

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 83 (1991)
Heft: 3-4

Artikel: Auswertung von Daten zur Überwachung der Grundwasserqualität in der Schweiz
Autor: Angehrn, Peter P. / Reissner, Brukhard / Schüpbach, Josef
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940992>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Auswertung von Daten zur Überwachung der Grundwasserqualität in der Schweiz

Peter P. Angehrn, Burkhard Reissner,
Josef Schüpbach

Zusammenfassung

Die vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) für die Jahre seit 1922 zusammengetragenen Daten über die Grundwassergüte von 282 Grund- und Quellwasserfassungen stellen eine wertvolle Grundlage für die Errichtung eines Grundwasserüberwachungssystems dar. Die Daten genügen jedoch nicht für eine massgebliche Beurteilung der Trinkwassersituation in der Schweiz. Es bedarf einer die tatsächlichen Verhältnisse besser kennzeichnenden Auswahl der Stationen für alle Kantone. Das Analysenprogramm soll möglichst einheitlich aufgebaut werden, und die langfristige Weiterführung der Messungen muss gesichert sein. Mit Hilfe der Grundwasserqualitätsdatenbank WAQUADABA wird eine Zunahme der mittleren Nitratbelastung im Grundwasser in den vergangenen zwei bis drei Jahrzehnten verdeutlicht. Ursache der steigenden Nitratwerte im Grundwasser ist die Intensivierung der Landwirtschaft, verbunden mit einem zunehmenden Stickstoffeintrag über Handels- und Hofdünger. Parallel zum Nitratgehalt steigen auch die Werte anderer Parameter, die auf eine anthropogene Beeinflussung hinweisen. Über die Kontamination des Trinkwassers durch Schwermetalle, Pflanzenbehandlungsmittel oder chlorierte Kohlenwasserstoffe liegen bis heute nur wenige Daten vor.

1. Einleitung

Die Gefährdung des Grundwassers ist vielfältig und hat in jüngster Zeit erheblich zugenommen. Vor allem Altlasten – Altablagerungen und alte Betriebsstandorte – stellen eine wachsende potentielle Gefahr dar, aber auch Schadstoffe, die als Aerosole aus der Industrie und von Haushalten an die Luft abgegeben werden und mit den Niederschlägen ins Grundwasser versickern. Wachsende Sorgen bereiten auch die zunehmenden Nitratbelastungen des Grundwassers infolge der intensiv betriebenen Produktion im Obst- und Gemüseanbau und der Massentierhaltung in der Landwirtschaft.

Aufgrund der Bedeutung des Grundwassers als Trinkwasserspeicher und seiner wachsenden Bedrohung durch Verunreinigungen aller Art ist es notwendig, ein flächendeckendes Grundwasserbeobachtungsnetz aufzubauen. Die einzelnen Messstellen, die u. a. danach auszuwählen sind, dass möglichst auf bereits vorhandene längerfristige Messreihen zurückgegriffen werden kann, liefern grosse Rohdatenmengen.

Mit Hilfe der eigens entwickelten Datenbanksoftware WAQUADABA werden die Basisdaten – physikalische, chemische und bakteriologische Parameter –, die im Rahmen von Rohwasseranalysen bestimmt worden sind, erfasst und für spätere Auswertungen – Ermittlung zeitlicher Veränderungen der Grundwasserqualität und deren kartographische Darstellung, Bilanzierung der Grundwasserströme – aufbereitet.

In den letzten Jahren ist im oberflächennahen Grundwasser ein steter Anstieg gelöster Stoffe beobachtet worden, während Grundwässer tieferer Stockwerke davon noch kaum betroffen wurden. Da sich die öffentliche Trinkwasserversorgung vor allem auf das aus den Niederschlägen gespei-

ste oberflächennahe Grundwasser stützt, kommt es bereits zu Problemen bei der Sicherung der Trinkwasserversorgung aus diesen Grundwasservorkommen. Dabei spielt die zunehmende Nitratbelastung eine besondere Rolle. Trotz dem vermehrten Interesse, das der Nitratproblematik des Trinkwassers entgegengebracht wird, darf nicht übersehen werden, dass die Gehalte auch anderer Stoffe im Grundwasser – besonders in den letzten Jahrzehnten – ständig gestiegen sind.

Die zunehmende Nitratbelastung des Grundwassers in der Schweiz ist zum überwiegenden Teil auf den gesteigerten Abwasseranfall und den Leistungsdruck zurückzuführen, der auf der Landwirtschaft lastet. Der vermehrte Stickstoffeintrag in den Boden stammt aber auch aus der Luft in Form von Stickoxiden. Diese entstehen vor allem bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen und gelangen mit dem Regen in den Boden und unter Umwandlung zu Nitrat ins Grundwasser.

Die Erfassung, Verarbeitung und Auswertung von Daten durch WAQUADABA wird daher im folgenden am Beispiel des Parameters Nitrat aufgezeigt (Kap. 3). Die Daten weiterer Indikatoren anthropogener Beeinflussung wie Gesamthärte, Chlorid, Sulfat, Ammonium, Eisen und Mangan werden im Rahmen dieses Beitrages weniger ausführlich abgehandelt. Über weitere Problemstoffe im Trinkwasser wie Rückstände aus Fungiziden, Herbiziden sowie chlorierten organischen Verbindungen liegen bis heute nur wenige Daten vor.

2. Programmaufbau und Anforderungen

WAQUADABA stellt eine Weiterentwicklung der zur Errichtung eines gesamtschweizerischen Grundwasserüberwachungssystems zum Einsatz gekommenen Datenbank-Software dar (BUWAL 1989), die eine zentrale Erfassung, Aufbereitung und statistische Auswertung von rund 127 000 Messwerten aus 22 Kantonen, verteilt auf 282 Messstellen (222 Grund- und 60 Quellfassungen) ermöglichte. Die Daten wurden vom BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) auf eigens dafür vorbereitete Datenblätter übertragen (BUS-Umfrage: Grundwasserqualität in der Schweiz). Die Datenverarbeitung erfolgte mit Hilfe einer von BUSSTAT – Vorläufer von WAQUADABA – erstellten Datenbank, die unter Verwendung verschiedener Programme (dBASE III PLUS, R&R, ASYSTANT) bereitgestellt wurde.

Wasserqualitätsdatenbank	WAQUADABA
Büro für Hydrogeologie Dr. Peter P. Angehrn AG Copyright (C) Exertec Rapperswil	
Hauptmenü	Menüpunkte mit den Anfangsbuchstaben oder den Cursortasten anwählen und mit der Eingabetaste bestätigen.
Eingabe der Chemiedaten	Unter diesem Menüpunkt werden die Basisdaten der Stammdaten d.h. Code, Kanton und Gemeinde und die dazugehörigen Wasserqualitätsdaten (Chemiedaten) eingegeben.
Änderungen, Ergänzungen	Die unter Eingabe erfassten Daten über den Bildschirmmonitor betrachten und gegebenenfalls ändern, ergänzen oder löschen.
Verarbeitung	Bereichskontrolle, Klasseneinteilung festlegen, Numerische Datenbank erzeugen, Basisstatistik (Grundstatistik) errechnen.
Datenpflege	Datenbanken neuindexieren, Sicherungskopien erstellen Kontinuitätsprüfung der Datenbanken
Programmende	Verzweigung zum Betriebssystem (wird auch mit ESC erreicht).

Bild 1. Eingangsmaske von WAQUADABA.

Das Programm ist in CLIPPER geschrieben, wobei die erzeugten Datenbanken dBASE-III-kompatibel sind. Diese Compilersprache ermöglicht eine gegenüber dBASE um den Faktor 10 verkürzte Verarbeitungsdauer. Im Vergleich zu dem strukturell ähnlich aufgebauten BUSSTAT weist WAQUADABA deutliche Verbesserungen hinsichtlich der zu erfassenden Parameter und der integrierten Datenaufbereitungs- und Auswertungssoftware auf. Es werden schon bei der Dateneingabe Dezimalstellenüberprüfungen vorgenommen und offensichtliche Fehleingaben unterfragt.

Nach dem Programmstart erscheint eine gut dokumentierte Eingangsmaske, die eine anwenderfreundliche Benutzung gewährleistet (Bild 1). Von hier aus werden sämtliche Dateneingaben, Aufbereitungen, basisstatistische Auswertungen und grafische Darstellungen ermöglicht.

Die aufzunehmenden Daten decken teilweise einen Zeitraum über mehrere Jahrzehnte ab. Im Verlaufe der Zeit haben sich Messtechniken und Parameter geändert. Nicht alle Parameter, die heute gemessen werden, können direkt mit 10- bis 20jährigen Daten verglichen werden. Dennoch haben auch ältere Daten eine Aussagekraft. Rückschlüsse auf die Entwicklung der Grundwasserqualität müssen darum zum Teil über den Vergleich von ähnlichen, aber von der Analytik her unterschiedlichen Daten gezogen werden. Da sich die Aussagekraft eines Parameters unter Umständen erst bei der Auswertung zeigt, ist davon auszugehen, dass prinzipiell alle im Labor und im Feld gemessenen Daten zu erfassen sind.

Physikalische Parameter		Sinnesprüfung	
Schüttung/Pumpmenge	l/min	Geruch	
GW-Spiegelhöhe	m ü. M	Geschmack	
Abstich	m		
Wassertemperatur	°C		
Lufttemperatur	°C		
ph-Wert			
Trübung unbehandelt	TE/F	Aerobe mesophile Keime	pro ml
Trübung nach Filtration	TE/F	Coliforme	pro 10ml
Färbung		Escherichia coli	pro 100ml
Trockenrückstand	mg/l	Enterokokken	pro 100ml

Chemische Parameter			
Calcium	mg/l	SAK-420 nm	
Magnesium	mg/l	SAK-254 nm	
Eisen, gelöst	mg/l		
Eisen, gesamt	mg/l	Sauerstoffgehalt	mg/l
Mangan, gelöst	mg/l	Sauerstoffsättigung	%
Mangan, gesamt	mg/l		
Natrium	mg/l	Gesamthärte	mmol/l
Kalium	mg/l	Karbonathärte	mmol/l
		Säureverbrauch (– pH 4.3)	mmol/l
Aluminium	mg/l	Säureverbrauch (– pH 8.2)	mmol/l
Kupfer	mg/l	Freie Kohlensäure	mg/l
Zink	mg/l	Kalkaggressive Kohlensäure	mg/l
Blei	mg/l	Ca-Sättigungsindex	
Cadmium	mg/l	pH-Wert-Schnelltest	
Quecksilber	mg/l		
Arsen	mg/l	Kaliumpermanganatverbrauch	mg/l
Selen	mg/l	Chromdioxidverbrauch	mg/l
Chrom	mg/l		
Nickel	mg/l	DOC	mg/l
Bor	mg/l	TOC	mg/l
		lös. Kohlenwasserstoffe	µg/l
Ammonium	mg/l	schwerlös. KW	µg/l
Nitrat	mg/l	FKW	µg/l
Nitrit	mg/l	Atrazin	µg/l
Chlorid	mg/l	Simazin	µg/l
Fluorid	mg/l	Desethylatrazin	µg/l
Sulfat	mg/l		
Phosphat	mg/l		
Sulfid	mg/l		

Bild 2. Parameterliste der Grundwasserqualitätsdatenbank WAQUADABA.

Die Tatsache, dass verschiedene Parameter im Verlaufe der Zeit durch andere ersetzt wurden oder methodisch anders bestimmt werden, führt zu Doppelspurigkeiten in einer Datenbank. Dies ist nicht zu vermeiden, will man sich nicht schon zu Beginn der Untersuchung auf wenige Parameter festlegen. In einigen Fällen haben sich auch die Einheiten gewisser Parameter geändert. Beispielsweise wurde früher die Härte in französischen Graden angegeben. Gemäss dem Schweizerischen Lebensmittelbuch sollte heute die Härteangabe in mmol/l erfolgen. Aus Gründen der Vereinheitlichung wurde WAQUADABA so konzipiert, dass Parameter entsprechend den dort verwendeten Einheiten abgelegt werden können. Für Ammonium, Nitrat, Nitrit, Gesamt- und Karbonathärte ist die Möglichkeit der Umrechnung während der Eingabe gewährleistet.

Auch in bezug auf die zu erfassenden Parameter (Bild 2) lehnt sich WAQUADABA an das Schweizerische Lebensmittelbuch an. Zusätzlich hinzugefügt wurden ältere Parameter oder solche, die durch die Laboratorien routinemässig bestimmt werden. Der erhöhten Gefährdung der Grundwässer durch Pflanzenschutzmittel wird durch die Aufnahme der Herbizide Atrazin, Simazin und Desethylatrazin in die Parameterliste von WAQUADABA Rechnung getragen.

Um den Einfluss verschiedener Faktoren wie Bodennutzung, Geologie, Einfluss von Oberflächengewässern und geographische Lage (Region) auf die Grundwassergüte zu untersuchen, wurde eine Codifizierung vorgenommen. Als Grundlage dienen die geologischen und hydrogeologischen Karten der Schweiz (Geologischer Atlas der Schweiz, Massstab 1:25000; Hydrogeologische Karte der Schweiz, Massstab 1:100000).

2.1 Dateneingabe

Über eine weitere Eingabemaske, die nach Aufbau und Inhalt der Parameterliste in Bild 2 entspricht, erfolgt die Dateneingabe vorab unter Angabe einer messstellenspezifischen Codenummer und des Probenahmedatums. Eine Datumswiederholung unter gleicher Codenummer wird von WAQUADABA nicht zugelassen. Im Anschluss an diese Eingangskontrolle kann die menügesteuerte Messdateneingabe erfolgen.

Die Eingabemaske ist mit Klartext zu den einzelnen Parametern versehen. Eine Dateneingabe in chronologischer Reihenfolge ist nicht notwendig, da automatisch auf der Code- und Datumebene sortiert wird. Durch diese Indexierung können Daten auch bei grösseren Datenmengen in Sekundenbruchteilen gefunden werden.

Nach Abschluss eines Datenblatts, was dem Ende der Parameterliste gleichkommt, wird automatisch abgespeichert. Das Eingabeprocédere – neue Code- und Datumsanfrage – wird daran anschliessend zur Eröffnung eines weiteren Datenblatts hinterfragt. Dies ermöglicht eine rasche Eingabe grosser Datenmengen.

2.2 Datenaufbereitung und Auswertung

2.2.1 Bereichskontrolle

Schon während der Dateneingabe ist eine parameterspezifische Bereichskontrolle gewährleistet. Über- und Unterschreitungen von Maximal- und Minimalwerten, die für jeden Parameter in einer Bereichsliste ins Programm aufgenommen wurden, erscheinen schon bei der Eingabe mit Fehlermeldung. Erst nach einer Bestätigung oder Korrektur des Messwertes kann die Dateneingabe fortgesetzt werden.

Parameter	Zeitraum Anf./Ende Datum	Messw. n Mittelw. x	Minimum Datum	Maximum Datum	St Abw (s) Best Mass	R y=a+bx a/b	Lebensm. b. Normalwert Grenzwert	Parameter	kleiner	Realtive (absolute) von/bis Klassen/n		Häufigkeit von/bis	von/bis	von/bis	von/bis	größer
Q-/PW-Erg. l/min	26.09.84 17.11.86	10 955.0000	900.0000 26.09.84	1450.0000 05.03.85	173.92527 0.1123	1049.2697 88.264530		Q-/PW-Erg. l/min	1000.0000 90.0% 9	2000.0000 10.0% 1	3000.0000 0.0% 0	4000.0000 0.0% 0	5000.0000 0.0% 0	6000.0000 0.0% 0	7000.0000 0.0% 0	9000.0000 0.0% 0
Temperatur °C	12.05.75 17.11.86	24 10.2792	9.2000 26.03.79	12.3000 17.08.78	0.74716 0.0052	10.1659 0.015187	8-15 25	Temperatur °C	7.0000 0.0% 0	8.0000 0.0% 0	9.0000 0.0% 0	10.0000 33.3% 13	11.0000 54.2% 13	12.0000 8.3% 2	13.0000 4.2% 1	15.0000 0.0% 0
pH-Wert	15.02.78 17.11.86	21 7.169	7.0000 02.09.82	7.3000 01.03.83	0.07661 0.0501	7.1461 0.004269	7-8 9.2	pH-Wert	6.250 0.0% 0	6.5000 0.0% 0	6.750 0.0% 0	7.0000 0.0% 0	7.250 85.7% 18	7.5000 14.3% 3	7.7500 0.0% 0	8.2500 0.0% 0

Bild 3. Ausdruck der Basisstatistik für die Parameter Pumpmenge, Temperatur und pH-Wert.

2.2.2 Grundstatistik

Das in WAQUADABA zur Verfügung gestellte Grundstatistikprogramm erlaubt die folgenden Operationen:

- Klasseneinteilung festlegen
- Numerische Datenbank erzeugen
- Basisstatistik errechnen
- Liniengrafik von max. zwei Parametern erstellen

Bei der Klasseneinteilung erlaubt die Basisstatistik acht Klassen – kleiner, 6 Klassen, grösser –. Über ein Menü können Parameter, Startwert und Inkrement bestimmt werden. Die alphanumerische Eingabedatei ist aus programmtechnischen Gründen in eine numerische Datenbank zu überführen. Hierdurch wird es dem Statistik- und Ausdruckprogramm ermöglicht, zwischen dem Wert 0 und «keine Eingabe» zu unterscheiden. Daher finden nur effektiv gemessene Daten eine Berücksichtigung. Der Wert 0 der alphanumerischen Datenbank wird durch die Transformation zu einem Spurenwert, d.h. er liegt eine Zehnerpotenz unterhalb der Anzeigengenaugkeit.

Das Basisstatistikprogramm verlangt Werte der numerischen Datenbank. Über eine Bereichsvorwahl können nur spezifische Daten oder die gesamte Datenbank neu berechnet werden. WAQUADABA erlaubt ausschliesslich das Hinzufügen von Daten in die Statistikdatenbank, die alle Bereichsbedingungen erfüllen. Alte vorhandene Daten werden nur dort ersetzt, wo neue Berechnungen vorliegen. Bei der Auswahl eines zu erstellenden Reports stehen folgende Formate bereit:

- Basisstatistik
- Basisstatistik neu
- Maximum
- Mittelwert
- Mittelwert mit Codierung
- Summe Klassenwerte

Wird das Format Basisstatistik gewählt, erscheint der unter Bild 3 aufgeführte Report.

Die im Grundstatistikprogramm implementierte Liniengrafik ermöglicht die Zeitreihendarstellung von maximal zwei

Analyse-Parametern (Bild 4). Die gewünschte Zeitspanne ist frei wählbar. Balken- und Kreisdiagrammdarstellungen zur Präsentation von Häufigkeitsverteilungen der Mittelwerte, errechnet für beliebige Parameter, werden ebenso wie die Darstellung von Korrelations- und Regressionsgraphen durch periphere Zusatzprogramme ermöglicht.

3. Die Nitratsituation in der Schweiz

Im Schweizerischen Lebensmittelbuch wird als Qualitätsziel für Trinkwasser ein Nitratgehalt von weniger als 25 mg NO_3^-/l gefordert. Der Toleranzwert liegt gemäss Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) bei 40 mg NO_3^-/l .

Eine Zusammenstellung der berücksichtigten Messstellen zeigt, dass 1983 rund 12% der erfassten Bevölkerung mit Trinkwasser versorgt wurde, das über 25 mg NO_3^-/l enthielt. Weniger als 1% der Einwohner wurden mit Trinkwasser versorgt, das den Toleranzwert von 40 mg NO_3^-/l überschritt (BUWAL, 1990). Allerdings darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass die Auswahl der Messstellen für einige Regionen wenig repräsentativ erfolgte. Dennoch zeichnet sich eine eindeutige Tendenz ab.

Die untersuchten Quellwasserfassungen weisen in der Regel geringere Nitratwerte auf als Grundwasserfassungen (Bild 4). Beim Quellwasser dominiert der Anteil der Konzentrationsklasse von 0 bis 10 mg NO_3^-/l . Dabei handelt es sich um Quellen aus schwachbesiedelten, vorwiegend bewaldeten Einzugsgebieten. Beim Grundwasser liegt das Schwergewicht im Bereich bis zu 30 mg NO_3^-/l .

Die mittlere Nitratbelastung im Grundwasser hat in den vergangenen zwei bis drei Jahrzehnten um etwa 50% zugenommen. Ein besonders deutlicher Anstieg wurde in den Jahren 1965 bis 1970 registriert (Bild 5). Während der Mittelwert der Proben von 1960 bei 12,6 mg NO_3^-/l lag, erhöhte er sich in den Jahren nach 1985 auf 18,8 mg NO_3^-/l . Diese deutlich steigende Tendenz über die vergangenen rund 30 Jahre wird auch durch Untersuchungen einiger Kantone bestätigt. Parallel zum Nitratgehalt steigen auch die Werte anderer Parameter wie Chlorid, Sulfat und die Gesamthärte an.

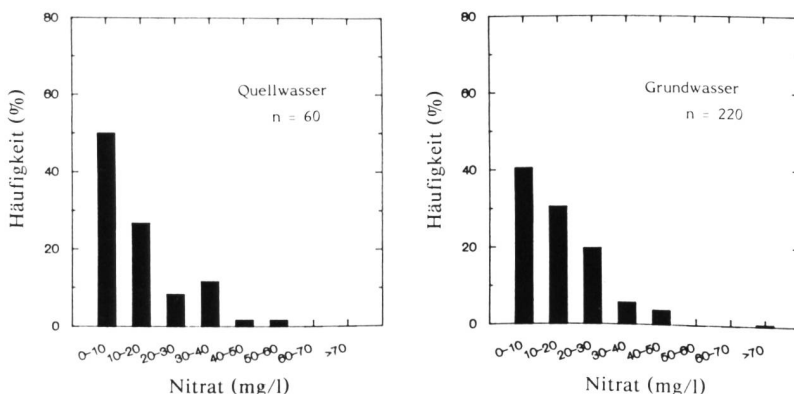


Bild 4. Häufigkeitsverteilungen der Mittelwerte des Nitratgehaltes (NO_3^-) von Grund- und Quellwasser. n = Anzahl Messstellen.

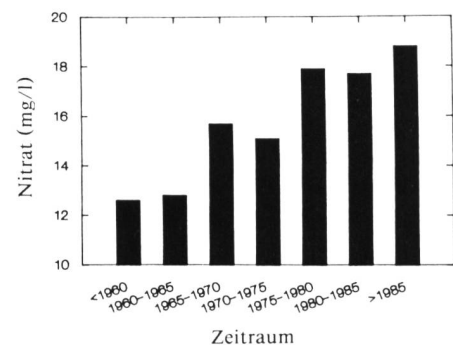


Bild 5. Mittlerer Nitratgehalt (NO_3^-) von 31 Grund- und Quellwasserfassungen in Abhängigkeit von der Zeit.

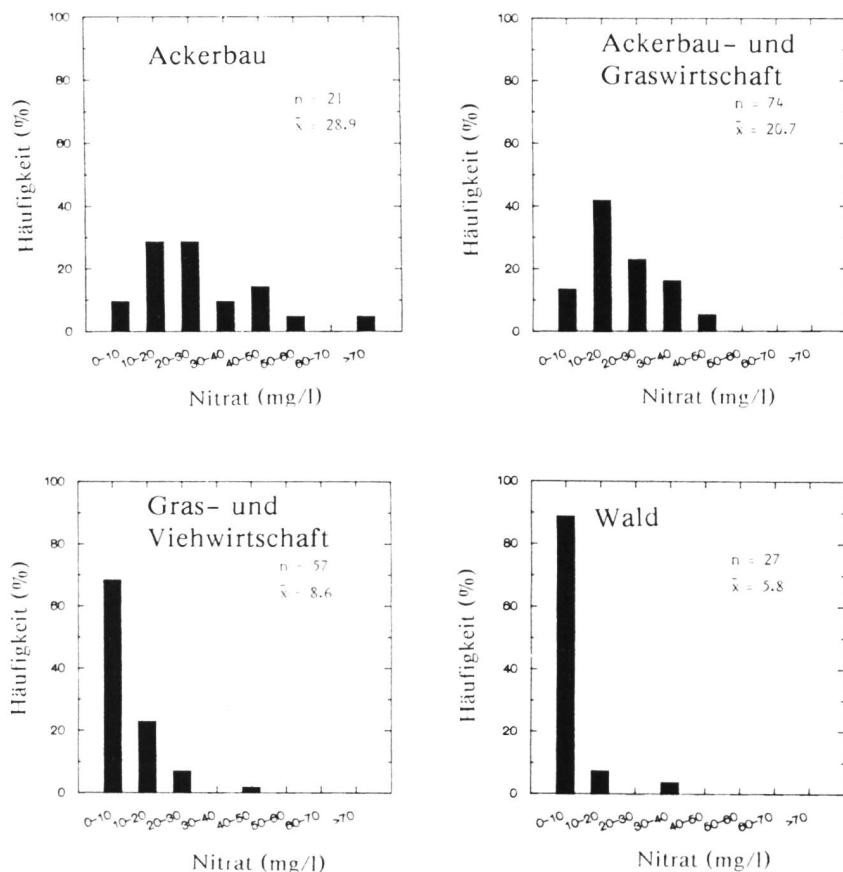
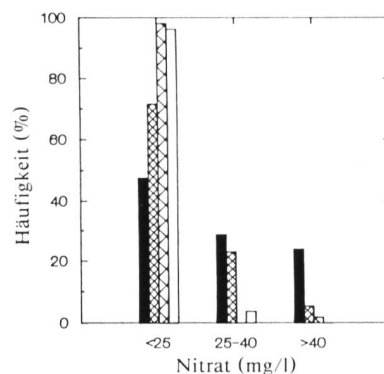


Bild 6, links. Häufigkeitsverteilungen der Mittelwerte des Nitratgehaltes (NO_3^-) von Grund- und Quellwasser bei verschiedenen Bodennutzungen. n = Anzahl Messstellen; $\bar{x}$ = Mittelwert ($\text{mg NO}_3^-/\text{l}$).



- Wald (n = 27)
 - ▨ Gras- und Viehwirtschaft (n = 57)
 - ▩ Ackerbau und Graswirtschaft (n = 74)
 - Ackerbau (n = 21)
- n = Anzahl Messstellen

Bild 7, oben. Häufigkeitsverteilungen der Mittelwerte des Nitratgehaltes (NO_3^-) von Grund- und Quellwasser in Ackerbau-, Ackerbau- und Graswirtschafts-, Gras- und Viehwirtschafts- und Waldgebieten unter Berücksichtigung des Normalwertes ($25 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) und des Grenzwertes ($40 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) gemäss Schweizerischem Lebensmittelbuch.

Die Wasserwerke haben dafür zu sorgen, dass die Toleranzwerte, wie sie für Trinkwasser festgelegt sind, nicht überschritten werden. Dies ist zunehmend der Fall, und die Einhaltung des Toleranzwertes ist dann nur noch möglich, indem stark mit Nitrat belastetes Wasser mit wenig belastetem Wasser aus anderen Fassungen vermischt wird.

Wie die Gewässerschutzstatistik des Bundesamtes für Umweltschutz (BUS) von 1985 zeigt, weisen die grossen Wasserwerke, die vorwiegend aufbereitetes Grundwasser verteilen, die geringsten Nitratkonzentrationen auf. Mittlere bis kleine Wasserwerke liefern in der Regel Trinkwasser mit einem hohen Anteil an echtem Grundwasser und enthalten somit höhere Nitrat-Konzentrationen.

Bodennutzung und Düngung haben den grössten Einfluss auf die Nitratgehalte im Trinkwasser (Bilder 6 und 7). Grund- und Quellwasserfassungen in Ackerbaugebieten weisen mit Abstand die höchsten Nitratwerte auf. Hier liegen denn auch die meisten Trinkwasserfassungen, die den Grenzwert von $40 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ deutlich überschreiten. Solange eine geschlossene Pflanzendecke den Acker bedeckt, ist die Nitratauswaschung kaum grösser als bei Graswirtschaft am gleichen Platz. Da aber die meisten Kulturen nicht den ganzen Jahreslauf hindurch den Boden bedecken und vor allem durchwurzeln, treten Phasen erhöhter Gefährdung auf. Besonders Maiskulturen sind als sehr kritisch zu betrachten, da Mais erst spät im Frühling mit weiten Reihenabständen gesät wird und sehr langsam den Boden durchwurzelt. Rüben nehmen eine Zwischenstellung ein, während Wintergetreide als sehr günstig beurteilt wird. Grössere Schwierigkeiten im Hinblick auf die Nitratauswaschung bereiten reine Gemüsekulturen, da die meisten Gemüsearten nicht sonderlich tief wurzeln. Dadurch können sie die tiefer liegenden Stickstoffvorräte nicht nutzen.

Die Nitratbelastung des Grundwassers in Ackerbau- und Graswirtschaftsgebieten liegt etwas tiefer als in jenen, wo

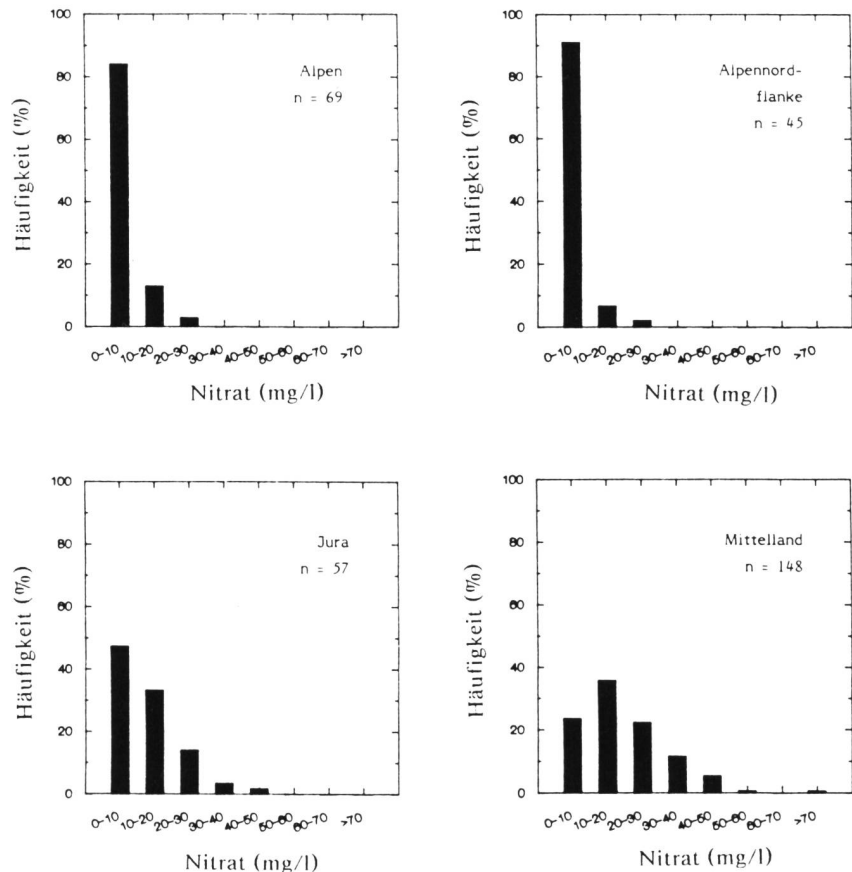
überwiegend Ackerbau betrieben wird. Gras- und Viehwirtschaftsgebiete sind weniger problematisch. Solange die Güllenzufuhr langfristig die Menge von 3 Düngergrossvieheinheiten nicht überschreitet, lässt der dicht durchwurzelte Boden wenig Nährstoffe ungenutzt versickern.

Am geringsten ist der Nitrataustrag im allgemeinen in Waldgebieten. Die starke Humusschicht und das dichte Wurzelgeflecht dieser Dauerkultur halten Nitrat wirksam zurück. Gelegentlich können grössere Mengen Nitrat, insbesondere in Mischwald, als Folge intensiver Rotteprozesse im Frühling ausgewaschen werden.

Der Stickstoff-Verlust hängt weiter von der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes ab. Grund- und Quellwasservorkommen in wenig sorptionsfähigen Lockergesteinen weisen oft erhöhte Nitratgehalte auf. Ein guter Humusboden vermindert dagegen die Verlustrate von Stickstoff.

Die Nitratbelastung in der Schweiz ist regional sehr verschieden. Alle berücksichtigten Grund- und Quellwasserfassungen in den Alpen und in der Alpennordflanke sind hinsichtlich Nitratgehalt unbedenklich. Im Jura und vor allem im Mittelland sind sie im allgemeinen höher und überschreiten vereinzelt den Grenzwert von $40 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ (Bild 8). Das Mittelland ist aus verschiedenen Gründen einer erhöhten Nitratbelastung ausgesetzt. Anders als in den höher gelegenen Alpen- und Jura-Regionen erlaubt das Klima den Anbau von Futtergetreide, was eine Häufung der Rindermast zur Folge hat. In typischen Graswirtschaftsgebieten konzentriert sich hingegen die Schweinemast. Besonders hohe Schweinebestände verzeichnen die Kantone Luzern, Thurgau und St. Gallen. Viele landwirtschaftliche Betriebe können die intensivierte Rinderzucht nur durch massive Futtermittelimporte aufrechterhalten. Dadurch wird das Gleichgewicht zwischen anfallender Gülle und der landwirtschaftlichen Grundfläche immer mehr gestört. In

Bild 8. Häufigkeitsverteilungen der Mittelwerte des Nitratgehaltes (NO_3^-) von Grund- und Quellwasser in den Alpen, an der Alpennordflanke, im Jura und im Mittelland.



vielen landwirtschaftlichen Betrieben sind die Kapazitäten der Güllengruben nicht an die erhöhten Tierbestände angepasst worden, so dass die vermehrt anfallende Gülle oft zu Zeiten ausgetragen werden muss, die dafür nicht geeignet sind. Durch die Einführung der «arbeitssparenden» Schwemmentmischung ist die Situation zusätzlich verschärft worden.

3.1 Sanierungskonzepte

Eine intensivierte Bodennutzung verstärkt die Produktion von organischer Bodensubstanz und hat eine erhöhte Stickstoff-Mineralisation zur Folge. Pflanzen brauchen für ein gesundes Wachstum und gute Ernteerträge fruchtbare Böden mit genügend Nitrat-Stickstoff. Wird die Bodennutzung diesem erhöhten Stickstoff-Umsatz nicht angepasst, kann die Nitrat-Belastung des Grundwassers steigen und zu einem Gesundheitsrisiko für den Menschen werden. Ausserdem lassen eutrophierte Böden geringere Ernteerträge erwarten. Die Landwirtschaft ist massgeblich an der erhöhten Nitratkonzentration des Grundwassers beteiligt. Daher muss in erster Linie dort korrigierend eingegriffen werden. Eine Lösung des Problems wird nicht durch Gesetze und Vorschriften angestrebt, sondern durch eine enge Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft. Die Landwirte sollen durch gezielte Aufklärung zu umweltgerechter Produktion motiviert werden. So unternimmt beispielsweise der Kanton Luzern enorme Anstrengungen, das Problem der steigenden Nitratbelastung im Grundwasser in den Griff zu bekommen. Das kantonale Amt für Umweltschutz und die Zentralstelle für Ökologie in Sempach beraten zusammen mit den landwirtschaftlichen Schulen die Landwirte über eine umweltgerechte Anwendung von Düngemitteln, über angepasste Hofdüngerverteilung, über Probleme des Maisanbaus und Massnahmen zur Vermeidung der Nitratauswaschung. Erste Erfolge sind dank diesen Anstrengungen nicht ausgeblieben.

4. Langfristige Beobachtung der Wasserqualität

Eine vergleichbare Entwicklung, wie sie die Nitratgehalte der Grund- und Quellwässer über Jahrzehnte hin aufzeigen, zeichnet sich auch bei den Daten über die Chloridfürung ab. Aus statistischen Analysen geht hervor, dass dieses Verhalten ebenfalls durch die Bodennutzung gesteuert wird. Das Qualitätsziel von $20 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ wird nur von 8,9% der berücksichtigten Messstellen, die weisen mittlere Chloridgehalte von 20 bis $70 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ auf, überschritten. Insgesamt belegen nahezu 40% der Messstellen einen Trend hin zu erhöhten Chloridwerten. Bei den Sulfatgehalten zeichnet sich ebenfalls ein Zusammenhang zwischen erhöhten Werten und Bodennutzung ab. Extremwerte von über $200 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{l}$ sind jedoch in erster Linie auf die geologischen Gegebenheiten zurückzuführen. Die grösste Diskrepanz gegenüber gewünschten Qualitätszielen liegt bei den Daten zur Gesamthärte vor. Es weisen 69,5% der Messstellen Gesamthärten von über 25°fH auf.

4.1 Weitere Problemstoffe im Trinkwasser

Neben Nitrat sind Herbizide weitere Problemstoffe im Grundwasser. Da diesbezüglich routinemässige Messungen fehlen, kann die Lage in der Schweiz nicht umfassend beurteilt werden. Bisherige Untersuchungen zeigen häufig erhöhte Belastungen durch Atrazin auf. Dies dürfte auf dessen Verwendung als Herbizid auf Bahnanlagen und im Maisbau zurückzuführen sein. Atrazin lässt sich im Grundwasser relativ einfach nachweisen. Der Nachweis anderer Herbizide oder Fungizide und deren Abbauprodukte gestaltet sich meist viel aufwendiger. Zudem werden viele Schadstoffe aufgrund ihrer Struktur und der Beschaffenheit des Bodens resorbiert und gelangen erst nach und nach ins Grundwasser. Daher hinkt die Trinkwasseranalyse der

aktuellen Bedrohungslage hinterher. Dasselbe gilt auch für die Gruppe der Schwermetalle. Über chlorierte Verbindungen (CKW) liegen nur wenige Daten aus Einzeluntersuchungen vor. Diese Verbindungen stammen überwiegend aus Altablagerungen und ehemaligen Industriestandorten. Ihnen muss in Zukunft vermehrt Beachtung geschenkt werden.

Schlussfolgerungen

Die zentrale Erfassung, Aufbereitung, und Auswertung von Messdaten aus einem flächendeckenden und unter hydrogeologischen und hydrochemischen Gesichtspunkten repräsentativen Grundwassermessstellennetz ist ein vorrangiges Ziel zur langfristigen Überwachung der Grundwasserqualität in der Schweiz.

Auf diesem Wege lassen sich Veränderungen in der Grundwasserqualität frühzeitig erkennen, um entsprechende Schritte in der Bewirtschaftung des Dargebotes einleiten zu können.

Die Empfehlung, das Softwarepaket WAQUADABA, das bei der Sektion Restwasser und Wasserversorgung des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft unlängst

installiert wurde, auch bei den kantonalen Ämtern für Umweltschutz und den kantonalen Laboratorien einzuführen, beruht auf der Notwendigkeit, den Transfer von Daten und deren Auswertung zu vereinfachen.

Literaturverzeichnis

Büro für Hydrogeologie, Dr. Peter P. Angehrn AG, 1989: Auswertung von Daten zur Überwachung der Grundwasserqualität in der Schweiz (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft).

Büro für Hydrogeologie, Dr. Peter P. Angehrn AG, 1991: Grundwasserüberwachung auf Kantonsgebiet Solothurn (Phase 1: Vorabklärungen).

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 1990: Situation der Trinkwasserversorgung (Zwischenbericht).

Bundesamt für Umweltschutz 1985: Grundwasserqualität in der Schweiz. BUS-Umfrage.

Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern, 1987: Landwirtschaft und Nitratbelastung in den Grundwasserfassungen von Sursee und Schenkon.

Trüb, E., 1987: über die Nitratsituation in der Schweiz, unter besonderer Berücksichtigung des Grundwassers, Schriftenreihe Umweltschutz, Band 7.

Adresse der Verfasser: Peter P. Angehrn, Dr. phil. nat., Hydrogeologe; Burkhard Reissner, Dr. rer. nat., Geologe; Josef Schüpbach, Dr. phil. nat., Chemiker; c/o Büro für Hydrogeologie Dr. Peter P. Angehrn AG, Kastanienweg 2, CH-6353 Weggis.

Kanalisationsabwärme – eine energiepolitische Chance

Wärmerückgewinnung aus öffentlichem Rohabwasser

Werner Peyer

Die Gemeinde Zell im zürcherischen Tösstal hat beschlossen, bei der Erschliessung des Areals Schöntal in Unterriikon neue Wege zu gehen: gesamtheitliche umweltschonende Energieerschliessung, zentrale Wärmeerzeugung sowie – als Pionierprojekt – Wärmerückgewinnung aus der öffentlichen Tösstal-Kanalisation mittels Wärmetauscher und Wärmepumpen.

Die Pilotanlage, welche von der kantonalen Energiefachstelle und dem Regierungsrat des Kantons Zürich als unterstützungswürdig befunden wurde, ist kürzlich im Rohbau fertig erstellt worden, und die Inbetriebnahme erfolgt nun schrittweise während der Winter-Heizperiode 1990/91.

Vorgeschichte und Zukunftsaussichten

Einleitend einige Ausführungen zum Thema «Wärmerückgewinnung aus dem öffentlichen Rohabwasser» aus der Sicht des Zürcher Kantonsrates Dr. Robert Chanson, Konsulent für Umweltfragen und Lehrbeauftragter für Umweltrecht an der Universität Zürich, anlässlich einer Ende 1990 durchgeführten Besichtigung der Pilotanlage im Tösstal: Abwässer aus unseren energieintensiven Haushaltungen und Betrieben enthalten viel Wärme. Die Nutzung dieser Abwärme bietet eine der vielen Möglichkeiten des häuslichen Umgangs mit Energie. Dieses Potential blieb allerdings bis heute weitgehend ungenutzt: Neben verschiedenen kleineren Anlagen, die fast ausschliesslich das private Abwasser energetisch nutzen, sind keine (grösseren) Systeme bekannt geworden, die Energie aus dem verschmutzten öffentlichen Kanalisationsabwasser gewinnen. Eine gewisse Verbreitung dagegen hat die Idee, das gereinigte Abwasser von Kläranlagen zu nutzen, gefunden.

Anstoss für die Prüfung der Abwärmenutzung von Rohabwasser gab die Sanierung des Kanalisationsnetzes im Zür-

cher Aussenquartier Höngg 1987/88. Im Zuge dieser Sanierung wurde Quell(ab)wasser und Siedlungsabwasser getrennt, was eine Erhöhung der durchschnittlichen Abwassertemperaturen erwarten liess. Gleichzeitig entstanden im Quartierzentrum einige Wärmegrossbezüger, die einen Bedarf auswiesen, der dem theoretischen Wärmepotential des Kanalisationswassers entsprach.

Die auf den von Dr. Robert Chanson ausgehenden Anstoss hin von der Stadt Zürich veranlassten Abklärungen (Studie «Rabtherm») belegten nicht nur die Machbarkeit einer solchen Wärme(rück)gewinnung, sondern auch ihr grosses Nutzungspotential (gegen 5 % des Raumwärmebedarfs der Stadt Zürich).

Aufschlussreiche Studie

Diese Studie gab auch erste Hinweise auf die Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnung aus Rohabwasser und die von seiten der Kläranlagebetreiber zu erwartenden Auflagen bezüglich der Wärmeentnahme. Leider erlaubte der schnelle Baufortschritt bei der Kanalisationssanierung in Zürich-Höngg – und die zeitraubenden «Rabtherm»-Abklä-

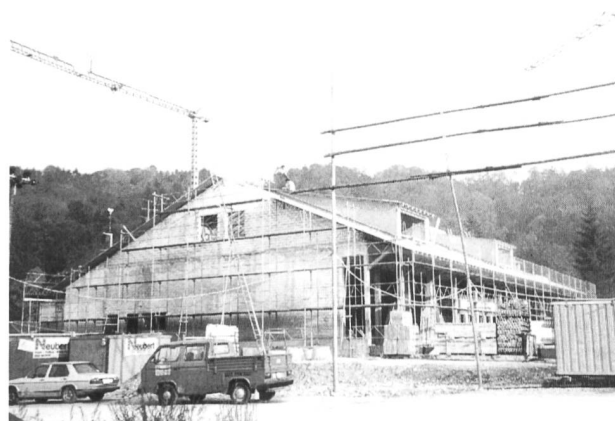


Bild 1. Rohbauansicht des neuen Werkhofes Zell-Rikon im Tösstal, in welchem sich zwei Wasserspeicher von je 19 m³ Inhalt zur Energiespeicherung der von der Gemeinde Zell genutzten Tösstal-Kanalisationsabwärme befinden. (Fotos: Werner Peyer)