

# ZDROJE PODZEMNÍCH VOD NA ČESKO-SASKÉM POMEZÍ

## II. Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

Výsledky společného česko-saského projektu  
„Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)“



# GRUNDWASSERRESSOURCEN IM TSCHJECHISCH-SÄCHSISCHEN GRENZGEBIET

## II. Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

Ergebnisse des gemeinsamen tschechisch-sächsischen Projektes  
„Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen  
im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)“



Europäische Union, Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung: Investition in Ihre  
Zukunft / Evropská unie, Evropský fond pro  
regionální rozvoj: investice do Vaší budoucnosti

# ZDROJE PODZEMNÍCH VOD NA ČESKO-SASKÉM POMEZÍ

## II. Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

Výsledky společného česko-saského projektu

„Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)“

---

# GRUNDWASSERRESSOURCEN IM TSCHECHISCH-SÄCHSISCHEN GRENZGEBIET

## II. Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

Ergebnisse des gemeinsamen tschechisch-sächsischen Projektes

„Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen  
im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)“

VÝZKUMNÝ ÚSTAV  
VODOHOSPODÁŘSKÝ  
T.G. MASARYKA  
veřejná výzkumná instituce

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



Praha 2014

© Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., 2014

**ISBN 978-80-87402-31-3**

**978-80-87402-29-0 (soubor)**

**978-80-87402-30-6 (1. díl)**

**Autorský kolektiv / Autorenkollektiv:**

**Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce (VÚV TGM, v.v.i.):**

Ing. Marie Kalinová (garant), Mgr. Pavel Eckhardt, Mgr. Marta Martínková,  
Mgr. Pavel Šimek, Mgr. Michal Bílý, Ph.D., Mgr. Lenka Koubková

**Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG):**

Dr. Anna-Katharina Böhm (Garant), Dr. Peter Börke, Carsten Schulz

**Lektor/ Lektor:**

Ing. Miroslav Kněžek, CSc.

**Překlad do češtiny / Übersetzung ins Tschechische:**

Ing. Libuše Punčochářová

**Překlad do němčiny / Übersetzung ins Deutsche:**

Gabriele Großert

**Foto / Fotos:**

Michal Bílý, Pavel Eckhardt, Hans Jürgen Hahn, Peter Rumm, Pavel Šimek

Fotografie bez popisku jsou ilustrační a představují krajinný charakter oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, prameny a práce při odběrech vzorků.

Fotographien ohne Beschriftung sind rein illustrativ und dienen der Dokumentation des Gebietes Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin (Landschaft, Quellen, Grundwasserprobenahme).

## **Anotace**

Cílem publikace je informovat zainteresovanou veřejnost o nejdůležitějších výsledcích projektu Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE), jež vedou ke společné strategii ochrany zdrojů podzemních vod v přeshraniční oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin.

Charakteristickým rysem je společná práce českých a saských odborníků a provázanost informací na česko-saském pomezí.

V publikaci jsou uvedeny zejména výsledky modelování proudění podzemních vod, sledování vydatnosti pramenů a pramenných oblastí, sledování fauny podzemních vod, odhady stáří a míšení podzemních vod pomocí sledování radioaktivních látek. Závěrem jsou uvedeny návrhy na společný postup při ochraně těchto vodních zdrojů.

## **Klíčová slova**

Zdroje podzemních vod, zásobování vodou, přeshraniční spolupráce

## **Abstract**

This publication is targeted at an interested public. It informs about the most important results of the project GRACE (Groundwater Absence in Cretaceous Sandstone Aquifers). The results are used to derive a strategy for the protection of groundwater resources in the transnational area Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin.

The project is characterised by the more intensive cooperation between Czech and Saxon experts and the project-focus on a specific region in the borderland of both the Czech Republic and the Free State of Saxony (Germany).

The publication presents the results of the following subprojects: groundwater flow modelling, springs and spring discharge, fauna of groundwater, age and mixing of groundwater by isotope measurements. Finally the publication concludes with several proposals for management strategies aiming at the protection of the transboundary water resources.

## **Key words**

Groundwater resources, water supply, international cooperation

## **Kurzfassung**

Diese Publikation richtet sich an die interessierte Öffentlichkeit. Sie informiert über die wichtigsten Ergebnisse des Projekts GRACE (Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet), die die Ableitung einer Strategie für den Schutz der Grundwasserressourcen im grenzübergreifenden Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin ermöglichen.

Kennzeichnend sind die durch das Projekt intensivierte Zusammenarbeit der tschechischen und sächsischen Fachleute sowie die Anbindung an ein konkretes Gebiet im tschechisch-sächsischen Grenzraum.

In der Publikation werden die Ergebnisse aus den Teilstudien unter anderem zur Grundwasserströmungsmodellierung, zu den Quellen und Quellgebieten, zur Grundwasserfauna sowie zur Bestimmung von Alter und Mischung des Grundwassers mit Hilfe von Isotopen dargestellt. Abschließend werden Vorschläge für Maßnahmen zum gemeinsamen Schutz der grenzübergreifenden Wasserressourcen vorgestellt.

## **Schlüsselwörter**

Grundwasserressourcen, Wasserversorgung, grenzübergreifende Zusammenarbeit

## Seznam obrázků

- Obr. 1: Roční úhrny srážek na měřicích stanicích Mařenice a Kurort Jonsdorf
- Obr 2: Bezvodý hraniční profil na Kněžickém/Lückendorfském potoce a hraniční Bílý potok
- Obr. 3: Vývoj vydatnosti pramene Lückendorf
- Obr. 4: Drobný pramen Kočičí studánka
- Obr. 5: a) Měření hloubky vrtu a odběr vzorku podzemní vody pro stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku (Foto: M. Bílý)  
b) Odběr vzorku fauny podzemních vod metodou instalace lapací sítě do pramenného vývěru (Foto: M. Bílý)
- Obr. 6: a) Klanonožec *Graeteriella unisetigera* (Foto: P. Rumm)  
b) Bezkrunýčka *Bathynella* sp. (Foto: H. J. Hahn)
- Obr. 7: Schéma skladby atomu tritia ([www.newenergyandfuel.com](http://www.newenergyandfuel.com), 2013)
- Obr. 8: Schéma rozpadu tritia ( $^3\text{H}$ ) na 3-helium ( $^3\text{He}$ ) ([www.newenergyandfuel.com](http://www.newenergyandfuel.com), 2013)
- Obr. 9: Lokality vybrané pro odběry vzorků
- Obr. 10: Trend obsahu tritia ve srážkách na stanici Freiberg, Sasko (LfULG, 2012) a Hohe Warte-Vídeň, Rakousko (IAEA, 2014); koncentrace tritia je uvedena v přirozených logaritmech
- Obr. 11: Vývoj odebíraného množství podzemních vod
- Obr.12: Jímané prameny Oybin-Hochwald
- Obr. 13: Vývoj hladin podzemních vod na pozorovacích vrtech v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

## Seznam map

- Mapa 1: Vymezení oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
- Mapa 2: Geologická mapa zájmového území
- Mapa 3: Vydatnost pramenů v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
- Mapa 4: Stáří podzemních vod s vyznačenými kolektory v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
- Mapa 5: Modelové zobrazení proudění podzemních vod

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Niederschlagssummen bezogen auf das hydrologische Jahr an den Messstationen Mařenice und Kurort Jonsdorf
- Abb. 2: Wasserloses Grenzprofil am Kněžický potok/ Lückendorfer Bach und Grenzwasserlauf Bílý potok
- Abb. 3: Ganglinie der Quellschüttung der Quelle Lückendorf
- Abb. 4: Quellfassung Kočičí studánka
- Abb. 5: a) Grundwasserstandsmessung und Probenahme zur Bestimmung der Konzentration des gelösten Sauerstoffs (Foto: M. Bílý)  
b) Faunistische Grundwasserbeprobung mit Quellnetz (Foto: M. Bílý)
- Abb. 6: a) Hüpfervling *Graeteriella unisetigera* (Foto: P. Rumm)  
b) Brunnenkrebs *Bathynella spec.* (Foto: H. J. Hahn)
- Abb. 7: Aufbauschema des Tritiumatoms ([www.newenergyandfuel.com](http://www.newenergyandfuel.com), 2013)
- Abb. 8: Zerfallsschema von Tritium ( $^3\text{H}$ ) zu 3-Helium ( $^3\text{He}$ ) ([www.newenergyandfuel.com](http://www.newenergyandfuel.com), 2013)
- Abb. 9: Ausgewählte Probenahmestandorte
- Abb. 10: Trend des Tritiumgehaltes in den Niederschlägen an den Stationen Freiberg, Sachsen (LfLUG, 2012) und Hohe Warte-Wien, Österreich (IAEA, 2014); (y-Achse logarithmisch skaliert)
- Abb. 11: Entwicklung der Grundwasserentnahmen
- Abb. 12: Quellfassungen Oybin-Hochwald
- Abb. 13: Entwicklung der Grundwasserstände an Messstellen im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

## Kartenverzeichnis

- Karte 1: Übersicht des Gebietes Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
- Karte 2: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes
- Karte 3: Ergiebigkeit der Quellen im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
- Karte 4: Alter des Grundwassers im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
- Karte 5: Modellierete Grundwasserströmungsrichtung



# Obsah

<b>1</b>	Úvod	10
<b>2</b>	Geologie a hydrogeologie oblasti	16
<b>3</b>	Vliv klimatu na vodní režim oblasti	24
<b>4</b>	Povrchové toky	32
<b>5</b>	Prameny a pramenné oblasti	36
<b>6</b>	Fauna podzemních vod	42
<b>7</b>	Stáří podzemních vod	48
<b>8</b>	Odběry vody a jejich vývoj	60
<b>9</b>	Vývoj hladin podzemních vod	64
<b>10</b>	Proudění podzemních vod	68
<b>11</b>	Shrnutí a závěry	76

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	Einleitung	11
<b>2</b>	Geologie und Hydrogeologie des Gebietes	17
<b>3</b>	Wirkung des Klimas auf den Wasserhaushalt	25
<b>4</b>	Oberflächenwasser	33
<b>5</b>	Quellen und Quellgebiete	37
<b>6</b>	Grundwasserfauna	43
<b>7</b>	Alter des Grundwassers	49
<b>8</b>	Wasserentnahmen und ihre Entwicklung	61
<b>9</b>	Entwicklung der Grundwasserstände	65
<b>10</b>	Grundwasserströmung	69
<b>11</b>	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	77

# 1 Úvod

Publikace je jedním z výstupů projektu Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE) z Programu EU Cíl 3 na podporu přeshraniční spolupráce 2007–2013 mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko (<http://www.ziel3-cil3.eu/>). Podpora tomuto projektu byla schválena v srpnu 2011. V projektu je Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce (VÚV TGM, v.v.i.), vedoucím partnerem a projektovým partnerem je Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii (LfULG). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., kromě prostředků z EU získal prostřednictvím Ministerstva životního prostředí dotaci na spolufinancování projektu ze státního rozpočtu ČR, obdobně získal Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii dotaci z prostředků Svobodného státu Sasko.

Projekt je zaměřen na ochranu vodních zdrojů a objasnění příčin klesání hladin podzemních vod v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch a v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin. V rámci projektu probíhá zpracování dílčích projektů či studií k těmto tématům:

- ➔ tvorba modelů proudění podzemních vod,
- ➔ zkoumání stáří a míšení podzemních vod pomocí izotopových analýz,
- ➔ důsledky vlivu klimatické změny na vodní režim ve sledovaných oblastech,
- ➔ studie fauny podzemních vod,
- ➔ sledování vývoje vydatnosti pramenů a pramenných oblastí.

Další velmi důležitou součástí projektu je prohloubení spolupráce českých a saských odborníků, součinnost s orgány ochrany přírody a s regionálními uživateli vodních zdrojů. Velký důraz je kladen na informování veřejnosti o výsledcích projektu.

Die Publikation ist ein Teilergebnis des Projektes „Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet“ (GRACE) aus dem Ziel 3-Programm zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zwischen der Tschechischen Republik und dem Freistaat Sachsen (<http://www.ziel3-cil3.eu/>). Die Förderung wurde im August 2011 genehmigt. Lead Partner des Projektes ist das Wasserwirtschaftsforschungsinstitut T. G. Masaryk, öffentliche Forschungseinrichtung (VÚV TGM, v.v.i.), Projektpartner ist das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Das Wasserwirtschaftsforschungsinstitut T. G. Masaryk, v.v.i., hat neben den EU-Mitteln über das Umweltministerium Fördermittel aus dem Staatshaushalt der Tschechischen Republik und das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Fördermittel vom Freistaat Sachsen erhalten.

Das Projekt hat den Schutz der Wasserressourcen und die Klärung der Ursachen für den Grundwasserrückgang in den Gebieten Hřensko–Křínice/ Kirnitzsch und Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin zum Ziel. Im Rahmen des Projektes werden in Teilprojekten bzw. Studien folgende Untersuchungen durchgeführt:

- ➔ Entwicklung von Grundwasserströmungsmodellen
- ➔ Untersuchung von Alter und Mischung des Grundwassers mit Hilfe von Isotopenuntersuchungen
- ➔ Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Untersuchungsgebiete
- ➔ Studie zur Grundwasserfauna
- ➔ Entwicklung der Quellen und Quellgebiete sowie der Quellschüttung

Ein weiterer sehr wichtiger Bestandteil des Projektes ist die intensivierte Zusammenarbeit zwischen den tschechischen und sächsischen Fachleu-

Nejdůležitějším výsledkem projektu bude navržení společných strategií ochrany vodních zdrojů podzemních vod v těchto oblastech. Tyto strategie budou projednány se státní a veřejnou správou a předloženy Stálému výboru Sasko-Česko-německé komise pro hraniční vody.

Aktuální informace o projektu, který bude završen v roce 2014, jsou uvedeny na jeho internetových stránkách na adrese <http://www.gracecz.cz/>.

Tato publikace je zaměřena na informace, které se týkají oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin. V mapce 1 je uvedeno vymezení a nejdůležitější objekty této oblasti.



ten sowie die Kooperation mit den Institutionen des Naturschutzes und den regionalen Wasserversorgern (Trinkwasser). Einen ebenfalls hohen Stellenwert besitzen die Informationen für die Öffentlichkeit.

Das wichtigste Ergebnis des Projektes ist die Entwicklung gemeinsamer Strategien zum Schutz der Grundwasserressourcen in den genannten Gebieten. Diese werden mit der staatlichen und öffentlichen Verwaltung beraten und dem Ständigen Ausschuss Sachsen der deutsch-tschechischen Grenzgewässerkommission vorgelegt.

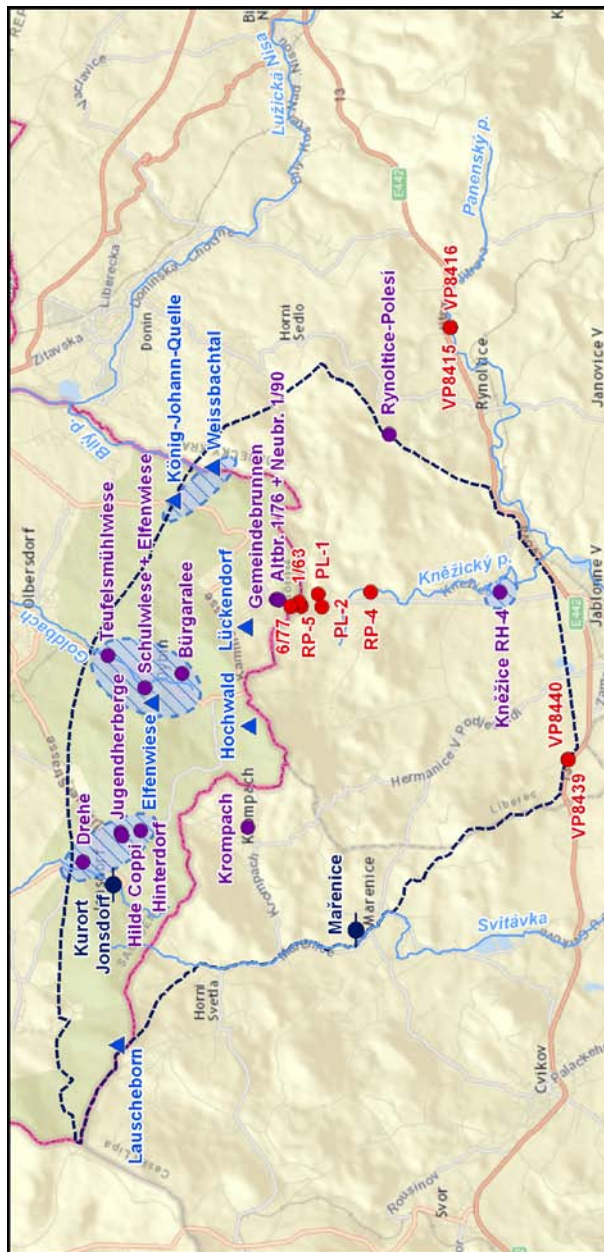
Das Projekt wird 2014 abgeschlossen. Aktuelle Informationen finden Sie unter <http://www.gracecz.cz/>.

Diese Publikation umfasst Informationen und Ergebnisse zum Gebiet Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. Karte 1 zeigt eine Übersicht des Untersuchungsgebietes.



---

Mapa 1: Vymezení oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin ►



▲ pramen/ Quelle

● pozorovací vrť/ Grundwassermessstelle

● odběr podzemní vody/  
Grundwasserentnahme

● srážkoměrná stanice/  
Niederschlagsmessstation

— vodní tok/ Wasserlauf

○ oblast/ Gebiet Petrovice-  
Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

— státní hranice/ Staatsgrenze CZ/DE

■ významné odběry podzemních vod/  
Bedeutende Grundwasserentnahme



Zdroj/ Quelle:

© ČGS, © ČHMÚ, © Esri,  
© LfULG, © SCVK, a. s.,  
© VUV TGM, v.v.i.



## 2 Geologie a hydrogeologie oblasti

Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin dominantně tvoří křídové pískovce, které jsou usazeninami křídového moře z doby před cca 70–100 miliony let (PÄLCHEN & WALTER, 2008). Jsou součástí podstatně větší české křídové pánve, která zaujímá plochu 14 600 km<sup>2</sup> (saská část přibližně 2 100 km<sup>2</sup>) a nacházejí se na jejím severním okraji (HERČÍK ET AL., 2003). Pískovce v našem zájmovém území tak tvoří jak litologický, tak i hydrogeologický komplex. V zájmovém území sedimentoval materiál v blízkosti pevniny, tedy poblíž linie pobřeží, čímž je možné vysvětlit větší rozšíření slepenců a pískovců s valounky. Celkově se křídové sedimenty Lužických hor skládají z převážně středně zrnitých až hrubozrnných pískovců (VOIGT ET AL., 2013). Podstatným znakem těchto pískovcových sedimentů jsou lokálně velké změny jejich charakteru v důsledku tektonické a vulkanické činnosti. Po sedimentaci těchto pískovců došlo v mladších třetihorách v důsledku tektonických vlivů ke vzniku tektonických poruch, kdy byly pískovce rozbity a popřípadě i vzájemně na sebe nasunuty. S tím souvisí i vulkanická činnost, v jejímž důsledku prorazil velký počet vulkanických pňů a čedičových žil stávající křídové souvrství. Markantními doklady této vulkanické činnosti jsou vrchy Luž a Hvozď. Dalším viditelným dokladem třetihorní vulkanické činnosti jsou tzv. kontaktně metamorfované pískovce (VOIGT ET AL., 2013). Tento proces lokálně vedl i k vytvoření sloupově odlučných pískovců.

Podloží (takzvanou křídovou bází) křídových sedimentů, zejména pískovců, o mocnosti několika stovek metrů tvoří pevné horniny krystalinika (PÄLCHEN & WALTER, 2008; MISAŘ ET AL., 1983). Severní okraj zájmové oblasti je tvořen lužickou poruchou, která probíhá generelně směrem východojihovýchod-západoseverozápad. Po usazení křídových sedimentů byl tektonicky aktivován severní blok lužického masivu skládající se zejména ze žul a granodioritů a nasunut nad pískovce (VOIGT ET AL., 2013).

Ostatní povrch je většinou kryt kvartérními sedimenty s malou mocností, jako jsou svahoviny z doby ledové (pleistocén) a na jih od státní hranice

## Geologie und Hydrogeologie des Gebietes **2**

Das Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin ist geologisch größtenteils durch kreidezeitliche Sandsteine geprägt, die in einer Zeit vor ca. 70–100 Mio. Jahren als marine Ablagerungen entstanden (PÄLCHEN & WALTER, 2008). Sie sind Teil des wesentlich größeren Böhmisches Kreidebeckens, das eine Gesamtfläche von 14.600 km<sup>2</sup> besitzt (sächsischer Anteil rund 2.100 km<sup>2</sup>) und befinden sich an dessen nördlichem Rand (HERCÍK ET AL., 2003). Somit bilden die Sandsteine im Untersuchungsgebiet sowohl eine lithologische als auch hydrogeologisch eigenständige Einheit. Im Betrachtungsgebiet wurden die Sandsteine in Landnähe d. h. nahe der Küstenlinie abgelagert, was durch die weite Verbreitung von Konglomeraten und konglomeratischen Sandsteinen erklärt werden kann. Insgesamt sind die Kreideablagerungen des Zittauer Gebirges aus vorwiegend mittel- bis grobkörnigen, zum Teil konglomeratischen Sandsteinen aufgebaut (VOIGT ET AL., 2013). Ein wesentliches Merkmal für diese Sandsteinablagerungen ist deren starke tektonische und vulkanische Überprägung. So wurden nach der Ablagerung der Sandsteine durch tektonische Einwirkungen im Jungtertiär mehrere Störungen angelegt, an denen die Sandsteine zerbrochen und gegeneinander bis zu mehreren 100-erten Metern verschoben wurden. Damit im Zusammenhang stehen vulkanische Aktivitäten, in deren Folge eine Vielzahl von Vulkanitstöcken und Basaltgängen die Schichtenfolge durchschlugen. Markante Zeichen dieser vulkanischen Aktivität sind die Erhebungen der Lausche und des Hochwaldes. Ein weiteres sichtbares Merkmal des tertiären Vulkanismus sind die sogenannten gefritteten Sandsteine (VOIGT ET AL., 2013). Die Fritting ist das Ergebnis der Kontaktmetamorphose zwischen Sandstein und darin aufsteigendem Magma. Sie führt zu einer säuligen Ausbildung des Sandsteins. Den Untergrund – die sogenannte Kreidebasis – der mehrere 100 Meter mächtigen Sandsteine bilden kristalline Festgesteine (PÄLCHEN & WALTER, 2008; MÍŠAŘ ET AL., 1983). Der nördliche Rand des Untersuchungsgebietes wird durch die annähernd Westnordwest-Ostsüdost verlaufende Lausitzer Überschiebung gebildet. Nach der Ablagerung der Kreidesedimente wurde der nördliche Block des Lausitzer Massives

i spraše. V okolí povrchových vodních toků se vytvořily i nivní sedimenty pocházející z časů po poslední době ledové (holocén).

Hydrogeologický význam daného území spočívá mj. v tom, že pískovcový komplex nabízí ohromný objem pórů a puklin pro akumulaci podzemní vody (HERČÍK ET AL., 2003). Díky své celkově vysoké poréznosti (póry, pukliny) jsou pískovce velmi dobře propustné (VOIGT ET AL., 2013), a umožňují tak i dobrý pohyb podzemní vody v podloží kvartérních sedimentů.

Spodní, a tím i nejstarší část křídového souvrství je tvořena pískovci cenomanu. Nad ní jsou uloženy turonské a coniacké pískovce o mocnosti cca 750 m (VOIGT ET AL., 2013). Uvnitř těchto pískovcových vrstev se vytvořilo několik zvodní, které jsou vzájemně odděleny hydrologicky nepropustnými vrstvami – izolátory. V české části zájmového území rozlišujeme tři zvodně – A, BC a D. Spodní zvodně A je cenomanská, nad ní ležící zvodně BC a D se vytvořily v sedimentech turonu a coniacu. Zvodně A a BC jsou od sebe odděleny izolátorem z jemnozrnných pískovců a slínovců (spodní část bělohorského souvrství). Zvodně BC a D jsou vzájemně odděleny izolátorem z jílu a slínovců (CZ: teplicko-březenské souvrství; DE: lückendorfské souvrství) (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Podél lužické poruchy však vycházíme z toho, že zde izolátory vymizí, takže jsou zde zvodně hydraulicky vzájemně propojené (HERČÍK ET AL., 2003). To znamená pro německou část zájmového území, že je zde jedna zvodně s velkou mocností, tvořená pískovci cenomanu a turonu a pokračující jižně od státní hranice přímo na české území (odpovídá sjednocené zvodni ABC) (VOIGT ET AL., 2013; HERČÍK ET AL., 2003). Nad ní následuje po jediném izolátoru na německém území (CZ: teplické a březenské souvrství, DE: lückendorfské souvrství) nejvyšší zvodně ve svrchním turonu/spodním coniacu (zvodně D) (VOIGT ET AL., 2013). V nadzemních částech turonské zvodně se vyskytují méně propustné horizonty, které lokálně mohou vést k výronům podzemní vody na zemský povrch (VOIGT ET AL., 2013).

Vzhledem k vysoké propustnosti zejména turonského kolektoru (zvodně BC) a jeho velkoplošnému rozsahu v zájmovém území vykazuje tento kolektor vysoký potenciál tvorby podzemní vody v rámci celé česko-saské křídové pánve a je ho tak možné považovat za velmi produktivní i z hlediska tvorby zdrojů podzemních vod (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013).

bestehend aus Graniten und Granodioriten tektonisch aktiviert und über die Sandsteine aufgeschoben (VOIGT ET AL., 2013).

Partiell wird das Gebiet von geringmächtigen, quartären Sedimenten wie den eiszeitlich (Pleistozän) gebildeten Hangschuttdecken und südlich der Landesgrenze auch von Lössen bedeckt. Im Bereich der Oberflächengewässer haben sich nacheiszeitliche (holozäne) Auensedimente gebildet.

Die hydrogeologische Bedeutung des Gebietes besteht darin, dass der Sandsteinkomplex einen großen effektiven Porenraum für die Speicherung von Grundwasser besitzt (HERČÍK ET AL., 2003). Auf Grund der insgesamt hohen Porosität (sowohl in Poren als auch in Klüften) der Sandsteine besitzen diese eine gute Wasserdurchlässigkeit (VOIGT ET AL., 2013) und ermöglichen auf diese Weise auch ein gutes Strömungsverhalten des Grundwassers im geologischen Untergrund.

Der tiefste und damit älteste Teil des kreidezeitlichen Sedimentkomplexes wird durch die Sandsteine des Cenomans gebildet. Darüber lagern mit einer Mächtigkeit von ca. 750 m die Sandsteine des Turons und Coniacs (VOIGT ET AL., 2013). Innerhalb dieser Sandsteinschichten sind mehrere Grundwasserleiter (GWL) ausgebildet, die durch Grundwasserstauer voneinander getrennt sind. Im tschechischen Teil des Untersuchungsgebietes werden die drei Grundwasserleiter A, BC und D unterschieden. Der unterste Grundwasserleiter A ist im Cenoman, die darüber folgenden Grundwasserleiter BC und D sind im Turon und Coniac ausgebildet. Die Grundwasserleiter A und BC werden durch einen Grundwasserstauer aus feinkörnigen Sandsteinen und Mergelsteinen (CZ: basale Bílá hora Formation) voneinander getrennt. Die Grundwasserleiter BC und D werden durch einen Grundwasserstauer aus Ton- und Mergelsteinen voneinander separiert (CZ: Teplice- und Březno-Formation; DE: Lückendorf-Formation) (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Entlang der Lausitzer Überschiebung geht man jedoch davon aus, dass die Grundwasserstauer ausstreichen und somit die Grundwasserleiter hydraulisch miteinander verbunden sind (HERČÍK ET AL., 2003). Das bedeutet für den deutschen Teil des Untersuchungsgebietes einen mächtigen Grundwasserleiter aus den Sandsteinen des Cenoman und Turon der sich direkt südlich der Landes-

Podzemní voda těchto kolektorů lokálně komunikuje s povrchovou vodou a má zásadní význam jako zdroj velmi kvalitní pitné vody pro vodárenské zásobování.

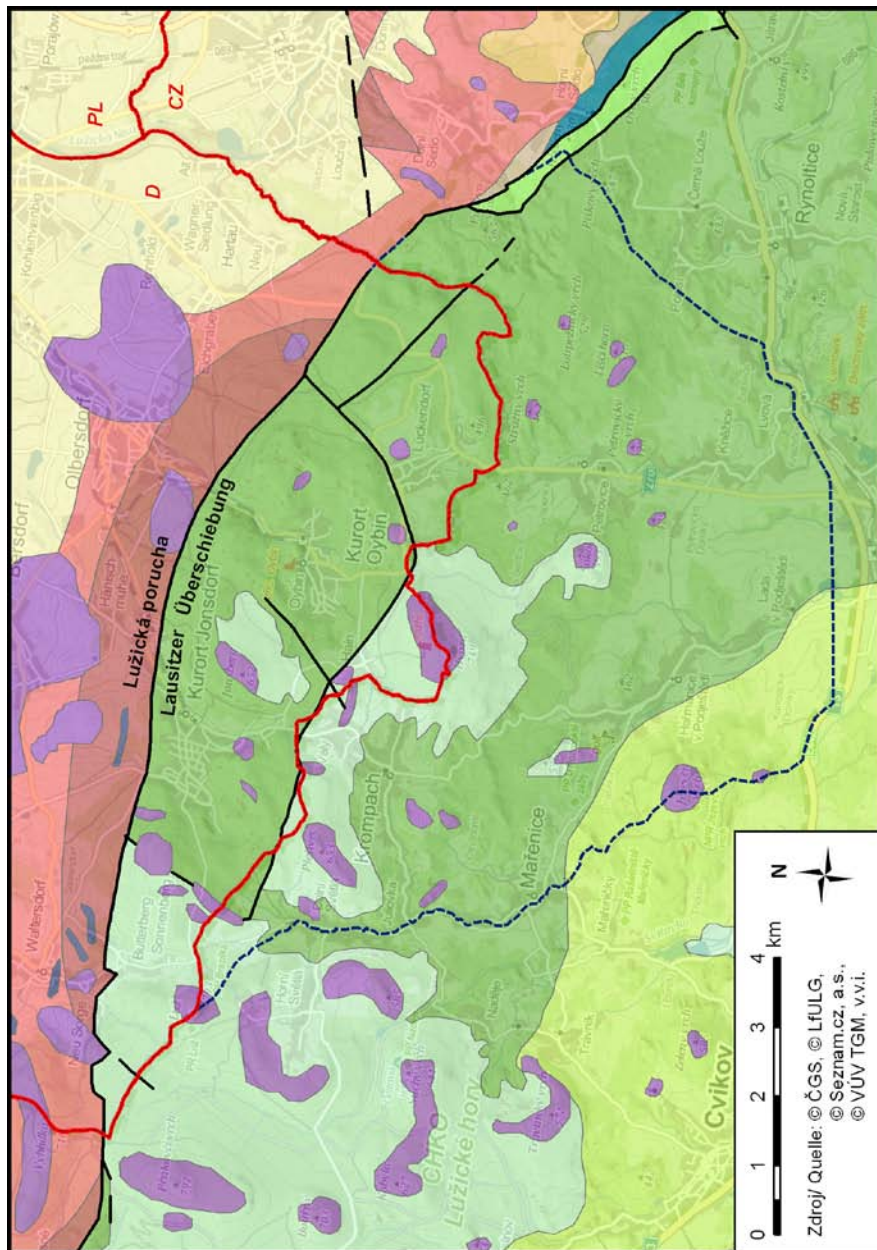


grenze auch auf tschechisches Gebiet fortsetzt (entspricht vereinigten GWL A + BC) (VOIGT ET AL., 2013; HERČÍK ET AL., 2003). Darüber folgt nach dem auf deutschem Gebiet einzigen Grundwasserstauer (CZ: Teplice- und Březno-Formation; DE: Lückendorf-Formation) der oberste Grundwasserleiter im Oberturon/ Unterconiac (GWL D) (VOIGT ET AL., 2013).

In den oberirdischen Teilen des mächtigen cenoman-turonen Grundwasserleiters treten partiell kalkig zementierte Horizonte mit geringerer Durchlässigkeit auf, die lokal zu Grundwasseraustritten an der Erdoberfläche führen können (VOIGT ET AL., 2013).

Auf Grund der oberflächigen Ausbildung und der hohen Permeabilität des turonen Grundwasserleiters (GWL BC) im Untersuchungsgebiet, besitzt dieser die höchsten Grundwasserneubildungsraten im sächsisch-böhmischen Kreidebecken (HERČÍK ET AL., 2003) und kann auch hinsichtlich der Bildung von Grundwasserressourcen als sehr produktiv angesehen werden. Das Grundwasser dieses Grundwasserleiters steht im hydraulischen Kontakt zu den Oberflächengewässern. Es wird für die Trinkwasserversorgung genutzt.

Mapa 2: Geologická mapa zájmového území / Karte 2: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes



### Třetihorní vulkanity a sedimenty

- čedič, nef. bazanit, nefelinit, fonolit. a trachyt. horniny, pyroklastika
- pisky, jíly, štěrky, uhelné slaje
- Křídové sedimenty**
- pískovce kvádrové, místy s jíly, vložkami (coniac-santon)
- pískovce, jílovce s vložkami pískovců (svrchní turon-coniak)
- pískovce, slínovce, jílovce a jíly (spodní až svrchní turon)
- pískovce, slepence, místy jílovce a uhelné slajky (cenoman)

### Prvohorní a starohorní horniny

- lamprofyry
  - biotitická žula hrubě zrnitá, místy drobně zrnitá, zčásti porfyrická
  - biotitický granodiorit středně zrnitý
  - porfyryty, diabasy, diabasové tufy
  - droby, fylitické břidlice, konglomeráty
  - fyliny
- zlom, tektonické poruchy
- státní hranice
- oblast Petrovice-Lückendorf -Jonsdorf-Oybin

### Tertiäre Vulkanite und Sedimente

- Basalte, Neph.-Basanite, Nephelinite, Phonolite, Trachyte, Pyroklastika
- Sand, Ton, Geröll, Kohleflöze
- Kreidesedimente**
- Quartzsandsteine, z.T. eingeschaltete Tonlagen (Coniac-Santon)
- Sandsteine, Tonsteine, z.T. eingesch. Sandsteinlagen (Oberturon-Coniac)
- Sandsteine, Mergelsteine, Tonsteine (Unter-bis Oberturon)
- Sandsteine, Konglomerate, teils Tonsteine und Kohleflöze (Cenoman)

### Präkambr. und Paläoz. Gesteine

- Lamprophyry
  - Biotit-Granit, grobkörnig, z.T. feinkörnig, z. T. porphyrisch
  - Biotit-Granit, mittelkörnig
  - Andesite, Diabas, Diabastuffe
  - Grauwacke, Porphyrtuffe, Konglomerate
  - Phyllite
- Tektonische Störungen
- Staatsgrenze
- Gebiet Petrovice-Lückendorf -Jonsdorf-Oybin



### 3 Vliv klimatu na vodní režim oblasti

Klima jako nosná složka vodního režimu krajiny má rozhodující vliv na vodní zdroje konkrétního území. Proto je pro trvale udržitelnou ochranu území obzvláště důležité a jeho vývoj je třeba analyzovat a hodnotit z hlediska působení na vodní zdroje.

V obou zemích existují projekty zaměřené na možný vliv klimatické změny na přirozený vodní režim a z toho vyplývající důsledky pro vodní hospodářství. Tyto projekty většinou pracují s regionálními klimatickými scénáři. Jde o klimatické modely, jejichž projekce popisují možný budoucí vývoj klimatu. Prognóza těchto scénářů končí v roce 2050, nebo až v roce 2100. V současné době jsou často využívány regionální klimatické scénáře z projektu ENSAMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com/>). Na saské straně se jedná např. o projekt KliWES (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8214.htm>). V České republice jsou k dispozici například i výsledky projektu Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (PRETEL ET AL., 2011).

Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, která se nachází na severu ČR a v nejzářší jihovýchodní části Svobodného státu Sasko, v oblasti Lužických hor, je možno přiřadit k oceánsky laděnému, mírnému klimatu (SMUL, 2008; TOLASZ ET AL., 2007). Vzhledem k jeho poloze vykazuje toto zájmové území výrazně kontinentálnější podmínky než západněji ležící oblasti, což se mimo jiné projevuje i vyšší teplotní amplitudou mezi ročním minimem a maximem (SMUL, 2008). Vzhledem k příkře se od severního předhůří zvedajícím Lužickým horám rostou s narůstající výškou rychle i srážky a v horských polohách pískovcové tabule dosahují hodnot 800 až 960 mm, na téměř 800 metrů vysokých vrcholcích pak pravděpodobně cca 1 000 mm ročního srážkového úhrnu (MANNSELD & RICHTER, 1995). Charakteristické jsou vydatné srážkové epizody v důsledku zadržování srážek, které se vyskytují v létě a v zimě, a to v důsledku severních, severovýchodních, ale i jihovýchodních povětrnostních situací (MANNSELD & RICHTER, 1995).

## Wirkung des Klimas auf den Wasserhaushalt **3**

Das Klima als treibende Komponente im Landschaftswasserhaushalt hat maßgeblichen Einfluss auf die Wasserressourcen eines Gebietes. Daher ist es für deren nachhaltigen Schutz besonders wichtig, das Klima und seine Entwicklung hinsichtlich seiner Wirkung auf den Wasserhaushalt zu analysieren und zu bewerten.

In beiden Ländern gibt es Projekte zum möglichen Einfluss des Klimawandels auf den natürlichen Wasserhaushalt und den daraus folgenden Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Diese Projekte arbeiten vorwiegend mit regionalen Klimaprojektionen, die mit Klimamodellen berechnet werden und die künftige mögliche Klimaentwicklung beschreiben. Die Projektionen werden bis zum Jahr 2050 oder sogar 2100 erstellt. Die Nutzung regionaler Klimaprojektionen ist z. B. aus dem Projekt ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com/>) möglich. In Sachsen beschäftigt sich das Projekt KliWES mit Klimawandel und Wasserhaushalt (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8214.htm>). In der Tschechischen Republik stehen die Ergebnisse des Projekts „Präzisierung der bisherigen Abschätzungen zu den Auswirkungen des Klimawandels in den Bereichen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft sowie Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen“ (PRETEL ET AL., 2011) zur Verfügung.

Das Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin befindet sich im äußersten Südosten des Freistaates Sachsen, wo es das Zittauer Gebirge umfasst, und im Norden der Tschechischen Republik. Großklimatisch kann das Gebiet den ozeanisch geprägten, gemäßigten Breiten zugeordnet werden (SMUL, 2008; TOLASZ ET AL., 2007). Auf Grund seiner Lage weißt das Untersuchungsgebiet schon deutlich kontinentalere Bedingungen auf als weiter westlich gelegene Gebiete, was sich unter anderem in einer höheren Temperaturamplitude zwischen Jahresminimum und -maximum äußert (SMUL, 2008). In Folge der schroffen Erhebung des Zittauer Gebirges über sein nördliches Vorland wachsen die Niederschläge rasch mit zunehmender Höhenlage an und erreichen in den Gebirgslagen der Sandsteintafel zwischen 800-960 mm und auf den knapp 800 m hohen

Jak již bylo zmíněno úvodem, je klima velmi důležitým faktorem ovlivňujícím vodní režim a má silný vliv na dynamiku a hladiny podzemních vod. Vyplyvá z toho otázka, jaký budou mít již zaznamenané a budoucí změny klimatu dopad na systém podzemních vod, a zejména pak na úrovně hladin podzemních vod. Abychom zjistili, zda jsou změny klimatických veličin (trendy) již zřetelné, je primárně nutné analyzovat naměřené časové řady klimatických údajů. Za tímto účelem se podíváme na dvě veličiny – teplotu a srážky.

Principiálně vychází výzkum klimatu z nárůstu globální průměrné teploty a s tím spojeného nárůstu obsahu vodní páry v atmosféře a přírůstků srážek (<http://www.wmo.int>). Tyto obecné trendy jsou však modifikovány regionálními podmínkami. Pro naši zájmovou oblast jsou nejdůležitějšími modifikačními faktory vzdálenost od moře, poloha, pozice hor ve vztahu k hlavnímu směru větrů a budoucí charakter povětrnostních situací (SMUL, 2008). Můžeme vycházet z toho, že v zájmové oblasti lze v budoucnu očekávat další zvýšení teploty a dlouhodobě zřejmě i snížení srážek, obzvláště v létě (od poloviny století) (LFULG, 2014).

Kromě nárůstu teploty vzduchu budou ovlivněny další meteorologické veličiny celého systému, jako např. výpar nebo skupenství srážek (dešť–sníh). Zvláště spolupůsobení změn teplot, srážek a výparu má přímý dopad na vodní režim. Tak např. vyšší teploty v zimě vedou k většímu výskytu dešťové formy srážek. S ohledem na to, a také v důsledku panujícího vegetačního klidu (menší výpar), se může zvýšit povrchový odtok vody v porovnání s chladnou zimou (sníh), což může adekvátně snížit podíl tvorby nové podzemní vody připadající na zimní období roku. Rozhodující vliv na tyto procesy má předcházející vlhkost půdy. Protikladem je vývoj, kdy při zvýšené teplotě v létě stoupá výpar, a tím se také snižuje množství vody vsakované do podzemí. Naprosto zásadní je pro vodní režim vývoj srážek. Krátkodobě až střednědobě je možné počítat s kompenzací většího výparu v létě setrvalým až mírně stoupajícím objemem srážek. Dlouhodobě však musíme počítat s úbytkem letních srážek a se změnou skupenství u srážek zimních (LFULG, 2014), což s sebou přinese pokles tvorby nové podzemní vody s odpovídajícími dopady na zdroje podzemních vod.

Bergkuppen wahrscheinlich ca. 1000 mm Jahresniederschlag (MANNSELD & RICHTER, 1995). Charakteristisch sind ergiebige Stauniederschläge im Sommer und Winter in Folge von Nord- und Nordwestwetterlagen als auch durch Südwestwetterlagen (Vb-Lagen) (MANNSELD & RICHTER, 1995).

Wie bereits zu Beginn erwähnt, ist das Klima der treibende Faktor für den Wasserhaushalt und beeinflusst damit direkt die Grundwasserdynamik und die Grundwasserstände. Somit leitet sich die Frage ab, inwieweit sich die bereits eingetretenen und künftigen Klimaveränderungen auf das Grundwassersystem und insbesondere den Grundwasserstand auswirken. Zunächst ist es dafür wichtig, gemessene Klimadatenreihen zu analysieren, um festzustellen, ob Veränderungen (Trends) in den Klimakenngrößen bereits sichtbar sind. Dazu sollen im Folgenden die zwei Größen Temperatur und Niederschlag betrachtet werden.

Prinzipiell geht die Klimaforschung im Mittel von einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und damit einhergehend einem Anstieg des Wasserdampfgehalts der Atmosphäre sowie einer Zunahme der Niederschläge aus (<http://www.wmo.int>). Diese allgemeinen Trends werden jedoch durch die regionalen Gegebenheiten modifiziert. Für das Untersuchungsgebiet sind die ausschlaggebenden Modifikationsfaktoren die Entfernung zum Meer, die Lage im Mittelgebirgsbereich, die Lage der Mittelgebirge zu den Hauptwindrichtungen sowie die zukünftige Ausprägung der Großwetterlagen (SMUL, 2008). Für das Untersuchungsgebiet kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft ein weiterer Temperaturanstieg und langfristig eine Abnahme der Niederschläge insbesondere im Sommer (ab Mitte des Jahrhunderts) zu erwarten ist (LFULG, 2014).

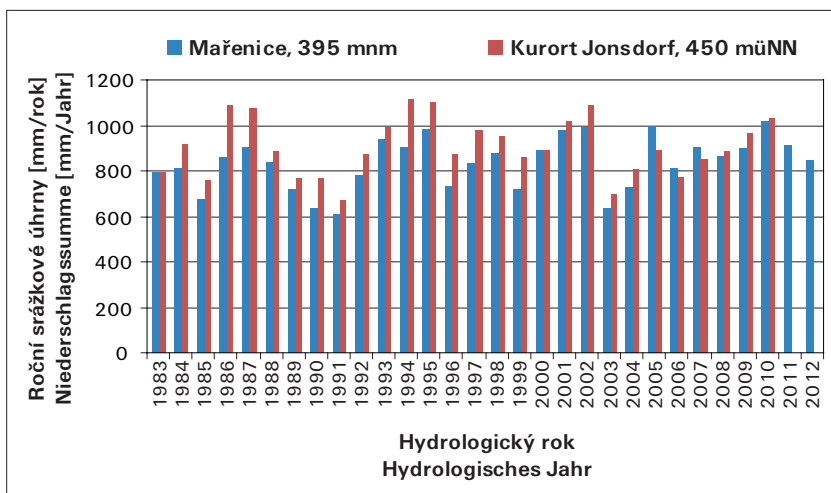
Neben dem Anstieg der Lufttemperatur werden weitere meteorologische Größen im Gesamtsystem wie z. B. Verdunstung oder der Aggregatzustand der Niederschläge (Regen – Schnee) beeinflusst. Insbesondere das Zusammenwirken der Veränderungen von Temperatur, Niederschlag und Verdunstung wirken sich direkt auf den Wasserhaushalt aus. So führen z. B. höhere Temperaturen im Winter verstärkt zu Niederschlägen in Form von Regen. Dadurch und aufgrund der herrschenden Vegetationspause (geringere Transpiration) kann der Oberflächenabfluss im

Dalším pozorovaným fenoménem vztahujícím se ke srážkám je to, že se při stabilních ročních srážkových úhrnech mění časové rozložení srážek, v letním období navíc roste jejich intenzita. Takzvané přivalové srážky mohou vyvolat extrémní události, jako jsou povodně. Příkladem jsou extrémní povodně z let 2010 a 2013, kterým předcházely právě velmi vysoké srážky. V závislosti na předchozím nasycení podloží vodou a době trvání vlhké periody však mohou i tyto přivalové srážky vést ke zvýšení tvorby nové podzemní vody v létě, jak se to ukázalo u povodní v letech 2010 a 2013. Ale při vysokém obsahu vláhy v půdě, resp. vyšším nasycení půdy vodou a velké intenzitě srážek, odtéká srážková voda hlavně povrchově, takže se z ní do podzemních vod dostane jen malý objem.

Výsledky Studie vlivu klimatu, která byla vypracována v rámci projektu GRACE, potvrdily poznatky předcházejících studií provedených v ČR PRETELEM ET AL. (2011) a v Sasku SMUL (2008) s následujícími výsledky:

Obr. 1: Roční úhrny srážek na měřicích stanicích Mařenice a Kurort Jonsdorf

Abb. 1: Niederschlagssummen bezogen auf das hydrologische Jahr an den Messstationen Mařenice und Kurort Jonsdorf



Vergleich zu kalten Wintern (Schnee) ansteigen und dementsprechend würde der Anteil der Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr abnehmen. Entscheidend wirkt sich auf diese Prozesse der Zustand der Bodenzone (Vorfeuchte, Bodengefrorenis) aus. Für das Sommerhalbjahr wird erwartet, dass bei erhöhten Sommertemperaturen die Verdunstung und damit auch die Zehrung des Grundwasserangebotes steigen. Essentiell für den Wasserhaushalt ist die Niederschlagsentwicklung. Kurz- und mittelfristig ist mit einer Kompensation der stärkeren Verdunstung im Sommer durch gleichbleibende oder leicht steigende Niederschläge zu rechnen. Langfristig wird jedoch mit einer Abnahme der Sommerniederschläge und mit wenig geänderten Winterniederschlägen gerechnet (LfULG, 2014), was eine Verminderung der Grundwasserneubildung mit entsprechenden Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen nach sich ziehen würde.

Ein weiteres zu beobachtendes Phänomen bezogen auf den Niederschlag ist, dass sich bei gleichbleibenden Jahresniederschlagssummen die Verteilung der Niederschläge ändert, d. h. die Niederschlagsintensität steigt. Diese sogenannten Starkniederschläge können Extremereignisse wie Hochwässer verursachen. Beispiele dafür sind die Hochwässer der Jahre 2010 und 2013, denen sehr hohe Niederschläge vorausgingen. Je nach Vorbefeuchtung des Untergrundes und Dauer der Feuchtperiode können diese Starkniederschläge jedoch auch zu erhöhten Grundwasserneubildungsraten im Sommer führen, wie die Hochwässer von 2010 und 2013 zeigten. Bei hoher Vorfeuchte im Boden bzw. Wassersättigung und/ oder geringer Dauer des Niederschlagsereignisses wird das Niederschlagswasser hauptsächlich oberflächlich abgeführt, so dass nur wenig Wasser in das Grundwasser gelangt.

Die Klimastudie im Rahmen des Projekts GRACE war eine Bestätigung für frühere Untersuchungen in der Tschechischen Republik von PRETEL ET AL. (2011) und in Sachsen von SMUL (2008) mit folgenden Ergebnissen:

Der Vergleich der Durchschnittstemperaturen in den Zeiträumen 1950–1981 und 1982–2012 ergab eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur, wobei die Temperaturzunahme im Frühjahr deutlicher ausfällt und im Herbst kaum Veränderungen eingetreten sind. Die Analyse der globa-

Z porovnání průměrných teplot pro období 1950–1981 a 1982–2012 vyplynulo zvýšení průměrné roční teploty, přičemž k nejméně výraznějšímu zvýšení dochází na jaře, a naopak na podzim jsou změny velmi malé. Z analýzy globálních klimatických scénářů CMIP5 vyplynulo, že zvyšování teploty bude s velkou pravděpodobností pokračovat i v budoucnu. U srážkových úhrnů byl v porovnávaném období zaznamenán mírný nárůst. Sezonně však pozorujeme na jaře pokles srážek, zatímco v ostatních ročních obdobích se srážky velmi mírně zvýšily.

Na obrázku 1 je dobře vidět vývoj ročních srážek. Jde o roční srážkové úhrny dvou meteorologických a srážkoměrných stanic (jejich poloha je vyznačena na mapě 1), které jsou pro naši zájmovou oblast reprezentativní, a to stanice Mařenice (ČR) a Kurort Jonsdorf (Sasko). Ani u jedné ze stanic nelze, vzhledem ke krátkému pozorovacímu období, identifikovat jednoznačnou tendenci ve vývoji srážek. Na stanici Kurort Jonsdorf se od začátku měření srážek v roce 1961 periodicky střídají fáze srážkově chudších a bohatších let. Zvýšení četnosti není v rámci uplynulé dekády viditelné. U srážkových dat obou stanic je dobře viditelný suchý rok 2003.

len Klimaszenarien von CMIP5 zeigt, dass sich die Temperaturerhöhung sehr wahrscheinlich auch in Zukunft fortsetzen wird. Hinsichtlich der Jahresniederschlagssummen wurde im Vergleichszeitraum ein leichter Anstieg registriert. Saisonal ist jedoch im Frühjahr eine Niederschlagsabnahme zu beobachten, während in den restlichen Jahreszeiten die Niederschläge ganz leicht anstiegen.

In Abbildung 1 ist die Entwicklung der Jahresniederschläge gut nachvollziehbar. Es sind die Jahresniederschlagssummen der zwei für das Untersuchungsgebiet repräsentativen Klima- und Niederschlagsmessstationen (s. auch Karte 1) Mařenice (Tschechische Republik) und Kurort Jonsdorf (Sachsen) dargestellt. Für beide Stationen ist keine eindeutige Tendenz der Niederschlagsentwicklung zu erkennen. Seit Beginn der Niederschlagsmessungen an der Station Kurort Jonsdorf im Jahr 1961 wechseln sich Phasen niederschlagsärmerer Jahre mit Phasen niederschlagsreicherer Jahre periodisch ab. Somit gab und gibt es in allen Dekaden der Messperiode überdurchschnittliche Jahresniederschläge. Eine Häufung in der vergangenen Dekade ist nicht erkennbar. Sehr deutlich sichtbar ist bei beiden Stationen das ausgeprägte Trockenjahr 2003.



## 4 Povrchové toky

Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin protíná rozvodí jak povrchových, tak i podzemních vod. Toto rozvodí velkých povodí řek Labe a Odry vzájemně odděluje sběrnou oblast Baltského a Severního moře. Zájmovým územím prochází evropské rozvodí generelně ve směru východ-západ, přibližně shodně s česko-německou státní hranicí (JORDAN & WEDER, 1995).

V důsledku jeho vyvýšené polohy se strmě klesajícím severním a povlnovým jižním spádem je zájmové území pramennou oblastí vodních toků, které odtékají jak na sever do povodí Odry, tak i a na jih do povodí Labe. Jedná se spíše o drobné vodní toky.

V českém teritoriu odtéká většina vodních toků na jih do řeky Ploučnice, která v Děčíně ústí do Labe. K těmto vodním tokům patří Svitávka, Heřmanický potok a Kněžický potok. Zčásti leží pramenné přítoky těchto potoků na německé straně, jako je tomu např. u Svitávky, jejíž prameny leží západně od obce Kurort Jonsdorf. Horní část povodí Kněžického potoka tvoří potok Lückendorfer Bach odtékající směrem na jih (VEB HYDROGEOLOGIE, 1976).

Na saském území je hlavní vodotečí Mandava, která teče severně od zájmového území, tedy severně od lužické poruchy přibližně ze západu na východ, od Großschönau přes Hainwalde do Zittau, kde ústí do Lužické Nisy, a patří tak do povodí Odry. Ze zájmového území odtékají na sever do Mandavy vodní toky Schwarzer Graben a Sorgewasser (oblast Waltersdorfu), Pochebach a Grundbach (Kurort Jonsdorf), Goldbach (Kurort Oybin), jakož i další bezejmenné potoky. Bílý potok, pramenící v těsné blízkosti státní hranice, teče jako hraniční tok směrem k Lužické Nise. Tyto potoky tekoucí na sever protínají lužickou poruchu a jejich koryta pak odtud probíhají krystalickými horninami Hornolužické pahorkatiny.

V pískovcovém území obecně existuje nerušená komunikace mezi podzemními a povrchovými vodami, takže např. potoky Grundbach a Poche-

Das Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin liegt im Bereich der oberirdischen und unterirdischen Wasserscheide, die die beiden großen Flusseinzugsgebiete von Elbe und Oder und damit die Einzugsgebiete von Ostsee und Nordsee voneinander trennt. Sie verläuft in etwa in West-Ost-Richtung annähernd parallel zur Tschechisch-Deutschen Staatsgrenze durch das Untersuchungsgebiet (JORDAN & WEDER, 1995).

Auf Grund seiner erhobenen Lage mit seiner steil abfallenden Nordabdachung und der flachen Südabdachung ist das Untersuchungsgebiet ein Quellgebiet für Wasserläufe, die nach Norden in das Einzugsgebiet der Oder und nach Süden in das Einzugsgebiet der Elbe entwässern. Insgesamt handelt es sich dabei um kleinere Fließgewässer.

Auf tschechischem Gebiet entwässern die meisten Oberflächengewässer nach Süden in den Vorfluter der Ploučnice, die bei Dečín in die Elbe mündet. Dazu zählen die Svitávka, der Heřmanický potok und Kněžický potok. Zum Teil liegen die Quellzuflüsse dieser Bäche auf deutscher Seite wie z. B. bei der Svitávka, deren Quellen sich westlich vom Kurort Jonsdorf befinden. Der obere Teil des Einzugsgebietes des Kněžický potok wird durch den nach Süden abfließenden Lückendorfer Bach gebildet (VEB HYDROGEOLOGIE, 1976).

Auf sächsischem Gebiet ist der Hauptvorfluter die Mandau, die nördlich des Betrachtungsgebietes und damit nördlich der Lausitzer Überschiebung annähernd von West nach Ost von Großschönau über Hainwalde nach Zittau fließt, wo sie in die Lausitzer Neiße mündet und somit das Gebiet in das Einzugsgebiet der Oder entwässert. Aus dem Untersuchungsgebiet fließen die Gewässer Schwarzer Graben und Sorgewasser (Raum Waltersdorf), Poche- und Grundbach (Kurort Jonsdorf) und der Goldbach (Kurort Oybin) sowie weitere namenlose Bäche nach Norden in die Mandau. Von tschechischer Seite nördlich der Wasserscheide kommend, fließt der Bily potok bzw. Weißbach in Richtung Lausitzer Neiße. Diese nach Norden entwässernden Bäche durchbrechen die Lausitzer



bach jsou napájeny převážně podzemní vodou (VEB HYDROGEOLOGIE, 1978b). Pokud lokálně přítok podzemní vody chybí, protože se koryto vodního toku nachází nad hladinou podzemní vody a vodní tok je napájen pouze srážkovou a povrchovou vodou, pak může povrchová voda vzhledem k velké propustnosti pískovců (VOIGT ET AL., 2013) lokálně velmi rychle prosáknout do podloží. To se odráží například na Kněžickém/Lückendorfském potoce, kterým v některých částech teče voda pouze po tání sněhu anebo po silných srážkách a jehož hraniční profil je po většinu roku bez povrchové vody (VEB HYDROGEOLOGIE, 1976; 1978a; ECKHARDT, 2013).

Průtoky, resp. vodní stavy nejsou v zájmovém území ani na české, ani na saské straně pravidelně sledovány, nebo nejsou sledovány vůbec. Učinit jednoznačné závěry k průtokovým poměrům těchto povrchových vod tak není možné.

◀ Obr 2: Bezvodý hraniční profil na Kněžickém/Lückendorfském potoce (vlevo) a hraniční Bílý potok (vpravo)



Abb. 2: Wasserloses Grenzprofil am Kněžický potok/Lückendorfer Bach (links) und Grenzwasserlauf Bílý potok (rechts)

---

Überschiebung und führen ab da Ihre Betten im Kristallingestein des Oberlausitzer Berglandes.

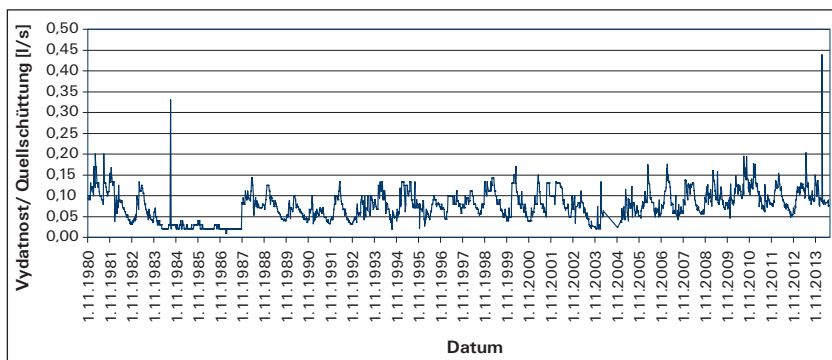
Generell besteht im Sandsteingebiet eine ungehinderte Kommunikation zwischen Grund- und Oberflächenwasser, so dass z. B. Grund- und Pochebach überwiegend durch Grundwasser gespeist werden (VEB HYDROGEOLOGIE, 1978b). Fehlt dieser Zustrom von Grundwasser, weil das Gewässerbett oberhalb der Grundwasseroberfläche liegt und das Fließgewässer nur durch Niederschlags- und Oberflächenwasser gespeist wird, kann das Oberflächenwasser auf Grund der hohen Permeabilität der Sandsteine (VOIGT ET AL., 2013) lokal sehr schnell im Untergrund versickern. Ein Beispiel dafür ist der Lückendorfer Bach (Kněžický potok), der nur nach der Schneeschmelze oder Starkniederschlagsereignissen Wasser führt und im Grenzbereich in einem Schwemmkegel vollständig versickert (VEB HYDROGEOLOGIE, 1976; 1978a; ECKHARDT, 2013).

Die Abflüsse bzw. Wasserstände der Fließgewässer werden weder auf der tschechischen noch auf der sächsischen Seite regelmäßig oder überhaupt erfasst. Somit sind Aussagen zum Abflussverhalten dieser Gewässer nicht möglich.

# 5 Prameny a pramenné oblasti

Nedílnou součástí posouzení vodního režimu oblasti a jeho vývoje je sledování vydatností pramenů a pramenných oblastí, jejich mapování a měření. Hlavně prameny, které jsou napájeny podzemní vodou z příporchové zóny zvodní nebo z kvartérních vrstev zadržujících vodu ve sva-hovinách a sutích, mohou velmi citlivě reagovat na přírodní změny, jako je například změna v časovém rozdělení srážek. Prameny, jejichž zdrojem vody jsou svrchní části hlubších zvodní, mohou citlivě reagovat na zá-sahy spojené s lidskou činností, jako jsou odběry podzemní vody.

Vyhledávání pramenů a měření jejich vydatnosti se provádělo od počát-ku roku 2012 až po léto 2013. Celkově bylo v zájmové oblasti a jejím bez-prostředním okolí nalezeno 213 pramenů, z toho 62 leží na saském úze-mí. Jelikož období od pozdního podzimu do časného jara představuje kvůli nízkým teplotám a vegetačnímu klidu (nízkému územnímu výparu) období s nejvyšší tvorbou nové podzemní vody (HÖLTING & COLDEWEY, 2009) a podloží je zpravidla hlavně v průběhu tání sněhu silně zamokřené, byly největší hodnoty vydatnosti pramenů naměřeny na jaře a v časném létě po srážkově bohatých periodách. V létě a na počátku podzimu docháze-lo k velkému poklesu vydatnosti, místy až k vyschnutí části jednotlivých pramenů. Těmito změnami jsou dotčeny obzvláště drobné prameny, kte-ré mají obecně malou vydatnost a jsou napájeny ze svrchních zvodní.



# Quellen und Quellgebiete 5

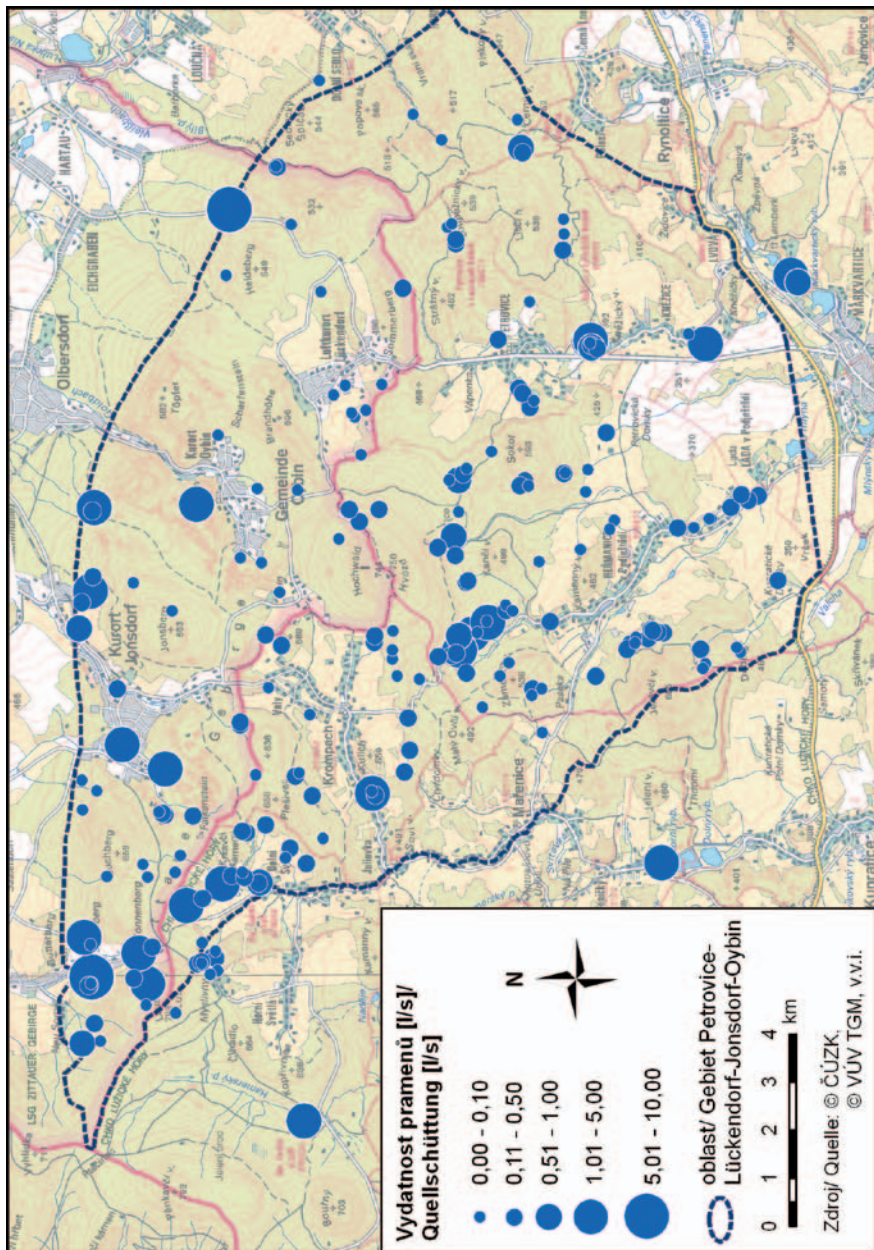
Für die Untersuchung des Gebietswasserhaushaltes und seiner Entwicklung ist es sehr aufschlussreich, die im zu betrachtenden Gebiet ausgebildeten Quellen und ihren Quellabfluss, die sogenannte Quellschüttung, zu kartieren und messtechnisch zu erfassen. Insbesondere Quellen, die durch Grundwasser aus den oberflächennahen Bereichen eines Grundwasserleiters oder in Folge wasserstauender Schichten im Hangschutt gespeist werden, können sehr empfindlich auf natürliche Veränderungen, wie z. B. eine veränderte Niederschlagsverteilung reagieren. Quellen können darüber hinaus auch auf anthropogene Eingriffe wie Grundwasserentnahmen ansprechen.

Im Zeitraum vom Frühjahr 2012 bis Sommer 2013 wurden die Quellen im Gelände erfasst und ihre Quellschüttung gemessen. Insgesamt wurden im Untersuchungsgebiet 213 Quellen aufgefunden, wovon 62 auf sächsischem Gebiet zum Teil in unmittelbarer Grenznähe liegen. Da der Zeitraum von Spätherbst bis Frühjahr aufgrund der winterlichen Temperaturen und der Vegetationsruhe (fehlende Transpiration) die höchsten Grundwasserneubildungsraten besitzt (HÖLTING & COLDEWEY, 2009) und der Untergrund in der Regel insbesondere während der Schneeschmelze stark durchfeuchtet ist, wurden die stärksten Quellschüttungsbeträge im Frühjahr sowie in bzw. nach niederschlagsreichen Perioden gemessen. In den Sommermonaten und im Frühherbst wurde ein starker Rückgang der Quellschüttung bis zum Versiegen einzelner Quellen beobachtet. Davon sind insbesondere kleine Quellen betroffen, die generell eine geringe Schüttung besitzen und aus den oberen Teilen des Grundwasserleiters oder aus dem Hangschutt gespeist werden. Zu diesen kleineren Quellen hinsichtlich der Schüttung ist die Quelle Lückendorf zu zählen. Im Abb. 3

---

◀ Obr. 3: Vývoj vydatnosti pramene Lückendorf

◀ Abb. 3: Ganglinie der Quellschüttung der Quelle Lückendorf



ist die Quellschüttung in der Messperiode von 11/1980 bis 07/2014 dargestellt. Es ist sowohl die innerjährliche Schwankung der Quellschüttung als auch gesamt ein leichter Anstieg derselben zu erkennen. Die Zunahme der Quellschüttung ist auf klimatisch etwas feuchtere Verhältnisse in den letzten zwei Dekaden zurückzuführen.

Demgegenüber ist die Schüttung derjenigen Quellen relativ konstant, die aus tieferen Teilen des Grundwasserleiters gespeist werden.

Die höchsten Quellschüttungsbeträge (Karte 3) wurden an den sächsischen Quellen in der Nähe der Lausitzer Überschiebung im nördlichen Teil des Gebiets gemessen, weil dort die Sandsteine des Zittauer Gebirges auf die Granodiorite der Lausitz treffen, so dass Grundwasser in sogenannten Überlaufquellen zum Austritt gezwungen wird (G.E.O.S. 1998). Die ergiebigsten Quellen dieser Art sind die König-Johann-Quelle und die Quellen des Bílý potok/ Weißbaches. Zahlreiche weniger ergiebige Quellen gibt es vor allem im tschechischen Teil des Gebietes. Die durchschnittliche Quellschüttung aller im Gebiet erfassten Quellen betrug im Beobachtungszeitraum rund 90 l/s (ECKHARDT, 2013).

Einige Quellen werden zur Trinkwasserversorgung genutzt. In Sachsen wird ein Teil der König-Johann-Quelle und das Quellgebiet des Grenzgewässers Bílý potok/ Weißbach genutzt.

Auch für das Untersuchungsgebiet kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das Schüttungsverhalten der Quellen ein wichtiger Indikator für die Ausprägung und langfristige Entwicklung des Wasserhaushal

- 
- ◀ Mapa 3: Vydatnost pramenů v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
  - ◀ Karte 3: Ergiebigkeit der Quellen im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin



Takovýmto pramenem je například sledovaný pramen v obci Lückendorf. Na obr. 3 je zachycen graf vývoje vydatnosti tohoto pramene v období měření od 11/1980 do 07/2014 a je zde jasně patrné kolísání vydatnosti v průběhu roku a mírný nárůst vydatnosti v posledních letech, způsobený srážkově o něco bohatšími poměry v posledních dvou dekadách.

Proti tomu vydatnost pramenů, které jsou napájeny z hlubších zvodní, je relativně konstantní.

Nejvyšší vydatnosti (mapa 3) byly v zájmové oblasti zaznamenány u saských pramenů v blízkosti lužické poruchy v severní části území, protože zde se křídové pískovce dotýkají granitoidů Lužického plutonu, takže podzemní voda vyvěrá prostřednictvím tzv. přetokových pramenů (G.E.O.S., 1998). Nejvydatnějšími prameny tohoto druhu jsou pramen König-Johann-Quelle a prameny oblasti Bílého potoka. Větší množství většinou méně vydatných pramenů se vyskytuje v české části zájmového území. Celková průměrná vydatnost všech v oblasti změřených pramenů dosahovala v monitorovaném období okolo 90 l/s (ECKHARDT, 2013).

Některé prameny jsou využívány k zásobování obyvatel pitnou vodou. V Sasku je například využívána část pramene König-Johann-Quelle a pramená oblast u hraničního Bílého potoka (Weißbach). I pro zájmové území je možné učinit závěr, že vývoj vydatnosti pramenů je důležitým indikátorem pro charakter a dlouhodobý vývoj vodního režimu. Výsledky měření provedených v rámci tohoto projektu jsou důležitou základnou pro další průzkumy, a tím i pro prognózu budoucího vývoje, která je nutná hlavně pro trvale udržitelnou ochranu podzemních vod.

Obr. 4: Drobný pramen Kočičí studánka

Abb. 4: Quellfassung Kočičí studánka



tes ist. Die Ergebnisse der im Projekt durchgeführten Messungen stellen einen wichtigen Grundstein für weitere Untersuchungen und somit für die Prognose der künftigen Entwicklung dar. Dies ist insbesondere für einen nachhaltigen Grundwasserschutz nötig.

## 6 Fauna podzemních vod

Oživení podzemních vod je obecně dosud málo probádáno. Kromě mikrobiálních společenstev (bakterie) osídlují podzemní vody i některé druhy živočichů, a to zejména zástupci skupiny korýšů (Crustacea). Z velké části jde o specializované druhy, plně adaptované na prostředí absolutní tmy, na malé množství potravy a především na velmi nízké koncentrace rozpuštěného kyslíku. Jde vesměs o živočichy drobných až mikroskopických rozměrů.

Výzkum živočišných společenstev podzemních vod má význam hned z několika důvodů. Především lze tyto organismy použít jako velmi dobré bioindikátory. Umožňují odlišit nedotčené zdroje podzemních vod od zdrojů

---

Obr 5: a) Měření hloubky vrtu a odběr vzorku podzemní vody pro stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku (Foto: M. Bílý)

Abb. 5: a) Grundwasserstandsmessung und Probenahme zur Bestimmung der Konzentration des gelösten Sauerstoffs (Foto: M. Bílý)



## Grundwasserfauna **6**

Die faunistische Besiedlung des Grundwassers ist bislang noch recht wenig erforscht. Neben den mikrobiellen Gemeinschaften (Bakterien) wird das Grundwasser auch von einigen Tierarten besiedelt, die besonders aus der Gruppe der Krebse (*Crustacea*) kommen. Zum großen Teil handelt es sich hierbei um Spezialarten, die sich an den Lebensraum mit ewiger Dunkelheit, das geringe Nahrungsangebot und vor allem die sehr geringen Konzentrationen an gelöstem Sauerstoff angepasst haben. Die grundwasserbewohnenden Tiere sind durchweg sehr klein bis mikroskopisch klein.

Die Untersuchung der Grundwasserfauna ist aus mehreren Gründen von Bedeutung. Diese Organismen sind zum einen sehr gute Bioindikatoren

---

Obr 5: b) Odběr vzorku fauny podzemních vod metodou instalace lapací sítě do pramenného vývěru (Foto: M. Bílý)

Abb. 5: b) Faunistische Grundwasserbeprobung mit Quellnetz (Foto: M. Bílý)



b)

narušených. Pomocí fauny lze dále vysledovat interakce mezi podzemní a povrchovou vodou. Na základě výskytu určitých živočichů je možno usoudit například na propojení mezi podzemními vodami a vyvěrajícími prameny. V neposlední řadě jde i o cenná faunistická data, jež přispívají k poznání biodiverzity dané oblasti a ke klasifikaci regionů podzemních vod (STEIN ET AL., 2012).

Získat přístup k podzemní vodě tak, aby z ní bylo možno odebrat vzorky fauny, je značně obtížné. V oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin jsme primárně použili metodu vzorkování sedimentů ze dna zčásti starých, dnes již nepoužívaných vrtů, a to pomocí specializovaného síťového sběrače – tzv. freatické sítě (MATZKE, 2006 v GUTJAHR ET AL., 2013). Prostor vrtů sice nepředstavuje původní prostředí výskytu fauny podzemních vod, působí ale jako past, kde se živočichové mohou akumulovat. V oblasti Lužických hor se však takovýchto vhodných vrtů nachází jen velmi malé množství. Většina místních vrtů je pro vzorkování fauny příliš hluboká, za léta nepoužívání silně zanesená sedimenty a v řadě z nich se u dna nenachází ani 1 mg/l rozpuštěného kyslíku. Druhou použitou metodou proto byla několikahodinová filtrace vyvěrající vody v prameništích. Takovýchto objemově vydatných pramenných vývěřů se v oblasti Lužických hor naopak nachází značné množství. Celkově byla fauna testována v šesti vrtech (z toho 1 na saské a 5 na české straně) a v pěti pramenných vývěřech (3 na saské straně, 2 na straně české). Vzorkování probíhalo od září 2012 do července 2013.

Ve vzorcích bylo identifikováno celkem 25 druhů fauny. Ve srovnání s oblastí Česko-saského Švýcarska byla v podzemních vodách Lužických hor zjištěna o něco větší druhová bohatost, to je však dáno především zahrnutím pramenných vývěřů do testované série lokalit. Zatímco v hydrogeologických vrtech bývá oživení často dáno především skutečnými zástupci fauny podzemních vod (tzv. stygobionty), v pramenech k nim přistupuje i fauna vod povrchových, především tzv. krenobionti (neboli fauna pramenných vývěřů). Přesto byl v testovaných vodách prokázán i výskyt osmi druhů typických jako fauna podzemní. Například ve vrtu Z1 (Lückendorf) byl opakovaně nalezen klanonožec *Graeteriella unisetigera* (obr. 6a). V pramenných vývěřech (König-Johann-Quelle) byl zjištěn velmi zajímavý koryš, a to bezkrunýrka *Bathynella natans* (obr. 6b), poprvé objevený v závěru 19. století českým profesorem Vejdovským ve studni v Praze na Malé Straně.

und ermöglichen es, intakte Grundwasserressourcen von gestörten zu unterscheiden. Mit Hilfe der Fauna lässt sich ferner die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktion untersuchen. Aufgrund der vorkommenden Tierarten kann man beispielsweise die Verbindungen zwischen dem Grundwasser und den Quellaustritten bewerten. Und nicht zuletzt geht es um wertvolle faunistische Daten, die zum Wissen über die Biodiversität des jeweiligen Gebietes und zur Klassifizierung der Grundwasserregionen beitragen (STEIN ET AL., 2012).

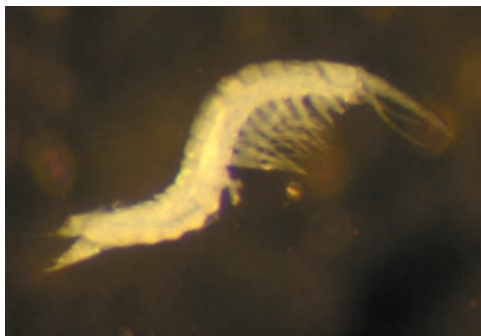
Der Zugang zum Grundwasser für die faunistische Beprobung ist relativ schwierig. Im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin wurde das Sediment vom Grund zum Teil alter, nicht mehr genutzter Messstellen mit Hilfe eines speziellen Netzsammlers, dem sogenannten phreatischen Netz (MATZKE, 2006 in GUTJAHR ET AL., 2013) beprobt. Die Grundwasserfauna reichert sich in den Messstellen an, die wie Fallen, wirken. Im Zittauer Gebirge gibt es aber nur wenige geeignete Messstellen. Die meisten sind für die faunistische Beprobung zu tief, wurden in den Jahren der Nichtnutzung stark mit Sedimenten zugesetzt und haben teilweise weniger als 1 mg/l gelösten Sauerstoff.

Im Weiteren wurde an den Quellen als zweite Methode die mehrstündige Filterung des austretenden Quellwassers angewandt. Es gibt im Zittauer Gebirge eine große Anzahl von Quellaustritten. Faunistisch wurden insgesamt 6 Grundwassermessstellen (davon 1 auf sächsischer, 5 auf tschechischer Seite) und 5 Quellen im Zeitraum von September 2012 bis Juli 2013 beprobt.

In den Proben wurden insgesamt 25 Tierarten gefunden. Im Vergleich zum Untersuchungsgebiet Sächsisch-Böhmische Schweiz wurde im Zittauer Gebirge ein größerer Artenreichtum festgestellt, was darauf zurückzuführen ist, dass hier überwiegend Quellen beprobt wurden. Während die Grundwassermessstellen deutlich durch echte Grundwasserorganismen (sog. Stygobionten) beeinflusst sind, stellt sich die Fauna in den Quellen stark oberflächenwassergeprägt dar, vor allem durch sogenannte Krenobionten (oder Fauna der Quellaustritte). Dessen ungeachtet wurden in den getesteten Wasserproben auch 8 grundwassertypische Tierarten nachgewiesen. So wurde zum Beispiel in der



a)



b)

Od té doby potvrzených výskytů bezkrunýřky přibylo (m.j. i v podzemních jeskyních, VIŠŇOVSKÁ & PAPÁČ, 2010), nicméně každý další nález tohoto živočicha je cenný.

Mezi faunou a hydrochemickými parametry zkoumané oblasti nebyly nalezeny téměř žádné signifikantní souvislosti, takováto absence korelací je však pro podzemní faunu typická (HAHN, 2006).

V protikladu k tomuto korelovala fauna velmi silně s podílem povrchových vod v pramenech – jasný doklad o vlivu vnosu povrchové vody na živočišná společenstva pramenů.

- ◀ Obr. 6: a) Klanonožec *Graeteriella unisetigera* (Foto: P. Rumm)  
b) Bezkrunýřka *Bathynella* sp. (Foto: H. J. Hahn)
  - ◀ Abb. 6: a) Hüpferling *Graeteriella unisetigera* (Foto: P. Rumm)  
b) Brunnenkrebs *Bathynella spec.* (Foto: H. J. Hahn)
- 

Grundwassermessstelle Z1 (Lückendorf) wiederholt der Hüpferling *Graeteriella unisetigera* gefunden (Abb. 6a). In den Quellnetzen (König-Johann-Quelle) wurde der sehr interessante Krebs *Bathynella natans* festgestellt (Abb. 6b), den der tschechische Professor Vejdovský erstmalig Ende des 19. Jahrhunderts in einem Brunnen auf der Prager Kleinseite entdeckt hatte. Seither hat die Zahl der bestätigten Brunnenkrebs-Funde zugenommen (u.a. auch in unterirdischen Höhlen, VIŠŇOVSKÁ & PAPÁČ, 2010), jeder weitere Fund dieses Tieres ist aber wertvoll.

Zwischen der Fauna und den hydrochemischen Parametern des Untersuchungsgebiets wurden fast keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt, diese fehlende Korrelation ist aber für die Grundwasserfauna typisch (HAHN, 2006).

Dagegen korrelierte die Fauna sehr stark mit dem Oberflächenwasseranteil in den Quellen – ein klarer Hinweis für die Bedeutung des Niederschlagswassereintrages für die Quellschüttung und die in den Quellen lebende Fauna.



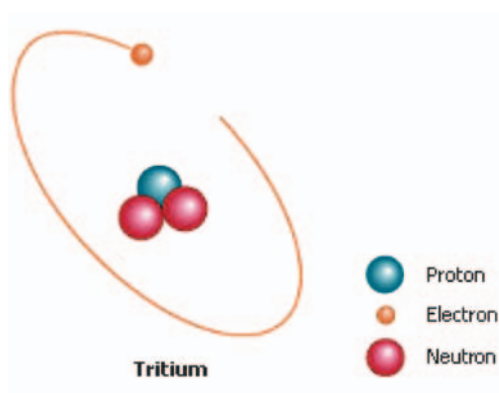
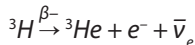
## 7 Stáří podzemních vod

Pro odhad stáří podzemních vod byla v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin použita tzv. tritiová metoda, která vychází ze stanovení objemové aktivity tritia ( $^3\text{H}$ ). Vzhledem ke známému poločasu rozpadu tritia je možné porovnáním koncentrace tritia ve srážkách jako vstupního signálu a koncentrace tritia ve vzorku podzemní vody vypočítat stáří podzemní vody.

Tritium ( $^3\text{H}$ ) je radioaktivní izotop vodíku, který objevil v roce 1934 lord Rutherford při ozařování těžké vody deuteriovým svazkem (PENZHORN, 2013). Protium ( $^1\text{H}$ ) je nejhojnější izotop vodíku, atom protia obsahuje jeden proton. Jako deuterium ( $^2\text{H}$ ) neboli těžký izotop vodíku se označuje atom, který obsahuje v jádře jeden proton a jeden neutron. Jádro tritia obsahuje jeden proton a dva neutrony. Skladba atomu tritia je schematicky znázorněna na obr. 7.

Národní institut pro standardy a technologie NIST (USA) uvádí poločas rozpadu tritia  $4500 \pm 8$  dní (tj. 12,31 roků), (LUCAS & UNTERWEGER, 2000).

Tritium podléhá beta rozpadu ( $\beta^-$ ) za vzniku 3-Helia ( $^3\text{He}$ ) (viz rovnice). Při rozpadu produkuje elektron ( $e^-$ ), antineutrino ( $\bar{\nu}_e$ ) a uvolňuje energii 18,6 keV (LUCAS & UNTERWEGER, 2000). Radioaktivní přeměna  $^3\text{H}$  na  $^3\text{He}$  je schematicky znázorněna na obr. 8.



## Alter des Grundwassers 7

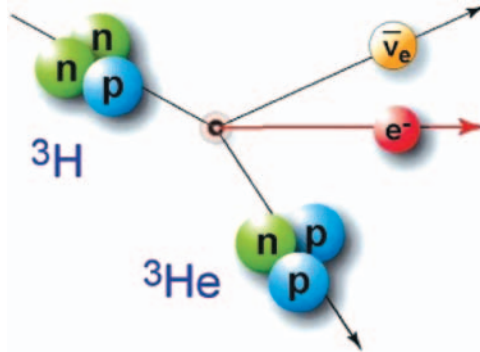
Für die Bestimmung von Alter und Mischung des Grundwassers im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin wurde das sogenannte Tritium-Alter ermittelt. Bei dieser Methode wird die Aktivität des radioaktiven Wasserstoffisotops Tritium ( $^3\text{H}$ ) bestimmt. Auf Basis der bekannten Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls von Tritium kann man über den Vergleich der Tritiumkonzentration im Niederschlag als Eingangssignal und der Tritiumkonzentration in der Grundwasserprobe das Alter des Grundwassers berechnen.

Tritium ( $^3\text{H}$ ) ist ein radioaktives Wasserstoffisotop, das 1934 von Lord Rutherford bei Bestrahlung des Schwerwassers durch Deuteriumbündel entdeckt wurde (PENZHORN, 2013). Protium ( $^1\text{H}$ ) ist das häufigste Wasserstoffisotop, das Protiumatom enthält ein Proton. Als Deuterium ( $^2\text{H}$ ) bzw. schweres Wasserstoffisotop wird der Wasserstoff bezeichnet, der im Atomkern ein Proton und ein Neutron besitzt. Der Tritiumkern hat ein Proton und zwei Neutronen. Der Aufbau des Tritiumatoms ist schematisch in Abb. 7 dargestellt.

Das Nationalinstitut für Standards und Technologien NIST (USA) gibt als Halbwertszeit für Tritium  $4500 \pm 8$  Tage (12,31 Jahre) an, (LUCAS & UNTERWEGER, 2000).

Tritium unterliegt dem Beta-Zerfall ( $\beta^-$ ) unter Entstehung von 3-Helium ( $^3\text{He}$ ) (siehe Formel). Beim Zerfall wird ein Elektron ( $e^-$ ), ein Antineutrino ( $\bar{\nu}_e$ ) und eine Energie von 18,6 keV frei gesetzt (LUCAS & UNTERWEGER, 2000).

- 
- ◀ Obr. 7: Schéma skladby atomu tritia ([www.newenergyandfuel.com](http://www.newenergyandfuel.com), 2013)
  - ◀ Abb. 7: Aufbauschema des Tritiumatoms ([www.newenergyandfuel.com](http://www.newenergyandfuel.com), 2013)



K vyjádření aktivity tritia se kromě SI jednotek (Bq/kg, Bq/l) používá i tritiová jednotka (tritium unit, TU). Je vyjádřena jako poměr atomů  ${}^3\text{H}$  a  ${}^1\text{H}$  (ROZANSKI & GRÖNING, 2004).

$$1\text{TU} = \left[ \frac{{}^3\text{H}}{{}^1\text{H}} \right] \times 10^{-18} = 0,11919 \pm 0,00021 \text{ Bq/kg}$$

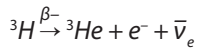
Přírodní tritium vzniká v oblasti vrchní troposféry a zejména spodní stratosféry reakcí rychlých neutronů kosmického záření s atmosférickým dusíkem. Vzhledem k tomu, že jde o endotermické reakce, jsou potřebné neutrony o energii vyšší než 4 MeV. Jedná se zejména o reakci dusíku ( ${}^{14}\text{N}$ ). K určení koncentrace  ${}^3\text{H}$  ve srážkách v době před jadernými testy, tj. koncentrace odpovídající pouze přirozeným procesům, byla využita měření  ${}^3\text{H}$  ve víně (z uzavřených lahví, bez přístupu vzduchu, známého ročníku). Z těchto měření byla stanovena přirozená koncentrace  ${}^3\text{H}$  ve srážkách v oblasti Bordeaux (Francie) 4,3 TU, v oblasti jezera Michigan (USA) 7,7 TU a v oblasti povodí Mississippi (USA) 5,2 TU. V zemské kůře vzniká tritium přirozenými procesy samovolného štěpení a radioaktivní přeměnou izotopů thoria a uranu, dále pak absorpcí neutronu např. borem. Tyto přírodní zdroje (jak v atmosféře, tak v zemské kůře) představují však méně než 1 % celkové produkce tritia a mohou být tedy při odhadu stáří vod zanedbány. Nejvýznamnějším umělým zdrojem tritia v životním prostředí byly v minulosti testy jaderných zbraní, a to především testy v atmosféře. Tritium z bombových testů je ideálním stopovacím indikátorem pro vodní prostředí, protože je zabudováno do molekuly vody, a proto se v podzemí neustále pohybuje stejně rychle jako voda. Tritium se primárně dostalo do vysokých vrstev stratosféry a postupně dochází k jeho pronikání do troposféry, a tím i do

◀ Obr. 8: Schéma rozpadu tritia ( $^3\text{H}$ ) na 3-helium ( $^3\text{He}$ )  
(www.newenergyandfuel.com, 2013)

◀ Abb. 8: Zerfallsschema von Tritium ( $^3\text{H}$ ) zu 3-Helium ( $^3\text{He}$ )  
(www.newenergyandfuel.com, 2013)

---

Die radioaktive Umwandlung von  $^3\text{H}$  zu  $^3\text{He}$  ist schematisch in Abb. 8 dargestellt.



Die Tritiumaktivität kann entweder über die Einheiten [Bq/kg] oder [Bq/l] oder die Tritium-Einheit [tritium unit – TU] angegeben werden. Sie stellt das Verhältnis zwischen  $^3\text{H}$ - und  $^1\text{H}$ -Atomen dar (ROZANSKI & GRÖNING, 2004).

$$1\text{TU} = \left[ \frac{^3\text{H}}{^1\text{H}} \right] \times 10^{-18} = 0,11919 \pm 0,00021 \text{ Bq/kg}$$

Das natürliche Tritium entsteht im Bereich der oberen Troposphäre und vor allem der unteren Stratosphäre durch eine Reaktion von schnellen Neutronen der kosmischen Strahlung mit dem Stickstoff der Atmosphäre. Weil es sich hierbei um endotherme Reaktionen handelt, besitzen die notwendigen Neutronen eine Energie von über 4 MeV. Es handelt sich vorwiegend um die Reaktion mit  $^{14}\text{N}$ -Stickstoff. Zur Bestimmung der natürlichen  $^3\text{H}$ -Konzentration in den Niederschlägen wurden Messungen in Wein (aus geschlossenen Flaschen, ohne Luftzutritt, bekannter Jahrgang) durchgeführt. Aufgrund dessen wurden natürliche  $^3\text{H}$ -Konzentrationen der Niederschläge im Bordeaux-Gebiet (Frankreich) von 4,3 TU, im Gebiet des Michigan-Sees (USA) von 7,7 TU und im Einzugsgebiet des Mississippi (USA) von 5,2 TU ermittelt. In der Erdkruste entsteht das Tritium durch natürliche Prozesse in Folge des radioaktiven Zerfalls von Thorium und Uran. Diese natürlichen Quellen stellen jedoch weniger als 1% der Gesamtproduktion von Tritium dar und können somit bei der Wasseraltersabschätzung vernachlässigt werden. Die bedeutendste künstliche Tritiumquelle in der Umwelt waren die in den 1950er und 1960er Jahren durchgeführten Kernwaffentests. Das sogenannte Bomben-Tritium ist ein idealer Marker im wässrigen Milieu, da es in das Wassermolekül eingebaut wird und sich demzufolge unterirdisch mit dem Wasser

srážek a podzemních vod. Nejvyšší koncentrace  $^3\text{H}$  v atmosféře byla pozorována v roce 1963, a to 6 000 TU (Ottawa, Kanada, měsíční měření ve srážkách) (PENZHORN, 2013).

Odběr vzorků podzemních vod pro stanovení stáří vod pomocí tritia v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin proběhl v letech 2012 až 2013. Příklady odběrných míst jsou zachyceny na obr. 9. Celkem byly odebrány vzorky podzemních vod z 12 vodárenských vrtů, 11 pozorovacích vrtů a pěti pramenů. Reprezentativní vzorek podzemní vody pro stanovení tritia byl vždy odebírán do dvoulitrové plastové vzorkovnice. Pro určení fyzikálně-chemických parametrů byl vzorek odebrán do dvou 250ml a jedné 100ml plastové vzorkovnice. Vzorky byly vždy odebírány v dynamickém stavu: v případě vodárenských vrtů probíhal odběr ze vzorkovacího kohoutu při spuštěném čerpadle. U pramenů probíhal odběr v těsné blízkosti prameniště z přirozeného vývěru, přepadového profilu nebo odtokové roury. Vzorky z pozorovacích vrtů a měřících stanic byly odčerpány pomocí přenosné čerpací techniky. V případě pozorovacích vrtů a měřících stanic byl proveden reprezentativní odběr vzorků po odčerpání minimálního množství podzemní vody, které odpovídalo třem objemům vrtu, nebo dokud indikační faktory – pH, obsah kyslíku a vodivost nedosáhly konstantní úrovně hodnot. Odběr vzorků podzemní vody probíhal v souladu s normou ČSN ISO 5667-11.

**Stanovení tritia** provedla laboratoř radioekologie VÚV TGM, v.i., pomocí kapalinové scintilační metody po elektrolytické koncentraci vzorku v souladu se standardem ČSN ISO 9698. Aktivita tritia byla stanovena za použití nízkopozadového kapalinového scintilačního detektoru Quantulus 1220



mitbewegt. Durch die Bombentests gelangte das Tritium in die höheren Stratosphärenschichten der Atmosphäre, von wo es allmählich in die Troposphäre und dadurch auch in die Niederschläge ausgetragen sowie ins Grundwasser eingetragen wurde/ wird. Die höchsten  $^3\text{H}$ -Konzentrationen in der Atmosphäre wurde 1963 mit 6.000 TU beobachtet (Ottawa, Kanada, Monatsmessungen der Niederschläge) (PENZHORN, 2013).

Die Probenahmen für die Altersbestimmung des Wassers mittels Tritium im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin erfolgten im Zeitraum von 2012 bis 2013. Einige Beispiele für Probenahmestandorte zeigt die Abb. 9. Insgesamt wurden Grundwasserproben aus 12 Trinkwasserbrunnen, 11 Grundwassermessstellen und 5 Quellen entnommen. An den Brunnen und Messstellen wurde eine repräsentative Probenahme mit einer Unterwassermotorpumpe durchgeführt, wo zunächst Grundwasser so lange abgepumpt wird (Abpumpen von mindestens dem 3-fachen des Bohrungsvolumens nach ČSN ISO 5667-11), bis die Indikator-Parameter pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Leitfähigkeit ein konstantes Wertenniveau anzeigen. Ist dieser Zustand erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass das Standwasser aus der Messstelle abgepumpt und die Probe aus „frischem“ Grundwasser gewonnen wird. Die Grundwasserprobe für die Tritiumbestimmung wurde in Zweiliter-Plastikflaschen abgefüllt. Für die Bestimmung der physikalisch-chemischen Parameter wurden Proben in zwei 250 ml und einer 100 ml Plastikflasche entnommen. An den Trinkwasserbrunnen wurde die Probe aus dem Beprobungshahn bei laufender Pumpe abgefüllt. Die Quellen wurden unmittelbar an ihrem natürlichen Austritt, an einem Überlaufrohr oder einem Abflussrohr beprobt.



---

Obr. 9: Lokality vybrané pro odběry vzorků

Abb. 9: Ausgewählte Probenahmestandorte

vyrobeného firmou Wallac. Výsledky analýzy se vyjadřují v Bq/l. Pro doplnění byly stanoveny fyzikálně-chemické parametry (pH, vodivost, teplota a dusičnany atd.). Analýzy fyzikálně-chemických a anorganických parametrů provedla Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů VÚV TGM, v.v.i., a Zkušební laboratoř technologie vody VÚV TGM, v.v.i.

### **Odhad stáří podzemních vod pomocí tritia**

Pod pojmem stáří podzemní vody ( $\tau$ ) se rozumí rozdíl mezi časem odběru vzorku ( $t$ ) a časem, kdy začal vzorek vody jako srážka prosakovat do půdy ( $t_0$ ). Pro určení stáří vzorku podzemní vody je nutné porovnání aktivity tritia v odebraném vzorku s jeho aktivitou ve srážkách daného regionu. Aktivita tritia ve srážkách podléhá časovým a místním změnám. Zaznamenáváme-li aktivitu tritia ve srážkách po určitou dobu, hovoříme o vstupní hodnotě ekologického indikátoru příslušné odběrové lokality (G.E.O.S., 2007; BRUTHANS & CHURÁČKOVÁ, 2011; BRUTHANS ET AL., 2012).

Pro odhad stáří vzorku podzemní vody byl použit základní vyhodnocovací model Piston-flow, který je vyjádřen následující rovnicí (MALOSZEWSKI & ZUBER, 1996):

$$A(t) = A(t_0) \times \exp^{-\lambda \times \tau}$$

kde:

$A(t)$  aktivita tritia v podzemní vodě v čase  $t$  (TU),

$A(t_0)$  aktivita tritia ve srážkách v čase  $t_0$  (TU),

$\lambda$  rozpadová konstanta tritia ( $r^{-1}$ ),

$\tau$  stáří podzemní vody ( $r$ ).

Jako vstupní hodnota ekologického indikátoru pro oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin byla použita aktivita tritia ve srážkách – byly použity dvě časové řady ze dvou lokalit:

- Lokalita Freiberg leží 50 km jihozápadně od Drážďan v SRN. Monitoring tritia ve srážkách zde probíhá od roku 1969 kontinuálně v měsíční periodě. Použitá data zahrnují období 1985 až 2010 (LFULG, 2012).
- Lokalita Hohe Warte se nachází ve Vídni v Rakousku a monitoring tritia ve srážkách zde probíhá kontinuálně v měsíční periodě. Použitá data zahrnují období 1961 až 2009 (<http://www.iaea.org>, 2014).

**Die Tritiumbestimmung** hat das Labor für Radioökologie des VÚV TGM, v.v.i. mittels eines Flüssig-Szintillationsverfahrens nach elektrolytischer Anreicherung der Probe (ČSN ISO 9698) durchgeführt. Die Tritiumaktivität wurde unter Einsatz des Flüssig-Szintillationszählers Quantulus 1220 der Firma Wallac ermittelt. Die Ergebnisse der Analyse werden in Bq/l angegeben. Ergänzend dazu wurden physikalisch-chemische Parameter (pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Nitrat usw.) im Labor für anorganische Chemie des VÚV TGM, v.v.i. bestimmt.

### **Bestimmung des Grundwasseralters mit Tritium**

Unter dem Begriff „Grundwasseralter“ ( $\tau$ ) versteht man die Differenz zwischen dem Zeitpunkt, an dem das Niederschlagswasser an der Erdoberfläche zu versickern begann ( $t_0$ ), und dem Probenahmezeitpunkt ( $t$ ). Somit ist das Grundwasseralter gleichzeitig ein Maß für die Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund bis zur Probenahme. Zur Altersbestimmung der Grundwasserprobe muss die Tritiumaktivität in der Probe mit der in den Niederschlägen der jeweiligen Region verglichen werden, da der Tritiumgehalt zeitlichen und örtlichen Veränderungen unterliegt. Für die Altersbestimmung ist es wichtig, die Tritiumaktivität des Niederschlages langfristig zu erfassen. Diese Zeitreihe kann dann als Eingangswert für die jeweilige Entnahmestelle verwendet werden (G.E.O.S., 2007; BRUTHANS & CHURÁČKOVÁ, 2011; BRUTHANS ET AL., 2012).

Für die Berechnung des Alters der Grundwasserproben wurde das sogenannte Piston-Flow-Modell verwendet, dem folgende Gleichung zugrunde liegt (MALOSZEWSKI & ZUBER, 1996):

$$A(t) = A(t_0) \times \exp(-\lambda \times \tau)$$

Wobei:

$A(t)$  Tritiumaktivität in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  in TU,

$A(t_0)$  Tritiumaktivität des Niederschlages in Abhängigkeit von der Zeit  $t_0$  in TU,

$\lambda$  Zerfallskonstante von Tritium in Jahren ( $a^{-1}$ ),

$\tau$  Alter des Grundwassers in Jahren (a).

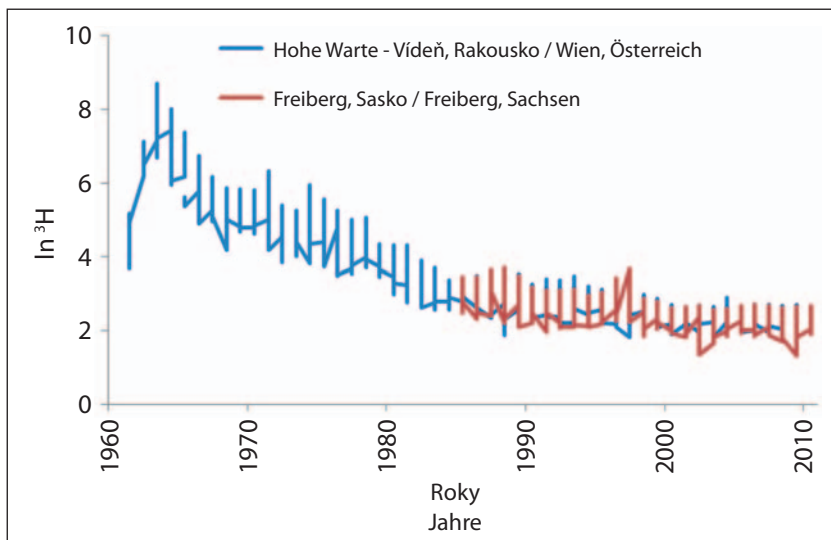
Als Eingangswert für die Tritiumkonzentration für das Gebiet Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin wurden die Niederschlagswerte der folgenden zwei Stationen verwendet:



Trend obsahu tritia ve srážkách na stanici Freiberg a Hohe Warte je znázorněn na obr. 10.

Výsledky stáří podzemních vod byly pro lepší přehlednost rozčleněny na šest časových intervalů a graficky vyneseny do mapy stáří podzemních vod s vyznačenými kolektory, která zobrazuje jednotlivé zkoumané objekty (mapa 4).

V oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin byly identifikovány podzemní vody různého stáří, což pomáhá určit jejich původ v kolektorech podzemní vody (ŠIMEK, 2014). Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin představuje významnou oblast zásob podzemních vod s poměrně variabilním stářím. Vzhledem k absenci poloizolátoru mezi kolektory 2 a 3 je komunikace mezi kolektory značná, což je patrné v celé části zájmové oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin. Principiálně je znatelné zvyšování stáří podzemní vody směrem k jihu. Tento výsledek je v souladu s výsledky práce ALVARADO ET AL. (2013). Stáří podzemních vod bude vhodné upřesnit metodou stanovení  $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$ .



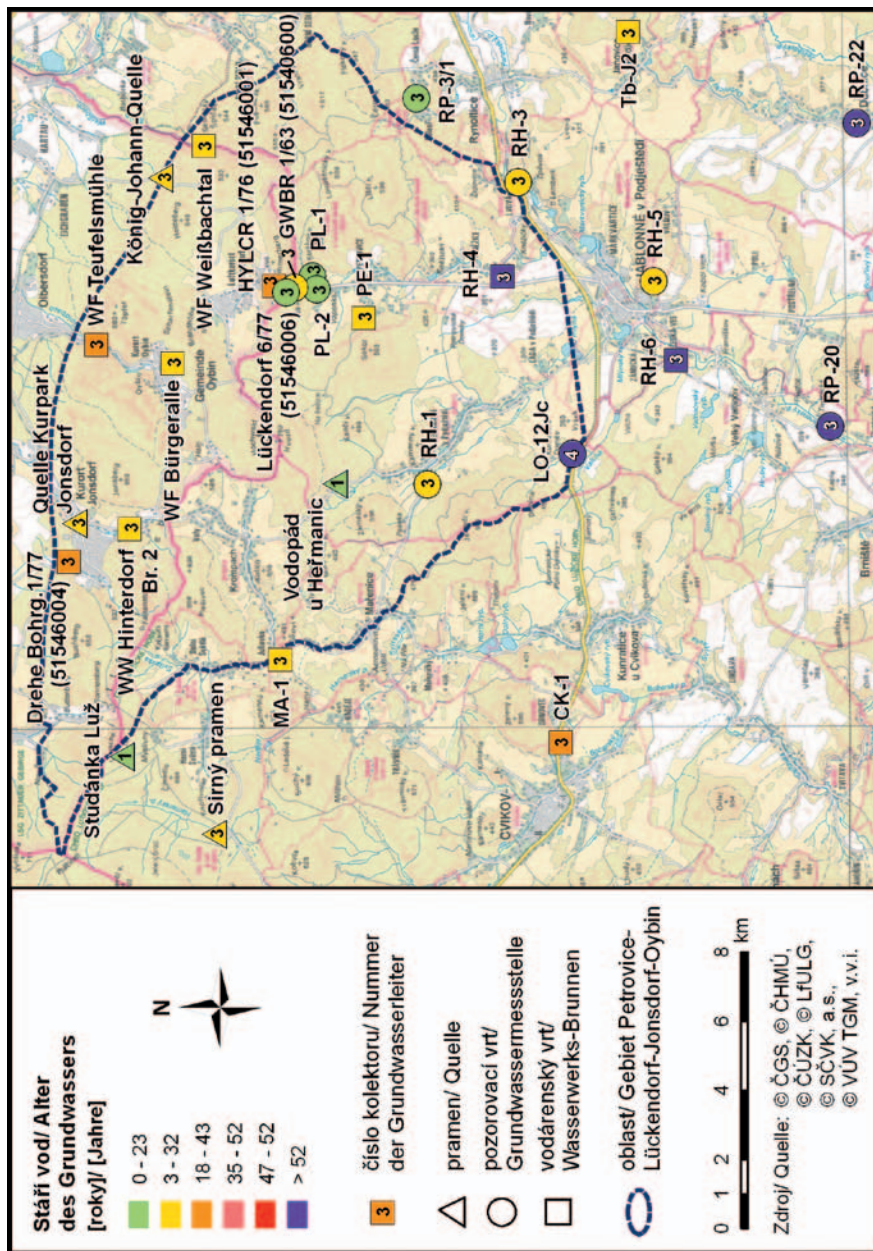
- Der Standort Freiberg befindet sich 50 km südwestlich von Dresden in Deutschland. Hier werden seit 1969 monatlich die Tritiumgehalte des Niederschlages gemessen. Für die Berechnungen wurden die Daten der Periode 1985–2010 verwendet (LfULG, 2012).
- Die Station „Hohe Warte“ befindet sich in Wien (Österreich) und führt das monatliche Tritium-Monitoring der Niederschläge seit 1961 durch. Die verwendeten Daten umfassen die Periode 1961–2009 (<http://www.iaea.org>, 2014).

Der Trend des Tritiumgehaltes in den Niederschlägen in den Messstationen Freiberg und Hohe Warte ist Abb. 10 zu entnehmen.

Die Ergebnisse für das Grundwasseralter wurden für eine bessere Übersichtlichkeit in sechs Zeitintervalle gegliedert und in einer Karte für das Untersuchungsgebiet dargestellt (Karte 4).

Im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin wurden Grundwässer unterschiedlichen Alters identifiziert, was unter anderem hilfreich für ihre Zuordnung zu den Grundwasserleitern ist (ŠIMEK, 2014). Das Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin ist ein Gebiet mit bedeutenden Grundwasserressourcen. Da zwischen den GWL 2 und 3 der Geringleiter fehlt, gibt es eine starke Kommunikation zwischen den GWL, was sich im gesamten Untersuchungsgebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin bemerkbar macht. Für das Untersuchungsgebiet an sich kann mit den derzeit vorliegenden Daten kein eindeutiger Trend hinsichtlich des Wasseralters festgestellt werden. Prinzipiell ist in südliche Richtung ein Anstieg

- 
- ◀ Obr. 10: Trend obsahu tritia ve srážkách na stanici Freiberg, Sasko (LfULG, 2012) a Hohe Warte-Videň, Rakousko (<http://www.iaea.org>, 2014); koncentrace tritia je uvedena v přirozených logaritmech
  - ◀ Abb. 10: Trend des Tritiumgehaltes in den Niederschlägen an den Stationen Freiberg, Sachsen (LfLUG, 2012) und Hohe Warte-Wien, Österreich (<http://www.iaea.org>, 2014); (y-Achse logarithmisch skaliert)



des Grundwasseralters zu erkennen. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung zu den Ergebnissen von ALVARADO ET AL. (2013). Das Wasseralter sollte unter Anwendung der  $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$ -Methode präzisiert werden.



- 
- ◀ Mapa 4: Stáří podzemních vod s vyznačenými kolektory v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin
  - ◀ Karte 4: Alter des Grundwassers im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

## 8 Odběry vody a jejich vývoj

Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin je významnou oblastí pro zásobování kvalitní pitnou vodou, v níž dochází k odběrům podzemní vody pro tyto účely jak na českém, tak i na saském území. Je to způsobeno výskytem mocných kolektorů v křídových pískovcích, zejména turonského stáří. Převažující část pitné vody se získává čerpáním z hlavního turonského kolektoru a jen menší část pochází z jímání pramenů.

Významně vyšší jsou odběry podzemních vod na saské straně zájmového území. Zde byla a je intenzivněji odebírána voda z podzemních zdrojů Lužických hor od konce 70. let až začátku 80. let minulého století, a to pro zásobování vodou města Žitava (Zittau) a jeho tehdy nově vzniklého sídliště Zittau-Hirschfelde (VEB HYDROGEOLOGIE, 1978a). Jak ukazuje obr. 11, uskutečnily se nejvyšší odběry v 80. letech, sumárně ze všech odběrových zdrojů to činilo až 170 l/s. Po změně politického režimu 1989/90 se odběry vody značně snížily a v 90. letech kolísaly mezi 40 a maximálně 60 l/s. Počínaje rokem 2001 se odběry opět mírně navýšily, přesto ale činí již méně než polovinu odběrů vody před rokem 1990. Odběry provádějí dvě vodárenské společnosti – SOWAG (Südoberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungs mbH) a Stadtwerke Zittau GmbH. Od roku 2001 se ze všech odběrových míst sumárně odebírá v průměru 78 l/s. Z toho asi 58 l/s pochází ze studní. Nejdůležitější odběrová místa se nacházejí v obcích Oybin (studny Teufelsmühlwiese a Schulwiese) a Jonsdorf (jímací území „An der Drehe“, Hilde Coppi a Hinterdorf). Pro zásobování pitnou vodou se dále využívají jímací oblast Weißbachtal s cca 20 l/s, prameny Oybin-Hochwald a částečně König-Johannquelle a Oybin-Elfenwiese (obr. 12). Mezi lety 1988 a 2005 bylo v Lužických horách z 32 odběrových zařízení 17 zařízení odstaveno z provozu.

Nejvýznamnějším jímacím územím v české části oblasti je jímací území Kněžice v povodí Kněžického potoka. Vodu z tohoto jímacího území odebírají Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. (SČVK). Z tohoto zdroje dochází k zásobování pitnou vodou zejména u města Jablonné v Pod-

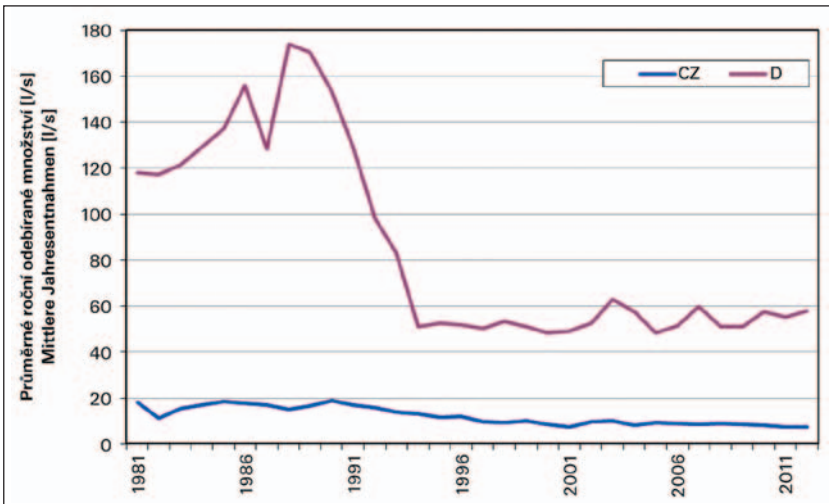
# Wasserentnahmen und ihre Entwicklung 8

Das Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin ist auf Grund des in den kreidezeitlichen Sandsteinen ausgebildeten, mächtigen turonen Grundwasserleiters ein wichtiges Trinkwasserversorgungsgebiet, wo sowohl auf tschechischer als auch auf sächsischer Seite Grundwasser für die Trinkwasserversorgung entnommen wird. Überwiegend wird das Trinkwasser aus dem turonen Grundwasserleiter gewonnen, daneben werden auch einige Quellen für die Versorgung der Bevölkerung genutzt.

Die deutlich höheren Grundwasserentnahmen finden auf der sächsischen Seite des Untersuchungsgebietes statt. Hier wurden und werden die Grundwasserressourcen des Zittauer Gebirges seit Ende der 1970er/

Obr. 11: Vývoj odebíraného množství podzemních vod

Abb. 11: Entwicklung der Grundwasserentnahmen



ještědí. V současnosti je tu odebíráno okolo 7 l/s, údaje vycházejí z vodohospodářské bilance (<http://heis.vuv.cz>).

Odběry podzemních vod z dalších jímacích území na české straně jsou nižší. Je odebírána podzemní voda pro místní spotřebu. Takovéto odběry jsou v Krompachu a u osady Polesí (<http://heis.vuv.cz>). Celkové odběry z české části zájmového území v minulosti dosahovaly až k 20 l/s, v současnosti nepřesahují 10 l/s.

Kromě toho existují na české straně drobné odběry zásobující vodou jednotlivé domy apod., ty však nejsou kvůli velmi malým množstvím čerpané vody relevantní.

Obr. 12: Jímané prameny Oybin-Hochwald

Abb. 12: Quellfassungen Oybin-Hochwald



Beginn der 1980er Jahre verstärkt für die Versorgung der Stadt Zittau mit dem damals entstehenden Neubaugebiet Zittau-Hirschfelde genutzt (VEB HYDROGEOLOGIE, 1978a). Wie in der Abb. 11 erkennbar, fanden die höchsten Entnahmen in den 1980er Jahren statt und erreichten aus allen Fassungen bis zu 170 l/s. Nach der politischen Wende 1989/ 90 gingen die Entnahmen drastisch zurück und schwankten zwischen 40 und maximal 60 l/s in den 1990er Jahren. Seit 2001 sind die Entnahmen wieder leicht angestiegen, betragen aber weniger als die Hälfte der Entnahmen von vor 1990. Durch die regionalen Wasserversorger SOWAG (Süd-Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH) und die Stadtwerke Zittau GmbH wurden seit 2001 im Mittel 78 l/s aus allen Fassungen entnommen. Davon stammen rund 58 l/s aus Brunnenfassungen. Die wichtigsten Wasserfassungen befinden sich in den Gemeinden Oybin (Brunnen Teufelsmühle und Schulwiese) und Jonsdorf (Fassungen „An der Drehe“, Hilde-Coppi und Hinterdorf). Des Weiteren wird das Quellgebiet Weißbachtal mit ca. 20 l/s, die Quellen Oybin-Hochwald sowie teilweise die König-Johann-Quelle und Oybin-Elfenwiese für die Versorgung genutzt (s. Abb. 12). Seit 1988 bis 2005 wurden von den insgesamt 32 Fassungsanlagen im Zittauer Gebirge 17 still gelegt.

Das größte Fassungsgebiet auf der tschechischen Seite ist die Fassung Kněžice, die im oberirdischen Einzugsgebiet des Baches Kněžický potok liegt. Das Grundwasser aus diesem Fassungsgebiet wird von der Gesellschaft „Nordböhmische Wasser und Abwasser AG“ (SČVK) entnommen und vor allem für die Trinkwasserversorgung der Stadt Jablonné v Podještědí verwendet. Gegenwärtig werden rund 7 l/s entnommen. Diese Angabe basiert auf der Wasserbilanz des hydroökologischen Informationssystem des VÚV TGM.

Die Grundwasserentnahmen aus anderen Fassungen auf der tschechischen Seite liegen niedriger. Es wird nur Wasser für den örtlichen Bedarf entnommen, wie z.B. in Kropáč und in der Ortschaft Polesí (<http://heis.vuv.cz>). Insgesamt wurden im tschechischen Teil früher bis zu 20 l/s entnommen, derzeit sind es höchstens noch 10 l/s. Daneben gibt es auf der tschechischen Seite noch einige kleinere Fassungen, die Einzelgrundstücke versorgen, deren geringe Fördermengen aber nicht relevant sind.



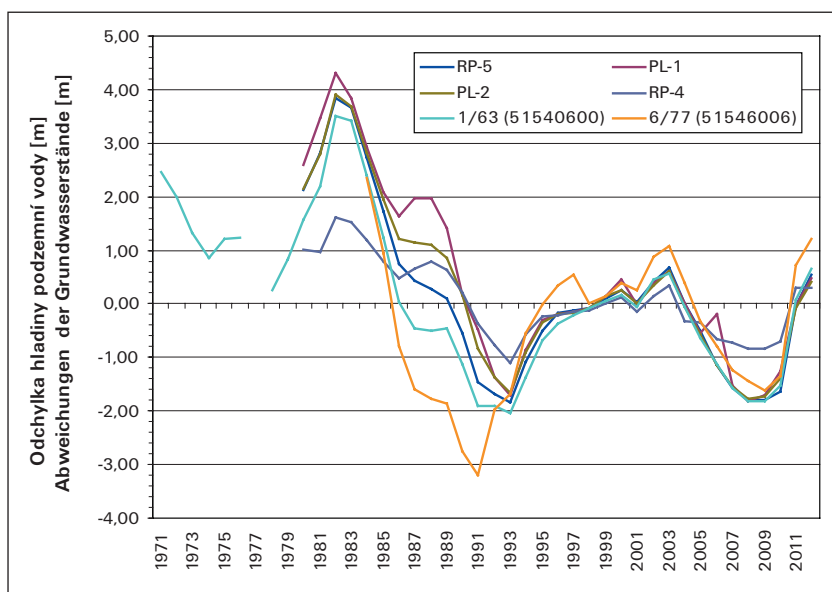
## 9 Vývoj hladin podzemních vod

Od sedmdesátých let minulého století byly pozorovány jak na českých, tak i na saských pozorovacích vrtech určených pro měření podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin poklesy hladin podzemních vod. Tento vývoj je pro vybrané saské a české vrty zobrazen na obr. 13.

Hodnoty na obrázku byly získány v rámci státní pozorovací sítě pro podzemní vody Svobodného státu Sasko (<http://www.grundwasser.sachsen.de>) a sledování na české straně, které provozuje AQUATEST, a.s. Graf znázorňuje

Obr. 13: Vývoj hladin podzemních vod na pozorovacích vrtech v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

Abb. 13: Entwicklung der Grundwasserstände an Messstellen im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin



## Entwicklung der Grundwasserstände **9**

Seit den 1970er Jahren wurden im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin sowohl an tschechischen wie auch an sächsischen Grundwassermessstellen stark schwankende bzw. sinkende Grundwasserstände beobachtet. Diese Entwicklung ist für ausgewählte sächsische und tschechische Messstellen in Abbildung 13 dargestellt.

Die in Abbildung 13 dargestellten Werte werden im Rahmen des staatlichen Grundwassermessnetzes des Freistaates Sachsen (<http://www.grundwasser.sachsen.de>) und auf tschechischer Seite von der Fima AQUATEST, a.s. erhoben. Die Graphik stellt die Schwankungen der Grundwasserstände (Jahresmittel) an ausgewählten Grundwassermessstellen um den Mittelwert (Median) im jeweiligen Überwachungszeitraum dar.

Prinzipiell ist eine Abhängigkeit der Grundwasserstände im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin von den Niederschlägen und damit von der Grundwasserneubildung zu beobachten. Das zeigen eigene Auswertungen wie auch die Ausführungen in G.E.O.S. (1998). Die Maxima und Minima der Grundwasserneubildung markieren sich in den Wasserständen. Wobei zwischen Niederschlagsimpuls und Reaktion des Grundwasserstandes eine Reaktionszeit von mindestens 2 Jahren beobachtet werden kann (G.E.O.S., 1998).

Neben diesen natürlichen Einflussfaktoren kann jedoch auch davon ausgegangen werden, dass sich die anthropogenen Grundwasserentnahmen auf die Entwicklung der Grundwasserstände auswirkten. Für den Raum Lückendorf ist ein direkter Vergleich von Grundwasserstandsganglinien und Entnahmemengen möglich. Hier war ein starkes Absinken der Grundwasserstände seit 1983 bis 1993 zu beobachten. Während die erste Absinkphase von 1983–1987 bei geringeren Entnahmen zwischen 1978 bis 1983 wahrscheinlich auf natürliche Einflüsse (Trockenjahr 1982) zurück geführt werden kann, kann die zweite Absinkphase von 1989–1993 auch durch seit 1984 bis 1988/ 89 stark steigenden Trinkwasserentnahmen bei gleichzeitig vergleichsweise trockenen Verhältnissen (geringe Jahres-

kolísání hladin (ročních průměrů) na vybraných pozorovacích vrtech okolo střední hodnoty (mediánu) v období sledování jednotlivých pozorovacích vrtů.

Principiálně je v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin možné pozorovat závislost hladiny podzemních vod na srážkách, a tím i na tvorbě nové podzemní vody. To nám ukazují vlastní vyhodnocení a popisuje to i odborná literatura, např. G.E.O.S. (1998). Maxima a minima tvorby nové podzemní vody se odrážejí na hladinách podzemních vod. Mezi srážkovým impulzem a reakcí hladin podzemních vod je možno pozorovat dobu odpovídající minimálně dvěma rokům (G.E.O.S., 1998). Kromě těchto přirozených faktorů je třeba vycházet i z toho, že na vývoj hladiny podzemních vod působí i antropogenní odběry podzemní vody. Pro oblast Lückendorf je možné přímé porovnání vývoje hladin podzemních vod a odběrových množství. Byl zde pozorován velký pokles hladin podzemních vod od roku 1983 do roku 1993. Zatímco první fázi poklesu z let 1983–1987 je možné dát při relativně nízkých odběrech mezi roky 1978 a 1983 pravděpodobně do souvislosti s přirozenými vlivy (suchý rok 1982), druhou fázi poklesu hladin podzemních vod mezi lety 1989 a 1993 je možné vysvětlit výrazně stoupajícími odběry pitné vody od roku 1984 do roku 1988/89 při současně poměrně suchém období (velmi nízké roční srážkové úhrny). Tomu odpovídá i plné využití využitelných zásob podzemních vod ve fázi nejvyšších odběrů v letech 1986–1990 a počátek opětovného nárůstu hladin podzemních vod od roku 1993 po výrazné redukci odběrů v roce 1991/2. Významný vliv odběrů na hladiny podzemních vod potvrzují i výsledky modelu proudění podzemních vod.

Po fázi opětovného nárůstu hladin v letech 1993–2004 v důsledku zmenšených odběrových množství a vlhkého období několika let opět do roku 2010/11 hladiny podzemních vod poklesly, což je možné dát do souvislosti s extrémně suchým rokem 2003 a relativně suchými lety 2005, 2006 a 2008. Počínaje rokem 2011 je možno pozorovat opětovný vzestup hladin podzemních vod, který je reakcí na částečně srážkově velmi bohaté roky, jako byl rok 2010. Výchozí úroveň hladin podzemních vod (rok 1983) však doposud nebylo dosaženo.

Umístění nejdůležitějších kontrolních vrtů v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin je zřejmé z mapy 1.

niederschlagssummen) erklärt werden. Dafür sprechen die volle Ausnutzung des nutzbaren Dargebotes in der Phase der höchsten Grundwasserentnahmen von 1986–1990 sowie ein beginnender Wiederanstieg des Grundwasserstandes ab 1993 nach drastischer Reduzierung der Entnahmen im Jahr 1991/ 92. Im Weiteren sprechen auch die Ergebnisse der Grundwasserströmungsmodellierung für einen Einfluss der Wasserentnahmen auf die Grundwasserstände.

Nach einer Phase des Wiederanstieges von 1993–2004 in Folge verminderter Wasserentnahmen und einer Häufung feuchter Jahre sind die Grundwasserstände bis 2010/ 11 wieder gesunken, was auf das extreme Trockenjahr 2003 und die relativ trockenen Jahre 2005, 2006 und 2008 zurück geführt werden kann. Seit 2011 kann wieder ein Anstieg beobachtet werden, was die teils sehr feuchten Jahre wie 2010 widerspiegelt. Das Ausgangsniveau (Jahr 1983) wurde bisher nicht wieder erreicht.

Die Standorte der wichtigsten Grundwassermessstellen im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin sind in Karte 1 dargestellt.

# 10 Proudění podzemních vod

K popsání režimu podzemních vod (bilance přítoků do podzemních vod a odtoků z nich) a dynamiky podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin využíváme matematický model proudění podzemních vod. Matematické modely jsou postaveny na numerických algoritmech (rovnících), které napodobují přirozené procesy dynamiky podzemní vody v souladu s fyzikálními zákony. Dále je možné s jejich pomocí simulovat různé scénáře možného budoucího vývoje.

Abychom sestavili model proudění pro určité vybrané území, je nejprve nutné danou modelovou oblast vymezit. Toto vymezení je velmi důležité, protože modelová oblast představuje uzavřený hydraulický a hydrologický systém s vyrovnanou modelovou vodní bilancí (suma přítoků a odtoků včetně odběrů je přibližně rovna nule). Hranice modelové oblasti jsou v modelu proudění regulovány tzv. okrajovými podmínkami, které podávají informaci například o přítocích a odtocích vody na okrajích modelu. Pro stavbu modelu a vlastní modelové výpočty jsou kromě znalosti okrajových podmínek nezbytné i počáteční podmínky a parametry. Ty popisují na jedné straně geologické či hydrogeologické struktury modelové oblasti, obzvláště pak rozložení a uspořádání vodonosných vrstev (kolektorů) a nepropustných vrstev (izolátorů) a jejich hydraulické vlastnosti (hydrogeologický strukturální model). Tvoří tak strukturální základ pro modelování pohybu podzemní vody v modelové oblasti. Na straně druhé jsou nutná vstupní data modelu, která popisují hydrologické vlastnosti daného území, jako např. tvorbu nové podzemní vody a antropogenní využívání podzemních vod (např. pro zásobování veřejnosti pitnou vodou). Tyto vstupní informace jsou prostřednictvím zadaných podmínek zpracovány pomocí numerických algoritmů modelového software, takže v konečném výsledku pak může model napodobit přirozené poměry proudění podzemní vody v modelové oblasti. Modelový výpočet proudění byl pro naši zájmovou oblast proveden s pomocí modelového software Visual MODFLOW® (Schlumberger Water Services), který umožňuje trojrozměrné modelování.

Zur Beschreibung des Grundwasserhaushaltes (Bilanz von Zu- und Abflüssen aus dem Grundwasser) und der Grundwasserdynamik im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin wird ein numerisches Grundwasserströmungsmodell verwendet. Solche Modelle basieren auf numerischen Algorithmen, die die natürlichen Prozesse der Grundwasserdynamik entsprechend der physikalischen Gesetze modellhaft nachbilden. Im Weiteren kann man mit ihnen auch Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen simulieren.

Um ein Strömungsmodell für ein ausgewähltes Gebiet aufbauen zu können, ist zunächst die Abgrenzung des zu modellierenden Gebietes notwendig. Diese Abgrenzung ist sehr wichtig, da das Modellgebiet ein in sich abgeschlossenes hydraulisches und hydrologisches System mit einer ausgeglichenen Modellwasserbilanz (Summe der Zu- und Abflüsse einschließlich Entnahmen ist annähernd Null) darstellt. Die Modellgebietsgrenzen werden im Strömungsmodell durch sogenannte Randbedingungen modelltechnisch erfasst, die z. B. Auskunft über Zu- und Abflüsse von Wasser an den Modellrändern liefern. Für den Aufbau und die eigentlichen Modellberechnungen sind neben der Kenntnis der Randbedingungen auch Anfangsbedingungen und Parameter erforderlich. Diese beschreiben zum einen die geologischen bzw. hydrogeologischen Strukturen des Modellgebietes, insbesondere die Anordnung von Grundwasserleitern und Grundwasserstauern und deren hydraulische Eigenschaften (hydrogeologisches Strukturmodell). Sie bilden somit die strukturelle Basis für die Modellierung der Grundwasserbewegung im Modellgebiet. Zum anderen sind Modelleingangsdaten notwendig, die die hydrologischen Gebietseigenschaften wie z. B. die Grundwasserneubildung und anthropogene Nutzungen des Grundwassers z. B. für die Trinkwasserversorgung beschreiben. Diese Eingangsinformationen werden mit den Anfangsbedingungen von den numerischen Algorithmen der Modellsoftware verarbeitet, so dass im Ergebnis eine modelltechnische Nachbildung der natürlichen Strömungsverhältnisse im Modellgebiet möglich ist. Die Strömungsmodellierung erfolgte für das Untersu-

Pro zájmové území byly na české straně již dříve vytvořeny modely proudění podzemních vod na bázi národních údajů.

Model proudění podzemních vod vytvořený v rámci projektu GRACE je novátorský tým, že řeší proudění podzemních vod uceleně, bez ohledu na státní hranice. Již tzv. „národní model proudění“, vytvořený v první etapě řešení modelů proudění podzemních vod v projektu GRACE, zahrnuje některé informace a data německé strany (VANĚK & NOLL, 2012).

Při zpracovávání přeshraničního modelu proudění ve druhé etapě řešení modelů proudění podzemních vod v projektu GRACE (VANĚK, 2014) byl nejprve pro modelovou oblast vytvořen hydrogeologický strukturální model, který mimo jiné zadává vertikální strukturu vrstev. Pro tento strukturální model byly sladěny české a saské geologické a hydrogeologické poznatky tak, aby byla k dispozici konzistentní hydrogeologická struktura (VOIGT ET AL., 2013; G.E.O.S., 2014; HERČÍK ET AL., 2003). V dalším kroku následovalo rozdělení modelové oblasti do rovnoměrné obdélníkové trojrozměrné mřížky. Tento krok je nutný, protože modelovací software MODFLOW® pracuje na bázi těchto mřížkových buněk. Potom byla do modelu implementována všechna potřebná vstupní data, aby se mohly spustit vlastní modelové výpočetní operace. Nejdůležitější vstupní data (naměřené veličiny) jsou hladiny podzemních vod, odtoky z pramenů, tvorba nové podzemní vody, odběry podzemních vod a údaje o stáří podzemních vod (získané pomocí analýzy tritia). Velmi důležité jsou mimo to i okrajové podmínky modelu, protože jejich prostřednictvím jsou popsány přítoky do modelové oblasti zvnějšku.

Model proudění pro naši zájmovou oblast je vertikálně strukturován tak, že se oblast skládá ze tří kolektorů, které jsou od sebe vzájemně odděleny nepropustnými či jen nepatrně propustnými vrstvami (izolátory). Tyto izolátory jsou z větší míry tvořeny jemnozrnným materiálem, jako jsou jílovce a slínovce, a to v protikladu k vodonosným vrstvám (kolektorům), které jsou pískovcové, popř. i s vložkami slepenců.

Na základě této hydrogeologické struktury a přiřazení odpovídajících hydraulických veličin důležitých pro proudění podzemních vod k jednotlivým kolektorům a nepropustným vrstvám a dále po zadání dalších důležitých vstupních dat k hydrologii a antropogenním odběrům vody bylo možné

chungsgebiet mit der Modellsoftware Visual MODFLOW® (Schlumberger Water Services) und ermöglicht eine dreidimensionale Modellierung.

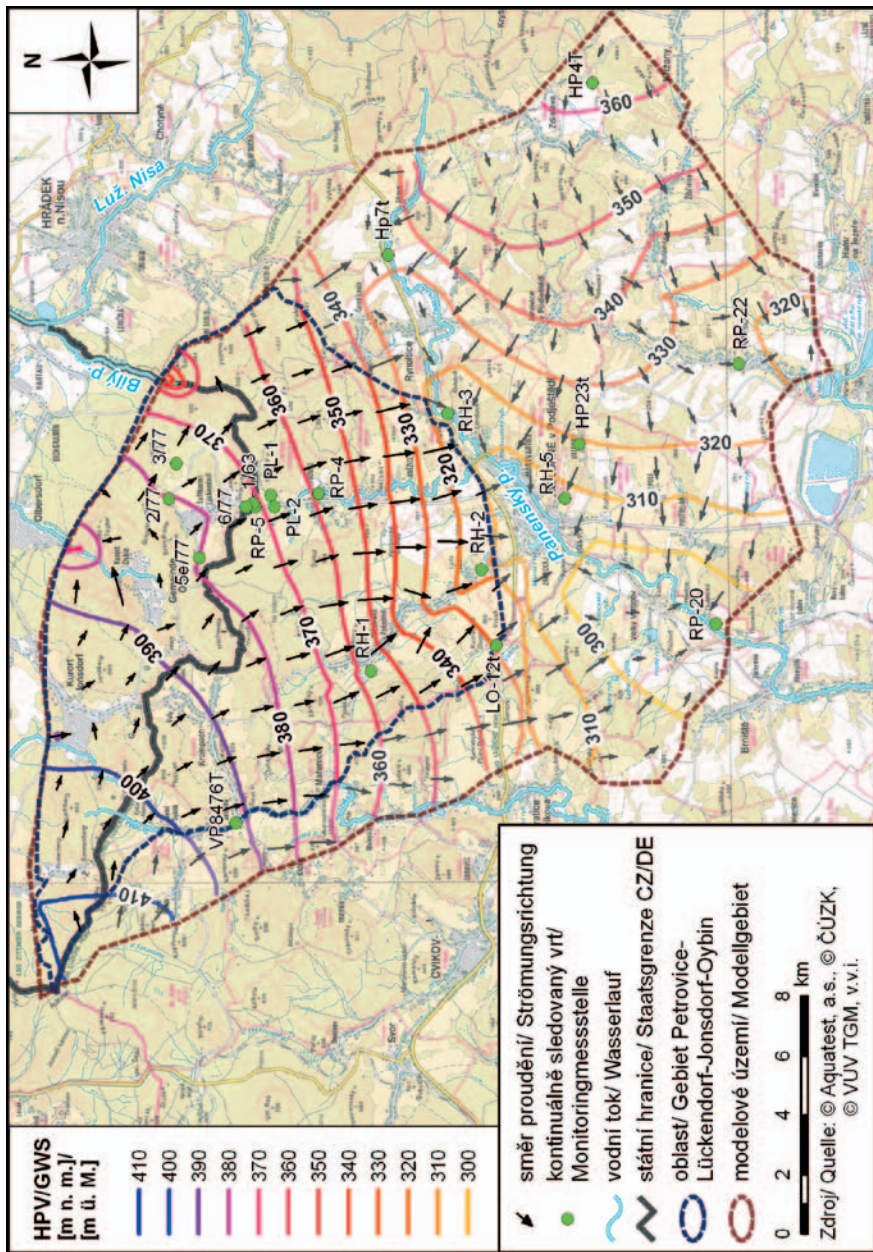
Für das betrachtete Gebiet wurden auf tschechischer Seite bereits früher Grundwasserströmungsmodelle auf Basis nationaler Daten erstellt.

Das Grundwasserströmungsmodell im Rahmen des Projektes GRACE ist dahingehend eine Neuheit, da es die Grundwasserdynamik für das gesamte Gebiet einheitlich und grenzübergreifend betrachtet. Bereits das in der ersten Modellierungsetappe von GRACE erarbeitete sogenannte „nationale Strömungsmodell“ enthält Informationen und Daten der deutschen Seite (VANĚK & NOLL, 2012).

Für die Erstellung des grenzüberschreitenden Strömungsmodells in der zweiten Modellierungsetappe von GRACE (VANĚK, 2014) wurde zunächst für das Modellgebiet das hydrogeologische Strukturmodell integriert, was unter anderem den vertikalen Schichtaufbau vorgibt. Für dieses hydrogeologische Strukturmodell wurden die tschechischen und sächsischen geologischen und hydrogeologischen Kenntnisse harmonisiert, so dass eine konsistente hydrogeologische Modellvorstellung vorliegt (VOIGT ET AL., 2013; G.E.O.S., 2014; HERČÍK ET AL., 2003). Im nächsten Schritt erfolgte die Einteilung des Modellgebietes in ein gleichmäßiges, rechteckiges, dreidimensionales Gitter. Dieser Schritt ist nötig, da die Modellierungssoftware MODFLOW® auf Basis dieser Gitterzellen arbeitet. Danach wurden alle notwendigen Eingangsdaten in das Modell implementiert, um die eigentliche Modellierung starten zu können. Die wichtigsten Eingangsdaten (gemessene Größen) sind Grundwasserstände, Quellabflüsse, Grundwasserneubildung, Grundwasserentnahmen sowie Angaben zum Grundwasseralter (Tritiumalter). Sehr wichtig sind außerdem die Eigenschaften der Modellränder, da über sie die Einflüsse von außerhalb auf das Modellgebiet beschrieben werden.

Das Strömungsmodell für das Untersuchungsgebiet ist vertikal so strukturiert, dass es von drei Grundwasserleitern aufgebaut wird, die jeweils durch eine grundwasserstauende bzw. eine Grundwasser gering leitende Schicht voneinander getrennt werden. Diese stauenden bis gering wasserleitenden Schichten bestehen in einem stärkeren Maße aus fein-







---

◀ Mapa 5: Modelové zobrazení proudění podzemních vod

◀ Karte 5: Modellierete Grundwasserströmungsrichtung

provést modelový výpočet dynamiky podzemních vod, resp. proudění podzemních vod v modelové oblasti. Mapa 5 zobrazuje směr proudění podzemních vod na základě hydroizohyps vypočtených modelem.

Z modelu vycházející směr proudění podzemní vody není v saské části zájmové oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin jednotný. V západní části saského území dominuje východní směr proudění. V centrální části, u obce Kurort Oybin, se k tomu přidávají severní směry proudění. Ve východní části a okolo Lückendorfu je pole proudění dominantně nasměřováno k jihovýchodu.

Jižně od státní hranice, tedy jižně od linie rozvodí, směřuje pole proudění podzemních vod jednotně k jihovýchodu, resp. k jihu k Panenskému potoce. Působením eroze došlo k zaříznutí koryta tohoto potoka do pískovců hlavního kolektoru, takže zde podzemní voda vytéká často přímo do vod povrchových. Jihovýchodně od tohoto potoka je dominantní směr toku podzemní vody na západ až severozápad, rovněž směrem k tomuto vodnímu toku.

körnigem Material, wie Tonen und Mergeln, im Vergleich zu den grundwasserleitenden Schichten, die rein sandig bzw. konglomeratisch aufgebaut sind.

Auf Basis dieser hydrogeologischen Struktur sowie der Zuordnung der für die Grundwasserströmung wichtigen hydraulischen Kennwerte zu den einzelnen Grundwasserleitern und Grundwasserstauern und nach Eingabe weiterer wichtiger Eingangsdaten zu Hydrologie und anthropogenen Wasserentnahmen, konnte die Grundwasserdynamik bzw. die Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet modelliert werden. In Karte 5 ist die Grundwasserströmungsrichtung anhand der im Modell berechneten Hydroisohypsen dargestellt.

Das Grundwasserströmungsmodell zeigt, dass die Grundwasserströmung im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin im sächsischen Teil in ihrer Richtung variiert. Im westlichen Teil des sächsischen Gebietes dominiert eine östliche Strömungsrichtung. Im zentralen Teil beim Kurort Oybin kommen nördliche Strömungsrichtungen dazu. Im östlichen Teil und um Lückendorf ist das Strömungsfeld dominant nach Südosten ausgerichtet.

Südlich der Landesgrenze und damit auch südlich der Wasserscheide ist das Grundwasserströmungsfeld einheitlich nach Südost bzw. Süd auf den Panenský potok ausgerichtet. Da dieses Fließgewässer in den Sandsteinen verläuft, hat es dieselben erosiv angeschnitten, so dass das Grundwasser in das Gewässer entlastet. Südöstlich des Baches ist die Grundwasserfließrichtung ebenfalls dominant nach West bis Nordwest auf das Fließgewässer ausgerichtet.

# 11 Shrnutí a závěry

Zdroje podzemních vod v přeshraniční oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin se nacházejí v kolektorech křídových pískovců s velkou mocností. Tyto křídové sedimenty jsou součástí česko-saské křídové pánve. Vzhledem k vysoké propustnosti pískovců způsobené jejich vysokou pórovitostí a četným výskytem puklin zde existuje značná komunikace mezi povrchovými a podzemními vodami. V zájmovém území dochází ve velké míře k infiltraci srážek a tvorbě podzemní vody. V důsledku morfologického profilu – rozvodí Labe-Odra – je toto území pramennou oblastí s výskytem pouze drobných vodních toků. Některé z těchto potoků mají své koryto nad úrovní hladiny podzemních vod, nemohou tak být napájeny podzemní vodou, takže v nich voda teče pouze v období tání sněhu nebo po intenzivních srážkových epizodách.

Jedním z důležitých činitelů, které ovlivňují vodní režim, a tím i využitelnost vodních zdrojů podzemních vod, je vývoj klimatu. Důsledkem klimatické změny je mj. zvýšená četnost extrémních meteorologických jevů, jako jsou období sucha a přívalové deště. S oteplením stoupá klimatický výpar a spolu s vlivem výkyvů v rozložení srážek klesá podíl vody, která se vsákne, a tím také klesá množství nově vytvořené podzemní vody (celková roční infiltrace do podzemních vod). Pro proces tvorby nové podzemní vody je rozhodující délka trvání srážkových událostí a předchozí zavlhčení nenasycené podpovrchové zóny. V posledních letech ale došlo k mírnému nárůstu srážek, což se projevilo v opětovném vzestupu hladin podzemních vod na některých měřených vrtech.

Celkově byl v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin prokázán obvyklý výskyt fauny podzemních vod, a to především v pramenných vývěrech. Živočiškové nalezení v pramenných vývěrech signalizují neznečištěnou podzemní vodu.

Odhady stáří podzemních vod pomocí stanovení tritia ukazují, že podzemní vody v zájmové oblasti jsou různého stáří, od velmi mladých vod (do 10 let), až k vodám starým (více než 50 let). Stáří vod signalizuje, ze kterého

# Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 11

Die Grundwasserressourcen im Grenzgebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin befinden sich in den mächtigen Grundwasserleitern der Kreidesandsteine, die Teil des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens sind. Infolge der guten Durchlässigkeit der Sandsteine durch ihre Poren und Klüfte besteht eine Kommunikation zwischen Oberflächen- und Grundwasser. Die Grundwasserneubildung erfolgt im gesamten Untersuchungsgebiet. Auf Grund seiner morphologischen Gestalt und damit verbunden als Wasserscheide zwischen Elbe- und Odereinzugsgebiet, ist das Gebiet ein Quellgebiet mit nur kleinen Wasserläufen. Ein Teil dieser Fließgewässer hat sein Gewässerbett oberhalb der Grundwasseroberfläche und kann daher nicht vom Grundwasser gespeist werden, so dass sie nur nach der Schneeschmelze oder Starkregenereignissen Wasser führen.

Einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt, und damit die Nutzbarkeit der Grundwasserressourcen, ist die Klimaentwicklung. Ein Merkmal des Klimawandels ist die Häufung extremer Witterungsereignisse wie Trockenperioden und Starkniederschlagsereignisse. Insgesamt kann wahrscheinlich langfristig davon ausgegangen werden, dass durch die Erwärmung die Verdunstung steigt sowie in Folge einer veränderten saisonalen Niederschlagsverteilung der Anteil des versickernden Wassers und dadurch auch die jährliche Grundwasserneubildungsrate sinken werden. Entscheidend für den Prozess der Grundwasserneubildung sind die Dauer von Niederschlagsereignissen sowie die Vorbefeuchtung der wasserungesättigten oberflächennahen Zone. In den letzten Jahren wurde jedoch insgesamt eine leichte Zunahme der Jahresniederschläge beobachtet, was sich auch in einem Wiederanstieg der Grundwasserstände an einigen Messstellen widerspiegelt.

Hinsichtlich der Grundwasserfauna wurde im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin eine landschaftstypische Artenzusammensetzung besonders in den Quellaustritten vorgefunden. Die aufgefundenen Tiere sind ein Indikator für sauberes Grundwasser.

hydrogeologického kolektoru vody pocházejí. Tyto informace nám umožňují doplnit poznatky o dynamice podzemních vod a jsou proto důležité pro tvorbu modelů proudění podzemních vod. Ve vrtech na jižním okraji oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin se vyskytují podzemní vody vysokého stáří, přesahujícího 50 let.

Při průzkumu pramenů byly na saské straně největší vydatnosti pramenů zaznamenány v severní části území u lužické poruchy (pramen König-Johann-Quelle, pramenná oblast Weißbachtal). V české části zájmového území existují četné, méně vydatné prameny.

Česká i saská strana využívají zdroje podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

Odběry podzemních vod na saské straně zájmového území slouží k zásobování Lužických hor a města Zittau pitnou vodou. Čerpání podzemní vody probíhá zejména v oblasti obcí Kurort Oybin a Kurort Jonsdorf. Kromě čerpání je na saské straně jímána voda z pramenných oblastí. Nejvýznamnější z nich je oblast hraničního Bílého potoka (Weißbachtal). Dalšími využívanými pramennými oblastmi jsou Oybin-Hochwald a částečně pramen König-Johann-Quelle. Největší množství podzemní vody (až 170 l/s) bylo čerpáno v osmdesátých letech minulého století. V porovnání s touto hodnotou jsou současná odběrová množství méně než poloviční. Jímání pramenů (dříve přes 20 l/s) v blízkosti státní hranice v Lückendorfu bylo od roku 1992 významně utlumeno. Řada jímacích území byla odstavena z provozu.

Využívání zdrojů podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin je na české straně daleko nižší než na saské straně. Nejvýznamnějším jímacím územím v české části oblasti je jímací území Kněžice v povodí Kněžického potoka, z tohoto zdroje dochází zejména k zásobování města Jablonné v Podještědí pitnou vodou. V současnosti je tu odebíráno okolo 7 l/s. Celkové odběry z české části zájmového území v minulosti dosahovaly až k 20 l/s, v současnosti nepřesahují 10 l/s.

V současné době je pozorováno opětovné zvyšování hladin podzemních vod, což je možné dát do souvislosti s větší četností vlhkých období v mi-

Die Schätzungen zum Grundwasseralter mittels Tritiumbestimmung zeigen, dass das Grundwasser im Untersuchungsgebiet unterschiedlich alt ist und von sehr jungen Wässern (0–10 Jahre) bis zu alten Wässern (> 50 Jahre) reicht. Das Wasseralter zeigt an, aus welchem Tiefenbereich des Grundwasserleiters das Wasser stammt. Beide Informationen liefern Aussagen zur Dynamik des Grundwassers in den Grundwasserleitern und sind daher wichtig für die Erstellung der Grundwasserströmungsmodelle. In den Messstellen am Südrand des Gebietes Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin wurde sehr altes Grundwasser von über 50 Jahren festgestellt.

Bei der Untersuchung der Quellen wurden die höchsten Quellschüttungen an sächsischen Quellen im nördlichen Teil des Gebietes an der Lausitzer Überschiebung gemessen (König-Johann-Quelle, Quellgebiet Weißbachtal). Im tschechischen Teil des Untersuchungsgebiets gibt es zahlreiche, weniger ergiebige Quellen.

Die Grundwasserressourcen im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin werden gegenwärtig sowohl durch die tschechische als auch die sächsische Seite für die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung genutzt.

Die Grundwasserentnahmen auf Sächsischer Seite dienen der Versorgung des Zittauer Gebirges sowie der Stadt Zittau mit Trinkwasser. Die Hauptentnahmen finden in den Kurorten Oybin und Jonsdorf statt. Des Weiteren werden auf der sächsischen Seite Quellen für die Wasserversorgung genutzt. Die wichtigste Quelfassung ist das Weißbachtal. Hinzu kommen noch die Quellen Oybin-Hochwald sowie teilweise die König-Johann-Quelle. Die höchsten Entnahmen wurden in den 1980er Jahren mit bis zu 170 l/s registriert. Im Vergleich dazu sind die derzeitigen Entnahmen weniger als halb so hoch. Die Entnahmen (bis zu 20 l/s) nahe der Grenze in Lückendorf sind seit 1992 sehr stark verringert worden. Einige Fassungen wurden still gelegt.

Die Grundwasserressourcen werden auf der tschechischen Seite des Gebietes Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin in wesentlich geringerem Maße genutzt als auf der sächsischen Seite. Die wichtigste Fassung im tschechischen Teil ist das Fassungsgebiet Kněžice im Flusseinzugsgebiet des Kněžický potok. Von hier wird das Wasser für die Trinkwasserversor-



nulých 5–10 letech, ale k opětovnému dosažení úrovně hladin podzemních vod z roku 1983 dosud nedošlo.

Model proudění podzemních vod ukazuje, že v saské části zájmové oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin proudí podzemní vody dominantně k východu a jihovýchodu. Podružně existují i severní směry proudění směrem k lužické poruše. Na českém území jižně od linie rozvodí směřuje pole proudění podzemních vod jednotně k jihu, resp. k jihovýchodu.

Na základě získaných výsledků a pro uchování možnosti dlouhodobého společného využívání vodních zdrojů podzemních vod lze doporučit:

- Nezvyšovat odběry podzemních vod podstatně nad současně odebíraná množství. Přesněji evidovat a dokumentovat množství vody odebíraná z jednotlivých zdrojů.
- I nadále trvale monitorovat důležité hydrologické veličiny, jako jsou srážky a teploty v dané oblasti, vydatnost nejdůležitějších pramenů a hladiny podzemních vod v nejdůležitějších měřicích vrtech. Zaznamenávat průtoky ve vodních tocích Waltersdorfer Bach, Grundbach, Pochebach a Goldbach.
- Obzvláště důležité je pozorování daného území z hlediska možných změn jeho vodního režimu v důsledku klimatických změn. V souvislosti s tím může nastat nutnost přizpůsobit koncepci využívání zdrojů podzemních vod.
- Spolupráce české a saské strany by měla nadále pokračovat, společně by měly být pravidelně vyhodnocovány hladiny podzemních vod a vydatnost pramenů. Aktuální závěry by měly být předávány Stálému výboru Sasko-Česko-německé komise pro hraniční vody a příslušným vodoprávním úřadům.

gung der Stadt Jablonné v Podještědí bezogen. Die aktuelle Entnahme beträgt 7 l/s. Insgesamt wurden im tschechischen Teil früher bis zu 20 l/s entnommen, derzeit sind es höchstens noch 10 l/s.

Hinsichtlich der Grundwasserstände wird momentan ein Wiederanstieg beobachtet, was auf die Häufung feuchter Witterungssituationen in den vergangenen 5–10 Jahren zurückgeführt werden kann. Der Rückgang der Grundwasserstände gegenüber 1983 wurde aber noch nicht wieder ausgeglichen.

Das Grundwasserströmungsmodell zeigt, dass die Grundwasserströmung im Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin im sächsischen Gebietsteil dominant östlich und südöstlich ausgerichtet ist. Untergeordnet existieren auch nördliche Richtungen hin zur Lausitzer Überschiebung. Auf tschechischem Territorium südlich der Wasserscheide ist das Strömungsfeld einheitlich nach Süd bzw. Südost ausgerichtet.

Aus den erzielten Ergebnissen und für eine nachhaltige, gemeinsame Nutzung der Grundwasserressourcen, können folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Die Grundwasserentnahmen sollten die aktuell entnommenen Wassermengen nicht wesentlich übersteigen. Die Entnahmen an den Wasserfassungen sind genauer zu erfassen und zu dokumentieren.
- Wichtige hydrologische Kenngrößen wie die Gebietsniederschläge, die Temperaturen, die Quellschüttung wichtiger Quellen sowie die Grundwasserstände sind an geeigneten Messpunkten auch weiterhin kontinuierlich zu überwachen. An den Fließgewässern Waltersdorfer Bach, Grundbach, Pochebach und Goldbach sollten die Abflüsse erfasst werden.
- Besonders wichtig ist die Beobachtung des Gebietes im Hinblick auf mögliche Veränderungen des Gebietswasserhaushaltes infolge des Klimawandels. Dementsprechend kann es notwendig werden, die Nutzungskonzepte für die Grundwasserressourcen daran anzupassen.
- Die Zusammenarbeit von tschechischer und sächsischer Seite sollte fortgeführt werden, in dem die Grundwasserstände und Quellschüttungen regelmäßig ausgewertet werden. Aktuelle Schlussfolgerungen sind dem Ständigen Ausschuss Sachsen der Deutsch-Tschechischen Grenzgewässerkommission und den zuständigen Wasserbehörden zu übergeben.

ALVARADO, J.A.C., T. PAČES & R. PURSCHERT (2013) Dating groundwater in the Bohemian Cretaceous Basin: Understanding tracer variations in the sub-surface. *Applied Geochemistry*, 29, 189–198.

BRUTHANS, J., D. SVETLIK, J. SOUKUP, J. SCHWEIGSTILLOVA, J. VALEK, M. SEDLACKOVA, & L.A. MAYO (2012) Fast evolving conduits in clay-bonded sandstone: Characterization, erosion processes and significance for the origin of sandstone landforms. *Geomorphology*, p. 178–193, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.07.028>

BRUTHANS, J. & Z. CHURÁČKOVÁ (2011) Využití stopovačů pro studium proudění, původu a vývoje chemického složení vody pramene (Sv. Vojtěch, česká křídlová pánev). *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2010*, s. 227–232, Praha: Česká geologická služba. ISSN 0514-8057, ISBN 978-80-7075-769-7.

ČSN ISO 5667-11 (2012) Kvalita vod – Odběr vzorků – Část 11: Návod pro odběr vzorků podzemních vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 32 stran, třídící znak 75 7051.

ČSN ISO 9698 (2011) Jakost vod – Stanovení objemové aktivity tritia – Kapalinová scintilační měřicí metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 26 stran, třídící znak 75 7635.

DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (HRSG.; KOORDINATION UND GESTALTUNG: M. MENNING & A. HENDRICH) (2002) *Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002*. Tafel 96 x 130 cm oder Falt-Tafel A4; Potsdam (GeoForschungsZentrum), Frankfurt a. M. (Forsch.-Inst. Senckenberg). ISBN 3-00-010197-7.

DIN 4049-1 (1992) *Hydrologie; Grundbegriffe*. Berlin (Beuth).

DIN 4049-3 (1994) *Hydrologie; Begriffe zur quantitativen Hydrologie – Abschnitt 3: Unterirdisches Wasser*. Berlin (Beuth).

ECKHARDT, P. (2013) *Vývoj vydatnosti pramenů a pramenných oblastí v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin. Závěrečná zpráva*. VÚV TGM, v.v.i., Praha, 62 s.

G.E.O.S. FREIBERG INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (1998) Übersichtsbeurteilung des Grundwasserdargebots und dessen Nutzung im Zittauer Gebirge unter Berücksichtigung der Grundwassernutzungen auf tschechischen Gebiet. Bearbeiter H. P. Mibus, T. Schirner, J.U. Mibus; 68 S. + Anl.

G.E.O.S. (2007) Gutachten. Zustandsüberwachung Grenzgrundwasser/ Operatives Messnetz. Bearbeiter: S. Rösner, P. Szymczak, R. Höhn; im Auftrag des Regierungspräsidiums Dresden, 60 S. + Anl.

G.E.O.S. FREIBERG INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (2014) Entwicklung zweier 3D-Modelle hydrogeologischer Körper im sächsisch-böhmischen Grenzgebiet im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht, im Auftrag des LfULG, Bearbeiter R. Kahnt, R. Löser, A. D. Gabriel, D. Hermann, S. Renker, M. Helbig, A. Kutzke; 115 S. + Anl.

GUTJAHN, S., J. BORK, S.I. SCHMIDT & H.J. HAHN (2013) Efficiency of sampling invertebrates in groundwater habitats. *Limnologia*, 43, 43–48.

HAHN, H.J. (2006) A first approach to a quantitative ecological assessment of groundwater habitats. The GW-Fauna-Index. *Limnologia*, 36, 2, 119–137.

HERČÍK, F., Z. HERRMANN & J. VALEČKA (2003) Hydrogeology of the Bohemian Cretaceous Basin. Prague: Czech Geological Survey, 91 p.

HÖLTING, B. & W.G. COLDEWEY (2009) Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 7. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 383 S.

<http://ensembles-eu.metoffice.com/>

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8214.htm>

<http://www.wasserhaushaltsportal.sachsen.de>

[http://www.wmo.int/pages/themes/climate/elements\\_climate\\_change.php](http://www.wmo.int/pages/themes/climate/elements_climate_change.php)

<http://www.newenergyandfuel.com> (2013)

<http://www.iaea.org> (2014)

<http://www.grundwasser.sachsen.de>

<http://heis.vuv.cz>: HEIS VÚV – Hydroekologický informační systém VÚV TGM. Odběry podzemních vod pro lidskou spotřebu > 500 m<sup>3</sup>/měsíc

nebo 6000 m<sup>3</sup>/rok; data od státních podniků Povodí a VÚV TGM, v.v.i., za období 1979–2012.

JORDAN, H. & H.-J. WEDER (HRSG.) (1995) Hydrogeologie. Grundlagen und Methoden. Regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. – Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 2. Auflage, 603 S. + Abb., Tab., Karten.

LFULG (2012) Archiv Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

LFULG (HRSG.) (2014) Kompendium Klima. Sachsen im Klimawandel. 156 S.

LUCAS, L.L. & M.P. UNTERWEGER (2000) Comprehensive Review and Critical Evaluation of the Half-Life of Tritium. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 105, 4, p. 541–549. <http://www.nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/105/4/j54luc2.pdf>

MALOSZEWSKI, P. & A. ZUBER (1996) Lumped parameter models for interpretation of environmental tracer data. In: Manual on mathematical models in isotope hydrology. IAEA-TECDOC-910, Austria, 1996, p. 9–58. ISSN 1011-4289.

MANNSFELD, K. & H. RICHTER (1995) Naturräume in Sachsen. Forschungen zur Deutschen Landeskunde. Bd. 238, 228 S., Trier.

MATZKE, D. (2006) Untersuchungen zum Verhalten von Grundwasserfauna in Altlastenflächen mit vorangegangenen Vergleich unterschiedlicher Sammeltechniken. Dissertation. Universität Koblenz-Landau, Landau.

MÍŠAŘ, Z., A. DUDEK, V. HAVLENA & J. WEISS (1983) Geologie ČSSR I – Český masiv. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1. vydání, 333 s.

MURAWSKI, H. & W. MEYER (2010) Geologisches Wörterbuch. 12. Überarbeitete und erweiterte Auflage, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 220 S.

PAČL, A. & M. HRKALOVÁ (2010) Hydrogeologické práce v okolí polského dolu Turów a v oblasti Petrovice – Lückendorf. Závěrečná zpráva 2009/2010. Praha: Aquatest, 177 s.

PÄLCHEN, W. & H. WALTER (HRSG.) (2008) Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 537 S.

PENZHORN, R.D. (2013) Natural and man-made sources of tritium: applications of tritium. In: Tritium in fusion, Tosti, S., Ghirelli, N. (Eds) New York: Nova Science Publishers, Inc., 2013, p. 3–21. ISBN 978-1-62417-270-0.

PRETEL, J. (ED.) (2011) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Ministerstvo životního prostředí, dostupné on-line 10. 2. 2013. [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav\\_TECHNICKE\\_SHRUTI\\_2011.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRUTI_2011.pdf)

ROZANSKI, K. & M. GRÖNING (2004) Quantifying uncertainties of tritium assay in water samples using electrolytic enrichment and liquid scintillation spectrometry, Quantifying uncertainties in nuclear analytical measurements, p. 195–217, IAEA-TECDOC-1401. [http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1401\\_web.pdf](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1401_web.pdf)

SMUL (HRSG.) (2008) Sachsen im Klimawandel. Eine Analyse. 211 s.

STEIN, H., CH. GRIEBLER, S. BERKHOFF, D. MATZKE, A. FUCHS & H.J. HAHN (2012) Stygoregions – a promising approach to a bioregional classification of groundwater systems. Scientific reports, 2, 673, DOI: 10.1038/srep00673.

ŠIMEK, P. (2014) Stáří a míšení podzemních vod, Oblast 2: Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin. Závěrečná zpráva, VÚV TGM, v.v.i., Praha, 105 s., 11 příloh.

TOLASZ, R. (2007) Atlas podnebí Česka [kartografický dokument] [Radim Tolasz et al.]. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav – Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 255 s., il., tab., mapy. ISBN 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ). ISBN 978-80-244-1626-7 (UP).

VANĚK J. & O. NOL (2012) Společně využívané vody na česko-saském pomezí (GRACE), Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin. Zpráva za 1. etapu. Praha: AQUATEST, září 2012, 37 s.

VANĚK J. (2014) Společně využívané vody na česko-saském pomezí (GRACE), Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin. Zpráva za 2. etapu. Praha: AQUATEST, květen 2014, 110 s.

VEB HYDROGEOLOGIE (1976) Hydrogeologisches Projekt – Detailerkundung Lückendorf. Bericht zum Grund- und Ausführungsprojekt – Dresden, 41 S. + Anl., unveröffentlicht.

VEB HYDROGEOLOGIE (1978a) Hydrogeologischer Bericht. Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsberechnung. DE Lückendorf. Dresden, 58 S. + Anl., unveröffentlicht.

VEB HYDROGEOLOGIE (1978b) Hydrogeologischer Bericht – Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsberechnung, Vorerkundung Jonsdorf. Freiberg, 56 S. + Anl., unveröffentlicht.

VIŠNOVSKÁ, Z. & V. PAPAČ (2010) Fauna vodných biotopov Belianskej Jaskyne. Acta Carsologica Slovaca, 48, 1, 59–82.

VOIGT, T., J. FRANKE & S. FRANKE (2013) Grundlagen für ein geologisch-tektonisches Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischen Grenzbereich im Rahmen des Ziel 3 – Projektes GRACE. Abschlussbericht, unveröffentlicht, im Auftrag des LfULG, 42 S. + Anl.

## **Abfluss**

Der Abfluss kann als Abflussrate in [mm/a] angegeben werden. Das entspricht dem Quotienten aus Abflusshöhe (Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche) und der betrachteten Zeitspanne. Er kann aber auch als Abflussvolumen (Wasservolumen an einer Querschnittsfläche) pro Zeiteinheit [l/s oder m<sup>3</sup>/s] erfasst und einem Einzugsgebiet zugeordnet werden.

## **Abflusskomponenten**

Der Gesamtabfluss eines Gewässers setzt sich aus dem oberirdischen und dem unterirdischen Abfluss zusammen. Der oberirdische Abfluss stammt direkt aus Niederschlägen. Der unterirdische Abfluss ist der sogenannte grundwasserbürtige Abfluss und resultiert aus in das Grundwasser versickerten Niederschlägen. Es wird der wenig zeitverzögerte, schnelle Grundwasserabfluss und der stark zeitverzögerte, langsame Grundwasserabfluss (Basisabfluss) unterschieden. Der Basisabfluss ist die Komponente, die ein Gewässer auch während Trockenzeiten speist.

## **Einzugsgebiet**

Ist das Gebiet, aus dem das Wasser einem bestimmten Ort zufließt. Es werden ober- und unterirdische Einzugsgebiete unterschieden, die durch ober- bzw. unterirdische Wasserscheiden begrenzt werden. Das oberirdische kann erheblich vom unterirdischen Einzugsgebiet abweichen. Da die oberirdischen Wasserscheiden von der morphologischen und die unterirdischen von der geologischen Situation des Gebietes abhängig sind.



## Erdgeschichtliche Zeittafel

Zeitalter	System	Serie	Stufe	Alter in Mio. Jahren
Känozoikum	Quartär	Holozän		0,01
		Pleistozän		1,8
	Tertiär			65
Mesozoikum	Kreide	Oberkreide	Maastrichtium	
			Santonium	
			Coniacium	
			Turonium	
			Cenomanium	
		Unterkreide		99
	Jura			142
Trias			200	
Paläozoikum	Perm			251
	Karbon			296
	Devon			368
	Silur			417
	Ordovicium			443
	Kambrium			495
Kryptozoikum	Proterozoikum	Jungpräkambrium		545
	Archaikum	Altpräkambrium		2.500
				>4.500

### Evapotranspiration

Bezeichnet die Verdunstung eines Gebietes die sich aus der Evaporation (Verdunstung der unbedeckten Bodenoberfläche und von Wasserkörpern), der Interzeption (Verdunstung von Wasser auf Pflanzenoberflächen) und der Transpiration (biogen gesteuerte Verdunstung auf Pflanzenoberflächen) zusammensetzt. Man unterscheidet die potentielle (maximal mögliche) und tatsächliche (aktuelle) Verdunstung.

### Grundwasser

Unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu aus-

schließlich durch die Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird.

### **Grundwasser, frei**

Die freie Grundwasseroberfläche liegt innerhalb des Grundwasserleiters, das heißt die Grundwasseroberfläche und die Grundwasserdruckfläche (= Fläche die zueinander gehörige Standrohrspiegelhöhen in Brunnen und Grundwassermessstellen verbindet) fallen zusammen.

### **Grundwasser, gespannt**

Die Grundwasseroberfläche und die Grundwasserdruckfläche fallen nicht zusammen. Das liegt vor, wenn der Grundwasserleiter von schlecht durchlässigen oder sogar undurchlässigen Schichten abgedeckt wird. Das Grundwasser kann also nicht so hoch ansteigen, wie es seinem hydrostatischen Druck entspricht.

### **Grundwasserflurabstand**

Lotrechter Abstand zwischen der Erdoberfläche und der Grundwasseroberfläche des ersten Grundwasserstockwerkes.

### **Grundwasserhemmer (Grundwassergeringleiter)**

Gesteinskörper, die im Vergleich zu einem benachbarten Grundwasserleiter gering wasserundurchlässig sind.

### **Grundwasserleiter**

Gesteinskörper, die Hohlräume enthalten und damit geeignet sind, Grundwasser weiterzuleiten.

### **Grundwasserneubildung**

Zugang von in den Boden infiltriertem Wasser zum Grundwasser.

### **Grundwassernichtleiter (Grundwasserstauer)**

Gesteinskörper, die wasserundurchlässig sind.

### **Grundwasseroberfläche**

Obere Grenzfläche eines Grundwasservorkommens.

### **Hydroisohypse**

Sind die Verbindungslinien gleicher Standrohrspiegelhöhen einer Grundwasserdruckfläche und werden auch als Grundwassergleichen oder Grundwasser-Isophypsen bezeichnet. Die Standrohrspiegelhöhe gibt das Niveau

der Grundwasserdruckfläche im Punkt der Messstelle an und wird meist auf eine einheitliche Höhe bezogen. Dies ist in der Regel „+mNN“.

### **Hydrologisches Jahr**

In der Hydrologie bzw. in der Wasserwirtschaft bezieht man sich als Grundeinheit der Zeit auf das Hydrologische oder Abflussjahr. Dieses beginnt am 01. November eines Jahres und endet am 31. Oktober des Folgejahres. Die Jahreszahl entspricht dem größeren Anteil von Januar bis Oktober. Diese Einteilung wird gewählt, um den Winter nicht zu teilen, da gerade in dieser Jahreszeit die Abflüsse wegen geringer Verdunstung und weitgehend fehlender Vegetation mehr oder weniger durchgehend hoch sind. Das Abflussjahr wird unterteilt in ein Winter- (November bis April) und ein Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober).

### **Isotope**

Sind Atomarten eines Elementes mit gleicher Ordnungszahl (Protonenanzahl) aber unterschiedlicher Massenzahl (Neutronenanzahl). Umweltisotope (z. B. Wasserstoff, Sauerstoff) kommen in unterschiedlichen Konzentrationen in der Hydrosphäre vor.

### **Kluft**

Feine, nicht oder nur wenig geöffnete Gesteinsfuge, an der keine wesentliche Bewegung stattgefunden hat. Sie entwickelt sich zur Spalte wenn die Kluftflächen breiter auseinander klaffen.

### **Konglomerat**

Verfestigte ehemals lockere Schotter, dessen Geröllkomponenten deutlich zugerundet sind.

### **Kontaktmetamorphose**

Metamorphose ist der zusammenfassende Begriff für alle jene Veränderungen, die die Gesteine unter Beibehaltung des festen Zustands durch die Einwirkungen erfahren, die nicht an der Erdoberfläche stattfinden. Bei einwandfreiem Nachweis eines Magmenkontaktes spricht man von Kontaktmetamorphose. Sie kann ohne Stoffzufuhr vom Magma erfolgen (Thermometamorphose) oder aber wesentlich durch das diffuse Eindringen magmatogener Gase und Lösungen bestimmt sein.

## **Tektonik**

Lehre vom Bau der Erdkruste und den Bewegungen und Kräften, die diesen erzeugt haben. (Bruchtektonik – bezieht sich auf Zerbrechungsercheinungen wie Fugen, Klüfte, Spalten, Verwerfungen usw. und deren Bildung.)

## **Wasserkreislauf**

Unter dem Wasserkreislauf versteht man die ständige Folge der Zustands- und Ortsveränderungen des Wassers mit den Hauptkomponenten von Niederschlag (N), Abfluss (A) und Verdunstung (V). Der Wasserkreislauf lässt sich quantitativ in folgender Wasserbilanzgleichung beschreiben:

$$N = A + V.$$

1. vydání / 1. Auflage

Vydavatel / Herausgeber:

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.

Tisk / Druck: TAG – Michal Korecký

Náklad / Auflagenhöhe: 200

ISBN 978-80-87402-31-3

ISBN 978-80-87402-30-6 (1. díl)

ISBN 978-80.87402-29-0 (soubor)