

# ZDROJE PODZEMNÍCH VOD NA ČESKO-SASKÉM POMEZÍ

## I. Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch

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



# GRUNDWASSERRESSOURCEN IM TSCHJECHISCH-SÄCHSISCHEN GRENZGEBIET

## I. Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch

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

## I. Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch

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

---

# GRUNDWASSERRESSOURCEN IM TSCHECHISCH-SÄCHSISCHEN GRENZGEBIET

## I. Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch

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

**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, Udo Mellentin, Carsten Schulz

**Lektor/ Lektor:**

Ing. Miroslav Kněžek

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

Ing. Libuše Punčochářová

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

Gabriele Großert

**Foto / Fotos:**

Michal Bílý, Anna-Katharina Böhm, Pavel Eckhardt, Andreas Fuchs, Hans Jürgen Hahn,  
Pavel Šimek

Fotografie bez popisku jsou ilustrační a představují krajinný charakter oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch, prameny, vodárnu Hřensko a práce při odběrech vzorků podzemních vod.

Fotographien ohne Beschriftung sind rein illustrativ und dienen der Dokumentation des Gebietes Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch (Landschaft, Quellen, Wasserwerk Hřensko, Grundwasserprobenahme).

### **Anotace**

Publikace má poskytnout zainteresované veřejnosti informace o nejdůležitějších výsledcích projektu Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE), které vedou ke společné strategii ochrany zdrojů podzemních vod v přeshraniční oblasti Hřensko–Křínice/Kirnitzsch.

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 Hřensko–Křínice/Kirnitzsch.

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 Hřensko–Křínice/ Kirnitzsch 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 der 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 Chřibská a Lichtenhain-Mittelndorf  
Obr. 2: a) Kamenice v Divoké soutěsce; b) údolí Křinice pod Obere Schleuse  
Obr. 3: Průměrné roční průtoky v Křinici a Kamenici  
Obr. 4: Hadí pramen  
Obr. 5: Dva způsoby vzorkování fauny podzemních vod: a) odběr vzorku ze starého pozorovacího vrtu v údolí Suché Bělé, b) vzorek sedimentu ze dna vrtu, c) odběr vzorků filtrováním studniční vody, oblast Doubice (foto: M. Bílý)  
Obr. 6: a) Blešivec studniční (*Niphargus aquilex*) – typický živočich podzemních vod (foto: H. J. Hahn),  
b) plazivka *Arcticocamptus rhaeticus*; plazivky byly nalézány zvláště v pramenných vývěrech (foto: A. Fuchs)  
Obr. 7: Schéma skladby atomu tritia  
Obr. 8: Schéma rozpadu tritia ( $^3\text{H}$ ) na 3-helium ( $^3\text{He}$ )  
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: Vývoj hladin podzemních vod na pozorovacích vrtech v zájmovém území

### Seznam map

- Mapa 1: Vymezení oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch  
Mapa 2: Geologická mapa zájmového území  
Mapa 3: Vydátost pramenů v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch  
Mapa 4: Stáří podzemních vod s vyznačenými kolektory v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch  
Mapa 5: Zobrazení proudění podzemních vod v modelovaném území

### Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Niederschlagssummen bezogen auf das hydrologische Jahr an den Messstationen Chřibská und Lichtenhain-Mittelndorf  
Abb. 2: a) Kamenice – Wilde Klamm; b) Kirnitzschtal unterhalb der Oberen Schleuse  
Abb. 3: Mittlere jährliche Abflüsse der Kirnitzsch und der Kamenice  
Abb. 4: Quellfassung Hadí pramen  
Abb. 5: Zwei Beprobungsmethoden der Grundwasserfauna: a) Probenahme an einer Grundwassermessstelle im Tal von Suchá Bělá; b) Probe vom Grund der Messstelle; c) Probenahme durch Brunnenwasserfiltration, Gebiet Doubice (Fotos: M. Bílý)  
Abb. 6: a) Höhlenflohkrebs (*Niphargus aquilex*) – ein typischer Vertreter der Grundwasserfauna (Foto: H. J. Hahn);  
b) *Arcticocamptus rhaeticus* aus der Ordnung der *Harpacticoida*, die besonders in Quellaustritten gefunden werden (Foto: A. Fuchs)  
Abb. 7: Aufbauschema des Tritiumatoms  
Abb. 8: Zerfallsschema von Tritium ( $^3\text{H}$ ) zu 3-Helium ( $^3\text{He}$ )  
Abb. 9: Ausgewählte Probenahmestandorte  
Abb. 10: Trend des Tritiumgehaltes in den Niederschlägen an den Stationen Freiberg, Sachsen (LfULG, 2012) und Hohe Warte-Wien, Österreich (IAEA, 2014); (y-Achse logarithmisch skaliert)  
Abb. 11: Entwicklung der Grundwasserentnahmen  
Abb. 12: Entwicklung der Grundwasserstände an Messstellen in Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch

### Kartenverzeichnis

- Karte 1: Übersicht des Gebietes Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch  
Karte 2: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes  
Karte 3: Ergiebigkeit der Quellen im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch  
Karte 4: Alter des Grundwassers im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch  
Karte 5: Modellierete Grundwasserströmungsrichtung im Modellgebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch

## Obsah

<b>1</b>	Úvod	10
<b>2</b>	Geologie a hydrogeologie oblasti	16
<b>3</b>	Vliv klimatu na vodní režim oblasti	22
<b>4</b>	Povrchové toky	30
<b>5</b>	Prameny a pramenné oblasti	38
<b>6</b>	Fauna podzemních vod	44
<b>7</b>	Stáří podzemních vod	50
<b>8</b>	Odběry vody a jejich vývoj	64
<b>9</b>	Vývoj hladin podzemních vod	70
<b>10</b>	Proudění podzemních vod	74
<b>11</b>	Shrnutí a závěry	82

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	Einleitung	11
<b>2</b>	Geologie und Hydrogeologie des Gebietes	17
<b>3</b>	Wirkung des Klimas auf den Wasserhaushalt	23
<b>4</b>	Oberflächenwasser	31
<b>5</b>	Quelle und Quellgebiete	39
<b>6</b>	Grundwasserfauna	45
<b>7</b>	Alter des Grundwassers	51
<b>8</b>	Wasserentnahmen und ihre Entwicklung	65
<b>9</b>	Entwicklung der Grundwasserstände	71
<b>10</b>	Grundwasserströmung	75
<b>11</b>	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	83

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 Projekts „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–Křinice/ Kirnitzsch und Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin zum Ziel. Im Rahmen des Projekts 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 Fach-

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 Hřensko-Křinice/Kirnitzsch a byly soustředěny pro vytvoření společné strategie ochrany vodních zdrojů. V mapce 1 je uvedeno vymezení a nejdůležitější objekty této oblasti.

leuten 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/de>.

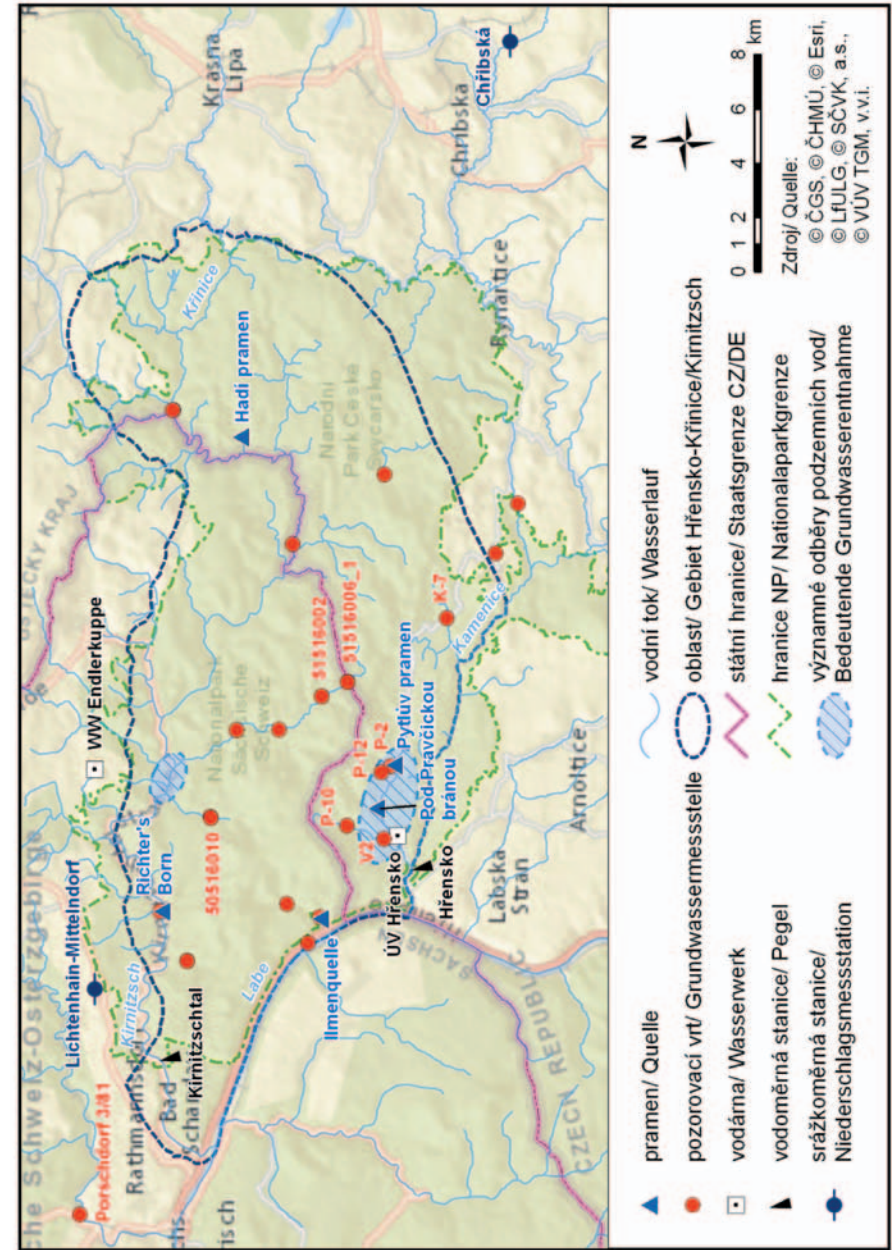
Diese Publikation umfasst Informationen und Ergebnisse zum Gebiet Hřensko-Křinice/ Kirnitzsch. Karte 1 zeigt eine Übersicht des Untersuchungsgebietes.





Mapa 1: Vymezení oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch ▶

Karte 1: Übersicht des Gebietes Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch ▶



Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch 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. Křídové pískovce jsou relativně homogenní, tvořené převážně hrubozrnnými a středně zrnitými pískovci a liší se pouze obsahem jílovitého/křemitého pojiva a jílových proplátek (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Podloží (takzvanou křídovou bází) pískovců o mocnosti několika stovek metrů tvoří pevné horniny krystalinika (TONNDORF, 2000; 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 více než 500 metrů nad pískovce (VOIGT ET AL., 2013). V průběhu přesmyku se okraje pískovcového souvrství ohnuly nahoru a horninové kry nejstarších křídových pískovců i ještě starších hornin z geologických dob permu a jury (cca 251–296 milionů let, resp. 142–200 milionů let) byly tímto pohybem vyzdviženy vzhůru, takže je dnes nacházíme na povrchu (VOIGT ET AL., 2013). Celý komplex hornin je lokálně prorážen terciárními vulkanity, které tvoří vrcholové části některých významných elevací (například vrchol nejvyšší hory zájmové oblasti Großer Winterberg). Ostatní povrch je většinou kryt kvartérními sedimenty s malou mocností, jako jsou svahoviny a sutě z doby ledové (pleistocén), a sedimenty niv větších vodních toků, jako jsou Kamenice a Křinice, pocházejícími 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 a pohyb podzemní vody (HERČÍK ET AL., 2003). Díky své celkově vysoké poréznosti (póry, pukliny) jsou pískovce velmi dobře propustné (VOIGT ET AL., 2013).

Das Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch ist dominant aus Sandsteinen der Kreidezeit aufgebaut, die vor ca. 70–100 Mio. Jahren im Kreidemeer abgelagert wurden (PÄLCHEN & WALTER, 2008). Es ist 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 befindet sich an dessen nördlichem Rand (HERČÍK ET AL., 2003). Somit bilden die Sandsteine im Untersuchungsgebiet sowohl eine lithologische als auch hydrogeologische Einheit. Die Sandsteine sind relativ homogen aus vorwiegend Grob- und Mittelsandsteinen aufgebaut und unterscheiden sich nur im Gehalt tonig/ kieseligen Bindemittels sowie toniger Einschaltungen (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Den Untergrund – die sogenannte Kreidebasis – der mehrere 100 Meter mächtigen Sandsteine bilden kristalline Festgesteine (TONNDORF, 2000; MISAŘ 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 bestehend aus Graniten und Granodioriten tektonisch aktiviert und mehr als 500 m über die Sandsteine aufgeschoben (VOIGT ET AL., 2013). Im Zuge der Überschiebung wurde das Sandsteinpaket randlich aufgebogen und Gesteinsschollen der ältesten Kreidesandsteine sowie noch älterer Gesteine aus den geologischen Zeitaltern des Perms und Juras (251–296 Mio. Jahre bzw. 142–200 Mio. Jahre) mit nach oben geschleppt, so dass sie heute oberflächlich anstehen (VOIGT ET AL., 2013). Der gesamte Sandsteinkomplex wird stellenweise von Tertiärvulkaniten durchbrochen, welche einige markante Erhebungen bilden (z. B. Großer Winterberg). Partiiell wird das Gebiet von geringmächtigen, quartären Sedimenten wie den eiszeitlich (Pleistozän) gebildeten Hangschuttdecken und nacheiszeitlichen (holozänen) Auensedimenten der größeren Oberflächengewässer wie Kamenice und Kirnitzsch bedeckt.

Die hydrogeologische Bedeutung des Gebietes besteht darin, dass der Sandsteinkomplex einen immensen Porenraum für Speicherung und

Spodní, a tím i nejstarší část křídového souvrství je tvořena pískovci cenomanu, které představují samostatný hydrogeologický kolektor (kolektor „4“ podle německého členění, „A“ podle členění českého) (VALEČKA ET AL., 1999; G.E.O.S., 1997). Tato zvrstvení není vodohospodářsky využívána (G.E.O.S., 1997; HERČÍK ET AL., 2003). Nad cenomanským kolektorem se nachází relativně nepropustná vrstva (ČR: spodní část bělohorského souvrství; Sasko: opuky labiatus). Nad ní pak následuje hlavní kolektor s velkou mocností, vytvořený v pískovcích turonu a coniacu (podle české nomenklatury kolektor BC; podle německé nomenklatury kolektor 2/3). Tento kolektor je převážně jednotný, s mocností až více než 500 metrů (HERČÍK ET AL., 2003), pouze v západní saské části území je nepropustnou vrstvou rozdělen na kolektor 2 a 3 (G.E.O.S., 1997; VOIGT ET AL., 2013). Hlavní kolektor zahrnuje většinu nadzemních skalních formací. Vyskytují se v něm i vrstvy s menší propustností, které lokálně mohou vést k výronům podzemní vody na zemský povrch. Tyto vrstvy je možné označit jako poloizolátory (G.E.O.S., 1997; VOIGT ET AL., 2013). U lužické poruchy není lokálně vytvořena nepropustná vrstva mezi kolektory, v důsledku čehož jsou kolektory hydraulicky vzájemně propojené (HERČÍK ET AL., 2003).

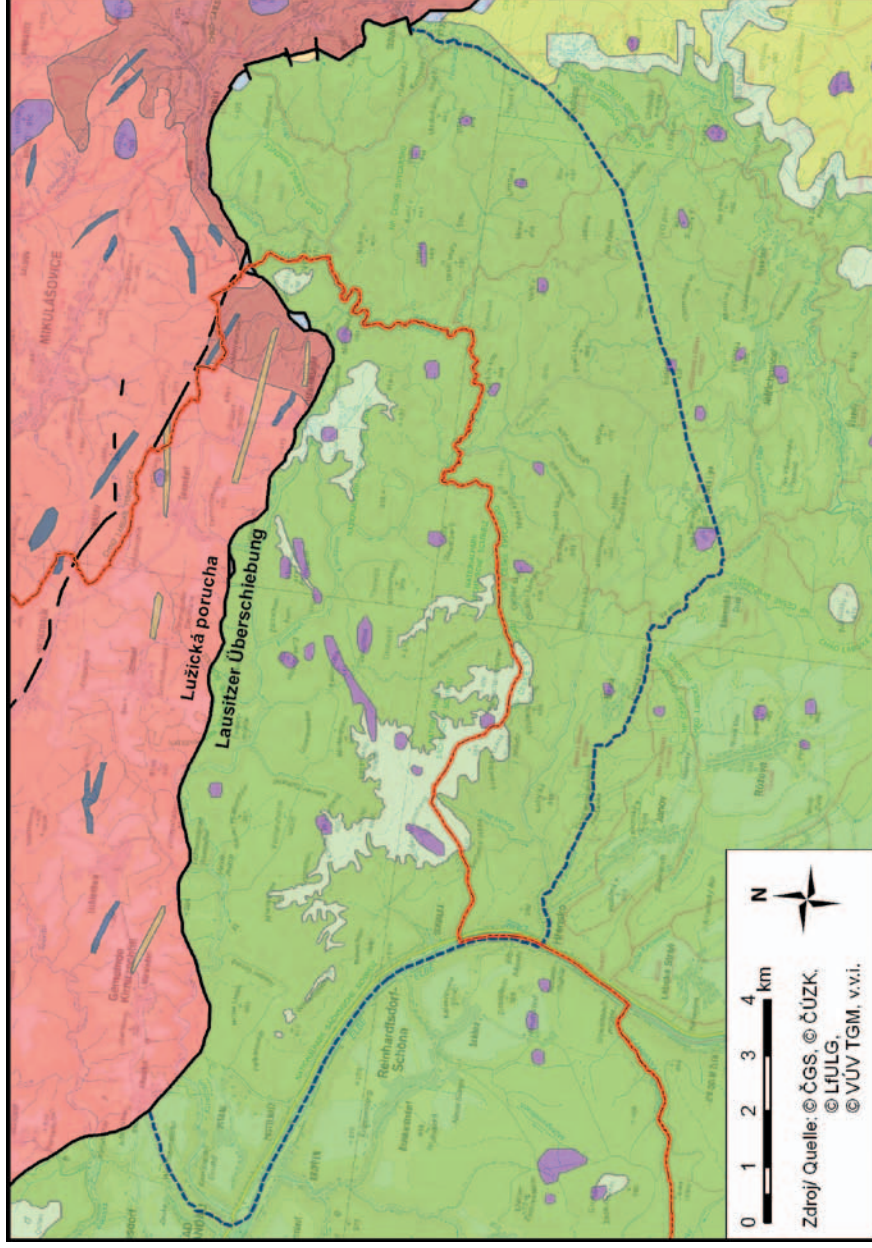
Vzhledem k vysoké propustnosti turonského kolektoru (2/3, resp. BC) a jeho velkoplošnému rozsahu v zájmovém území vykazuje tento kolektor nejvyšší potenciál tvorby podzemní vody v rámci celé česko-saské křídové pánve, a je ho tak možné považovat za nejproduktivnější i z hlediska tvorby zdrojů podzemních vod (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Podzemní voda těchto kolektorů lokálně komunikuje s povrchovou vodou a má zásadní význam jako zdroj velmi kvalitní pitné vody pro vodárenské zásobování.

Bewegung des Grundwassers bietet (HERČÍK ET AL., 2003). Auf Grund der insgesamt hohen Porosität (Poren, Klüfte) der Sandsteine besitzen sie eine gute Durchlässigkeit (VOIGT ET AL., 2013).

Der tiefste und damit älteste Teil des Sedimentkomplexes wird durch die Sandsteine des Cenomans gebildet, die einen eigenständigen Grundwasserleiter (GWL) bilden (CZ: GWL A; DE: GWL 4) (VALEČKA ET AL., 1999; G.E.O.S., 1997). Er wird wasserwirtschaftlich nicht genutzt. Dieser Grundwasserleiter wird von einem Grundwasserstauer (CZ: basale Bílá hora Formation; DE: Labiatuspläner) überlagert. Darüber folgt der mächtige, in den Sandsteinen des Turon und Coniac ausgebildete Grundwasserleiter (CZ: GWL BC; DE: GWL 2/3). Dieser Grundwasserleiter ist überwiegend als ein einheitlicher Grundwasserleiter von bis zu über 500 m Mächtigkeit ausgebildet (HERČÍK ET AL., 2003), nur im westlichen sächsischen Teil des Gebietes ist er durch einen Grundwasserstauer in die Grundwasserleiter 2 und 3 getrennt (G.E.O.S., 1997; VOIGT ET AL., 2013). Der Grundwasserleiter schließt sämtliche oberirdische Felsformationen mit ein. In seinen oberirdischen Teilen treten Horizonte mit geringerer Durchlässigkeit auf, die lokal zu Grundwasseraustritten an der Erdoberfläche führen können. Diese Schichten können als Grundwassergeringerleiter bezeichnet werden (VOIGT ET AL., 2013). Im Bereich der Lausitzer Überschiebung kann davon ausgegangen werden, dass auf Grund der tektonischen Überprägung der Sandsteine die Grundwasserstauer zwischen den Grundwasserleitern zumindest partiell nicht ausgebildet sind, so dass die Grundwasserleiter hydraulisch miteinander verbunden sind (HERČÍK ET AL., 2003).

Auf Grund der oberflächigen Ausbildung und der hohen Permeabilität des turonen Grundwasserleiters (2/3 bzw. BC) im Untersuchungsgebiet, besitzt dieser die höchsten Grundwasserneubildungsraten im sächsisch-böhmischen Kreidebecken und kann auch hinsichtlich der Bildung von Grundwasserressourcen als am produktivsten angesehen werden (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). 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**

čedič, nef. bazanit, nefelinit,  
fonolit, a trachyt, horniny, pyroklast.

**Křídové sedimenty**

pískovce kvádrové, místy s  
vločkami jílovců (coniac-santon)  
pískovce, jílovice s vločkami  
pískovců (svr. turon-coniac)  
pískovce, slínovce, jílovice a jíly  
(spodní až svrchní turon)

**Jurské sedimenty**

písčité vápence, dolomity,  
jílovitě a vápnité pískovce

**Permské horniny**

prachovce, pískovce,  
slepence, břidlice, ryolity

**Prvohorní a starohorní magmatity**

žíly křemenného porfyru  
lamprofyry

biotitická žula hrubě zrnitá, místy  
drobně zrnitá, zč. porfyrická

biotitický granodiorit středně zrnitý

zlomy, tektonické poruchy

státní hranice ČR/SRN

oblast Hřensko-Křínice/Kirmitzsch

**Tertiäre Vulkanite**

Basalte, Neph.-Basanite, Nephelinite,  
Phonolite, Trachyte, Pyroklastika

**Kreidesedimenty**

Quartzsandsteine, z. T. eingeschaltete Tonlagen (Coniac-Santon)  
Sandsteine, Tonsteine, z. T. eingesch. Sandsteinlagen (Oberturon-Coniac)  
Sandsteine, Mergelsteine, Tonsteine (Unter-bis Oberturon)

**Jurassische Sedimente**

Kalksteine (sandig), Dolomit,  
Sandsteine (tonig,kalkig)

**Gesteine des Perm**

Schluffsteine, Sandsteine,  
Konglomerate, Schiefer, Rhyolite

**Präkambr. und Paläoz. magmat. G.**

Quartzporphyr-Gang  
Lamprophyr

Biotit-Granit, grobkörnig,  
z. T. feinkörnig, z. T. phorphyrisch

Biotit-Granit, mittelkörnig

Tektonische Störungen

Staatsgrenze CZ/DE

Gebiet Hřensko-Křínice/Kirmitzsch

### 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 klima 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 ENSEMBLES (<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 výsledky projektu Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (PRETEL ET AL., 2011).

V oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch, která se nachází v severozápadní části ČR a jihovýchodní části Svobodného státu Sasko, se předpokládá výraznější vliv oceánského klimatu (SMUL, 2008; TOLASZ ET AL., 2008). Z hlediska lokálního klimatu vykazuje tato oblast tu zvláštnost, že v důsledku vlastností reliéfu zde lokálně dochází k teplotní inverzi. To znamená, že úzká a hluboko zaříznutá kaňonovitá údolí jsou chladnější a vlhčí než intenzivně prosluněná, a tím i teplejší a sušší náhorní plochy, skalní stěny a vrcholová plata. Zájmové území leží na návětrné straně Hornoloužické pahorkatiny, kde dochází k zadržování srážek, takže zde roční úhrny srážek dosahují až přes 900 mm. Průměrné roční teploty se pohybují většinou mezi 7,5 a 8 °C (MANNSELD & RICHTER, 1995).

Jak již bylo zmíněno úvodem, je klima velmi důležitým faktorem ovlivňujícím vodní režim a má silný vliv na dynamiku a hladiny podzemních vod. Vyplývá z toho otázka, nakolik budou mít již zaznamenané a budou-

### 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 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 Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch befindet sich im Südosten des Freistaates Sachsen und im Nordwesten der Tschechischen Republik. Großklimatisch kann das Gebiet den ozeanisch geprägten, gemäßigten Breiten zugeordnet werden (SMUL, 2008; TOLASZ ET AL., 2008). Lokalklimatisch weist das Gebiet die Besonderheit auf, dass es in Folge der Relief-eigenschaften zu einer Umkehr der klimatischen Verhältnisse kommt. Das bedeutet, die engen und tief eingeschnittenen, canonartigen Täler sind kühler und feuchter im Vergleich zu den stärker besonnten und damit wärmeren und trockeneren Hochflächen, Felswänden und Gipfelplateaus. Das Untersuchungsgebiet liegt im Einflussbereich von Stauwirkungen durch das Oberlausitzer Bergland, weshalb Jahresniederschläge von

cí změny klimatu dopad na systém podzemních vod, a obzvláště pak na úroveň hladin podzemních vod. Abychom zjistili, zda jsou změny klimatických veličin (trendy) již viditelné, 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 21. století) (LfULG, 2014).

Kromě nárůstu teploty vzduchu budou ovlivněny další meteorologické veličiny celého systému, jako např. výpar nebo skupenství srážek (déšť-sníh). Zvláště spolupůsobení změn teplot, srážek a výparu má přímý dopad na vodní režim. Tak např. vedou vyšší teploty v zimě k vyššímu 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 pololetí roku. Rozhodující vliv na tyto procesy má předcházející vlhkost půdy. 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 setrvalými až mírně stoupajícími srážkami. Dlouhodobě však musíme počítat s úbytkem letních srážek a se změnou skupenství u srážek zimních (LfULG, 2014), což s sebou přinese snížení tvorby nové podzemní vody s odpovídajícími dopady na zdroje podzemních vod.

Dalším pozorovaným fenoménem vztahujícím se ke srážkám je to, že se při stabilních ročních srážkových úhrnech mění časové rozdělení srážek, to znamená, že roste jejich intenzita. Takzvané přívalové srážky mohou vyvolat extrémní události, jako jsou povodně. Příkladem jsou extrémní

bis zu 900 mm erreicht werden. Die Jahresmitteltemperaturen liegen meistens bei 7,5 bis 8,0 °C (MANNSELD & RICHTER, 1995).

Wie bereits zu Beginn erwähnt, ist das Klima der treibende Faktor für den Wasserhaushalt und beeinflusst damit direkt die Grundwasserdynamik und 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.

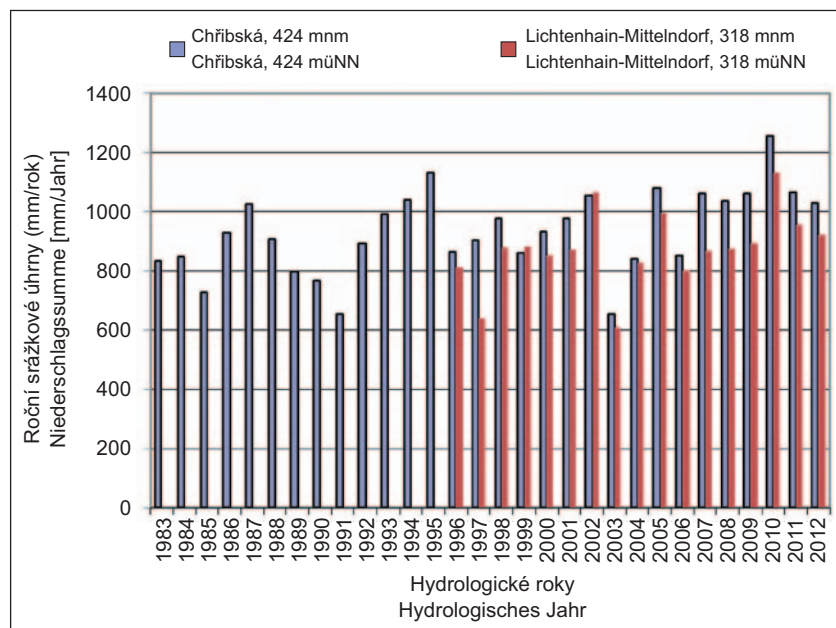
Prinzipiell geht die Klimaforschung im Mittel von einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und damit einhergehend einem Anstieg des Wasserdampfgehalts der Atmosphäre sowie einer Zunahme der Niederschläge aus (<http://www.wmo.int>). Diese allgemeinen Trends werden jedoch durch die regionalen 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 Vergleich zu kalten Wintern (Schnee) ansteigen und dementsprechend würde der Anteil der Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr abnehmen. Entschei-

povodně z let 2002, 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/nebo kratším trvání srážkové události, odtéká srážková voda hlavně povrchově, takže se z ní do podzemních vod dostane jen malý objem. Vzhledem k velké propustnosti hornin v oblasti Hřensko–Křinice/ /Kirnitzsch je vliv délky trvání srážkové události na infiltraci a tvorbu nové podzemní vody významný.

Obr. 1: Roční úhrny srážek na měřicích stanicích Chřibská a Lichtenhain-Mittelndorf

Abb. 1: Niederschlagssummen bezogen auf das hydrologische Jahr an den Messstationen Chřibská und Lichtenhain-Mittelndorf



end wirkt sich auf diese Prozesse auch die Vorfeuchte in der Bodenzone 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 wird.

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 Extremeignisse wie Hochwässer verursachen. Beispiele dafür sind die extremen Hochwässer der Jahre 2002, 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. Im Hinblick auf die große Durchlässigkeit der Gesteine im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch ist der Einfluss der Niederschlagsdauer auf die Infiltration und damit auf die Grundwasserneubildung bedeutend.

Die Untersuchungen in der Tschechischen Republik von PRETEL ET AL., (2011) und in Sachsen von SMUL (2008) zur Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperaturen und der Jahresniederschläge ergaben für das Untersuchungsgebiet folgende Ergebnisse. Der Vergleich der Durchschnittstemperaturen in den Perioden 1961–1989 und 1990–2007 bzw. 1961–1990 (Klimareferenzperiode) und 1991–2005 zeigten eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur im Frühjahr, Sommer und Winter, im Herbst blieb sie unverändert. Aus dem Vergleich der Jahresniederschlagssum-

Průzkumy v ČR provedené PRETELEM ET AL. (2011) a v Sasku SMUL (2008), týkající se vývoje ročních průměrných teplot a ročních srážkových úhrnů, přinesly pro zájmovou oblast následující výsledky. Porovnání průměrných teplot v periodách 1961–1989 a 1990–2007, resp. 1961–1990 (klimatická referenční perioda) a 1991–2005 ukázalo zvýšení průměrné teploty na jaře, v létě a v zimě; na podzim zůstává průměrná teplota nezměněná. Z porovnání ročních srážkových úhrnů ve stejných časových obdobích vyplývá, že zůstaly stejné, resp. se lehce zvýšily oproti porovnávanému období. Z hlediska sezonního rozdělení v porovnávaném období je patrné, že na podzim a v zimě došlo pouze k malému, resp. velmi malému nárůstu srážek. Na jaře bylo na české straně pozorováno značné zvýšení, zatímco pro Sasko byly registrovány snížené jarní srážky. V létě zase došlo shodně k malému snížení srážek. U těchto pozorování se jedná o tendence, z nichž zatím nelze vyvozovat definitivní závěry pro budoucnost.

Na obrázku 1 je dobře vidět vývoj ročních srážek. Jde o roční srážkové úhrny dvou meteorologických a srážkoměrných stanic (viz též mapu 1), které jsou pro naši zájmovou oblast reprezentativní, a to měřicí stanice Chřibská (ČR) a Lichtenhain-Mittelndorf (Sasko). Ani u jedné ze stanic nelze vzhledem ke krátkému pozorovacímu období identifikovat jednoznačnou tendenci ve vývoji srážek, resp. od roku 2000 dochází spíše ke zvýšení četnosti vlhkých a velmi vlhkých let. U obou stanic je dobře viditelný suchý rok 2003.

men in den gleichen Zeitperioden ergibt sich, dass diese gleich geblieben bzw. zum Vergleichszeitraum leicht angestiegen sind. Bei der saisonalen Verteilung im Vergleichszeitraum fällt auf, dass im Herbst und Winter nur eine leichte bzw. sehr leichte Niederschlagserrhöhung stattfand. Im Frühjahr wurde auf der tschechischen Seite eine merkliche Erhöhung beobachtet, während für Sachsen abnehmende Frühjahrsniederschläge registriert wurden. Im Sommer fand wieder übereinstimmend ein leichter Niederschlagsrückgang statt. Bei diesen Beobachtungen handelt es sich um Tendenzen, die keine Rückschlüsse auf die Zukunft zulassen.

In der Abbildung 1 ist die Entwicklung der Jahresniederschläge gut nachvollziehbar. Es sind die Jahresniederschlagssummen der zwei für das Untersuchungsgebiet Hřensko–Křinice/Kirnitzsch repräsentativen Klima- und Niederschlagsmessstationen (s. auch Karte 1) Chřibská (Tschechische Republik) und Lichtenhain-Mittelndorf (Sachsen) dargestellt. Für beide Stationen ist keine eindeutige Tendenz der Niederschlagsentwicklung zu erkennen bzw. eher eine Häufung feuchter und sehr feuchter Jahre ab 2000. Sehr deutlich sichtbar ist bei beiden Stationen das ausgeprägte Trockenjahr 2003.





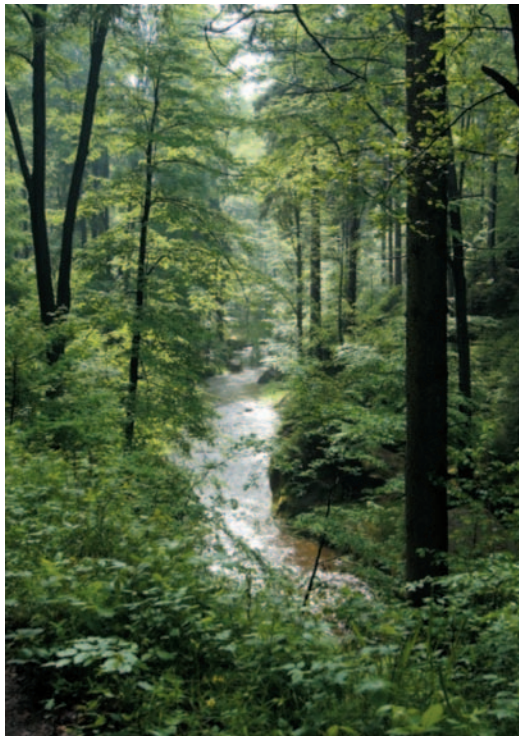
Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch leží v povodích Kamenice a Křinice, což jsou pravostranné přítoky Labe. Tato oblast je tak odvodňována hlavně těmito dvěma povrchovými toky a také přímo hlavní vodotečí, tedy Labem. Jelikož pískovce, které tvoří toto území, jsou vysoce propustné (VOIGT ET AL., 2013), prosakuje srážková voda velmi rychle do podloží, což se odráží na velmi malé hustotě stabilních povrchových vodních toků. Převažující část zájmové oblasti je možné považovat za oblasti se slabým povrchovým odtokem, se zformovanými suchými údolními, např. údolí Großer Zschand (Velký Čand) nebo Kozí důl, kde povrchová voda teče jen po tání sněhu nebo v průběhu déle trvajících deštivých období (MIBUS, 1968).



Das Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch liegt in den Flusseinzugsgebieten von Kamenice und Kirnitzsch, die zwei Nebenflüsse der Elbe sind. Somit wird das Gebiet hauptsächlich durch diese beiden Oberflächengewässer und auch direkt durch den Hauptvorfluter Elbe entwässert. Da die, das Gebiet aufbauenden Sandsteine, eine sehr hohe Permeabilität aufweisen (VOIGT ET AL., 2013), versickert das Niederschlagswasser sehr schnell im Untergrund, was sich in der sehr geringen Dichte permanent wasserführender Oberflächengewässer äußert. Der überwiegende Teil des Untersuchungsgebietes kann als mehr oder weniger abflussarm angesehen werden mit ausgebildeten Trockentälern wie z. B. der Große Zschand oder Kozí důl, die nur in Folge der Schneeschmelze oder während anhaltenden Feuchtperioden Wasser führen (MIBUS, 1968).

Die Abflüsse bzw. die Wasserstände der Kirnitzsch werden vor der Einmündung in die Elbe auf der sächsischen Seite an den Pegeln Buschmühle und Kirnitzschtal erfasst. Diese Abflussmessungen werden am Pegel Buschmühle seit dem hydrologischen Jahr 1970 und am Pegel Kirnitzschtal seit dem hydrologischen Jahr 1912 durchgeführt. Die Abflüsse der Kamenice werden auf tschechischer Seite am Pegel Hřensko langfristig erfasst.

Průtoky, resp. vodní stavy Křinice jsou před ústím do Labe na saské straně dlouhodobě sledovány na limnigrafech Buschmühle a Kirnitzschtal. Průtoky jsou na vodoměrné stanici Buschmühle registrovány od hydrologického roku 1970 a na vodoměrné stanici Kirnitzschtal od hydrologického roku 1912. Na české straně jsou průtoky v Kamenici sledovány dlouhodobě na limnigrafu ve Hřensku.



Plocha povodí Křinice činí celkově 165 km<sup>2</sup>, plocha povodí Kamenice přibližně 216 km<sup>2</sup>. Celkový odtok je jak u Kamenice, tak i u Křinice tvořen hlavně podzemní vodou, tzv. základním odtokem. Vyhodnocení údajů z vodoměrné stanice Kirnitzschtal z vodohospodářského portálu Saska (<http://www.wasserhaushaltsportal.sachsen.de>) ukazuje, že podíl podzemní vody na celkovém průtoku Křinice představoval v letech 1951–2005 v průměru kolem 87 %. Tato podzemní voda pochází ze zvodní, které jsou v hydraulickém kontaktu s povrchovými vodami, resp. jsou jimi odvodňovány. Kromě těchto oblastí, ve kterých podzemní voda odtéká ze zvodně do povrchového toku, existují i úseky toku, v nichž je voda z toku infiltrována do zvodně – tak je tomu např. u lužické poruchy (PAČL & HRKALOVÁ, 2010). Na saském úseku Křinice se střídají úseky, ve kterých podzemní voda odtéká ze zvodně do povrchového toku a úseky s infiltrací povrchové vody z Křinice do zvodní. Celkově je však možné vycházet z toho, že úseky, ve kterých podzemní voda odtéká ze zvodně do povrchového toku, tu převažují. Ve prospěch toho hovoří i skutečnost, že celkový průtok v Křinici se mezi vodoměrnými stanicemi Buschmühle a Kirnitzschtal zvětšuje (DR. DITTRICH UND PARTNER, 2002).

◀ Obr 2b: Údolí Křinice pod Obere Schleuse

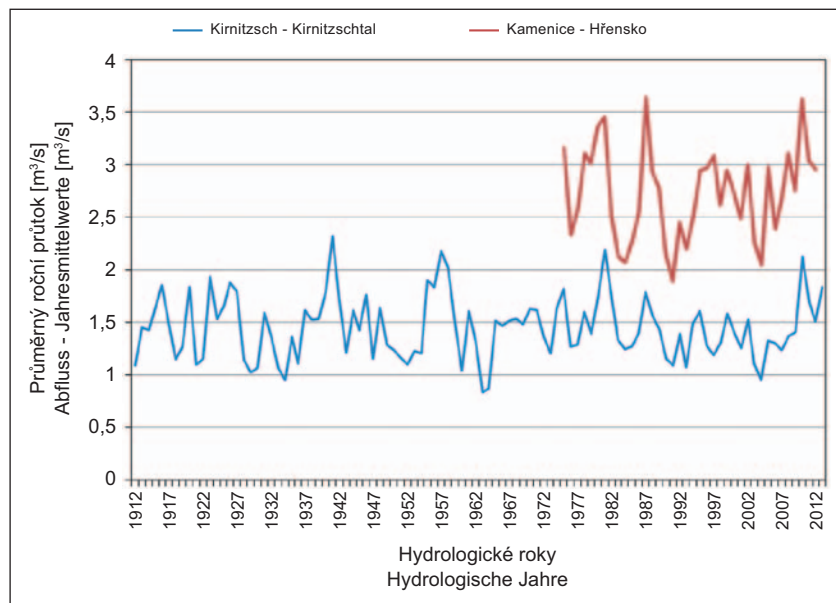
◀ Abb. 2b: Kirnitzschtal unterhalb der Oberen Schleuse

Das Einzugsgebiet der Kirnitzsch beträgt insgesamt 165 km<sup>2</sup>, das der Kamenice etwa 216 km<sup>2</sup>. Der Gesamtabfluss sowohl der Kamenice als auch der Kirnitzsch wird hauptsächlich durch den Anteil des Grundwasserabflusses dem sogenannten Basisabfluss in das Gewässer gebildet. So zeigen Auswertungen der Daten am Pegel Kirnitzschtal aus dem Wasserhaushaltsportal Sachsen (<http://www.wasserhaushaltsportal.sachsen.de>), dass der Anteil des Grundwasserzuflusses am Gesamtabfluss der Kirnitzsch in den Jahren 1951–2005 im Mittel bei 87% lag. Dieses Grundwasser entstammt den im Gebiet ausgebildeten Grundwasserleitern, die im hydraulischen Kontakt mit den Oberflächengewässern stehen bzw. durch sie entwässert werden. Neben diesen Bereichen mit sogenannten effluenten Verhältnissen, d. h. Grundwasser tritt aus dem Grundwasserleiter in das Oberflächengewässer ein, gibt es auch Flussstrecken, in denen Flusswasser in den Grundwasserleiter infiltriert (influente Verhältnisse), so z. B. an der Lausitzer Überschiebung (PAČL & HRKALOVÁ, 2010). Im sächsischen Teil der Kirnitzsch wechseln Flussabschnitte mit Exfiltration von Grundwasser ins Oberflächenwasser und Flussabschnitte mit Infiltration von Kirnitzschwasser in den Grundwasserleiter, insgesamt kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Exfiltrationsstrecken überwiegen. Dafür spricht auch, dass der Gesamtdurchfluss der Kirnitzsch zwischen Pegel Buschmühle und Pegel Kirnitzschtal zunimmt (DR. DITTRICH UND PARTNER, 2002).

Die Abflussganglinien der Kamenice am Pegel Hřensko und der Kirnitzsch am Pegel Kirnitzschtal sind in Abbildung 3 dargestellt.

Obr. 3: Průměrné roční průtoky v Křinici a Kamenici

Abb. 3: Mittlere jährliche Abflüsse der Kirnitzsch und der Kamenice



Obrázek 3 uvádí průběh průměrných ročních průtoků v Křinici z vodoměrné stanice Kirnitzschtal a Kamenici z limnigrafu ve Hřensku.

Vývoj průtoků v profilu limnigrafu Kirnitzschtal nevykazuje v celém období 1912–2013 žádný jednoznačný trend, v celém sledovaném období se střídaly fáze s menšími a většími průtoky. Od první poloviny osmdesátých let minulého století do roku 2008 je ale zjevná fáze se zmenšujícími se průtoky, poté je zaznamenán výrazný nárůst, který souvisí především s povodňovými roky 2010 a 2013 a s velmi vlhkým rokem 2011. Nápadné je to, že v posledních 15 letech bylo zaznamenáno zvýšení četnosti extrémních událostí, v jejichž průběhu byly na vodoměrné stanici registrovány minimální průtoky a také vůbec největší naměřený průtok.

Na průběhu průtoků v Křinici je dobře vidět, že malé a střední průtoky nastávají synchronně s kolísáním ve vývoji počasí (srážek), a tím je ovliv-

Die Entwicklung der Abflüsse am Pegel Kirnitzschtal weisen für den gesamten Zeitraum 1912–2013 keinen eindeutigen Trend auf, im gesamten Beobachtungszeitraum wechselten sich Phasen mit niedrigeren und solche mit höheren Abflüssen ab. Ab der ersten Hälfte der 1980er Jahre bis 2008 ist eine Phase rückläufiger Abflüsse erkennbar, danach ist ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen, der vor allem auf die Hochwasserjahre 2010 und 2013 sowie das sehr feuchte Jahr 2011 zurückzuführen ist. Auffällig ist, dass in den vergangenen 15 Jahren eine Häufung von Extremereignissen zu verzeichnen war, in denen auch der jeweils niedrigste und höchste jemals gemessene Durchflusswert am Pegel registriert wurde.

Für die Abflüsse der Kirnitzsch ist deutlich belegbar, dass ihre Niedrig- und Mittelwasserabflüsse synchron zu den Schwankungen der Witterung (Niederschläge) und damit der Grundwasserneubildung verlaufen (Dr. DITTRICH UND PARTNER, 2002). Wie bereits oben gesehen, dominiert der Grundwasseranteil den Gesamtabfluss der Kirnitzsch. Sehr deutlich wird dieser Zusammenhang in Folge von Extremereignissen. So führte das extreme Trockenjahr 2003 zu den sehr geringen Abflüssen im Jahr 2004. Der niedrigste je gemessene Tagesabfluss wurde 2005 erfasst. Diese sehr geringen Abflusswerte können auf geringe Niederschläge, eine verminderte Grundwasserneubildung und damit auf einen geringeren Grundwasserzufluss zur Kirnitzsch im sehr trockenen Jahr 2003, sowie den Jahren 2004 mit sehr trockenem Frühjahr & Herbst und 2005 mit sehr trockenem Frühjahr & Frühsommer zurückgeführt werden. Im Gegensatz dazu stehen die Hochwasserabflüsse in Folge der Starkregenereignisse in den Jahren 2010 und 2013.

Beim Vergleich der Abflüsse von Kirnitzsch und Kamenice im Vergleichszeitraum (1975 bis 2009) zeigt sich, dass die mittleren Abflüsse der Kirnitzsch ca.  $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , die der Kamenice rund  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$  betragen, wobei das Einzugsgebiet der Kirnitzsch um fast ein Viertel kleiner ist als das der Kamenice. Die Abflüsse in der Kamenice betragen also fast das Doppelte. Ähnlich verhält es sich mit dem niedrigsten Jahresabfluss in der Kirnitzsch, der rund  $0,95 \text{ m}^3/\text{s}$ , für die Kamenice aber ca.  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , also das Doppelte, beträgt. Im genannten Zeitraum wurde der niedrigste Jahresabfluss der Kamenice im Jahr 1991 verzeichnet, als die Wasserentnahmen in der

něna i tvorba nové podzemní vody (DR. DITTRICH UND PARTNER, 2002). Jak již bylo uvedeno, dominuje na celkovém průtoku v Křinici podíl podzemní vody. Tato souvislost je významná při velkých výkyvech počasí. Extrémně suchý rok 2003 vedl k malým průtokům v roce 2004. Vůbec nejmenší naměřený průměrný denní průtok byl zaznamenán v roce 2005. Tyto velmi malé průtoky je možné dát do souvislosti se sníženou tvorbou nové podzemní vody, a tím i menším přítokem podzemní vody do Křinice ve velmi suchém roce 2003, v roce 2004 s velmi suchým jarem a podzimem a v roce 2005 s velmi suchým jarem a počátkem léta. V protikladu k tomu pak stojí povodňové průtoky způsobené intenzivními srážkami v letech 2010 a 2013.

Při porovnání vodnosti Křinice a Kamenice ve srovnatelném intervalu let (1975 až 2009) se ukazuje, že průměrné průtoky v Křinici činí cca  $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$  a v Kamenici okolo  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , přičemž plošně je povodí Křinice téměř o čtvrtinu menší než povodí Kamenice. Průtoky v Kamenici jsou tedy téměř dvojnásobné. Obdobně činí minimální roční průtok pro Křinici okolo  $0,95 \text{ m}^3/\text{s}$ , pro Kamenici ale cca  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , tedy dvojnásobek. V tomto období byl zaznamenán minimální roční průtok v Kamenici v roce 1991, kdy vrcholily odběry vody v Hřensku. To hovoří pro to, že v důsledku odběrů vody se snížilo množství podzemní vody, která by jinak odtekla do Kamenice. Malé průtoky v Křinici v roce 2004 souvisely, jak již bylo zmíněno, se sníženou tvorbou nové podzemní vody v důsledku sucha v roce 2003.

Wasserfassung Hřensko am höchsten waren. Das spricht dafür, dass durch die Entnahmen Grundwasser entzogen wurde, das sonst der Kamenice zugeflossen wäre. Im unbeeinflussten Zustand müsste der gesamte Grundwasserabfluss rechts (nördlich) der Kamenice in dieses Gewässer exfiltrieren (DR. DITTRICH UND PARTNER, 2002). Die niedrigen Abflüsse in der Kirnitzsch im Jahr 2004 hängen, wie bereits oberhalb dargestellt, mit geringen Niederschlagsmengen und der niedrigen Grundwasserneubildung in Folge der Trockenheit im Jahr 2003 zusammen.



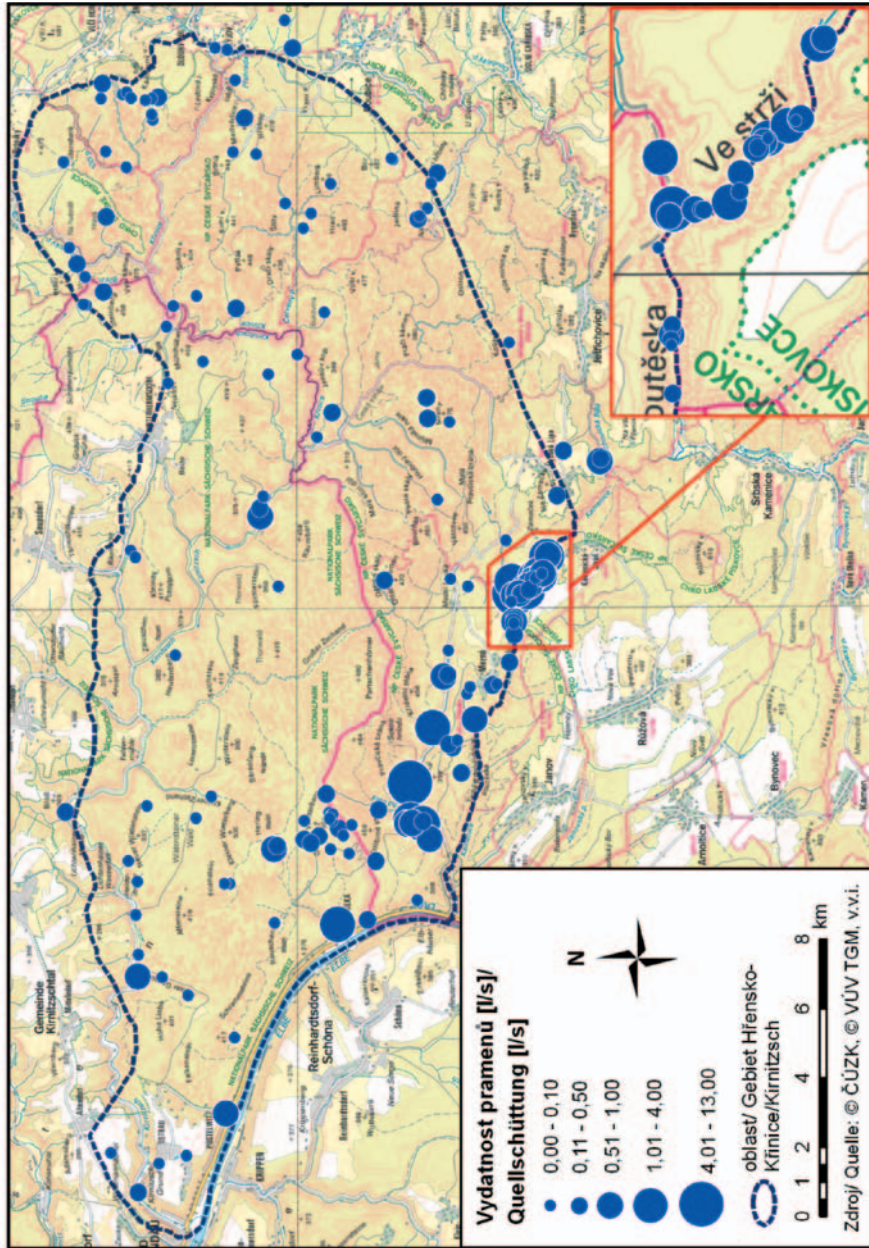
Nedílnou součástí posouzení vodního režimu oblasti a jeho vývoje je sledování vydatností pramenů a pramenných oblastí, jejich mapování a měření. Hlavně prameny, které jsou napájeny podzemní vodou z připovrchové zóny zvodní nebo z vrstev zadržujících vodu ve svahových sutích, mohou velmi citlivě reagovat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

Vyhledávání pramenů a měření jejich vydatnosti se provádělo od počátku roku 2012 až po léto 2013. Celkově bylo v zájmové oblasti a jejím bezprostředním okolí nalezeno 162 pramenů, z toho 52 leží na saském území. Jelikož období od pozdního podzimu do časného jara představuje kvůli nízkým teplotám a vegetačnímu klidu (nízkému 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 docházelo k velkému poklesu vydatnosti, místy až k vyschnutí části jednotlivých pramenů. Vyschnutím jsou dotčeny obzvláště drobné prameny, které mají obecně malou vydatnost a jsou napájeny ze svrchních zvodní. Proti tomu je vydatnost těch pramenů, které jsou napájeny z hlubších zvodní, jako například Ilmenquelle ve Schmilce, relativně konstantní (MIBUS, 1968).

Nejvyšší vydatnosti byly v zájmové oblasti zaznamenány u pramenů v blízkosti Hřenska v jihozápadní části území (pramen Pod Pravčickou bránou, prameny oblasti Koutského potoka, prameny v povodí Suché Bělé, pramen Ilmenquelle ve Schmilce a na severozápadě zájmového území pramen Spaltenquelle v Bad Schandau). Větší množství méně vydatných pramenů se vyskytuje ve východní části území v blízkosti lužické poruchy a na západě zájmového území okolo hory Großer Winterberg. Celková průměrná vydatnost všech v oblasti změřených pramenů dosahovala v monitorovaném období okolo 65 l/s (ECKHARDT, 2013).

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 wasserstauer Schichten im Hangschutt gespeist werden, können sehr empfindlich auf natürliche Veränderungen, wie z. B. eine veränderte Niederschlagsverteilung reagieren. Quellen, die den oberen Teilen der Grundwasserleiter entspringen, 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 162 Quellen aufgefunden, wovon 52 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. Vom Austrocknen sind insbesondere kleine Quellen betroffen, die generell eine geringe Ergiebigkeit besitzen und aus den oberen Teilen des Grundwasserleiters oder aus dem Hangschutt gespeist werden. Demgegenüber ist die Schüttung derjenigen Quellen relativ konstant, die tieferen Teilen des Grundwasserleiters entspringen oder als sogenannte Überlaufquellen (Schichten fallen entgegen der Quellaustrittsrichtung hangeinwärts ein) ausgebildet sind, wie z. B. die Ilmenquelle in Schmilka (MIBUS, 1968).



Die höchsten Quellschüttungsbeträge wurden an den Quellen in der Nähe von Hřensko im südwestlichen Teil des Gebietes gemessen, vor allem an der Quelle Pod Pravčickou bránou, an den Quellen am Bach Koutský potok und im Einzugsgebiet der Suchá Bělá sowie an der Ilmenquelle in Schmilka und im nordwestlichen Teil des Gebietes an der Spaltenquelle in Bad Schandau. Zahlreiche, weniger ergiebige Quellen gibt es im Ostteil in der Nähe der Lausitzer Überschiebung und im Westen des Gebiets um den Großen Winterberg. Die durchschnittliche Quellschüttung aller im Gebiet erfassten Quellen betrug im Beobachtungszeitraum rund 65 l/s (ECKHARDT, 2013).

Obr. 4: Hadí pramen

Abb. 4: Quellfassung Hadí pramen



◀ Mapa 3: Vydatnost pramenů v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch

◀ Karte 3: Ergiebigkeit der Quellen im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch

Jen některé prameny jsou využívány k zásobování obyvatel pitnou vodou. Jedná se v české části například o pramen Pod Pravčickou bránou a Pytlův pramen, které jsou využívány v rámci jímacího území Hřensko. V německé části je například využívána část pramene Ilmenquelle v obci Schmilka (G.E.O.S., 1997). Vlivem čerpání podzemních vod může docházet k zániku některých pramenů. Tímto způsobem došlo k vyschnutí Panenského pramene v jímacím území Hřensko (DOUDĚROVÁ, 1986) a k poklesu vydatnosti některých dalších pramenů v této oblasti.

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.



Nur wenige Quellen werden zur Trinkwasserversorgung genutzt. Im tschechischen Teil des Gebiets sind es zum Beispiel die Quellen Pod Pravčickou bránou und Pytlův pramen im Fassungsgebiet Hřensko, im deutschen Teil wird ein Teil der Ilmenquelle in der Gemeinde Schmilka genutzt (G.E.O.S., 1997). Infolge des Abpumpens von Grundwasser können Quellen versiegen, wie es bei der der Quelle Panenský pramen im Fassungsgebiet Hřensko geschehen ist (DOUDĚROVÁ, 1986). Bei anderen Quellen in diesem Gebiet ist dadurch die Ergiebigkeit zurückgegangen.

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

a)



b)



c)



## 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.

Obr. 5: Dva způsoby vzorkování fauny podzemních vod: a) odběr vzorku ze starého pozorovacího vrtu v údolí Suché Bělé, b) vzorek sedimentu ze dna vrtu, c) odběr vzorků filtrováním studniční vody, oblast Doubice (foto: M. Bílý)

Abb. 5: Zwei Beprobungsmethoden der Grundwasserfauna: a) Probenahme an einer Grundwassermessstelle im Tal der Suchá Bělá; b) Probe vom Grund der Messstelle; c) Probenahme durch Brunnenwasserfiltration, Gebiet Doubice (Fotos: M. Bílý)

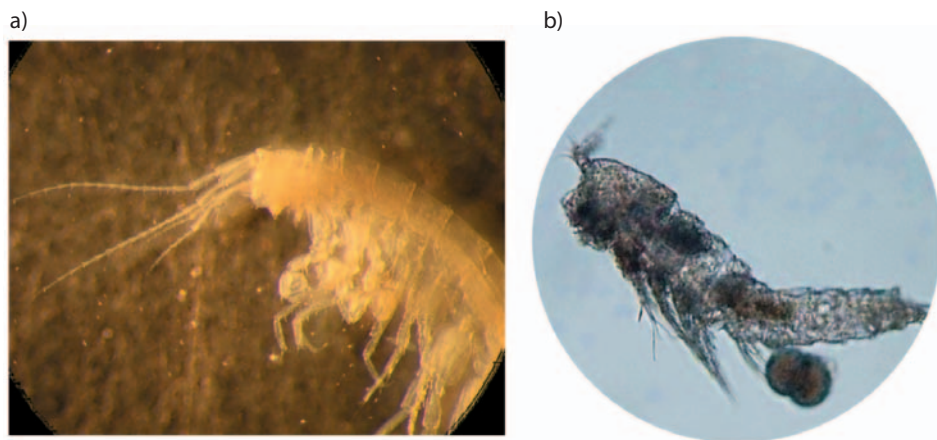


vod od zdrojů narušených a výskyt živočichů vypovídá také o stavu chemismu vod. Pomocí fauny lze dále vysledovat interakce mezi podzemní a povrchovou vodou. Na základě výskytu určitých živočichů je možno usoudit například na propojení mezi podzemními vodními zdroji a vyvěrajícími prameny. V neposlední řadě jde i o cenná faunistická data, jež přispívají k poznání biodiverzity dané oblasti a ke klasifikaci rajonů 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 Hřensko–Křinice/Kirnitzsch jsme použili především metodu vzorkování sedimentů ze dna starých, dnes již nepoužívaných vrtů pomocí specializovaného síťového sběrače – tzv. freatické sítě (Matzke, 2006 IN GUTJAHR, 2013) – obr. 5a, b. Prostor vrtů sice nepředstavuje původní prostředí výskytu fauny podzemních vod, působí však jako past, kde se živočichové mohou akumulovat. Byly tak odebrány vzorky z 12 vrtů, část z nich opakovaně. Doplňkově byla vzorkována i voda vyvěrající na povrch (2 prameny) a pumpovaná voda z jedné vybrané studny – obr. 5c. Výběr vzorkovaných lokalit byl dán výskytem vhodných vrtů a pramenů, proto se tyto lokality až na dvě výjimky nacházejí v západní polovině zkoumaného území.

Die Untersuchung der Grundwasserfauna ist aus mehreren Gründen von Bedeutung. Diese Organismen sind zum einen sehr gute Bioindikatoren und ermöglichen es intakte Grundwasserressourcen von gestörten zu unterscheiden. Das Vorkommen der Grundwassertiere sagt im Weiteren viel über die Wasserchemie aus. Mit Hilfe der Fauna lässt sich ferner die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktion untersuchen. Aufgrund der vorkommenden Tierarten kann man beispielsweise die Verbindungen zwischen den Grundwasserressourcen 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).

Die Probenahme der Grundwasserfauna ist ein bisschen schwierig und gelingt nur über Grundwassermessstellen. Im Gebiet Hřensko–Křinice/Kirnitzsch wurden sowohl alte, heute nicht mehr unter Beobachtung stehende als auch aktive Messstellen für die Probenahme verwendet. Dazu wird ein spezieller Netzsammler, das sogenannte phreatische Netz (MATZKE, 2006 IN GUTJAHR, 2013) in die Messstelle hinab gelassen. Der Bereich um die Messstelle ist zwar nicht das ursprüngliche Habitat der Grundwasserfauna, wirkt aber wie eine Falle, wo sich die Tiere ansammeln können. Auf diese Weise wurden 12 Messstellen beprobt, einige davon wiederholt. Dazu kamen noch zwei Quellaustritte und ein Pumpbrunnen (s. Abb. 5a–c). Die Standortauswahl richtete sich nach den vorhandenen und für die Untersuchungszwecke geeigneten Messstellen



- ◀ Obr. 6: a) Blešivec studniční (*Niphargus aquilex*) – typický živočich podzemních vod (foto: H. J. Hahn), b) plazivka *Arcticocamptus rhaeticus*; plazivky byly nalézány zvláště v pramenných vývěrech (foto: A. Fuchs)
- ◀ Abb. 6: a) Höhlenflohkrebs (*Niphargus aquilex*) – ein typischer Vertreter der Grundwasserfauna (Foto: H. J. Hahn); b) *Arcticocamptus rhaeticus* aus der Ordnung der Harpacticoida, die besonders in Quellaustritten gefunden werden (Foto: A. Fuchs)

Nejpočetněji zastoupenými živočichy podzemních vod dané oblasti byli korýši skupin Amphipoda (různonožci) a Copepoda (klanonožci). Různonožci (obr. 6a) byli opakovaně nalézáni zejména v 11 m hlubokém vrtu poblíž saské obce Porschdorf (Porschdorf 3/81), na samém západním okraji zkoumaného území. Dalšími místy nálezu byly dva prameny rovněž na saském území (50512760 – Richter's Born, 51512002 – Ilmenquelle). Různonožci byli nalezeni i v české části oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch, a to ve 20 m hlubokém vrtu v údolí Suché Bělé (V2). Zde šlo o druh *Niphargus aquilex* (blešivec studniční). Ten je v Červeném seznamu organismů ČR (FARKAČ ET AL., 2005) kategorizován stupněm NT (téměř zranitelný). Druhy rodu *Niphargus* sp. jsou indikátory velmi čisté vody, ucelenější studie o jejich rozšíření na území ČR však chybí, proto i tento nálezný je cennou informací.

Klanonožci (Copepoda) byli ve vzorcích zastoupeni buchankami (Cyclopoida) a plazivkami (Harpacticoida). Obě skupiny osídlují jak povrchové, tak podzemní vody. Zvláště některé druhy plazivek (obr. 6b) představují typickou faunu podzemních vod, třebaže častěji je lze objevit v pramenných vývěrech. V rámci sledovaného území byly nalezeny ve dvou výše zmíněných pramenech na saské straně. Ve vzorcích dané oblasti byly nalezeny i tři taxony ze skupiny kroužkovců (Oligochaeta), z toho dva podzemní.

Celkově byl na studovaném území prokázán obvyklý výskyt fauny podzemních vod, a to především v pramenných vývěrech. V řadě testovaných vrtů fauna sice chyběla, to je ale dáno nevhodnými podmínkami prostředí konkrétních vrtů. Živočichové nalezení v pramenných vývěrech (Richter's Born, Ilmenquelle) i ve vrtu poblíž obce Porschdorf (Porschdorf 3/81) signalizují neznečištěnou podzemní vodu.

und Quellen, deshalb befinden sich diese bis auf zwei Ausnahmen alle in der westlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes.

Zahlenmäßig am stärksten vertreten waren die Krebstiere der Gruppen *Amphipoda* (Flohkrebse) und *Copepoda* (Ruderfußkrebse). Flohkrebse (Abb. 6a) wurden wiederholt besonders in einer 11 m tiefen Messstelle in der Nähe der sächsischen Gemeinde Porschdorf (Porschdorf 3/81) am westlichsten Rand des Untersuchungsgebietes gefunden. Weitere Fundorte waren zwei Quellen ebenfalls auf der sächsischen Seite (50512760 – Richter's Born, 51512002 – Ilmenquelle). Ruderfußkrebse wurden auch im tschechischen Teil des Gebiets Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch gefunden, und zwar in einer 20 m tiefen Messstelle im Tal der Suchá Bělá (V2) die Art *Niphargus aquilex* (Höhlenflohkrebs). Diese Art wird auf der Roten Liste der Tschechischen Republik (FARKAČ ET AL., 2005) mit der Stufe GG (gering gefährdet) geführt. Die Arten der Ordnung *Niphargus* sp. sind Indikatoren für sehr sauberes Wasser, eine ausführlichere Studie über ihre Verbreitung in der Tschechischen Republik liegt allerdings nicht vor, weshalb dieser Fund eine wertvolle Information darstellt.

Die Ruderfußkrebse (*Copepoda*) waren in den Proben sowohl als *Cyclopoida* als auch *Harpacticoida* vertreten. Beide Gruppen besiedeln sowohl Oberflächen- als auch Grundwässer. Besonders einige Arten der *Harpacticoida* (Abb. 6b) repräsentieren die typische Grundwasserfauna, obwohl sie auch häufig in Quellaustritten vorkommen. Im Rahmen des Untersuchungsgebietes wurden sie in den zwei oben genannten Quellen auf sächsischer Seite gefunden. In den Proben des genannten Gebiets wurden auch drei Arten aus der Gruppe der Wenigborster (*Oligochaeta*) gefunden davon zwei Grundwasserarten.

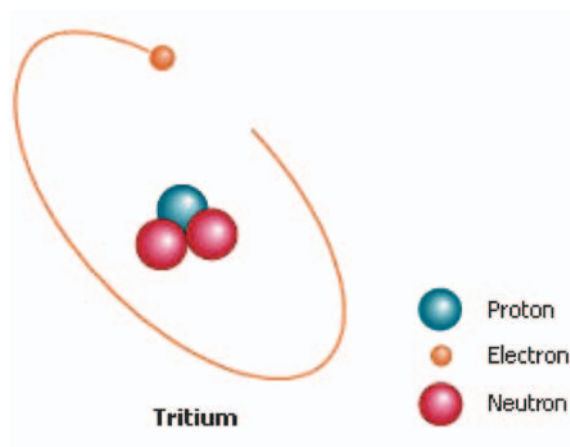
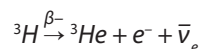
Insgesamt wurde im untersuchten Gebiet eine normale Grundwasserfauna nachgewiesen, und zwar besonders in den Quellen. In einigen Messstellen gab es zwar überhaupt keine Besiedlung, was aber durch die ungeeigneten Milieubedingungen an konkreten Messstellen zu erklären ist. Die in den Quellen (Richter's Born, Ilmenquelle) und auch in der Messstelle nahe Porschdorf (Porschdorf 3/81) gefundenen Tiere sind Indikatoren für sauberes Grundwasser.

Pro odhad stáří podzemních vod byla v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch 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  $4\,500 \pm 8$  dní, tj. 12,31 roku (LUCAS & UNTERWEGER, 2000).

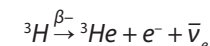
Tritium podléhá beta rozpadu ( $\beta^-$ ) za vzniku 3-helia ( $^3\text{He}$ ) – viz rovnici.



Für die Bestimmung von Alter und Mischung des Grundwassers wurde das sogenannte Tritium-Alter bestimmt. 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).

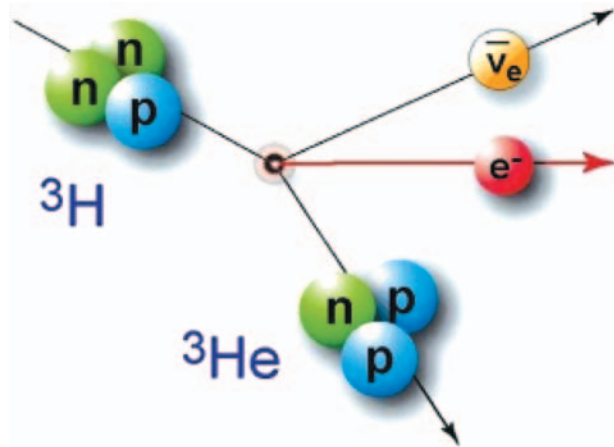


Tritium unterliegt dem Beta-Zerfall ( $\beta^-$ ) unter Entstehung von 3-Helium ( $^3\text{He}$ ) (siehe Formel). Beim Zerfall wird ein Elektron ( $e^-$ ), ein Antineutrino ( $\bar{\nu}_e$ ) und eine Energie von 18,6 keV frei gesetzt (LUCAS & UNTERWEGER, 2000). Die radioaktive Umwandlung von  $^3\text{H}$  zu  $^3\text{He}$  ist schematisch in der Abb. 8 dargestellt.

◀ Obr. 7: Schéma skladby atomu tritia (www.newenergyandfuel.com, 2013)

◀ Abb. 7: Aufbauschema des Tritiumatoms (www.newenergyandfuel.com, 2013)

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.



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

◀ 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 Tritiumaktivität kann entweder über die SI-Einheiten (Bq/kg, 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 über 4 MeV. Es handelt sich vorwiegend um die Reaktion mit  ${}^{14}\text{N}$ -Stickstoff. Zur Bestimmung der  ${}^3\text{H}$ -Konzentration in den Niederschlägen von der Zeit vor den Atomtests, d.h. der lediglich den natürlichen Prozessen entsprechenden Konzentration, wurden  ${}^3\text{H}$ -Messungen in Wein (aus geschlossenen Flaschen, ohne Luftzutritt, bekannter Jahrgang) eingesetzt. Aufgrund dieser Messungen 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 ist und sich demzufolge unterirdisch mit dem Wasser mitbewegt. Durch die Bombentests gelangte

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 ty 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 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 Hřensko–Křinice/Kirnitzsch proběhl v letech 2012 až 2013. Příklady odběrných míst jsou zachyceny na obr. 9. Celkem byly odebrány vzorky podzemních vod z 12 vodárenských vrtů, 9 pozorovacích vrtů a 12 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 vzor-

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

Die **Probenahmen** für die Altersbestimmung des Wassers mittels Tritium im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch erfolgten im Zeitraum von 2012 bis 2013. Beispiele der Probenahmestandorte zeigt die Abb. 9. Insgesamt wurden Grundwasserproben aus 12 Trinkwasserbrunnen, 9 Grundwassermessstellen und 12 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 Bohrvolumens 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 Bestim-



Obr. 9a: Lokality vybrané pro odběry vzorků

Abb. 9a: Ausgewählte Probenahmestandorte



◀ Obr. 9b: Lokality vybrané pro odběry vzorků

◀ Abb. 9b: Ausgewählte Probenahmestandorte

kovacího 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 měřicích stanic byly odčerpány pomocí přenosné čerpací techniky. V případě pozorovacích vrtů a měřicích 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.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 Quantullus 1220 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 ( $t_0$ ).

mung 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.

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 Quantullus 1220 der Firma Wallac ermittelt. Die Ergebniswerte 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. Die Tritiumaktivität der Niederschläge unterliegt zeitlichen und örtlichen Veränderungen. 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).

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 Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch byla použita aktivita tritia ve srážkách, a to pro dvě časové řady ze dvou lokalit.

■ Lokalita Freiberg leží 50 km jihozápadně od Drážďan v SRN. Monitoring tritia ve srážkách zde probíhá kontinuálně v měsíční periodě. Použitá data zahrnují období 1985–2010 (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 1961–2009 (IAEA, 2014).

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).

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 des Umweltindikators für das Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch wurde die Tritiumaktivität in den Niederschlägen eingesetzt, es wurden zwei Zeitreihen aus zwei Standorten verwendet.

■ Der Standort Freiberg befindet sich 50 km südwestlich von Dresden in Deutschland. Hier wird kontinuierlich in Monatsperioden das Tritium in den Niederschlägen gemessen. Die eingesetzten Daten umfassen die Periode 1985–2010 (LfULG, 2012).

■ Der Standort Hohe Warte befindet sich in Wien in Österreich und das Monitoring von Tritium in den Niederschlägen wird hier in monatlichen Perioden seit 1961 durchgeführt. Die eingesetzten Daten umfassen die Periode 1961–2009 (IAEA, 2014).

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

Die Ergebnisse für das Grundwasseralter wurden für eine besserer Übersichtlichkeit in sechs Zeitintervalle gegliedert und in der Karte des Untersuchungsgebietes dargestellt (Karte 4).

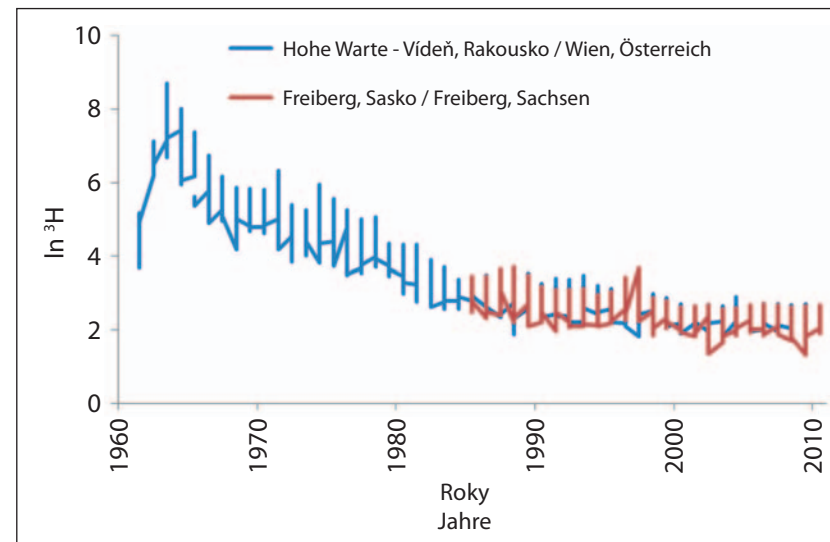
Im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch wurden Grundwässer unterschiedlichen Alters identifiziert, was unter anderem hilfreich für ihre Zuordnung zu den Grundwasserleitern ist (ŠIMEK, 2014). Das Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch ist ein Gebiet mit bedeutenden Grundwasserressourcen.

V oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch byly identifikovány podzemní vody různého stáří, což pomáhá určit jejich původ v kolektorech podzemní vody (ŠIMEK, 2014). Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch představuje významnou oblast zásob podzemních vod s vysokým stářím nad 30 let. U podzemních vod velmi vysokého stáří (více než 50 let) již metoda stanovení stáří pomocí tritia nemůže poskytnout uspokojivé výsledky a bude vhodné upřesnit stáří těchto vod metodou stanovení  $^{14}\text{C}$  a metodou  $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$ .



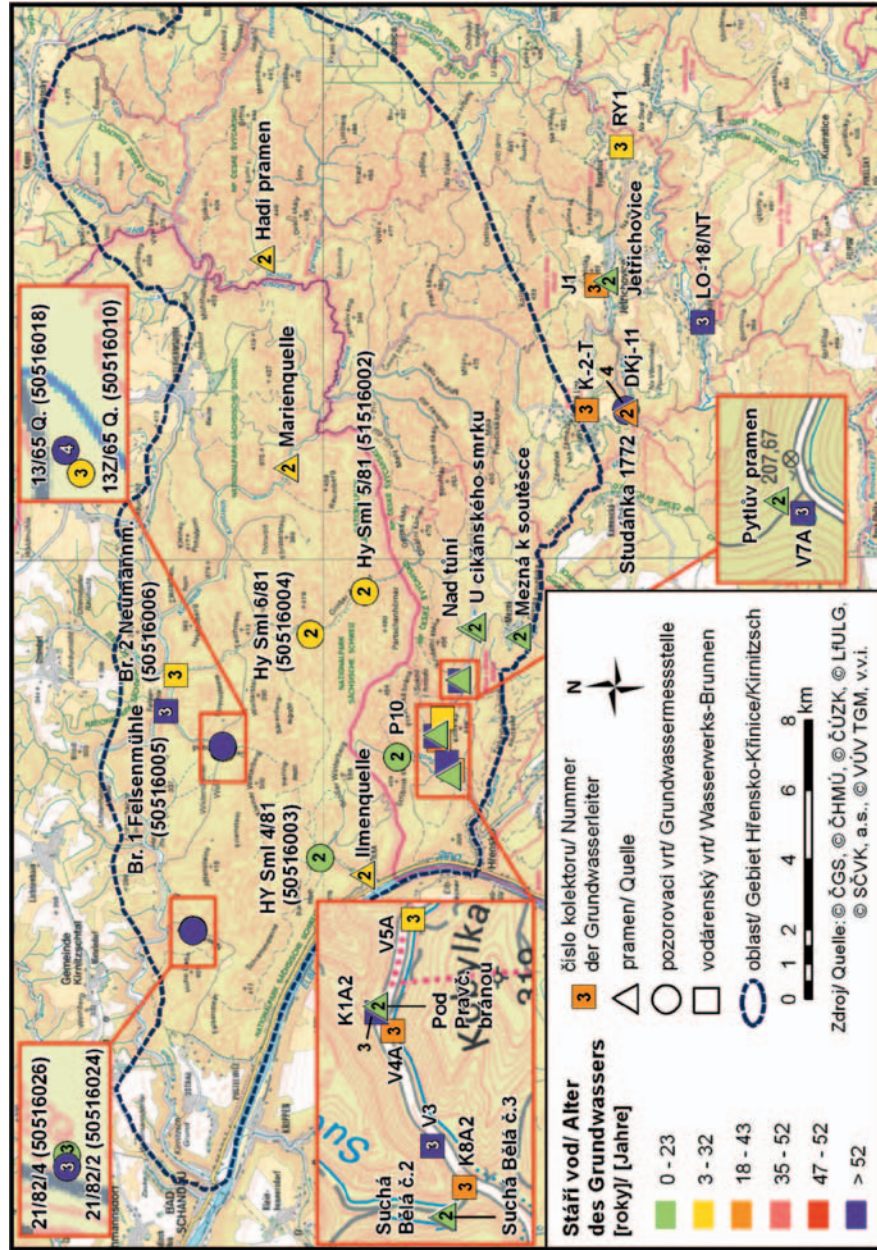
Obr. 10: Trend obsahu tritia ve srážkách na stanici Freiberg, Sasko (LfLUG, 2012) a Hohe Warte-Vídeň, Rakousko (IAEA, 2014); koncentrace tritia je uvedena v přirozených logaritmech

Abb. 10: Trend des Tritiumgehaltes in den Niederschlägen an den Stationen Freiberg, Sachsen (LfLUG, 2012) und Hohe Warte-Wien, Österreich (IAEA, 2014); (y-Achse logarithmisch skaliert)



Es wurden sowohl junge als auch alte Grundwässer von über 30 Jahren ermittelt. Bei sehr alten Grundwässern von über 50 Jahren kann die Altersbestimmung mittels Tritium keine befriedigenden Ergebnisse mehr liefern, die Präzisierung des Wasseralters kann unter Anwendung der  $^{14}\text{C}$ - und  $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$ -Methode erfolgen.





Mapa 4: Mapa stáří podzemních vod s vyznačenými kolektory v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch

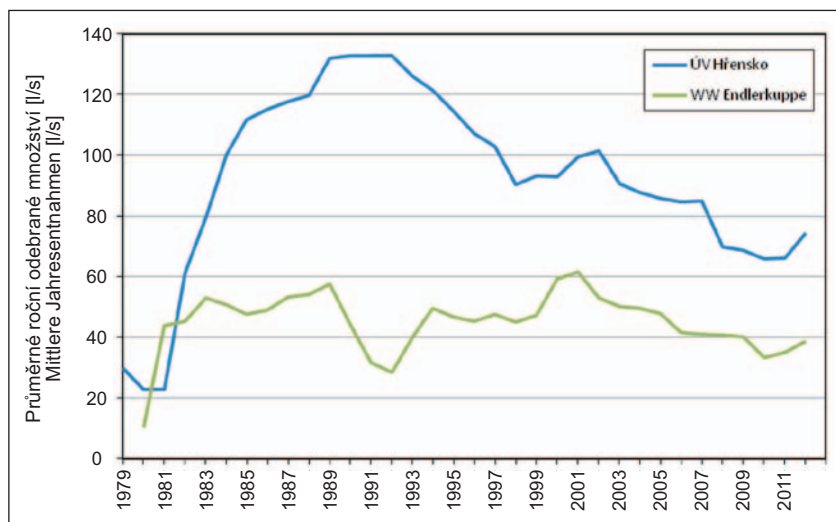
Karte 4: Alter des Grundwassers im Gebiet Hřensko-Křinice/ Kirnitzsch



## 8 Odběry vody a jejich vývoj

Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch 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.

Nejvýznamnějším jímacím územím v české části oblasti je jímací území Hřensko v povodí Kamenice. Vodu z tohoto jímacího území odebírá Úprava vody Hřensko, a to z šesti vrtaných studní a dvou pramenů. V úpravě vody (ÚV Hřensko), kterou provozuje akciová společnost Severočeské vodovody a kanalizace, a. s. (SČVK), se u této podzemní vody díky její vysoké kvalitě provádí pouze drobná úprava pH a tvrdosti a dezinfekce. Úpravna dodává pitnou vodu do Severočeské vodárenské soustavy, zejména je touto vodou zásobováno Děčínsko. Významnější odběry podzemních vod pro zásobování pitnou vodou tu byly zahájeny v šedesátých letech minu-



## Wasserentnahmen und ihre Entwicklung 8

Das Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch 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 und nur untergeordnet wird Wasser aus gefassten Quellen für die Versorgung der Bevölkerung genutzt.

Das größte Fassungsgebiet auf der tschechischen Seite ist die Fassung Hřensko, die im oberirdischen Einzugsgebiet der Kamenice liegt. Hier wird durch das Wasserwerk Hřensko (ÚV Hřensko) Grundwasser aus 6 Brunnen und 2 Quellen gewonnen. In der Trinkwasseraufbereitungsanlage der Nordböhmisches Wasser und Abwasser AG (SČVK) wird das Grundwasser wegen seiner hohen Qualität nur leicht durch eine pH-Wert – Pufferung und Desinfektion aufbereitet. Das Wasserwerk speist in der Folge das aufbereitete Trinkwasser in das Leitungsnetz des nordböhmisches Trinkwasserversorgungsverbundes ein, wo es vor allem für die Versorgung der Stadt Děčín und ihres Umlandes verwendet wird. Der Beginn der Grundwasserentnahmen für Zwecke der Trinkwasserversorgung lag bereits in den 1960er Jahren. Seitdem unterlag die Fördermenge einer stetigen Erhöhung und erreichte Ende der 1980er / Anfang der 1990er Jahre ihren Höhepunkt (s. Abb. 11). In dieser Phase wurden bis zu 130 l/s gefördert. In den vergangenen zwanzig Jahren sind die Entnahmemengen deutlich zurückgegangen und betragen gegenwärtig noch rund 70 l/s (PAČL & HRKALOVÁ, 2010). Diese Bilanzdaten basieren auf

◀ Obr. 11: Vývoj odebíraného množství podzemních vod

◀ Abb. 11: Entwicklung der Grundwasserentnahmen

lého století a postupně narůstaly. Nejvyšší odběry podzemních vod probíhaly v osmdesátých letech a začátkem devadesátých let dvacátého století (obr. 11), tehdy dosáhlo odebírané množství až cca 130 l/s. V posledních dvaceti letech odběry postupně významně klesaly, v současnosti je odebíráno okolo 70 l/s (PAČL & HRKALOVÁ, 2010), údaje vycházejí z vodohospodářské bilance (HEIS VÚV). Vodoprávní povolení umožňuje odběr v ročním průměru 103 l/s. Odběry podzemních vod z dalších jímacích území na české straně jsou řádově nižší, pro místní spotřebu je podzemní voda odebírána v úrovni maximálně desetin litru za sekundu. Takovéto odběry jsou například u Vysoké Lípy nebo u obce Mezná (HEIS VÚV).

Na saské straně zájmového území probíhá nejdůležitější jímání podzemní vody pro vodárnu Endlerkuppe. Vodárna odebírá vodu ze dvou hlubokých vrtaných studní Neumannmühle a Felsenmühle, které se nacházejí v údolí Křinice. I zde je čerpaná voda díky své dobré kvalitě pouze mírně upravována. Provozovatel této vodárny a obou hlubokých studní, společnost ENSO (Energie Sachsen Ost AG), přečerpává tuto vodu do sdruženého vodárenského systému vodáren Gottleuba a Endlerkuppe a přispívá tak k zásobování oblasti Saského Švýcarska pitnou vodou. Z obou hlubinných studní je na základě vodoprávního povolení z roku 1975 možné odebírat průměrné roční množství 69,4 l/s. Jak je vidět na obrázku výše, máme k dispozici údaje o množstvích čerpané vody od roku 1980. Největší množství podzemní vody (okolo 60 l/s) bylo odebíráno v letech 2000 a 2001, v současnosti jsou odběry nižší – většinou představují 35 až 40 l/s. Další větší odběr vody představovalo jímání vody v Bad Schandau studnami Ostrau a studnou a pramenem Bad Schandau na dolním toku Křinice. Tento odběr vody byl v roce 2005 ukončen a dnes slouží pouze jako vodárenské zařízení pro případ havárie (WAVE, 2008). Kromě toho existují na saské straně drobné odběry zásobující vodou jednotlivé domy apod. V osadě Schmilka se část vody z pramene Ilmenquelle používá pro zásobování obyvatel pitnou vodou.

den Angaben aus dem hydroökologischen Informationssystem HEIS von VÚV TGM. Entsprechend der wasserrechtlichen Genehmigung dürfen im Jahresmittel 103 l/s entnommen werden.

Die Grundwasserentnahmen aus anderen Fassungen auf der tschechischen Seite liegen um Größenordnungen niedriger, es werden maximal einige 0,1 Liter pro Sekunde für den örtlichen Bedarf entnommen, was z. B. für die Entnahmen bei Vysoká Lípa oder der Gemeinde Mezná zutrifft (HEIS VÚV).

Auf der sächsischen Seite des Untersuchungsgebietes findet die bedeutendste Grundwasserentnahme durch das Wasserwerk Endlerkuppe statt. Das Wasserwerk selbst befindet sich auf der Hochfläche südlich der Ortschaft Ottendorf oberhalb des Kirnitzschtales. Das Wasserwerk bezieht sein Wasser aus den beiden Tiefbrunnen Felsenmühle und Neumannmühle, die sich im Kirnitzschtal befinden. Von den beiden Brunnen wird das geförderte Wasser über eine Steigleitung zum Wasserwerk gepumpt. Auch hier muss das Wasser aufgrund seiner guten Qualität nur wenig aufbereitet werden. Durch den Betreiber des Wasserwerkes und der beiden Tiefbrunnen, die ENSO Energie Sachsen Ost AG, wird das Wasser in den Wasserwerksverbund der Wasserwerke Gottleuba und Endlerkuppe eingespeist, und trägt damit zur Versorgung der Sächsischen Schweiz bei. An den beiden Tiefbrunnen kann entsprechend der wasserrechtlichen Erlaubnis von 1975 eine durchschnittliche Wassermenge pro Jahr von 69,4 l/s entnommen werden. Wie an der Abbildung oberhalb zu erkennen ist, liegen Angaben zu den Fördermengen seit 1980 vor. Die höchsten Entnahmen mit rund 60 l/s wurden in den Jahren 2000 und 2001 registriert. Gegenwärtig werden noch rund 35–40 l/s entnommen.

Eine weitere größere Wasserfassung war die Fassung Bad Schandau mit dem Brunnen von Ostrau sowie dem Brunnen und der Quelle Bad Schandau am Unterlauf der Kirnitzsch. Diese Wasserfassung wurde 2005 dauerhaft stillgelegt und dient heute nur als Havarieanlage (WAVE, 2008). Daneben gibt es noch einige kleinere Fassungen auf sächsischer Seite, die Einzelgrundstücke versorgen, deren geringe Fördermengen aber nicht relevant sind. In Schmilka wird ein Teil des Wassers der Ilmenquelle für die Trinkwasserversorgung genutzt.

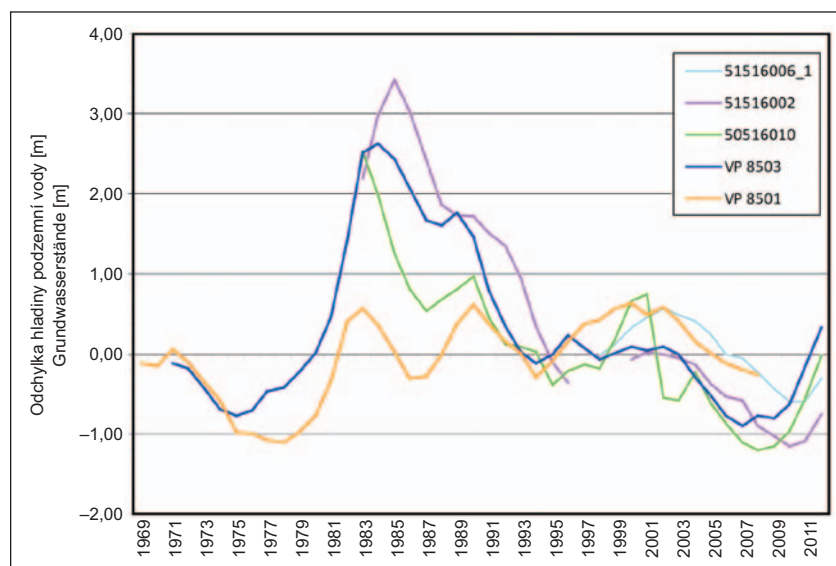
## 9 Vývoj hladin podzemních vod

Od osmdesátých let minulého století byly pozorovány jak na českých, tak i na saských pozorovacích vrtech určených pro měření podzemních vod v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch poklesy hladin podzemních vod. Tento vývoj je pro vybrané vrty zobrazen na obr. 12. Na některých vrtech byly hladiny podzemních vod soustavně sledovány již od 70. let minulého století.

Pozorovací vrt 51516006\_1 byl vybudován v letech 1995/96 speciálně k průzkumu příčin klesání hladin podzemní vody a od roku 1998 je vybaven sběračem dat, takže jsou k dispozici denní naměřené hodnoty.

Obr.12: Vývoj hladin podzemních vod na pozorovacích vrtech v zájmovém území

Abb. 12: Entwicklung der Grundwasserstände an Messstellen in Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch



## Entwicklung der Grundwasserstände

Seit den 1980er Jahren wurden im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch sowohl an tschechischen wie auch an sächsischen Grundwassermessstellen sinkende Grundwasserstände beobachtet. Diese Entwicklung ist für ausgewählte sächsische und tschechische Messstellen in der Abbildung 12 dargestellt. An einigen Messstellen wurden bereits seit den 1970er Jahren die Grundwasserstände beobachtet. Die Messstelle 51516006 wurde extra für die Erforschung der Ursachen der sinkenden Grundwasserstände 1995/96 errichtet und ist seit 1998 mit einem Datensammler ausgerüstet, so dass tägliche Messwerte vorliegen.

Die in der Abbildung dargestellten Werte werden im Rahmen des staatlichen Grundwassermessnetzes des Freistaates Sachsen (<http://www.grundwasser.sachsen.de>) und des Tschechischen hydrometeorologischen Instituts 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 Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch von den Niederschlägen und damit von der Grundwasserneubildung zu beobachten. Das zeigen die eigenen Auswertungen und es wird auch in der Literatur beschrieben z. B. bei G.E.O.S. (1997) oder Dr. DITTRICH UND PARTNER (2002). Die Maxima und Minima der Grundwasserneubildung markieren sich deutlich in den Wasserständen, was aufgrund der hohen Grundwasserflurabstände oft von 20-50 m, im Grundwasser erst mit einer Verzögerung von 3-5 Jahren beobachtet werden kann (G.E.O.S., 1997). Die Differenzierung der zeitlichen Reaktion und der Schwankungsamplitude an den verschiedenen Messstellen ist durch die Lage im Einzugsgebiet sowie die unterschiedlichen Grundwasserflurabstände und die Durchlässigkeiten im ungesättigten Bereich (Aerationszone) bedingt (G.E.O.S., 1997). In den vergangenen Jahren traten verstärkt sehr feuchte Jahre so 2010 und 2011 auf, die zu einer Stabilisierung oder einem Wiederanstieg der Grundwasser-

Hodnoty na obrázku byly získány v rámci státní měřicí sítě pro podzemní vody Svobodného státu Sasko (<http://www.grundwasser.sachsen.de>) a sledování sítě Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Graf znázorňuje kolísání hladin (ročních průměrů) na vybraných pozorovacích vrtech okolo střední hodnoty (mediánu) v období sledování jednotlivých pozorovacích vrtů.

Principiálně je v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch 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. (1997) nebo DR. DITTRICH UND PARTNER (2002). Maxima a minima tvorby nové podzemní vody se významně odrážejí na hladinách podzemních vod, což se při velkých vzdálenostech úrovně terénu od hladiny podzemní vody, která zde dosahuje často 20 až 50 metrů, projevuje se zpožděním až 5 let (G.E.O.S., 1997). Rozdílné časové reakce a amplitudy kolísání na různých vrtech jsou podmíněny mimo jiné polohou v povodí, rozdílnými vzdálenostmi úrovně terénu od hladiny podzemních vod a propustností v nenasycené (aerační) zóně (G.E.O.S., 1997). V posledních letech se častěji vyskytovaly velmi vlhké roky, a to například roky 2010 a 2011, které vedly ke stabilizaci či opětovnému zvýšení hladin podzemních vod. Úroveň hladin z roku 1983 však dosud nebylo dosaženo.

Kromě přirozených faktorů působí na hladiny podzemních vod i antropogenní odběry vody, a to minimálně v rámci jímacích oblastí (okruh několika desítek až stovek metrů), jak dokládají například PAČL & HRKALOVÁ (2010).

Umístění nejdůležitějších kontrolních vrtů v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch je zřejmé z mapy 1.

stände geführt haben. Das Ausgangsniveau (Jahr 1983) wurde bisher nicht wieder erreicht.

Neben den natürlichen Einflussfaktoren wirken sich auch die anthropogenen Wasserentnahmen, zumindest innerhalb der fassungsnahen Bereiche (einige 10er bis 100er Meter), auf den Grundwasserstand aus (zum Beispiel PAČL & HRKALOVÁ, 2010).

Die Standorte der wichtigsten Grundwassermessstellen im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch sind in Karte 1 dargestellt.



K popsání režimu podzemních vod (bilance přítoků do podzemních vod a odtoků z nich) a dynamiky podzemních vod v oblasti Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch 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 (kupř. 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 Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch 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 Gebieteigenschaften 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. Příkladem je model vytvořený pracovníky firmy Aquatest, a. s., v roce 2009 (NoL, 2009).

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 (NoL, 2012).

Při zpracovávání přeshraničního modelu proudění ve druhé etapě řešení modelů proudění podzemních vod v projektu GRACE (NoL, 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, průtoky Kamenice a Křinice, 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 v západní části se oblast skládá ze čtyř 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. Směrem na východ přecházejí původně izolátorové vrstvy rovněž do charakteru pískovců, takže jsou horní tři zvodně více či méně navzájem propojené. Od těchto tří zvodně je jen nejhlubší zvodně oddělena nepropustnou vrstvou, která se rozprostírá po celé ploše

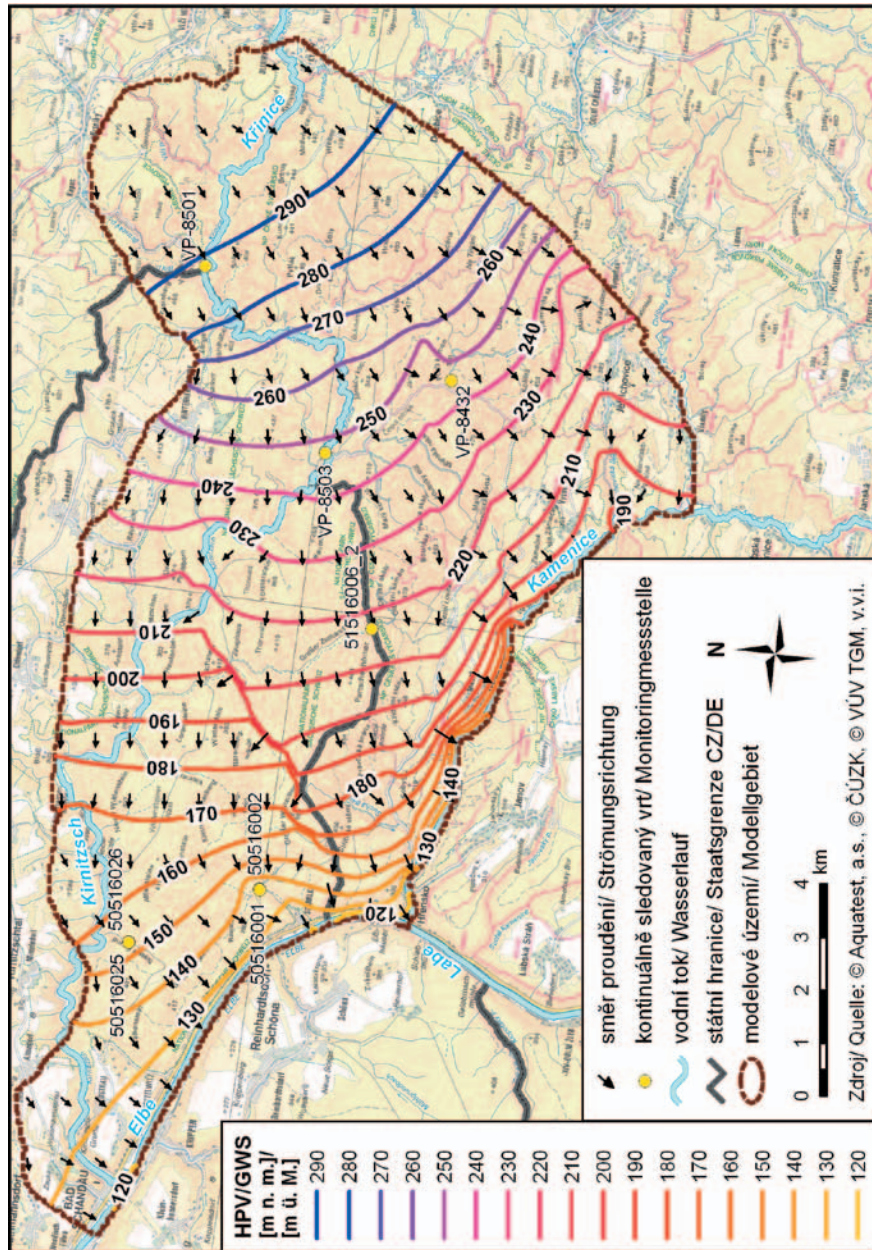
chungsgebiet mit der Modellsoftware Visual MODFLOW® (Schlumberger Water Services) und ermöglicht eine dreidimensionale Modellierung.

Für das betrachtete Gebiet wurden auf tschechischer Seite bereits früher Grundwasserströmungsmodelle auf Basis nationaler Daten erstellt. Ein Beispiel hierfür ist das Modell der Firma Aquatest aus dem Jahr 2009 (NoL, 2009).

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 (NoL, 2012).

Für die Erstellung des grenzüberschreitenden Strömungsmodells in der zweiten Modellierungsetappe von GRACE (NoL, 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, Abflüsse von Kamenice und Kirnitzsch, Quellabflüsse, Grundwasserneubildung, Grundwasserentnahmen sowie Angaben zum Grundwasseralter (Tritiumalter). Sehr wichtig sind außerdem die Eigenschaften der Modellränder, da über sie externe Einflüsse auf das Modellgebiet beschrieben werden.

Das Strömungsmodell für das Untersuchungsgebiet ist vertikal so strukturiert, dass im westlichen Teil das Gebiet von vier Grundwasserleitern aufgebaut wird, die jeweils durch eine grundwasserstauende bzw. eine



- ◀ Mapa 5: Zobrazení proudění podzemních vod v modelovaném území
- ◀ Karte 5: Modellierte Grundwasserströmungsrichtung im Modellgebiet Hřensko-Křinice/ Kirnitzsch



modelové oblasti. Tento rozdíl mezi západní a východní částí oblasti se odráží i v hydraulické vodivosti hornin.

Na základě této hydrogeologické struktury a přiřazení 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 provést modelový výpočet dynamiky podzemních vod, resp. proudění podzemních vod v modelové oblasti. Na mapě 5 je zobrazen směr proudění podzemních vod na základě hydroizohyps vypočtených modelem.

Z modelu vycházející směr proudění podzemní vody je v zájmové oblasti Hřensko–Křínice/Kirnitzsch generálně k západu, k Labi.



Grundwasser gering leitende Schicht voneinander getrennt werden. Diese stauenden bis gering wasserleitenden Schichten bestehen in einem stärkeren Maße aus feinkörnigem Material wie Tonen und Mergeln im Vergleich zu den grundwasserleitenden Schichten, die rein sandig aufgebaut sind. Nach Osten gehen die stauenden Gesteinsschichten ebenfalls in eine sandige Ausprägung über, so dass die oberen drei Grundwasserleiter mehr oder weniger miteinander verbunden sind. Von diesen ist nur noch der tiefste Grundwasserleiter durch einen im gesamten Gebiet flächendeckend ausgebildeten Grundwasserstauer getrennt. Dieser Unterschied zwischen dem westlichen und östlichen Teil des Gebietes spiegelt sich auch in der hydraulischen Leitfähigkeit der Gesteine.

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 sowie anthropogenen Wasserentnahmen, konnte die Grundwasserdynamik bzw. die Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet modelliert werden. In der Karte 5 ist die Grundwasserströmungsrichtung anhand der im Modell berechneten Hydroisohypsen dargestellt.

Das Grundwasserströmungsmodell zeigt, dass die Grundwasserströmung in Richtung zum Hauptvorfluter Elbe ausgerichtet ist.

Zdroje podzemních vod v přeshraniční oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch se nacházejí v kolektorech křídových pískovců s velkou mocností. Tyto křídové sedimenty jsou součástí česko-saské křídové pánve. Díky vysoké propustnosti pískovců způsobené jejich vysokou pórovitostí a četným výskytem puklin je zde značná komunikace mezi povrchovými a podzemními vodami. V celém zájmovém území dochází ve velké míře ke tvorbě nové podzemní vody.

Jedním z důležitých činitelů, které ovlivňují vodní režim, a tím i využitelnost vodních zdrojů podzemních vod, je vývoj klimatu. Jedním z důsledků klimatické změny je zvýšená četnost extrémních meteorologických jevů, jako jsou období sucha a přívalové deště. V důsledku oteplení 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 nenasyčené podpovrchové zóny. V posledních letech ale došlo k růstu množství srážek, což se také odrazilo ve vyšších průměrných průtocích v Křinici a ve stabilizaci hladin podzemních vod na některých měřených vrtech.

Nejdůležitějšími vodními toky v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch jsou Křinice a Kamenice. V obdobích sucha jsou oba tyto vodní toky napájeny hlavně podzemní vodou. Kamenice je dotována s přispěním řady vydatných pramenů. Jak v údolí Kamenice, tak v údolí Křinice jsou úseky toků, ve kterých povrchové vody infiltrují do vod podzemních.

Největší vydatnosti pramenů byly zjištěny na českém území v okolí Hřenska a v údolí Kamenice. Na německém území jsou největší vydatnosti pramenů zaznamenány poblíž státních hranic u Labe v okolí Schmilky a u Bad Schandau.

Die Grundwasserressourcen im Grenzgebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch befinden sich in den mächtigen Grundwasserleitern der Kreidesandsteine. Diese Kreidesedimente sind Teil des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens. Infolge der hohen Durchlässigkeit der Sandsteine durch ihre Poren und Klüfte besteht eine gute Kommunikation zwischen Oberflächen- und Grundwasser. Die Grundwasserneubildung erfolgt im gesamten Untersuchungsgebiet.

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 davon ausgegangen werden, dass durch die Erwärmung die Verdunstung steigt sowie in Folge einer veränderten saisonalen Niederschlagsverteilung der Anteil des versickerten Wassers und dadurch auch die jährliche Grundwasserneubildungsrate sinken. Entscheidend für den Prozess der Grundwasserneubildung sind die Dauer von Niederschlagsereignissen sowie die Vorbefeuchtung der wasserungesättigten oberflächennahen Zone. Im Zeitraum der letzten Jahre wurde jedoch insgesamt eine Zunahme der Jahresniederschläge beobachtet, was sich auch in höheren mittleren Abflüssen der Kirnitzsch und in der Stabilisierung der Grundwasserstände an einigen Messstellen widerspiegelt.

Die wichtigsten Wasserläufe im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch sind die Kirnitzsch und die Kamenice. Während Trockenheit werden die Abflüsse beider Gewässer hauptsächlich durch das Grundwasser gebildet. Zusätzlich wird die Kamenice durch mehrere ergiebige Quellen gespeist. In beiden Tälern gibt es Flussabschnitte in denen das Oberflächenwasser in das Grundwasser infiltriert.

Die ergiebigsten Quellen wurden auf der tschechischen Seite im Gebiet von Hřensko und im Tal der Kamenice erfasst. Auf deutscher Seite sind

Celkově byl v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch prokázán obvyklý výskyt fauny podzemních vod, a to především v pramenných vývěrech. Živočichové 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 hydrogeologického kolektoru vody pocházejí, a také to, jak jsou staré a mladší vody vzájemně smíšený. Tyto informace nám umožňují doplnit poznatky o dynamice podzemních vod a jsou proto důležité pro tvorbu modelů proudění podzemních vod. V oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch se vyskytují vodní zdroje vysokého stáří podzemních vod přesahujícího 50 let, například u studní Felsenmühle (50156005) a K1A2 v Hřensku.

Česká i saská strana využívají vodní zdroje podzemních vod v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch na základě vodoprávních povolení; v současnosti jsou reálně odebíraná množství vody podstatně nižší než množství povolená.

V současné době je pozorováno opětovné zvyšování hladin podzemních vod, což je možné dát do souvislosti s vyšší četností vlhkých období v minulých 5 až 10 letech. Na některých saských pozorovacích vrtech ale k opětovnému dosažení úrovně hladin podzemních vod z roku 1983 dosud nedošlo.

Model proudění podzemních vod ukazuje, že podzemní vody proudí jak ke Kamenici, tak ke Křinici, hlavní směr proudění podzemních vod ale směřuje k Labi.

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.

die stärksten Quellen in der Nähe der Staatsgrenze an der Elbe im Raum Schmilka und bei Bad Schandau zu finden.

Insgesamt wurde im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch eine landschaftstypische Grundwasserfauna besonders in den Quellaustritten vorgefunden. Die aufgefundenen Tiere sind ein Indikator für sauberes Grundwasser.

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 und wie altes und junges Wasser miteinander gemischt sind. Beide Informationen liefern Aussagen zur Dynamik des Grundwassers in den Grundwasserleitern und sind daher wichtig für die Erstellung der Grundwasserströmungsmodelle. Im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch sind die Wasserressourcen gut geschützt, was das zum Teil ermittelte hohe Grundwasseralter von über 50 Jahren insbesondere an den Trinkwasserbrunnen Felsenmühle (50156005) und K1A2 anzeigt.

Gegenwärtig nutzen die tschechische und die sächsische Seite die Grundwasserressourcen im Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch entsprechend den wasserrechtlichen Genehmigungen, wobei die real entnommenen Wassermengen deutlich unter den erlaubten Entnahmemengen liegen.

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

Das Grundwasserströmungsmodell zeigt, dass die Grundwasserströmung in Richtung der Vorfluter Kamenice und Kirnitzsch insbesondere aber zum Hauptvorfluter Elbe ausgerichtet ist.

- I nadále trvale monitorovat důležité hydrologické veličiny, jako jsou srážky v dané oblasti, průtoky v Kamenici a Křinici, vydatnost nejdůležitějších pramenů a hladiny podzemních vod v nejdůležitějších měřicích vrtech.
- Obzvláště důležité je pozorování daného území z hlediska možných změn jeho vodního režimu v důsledku klimatických změn. V souvislosti s tím může dojít k přizpůsobení koncepcí 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.



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, Abflüsse von Kamenice und Kirnitzsch, die Quellschüttung wichtiger Quellen sowie die Grundwasserstände sind an geeigneten Messpunkten auch weiterhin kontinuierlich zu überwachen.
- 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.



## Literatura

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.

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>

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 – Kapalínová scintilační měřicí metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 26 stran, třídící znak 75 7635.

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

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

DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (HRSG.; KOORDINATION UND GESTALTUNG: M. MENNING & A. HENDRICH) (2002) Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002. Tafel 96x130 cm oder Falt-Tafel A4; Potsdam (GeoForschungsZentrum), Frankfurt a. M. (Forsch.-Inst. Senckenberg). ISBN 3-00-010197-7.

DOUDĚROVÁ, A. (1986) Hřensko RM III řešení problematiky podzemních vod Křinice–Kamenice. Stavební geologie Praha, MS ČGS – Geofond pod P030297, 31 s.

DR. DITTRICH UND PARTNER, HYDRO-CONSULT GMBH (2002) Vorbereitendes Gutachten Grenzgewässer Kirnitzsch/Křinice–Hřensko. Auftraggeber Stufa Radebeul, 47 S. + Anl.

## Literatur

ECKHARDT, P. (2013) Vývoj vydatnosti pramenných oblastí v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch. Závěrečná zpráva, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha, 95 s.

FARKAČ, J., D. KRÁL & M. ŠKORPÍK [EDS] (2005) Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. List of threatened species in the Czech Republic. Invertebrates. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 760 s.

HERČÍK, F., Z. HERRMANN & J. VALEČKA (2003) Hydrogeology of the Bohemian Cretaceous Basin. Czech Geological Survey, Prague, 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://heis.vuv.cz>: HEIS VÚV – Hydroekologický informační systém VÚV TGM. Odběry podzemních vod pro lidskou spotřebu > 500 m<sup>3</sup>/ měsíc nebo 6 000 m<sup>3</sup>/ rok; data od státních podniků Povodí a VÚV TGM, v.v.i., za období 1979–2012.

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

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

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

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

G.E.O.S. FREIBERG INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (1997) Gutachten zur Entwicklung und Prognose der Grundwasserdynamik im Gebiet Hinterhermsdorf (Landkreis Sächsische Schweiz) und Hřensko (Tschechische Republik). Bearbeiter H. P. Mibus, P. Szymczak; 48 S. + Anl.

G.E.O.S. FREIBERG INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (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 Grenzge-

biet 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.

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

KÜCHLER, W. & U. MELLENTIN (2013) Abnahme der Grundwasserstände im Einzugsgebiet der Kirnitzsch/ Křinice (1981–2010) – Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt? Vortrag zum GRACE-Workshop Klimaauswirkungen am 14. 05. 2013 in Dresden (unveröffentlicht).

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 Altlastflächen mit vorangegangenen Vergleich unterschiedlicher Sammeltechniken. *Dissertation Universität Koblenz-Landau*, 229 S.

MIBUS, H.-P. (1968) Beitrag zur Kenntnis der Geologie des Elbsandsteingebirges unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse. *Dissertation, Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften, TU Dresden*, 208 S. + Anl.

MISAŘ, 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.

NOL, O. (2012) Společně využívané vody na česko-saském pomezí (GRACE), *Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch*, Zpráva za 1. etapu. AQUATEST, a. s., Praha, září 2012.

NOL, O. (2014) Společně využívané vody na česko-saském pomezí (GRACE), *Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch*, Zpráva za 2. etapu. AQUATEST, a. s., Praha, květen 2014.

PAČL, A. & M. HRKALOVÁ (2010) Hydrogeologické práce v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch. *Závěrečná zpráva za období 2009/2010*. MS Aquatest, a. s., Praha, 127 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 Silvano, Ghirelli Nicholas (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\\_SHRNUTI\\_2011.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNUTI_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)

SCHMIDT, S.I. & H.J. HAHN (2012) What is groundwater and what does this mean to fauna? *An opinion*. *Limnologica*, 42: 1–6.

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

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

ŠIMEK, P. (2014) Stáří a míšení podzemních vod, Oblast 1: Hřensko–Křinice/ /Kirnitzsch. Závěrečná zpráva, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha, 106 s., 15 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).

TONNDORF, H. (2000) Die Uranlagerstätte Königstein. „Bergbau in Sachsen“, Bd. 7, 195 S.

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.

WAVE (2008) WAsserVErsorgung 2008 – Datenbank Planung/ Abrechnung der öffentlichen Versorgung, LfULG.

### **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	99
	Unterkreide	142		
	Jura	200		
Trias	251			
Paläozoikum	Perm			296
	Karbon			358
	Devon			417
	Silur			443
	Ordovicium			495
	Kambrium			545
Kryptozoikum	Proterozoikum	Jungpräkambrum		2.500
	Archaikum	Altpräkambrum		>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 Erdkruste 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 wasserdurchlässig 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-Isohypsen 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 (Protonenzahl) aber unterschiedlicher Massenzahl (Neutronenzahl). 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.

### **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 978-80-87402-30-6 (1. díl)

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