

Grundwasser – Altlasten – Boden aktuell

Schriftenreihe, Heft 45/2011



Grundwasser – Altlasten – Boden aktuell

Antje Sohr, Heiko Ihling, Dr. Ingo Müller, Bernd Siemer, Ruth Hoffmann, Jörg Schubert, Sylvia Rohde,
Andreas Ihl, Enrico Pickert, Dr. Natalja Barth, Kati Kardel, Dr. Eveline Ulrich, Holger Forberg
Robert Schenkel
Robert Michalk
Sabine Willscher, Doreen Knippert, Jens Fahl
Kay Knöller, Christina Jeschke, Michael Dilbat
Rene Blankenburg

1	Auswertung von Schwermetall- und Nährstoffbelastungen an Grundwassermessstellen der oberen Hanglagen des mittleren Erzgebirges	5
1.1	Einleitung.....	5
1.2	Aufgaben- und Zielstellungen der Auswertung der vorliegenden Daten.....	6
1.3	Durchgeführte Arbeiten zur Realisierung der Zielstellungen.....	7
1.4	Ergebnisse der Datenrecherche, Bewertung der Analysedaten und Vorschlag von Maßnahmen zur Minderung der diffusen Stoffbelastungen.....	8
1.5	Komplexe Auswertung aktueller Analysedaten der Grund- und Oberflächenwasserbeprobung im Abstrom der Mothäuser Heide im Teileinzugsgebiet der oberen Roten Pockau bis zur Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau, oberhalb Brettmühle (OBF 38200).....	13
1.6	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Ausblick.....	20
1.7	Literaturverzeichnis.....	22
2	Erste Ergebnisse der mikrobiellen und isotopehydrochemischen Untersuchungen zur Klärung der Ursachen der hohen Ammoniumbelastung im Grundwasser auf der rekultivierten Kippe des Tagebaus Nochten	24
2.1	Einführung.....	24
2.2	Aufgaben- und Zielstellung.....	25
2.3	Durchgeführte Arbeiten.....	28
2.4	Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen.....	30
2.5	Ergebnisse der isotopehydrologischen Untersuchungen.....	32
2.6	Zusammenfassung.....	36
2.7	Ausblick.....	36
2.8	Literaturverzeichnis.....	37
3	Hydrochemische und isotopehydrologische Untersuchungen zur Klärung der Ursachen der hohen Nitratbelastung des Grundwassers im Einzugsgebiet der Wasserfassung Jahnaue 2	38
3.1	Einleitung.....	38
3.2	Durchgeführte Arbeiten.....	41
3.3	Ergebnisse.....	44
3.4	Zusammenfassung und Ausblick.....	48
3.5	Literaturverzeichnis.....	50
4	Großmaßstäbige Erfassung des Versiegelungsgrades aus Geobasisdaten	52
4.1	Einleitung.....	52
4.2	Untersuchungsfläche.....	53
4.3	Methodik.....	53
4.4	Ergebnisse.....	56
4.5	Zusammenfassung.....	57
4.6	Literaturverzeichnis.....	58
5	Das GREENLAND Projekt – Sanfte Sanierung schwermetallbelasteter Flächen	59
6	Projekt „Qualifizierung Bodenschätzung“	60
6.1	Anlass.....	60
6.2	Zielsetzung/Datennutzung.....	60
6.3	Zeitplan.....	61
7	Bodendauerbeobachtung – Stoffvorratsänderungen im Boden am Beispiel des organischen Kohlenstoffs	62
7.1	Einleitung.....	62
7.2	Auswahl von Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF).....	63
7.3	Kohlenstoff- bzw. Humusvorräte in den Böden Sachsens und deren Veränderungen auf BDF.....	63
7.4	Verlauf der Kohlenstoffgehalte bei jährlicher BDF-Beprobung.....	64
7.5	Zusammenfassung.....	64
7.6	Literatur.....	65

8	Sickerwasserprognose mit computergestützter Stofftransport-Modellierung – Vergleichsrechnung analytisches Programm (ALTEX 1-D) und numerisches Programm (SIWAPRO DSS)	66
8.1	Randbedingungen	66
8.2	Berechnungsergebnisse am Beispiel der 3-Schicht-Modellierung und dem Szenario schwache Sorption und schneller Bioabbau (Szenario 1).....	66
8.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	68
8.4	Literatur	68
9	Schadstoffkarten für Siedlungsbereiche – ein Anwendungsgebiet für Verfahren der künstlichen Intelligenz? 69	
9.1	Einleitung.....	69
9.2	Zielsetzung	69
9.3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	69
9.3.1	Grundsätzliche Hinweise	69
9.3.2	Methodische Empfehlungen	70
9.3.3	Lösungsverfahren der künstlichen Intelligenz.....	70
10	Trendauswertungen nach Wasserrahmenrichtlinie mit GCI WRRL-Trend	71
11	Workshops 2011	73
11.1	Workshop Sickerwasserprognose am 27. Januar 2011 - Parameterermittlung und -anwendung an Fallbeispielen.....	73
11.2	Workshop „Sanierungsentscheidung“ am 22. März 2011	74
11.3	Symposium „Bodeninformationen – Grundlage für Bodenschutz, Wirtschaft und Forschung“ am 12./13.Okt. 2011	75
11.4	Statusseminar „Arzneistoffe in der Umwelt“ am 07./08. September 2011	76

1 Auswertung von Schwermetall- und Nährstoffbelastungen an Grundwassermessstellen der oberen Hanglagen des mittleren Erzgebirges

Heiko Ihling - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
 Robert Michalk - Brandenburgische Technische Universität Cottbus

1.1 Einleitung

Der Anlass dieser Arbeit besteht in der Bewertung der langjährigen Analysendaten an Grundwassermessstellen in den gemäß WRRL als belastet bewerteten Grundwasserkörpern (GWK), in der Beurteilung der Beschaffenheitsdaten an ausgewählten Oberflächenwassermessstellen (OBF) sowie der forstlichen Dauerbeobachtungsfläche (DBF) Olbernhau im Hinblick auf das Vorliegen diffuser Stoffbelastungen in im Wesentlichen forstwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten mit teilweisem Feuchtgebietseinfluss. Des Weiteren besteht das Ziel der Untersuchungen in der Unterbreitung geeigneter und praxisrelevanter Vorschläge zur Minderung der diffusen Stoffbelastungen.

Im Zeitraum zwischen 1992 und 1994 wurde vom Staatlichen Umweltfachamt (StUFA) Chemnitz das Sondermessnetz Versauerung installiert. Sondermessnetze werden zeitlich und örtlich begrenzt betrieben und dienen der Lösung spezieller Problemstellungen. Beim Versauerungsmessnetz wurden die Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit, die der Eintrag von sauer reagierenden Luftschadstoffen (in Form von Schwefel- und Stickstoffverbindungen) aus Braunkohlekraftwerken, Hausbrand, Verkehr und Intensivlandwirtschaft mit sich bringt, verfolgt. Im Zusammenhang mit der am 23. Oktober 2000 verabschiedeten Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (2000/60/EG) wurden die acht Messstellen, die mit dieser Problematik in Verbindung stehen, ab 2004 in die Grundwassermonitoringmessnetze gemäß WRRL überführt.

Folgende sieben Grundwassermessstellen (GWM), die sich auf zwei Grundwasserkörper im Einzugsgebiet des Oberflächenwassers Freiburger Mulde, GWK FM 3-2 (Obere Flöha) und FM 4-3 (Obere Zschopau) verteilen, sind Gegenstand der weiteren Betrachtungen zur diffusen Schadstoffbelastung.

Tabelle 1: Übersicht mit Charakterisierung der GWM des ehemaligen Sondermessnetzes Versauerung

Bezeichnung GWM	MKZG	Gauß-Krüger-Bessel-Koordinaten	GWM-Art/ Ausbau	Hydrogeologie/GWL	hydrogeochemischer Typ gem. PIPER-Diagramm (SUKAROV, 1974)
Ansprung	53452290	RW: 4589540 HW: 5611080	Kluftquelle	Verwitterungs- und Auflockerungszone des Orthogneis – <u>G-Typ</u> (Proterozoikum)	SO ₄ -Ca-Mg-Wasser/erdalkalisch-alkalisch-sulfatisch
Gelobtland, Hy Mb 2/93	53456002	RW: 4584365,98 HW: 5609449,85	GWM-Gruppe Filterbereich: 2-6 m u. GOK (oberer GWL)	Verwitterungszone des Zweiglimmergneis – <u>G-Typ</u> (oberes Riphäikum)	SO ₄ -Ca-Mg-Wasser/erdalkalisch-alkalisch-sulfatisch
Gelobtland, Hy Mb 1/93	53456001	RW: 4584367,59 HW: 5609450,85	GWM-Gruppe Filterbereich: 16-20 m u. GOK (unterer GWL)	Kluftzone des Zweiglimmer-Orthogneis vom <u>G-Typ</u> (oberes Riphäikum)	HCO ₃ -Ca-Mg-SO ₄ -Wasser/erdalkalisch-alkalisch-carbonatisch
Neuwerndorf, Rauschenflußquelle	53472001	RW: 4608687,52 HW: 5616141,61	Schicht-/Kluftquelle	Verwitterungs- und Auflockerungszone des Muskovit- bis Zweiglimmer-	SO ₄ -Ca-Mg-Wasser/erdalkalisch-alkalisch-sulfatisch

Bezeichnung GWM	MKZG	Gauß-Krüger-Bessel-Koordinaten	GWM-Art/ Ausbau	Hydrogeologie/GWL	hydrogeochemischer Typ gem. PIPER-Diagramm (SUKAROV, 1974)
				gneis (Oberes Riphäum)	
Oberwiesenthal, Eisenbergquelle	55432002	RW: 4569102,07 HW: 5590908,91	Schicht-/Kluftquelle	Verwitterungs- und Auflockerungszone des Muskovit - Kali-feldspat - Plagioklas-gneis (tieferes Kambrium)	SO ₄ -Ca-Wasser/erdalkalisch-sulfatisch
Oberwiesenthal, Fichtelbergnordhang	55432001	RW: 4568520,18 HW: 5589325,94	Schicht-/Kluftquelle	Verwitterungs- und Kluftzone des Keilbergquarzit sowie Muskovitglimmerschiefers der <i>Fichtelberg-Folge</i> (tieferes Kambrium)	SO ₄ -Ca-Mg-Wasser/erdalkalisch-alkalisch-sulfatisch
Schmalzgrube (Jöhstadt / Steinbach)	54442780	RW: 4580382 HW: 5600875	Schicht-/Kluftquelle	Verwitterungs- und Auflockerungszone des Zweiglimmerparagneis / Gneis-glimmerschiefers (oberes Riphäum)	SO ₄ -Mg-Ca-Wasser/erdalkalisch-alkalisch-sulfatisch

Der nachfolgende Kartenausschnitt gibt einen Überblick zur Lage der Grundwassermessstellen, die sich topografisch den oberen Hanglagen des mittleren Erzgebirges, von Oberwiesenthal im Westen bis zur tschechischen Staatsgrenze östlich von Neuhausen/Erzgebirge zuordnen lassen. Neben diesen sieben Messstellen ist auch die Positionierung der zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse herangezogenen Level-II-Waldmonitoring-Fläche Olbernhau, die sich in der Zuständigkeit des Staatsbetriebes Sachsenforst (SBS) befindet, erkennbar.

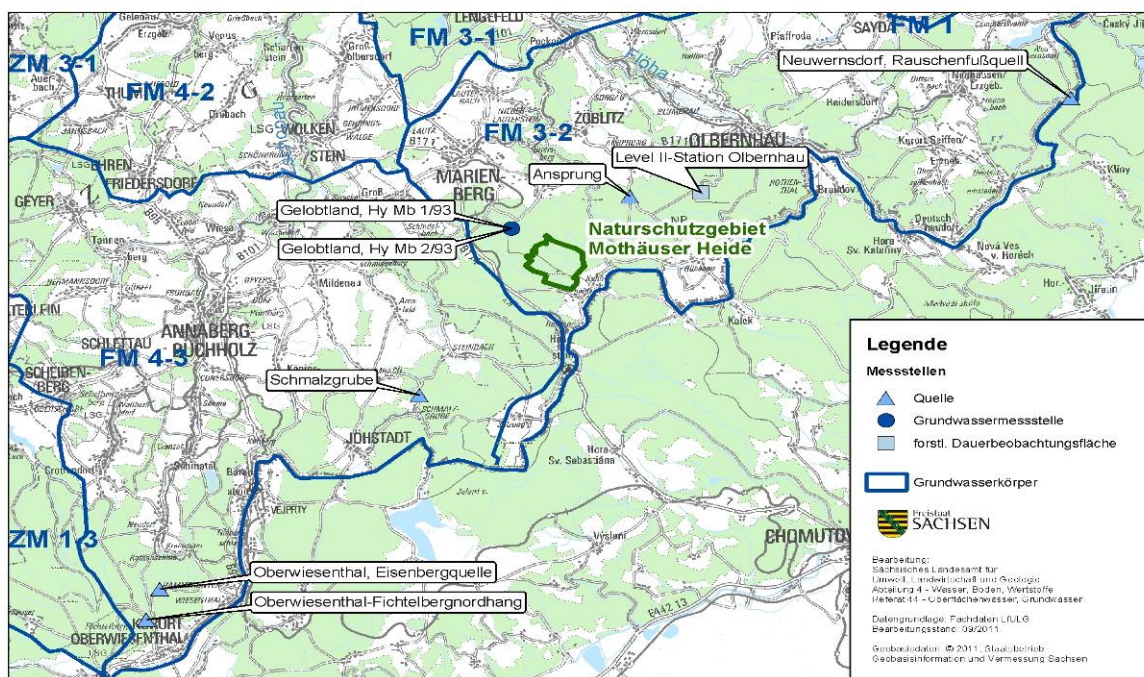


Abbildung 1: Übersicht über die Lage der GWM des ehemaligen Sondermessnetzes Versauerung und der forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Olbernhau

1.2 Aufgaben- und Zielstellungen der Auswertung der vorliegenden Daten

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten zu diesem Beitrag besteht in der Klärung der Ursachen für die relativ niedrigen pH-Werte sowie der Metall- und Schwermetallbelastung, v. a. durch Aluminium und Cadmium, des beprobten Grundwassers an den Quellen und Grundwassermessstellen und in der Bewertung des Trendverhaltens dieser relevanten chemischen Parameter über den gegenwärtig vorliegenden Beobachtungszeitraum.

Eine weitere Aufgabe besteht in der Beurteilung der Wirkungen von Degradationsprozessen an Torfkörpern, d. h. Moorsackungen, hier speziell am Beispiel des im Anstrom der GWM-Gruppe Gelobtland (Hy Mb 1/93 und Hy Mb 2/93) gelegenen Mothäuser Moores auf die Beschaffenheitsentwicklung von Grund- und Oberflächenwasser.

Als zusätzlicher Aspekt der Analyse und Untersuchungen besteht die Frage, ob unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit Maßnahmen zur Minderung der Schadstoffeinträge in den Einzugsgebieten der untersuchten Quellen bzw. im Anstrom der Messstellengruppe Gelobtland bereits durchgeführt werden oder ob effektive Maßnahmen zur Verbesserung des Wasser- und Stoffhaushaltes im Sinne der WRRL in den Untersuchungsgebieten vorgeschlagen werden können.

1.3 Durchgeführte Arbeiten zur Realisierung der Zielstellungen

Die in diesem Beitrag zusammengestellten Untersuchungsergebnisse und deren komplexe Interpretation basieren maßgeblich auf den Auswertungen der Messnetzdaten zum Grundwassermonitoring gemäß WRRL im Rahmen einer Bachelorarbeit von Robert Michalk an der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus (MICHALK 2011). Zur Bewertung möglicher Austräge von diffusen Nähr- und Schadstoffen aus forstlichen Flächen und Feuchtgebieten wurden folgende Feld- und Untersuchungsarbeiten durchgeführt:

- Bestandsaufnahme vorhandener Daten (Geologie, Hydrogeologie, Hydrochemie, Boden-, Klima- und Bewirtschaftungs- sowie Flächennutzungsdaten) zu den Einzugsgebieten der betrachteten Quellen bzw. dem Zustrombereich der Grundwassermessstellengruppe Gelobtland (Hy Mb 1/93 und Hy Mb 2/93)
- Auswertung der Grundwasseranalysen nach WRRL-relevanten chemischen Parametern (pH-Wert, DOC, K, Na, Ca, Mg, SO₄, NO₃, Cl, NH₄ sowie Al, As und die Schwermetalle Pb, Cd, Ni sowie Hg) mit Fokus auf zeitliche Trends und Korrelationen der Parameter untereinander
- Probennahme und Analytik auf o. g. Parameter sowie zusätzlich organischer Spurenstoffe (PSM, Phthalate und DDT) am Abfluss des Moorkomplexes „Mothäuser Heide“, dem entwässernden Fließgewässer Mothäuser Bach und dem Vorfluter Halbmeilenbach/Rote Pockau
- Bewertung der Schwermetallkonzentrationen (v. a. Pb, Cd) im Niederschlag und im Sickerwasser (Saugkerzenproben aus 1 m Tiefe) sowie der Nitrat- und Sulfatdepositionen auf dem Freiland und für den Kronenbestand, gewonnen an der forstlichen Level II- Dauermonitoringfläche Olbernhau (Staatsbetrieb Sachsenforst – SBS)
- Auswertung von Unterlagen zur Bergbauhistorie und Geologie, Ergebnisberichte zum FFH-Gebiet „Mothäuser Heide“, Daten zu Moorprofilen sowie Analysenergebnisse der Torfproben aus dem zentralen Hochmoor der Mothäuser Heide zur Klärung der diffusen Stoffbelastung im Bereich der GWM-Gruppe Gelobtland.

Die Analysen der Grund- und Oberflächenwasserproben erfolgten im Labor der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) am Standort Chemnitz.

1.4 Ergebnisse der Datenrecherche, Bewertung der Analyse- daten und Vorschlag von Maßnahmen zur Minderung der diffusen Stoffbelastungen

Beschaffenheitsdaten an den untersuchten Grund- und Oberflächenwassermessstellen

Die Abbildung 2 zeigt die Ganglinie der pH-Werte (Labor) an den sechs untersuchten Grundwassermessstellen sowie der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau OBF 38200 (topografische Lage – Abbildung 7).

An allen Messstellen ist ein ansteigender Trend der pH-Werte seit Januar 1999 bzw. Mai 2000 zu beobachten. Die niedrigsten Werte wurden an der Messstelle Neuwernsdorf, Rauschenflußquelle ermittelt. Die pH-Werte zeigen an diesem Quellaustritt einen Anstieg von 4,6 auf zuletzt 5,0, liegen jedoch noch deutlich unterhalb des Grenzwertes (pH-Wertebereich: 6,5 – 9,0) der Trinkwasserverordnung (TRINKWV 2001). Die höchsten Werte wurden an den Quellen Schmalzgrube und Oberwiesenthal, Fichtelbergnordhang gemessen. Der pH-Wert der Quelle Schmalzgrube schwankt seit 2001 zwischen 5,4 und 6,5 und liegt damit nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) nahezu eindeutig im Bereich des „geogenen Hintergrundes“. Am Quellaustritt Fichtelbergnordhang stieg der pH-Wert von 5,0 im Jahr 2000 auf 6,0 im Jahr 2006 an, schwankt ab diesem Zeitpunkt bis zur letzten Messung vom 04.08.2009 zwischen 6,0 und 6,4 und erreicht damit fast den Optimalbereich der TrinkwV.

Die pH-Werte der Messstelle Ansprung (Beprobung des Quellbereiches des Rungstockbaches) liegen mit ca. 5,0 deutlich unter dem in der TrinkwV reglementierten Grenzwert und decken sich mit den Werten für Bachwässer aus LFUG (2004). Nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) liegen die Werte somit im anthropogen verursachten Bereich. Die pH-Werte weisen im Vergleich zu 2000 (pH 4,8) einen leicht positiven Trend auf, der mit der Verringerung des Säureeintrages in den letzten 20 Jahren begründet werden kann.

Der pH-Wert der Eisenbergquelle stieg zunächst bis 2003 von 5,6 auf 6,1 - einzelne Peaks erreichten sogar Werte bis 6,3 und 6,4 - stabilisierte sich aber von 2005 bis 2011 zwischen 5,9 und 6,0. Nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) liegt er fast eindeutig im natürlichen geogenen Bereich.

An der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau, oberhalb Brettmühle (OBF 38200) weisen die pH-Werte eine schwach ansteigende Tendenz von Februar 2009 (pH-Wert: 5,2) bis November 2010 (pH-Wert: 5,6) auf. Es treten deutliche jahreszeitliche Schwankungen auf. In der Regel sind hohe Werte in den Monaten Mai bis September und niedrigen Werten zwischen Oktober bis April zu verzeichnen. Die pH-Wert-Ganglinie dieser Messstelle läuft nahezu synchron zum gedämpften pH-Wert-Gang im Grundwasser der Quelle Schmalzgrube (Quellaustritt mit Entwässerung zur Preßnitz) und Fichtelbergnordhang (Quellaustritt der Sehma mit Entwässerung zum Vorfluter Zschopau) trotz der Lage in verschiedenen Einzugsgebieten.

Die pH-Wert-Ganglinien im Grund- und Quellwasser basieren im Wesentlichen auf halbjährlichen Beobachtungen (Frühjahrs- und Herbstbeprobung), während die Messungen im Oberflächenwasser überwiegend monatlich bzw. quartalsweise erfolgten. Der erste etwas erhöhte pH-Wert an der Grundwassermessstelle Gelobtland, Hy Mb 2/93 ist im Zusammenhang mit der Errichtung der Messstelle zu werten und wird als nicht repräsentativ für die natürlichen Vor-Ort-Bedingungen im Grundwasserleiter bewertet. Der zeitliche pH-Wertverlauf wird im Grundwasser maßgeblich durch den verzögerten und abgeschwächten Impuls der Niederschlagsereignisse auf Grund der Passage von der ungesättigten zur gesättigten Zone bestimmt und ist im Vergleich zum Oberflächenwasser durch wesentlich geringere Schwankungen gekennzeichnet.

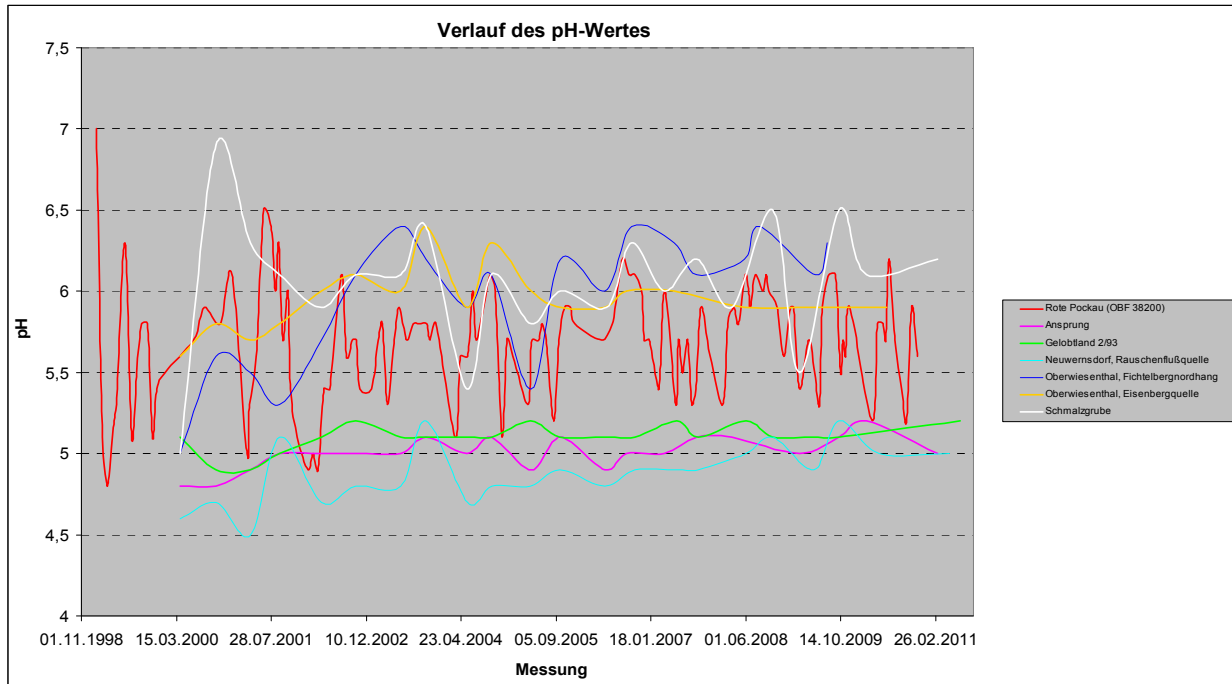


Abbildung 2: pH-Wert von sechs Grundwasser- und einer Oberflächenwassermessstelle an der Roten Pockau (OBF 38200) in Nachbarschaft der Messstellengruppe Gelobtland (Hy Mb 1/93 und Hy Mb 2/93)

Die im oberen Grundwasserleiter ausgebaute GWM Gelobtland, Hy Mb 2/93 weist seit 2002 Schwankungen im pH-Wert zwischen 5,1 und 5,2 auf. Zwischen Herbst 2000 und Herbst 2002 ist ein Anstieg von 4,9 auf 5,2 zu verzeichnen. Insgesamt liegen die pH-Werte im oberen Aquifer um ca. 1,2 pH-Werteinheiten unter denen des unteren GWL (GWM Gelobtland, Hy Mb 1/93 – pH-Wertverlauf siehe Abbildung 3) und damit nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) im anthropogen beeinflussten Bereich.

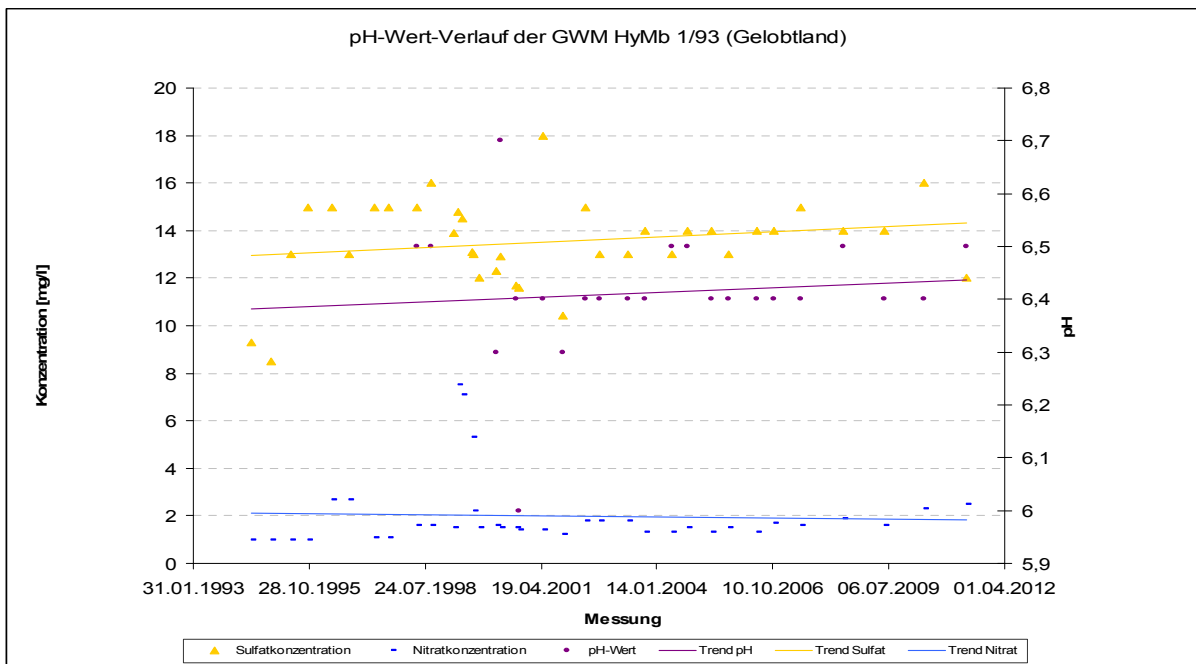


Abbildung 3: pH-, Sulfat- und Nitratkonzentrationen der GWM Hy Mb 1/93 (MKZG: 53456001)

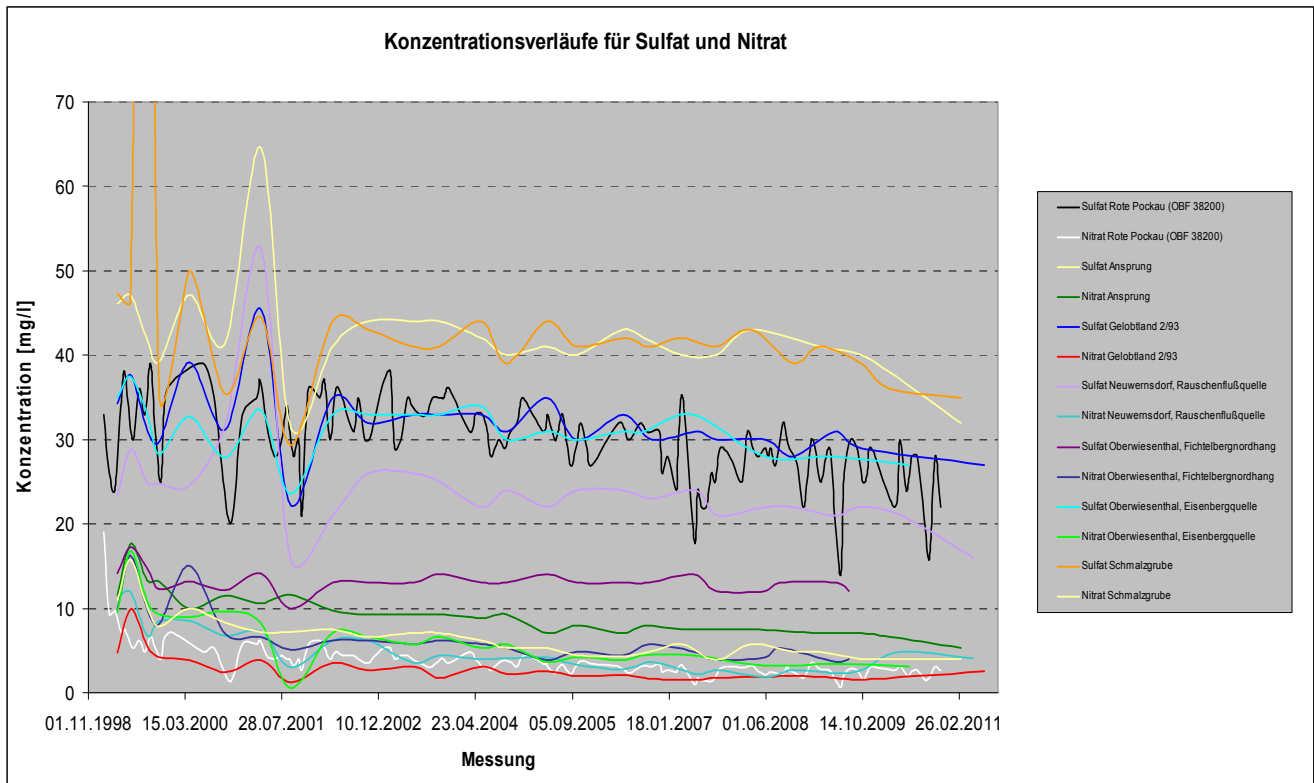


Abbildung 4: Konzentrationen von Sulfat und Nitrat an den GWM und der Oberflächenwassermessstelle an der Roten Pockau (OBF 38200) in Nachbarschaft der Grundwassermessstellengruppe Gelobtland (Hy Mb 1/93 und Hy Mb 2/93)

Bei den Parametern Sulfat und Nitrat werden die Schwellenwerte der Grundwasserverordnung (GrwV 2010) mit 240 mg/l für SO_4 und 50 mg/l bei allen GWM deutlich unterschritten (Abbildung 4). Die höchsten Sulfatgehalte wurden an den Quellen Ansprung und Schmalzgrube bestimmt. An beiden Messstellen fielen die Sulfatkonzentrationen von ca. 47 mg/l im März 1999 auf ca. 38 mg/l im März 2010 ab. Die Nitratkonzentrationen liegen bei diesen beiden Messstellen ebenfalls auf nahezu gleichem Niveau. Bei diesem Parameter sind die Gehalte von ca. 11 mg/l (März 1999) auf ca. 6 mg/l zurückgegangen.

Die niedrigsten Sulfatgehalte wurden an der Rauschenfußquelle ermittelt. Zunächst stieg die Sulfatkonzentration im Zeitraum März 1999 bis April 2000 von ursprünglich 23,3 mg/l auf 52,6 mg/l an. Danach ist ein nahezu gleichmäßiger Rückgang auf 16 mg/l bis Mai 2011 zu verzeichnen. Die niedrigsten Nitratgehalte wurden an der Grundwassermessstelle Gelobtland, Hy Mb 2/93 gemessen. An dieser Messstelle ist die Nitratkonzentration von 9,9 mg/l im Juni 1999 nahezu kontinuierlich auf 1,6 mg/l im Oktober 2009 gesunken. Die übrigen Grundwassermessstellen sowie die Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau (OBF 38200) ordnen sich in den Sulfat- und Nitratgehalten zwischen diesen Messstellen ein. Auch hier ist ein abfallender Trend in den Konzentrationswerten für Nitrat und Sulfat über den Beobachtungszeitraum von März 1999 bis August 2009 bzw. Juni 2010 zu erkennen.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zur Tendenz der Konzentrationen der anderen Kat- und Anionen an den untersuchten Grundwassermessstellen.

Tabelle 2: Bewertung der Tendenz der Konzentrationen der An- und Kationen incl. TIC und DOC an den GWM

Messstelle/ Parameter	Al	NH ₄	Ca	Fe/Fe ²⁺	HCO ₃	K	Mg	TIC	DOC
Ansprung	GWÜ, ↔	NG	↓	NG	↑	↔	↓	↑	↓
Gelobtland, Hy Mb 1/93	teilw. NG u. GWÜ	NG	↓	teilw. NG, teilw. GWÜ / NG	↓	↑	↔	↔	teilw. NG, ↓
Gelobtland, Hy Mb 2/93	teilw. GWÜ, ↓	NG	↔	NG / NG	↑	↔	↔	↔	↔
Rauschenflusssquelle	GWÜ, ↓	NG	↓	teilw. NG / NG	↔	↓	↔	↔	↓
Eisenbergquelle	teilw. NG	NG	↓	NG / NG	↔	↑	↓	↑	↔
Fichtelbergnordhang	↓	NG	↔	NG / NG	↔	↔	↔	↔	↔
Schmalzgrube	teilw. GWÜ, ↔	NG	↓	NG / NG	↔	↓	↔	↔	↔

Erläuterungen zu den Abkürzungen:
 GWÜ Grenzwertüberschreitung nach TrinkwV
 NG Nachweisgrenze
 ↑ Tendenz steigend
 ↓ Tendenz fallend
 ↔ Tendenz bleibend

Bedingt durch die Versauerung von Binnengewässern und neuartige Waldschäden wurde durch Initiative der skandinavischen Länder die Genfer Konvention zur grenzüberschreitenden, weiträumigen Luftverunreinigung gegründet. Durch die ICP Forests der UNECE¹ wurde aus diesem Grund ein forstliches Umweltmonitoring in Europa fest verankert. Hierbei werden der Zustand der Wälder durch ein "methodisch abgestimmtes System aus flächenrepräsentativen Stichprobennetzen und prozessbezogenem Intensivmonitoring" (SMUL 2009) erfasst und die Wirkungen von Luftverunreinigungen und Klimawandel beschrieben.

Für die Datenerhebung existieren zwei Messnetze mit der Bezeichnung Level I und Level-II-Netz und mit unterschiedlichen Zielen, Untersuchungsfrequenzen und -parametern.

Der Staatsbetrieb Sachsenforst unterhält insgesamt acht Dauerbeobachtungsflächen (DBF), die in Klingenthal, Olbernhau, Cunnersdorf, Bautzen, Laußnitz, Colditz, Bad Schandau/Nationalpark und Altenberg eingerichtet wurden. Die Untersuchungen finden jeweils unter Kronenbestand und im Freiland statt (SMUL 2009).

Die Daten aus den DBF, v. a. zu Stickstoff- und Schwefeleinträgen, aber auch zu Schwermetalleinträgen auf diesen Flächen, ergänzen die Arbeiten zur Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (ZWEIG, BUFE & ANDREAE 2006). Für die Bewertung der diffusen Schwermetall- und Nährstoffbelastung der dominierend forstwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiete der Quellen bzw. Zustrombereiche der Grundwasserbeobachtungsrohre wurden vom Staatsbetrieb Sachsenforst u. a. Depositionsdaten für die Schwermetalle Cadmium und Blei, die Nährstoffparameter Nitrat, Ammonium und Sulfat sowie die Jahresniederschläge für den Freiland- und Kronenbereich zur Verfügung gestellt. Zudem wurden die für Quartale gemittelten Konzentrationswerte für Cadmium und Blei, ermittelt an der Bodenwassermessstelle in 1 m Tiefe unter GOK, in die Betrachtung zur Schwermetallbelastung einbezogen.

¹ International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests operating under the Convention in Longrange Transboundary Air Pollution; United Nations Economic Commission for Europe

Abbildung 5 zeigt Konzentrationsganglinien für den Parameter Cadmium an den sechs Grundwassermessstellen, der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau (OBF 38200) sowie der Bodenwassermessstelle auf der forstlichen Dauerbeobachtungsfläche (DBF) Olbernhau (Bezeichnung: Olbernhau).

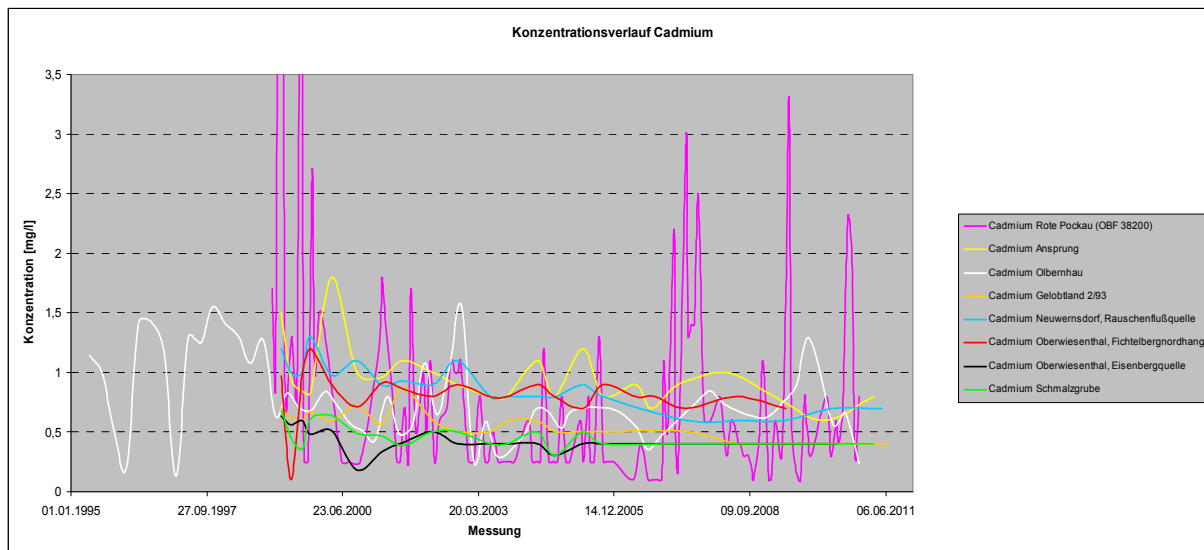


Abbildung 5: Konzentrationsganglinien für Cadmium an den untersuchten GWM, der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau, oberhalb Brettmühle (OBF 38200) und der Bodenwassermessstelle (1 m u. GOK) auf der forstlichen DBF Olbernhau

Insgesamt ist ableitbar, dass an mehreren Grundwassermessstellen der Schwellenwert der Grundwasserverordnung (GrwV 2010) von 0,5 µg/l überschritten wird. Ausnahmen bilden die Messstellen Schmalzgrube und Eisenbergquelle. Bei der Quelle Schmalzgrube lagen die Cadmiumgehalte bis April 2005 über bzw. im Bereich des Schwellenwertes von 0,5 µg/l. Danach ist die Konzentration konstant bei 0,4 µg/l geblieben.

Bei der Messstelle Eisenbergquelle wurde der Schwellenwert der GrwV für Cadmium bis April 2000 überschritten. Danach lagen die Gehalte bei nahezu konstanten Messwerten von 0,4 µg/l.

Die Analysenwerte bezüglich des Schwermetalls Cadmium liegen an der Grundwassermessstelle Gelobtland, Hy Mb 2/93 ab Juni 2003 mit gemessenen Gehalten von 0,4 µg/l ebenfalls geringfügig unter dem Schwellenwert der GrwV. Die zuletzt höchsten Konzentrationen werden an der Messstelle Ansprung mit einem gemessenen Wert von 0,8 µg/l (Probennahme: März 2011) sowie an den Messstellen Oberwiesenthal, Fichtelbergordhang (Probennahme: Juli 2009) und Rauschenflußquelle (Probennahme: Mai 2011) mit 0,7 µg/l ermittelt. Somit liegt eine geringfügige Überschreitung des Schwellenwertes der GrwV vor.

An der Bodenwassermessstelle der forstlichen DBF Olbernhau (Level-II-Messnetz) wird der Schwellenwert für Cadmium von 0,5 µg/l bis auf wenige Ausnahme (u. a. Juli 2006 bis Januar 2007 mit ca. 0,4 µg/l und September 2010 bis Januar 2011 mit 0,24 µg/l) nahezu durchgehend überschritten. Bezüglich der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau, oberhalb Brettmühle (OBF 38200) ist eine generelle Überschreitung der EU-Norm der Oberflächengewässerverordnung (0,08 µg/l, OGewV 2011) festzustellen. Die letzte im Auswertzeitraum ermittelte Konzentration von 0,5 µg/l liegt um ca. das achtfache über der EU-Norm.

Resümierend ist im Ergebnis der Datenrecherche und -auswertung festzustellen, dass an allen berücksichtigten Messstellen im Grundwasser, der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau (OBF 38200) und der Bodenwassermessstelle der forstlichen DBF Olbernhau eine Abnahme der Cadmiumgehalte seit Analysenbeginn zu verzeichnen ist.

Nachfolgend wird eine Bewertung der festgestellten Konzentrationen des gemäß WRRL relevanten Schwermetalls Blei durchgeführt. Die Abbildung 6 zeigt die Konzentrationsganglinien an den gleichen Messstellen, die für die Bewertung der Cadmiumgehalte herangezogen wurden. Aus den Konzentrationsganglinien für das Schwermetall Blei ist ableitbar, dass der Schwellenwert gemäß Grundwasserverordnung (GrwV 2010) von 10 µg/l an den GWM sowie der Bodenwassermessstelle der forstlichen

DBF Olbernhau deutlich unterschritten wird. Zudem ist an nahezu allen Messstellen ein abnehmender Trend der Bleikonzentration zu beobachten. Es tritt ein im Wesentlichen synchroner Verlauf der Konzentrationsganglinien für Blei an den Messstellen Neuernsdorf, Rauschenflußquelle und Oberwiesenthal, Fichtelbergordhang auf. Eine ähnliche Übereinstimmung besteht zwischen dem Konzentrationsgang für Blei an der Bodenwassermessstelle der forstlichen DBF Olbernhau und der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau, oberhalb Brettmühle (OBF 38200).

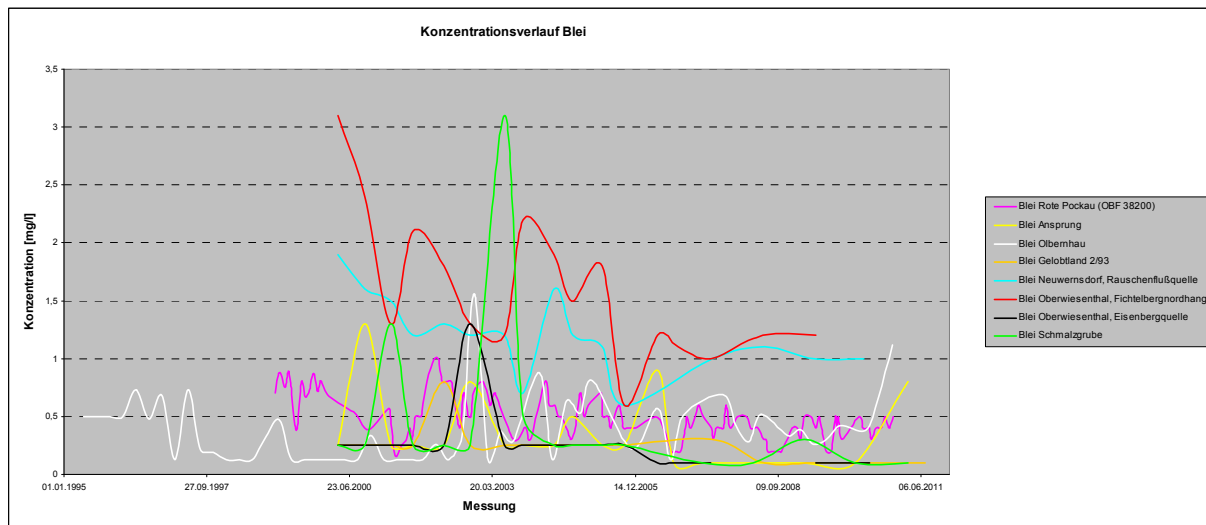


Abbildung 6: Konzentrationsganglinien für Blei an den untersuchten GWM, der OWM Rote Pockau, oberhalb Brettmühle (OBF 38200) und der Bodenwassermessstelle (1 m u. GOK) auf der forstlichen DBF Olbernhau

1.5 Komplexe Auswertung aktueller Analysedaten der Grund- und Oberflächenwasserbeprobung im Abstrom der Mothäuser Heide im Teileinzugsgebiet der oberen Roten Pockau bis zur Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau, oberhalb Brettmühle (OBF 38200)

Einzugsgebiet

Das untersuchte oberirdische Einzugsgebiet der oberen Roten Pockau umfasst ein Areal von ca. 8,91 km² und reicht von der Marienberger Hochfläche im Süden bis zur Kühnhaiders Hochfläche im Norden (Abbildung 7: blaue Umgrenzung).

Das Gebiet wird durch flachwellige, leicht nach Nordosten und Norden geneigte Hochflächen bestimmt, das durch die Rote Pockau, die unmittelbar an der GWM-Gruppe Gelobtland, Hy Mb 1/93 und Hy Mb 2/93 vorbeiführt, geteilt wird. Im Osten und Südosten befinden sich höhere und steilere Talhänge. Dadurch entwässern auch vom Osten her zahlreiche Zuflüsse. Der Höhenunterschied beträgt zwischen der Roten Pockau bei Rätzens Brettmühle (625 m HN) und der östlichen Wasserscheide im äußersten Süden (790 m HN) ca. 165 m. Das gesamte Einzugsgebiet wird durch die Rote Pockau über die Flöha in die Freiburger Mulde entwässert.

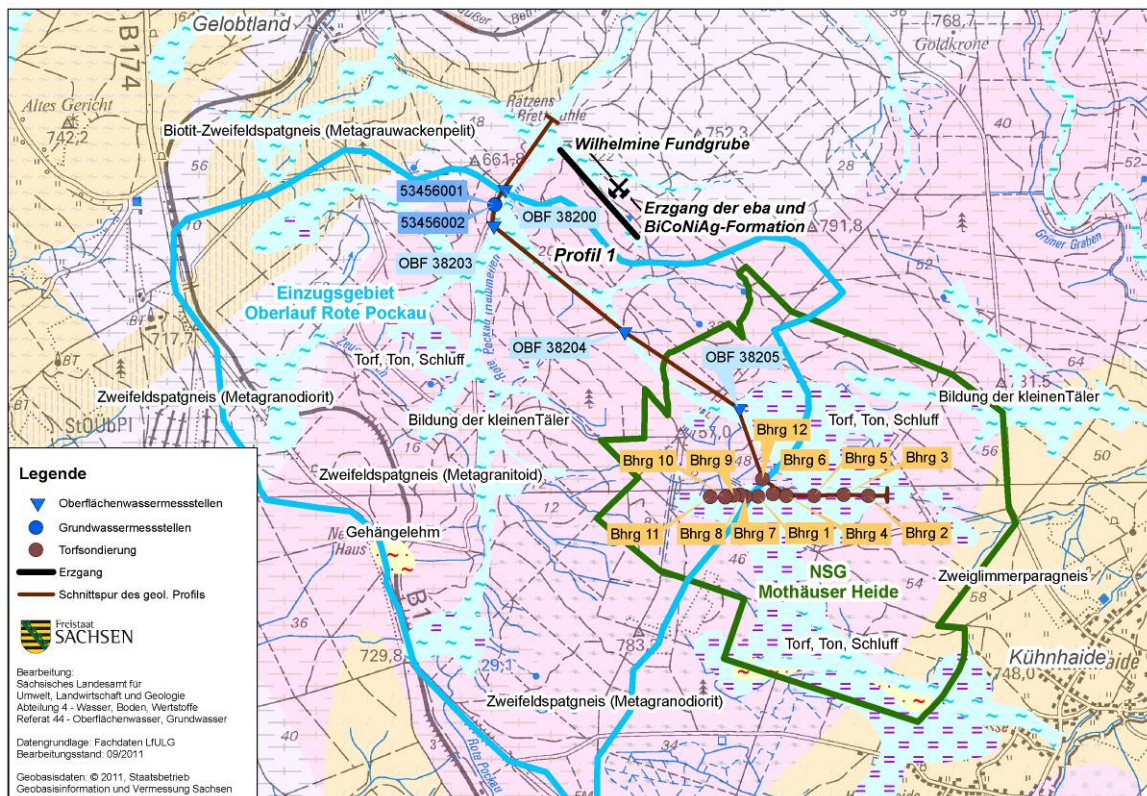


Abbildung 7: Überblick über die Lage des oberirdischen Einzugsgebiets der oberen Roten Pockau bis zur Oberflächenwassermessstelle OBF 38200, der beprobten Oberflächen- und Grundwassermessstellen, des NSG Mothäuser Heide und der Schnittspur des geologischen Profils

Im Bereich der östlichen Wasserscheide liegt das Naturschutzgebiet „Mothäuser Heide“, das als Mittelgebirgs-Regenmoor (gemäß der genetisch-morphologischen Klassifikation durch SUCCOW & JOOSTEN (2001) als Gehänge-Regenmoor) Anteil am Einzugsgebiet hat. Das 664 ha große Moorgebiet „Mothäuser Heide“ bildet ein Teilgebiet des betrachteten Einzugsgebietes und gehört zum Reitzenhain-Kühnhaiden Moorkomplex, dem flächenmäßig bedeutendsten im sächsischen Erzgebirge. Es wird im Osten durch den Krötenbach, Wellnerbach, Schwarzen Teichbach sowie im Westen über den Mothäuser Bach und den Nassen Brückenbach entwässert. Die zentrale Moorfläche umfasst 78 ha und hat eine maximale Mächtigkeit von 8,4 m. Typische Leitbodentypen sind neben Torf Braunerde-Podsol, Moor-Stagnogley, Anmoor-Pseudogley und tiefgründige basenarme Braunerde (EDOM et al. 2011).

Das FFH-Gebiet Mothäuser Heide wird zu 89 % von Nadelbaumarten (insbes. Fichte) und nur zu 11 % von Laubbaumarten (vorwiegend Pionierbaumarten) bedeckt (SCHINDLER 2008). Mitte des 16. Jh. wurde durch den Bau der Görkauer Straße eine Wasserbarriere zwischen südwestlichen Moorflügel und Hauptmoorkörper hergestellt und somit ein wesentlicher Teil des Einzugsgebietes abgetrennt. Bronzezeitliche Funde deuten auf eine bereits frühzeitig angelegte Wegführung hin (LANU 1998). Zwischen 1824 und 1854 wurde innerhalb des heutigen NSG „Mothäuser Heide“ ein sehr dichtes Entwässerungsnetz mit einer Gesamtlänge von 71 km und Tiefen bis zu 4,5 m angelegt. Im Rahmen dieser Maßnahme wurden große Mengen Stockholz gerodet (mindestens 140 m³/ha) sowie Spirken und Fichten gepflanzt. Die Folgen der Eingriffe in das Ökosystem waren beträchtlich (STERZIK 1993). Das Überwiegen sowie die Gleichaltrigkeit der Bestände von *Pinus rotundata* (Moor-Kiefer) sind Folgewirkungen der Entwässerungen und prägen gegenwärtig noch das Bild der Vegetation.

Heute besteht im Zentrum des Moores ein lichter Waldbestand, bestehend aus *Pinus rotundata* (Moor-Kiefer) und *Picea abies* (Fichte). Am Boden überwiegt *Vaccinium myrtillus* (Heidelbeere) mit einem hohen Deckungsgrad an *Sphagnum*-Arten. Im oligotrophen Moorkern und im Bereich der Wasserscheide bzw. im vernässenden mesotrophen Moorkernbereich bilden *Eriophorum vaginatum* (Scheidiges Wollgras), *Carex nigra* (Braun-Segge) und *Carex canescens* (Grau-Segge) die Bodenvegetation (MICHALK 2011). Durch die natürliche Grabenverlandung, die im Moorkern zum überwiegenden Teil abgeschlossen ist, und

der damit eintretenden Wiedervernässung in Kombination mit Immissionssschäden kommt es zur Auflichtung und zum Absterben älterer und hoher Bäume. Im Randbereich des Moores dominiert *Picea abies* (Gemeine Fichte). Auf Grund der fehlenden forstlichen Nutzung und immissionsbedingten Störungen kommt es zur spontanen Verjüngung aller Baumarten und zu horizontal strukturierten und teilweise plenterartigen Waldbeständen. Seit ca. 130 Jahren werden die Bestände im Zentrum des Moores nicht mehr genutzt, lediglich in den Moorrandbereichen fanden bis in die 1990er-Jahre forstwirtschaftliche Maßnahmen statt. Im silikatisch geprägten Einzugsgebiet des Moores bildet *Picea abies* (Gemeine Fichte) die dominierende Baumart als Reinbestand entgegen ihrer natürlichen Verbreitung und zu Lasten von *Fagus sylvatica* (Rotbuche) (EDOM et al. 2011), die mit ca. 0,2 % Flächenanteil im Vergleich zur natürlichen Vegetation stark unterrepräsentiert ist. Auf Grund des Waldumbaus wurde die Rotbuche auf ein Viertel der ca. 29 ha großen Fläche nur im Unterstand unter Fichte eingebracht (SCHINDLER 2008).

Geologie und Bergbauhistorie des Untersuchungsgebietes

Im Gebiet südöstlich von Marienberg kommen verschiedene Gneisvarietäten, vor allem Paragneis (Graugneise) und Orthogneis (Rotgneise) vor, die von Granit unterlagert werden. Gemäß der geologischen Karte (GK 25) stehen im geologischen Untergrund um Marienberg überwiegend Biotit- und Zweifeldspatgneis (siehe auch Abbildung 7) an. Die Paragneise enthalten Metagrauwacke, Metabasite und Metaschwarzschiefer und haben präkambrisches Alter. Um Pobershau treten in den Gneisen Ost-West streichende Erzgänge der Zinn-Wolfram- und BiCoNiAg-Formation auf. Außerdem ist am Nordrand des Einzugsgebietes NW-SE streichende Gangmineralisation der Roteisen-Baryt-Formation verbreitet. Diese wurde u. a. in den südöstlich der Rätzens Brettmühle gelegenen Eisenerzgruben „Goldkrone Fundgrube“ und „Wilhelmine Fundgrube“ (Abbildung 7) abgebaut. Als Silbererzminerale treten überwiegend Pyrargyrit (Ag_3SbS_3), Argentit (Ag_2S), Proustit (Ag_3AsS_3) und gediegenes Silber (Ag) auf.

Der folgende geologische NW-SE-Schnitt (Abbildung 8) entlang der Torfsondierpunkte im Bereich des NSG „Mothäuser Heide“ und der Oberflächen- und Grundwassermessstellen des Gebietes verdeutlicht die hydrogeologischen Verhältnisse im nordwestlichen Abstrom des Mothäuser Moorkomplexes. Die Schnittdarstellung zeigt die flurnahen Grundwasserstände im Bereich der Messstellengruppe Gelobtland, Hy Mb 1/93 und Hy Mb 2/93 und die relativ gute hydraulische Kommunikation zwischen Kluft-Grundwasserleiter (Verwitterungs- und Auflockerungszone des Reitzenhain-Katharinaberger Orthogneis) und dem Vorfluter Rote Pockau. Im Bereich des Torfkörpers des Mothäuser Moores besteht eine hydraulische Trennung zwischen „Aktotelm“ (oberer Bereich mit Vegetationsschicht und Moorboden, große Wasserdurchlässigkeit) und „Katotelm“ (darunter liegender wasergesättigter Bereich mit geringer biologischer Aktivität und relativ niedriger Wasserdurchlässigkeit einschließlich stauender Untergrund, aus denen Substanzen gelöst werden können).

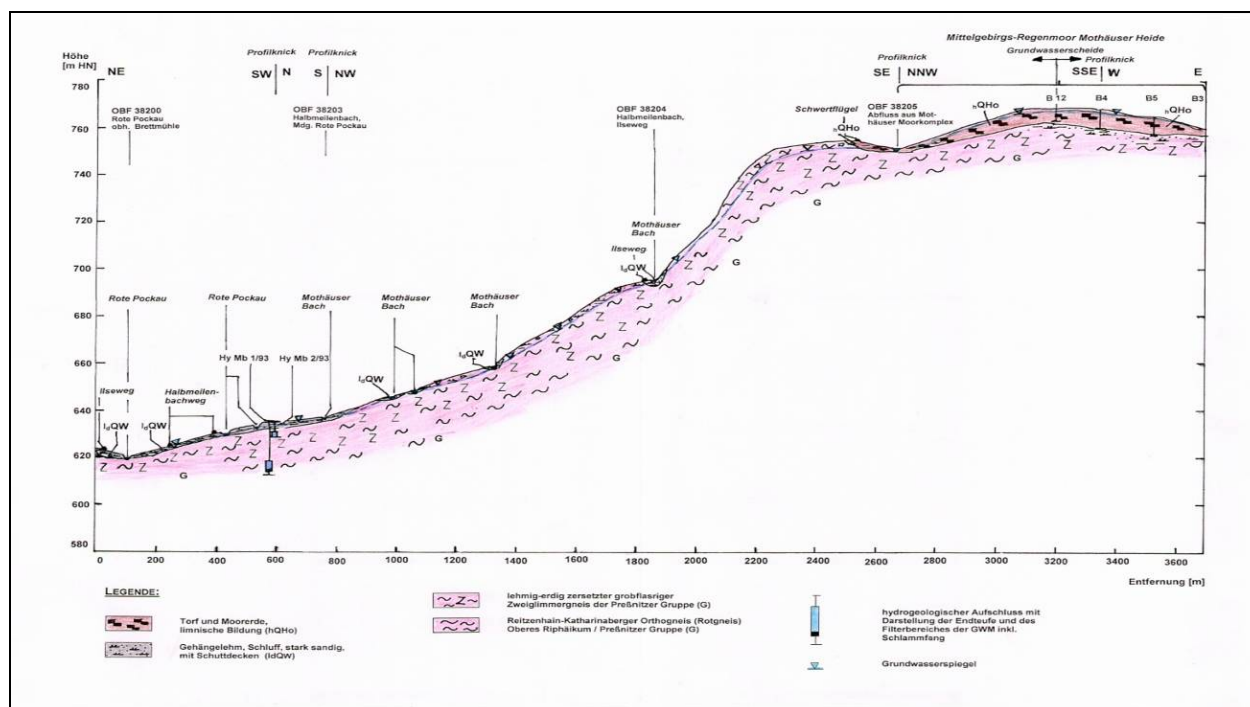


Abbildung 8: Geologischer SE-NW-Schnitt durch den nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes im Oberlauf der Roten Pockau

Im Mai und Juli 2011 erfolgte eine detaillierte Untersuchung des Oberflächen- und Grundwassers im nordöstlichen Abstrom des NSG „Mothäuser Heide“ mit dem Ziel einer Wichtung des Einflusses des Stoffaustrages aus dem Moorkomplexes im Zusammenhang möglicher Stoffumsatz- und Degradationsprozesse auf die Beschaffenheit der betrachteten Gewässer. Die Lage der drei Oberflächenwassermessstellen OBF 38203 bis OBF 38205 sowie der Messstellengruppe Gelobtland, Hy Mb 1/93 (53456001) und Hy Mb 2/93 (53456002) ist der Abbildung 7 zu entnehmen. Die Analyseergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Analysendaten an den Oberflächen- und Grundwassermessstellen im nordwestlichen Abstrom des Mothäuser Moores

Parameter/ Bezeichnung Messstelle	Einheit	Gelobtland, Hy Mb 1/93	Gelobtland, Hy Mb 2/93	Halbmei- lenbach Mdg. Rote Pockau	Halbmei- lenbach Mdg. Rote Pockau	Mothäuser Bach, nördl. Rohrdurch- lass, Ilse- weg	Mothäuser Bach, nördl. Rohrdurch- lass, Ilseweg	Abfluss Mothäuser Moorkom- plex	Schlen- kenbereich Mothäuser Heide (PIETSCH 1976)
MKZG		53456001	53456002	OBF 38203	OBF 38203	OBF 38204	OBF 38204	OBF 38205	
PN-Datum		10.05.2011	07.07.2011	10.05.2011	07.07.2011	10.05.2011	07.07.2011	07.07.2011	April 1973
pH-Wert (La- bor)	[-]	6,5	5,2	5,2	4,7	4,8	4,4	3,9	3,9
Gesamthärte	[°dH]	1,6	1,7	1,4	1	1,1	0,7	0,5	7,4
Natrium	[mg/l]	7,3	4,5	3,6	2,5	3,8	2,2	1,5	1
Kalium	[mg/l]	0,8	1,4	1,3	0,7	1	0,4	<0,3	0,3
Calcium	[mg/l]	7,7	0,4	6,2	4	4,7	3	2,2	3,5
Magnesium	[mg/l]	2,1	3	2,3	1,7	2	1,3	0,7	1,2
Eisen, ges. gel.	[mg/l]	<0,03	<0,03	0,2	1	0,4	2,1	3,9	1,1
Mangan	[µg/l]	3,7	35	100	91	150	96	59	
Aluminium	[µg/l]	18	180	250	570	320	710	740	
Ammonium	[mg/l]	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	0,046	8,6
Sulfat	[mg/l]	12	27	23	19	20	12	9	10,6
Chlorid	[mg/l]	4,1	5	4,1	4,5	4	4,5	4,4	5,8
Hydrogenkar- bonat	[mg/l]	31	6	4	4	3	0	0	0
Silikat	[mg/l]	25	17	15	13	15	11	7,9	4
Nitrat	[mg/l]	2,5	2,5	2,3	2,2	1,8	1,7	1,5	8,8
Phosphat	[mg/l]	0,079	<0,04	<0,031	0,043	<0,031	0,095	0,29	0,018
Fluorid	[µg/l]	300	300	100	200	100	<50	200	
Bor	[µg/l]	<4	7	9,6	7,7	9,2	9,2	6,3	
Antimon	[µg/l]	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	0,7	
Arsen	[µg/l]	1,2	<0,5	0,8	2,5	1	4,6	9,3	
Blei	[µg/l]	<0,2	<0,2	0,6	2,4	1,1	4,3	8,2	

Parameter/ Bezeichnung Messstelle	Einheit	Gelobtland, Hy Mb 1/93	Gelobtland, Hy Mb 2/93	Halbmei- lenbach Mdg. Rote Pockau	Halbmei- lenbach Mdg. Rote Pockau	Mothäuser Bach, nördl. Rohrdurch- lass, Ilse- weg	Mothäuser Bach, nördl. Rohrdurch- lass, Ilseweg	Abfluss Mothäuser Moorkom- plex	Schlen- kenbereich Mothäuser Heide (PIETSCH 1976)
Cadmium	[µg/l]	<0,03	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	
Chrom	[µg/l]	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	2,4	
Cobalt	[µg/l]	2,3	0,7	0,6	0,8	1	1	0,9	
Kupfer	[µg/l]	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
Nickel	[µg/l]	1,3	1,7	2,2	2,9	2,5	2,4	6,7	
Quecksilber	[µg/l]	-	-	0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	
Titan	[µg/l]	1,1	<1	<1	3,8	<1	5,6	10	
Uran	[µg/l]	0,2	<0,1	0,2	0,7	0,2	0,6	0,4	
Vanadium	[µg/l]	<0,3	<0,3	<0,3	0,7	0,4	1,4	2,3	
Zink	[µg/l]	<3	9,7	14	15	20	18	24	
Barium	[µg/l]	78	68	52	42	42	33	34	
Strontium	[µg/l]	26	32	33	24	27	18	16	
Di-(2-ethyl- hexyl)-phthalat	[ng/l]	n.n.	<100	210	420	880	350	140	
Bisphenol A	[ng/l]	n.n.	<10	n.n.	21	42	33	64	
DOC	[mg/l]	1,2	2,1	4,2	15	6,8	25	46	

Tabelle 4: Parameter mit ihren gesetzlichen Grenz- und Schwellenwerten sowie Umweltqualitätsnormen (UQN)

Parameter	Einheit	GrwV 09.11.2010 Schwellenwerte	TrinkwV 2001 Grenzwerte	LAWA Dez. 94 GFS-Werte	E-MantelV 01/2011 Schwellen (S)- und Prüfwerte (P)	OGewV 10.06.2011 UQN
pH-Wert (Labor)	[-]		6,5-9,5			
Gesamthärte	[°dH]					
Natrium	[mg/l]		200			
Kalium	[mg/l]					
Calcium	[mg/l]					
Magnesium	[mg/l]					
Eisen, ges. gel.	[mg/l]		0,2			
Mangan	[µg/l]		50			
Aluminium	[µg/l]		200			
Ammonium	[mg/l]		0,5		0,5 (S)	
Sulfat	[mg/l]	240	240	240	250 (S)	
Chlorid	[mg/l]		250	250	250 (S)	
Hydrogenkarbonat	[mg/l]					
Silikat	[mg/l]					
Nitrat	[mg/l]	50	50			
Phosphat	[mg/l]					
Fluorid	[µg/l]		1500	750	750 (P)	

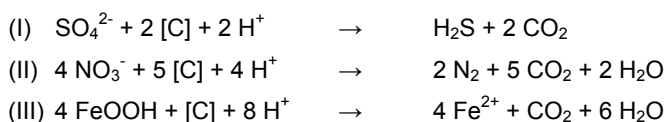
Parameter	Einheit	GrwV 09.11.2010 Schwellenwerte	TrinkwV 2001 Grenzwerte	LAWA Dez. 94 GFS-Werte	E-MantelV 01/2011 Schwellen (S)- und Prüfwerte (P)	OGewV 10.06.2011 UQN
Bor	[µg/l]		1000		740 (P)	
Antimon	[µg/l]		5	5	5 (P)	
Arsen	[µg/l]	10	10	10	10 (P)	
Blei	[µg/l]	10	10	7	7 (S)	7,2
Cadmium	[µg/l]	0,5	5	0,5	0,25 (S)	0,08
Chrom	[µg/l]		50	7	7 (P)	
Cobalt	[µg/l]			8	8 (P)	
Kupfer	[µg/l]		2000	14	14 (P)	
Nickel	[µg/l]		20	14	20 (P)	
Quecksilber	[µg/l]	0,2	1	0,2	0,05 (S)	0,05
Titan	[µg/l]					
Uran	[µg/l]					
Vanadium	[µg/l]			4	4 (P)	
Zink	[µg/l]			58	58 (P)	
Barium	[µg/l]					
Strontium	[µg/l]			340	340 (P)	
Di-(2-ethylhexyl)- phthalat	[ng/l]			800 *		1300
Bisphenol A	[ng/l]			100 *		
DOC	[mg/l]					

* abgeleiteter GFS-Wert [MUNLV, 2005] Literatur: Abfälle aus Kläranlagen; Teil E: Organische Schadstoffe in Klärschlämmen – Bewertung und Ableitung von Anforderungen an die landwirtschaftliche Verwertung Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Februar 2005

Mit den aktuellen Beprobungen aus dem Abfluss des Mothäuser Moores im Einmündungsbereich des Moorwassers und den vorliegenden Analyseergebnissen aus dem Schlenkenbereich von PIETSCH (1976) lässt sich das Moorgewässer hydrochemisch als extrem elektrolyt- und nährstoffarm, bikarbonatfrei sowie extrem sauer (pH-Wert 3,9) charakterisieren. Es hat einen hohen Gehalt an gelöster organischer Substanz, ersichtlich an der im Juli 2011 gemessenen DOC-Konzentration von 46 mg/l, was typisch für diese Art von Mooren ist. Zudem sind die Calcium-, Silikat- und Sulfatgehalte relativ hoch, die den Einfluss des mineralischen Untergrundes (lehmig-toniger bzw. lehmig-sandiger, überwiegend stark rissiger und reduktiver Gneiszersatz) erkennen lassen. Die Gehalte an Natrium und Kalium sind an der Beprobungsstelle des Abflusses des Moorkomplexes sehr gering. Magnesium fehlt nahezu (0,7 mg/l) und Hydrogenkarbonat konnte überhaupt nicht nachgewiesen werden.

Weil die Anionen nicht in äquivalenten Mengen vorliegen, muss ein Teil der Kationen durch Huminsäuren gebunden sein, wie u. a. als Calciumhumat-Sol.

Auf Grund der aktuell relativ niedrigen Nitrat- und Sulfatkonzentrationen (1,5 mg/l bzw. 9,0 mg/l) und den deutlich erhöhten Eisengehalten (3,9 mg/l) liegen vermutlich mikrobiologische Zerfallsprozesse, bedingt durch das im wassergesättigten Bereich der Torfe vorherrschende anaerobe Milieu, gemäß folgender vereinfachter Reaktionsgleichungen vor (LANU 1998):



Die mikrobiellen Zersetzungsprozesse werden zudem durch aus der Atmosphäre eingetragenes SO₂ und NO_x ausgelöst. Durch STEINBERG & KRÜGER (2011) wird beschrieben, dass eine Freisetzung von Fe (II) nach Reduktion aus Fe(III)-Phosphor-Verbindungen zur Bildung von Fe-Humaten führen kann und damit hohe Eisenfrachten in Oberflächengewässer verursacht werden. Der im Juli 2011 gemessene hohe Phosphatgehalt von 0,29 mg/l sowie die hohe Eisen-Gesamt-Konzentration könnten diesen Prozess andeuten.

An den Oberflächenwassermessstellen unterhalb des Abflusses aus dem Moorkomplex lässt sich entlang des Mothäuser Baches eine Abnahme der Konzentrationen von organisch gebundenem Kohlenstoff (DOC) und Eisen in Fließrichtung zur Mündung in den Vorfluter Rote Pockau beobachten.

Weiterhin auffallend ist die aktuell gemessene hohe Aluminiumkonzentration im Abfluss des Mothäuser Moores (0,74 mg/l), die entlang des weiteren Abflusses und den Messstellen am Mothäuser Bach (0,71 mg/l) und Halbmeilenbach (0,57 mg/l), bei gleichzeitiger Zunahme des pH-Wertes, abnimmt. Erst an der im oberen GWL ausgebauten Messstelle Gelobtland, Hy Mb 2/93 erreicht sie eine gemäß TrinkwV tolerable Konzentration von 0,18 mg/l.

In Auswertung der Schwermetallgehalte ergibt sich für Cadmium als toxischer Schadstoff die relevanteste Belastung. Im Abfluss des Mothäuser Moorkomplexes, an der OW-Probennahmestelle des Mothäuser Baches am Ilseweg sowie im Mündungsbereich des Mothäuser Baches in die Rote Pockau wird die EU-Norm für oberirdische Gewässer gemäß OGewV um das ca. 4- bis 5-Fache überschritten.

Im oberen GWL-Bereich der unterhalb des Mothäuser Moores gelegenen GWM-Gruppe (Hy Mb 2/93) wird der Schwellenwert gemäß GrwV für Cadmium (0,5 µg/l) mit einem aktuell bestimmten Gehalt von 0,4 µg/l geringfügig unterschritten. In der im unteren GWL ausgebauten Messstelle liegt die Cadmiumkonzentration unter der Nachweisgrenze von 0,03 µg/l und damit deutlich niedriger als im oberen GWL.

Das entlang des Abflusses aus dem Moorkomplex bis zur Mündung in die Rote Pockau angetroffene Verteilungsmuster der Cadmiumkonzentration deutet auf eine erhöhte Freisetzung hin. Die Schwermetallbelastung wird mit einer Mobilisierung partikulär über den Luftpfad eingetragener Aerosole (u. a. CdSO₄- bzw. CdCl₂-Kristallaggregate) aus dem Torfkörper des Moorkomplexes der Mothäuser Heide in Verbindung gebracht. Derselbe phänomenologische Zusammenhang wird für die erhöhten Bleikonzentrationen auf Grund der atmosphärischen Deposition von Bleisalzen, überwiegend in Form von Anglesitnadelchen (PbSO₄-Partikel), aus der Nichteisen-Hütten-Industrie sowie von Emittenten der Verbrennung fossiler Brennstoffe vermutet. Die Bleikonzentration im Bereich des Abflusses des Mothäuser Moorkomplexes liegt bei der Beprobung vom 07.07.2011 mit 8,2 µg/l über der Umweltqualitätsnorm (JD-UQN) von 7,2 µg/l gemäß OGewV vom 10.06.2011. In Richtung der unterhalb gelegenen OW- und GW-Messstellen nehmen die Gehalte an Blei ab und liegen unter der Umweltqualitätsnorm nach OGewV bzw. unter dem Schwellenwert gemäß GrwV.

Die Abnahme der Konzentrationen von Cadmium, Nickel, Titan, Zink und Vanadium entlang des Moorabflusses bis zur Mündung des Mothäuser Baches in die Rote Pockau (Halbmeilenbach) und im oberen Grundwasserleiter deuten auf eine Mobilisierung und Freisetzung der im Torfkörper organisch gebundenen und durch Rauchgase aus der Braunkohleförderung und -verbrennung des Böhmisches Beckens eingetragenen Schwermetalle hin. Ein in KAUL (2000) beschriebener Torfsondieraufschluss (Bohrung 12) im südwestlichen Bereich des Mothäuser Moores bekräftigt diese These von der Ursache der Schwermetallbelastung der Gewässer durch Prozesse der atmosphärischen Deposition (Tabelle 5).

Tabelle 5: Vergleich der geochemischen Analyseergebnisse (Feststoffgehalte) der Torfproben an der Bohrung 12 aus dem Mothäuser Moor (KAUL 2000) -PN am 2.11.1999- mit den Hintergrundwerten (HGW) für Metagranitoide – Orthogneise/Augengneise gemäß KADEL et al. (1996)

Parameter	Einheit	Probenahmetiefe 1,3 m	Probenahmetiefe 1,8 m	Probenahmetiefe 2,2 m	Probenahmetiefe 2,9 m	Probenahmetiefe 3,8 m	HGW [mg/kg TS] x min	HGW [mg/kg TS] x max	HGW [mg/kg TS] x mittel
Arsen	mg/kg TS	34,03	2,95	3,11	2,47	1,83	3	35	[19]
Blei	mg/kg TS	140,21	10,10	13,60	8,21	5,19	11	30	21
Cadmium	mg/kg TS	0,41	0,16	0,17	0,17	0,14	0	0,2	0,1
Chrom	mg/kg TS	34,03	2,96	3,11	2,47	1,83	4	30	14
Cobalt	mg/kg TS	0,43	0,19	0,41	0,28	0,87	1,5	14	4,6
Kupfer	mg/kg TS	3,22	1,48	1,56	2,07	1,94	4,5	41	13
Molybdän	mg/kg TS	0,17	0,08	0,09	0,12	0,21	-	-	-

Parameter	Einheit	Probenahmetiefe 1,3 m	Probenahmetiefe 1,8 m	Probenahmetiefe 2,2 m	Probenahmetiefe 2,9 m	Probenahmetiefe 3,8 m	HGW [mg/kg TS] x min	HGW [mg/kg TS] x max	HGW [mg/kg TS] x mittel
Quecksilber	mg/kg TS	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-
Thorium	mg/kg TS	0,34	0,08	0,15	0,14	0,12	1	20	10
Vanadium	mg/kg TS	2,98	1,13	1,77	1,70	1,11	-	-	-
Uran	mg/kg TS	0,18	0,16	0,19	0,59	0,15	1	12	5,1
Zink	mg/kg TS	34,74	25,03	24,08	30,29	17,37	15	133	48
Barium	mg/kg TS	19,03	9,33	12,17	16,18	27,75	310	980	610
Calcium	mg/kg TS	947,50	2177,50	1889	1718	1356,50	-	-	-
Eisen	mg/kg TS	405	1049,50	878,50	1161,50	4268	-	-	-
Phosphor	mg/kg TS	506,38	352,73	627,11	596,59	425,80	-	-	-
Schwefel	mg/kg TS	2144,50	727,44	1096,58	1178,47	1222,88	-	-	-

* Cadmium – Hintergrundwerte aus LfULG (2010)

Im oberen Horizont (Tiefenbereich: 1,3 m) sind anthropogene Metallbelastungen durch Blei, Chrom und Arsen, deren Gehalte die mittleren Hintergrundwerte für Metagranitoide, wie Ortho- und Augengneise deutlich überschreiten, zu beobachten. Zudem wird in demselben Teufenbereich der regionale geogene Hintergrundwert für Oberboden bezüglich des Schwermetalls Cadmium überschritten. Über das gesamte Torfprofil wurden erhöhte Schwefel- und Phosphorgehalte ermittelt. Dabei nehmen die Schwefelgehalte mit zunehmender Tiefe ab. Relativ hohe Konzentrationen lassen sich im organischen Sediment auch für die Parameter Eisen und Cadmium beobachten. Während beim Calcium im Feststoffgehalt gleichfalls eine teufenabhängige Abnahme zu verzeichnen ist, steigen die Eisenkonzentrationen nach der Tiefe hin deutlich an.

An organischen Spurenstoffen sind auffällige Belastungen im Mothäuser Bach durch Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) festzustellen.

Bei DEHP wird der in MUNLV (2005) abgeleitete Geringfügigkeitsschwellenwert von 800 ng/l an der OW-Messstelle Mothäuser Bach nördlich Rohrdurchlass Ilseweg bei der Beprobung im Mai 2011 überschritten. Hauptquellen dieser Phthalatverbindung liegen im Einsatz als Weichmacher der PVC-Produktion, in der Flexibilisierung von Lacken, Farben und Klebstoffen bzw. in der Textilverarbeitung und Kosmetik.

1.6 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Ausblick

Die Auswertung der Beschaffenheitsdaten an den sechs untersuchten GWM sowie der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau (OBF 38200) ergab einen ansteigenden Trend der pH-Werte seit Januar 1999 bzw. Mai 2000.

Als Ursache für die pH-Wertaufbesserung des Grund- und Oberflächenwassers im letzten Jahrzehnt kommt die seit 1989 verstärkt praktizierte forstliche Bodenschutzkalkung infrage. Entsprechend der Rechercheergebnisse beim Staatsbetrieb Sachsenforst erfolgte in den Jahren 1989, 1996, 1997 und 2001 eine Kalkausbringung zwischen 2,5 und 4,5 t/ha im Umfeld der forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Olbernhau per Helikopter. Für die Kalkung der Waldböden wurden kohlensaure Magnesiumkalke (Dolomite) in gemahlener Form (Kornfraktion: 0-3 mm) eingesetzt. Entsprechend des „Leitfadens Forstliche Bodenschutzkalkung in Sachsen“ (LAF 2000) besteht das Ziel der Kalkung im Stoppen des weiteren Versauerungsprozesses und in der Neutralisierung der eingetragenen Säurebildner, in der Stärkung der Pufferkapazität des Bodens und seiner Fähigkeit, Nähr- und Schadstoffe sowie Wasser zu speichern und im Einbringen von Basizität sowie Erdalkalien in die Humusaufgabe bzw. in

den Boden. Des Weiteren dient die o. g. Düngung der Waldböden einer moderaten Aktivierung der Stoffumsätze in den Auflagehumusformen.

Der zu verzeichnende Rückgang der Sulfatkonzentration steht mit der gesetzlich vorgeschriebenen Verminderung der Schwefeldioxid-Emissionen in den 1990er-Jahren aus der Industrie und vor allem aus den Kraftwerken im Zusammenhang. Die Konzentrationsabnahmen von Sulfat decken sich mit den abnehmenden SO₂-Emissionsdaten aus Kohlekraftwerken der CEZ-Gruppe in der Tschechischen Republik (CEZ 2011).

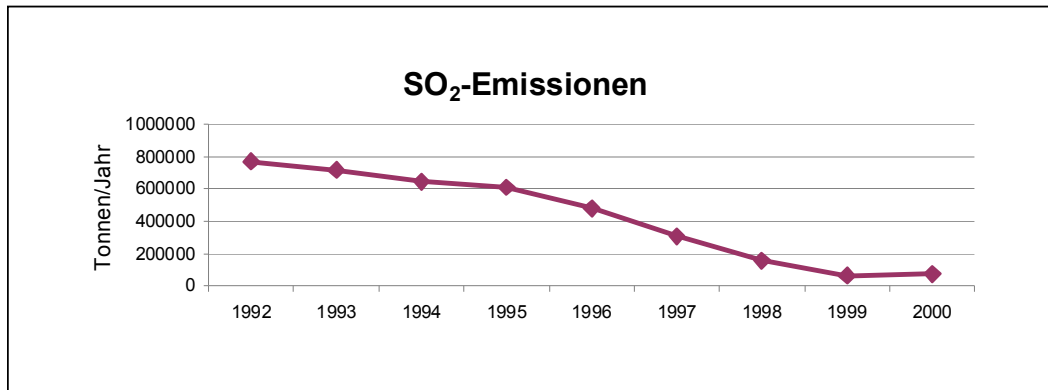


Abbildung 9: Schwefeldioxid-Emission aus den Kraftwerken der CEZ-Gruppe (Quelle aus CEZ 2011)

Die Auswertung der Konzentrationsganglinien für die Schwermetalle Cadmium und Blei an den GWM, der Oberflächenwassermessstelle Rote Pockau (OBF 38200) und der Bodenwassermessstelle der forstlichen DBF Olbernhau ergab ebenfalls einen abnehmenden Trend.

Im nordwestlichen Abstrom der Mothäuser Heide wurde entlang des Abflusses aus dem Moorkomplex bis zur Mündung in die Rote Pockau eine erhöhte Freisetzung bezüglich des Schwermetalls Cadmium festgestellt. Die Schwermetallbelastung wird mit der Mobilisierung partikulär über den Luftpfad eingetragener Aerosole (CdSO₄- bzw. CdCl₂-Kristallaggregate) in Verbindung gebracht. Derselbe Prozess lässt sich für das Schwermetall Blei beobachten. Gestützt wird die These durch Analyseergebnisse im Feststoffgehalt an einem Torfsondieraufschluss im südwestlichen Bereich des Mothäuser Moores, die im oberen Horizont (Teufenbereich: 1,3 m) eine anthropogene Metallbelastung durch Blei, Chrom und Arsen ergab.

Um den bisher beobachteten Rückgang der Versauerung der Gewässer des mittleren Erzgebirges auch zukünftig zu sichern, wird empfohlen, die Bodenschutzkalkung der Waldböden außerhalb der Moorbereiche fortzuführen. Laut Staatsbetrieb Sachsenforst ist vorgesehen, die Kalkdüngung der Waldböden künftig im Zusammenhang mit einer Optimierung des Düngermiteinsatzes in einem 10-Jahres-Intervall zu realisieren.

Ein weiterer, nach Möglichkeit auch beschleunigter Rückgang der beschriebenen Belastungen lässt sich zumindest mittel- und langfristig auch über eine Stabilisierung der hydrologischen Bedingungen im Moorkörper und auf weiteren im Einzugsgebiet der Messstellen befindlichen Nassstandorten erreichen. Mit dem FFH-Managementplan liegen für die Mothäuser Heide bereits entsprechende Planungen vor (SCHINDLER 2008), die in letzter Zeit weiter konkretisiert werden konnten. So stellt die den zentralen Moorkörper querende Görkauer Straße ein hydrologisch wirksames Hindernis dar, durch das Teile der Torfe in Trockenphasen immer wieder stärkeren Zersetzungsprozessen ausgesetzt sind. Einige noch funktionsfähige Entwässerungsgräben haben einen ähnlichen Effekt.

Zur Wiederherstellung der Anbindung des südwestlich der Görkauer Straße gelegenen Wassereinzugsgebietes und des dort gelegenen Moorkörper an den Hauptmoorkörper wurden vier Varianten betrachtet. Als Vorzugsvariante hat sich der Einbau von säurebeständigen Wasserbausteinen an vier ca. 20 m breiten Abschnitten bei gleichzeitiger Anhebung der Görkauer Straße ergeben. Gegenwärtig wird hierzu ein Fördermittelantrag gemäß der Richtlinie WuF (Förderrichtlinie Wald und Forstwirtschaft) erarbeitet.

Ausgeglichene hydrologische Verhältnisse im Moor könnten dazu beitragen, diese Zersetzungsprozesse und den damit verbundenen Austrag an Huminstoffen und teilweise daran gebundenen Schwermetalle zu minimieren. Stärkere temporäre Austräge, wie sie nach Starkregenereignissen vorkommen, können in einem hydrologisch intakten Moor besser abgefangen werden.

1.7 Literaturverzeichnis

CEZ (2011): Atmosphäre.

<http://www.cez.cz/de/kraftwerke-und-umwelt/umweltschutz/atmosphaere.html> ; [Stand: 17.08.2011].

EDOM, F.; DITTRICH, I.; KEßLER, K.; MÜNCH, A.; PETERS, R.; THEUERKAUF, M.; WENDEL, D. (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf wasserabhängige Ökosysteme – Teilprojekt Erzgebirgsmoore, In: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.): Klimatische Stabilität von Mittelgebirgsmooren. Schriftenreihe des LfULG, Heft 1, 2011.

EUROPÄISCHE UNION (EU) (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, L 327/1, 22.12.2000.

EUROPÄISCHE UNION (EU) (2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung .

GRUNDWASSERVERORDNUNG (GrwV) (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers vom 09. November 2010. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 56, ausgegeben zu Bonn am 15. November 2010.

KARDEL, K.; RANK, G.; PÄLCHEN, W. (1996): In Sächsisches Landesamt und Geologie (Hrsg.): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen.

KAUL, P. (2000): Immobilisierung von Uran an verschiedenen Typen natürlicher, huminifizierter, organischer Substanz. Diplomarbeit. TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz. Dresden. 13.10.2000.

KOSSMAT, F. (1926): Geologische Karte von Sachsen. M.: 1:25.000. Section Zöblitz, Blatt Nr. 129 (5345). 2. Auflage. Leipzig.

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. LAWA, Düsseldorf, Dezember 2004.

LANU (1998): Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge, Herausgeber: Sächsische Akademie für Natur und Umwelt in der Sächsischen Landesstiftung Natur und Umwelt. Druckerei Vettors GmbH Radeburg, 1. Auflage. Dezember 1998.

MANTELVERORDNUNG (MANTELV) (2011): Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichen Material. Arbeitsentwurf vom 06.01.2011.

MATTHES, G. (1994): Die Beschaffenheit des Grundwassers. Lehrbuch der Hydrogeologie. Band 2. 3. Auflage, Verlag Gebrüder Bornträger, Berlin.

MICHALK, R. (2011): Recherche und Auswertung von Beschaffenheitsdaten an Grundwasseraufschlüssen mit relevantem Wald- und Feuchtgebietseinfluss in Hinblick auf das Vorliegen diffuser Stoffbelastungen. Bachelorarbeit. BTU Cottbus, Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik. Cottbus. 31.07.2011.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) (2005): Abfälle aus Kläranlagen; Teil E: Organische Schadstoffe in Klärschlämmen – Bewertung und Ableitung von Anforderungen an die landwirtschaftliche Verwertung. Ministerium für Umwelt und Naturschutz. Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Februar 2005.

OBERFLÄCHENWASSERVERORDNUNG (OGewV) (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer vom 20.07.2011.

PÄLCHEN, W. (HRSG.) (2009): Geologie von Sachsen II. Georesourcen, Geopotenziale, Georisiken. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

PIETSCH, W. (1976): Vegetationsentwicklung und wasserchemische Faktoren in Moorgewässern verschiedener Naturschutzgebiete der DDR. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, Heft 1, Band 16.

RIEDEL, L.; MARTIN, S. (1992): Eine Region an der Silberstraße – Der Bergbau und das Leben des Bergmanns im ehemaligen Marienberger Revier. Druck- und Verlagsgesellschaft Marienberg mbH, Marienberg.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LFUG) (2004): Materialien zum Bodenschutz. Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen – Teil 2: Spurenelementgehalte in Bachsedimenten. Dresden.

- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) (2010): Cadmium im Oberboden. Geochemische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen M.: 1:400.000. 1. Auflage. Freiberg.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN (LFF) (2000): Leitfaden Forstliche Bodenschutzkalkung in Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten. Heft 21/2000. Dresden.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL) (2009): Waldzustandsbericht 2009 – Wald unter der Lupe. Dresden.
- SCHINDLER, T. (2008): FFH - Managementplan SCI DE 5345-302 „Mothäuser Heide“.
- SCHLEYER, R., KERNDORFF, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. Eine Bestandsaufnahme für den vorbeugenden Grundwasserschutz sowie zur Erkundung von Grundwasserverunreinigungen. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- STEINBERG, C. E. W.; KRÜGER, A. (2011): Hochmoore im Erzgebirge: Liegt die Störung wirklich in den Mooren? Kommentar zu dem Aufsatz von Grunewald et. al. in „Wasser und Abfall“ Heft 11/2009. Wasser Abfall 5/2011, S. 41-44.
- STERZIK, G. (1993): Anthropogene Beeinflussung der Moore um Reitzenhain („NSG Mothäuser Haide“, Stengelhaide) und Satzung („NSG Schwarze Haide – Kriegswiese“) in den letzten Jahrhunderten unter Einbeziehung der angrenzenden Gebiete – Moornutzungsgeschichte. Belegarbeit, TU Dresden, Abt. Forstwirtschaft. Tharandt.
- SUCCOW, M.; JOOSTEN, H. (HRSG.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, 2. Auflage, 622 S..
- TRINKWASSERVERORDNUNG (TRINKWV) (2011) – Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 03.05.2001. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2011 Teil I Nr. 21, ausgegeben zu Bonn am 11. Mai 2011.
- VOIGT, H.-J. (1990): Hydrogeochemie. Eine Einführung in die Beschaffenheitsentwicklung des Grundwassers. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 1. Auflage. 310 S..
- ZWEIG, M.; BUFE, J.; ANDREAE, H. (2006): Diffuse Belastungen von Grundwasserkörpern in Sachsen. In: Wasserwirtschaft, Vol. 96, No. 6, 2006, 20-25.

2 Erste Ergebnisse der mikrobiellen und isotopenhydrochemischen Untersuchungen zur Klärung der Ursachen der hohen Ammoniumbelastung im Grundwasser auf der rekultivierten Kippe des Tagebaus Nochten

Sabine Willscher; Doreen Knippert - TU Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten

Heiko Ihling - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Kay Knöller, Christina Jeschke - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Dep. Catchment Hydrology

2.1 Einführung

Im Ergebnis der Zustandsbewertung der Grundwasserkörper (GWK) in Sachsen gemäß WRRL im Juli 2009 ergeben sich vier GWK, bei denen ein schlechter Zustand auf Grund der Ammoniumbelastung zu verzeichnen ist. Es handelt sich um die GWK SE 1-1 (Hoyerswerda), SP 2-1 (Niesky), SP 3-1 (Lohsa-Nochten) und SAL GW 059 (Weißelsterbecken mit Bergbaueinfluss). Diese GWK sind gleichermaßen vom Braunkohlebergbau und den einhergehenden Prozessen „Acid Mine Drainage“ (AMD) überprägt.

Die niedrigen pH-Werte und die hohen Konzentrationen an Eisen-, Schwefel- und auch Stickstoffverbindungen, wie v. a. Ammonium, belasten nicht nur die Oberflächengewässer und Vorfluter, sondern gefährden zudem den dortigen Grundwasserleiter. In denen im schlechten chemischen und mengenmäßigen Zustand befindlichen GWK sind die hohen Ammoniumgehalte v. a. auf die Kippenbereiche und den Kippengrundwasserleiter konzentriert.

Ein Schwerpunkt des Vorhabens bestand in der Durchführung von vergleichenden Untersuchungen an tiefenabhängigen Sedi- ment- und Grundwasserproben auf der Abraumkippe mit unterschiedlicher Nutzung in Zusammenarbeit mit dem Bergbautreibenden, der VATTENFALL Europe Mining AG, die im Rahmen des GWM- Neubaus für das Grundwassermonitoring im Jahr 2011 gewonnen wurden. Hierbei wurde exemplarisch an je einer GWM- Bohrung die Problematik der Ammoniumbelastung auf den beiden folgenden Standorttypen untersucht:

- rekultivierter Kippenbereich mit Waldnutzung
- rekultivierter Kippenbereich auf einer Sukzessionsfläche.

Es musste ein komplexes Untersuchungsprogramm, bestehend aus einer detaillierten Datenrecherche zur Historie des Braunkohlentagebaus Nochten, zur Geologie, Hydrogeologie und Hydrodynamik, zur Kippentechnologie und zum -aufbau, zum montanhydrologischen Grundwassermonitoring sowie umfangreicher Feld- und Laborarbeiten, zum Ansatz gebracht werden.

Folgende Vor-Ort- und Laborarbeiten inkl. Auswertung und Interpretation waren zu realisieren bzw. sind noch in Bearbeitung:

- mikrobielle Probennahme bei der Gewinnung von Boden- und Grundwasserproben
- Untersuchung mikrobiologischer Prozesse in den Proben zur Prozessaufklärung
- Bestimmung der $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalte vom gelösten anorganischen und organischen Kohlenstoff, der $\delta^{34}\text{S}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte vom gelösten Sulfat, der $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalte vom gelösten Ammonium und Nitrat sowie der $\delta^2\text{H}$ -Gehalte im Grundwasser
- Tritium- und $3\text{H}/3\text{He}$ -Altersdatierung sowie Radio-Carbon-Altersdatierung am gelösten anorganischen Kohlenstoff ($\delta^{14}\text{C}$ -DIC)

- chemische Untersuchung der aus der ungesättigten und gesättigten Zone entnommenen Bodeneluat und Grundwasserproben auf konventionelle Kat- und Anionen sowie auf gelöstem Kohlendioxid, DOC und DIC
- Bestimmung der bodenphysikalischen Parameter (Siebanalysen und kf-Wert-Bestimmung)
- Aufklärung der Ammoniumproblematik und Ableitung von Empfehlungen für die Landnutzung und Bewirtschaftung der untersuchten Kippenflächen bzw. für mögliche Wege der Minderung der Ammoniumbelastung unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit bzw. der Tatsache, dass für die betroffenen GWK mit Bergbaueinfluss bereits auf weniger strenge Umweltziele gemäß WRRL orientiert wird.

An diesem Forschungsvorhaben sind das Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden (mikrobielle Untersuchungen), das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Halle (isotopenhydrologische Untersuchungen) sowie das Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann (chemische Untersuchungen) beteiligt. In diesem Artikel werden ausschließlich zunächst nur die Problematiken sowie ersten Ergebnisse der mikrobiellen und isotopenhydrologischen Arbeiten betrachtet. Eine komplexe Darstellung aller Feld- und Analysendaten, deren Interpretation und Auswertung inkl. die abgeleiteten Schlussfolgerungen ist für das nächste Jahr in dieser Schriftenreihe geplant.

2.2 Aufgaben- und Zielstellung

Schwerpunkt der durchgeführten Arbeiten des Instituts für Abfallwirtschaft und Altlasten an TU Dresden stellte eine Klärung des Prozessverständnisses bezüglich der im Untergrund ablaufenden mikrobiellen Aktivitäten und deren Beteiligung an der geschilderten Problematik der erhöhten Ammoniumkonzentrationen im GWK dar. Dazu sollten verschiedene am Stickstoffumsatz beteiligte Bakteriengruppen quantifiziert sowie Mikrokosmenversuche mit ausgewählten Kippsubstratproben durchgeführt werden.

Herangehensweise zur Lösung der Aufgabenstellung

Zunächst erfolgte eine Betrachtung potenzieller Eintragsquellen für N-Verbindungen, aus denen schließlich die Lösungsstrategie für die mikrobiologischen Arbeiten abgeleitet wurde. So schied landwirtschaftliche N-Einträge bzw. ein Eintrag durch den Bergbau (z. B. Sprengstoffe, Cyanide) oder die Kohleveredlung an diesem Standort aus. Als potenzielle Quellen für einen N-Eintrag wurden die Melioration der Kippenbereiche mit einer anorganischen und organischen Düngung in Erwägung gezogen, weiterhin ein möglicher Abbau von Huminstoffen in den Kippenbereichen sowie eine mögliche zusätzliche Hemmung des mikrobiellen Umsatzes von NH_4^+ im Grundwasserleiter.

Zur Prüfung dieser Thesen wurden verschiedene quantitative mikrobiologische und enzymatische Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde die Zahl an aeroben heterotrophen koloniebildenden Einheiten (KBE) als Übersichtscharakterisierung bestimmt, weiterhin wurde auf heterotrophe Denitrifikanten sowie *Thiobacillus denitrificans* mit Hilfe anaerober Testmethoden (MPN = Most Probable Number) untersucht. Auch Sulfatreduzierer wurden mit Hilfe der MPN- Methode miterfasst. In Inkubationstests wurden die Kippsubstrate auf eine anaerobe Ammonifikation sowie auf Nitrifikation untersucht. Mit den bisher aufgeführten Testmethoden können zahlreiche der am N-Kreislauf beteiligten Mikroorganismengruppen bzw. deren Aktivität untersucht werden:

- Die anaerobe Ammonifikation findet bei der Zersetzung von N-haltiger organischer Substanz statt (z. B. Proteine), als Produkt wird NH_4^+ gebildet.
- Bei der Nitrifikation wird NH_4^+ zu $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ oxidiert.
- Bei der Denitrifikation werden die oxidierten N-Spezies schließlich zu N_2 reduziert.

Weiterhin wurde die Aktivität verschiedener am N-Kreislauf beteiligter Enzyme untersucht, um die mögliche Herkunft des NH_4^+ im GWK zu prüfen. Dazu wurde die Ureaseaktivität untersucht, die zur Freisetzung von NH_4^+ aus Harnstoff führt. Eine hohe Aktivität dieses Enzyms wäre v. a. ein Hinweis auf das Vorhandensein von organischen Düngemitteln, z. B. aus der Melioration. Auch die Aktivität der Amidase wurde untersucht, die zur hydrolytischen Freisetzung von NH_4^+ aus organischen Säureamiden führt. Zur Charakterisierung der allgemeinen Aktivität von Enzymen der im Bodensubstrat lebenden Biomasse wurde die Phosphatase (Phosphomono-esterase) gemessen. Diese ist in der Lage Ester von Alkoholen (z. B. Lipide, Glycoside), Phenolen und Nucleotiden hydrolytisch zu spalten. Aus dem Wachstum der verschiedenen am N-Kreislauf beteiligten Mikroorganismengruppen bzw. aus der Aktivität von NH_4^+ -freisetzenden Enzymen sollten erste Schlussfolgerungen auf eine mögliche Beteiligung der im Kippsubstrat lebenden Mikrobiologie an den erhöhten NH_4^+ -Konzentrationen im GWK abgeleitet werden.

Durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Halle sollen am Beispiel der rekultivierten Kippenbereiche des Tagebaus Nochten die Untersuchungen der Isotopenzusammensetzung sowie der Altersbestimmung des Kippengrundwassers zur Klärung des Prozessverständnisses für die hohen Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser des im chemisch schlechten Zustand befindlichen GWK-SP 3-1 (Lohsa-Nochten) beitragen. Durch biochemische Reaktionen wie z. B. die mikrobielle Sulfatreduktion und Denitrifikation in anaeroben Bereichen und die Nitrifizierung in aeroben Bereichen des Bodens oder Sediments kann der „Natural Attenuation“-Prozess gefördert werden.

Hydrochemische Analysen reflektieren den gegenwärtigen Zustand des Grundwasserkörpers, können aber durch äußere Einflüsse, wie Infiltration von Niederschlagswasser, beeinflusst sein. Mit Hilfe der Isotopenfraktionierung von Schwefel und Stickstoff lassen sich diese biochemischen Vorgänge nachweisen und in Verbindung mit der Bestimmung mikrobiologischer Aktivität kann das Umsetzungspotenzial beurteilt werden. Die Betrachtung der Isotopendaten helfen weiterhin mögliche Quellen der verschiedenen Stickstoffverbindungen insbesondere der Ammoniumbelastung zu erkennen.

Beschreibung des Gebietes

Der Tagebau Nochten befindet sich im äußersten Nordosten des Freistaates Sachsen. Er wird im Süden durch das Kraftwerk Boxberg, im Osten durch die Bundesstraße B 156, im Nordosten durch die Stadt Weißwasser, im Nordwesten durch die Ortschaften Mühlrose und Mulkwitz und im Westen durch die Verbindungsstraße Boxberg–Rohne–Schleife begrenzt (Abbildung 1).



Abbildung 1: Übersichtsplan zur Lage des Tagebaus Nochten

Naturräumlich befindet sich das Gebiet im zentralen Bereich der Muskauer Heide (MANNSFELD & RICHTER 1995). Diese stellt eine flachwellige, nur wenige Meter höher als das südlich anschließende Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet gelegene Talsandfläche dar. Im Norden bildet dagegen die Elster 2-kaltzeitlichen Endmoränenablagerungen des Niederlausitzer Grenzwalls eine eindeutige Abgrenzung. Im Osten ragen die Höhen des Muskauer Faltenbogens, eines sehr markanten Abschnitts des Niederlausitzer Grenzwalls bis 40 m über die Struga-Niederung auf.

Nach weiträumiger Grundwasserspiegelabsenkung wurde im Jahr 1968 mit dem Aufschluss des Tagebaus Nochten nahe den Ortschaften Mulkwitz und Mühlrose begonnen. Nach Realisierung der Aufschluss- und Umsiedlungsvorgänge wurde im Jahr 1973 die erste Rohbraunkohle aus dem 2. Lausitzer Flözhorizont gefördert. Bedingt durch die ständig wachsende Nachfrage bezüglich der Braunkohle war es erforderlich, die Technik der Braunkohlegewinnung bestmöglich an den Stand der Technik anzupassen, damit eine wirtschaftliche und effiziente Förderung der Kohle gewährleistet werden konnte. 1974 erfolgte aus

diesem Grund die Inbetriebnahme der Abraumförderbrücke (AFB) vom Typ F 60 (Modellnr. 33). Nach drei Jahren laufenden „Probetriebs“ wurde 1976 der Abbau im Regelbetrieb auf dem Tagebauareal beschlossen. Im Jahre 1989 wurde in diesem Tagebau die höchste Förderleistung aller Braunkohletagebauegebiete der DDR erzielt. Die Jahresförderung belief sich dabei auf ca. 31,5 Mio. Tonnen. Im Verlaufe des Tagebaubetriebes nahm diese Förderung ab und lag im Jahr 1991 nach der Wiedervereinigung Deutschlands nur noch bei etwa 18,3 Millionen Tonnen.

Im Zeitraum von 1973 bis 1993 lag das Abraum-Kohle-Verhältnis bei 4,74 m³ zu 1 Mio. t. Von 1993 bis 2002 wurde die Tagebautechnologie weiter vervollkommen. So wurden im Dezember 1993 vom Tagebau Greifenhain ein Schaufelradbagger vom Typ SRs 6300 mit dem dazugehörigen Verladegerät, ein Absetzer vom Typ A2 Rs B 15400 und neun Bandbetriebs- bzw. Heckstationen per Landtransport angeliefert. Ein weiterer Transport von Großgeräten, diesmal aus dem nahegelegenen Tagebau Reichwalde, erfolgte gemäß (<http://lausitzkohle.verein-visuellelausitz.de>) im Jahr 2002.

Der Braunkohlenabbau im Tagebau Nochten wird gegenwärtig im Schwenkbetrieb entgegen dem Uhrzeigersinn gefahren. Dabei befindet sich der Drehpunkt für den Schwenkbetrieb im Nordrandschlauch des Tagebaus. Der Abraum- sowie Kohletransport erfolgt mittels zahlreicher Bandanlagen. Vor Beginn der Braunkohlegewinnung muss der Abraum, deren Mächtigkeit derzeit bei ca. 80 m bis 90 m beträgt, bewältigt werden. Der Abraum wird dabei in fünf Teilschnitten gewonnen. Dazu gehören:

- Vorschnitt
- 1. Brückenschnitt
- 2. Brückenschnitt (gegliedert in 2a und 2b)
- 3. Brückenschnitt

Der oberste Baggerschnitt im Tagebau ist der sogenannte Vorschnitt. Dieser wird mit Hilfe eines Schaufelradbaggers im Hochschnittverfahren gewonnen. Im Vorschnitt werden neben nur gering mächtigen pleistozänen Sedimenten vor allem Ton-Sand-Wechsellagerungen der Raunoer Folge (Tertiär) erfasst und über Bandanlagen im rückwärtigen Bereich über der dort liegenden Förderbrückenkippe bis auf die Höhe des geplanten Endniveaus aufgeschüttet (Absetzerkippe). Das im Vorschnitt gewonnene Entsprechend der lokalen Verbreitung wird das unterhalb der Raunoer Folge anstehende 1. Lausitzer Flöz mit einem zweiten Vorschnittbagger gewonnen. Der Abraum des sich an den Vorschnitt anschließenden Teilschnittes wird mittels einer Abraumförderbrücke (AFB 60) transportiert. An die AFB 60 sind des Weiteren drei Eimerkettenbagger gekoppelt. Die Verteilung der Eimerkettenbagger auf dem Tagebaugelände wurde so angelegt, dass in der Oberen Arbeitsebene mittels eines Baggers der 1. Brückenschnitt im Hochschnitt und der Brückenschnitt 2a wiederum im Tiefschnitt bedient werden kann. Im Bereich der Hauptarbeitsebene wird der Brückenschnitt 2b im Hochschnitt und der 3. Brückenschnitt im Tiefschnitt bedient. Hierzu werden zwei Eimerkettenbagger bereitgestellt. Die Abraumförderbrücke besitzt eine maximale Schnitthöhe von 60 Metern und dient dem Transport des Abraums von der gewachsenen Böschung auf die Kippe. An der Basis dieser Abraumkippe wird zunächst eine Vorkippe geschüttet, die aus gut drainfähigem Material aufgebaut ist. Auf ihr steht die Kippenstütze der Förderbrücke. Durch die selektive Verkipfung des rolligen Materials aus dem 1. Brückenschnitt und bei Bedarf eines Teils des Brückenschnittes 2a wird eine gute Entwässerung und damit auch die Standsicherheit für die Vorkippe gewährleistet.

Der Tagebau Nochten weist eine für das Lausitzer Urstromtal typische, relativ ungestörte Schichtenfolge vom Hangenden zum Liegenden auf (WÜNSCHE et al. 1989).

Tabelle 1: Ablagerungen folgender Schichtenfolge im Hangenden des 2. Lausitzer Flözes

Stratigrafie	Petrografie
Holozän /Spätweichselkaltzeit	Torf und Dünensand
Frühweichselkaltzeit	„Obere Talsandfolge“ (Sand, z. T. kiesig)
Eemwarmzeit	Schluffbänke mit Sanden
Spätsaalekaltzeit	„Untere Talsandfolge“ (Sand und Kies)
Elsterkaltzeit	Sand, Kies, Geschiebemergel, z. T. Tertiärschollen und pleistozän aufgearbeitetes Tertiärmaterial
Pliozän / Mittelmiozän (Raunoer Formation)	Ton, Kies und Sand, lokal Braunkohle (1. Lausitzer Flözkomplex an der Basis), fast vollständig erodiert, in kleinen Gebieten und Senken erhalten geblieben
Mittelmiozän / Untermiozän (Obere Briesker Formation)	marin-brackischer Sand (Feinsand mit Schlufflagen), Hangendschluff 2. Lausitzer Flözhorizont

Der zweite Lausitzer Flözkomplex (2. LFK) liegt im Süden der Lausitz als kompaktes Paket mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 12 m vor. Im Norden und Westen der Lausitz liegt eine Aufspaltung des 2. LFK in drei Flözbänke vor, die durch Sedimentzwischen-schichten unterteilt werden. Die Schichtenfolge im Liegenden des 2. Lausitzer Flözes ist durch die Ausbildung der Unteren Briesker und Spremberger Formation geprägt. Zwischen marin-brackischer und terrestrischer Fazies verläuft auch die Grenze Oligozän/Miozän im Untersuchungsgebiet.

Die auf der Innenkippe des Tagebaus Nochten niedergebrachten zwei hydrogeologischen Aufschlüsse mit anschließendem Ausbau als Grundwassergütemessstellen DN 100 befinden sich im zentralen (GWM auf Sukzessionsfläche) und südöstlichen (GWM auf Waldfläche) Bereich der Abraumkippe. Der Filterbereich der GWM 7277 (Messstelle auf der Sukzessionsfläche) befindet sich zwischen 41,0 m und 49,0 m u. GOK sowie der GWM 7278 (Messstelle auf der Waldfläche) bei 24,5 bis 32,5 m u. GOK.

An der GWM 7277 erfolgte entsprechend der Unterlagen von VATTENFALL die Kippsubstratschüttung mittels AFB in der Jahresscheibe 1988 und mittels Absetzer im Jahr 1991. Dagegen wurde das Kippenmaterial an der GWM 7278 mittels AFB erst im Jahr 1993 und mit Hilfe des Absetzers im Jahr 1999 geschüttet.

2.3 Durchgeführte Arbeiten

Mikrobielle Untersuchungen

Zum Vergleich verschiedener Standorte auf den Kippenflächen wurden Proben zum einen von einer Sukzessionsfläche, zum anderen von einer Waldfläche im rekultivierten Kippenbereich entnommen. Die Probennahmen erfolgten dabei aus verschiedenen Teufen, um die Aktivität der Mikroorganismen in den unterschiedlichen Bereichen zu ermitteln (z. B. Oberflächennzone, ungesättigte Zone, Grundwasserzone). Es wurde davon ausgegangen, dass bei einem verstärkten Einfluss der Melioration auf die NH_4^+ -Konzentration ein ausgeprägtes Teufenprofil der Mikroorganismenaktivität erkennbar sein muss (Maximum in einem bestimmten Teufenbereich), während z. B. bei einem Abbau N-haltiger Huminstoffe im Kippsubstrat eher eine Verteilung entsprechend dem organischen Substrat zu erwarten sein sollte. Die Probenahme erfolgte parallel sowohl anaerob als auch aerob in sterile Behältnisse, mit einer sofortigen Weiterbearbeitung der Proben im Labor. Es wurden 53 Feststoffproben aus dem Kippsubstrat an beiden Standorten für mikrobiologische und enzymatische Untersuchungen entnommen. Von jeder Probe wurden innerhalb dieser Untersuchungen 316 Einzeltests durchgeführt (KBE, MPN, Inkubations- und Enzymtests), das sind für alle Proben insgesamt ca. 17.000 durchgeführte Einzeltests. Abbildung 2 zeigt einen typischen Mikrotiterplattentest, hier zur Bestimmung von Thiobacillus denitrificans. Auf jeder Platte wird jeweils eine Probe aus dem Kippsubstrat untersucht, in dekadi-schen Verdünnungsstufen, von denen jede jeweils in 10 Parallelen inkubiert wird. Pro Feststoffprobe werden damit für eine Untersuchung (z. B. auf Denitrifikanten) inklusive der Blindproben 96 Einzeltests durchgeführt.



Abbildung 2: Quantitative Untersuchung von Proben auf Thiobacillus denitrificans auf Mikrotiterplatten (MPN-Methode, 96 Einzeltest pro Probe)

Isotopenhydrologische Untersuchungen

Im Jahr 2011 wurden drei Messkampagnen (März, Juli, September) auf dem Gebiet des Tagebaus Nochten durchgeführt, dabei wurden sowohl Sedimentmaterial aus zwei Bohrungen entnommen als auch Wasserproben aus mehreren Grundwassermessstellen (GWM) im Bereich der Altkippe.

Das Bodenmaterial wurde sofort unter Argonatmosphäre luftdicht verpackt, gekühlt bzw. bei -20 °C gelagert. Die Wasserproben für die Analyse der stabilen Stickstoffisotope des Ammoniums wurden noch im Feld mit konzentrierter Schwefelsäure stabilisiert, um jegliche Ausgasung des Stickstoffs zu vermeiden. Für die Ermittlung des stabilen ^{15}N Isotops im gelösten Nitrat wurde die Wasserprobe durch ein $0,45\text{ }\mu\text{m}$ Membran-Filter filtriert. Ebenfalls unverzüglich konserviert wurde das Wasser für die Bestimmung der Schwefelisotopie durch die Zugabe von Zinkacetat-Lösung.

Im Isotopenlabor des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung Halle wurden die Wasserproben zur Bestimmung des Ammoniumwertes in einer Kjeldahl-Halbmikro-Destillationsapparatur aufbereitet und anschließend eingedampft. Die Umsetzung und Messung von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ zu NH_4 erfolgte mittels Elementaranalysator (Continuous Flow Technik), gekoppelt an ein Isotopenhäufigkeitsmassenspektrometer (deltaV Advantage, ThermoScientific, Germany). Jede Analyse besteht aus einer Doppelbestimmung und wird durch Labor- und internationale Standards kontrolliert. Die N-Isotopenergebnisse werden als Delta-Notation ($\delta^{15}\text{N}$) in Promille (‰) relativ zum internationalen Referenzstandard Luft (AIR) angegeben. Für die Kalkulation werden die IAEA-Referenzmaterialien USGS 25 (Ammoniumsulfat, $-30,4\text{ ‰}$) und USGS 26 (Ammoniumsulfat, $53,7\text{ ‰}$) genutzt. Die Standardabweichung dieses Analyseverfahren beträgt $\pm 0,4\text{ ‰}$ und ist entsprechend der unten stehenden Formel [1] berechnet:

$$\delta X(\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{Probe}} - R_{\text{Standard}}}{R_{\text{Standard}}} \right] \cdot 1000 \quad [1]$$

wobei R das Verhältnis von schweren zu leichteren Isotopen von X bildet (z. B. ^{15}N , ^{14}N ; ^{18}O , ^{16}O).

Die Bearbeitung der Wasserproben zur Bestimmung des ^{15}N - und ^{18}O -Wertes am gelösten Nitrat wurde off-line mit Hilfe bakterieller Umsetzung zu N_2O nach CASCIOtti et al. 2002 und SIGMAN et al. 2001 durchgeführt. Online wurde das N_2O -Gas in einer GasBench (Finnigan) extrahiert, gereinigt, konzentriert und im angeschlossenen Massenspektrometer (delta V, ThermoFinnigan, Germany) das Isotopenverhältnis von $^{46}\text{N}_2\text{O}/^{44}\text{N}_2\text{O}$ und $^{45}\text{N}_2\text{O}/^{44}\text{N}_2\text{O}$ bestimmt, wodurch der $\delta^{15}\text{N}$ und der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert ermittelt werden konnte. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in Promille (‰) werden auf den internationalen Referenzwert Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) bezogen und wie in Formel [1] berechnet. Die Standardabweichung des Analyseergebnisses liegt bei dem beschriebenen Analyseverfahren für $\delta^{18}\text{O}$ bei $\pm 1,6\text{ ‰}$ bzw. für $\delta^{15}\text{N}$ bei $\pm 0,4\text{ ‰}$. Zur Kontrolle werden die IAEA Referenzmaterialien NO_3-1 , USGS 34 (Kaliumnitrat, $\delta^{15}\text{N} -1,8\text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O} -27,9\text{ ‰}$) und USGS 35 (Natriumnitrat, $\delta^{15}\text{N} +2,7\text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O} +57,5\text{ ‰}$) bestimmt. Weitere isotopenhydrologische Untersuchungen waren die Bestimmung der Deuterium und ^{18}O -Werte zur Ermittlung verdunstungsbeeinflusster Wässer, die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des gelösten anorganischen und organischen Kohlenstoffs zum Nachweis des Anteils der heterotrophen Denitrifikation an der Nitratbilanz und die Isotopenzusammensetzung des Sulfats als Hilfsmittel bei der Aufklärung von Stoffströmen und von Umsatzprozessen (z. B. autotrophe Denitrifikation).

2.4 Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen

Abbildung 3 zeigt die Verteilung aerober heterotropher Mikroorganismen (KBE-Bestimmung) an der Probenahmestelle der Waldfläche (7278) über den Teufenbereich. Die Ordinate bildet die Anzahl der koloniebildenden Organismen pro Gramm Kippsubstrat in logarithmischer Darstellung ab.

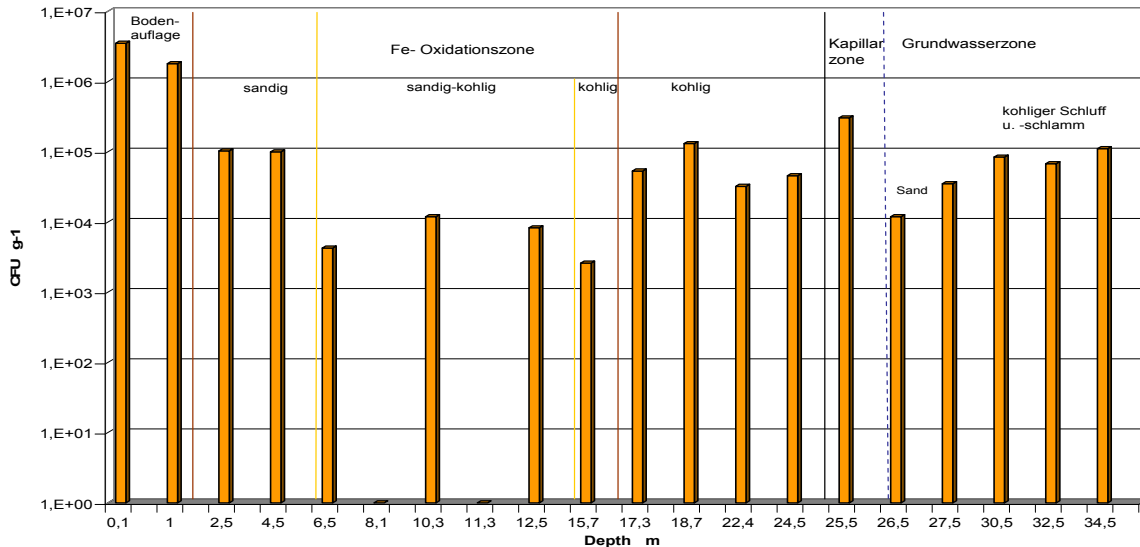


Abbildung 3: Quantifizierung aerober heterotropher Mikroorganismen (KBE) über den beprobten Teufenbereich

Die höchsten aeroben heterotrophen Keimzahlen sind erwartungsgemäß in der oberen Bodenaufgabe zu finden (Wurzelzone). In den sandigen Deckschichten des Kippsubstrates unter der Oberfläche (> 1 m-6 m) ist ein Rückgang der Keimzahlen um 1-2 Größenordnungen zu verzeichnen, zurückzuführen vor allem auf ein wesentlich reduziertes Angebot an Nährstoffen, sowie durch den Filtereffekt des Bodensubstrates. Auch im darunterliegenden sandig-kohligen Kippsubstrat (6,50-15,70 m) sind trotz eines höheren Organikgehaltes nur geringe Keimzahlen von ca. 10^4 /g Substrat zu finden, vermutlich aus Gründen der Toxizität in der Pyrit-Oxidationszone. Ab einer Tiefe von 17,30 m steigen die Keimzahlen wieder um eine Größenordnung an; diese Größenordnung bleibt über den gesamten tieferen Teufenbereich bis in den Grundwasserleiter überwiegend konstant. Variationen in den Keimzahlen sind bei unterschiedlichen C-Gehalten des Kippsubstrates zu beobachten (Abbildung 3), so sinkt die Keimzahl, wenn stärker sandiges oder kiesiges Substrat mit geringerem C-Gehalt vorliegt (z. B. 26,50 m im GWL, Abbildung 3), und steigt in Schichten mit höheren C-Gehalten wieder an (z. B. 18,70 m; 30,50-34,50 m im GWL in Abbildung 3). Die Daten korrespondieren mit den gemessenen C_T -Werten des Kippsubstrates.

Als Schlussfolgerung daraus ist hier kein Zusammenhang mit der zurückliegenden Melioration zu beobachten, bei der in einer bestimmten Teufe eine erhöhte Zahl an Boden-Mikroorganismen vorliegen müsste. Die hier ermittelten Keimzahlen weisen eher auf einen Zusammenhang mit dem Nährstoffangebot (kohliges Kippsubstrat) hin. Mit diesem Ergebnis erfolgt ein erster Hinweis auf eine Zersetzung von kohligem Kippsubstrat durch Mikroorganismen, eine mögliche Freisetzung von N-Verbindungen daraus, und schließlich von NH_4^+ als Endprodukt.

In Abbildung 4 ist die Zahl der heterotrophen Denitrifikanten im Kippsubstrat dargestellt, die im Vergleich zu allen anderen gemessenen Keimzahlen relativ hoch liegt. An der Bodenoberfläche und in der Grundwasserzone wurden die höchsten Zahlen an Denitrifikanten ermittelt. Die Keimzahlen steigen vor allem unterhalb der Pyrit-Oxidationszone (> 17 m) um eine Größenordnung an, und variieren auch hier, wie bei den aeroben heterotrophen Mikroorganismen in Abhängigkeit vom C-Gehalt des Kippsubstrates.

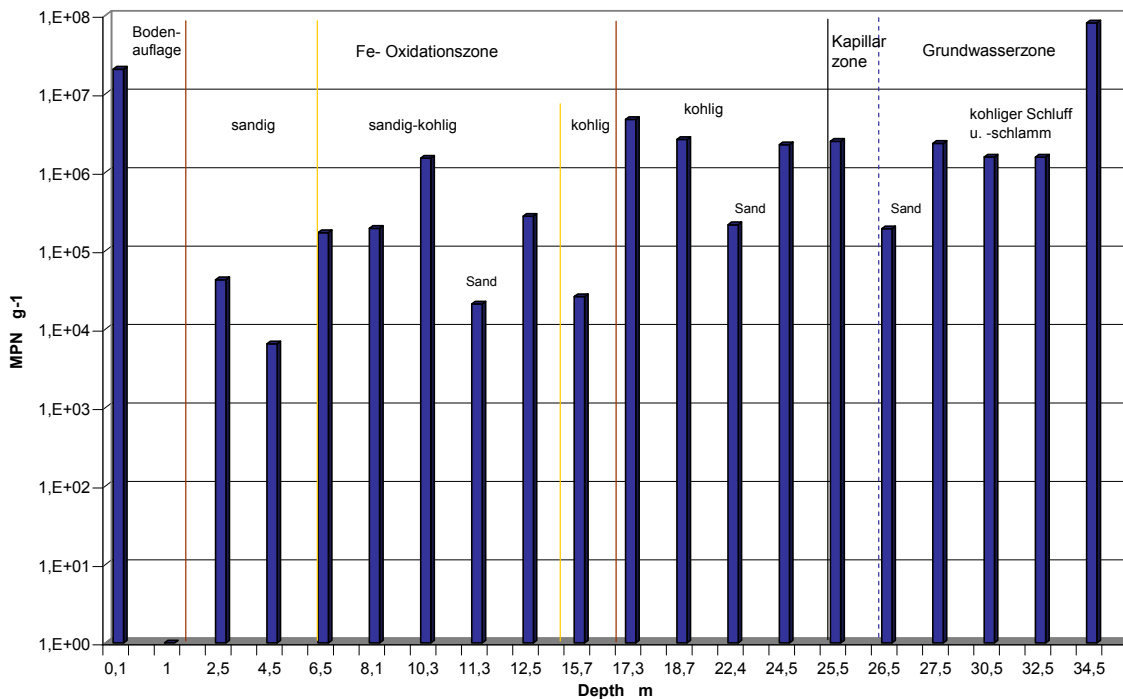


Abbildung 4: Keimzahlen von heterotrophen Denitrifikanten (MPN, pro Messpunkt 96 Einzelbestimmungen) über den Teufenbereich im Kippsubstrat der Probenahmestelle 7278 (Waldfläche)

Die Denitrifikation scheint im Kippenbereich in ausreichendem Maße abzulaufen, was auch mit den entsprechenden geringen NO_3^- -Gehalten der einzelnen Kippsubstratschichten korreliert.

Thiobacillus denitrificans spielt an diesen Standorten nur eine untergeordnete Rolle; die Keimzahlen liegen um ca. zwei Größenordnungen niedriger als bei den heterotrophen Denitrifikanten. An diesem Standort sind die heterotrophen Denitrifikanten offensichtlich im Vorteil durch ein ausreichendes Angebot an organischem Kohlenstoff sowie durch ihr wesentlich schnelleres Wachstum im Vergleich zu *Thiobacillus denitrificans*. Beide konkurrieren um NO_3^- , wobei unter den gegebenen Bedingungen die heterotrophen Denitrifikanten eindeutig im Vorteil sind. Eine analoge Verteilung der Keimzahlen ist auch in den Proben der verschiedenen Teufen der Sukzessionsfläche (Messstelle 7277) zu beobachten; hier konnte das Ergebnis des guten Wachstums der Mikroorganismen auch in größeren Teufenbereichen (bis 50 m) nochmals bestätigt werden. Auch hier hängt dieses hauptsächlich vom C-Gehalt des Kippsubstrates ab.

Untersuchung der Aktivitäten von anaeroben Ammonifizierern und Nitrifikanten sowie der Enzymaktivitäten

In Abbildung 5 sind die Aktivitäten von Amidase, Urease und Phosphatase sowie der Nitrifikanten an der Probenahmestelle 7278 (Waldfläche) in Abhängigkeit vom Teufenbereich dargestellt. Zum Vergleich sind die entsprechenden Aktivitäten in einem Ackerboden, die parallel ermittelt wurden, mit abgebildet (KBE ca. $10^{10}/\text{g}$ Bodensubstrat, letzte Reihe). Die Ordinate gibt die entsprechenden potenziellen Umsatzraten für die Freisetzung bzw. den Verbrauch von NH_4^+ bzw. Phosphat an. Deutlich zu erkennen ist, dass Urease und Phosphatase nur in der Bodenauflage des Kippsubstrates eine Rolle spielen; die Urease ist noch bis in eine Tiefe von ca. 1 m messbar (Abbildung 5). Daraus folgt, dass die Zersetzung von primärer organischer Substanz (Bodenauflage, biogene Abprodukte) nur in der oberen Bodenschicht von Bedeutung ist. In den darunterliegenden Schichten spielen diese Prozesse, wie auch in der Literatur beschrieben, nur noch eine untergeordnete Rolle.

Die Messwerte der anaeroben Ammonifikation waren sehr gering, sodass diese nicht mit dargestellt sind. Die Nitrifikation ist mit geringen Raten bis in den Grundwasserbereich detektierbar. Auffällig in Abbildung 5 sind die in den tieferen Schichten des Kippsubstrates erhöhten Aktivitäten der Amidase. Dies ist vermutlich auf einen Abbau von N-haltiger organischer Substanz, die Bildung von niedermolekularen organischen Säureamiden als Metabolite daraus und schließlich eine finale hydrolytische Freisetzung von NH_4^+ , verbunden mit einer mikrobiellen Verwertung der gebildeten Carbonsäuren zurückzuführen. Auch in den

Proben der Sukzessionsfläche (Probenahmestelle 7277) ist ein analoges Verhalten zu beobachten. Dadurch wird ein weiterer Hinweis auf den möglichen Abbau organischer Substanz im Kippsubstrat unter Freisetzung von NH_4^+ erbracht.

Bei einem Vergleich der dargestellten verschiedenen Raten für die Freisetzung bzw. den Verbrauch von NH_4^+ in Abbildung 5 ist eindeutig zu erkennen, dass das Potenzial der Freisetzung von NH_4^+ in den Kippsubstraten um ein Vielfaches höher liegt als der Verbrauch von NH_4^+ durch die Nitrifikation. Dies stellt vermutlich eine weitere Ursache für die Akkumulation von NH_4^+ in dem GWK unterhalb der Kippenbereiche dar.

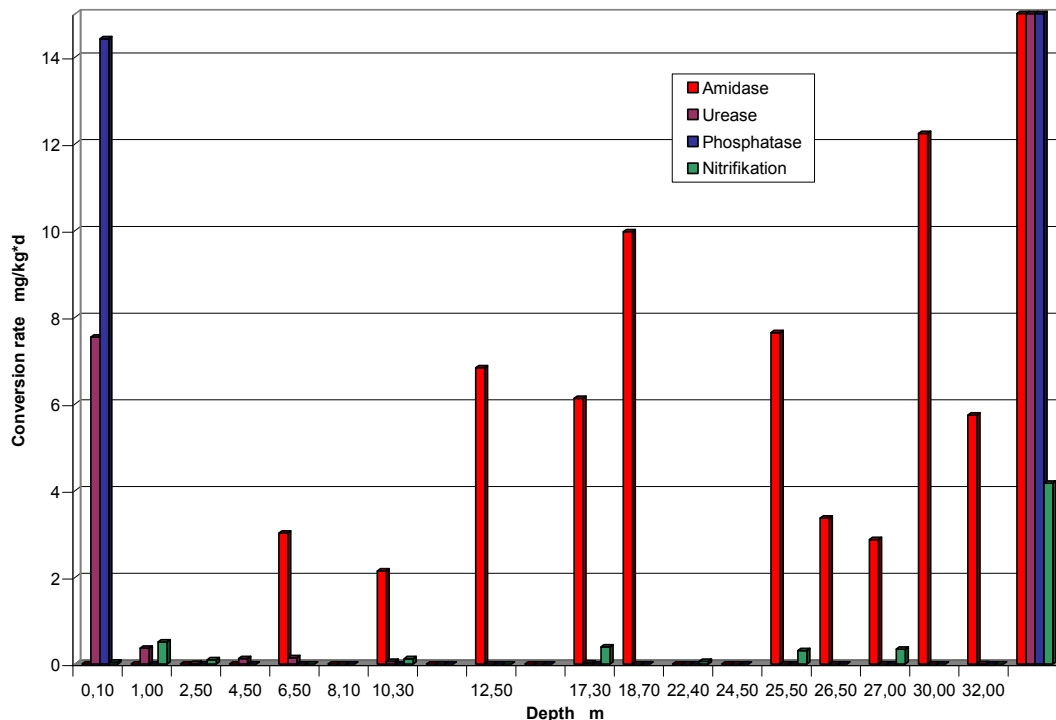


Abbildung 5: Vergleich der NH_4^+ -Bildungs- bzw. Verbrauchsrate durch verschiedene Enzyme bzw. durch Nitrifikation über den Tiefenbereich für die Probenahmestelle 7278 (Waldfläche); letzte Reihe: Aktivitäten bzw. Umsatzraten in einem Ackerboden zum Vergleich

2.5 Ergebnisse der isotopehydrologischen Untersuchungen

Die Grundwässer wurden am 26.07.2011 aus dem Bereich der Altkippe entnommen, deren isotopische Zusammensetzung ist in Abbildung 6 dargestellt. Das Wasser aus der neu errichteten Grundwassermessstelle 7277 und den bestehenden Messstellen 4537, 4538 und 4138 gruppieren sich in einem Cluster mit nur geringer Differenz zur „Global Meteoric Water Line“ (GMWL) und entsprechen damit der Grundwassersignatur gemäßiger Gebiete. Ein dazu abweichendes Messergebnis wurde in der Grundwassermessstelle 4539 ermittelt, die beeinflusst durch Einströmungen von Oberflächenwasser aus der Uhyster Rinne erhöhte Werte des Deuterium- und Sauerstoffisotop zeigt. Auch weist das Grundwasser aus der neu errichteten Messstelle 7278 auf eine Einwirkung durch verdunstungsbeeinflusstes Wasser hin, jedoch ist dies durch die Kartenlage nicht nachvollziehbar. Durch ein Monitoringprogramm könnten saisonal variierende, lokale oder generelle Aquiferschichtungen ermittelt und so Beeinflussung bzw. Infiltrationen von diffusen Quellen bestimmt werden.

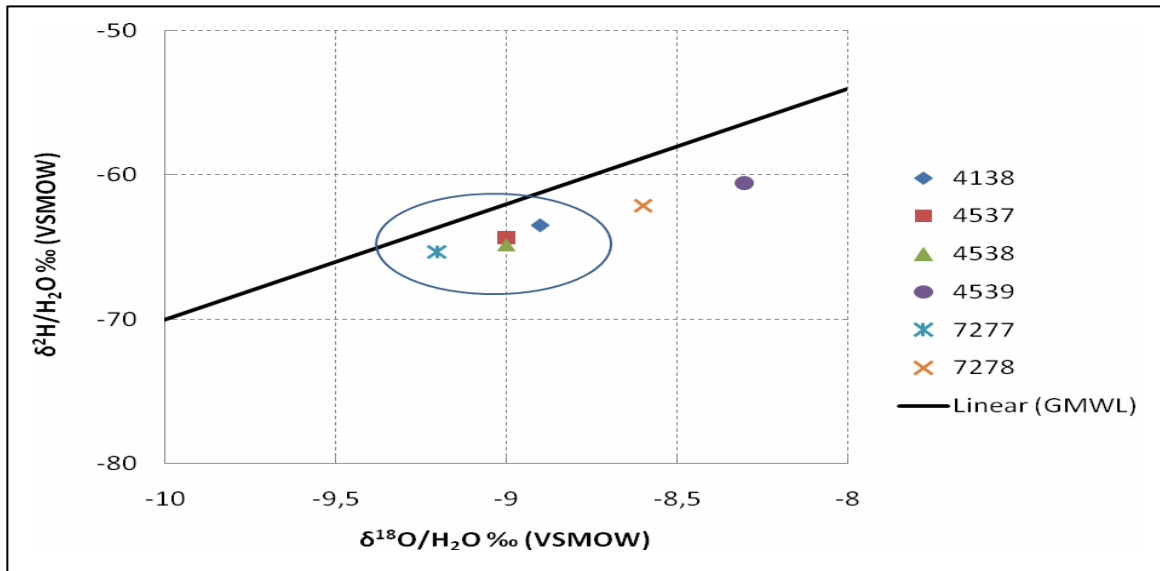


Abbildung 6: Isotopenzusammensetzung der Grundwassermessstellen im Bereich der Altkippe Nochten (blau umkreist: charakteristische Grundwässer der gemäßigten Gebiete)

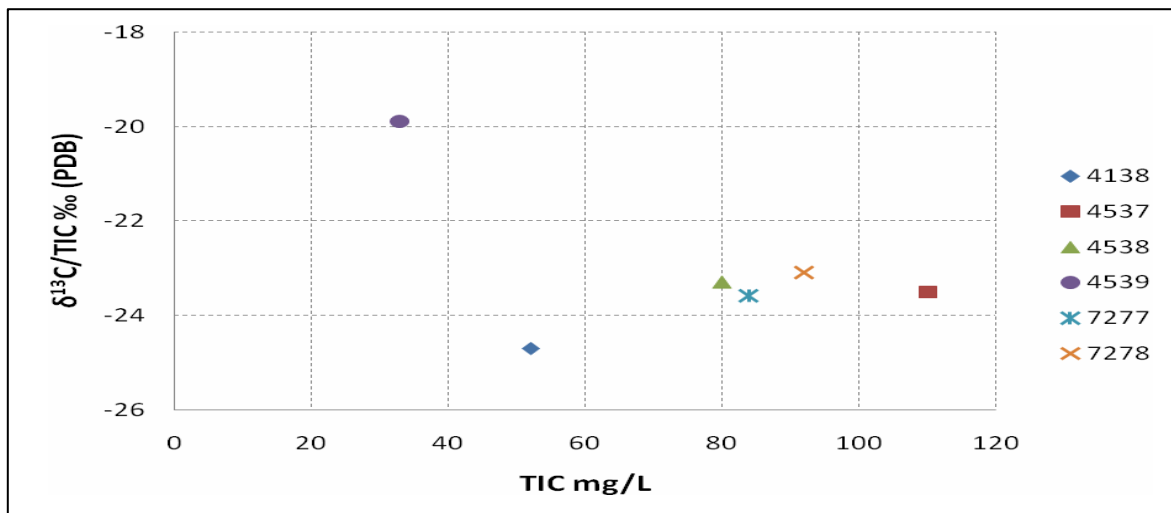


Abbildung 7: δ¹³C-Werte der Grundwassermessstellen; mit einem Balken markiert ist der allgemeingültige Bereich mikrobieller Umsetzung im Bereich der Kohle

Die δ¹³C-Werte geben Aufschluss über die Herkunft des gelösten anorganischen Kohlenstoffs und keine Hinweise auf die Beeinflussung durch pH-Wert und den Kohlenstoffanteil im Grundwasser. Trotz starker Schwankungen des gesamtanorganischen Kohlenstoffs (TIC) zeigen die δ¹³C-Werte des TIC nur wenig Variabilität in der Isotopensignatur (Abbildung 7) und sind auf die mikrobiologische Aktivität zurückzuführen. Die Isotopensignatur des Kohlenstoffs der GWM 4138, 4537, 4538, 7277 und 7278 ist typisch für Umsetzungsprozesse im Bereich der Kohle. Die Messstelle 4539 wird zudem durch andere Quellen des Kohlenstoffdioxids, wie z. B. Atmosphäre oder Bodenwasserzuflüsse beeinflusst.

Abbildung 8 zeigt typische Bereiche der δ¹⁵N-Werte für Ammonium aus unterschiedlichen Domänen und dient als Hilfe, den Ursprung des in den Grundwasserproben detektierten Ammoniums zu ermitteln. Die Messwerte der Messstellen repräsentieren den Überlappungsbereich der möglichen Ammoniumquellen Braunkohle und Düngemittel. In den GWM mit erhöhtem Ammoniumgehalt ist der δ¹⁵N-NH₄-Wert angereichert. Ausnahme ist die Messstelle 4537, hier deutet der niedrige δ¹⁵N-Wert von -2,04 ‰ auf eine Auswaschung von atmosphärischem Ammoniak hin. Um die Konstanz der Messwerte gegenüber saisonalen und lokalen Schwankungen zu überprüfen, ist ein weiteres Monitoring ratsam.

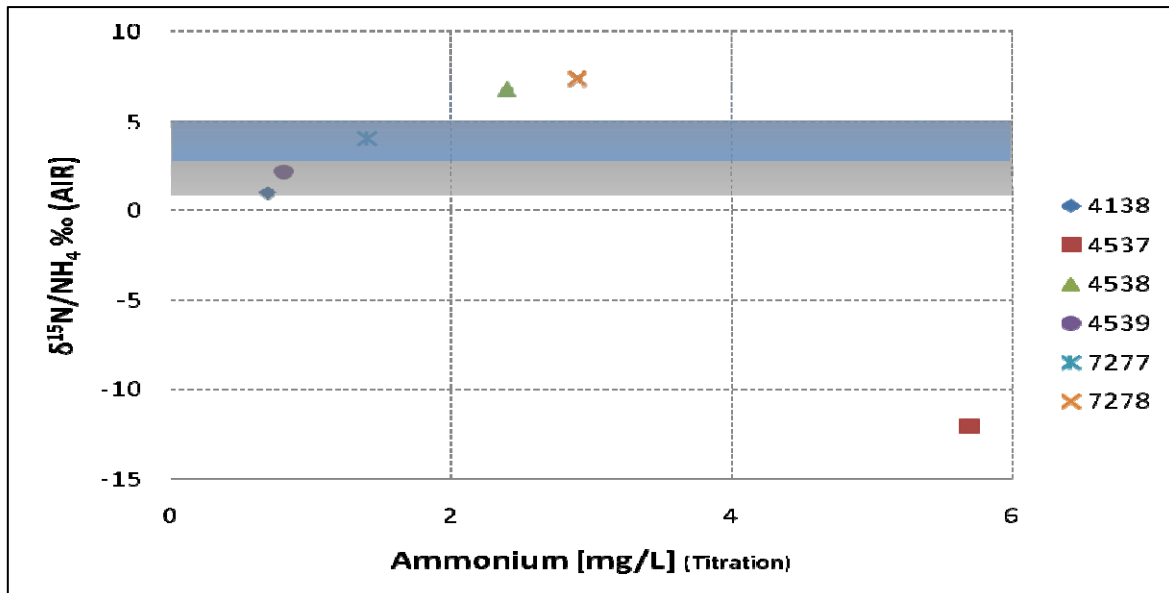


Abbildung 8: $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Ammoniums und die Konzentration (IWB-Dresden) bei der Beprobung vom Juli 2011 im Tagebau Nochten mit schematischer Darstellung typischer Bereiche des Isotopenwertes für Ammonium aus unterschiedlichen Quellen (KENDALL & McDONNELL 1998). Blau gekennzeichnet ist der Richtwert der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in Kohle; grau markiert ist der Richtwert der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte für Düngemittel und Regen.

Die Isotopenzusammensetzung von $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{15}\text{N}$ am gelösten Nitrat im Bodenwasser der Messstelle 7278 in einer Waldfläche sowie der Pegel 4538 und 4138 zeigen einen charakteristischen Wert für Nitrate aus Düngemitteln (Abbildung 9, blauer Kreis). Abweichend davon stammt das Nitrat im Pegel der Sukzessionsfläche aus atmosphärischer Deposition. Die Messergebnisse aus dem Punkt 4539 heben sich erneut von den anderen GWM ab, hier ist der Isotopenwert des Nitrats ebenfalls durch andere Quellen beeinflusst und wird nicht in-situ im Grundwasserleiter gebildet.

In der Gegenüberstellung $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalte des Ammoniums und Nitrats konnte keine eindeutige Korrelation im Sinne einer Nitrifizierung nachgewiesen werden. Die N-Verbindungen des Ammonium und Nitrats liegen sowohl im Bereich der (Braun-) Kohle wie auch von Düngemitteln. Beide Stickstoffverbindungen sind in dieser ersten Untersuchung entkoppelt zu betrachten (Abbildung 9). Signaturen der Isotopenfraktionierung von Ammonium und Nitrat in Bezug zu Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen können mit dieser initialen Grundwasserbeprobung noch nicht abgeleitet werden.

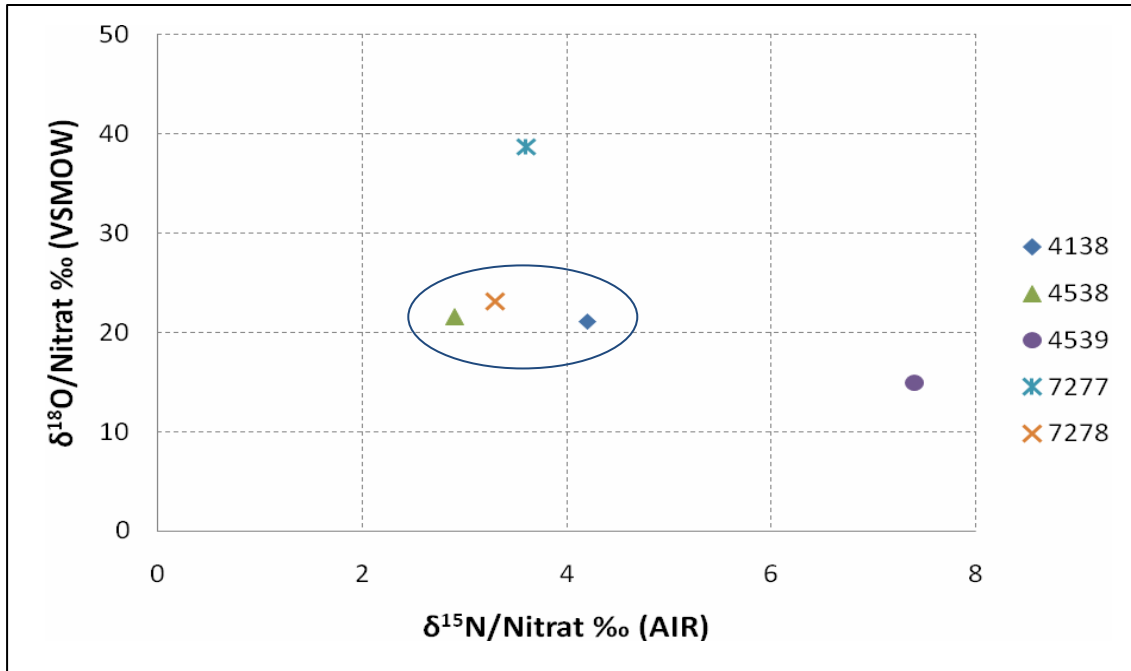


Abbildung 9: $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3\text{-}$ und $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3$ Werte der Grundwasserproben

Die Stickstoffisotopensignatur des Nitrats ist typisch für Bodennitrate, während die Sauerstoffisotopie des Nitrats Düngemittel entspricht.

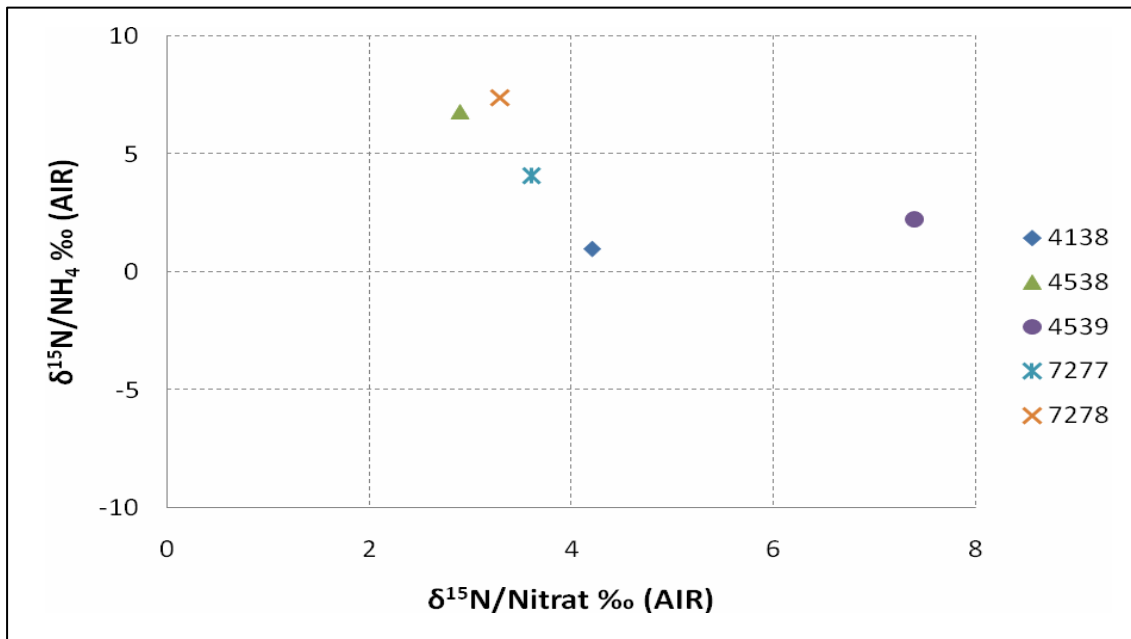


Abbildung 10: Vergleich der $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalte der Ammonium- und Nitrat-Stickstoffverbindungen

Die Isotopensignatur beider Stickstoffkomplexe zeigt keine eindeutige Wechselwirkung im Sinne des Nitrifikationsprozesses.

2.6 Zusammenfassung

Als Ergebnis der durchgeführten mikrobiologischen und enzymatischen Untersuchungen wurde:

- ein konstantes Wachstum sowohl von aeroben heterotrophen Mikroorganismen als auch von heterotrophen Denitrifikanten über den gesamten Teufenbereich festgestellt. Damit dienen offensichtlich organikhaltige Kippsubstrate als C-Quelle für das Wachstum; ein Einfluss der Melioration konnte hier nicht festgestellt werden.
- Das erhöhte Vorkommen von Denitrifikanten an beiden Probenahmestellen 7277 und 7278 über jeweils den gesamten Teufenbereich ist ein wichtiger Hinweis auf ein hohes Potential zur Eliminierung von NO_3^- aus dem Kippenbereich bzw. aus dem GWK.
- Von den untersuchten Enzymen weist v. a. die Amidase eine erhöhte Aktivität in tieferen Bereichen des Kippsubstrates auf, was auf eine Freisetzung von NH_4^+ aus der organischen Substanz des Kippsubstrates hindeutet.
- Der Vergleich der NH_4^+ -Umsatzraten im N-Kreislauf zeigt, dass die Nitrifikanten die niedrigsten Raten aufweisen, was auf eine Hemmung des N-Kreislaufes auf der Stufe der Nitrifikation hinweist.

Im Ergebnis der bisher vorliegenden isotopehydrologischen Untersuchungen lässt sich folgendes Resümee zeigen:

Die möglichen Ursachen der hohen Belastungen des Grundwasserkörper durch AMD, insbesondere der Stickstoffverbindungen Ammonium und Nitrat im Bereich des Braunkohletagebaus Nochten, sollten durch Untersuchungen verschiedener Isotopensignaturen geklärt werden. Dazu wurden die $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte am gelösten Ammonium bzw. Nitrat, die $\delta^{13}\text{C}$ -Gehalte am gelösten organischen und anorganischen Kohlenstoff und der $\delta^2\text{H}$ - sowie $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Grundwassers bestimmt. Die Daten sollen ebenfalls zum Prozessverständnis der natürlichen Schadstoffminderungsreaktionen in Braunkohleabraumkippen wie z. B. der Nitrifizierung und Denitrifizierung beitragen.

Die bisherigen Ergebnisse der Isotopenanalysen zeigen, dass die Vermischung des Grundwassers mit verdunstungsbeeinflussten Wasser in den Messstellen 4138, 4538 und 7277 ausgeschlossen werden kann, während eine deutliche Einwirkung von Oberflächenwasser an der Messstelle 4539 vorliegt. Ebenfalls konnte nachgewiesen werden, dass der gelöste Kohlenstoff in der Mehrheit der Grundwassermessstellen aus mikrobieller Aktivität stammt und typisch für Umsetzungsprozesse im Bereich der Kohle ist.

Die Isotopenwerte des Ammoniums können einerseits sowohl in die Domäne typischer Isotopensignale für Düngemittel wie auch andererseits für kohlige Sedimente eingeordnet werden. Die neu errichteten Grundwassermessstellen auf der Sukzessionsfläche (7277) und im Waldbereich (7278) sowie die bestehende Messstelle 4538 liegen nahe dem Wert tertiärer Weichbraunkohlen (STIEHL & LEHMANN). Der Isotopengehalt des Ammoniums in den übrigen Messstellen ist gegebenenfalls durch Einwirkung anderer Stickstoffquellen wie Düngemittel oder atmosphärischer Eintrag divergent.

Die Analyse der Isotopensignatur vom gelösten Nitrat zeigt zum einen ein Stickstoff-Sauerstoff-Verhältnis entsprechender Düngemittel, zum anderen können diese durch atmosphärische Deposition oder Einträge anderer Wasserzuflüsse modifiziert sein. Im Ergebnis sollten die Quellen der hohen Ammonium- und Nitratgehalte getrennt betrachtet werden, Umsetzungsreaktionen in Verbindung mit Isotopenfraktionierung des Stickstoffs, wie sie im Nitrifikationsprozess stattfinden, können nach dieser ersten Grundwasserprobenahme noch nicht nachgewiesen werden.

2.7 Ausblick

Weitere Forschungsarbeiten werden zur Aufklärung der inhibierenden bzw. limitierenden Faktoren der Nitrifikation in den Kippsubstraten durchgeführt, um später geeignete Vorschläge zur Verbesserung der Nitrifikationsprozesse im GWK unterbreiten zu können. Auch Untersuchungen zu einer möglichen Verbindung der NH_4^+ -Freisetzung aus dem Kippsubstrat mit den ablaufenden Oxidationsprozessen in der Pyrit-Oxidationszone sind in den Mikrokosmenversuchen im Folgezeitraum geplant.

In den anschließenden wissenschaftlichen Untersuchungen sollen die Isotopensignaturen des Schwefels am gelösten Sulfat über weitere natürliche Schadstoffminderungsprozesse Aufschluss geben. Zum Ausbau der bisherigen Erkenntnisse sollen die Analysen von Tritium ($^3\text{H}/^1\text{H}$) und Helium ($^3\text{H}/^3\text{He}_{\text{Tritium}}$) sowie des Radiokohlenstoffs ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$) Hinweise zu Herkunft und Alter des Grundwassers geben.

2.8 Literaturverzeichnis

- CASCIOTTI, K. L.; SIGMAN, D. M.; HASTINGS, M. G.; BOHLKE, J. K.; HILKERT, A. (2002): „Measurement of the Oxygen Isotope Composition of Nitrate in Seawater and Freshwater Using the Denitrifier Method“, *Anal. Chem.* 74(19), 4905-4912.
- CLARK, I. & FRITZ, P. (1997): „Environmental Isotopes in Hydrogeology“. CRC Press LLC. 352 S., Boca Raton; USA.
- HOTH, N. (2008): „Leitfaden: Natürliche Schadstoffminderungsprozesse an Bergbaukippen/-halden und Flusssauensedimenten“; KORA Themenverbund 6.
- IAEA: Startseite des IAEA Water Resources Programme mit zahlreichen frei verfügbaren Veröffentlichungen der IAEA: <http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/index.htm>.
- KENDALL, C. & MCDONELL, J. J. (Hrsg.) (1998): „Isotope tracers in catchment hydrology“, Elsevier, Amsterdam, 519-576 S.
- MANNSFELD K.; RICHTER H. (1995): *Naturräume in Sachsen* - S. 228, Band 238, *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, Selbstverlag, Trier.
- NESTLER, A. (2009): „Brief introduction into the nitrate isotope methodology and analysis“ European Commission Joint Research Centre, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgien.
- NESTLER, W.; GRISCHEK, T. (2003) (Hrsg.): „Handbuch Wasserversorgung und Sulfatbelastung des Grundwassers unter land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen“, Forschungszentrum Karlsruhe, 135-218 S.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2009): „Grundwasser- Altlasten aktuell“, Schriftenreihe Heft 37/2009, 1-16 S.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2010): „Grundwasser- Altlasten aktuell“, Schriftenreihe Heft 38/2010, 23-30 S.
- SIGMAN, D.M.; CASCIOTTI, K.L.; et al. (2001): „A Bacterial Method for Nitrogen Isotope Analysis of Nitrate in Seawater and Freshwater“, *Anal. Chem.* 73(17), 4145-4153.
- STIEHL, G. & LEHMANN, M. (1980): „Isotopenvariationen des Stickstoffs humoser und bituminöser natürlicher organischer Substanzen“, Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR.
- WÜNSCHE, M.; HAUBOLD, W.; OEHME, W.-D. (1989): *Bodengeologische Untersuchungen im Rahmen der Lagerstättenerkundung und Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften im Niederlausitzer Braunkohlenrevier*. – Geoprofil 1, S. 45 – 49. Freiberg.

Für die Unterstützung des Projektes bedanken wir uns bei der Vattenfall Europe Mining AG, Abt. Geotechnik, Dr. Ingolf Arnold, der Geohydrologie und Wasserwirtschaft, Dr. Thomas Koch, sowie dem Ingenieurbüro Dr. Uhlmann in Dresden.

3 Hydrochemische und isotopenhydrologische Untersuchungen zur Klärung der Ursachen der hohen Nitratbelastung des Grundwassers im Einzugsgebiet der Wasserfassung Jahnaaue 2

Michael Dilbat, Kay Knöller - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Dep. Catchment Hydrology
Heiko Ihling - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

3.1 Einleitung

Der gegenwärtige Zustand zahlreicher Grundwasserkörper ist nach wie vor durch hohe Nitratkonzentrationen gekennzeichnet. Untersuchungen zur Effizienzkontrolle der Maßnahmen der SächsSchAVO (MACHELEIDT et al. 2004, 2005) haben ergeben, dass sich in Sachsen kein eindeutiger Zusammenhang zwischen aktueller Bewirtschaftung (Belastung durch Wirtschafts- und Mineraldünger) und dem Zustand des untersuchten Grundwassers herstellen lässt. Ursachen hierfür sind die spezifischen hydraulischen und geochemischen Gebietseigenschaften und ihre Auswirkungen auf den Stickstofftransport und -umsatz im Untergrund. Die hohe Nitratbelastung des Grundwassers im Abstrom von relevanten landwirtschaftlichen Nutzflächen (LNF) bei den meisten als diffus belastet eingestuften Grundwasserkörpern erfordert, standortspezifische, schutzgut- und nutzungsbezogene Maßnahmen zur Minderung der Nitratbelastung auf den durch die Landwirtschaft signifikant belasteten Teilflächen der Einzugsgebiete abzuleiten. Ein weiteres aktuelles Problem stellt der Anstieg der Nitratkonzentration im Einzugsgebiet relevanter Trinkwasserfassungen dar. Zudem verlangt die EU-WRRL bis September 2012 die Erstellung des Zwischenberichtes zum Maßnahmenprogramm für den Bewirtschaftungszeitraum 2009 bis 2015 und bis Oktober 2013 die Verabschiedung des Anhörungsdokumentes zu wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen für den Zeitraum 2015 bis 2021. Ein sehr wichtiger Punkt bei der Ableitung kosteneffizienter Maßnahmen ist das Verständnis der einzugsgebietsspezifischen Stickstofftransport- und -umwandlungsprozesse in der ungesättigten und gesättigten Zone. Diesbezüglich wurden in Sachsen drei Trinkwassereinzugsgebiete (WSG Jahnaaue 2, Diehsa und Naunhof I) untersucht, welche seit mehreren Jahren einen teilweise kontinuierlichen Anstieg der Nitratkonzentrationen im geförderten Rohwasser zeigen. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeiten im Wasserschutzgebiet (WSG) Jahnaaue 2 vorgestellt.

Das WSG Jahnaaue 2 befindet sich im äußersten Nordosten des Landkreises Mittelsachsen zwischen den Ortslagen Ostrau und Hof. Es liegt innerhalb des GWK EL 2-4 (Bezeichnung: Jahna), der sich gemäß der letzten Zustandsbewertung vom Juli 2009 bezüglich der Parameter Nitrat und Sulfat im schlechten chemischen Zustand befindet. Die aus fünf Brunnen bestehende Wasserfassung Jahnaaue 2 wird von der OEWA Wasser- und Abwasser GmbH betrieben und versorgt zusammen mit der benachbarten Wasserfassung Jahnaaue 1 (sieben Brunnen) ca. 110.000 Menschen im Raum Döbeln-Ostrau-Leisnig-Mügeln mit Trink- und Brauchwasser. Die Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Nitratkonzentration im Rohwasser der einzelnen Förderbrunnen der Wasserfassung Jahnaaue 2 von 1997 bis 2010. Deutlich zu erkennen ist der seit 1997 andauernde, kontinuierliche Anstieg der Nitratkonzentration im Rohwasser der Brunnen Br1 bis Br4 von etwa 25-35 mg/l auf Werte zwischen 40 bis über 60 mg/l. Der Brunnen Br5 dagegen zeigt innerhalb dieses Zeitraumes nur einen sehr geringfügigen Anstieg der Nitratgehalte.

Naturräumliche Ausstattung

Das WSG Jahnaaue 2 gehört zum Döllnitz-Jahna-Lösshügelland, einem Teil des Mittelsächsischen Lösshügellandes (FIEDLER 2003). Es handelt sich dabei um eine sanftwellige, durch kleine Täler weiter gegliederte Hügellandschaft. Während des Holozäns haben sich aus weichselkaltzeitlichen Lössen im Wesentlichen sehr fruchtbare Parabraunerden, Braunerden und Fahlerden gebildet. Dies hat dazu geführt, dass innerhalb des WSG die landwirtschaftliche Flächennutzung, insbesondere die Acker-

nutzung, heute mit nahezu 90 % dominiert. Das restliche Areal des unterirdischen Einzugsgebietes von 10 % entfällt auf Siedlungs- und Verkehrsflächen.

Das geologische Untersuchungsgebiet weist eine Größe von etwa 21 km² auf. Die Strömungs- und Transportmodellierung erforderte eine Ausweitung der Untersuchungsgebietsgröße auf ca. 44 km², das entspricht einem flächenhaften Anteil von etwa 10 % des gesamten GWK.

Der Hauptvorfluter für mehrere nur zeitweilig wasserführende Bäche und Gerinne ist die von Südwest nach Nordost fließende und in die Elbe entwässernde Jahna, welche bei Ostrau eine mittlere Wasserführung von MQ = 0,32 m³/s aufweist. Die langjährige mittlere Niederschlagshöhe (1961-1990) beträgt an der Messstation Ostrau-Wutzschwitz 643 mm/a (NOBST & SZYMCAK 1993). Für die innerhalb des Gebietes bei weitem dominierenden Löss-Ackerflächen wurde nach BAGROV-GLUGLA eine mittlere jährliche Grundwasserneubildung (GWN) von 160 mm/a ermittelt.

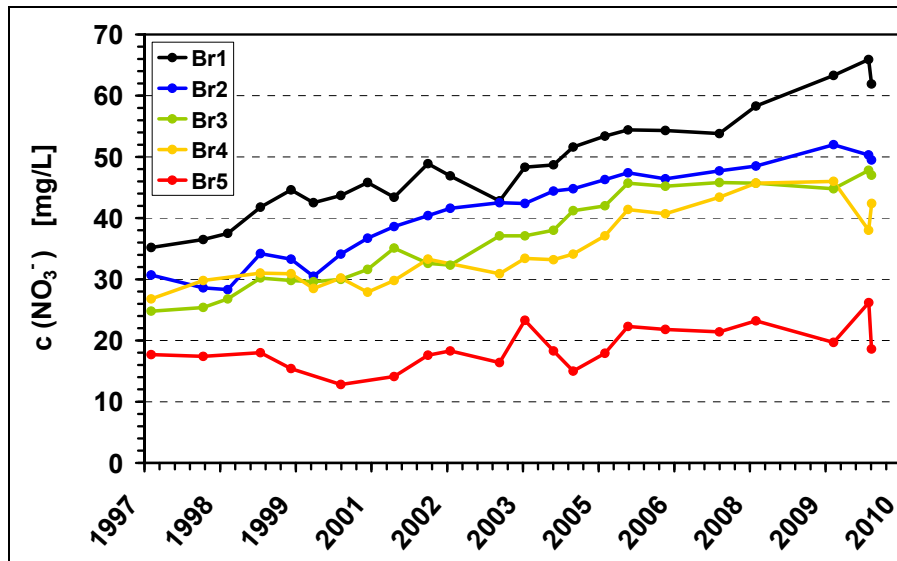


Abbildung 1: Konzentrationsganglinien für Nitrat im Rohwasser der Einzelbrunnen der Wasserfassung Jahnaue 2

Regionalgeologisch gehört das Untersuchungsgebiet zur Mügelner Senke, einer im östlichen Zentralbereich des Nordsächsischen Synklinoriums gelegenen Muldenstruktur, in welcher sich Sedimente des Zechsteins (Letten, Plattendolomit) und des Unteren Buntsandsteins (Tonschiefer, Sandstein) in geschützter Position erhalten haben (LFUG 1995; FIEDLER 2003). Im Hangenden der Festgesteine befinden sich vorwiegend in Rinnenstrukturen abgelagerte elsterkaltzeitliche Lockersedimente. Die ältesten Bildungen dieses Komplexes bestehen aus bis zu 15 m mächtigen frühelsterzeitlichen, fluviatilen Sanden und Kiesen des Oschatzer Zschopaulaufes, welche von der 1 bis 12 m mächtigen Elster-1-Grundmoräne überlagert werden (WOLF 1978). Lokal sind glazilimnische Elster-1-Vorschüttbildungen zwischengeschaltet. Elster-1-Nachschüttbildungen wurden bisher innerhalb des Untersuchungsgebietes nicht nachgewiesen. Die Verbreitung der frühelsterzeitlichen und Elster-1-stadialen Sedimente beschränkt sich, bedingt durch Erosionsvorgänge während des Elster-2-Stadiums, auf den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes etwa zwischen Clanzschwitz und Hohenwussen (vgl. Abbildungen 2, 3 und 4). Flussschotter des ab Clanzschwitz in nordöstliche Richtung verlaufenden Riesaer Zschopaulaufes (Frühglazial des Elster-2-Stadiums) sind in der SW-NO verlaufenden jüngeren Rinnenstruktur nur noch als Erosionsrelikte erhalten. Die Rinne wurde im weiteren Verlauf des Elster-2-Stadiums mit nur schwer voneinander trennbaren, sandig-kiesig ausgebildeten glazifluviatilen Vorschüttbildungen und sandig-kiesigen glazifluviatilen bis fluviatilen Mischbildungen einer subglazialen Erosionsrinne gefüllt (Gesamtmächtigkeit max. 23 m). Im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes finden sich auch glazilimnische Vorschüttbildungen des zweiten Elstereisvorstoßes. Nach der Ablagerung der Elster-2-Grundmoräne (8-15 m) kam es durch Schmelzwässer teilweise zu deren Erosion und zur Ablagerung teils flächiger, teils rinnenartig verbreiteter sandig-kiesiger Elster-2-Nachschüttbildungen (Abbildung 3). Die jüngsten Abschnitte des Känozoikums (Holozän, Jungpleistozän) werden im Gebiet durch etwa 5 m bis 15 m mächtige Löss, Lösslehme, Lehme und Schluffe vertreten. Die Hauptgrundwasserfließrichtung liegt parallel zur Achse der subglazialen Rinnenstruktur und verläuft von SW nach NE. Die beiden liegenden Festgesteinsaquifere sind sowohl untereinander als auch mit den Lockergesteinsaquifere hydraulisch gekoppelt. Eine Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes unter Berücksichtigung der beiden

tiefer gelegenen Festgesteinsgrundwasserleiter ist nur schwer möglich (FIEDLER 2003). Es liegen gespannte Grundwasserpotenziale vor.

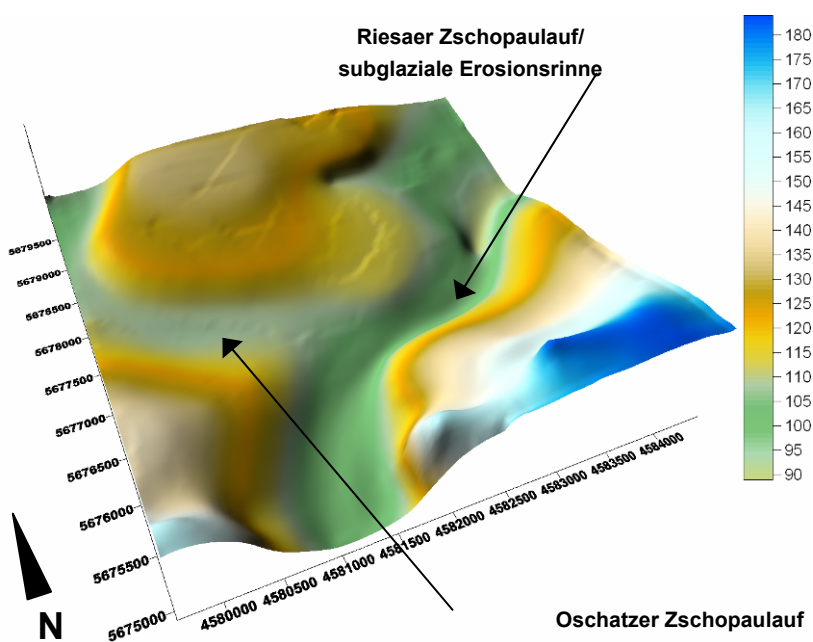


Abbildung 2: Quartärbasis im Gebiet des WSG Jahnaue 2 [geänd. nach HERRMANN 2010] (Datenbasis: LKQ, ZGI 1974)

Die folgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die mittleren geohydraulischen Kennwerte der im Wasserschutzgebiet verbreiteten sedimentären Einheiten.

Tabelle 1: Mittlere geohydraulische Kennwerte (nach HERRMANN 2011)

Geologische Einheit	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	Effektive Porosität n_e [-]	Spezifischer Speicherkoeffizient S_s [1/m]
i_f QHo	$5,7 \cdot 10^{-5}$	0,18	$8,5 \cdot 10^{-5}$
e QW	$4,4 \cdot 10^{-5}$	0,18	$8,5 \cdot 10^{-5}$
g_f QE2n	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0,23	$3,5 \cdot 10^{-6}$
g QE2, g QE1	$3,6 \cdot 10^{-7}$	0,05	$5,4 \cdot 10^{-4}$
g_f QE2v/ g_f -QE2	$6,0 \cdot 10^{-4}$	0,25	$4,0 \cdot 10^{-6}$
i QE1f	$6,0 \cdot 10^{-4}$	0,25	$4,0 \cdot 10^{-6}$

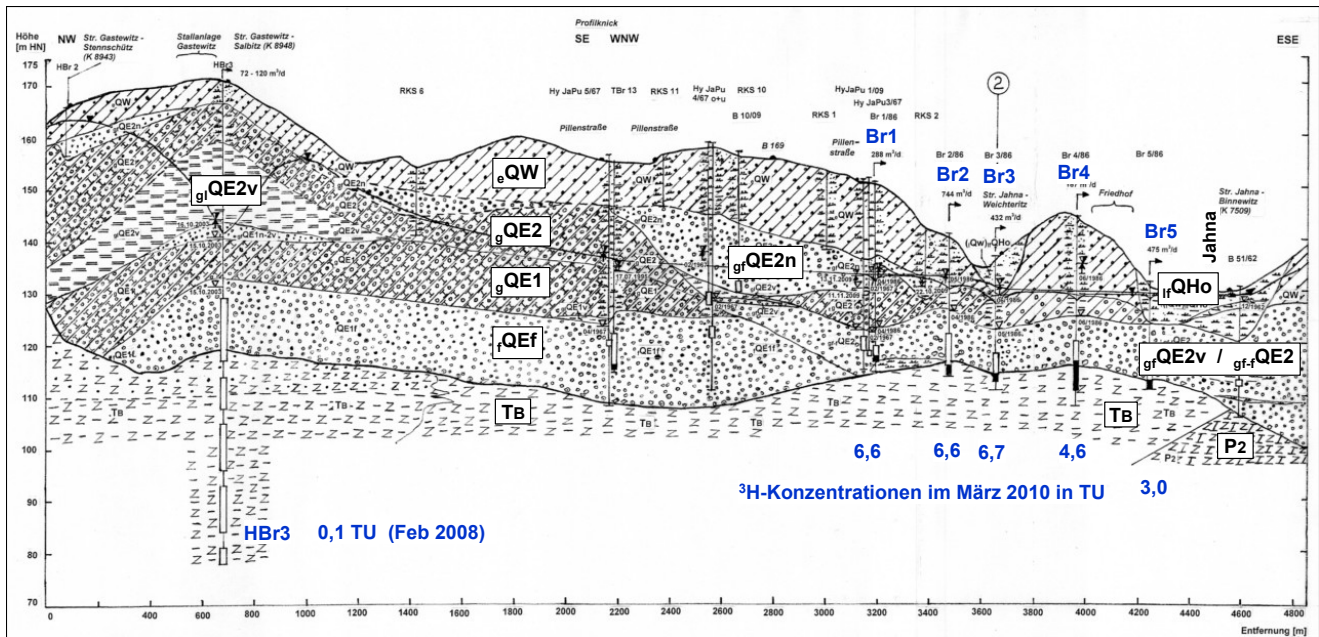


Abbildung 3: Geologische Schnittdarstellung entlang der Wasserfassung Jahnaue 2 (geänd. nach IHLING 2010) - Zahlenwerte unterhalb Brunnen geben die Tritiumkonzentrationen im März 2010/Februar 2008 an

Die Verschlüsselung der quartären Sedimente erfolgte nach GK50 (Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen 1:50 000. Es bedeuten:

- TB Buntsandstein (Schieferton, Sandstein, Konglomerat)
- P2 Zechstein (Plattendolomit, Schluffstein, Schieferton)
- fQEf frühesterzeitliche fluviatile Sande und Kiese (Oschatzer Zschopaulauf)
- gQE1 Elster-1-Grundmoräne
- gQE2v glazilimnische Feinsande, Schluffe und Tone der Elster-2-Vorschüttbildungen
- grQE2v glazifluviatile Sande und Kiese der Elster-2-Vorschüttbildungen
- gf-fQE2 glazifluviatil-fluviatile Sande und Kiese einer subglazialen Erosionsrinne
- gQE2 Elster-2-Grundmoräne
- grQE2n glazifluviatile Sande und Kiese der Elster-2-Nachsüttbildungen
- eQW Löss, Lösslehm und Lössderivate der Weichselkaltzeit
- lfQHo holozäner Auelehm (sandiger Schluff)

3.2 Durchgeführte Arbeiten

Tabelle 2 enthält die Charakteristik der im März 2010 beprobten Grundwassermessstellen (GWM), Wasserwerksbrunnen und privaten Hausbrunnen. Weitere Grundwasserprobennahmen fanden im Februar 2008 sowie im Juli 2009 statt. Eine teufenorientierte, temporäre Grundwasserprobennahme erfolgte im August 2008. Im März 2010 erfolgte außerdem die Durchführung eines 24-stündigen Bewirtschaftungsversuches an den Wasserwerksbrunnen. Einen Überblick über die Lage der Grundwasseraufschlüsse gibt die Abbildung 4.

Tabelle 2: Charakteristik der im März 2010 beprobten Grundwassermessstellen im WSG Jahnaue 2

Messstelle	RW	HW	Gelände- höhe [m HN]	Mess- punkthöhe [m HN]	Typ	Ausbau- durch- messer	Aus- bau- material	Filterbe- reich [m u. GOK]	Abstich [m u. MP] 16.03.2010	Abstich [m u. MP] 18.03.2010
Br1-J	4581471	5677578	150,50	150,81	Bohrbr.	NW 350	Stahl	25,1-32,8	17,17	18,35
BR2-J	4581730	5677530	140,93	141,00	Bohrbr.	NW 350	Stahl	16,3-23,9	8,02	10,32
BR3-J	4581956	5677491	135,98	135,98	Bohrbr.	NW 350	Stahl	17,2-22,5	4,77	7,78
BR4-J	4582277	5677469	143,68	143,68	Bohrbr.	NW 350	Stahl	25,3-29,2	13,26	14,41
BR5-J	4582520	5677330	131,51	132,70	Bohrbr.	NW 350	Stahl	14,2-18,2	2,29	2,93
PWJ	4582438	5676687	133,31	133,81	Bohrbr.	NW 300	?	?	2,50	2,55
B1-J	4581818	5678025	141,50	142,47	GWM	DN 25	HDPE	12,0-14,0	10,24	10,21
B2-J	4582017	5677667	134,51	135,50	GWM	DN 25	HDPE	14,0-16,0	4,66	4,82
B3o-J	4581818	5677218	137,14	138,17	GWM	DN 25	HDPE	10,0-12,0	5,73	5,71
B3u-J	4581817	5677217	137,13	138,01	GWM	DN 25	HDPE	20,0-22,0	5,75	5,80
B5o-J	4580492	5678629	146,80	147,77	GWM	DN 25	HDPE	7,0-9,0	5,97	5,94
B5u-J	4580493	5678630	147,03	147,88	GWM	DN 25	HDPE	24,0-26,0	12,04	12,00
B7-J	4580316	5676991	147,02	147,84	GWM	DN 25	HDPE	21,2-23,2	11,20	11,17
B8o-J	4579998	5677196	151,25	152,20	GWM	DN 25	HDPE	9,0-11,0	7,66	7,64
B9-J	4580844	5676582	145,17	146,21	GWM	DN 25	HDPE	23,0-25,0	9,35	9,32
B10-J	4580945	5677601	157,04	157,94	GWM	DN 25	HDPE	24,0-26,0	21,87	21,80
HBr1	4578784	5678930	164,00	164,33	Schachtbr.	ca. 90 cm	Natur- stein		1,48	n.b.
HBr2	4578769	5678874	165,50	166,64	Schachtbr.	ca. 90 cm	Beton- ringe		1,81	n.b.
HBr3	4579209	5678479	171,02	170,85	Bohrbr.	DN 125	PVC	mehrfach*	n.b.	30,28
HBr6	4582160	5676228	134,55	134,66	Bohrbr.	?	?	ca. 20 ?	1,21	1,36
HBr9	4579019	5677989	190,12	190,59	Schachtbr.	NW 1000	Beton- ringe		14,98	14,96
HBrSc	4581731	5676229	136,48	136,48	Schachtbr.	NW 1000	Beton- ringe		1,41	n.b.
HyJaPu1_09	4581451	5677571	150,79	151,69	GWM	DN 100	PVC	29,0-32,0	17,97	n.b.
GWM2_Schm	4579864	5675612	148,84	149,13	GWM	DN 50	PVC	?	3,99	n.b.
P2_93	4581020	5676380	152,92	153,99	GWM	DN 100	PVC	28,8-37,8	17,07	17,03
P1_96	4581190	5676250	154,79	155,59	GWM	DN 125	HDPE	15,0-20,0	18,76	18,72
TBr13	4580557	5677678	155,54	155,54	Bohrbr.	NW 250	PVC	33,1-39,1	19,22	n.b.

* Filterlage [m u. GOK]: 42-54; 57-63; 66-75; 78-87; 90-93

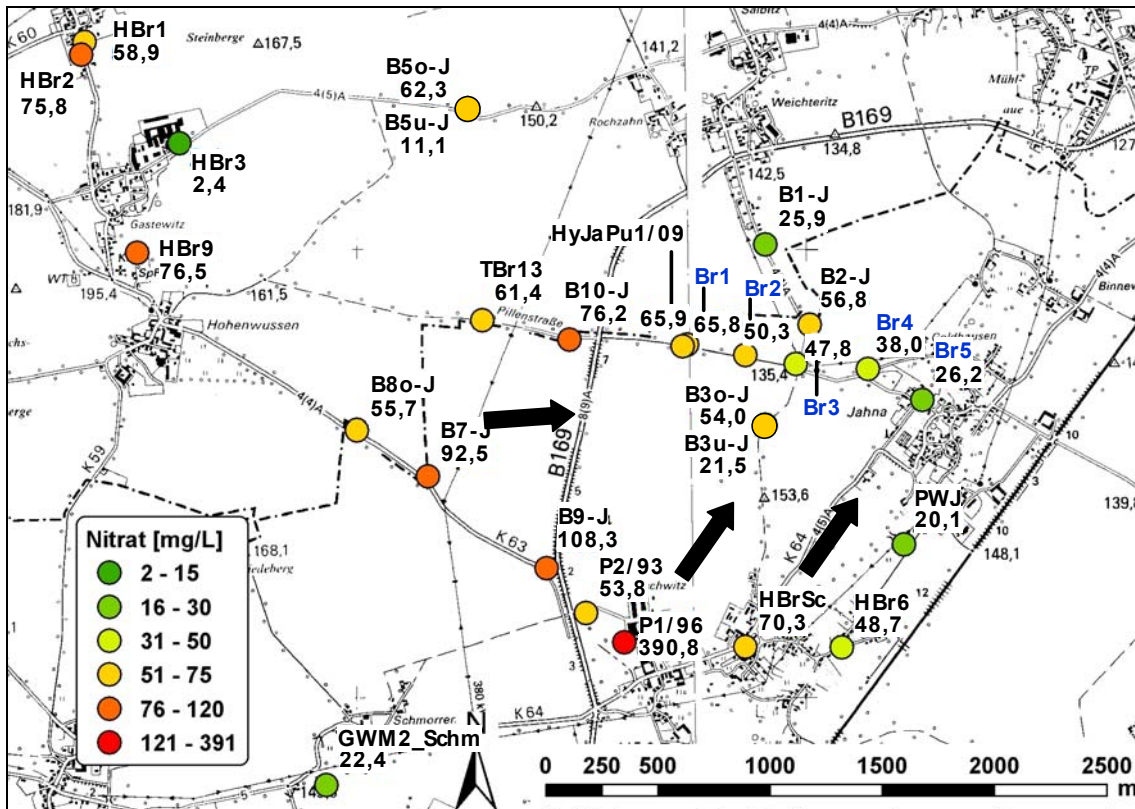


Abbildung 4: Übersicht über die im März 2010 beprobten Grundwasseraufschlüsse sowie die analysierten Nitratkonzentrationen (zwei Bezeichnungen an einem Datenpunkt kennzeichnen Doppelmessstelle „o“ – oben; „u“ – unten; schwarze Pfeile geben die Grundwasserfließrichtung an)

Unter Benutzung einer Durchflussmesszelle erfolgte vor Ort die Bestimmung der Milieuparameter (T, pH, E_H, elektrische Leitfähigkeit, O₂-Gehalt). Die Säure- und Basenkapazität wurden im Feld titrimetrisch bis zu den pH-Werten 4,3 bzw. 8,2 bestimmt. Es erfolgte die Entnahme und die Aufbereitung der Proben für folgende Parameter:

- Hydrochemie (NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, DIC, DOC)
- Isotopenzusammensetzung des Nitrats (δ¹⁵N-NO₃, δ¹⁸O-NO₃)
- Isotopenzusammensetzung des Grundwassers (δ²H-H₂O, δ¹⁸O-H₂O)
- Isotopenzusammensetzung des gelösten Sulfats (δ³⁴S-SO₄, δ¹⁸O-SO₄)
- Isotopenzusammensetzung des gelösten anorganischen Kohlenstoffs (DIC) (δ¹³C-DIC)
- ³H-, ³He- und FCKW-Gehalte der Wasserwerksbrunnen zur Grundwasseraltersdatierung.

Die Analyse der Wasserproben erfolgte am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Halle. Die Bestimmung der ³He-Konzentrationen wurde durch das Institut für Umweltphysik der Universität Bremen und die Bestimmung der FCKW-Gehalte durch das Spurenstofflabor Dr. Harald Oster in Wachenheim durchgeführt.

Im Oktober 2009 wurden jeweils 15 Bohrstocksondierungen auf sechs verschiedenen Ackerflächen innerhalb des WSG durchgeführt. Die Probe eines Einstiches wurde in drei Teufenbereiche (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) untergliedert und anschließend mit allen Proben des gleichen Teufenbereiches einer Ackerfläche zu einer Mischprobe vereinigt. Des Weiteren wurden neun Rammkernsondierungen (RKS) bis in eine Teufe von 10-15 m durch das LfULG niedergebracht und nach jedem Meter eine Probe entnommen. Alle Bodenproben wurden durch die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (Labor Leipzig) auf die Parameter N_{min}, N_T und C_T untersucht.

3.3 Ergebnisse

Grundwasserchemie

Bei der überwiegenden Mehrzahl der entnommenen Grundwasserproben handelt es sich um Ca-betonte Wässer mit leicht variierenden DIC- und Sulfatanteilen bei gleichzeitig geringen Chloridanteilen. Ausnahmen bilden die Messstellen HBr3 (Tiefbrunnen im Festgestein), B5o-J und HBr9 (beide in den Elster-2-Nachschüttbildungen verfiltert) und der HBrSc. Bei letzterem war eine Probenahme erst nach der Passage der Hausinstallation (Druckkessel) möglich. Die pH-Werte innerhalb des Einzugsgebietes liegen alle innerhalb des Wertebereiches 6,6 bis 7,2. Nur die Messstelle B5oJ liegt mit einem pH von 5,9 etwas unter dem vorherrschenden Gebietswerten. Die Großzahl der Grundwasseraufschlusspunkte weist aerobe Verhältnisse auf. Lediglich die Beobachtungspunkte HBr3 und GWM2 Schm sind sauerstofffrei. Sauerstoffarme Verhältnisse wurden an den Messstellen B5u-J und B3u-J sowie den Wasserwerksbrunnen Br5 und PWJ festgestellt. Innerhalb der Brunnengalerie nimmt der Sauerstoffgehalt von West nach Ost von 5,5 auf 1,7 mg/l ab. Dieser kontinuierliche Abfall der Sauerstoffkonzentration wird von einem gleichgerichteten Nitratkonzentrationsgradienten begleitet (Abbildung 4). Im Br1 betragen die Gehalte 65 mg/l, in Br2 und Br3 ca. 50 mg/l, in Br4 40 mg/l und im Br5 26 mg/l. Innerhalb des Einzugsgebietes zeigt eine Großzahl der Messstellen Nitratgehalte zwischen 50 und 100 mg/l. Lediglich die Aufschlusspunkte B1-J, B3u-J und B5u-J weisen deutlich geringere Werte zwischen 10 und 25 mg/l auf. Der im Festgestein und in den fluviatilen Sedimenten des Oschatzer Zschopaulaufs ausgebaute Hausbrunnen HBr3 ist als nahezu nitratfrei einzustufen. Die mit deutlichem Abstand höchsten Nitratgehalte von 390 mg/l zeigt die Messstelle P1/96, welche sich innerhalb eines Wildtiergeheges befindet. Die ebenfalls in diesem Gehege gelegene, aber deutlich tiefer verfilterte GWM P2/93 (Tabelle 2) zeigt Werte von 54 mg/l Nitrat. Signifikante Ammoniumgehalte wurden nur an der GWM2 Schm detektiert. Mittels thermodynamischer Gleichgewichtsmodellierung (PHREEQC) konnte für alle Grundwasseraufschlusspunkte eine Sättigung bezüglich Calcit festgestellt werden. Lediglich die Messstelle B5o-J zeigt auch hier ein abweichendes Verhalten – sie ist bzgl. Calcit deutlich untersättigt. Gegenüber der Mineralphase Gips zeigen alle entnommenen Wasserproben eine deutliche Untersättigung an.

Im linken Teil der Abbildung 5 ist die räumliche Nitratverteilung im Grundwasser, wie sie in den Jahren 1966/67 im Zuge der hydrogeologischen Vorerkundung angetroffen wurde dargestellt. Der rechte Teil der Abbildung 5 zeigt die räumliche Nitratverteilung innerhalb des Wasserschutzgebietes Jahnaue 2 im März 2010. Dabei wurde die zur GWM P2/93 benachbarte GWM P1/96 nicht berücksichtigt. Grund dafür sind die im Vergleich zum Einzugsgebietsniveau sehr hohen Nitratkonzentrationen, welche als punktuelle Quelle betrachtet werden müssen. Deutlich zu erkennen ist, dass nahezu das gesamte WSG im Vergleich mit den Werten 1966/67 eine signifikante Erhöhung der Nitratgehalte aufweist. Als Hauptproblemzone kann dabei das Areal zwischen den GWM B7-J, B9-J und B10-J angesehen werden. Weiterhin ist eine deutliche Abnahme der Nitratgehalte in Richtung Osten zu verzeichnen, was auf die Zumischung nitratarmer Grundwässer aus dem unterlagernden Festgestein zurückgeführt werden kann (siehe Abschnitt Grundwasserdatierung). Die scheinbare Abnahme der Nitratgehalte im Kartenbild nach Südwest darf nicht überinterpretiert werden, weil sie nur durch eine Messstelle belegt ist (GWM2 Schm). An Hand der Nitratverteilungskarte kann festgestellt werden, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit alle landwirtschaftlichen Nutzflächen innerhalb des Einzugsgebietes einen signifikanten Beitrag zur Nitratbelastung des Grundwassers leisten, wobei jedoch eine laterale Verlagerung des N_{\min} der ungesättigten Zone (siehe Abschnitt Feststoffuntersuchungen) im Hangenden der Grundmoränenpakete zu erwarten ist.

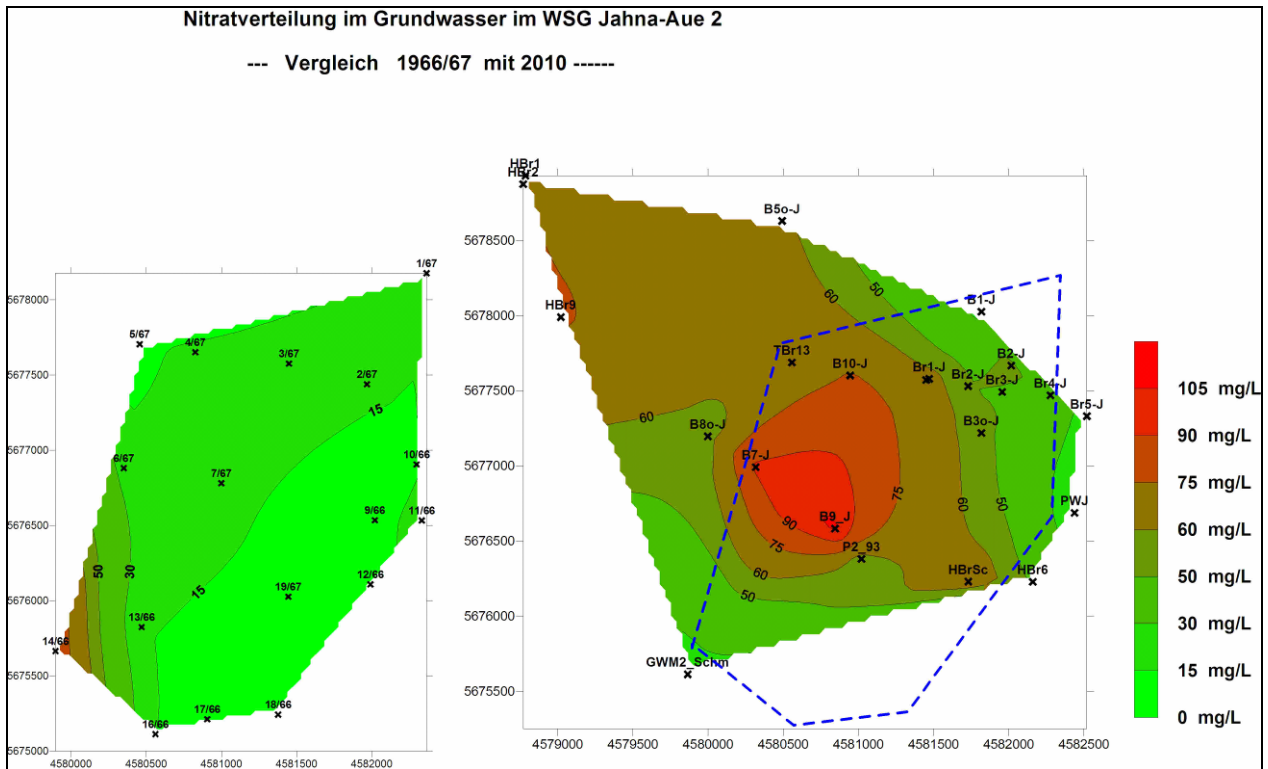


Abbildung 5: Entwicklung der Nitratkonzentrationsverteilung im Grundwasser des WSG Jahnaue 2 zwischen 1966/67 und 2010

Isotopenhydrologie

Das Diagramm in Abbildung 6 zeigt alle im Zuge der Grundwasserprobennahmen von 2008 bis 2010 gemessenen Isotopensignaturen des Nitrats. Wie zu erkennen ist, liegt die überwiegende Mehrzahl der Proben im Überlappungsbereich der Nitratquellen Bodenstickstoff, organischer Dünger und Nitrifizierung von Ammonium aus Düngern und Niederschlägen. Im Einzugsgebiet existiert somit im Wesentlichen eine relevante Hauptquelle für Nitrat. Dabei handelt es sich um den diffusen Austrag aus den landwirtschaftlichen Nutzflächen. Eine signifikante Beeinflussung der Nitratkonzentrationen durch Denitrifikationsprozesse innerhalb des Einzugsgebiets findet nicht statt.

Die in Abbildung 3 angegebenen ^3H -Konzentrationen im Jahre 2010 liegen z. T. deutlich unterhalb der aktuell in Leipziger Niederschlägen bestimmten Werte, welche im niederschlagsgewichteten Jahresmittel ca. 10 TU betragen. Dies lässt darauf schließen, dass das in den Brunnen geförderte Wasser durch die Zumischung einer tritiumfreien Komponente beeinflusst ist. Als Quelle für die tritiumfreie Komponente können die unterlagernden, permotriassischen Festgesteine angesehen werden, da im Wasser eines knapp 3 km WNW der Fassung gelegenen, mehrfach zwischen 42 und 92 m u. GOK im Festgestein und in den Sedimenten des Oschatzer Zschopaulaufs verfilterten Brunnen (HBr3) kein Tritium ($0,1 \pm 0,2$ TU im Feb. 2008) nachgewiesen werden konnte. Die Nitratgehalte des Festgesteinsgrundwassers sind ebenfalls sehr gering. Zusätzlich zu den in den Jahren 2008 bis 2010 ermittelten ^3H -Konzentrationen standen noch ^3H -Werte aus den Jahren 1999 und teilweise aus 1992 und 2006 zur Verfügung (NOBST & SZYMCAK 1993, 1999; SZYMCAK 2006).

Die Tritiuminputfunktion wurde mit Hilfe der von der IAEA im Rahmen des GNIP-Monitoringprogramms (IAEA/WMO 2006) zur Verfügung gestellten Daten rekonstruiert. Dabei wurden im Wesentlichen die Werte der Stationen Leipzig, Freiberg und Hof (Saale) genutzt. Die Wichtung der saisonalen Anteile der Niederschläge an der Grundwasserneubildung erfolgte mit Hilfe der stabilen Isotope $^2\text{H}\text{-H}_2\text{O}$ und $^{18}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ des Grund- und Niederschlagswassers, was einen Anteil der Winterniederschläge von ca. 60% ergab. Das für die Modellierung der mittleren Grundwasserverweilzeiten zu Grunde liegende konzeptionelle Modell berücksichtigte die Zumischung einer tritiumfreien Komponente und die Aufenthaltszeit in der ungesättigten Zone. Dabei wird davon ausgegangen, dass das in der ungesättigten Zone aus dem Tritiumzerfall stammende ^3He komplett an die Gasphase verlorenght. Der Transport in der ungesättigten Zone wurde mittels Piston-Flow-Ansatz und in der gesättigten Zone mit Hilfe eines Dispersionsmodells abgebildet. Als Software kam dabei das Programm MULTIS (RICHTER 1993) zum Einsatz.

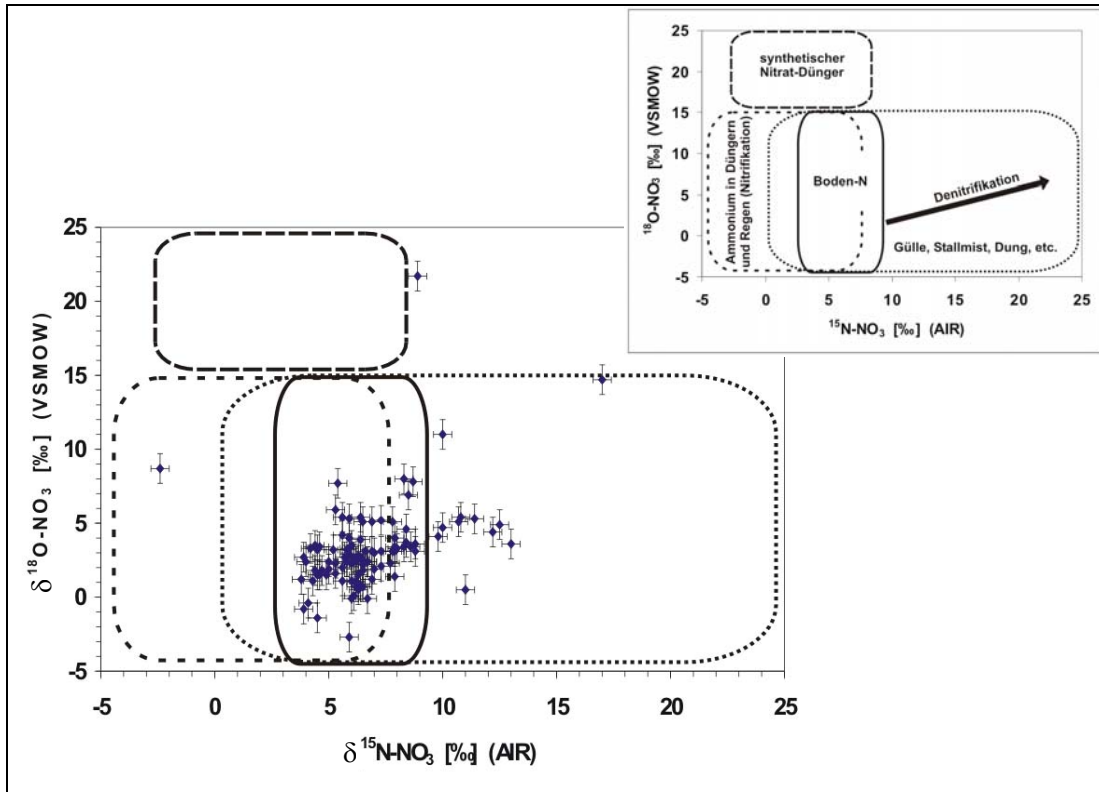


Abbildung 6: Isotopensignaturen des Nitrats in allen zwischen 2008 und 2010 entnommenen Grundwasserproben (geänd. nach KENDALL & McDONNELL 1998)

Tabelle 3: Daten der $^3\text{He}/^3\text{H}$ -Messungen der im März 2010 entnommenen Proben an der Wasserfassung Jahnaue 2

Probe	$^3\text{He}_{\text{meas}}$ [Nml/kg] 1.00E-05	$^4\text{He}_{\text{meas}}$ [Nml/kg] 1.00E-05	Ne_{meas} [Nml/kg] 1.00E-05	Ne_{ex} [Nml/kg] 1.000E-08	$^3\text{He}_{\text{ex}}$ [Nml/kg] 1.000E-14	$^3\text{He}_{\text{rad}}$ [Nml/kg] 1.000E-14	$^3\text{He}_{\text{tri}}$ [T _{uequiv}]	^3H [TU]
Br1	1.20E-05	5.56	22.70	2.670	4.68	0.00	18.79	6.6
Br1	1.21E-05	5.63	22.98	2.956	4.67	0.00	18.75	6.6
Br2	1.27E-05	7.10	22.64	2.615	5.48	0.04	21.85	6.6
Br2	1.23E-05	6.83	22.01	1.983	5.33	0.03	21.25	6.6
Br3	1.32E-05	7.46	21.62	1.587	6.34	0.05	25.28	6.7
Br3	1.31E-05	7.41	21.17	1.144	6.40	0.05	25.52	6.7
Br4	1.21E-05	11.08	21.82	1.794	5.14	0.12	20.15	4.6
Br5	1.32E-05	19.40	21.21	1.178	6.53	0.29	25.05	3.0
Br5	1.22E-05	18.69	20.54	0.512	5.75	0.28	21.97	3.0

Ne_{meas} Messwerte
 Ne_{ex} Anteile aus "excess air" (Luftüberschuss)
 $^3\text{He}_{\text{rad}}$ radiogenes ^3He
 $^3\text{He}_{\text{tri}}$ tritiogenes ^3He in Tritiumäquivalenten

Tabelle 4: Ergebnisse der $^3\text{H}/^3\text{He}$ -Datierung. Angabe der mittleren Verweilzeiten (gesättigte plus ungesättigte Zone) und des Anteils der ungesättigten Zone in Jahren

Messstelle	mittlere Verweilzeit (^3H -haltige Komponente)	davon ungesättigte Zone	Anteil ^3H -freier Komponente
Br1	45 – 55 a	ca. 20 a	55 – 75 %
Br2	45 – 55 a	ca. 20 a	65 – 85 %
Br3	45 – 70 a	ca. 20 a	> 30%
Br4	45 – 70a ca. 70 a	ca. 25 a ca. 20 a	55 – 75 % 55 – 65 %
Br5	45 – 55 a	ca. 5 a	75 – 85 %

Auf Grundlage der mittels $^3\text{H}/^3\text{He}$ -Datierung erhaltenen Ergebnisse können für die Brunnengalerie Jahnaue 2 folgende Aussagen getroffen werden:

- Die Zumischung einer ^3H -freien Komponente aus dem unterlagernden Festgestein spielt bei allen Brunnen eine signifikante Rolle. Der Anteil beträgt dabei zwischen 55 und 85 %.
- Die Verweilzeit der ^3H -haltigen-Komponente in der ungesättigten Zone beträgt für Brunnen 1 bis Brunnen 4 jeweils ca. 20 Jahre. Für Brunnen 5 dagegen nur etwa fünf Jahre.
- Die Konzentration an Nitrat in der tritiumhaltigen Komponente beträgt zwischen 100 und 180 mg/l.

Feststoffuntersuchungen

Bei den in Abbildung 7 dargestellten N_{\min} -Gehalten ist für alle RKS zunächst bis 90 cm Tiefe ein starker Rückgang auf Werte zwischen 3 und 40 kg/ha zu beobachten. Im Oberboden betragen die N_{\min} -Gehalte 30 bis 170 kg/ha, wobei der niedrigste Wert auf der ökologisch bewirtschafteten Fläche (RKS3) festgestellt wurde. Bei der RKS3 bleiben die Gehalte zunächst bis 4 m Tiefe auf niedrigem Niveau, steigen dann bis 8 m auf 70 kg/ha, um danach innerhalb eines Meters wieder auf 20 kg/ha zurückzugehen. Dieses Niveau wird bis zur Endteufe beibehalten. RKS4 verhält sich bis 4 m zunächst analog der RKS3. Danach steigen die N_{\min} -Gehalte durch Schwankungen unterbrochen bis auf 240 kg/ha in 10m Tiefe an um innerhalb des nächsten Meters auf 20 kg/ha zurückzugehen. Bis zur Endteufe schwanken die Werte danach zwischen 20 und 35 kg/ha. Der Anstieg der N_{\min} -Gehalte bei RKS1 beginnt bereits ab 2,5 m Tiefe. Die Tiefenverteilung zeigt zwei Maxima bei 5,5 m (65 kg/ha) und bei 9,5 m (285 kg/ha). Bis zur Endteufe bei 14,5 m sinken die Werte kontinuierlich auf 45 kg/ha ab. Die RKS2 zeigt bereits ab 1 m u. GOK einen kontinuierlichen Anstieg der N_{\min} -Gehalte bis in 10 m Tiefe. Allerdings werden die Gehaltsniveaus der RKS1 und 4 bei weitem nicht erreicht, sondern bewegen sich beim Maximum mit 60 kg/ha auf einem ähnlichen Level wie bei RKS3. Auch bei RKS6 erfolgt ein Anstieg der N_{\min} -Gehalte zwischen 1 m und 1,5 m Tiefe von ca. 40 auf 65 kg/ha. Im Anschluss sinken die Gehalte bis 5,5 m auf ca. 10 kg/ha. Dieses vergleichsweise niedrige Niveau wird, unterbrochen durch ein zweites kleineres Maxima (20 kg/ha bei 9,5 m), bis zur Endteufe beibehalten.

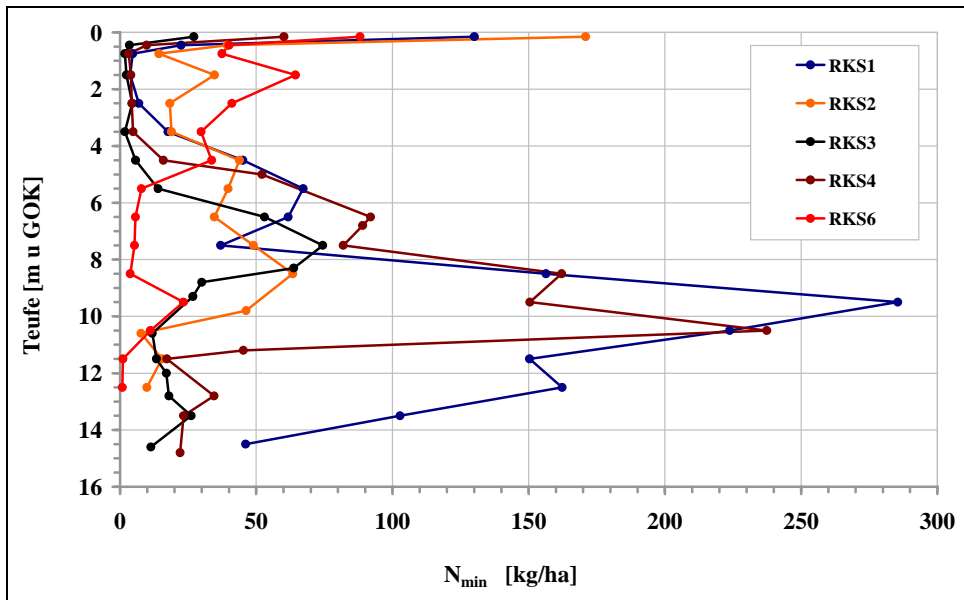


Abbildung 7: Ergebnisse der N_{min} -Untersuchungen an den im Zuge der Rammkernsondierungen entnommenen Feststoffproben

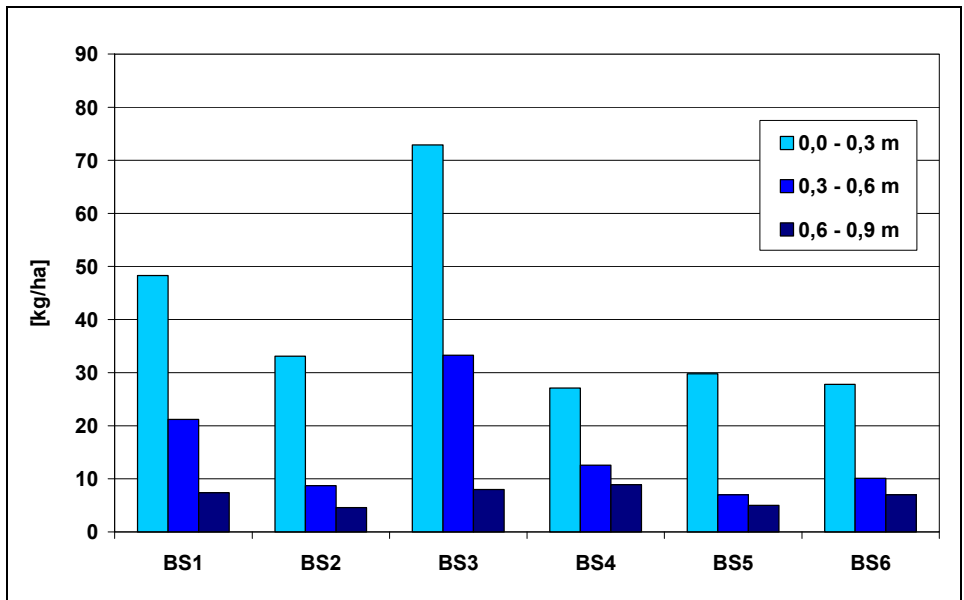


Abbildung 8: Ergebnisse der N_{min} -Untersuchungen an den im Zuge der Bohrstocksondierungen entnommenen Feststoffproben (Legende gibt die Teufenbereiche der Mischproben an)

Abbildung 8 enthält die Ergebnisse der N_{min} -Untersuchungen an den mittels Bohrstocksondierungen gewonnenen Mischproben. Bei allen Mischproben sinken die Gehalte im Unterboden bis auf kleiner 10 kg/ha ab. Im Oberboden zeigen die Mischproben BS2, BS4, BS5 und BS6 Gehalte um 30 kg/ha. BS1 und BS3 liegen mit etwa 50 bzw. 70 kg/ha deutlich darüber.

3.4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Nitratbelastung innerhalb des WSG Jahnaue 2 hat sich während des Untersuchungszeitraums nicht signifikant verändert. Die gemessenen Konzentrationen bewegen sich für nahezu alle Grundwasseraufschlusspunkte zwischen 50 und 100 mg/l und zeigen innerhalb des Einzugsgebietes teilweise eine ausgeprägte dreidimensionale Variabilität. Als Haupteintragsquelle für Nitrat kann mit hoher Wahrscheinlichkeit die überwiegende Anzahl der landwirtschaftlichen Nutzflächen angesehen werden.

Eine weitere punktuelle Eintragsquelle ist das Wildtiergehege nordwestlich der Ortslage Clanzschwitz. Ob und inwieweit eine Beeinflussung der Nitratgehalte im Grundwasser durch die Stallanlage Gastewitz erfolgt, müsste durch vertiefende Untersuchungen geklärt werden.

Denitrifikationsprozesse haben keinen Einfluss auf die Nitratverteilung innerhalb des Einzugsgebiets. Einen wesentlichen Einfluss auf die detektierten Nitratgehalte in den Brunnen der Galerie Jahnaue 2 hat jedoch der Zustrom nitratarmer Grundwässer aus den unterlagernden permotriassischen Festgesteinsaquiferen. Wie die Ergebnisse der Grundwasserdatierung zeigen, betragen die Mischungsanteile dieses nitratarmen, alten Grundwassers in Br1, Br2, Br3 und Br4 jeweils ca. 60 %. Für Br5 beträgt der Anteil sogar etwa 80 %. Letzteres ist eine Ursache für die im Vergleich zu den anderen Brunnen deutlich niedrigeren Nitratgehalte. Weiterhin ist auch festzustellen, dass Br5 offenbar ein von den anderen Brunnen abweichendes Teileinzugsgebiet besitzt. Dies kommt in den nur geringen Aufenthaltszeiten in der ungesättigten Zone von ca. fünf Jahren im Vergleich zu ca. 20 Jahren bei den anderen Brunnen zum Ausdruck. Bei vergleichbaren mittleren Gesamtverweilzeiten ergibt sich somit für Br5 auch eine deutlich größere Verweilzeit in der gesättigten Zone.

An Hand der ermittelten Untersuchungsergebnisse im WSG Jahnaue 2 können folgende Aussagen und Empfehlungen abgeleitet werden, die über die bereits in der WSG-Verordnung vorgeschriebenen Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Dauerbegrünung hinausgehen:

- Mittels Flowmetermessungen sollte überprüft werden, ob die tieferen Abschnitte der Filterstrecken der Wasserwerksbrunnen evtl. geringere Zuflussraten als die oberen Abschnitte aufweisen und ob durch Regenerierungsmaßnahmen die Zuflüsse in den unteren Bereichen erhöht werden können. Möglicherweise führt dies insbes. für Br1, Br2, Br3 und Br4 zu einer Erhöhung des Mischungsanteils nitratarmen Grundwassers aus den Festgesteinsaquiferen und somit zu einer Verringerung der Konzentration an Nitrat im geförderten Rohwassers.
- Zur Minimierung der aktuellen Auswaschung an Nitrat und damit der Vermeidung einer zukünftigen Nitratproblematik sollte der teilweise bereits durchgeführte Anbau von Winterzwischenfrüchten (z. B. Gelbsenf) zur Vermeidung der Auswaschung von Reststickstoffmengen im Herbst in Kooperation mit den Landwirten und den zuständigen Behörden intensiviert werden. Ebenso sollte überprüft werden, inwieweit eine Reglementierung der mineralischen Stickstoffdüngung möglich ist.
- Die kurz- und mittelfristige Entwicklung der Nitratgehalte in den Förderbrunnen lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt nur ungenau vorhersagen. Aufgrund der teilweise hohen Mengen an N_{\min} in der ungesättigten Zone existiert jedoch ein vergleichsweise großer Stoffpool, welcher in Zukunft noch ins Grundwasser ausgewaschen wird. Dabei ist fraglich, in welchen Bereichen die Hauptmenge des Nitrates in den Aquifers eingetragen wird, weil eine signifikante laterale Verlagerung des N_{\min} der ungesättigten Zone im Hangenden der Grundmoränenpakete zu erwarten ist. Langfristig ist unter Berücksichtigung der vergleichsweise hohen mittleren Grundwasserverweilzeiten und der mit der politischen Wende 1989 einhergegangenen Veränderung der Düngepraxis mit einem Rückgang der Nitratkonzentrationen zu rechnen, wobei zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorausgesagt werden kann, ob dabei der Grenzwert der Trinkwasserverordnung unterschritten wird.
- Es ist zu prüfen, inwieweit die Quellstärke der Wildtierhaltung (GWM P1/96) verringert werden kann.
- Die Umwandlung von Ackerland in Grünland (Mähweide) in einem Umkreis von ca. 20 m um die Br2 bis Br4 kann eine Verringerung des Eintrags im unmittelbaren Nahfeld dieser Brunnen bewirken. Es ist jedoch insbesondere aufgrund der modellierten Altersstruktur anzunehmen, dass Nitrat aus diesem Bereich nur untergeordnet zur Gesamtnitratkonzentration in den Brunnen beiträgt.
- Weiterführung des Monitorings zur Kontrolle der Nitratkonzentrationsentwicklungen im Einzugsgebiet der Wasserfassung Jahnaue 2. Integriert werden sollte in die weitere Beobachtung der Nitratbelastung im unterirdischen Einzugsgebietes der Fassungsanlage die Untersuchung der Sickerwasserkonzentrationen auf Nitrat, Ammonium und Sulfat mittels Einrichtung eines bodenhydrologischen Messplatzes (Einbau von Saugkerzen in drei Tiefenhorizonten der Lösslehmbedeckung, d. h. in 1,0 , 2,0 und 3,0 m u. GOK, sowie von FTR-Sonden).
- Durchführung einer ackerschlagbezogenen Stickstoff- und Humusbilanzierung für den durchwurzelteten Bodenbereich zur Abschätzung der Nitratkonzentration im Sickerwasser mittels Programmanwendung von REPRO (HÜLSENBERGER & DIEPENBROCK 1997). Dazu werden die langjährigen Schlagkarteidaten gemäß SächsSchAVO, die von den landwirtschaftlichen Betrieben im unterirdischen Einzugsgebiet der Wasserfassung im Rahmen der bisherigen Recherchearbeiten verfügbar gemacht wurden, verwendet.
- Nachprägung des Wasser- und Schadstoffhaushaltes der ungesättigten Zone (bevorzugt Nitrat und Ammonium) in den drei WSG Jahnaue 2, Diehsa und Naunhof I unter Nutzung eines gekoppelten Modellansatzes REPRO – ArcEGMO-PSCN

(KLÖCKING 2009) sowie Durchführung von Szenarienberechnungen zur Untersuchung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Reduzierung der diffusen Stickstoffeinträge unter dem Fokus der durchzuführenden Maßnahmenplanung gemäß WRRL.

- Erstellung eines gekoppelten Stofftransportmodells für die ungesättigte und gesättigte Zone (Kopplung REPRO – ArcEGMO-PSCN – Modflow/MT3D) auf Grundlage der langjährigen Bewirtschaftungsdaten und der mit den Landwirtschaftsbetrieben kommunizierten sowie in der Praxis umsetzbaren Maßnahmen zur Optimierung des Düngemiteleinsatzes, der Fruchtfolge und zur Aufbesserung der Humusgehalte und der Struktureigenschaften der Böden.

3.5 Literaturverzeichnis

- FIEDLER, S. (2003): „Ermittlung, Abschätzung und Bewertung des Nitratbelastungsrisikos für das Grundwasser im Landwirtschaftlich genutzten Wassereinzugsgebiet der Wasserefassung Jahnaue“, Dissertation, M.-L.-U. Halle, UFZ Dissertation 07/2005, 170 S., ISBN 1860-0387.
- HERRMANN, E. (2011): Geologische 3D-Visualisierung der quartären Ablagerungen und Modellierung der Nitratausbreitungsdynamik im Grundwasser der Trinkwasserefassung Jahnaue 2. Master-Abschlussarbeit. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle. Juni 2011.
- HÜLSENBERGEN, K.-J.; DIEPENBROCK, W. (1997): Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. Osnabrück: Zeller Verlag.
- JORDAN, H. u. a. (1991): Anwendungsrichtlinie zur Geschützteitsbewertung von Grundwasserressourcen auf der Grundlage von Tritiumanalysen.- Bergakademie Freiberg. 1991.
- KENDALL, C. & McDONNELL, J.J. (1998) (Hrsg.): „Isotope tracers in catchment hydrology“, Elsevier, Amsterdam, 839.
- KLÖCKING, B. (Hrsg.) (2009): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO, 41 S. [online verfügbar: http://www.arcegmo.de/PSCN_2009.pdf].
- KNÖLLER, K. & DILBAT, M. (2009): „Untersuchung des Nitrattransportes in der ungesättigten und gesättigten Zone zur Ableitung nachhaltiger Maßnahmen für die Minderung der Nitratbelastung im Sicker- und Grundwasser auf landwirtschaftlichen Nutzflächen“, unveröff. Abschlussbericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Halle (Saale).
- KNÖLLER, K. & DILBAT, M. (2010): „Fortführung der Untersuchung des Nitrattransportes in der ungesättigten und gesättigten Zone zur Ableitung nachhaltiger Maßnahmen für die Minderung der Nitratbelastung im Sicker- und Grundwasser auf landwirtschaftlichen Nutzflächen“, unveröff. Abschlussbericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Halle (Saale).
- Landwirtschaft und Gewässerschutz. - aid Infodienst e.V.; 1494. 2005.
- LFUG (1995): Geologische Übersichtskarte von Sachsen 1:400.000 (GÜK 400) – Karte ohne känozoische Sedimente.
- MACHELEIDT, W.; GRISCHEK, T.; RICHTER, A.; NESTLER, W.; BARTSCH, M.; BOCHMANN, A. (2004): Untersuchung zu den Auswirkungen von Schutzmaßnahmen nach der Sächsischen Schutz- und Ausgleichsverordnung (SächsSchAVO) vom 2. Januar 2002 auf die Grundwasserbeschaffenheit in Wasserschutzgebieten; Abschlussbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden. 113 Seiten.
- MACHELEIDT, W.; GRISCHEK, T.; RICHTER, A. et al. (2005): Abschlussbericht „Untersuchung zu den Auswirkungen von Schutzmaßnahmen nach der Sächsischen Schutz- und Ausgleichsverordnung (SächsSchAVO) vom 2. Januar 2002 auf die Grundwasserbeschaffenheit in Wasserschutzgebieten“, LfUG Dresden, Aktenzeichen: 13-8802.3522/69-2. Dresden. 15.11.2005.
- Mc DONALD, M. G. & A. W. HARBAUGH (1988): MODFLOW – A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. – U.S. Geological Survey. 1988.
- Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung – Praxishandbuch zur Reduzierung landwirtschaftlicher Einflüsse auf die Grundwasserqualität. – water4all. 1. Auflage. 2006.
- NOBST, W. & SZYMCAK, P. (1993): „Trinkwasserschutz zonen für die Fassung Jahnaue 2 und Überarbeitung vorhandener Schutz zonen der Fassung Jahnaue 1“, unveröff. Gutachten, G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, 18.03.1993.
- NOBST, W. & SZYMCAK, P. (1996): „Nachtrag zum Hydrogeologischen Gutachten Trinkwasserschutz zonen für die Fassung Jahnaue 2 und Überarbeitung vorhandener Schutz zonen der Fassung Jahnaue 1 vom 18.03.1993“, unveröff. Gutachten, G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, 10.04.1996.
- PFÜTZNER, B. (ED.) (2002): Description of ArcEGMO. Official homepage of the modelling system ArcEGMO, <http://www.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5.

- RICHTER, J. & SZYMCZAK, P. (1994): MULTIS, ein Computerprogramm zur Auswertung von isotopehydrogeologischen Daten auf der Grundlage gekoppelter konzeptioneller Boxmodelle. – HGC GmbH und G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH. Freiberg. 1994.
- SBJESCHNI A. (2002): Digitale Erfassung und GIS-gestützte dreidimensionale Darstellung der geologisch / hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der Jahna Aue (Mügelner Becken/ FS Sachsen).- S. 104, Diplomarbeit, Universität Leipzig, Leipzig.
- SONTHEIMER, H. & ROHMANN, U. (1985): „Nitrat im Grundwasser“, Druckerei G. Braun GmbH, Karlsruhe, 469 S.
Startseite des IAEA Water Resources Programme mit zahlreichen frei verfügbaren Veröffentlichungen der IAEA:
<http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/index.html>.
- SZYMCZAK, P. & NOBST, W. (1998): „Überprüfung der Trinkwasserschutzzonen in der Jahnaaue“, unveröff. Gutachten, G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, 05.10.1999.
- SZYMCZAK, P. (1999): „Hydrogeologischer Bericht Probenahme von Umwelttracern für die Wasserfassungen in der Jahnaaue“, unveröff. Gutachten, G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, 05.08.1999.
- SZYMCZAK, P. (2006): „Auswertung der Tritiummessungen des Jahres 2006 für die Fassungsanlage Jahnaaue 2“, unveröff. Gutachten, G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, 25.10.2006.
- THIEM, G. & SEELIGER, M. (1966): „Ergebnisbericht über die hydrogeologischen Untersuchungen im Objekt Wasserwerk Jahna-Pulsitz (WW Jahna-Pulsitz)“, unveröff. Gutachten, VEB Geologische Erkundung Süd (Freiberg), Freiberg, 21.12.1966.
- Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über Schutzbestimmungen und Ausgleichsleistungen für erhöhte Aufwendungen der Land- und Forstwirtschaft in Wasserschutzgebieten (SächsSchAVO) vom 02.01.2002. (SächsGVBl S. 610).
- WOLF, L. (1978): „Zum Alter und zur Gliederung der „Döbelner Quartärfolge““, Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 6, 1231 – 1243.
- WOLF L. & ALEXOWSKY W. (2008): Quartär.- In: Pälchen, W. und Walter, H. (Hrsg.): Geologie von Sachsen - Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte.- S.419-472, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- ZENTRALER GEOLOGISCHER DIENST (ZGI) (1974): Lithofazieskarte Quartär. – M.: 1:50.000, Blatt 2567 Riesa, 6 Teilblätter, Berlin.
- ZHENG, C. (1993): A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation for Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems. – S.S. Papadopolus & Associates Inc., Maryland. 1993.

4 Großmaßstäbige Erfassung des Versiegelungsgrades aus Geobasisdaten

Bernd Siemer - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Robert Schenkel – Geo Data Solutions GmbH, Jena

4.1 Einleitung

Die „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme“ durch Siedlung und Verkehr besitzt für den Schutz des Bodens eine hohe Priorität. Neben ökologischen Aspekten wie der Zunahme der Bodenversiegelung/-abgrabung sowie einer wachsenden Zerschneidung des Freiraumes stellen sich auch ökonomische und soziale Forderungen nach einer Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und nachhaltigeren Flächennutzung.

Durch Versiegelung und Abgrabung werden in Sachsen wertvolle Böden und Bodenfunktionen vernichtet. Die Folgen sind u. a. Veränderungen des Landschaftsbildes, zunehmender Lärm und Luftveränderungen. Hohe Bodenversiegelungen können erhöhte Hochwassergefahren verursachen. Durch neue Siedlungsausdehnungen im Außenbereich (in Sachsen seit 1990 >60.000 ha; STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN 2011) werden die Innenräume von Städten und Dörfern weniger genutzt. Häufig sind Verödungen im Bestand der Siedlungen zu beobachten. Sachsen ist durch massive Flächeninanspruchnahme bei gleichzeitig abnehmender Bevölkerungszahl gekennzeichnet. Bis 2020 wird die Bevölkerung von knapp 4,2 auf ca. 3,8 Mio. Einwohner zurückgehen. Auch die Verteilung der Bevölkerung in den jeweiligen Landesteilen ist für die Flächeninanspruchnahme von hoher Bedeutung, denn immer weniger Menschen müssen die Aufwendungen für den Unterhalt der zusätzlich versiegelten und in Anspruch genommenen Flächen tragen.

Der Versiegelungsgrad wird nicht flächendeckend in großmaßstäbigen amtlichen topografischen Daten (in Sachsen: ALK) abgebildet. Während einige Objektarten (z. B. Gebäude) eine direkte Zuordnung eines Versiegelungsattributes erlauben, sind andere Objektarten über Nutzungsarten definiert und umfassen sowohl versiegelte als auch unversiegelte Bereiche (z. B. Freifläche).

Für die Erfassung des Versiegelungsgrades stand die Aufgabe, diese Unschärfen aufzulösen und flächendeckend den Verlust an natürlicher Bodenfunktion zu erfassen. Des Weiteren soll berücksichtigt werden, dass mit der Erfassung auch ein Monitoring der weiteren Flächeninanspruchnahme und Bodenversiegelung ermöglicht wird.

Das LfULG hat in der letzten Dekade in Zusammenarbeit mit Fernerkundungsexperten Forschungsprojekte zur mittel- und großmaßstäbigen Erfassung der realen Bodenversiegelung aus unterschiedlichen Satellitendaten durchgeführt. Die dabei gesammelten Erfahrungen fließen in die Untersuchung und zur Auswertung der „großmaßstäbigen Erfassung des Versiegelungsgrades aus Geobasisdaten²“ mit ein. Die Ergebnisse werden in Heft 5/2012 „Bodeninformationssystem für Bodenschutzbehörden“ der Schriftenreihe des LfULG veröffentlicht.

² Geobasisdaten und Geofachdaten sind amtliche Geodaten, welche die Landschaft, die Grundstücke und die Gebäude beschreiben.

4.2 Untersuchungsfläche

Die Untersuchungen wurden auf der Fläche des Landkreises Mittelsachsen durchgeführt. Der Landkreis Mittelsachsen hat eine Ausdehnung von rund 2.112 Quadratkilometern. Seine Fläche erstreckt sich über das mittelsächsische Hügelland, über das Erzgebirgsvorland sowie über das Osterzgebirge. Im Norden wird der Landkreis von der Leipziger Tieflandsbucht begrenzt und im Süden vom Kammgebiet des Erzgebirges. Im Osten bilden die Lommatzscher Pflege und der Tharandter Wald die natürlichen Begrenzungen, und im Westen reicht der Landkreis Mittelsachsen an den Freistaat Thüringen und an das westliche Erzgebirge heran. Dem Landkreis gehören 62 Kommunen an, davon besitzen 21 Kommunen das Stadtrecht. Die einwohnerstärkste Kommune ist die Bergstadt Freiberg mit rund 40.000 Einwohnern, gefolgt von Döbeln mit rund 20.000 und Frankenberg mit 16.000 Einwohnern.

4.3 Methodik

Für die Auswertung herangezogen wurden Geobasisdaten des Freistaates Sachsen. Dazu gehören die jeweils aktuellen Datenbestände an Digitalen Orthophotos (DOP, Falschfarbbild und Naturfarbe) und die „Automatisierte Liegenschaftskarte“ (ALK) mit den Attributen der Flächennutzung. Diese Informationen liegen sachsenweit vor, sodass von einer grundsätzlichen Übertragbarkeit der Untersuchungsmethodik auch auf andere Geometrien des Freistaates Sachsen auszugehen ist (Tabelle 1). In BASEDOW et al. (2009) wurden für Niedersachsen verschiedene methodische Ansätze geprüft. Die für Mittelsachsen angewandte Methodik erweitert den Extrapolationsansatz (Kennwerte aus ALK durch manuelle Luftbildinterpretation) durch automatische Bildinterpretation. Dadurch kann auf Stichproben verzichtet und das Monitoring flächendeckend durchgeführt werden.

Tabelle 1: Spezifikation der Eingangsdaten

Eingangsdaten GIS	ALK Folie 01, 11, 11a, 21
Datenformat	ESRI Shape, ESRI Geodatabase (V9.2)
Metadaten	Projektion, Attributbeschreibung, Metadaten (z. B. Toleranzen)
Datenorganisation	Polygondatei pro Folie, alternativ pro Objektklasse
DOP Bilddaten	
Eingangsdaten DOP	Raster 0,2 m
Datenformat	Imagine, Wavelet komprimiert (MRSID)
Bänder	RGB= [Rot, Grün, Blau]; CIR= [NIR, Rot, Grün]
Metadaten	Projektion, Aufnahmedatum, Kamera

In der Informationsverarbeitung spielen Komponenten der Raster- und Vektordatenverarbeitung sowie Routinen der objektorientierten Bildanalyse (OBIA) über standardisierte Schnittstellen zusammen. Die Bilddaten werden in Bildsegmente (kleinste homogene Bildbereiche) zerlegt und klassifiziert. Im Kernsystem ist dafür die Interpretation über simultane Klassifikationsverfahren und deren logische Verknüpfung implementiert. In KOCH (2003) sind Vor- und Nachteile der Pixel- und objektorientierten Klassifikationsverfahren am Beispiel der Kategorie Laubwald systematisch untersucht worden mit dem Ergebnis, dass eine optimales Verfahren nicht pauschal benannt werden kann. Für die Erfassung des Versiegelungsgrades im Landkreis Mittelsachsen werden sowohl raster- als auch objektbasierte Verfahren eingesetzt.

Die Prozessierung durch automatische Prozessketten und skalierbare Umgebungen ermöglichen den Umsatz großer Datenmengen in kurzer Zeit. Dabei werden folgende Hauptphasen durchlaufen:

- Eingangsdatenaufbereitung der Wissensbasis
- objektorientierte Bildauswertung
- Ableitung verschiedener Ergebnisrepräsentationen

Das Gesamtsystem (vgl. Abbildung 1) ist in der Lage, große Datenmengen automatisiert zu verarbeiten. Die Skalierbarkeit ist durch den Serverbetrieb des Prozessierungssystems als rechenintensivste Komponente gegeben.

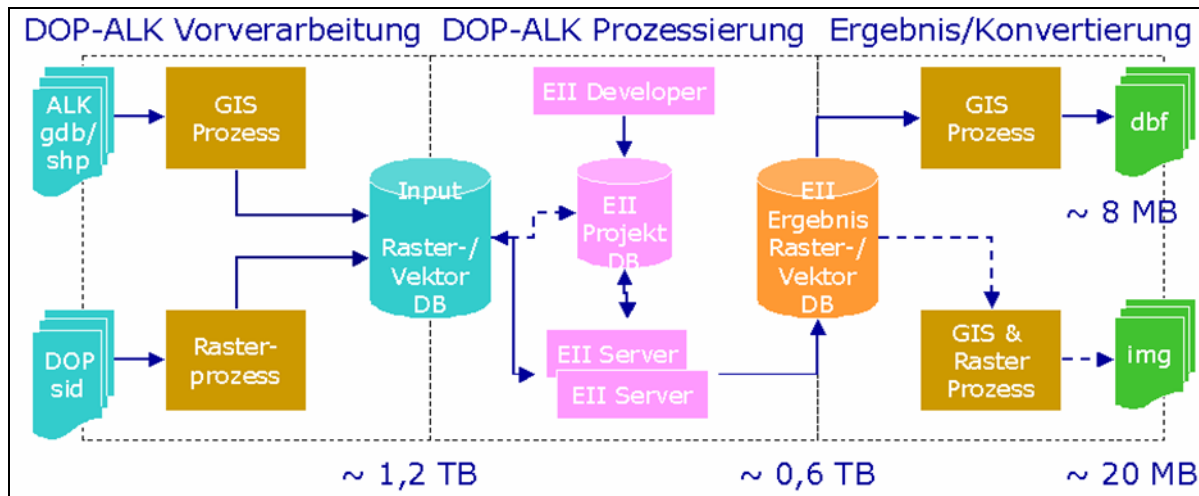


Abbildung 1: Expertensystem für die Auswertung

Die Nettodatenmenge (Datenbanken) liegt bei ~1,8 Terabyte für die Fläche des Landkreises Mittelsachsen, der Bruttodatenumsatz des Kernsystems (Lese- + Schreiboperationen) liegt bei ca. 2,8 Terabyte. Die Aufbereitung der Eingangsdaten erfolgte mit GIS-Software und Rasterdatenverarbeitung weitgehend im vollautomatischen Batchbetrieb. Zusätzlich werden Metadaten zur Prozesssteuerung wie z. B. Bildframes und Kalibrierungsparameter zur Berücksichtigung der temporalen Dekorrelation der Bilddaten (vier Aufnahmejahre) sowie phänologischer Effekte (sechs Zeitschnitte) generiert.

Im Kernsystem wird anhand von vier Kalibrierungsparametern die Varianz der Bilddaten berücksichtigt. Sie ermöglichen die automatische Adaption der Klassifikation auf die jeweiligen Erfordernisse. Die Klassifikation der Bilddaten umfasst zwei Phasen. Beginnend mit der Bildsegmentierung werden Segmente erstellt und deren Eigenschaften in Bezug auf fünf unabhängige Parameter ermittelt (vgl. Abbildung 2).

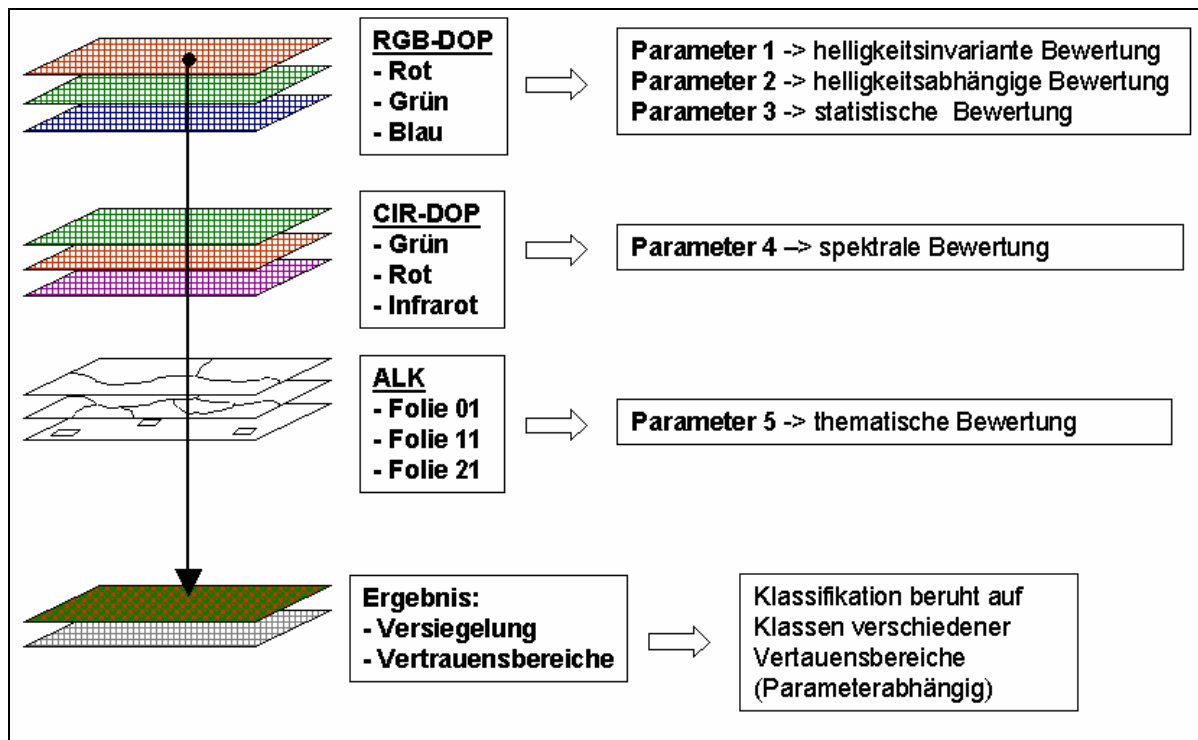


Abbildung 2: Klassifikationsschema

In der Klassifikation kommen Modellierungsansätze der Fernerkundung in Kombination zum Einsatz:

- Schwellwerte (decision tree classification)
- Zugehörigkeitsfunktionen (neural network classification)
- nächster Nachbar (maximum likelihood classification)
- Hierarchie (hierarchical classification)
- Modellbildung (GIS decision tree)
- Aggregation

Für die Bodenversiegelung wird von der These ausgegangen, dass der Verlust an natürlicher Bodenfunktion mit dem Vegetationsbestand korreliert (Ansatz über Vegetationsindex). Außerdem wird für jedes Segment die Ähnlichkeit des Bildsignals im Naturfarbbild mit dem bekannter verifizierter Segmente berücksichtigt. Zusätzlich wird über das Vorwissen (ALK Nutzung) gesteuert, welche Klassifikationsstrategie für ein Segment die beste ist. Die Ableitung der Bodenversiegelung orientiert sich streng am Bildsignal der Orthofotos. Es wurde die Überdeckungsproblematik nach folgenden Regeln behandelt:

Klassifikation aller Objekte wie im Bild ‚gesehen‘ mit folgender Ausnahme: überdeckte bzw. nicht plausible Gebäude (ALK) werden als versiegelte Fläche eingestuft. Daraus folgt, dass z. B. Verkehrswege (ALK) aufgrund des Begleitgrüns oder geometrischer Inkonsistenzen ALK vs. DOP gelegentlich als teilversiegelt detektiert werden.

Für das Projektgebiet des Landkreises Mittelsachsen wurden rund **25 Millionen Segmente** erstellt und klassifiziert. Jedem Segment wurde die Eigenschaft versiegelt oder unversiegelt zugewiesen. Die Mindestgröße eines Segmentes beträgt 4 Pixel (0,16 m²) in beliebiger Anordnung (4er-Nachbarschaft). Die Randschärfe der Segmente beträgt in der Regel 0,2 m. Für jedes Segment wurde zusätzlich die algorithmenspezifische Klassifikationsgüte mitgeführt. Sie bezeichnet die Zuverlässigkeit der Informationsgrundlage für die Erkennungsgüte eines Segmentes. So sinkt sie z. B., wenn Parameter 2 Extremwerte aufweist (wie Schlagschatten, Blendung).

Die Ableitung der finalen Ergebnisse erfolgt über angepasste Exportroutinen, die auf die proprietäre Datenbank zugreifen. Dabei werden drei Modi unterstützt:

- neue Basisdaten (Raster)
- neue Attribute zu den GIS-Eingangsdaten (Datenbanktabelle)
- Plausibilitätsindikator bezüglich der GIS-Eingangsdaten (Datenbanktabelle)

Eine zusätzliche Updatefunktion erlaubt die konsistente Übertragung der ermittelten Bodenversiegelung in beliebige Geometrien. Es wird dabei immer auf die originäre Information der Datenbank zurückgegriffen, sodass die räumliche Verteilung der Bodenversiegelung im Rahmen der Auflösung der Segmente berücksichtigt wird.

4.4 Ergebnisse

Für das Projektgebiet wurde die Bodenversiegelung ermittelt und in neue Rasterdaten sowie in eine Attributtabelle für die Flurstücke der ALK konvertiert. Die Algorithmen Genauigkeit wurde pro Informationseinheit mitgeführt. Für den gesamten Landkreis wurden auf der Basis der analysierten Bilddaten prototypische Anwendungsszenarien getestet. Wegen fehlender geeigneter Referenzdaten musste auf eine statistische Auswertung der Klassifikationsgenauigkeit (Korrelationsmatrix) verzichtet werden. Stichproben über das Projektgebiet mit empirischer Abschätzung der Bodenversiegelung aus dem Bildsignal ließen keine signifikanten Fehlklassifikationen erkennen.

Bodenversiegelung Landkreis Mittelsachsen (20 m-Raster)

Für das Untersuchungsgebiet wurden Rasterdaten für die Bodenversiegelung (vgl. Abbildung 3, links) und die Algorithmen Genauigkeit (vgl. Abbildung 3, rechts) mit einer Auflösung von 20 Metern erstellt.

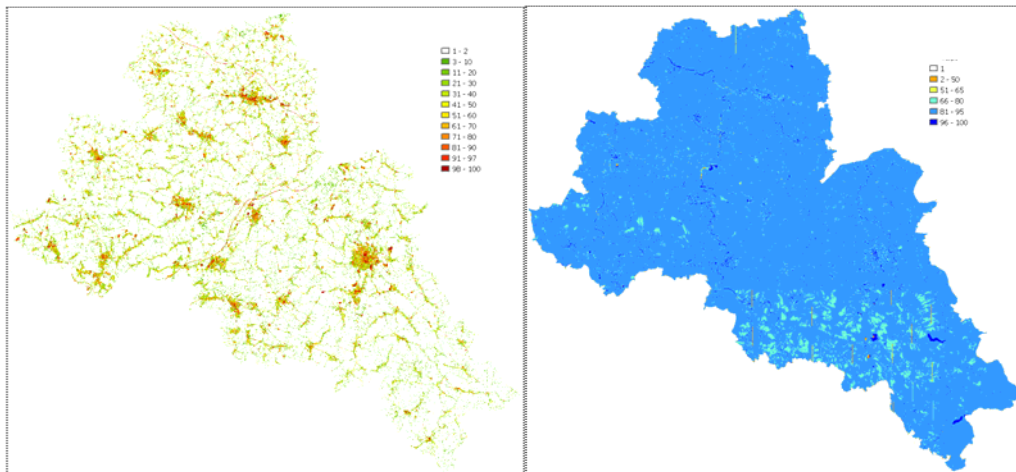


Abbildung 3: Raster 20 m Bodenversiegelung (links), Algorithmen Genauigkeit (rechts)

Spezifikation:

- Datenformat: Erdas Imagine Raster (.img)
- Datentyp: 8 Bit Raster
- 20mversiegelung.img: Bodenversiegelung in Prozent
- 20mgenauigkeit.img: Algorithmen Genauigkeit in Prozent
- 20mValidity.img: Binärmaske Erkennungsgüte
- Dateigröße: jeweils 13.255 Kb

Beispiel: Lokale Versiegelungsanalyse (Vektor-Raster-Verschneidung)

Als Beispiel für die Anwendung der Rasterdaten wurde die Bodenversiegelung der Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV-Fläche) für die Stadt Freiberg berechnet. Dafür wurde eine vektorbasierte Siedlungs- und Verkehrsfläche aus den Nutzungsarten der ALK aggregiert:

- Gebäude- und Freifläche (Nutzungsart 100–200)
- Betriebsfläche ohne Abbauand (Nutzungsart 300 ohne 310)

- Erholungsfläche (Nutzungsart 400)
- Verkehrsfläche (Nutzungsart 500)
- Friedhof (Nutzungsart 940)

Mit der Vektormaske der Siedlungs- und Verkehrsfläche wurde anschließend die mittlere Bodenversiegelung mittels Vektor-Raster-Verschneidung ermittelt. Abbildung 4 zeigt für Freiberg eine Gegenüberstellung der GIS-basierten Daten und der Rasterdaten zur Bodenversiegelung.

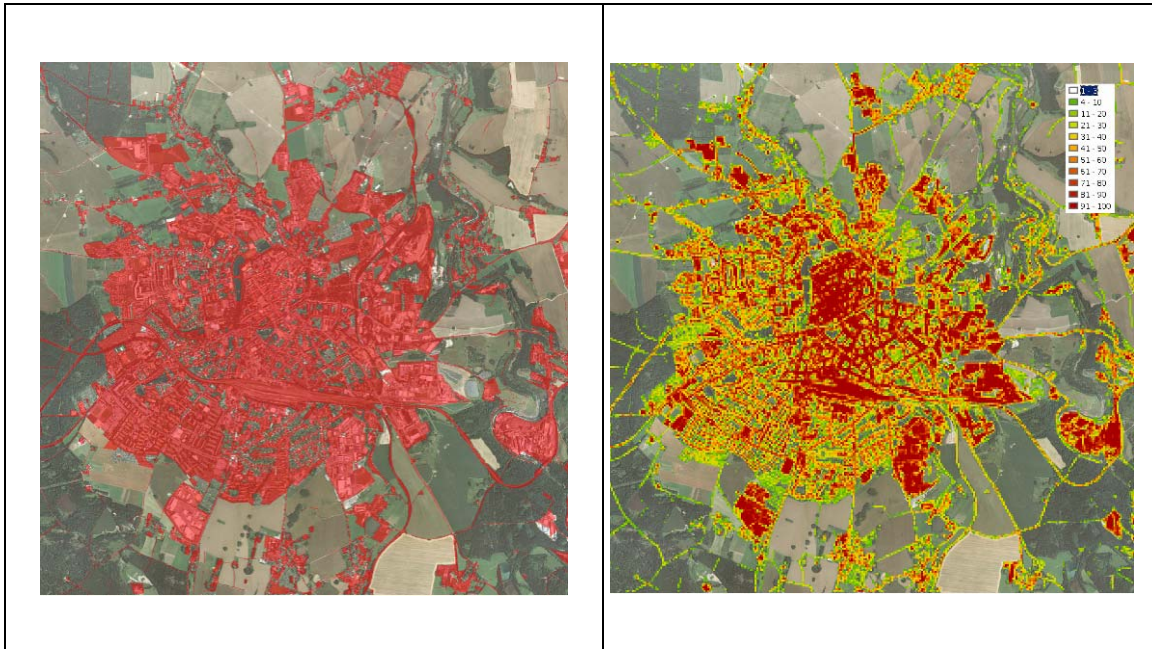


Abbildung 4: SuV aus ALK (links), Bodenversiegelung Raster 20 m (rechts)

Aus der Vektor/Rasterverschneidung wird der Versiegelungsgrad der Siedlungs- und Verkehrsfläche Freibergs mit ~50 Prozent berechnet.

Beispiel: Globale Versiegelungsanalyse (Rasteranalyse)

Ein weiteres Beispiel ist die Berechnung der Bodenversiegelung über das gesamte Projektgebiet Landkreis Mittelsachsen. Dazu werden für die Rasterdaten die relativen Werte der Bodenversiegelung in die absolute versiegelte Fläche umgerechnet:

$$A_v = [\text{Wert}] / 100 * [\text{Anzahl}] \text{ (GIS)} \quad \text{oder} \quad A_v = [\text{Wert}] / 100 \text{ (Raster)}$$

Anschließend wird über A die globale Summe gebildet. Sie entspricht der absoluten versiegelten Fläche (in Rasterzellen). Die Gesamtfläche A ergibt sich aus der Binärmaske des Projektgebietes. Valide Zellen besitzen den Wert 1. Die Anzahl kann direkt aus dem Histogramm abgelesen (GIS) oder über eine globale Summierung (Raster) ermittelt werden.

$$\text{Versiegelungsgrad der Fläche Landkreis Mittelsachsen [\%]} = (A_v / A) * 100$$

Für das gesamte Projektgebiet Landkreis Mittelsachsen ergibt sich aus den Ergebnissen ein Versiegelungsgrad von ~ 5,3 Prozent der Landkreisfläche (= ~ 112 km² oder 11.200 Hektar).

4.5 Zusammenfassung

Der Boden im Freistaat Sachsen ist von massiver Bodenversiegelung und -abgrabung bedroht. Die amtlichen Kartenwerke des Freistaats Sachsen enthalten keine Informationen zur Bodenversiegelung oder zum Versiegelungsgrad. Aus landesweit vorliegenden hochauflösenden Geobasisdaten wurde für das „Untersuchungsgebiet Landkreis Mittelsachsen“ der Versiegelungsgrad aus den Geobasisdaten erhoben und als Karten- und Datengrundlage im Rasterformat (20*20m) flächendeckend bereitgestellt. Die aufbereiteten Informationen erlauben ein flächenscharfes Monitoring des Bodenfunktionsverlustes durch Bodenversiege-

lung und erlauben eine Fortschreibung der standörtlichen und zunehmenden Bodenversiegelung. Durch eine landesweite Verfügbarkeit der Geobasisdaten ist der Ansatz auf weitere Regionen des Freistaates Sachsen grundsätzlich übertragbar.

4.6 Literaturverzeichnis

- BASEDOW, H.-W., BOLZE, I., GUNREBEN, M., JACOB, P., SBRESNY, J., SCHRAGE, T. , STEINIGER, A. , WEICHELBAUM, J. (2009): Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen. GeoBerichte 14. www.lbeg.niedersachsen.de.
- KOCH, B., JOCHUM, M., IVITIS, E., DEES, M. (2003): Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren. Photogrammetrie Fernerkundung und Geoinformation 3/2003, S. 195-204.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) 2011: LfULG-Internet 2011: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/12210.htm>.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG) 2011: LfULG-Internet 2011: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/12214.htm>.
- STAATSBETRIEB GEOBASISINFORMATION UND VERMESSUNG SACHSEN (GeoSN) (2011): Internet GeoSN 2011: <http://www.landesvermessung.sachsen.de/>.

5 Das GREENLAND Projekt – Sanfte Sanierung schwermetallbelasteter Flächen

Michel Mench - Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Bordeaux/France

Markus Puschenreiter - University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna – BOKU, Vienna/Austria

Valerie Bert - Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Verneuil en Halatte/France

Jurate Kumpiene - Luleå Tekniska Universitet, Luleå/Sweden

Petra Kidd - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Santiago de Compostela/Spain

Andrew Cundy - University of Brighton, Brighton/UK

Jaco Vangronsveld - Universiteit Hasselt, Diepenbeek/Belgium

Giancarlo Renella - University of Florence, Florence/Italy

Wolfgang Friesl-Hanl - Austrian Institute of Technology, Vienna/Austria

Grzegorz Siebielec - Instytut Uprawy Nawożenia I Gleboznawstwa – Państwowy, Pulawy/Poland

Rolf Herzig - Phytotech-Foundation, Bern/Switzerland

Ingo Müller* - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden/Germany

Jannis Dimitriou - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala/Sweden

Xose Quiroga Troncosa - Tratamientos Ecológicos del Noroeste SL, Touro/Spain

Ryszard Bajorek - ATON, Wroclaw/Poland

Patrick Lemaître - Innoveox, Paris/France

Anne Serani Loppinet - CNRS-ICMCB, Pessac/France

Sanfte Sanierungsverfahren (SSV) beinhalten unterschiedliche und zumeist pflanzenbasierte Methoden zur Sanierung von schwermetallbelasteten Böden, bei denen als wesentliche Gemeinsamkeit geringe Sanierungskosten und ein hohes Maß an Schonung der Umwelt bei der Sanierung zu nennen ist. Obwohl SSV ausgesprochen innovative und effiziente Lösungen umfassen, werden sie aus verschiedenen Gründen in der Sanierungspraxis kaum eingesetzt. Mit Beginn des Jahres 2011 startete Greenland als FP7-Vorhaben, um folgende Aufgaben zu bearbeiten:

- Praxis- und Pilotversuche zum nachhaltigen, an die Belastung angepassten Umgang mit schwermetallbelasteten Böden unter Einbezug von SSV
- Inwertsetzung durch zumeist energetische Nutzung der von belasteten Flächen stammenden Biomasse
- Methodenharmonisierung zur Kennzeichnung der Bioverfügbarkeit, Entwicklung eines Methodensets zur Kennzeichnung der Wirksamkeit und Nachhaltigkeit von SSV
- Optimierung von SSV durch Pflanzenauswahl und -züchtung sowie Steuerung der Schwermetallverfügbarkeit
- Auswertung laufender SSV in der Praxis und Entwicklung von Anwendungshinweisen, Leitfäden und eines Entscheidungshilfe-Tools

Zahlreiche Kenntnislücken und Schwierigkeiten bei der Anwendung und Weiterentwicklung von SSV werden im Projekt beleuchtet, so z. B. das Fehlen großflächiger Praxisbeispiele, Unterschiede bei Untersuchungs- und Bewertungsmethoden zur Verfahrensauswahl, das Entwicklungspotenzial von SSV zur Verbesserung der Effizienz insbesondere durch die Biotechnologie, Verfahren der Biomassennutzung und deren Schwächen, Leitfäden für die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von SSV mit Hilfestellung bei der Auswahl, Methoden zum Monitoring, Entwicklung und Evaluierung eines Entscheidungshilfe-Tools für SSV, das in bereits bestehende Systeme integriert werden kann.

Aktuelle Informationen sind unter <http://www.greenland-project.eu> abrufbar.

Schlagworte: Bodenbelastung, Phytoremediation, Biomasse, Entscheidungshilfe-Tools

* Ansprechpartner: ingo.mueller@smul.sachsen.de

6 Projekt „Qualifizierung Bodenschätzung“

Ruth Hoffmann - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

6.1 Anlass

Beim Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) gingen in den letzten Jahren verstärkt Anfragen nach digitalen Bodenschätzungsdaten bis hin zu darauf aufbauenden Auswertungen in Form von großmaßstäbigen Karten mit gekoppelten Bodenfunktionsbewertungen ein.

Die Nachfragen beziehen sich auf ein weites Anwendungsgebiet zu Fragestellungen des Boden-, Natur-, Grundwasser-, Hochwasser- und Klimaschutzes, der Landes-, Regional-, Verkehrs- und Landschaftsplanung sowie der Präzisionslandwirtschaft. Zunehmend benötigen auch Städte zur Lösung von Fachaufgaben, die nach der sächsischen Funktional- und Verwaltungsreform (August 2008) an sie übergegangen sind, digitale Bodenschätzungsdaten. Insbesondere für städtische Randbereiche sind die Bodenwertzahlen von Bedeutung, nicht zuletzt im Zusammenhang mit den staatlichen Bemühungen um eine Reduzierung des Flächenverbrauchs. Die Bauleitplanung hat erheblichen Bedarf an großmaßstäbigen Informationen als Voraussetzung für eine stärkere und angemessene Berücksichtigung des Bodenschutzes.

6.2 Zielsetzung/Datennutzung

Im Verlauf des Projektes sollen die im Freistaat Sachsen vorhandenen analogen Daten der Bodenschätzung für nichtsteuerliche Zwecke digital verfügbar gemacht werden. Sachsen hat sich dieser Aufgabe als einziges Bundesland bislang noch nicht gewidmet. Gesetzliche Grundlage stellt §1 BodSchätzG in Verbindung mit §21 BBodSchG dar, wonach Bodenschätzungsdaten automatisiert in Bodeninformationssystemen verarbeitet werden sollen. In die Planung und Durchführung des Projektes sind mehrere Geschäftsbereiche einzubinden (Staatsministerium des Innern [SMI], Staatsministerium der Finanzen [SMF], Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft [SMUL]). Im Ergebnis des Projektes werden die Daten der Bodenschätzung über das Fachinformationssystem Boden (FISBo) des LfULG u. a. für Zwecke des Bodenschutzes, der Planung sowie der Forschung nutzbar gemacht.

Geschätzte 800.000 Grablöcher und 19.240 Alt- bzw. ca. 3.000 Neu-Schätzungsurkarten werden im Zuge des Projektes digitalisiert, kontrolliert, in Datenbanken überführt, in die gültige Bodensystematik übersetzt und bodenfunktional ausgewertet.

Aus ökonomischer Sicht liegt die besondere Bedeutung des Projektes in der hohen Wertschöpfung für den Freistaat Sachsen. Im Rahmen bodenkundlicher Kartierungen kalkuliert das LfULG aktuell mit Kosten in Höhe von 50 EUR pro erhobenen Punktdatensatz. Die bereits genannte Zahl von rund 800.000 Grablöchern (= Punktdatensätze) stellt die finanzielle Dimension des Wertschöpfungspotenzials in Relation.

Das Ergebnis des Datenaustauschs zwischen dem Landesamt für Steuern und Finanzen (LSF), dem Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN) und dem LfULG und die Speicherung korrigierter, endkontrollierter Grablöcher (GL) und Schätzungsflächen (SFL) im FISBo, eine durch die drei beteiligten Behörden geprüfte und fachlich gesicherte Datengrundlage, ermöglicht landesweit nutzerorientierte Auswertungen (Karten, Statistiken, Berechnungen) unterschiedlichster Fragestellungen auch in vollzugsrelevanten Maßstäben.

6.3 Zeitplan

Der Arbeitsaufwand der Qualifizierung der Bodenschätzungsdaten wird nach derzeitigem Kenntnisstand auf insgesamt vier Jahre geschätzt (Feinkonzept Qualifizierung Bodenschätzung, 2011).

Zur erfolgreichen und zeitnahen Umsetzung des Vorhabens Qualifizierung Bodenschätzung ist als nächster wesentlicher Schritt eine Vereinbarung zwischen SMI, SMF und SMUL mit verbindlichen Aussagen zu Aufgabenaufteilung, Finanzierung und Zeitplan des Projektes notwendig. Absprachen dazu sind zurzeit in Vorbereitung.

Der GeoSN hat 2013 als Digitalisierungsbeginn genannt, in Abhängigkeit von der erfolgreichen Einführung des ALKIS (Amtliches Liegenschafts- und Katastersystem) in den sächsischen Vermessungsbehörden.

7 Bodendauerbeobachtung – Stoffvorratsänderungen im Boden am Beispiel des organischen Kohlenstoffs

Dr. Natalja Barth, Kati Kardel, Holger Forberg - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

7.1 Einleitung

Die Einrichtung der Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) (BARTH 1994) ist erforderlich, um kontinuierlich über grundlegende (und bisher wenig bekannte) Daten zu wesentlichen Bodenparametern (Abbildung 1) sowie Klima, Sickerwasser- und Pflanzeninhaltsstoffe (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/11655.htm>) usw. zu verfügen, darauf aufbauend rechtzeitig Veränderungen zu erkennen und gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen nach den im BBodSchG formulierten Pflichten zur Vorsorge (§ 7) und zur Gefahrenabwehr (§ 4) einzuleiten.

Die eingerichteten BDF sollen über **lange Zeiträume** untersucht werden und somit die **Grundlage eines Bodenmonitorings** (Abbildung 2) bilden.

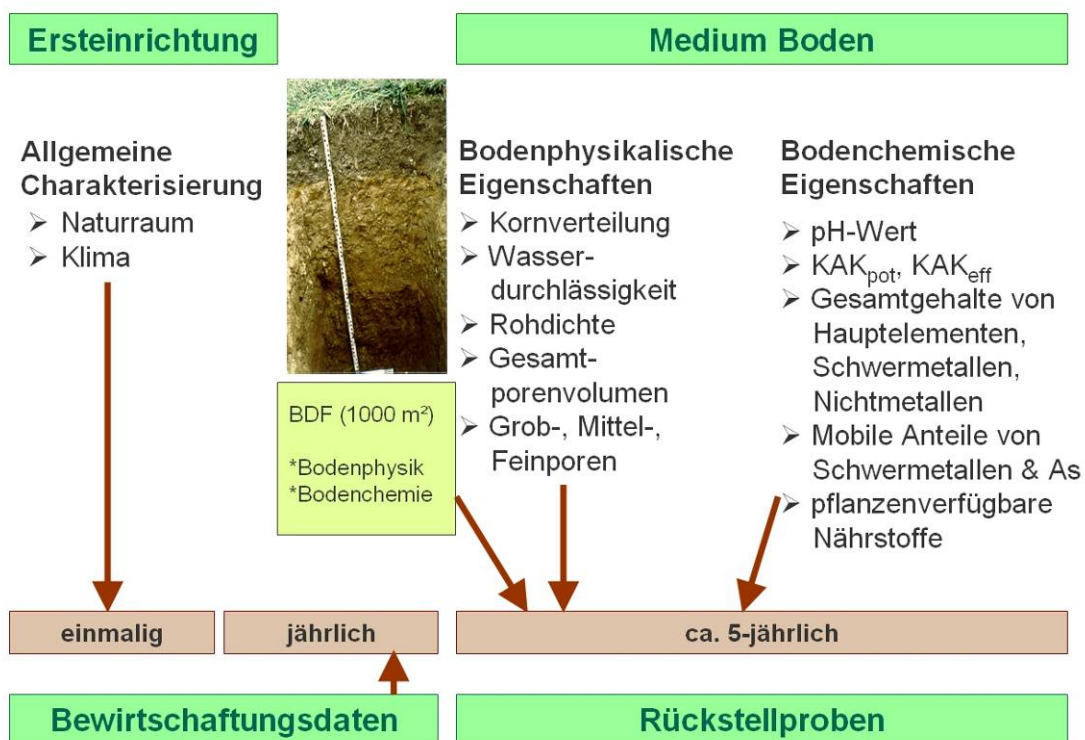


Abbildung 1: Datenerhebung auf allen Bodendauerbeobachtungsflächen

7.2 Auswahl von Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF)

Bei der Konzeption zu Anlage und Betrieb von BDF wurde gemäß der Vorgabe der Bund-/Länder-Unterarbeitsgruppe „Bodendauerbeobachtungsflächen“ (SAG BODENSCHUTZ 1991; BARTH et al. 2000) vorgegangen, um durch eine angeglichenen Vorgehensweise vergleichbare Ergebnisse auch auf Bundesebene zu erzielen. Entsprechend den zu berücksichtigenden Standortkriterien wurden für Sachsen 50 BDF I und 5 BDF II (letztere mit dauerhaft installierten Messgeräten) eingerichtet (Abbildung 2).

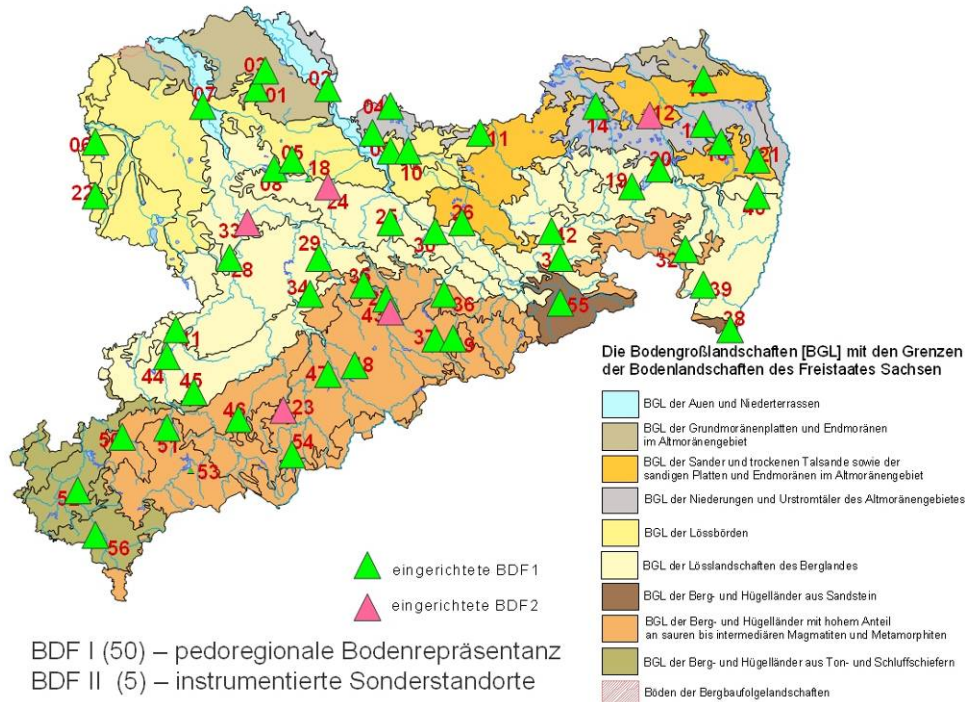


Abbildung 2: Eingerichtete Bodendauerbeobachtungsflächen in Sachsen

7.3 Kohlenstoff- bzw. Humusvorräte in den Böden Sachsens und deren Veränderungen auf BDF

Nach IPCC (2007) sind in den Böden rund 1.500 Gt Kohlenstoff gespeichert. Das ist etwa zwei- bis dreimal soviel Kohlenstoff als in der Luft (760 Gt) bzw. in der Vegetation (600 Gt) enthalten sind.

In den Böden Sachsens (Datengrundlage: Bodenmessnetze und -kartierung LfULG, BDF LfULG, Daten von BZE BSB) sind rund 152 Mio. t Kohlenstoff bzw. 255 Mio. t Humus (bis 1m Tiefe) gespeichert. Dabei bevorraten die Waldböden, die 28 % der Fläche Sachsens einnehmen, ca. 133 Mio. t Humus. Acker- und Grünlandböden weisen entsprechend ihren jeweiligen Nutzungsflächen von 39 % und 10 % ihren Vorrat mit 95 Mio. t Humus und 27 Mio. t Humus aus.

Nicht unerheblich sind die Humusvorräte in den Unterböden, besonders in Waldböden: im Oberboden sind 60 Mio. t gegenüber 73 Mio. t Humus im Unterboden enthalten. In Ackerböden und Grünland sind die Verhältnisse von Oberboden/Unterboden 74/21 Mio. t und 11/16 Mio. t.

Die maximalen Kohlenstoffvorräte der BDF können räumlich in zwei Bodengroßlandschaften (BGL) Sachsens ermittelt werden (Abbildung 3): BGL der Auen und Niederterrassen und BGL der Berg- und Hügelländer mit hohem Anteil an sauren bis intermediären Magmatiten und Metamorphiten.

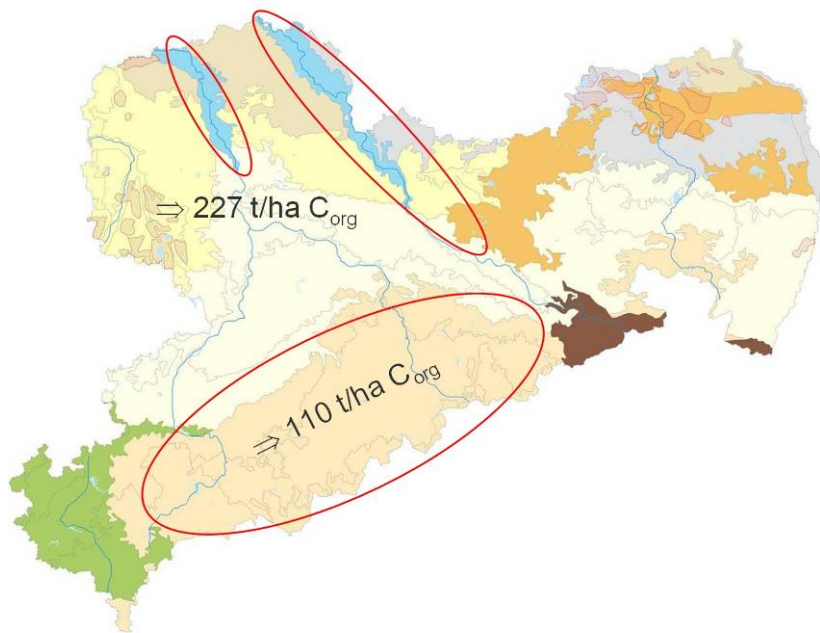


Abbildung 3: Räumliche Verteilung maximaler Kohlenstoffvorräte der BDF innerhalb der Bodengroßlandschaften Sachsens

Nach der zweiten Beprobung BDF (nach ca. fünf Jahren) weisen 62 % der BDF keine Veränderung, 33 % eine Zunahme und 5 % eine Abnahme der Kohlenstoffvorräte auf.

7.4 Verlauf der Kohlenstoffgehalte bei jährlicher BDF-Beprobung

Die Wiederbeprobung des Mediums Boden und somit die Bestimmung des C_{org} -Gehalts wird im BDF-Programm bundesweit nach fünf Jahren empfohlen. In Sachsen wurden im Rahmen einer speziellen Untersuchung ausgewählte BDF, hier Hilbersdorf und Großschirma (Abb. 4), jährlich beprobt. Beide BDF sind aus gleichen Substraten, Lösslehm und Gneis, hervorgegangen und befinden sich in unmittelbarer Nähe in den benachbarten Bodenlandschaften Erzgebirgsnordabdachung und Östlicher Erzgebirgsnordrand. Der Verlauf der Kohlenstoffgehalte auf den BDF zeigt erhebliche Gehaltsschwankungen sowohl innerhalb eines Jahres als auch in Verläufe von Jahren. Der Kohlenstoffvorrat im Ap-Horizont der BDF Hilbersdorf stieg von 6,9 t/1.000 m² auf 8,2 t/1.000 m² seit der Erstbeprobung im Jahr 1995. Der Kohlenstoffvorrat im Ap-Horizont der BDF Großschirma blieb dagegen mit 3,5 t/1.000m² seit der Erstbeprobung im Jahr 1995 konstant. Würde man nur die Beprobung im fünfjährigen Abstand betrachten, könnte auch bei der Fläche Großschirma ein genereller Anstieg des C_{org} -Gehalts suggeriert werden.

7.5 Zusammenfassung

Die Datenerhebungen auf eingerichteten BDF können bei der Bewertung von Stoffveränderungen, hier Kohlenstoff, als die regionalen und repräsentativen Zeitmessreihen von Böden des Freistaates Sachsen angewandt werden. Die zeitlichen Entwicklungstendenzen der Humusvorräte sind bis jetzt weitgehend unbekannt, obwohl der Humusvorrat eine hohe Aussagekraft bezüglich der klimabeeinflussten Bodenfunktionsgefährdung und als Treibhausgas (THG)-Reservoir besitzt. Nach vorliegenden

Erkenntnissen konnte nur bei 5 % der untersuchten BDF in Sachsen eine Verringerung des Humusvorrates nachgewiesen werden.

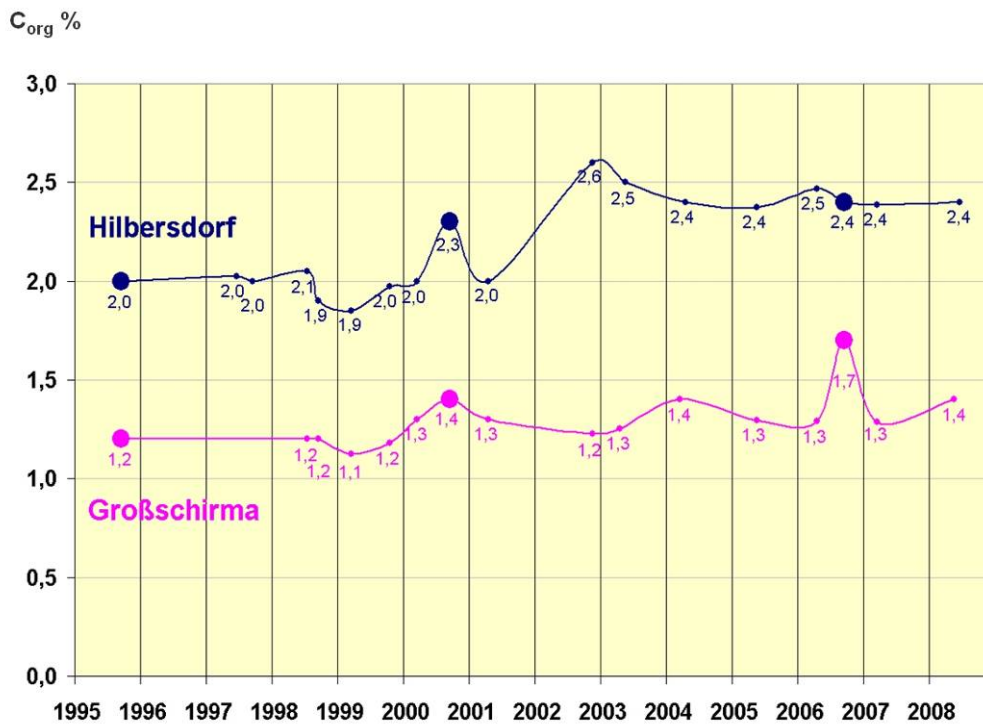


Abbildung 4: Verlauf des C_{org}-Gehalts im Ap-Horizont von zwei BDF: kleine Punkte - jährliche Beprobung, große Punkte - etwa fünfjähriger Beprobungsrhythmus

Der Aussagewert der Humusinventuren kann durch die Analyse einer langfristigen Entwicklung der jährlichen Humusvorräte auf BDF verbessert werden. Die Messstrategie (Zeitabstände, räumliche Dichte) muss aufgrund wachsender Erkenntnisse/neuer Erfordernisse periodisch präzisiert werden.

7.6 Literatur

- BARTH, N. (1994): Bodendauerbeobachtungsflächen in Sachsen. Projektstudie. – unveröff. Bericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt u. Geologie, Dresden
- SAG (1991): Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Bericht der Unterarbeitsgruppe "Boden-Dauerbeobachtungsflächen" im Auftrag der Sonderarbeitsgruppe "Informationsgrundlagen Bodenschutz", München.
- BARTH, N.; BRANDTNER, W.; CORDSEN, E.; DANN, T.; EMMERICH, K.-H.; FELDHAUS, D.; KLEEFISCH, B.; SCHILLING, B.; UTERMANN, J. (2000): Boden-Dauerbeobachtung. Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen. In: Rosenkranz/Einsele/Harreß: Handbuch Bodenschutz, Band 3, Kenn Nr.: 9152
- IPCC (2007). Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 996 pp.

8 Sickerwasserprognose mit computergestützter Stofftransport-Modellierung – Vergleichsrechnung analytisches Programm (ALTEX 1-D) und numerisches Programm (SIWAPRO DSS)

Jens Fahl, René Blankenburg - TU Dresden (seit 01.01.2011 am IBGW Leipzig)

Anlass für eine Vergleichsrechnung war das Projekt des LfULG von 2008: Programmvergleich Sickerwasserprognose unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/12582.htm>. Dabei wurden die Programme HYDRUS, EXPOSI, SIWAPRO DSS, ALTEX, AF-Verfahren charakterisiert und miteinander verglichen. Der Auftragnehmer (ARCADIS und DGFZ) leitete u. a. Einsatzgrenzen für die Programme ab. Danach können analytische Programme (z. B. ALTEX 1D) nicht verwendet werden, wenn zeitabhängige Prozesse zu berücksichtigen sind (Bioabbau, zeitabhängige Sorption) bzw. Sorptionskoeffizienten < 10 l/kg vorliegen (bei Annahme von Gleichgewichtssorption). Zur Prüfung dieser These wurden die zwei entsprechenden Parameter (Halbwertszeit eines Stoffes $\lambda_{1/2}$; Sorptionskoeffizient K_d) variiert und die Ergebnisse bei analytischen und numerischen Berechnungen miteinander verglichen. Für die Berechnung wurden die Programme ALTEX 1D (analytische Berechnung, nur stationärer Wasserfluss) und SIWAPRO DSS (numerische Berechnung, stationärer und instationärer Wasserfluss kann berechnet werden) verwendet.

8.1 Randbedingungen

Es wurde ein einfacher Modellaufbau mit einer bzw. drei Bodenschichten gewählt. Die Schadstoffparameter ergeben sich aus einem fiktiven Schadstoff mit K_d zwischen 0,05 und 300 l/kg und $\lambda_{1/2}$ zwischen einem Monat und 10 Jahren. Die Quelfunktion wird mit einer konstanten Schadstoffkonzentration von 500 µg/l und einer Zustromdauer von 162,5 Jahren festgelegt. Die Sickerwassermenge (GW-Neubildungsrate) soll 200 mm/a betragen (konstant bei stationärem Fluss; schwankende Zeitreihe bei instationärem Fluss). Die Diffusion wurde innerhalb dieser Modellierungen nicht betrachtet (Diffusionskoeffizient bei SIWAPRO DSS = 0).

Die Berechnungsergebnisse von vier verschiedenen Szenarien wurden miteinander verglichen. Für jedes Szenario liegen jeweils drei Berechnungsergebnisse vor, gerechnet wurde jeweils mit dem numerischen Programm SIWAPRO DSS bei stationärer und instationärer Wasserbewegung sowie mit dem analytischen Programm ALTEX 1D bei stationärer Wasserbewegung.

8.2 Berechnungsergebnisse am Beispiel der 3-Schicht-Modellierung und dem Szenario schwache Sorption und schneller Bioabbau (Szenario 1)

Schichtung des Bodens: 0,5 m Auffüllung, 0,5 m Schadstoffquelle, 2 m Transportstrecke bis zum Grundwasser (Grundwasserspiegel 3 m unter Geländeoberkante).

Transportstrecke ist geschichtet mit 0,66 m Feinsand, 0,67 m schluffiger Lehm und wieder 0,67 m Feinsand (dann Grundwasseranschnitt).

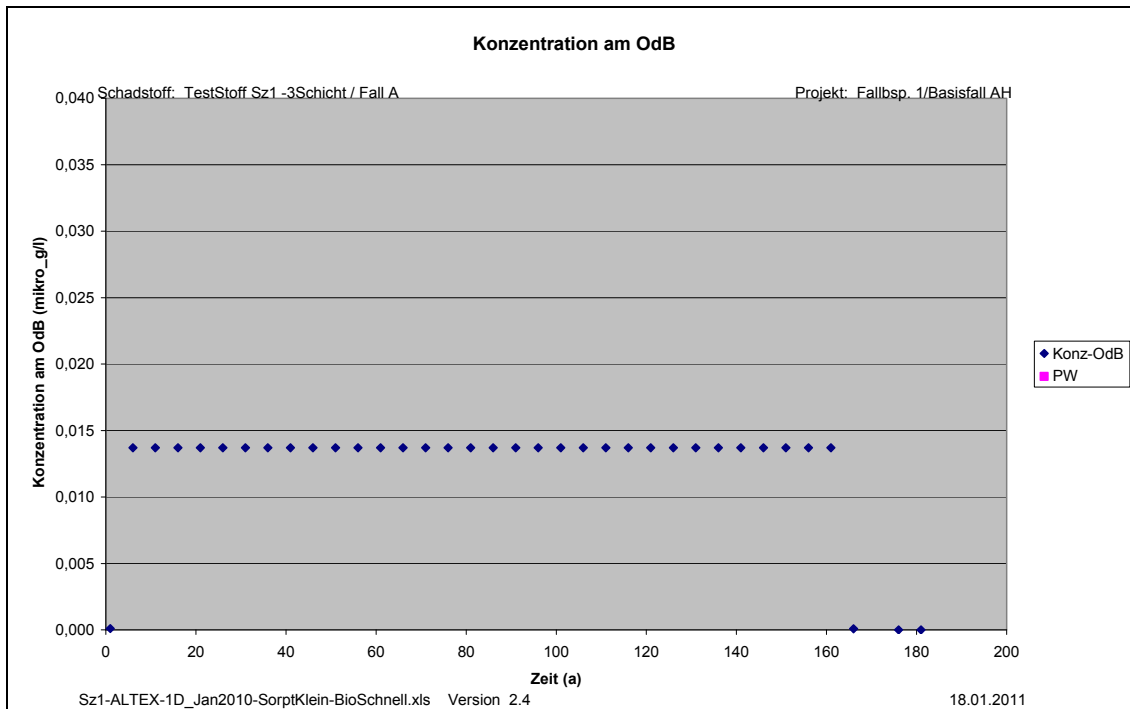


Abbildung 1: ALTEX – 3-Schicht-Rechnung Szenario 1 (Diagrammskalierung angepasst)

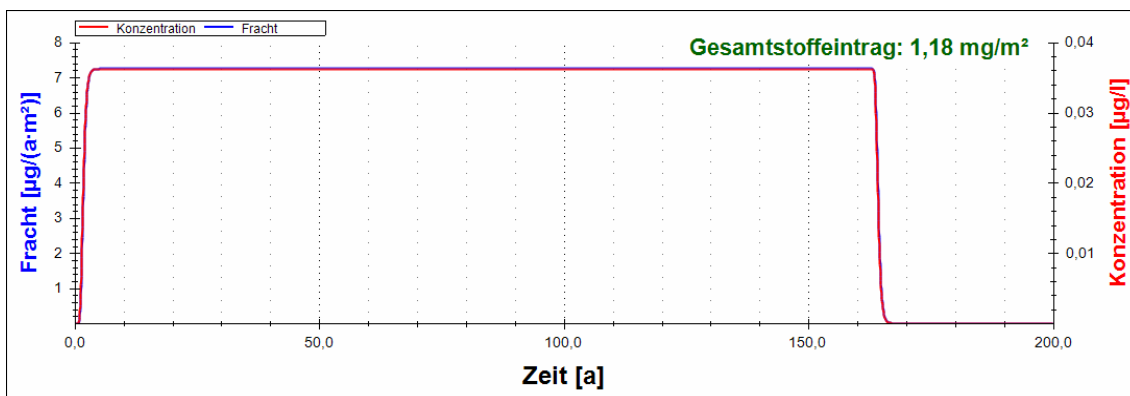


Abbildung 2: SIWAPRO DSS – 3-Schicht-Rechnung Szenario 1 – stationär

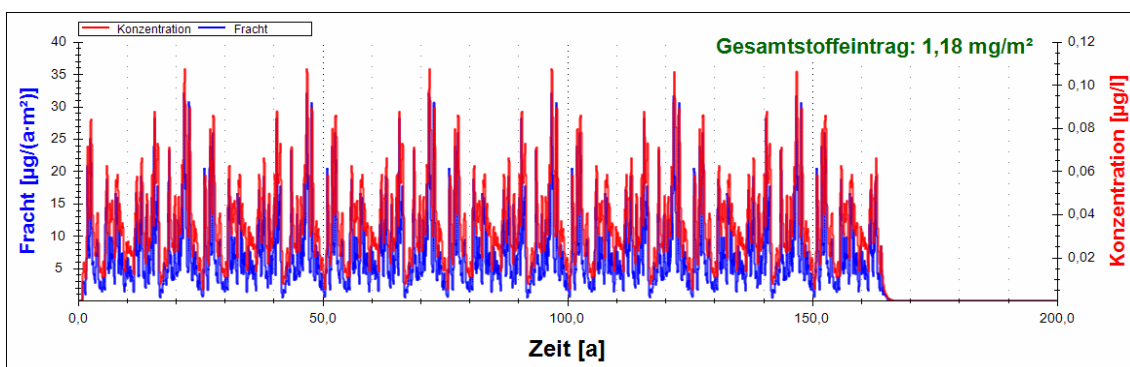


Abbildung 3: SIWAPRO DSS – 3-Schicht-Rechnung Szenario 1 – instationär

8.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Konzentrationen

Sehr gute Übereinstimmung liegt in den Fällen mit langsamem Bioabbau vor. Hier sind auch keine signifikanten Unterschiede zwischen der stationären und instationären Berechnung zu erkennen. Die größten Abweichungen treten in den Szenarien mit schnellem biologischen Abbau auf. In der 1-Schicht-Modellierung errechnet das Programm ALTEX (stationär) höhere Konzentrationen als SIWAPRO DSS (sowohl stationär als auch instationär). In der 3-Schicht-Modellierung berechnet ALTEX geringere Konzentrationen als das numerische Programm SIWAPRO DSS (sowohl stationär als auch instationär). Die Unterschiede liegen innerhalb einer Größenordnung.

Frachten

Die mit ALTEX berechneten Gesamtfrachten der Szenarien mit langsamem Bioabbau stimmen gut mit den Frachten der numerischen Modellierung von SIWAPRO DSS überein. Bei den Szenarien mit schnellem Bioabbau wirken sich die größeren Unterschiede bei den Konzentrationen des Sickerwassers natürlich auch auf die Frachten aus.

Fazit

Für die hier berechneten Szenarien und den gewählten einfachen Modellaufbau (einschichtige/dreischichtige homogene Transportstrecke, Mächtigkeit nur 2 m) lassen sich keine grundsätzlichen Limitationen für die Verwendung des analytischen Programms ALTEX 1D erkennen.

Erwartungsgemäß tauchen die Limitierungen einer stationären Modellierung mit dem zunehmendem Einfluss zeitabhängiger Prozesse wie dem biologischen Abbau auf. Bei Fällen mit längeren Transportstrecken verringern sich die Unterschiede zwischen stationärer und instationärer Berechnung. Ursache ist die zunehmende Vergleichmäßigung des Sickerwasserflusses mit zunehmender Tiefe.

Mitgetragen wird von den Autoren der Ausschluss stationärer Berechnungen für Modellierungsfälle mit schnellem Bioabbau (kleine Halbwertszeiten $\lambda_{1/2}$, ähnlich dem hier kurz vorgestellten Szenario 1). Für viele typische Schadstoffe liegen die realistischen Abbauraten im Feld (ausgedrückt als Halbwertszeit $\lambda_{1/2}$), jedoch nicht in wesentlich kürzeren Zeitspannen als $\lambda_{1/2} = 1$ Monat (WIEDEMEIER et al.; RITTMANN, WEAVER et al.).

Der am K_d -Wert orientierte Ausschlussgrund für stationäre Modellierungen ist anhand der durchgeführten Szenarien nicht nachvollziehbar.

Die Diskussion der vollständigen Ergebnisse der Szenarien ist in einer der nächsten Ausgaben der Fachzeitschrift „Altlastenspektrum“ geplant.

8.4 Literatur

RITTMANN B. E. (2000): Natural attenuation for groundwater remediation. Committee on Intrinsic Remediation, National Academy Press Washington, DC, ISBN 0-309-06932-7

WEAVER J.W. et al (1996): Extraction of degradation rate constants from the St. Joseph, Michigan, trichloroethene site. USEPA Symposium on Natural Attenuation of Chlorinated Organics in Groundwater. September 11-13, 1996, p. 69-73

WIEDEMEIER T. H. et al (1999): Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface. Wiley, New York, ISBN: ISBN 0-471-19749-1

9 Schadstoffkarten für Siedlungsbereiche – ein Anwendungsgebiet für Verfahren der künstlichen Intelligenz?

Dr. Ingo Müller - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Bisherige Leitfäden und Publikationen zur Erstellung von Schadstoffkarten in Siedlungsbereichen berücksichtigen nicht die besondere geogene und durch Vererzungen geprägte Situation im Erzgebirge. In dieser Arbeit wurde nun erstmals genau dieses Problem betrachtet und dafür Lösungsansätze erarbeitet. Hierbei kamen erstmals auch Verfahren der künstlichen Intelligenz erfolgreich zum Einsatz. Die mit diesem Vorhaben verbundenen Hinweise helfen gerade in den Siedlungsbereichen, die Aussagesicherheit von Schadstoffkarten zu verbessern. Diese Hinweise dienen auch der Orientierung bei der weiteren Erarbeitung fachlicher Grundlagen für die Ausweisung von Bodenplanungsgebieten.

9.1 Einleitung

Grundsätzlich ist ein nachhaltiger Umgang mit schadstoffbelasteten Flächen möglich, sofern die Risiken erkannt und eingegrenzt werden; dieses gilt für die landwirtschaftliche Nutzung ebenso wie für Nutzungen im Siedlungsbereich. Voraussetzungen dafür sind eine Abgrenzung von flächenhaft belasteten Böden und eine flächenbezogene Darstellung ihrer Schadstoffsituation in vollzugsrelevantem Maßstab. Eine besondere fachliche Herausforderung bei der Übertragung von Messergebnissen (Punktinformationen) auf die Fläche besteht bei den Siedlungsbereichen, insbesondere aufgrund der teils komplexen, kombinierten Belastungssituationen (geochemische Besonderheiten, Vererzungen, Immissionen, Einbringen anthropogener Substrate, Bodenumlagerungen). Der Leitfaden des LfULG zur Erstellung von Bodenbelastungskarten von 2007 wies auf mögliche Schwierigkeiten der Erstellung derartiger Karten im Siedlungsbereich hin und gab erste Hinweise zu deren Überwindung.

9.2 Zielsetzung

Ein Praxistest verschiedener methodischer Ansätze zu deren Prüfung war von 2009 bis 2011 Gegenstand eines FuE-Vorhabens des LfULG. Ziel des Vorhabens war die Recherche von Methoden und geostatistischen Verfahren zur Übertragung von Punktinformationen auf die Fläche und die konkrete Anwendung dieser Methoden in zwei Testgebieten im Erzgebirge inklusive ergänzender Bodenuntersuchungen und Darstellung der Ergebnisse für verschiedene Elemente. Es erfolgte eine Ermittlung und Überprüfung der Aussagesicherheit der Kartenwerke und eine testweise Überprüfung der flächenhaften Aussagen durch gezielte Nachbeprobung an besonders verfahrensrelevanten Orten. Abschließend erfolgte die Ableitung von Hinweisen und Empfehlungen zur Anwendung.

9.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

9.3.1 Grundsätzliche Hinweise

In diesem Vorhaben bestand erstmals die Gelegenheit, die methodischen Hinweise real zu testen und zu konkretisieren, insbesondere im Hinblick auf Siedlungsgebiete im Erzgebirge, wo ein dominanter Einfluss der Bergbau- und Hüttengeschichte zu erwarten ist. Im Ergebnis dieser Untersuchungen zeigte sich, dass Punktinformationen zu Schwermetall- und Arsengehalten sich auch in Siedlungsbereichen des Erzgebirges zumeist flächenhaft darstellen lassen. Dieses erfordert im Vergleich zu Gebieten unter naturnaher Nutzung (Acker, Grünland, Forst) erheblich mehr Aufwand und Expertise bei der Bearbeitung; neben ver-

tiefer Kenntnis der Interpolationsverfahren (Anwendungsvoraussetzungen, Stärken und Schwächen), sind umfangreiche Kenntnisse über den geologischen Untergrund und die historische Entwicklung der Siedlung mit Schwerpunkt schadstoffrelevanter Flächennutzung erforderlich. Die zumeist sehr kleinräumige Strukturierung erfordert auch zumeist höhere Probenzahlen.

Es wird in Abwägung des Aufwands mit dem zu erwartenden Ergebnis empfohlen, die gesonderte Betrachtung von Siedlungsgebieten ab einer Größe von ca. 10.000 Einwohnern vorzunehmen.

9.3.2 Methodische Empfehlungen

Keine der drei bislang bekannten Methoden für die Übertragung von Punktinformationen auf die Fläche (Immissionsansatz, raumanalytischer Ansatz und Substratansatz) erwies sich im Rahmen des Vorhabens als grundsätzlich vorteilhaft; jede Methode zeigte gebietspezifisch und für einzelne Metalle Stärken und Schwächen. Teilweise ließen sich diese Methoden nur in einer erweiterten Form auf die beiden Testgebiete Annaberg-Buchholz und Aue anwenden. Für die Blei-Gehalte der Oberböden in Annaberg erwies sich z. B. der raumanalytische Ansatz als besonders geeignet, der Substratansatz hingegen zeigte bessere Ergebnisse für Arsen. Für Cadmium im Testgebiet Aue war der Immissionsansatz die geeignete Übertragungsmethode. Für die Fälle, in denen keiner der vorgenannten Ansätze plausibel erscheint bzw. insbesondere in sehr frühen Untersuchungsstadien, in denen regelmäßig nur sehr wenige Informationen vorliegen, wird eine vierte Methode (Homogenansatz) für die flächenhafte Darstellung empfohlen.

Wesentliches Element im ersten Bearbeitungsschritt zur Erstellung einer Bodenbelastungskarte im Siedlungsbereich ist die möglichst passgenaue Ausweisung von homogenen Raumeinheiten, d. h. Flächen, in denen erwartet wird, dass sich die Stoffkonzentrationen nicht sprunghaft ändern. Der Erkenntnisgewinn späterer Bearbeitungsschritte macht in der Regel eine erneute und ggf. wiederholte Anpassung des Zuschnitts der Raumeinheiten und nachfolgende Abschätzung der Stoffgehalte im Boden erforderlich. Im Laufe dieser wiederholten Bearbeitung verbessert sich die Aussagesicherheit der erzeugten Kartenwerke. Aus den Tests verschiedener geostatistischer Verfahren lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- Bei nur wenigen Daten pro Raumeinheit (mind. 10-20) empfiehlt sich die reine Übertragung statistischer Kennwerte.
- Interpolationsverfahren wie das Ordinary Kriging oder Universal Kriging erlauben eine differenzierte Vorhersage, benötigen aber mehr Daten (mind. 30 bzw. 70 Punkte).
- Die Kriging-Verfahren liefern zudem wertvolle Aussagen zum Schätzfehler und erlauben auch eine Kreuzvalidierung.

9.3.3 Lösungsverfahren der künstlichen Intelligenz

Als innovatives Verfahren wurde mit advangeo® erstmals ein Verfahren der künstlichen Intelligenz für die Fragestellung zur flächenhaften Vorhersage von Stoffgehalten aufgrund vorliegender Punktinformationen erfolgreich eingesetzt. Dieses Verfahren nutzt künstliche neuronale Netze und ist damit „lernfähig“. Die Vorteile dieses Verfahrens zeigen sich gerade in den sehr kleinstrukturierten Siedlungsbereichen und der Vielzahl an möglichen Einflussgrößen auf die Stoffgehalte. So ließ sich mit diesem Verfahren der Einfluss der oberflächennahen Erzgänge auf die Arsen-Konzentration im Siedlungsgebiet Annaberg gesichert abbilden. Bei Vorliegen einer Vielzahl von Strukturen, welche die Stoffgehalte im Boden beeinflussen - gerade auch von linienhaften Strukturen - geraten Kombinationen aus der unterschiedlichen Bildung von homogenen Raumeinheiten mit Kriging-Verfahren zur Interpolation an ihre Grenzen. Hier können Verfahren der künstlichen Intelligenz eine empfehlenswerte Alternative darstellen.

Ausführliche Hinweise finden sich im Abschlussbericht des FuE-Vorhabens „Schadstoffkarten für Siedlungsbereiche - Untersuchungen zur Validität flächenhafter Aussagen“, der als Heft 1/2012 der LfULG-Schriftenreihe erscheinen wird.

10 Trendauswertungen nach Wasserrahmenrichtlinie mit GCI WRRL-Trend

Jörg Schubert - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Gemäß Grundwasserrichtlinie (GWRL) vom 12.12.2006 sowie SächsWRRLVO vom 07.12.2004 ist die Beschreibung und Beurteilung des chemischen Zustandes des Grundwassers sowie die Ermittlung und Umkehr signifikanter und anhaltend steigender Trends von Schadstoffkonzentrationen oder Trendumkehr im Grundwasser vorzunehmen. Im Jahr 2010 wurde in fachlicher Abstimmung mit dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV) unter Nutzung eines NRW-Leitfadens „Monitoring Grundwasser“ ein Programm zur Trendberechnung an Messstellen durch die GCI GmbH als Microsoft Access-Anwendung entwickelt. Mit diesem Programm ist es möglich, statistische Kennwerte und Trends von Einzel- und Summenparametern an Messstellen zu ermitteln. Das Programm kann durch die Firma GCI GmbH bereitgestellt werden.

Als Datenbasis dienen im LfULG die WINSTYX Oracle-Datenbank, auf die per Open Database Connectivity (ODBC) zugegriffen werden kann. Die GCI-GMS-Projektdateibanken und CSV-Datendateien mit definiertem Format, mit Daten außerhalb von WINSTYX, eignen sich ebenfalls als Datenbasis. Innerhalb der WINSTYX-Datenbank werden im LfULG Stammdaten von Grundwassermessstellen und zugehörige Grundwasserbeschaffenheits-, Grundwasserstands- und Quellschüttungsdaten verwaltet, ausgewertet und die jährlichen Messprogramme geplant.

Per Selektionsformular (Abbildung 1) können gezielt Messstellen nach Lage in Grundwasserkörpern, ihrer Zugehörigkeit zu Messnetzen, analysierten Parametern und Messzeiträumen sowie weiteren Kennwerten ausgewählt werden.



Abbildung 1: Selektionsformular für WINSTYX Datenbank

Im Rahmen der Auswertung von Pflanzenschutzmitteln ist es z. B. möglich, Summenparameter zu generieren. Als Basisdaten für die Trendberechnung können z. B. die Daten der Frühjahrs- oder Herbstbeprobung oder auch Monatsmittelwerte, Jahresmittelwerte bzw. Jahresmittelwerte (Abflussjahr) definiert werden.

Um die Überschreitung parameterspezifischer grundwasserkörperbezogener Schwellenwerte von Grundwasserkörpern zu detektieren, können diese für jeden Grundwasserkörper im Programm hinterlegt werden. Den implementierten Trendtests (lineare Regression incl. t-Test und Mann-Kendall-Test) nach GrwV können Ausreißertests vorgeschaltet werden. Dabei kann zwischen GRUBBS, DIXON und NALIMOV gewählt werden. Weil die Ausreißertests nach GRUBBS, DIXON und der Trendtest nach Mann-Kendall eine bestimmte Anzahl von Werten voraussetzen, kann für Zeitreihen, die diese Vorgaben nicht erfüllen, ein Alternativtest gewählt werden. Wie häufig der Ausreißertest durchlaufen werden soll, kann eingestellt werden. Bei jedem Durchlauf werden zuvor detektierte Ausreißer nicht mehr berücksichtigt.

Um Ausreißer innerhalb von Wasserstands- und Quellschüttungszeitreihen aufzufinden, kann der maximale Anstieg pro Tag definiert werden. Anstiege oberhalb des eingegebenen Maximums werden als Ausreißer deklariert. Für die Ausreißer- und Trendtests sowie für die implementierte Bruchpunktanalyse zur Ermittlung von Trendänderungen kann die gewünschte statistische Sicherheit voreingestellt werden. Optional ist es möglich, eine anwenderspezifische Trendbewertung in Abhängigkeit vom prozentualen Anstieg der Regressionsgeraden pro Jahr zu definieren.

Innerhalb der Diagrammausgabe werden die für die Trendberechnung berücksichtigten Messwerte, die detektierten Ausreißer aus dem letzten Durchlauf des Ausreißertests und die Trendlinie angezeigt. Messwerte kleiner Bestimmungsgrenze, welche anwenderspezifisch in die Trendberechnung eingehen, werden im Diagramm gelb markiert. Bei der Darstellung der Trendlinie wird zwischen signifikantem und nicht signifikantem Trend unterschieden. Alle Berechnungsergebnisse können im CSV-Format exportiert werden. Weiterhin ist es möglich, ausgewählte Diagramme in einem zusätzlichen Dialog zu bearbeiten und separat auszudrucken. Mittels Kopieren und Einfügen können die Diagramme direkt in andere Anwendungen übernommen werden.

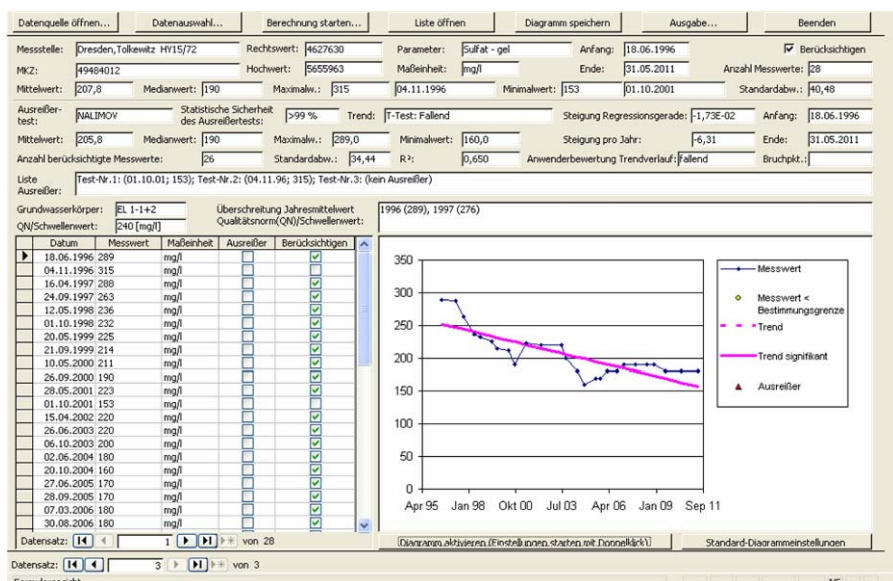


Abbildung 2: Hauptfenster WRRL-Trend

11 Workshops 2011

11.1 Workshop Sickerwasserprognose am 27. Januar 2011 - Parameterermittlung und -anwendung an Fallbeispielen

Antje Sohr - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Ziel des Workshops war zum einen die Darstellung des generellen Kenntnisstandes zur Sickerwasserprognose und zum anderen die Darstellung der Möglichkeiten der Modellierung in der ungesättigten Bodenzone anhand von Fallbeispielen. Moderiert von Prof. Dr. Rudolf Liedl (TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft) ging man u. a. folgenden Fragestellungen nach:

- Wie groß ist eigentlich noch der Bedarf an Sickerwasserprognosen im Altlastenbereich?
- Ist die Musterleistungsbeschreibung (MLB) „Laborative Untersuchungen zur Sickerwasserprognose im Rahmen der Detailuntersuchung“ in Sachsen noch aktuell?
- Worin unterscheiden sich verschiedene Modellierungsprogramme zur Sickerwasserprognose?
- Liefern die verschiedenen Modellierungsprogramme bei gleichen Eingangsdaten auch gleiche oder ähnliche Ergebnisse?

Einige Ansätze zur Beantwortung konnten innerhalb der Vorträge herausgearbeitet werden. Die derzeitigen gesetzlichen Konventionen und zu erwartenden Spielräume wurden durch die Autorin dieses Beitrags dargestellt. Die MLB sind noch aktuell. Bei Novellierung der Bundesbodenschutzverordnung (zu erwarten 2013) müssen aber insbesondere im Bereich der Laborebene A (Entscheidung für oder gegen quantitative Sickerwasserprognose) und Laborebene B (Vorversuche) kleinere Anpassungen erfolgen. Diese Anpassung betrifft z. B. den Schüttelversuch DIN 38414-4 (Laborebene A), der aber auch jetzt schon durch die neue DIN 19529 (anorganisch) bzw. DIN 19527 (organisch) ersetzt werden kann. Dr. Claus Nitsche (GICON) umriss nochmals die einzelnen Leistungspunkte der MLB und ging auf die Kosten-Nutzen-Diskussion ein. Mit der Ermittlung von vergleichbaren und reproduzierbaren Parametern werden standortspezifische prognostische Aussagen möglich. Diese Parameter stellen qualifizierte Eingangsdaten für Modellierungsprogramme dar. Die Modellierungsprogramme SIWAPR DSS (numerisch), EXPOSI (numerisch) und ALTEX 1D (analytisch) wurden durch die Entwickler Dr. Oliver Kemmesies, Dr. Bernd Gutt und Bernhard Engeser selbst vorgestellt. Außerdem charakterisiert ein 2008 im LfULG gelaufenes Projekt^{*)} die Einsatzgrenzen und Handhabungseigenheiten dieser Programme. Anhand der Fallbeispiele im Workshop konnten Auswirkungen von literaturbasierten Modellparametern gegenüber standortspezifischen Parametern gezeigt werden. Bei eindimensionalen Abschätzungen (einfacher geologisch-hydrogeologischer Modellaufbau, Annahme stationär ablaufender Prozesse) und gleichen Eingangsdaten sind die Ergebnisse der Modellierungsprogramme SIWAPRO DSS, EXPOSI und ALTEX 1D hinsichtlich Konzentrationen und Frachten (Ausnahme: EXPOSI berechnet keine Fracht) vergleichbar.

Im zweiten Teil der Veranstaltung wurden Praxisfälle vorgestellt, ein Fall aus Sicht einer Behörde (Ute Hinrichs, Landesdirektion Chemnitz) und ein Fall aus Sicht von Ingenieurbüros, vorgestellt von Heike Büttcher (IBGW, hier als Auftraggeber). Eine detaillierte Zusammenfassung der Thematik Sickerwasserprognose erfolgte durch Jens Fahl (TU Dresden), wobei auch eigene Erfahrungen beim Modellvergleich mit eingingen. Komplexe Fragestellungen mit komplizierten geologisch-hydrogeologischen Randbedingungen und instationären Prozessen (insbesondere bei geringen Grundwasserflurabständen und kürzeren Prognosezeiträumen relevant) lassen sich allerdings nur mit numerischen Programmen abbilden. Für einige Fragestellungen im Altlastenbereich wie z. B. Grundaussagen zur Notwendigkeit weitergehender Erkundungen oder von Sanierungsentscheidungen kann die Komplexität auch reduziert werden. Dann bzw. auch für Plausibilitätsprüfungen oder erste Abschätzungen ist das Programm ALTEX 1D sehr hilfreich. Die Anwendung der Modelle ist insbesondere eine Frage der Eingangsparameter, deren Qualität vom Erkundungsniveau abhängt. Hier sind in Abhängigkeit von der zu beantwortenden Fragestellung Aufwand, Nutzen abzuwägen. Die Erfahrungen der Modellierer zu den Möglichkeiten der Abbildung der standortspezifischen Gegebenheiten im Programm sind ein weiteres wichtiges Entscheidungskriterium für oder gegen ein bestimmtes Modell.

^{*)} LfULG (2008): Programmvergleich Sickerwasserprognose: HYDRUS, EXPOSI, SIWAPRO DSS, ALTEX, AF - Verfahren durch ARCADIS und DGFZ

Die ca. 80 Teilnehmer kamen ins Gespräch und erhielten Anregungen für künftige praktikable Prognosemöglichkeiten. Neben dem Altlastenbereich sind Sickerwasserprognosen insbesondere im Vorsorgebereich bei planbaren Ablagerungen sinnvoll. Die Vorträge sind abrufbar unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/11610.htm>.

11.2 Workshop „Sanierungsentscheidung“ am 22. März 2011

Der behördeninterne Workshop hatte das Ziel, wesentliche Randbedingungen bei Sanierungsentscheidungen näher zu beleuchten und anhand von Einzelfällen zu diskutieren. Jürgen Bunk (SMUL) organisierte und moderierte die Veranstaltung unter maßgeblicher Mitwirkung des Projektcontrollers im Altlastenfreistellungsbereich (Arbeitsgemeinschaft BIG, URS, ARCADIS). Nähere Informationen zur Freistellung auch unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/13017.htm>. Dabei wurde die Verantwortung des Projektträgers, des Projektcontrollers und der Behörde für qualitätsgerechte Gutachten bei Gefährdungsabschätzung und Sanierung unterstrichen.

Im ersten Teil standen die rechtlichen Grundlagen im Mittelpunkt. Stefanie Koch und Sven Große (SMUL) reflektierten insbesondere Sanierungsplan, Verbindlichkeitserklärung, Sanierungsanordnung, Sanierungsvertrag und die behördliche Sanierungsplanung. Ein wichtiger Punkt bei der Sanierung ist die vorherige Festlegung von Sanierungszielwerten. Die **allgemeine** Umschreibung des Sanierungsziels im Bundesbodenschutzgesetz bzw. in der Bundesbodenschutzverordnung berücksichtigt, dass sich eine konkrete Zielvorgabe aufgrund der Komplexität und Verschiedenartigkeit der Einzelfälle regelmäßig einer generellen Verrechtlichung entzieht.

Im zweiten Teil stellte die Autorin dieses Beitrags fachliche Grundlagen für Sanierungsentscheidungen vor. Dabei wurden methodische Instrumente für die Sicherstellung verhältnismäßiger Sanierungsentscheidungen benannt und erläutert. Die Verhältnismäßigkeitsprüfung war dabei ein zentraler Punkt. Für die Tolerierbarkeit eines Grundwasserschadens stehen insbesondere zwei Materialien zur Verfügung. Das sind der „Rahmenerlass Altlasten-Grundwasser“ mit den „Ermessensleitenden Regeln“ (Sachsen) und die „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes“ (LABO, LAWA). Sanierungsziele sind so konkret wie möglich festzulegen und können sich auf Konzentrationen, Frachten, geometrische Ziele (z. B. Volumen), Potenzial oder Trendaussagen beziehen. Die Frage „**Wo** soll **was** erreicht werden?“ muss beantwortet werden. Insgesamt ist die Festlegung bzw. Anpassung der Sanierungszielwerte ein iterativer Prozess.

Der dritte Teil beinhaltete die Vorstellung von Beispielen aus der Praxis. Der Projektcontroller hatte dazu einige Beispiele hinsichtlich der folgenden Kriterien mit Kennwerten und Diskussionspunkten aufgearbeitet:

- Standortsituation
- Sanierungsentscheidung
- Sanierungsplan
- Sanierungsziel
- Abbruchkriterien
- Sanierungsergebnisse

Eine zentrale Frage war dabei die Wirtschaftlichkeit der Sanierung. Öffnungsklauseln im Sanierungsbescheid sind wichtig, um ggf. das Sanierungsziel aus wirtschaftlichen Gründen (Verhältnismäßigkeit) anpassen zu können.

Die ca. 50 Teilnehmer tauschten offen ihre Erfahrungen aus und diskutierten ältere und neuere Praxisfälle. Die Veranstaltung insgesamt förderte die Vergleichbarkeit von behördlichen Entscheidungen und war ein großer Erfolg. Weil der Themenbereich für viele Bundesländer aktuell ist, wird auch der Erfahrungsaustausch auf Bundesländerebene durch das LfULG befördert.

Die Vorträge sind abrufbar unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/11610.htm>.

11.3 Symposium „Bodeninformationen – Grundlage für Bodenschutz, Wirtschaft und Forschung“ am 12./13.Okt. 2011

Enrico Pickert - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Bodeninformationen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Das LfULG registriert seit Jahren einen kontinuierlichen Anstieg an Nachfragen. Bereits seit Inkrafttreten der Bodenschutzgesetze von Bund und Ländern werden Informationen von Vollzugsbehörden benötigt. Der Bedarf erfasst aber immer größere Kreise. Vor allem für Planungsaufgaben in verschiedenen Ressorts werden aus gesetzlichem Anlass Bodeninformationen nachgefragt. Insbesondere bei größeren Vorhaben im Straßenbau, Landschaftsbau, Rohstoffabbau sowie in Land- und Forstwirtschaft finden Bodendaten Eingang in die Planungen. Ein Nachfrageschub ist aktuell auch von Seiten der Forschung zu erleben, vor allem angeschoben durch die Diskussionen um die Klimafolgen.

Diese Thematik aufgreifend, veranstaltete das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) ein Symposium mit dem Titel „Bodeninformationen – Grundlage für Bodenschutz, Wirtschaft und Forschung“.

Schwerpunkte der Veranstaltung waren die Themen

- Bedeutung von Bodendaten für die EU: Global Soil Partnership sowie Soil Data and Information Systems,
- Bodenmessdaten im 21. Jahrhundert – Herausforderungen und Chancen,
- ISRIC – World Soil Information Beiträge zu eSOTER,
- Flächenstrategien der Deutschen Bahn – Sanierungsmanagement zur nachhaltigen Nutzung ehemaliger Betriebsgelände,
- Aktivitäten zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme im Freistaat Sachsen,
- Bereitstellung von Bodeninformationen auf Landkreisebene – Bodeninformationssystem Mittelsachsen,
- 20 Jahre Bodenkundliche Landesaufnahme in Sachsen.

Moderiert durch Prof. Franz Makeschin kamen die ca. 90 Teilnehmer ins Gespräch und es fand ein reger Erfahrungsaustausch statt.

So waren sich die Teilnehmer nach den zwei Tagen weitestgehend einig, dass die Bewältigung der in den nächsten Jahren auf den Fachbereich Boden zukommenden fachlichen Herausforderungen wie der verstärkte Pflanzenanbau zur Energiegewinnung und einem dem gegenüberstehenden zunehmenden Nahrungsmittelbedarf (Stichwort: Flächenkonkurrenz), zunehmende Bodendegradation/Kontamination, Klimawandel sowie ein Wandel im Boden- und Landmanagement verstärkt den Ruf nach belastbaren Daten über den Bodenzustand und seine langfristigen Veränderungen hervorrufen werden.

Die Vorträge sind abrufbar unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/25740.htm>; weiterführende Informationen zu Böden in Sachsen unter <http://www.boden.sachsen.de>.

11.4 Statusseminar „Arzneistoffe in der Umwelt“ am 07./08. September 2011

Sylvia Rohde, Dr. Eveline Ullrich - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

An der Veranstaltung, die in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde organisiert wurde, nahmen rund 150 Vertreter von Behörden und Institutionen teil.

In seiner Begrüßung gab der Präsident des LfULG, Norbert Eichkorn, seiner Hoffnung Ausdruck, dass neue wissenschaftliche Erkenntnisse Anregungen für die weiteren Untersuchungen im LfULG geben werden. Dabei wies er auf die im Amt bestehenden Synergieeffekte zwischen Umwelanforderungen und landwirtschaftlichen Nutzungen hin. Letztlich lieferte die Anregung des Sächsischen Landesbauernverbandes, sichere Aussagen zur Belastungssituation in Sachsen und praktische Hinweise für die Landwirte zur Verfügung zu stellen, den Ausschlag, sich der Thematik der Arzneistoffe ganzheitlich im Rahmen eines Statusseminars zu widmen.

Arzneistoffe stehen bereits seit geraumer Zeit im Fokus der Betrachtung. Der zunehmende Einsatz von Arzneistoffen in der Human- und Veterinärmedizin lässt sich immer häufiger in der Umwelt nachweisen. Der Griff zu Spritze und Pille ist auch für den Landwirt in der modernen Tierhaltung unverzichtbar geworden.

Die Diskussionsergebnisse und die Vorschläge der Plenumsdiskussion fasste Heinz Gräfe, ständiger Vertreter des Präsidenten des LfULG, wie folgt zusammen:

- Insgesamt reichen die aktuellen Mechanismen des Arzneimittelrechts nicht aus, um die Umwelt vor gefährlichen Arzneistoffen zu schützen. Ziel muss es sein, den Eintrag von Arzneistoffen in die Umwelt zu begrenzen und umweltfreundlichere Arzneistoffe zu entwickeln. Dafür gibt es eine Vielzahl von Handlungsoptionen aus den Bereichen Produktkontrolle (effektive Berücksichtigung des Umweltrisikos auch bei Humanarzneimitteln, Altstoffprogramm), Anwendung (klare Befolgsregeln, Vor-Ort-Kontrollen, Monitoring, artgerechte Tierhaltung) und Aufklärung (Umweltkennzeichen, Rückgabepflicht an Apotheke).
- Viele mit modernster Technik und Methoden erhobene Untersuchungsergebnisse für Gülle, Böden, Kläranlagenabläufe und Gewässer liegen bereits vor. Die Datendichte ist jedoch noch unzureichend. Schwierig ist es, den Mix der verschiedenen Stoffe und ihrer Abbauprodukte zu beurteilen.
- Die großen Wissenslücken über das Umweltverhalten von Altarzneistoffen lassen sich nur über eine systematische Altstoffkontrolle ausräumen. Einen ausreichenden Schutz vor umweltgefährlichen Arzneistoffen bietet es aber nicht. Die Bewertung möglicher Umweltrisiken erfordert für viele Altarzneimittel noch ökotoxikologische Untersuchungen, insbesondere zur Ableitung von Qualitätsnormvorschlägen für die einzelnen Umweltkompartimente. Zukünftig muss es umweltschützende Auflagen nicht nur für Tierpharmaka, sondern auch für die Humanpharmaka geben.
- Die Teilnehmer des Statusseminars setzen sich daher für eine „Umweltabgabe“ auf jedes Arzneimittel ein. Diese finanziellen Mittel sollen eingesetzt werden, um die Auswirkungen auf die Umwelt schneller und umfassender zu untersuchen und Strategien zum Schutz der Ressourcen ausarbeiten zu können.

Darüber hinaus wurden erste Vorschläge für eine Verminderung der Einträge in die Umwelt aufgezeigt:

- Reduzierung des Arzneimittelabfallanfalls durch z. B. passgenaue Verschreibungspraxis
- Prüfung des Ausbaus von Kläranlagen mit Aktivkohlefilter oder Ozon-Behandlung
- sichere Abfallentsorgung durch z. B. Verbrennung
- Entsorgung von Arzneimitteln nicht über die Toilette
- gezielte Information von Ärzten und Patienten über Umweltaspekte der Arzneimittelverwendung, z. B. durch Kennzeichnung von Arzneimittelpackungen und Hinweise zur Umweltrelevanz in den Beipackzetteln
- Schulungen für Ärzte und Apotheker über „Nebenwirkungen“ von Arzneimitteln auf die Umwelt
- zurückhaltender Einsatz von Antibiotika in der Human- und Veterinärmedizin
- Aufbau von Tierhaltungen mit Hochgesundheitsstatus

- Verbesserung der Haltungs- und Fütterungshygiene und des Gesundheitsmanagements in der Tierhaltung
- integrierte tierärztliche Bestandsbetreuung

Viele Teilnehmer sprachen sich dafür aus, beim Umweltbundesamt eine übergreifende Arbeitsgruppe zur Thematik einzurichten und so den Wissenstransfer zu befördern.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wird für die nächsten Jahre ein Forschungsprojekt zum Thema „Antibiotika aus der Nutztierhaltung in der Umwelt“ auflegen. Darin sind für 22 sächsische landwirtschaftliche Betriebe detaillierte Untersuchungen geplant, die den Weg von der Antibiotikagabe beim Tier über die Gülle bis hin zum Boden und ggf. in die Gewässer aufzeigen. Lysimeterversuche mit dotierter Gülle sollen darüber hinaus den Antibiotikatransfer in Boden, Wasser und Pflanze aufzeigen. Ein Ziel der Arbeiten ist es, ein Minimierungskonzept zur Reduzierung des Antibiotikaeinsatzes in Zusammenarbeit mit den Betrieben zu erstellen.

Die Vorträge sind im Internet des LfULG unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/9606.htm> abrufbar.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Antje Sohr, Heiko Ihling, Dr. Ingo Müller, Bernd Siemer, Ruth Hoffmann, Jörg Schuber, Sylvia Rohde, Andreas Ihl, Enrico Pickert, Dr. Natalja Barth, Kati Kardel, Dr. Eveline Ulrich, Holger Forberg
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Robert Schenkel
Geo Data Solutions (GDS)
Robert Michalk
Brandenburgische Technische Universität
Sabine Willscher, Doreen Knippert, Jens Fahl
TU Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten
Kay Knöller, Christina Jeschke, Michael Dilbat
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Dep. Catchment Hydrology
Rene Blankenburg
Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH

Redaktion:

Christina Lausch
LfULG, Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/Referat Boden, Altlasten
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: + 49 351 8928-4209
Telefax: + 49 351 8928-4099
E-Mail: christina.lausch@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

21.11.2011

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.