0.05–0.1	141	0	0	0	0	194	0	0	0	0	0	0				
trans-1,2-Dichlorethen	FHKW	0.05–0.2	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				
trans-1,3-Dichlorpropen	FHKW	0.05–0.5	162	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0				

2003: Kohlenwasserstoffe und MTBE

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
	Typ	BG (µg/l)	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
Grundprogramm NAQUASPEZ																		
MTBE	Ether	0.03–1	400	72	1	18.0	0.3	888	135	1	15.2	0.1	0.03	2.10	0.15	0.09	0.05	0.19
Toluol	MAKW	0.01–0.5	400	37	1	9.3	0.3	890	42	1	4.7	0.1	0.02	3.50	0.28	0.10	0.10	0.20
m/p-Xylol ⁴	MAKW	0.01–0.5	365	6	1	1.6	0.3	782	7	1	0.9	0.1	0.20	1.70	0.54	0.20	0.20	0.65
Benzol	MAKW	0.01–0.5	400	4	1	1.0	0.3	890	5	2	0.6	0.2	0.10	9.50	2.88	0.80	0.40	3.60
Ethylbenzol	MAKW	0.01–0.5	400	2	0	0.5	0	890	2	0	0.2	0	0.10	0.20				
o-Xylol	MAKW	0.01–0.5	365	1	1	0.3	0.3	782	2	2	0.3	0.3	2.40	2.50				
Xylole total	MAKW	0.05–0.1	43	0	0	0	0	108	0	0	0	0						
Zusatzprogramm																		
Tetrachlorethen	FHKW	0.01–0.2	371	73	20	19.7	5.4	878	195	50	22.2	5.7	0.02	25.00	1.19	0.36	0.16	1.05
Trichlorethen	FHKW	0.01–0.2	371	70	9	18.9	2.4	878	181	16	20.6	1.8	0.03	5.40	0.44	0.25	0.10	0.44
Chloroform	FHKW	0.01–0.2	356	46	0	12.9	0	834	103	0	12.4	0	0.02	0.73	0.23	0.20	0.09	0.31
1,1,1-Trichlorethan	FHKW	0.01–0.2	371	44	7	11.9	1.9	878	105	12	12.0	1.4	0.01	5.20	0.49	0.10	0.08	0.38
Trichlorfluormethan	FHKW	0.01–0.2	226	13	1	5.8	0.4	424	19	2	4.5	0.5	0.01	1.46	0.22	0.10	0.02	0.14
cis-1,2-Dichlorethen	FHKW	0.03–0.2	308	11	0	3.6	0	645	27	0	4.2	0	0.03	0.80	0.28	0.21	0.13	0.40
Tetrachlormethan	FHKW	0.01–0.5	355	10	0	2.8	0	820	14	0	1.7	0	0.01	0.28	0.08	0.04	0.02	0.11
Bromdichlormethan	FHKW	0.01–0.2	320	8	0	2.5	0	680	9	0	1.3	0	0.01	0.56	0.27	0.33	0.07	0.38
Dichlordifluormethan	FHKW	0.05–0.2	214	6	0	2.8	0	389	10	0	2.6	0	0.07	0.77	0.33	0.32	0.13	0.46
Bromoform	FHKW	0.01–0.2	320	4	2	1.3	0.6	680	4	2	0.6	0.3	0.17	1.74	0.96	0.97	0.25	1.68
Dibromchlormethan	FHKW	0.01–0.2	320	4	1	1.3	0.3	680	5	1	0.7	0.1	0.08	1.17	0.55	0.35	0.26	0.89
1,2,4-Trimethylbenzol	MAKW	0.03–0.5	335	3	0	0.9	0	724	3	0	0.4	0	0.05	0.54				
1,1,2,2-Tetrachlorethan	FHKW	0.01–0.2	320	1	0	0.3	0	680	2	0	0.3	0	0.04	0.05				
1,1-Dichlorethan	FHKW	0.02–0.2	320	1	0	0.3	0	680	2	0	0.3	0	0.09	0.10				
1,1-Dichlorethen	FHKW	0.01–0.2	320	1	0	0.3	0	680	3	0	0.4	0	0.04	0.10				
1,2-Dichlorpropan	FHKW	0.02–0.2	320	1	0	0.3	0	680	1	0	0.1	0	0.05	0.05				
Chlorbenzol	MAKW	0.04–0.5	320	1	1	0.3	0.3	680	2	2	0.3	0.3	1.20	2.90				
Chlormethan	FHKW	0.01–0.2	214	1	0	0.5	0	389	1	0	0.3	0	0.21	0.21				
Hexachlorbutadien	FHKW	0.05–0.35	308	1	0	0.3	0	645	2	0	0.3	0	0.10	0.10				
Methylenchlorid	FHKW	0.01–5	304	1	0	0.3	0	622	1	0	0.2	0	0.03	0.03				
Naphthalin	PAK	0.05–0.2	308	1	0	0.3	0	645	1	0	0.2	0	0.08	0.08				
Styrol	MAKW	0.03–0.2	307	1	0	0.3	0	657	1	0	0.2	0	0.20	0.20				
1,1,1,2-Tetrachlorethan	FHKW	0.04–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,1,2-Trichlorethan	FHKW	0.01–0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1,1,2-Trichlortrifluorethan	FHKW	0.05	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0						
1,1-Dichlorpropen	FHKW	0.05–0.2	293	0	0	0	0	616	0	0	0	0						
1,2,3-Trichlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2,3-Trichlorpropan	FHKW	0.05–0.5	308	0	0	0	0	638	0	0	0	0						
1,2,3-Trimethylbenzol	MAKW	0.03–0.5	27	0	0	0	0	79	0	0	0	0						
1,2,4-Trichlorbenzol	MAKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2-Dibrom-3-Chlorpropan	FHKW	0.05–1	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2-Dibromethan	FHKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,2-Dichlorbenzol	MAKW	0.05–0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1,2-Dichlorethan	FHKW	0.04–0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1,2-Dichlorpropen	FHKW	0.05	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0						
1,3,5-Trimethylbenzol	MAKW	0.03–0.5	335	0	0	0	0	724	0	0	0	0						

⁴ In einem Teil der Messstellen wurde anstelle der einzelnen Xylol-Isomere nur das Total der Xylol-Isomere analysiert.

Substanz			Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
	Typ	BG (µg/l)	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥BG	% >Limite	Min. (µg/l)	Max. (µg/l)	Mittel (µg/l)	Median (µg/l)	1. Quartil (µg/l)	3. Quartil (µg/l)
1,3-Dichlorbenzol	MAKW	0.05–0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1,3-Dichlorpropan	FHKW	0.03–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
1,4-Dichlorbenzol	MAKW	0.05–0.5	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
1-Chlorbutan	FHKW	0.05	23	0	0	0	0	23	0	0	0	0						
2,2-Dichlorpropan	FHKW	0.05–0.5	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
2-Chlortoluol	MAKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
4-Chlortoluol	MAKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
Brombenzol	MAKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
Bromchlorethan	FHKW	0.05	15	0	0	0	0	29	0	0	0	0						
Bromchlormethan	FHKW	0.05–0.2	269	0	0	0	0	568	0	0	0	0						
Brommethan	FHKW	0.05–0.2	214	0	0	0	0	389	0	0	0	0						
Chlorethan	FHKW	0.05–0.2	214	0	0	0	0	389	0	0	0	0						
Chlorethen	FHKW	0.05–0.2	214	0	0	0	0	389	0	0	0	0						
cis-1,3-Dichlorpropen	FHKW	0.01–0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
Dibrommethan	FHKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
Isopropylbenzol	MAKW	0.03–0.2	323	0	0	0	0	689	0	0	0	0						
Isopropyltoluol	MAKW	0.05	16	0	0	0	0	32	0	0	0	0						
m/p-Ethyltoluol	MAKW	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0						
n-Butylbenzol	MAKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
n-Decan	al. KW	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0						
n-Heptan	al. KW	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0						
n-Hexan	al. KW	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0						
n-Nonan	al. KW	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0						
n-Octan	al. KW	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0						
n-Propylbenzol	MAKW	0.03–0.2	323	0	0	0	0	689	0	0	0	0						
o-Ethyltoluol	MAKW	0.03	15	0	0	0	0	44	0	0	0	0						
p-Isopropyltoluol	MAKW	0.05–0.2	292	0	0	0	0	613	0	0	0	0						
sec-Butylbenzol	MAKW	0.05–0.2	292	0	0	0	0	613	0	0	0	0						
tert-Butylbenzol	MAKW	0.05–0.2	308	0	0	0	0	645	0	0	0	0						
trans-1,2-Dichlorethen	FHKW	0.01–0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						
trans-1,3-Dichlorpropen	FHKW	0.01–0.2	320	0	0	0	0	680	0	0	0	0						

2000–2003: Grundparameter

Parameter	Einheit	BG	Messstellen					Messungen					Statistik (nur Messungen ≥BG)					
			n	≥BG	>Limite	% ≥ BG	% > Limite	n	≥BG	>Limite	% ≥ BG	% > Limite	Min.	Max.	Mittel	Median	1. Quartil	3. Quartil
Leitfähigkeit (25 C)	[µS/cm]		462	462	0	100	0	2718	2718	0	100	0	25	1062	563	600	437	701
Wassertemperatur	[°C]		463	463	0	100	0	2709	2709	0	100	0	2.3	19.3	10.5	10.7	9.3	11.9
pH			44	44	0	100	0	844	844	0	100	0	6.0	8.0	7.2	7.2	7.1	7.4
O ₂	[mg/l]		387	387	0	100	0	2159	2159	0	100	0	0.0	12.9	7.1	7.2	5.8	8.9
Trübung	[TE/F]	0.1	44	44	10	100	23	853	404	13	47	5.5	0.1	8.4	0.4	0.2	0.2	0.4
CO ₂ , frei	[mg/l]	1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0	52	18	18	8	25
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	[mg/l]		44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	34	441	283	302	218	369
Carbonathärte	[°fH]		44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	3	36	23	25	18	30
Gesamthärte	[°fH]		44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	4	50	27	30	20	35
Calcium (Ca ²⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	12.8	147.0	86.1	92.0	65.0	111.0
Magnesium (Mg ²⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.6	46.9	13.1	13.5	6.0	18.8
Natrium (Na ⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.3	29.0	6.4	5.6	2.2	8.4
Kalium (K ⁺)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	852	0	100	0	0.1	5.2	1.8	1.9	0.9	2.3
Strontium (Sr ²⁺)	[mg/l]	0.01	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.01	1.00	0.39	0.38	0.26	0.48
Barium (Ba ²⁺)	[mg/l]	0.01	44	42	0	95	0	808	690	0	85	0	0.01	0.20	0.06	0.05	0.04	0.09
Lithium (Li ⁺)	[mg/l]	0.02	44	1	0	2	0	808	1	0	0.1	0	0.02	0.02				
Silizium (SiO ₂)	[mg/l]	0.01	44	44	0	100	0	841	841	0	100	0	0.5	7.9	3.5	3.4	2.6	4.6
Zink (Zn)	[µg/l]	1	44	28	0	64	0	808	340	0	42	0	1	208	26	13	5	35
Bor (B)	[µg/l]	2	44	42	0	95	0	853	670	0	78	0	2	110	26	20	10	30
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	[mg/l]	1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	1.4	140.0	25.0	19.0	12.2	31.0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	[mg/l]	0.1	Siehe weiter oben															
Chlorid (Cl ⁻)	[mg/l]	0.1	44	44	0	100	0	853	853	0	100	0	0.2	41.7	11.0	9.6	3.0	16.5
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	[mg C/l]	0.05	44	44	2	100	5	853	853	13	100	1.5	0.3	4.4	0.9	0.9	0.47	1.0
AOX	[µg/l]	1	44	43	1	98	2	853	578	1	68	0.1	1.0	10.6	2.1	1.8	1.3	2.3
Fluor (F ⁻)	[mg/l]	0.01	44	44	0	100	0	808	808	0	100	0	0.01	0.63	0.10	0.08	0.05	0.12
Phosphat (PO ₄ ³⁻)	[mg/l]	0.01	44	42	0	95	0	599	290	0	48	0	0.01	0.22	0.04	0.03	0.02	0.05
Ammonium (NH ₄ ⁺)	[mg/l]	0.03	Siehe weiter oben															
Nitrit (NO ₂ ⁻)	[mg/l]	0.01	Siehe weiter oben															
Chrom (Cr)	[µg/l]	1	44	3	0	7	0	463	27	0	6	1.3	1.5	5.5	3.6	3.5	3.2	3.9
Nickel (Ni)	[µg/l]	1	44	2	1	5	2	460	3	1	0.7	0.2	1.2	11.0				
Kupfer (Cu)	[µg/l]	1	44	12	0	27	0	463	33	0	7	0	1.1	4.3	1.9	2.0	1.3	2.3
Beryllium (Be)	[µg/l]	1	44	1	0	2	0	463	1	0	0.2	0	2.0	2.0				
Kobalt (Co)	[µg/l]	1	44	0	0	0	0	460	0	0	0	0						
Titan (Ti)	[µg/l]	1	44	1	0	2	0	460	1	0	0.2	0						
Quecksilber (Hg)	[µg/l]	0.5	44	0	0	0	0	347	0	0	0	0						
Arsen (As)	[µg/l]	0.5	44	11	0	25	0	374	59	0	16	0	0.5	1.8	1.0	0.9	0.8	1.1
Blei (Pb)	[µg/l]	1	44	0	0	0	0	387	0	0	0	0						
Kadmium (Cd)	[µg/l]	0.2	44	0	0	0	0	348	0	0	0	0						
Selen (Se)	[µg/l]	1	44	0	0	0	0	348	0	0	0	0						
Cyanid (CN ⁻)	[mg/l]	0.01	44	0	0	0	0	248	0	0	0	0						
NTA	[µg/l]	0.5	44	0	0	0	0	296	0	0	0	0						
EDTA	[µg/l]	0.5	44	0	0	0	0	296	0	0	0	0						

Stickstoffparameter, PSM, halogenierte Kohlenwasserstoffe und BTEX: siehe weiter oben.

A2 Zeitreihen einzelner Parameter der Messstellen NAQUA_{TREND}

Herkunft der Niederschlagsdaten:
MeteoSchweiz

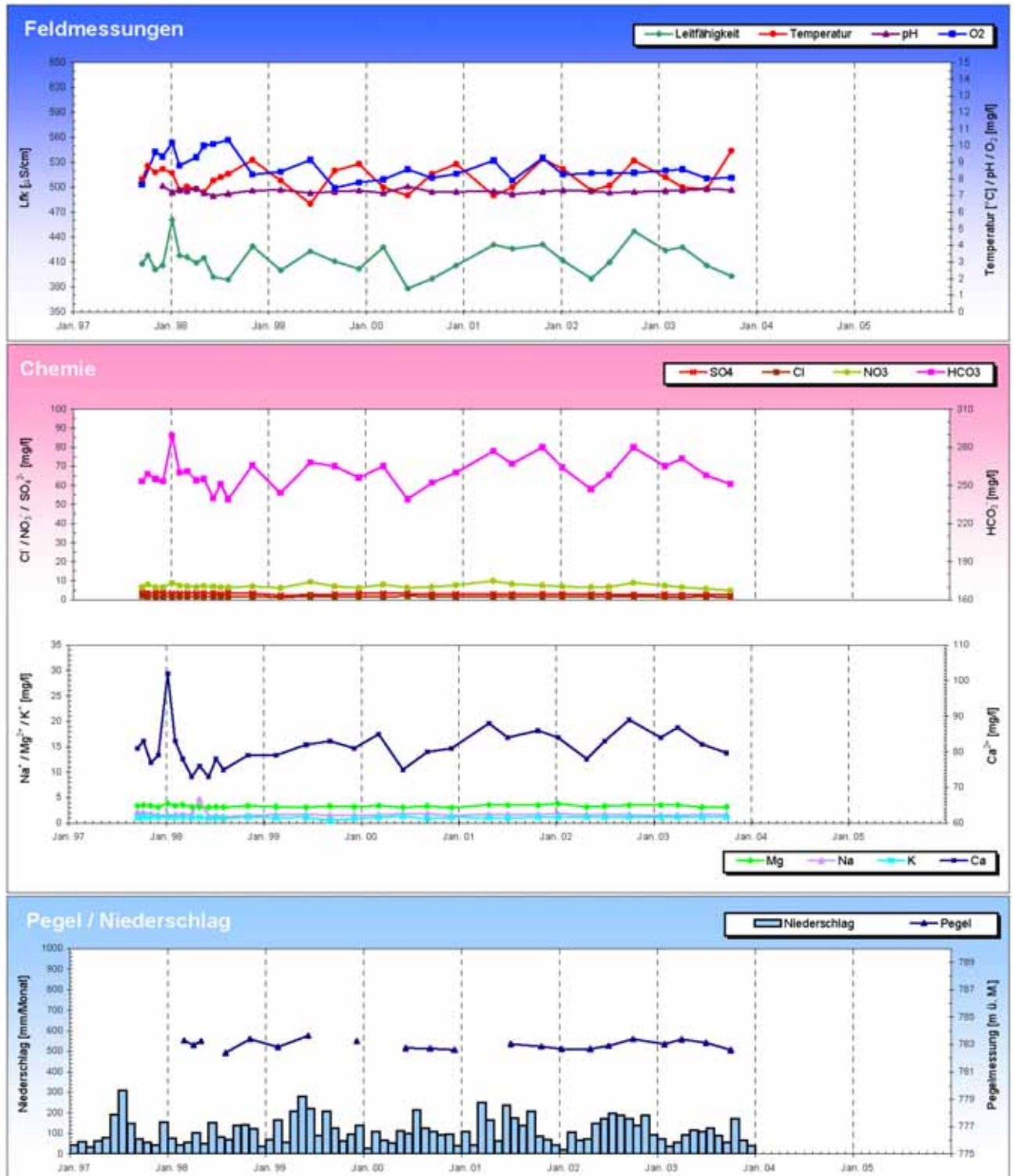
NTG 01

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Piezometer
Schotter in Talsohlen (ST)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 791.35 m ü. M.
Nutzung ungenutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	461	9.7	7.6	96.3	10.4	102.0	3.8	4.7	1.3	3.7	9.9	2.2	289.0	783.7	311.0
Mittelwert	413	8.0	7.3	80.9	8.7	81.5	3.3	1.7	1.1	3.2	7.2	1.6	259.4	783.0	112.2
Minimum	378	6.5	7.0	72.0	7.5	73.0	3.0	1.3	0.5	2.3	4.8	1.3	239.0	782.4	21.7

NTG 02

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp

Untergrund

Hauptbodennutzung

Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk

Schotter in Talsohlen (ST)

übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)

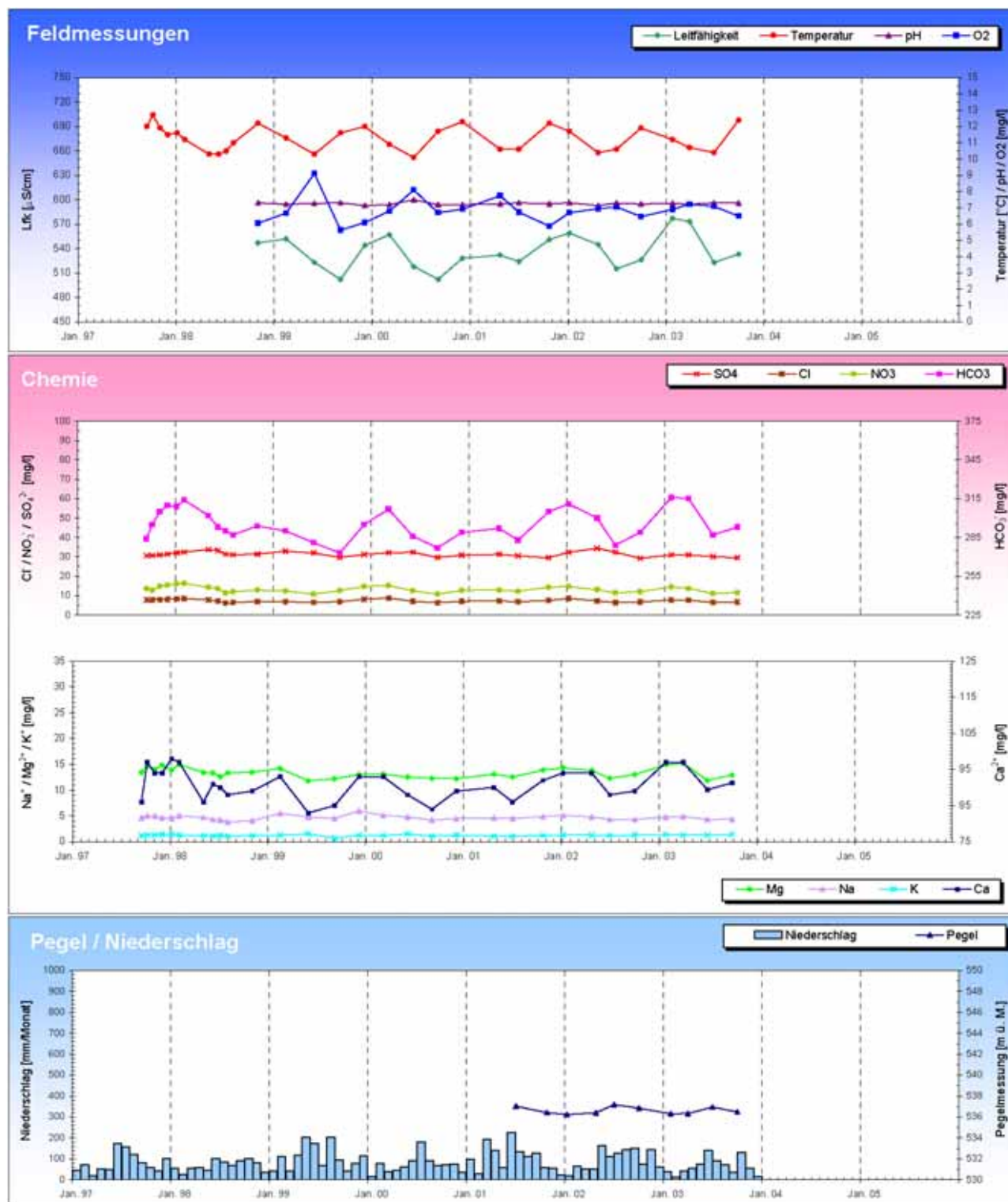
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage

541.60 m ü. M.

Nutzung

genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	577	12.7	7.5	81.4	9.1	98.0	15.2	6.0	1.5	34.4	16.3	8.8	537.2	225.0
Mittelwert	537	11.3	7.3	67.0	6.9	90.9	13.4	4.7	1.3	31.4	13.2	7.3	536.6	84.0
Minimum	502	10.1	7.1	58.4	5.6	83.0	11.8	3.8	0.7	29.3	10.7	6.1	536.2	13.5

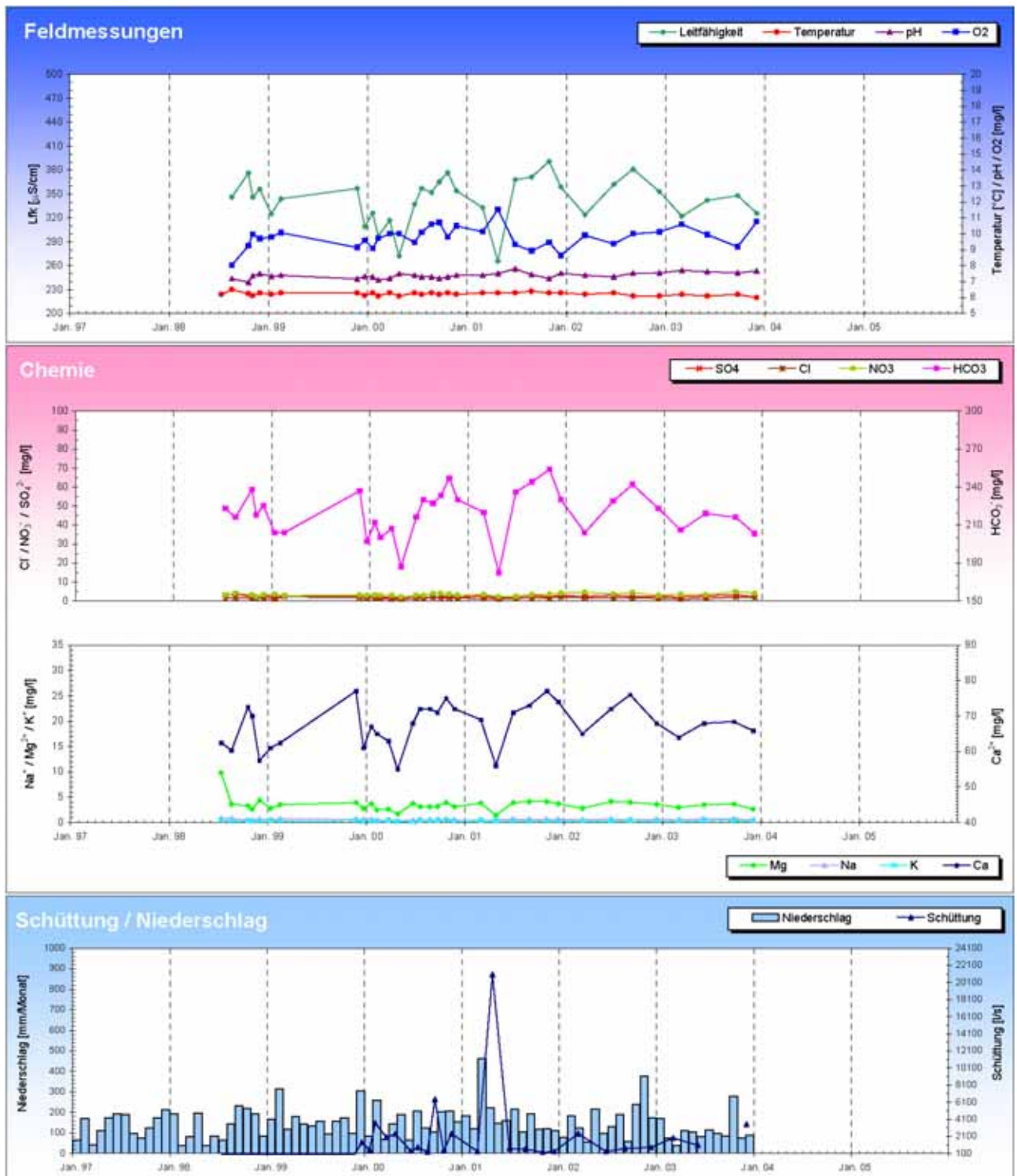
NTQ 03

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
Karst (KE)
unproduktive Gebiete (UG)
Jura

Höhenlage
Nutzung
1040 m ü. M.
genutzt



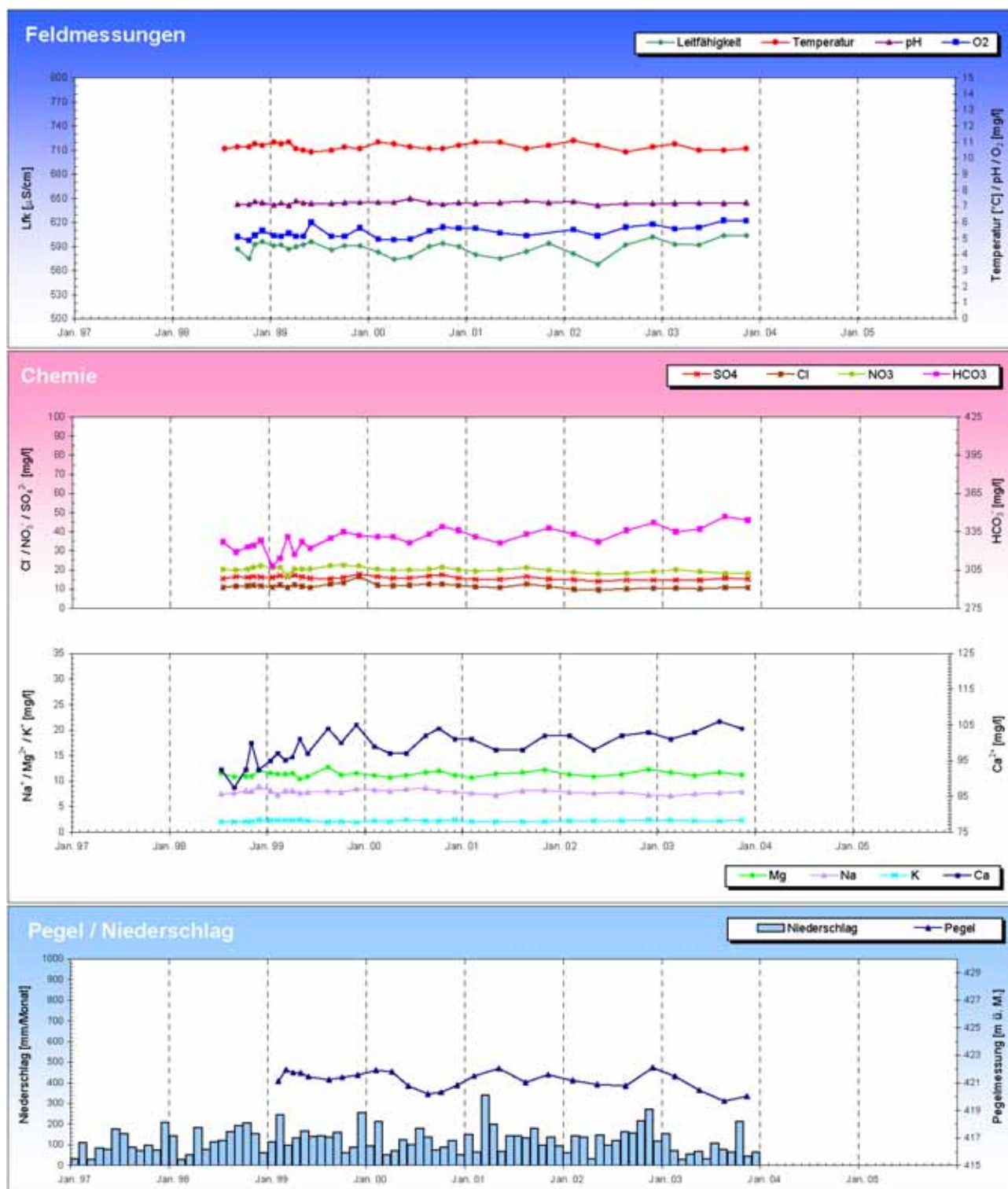
	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	391	6.5	7.8	98.8	11.5	77.0	9.8	0.8	0.5	3.7	4.8	2.3	21000.0	462.0
Mittelwert	342	6.2	7.4	90.2	9.8	67.6	3.5	0.6	0.3	2.4	3.3	1.5	2260.7	147.7
Minimum	266	6.0	7.0	75.0	8.0	55.0	1.4	0.3	0.1	1.4	2.0	0.8	240.0	37.0

NTG 04

NAQUA^{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
Hauptbodennutzung Ackerbau (AB)
Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 426.75 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	604	11.1	7.5	57.7	6.1	106.0	12.7	8.9	2.4	17.8	22.4	16.6	347.0	422.1
Mittelwert	589	10.7	7.2	51.5	5.4	99.2	11.4	7.9	2.2	15.9	20.1	11.6	330.1	120.5
Minimum	568	10.4	7.1	47.4	4.9	87.5	10.4	7.1	1.9	14.1	17.3	9.6	308.0	28.0

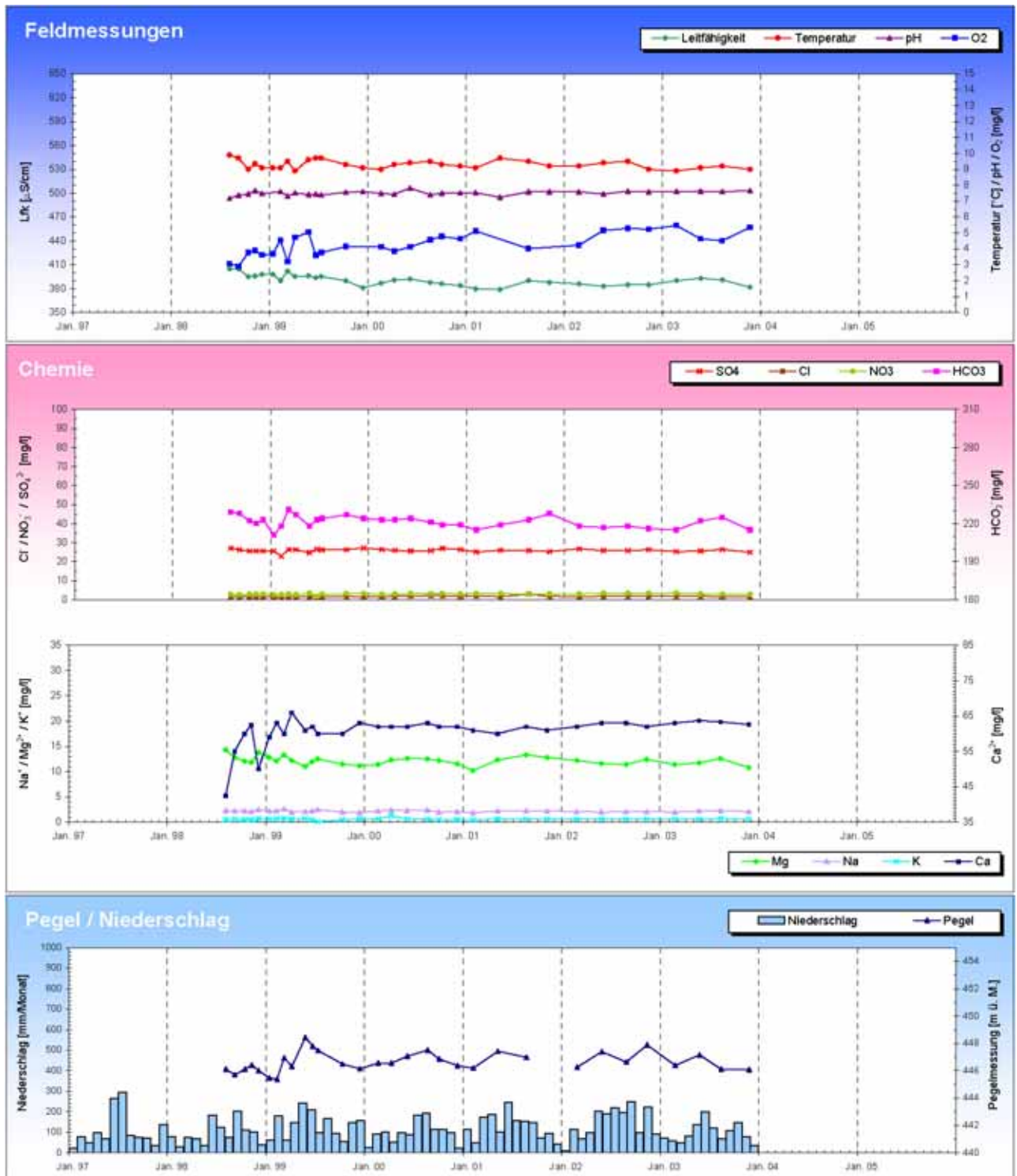
NTG 05

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Piezometer
Schotter in Talsohlen (ST)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 450.28 m ü. M.
Nutzung ungenutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	405	9.9	7.8	49.9	5.5	66.0	14.3	2.6	1.3	27.2	3.5	2.9	231.0	448.4	294.0
Mittelwert	391	9.3	7.5	40.0	4.3	60.7	12.1	2.2	0.6	25.9	3.0	1.8	221.4	446.6	114.3
Minimum	379	8.9	7.2	27.3	2.9	42.5	10.2	1.9	0.1	22.9	1.8	1.2	211.0	445.4	10.0

NTG 06

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp

Untergrund

Hauptbodennutzung

Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk

Schotter in Talsohlen (ST)

übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)

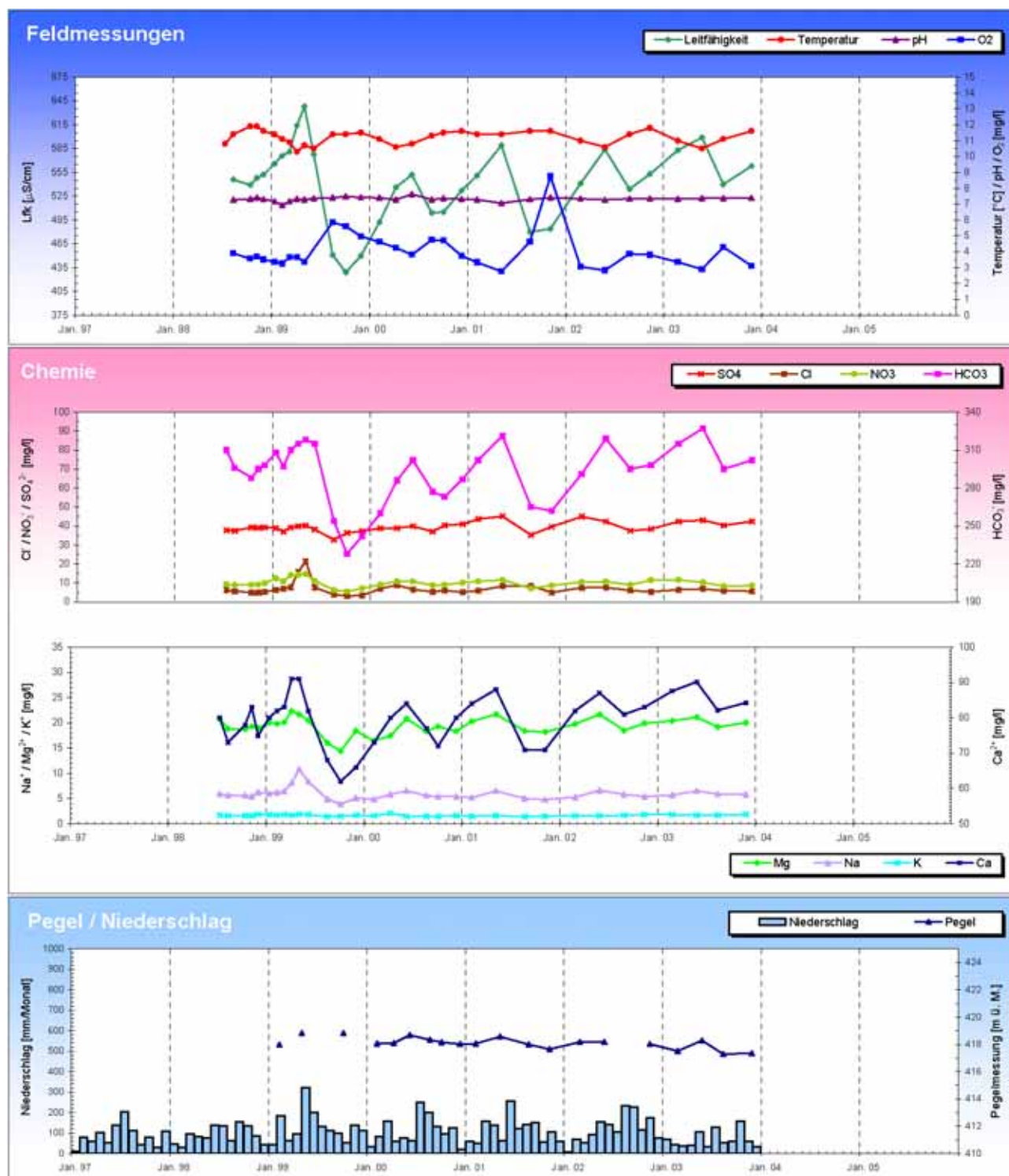
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage

419.65 m ü. M.

Nutzung

genutzt



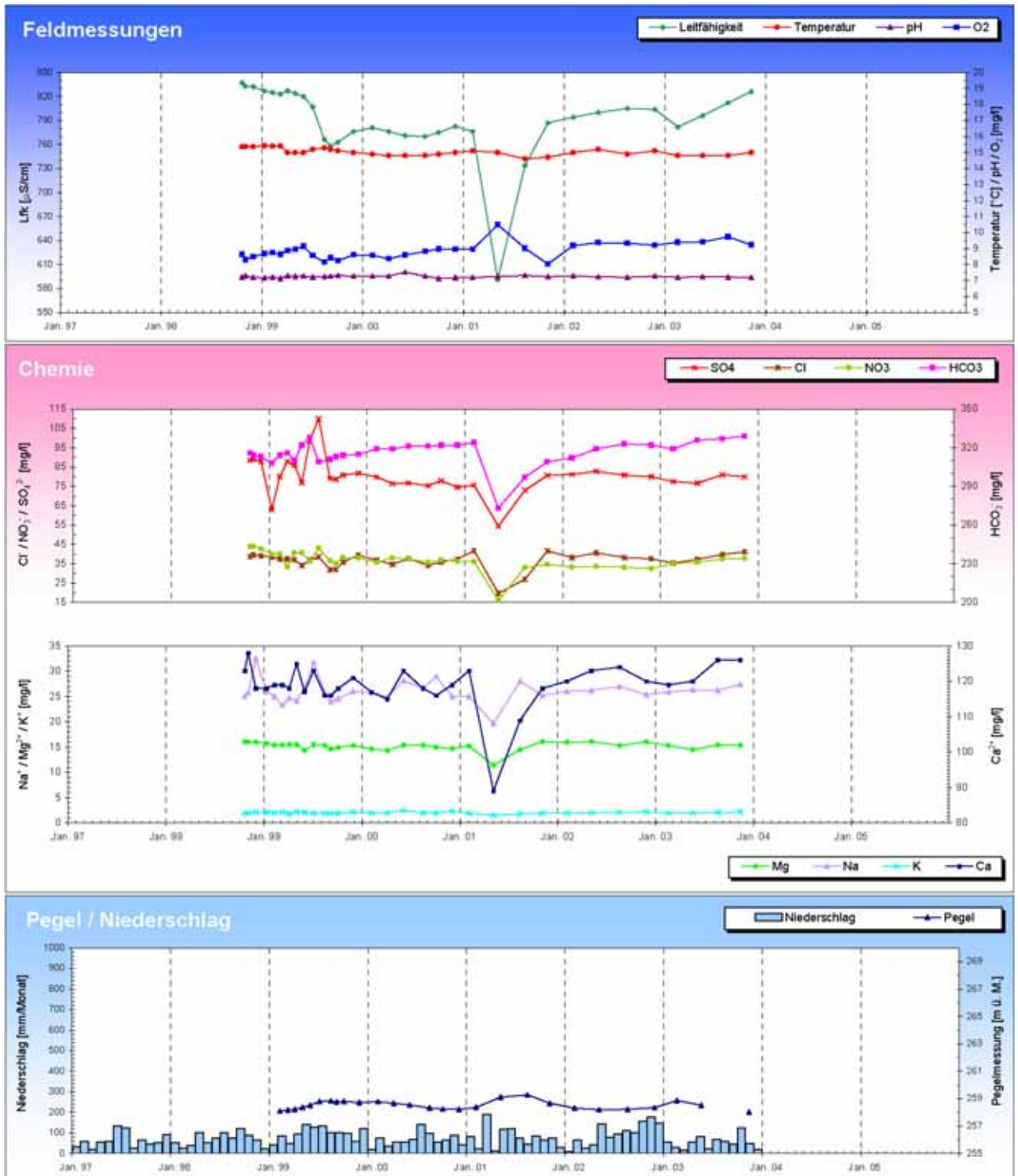
	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag	
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]	
Maximum	638	11.9	7.6	87.2	8.8	91.0	22.3	10.8	2.1	45.1	14.6	21.4	327.0	418.8	321.0
Mittelwert	542	11.2	7.3	39.8	4.0	79.7	19.4	6.0	1.7	39.5	10.0	6.9	292.2	418.1	101.6
Minimum	429	10.3	6.9	26.9	2.8	62.0	14.4	3.9	1.4	32.8	5.6	3.1	228.0	417.3	8.0

NTG 07

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)
Naturräumliche Gliederung Jura

Höhenlage 277.45 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	837	15.4	7.5	100.5	10.5	128.0	16.1	32.5	2.5	110.0	44.0	41.7	329.0	259.3	189.0
Mittelwert	790	15.0	7.2	91.8	8.9	118.9	15.2	26.0	2.0	80.4	36.6	36.6	315.8	258.5	73.6
Minimum	591	14.6	7.1	82.3	8.0	89.0	11.4	19.6	1.5	54.4	16.0	19.7	273.0	258.0	10.0

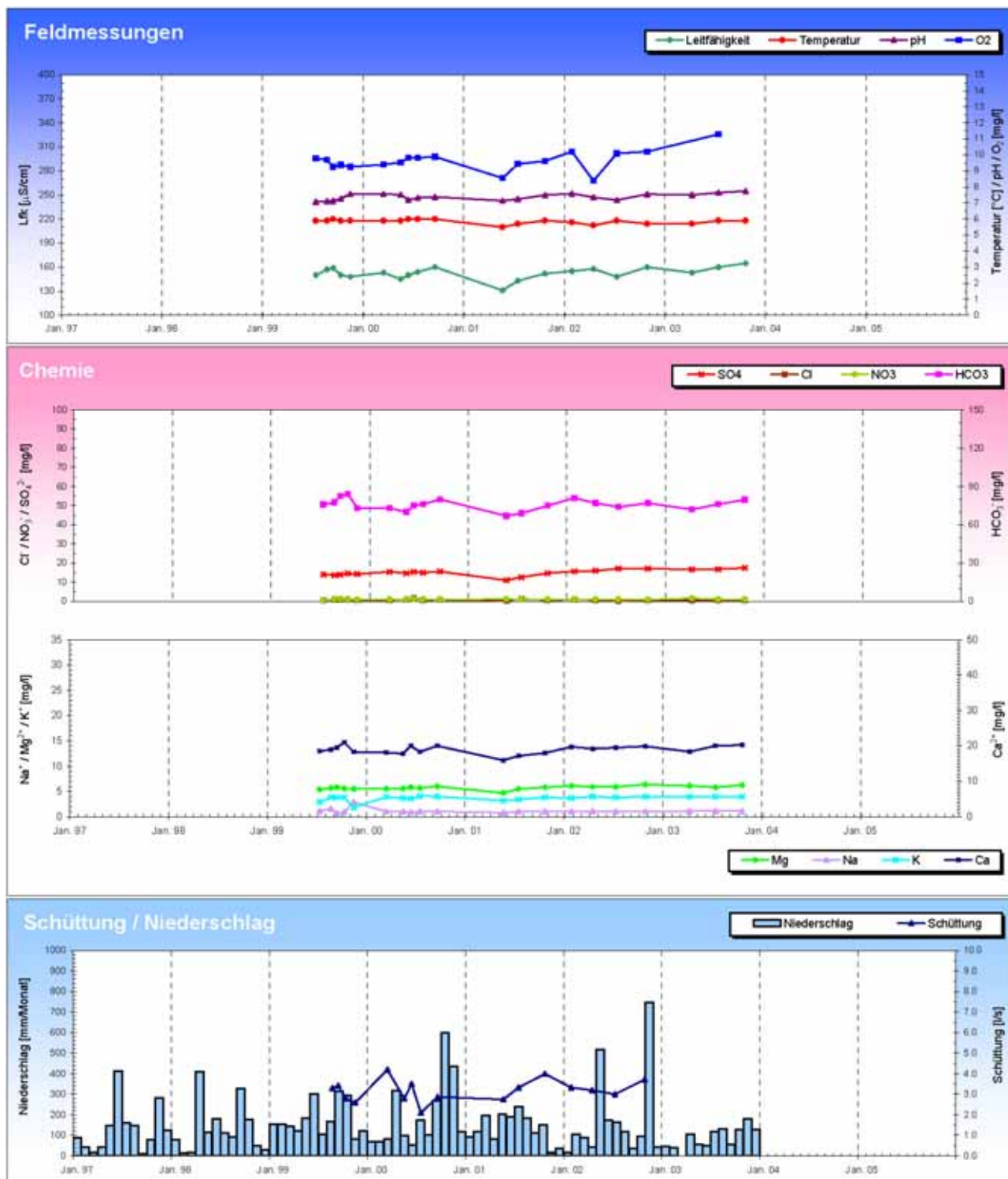
NTQ 08

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
kristalline Gesteine (KR)
unproduktive Gebiete (UG)
Alpen

Höhenlage
Nutzung
1595 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	165.0	6.0	7.7	110.3	11.3	21.0	6.4	2.9	4.1	17.4	1.6	1.7	84.0	747.0
Mittelwert	152.6	5.9	7.4	96.4	9.6	18.9	5.8	1.1	3.7	15.1	1.0	0.7	75.7	148.3
Minimum	131.0	5.5	7.1	86.0	8.4	16.0	4.7	0.7	1.8	11.0	0.2	0.4	67.0	0.0

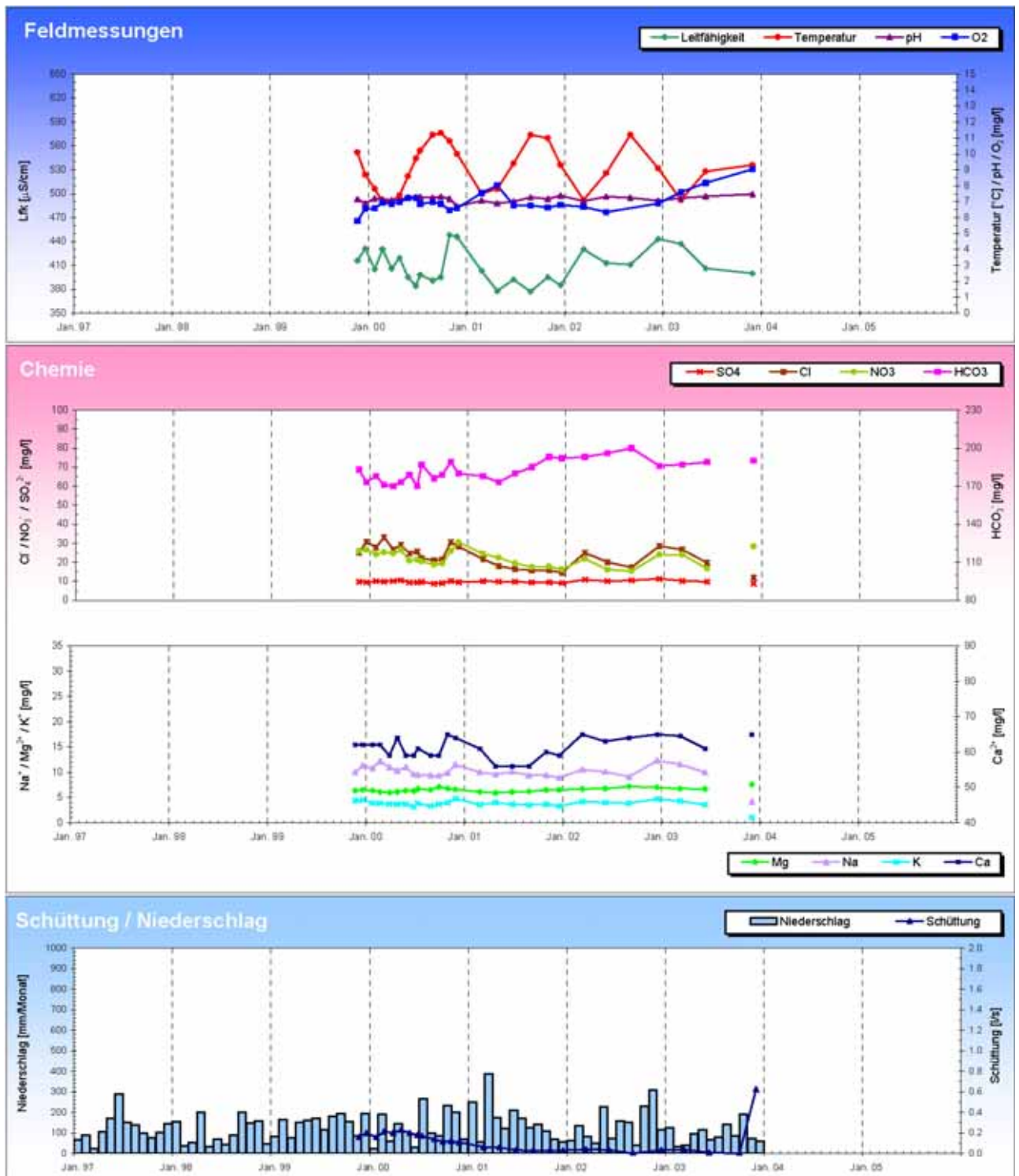
NTQ 09

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
klastische Gesteine (KG)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 860 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	448	11.30	7.47	87.67	9.03	65.0	7.6	12.3	4.8	11.3	30.4	33.3	200.0	0.6	387.0
Mittelwert	409	9.13	7.17	68.01	7.00	61.3	6.5	10.0	3.8	9.8	22.1	23.0	182.7	0.1	125.0
Minimum	377	7.00	6.70	61.30	5.79	56.0	5.9	4.2	1.1	8.8	15.5	12.0	170.0	0.0	22.0

NTQ 10

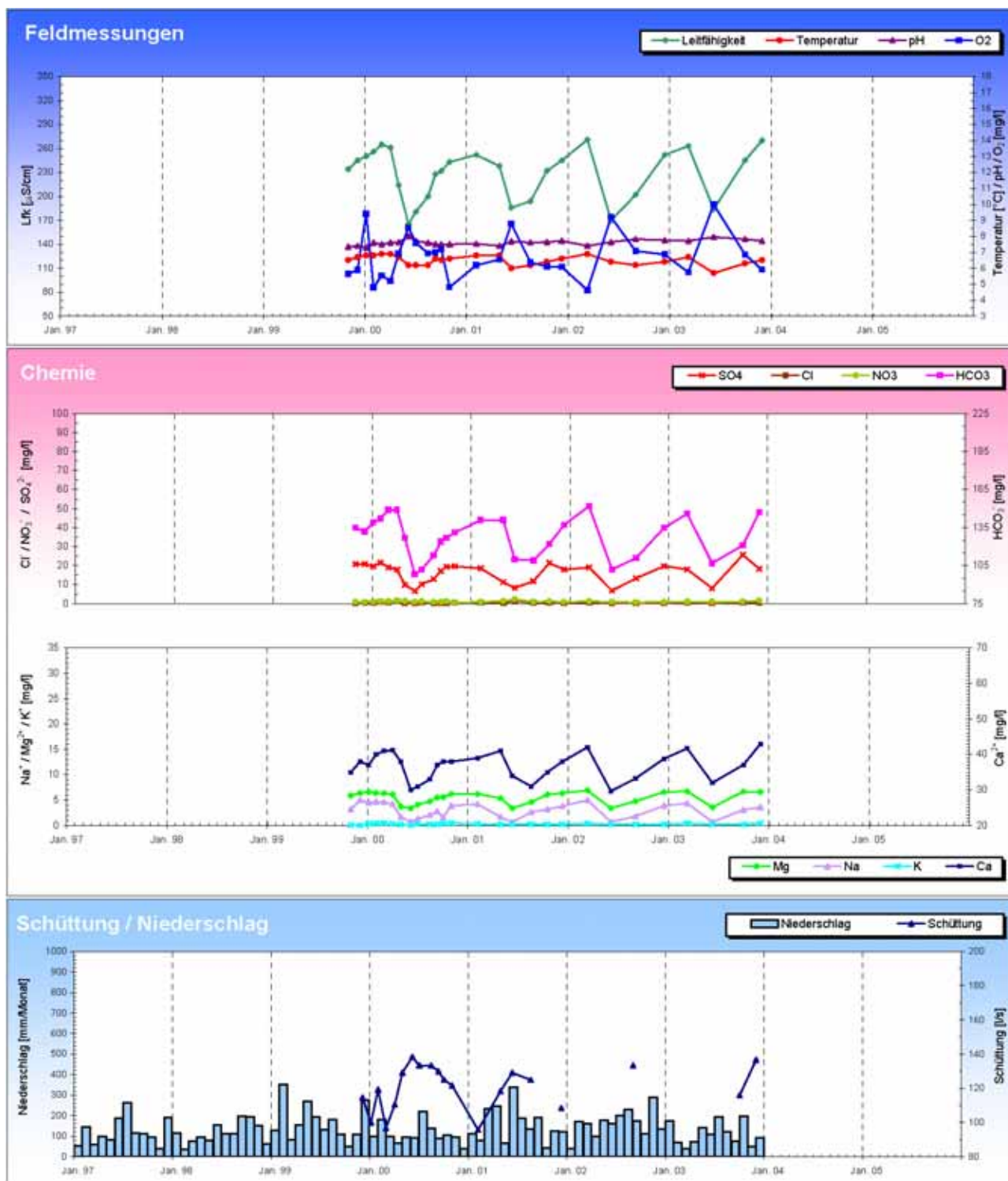
NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
Karst (KE)
unproduktive Gebiete (UG)
Alpen

Höhenlage
Nutzung

1220 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	271	6.9	8.0	94.1	10.0	43.0	6.9	5.0	25.7	2.4	1.5	152.0	138.3	353.0
Mittelwert	229	6.5	7.6	64.1	6.7	36.8	5.5	3.0	16.1	1.1	0.5	127.7	120.7	134.9
Minimum	165	5.7	7.3	45.0	4.6	29.7	3.4	0.7	6.7	0.5	0.2	98.0	95.8	36.0

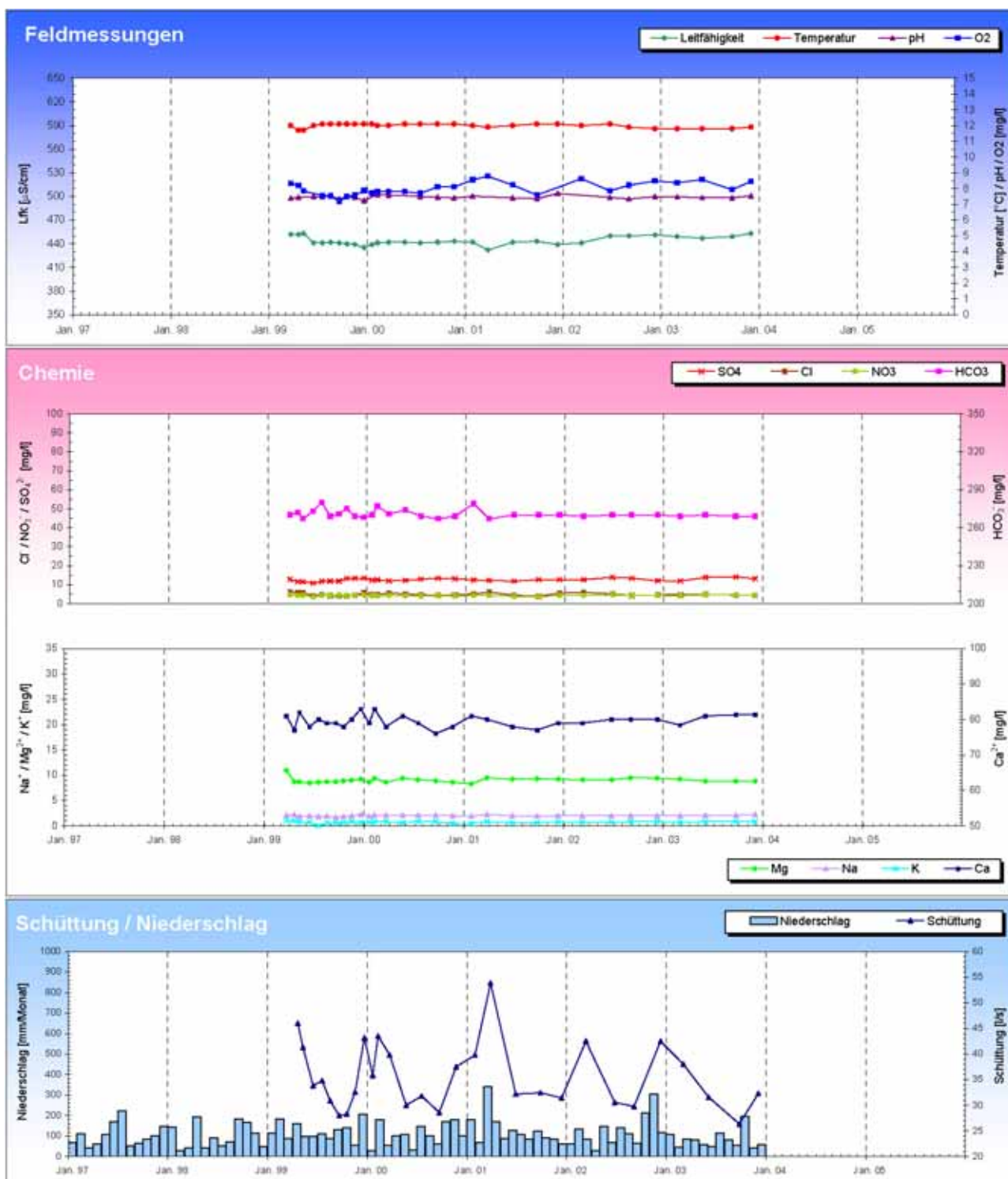
NTQ 11

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
Karst (KE)
unproduktive Gebiete (UG)
Jura

Höhenlage
Nutzung
680 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	453	12.1	7.7	88.6	8.6	83.0	11.0	2.2	1.0	14.1	4.6	6.2	280.0	53.8	339.0
Mittelwert	444	12.0	7.5	82.1	8.0	79.6	9.0	2.0	0.7	12.6	4.2	4.9	270.8	35.5	108.2
Minimum	432	11.7	7.2	76.8	7.5	76.0	8.3	1.7	0.5	10.8	3.6	3.9	267.0	26.3	28.0

NTG 12

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp

Untergrund

Hauptbodennutzung

Naturräumliche Gliederung

Piezometer

Schotter in Talsohlen (ST)

übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)

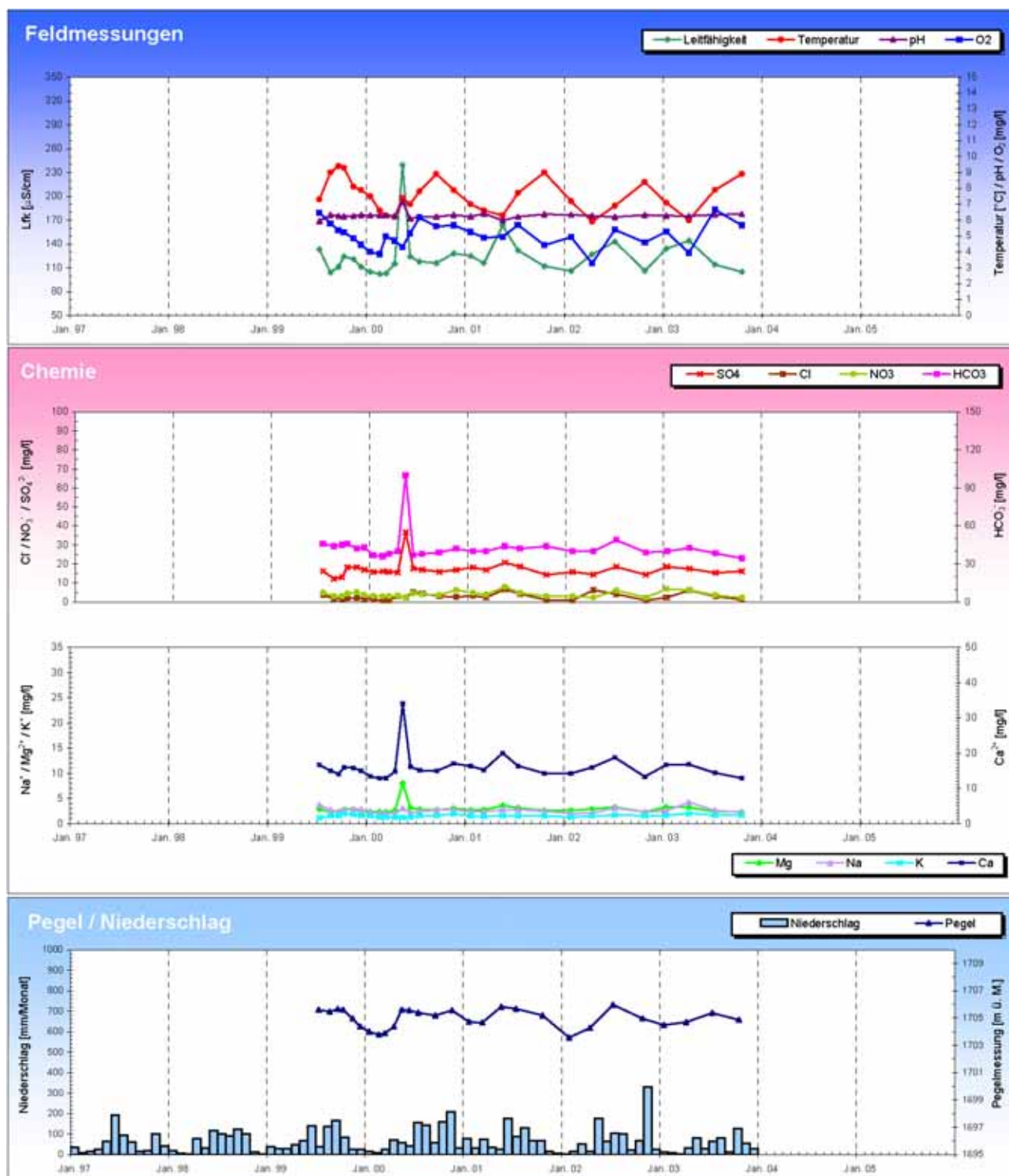
Alpen

Höhenlage

1707.72 m ü. M.

Nutzung

ungenutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	239	9.4	7.1	70.5	6.7	34.0	8.0	4.2	2.0	36.6	8.0	6.7	1706.0	330.0
Mittelwert	124	7.6	6.3	54.4	5.1	16.0	2.9	2.6	1.5	17.2	4.1	2.8	1705.0	65.0
Minimum	102	5.9	5.9	35.4	3.3	12.8	2.2	2.0	1.1	12.2	2.2	0.8	1703.6	2.0

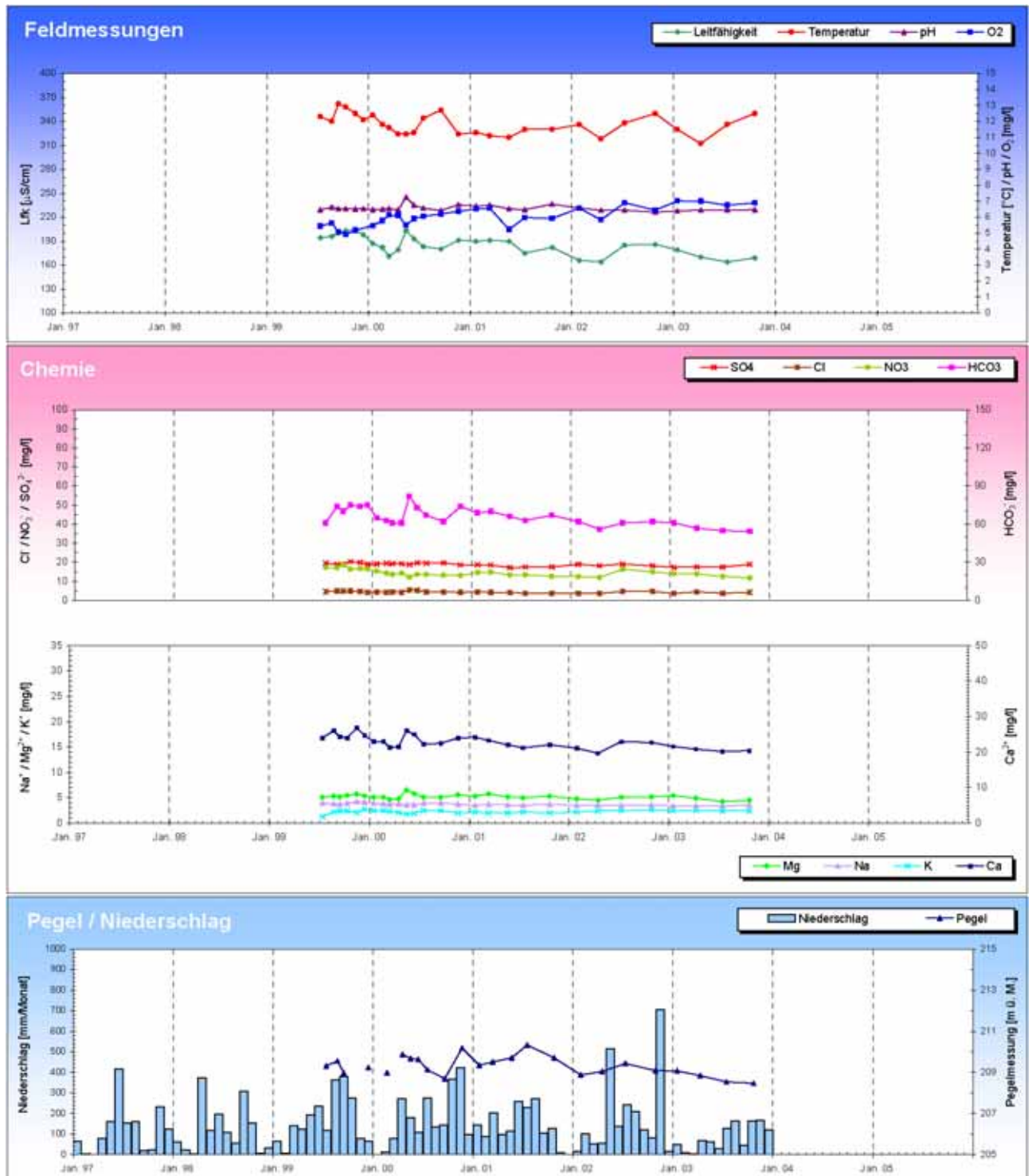
NTG 13

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
Ackerbau (AB)
Alpen

Höhenlage 211.20 m ü. M.
Nutzung genutzt



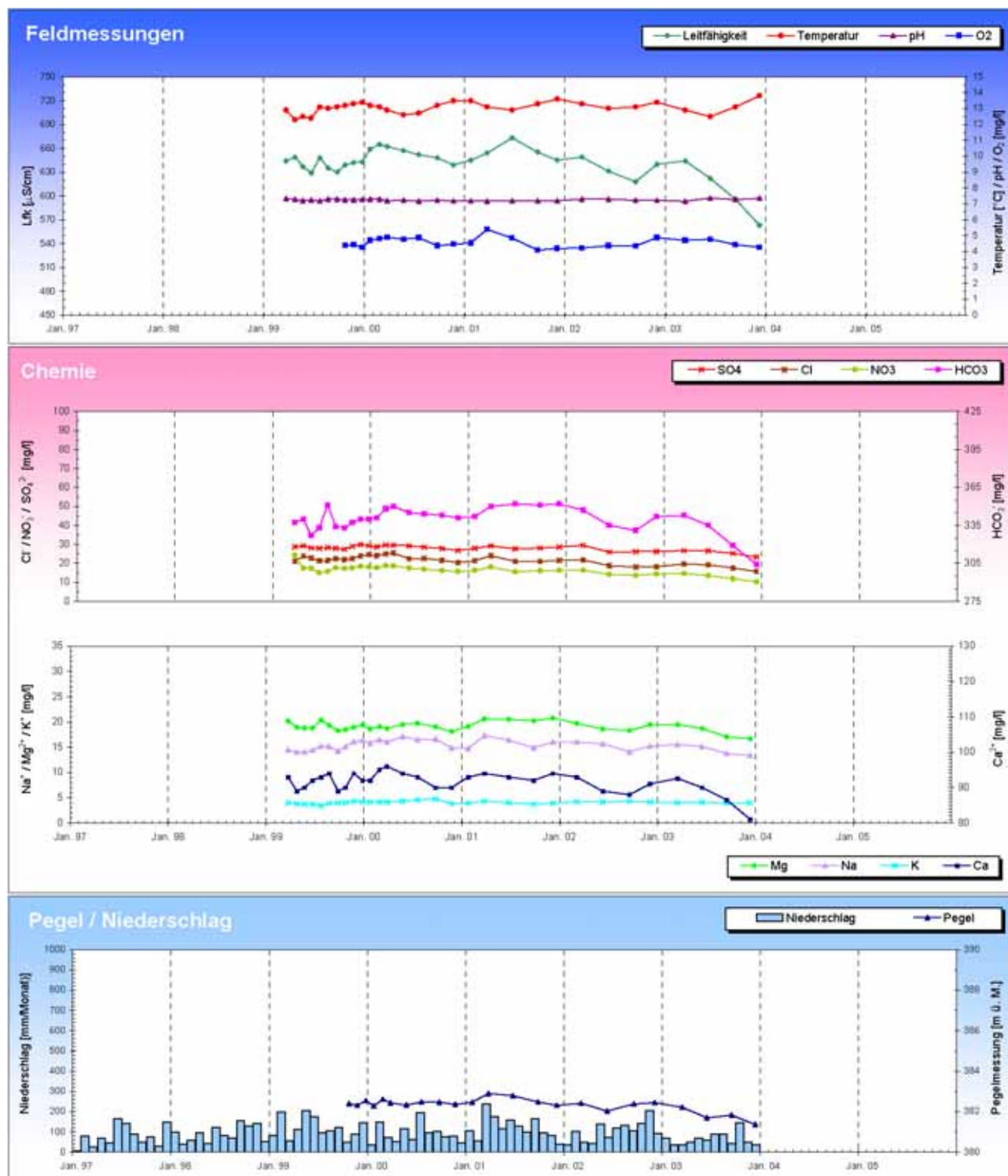
	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	203	13.1	7.3	66.5	7.0	26.8	6.5	4.2	2.7	20.4	18.8	5.4	82.0	210.3	703.0
Mittelwert	185	11.8	6.6	60.2	6.0	22.9	5.2	3.7	2.3	18.8	14.4	4.4	65.7	209.3	141.3
Minimum	164	10.6	6.3	51.2	4.9	19.7	4.3	3.4	1.3	17.2	11.8	3.6	54.5	208.5	0.0

NTG 14

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
Hauptbodennutzung Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)
Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 386.60 m ü. M.
Nutzung genutzt



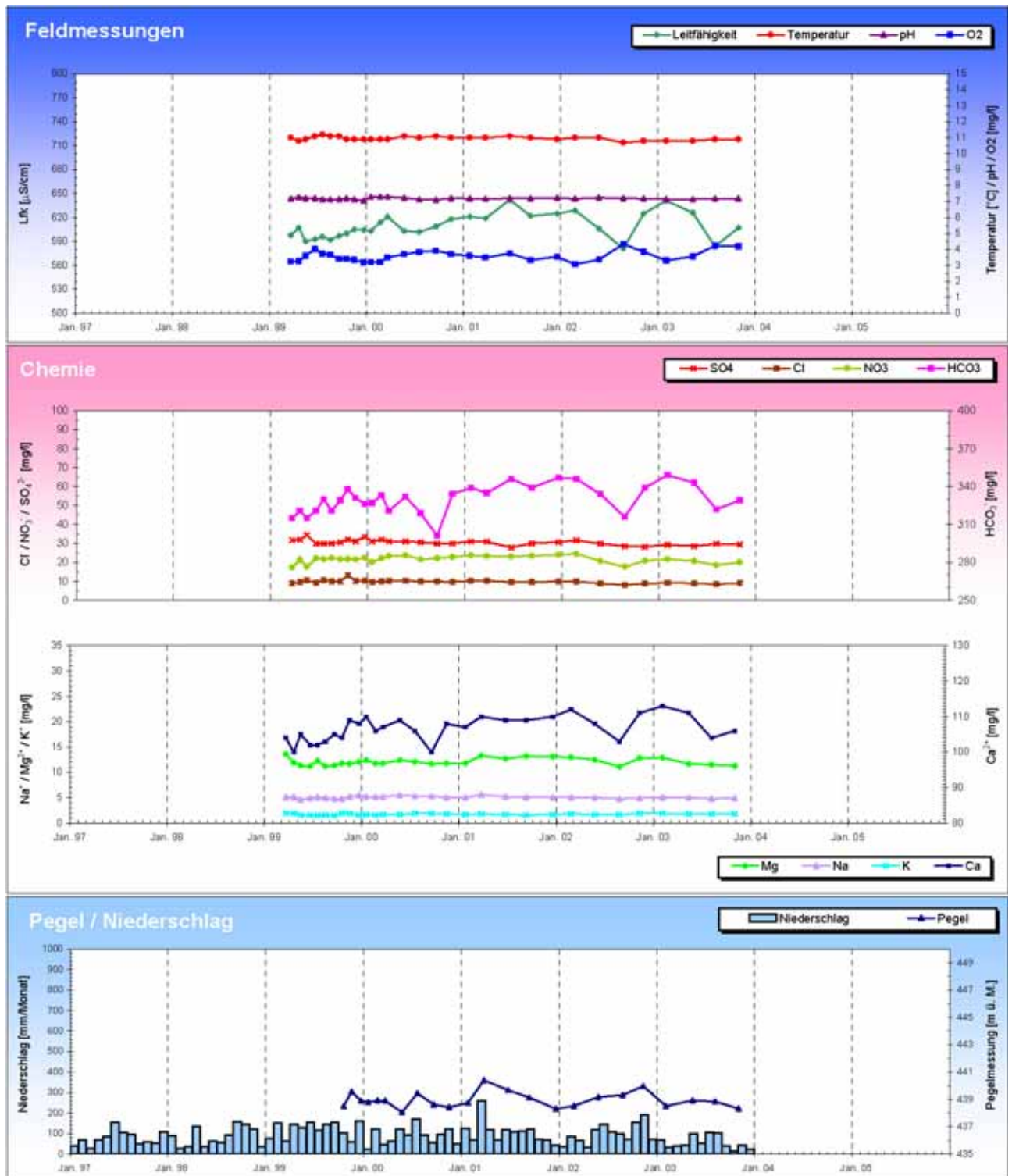
	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	673	13.8	7.4	51.5	5.4	96.0	20.8	17.3	4.8	30.0	24.3	25.5	382.9	238.0
Mittelwert	640	13.1	7.2	46.6	4.6	91.4	19.1	15.3	4.0	27.9	16.4	21.5	382.3	94.6
Minimum	563	12.3	7.2	41.9	4.1	81.0	16.7	13.4	3.4	23.4	10.3	15.7	381.4	7.0

NTG 15

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
 Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
 Hauptbodennutzung Ackerbau (AB)
 Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 441.90 m ü. M.
 Nutzung genutzt



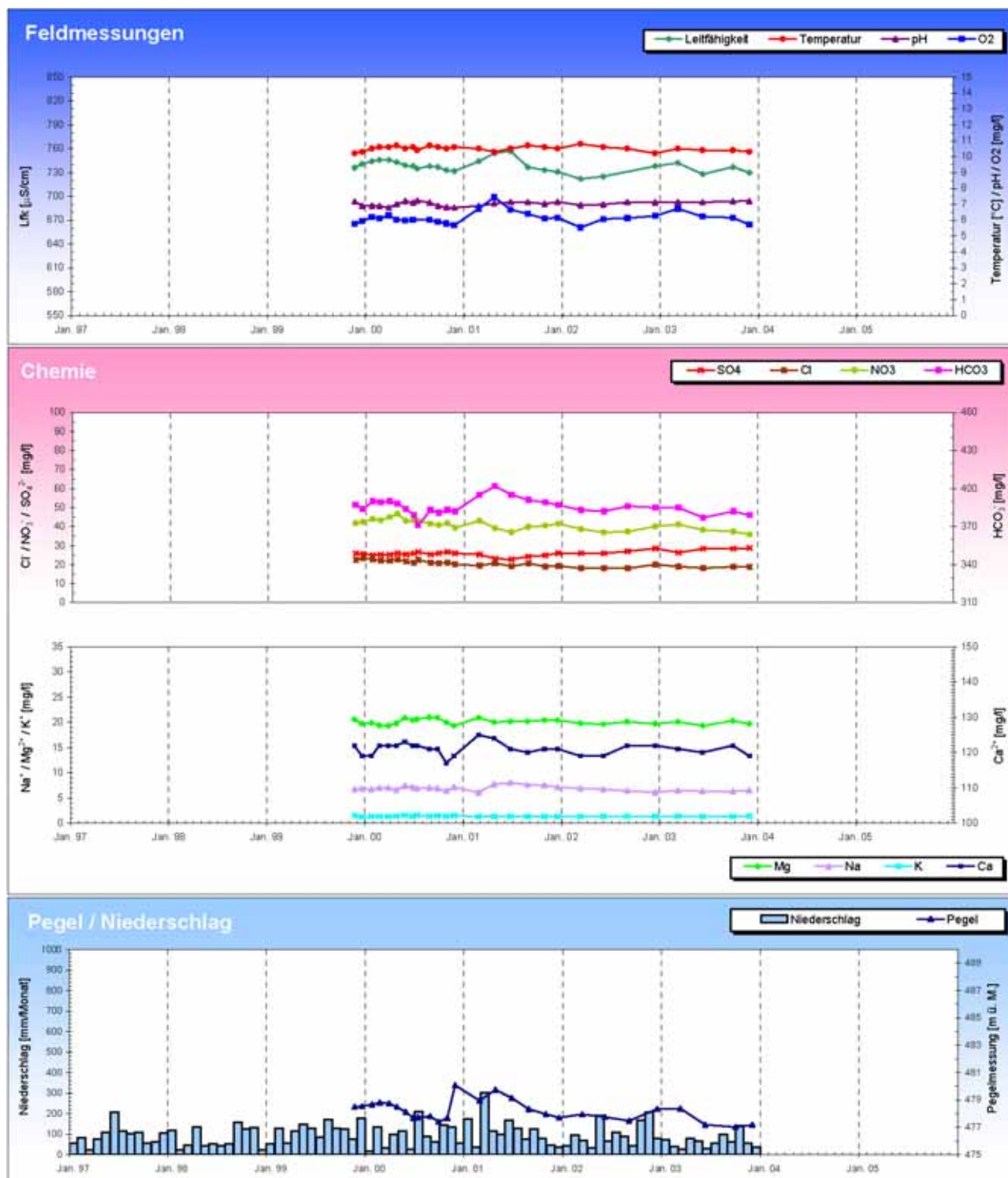
	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	642	11.2	7.3	41.4	4.3	113.0	13.6	5.6	1.9	34.4	24.5	13.2	349.0	440.4	261.0
Mittelwert	609	11.0	7.2	35.0	3.6	106.7	12.1	5.1	1.7	30.5	21.6	9.8	329.9	439.0	89.9
Minimum	581	10.7	7.1	30.7	3.1	100.0	11.1	4.6	1.5	27.9	17.3	8.0	301.0	438.1	13.0

NTG 16

NAQUA^{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
 Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
 Hauptbodennutzung Ackerbau (AB)
 Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 483.80 m ü. M.
 Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	757	10.8	7.2	64.1	6.7	125.0	21.0	8.0	1.6	28.6	46.7	23.4	480.1	302.0
Mittelwert	738	10.5	7.0	60.2	6.2	121.0	20.1	6.9	1.4	25.9	40.8	20.4	478.2	93.8
Minimum	722	10.2	6.8	52.1	5.5	117.0	19.3	6.1	1.2	22.8	35.8	18.0	477.0	15.0

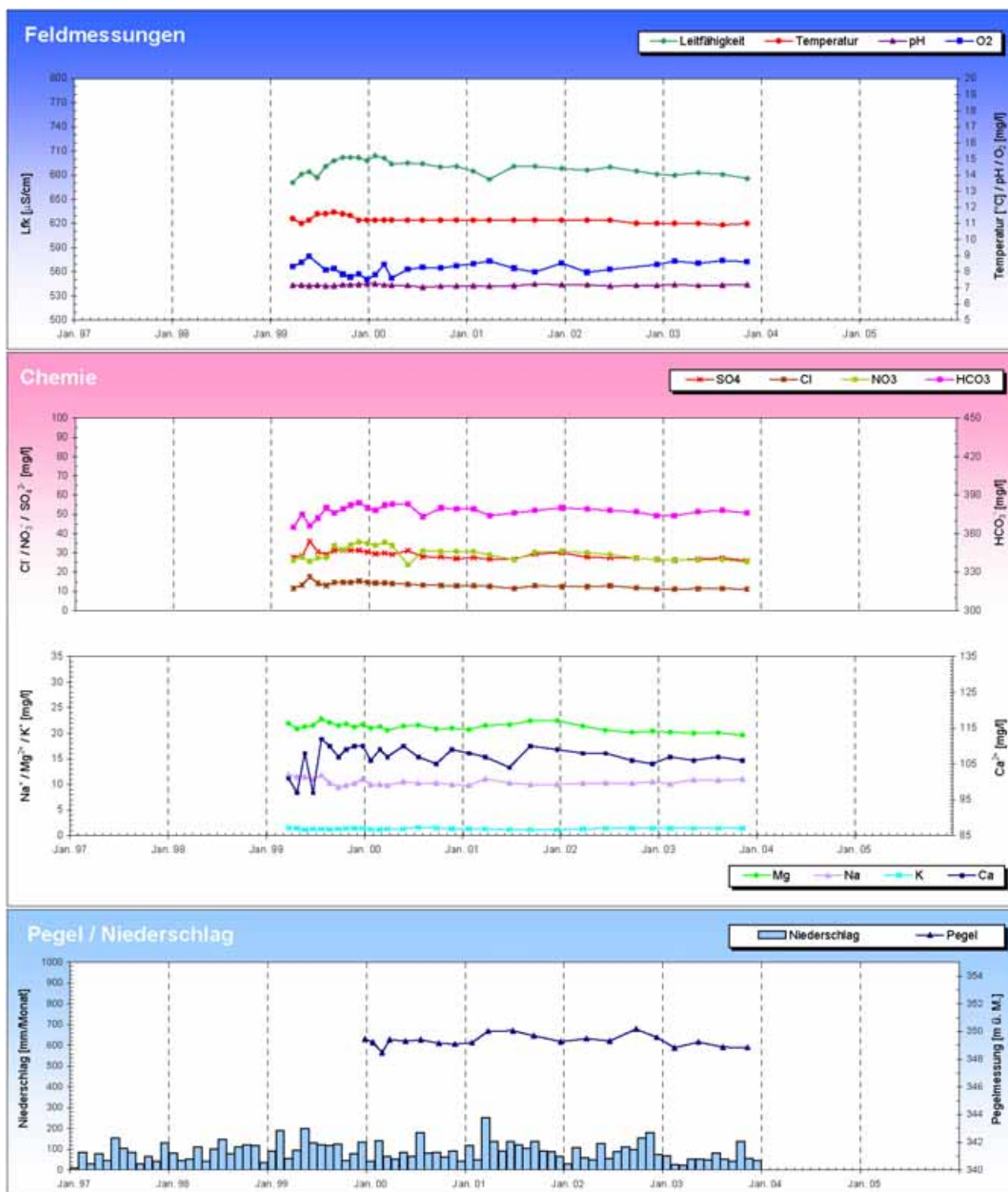
NTG 17

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
unproduktive Gebiete (UG)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 373.13 m ü. M.
Nutzung genutzt



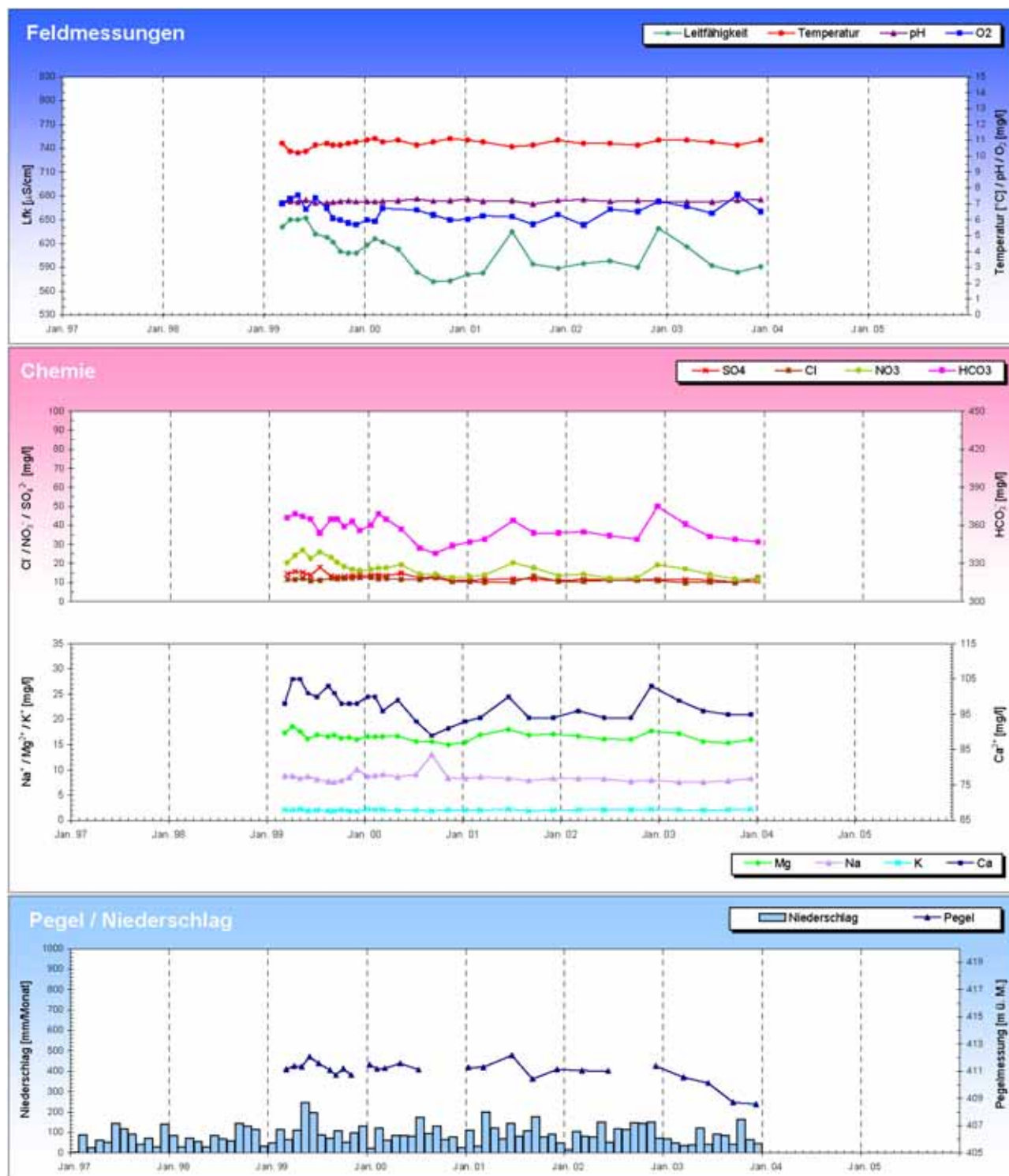
	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	704	11.7	7.3	99.3	10.3	112.0	22.8	11.9	1.6	36.0	35.6	17.6	350.2	250.0
Mittelwert	689	11.2	7.2	80.8	8.2	106.8	21.2	10.5	1.3	28.8	29.6	13.2	349.3	88.4
Minimum	671	10.9	7.1	75.5	7.5	97.0	19.6	9.5	1.1	25.9	23.7	11.1	348.5	10.0

NTG 18

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
Hauptbodennutzung Ackerbau (AB)
Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 417 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	652	11.1	7.3	74.2	7.6	105.0	18.6	13.0	2.2	17.9	27.0	13.3	375.0	412.2	246.0
Mittelwert	610	10.8	7.2	63.6	6.5	97.4	16.5	8.5	2.0	12.8	17.3	11.4	357.0	411.0	88.5
Minimum	572	10.2	7.0	54.8	5.7	89.0	15.0	7.6	1.8	10.3	11.7	9.9	338.0	408.6	3.0

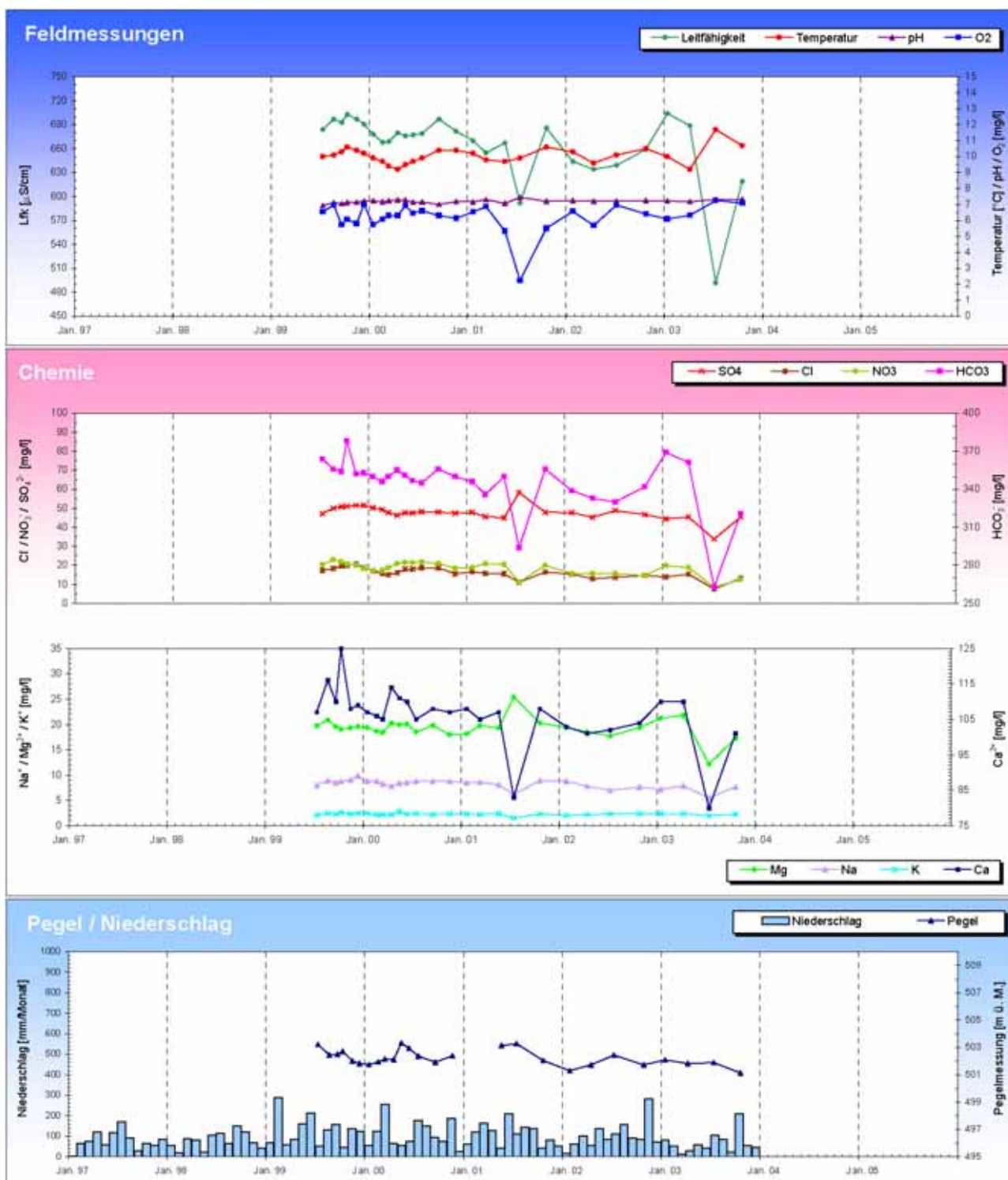
NTG 19

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Piezometer
Schotter in Talsohlen (ST)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Alpen

Höhenlage 506 m ü. M.
Nutzung ungenutzt



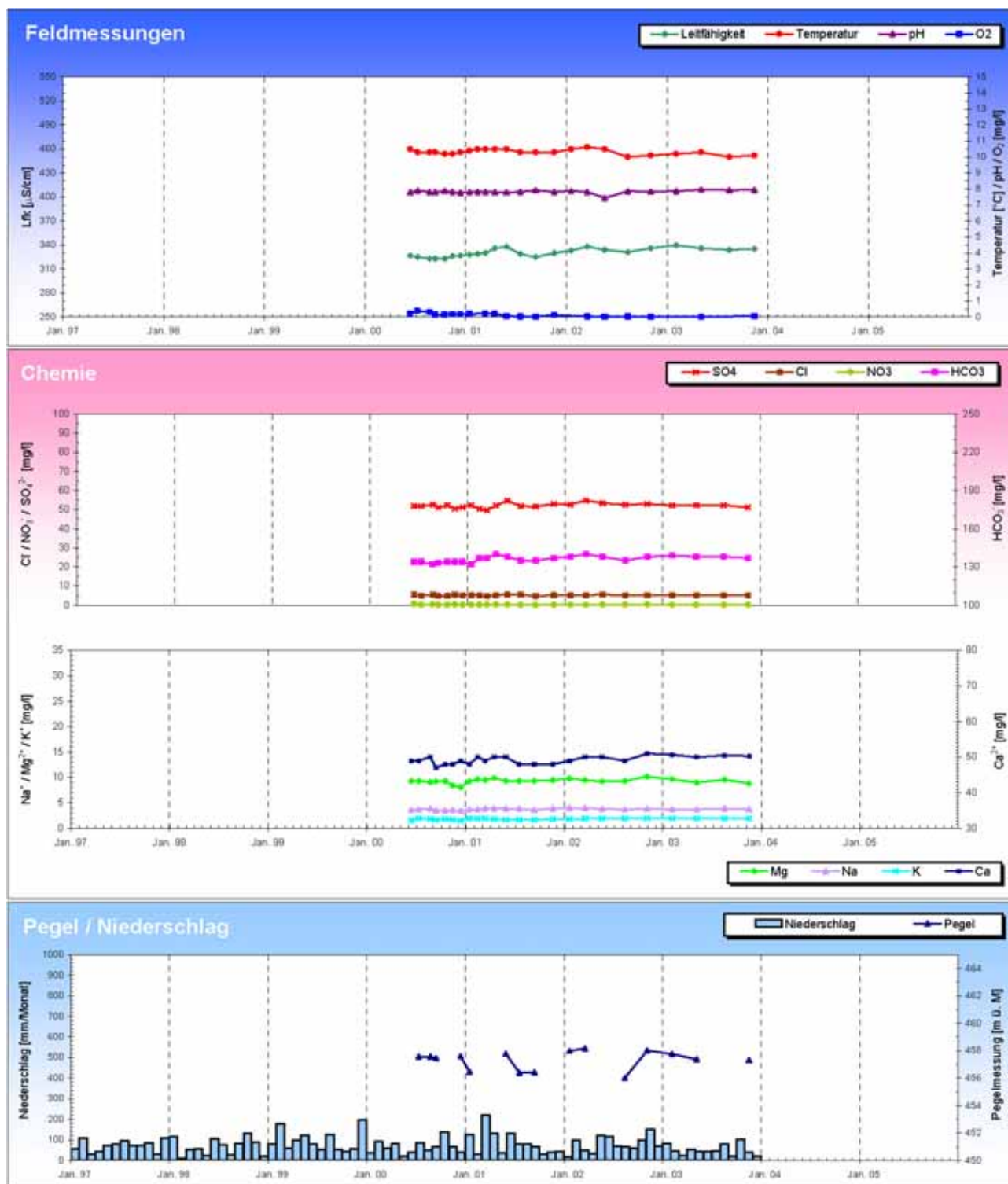
	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	704	11.7	7.5	73.6	7.2	125.0	25.4	9.9	2.8	58.3	23.0	20.6	378.0	503.3	287.0
Mittelwert	665	10.1	7.2	60.1	6.2	106.1	19.4	8.2	2.3	47.7	18.4	16.1	344.5	502.2	95.6
Minimum	492	9.2	6.9	21.3	2.2	80.0	12.2	5.5	1.5	33.8	8.6	7.7	263.0	501.1	3.0

NTG 20

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
 Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
 Hauptbodennutzung übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
 Naturräumliche Gliederung Alpen

Höhenlage 495.5 m ü. M.
 Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag	
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]	
Maximum	340	10.6	8.0	4.0	0.4	51.0	10.2	4.0	2.0	54.8	0.7	5.7	140.0	458.2	221.0
Mittelwert	331	10.3	7.8	1.2	0.1	49.2	9.3	3.7	1.8	52.2	0.3	5.2	136.1	457.3	72.6
Minimum	323	10.0	7.4	0.0	0.0	47.0	8.1	3.4	1.5	49.7	0.1	4.7	132.0	456.0	10.0

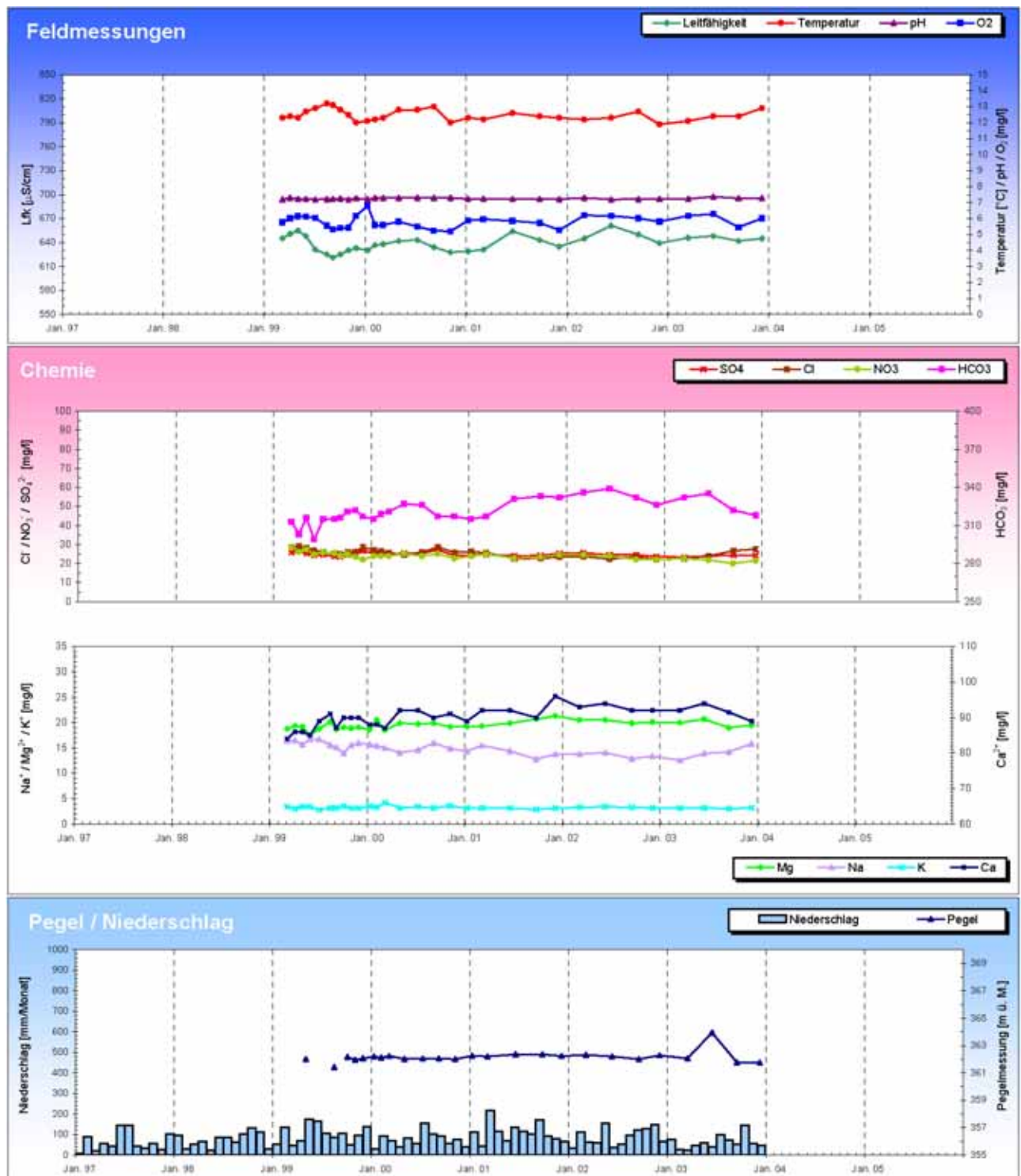
NTG 21

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
unproduktive Gebiete (UG)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 370.60 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	661	13.2	7.4	70.2	6.8	96.0	21.3	16.7	4.2	27.3	28.3	29.1	363.9	215.0
Mittelwert	639	12.5	7.2	57.9	5.8	90.1	19.6	14.9	3.3	24.9	24.0	25.6	362.2	81.8
Minimum	621	11.9	7.2	50.1	5.2	84.0	17.5	12.6	2.8	23.4	20.0	22.0	361.4	7.0

NTG 22

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp

Untergrund

Hauptbodennutzung

Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk

Schotter in Talsohlen (ST)

übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)

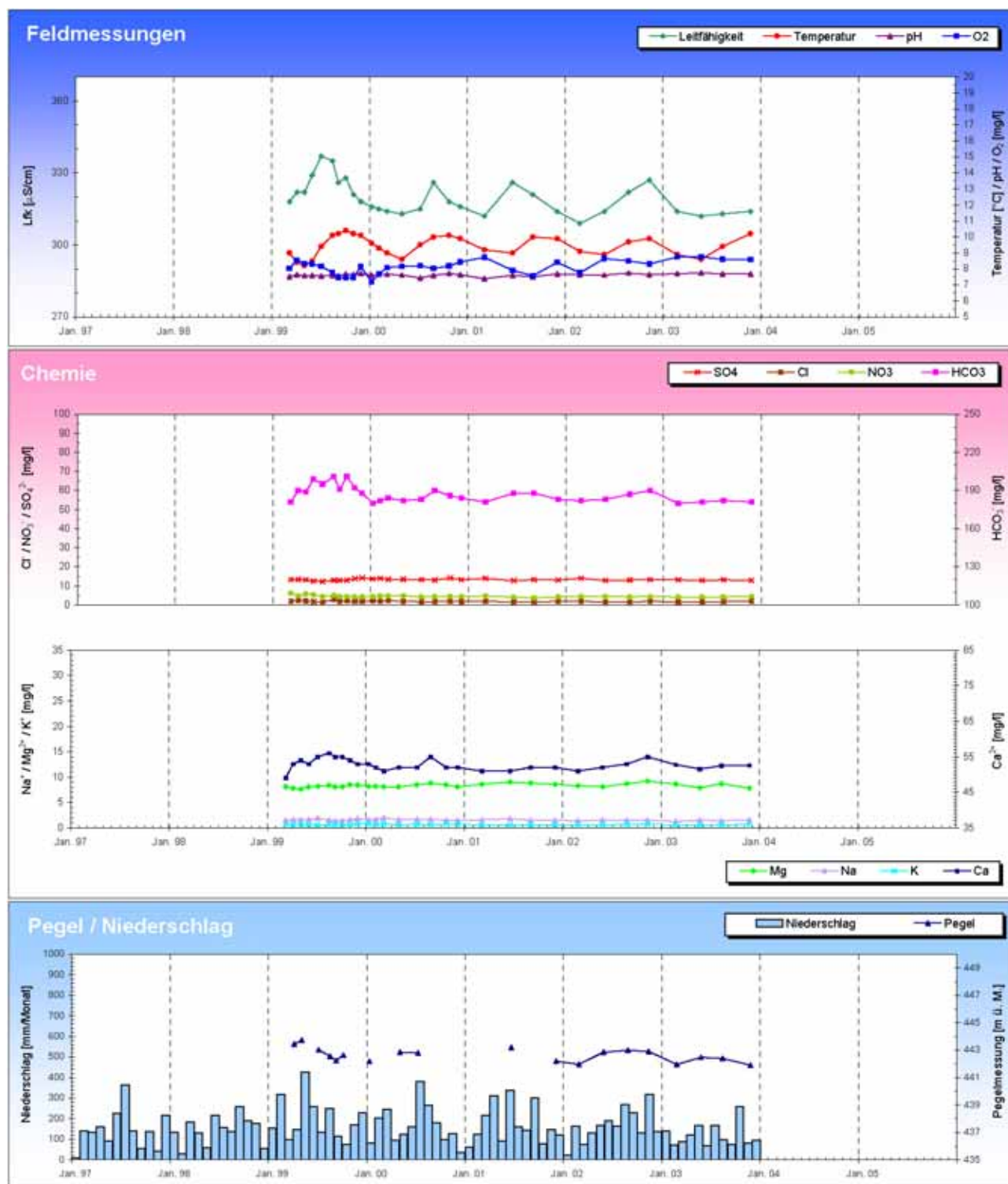
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage

445 m ü. M.

Nutzung

genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[‰]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	337	10.4	7.8	81.4	8.8	56.0	9.2	2.0	0.9	14.2	6.2	2.9	201.0	443.7
Mittelwert	320	9.4	7.6	76.4	8.1	52.8	8.3	1.6	0.7	13.3	4.6	1.9	186.8	158.3
Minimum	309	8.2	7.4	70.3	7.2	49.1	7.6	1.3	0.5	12.4	3.8	1.4	180.0	8.0

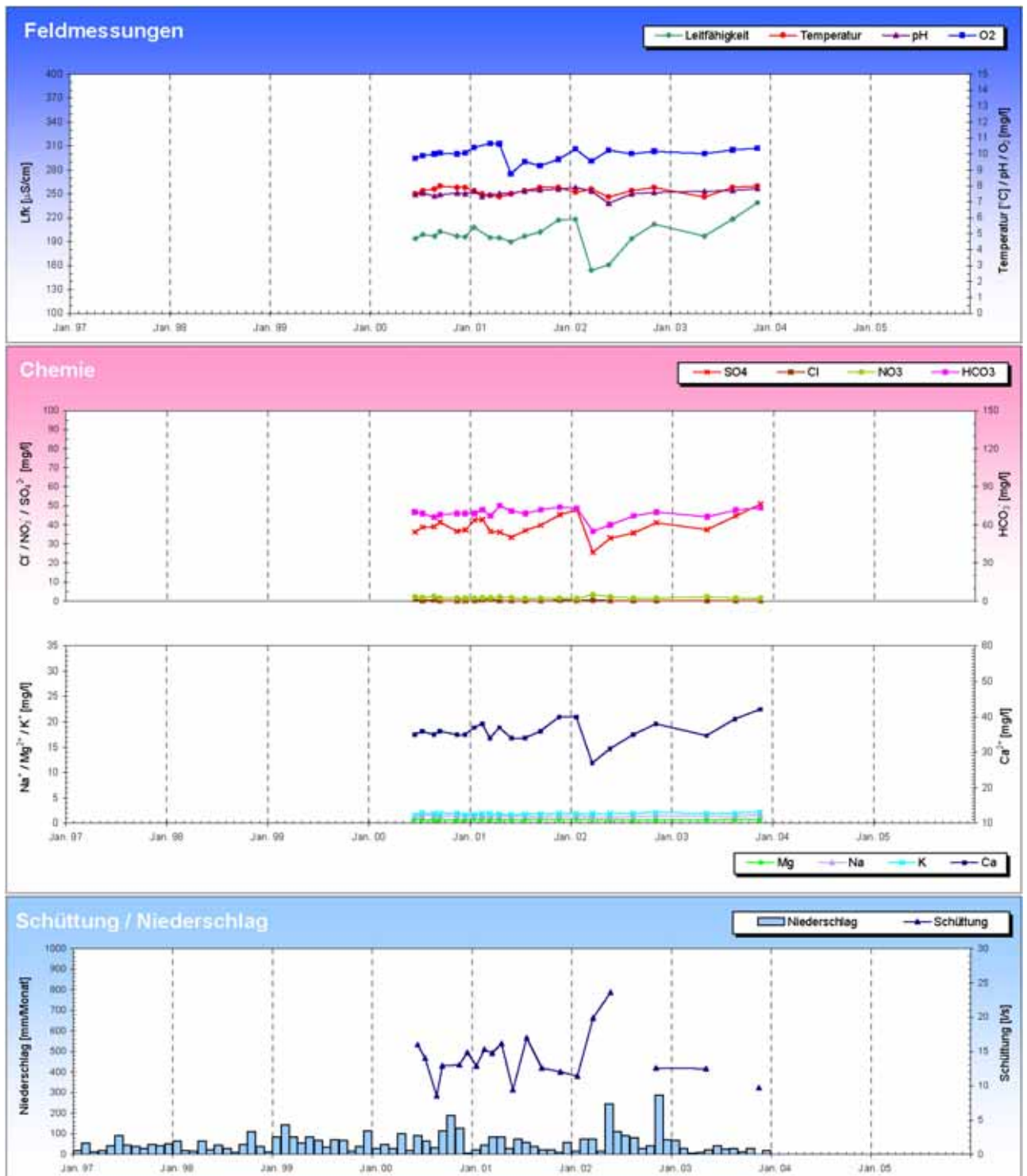
NTQ 23

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
 kristalline Gesteine (KR)
 unproduktive Gebiete (UG)
 Alpen

Höhenlage 1230 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	239	8.0	7.9	100.7	42.1	0.8	1.6	2.2	50.9	3.4	1.0	75.0	23.6	286.0
Mittelwert	199	7.7	7.6	95.5	35.9	0.7	1.4	1.9	39.1	1.9	0.4	68.9	14.0	55.9
Minimum	154	7.3	6.9	91.2	27.0	0.6	1.2	1.6	25.6	1.4	0.2	55.0	8.5	5.0

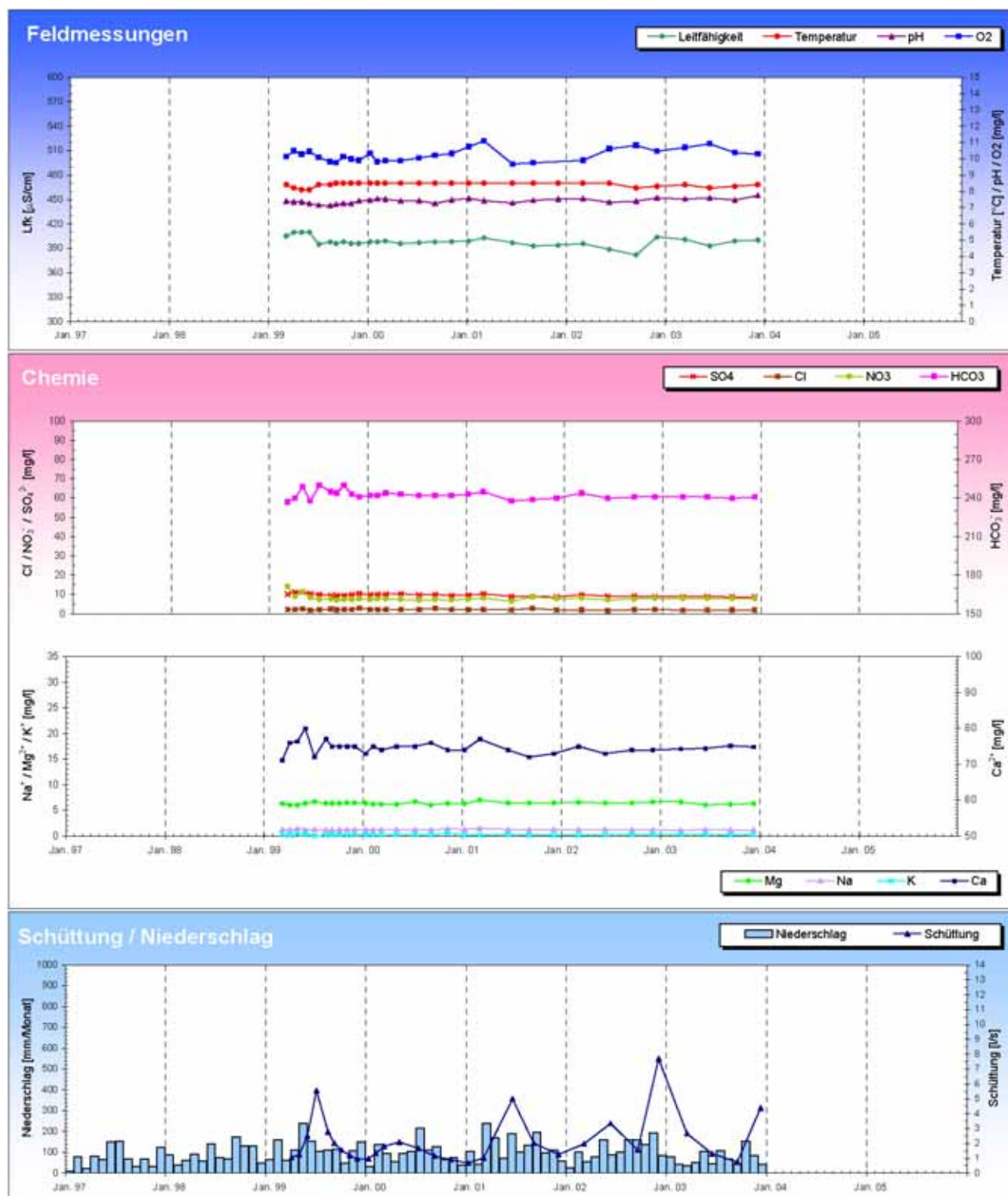
NTQ 24

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
Schotter ausserhalb von Talsohlen (SA)
unproduktive Gebiete (UG)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage
Nutzung
620 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[‰]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	410	8.5	7.8	105.0	11.1	80.0	7.0	1.5	0.6	11.3	14.2	3.0	250.0	7.7	238.0
Mittelwert	398	8.4	7.4	96.0	10.2	74.6	6.4	1.3	0.3	9.7	8.1	2.2	242.3	2.1	98.1
Minimum	382	8.1	7.1	89.2	9.7	71.2	6.1	1.1	0.2	8.7	6.5	1.7	237.0	0.7	8.0

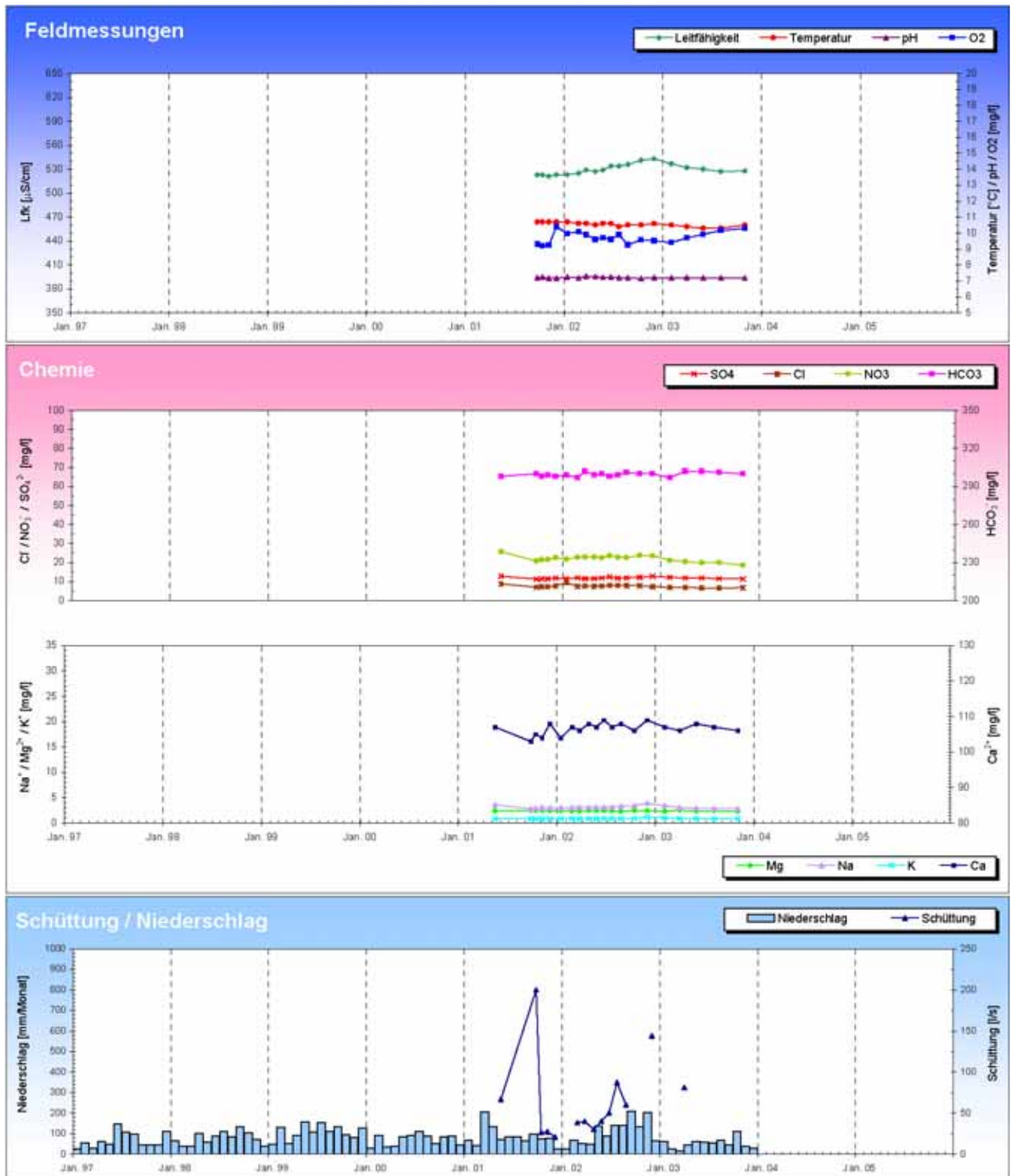
NTQ 25

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
Karst (KE)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Jura

Höhenlage
Nutzung
443 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	543	10.7	7.3	99.7	10.4	109.0	2.6	3.9	12.8	25.7	9.3	302.0	200.0	210.0
Mittelwert	530	10.5	7.2	92.1	9.7	106.6	2.4	3.1	11.8	22.1	7.5	299.5	65.1	80.9
Minimum	521	10.3	7.2	87.9	9.2	103.0	2.3	2.8	11.2	18.6	6.6	297.0	20.7	15.9

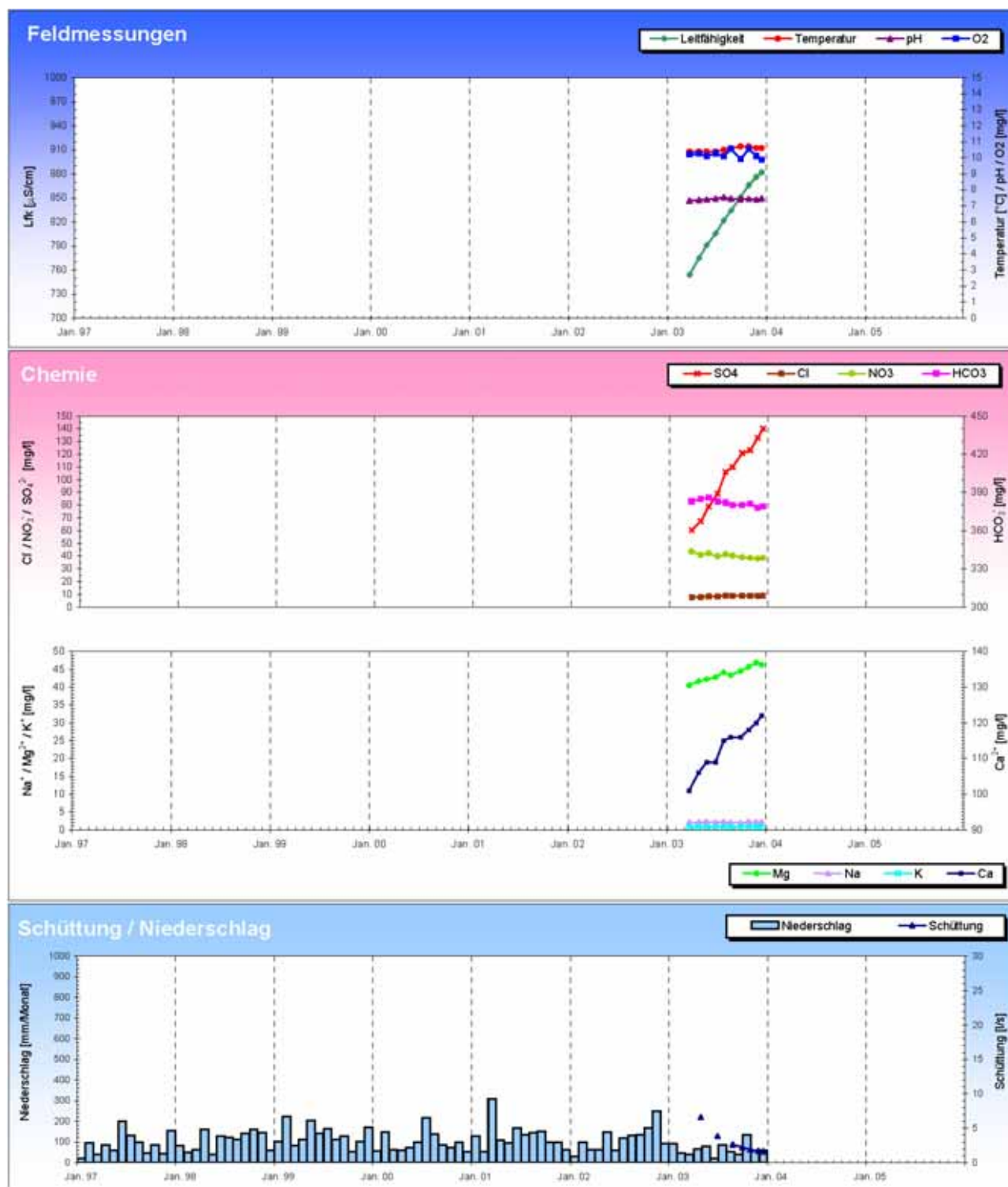
NTQ 26

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
Karst (KE)
Ackerbau (AB)
Jura

Höhenlage
Nutzung
441 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	882	10.7	7.5	100.4	10.6	122.0	46.9	2.3	0.9	140.0	43.7	9.1	386.0	6.6	307.0
Mittelwert	826	10.5	7.4	96.8	10.2	113.2	43.8	2.2	0.8	102.9	40.3	8.6	381.7	2.9	104.0
Minimum	754	10.4	7.3	94.0	9.9	101.0	40.5	1.9	0.8	60.4	38.0	7.7	378.0	1.7	19.0

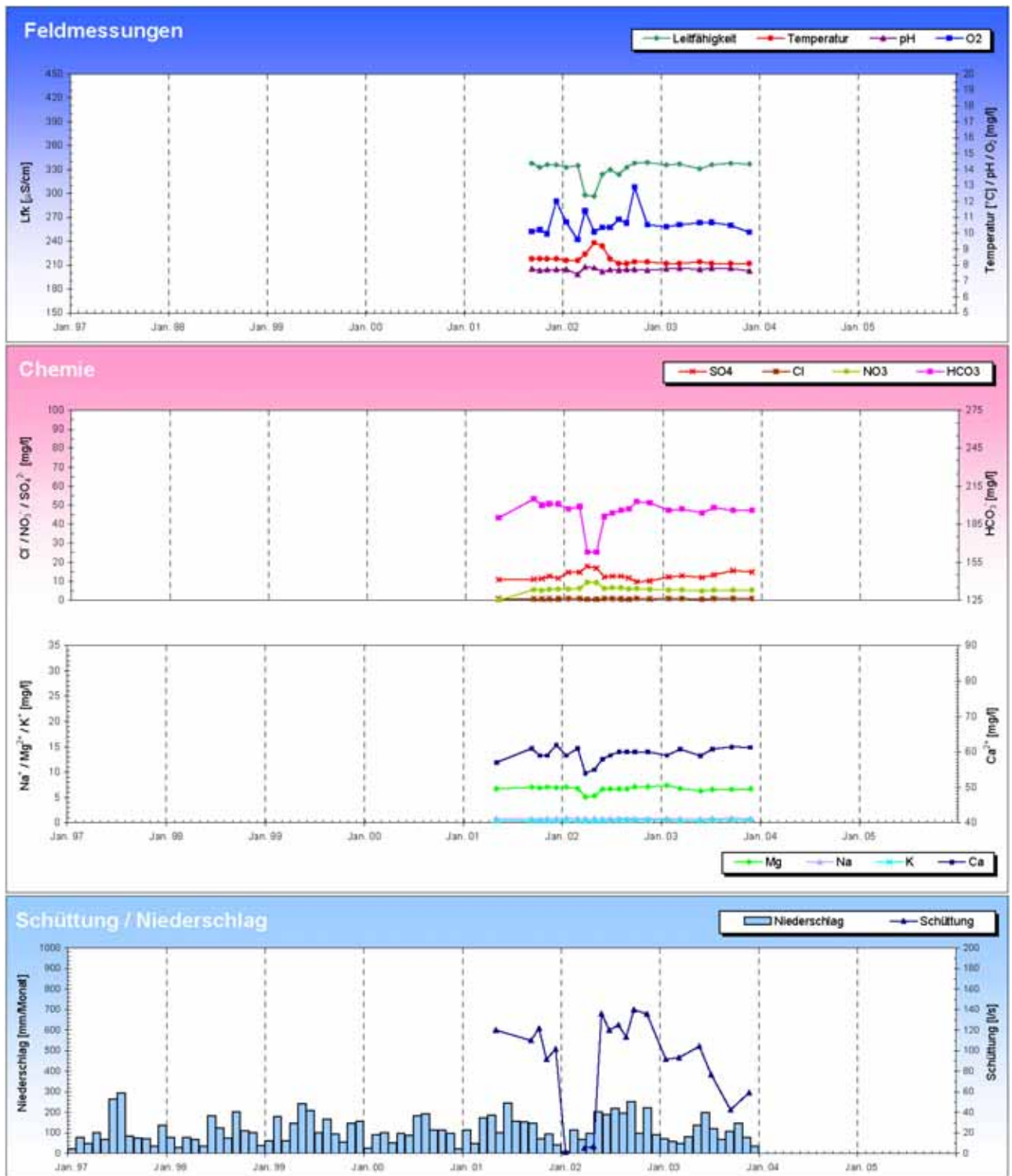
NTQ 28

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
Karst (KE)
unproduktive Gebiete (UG)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage
Nutzung
630 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	339	9.4	7.9	118.4	12.9	62.0	7.4	0.9	0.5	17.9	9.4	0.9	205.0	294.0
Mittelwert	330	8.4	7.7	98.8	10.6	59.3	6.7	0.8	0.4	12.9	6.1	0.7	89.8	114.3
Minimum	297	8.1	7.4	92.2	9.6	54.0	5.1	0.6	0.3	9.7	4.9	0.6	1.2	10.0

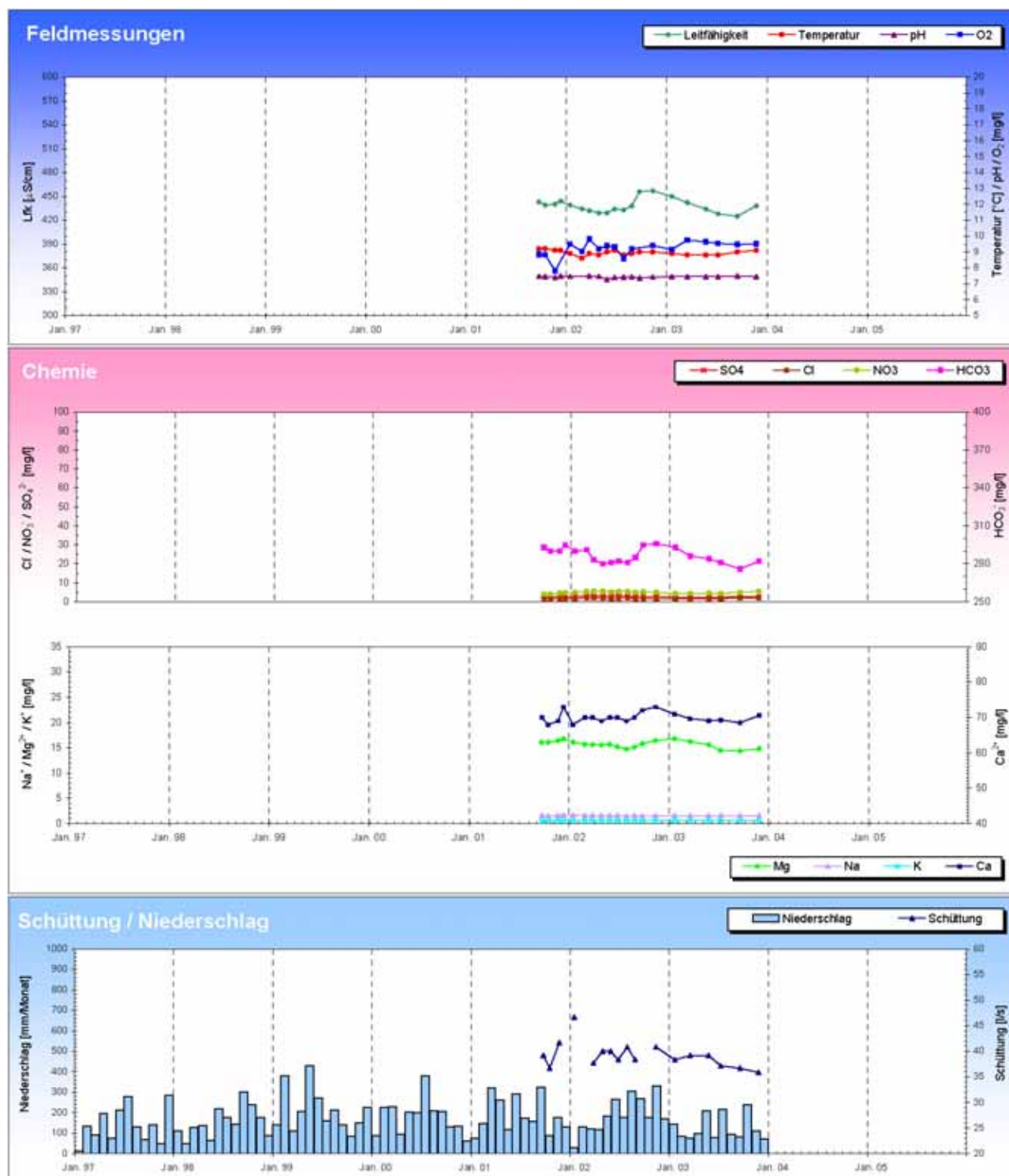
NTQ 30

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
klastische Gesteine (KG)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 620 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	457	9.2	7.5	90.6	9.8	73.0	16.8	1.7	0.6	3.0	5.7	2.1	296.0	46.7	429.0
Mittelwert	438	9.0	7.4	86.0	9.2	70.0	15.7	1.6	0.6	2.7	4.9	1.7	286.7	39.2	168.8
Minimum	425	8.6	7.3	73.3	7.8	68.0	14.4	1.5	0.5	2.4	4.0	1.4	276.0	35.8	13.0

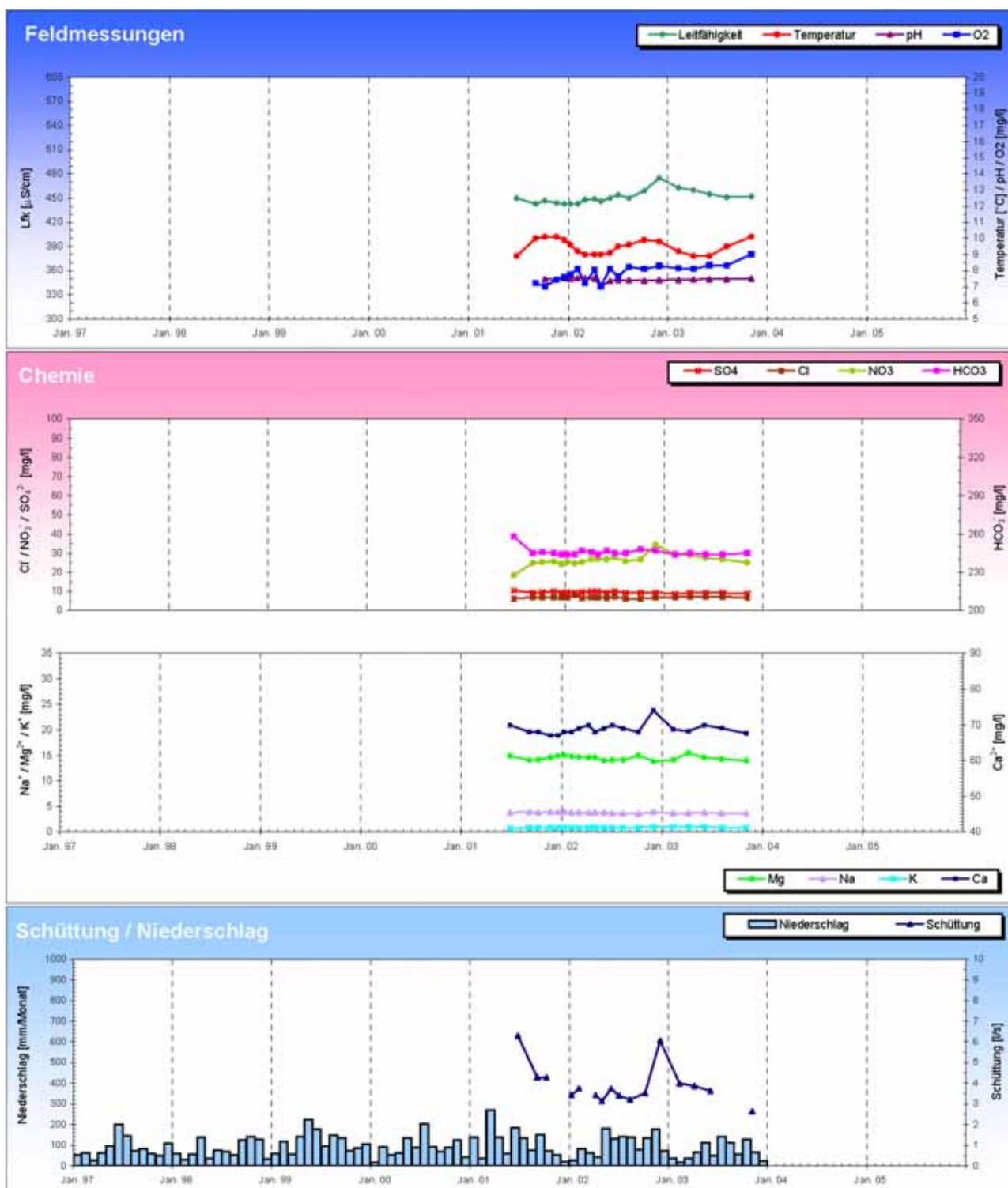
NTQ 31

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Quelle
klastische Gesteine (KG)
Ackerbau (AB)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage
Nutzung
750 m ü. M.
genutzt



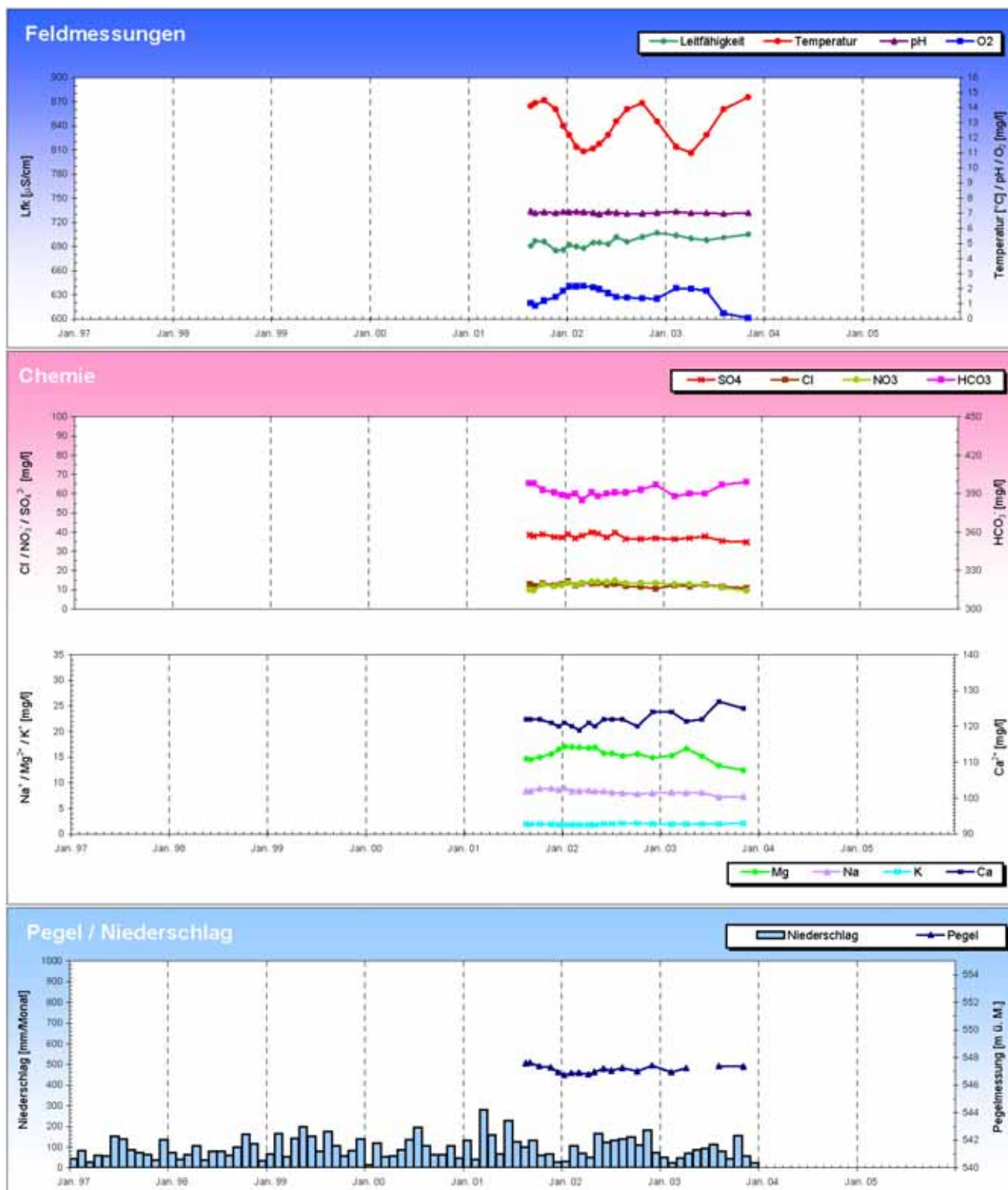
	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Schüttung	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[l/s]	[mm/Monat]
Maximum	475	10.1	7.5	88.0	9.0	74.0	15.5	4.0	1.0	10.5	34.4	8.2	258.0	6.3	269.0
Mittelwert	451	9.5	7.4	76.7	7.9	68.8	14.5	3.8	0.9	9.5	26.3	6.9	245.9	3.9	93.8
Minimum	443	8.9	7.0	69.2	7.0	67.0	13.9	3.6	0.7	8.8	18.5	6.3	244.0	2.6	16.0

NTG 34

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
Hauptbodennutzung Ackerbau (AB)
Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 549.55 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	707	14.7	7.1	21.9	2.2	127.0	17.1	9.0	2.1	39.9	14.7	14.5	547.6	281.0
Mittelwert	696	12.9	7.0	14.8	1.5	121.9	15.6	8.2	1.9	37.6	12.7	12.5	547.2	95.1
Minimum	685	11.0	7.0	0.8	0.1	119.0	12.5	7.2	1.8	34.8	9.6	10.6	546.8	15.0

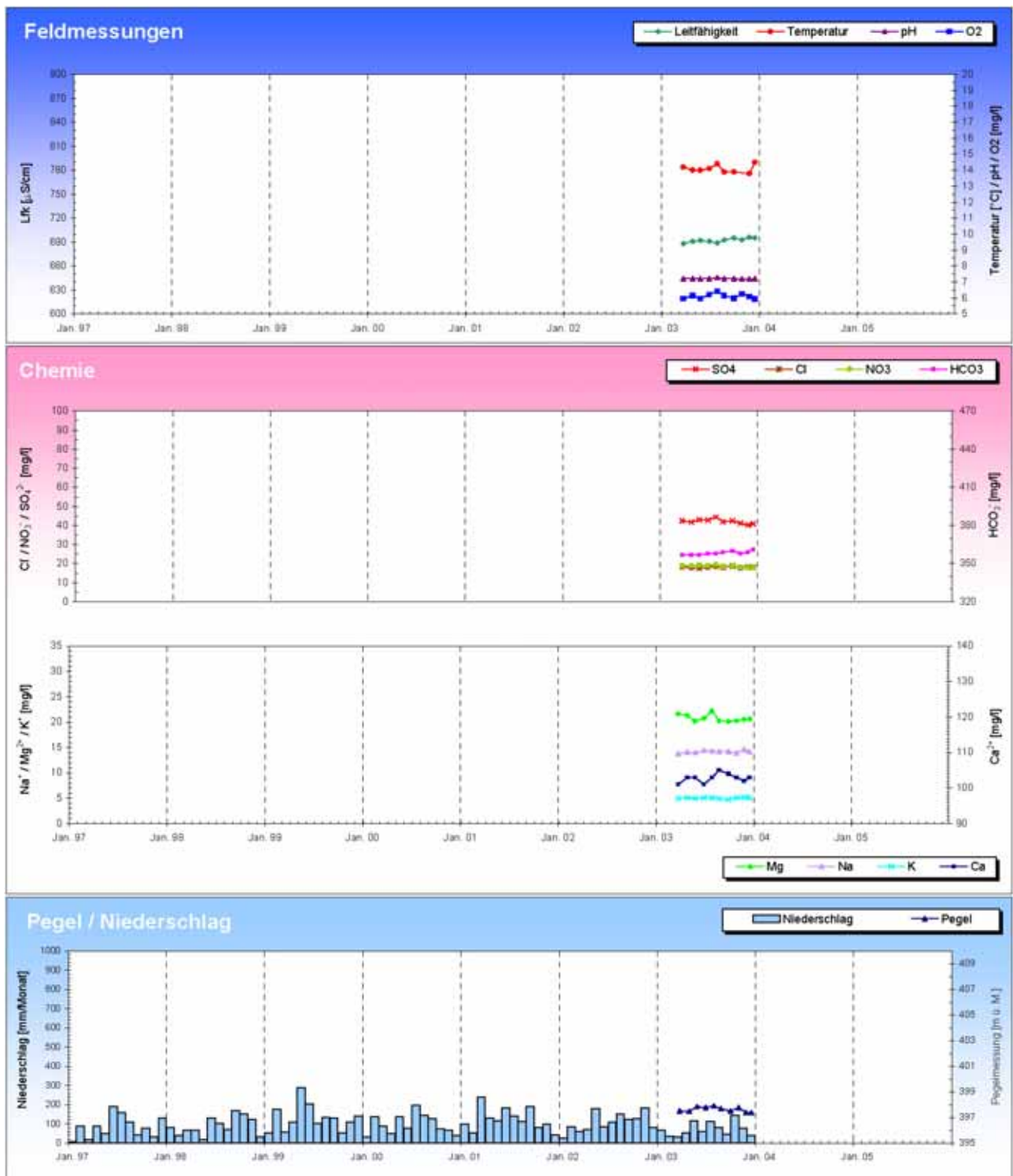
NTG 35

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
 Schotter in Talsohlen (ST)
 Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)
 Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 405.50 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	696	14.5	7.3	66.4	6.4	105.0	22.2	14.6	5.2	44.4	19.4	18.8	397.9	287.0
Mittelwert	692	14.1	7.2	62.8	6.1	102.8	20.8	14.2	5.0	42.1	18.7	18.2	397.6	99.5
Minimum	688	13.8	7.2	60.8	5.9	101.0	20.1	13.8	4.8	40.2	17.9	17.7	397.4	6.0

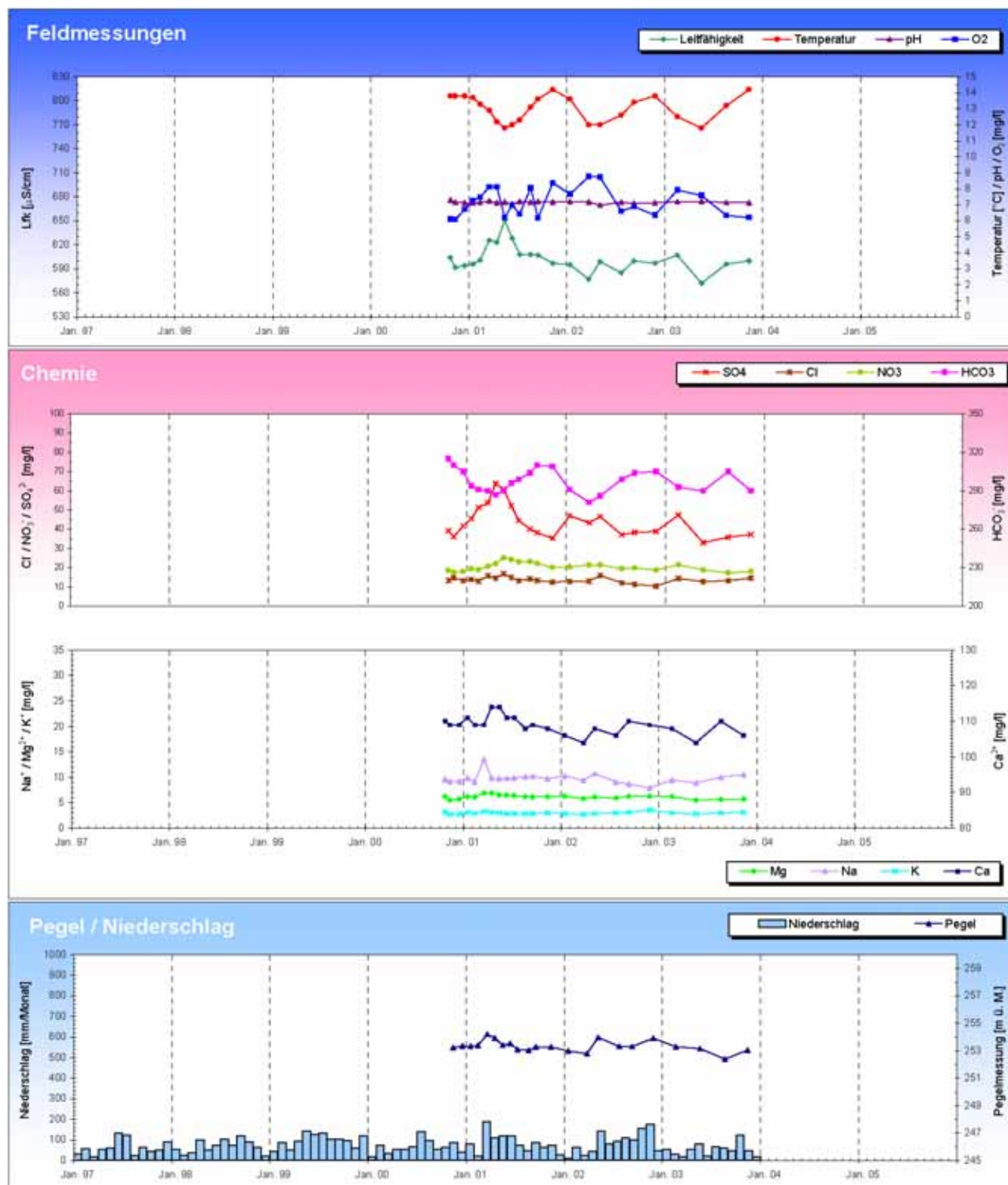
NTG 36

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)
Jura

Höhenlage
Nutzung
261.80 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[‰]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	651	14.2	7.3	85.3	8.8	114.0	6.9	13.5	63.8	25.3	17.0	315.0	254.2	189.0
Mittelwert	603	13.0	7.2	69.8	7.2	108.8	6.1	9.8	43.9	20.6	13.8	297.6	253.3	73.5
Minimum	572	11.8	7.0	59.6	6.1	104.0	5.5	7.9	33.1	17.4	10.5	281.0	252.4	10.0

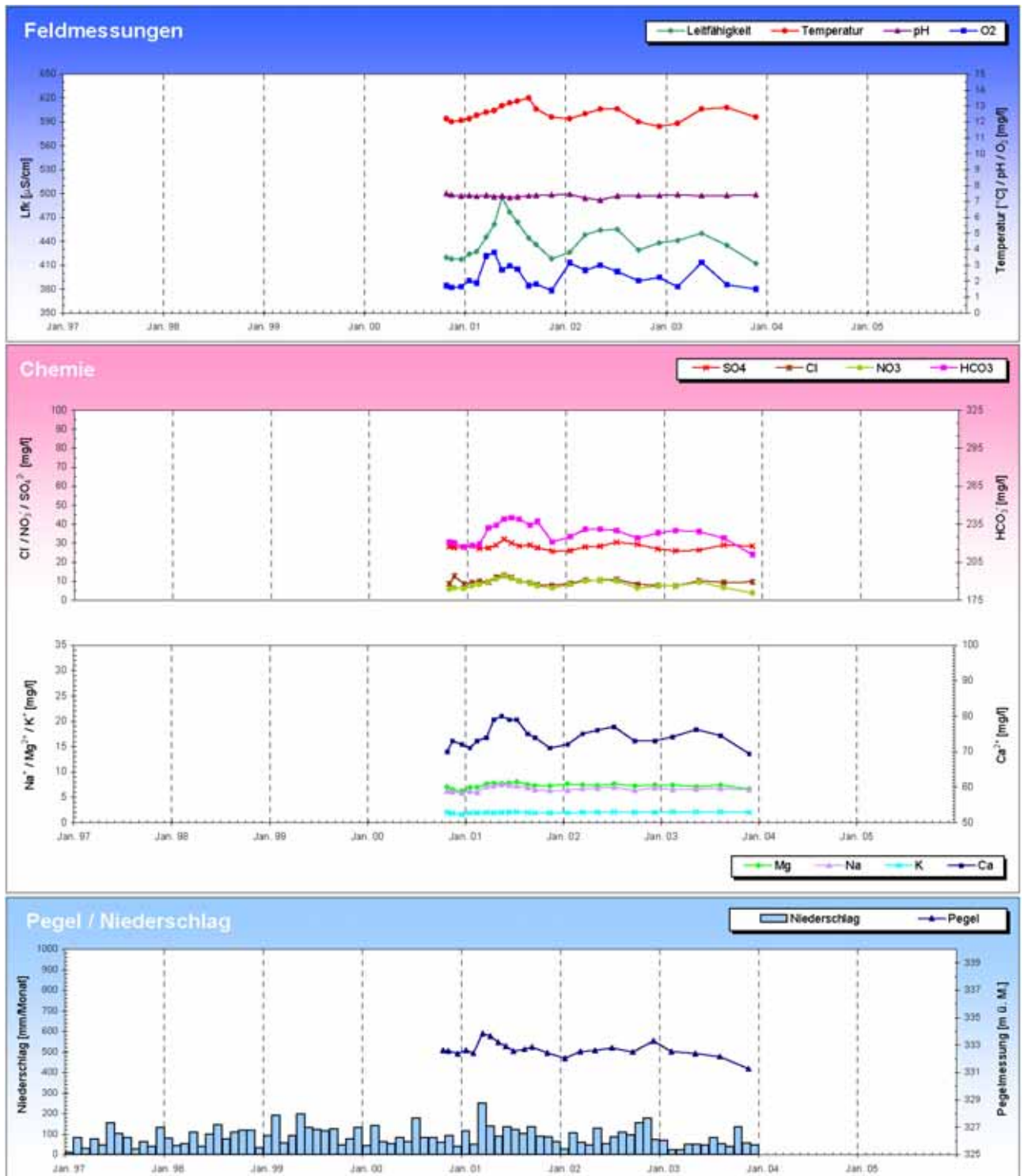
NTG 37

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 347 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	495	13.5	7.5	34.9	3.8	80.0	8.0	7.5	2.1	32.0	12.6	13.1	240.0	333.8	250.0
Mittelwert	441	12.5	7.3	22.7	2.3	74.4	7.3	6.6	2.0	28.2	8.3	9.7	227.6	332.6	88.4
Minimum	412	11.7	7.1	14.6	1.4	69.4	6.2	5.8	1.6	25.8	3.8	7.5	211.0	331.3	10.0

NTG 38

NAQUA^{TREND}

Erschliessungstyp

Untergrund

Hauptbodennutzung

Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk

Schotter ausserhalb von Talsohlen (SA)

Ackerbau (AB)

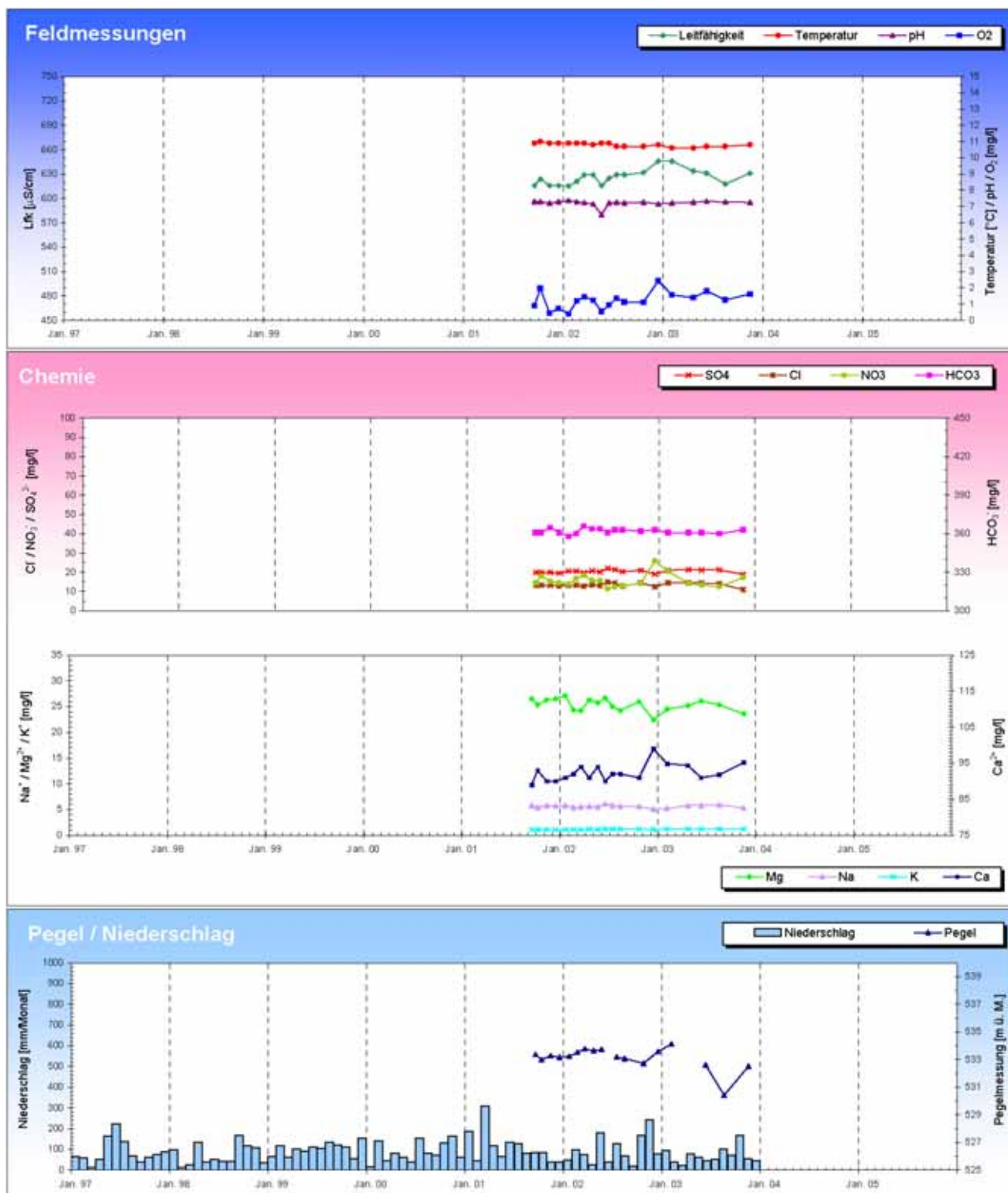
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage

539.50 m ü. M.

Nutzung

genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	646	11.0	7.4	23.6	2.4	99.0	27.2	6.1	1.2	22.0	26.0	15.0	534.1	307.0
Mittelwert	626	10.8	7.2	12.3	1.2	92.4	25.3	5.6	1.2	20.5	15.7	13.5	533.1	89.1
Minimum	615	10.6	6.5	4.2	0.4	89.0	22.4	5.1	1.1	18.9	11.5	11.0	530.4	13.0

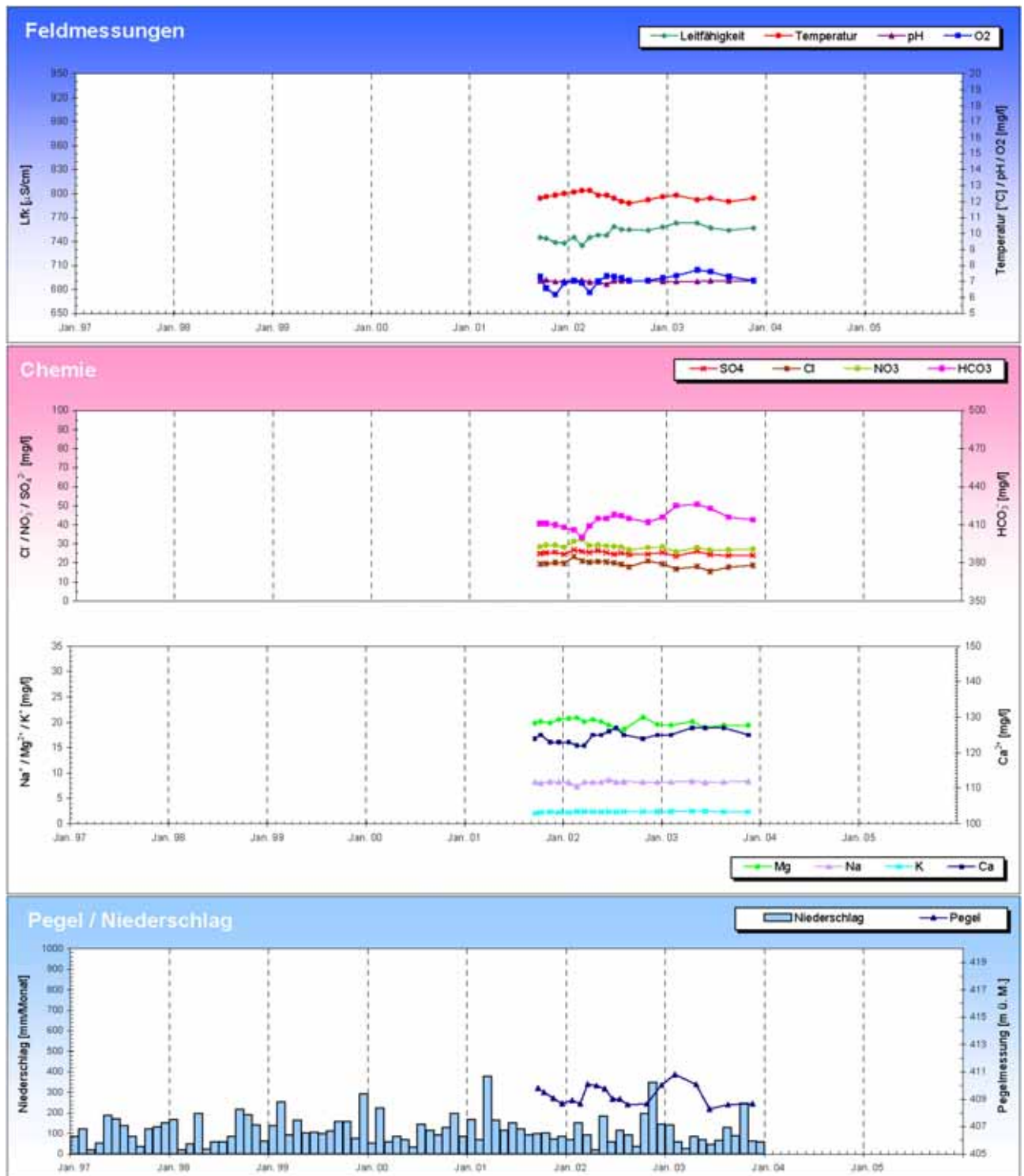
NTG 39

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter ausserhalb von Talsohlen (SA)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 420.60 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	763	12.7	7.1	75.6	7.7	127.0	21.0	8.7	2.5	26.9	32.3	23.4	410.8	377.0
Mittelwert	751	12.3	7.0	69.8	7.1	124.7	19.9	8.2	2.3	25.1	28.5	19.5	409.3	116.8
Minimum	735	11.9	6.8	61.4	6.2	122.0	18.6	7.3	2.1	23.5	25.8	15.6	408.3	19.0

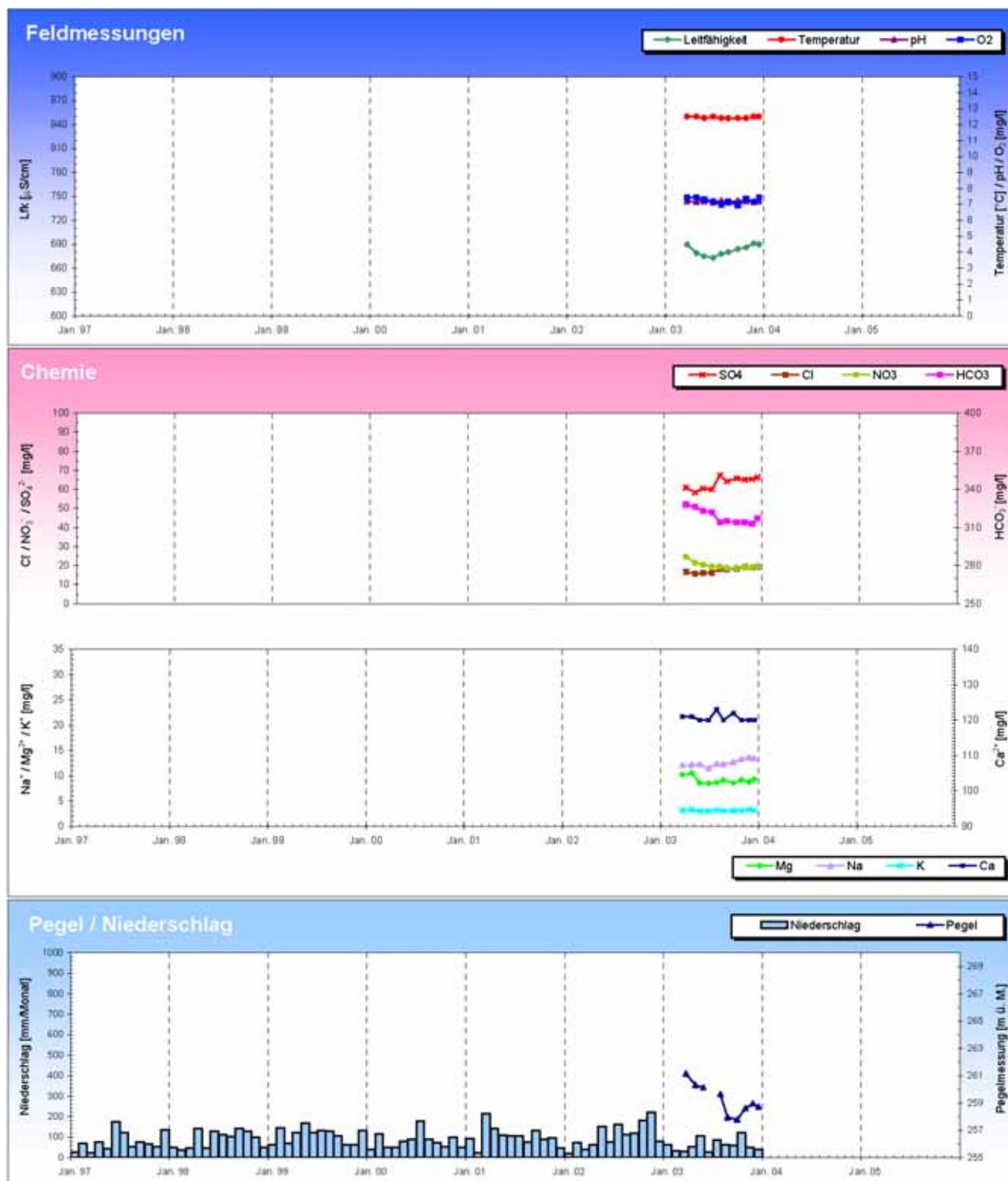
NTG 40

NAQUA^{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
Ackerbau (AB)
Jura

Höhenlage
Nutzung
275.42 m ü. M.
genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	691	12.5	7.3	72.3	7.5	123.0	10.5	13.6	3.3	67.3	24.7	19.4	328.0	261.1
Mittelwert	683	12.5	7.2	70.2	7.2	120.7	9.2	12.6	3.2	63.4	20.1	17.7	318.6	89.5
Minimum	673	12.4	7.1	67.3	7.0	120.0	8.5	11.5	3.1	58.4	18.7	15.7	313.0	20.0

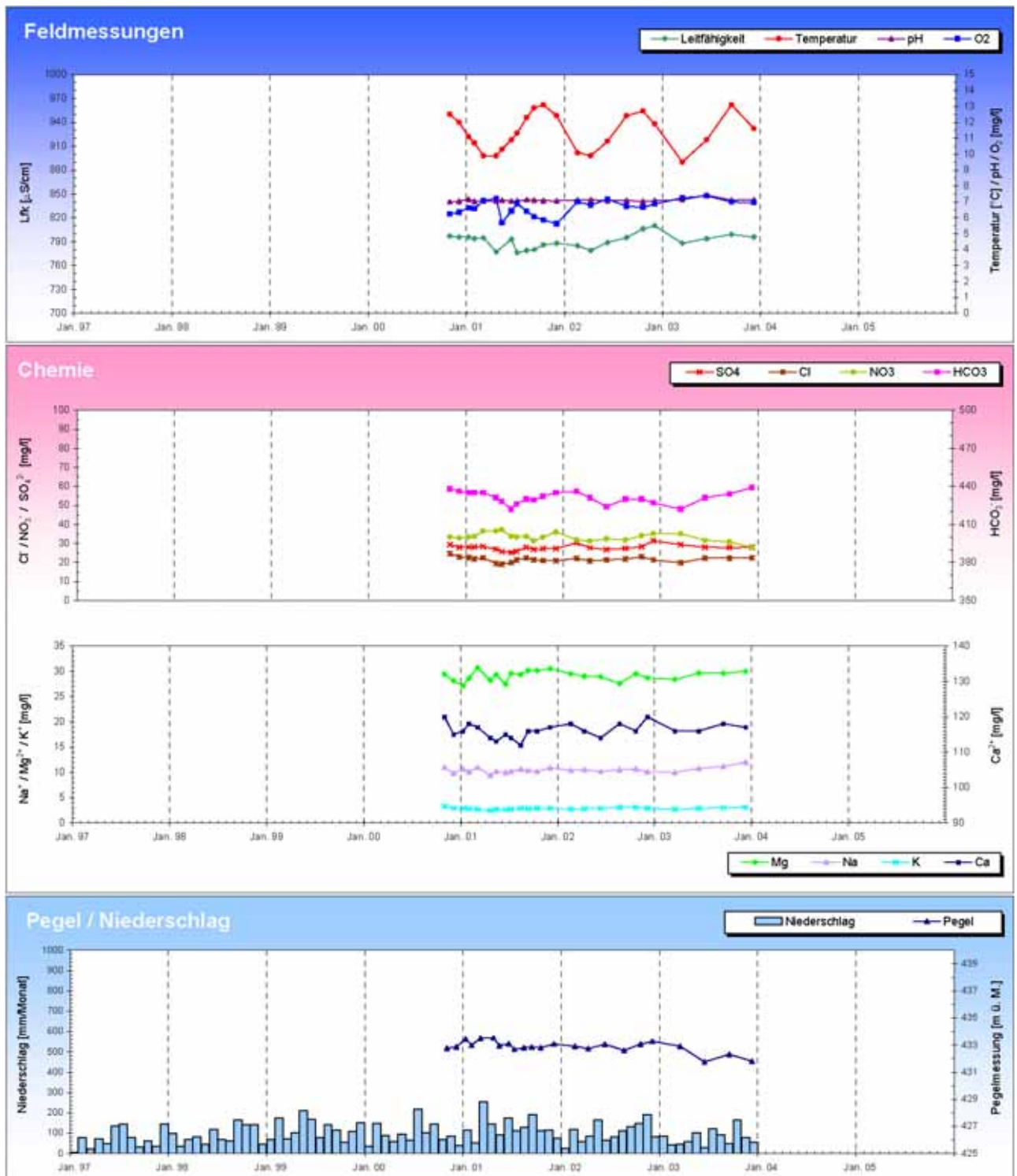
NTG 41

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
Siedlungsraum und Verkehrswege (SV)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 435.70 m ü. M.
Nutzung genutzt



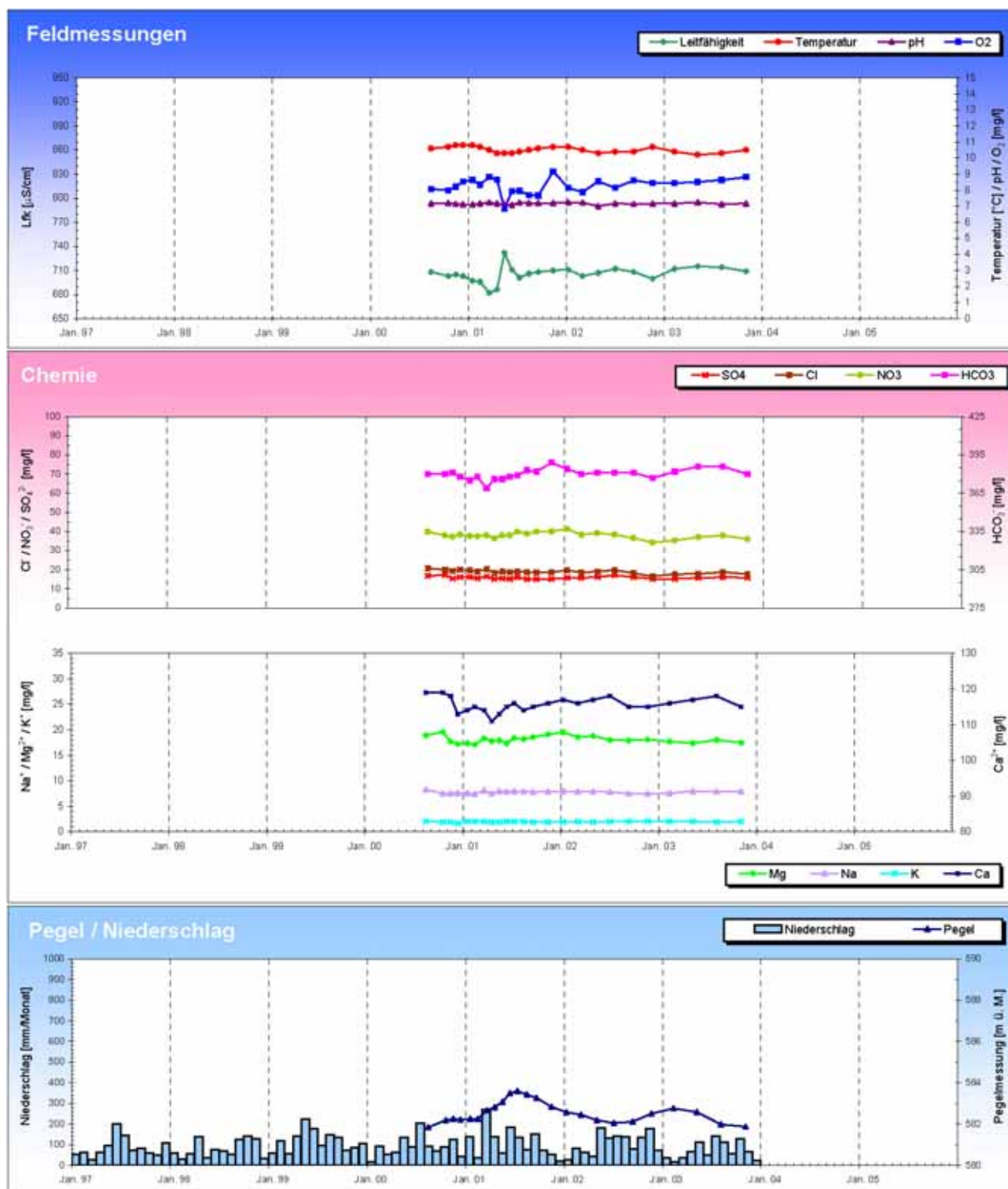
	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	810	13.1	7.4	70.6	7.4	120.0	30.7	12.0	3.3	31.4	37.1	24.7	433.5	254.0
Mittelwert	791	11.4	7.1	63.9	6.6	116.2	29.1	10.5	2.9	27.8	33.3	21.6	432.9	98.5
Minimum	776	9.5	7.0	55.7	5.6	112.0	27.1	9.4	2.5	25.2	28.0	19.1	431.8	6.0

NTG 42

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
 Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
 Hauptbodennutzung Ackerbau (AB)
 Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 591.74 m ü. M.
 Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[$\mu\text{S/cm}$]	[$^{\circ}\text{C}$]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	732	10.8	7.3	88.6	9.2	119.0	19.6	8.3	2.1	17.2	41.4	20.8	583.6	269.0
Mittelwert	706	10.5	7.2	80.4	8.3	115.7	18.1	7.8	2.0	15.9	38.0	19.0	582.6	93.8
Minimum	682	10.2	7.0	74.2	6.9	111.0	17.1	7.4	1.7	15.0	34.3	16.6	581.8	16.0

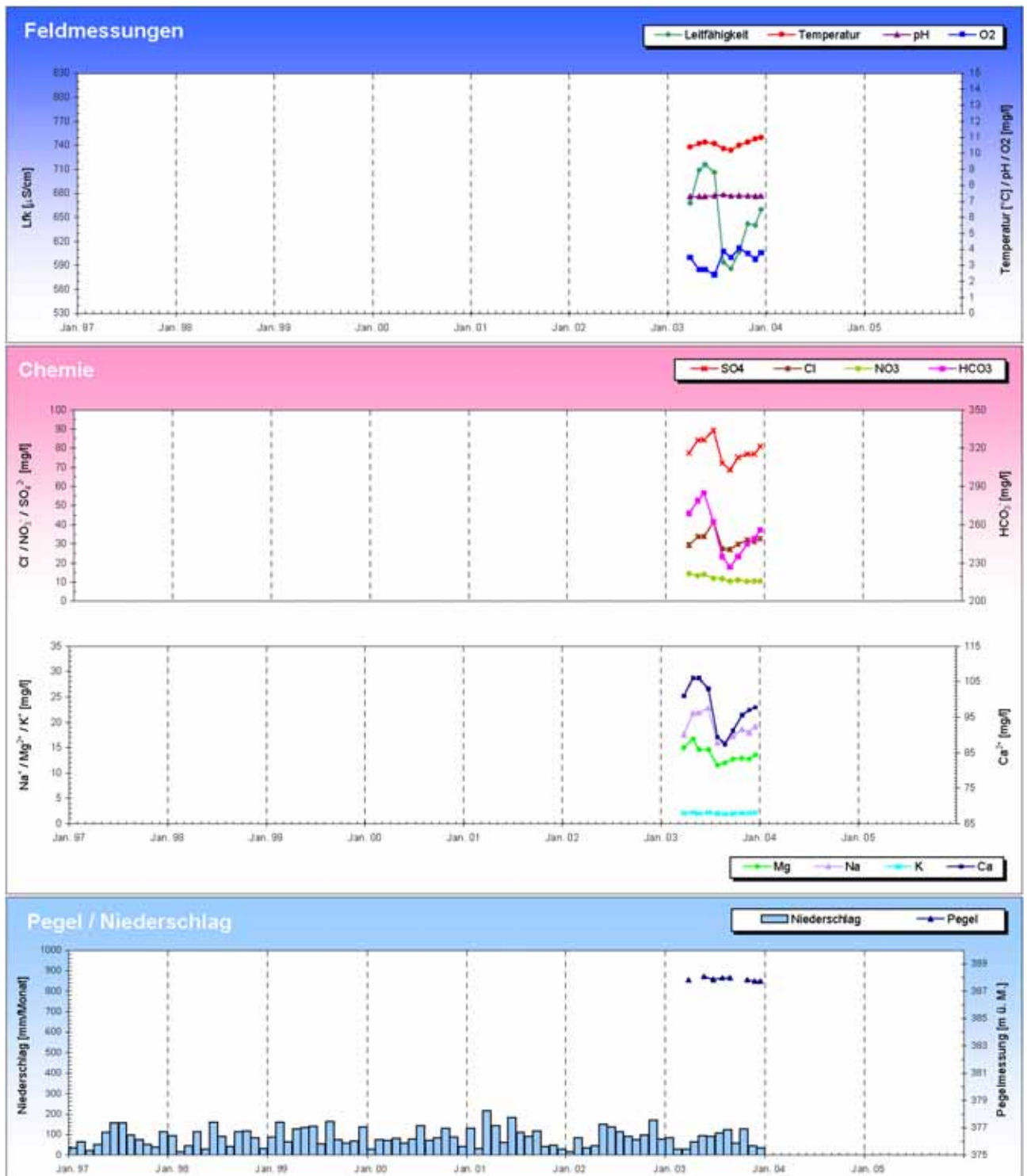
NTG 43

NAQUA_{TREND}

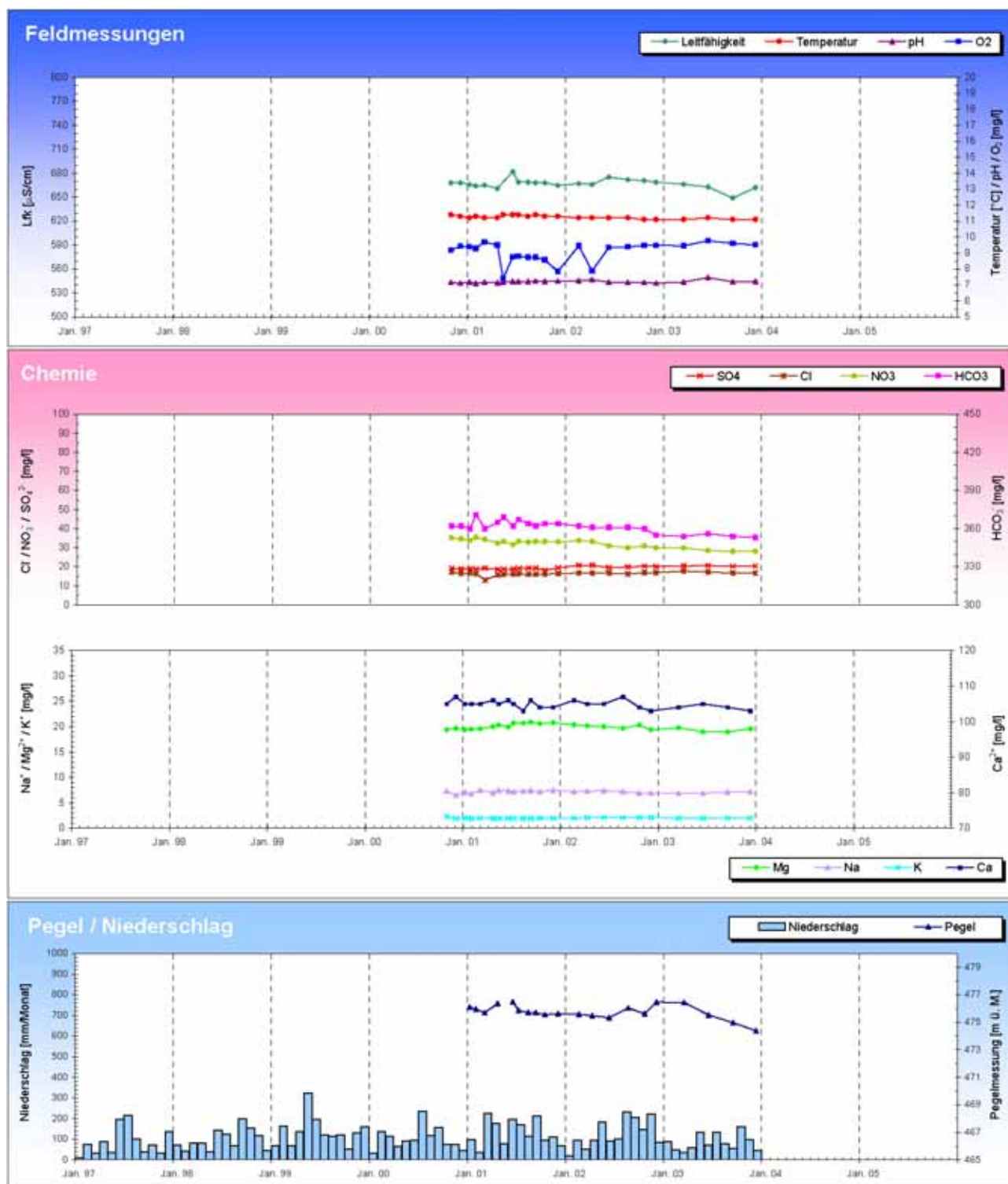
Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
Ackerbau (AB)
Alpen

Höhenlage 390 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	716	11.0	7.4	38.4	4.1	106.0	16.7	22.8	2.2	89.5	14.4	41.6	285.0	216.0
Mittelwert	653	10.6	7.3	32.2	3.4	97.5	13.6	18.9	2.1	78.7	11.8	31.9	387.9	87.1
Minimum	586	10.2	7.3	22.7	2.4	87.5	11.5	15.9	1.9	68.7	10.3	27.1	387.7	14.0



	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[‰]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	682	11.4	7.5	94.6	9.8	107.0	20.9	7.5	2.3	20.9	35.4	17.8	371.0	476.5	324.0
Mittelwert	667	11.2	7.2	87.4	9.1	104.9	20.0	7.2	2.0	19.6	32.2	16.5	361.3	475.7	109.2
Minimum	649	11.1	7.1	77.7	7.4	103.0	19.0	6.5	1.9	18.2	28.1	13.1	353.0	474.4	8.0

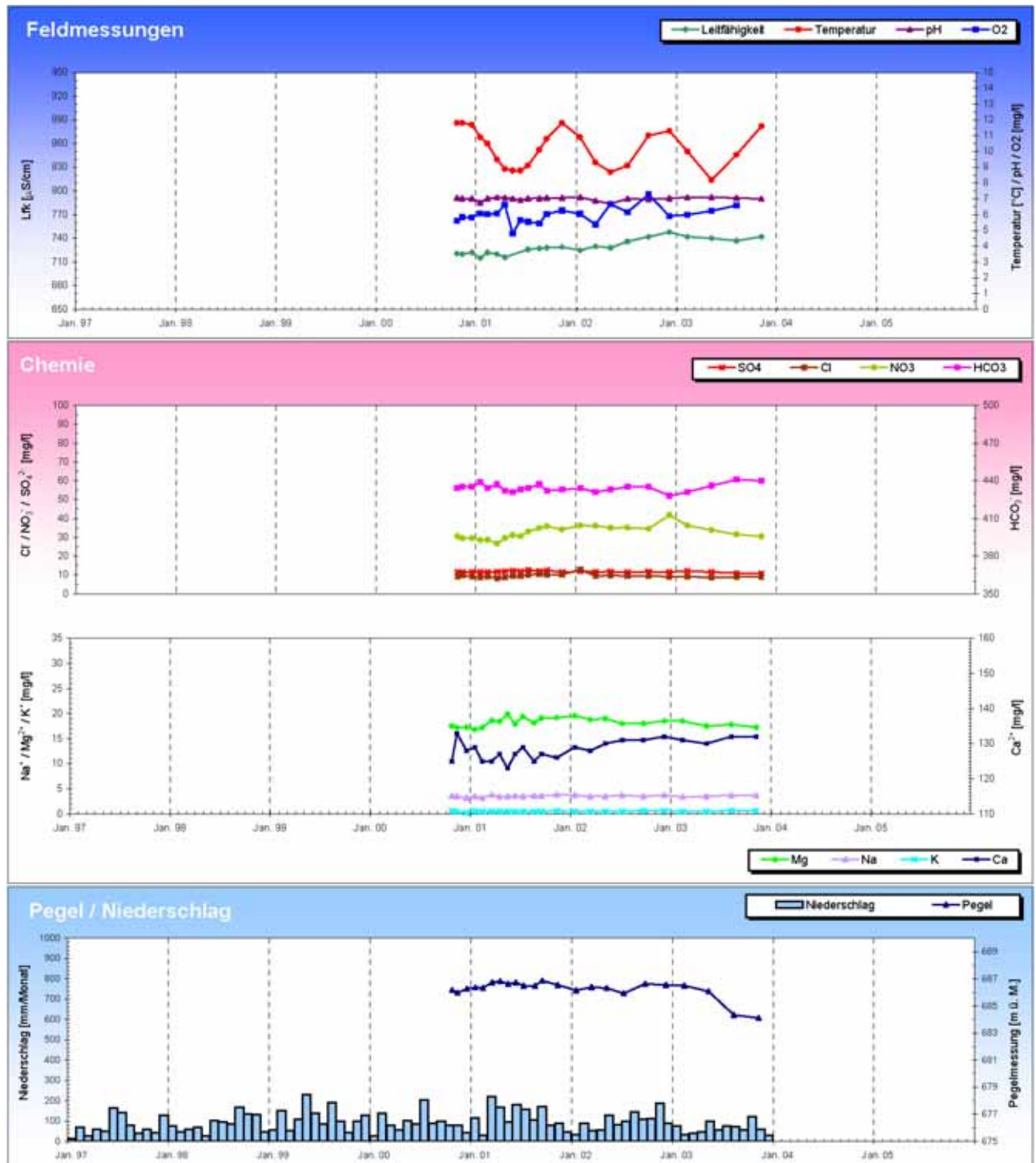
NTG 45

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter ausserhalb von Talsohlen (SA)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 686.7 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	748	11.8	7.1	63.6	6.7	133.0	19.9	3.8	0.6	12.6	41.7	12.8	686.9	231.0
Mittelwert	729	10.2	7.0	55.3	6.0	128.5	18.2	3.6	0.5	11.8	32.7	9.5	686.2	92.7
Minimum	715	8.2	6.7	50.1	4.8	123.0	16.8	3.2	0.2	10.8	26.7	8.2	684.1	14.0

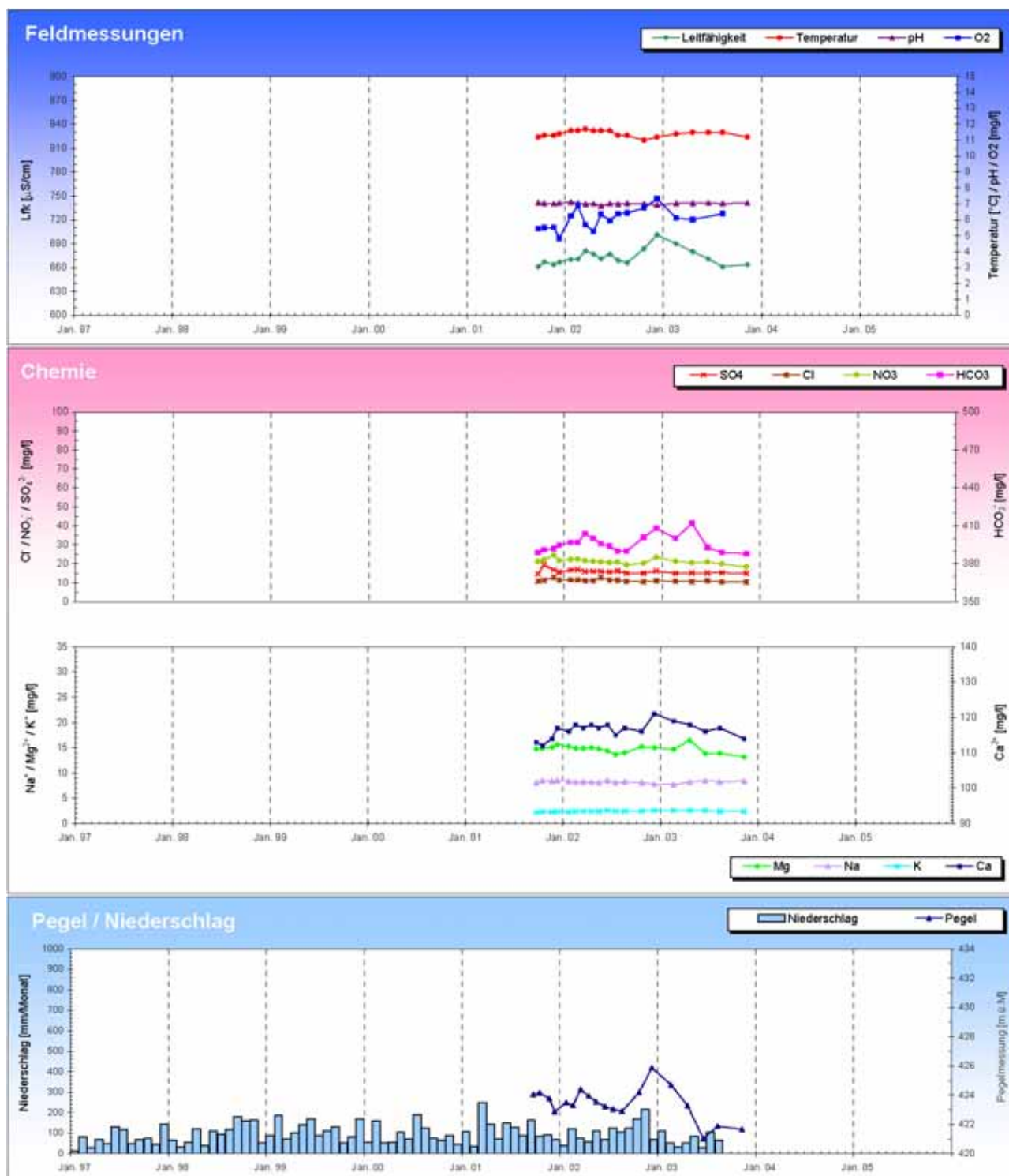
NTG 46

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
Ackerbau (AB)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage
Nutzung
435.05 m ü. M.
genutzt



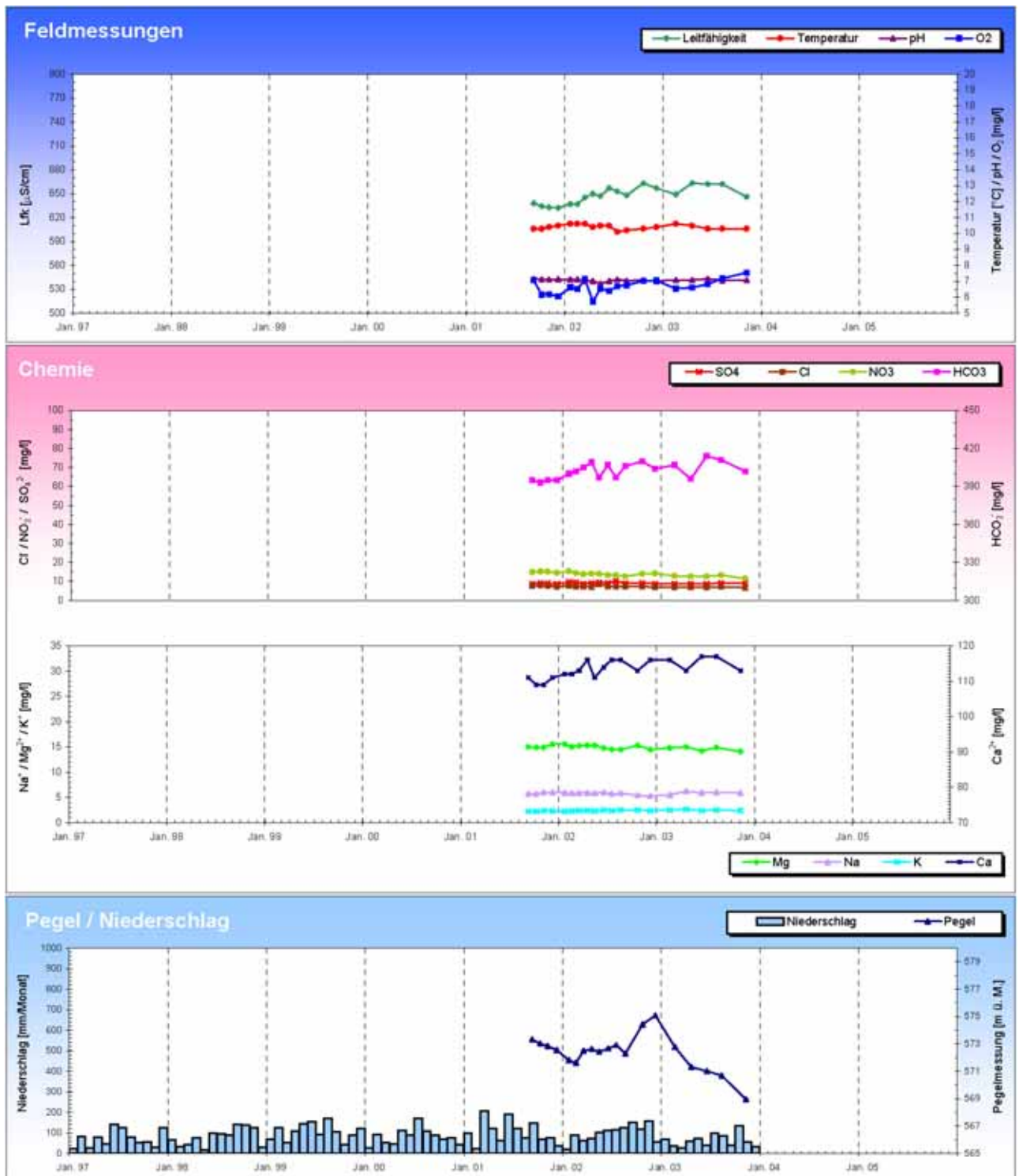
NTG 48

NAQUA_{TREND}

Erschliessungstyp
Untergrund
Hauptbodennutzung
Naturräumliche Gliederung

Grundwasserpumpwerk
Schotter in Talsohlen (ST)
übrige ganzjährige Landwirtschaft (ÜLW)
Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 584 m ü. M.
Nutzung genutzt



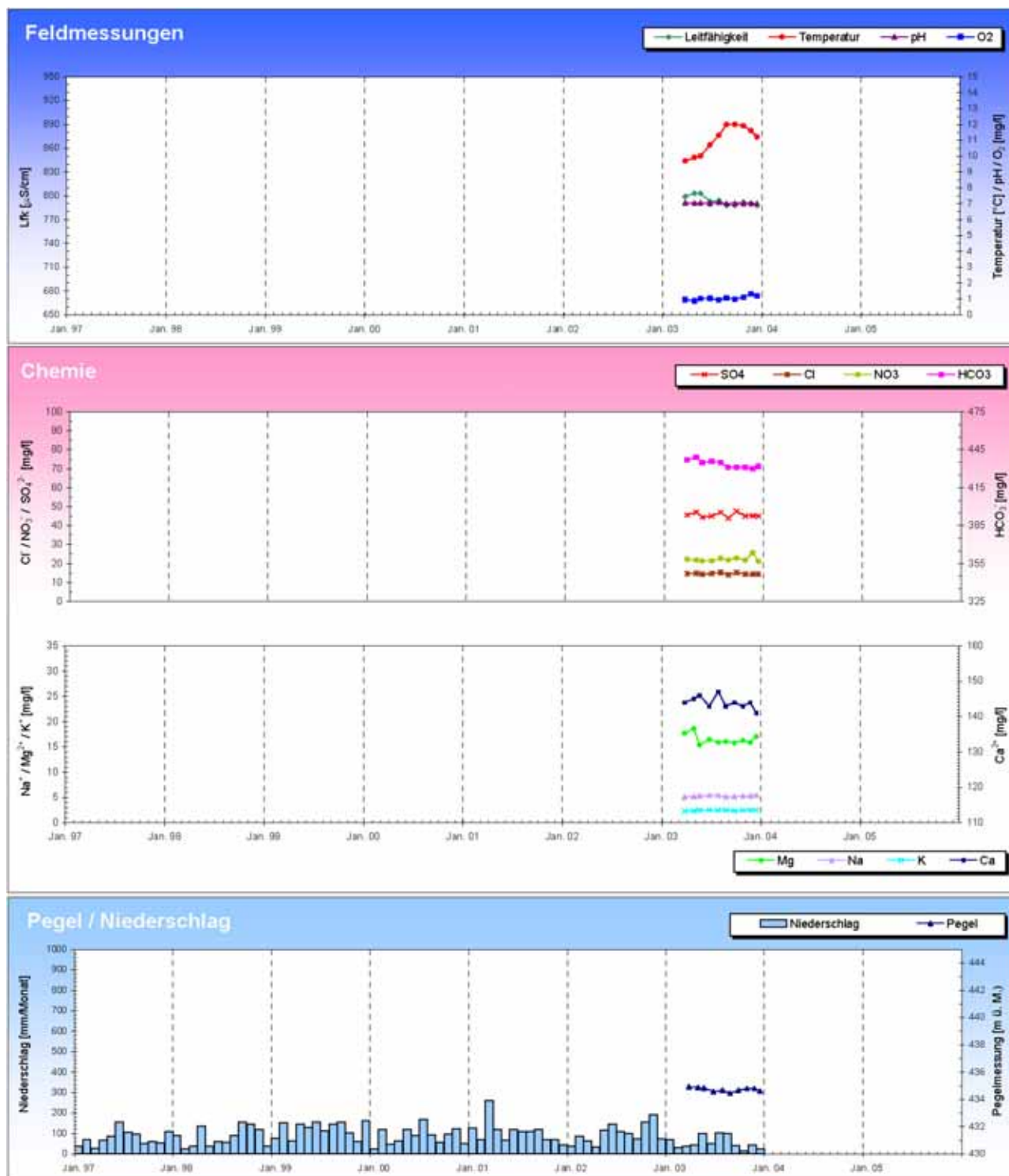
	Lfk	T	pH	O ₂		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[µS/cm]	[°C]		[%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	663	10.6	7.2	72.2	7.5	117.0	15.5	6.2	2.6	10.2	15.4	8.5	414.0	575.1	206.0
Mittelwert	648	10.4	7.1	64.1	6.7	113.4	14.9	5.8	2.4	9.1	13.8	7.3	402.4	572.4	85.7
Minimum	632	10.1	6.9	56.1	5.7	109.0	14.1	5.3	2.2	8.6	11.5	6.7	393.0	568.9	18.0

NTG 51

NAQUA^{TREND}

Erschliessungstyp Grundwasserpumpwerk
Untergrund Schotter in Talsohlen (ST)
Hauptbodennutzung Ackerbau (AB)
Naturräumliche Gliederung Mittelland und Randgebiete

Höhenlage 436.50 m ü. M.
Nutzung genutzt



	Lfk	T	pH	O ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃	Pegel	Niederschlag
	[μS/cm]	[°C]		[‰]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m.ü.M.]	[mm/Monat]
Maximum	803	12.0	7.1	12.9	147.0	18.6	5.4	2.5	47.5	25.8	15.2	439.0	434.9	261.0
Mittelwert	794	11.0	7.0	9.9	144.0	16.5	5.3	2.5	45.6	22.3	14.6	433.7	434.7	89.9
Minimum	788	9.7	7.0	7.5	141.0	15.4	5.1	2.3	44.0	21.1	14.1	430.0	434.5	13.0

A3 Verwendete Limiten zur Beurteilung der Grundwasserqualität

	GSchV		WL		FIV		
Parameter	Anforderungswert	Einheit	Indikatorwert	Einheit	Toleranzwert	Grenzwert	Einheit
Physikalische Indikatoren							
Trübung	-		1	TE/F	1	-	TE/F
Haupt- und Nebenbestandteile							
Calcium	-		40 ¹⁾	mg/l	-	-	
Magnesium	-		10 ¹⁾	mg/l	-	-	
Sulfat	40 ¹⁾	mg/l	40 ¹⁾	mg/l	-	-	
Kieselsäure (Siliziumdioxid)	-		10 ¹⁾	mg/l	-	-	
Barium	-		0.5 ¹⁾	mg/l	-	-	
Natrium	-		25 ¹⁾	mg/l	-	-	
Kalium	-		5 ¹⁾	mg/l	-	-	
Chlorid	40 ¹⁾	mg/l	40 ¹⁾	mg/l	-	-	
Fluorid	-		0.5 ¹⁾	mg/l	1.5	-	mg/kg
Bromid	-		0.05 ¹⁾	mg/l	-	-	
Nitrat	25	mg/l	25	mg/l	40	-	mg/kg
Ammonium (oxische Verhältnisse)	0.1	mg/l	0.1	mg/l	0.1	-	mg/kg
Ammonium (anoxische Verhältnisse)	0.5	mg/l	0.5	mg/l	0.5	-	mg/kg
Nitrit	-		0.05 ¹⁾	mg/l	0.1	-	mg/kg
Phosphat	-		0.05 ¹⁾	mg/l	1	-	mg/kg
Cyanid	-		0.025	mg/l	-	-	
Sauerstoffsättigung	-		20 ²⁾	%	-	-	
gelöster org. Kohlenstoff (DOC)	2	mg/l	2	mg/l	-	-	
Spurenelemente							
Bor	-		0.05 ¹⁾	mg/l	-	-	
Zink gelöst	-		5	µg/l	5	-	mg/kg
Kupfer gelöst	-		2	µg/l	1.5	-	mg/kg
Nickel gelöst	-		5	µg/l	-	-	
Blei gelöst	-		1	µg/l	-	0.01 ³⁾	mg/kg
Cadmium gelöst	-		0.05	µg/l	-	0.005	mg/kg
Quecksilber gelöst	-		0.01	µg/l	-	0.001	mg/kg
Arsen	-		5	µg/l	-	0.05	mg/kg
Selen	-		5	µg/l	-	0.01	mg/kg
Chrom	-		2	µg/l	-	0.02 ⁴⁾	mg/kg
Organische und synthetische Stoffe							
EDTA und strukturanaloge Komplexbildner ⁵⁾			5	µg/l	0.005	0.2	mg/kg
NTA	-		3	µg/l	0.003	0.2	mg/kg
Pestizide – Einzelstoff	0.1	µg/l	0.1	µg/l	0.0001	-	mg/kg
Pestizide – Summe	-		0.5	µg/l	0.0005	-	mg/kg
Methyl-tert.-butylether (MTBE)	-		2	µg/l	-	-	
Aliphatische Kohlenwasserstoffe ⁵⁾	1	µg/l	1	µg/l	-	-	
Kohlenwasserstoffe, wasserlöslich					0.001	-	mg/kg
Monozyclische aromatische Kohlenwasserstoffe ⁵⁾	1	µg/l	1	µg/l			
Benzol					0.001	-	mg/kg
Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW) ⁵⁾	1	µg/l	1	µg/l	0.02 / 0.008 ⁶⁾	-	mg/kg
Bromdichlormethan					-	0.015	mg/kg
Dibromchlormethan					-	0.1	mg/kg
Dichlorethan, 1,2-					-	0.003	mg/kg
Dichlorethan, 1,1-					-	0.03	mg/kg
Dichlorethan, 1,2-					-	0.05	mg/kg
Dichlormethan					-	0.02	mg/kg
Tetrachlorethan					-	0.04	mg/kg
Tetrachlormethan					-	0.002	mg/kg
Tribrommethan					-	0.1	mg/kg
Trichlorethan, 1,1,1-					-	2	mg/kg
Trichlorethan					-	0.07	mg/kg
Trichlormethan					-	0.04	mg/kg

Parameter	GSchV		WL		FIV		
	Anforderungswert	Einheit	Indikatorwert	Einheit	Toleranzwert	Grenzwert	Einheit
Polyzyklische Aromaten (PAK) ⁵⁾	0.1	µg/l	0.1	µg/l	0.0002	-	mg/kg
Kohlenwasserstoffe, schwer lösliche					0.02	-	mg/kg
Adsorbierbare Halogenverbindungen (AOX) ⁷⁾	10	µg/l	10	µg/l			

GSchV = Gewässerschutzverordnung; **WL** = Wegleitung Grundwasserschutz; **FIV** = Fremd- und Inhaltsstoffverordnung

¹⁾ nur bei entsprechender Abweichung vom natürlichen Zustand

²⁾ Minimalwert!

³⁾ ab Wasserhahn, nach 5 min.

⁴⁾ Chrom VI

⁵⁾ je Einzelstoff

⁶⁾ gechlortes Wasser / aus Umweltkontamination

⁷⁾ berechnet als Chlor