

BAND/VOLUME 55, JAHRGANG/ISSUE 2004/05/06

- R. M. FLYNN, Y. HACINI, P.-A. SCHNEGG, R. COSTA & K. A. DIOMANDE: Use of Tracer Tests and Geophysical Logging to Understand Solute and Micro-organism Tracer Responses in Monitoring Wells with Long Screen Intervals in a Gravel Aquifer
Zum Verständnis des Transports von löslichen Stoffen und Mikroorganismen an durchgängig verfilterten Grundwassermessstellen in einem Kiesaquifer mittels Markierungsversuchen und Wärmeflussmessungen
- G. MALLÉN, R. TRETTIN, G. STRAUCH, T. GRISCHEK & W. NESTLER: Nutzung von $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ -Daten zur Analyse von Strömungs-, Mischungs- und Redoxprozessen bei der Bewirtschaftung von Talgrundwasserleitern
Application of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ Data for Analysis of Flow, Mixing and Redox Processes in the Management of Valley Aquifers
- C. A. RUCH, V. VASVÁRI & T. HARUM: Hydrologisches Versuchsgebiet Pöllau (Oststeiermark/Österreich) – 25 Jahre Beobachtung
Hydrological Research Basin Pöllau (Eastern Styria/Austria) – 25 Years of Observation
- T. MAYELA-TOMBA, F. EBNER & J. SCHÖN: Hydrogeological Investigations of the Ouagadougou Area (Burkina Faso) Using a Combination of Geological and Geophysical Methods
Hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet von Ougadougou (Burkina Faso) mittels einer Kombination geologischer und geophysikalischer Methoden
- G. CICHOCKI & Ht. ZOJER: Vulnerabilitätsbewertung und Risikoanalyse VURAAS für alpine Aquifer-Systeme – Testgebiet Nassfeld, Karnische Alpen
Groundwater Vulnerability and Risk Mapping with VURAAS for Alpine Aquifer Systems – Test Site Nassfeld, Carnian Alps
- R. BENISCHKE: Buchbesprechung
- G. PROBST: Buchbesprechung
- C. A. RUCH: Buchbesprechung

R. M. FLYNN, Y. HACINI, P.-A. SCHNEGG, R. COSTA & K. A. DIOMANDE: Use of Tracer Tests and Geophysical Logging to Understand Solute and Micro-organism Tracer Responses in Monitoring Wells with Long Screen Intervals in a Gravel Aquifer

Zum Verständnis des Transports von löslichen Stoffen und Mikroorganismen an durchgängig verfilterten Grundwassermessstellen in einem Kiesaquifer mittels Markierungsversuchen und Wärmeflussmessungen

Keywords: *monitoring well, well screen, tracer, fluorometer, preferential flow, gravel aquifer*

Schlüsselwörter: *Messstelle, Verfilterung, Tracer, Fluorimeter, bevorzugtes Fließen, Kiesgrundwasserleiter*

Summary

Groundwater pollution by microbiological contaminants is a widespread problem in many parts of the developing and the developed world. Field-based tracer testing provides an important means of further understanding an aquifers vulnerability to this type of contamination. However, financial constraints often limit the number of points monitored during a test, particularly when multi-level sampling systems are employed. Open boreholes/wells with long screens offer an alternative means of monitoring tracer concentrations but may suffer from the disadvantage of simultaneously sampling many different geological units. In order to test mass transport rates of conservative and microbiological contaminants in a gravel aquifer, comparative tracer tests were carried out employing solute and bacteriophage tracers. Responses were monitored in an observation well containing a 3 m long screen located 20 m down gradient of an injection well. Granulometric analyses of aquifer samples collected over the depth interval corresponding to the well screen in the observation well indicated that hydraulic conductivities varied by up to two orders of magnitude. Nonetheless solute and bacteriophage breakthrough curves generated from samples collected at different depths in the well using a peristaltic pump indicated a uniform response at the levels investigated. Subsequent solute tracer testing carried out using a mobile downhole fluorometer coupled with results of heat pulse flow meter vertical flow measurements demonstrated that tracers entered the monitoring well from a preferential flow zone no thicker than 50 cm and subsequently flowed downward inside the well, before re-entering the aquifer at the base of the screened interval. The results of this study highlight the importance of preferential flow zones in influencing both solute and microbiological tracer responses in fluvio-glacial gravels. Moreover, the distribution of tracer at the various depths monitored reflected the strong influence of the well water flow regime. Failure to visually identify the preferential zone in the borehole core illustrates some of the shortcomings of current site investigation techniques employed in sand and gravel deposits.

Zusammenfassung

Grundwasserverschmutzung durch mikrobiologische Schadstoffe stellt ein in vielen Entwicklungs- und Industrieländern verbreitetes Problem dar. Markierungsversuche sind ein geeignetes Mittel, die Anfälligkeit eines Grundwasserleiters gegenüber diesem Schadstofftyp abzuschätzen. Jedoch ist aus finanziellen Gründen die Anzahl von Beobachtungspunkten meist deutlich begrenzt, besonders wenn tiefenspezifische Probenahmesysteme verwendet werden. Alternativ können Bohrungen bzw. durchgehend verfilterte Grundwassermessstellen eingesetzt werden, mit dem Nachteil, dass der Tracerdurchgang dann nur gleichzeitig über die gesamte Filterstrecke und eventuell über mehrere geologische Einheiten erfasst werden kann. Um den Transport von löslichen und mikrobiologischen Schadstoffen in einem Kiesgrundwasserleiter zu untersuchen, wurde ein vergleichender Markierungsversuch mit löslichen Tracern und Bakteriophagen durchgeführt. Die Probenahme erfolgte an einer auf 3 m durchgängig verfilterten Grundwassermessstelle 20 m unterstromig des Eingabebrunnens. Granulometrische Analysen des Bohrgutes zeigen an, dass die hydraulische Leitfähigkeit des Grundwasserleiters entlang der Filterstrecke um bis zu zwei Größenordnungen variiert. Dennoch wurden in den Proben, die mittels einer peristaltischen Pumpe in unterschiedlicher Tiefe entnommen wurden, sowohl für die löslichen Tracer als auch für die Bakteriophagen tiefenunabhängige, einheitliche Durchgangskurven registriert. Weitere Markierungsversuche erfolgten mit löslichen Stoffen, welche in-situ mittels eines mobilen Fluorimeters entlang der Filterstrecke nachgewiesen wurden. Diese Ergebnisse belegen, in Verbindung mit Messungen des vertikalen

Wärmeinflusses, dass die Tracer die Grundwassermessstelle nur an einem begrenzten Bereich bevorzugten Fließens von nur etwa 50 cm erreichen, um dann von dort innerhalb der Verrohrung nach unten abzusinken und am unteren Ende der Verfilterung wieder in den Aquifer auszutreten. Diese Untersuchungen veranschaulichen die Bedeutung bevorzugter Fließwege für den Transport von löslichen und mikrobiologischen Tracern in fluvioglazialen Kiesen. Zudem wird deutlich, dass die vertikale Verteilung eines Tracers in unterschiedlicher Tiefe der Beobachtungsmessstelle entscheidend vom Fließverhalten innerhalb der Verrohrung abhängt. Das Manko gängiger Untersuchungsmethoden zur geologischen Charakterisierung von Sand- und Kiesablagerungen ist allerdings, dass Zonen bevorzugten Fließens nicht visuell erkennbar sind.

G. MALLÉN, R. TRETTIN, G. STRAUCH, T. GRISCHEK & W. NESTLER: Nutzung von $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ -Daten zur Analyse von Strömungs-, Mischungs- und Redoxprozessen bei der Bewirtschaftung von Talgrundwasserleitern
Application of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ Data for Analysis of Flow, Mixing and Redox Processes in the Management of Valley Aquifers

Schlüsselwörter: *Elbtalwanne, Uferfiltration, stabile Isotope, Sulfidoxidation, autotrophe Denitrifikation, Eisen(III)-Reduktion*
Keywords: *Elbe basin, river bank filtration, stable isotopes, sulphide oxidation, autotrophic denitrification, iron(III) reduction*

Zusammenfassung

In der Elbtalwanne bei Torgau ermöglichen Profile aus eng aneinandergereihten Brunnen die Beobachtung von Beschaffenheitsänderungen in Uferfiltrat und regionalem Grundwasser entlang der Fließwege zu Trinkwasserförderbrunnen. Aufgrund völliger Karbonatfreiheit des Porengrundwasserleiters unterscheiden sich die $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Werte beider Wässer deutlich voneinander und lassen erkennen, in welchen Bereichen Zumischungen von Grund- oder Sickerwasser die Uferfiltratzusammensetzung verändern und wo reines Uferfiltrat vorliegt, in dem nur in situ stattfindende Redoxprozesse Veränderungen hervorrufen. Anhand von SO_4^{2-} -, NO_3^- - und Fe(II)-Gehalten sowie $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ -Werten kann daraufhin die Abfolge von Redoxreaktionen im Uferfiltrat ermittelt werden. Damit lassen sich auch die Prozesse im landseitigen Grundwasser nachvollziehen, wo die Redoxzonen in stärkerem Maße durch landwirtschaftliche Düngung als durch Trinkwasserförderung nach unten verlagert wurden. Es wird gezeigt, dass durch erhöhte Förderleistung ausgelöste autotrophe Denitrifikation überwiegend für die Freisetzung isotopisch leichten sekundären Sulfats durch Sulfidoxidation verantwortlich ist, diese Reaktion jedoch – entgegen häufiger Lehrmeinung – so vollständig abläuft, dass dabei kaum Fe(II) freigesetzt wird. Eine erhebliche Fe(II)-Zunahme in mittlerer und unterer Aquifertiefe der gesamten Aue ist daher ausschließlich auf nachfolgende Fe(III)-Reduktion durch Sulfid zurückzuführen, obwohl bei neutralen pH-Werten kaum gelöstes Fe(III) als Elektronenakzeptor zur Verfügung stehen dürfte. Davon noch kaum beeinflusst und daher eisenärmer sind einige ^3H -arme, weit über 50 Jahre alte Grundwässer an der Quartärbasis, in denen die durch organischen Kohlenstoff bestimmte ursprüngliche Abfolge der Redoxreaktionen noch nicht von Prozessen überdeckt wird, die nach Änderung der Milieubedingungen die wesentlich reaktiveren, überwiegend an Eisen gebundenen sedimentären Sulfide als Elektronen-Donator bevorzugen.

Summary

In the Elbe basin at Torgau, profiles of close-consecutive wells allow to observe composition changes in river bank filtrate and regional groundwater along the flow paths to drinking water production wells. Due to complete absence of carbonates in the porous aquifer, the $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values of both groundwater bodies clearly differ from each other and show the border spaces in which the bank-filtrate composition is modified by admixture of groundwater or percolation water and the inner spaces with pure bank filtrate, in which changes can only be due to in-situ occurring redox processes. This

allows to elucidate the sequence of redox reactions occurring in the river bank filtrate by means of SO_4^{2-} , NO_3^- and Fe(II) concentrations and $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ values. So the processes in the landside groundwater, where the redox zones have been moved downwards by agricultural fertilization rather than by drinking water production, can be derived as well. It has shown, that autotrophic denitrification, caused by increased production rates, is predominantly responsible for the release of isotopically light secondary SO_4^{2-} by sulphide oxidation. Contrary to the frequently followed school of thought this reaction is however rather complete, so that no significant Fe(II) is released in the reaction. The considerable rise of Fe(II) concentrations in the middle and bottom aquifer depths of the whole floodplain is thus attributed to subsequent Fe(III) reduction by sulphide, although in neutral pH values dissolved Fe(III) can hardly be present as electron acceptor. Some ^3H -poor groundwaters at the Quaternary base, much older than 50 years, are still hardly influenced by this and therefore poorer in iron, because the original sequence of redox reactions, controlled by organic carbon, is as yet not replaced by processes, which favour the substantially more reactive sedimentary sulphides, predominantly bound to iron, as electron donor after modification of the environmental conditions.

C. A. RUCH, V. VASVÁRI & T. HARUM: Hydrologisches Versuchsgebiet Pöllau (Oststeiermark/Österreich) – 25 Jahre Beobachtung
Hydrological Research Basin Pöllau (Eastern Styria/Austria) – 25 Years of Observation

Stichwörter: Pöllau, Oststeiermark, Versuchsgebiet, Hydrologie, Hydrometrie, Niederschlag, Abfluss
Keywords: Pöllau, Eastern Styria, research basin, hydrology, hydrometry, precipitation, run-off

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Versuchsgebiet Pöllau, einem der längst beobachteten hydrologischen Versuchsgebiete in Österreich. Das 25-jährige Bestehen des Versuchsgebietes veranlasste die Autoren dazu, einen aktuellen Überblick über die Entstehung, die Geschichte und die kontinuierliche Beobachtung der hydrometeorologischen Elemente im Versuchsgebiet zu geben. Dabei werden die verwendeten Messinstrumente, die mit ihnen erfassten hydrologischen Daten sowie die daraus abgeleiteten Kennzahlen und somit die Charakteristik des Gebietes beschrieben. Zum Schluss wird den Lesern eine umfangreiche Bibliographie zur Verfügung gestellt. Sie beinhaltet Veröffentlichungen und ausgewählte Berichte, die über das Versuchsgebiet oder in Zusammenhang mit diesem entstanden sind.

Summary

The present publication concerns one of the oldest research catchment in Austria, the catchment Pöllau. The 25 year Jubilee is a good occasion to give a short description from its history and the actual measurement network, including instrumentation and data type, as well as some typical hydrological values. The instrumentation, the type of measured data as well as some typical hydrological values to characterise this research catchment are described. The last part is related to the numerous publications and selected reports related to the research work done in this area.

T. MAYELA-TOMBA, F. EBNER & J. SCHÖN: Hydrogeological Investigations of the Ouagadougou Area (Burkina Faso) Using a Combination of Geological and Geophysical Methods

Hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet von Ougadougou (Burkina Faso) mittels einer Kombination geologischer und geophysikalischer Methoden

Keywords: *groundwater exploration, Burkina Faso, geophysical methods, well logging, weathering profile*

Schlüsselwörter: *Grundwasserexploration, Burkina Faso, geophysikalische Verfahren, Bohrlochmessungen, Verwitterungsprofile*

Summary

Groundwater exploration is still a fundamental problem in Sahelian countries, where aquifers are mostly related to fractures within crystalline rocks. A combination of investigation methods could help to characterize the aquifer systems and to build a model which could be used for efficient aquifer investigations in similar areas. Such a model for the Ouagadougou area was developed from a combination of geology, hydrogeology, petrophysics and geophysics.

The aquifers in Ouagadougou are situated at the top of fractured igneous rocks and their weathered lateritic cover:

- The upper aquifer (A) formed by laterite is porous due to the alteration process.
- The lower aquifer (B) is formed by unconsolidated angular debris with a small amount of dispersed clay material and the top of the fractured basement rocks. The fracturing has a tectonic origin and follows the main tectonic directions as detected by aerial photo interpretation and field investigation.

Aquifer A is controlled very strongly by the variation of annual rainfall and is not protected against contamination from the surface. Therefore aquifer B is of high importance for the stable water supply of the region. Aquifer B produces the higher water quality.

With the field studies and the laboratory investigations on rock samples, a detailed characterization of the aquifer systems was possible. Four series of typical horizons including the basement rock have been distinguished.

X-ray diffraction and magnetic susceptibility measurements result in a complete weathering profile in these areas; it is made up of three parts, each characterized by its mineralogical composition and its magnetic susceptibility. These results give fundamentals for a zonation of profiles based on indication from geophysical measurements (magnetic and nuclear logs).

The lineament analysis at outcrops results in a ROSE diagram of the dominant fracture systems of the region. Additionally the aerial photo interpretation delivers the orientation of the tectonic lineaments. Combination of both methods allowed recognizing two main directions in investigated area:

- The principal dominant direction is N 50°E.
- A second clear visible direction is E 30°S.

The vertical profile was investigated by geoelectrical measurements from the surface (vertical electrical sounding) and from boreholes. They confirm clearly the 4-layer model. Fractured zones are indicated by low resistivity. The borehole measurement allows a porosity estimate. The derived porosity of aquifer B has two components: intrinsic porosity and fracture porosity which is connected to the hydraulic effective porosity. The temperature logs confirm this zone as the hydraulic active part of the profile.

Zusammenfassung

Die Grundwassererkundung ist ein großes Problem in der Sahel Zone. Durch Kombination von Methoden der Geologie, Hydrogeologie, Petrophysik und Geophysik wurde für das Gebiet um Ouagadougou/Burkina Faso ein Modell zur Grundwassererkundung entwickelt.

Die Aquifere in diesem Bereich werden von porösen Lateriten (Aquifer A) und von kantigem, geringfügig von Ton durchsetztem kantigem Gesteinsdetritus gebildet, der sich unmittelbar über dem aus geklüfteten magmatischen Gesteinen bestehenden präkambrischen Basement (Aquifer B)

befindet. Die Mächtigkeit der lateritischen Verwitterungsbildungen beträgt im Durchschnitt zwischen 10 und 30 m.

Strukturaufnahmen an Aufschlüssen und Luftbildauswertungen zeigen, dass das Kluft-/Störungssystem durch zwei Hauptrichtungen (N 50°E, E 30°S) dominiert wird. Röntgendiffraktometer- und petrophysikalische Gesteinsuntersuchungen ermöglichen eine detaillierte Gliederung des Verwitterungsprofils und Charakterisierung beider Aquifere. Aquifer B besitzt eine größere Bedeutung als Aquifer A. Er ist hydraulisch gespannt und durch die Überlagerung einer saprolitischen Tonzone vor Obertageeinflüssen und Kontamination geschützt.

Mit geoelektrischen Feldmessungen (geoelektrische Tiefensondierungen, Widerstandsmessungen in Bohrungen) konnte das 4-Schichten-Modell verifiziert werden. Aus Laboruntersuchungen abgeleitete Zusammenhänge zwischen Formationsfaktor und Porosität ermöglichten schließlich eine Porositätsabschätzung für den Aquifer B. Es zeigt sich, dass die Porosität aus zwei Anteilen (Matrix- und Kluftporosität) zusammengesetzt ist, wobei nur der kluftgebundene Anteil von ca. 10 % hydraulisch wirksam ist.

Mit den geoelektrischen Bohrlochmessungen und den Oberflächenmessungen ist die Ableitung eines geologisch-geoelektrischen Modells möglich.

Die durchgeführten Untersuchungen haben hinsichtlich der optimalen Positionierung von Bohrungen zum Erfolg geführt. In ihrer Abfolge von einer tektonischen Übersichtsanalyse, mineralogisch/petrologischen Bearbeitung von Verwitterungsprofilen, über geoelektrische Profilmessungen bis zu Sondierungen stellen sie zugleich eine auf geologisch/klimatologisch vergleichbare Gebiete anwendbare Methodik mit realisierbarem Aufwand dar.

G. CICHOCKI & Ht. ZOJER: Vulnerabilitätsbewertung und Risikoanalyse VURAAS für alpine Aquifer-Systeme – Testgebiet Nassfeld, Karnische Alpen
Groundwater Vulnerability and Risk Mapping with VURAAS for Alpine Aquifer Systems – Test Site Nassfeld, Carnian Alps

Schlüsselwörter: *Vulnerabilitätskartierung, Risikoanalyse, Berechnungsversuche, Tourismus im Hochgebirge, Kunstschnee*

Keywords: *vulnerability mapping, risk assessment, rain tests, tourism in alpine regions, man made snow*

Zusammenfassung

Grundwasserproblematik

Der ständig ansteigende Tourismus im Hochgebirge ist eine ständig ansteigende Bedrohung für das alpine Grundwasser. Es stellt sich somit die Frage, inwieweit diese touristische Landnutzung mit nachhaltigem Grundwasser- und Quellschutz vereinbar ist. Die Schiregion Nassfeld-Hermagor hat sich in den letzten 15 Jahren stark vergrößert und wird gegenwärtig noch weiter ausgebaut. Neue Liftanlagen, Pistenverbreiterungen und Pistenplanierungen sowie infrastrukturelle Maßnahmen sind bewilligt und werden demnächst realisiert.

Diese Naturveränderungen erhöhen die Gefahr einer Verunreinigung des Grundwassers in den Einzugsgebieten mit vulnerabler (verletzbarer) Grundwasserüberdeckung. Derzeit wird der Trinkwasserbedarf am Nassfeld durch vor Ort gefasste Quellen und Quellgruppen gedeckt. Für den Bedarf an Nutzwasser (vor allem für die Kunstschneeproduktion) muss bis zu 50 % der benötigten Wassermenge aus dem Tal zu den Verbraucherstellen gepumpt werden. Die Region Nassfeld bietet sich durch die spezielle Wasserproblematik gut an, die rezenten und künftig möglichen Auswirkungen von Gefährdungspotentialen auf das Grundwasser zu studieren und infolge ein Schutzkonzept zum nachhaltigen Quellschutz zu entwickeln.

Forschungsprojekt am Nassfeld

In einem dreijährigen Forschungsprojekt wurde im Testgebiet um das Karstmassiv Trogkofel – Zweikofel ein Modell zur Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse entwickelt: Das Modell „VURAAS“ ist ein Akronym für **V**ulnerabilitäts- und **R**isikoanalyse in **A**lpinen **A**quifersystemen. Als Testgebiet wurde das Karstmassiv am Nassfeld um die Gebirgskette Trogkofel – Alpenkofel – Zweikofel mit einer Gebietsfläche von ca. 8 km² gewählt.

Das Ergebnis von VURAAS ist eine Risikokarte, die Bereiche mit unterschiedlichem Risiko bezüglich eines Schadstoffeintrages darstellt. Die Risikokarte dient dem Landplaner, die Standortfrage für beabsichtigte (Bau-)Maßnahmen in einem Konsens zwischen der Landnutzung (für den Tourismus und die Almwirtschaft) und dem Quellschutz leichter zu klären. Die Grundlage dieser Risikokarte sind die Vulnerabilitätskarte und die Gefahrenkarte.

Die Basis der Vulnerabilitätsbewertung ist die Systembeschreibung anhand der hydrogeologischen Bewertung der drei Kernfaktoren des Konzeptes

- Input [P],
- Infiltration [I],
- Exfiltration [E].

Die drei Kernfaktoren werden unter dem geologischen und hydrologischen Aspekt beurteilt. Für jeden dieser Kernfaktoren lassen sich Landschaftsbereiche in einer Karte mit fünf unterscheidbaren Klassen der Vulnerabilität (oder „Verletzbarkeit“) darstellen.

Zu den geologischen Untersuchungen werden hier Kartierungen und Fernerkundungen an der Erdoberfläche gezählt, wie die Kartierung des Bodens, des Lockergesteins, der Geologie und der Tektonik.

Die hydrologischen Untersuchungen lassen sich nach quantitativen und qualitativen Gesichtspunkten gliedern. Sie unterteilen sich in die Beschreibung und Auswertung des Wassertransportes und jene des Stofftransportes. Innovative Bestandteile bei den hydrologischen Auswertungen zum Wassertransport waren:

- Berechnungsversuche auf Standorten mit Schipiste und Almweide (und Literaturlauswertungen),
- Bestimmung des Abflusskoeffizienten bei unterschiedlicher Landnutzung,
- Untersuchungen zum Kunstschnee und seine Auswirkungen auf den Abfluss,
- Abflussanalysen bei Hochwasserereignissen.

Bewertung der Vulnerabilität über das Rating- und Weighting-System

Ist die Vulnerabilität des hydrogeologischen Systems gegenüber Schadstoffeinträgen im gesamten Gebiet gleich groß oder lassen sich Flächen mit relativ zueinander unterschiedlicher Verletzbarkeit abgrenzen?

Die Vulnerabilitätskarte für das Testgebiet Nassfeld zeigt als Antwort darauf vier unterscheidbare Klassen der Vulnerabilität im relativen Vergleich zueinander. Absolut messen lässt sich die Vulnerabilität nicht. Hier die Vulnerabilitätsbewertung stark gekürzt:

Die drei Kernfaktoren werden über mehrere Bewertungsparameter charakterisiert, denen bestimmte Werte (Rating) und Gewichtungen (Weighting) aus vorgegebenen Tabellen mit einem definierten Algorithmus zugeordnet werden. Ein niedriges Rating bedeutet immer eine hohe Vulnerabilität und umgekehrt steht eine hohe Punktezah für eine geringe Vulnerabilität. Nach flächenhafter Darstellung der Bewertungsparameter im GIS wird für jeden Bewertungsparameter eine Lage (Layer) produziert. Danach werden die einzelnen Layer übereinandergelegt. Dabei wird das Rating und Weighting sowohl der einzelnen Flächen eines Layers als auch der Verschnittfläche mehrerer übereinandergelegter Layer in einer Attributtabelle im GIS eingegeben bzw. neu berechnet. Die Gesamtpunkte mehrerer übereinander gelegter Layer werden um den Wert 1 generalisiert, um das Rating möglichst einfach und gering zu halten. Die generalisierten Punkte werden in fünf Klassen eingeteilt, die im GIS mit fünf unterscheidbaren Farben dargestellt werden.

Bewertung der Gefahren (Hazards) über den Hazard-Index (HI)

Wo und in welchem Ausmaß treten im Untersuchungsgebiet Gefahren für das Grundwasser auf, durch Schadstoffe verschmutzt zu werden? Diese Frage wird durch die Bewertung aller Gefahren („Hazards“) im Gebiet beantwortet.

Der Gefahrenbewertung geht eine Erhebung und Kartierung von punktuellen, linearen und flächenhaften Hazards im Untersuchungsgebiet voraus. Eine Hazard-Liste der COST Action 620 wurde dazu verwendet.

Diese Hazards werden nach ihrem Gefährdungspotential anhand eines Hazard-Index (HI) eingestuft. Dieser HI wird in einem siebenstufigen Arbeitsplan berechnet und die Art der Hazards in der Gefahrenkarte mit einem definierten Symbol dargestellt. So lassen sich die Hazards in fünf Klassen mit unterschiedlichem Ausmaß (HI) in fünf verschiedenen Farben in der Gefahrenkarte schnell erkennen. Im Testgebiet treten punktuelle, lineare und flächenhafte Gefahren der HI-Klassen 4 und 5 einer fünfteiligen Skala auf.

Bewertung des Risikos über die Vulnerabilität und Gefahren im Testgebiet

Wo entstehen im Untersuchungsgebiet Risikoflächen und wie groß ist das Risiko eines Schadstoffeintrages in das Grundwasser? Die Risikokarte veranschaulicht jene Bereiche, die aufgrund eines (vor-)gegebenen Hazards und der intrinsischen Vulnerabilität der betroffenen Flächen einem gewissen Risiko ausgesetzt sind.

Die Grundlage zur Risikobewertung bildet die Vulnerabilitätskarte, die bis zu fünf Klassen mit unterscheidbarer „Verletzbarkeit“ in Teilflächen anzeigt. Darüber wird die Gefahrenkarte gelegt, die zusätzlich zur Lage und Gefährlichkeit der Hazards auch die wahrscheinlichste Fließrichtung des Oberflächenabflusses in Form von farbigen Bahnlinien (in der Farbe des HI) markiert. Die daraus resultierende Risikokarte zeigt nun die Risikoflächen an, die durch die Hazards samt den Bahnlinien der von der Gefahrenquelle ausgehenden Oberflächenwässer und durch die Vulnerabilität in diesen Bereichen bestehen.

Summary

Current problems in groundwater

The consistently growing tourism in high alpine regions is a constantly growing threat to alpine groundwater. Now the question is, to what extent is the land use for tourism and the sustainable protection of groundwater reconcilable. The skiing region Nassfeld-Hermagor has been developed especially during the last 15 years and new projects of expansion are still going on: New ski lifts and extensions of ski slopes with levelling are actually built.

Consequently this change of natural settings endangers the groundwater being contaminated within catchment areas of vulnerable protective cover. The drinking water supply for the Nassfeld area is met from springs occurring in the surrounding. About 50 % of the demand for water used for the production of man made snow have to be satisfied by pumping up from the valley to the sites of snow production. The region Nassfeld-Hermagor lends itself to study and develop a model for water protection which focuses on recent and future risks of groundwater contamination.

Research project on Nassfeld

Within a scientific project that started in 2000 the model “VURAAS” (**V**ulnerability and **R**isk assessment for **A**lpine **A**quifer **S**ystems) was developed. A test site of 8 km² was selected in the Nassfeld/Carnian Alps, consisting of the karst massif in the mountain range of Trogkofel – Alpenkofel – Zweikofel.

The final result of VURAAS is the risk map which shows areas of varying potential groundwater contamination risks. The risk map is a useful tool for decision makers and land planners, enabling respect of vulnerable landscapes and it also allows them to make use of less vulnerable parts of the area for tourism expansion. The map of vulnerability and the map of hazards are the basis for the risk map.

The concept for mapping the vulnerability includes three core factors which are described by hydrogeological parameters:

- input [P],
- infiltration [I],
- exfiltration [E].

Geological and hydrological investigations were necessary for the assessment of the three core factors. The results are represented in a map showing five different areas with distinguishable vulnerability of potential groundwater contamination.

The geological investigations include the mapping of soil, the unconsolidated rock cover and the geology and tectonics. The hydrological investigation comprises considerations on water quantity and water quality. This work concentrates on the hydrological, hydrochemical and geological aspect of the VURAAS concept. It includes innovative elements such as:

- evaluation of rain tests on ski slopes and alpine pastures (and from literature),
- calculation of runoff coefficients in areas with different land use,
- effects of man made snow on the runoff in brooks,
- analyses of flood events and recession curves.

Vulnerability assessment based on rating and weighting system

The question is if groundwater vulnerability is the same within the whole area or if different degrees of vulnerability can be distinguished in the site.

In reply to this question the map of vulnerability shows four different degrees of a five sector relatively scale of vulnerability within the Nassfeld test site. It is not possible to measure the vulnerability in an absolute way. The assessment scheme of VURAAS is summarised as follows:

The three core factors are characterised by several assessment parameters using a rating and weighting system with a proper algorithm. A low rating means a high vulnerability and vice versa. The assessment parameters are illustrated on a map using GIS layers for each parameter. Afterwards they are combined by laying one layer on top of the other. The rating and weighting of each single polygon of a layer and the new clipped polygon of two combined layers are calculated in the GIS attribute table. The total rating of combined layers is generalised around the value 1 to keep the rating simple and low. The generalised values are distinguished by five different classes and are illustrated in GIS with five different colours.

Hazard assessment based on hazard index (HI)

Where and to what extent do hazards occur within the test site being capable to contaminate the groundwater? The assessment of all possible hazards gives the answer:

The type of hazards within the Nassfeld test site were identified and evaluated according to the inventory of hazards set up by COST Action 620. In this time 15 different kinds of point, line and polygon hazards were distinguished. The harmfulness of the hazards was determined by the calculation of the Hazard Index (HI) using the seven-step working plan proposed by COST Action 620. Each hazard was illustrated on the hazard map with a proper symbol and each HI class with a proper colour. In the Nassfeld test site point, linear and polygon hazards with the HI 4 and 5 of a five sector scale were drawn on the hazard map.

Risk assessment based on vulnerability and hazards in test site

Where do we have areas with higher risk in the test site and do we have particularly hazardous risk from which groundwater is contaminated? The risk map shows areas with higher risk due to the hazards which occur with certain amount and harmfulness and due to the degree of vulnerability of the area.

The basis for the assessment of the risk is the map of vulnerability which contains up to five different vulnerability classes. The map of hazards is laid on top of the map of vulnerability and additionally the flow paths of surface runoff in the colour of the HI are drawn on the map. The flow paths indicate the most likely direction of surface water which can be contaminated. The resulting risk map shows the kind of hazards and the probability harmfulness of contaminants expressed by the hazard index (HI) within the test site including the direction of surface flow from the points of release of contaminants and in the background the vulnerability of the area around the hazards.