Stephan Hannappel, Elzbieta Rejman-Rasinska, Klaus-Dieter Fichte und Heinz Mundthal

Grenzüberschreitendes Gewässer-Monitoring im Anstrombereich des Stettiner Haffs und der Oder in der Euroregion Pomerania

Transboundary water monitoring in the catchment of the Stettin lagoon and the River Oder in the Euroregion Pomerania

Im Rahmen eines INTERREG-III A-Projektes wurde im Zeitraum 2004 bis 2008 ein umfassender Kenntnisstand zum Zustand der oberirdischen Gewässer und des Grundwassers im deutsch-polnischen Grenzgebiet erarbeitet. Dieser wird seitens der zuständigen Fachbehörden in Deutschland und Polen zukünftig dafür genutzt, alle wasserwirtschaftlich und ökologisch relevanten Aspekte des Gewässerhaushaltes bzw. der -bewirtschaftung unter Nutzung der geologisch-hydrogeologischen Zusammenhänge fachlich zu bearbeiten. Die recherchierten, aggregierten und fachlich aufbereiteten Daten wurden bei den administrativ zuständigen Institutionen des hoheitlich betriebenen Gewässerschutzes in Deutschland und Polen auf den entsprechenden Anlagen digital implementiert. Mit dem derzeit betriebenen – in Defizitgebieten z.T. neu eingerichteten – Messnetz von 101 Messstellen zur Überwachung des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer im 1549 km² großen Anstrombereich des Stettiner Haffs auf beiden Seiten der Grenze ist eine gute Grundlage für eine Verifizierung des Kenntnisstandes auf Basis der zu erhebenden Daten möglich. Dies wird zukünftig in turnusmäßigen zeitlichen Abständen durchgeführt. Zudem werden die Öffentlichkeit und die zuständigen Fachgremien in festen Abständen über den Zustand der Gewässer informiert, wie auch von der EU-Wasserrahmenrichtlinie gefordert.

Schlagwörter: Gewässer-Monitoring, grenzüberschreitende Kooperation, Stettiner Haff, Wasserrahmenrichtlinie

With an INTERREG-III A-project comprehensive information on the status of groundwater and surface waters was gathered in the German-Polish boundary region between 2004 and 2008. These data will benefit the competent authorities in Germany and Poland in evaluating the ecologic and water-management aspects of the water balance from a geological and hydro-geological perspective. The institutions responsible for the protection of waters in both countries have this digital information now accessible in their IT systems. The currently operated network of 101 groundwater and surface-water monitoring stations in the catchment area of the Stettin lagoon (1.549 km²), of which some were newly established, make it possible to verify and update the information by measured data in regular intervals in the future. Additionally, the general public and the administrative authorities can be informed about the status of the water resources, as the European Water Framework Directive demands.

Keywords: European Water Framework Directive, groundwater monitoring, Stettin lagoon, surface water monitoring, transboundary cooperation

1 Einleitung

Unter der Schirmherrschaft der „Gemeinsamen Umweltkommission Mecklenburg-Vorpommern und Wojewodschaft Westpommern“ (GUK) wurde von 2004 bis 2008 der Aufbau eines grenzüberschreitenden Gewässermonitorings in der Grenzregion südlich des Stettiner Haffs vorgenommen. Zur Sicherung der deutsch-polnischen Zusammenarbeit wurde eine deutsch-polnische Unterarbeitsgruppe der GUK mit Vertretern der fachlich zuständigen staatlichen Institutionen berufen. Auftragnehmer der Arbeiten waren auf deutscher Seite die HYDOR Consult GmbH aus Berlin und auf polnischer Seite das Staatliche Geologische Institut, Pommersche Abteilung aus Stettin.

Das Grundwasser ist im deutsch-polnischen Grenzgebiet im Anstrombereich des Stettiner Haffs, also der Oder- und der Ueckermündung, für die Bevölkerung die wesentliche Quelle der Trinkwasserversorgung, zu deren Schutz länderübergreifende Maßnahmen notwendig sind. Kenntnisse über Wasservorkommen dienen

- der Bewahrung des Naturraumes und der Gewässer als integrale Elemente zur Aufrechterhaltung der natürlichen Kreislauf- und Regenerationsprozesse i.S. der Daseinsvorsorge,
- der Gewährleistung der gegenwärtigen und zukünftigen Gewässernutzungen bei einer für den Naturraum verträglichen Gestaltung selektiver und multivalenter Nutzungsansprüche.

Entscheidungsfelder im Rahmen der landes- und kreisweiten sowie anderer Fachplanungen können nur dann qualifiziert und mit ökonomischer Verantwortung einer befriedigenden Lösung zugeführt werden, wenn wasserwirtschaftliche Belange hinreichend berücksichtigt werden und die in Form eines hydrologischen Katasters zu schaffende Datenbasis zuverlässige Aussagen zu liefern imstande ist. Die einheitliche Auswertung der bisher separat in Deutschland zumeist durch die jeweiligen Monitoringprogramme der Länder (LUNG 2008) bzw. in Polen national einheitlich erhobenen wasserwirtschaftlich relevanten Daten und Informationen für den grenznahen Bereich wurde als erforderlich angesehen, um die Anforderungen der in beiden Ländern einheitlich geltenden EU-Wasserrahmen- und Grundwasserrichtlinie erfüllen zu können.

2 Zielstellung

Ziel des Projektes war es, die den Wasserhaushalt in der Region beeinflussenden Faktoren mit folgenden Prämissen zu erfassen:

1. Gewährleistung einer aktuellen Übersicht zum Zustand der Gewässer (z.B. Einfluss der klimatischen Verhältnisse auf den regionalen Wasserhaushalt, Verhalten der Grundwasserstände, Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit),
2. Schaffung naturräumlich definierter Grundlagen (z.B. zur Fixierung von Referenzwerten der Grundwasserstände für die Zwecke der Bewirtschaftung und Nutzung der Grundwasservorräte),
3. Bereitstellung zeitlich und räumlich definierter Bewertungsgrundlagen für unterirdische Einzugsgebiete als Grundlage für den Nachweis möglicher Trendentwicklungen des Grundwasserdargebotes,
4. Räumliche Verdichtung der Informationen in hydrodynamisch definierten Einzugsgebieten (z.B. Erarbeitung hydrogeologischer Modelle),
5. Bereitstellung gewässerkundlicher Grundlagendaten für die Zwecke wasserrechtlicher Entscheidungen und der Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen (z.B. Bemessung von Trinkwasserschutzzonen, wasserrechtliche Erlaubnisse).

Das Monitoringkonzept erfasst mittels eines dynamischen Modells alle den Wasserhaushalt beeinflussenden Faktoren. Die Form des Konzeptes entspricht derjenigen eines digitalen „Katasters“,

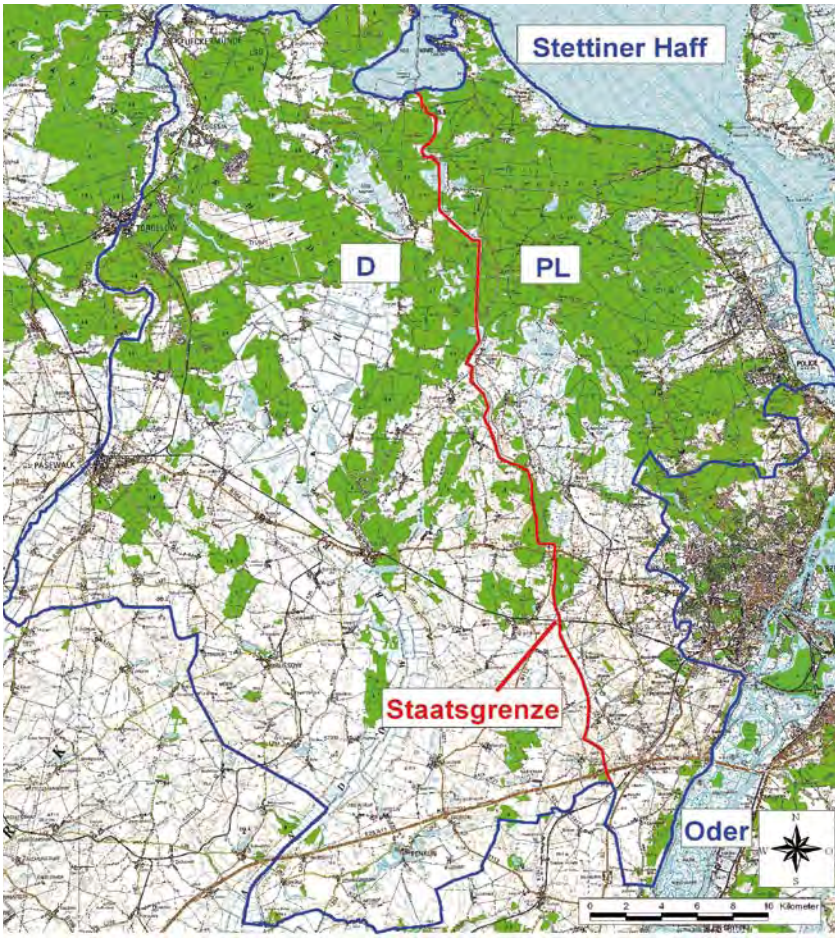

Abbildung 1
Grenzüberschreitendes Untersuchungsgebiet (blaue Linie) innerhalb des Anstromgebietes des Stettiner Haffs
Transboundary study area (blue line) within the catchment of the Stettin lagoon

Tabelle 1
Übersicht zu den im Rahmen des Projektes in Deutschland und Polen bearbeiteten Fachthemen
Overview of the topics in the German-Polish project

Bezeichnung des Fachthemas	Bearbeitung in:
Bestandsaufnahme und Datenrecherche	D & PL
Datenbank- und GIS-Projekterstellung	D & PL
Geologische Übersichtskartierung	D & PL
Dokumentation des geologischen und wasserwirtschaftlichen Aufschlussbestandes	D & PL
Vor-Ort-Überprüfung Grundwasseraufschlüsse und Messstellenneubau	D (2004) & PL (2007)
Erarbeitung grenzüberschreitender geologisch-hydrogeologischer Schnittdarstellungen	D & PL
Aggregierung digitales Geländehöhenmodell	D & PL
Klimatische Übersicht	D & PL
Amtlich ausgewiesene Schutzgebiete	D & PL
Grundwasserdynamik	D & PL
Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung	nur deutsche Seite
Flurabstand des Grundwassers	nur deutsche Seite
Erarbeitung digitaler Schichtlagerungskarten hydrostratigrafischer Einheiten	nur deutsche Seite
Simulations- und Berechnungsmodelle zur Bemessung von Wasserschutzgebieten	nur deutsche Seite
Regionalisierung von Konzentrationen zu Parametern der Grundwasserbeschaffenheit	nur deutsche Seite
Verschmutzungsempfindlichkeit des oberflächennahen Grundwassers	D & PL
Erarbeitung eines grenzüberschreitenden Monitoring-Planes der Gewässer	D & PL

das alle vorhandenen Informationen in einer GIS-bezogenen Version bündelt, mit der die beteiligten Institutionen auch zukünftig arbeiten bzw. es fortschreiben können.

3 Struktur des Projektes

Aufgrund unterschiedlicher Interreg-Förderungsphasen wurde das Projekt nicht komplett zeit- und inhaltsgleich in beiden Ländern durchgeführt. Auf der deutschen Seite begann die fachliche Bearbeitung im Jahr 2004 und reichte bis 2007 (HANNAPPEL et al. 2007, HYDOR 2007). Auf der polnischen Seite begann sie hingegen erst 2006 und dauerte bis 2008 (PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY 2008). Dementsprechend konnten während der zwei Jahre dauernden gemeinsamen Bearbeitungsphase nicht alle Dokumente innerhalb des Katasters grenzüberschreitend erstellt werden. Tabelle 1 gibt hierzu eine themenbezogene Übersicht, in Kapitel 5 werden einige dieser Themen exemplarisch vorgestellt.

Während des gesamten Projektzeitraumes von 2004 bis 2008 wurden alle inhaltlichen Arbeiten im Rahmen der o.g. Unterarbeitsgruppe während turnusmäßig stattfindender Sitzungen fachlich begleitet und eine kontinuierliche Information der jeweils anderen Seite gewährleistet.

4 Lage des grenzüberschreitenden Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet (s. Abb. 1) ist eine komplett glazial geprägte Landschaft mit hoher naturräumlicher Variabilität. Auf der deutschen Seite umfasst es eine Fläche von 1029 km², auf polnischer von 520 km², insgesamt also 1549 km².

Es gehört im Norden zur Ueckermünder Heide und im Süden zum Rückland der Seenplatte. Als das Eis von der Rosenthaler Staffel, der letzten Eisrandlage des jüngsten Vereisungsstadiums der Weichsel-Kaltzeit, etwa bis zur Insel Usedom zurückgeschmolzen war, sammelten sich in der älteren und jüngeren Dryaszeit die Schmelzwässer im sog. Haffstausee, der sich über das heutige Oderhaff weiter nach Süden erstreckte. In diesem See wurden im Raum Ueckermünde-Friedland Beckensedimente ablagert, Uferterrassen weisen auf den später fallenden Seespiegel hin. Das gesamte Flachland des Niederungsbereiches von Ueckermünde, Anklam und Pasewalk stellt den Boden dieses ehemaligen Haffstausees dar und wird von dessen sandig-tonigen Sedimenten unterlagert. Der südliche Teil ist durch den glazialen Formenschatz in Bezug auf Reliefenergie und Kuppigkeit der Landschaft stärker geprägt. Mit Ausnahme inselartiger Vorkommen – z.B. südöstlich von Pasewalk, nördlich von Grambow und Nadrensee – ist jedoch der Waldbestand hier gegenüber der landwirtschaftlichen Nutzung stark zurückgedrängt.

Auf der deutschen Seite liegt das Gebiet komplett innerhalb des Landkreises Uecker-Randow und wird von der Uecker (an der Westgrenze) und der ihr zufließenden Randow entwässert. Auf der polnischen Seite reicht das Gebiet bis an die Oder heran. Die Staatsgrenze überquert drei grenzüberschreitende Grundwasserkörper. In der Mitte dieses Gebietes liegt die Stadt Stettin, die das Wasser von zwei dieser Speicher sowohl über kommunale als auch mehrere industrielle Fassungen nutzt. Mengenmäßig ist die Situation hier vorteilhaft. Das Grundwassereinzugsgebiet liegt auf der Wasserscheide der Einzugsbereiche der Flüsse Uecker und Oder teilweise in Polen, größtenteils in Deutschland. Grundwasser fließt von der Grenze zur Oder. Südwestlich von Stettin, entlang der Staatsgrenze, gibt es wegen der dörflichen Streusiedlungen keine größeren Wasserfassungen.

5 Arbeitsetappen im Zeitraum von 2004 bis 2007

5.1 Bestandsaufnahme, Datenrecherche, Datenbank- sowie GIS-Projekterstellung

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurde ein umfassender Datenbestand zu den einzelnen Themen recherchiert und in einer MS-Access-basierten Projektdatenbank sowie einem GIS-ArcView-Projekt abgelegt. Die Datenbank ergab einen hydrogeologisch aussagekräftigen Bestand, auf Grundlage dessen wasserwirtschaftliche Fragestellungen zukünftig beantwortet werden können.

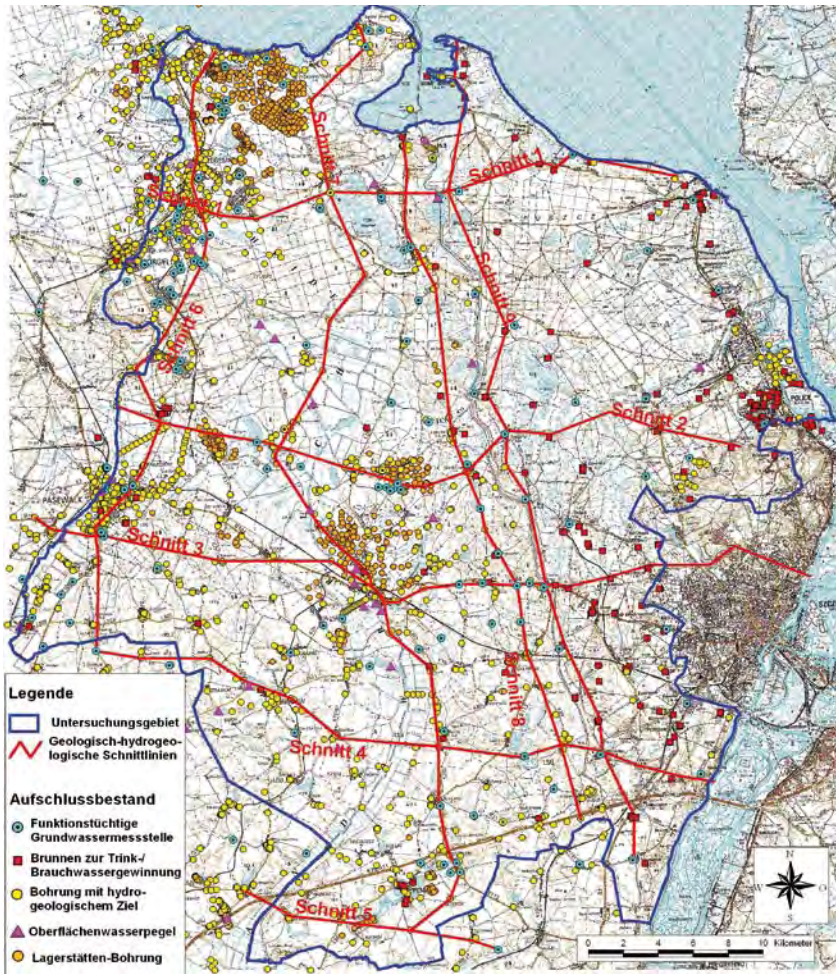

Abbildung 2
Dokumentationskarte zum digital verfügbaren geologisch-hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen Aufschlussbestand
Map of the available digital information on geology, hydro-geology, and water management

Abbildung 2 dokumentiert den geologisch-hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen, digital verfügbaren Aufschlussbestand zusammen mit dem Verlauf von neun vernetzten geologisch-hydrogeologischen Schnittlinien, von denen vier Ost-West-Schnitte grenzüberschreitend verlaufen und in Form digital verfügbarer GeODin-Daten vorhanden sind.

Als „funktionstüchtig“ sind im deutschen Teil 124, im polnischen Teil 25 Grundwassermessstellen bekannt. Der große Unterschied erklärt sich durch die in Polen bisher nicht komplett durchgeführten Arbeiten, so dass zu erwarten ist, dass sich diese Anzahl noch erhöht. Daten zu weiteren Bohrungen liegen in Polen an 130 Standorten nördlich von Stettin und in Police vor. Hierbei handelt es sich um lokale Sondermaßnahmen mit hydrogeologischem Bezug (z.B. Altlastenuntersuchungen), bei denen entsprechende Aufschlüsse geschaffen worden sind. In Deutschland entstammen die dargestellten 2481 Aufschlüsse der GeODin-Datenbank des Geologischen Dienstes. Es sind die über Jahrzehnte angelegten hydrogeologischen Aufschlüsse der Erkundungsarbeiten. Ergänzt wurden sie durch Daten zu Aufschlüssen, die im Rahmen des Projektes recherchiert und der Projektbohrungsdatenbank hinzugefügt wurden (Altlastenaufschlüsse, Vorfeldmessstellen usw.).

An insgesamt 41 Standorten werden im deutschen Teil derzeit Daten zu den oberirdischen Gewässern erhoben. Überwiegend wird der Wasserstand in den Gewässern gemessen, untergeordnet auch der Durchfluss. Es handelt sich z.T. um Wehre und Sohlgleiten. In Polen werden derzeit nur an einem Standort Daten zu den oberirdischen Gewässern regelmäßig erhoben. Lagerstättenbohrungen in Deutschland befinden sich vorwiegend bei der bedeutenden Ton- und Kalk-Lagerstätte Löcknitz. Es sind insgesamt 934 Aufschlüsse, die entweder nicht als Messstellen ausgebaut worden waren, heute im Gelände nicht mehr existieren oder als Grundwassermessstellen nicht mehr funktionstüchtig sind.

An 197 Standorten in Polen gibt es Informationen zu Anlagen der Trink- und Brauchwassergewinnung. Es handelt sich zumeist um lokale und oftmals privat oder kleingewerblich genutzte Anlagen. Oftmals liegen jedoch keine ausreichenden Stamm- bzw. Aufschlussdaten vor. Diese Anlagen werden nicht regelmäßig überwacht. Aus dem deutschen Teil des Untersuchungsgebietes sind in der Karte an 48 Standorten sog. „Hausbrunnen“, die für die dezentrale Trinkwassergewinnung genutzt werden, eingetragen. Hierzu liegen Daten des Gesundheitsamtes zur hygienischen Überwachung vor. Es handelt sich überwiegend um flach ausgebaute Wassergewinnungsanlagen. Das Parameterspektrum umfasst oftmals nur bakteriologische Parameter oder Stoffe wie Nitrat, Eisen und Mangan.

5.2 Erarbeitung geologisch-hydrogeologischer Schnitte

Insgesamt liegen neun miteinander vernetzte Schnittdarstellungen vor (zur Lage s. Abb. 2). Die Schnitte wurden mit Hilfe des Programmsystems GeODin digital unter Nutzung des dort integrierten Moduls „Profilschnitt“ aus der Gesamtheit der zur Verfügung stehenden Bohrungen erstellt. Die hydrogeologischen Schnitte wurden zu-

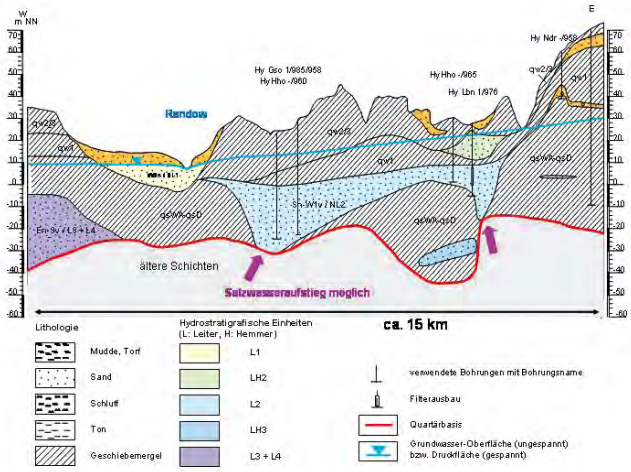

Abbildung 3
Ausschnitt aus einem West-Ost verlaufenden geologisch-hydrogeologischen Schnitt auf der deutschen Seite des Untersuchungsgebietes
Detail from a geologic, hydro-geologic cross-section from west to east on the German side of the study area

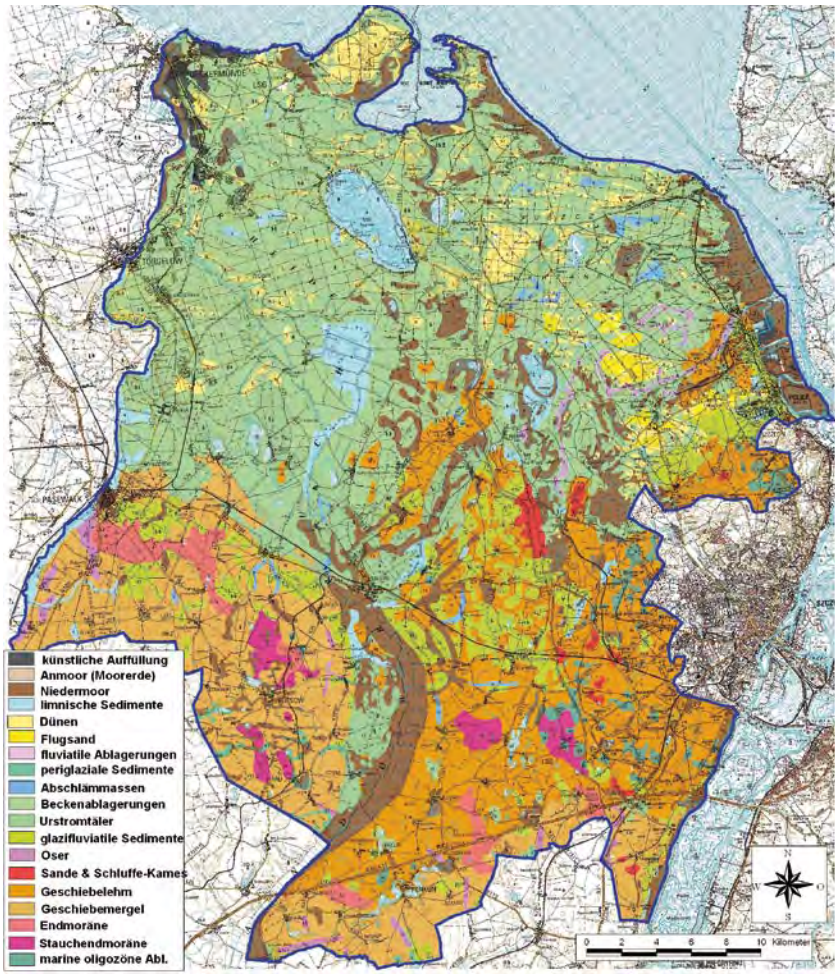

Abbildung 4
Geologische Übersichtskarte des grenzüberschreitenden Untersuchungsgebietes
Geological overview map of the transboundary study area

nächst anhand der geologischen (lithologischen und stratigrafischen) Informationen der Bohrungen sowie der Kartenunterlagen erstellt. Enthielten die Bohrungen stratigrafische Angaben, wurden diese als Primärquellen verwendet; nur im Falle von fehlenden Stratifizierungen in den Schichtenverzeichnissen wurden Informationen aus den Karten ergänzend herangezogen. Für die Bereiche zwischen den Bohrungen hingegen lieferten die Karten oftmals wertvolle Informationen zur Konstruktion der Schnitte.

Die unter den geologischen Aspekten vorgenommene Regionalisierung wurde anschließend um hydrogeologische Zuordnungen der einzelnen Schichtglieder erweitert, so dass es sich im Ergebnis der Bearbeitung um geologisch-hydrogeologische Schnitte handelt. Diese Zuordnung orientiert sich an den in Norddeutschland länderübergreifend abgestimmten hydrostratigrafischen Einheiten (MANHENKE et al. 2001). Zur besseren Erkennung der hydrogeologischen Informationen in den Schnitten sind die Grundwasserleiter jeweils farbig markiert; die grundwasserhemmenden Schichten sind mit schwarzen Signaturen gekennzeichnet und im Original 50fach überhöht. Für die Erstellung der Schnitte wurde vorab eine deutsch-polnische Generallegende erstellt. Die mit einem „L" vorangestellten hydrostratigrafischen Einheiten markieren Grundwasserleiter innerhalb von Grundmoränen (z.B. „LH2" für Leiter im Hemmerkomplex 2, also weichselzeitliche Nachschüttsande, eingelagert in zwei Moränenvorstößen des Weichseleises). Abbildung 3 dokumentiert einen in Deutschland liegenden Ausschnitt des insgesamt 35 km langen Schnittes 4.

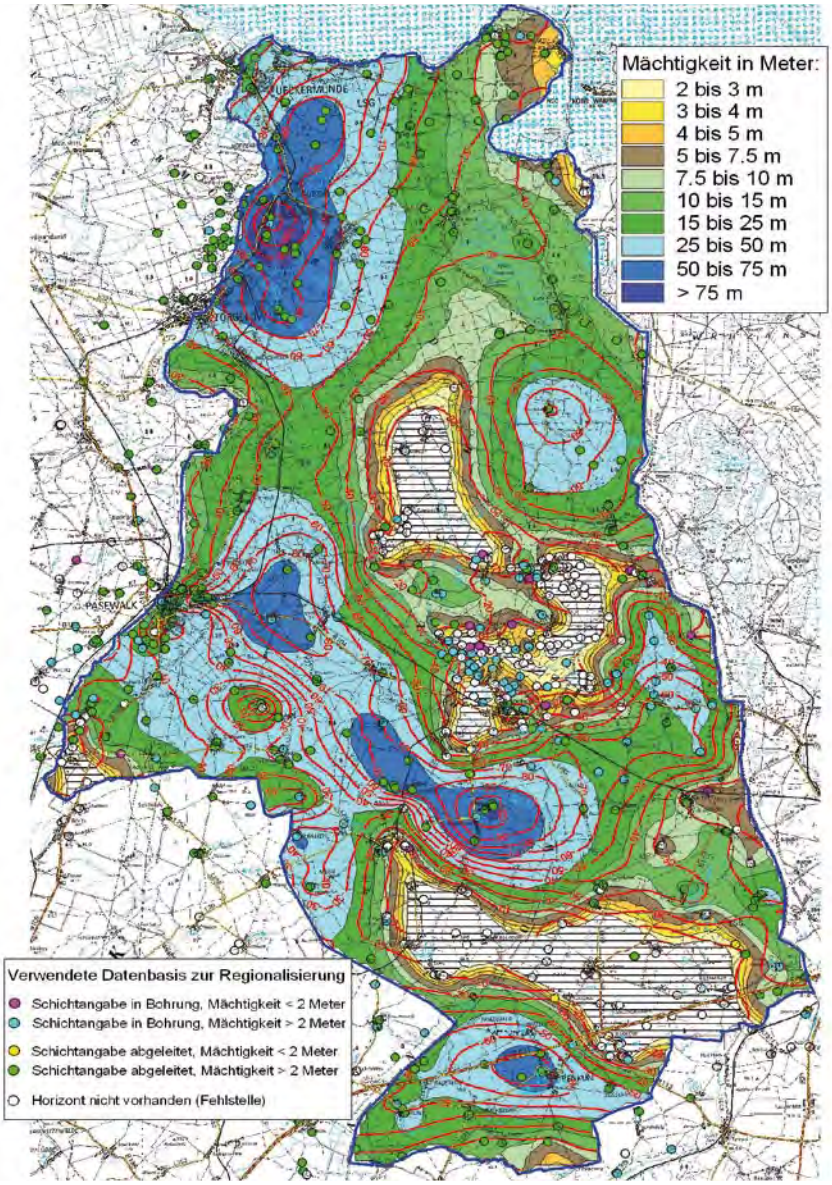

Abbildung 5
Schichtlagerung des „Hemmers 4" (elsterzeitliche Moräne) im deutschen Teil des Untersuchungsgebietes (Zur Erläuterung: die Tiefenlage der Basis des dargestellten Horizontes ist mit roten Isolinien dargestellt. Die Beschriftung der Isolinien zeigt die Tiefenlage in m ü. NN an. Bereiche mit reduzierten bzw. nicht vorhandenen Mächtigkeiten sind mit schwarzen Schraffuren über weißer Farbe dargestellt)
Stratification of the „Aquitard 4" (Elster moraine) in the German part of the study area (Explanation: the depth of the horizon basis is marked with red isohypses [m above mean sea level]. Areas with reduced or zero stratum thickness are marked in black hachure over white colour)

Im Liegenden der weichselzeitlichen Moräne liegen im Westen bedeckte elsterzeitliche Grundwasserleiter. Im Bereich der Randow liegen maximal 10 m mächtige, unbedeckte weichselzeitliche Sande, die im Liegenden ausschließlich von bindigen Bildungen unterlagert sind. Nach Osten hin folgen wiederum bedeckte saalezeitliche Grundwasserleiter, die lokal auch wasserwirtschaftlich genutzt wurden (Penkun) bzw. werden (Storkow). Zur Grenze hin steigt das Gelände deutlich auf Höhenlagen bis etwa 80 m ü. NN an. Hier – und auch weiter im Osten in Polen – liegen mächtige trockene Sande, denen im Liegenden ebenfalls mächtige saalezeitliche Bildungen folgen. Diese werden auch wasserwirtschaftlich genutzt.

5.3 Geologische Übersichtskarte

Abbildung 4 dokumentiert die geologische Übersicht des grenzüberschreitenden Untersuchungsgebietes. Grundlage der Darstellung sind Daten der „Geologischen Übersichtskarte 1:200 000" (GÜK 200) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Diese beinhaltet Angaben zur Petrografie, zur Genese und zur Stratigrafie der an der Oberfläche anstehenden Bildungen inkl. von lithologiebezogenen Überlagerungsfällen innerhalb der oberen 2 Meter (Bodenzone). Die Legendeneinheiten zeigen vorwiegend genetisch und petrografisch unterscheidbare Einheiten.

Flächenmäßig den mit Abstand größten Anteil nehmen die „Beckenablagerungen" des (ehemaligen) Haffstausees im Norden auf beiden Seiten der Staatsgrenze ein. Mit mehr als 500 km² umfassen sie etwa ein Drittel der Fläche des Untersuchungsgebietes ein. Gefolgt werden sie flächenanteilig von Bildungen der Grundmoränen mit 450 km² Flächengröße. Unterschieden wird zwischen bindigen Bildungen des Pommerschen Stadiums der Weichsel-Kaltzeit. Demgegenüber stehen „Geschiebelehm"-Bildungen (Schluff; tonig; sandig, kiesig, Steine) der Weichsel-Kaltzeit (ungegliedert). Letztere überwiegen geringfügig in der

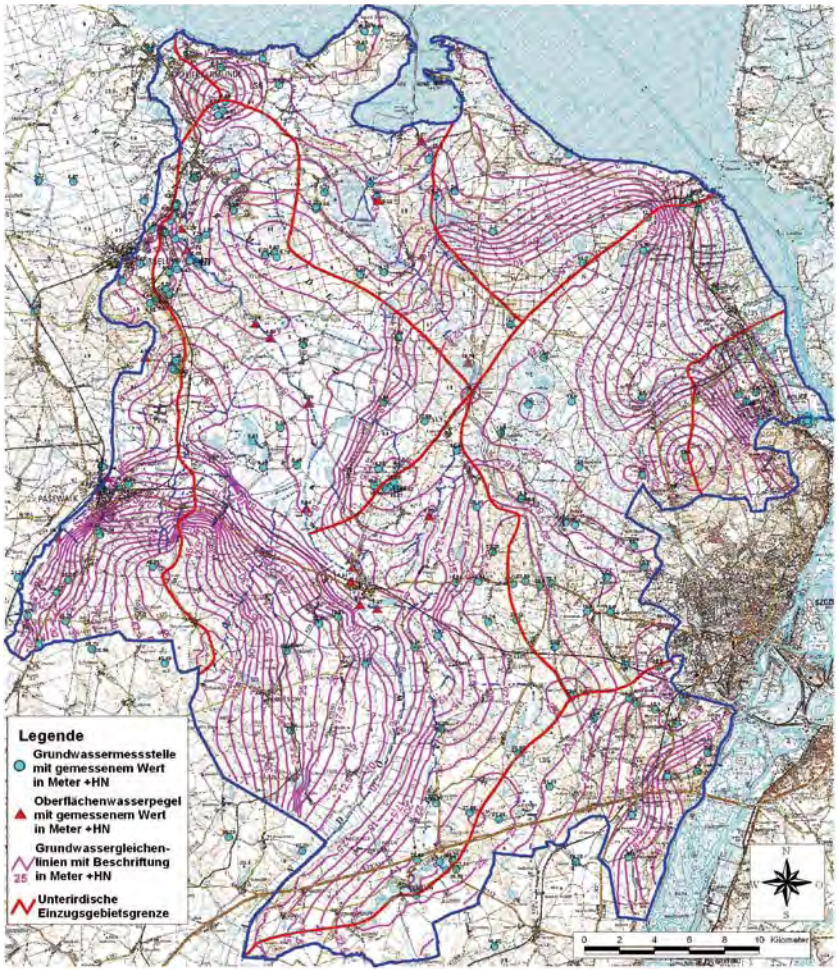

Abbildung 6
Grenzüberschreitende Darstellung der Grundwasserstände im Juli 2006
Transboundary documentation of the groundwater isohypses in July 2006

Flächenausdehnung. Diese kommen etwa je anteilig in Deutschland und Polen vor. Die als „Geschiebemergel" bezeichneten Bildungen hingegen treten fast ausschließlich in Deutschland und dort vor allem westlich der Randow auf. Aufgrund der unterschiedlichen vertikalen Verlagerungszeiten des Sickerwassers in diesen beiden Bildungen erfolgte keine Zusammenfassung zu einer genetisch einheitlichen Gruppe. Niedermoor-Bildungen treten zusammengenommen auf etwa 150 km² Fläche auf, in Deutschland ist der Anteil geringfügig höher als in Polen. Mit Ausnahme der nur in Deutschland auftretenden fluviatilen Urstromtal- und der glazifluviatilen Bildungen sowie der Dünen erreichen alle übrigen Einheiten flächenhaft nur sehr geringe Anteile am grenzüberschreitenden Untersuchungsgebiet.

5.4 Erstellung digitaler Schichtlagerungskarten

Für den quartären Untergrund im deutschen Teil wurden flächenhafte Informationen zur Verbreitung und zur Tiefenlage der grundwasserleitenden bzw. -hemmenden Gesteine digital erstellt. Ziel war es hierbei zu ermitteln, wie der Untergrund von der Oberfläche bis zur Basis der quartären Schichten lithologisch und stratigrafisch aufgebaut ist. Datenbasis für die Erarbeitung der digitalen Schichtlagerungskarten (Abb. 5) sind Angaben zu Bohrungen aus der Datenbank des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie und recherchierte Bohrungsangaben im Rahmen der Bestandsaufnahme (z.B. aus hydrogeologischen Ergebnisberichten). Diese enthalten jeweils Schichteinträge sowie petrografisch-lithologische Angaben.

Auf Grundlage der Schichtlagerungskarten können zukünftig für jeden beliebigen Bereich im Untersuchungsgebiet Aussagen im Hinblick auf das Gebietswassermanagement unter hydrogeologischen Aspekten abgeleitet werden. Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- Aufbereitung der auf Bohrungen bezogenen Punktdaten,
- Aggregierung hydrogeologischer Einheiten zu Grundwasserleitern und -hemmern,
- Regionalisierung der Schichtunter- bzw. -oberkanten einer jeden Schicht,
- Überführung der regionalisierten Daten und Integration in das GIS-Projekt „POMERANIA" (dokumentiert jeweils als eigene Karte im Maßstab 1:125 000).

Die Erarbeitung der flächenhaft vorhandenen Daten erfolgte unter Einsatz geostatistischer Verfahren. Insgesamt wurden zehn hydrogeologische Bezugshorizonte (je fünf Grundwasserleiter und -hemmer) bearbeitet, die Auswahl erfolgte anhand hydrostratigrafischer Merkmale. Zu jedem Horizont liegen sowohl in einem Punktraster als auch in flächenhaft aggregierter Form (Flächen bzw. Linieninformationen) Informationen zur jeweiligen Basis (in m ü. NN) und zur Mächtigkeit (in m) der Bildung vor.

Der Untergrund ist primär durch das Auftreten der grundwasserhemmenden Geschiebemergel und Schluffe geprägt. Diese sind sowohl flächenhaft als auch hinsichtlich ihrer Mächtigkeiten gegenüber den grundwasserleitenden Sanden dominant. Der Vergleich mit dem bisher vorliegenden Informationsstand zeigte bei den Hemmern eine weitgehende Übereinstimmung der errechneten Daten, bei den Leitern hingegen deutlich erkennbare Unterschiede, die vor allem auf die kleinräumig sehr starke Variabilität bzw. die z.T. sehr geringen Mächtigkeiten zurückzuführen sind.

Die gewonnenen Informationen sind zukünftig eine qualifizierte Datengrundlage, um flächen-präzise Aussagen zur Gefährdung des oberflächennahen Grundwassers durch die menschliche Tätigkeit in qualitativer Hinsicht treffen zu können. Zudem stehen sie für detaillierte Berechnungen auch in quantitativer Hinsicht dadurch in geeigneter Form zur Verfügung, dass sie die digitale Datenbasis für die Erarbeitung von flächendeckenden 3D-Modellen mittels geeigneter Software (z.B. GOCAD, GMS) sind. Weitere Anwendungsgebiete sind z.B. numerische Grundwasserströmungsmodelle oder Aspekte im Zusammenhang mit der zunehmenden Nutzung des oberflächennahen geothermischen Potenzials für Erdwärmenutzungen.

5.5 Regionale Darstellung der Grundwasseroberfläche

Eine erste Übersichtsdarstellung der Grundwassergleichen wurde für den deutschen Teil des Untersuchungsgebietes bereits anhand einer Stichtagsmessung vom Juni 2004 erstellt. Abbildung 6 zeigt die Grundwassergleichen im gesamten Untersuchungsgebiet im

Juli 2006 auf Basis einer Stichtagsmessung an 130 Grundwassermessstellen und 19 Pegeln an oberirdischen Gewässern im deutschen Teil sowie von Angaben zu 58 ausgewählten Messstellen aus dem polnischen Teil. Zusätzlich wurde von der polnischen Seite im Projektverlauf zum Vergleich eine vorläufige Übersichtskarte zur Grundwasseroberfläche auf Basis von Archivwasserständen übergeben. Außerdem wurden von ausgewählten oberirdischen Gewässern mit hydraulischem Anschluss an das Grundwasser Hilfspunkte mit konstruierten Werten in Abhängigkeit von den gemessenen Pegelständen in die Datenbasis übernommen.

Abbildung 6 dokumentiert die Grundwassergleichen für den Juli 2006 in unregelmäßigen Abständen (1 m-, 2,5 m-, 5 m- bzw. 10 m-Intervalle) zusammen mit unterirdischen Einzugsgebietsgrenzen, die auf Grundlage der Grundwassergleichen grenzüberschreitend abgeleitet wurden.

Die Grundwasserstände waren im Juni 2006 aufgrund der geringen Niederschläge im Winter und Frühjahr 2006 etwas niedriger als im Sommer 2004 (ca. 0,5 bis 1 m). Die Fließrichtungen des Grundwassers sind von diesen zeitlichen Veränderungen allerdings nur untergeordnet betroffen.

Unterschieden wurde bei den Einzugsgebieten im deutschen Teil zwischen Gebieten, in denen das Grundwasser der Uecker, der Oder, der Randow und dem Haff direkt zufließt, das entspricht auch den landesweit ausgewiesenen Grundwasserkörpern. Entlang der deutsch-polnischen Grenze verläuft im mittleren und nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes bis zum Haff (etwa ab der Höhe von Grambin - Schwennenz) die unterirdische Einzugsgebietsgrenze zwischen der Randow und der Oder. Im polnischen Teil wurde ein weiteres Teileinzugsgebiet anhand der Grundwasserscheitellage nördlich von Stettin ausgewiesen. Ein weiterer markanter, etwa Südwest-Nordost verlaufender Höhenzug im nördlichen Teil des polnischen UG wurde ebenfalls als Teilgrenzlinie zwischen zwei unterirdischen Einzugsgebieten herangezogen.

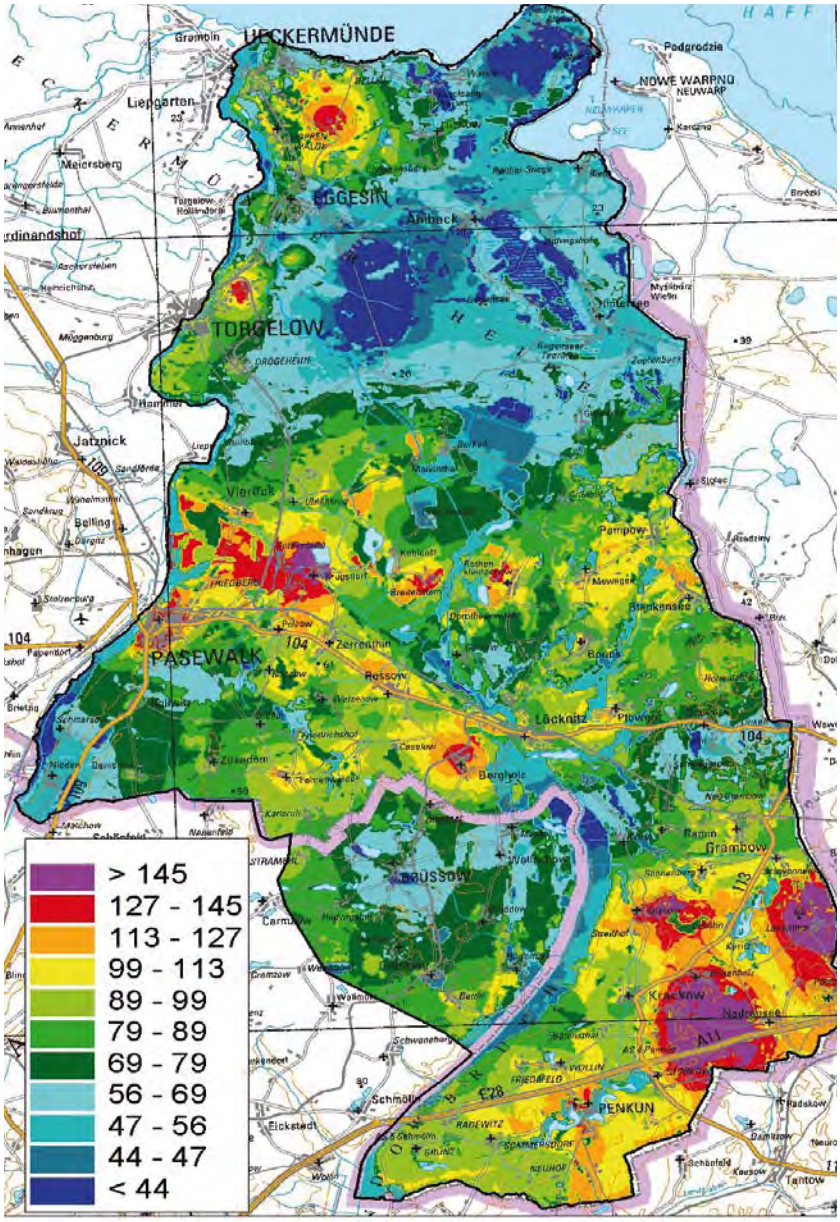

Abbildung 7
Flächenhaft ermittelte Sulfatkonzentrationen [mg/l] im oberflächennahen Grundwasser im deutschen Teil des Unterscheidungsgebietes
Spatially distributed concentrations of sulphate [mg/l] within the shallow aquifer in the German part of the study area

5.6 Regionale Analyse der Grundwasserbeschaffenheit

Die Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers wurde im deutschen Teil einer räumlichen und zeitlichen Bewertung unterzogen. Datengrundlage waren vor allem vorhandene, digital verfügbare Daten. Zusätzlich wurde in Gebieten mit Kenntnisdefiziten im Oktober 2005 eine aktuelle Beprobung an 30 geeigneten Grundwassermessstellen durchgeführt.

Die räumliche Darstellung erfolgte anhand der mit geostatistischen Verfahren (Kriging mit dem Programm SIMIK+ (BÁRDOSSY et al. 1997)) durchgeführten Regionalisierung der messstellen- und damit punktbezogenen Daten für fünf ausgewählte Parameter, die als typisch für die diffuse Belastung des Grundwassers insbesondere durch die landwirtschaftliche Produktion bewertet werden. Diese Art der Belastung ist von besonderer Relevanz für den ländlich geprägten Raum, während andere Belastungsarten (z.B. punktbezogene Altlasten) demgegenüber in ihrer räumlichen Ausdehnung klar zurücktreten. Außerdem ergaben sich bei im Vorfeld durchgeführten landesweiten Arbeiten mit dem gleichen methodischen Ansatz (HYDOR 2005, KOLLATSCH et al. 2006) Hinweise auf Belastungsschwerpunkte östlich der Uecker. Diese wurden anhand der nun mit einer höheren räumlichen Auflösung und einer aktualisierten bzw. verbesserten Datengrundlage durchgeführten Arbeiten in vollem Umfang bestätigt.

An sehr vielen Stellen mussten im Untersuchungsgebiet z.T. extrem hohe Konzentrationen der ausgewählten Hauptinhaltsstoffe im Grundwasser festgestellt werden, und zwar vor allem Nitrat, Kalium und Sulfat (s. Abb. 7), untergeordnet auch Chlorid und Ammonium.

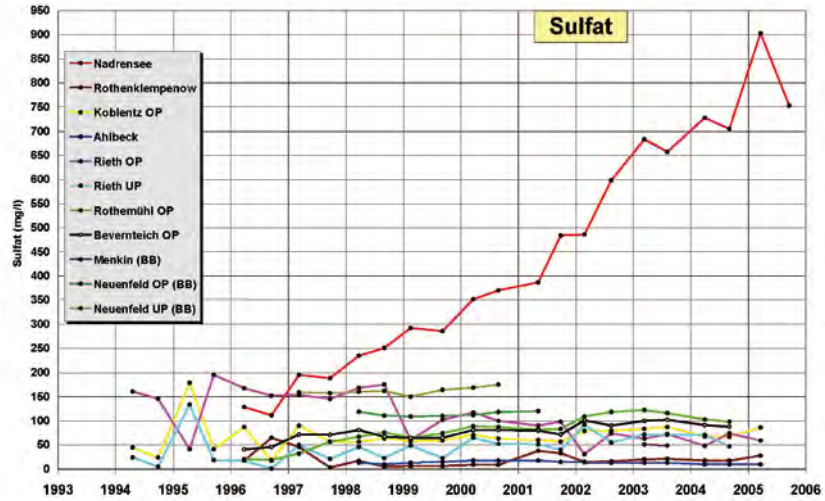

Abbildung 8
Zeitliche Entwicklung der Sulfatkonzentrationen im Grundwasser von 1993 bis 2005
Development of sulphate concentrations in groundwater from 1993 to 2005

Die Konzentrationen überschreiten die zulässigen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung z.T. um ein Vielfaches. Lokal sind in der Vergangenheit bereits Qualitätsprobleme aufgetreten (z.B. in Löcknitz bei Chlorid und in Torgelow bei DOC bzw. CSV-Mn), wobei auch geogene Faktoren des Salzwasseraufstiegs eine Rolle spielen. Da die geförderten Rohwässer an den Fassungsstandorten zumeist nur als Mischwässer untersucht werden, zeigen sich anhand der Daten der Versorger die erhöhten Werte meist noch nicht.

Überraschenderweise liegen die hohen Konzentrationen sehr oft im Osten und Süden des Untersuchungsgebietes, wo die Grundwasserleiter zwar durch Geschiebemergelbedeckung anscheinend stärker von Natur aus geschützt sind, dieser Schutz aber offenbar durch die hier intensiver durchgeführte Landwirtschaft wieder aufgehoben wird.

Die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung hingegen konnte aufgrund der zumeist nur unzureichenden Datenbasis von weniger als 10 Jahren nur einzelfallbezogen durchgeführt werden. An einem Standort bei Nadrensee (s. Abb. 8) mit einem bedeckten Grundwasserleiter zeigte sich hierbei ein extremer Anstieg der Salzkonzentrationen in den letzten zehn Jahren, für den geogene Ursachen ausgeschlossen, anthropogene hingegen (offene Lagerung von Düngersalzen über mehrere Jahre hinweg) als sehr wahrscheinlich angenommen werden können.

Die Daten von Hausbrunnen zeigen auch oft hohe Konzentrationen über viele Jahre hinweg. Diese Zeitreihen werden aber immer dann unterbrochen, wenn der Brunnen aus Gründen der Gesundheitsvorsorge aus der Trinkwasserversorgung herausgenommen wird. In diesen Fällen sollte eine weitere Überwachung seitens der Wasserbehörde veranlasst werden.

5.7 Verweilzeit des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung

Die Berechnung der Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone erfolgte auf der deutschen Seite in Anlehnung an die DIN 19732 „Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotenzials von nichtsorbierbaren Stoffen". Für die polnische Seite liegen diese Daten noch nicht vor, da u.a. hierfür wichtige Eingangsparameter, wie z.B. der Flurabstand, bisher nicht ermittelt wurden. In die Ermittlung der Verweilzeit des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung gehen methodisch folgende Parameter ein:

- die Grundwasserneubildungsraten,
- die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung (Flurabstand) sowie
- die Charakterisierung der Grundwasserüberdeckung durch die Feldkapazität.

Die Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers ist nach der DIN 19732 der Quotient aus der Sickerwasserrate und dem Volumenanteil an Wasser im Boden bzw. der tieferen Grundwasserüberdeckung. Zur Charakterisierung des Wassergehaltes wird die Feldkapazität als Volumenanteil (%

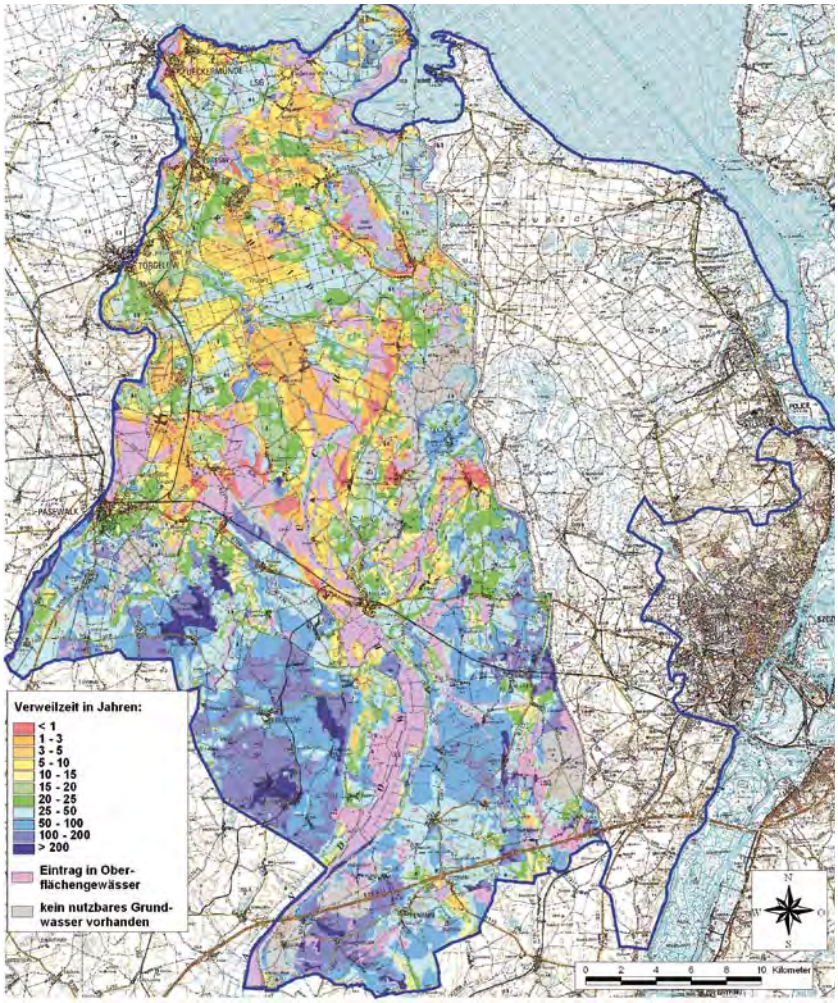

Abbildung 9
Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung auf der deutschen Seite
Retention times of leakage water in the unsaturated zone in the German part of the study area

oder mm/dm) eingesetzt. Die Feldkapazität ist der Wassergehalt, den ein Boden entgegen der Gravitation halten kann, dieses Wasser ist an Poren < 50 µm gebunden. Die Verweilzeit des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung wird aus der Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers und der Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung nach der folgenden Gleichung geschätzt:

$t_s = M/v_s$

oder

$t_s = \Sigma M_i \cdot FK_i / GWNB = (M_1 \cdot FK_1 + M_2 \cdot FK_2 + \ldots + M_n \cdot FK_n) / GWNB$

Dabei ist:

$v_s = GWNB/FK$	Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers, in $dm \cdot a^{-1}$,
GWNB	Grundwasserneubildungsrate in $mm \cdot a^{-1}$
FK	durchschnittliche Feldkapazität der gesamten Grundwasserüberdeckung in $mm \cdot dm^{-1}$
FK_i -	Feldkapazität der n-ten Schicht des Bodens bzw. der tieferen Grundwasserüberdeckung in $mm \cdot dm^{-1}$,
M	Mächtigkeit der gesamten Grundwasserüberdeckung in dm
M_i	Mächtigkeit der n-ten Schicht des Bodens bzw. der tieferen Grundwasserüberdeckung in dm.

Die Methode besitzt trotz der in der DIN 19732 aufgeführten Einschränkungen den Vorteil, dass die Verweilzeit des Sickerwassers über ein einfaches Modell unmittelbar bestimmt wird. Als Eingangsdaten wurden die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung und die Grundwasserneubildungsraten in Ermangelung von flächenhaft nicht vorhandenen Daten zu den Sickerwasserraten verwendet. Lediglich die Feldkapazitäten sind aus lithologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften der Böden und der Substrate der tieferen ungesättigten Zone zu parametrisieren. Die Feldkapazität der gesamten Grundwasserüberdeckung wird zur Ableitung der Verweilzeit und Schutzfunktion mit der Grundwasserneubildung verrechnet und daraus die Verweilzeiten abgeleitet (s. Abb. 9).

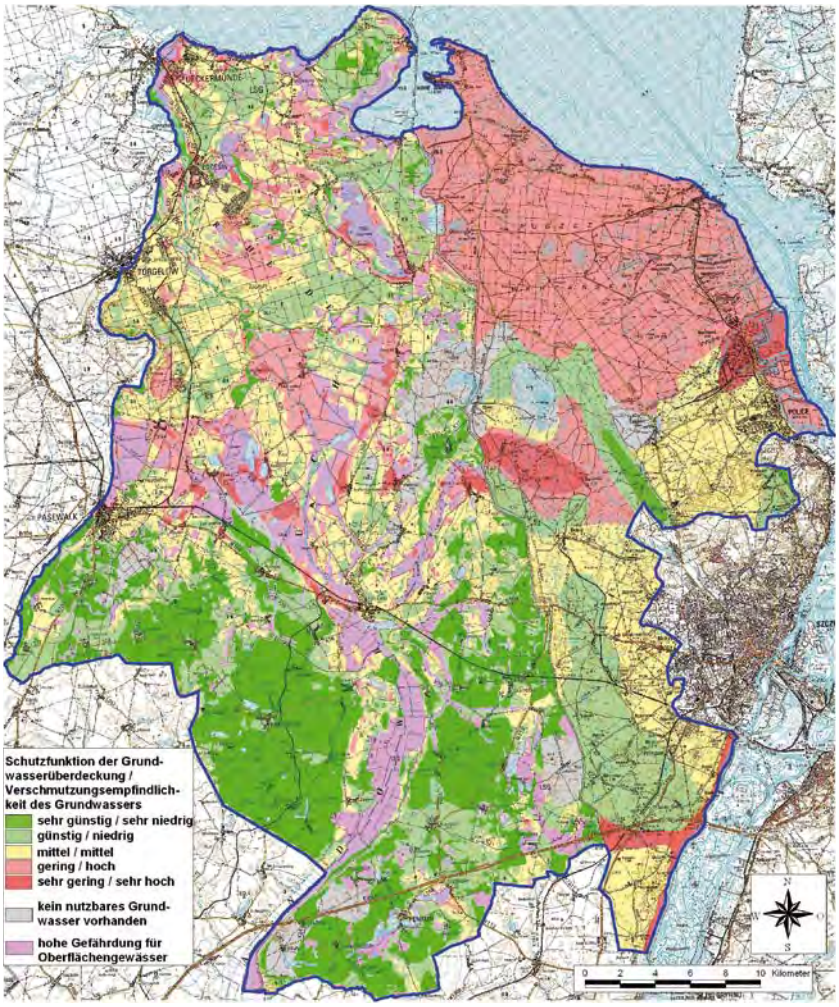

Abbildung 10
Grenzüberschreitend ermittelte Angaben zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung bzw. zur Verschmutzungsempfindlichkeit des oberflächennahen Grundwassers
Calculated transboundary data of the protection function of the unsaturated zone and on the vulnerability of the shallow groundwater against pollution

Entlastungsgebiete, in denen nur saisonal und sehr untergeordnet eine Grundwasserneubildung stattfindet, sind in Abbildung 9 farblich hervorgehoben (lila Flächen), um auf die hier bestehende besondere Gefährdung der oberirdischen Gewässer durch den unmittelbar nach einem Niederschlagsereignis bestehenden Stoffeintrag mit dem Niederschlagswasser hinzuweisen. Sie sind vor allem entlang des Oberlaufs der Randow, aber auch östlich der Uecker und in den großen Niederungsgebieten und lokal im Geschiebemergelbereich mit ausschließlichem Direktabfluss verbreitet (z.B. südlich der Penkuner Seen).

Verweilzeiten des Sickerwassers bis zum Erreichen der Grundwasseroberfläche von wenigen (< 5) Jahren treten vor allem angrenzend zu diesen sensiblen Gebieten auf (z.B. bei Marienthal, Krugsdorf, Glashütte und Hintersee). Das sind die Bereiche, in denen für das Grundwasser die höchste Gefährdung durch anthropogenen Stoffeintrag aufgrund des niedrigen Schutzpotenzials der Deckschichten besteht. Umgekehrt konnten für weite Bereiche im Süden, in denen mächtige Geschiebemergelbildungen über den Grundwasserleitern liegen, Verweilzeiten von bis zu 100 Jahren und mehr errechnet werden. Dies dokumentiert das theoretisch hohe Schutzpotenzial der entsprechenden Bildungen für das Grundwasser.

5.8 Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers

Abbildung 10 dokumentiert den grenzüberschreitenden Kenntnisstand zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung bzw. der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers.

Beide Begriffe werden synonym gebraucht, wobei eine hohe Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers durch eine niedrige Schutzfunktion der Überdeckung und umgekehrt verursacht wird (HEINKELE et al. 2000, UMWELTBUNDESAMT 2003). Die dargestellten Inhalte beziehen sich auf die natürliche Schutzfunktion der das Grundwasser überlagernden Schichten. Anthropogene Faktoren (z.B. Altlasten) gingen in die flächenhafte Ausweisung der Gebiete in Polen nur untergeordnet, in Deutschland gar nicht ein.

Eine sehr hohe bzw. eine hohe Verschmutzungsempfindlichkeit besteht im polnischen Teil auf 13 % bzw. 41 % der Fläche (72 bzw. 238 km²). Diese Gebiete liegen überwiegend im nördlichen Teil, wo die Grundwasserüberdeckung überwiegend aus Sanden besteht, welchen nur eine geringe Schutzfunktion zukommt. Eine mittlere Schutzfunktion besteht auf 142 km², das entspricht etwa 25 % der Fläche im polnischen Teil. Diese Gebiete liegen überwiegend im mittleren und südlichen Teil entlang der Grenze zur Stadt Stettin im Bereich von Geschiebemergelflächen mit geringer bzw. mittlerer Mächtigkeit. Gebiete mit einer hohen bzw. sehr hohen Schutzfunktion wurden vorwiegend in Bereichen mit mächtiger bindiger Bedeckung bzw. in Endmoränenbereichen ausgewiesen. Sie umfassen 95 km² bzw. 5 km² (17 % bzw. 1 % der Fläche). Des Weiteren wurden auf etwa 3 % der Fläche (21 km², in der Umgebung von Tarnowo) Gebiete ausgehalten, in denen aufgrund des Untergrundaufbaus keine Aussagen zur Schutzfunktion getroffen werden konnten.

Im deutschen Teil wurden die Ergebnisse der Berechnung der Verweilzeiten des Sickerwassers zur Ausgrenzung von Flächen unterschiedlicher Verschmutzungsempfindlichkeiten des Grundwassers herangezogen. Die in Abbildung 9 dargestellten 11 Intervallklassen wurden hierfür ebenfalls in die sechs Klassen der Schutzfunktion transformiert. Zusätzlich wurden die Gebiete, in denen aufgrund einer nicht vorhandenen Grundwasserneubildung (Zehrgebiete) ein unmittelbarer Eintrag in die oberirdischen Gewässer stattfindet, separat dargestellt, da hier für die Gewässer eine besondere Gefährdung im Falle eines anthropogenen Stoffeintrages besteht. Das sind im deutschen Teil (in Polen wurden diese Gebiete bisher nicht separat ausgewiesen) 79 km². Sie befinden sich vorwiegend entlang der Randow bzw. der Nebengewässer. Gebiete, in denen anhand der Ausweisung der Schichtlagerungskarten kein Grundwasserleiter vorhandenen ist, wurden – analog zum Vorgehen in Polen – separat ausgehalten (grau in Abb. 10).

Eine „sehr geringe" Schutzfunktion wurde Flächen zugesprochen, in denen die Verweilzeit des Sickerwassers weniger als 1 Jahr entspricht, das ist im deutschen Teil lediglich 1 % der Flächen. Diese befinden sich ausschließlich in unmittelbarer Nachbarschaft zu den oberirdischen Gewässern in Gebieten ohne bindige Deckschichten. Eine „geringe" Schutzfunktion wurde der Grundwasserüberdeckung zugesprochen, wenn die Verweilzeiten des Sickerwassers kürzer als 5 Jahre sind, das trifft auf 5 % der Fläche ebenfalls in unbedeckten Gebieten zu. Eine „mittlere" Schutzfunktion wurde bei einer Verweilzeit bis 25 Jahre, eine „günstige" bis 50 Jahre und eine „sehr günstige" bei mehr als 50 Jahren Verweilzeit ausgesprochen. Diese Klassen umfassen 29 % (mittel), ebenfalls 29 % (günstig) bzw. 35 % (sehr günstig) der Fläche im deutschen Teil. Die letzten beiden Klassen befinden sich überwiegend im Süden in Bereichen mit mächtiger Geschiebemergelüberdeckung bzw. (untergeordnet) im Norden unter Dünen mit hohen Flurabständen sowie geringen Neubildungsraten (z.B. Halbinsel Altwarp).

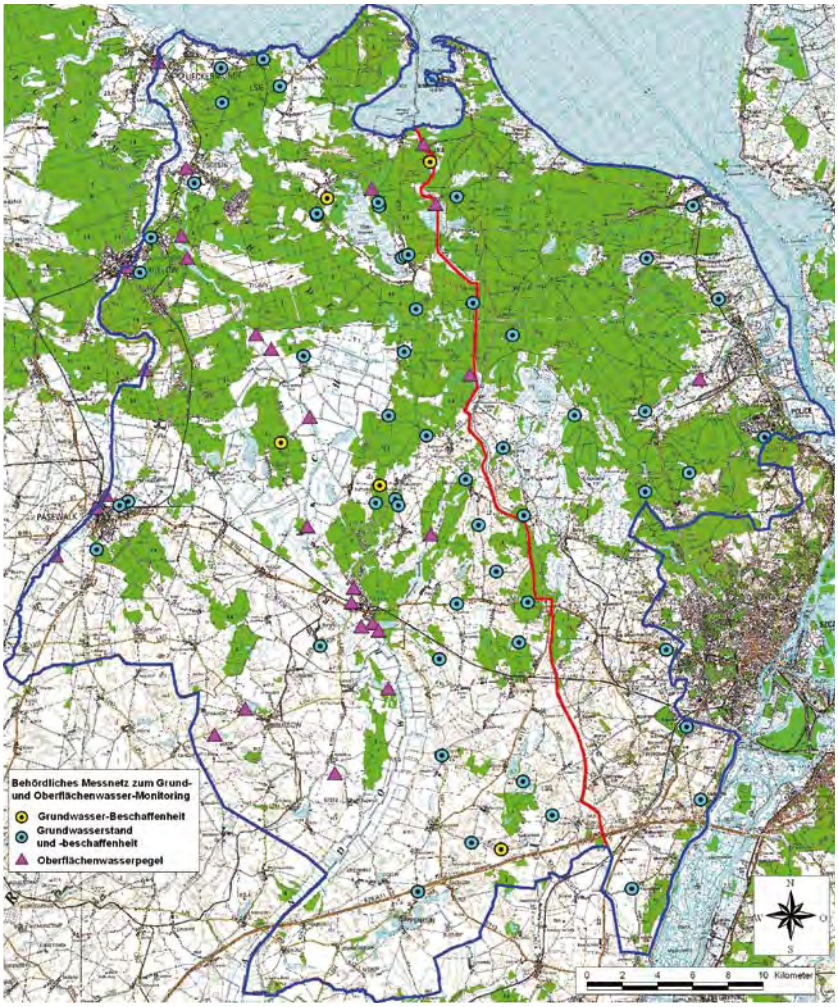

Abbildung 11
Grenzüberschreitend betriebene Messstationen zum Monitoring des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer
Transboundary stations for groundwater and surface-water monitoring

Bedingt durch die dargelegten methodischen Unterschiede bei der Ausweisung der Klassen bestehen an der deutsch-polnischen Grenze im Detail Unterschiede in der Ausweisung der einzelnen Klassen (z.B. südlich von Rieth aufgrund sehr geringer Neubildungsraten in Deutschland eine günstigere Schutzfunktion). Generell bestehen jedoch auf beiden Seiten der Grenze im Norden hohe, in der Mitte mittlere und im Süden niedrige Verschmutzungsempfindlichkeiten für das Grundwasser.

5.9 Übersichtskarte zum Gewässer-Monitoring

Abbildung 11 dokumentiert die Lage der ausgewählten Grundwassermessstellen und Pegel an oberirdischen Gewässern im deutschen und polnischen Teil für das Monitoring der Gewässer. Die Auswahl umfasst folgende Messstellen:

- 42 Grundwassermessstellen auf der deutschen Seite mit Stand Dezember 2006, die sich bereits im Sondermessnetz befinden,
- 14 Grundwassermessstellen auf der deutschen Seite, die anhand von Altlastuntersuchungen neu recherchiert oder vorgeschlagen wurden,

- 27 Pegel bzw. Durchflussmessstellen an oberirdischen Gewässern auf der deutschen Seite zur Beobachtung des Wasserstandes bzw. des Durchflusses,
- 17 vorläufig ausgewählte Grundwassermessstellen auf der polnischen Seite zur Beobachtung des Grundwasserstandes sowie
- 1 Pegel an oberirdischen Gewässern auf der polnischen Seite.

Insgesamt umfasst das derzeitige Messnetz somit 101 Anlagen (73 Messstellen, 28 Pegel). Abbildung 11 zeigt, dass insbesondere im Verlauf der deutsch-polnischen Grenze das Messnetz bereits einer Verdichtung unterzogen werden konnte. Dies wurde auf der deutschen Seite durch den im Jahr 2004 erfolgten Neubau von neun Messstellen erreicht. Auf der polnischen Seite ist dieser Schritt derzeit noch in Planung, so dass es hier zu einer weiteren Verbesserung des Netzes kommen kann. In den grenzferneren Bereichen hingegen zeigen sich größere Lücken im Messstellennetz, die zumeist ihre spezifischen Gründe haben (im deutschen Teil z.B. innerhalb des derzeit militärisch genutzten Bereichs des Standortübungsplatzes Jägerbrück).

Zusammenfassung

Mit den recherchierten Daten konnte im Zeitraum von 2004 bis 2008 ein umfassender Kenntnisstand zum Zustand der Gewässer im deutsch-polnischen Grenzgebiet im Anstrombereich des Stettiner Haffs erarbeitet werden. Es wurde empfohlen, zukünftige Messungen in regelmäßigen Abständen durchzuführen; kontinuierlich z.B. beim Grundwasserstand oder den Durchflüssen in den oberirdischen Gewässern, in größeren zeitlichen Abständen im Hinblick auf die Grundwasserbeschaffenheit.

Die Untersuchungen wurden im Projektrahmen unter dem Aspekt „grenznah" auf deutscher Seite innerhalb des östlich der Uecker liegenden Anteils des Landkreises Uecker-Randow durchgeführt. Während der gemeinsamen Arbeitsphase mit den polnischen Institutionen wurde ein Teil der bis dahin auf der deutschen Seite erarbeiteten Dokumente auch für das Gebiet des Landkreises Police westlich der Oder erstellt. Damit wurden die wesentlichen Grundlagen für die inhaltlich komplette Bearbeitung des polnischen Gebietsteiles geschaffen. Geplant ist, diese im Rahmen eines derzeit beantragten Anschlussprojektes durchzuführen, innerhalb dessen auch eine Gebietserweiterung nach Westen, bis zur Einzugsgebietsgrenze der Uecker, realisiert werden soll. Methodisch können bei zukünftigen Arbeiten z.B. auch klimatische Veränderungen anhand der Durchführung von Simulationsrechnungen zur Auswirkung eines verringerten Grundwasserdargebotes berücksichtigt werden. Denkbar ist auch die Erstellung von 3D-Untergrundmodellen im Hinblick auf Fragen der Nutzung oberflächennaher Geothermiepotentiale.

Summary

The gathered data provided a comprehensive knowledge base on the quantity and quality of groundwater and surface waters in the catchment of the Stettin lagoon, both in Germany and Poland. It was recommended to carry out future measurement campaigns in regular intervals, e.g. for groundwater levels and streamflow in surface waters continuously and for groundwater quality in longer intervals.

The investigations under this project covered on the German side of the border the area of the administrative district "Uecker-Randow" east of the River Uecker. During the common work phase with the Polish institutions, some of the documents from the German part were supplemented with data from the Polish district "Police" west of the River Oder, so that a basis for full coverage of the Polish part of the investigation area had to be created. It is planned to complete this work under a follow-up project of INTERREG IV and to expand the investigation area in the west up to the border of the catchment of the River Uecker in Germany. These future studies should also integrate other aspects, such as the climate change, by numeric simulations of a scenario of decreasing groundwater resources. An other example is the creation of 3D models of the underground with view to the utilization of shallow geothermic potentials.

Anschriften der Verfasser:
Dr. S. Hannappel
Dipl. Geol. E. Rejman-Rasinska
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40, 13507 Berlin
hannappel@hydor.de

Dipl. Geol. H. Mundthal
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
Neustrelitzer Straße 120, 17033 Neubrandenburg
heinz.mundthal@lung.mv-regierung.de

Dipl. Ing. K.-D. Fichte
Staatliches Amt für Umwelt und Natur Ueckermünde
Kastanienallee 13, 17373 Ueckermünde
Klaus-Dieter.Fichte@staunuem.mv-regierung.de

Literaturverzeichnis

BÁRDOSSY, A., U. HABERLANDT & J. GRIMM-STRELE (1997): Interpolation of groundwater quality parameters using additional information. – GeoENV I – Geostatistics for Environmental Applications (Soares, A. ed.). – Kluver Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London

DIN 19732 (1997): Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtadsorbierbaren Stoffen. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (Beuth Verlag)

HANNAPPEL, S., E. REJMAN-RASINSKA, H. MUNDTHAL, K.-D. FICHTE, R. HOC & Z. WISNIOWSKI (2007): Cross-boundary water monitoring of the border-zone areas in the Euroregion Pomerania. – GEO-POMERANIA 2007 Szczecin, Joint Meeting PTG – DGG. – Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 53, Hannover

HEINKELE, T., C. JAHNKE, S. HANNAPPEL, H. HANDKE, H.-J. VOIGT & R. WOLTER (2000): Kriterien zur Ermittlung der Grundwasser-Verschmutzungsempfindlichkeit. – HydroGeo-Event 2000, Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen. – Schriftenreihe der Dt. Geol. Gesellschaft, Heft 12, Hannover

HYDOR (2005): Regionalisierung von stofflichen Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. – Bericht der HYDOR Consult GmbH an das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, unveröff., Berlin

HYDOR (2007): Grenzüberschreitendes Gewässer-Monitoring des grenznahen Raumes der Euroregion POMERANIA. Abschlussbericht, Transgraniczny monitoring wód przygranicznego obszaru Euroregionu POMERANIA. – Bericht der HYDOR Consult GmbH an den Landkreis Uecker-Randow, Juni 2006, unveröff., Berlin

KOLLATSCH, R.-A., A. KÜCHLER, B. SCHWERDTFEGER, B. STÖLKEN & S. HANNAPPEL (2006): Regionalisierung diffuser stofflicher Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. – Wasser & Abfall, 3/06, Hildesheim

LUNG (2008): Gewässergütebericht 2003 / 2004 / 2005 / 2006. Ergebnisse der Güteüberwachung der Fließ-, Stand- und Küstengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern. – Hrsg. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Güstrow

MANHENKE, V., E. REUTTER, M. HÜBSCHMANN, A. LIMBERG, M. LÜCKSTÄDT, B. NOMMENSEN, A. PETERS, W. SCHLIMM, R. TAUGS & H.-J. VOIGT (2001): Hydrostratigrafie nord-, west- und mitteldeutsches Känozoikum – Grundtabelle der Geologischen Landesämter. – Zeitschrift Angewandte Geologie 47/4, Hannover

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY (2008): Transgraniczny monitoring wód przygranicznego obszaru Euroregionu Pomerania (Grenzüberschreitendes Gewässer-Monitoring des grenznahen Raumes der Euroregion Pomerania). – Bericht des Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie Oddział Pomorski w Szczecinie an den Landkreis Police, Juni 2008

UMWELTBUNDESAMT (2003): Charakterisierung der Empfindlichkeit von Grundwasserkörpern. – Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. – UBA-FB 000251, Berlin

UN Wasserforum

UNESCO Lehrstuhl Sustainable Water Management

UNESCO Chair Sustainable Water Management

UNISPAR (University-Industry-Science Partnership) richtet von der Industrie geförderte UNESCO-Chairs an Universitäten ein, um die Ausbildung im Bereich Ingenieurwissenschaften sowie Forschung und Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft zum Nutzen einer nachhaltigen Entwicklung zu verbessern. Der UNESCO Chair „Sustainable Water Management", der 2005 an der Hohai Universität in Nanjing, China, eingerichtet wurde, wird vom UNESCO-Büro in Peking koordiniert. Die Aktivitäten werden überwiegend von der Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG aus München, sowie im ersten Jahr auch von der WASY GmbH, Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH mit Sitz in Berlin, gesponsert. Geleitet wird der UNESCO Chair Sustainable Water Management von Univ. Prof. Dr.-Ing. W.F. Geiger, dem ehemaligen Leiter des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der Universität Duisburg-Essen.

Zum Nutzen einer nachhaltigen Entwicklung Chinas unterstützt der UNESCO Chair „Sustainable Water Management" das Zusammenspiel zwischen Ingenieurausbildung, Forschung und Privatwirtschaft mit Aus- und Fortbildungskursen zu Brennpunktthemen für die Zielgruppen Entscheidungsträger, Wissenschaftler und Partner aus der Wirtschaft. Außerdem werden Universitätslehrgänge zum Thema nachhaltige Wasserwirtschaft angeboten, wovon einige durch internetbasiertes Blended Learning Material ergänzt und gemäß den neuesten Lehrstrategien aufgebaut werden. Das Blended Learning Material wird von Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing. H. Nacken, Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie an der RWTH Aachen, mit finanzieller Unterstützung des deutschen IHP/HWRP-Sekretariats, erstellt. Der Chair verfügt auch über eine Forschungskomponente zur Entwicklung eines wissenschaftlich soliden, aber einfachen Entscheidungsunterstützungssystems (DSS) zur Auswahl von kostengünstigen Maßnahmen zur Wasserbewirtschaftung. Für die Erarbeitung entsprechender Vorschläge werden darüber hinaus Pilotstudien gefördert.

Lehrgänge

1st UNESCO/UNEP training course on Sustainability in Water Management for urban and rural development
Juni 2006, UNEP-Tongji Institute for Sustainable Development, Tongji Universität, Shanghai; 63 Teilnehmer, 16 Resource Persons; Workshop Beispiel: Sanierung des Souzhou-Bachs; Studienfahrt zum Souzhou-Bach.

2nd UNESCO training course on Sustainable Groundwater Management for North China
März 2007, Jinan Universität, Jinan; 100 Teilnehmer, 16 Resource Persons; Workshop Beispiel: Schutz der unterirdischen Quellen von Jinan; Zweitägige Fachausbildung in Advanced Groundwater Modelling (FEFLOW); Studienfahrten nach Jinan zur Besichtigung des Grundwasser-Überwachungssystems und Besichtigung des Sanierungsprojekts Yuxiu-Bach.

3rd UNESCO training course on Water Pollution and Environmental Protection in Agriculture
Oktober 2007, Nanchang Universität, Nanchang, Jiangxi; 80 Teilnehmer, 8 Resource Persons; Studienfahrt zum Poyang See.

4th UNESCO training course and 2008 China Ecological Forum on Climate Change and Ecosystem Adaptability with focus on the Yangtze River Basin
April 2008, Chinese Academy of Science (CAS), Peking; 120 Teilnehmer, 22 Resource Persons ; Workshops über die Folgen des Klimawandels und die Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme.

5th UNESCO training course / Conference on Sustainable Water Resources Management for Arid Regions in North-West China
November 2008, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science (CAS), Urumqi, Autonome Region Xinjiang Uigur; 80 Teilnehmer, ca. 15 Resource Persons
Workshop Themen sind offen; Studienfahrt zum Spring Lake, einem traditionellen Wassergewinnungsgebiet und zur Urumqi Abwasseraufbereitungsanlage.