



Der Klimawandel im böhmisch-sächsischen Grenzraum

Změna klimatu v česko-saském pohraničí



03		Vorwort	03		Předmluva
04	1	Einleitung	04	1	Úvod
06	2	Der böhmisch-sächsischer Grenzraum – die INTERKLIM-Projektregion	06	2	Česko-saské pohraničí – zájmové území projektu INTERKLIM
06	2.1	Landschaftliche und orographische Vielfalt	06	2.1	Krajinné a orografické podmínky
08	2.2	Regionalklimatische Besonderheiten	08	2.2	Specifika klimatu v regionu
10	2.3	Langzeittrend	10	2.3	Dlouhodobý trend
11	3	Projektergebnisse	11	3	Výsledky projektu
11	3.1	Aufbereitung der klimatologischen Datengrundlagen	11	3.1	Zpracování klimatologických dat
12	3.1.1	Prüfung der Datenqualität	12	3.1.1	Kontrola kvality dat
12	3.1.2	Homogenisierung der Zeitreihen	12	3.1.2	Homogenizace časových řad
13	3.1.3	Ergänzung fehlender Werte	12	3.1.3	Doplnění chybějících hodnot
13	3.1.4	Datenauswahl und weitere Verwendung	13	3.1.4	Výběr dat a jejich další použití
14	3.2	Ergebnisse der Klimaanalyse 1961–2010	15	3.2	Výsledky analýzy podnebí 1961–2010
14	3.2.1	Temperatur	15	3.2.1	Teplota vzduchu
24	3.2.2	Niederschlag	25	3.2.2	Srážky
33	3.2.3	Sonnenscheindauer	33	3.2.3	Sluneční svit
36	3.2.4	Extremereignisse und spezielle Wetterlagen	36	3.2.4	Extrémní jevy a specifické povětrnostní situace
48	3.2.5	Wetterlagen	48	3.2.5	Povětrnostní situace
48	3.2.5.1	Klassifikation und Methoden	48	3.2.5.1	Klasifikace a metody
48	3.2.5.2	Einfluss bedeutsamer Wetterlagen auf Temperatur und Niederschlag	48	3.2.5.2	Vliv významných povětrnostních situací na teplotu a srážky
55	3.2.5.3	Wetterlageneigenschaften und Veränderungen der Auftretenshäufigkeit	56	3.2.5.3	Vlastnosti povětrnostních situací a změny v četnosti jejich výskytu
60	3.3	Klimaprojektionen für den böhmisch-sächsischen Grenzraum	60	3.3	Projekce klimatu pro česko-saské pohraničí
60	3.3.1	Anthropogener Treibhauseffekt und Emissionsszenarien	60	3.3.1	Antropogenní skleníkový efekt a emisní scénáře
61	3.3.2	Globale Klimamodelle	60	3.3.2	Globální klimatické modely
62	3.3.3	Regionale Klimaprojektionen	62	3.3.3	Regionální projekce klimatu
63	3.3.4	Projizierte klimatische Entwicklung im böhmisch-sächsischen Grenzraum	63	3.3.4	Projektovaný vývoj klimatu v česko-saském pohraničí
63	3.3.4.1	Temperatur	63	3.3.4.1	Teplota vzduchu
64	3.3.4.2	Niederschlag	64	3.3.4.2	Srážky
67	3.3.4.3	Ereignistage und Klimaindizes – Kenngrößen des Klimawandels	67	3.3.4.3	Dny s výskytem a klimatický index – parametry změny klimatu

71	4	Der Klimawandel und seine Auswirkungen – Fachbeiträge aus dem böhmisch-sächsischen Grenzraum	71	4	Změna klimatu a jeho důsledky – vybrané výzkumy z česko-saského pohraničí
71	4.1	Land- und Forstwirtschaft	71	4.1	Zemědělství a lesní hospodářství
71	4.1.1	Der Gehalt an Alphasäuren im Hopfen und globaler Klimawandel	71	4.1.1	Obsah alfa kyselin ve chmelu a globální klimatické změny
76	4.1.2	Forstliche Standortsinformationen im Klimawandel	76	4.1.2	Lesnické informace a změny klimatu
80	4.1.3	Beginn des Austriebs der Waldhölzer unter sich verändernden Umweltbedingungen in Nordböhmen	80	4.1.3	Počátek rašení lesních dřevin v měnících se podmínkách prostředí sledovaného regionu
88	4.1.4	Auswirkungen zu hoher Konzentrationen des bodennahen Ozons auf den Gesundheitszustand der Assimilationsorgane von Waldgehölzen im Erzgebirge und die Möglichkeiten der Voraussage	88	4.1.4	Vliv nadlimitních koncentrací přízemního ozonu na zdravotní stav asimilačního aparátu lesních dřevin ve východním Krušnohoří a možnosti jeho prognózování
95	4.2	Wassermanagement	95	4.2	Vodní hospodářství
95	4.2.1	GRACE – Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet	95	4.2.1	GRACE – společné využívání zdrojů podzemní vody v česko-saském pohraničí
99	4.2.2	Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt	99	4.2.2	Dopady klimatické změny na hydrologický režim
108	4.3	Bioklima und Gesundheit	108	4.3	Bioklima a zdraví
108	4.3.1	Einfluss der Landnutzung auf bioklimatische Extremsituationen im Dresdener Umland	108	4.3.1	Vliv využití území na extrémní bioklimatické situace v regionu Drážďany
116	4.3.2	Auswirkungen extremer Lufttemperaturen auf die Mortalität	116	4.3.2	Vliv extrémních teplot vzduchu na úmrtnost
124	4.4	Wirtschaft und Tourismus	124	4.4	Hospodářství a cestovní ruch
124	4.4.1	Wechselwirkungen zwischen dem Klima- wandel und der Lebensstruktur in der Region	124	4.4.1	Interakce klimatických změn a struktur života v regionu
131	4.4.2	Wintertourismus und Klimawandel	131	4.4.2	Zimní turistika a klimatické změny
135	5	Zusammenfassung	135	5	Shrnutí
136		Literatur	136		Literatura



Diplom-Meteorologe
Wilfried Küchler

Der globale Klimawandel ist bereits Realität. Er stellt eine umfassende Gefährdung der Lebensgrundlagen der heutigen und kommenden Generationen sowie der Ökosysteme, Wälder und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen dar. Dieser Herausforderung müssen wir aktiv begegnen. Es gilt, sich auf die Folgen der zu erwartenden Klimaänderungen in Land-, Forst- und Wasserwirtschaft einzustellen und spezifische Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln. Durch die topographische Struktur im zentralen Mitteleuropa wird das Klima stark modifiziert. Die sich mit dem Klimawandel verändernden Häufigkeiten und Andauern der Großwetterlagen und der damit verbundenen großräumigen Strömungsverhältnisse führen beiderseits des Erzgebirges zu ganz unterschiedlichen Veränderungen der Klimaparameter. Die in diesem Kontext nötigen Analysen erfordern eine enge Zusammenarbeit tschechischer und sächsischer Fachexperten in der Grenzregion. Mit dem INTERKLIM-Projekt ist es erstmalig gelungen, gemeinsame und qualifizierte Untersuchungen für dieses orographisch sehr komplexe Gebiet durchzuführen, aufschlussreiche Ergebnisse zu präsentieren und wegweisende Schlussfolgerungen zu ziehen. Es bleibt zu hoffen, dass Wege gefunden werden, die begonnene fruchtbare Kooperation in geeigneter Weise fortzusetzen.

Globální změna klimatu je již realitou. Představuje komplexní ohrožení základů života pro dnešní i pro budoucí generace a pro ekosystémy, lesy a zemědělské plodiny. S touto výzvou se musíme aktivně vyrovnat. Je potřeba se na důsledky očekávaných změn klimatu v zemědělství, v lesním a vodním hospodářství a dalších oborech lidské činnosti připravit a vytvářet specifická opatření pro přizpůsobení se těmto změnám. Klima zájmové oblasti je silně modifikováno topografickou strukturou v centrální části střední Evropy. Četnost a doba trvání velkoplošných cirkulačních typů a s nimi spojeného proudění, které se v souvislosti se změnami klimatu mění, způsobuje na obou stranách Krušných hor zcela rozdílné změny klimatických charakteristik. Detailní a velmi specifické analýzy, které jsou v tomto kontextu nutné, vyžadují úzkou spolupráci českých a saských odborníků z pohraničí. V rámci projektu INTERKLIM se poprvé podařilo realizovat společný a kvalifikovaný výzkum tohoto orograficky velmi rozdílného území, představit zajímavé výsledky a formulovat důležité závěry pro další směřování. Zbývá jen doufat, že budou nalezeny cesty, které vhodnou formou umožní další pokračování této započaté plodné spolupráce.

1 Einleitung

1 Úvod

Während der letzten Jahrzehnte sind eindeutige Veränderungen des globalen Klimasystems zu beobachten (IPCC, 2013). Der globale Klimawandel ist regional sehr unterschiedlich ausgeprägt. Zielorientierte Anpassungsmaßnahmen und zukünftige Klimaänderungen müssen daher verstärkt in einem grenzüberschreitenden Zusammenhang betrachtet werden. Aus diesem Grund wurde das Projekt INTERKLIM in den Jahren 2013 und 2014 im Rahmen des Ziel 3-Programms zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik umgesetzt.

Im Rahmen des Projektes erarbeiteten das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und das tschechische Institut für globalen Wandel (CzechGlobe) eine einheitliche Wissens- und Informationsbasis im Bereich des regionalen Klimawandels. Im Mittelpunkt standen der Austausch, die Aufbereitung und die gemeinsame Auswertung klimatischer Beobachtungsdaten der vergangenen Jahrzehnte im böhmisch-sächsischen Grenzraum. Dabei wurde eine regional differenzierte Analyse relevanter Klimaparameter unter Berücksichtigung der komplexen orographischen Ausgangsbedingungen im böhmisch-sächsischen Grenzraum durchgeführt.

Zudem wurden tschechische und sächsische regionale Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert entwickelt und ausgewertet. Die Abschätzung der Bandbreite verschiedener, zukünftig möglicher Klimaentwicklungen erfolgte anhand unterschiedlicher Treibhausgas-Emissionsszenarien.

In der vorliegenden Publikation wird zunächst auf die INTERKLIM-Projektregion und ihre geographischen Besonderheiten eingegangen. Danach werden die Ergebnisse der gemeinsamen Klimadiagnose für den Zeitraum 1961–2010 sowie mögliche Entwicklungen des Klimas gegen Ende des 21. Jahrhunderts beschrieben. Im Anschluss belegen die Ergebnisse von Forschungsarbeiten böhmischer und sächsischer Fachexperten die Komplexität und Dringlichkeit der Klimawandelthematik im Grenzraum. Die Ergebnisse sind sowohl für Fachakteure aus den Bereichen Umwelt und Naturschutz, Regionalplanung, Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Tourismus und öffentliche Verwaltung sowie für die Bevölkerung im Grenzraum eine wertvolle Informationsgrundlage.

Během uplynulých desetiletí je možno sledovat jednoznačné změny globálního klimatického systému (IPCC, 2013). Globální změny klimatu mají různé regionální projevy. Cílená adaptační opatření a budoucí změny klimatu je tedy nutno stále více pojímat v přeshraničních souvislostech. Z tohoto důvodu byl v letech 2013 a 2014 v rámci programu Cíl 3 na podporu přeshraniční spolupráce mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko 2007–2013 realizován projekt INTERKLIM.

V rámci projektu vytvořili Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) a české Centrum výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. CzechGlobe jednotnou znalostní a informační základnu v oblasti regionální změny klimatu. V centru pozornosti projektu byla výměna, zpracování a společné vyhodnocení klimatických dat v česko-saském pohraničí za uplynulá desetiletí. Dalším významným úkolem projektu byla regionálně diferencovaná analýza významných klimatických charakteristik při zohlednění komplexních orografických podmínek česko-saského pohraničí.

Kromě toho byly vygenerovány a vyhodnoceny české a saské regionální projekce klimatu pro 21. století. Odhad šíře různých možných budoucích scénářů vývoje klimatu byl zpracován na základě rozdílných scénářů emisí skleníkových plynů.

V předložené publikaci je nejprve popsáno zájmové území projektu INTERKLIM a jeho geografická specifika. Poté jsou shrnuty výsledky společné klimatické diagnózy pro období let 1961–2010 a možný vývoj klimatu ke konci 21. století. Komplexita a naléhavost tématu změny klimatu v pohraničí poté dokládají výsledky výzkumných prací českých a saských odborníků.

Výsledky představují cenný informační základ jak pro odborníky z oblasti ochrany přírody a životního prostředí, zemědělství, lesního a vodního hospodářství, cestovního ruchu a veřejné správy, tak i pro obyvatelstvo v pohraničí.



Foto: Anke Hahn

Abb. 1-1: Das Dorf Kalich im mittleren Erzgebirge

Obr. 1-1: Obec Kalek v středním Krušnohoří



Foto: Stephan Schlops

Abb. 1-2: Blick vom Erzgebirgskamm auf das Böhmisches Mittelgebirge

Obr. 1-2: Výhled na České středohoří z hřebenů Krušných hor

2 Der böhmisch-sächsischer Grenzraum – die INTERKLIM-Projektregion

2 Česko-saské pohraničí – zájmové území projektu INTERKLIM

Die INTERKLIM Projektregion umfasst den böhmisch-sächsischen Grenzraum westlich des Dreiländerecks Deutschland-Polen-Tschechien in Mitteleuropa. Auf sächsischer Seite umfasst das Gebiet die Regionalen Planungsverbände »Region Chemnitz«, »Oberes Elbtal/Osterzgebirge« sowie »Oberlausitz-Niederschlesien«. Südlich davon schließt sich der böhmische Teil der Projektregion mit den drei im Nordwesten der Tschechischen Republik gelegenen Krajs »Karlovy Vary«, »Ústí nad Labem« und »Liberec« an (Abb. 2-1).

2.1 Landschaftliche und orographische Vielfalt

Die Staatsgrenze zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Tschechischen Republik orientiert sich durchweg an einer naturräumlichen Grenze in Form von Mittelgebirgszügen. Von Südwest nach Nordost liegen folgende Mittelgebirge an der Grenze zwischen dem Freistaat Sachsen und Nordböhmen: Elstergebirge, Erzgebirge, Elbsandsteingebirge, Lausitzer Bergland, und Zittauer bzw. Lausitzer Gebirge (Abb. 2.1-1).

Desweiteren bestimmen Becken und Flusstäler das Landschaftsbild. Das Tiefland im Norden und Nordosten der Projektregion reicht von den Heide- und Teichlandschaften der Oberlausitz im Osten bis zum Dresdner Elbtal und den Niederungen nordwestlich davon. Südlich des Tieflandes grenzt das überwiegend hügelig geprägte sächsische Lössgefilde an. Das dominierende Erzgebirge steigt auf der sächsischen Seite aufgrund der schräggestellten Pultscholle gemächlich bis auf Höhenlagen von über 1.000 m in den Kammlagen entlang der deutsch-tschechischen Grenze an, bevor es südlich der Grenzlinie steil in Richtung des Egergrabens und Nordböhmisches Beckens abfällt. Die höchste Erhebung auf sächsischer Seite ist der Fichtelberg (1.214 m) und in unmittelbarer Nähe auf böhmischer Seite der Klínovec (1.244 m).

Südlich des Elster- und Westerzgebirges werden der Kaiserwald (höchste Erhebung: Lesný mit 983 m) und das Duppauer Gebirge (Hradiště: 934 m) durch das Egerbecken bzw. Falkenauer Becken abgetrennt. Im Osten grenzt das Nordböhmisches Becken an das Duppauer Gebirge. Landschaftsprägend sind die basaltischen Erhebungen des Böhmisches Mittelgebirges (Milešovka: 837 m) in Form von abgerundeten Kuppen und steilen Basaltkegeln welche sich markant aus den Niederungen des Beckens erheben. Das Böhmisches Mittelgebirge wird durch das Elbtal

Zájmové území projektu INTERKLIM zahrnuje česko-saské pohraničí západně od česko-polsko-německých hranic ve střední Evropě. Na saské straně se jedná o území regionálních plánovacích svazů »Region Chemnitz« (»Plánovací svaz regionu Saská Kamenice«), »Oberes Elbtal/Osterzgebirge« (»Regionální plánovací svaz horní Polabí / východní Krušnohoří«) a »Oberlausitz-Niederschlesien« (»Regionální plánovací svaz Horní Lužice – Dolní Slezsko«). Jižně od tohoto území pak navazuje česká část zájmového území projektu v podobě tří krajů – Karlovarského, Ústeckého a Libereckého v severozápadní části České republiky (Obr. 2-1).

2.1 Krajinné a orografické podmínky

Státní hranice mezi Českou republikou a Spolkovou republikou Německo se průběžně orientuje podle přirozené hranice ve formě rozličných geomorfologických tvarů. Na hranici mezi severními Čechami a Svobodným státem Sasko se od jihozápadu na severovýchod táhnou následující pahorkatiny, vrchoviny a hornatiny: Halštrovské vrchy (Elstergebirge), Krušné hory (Erzgebirge), Labské pískovce (Elbsandsteingebirge), Lužická pahorkatina (Lausitzer Bergland) a Žitavské (Zittauer Gebirge), případně Lužické hory (Lausitzer Gebirge) (viz obr. 2.1-1).

Ráz krajiny je dále určován kotlinami a říčními údolními. Nížina na severu a severovýchodě zájmového území projektu sahá od plání a rybníků Horní Lužice až po údolí řeky Labe v Drážďanech (Dresden) a dolin, které se nacházejí severozápadně od tohoto území. V jižní části nížiny navazuje krajina saských sprašových niv (Sächsisches Lössgefilde). Hřebenové části dominujících Krušných hor podél česko-saské hranice vystupují na saské straně v důsledku nerovnoměrného vyzdvižení kry do výšek více než 1 000 m. Jižně od linie česko-saské hranice pak prudce padají ve směru Oherského příkopu a Severočeské pánve. Nejvyšším vrcholem na saské straně je Fichtelberg (1 214 m) a v bezprostřední blízkosti na české straně ležící Klínovec (1 244 m).

Jižně od Halštrovských vrchů a západních Krušných hor odděluje Chebská a Sokolovská pánev, Slavkovský les (nejvyšší vrchol: Lesný, 983 m) a Doupovské hory (Hradiště, 934 m). Severočeská pánev sousední na východě s Doupovskými horami. Krajinný ráz je utvářen čedičovými vrcholy Českého středohoří (Milešovka, 837 m), které mají tvar zakulacených kup a příkrých čedičových



Abb. 2-1: Administrative Gliederung der Projektregion

Obr. 2-1: Administrativní členění v zájmovém území projektu

durchbrochen, welches sich in Richtung der Staatsgrenze in nord-östlicher Richtung erstreckt und dort eng von dem stark zerklüfteten Elbsandsteingebirge mit dessen Formenreichtum (Tafelberge, Felsnadeln, Torbögen, Schluchten und Ebenen) flankiert wird. Im Osten wird der Gebirgsgürtel vom sächsischen Oberlausitzer Bergland und dem Böhmischem Niederland fortgesetzt und geht südöstlich davon in das Lausitzer Gebirge über, dessen deutscher Anteil als Zittauer Gebirge bezeichnet wird (Lausche: 793 m). Sand- und Basaltgestein bilden hier die vorherrschenden Gesteinsarten. Im Südosten der Projektregion ist das Landschaftsbild durch das Jeschkengebirge (Ještěd: 1.012 m), das tschechische Isergebirge (Smrk: 1.124 m) und das Riesengebirge (Schneekoppe: 1.603 m) geprägt.

Das Tiefland im Norden der Region (Sachsen) wird daher durch einen Gebirgsgürtel vom Tiefland im Süden (Böhmen) abgetrennt. Letzteres wird wiederum im Osten und Westen von Gebirgen flankiert. Das Landschaftsbild auf böhmischer Seite ist durch den vergleichsweise steilen Abfall des Erzgebirges in Richtung des Nordböhmischem Beckens und aufgrund der typischen vulkanischen Gebirgsformen von markanten Reliefunterschieden geprägt.

kuželů, markantně se zdvihajících z pánevních nížin. České středohoří je prolomeno údolím řeky Labe, které se táhne severovýchodním směrem ke státní hranici, kde se stýká s bohatstvím forem silně členitých Labských pískovců (tabulové hory, skalní jehly, skalní brány, skalní propasti a plošiny). Pásmo hor pokračuje na východě saskou Hornolužickou hornatinou a Šluknovským výběžkem a přechází východně od tohoto území do Lužických hor, jejichž německá část je nazývána Žitavské hory (Luž, 793 m). Převládající druhy hornin zde jsou pískovce a čediče. V jihovýchodní části zájmového území projektu je ráz krajiny utvářen Ještědským hřbetem (Ještěd, 1 012 m), českými Jizerskými horami (Smrk, 1 124 m) a Krkonošemi (Sněžka, 1 603 m).

Nížina na severu regionu (Sasko) je tedy od nížiny v jižní části zájmového území projektu (Čechy) oddělována pásmem hor. Tato nížina na české straně zájmového území je na západě opět ohraničena horskými masivy. Krajinový ráz na české straně se vyznačuje prudkými svahy Krušných hor ve směru Severočeské pánve. Díky typickému vulkanickému charakteru pohoří (České středohoří) se vyznačuje významnými rozdíly v reliéfu.

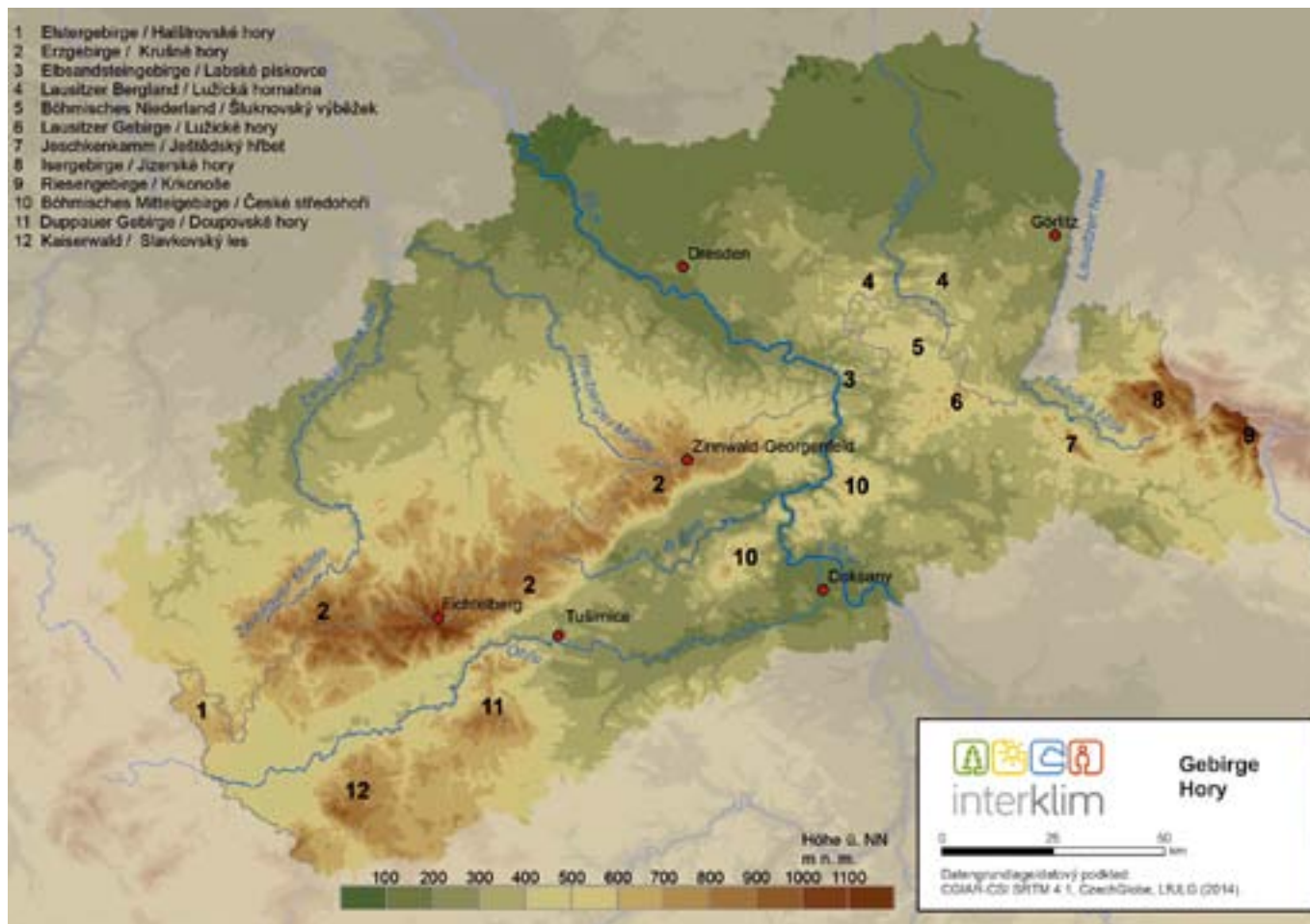


Abb. 2.1-1: Physische Karte der INTERKLIM Region mit ausgewählten Klimastationen

Obr. 2.1-1: Fyzická mapa zájmového území projektu INTERKLIM s vybranými meteorologickými stanicemi

2.2 Regionalklimatische Besonderheiten

Makroklimatisch liegt die böhmisch-sächsische Grenzregion im Übergangsbereich zwischen maritimem westeuropäischem und kontinentalem osteuropäischem Klima. Dieses Übergangsklima zeichnet sich durch den stetigen Wechsel von maritim und kontinental geprägten Witterungsabschnitten in Abhängigkeit der zugeführten Luftmassen aus, wobei der maritime Einfluss überwiegt. Die Region wird stark von dem ausgleichenden Effekt des Golfstromes geprägt, so dass die Jahresmitteltemperatur im Projektgebiet höher und die Temperaturamplitude der Monatsmitteltemperaturen geringer ist als in Regionen gleicher geographischer Breite in Nordamerika, Osteuropa und Asien (Bernhofer, 2008). Der vorhandene kontinentale Einfluß in der Projektregion macht sich durch einen vergleichsweise geringen Jahresniederschlag von etwa 740 mm, trotz des bergigen Charakters des Untersuchungsgebietes (mittlere Geländehöhe: ca. 400 m), bemerkbar.

Auch aufgrund der abwechslungsreichen Landschaft ist das Untersuchungsgebiet durch eine große klimatische Vielfalt gekennzeichnet. Warme Gebiete mit potenziellem Wassermangel im Tiefland reichen bis hin zu kühlen, niederschlagsreichen Regionen in den höheren Lagen der Gebirge. Dabei wird das Temperaturniveau in erster Linie von der Geländehöhe beeinflusst, die Nie-

2.2 Spezifika klimatu v regionu

Makrolimaticky se česko-saské pohraničí nachází v přechodové části mezi západoevropským oceánským a kontinentálním východoevropským klimatem. Toto přechodové klima se vyznačuje neustálou změnou počasí v závislosti na vzdušných masách, které se do tohoto regionu dostávají. Převažujícím vlivem je vliv oceánský. Region je silně ovlivňován vyrovnávacím efektem Golfského proudu. Průměrná roční teplota vzduchu v zájmovém území projektu je proto vyšší a teplotní amplituda průměrných měsíčních teplot vzduchu nižší, nežli v regionech se stejnou zeměpisnou šířkou v severní Americe, východní Evropě a v Asii (Bernhofer, 2008). Stávající kontinentální vliv se v zájmovém území projevuje nízkými srážkami ve výši cca 740 mm a to i přes hornatý charakter zájmového území (průměrná výška terénu cca 400 m).

Klima zájmového území je rozmanité a proměnlivé. Teplejší oblasti s potenciálním nedostatkem vody v nížině sahají až po chladné, na srážky bohaté regiony ve vyšších horských polohách. Teplotní úroveň je přitom v první řadě ovlivňována nadmořskou výškou terénu, množství srážek je navíc určováno polohou hor ve vztahu k hlavnímu směru větrů západ-jihozápad. Díky tomu dochází na návětrné straně hor k větší tvorbě oblačnosti, která je orograficky podmíněná, a následnému vypadávání srážek.

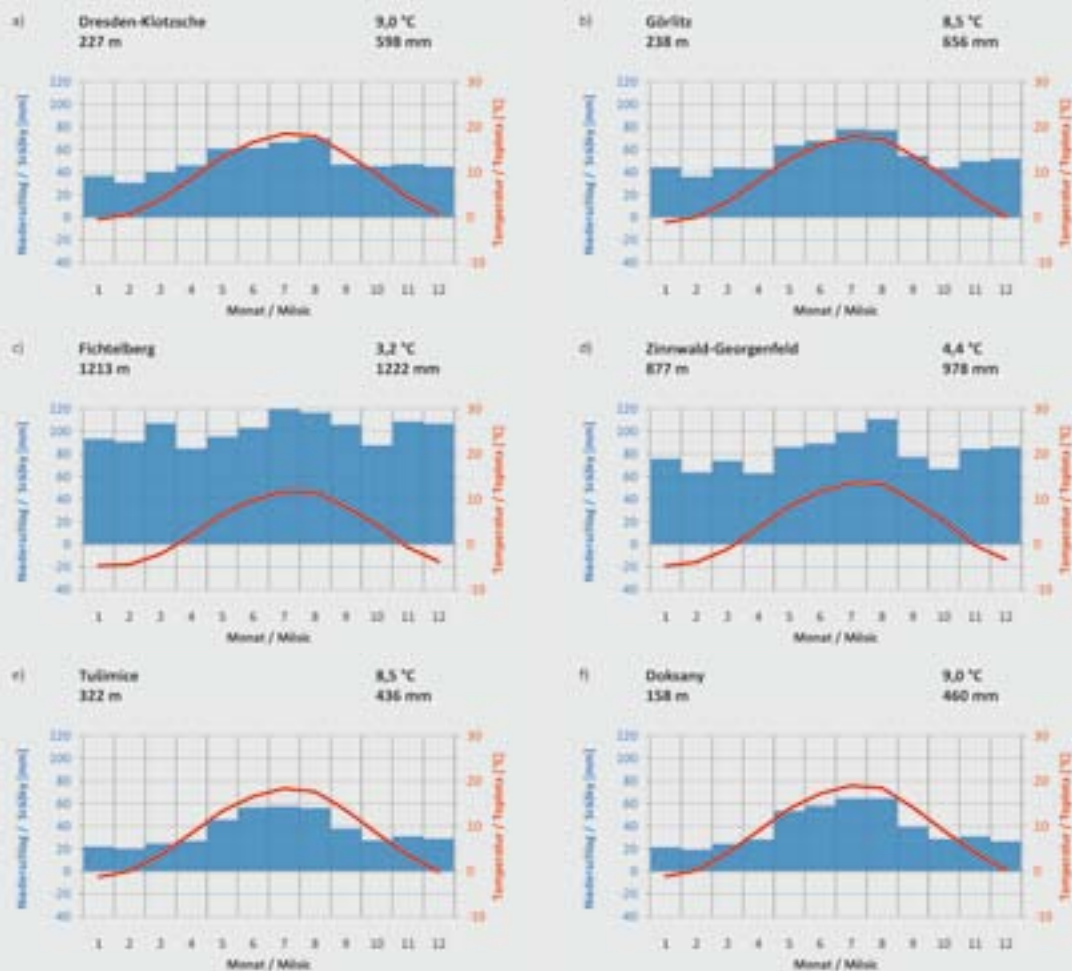


Abb. 2.2-1: Klimadiagramme von a) Dresden-Klotzsche, b) Görlitz, c) Fichtelberg, d) Zinnwald-Georgenfeld, e) Tušimice und f) Doksany für den Untersuchungszeitraum (1961–2010). Die Lage der Stationen ist in Abb. 2.1-1 markiert.

Obr. 2.2-1: Klimatologické grafy a) Drážďany-Klotzsche, b) Zhořelec, c) Fichtelberg, d) Cínovec-Georgenfeld, e) Tušimice a f) Doksany pro sledované období (1961–2010). Poloha jednotlivých stanic je zobrazena na obr. 2.1-1.

derschlagsmengen werden zusätzlich durch die Lage der Gebirge zur Hauptwindrichtung West-Südwest geprägt. So ergeben sich topographiebedingte Staueffekte und, aus der daraus resultierenden vermehrten Wolkenbildung auf den windzugewandten Seiten (Luv) der Berge, verstärkte Niederschläge. Die Abschattungseffekte auf den windabgewandten Hängen (Lee) der Höhenzüge führen zu Wolkenauflösung und relativer Niederschlagsarmut. Die niederschlagsreichsten Regionen sind die des Erzgebirgskamms (Beispiel Fichtelberg, Abb. 2.2-1c und Zinnwald-Georgenfeld, Abb. 2.2-1d) und des Riesengebirges mit rund 1.000 bis 1.600 mm Niederschlag pro Jahr, wohingegen das sich häufig im Lee des Erzgebirges, Kaiserwaldes und Duppauer Gebirges befindende Nordböhmisches Becken (Beispiel Tušimice, Abb. 2.2-1e und Doksany, Abb. 2.2-1f) die niederschlagsärmste Region im Projektgebiet ist. Die Tieflandsstationen nördlich des sächsisch-böhmischen Gebirgsgürtels können von vergleichsweise häufigen Nordstaulagen profitieren, so dass dort bei vergleichbarer Höhenlage mehr Niederschlag als im Nordböhmisches Becken fällt (Beispiel Dresden, Abb. 2.2-1a und Görlitz, Abb. 2.2-1b). Die Windgeschwindigkeit nimmt im Mittel ebenfalls mit der Höhe zu, so dass im Tiefland Mittelwerte von 7 bis 15 km/h und in den Kammagen bis über 30 km/h zu verzeichnen sind. Großen Einfluss hat jedoch das kleinräumige Relief, so dass es beispielsweise durch

Effekte zastínění na závětrné straně horských pásem vedou k rozpouštění oblačnosti a relativnímu nedostatku srážek. Nejvíce srážek spadne v dané oblasti na hřebenech Krušných hor (například vrchol Fichtelberg, obr. 2.2-1c a Cínovec-Georgenfeld (Zinnwald-Georgenfeld), obr. 2.2-1d) a Krkonoš s ročním úhrnem srážek v rozmezí cca 1 000 až 1 600 mm. Oproti tomu Severočeská pánev (například Tušimice, obr. 2.2-1e a Doksany, obr. 2.2-1f), která se nachází v závětrí Krušných hor, Slavkovského lesa a Doupovských hor, představuje region, který je z celého zájmového území srážkově nejchudší. Meteorologické stanice na severu česko-saského pásma hor mohou profitovat z orograficky podmíněných srážek. Při srovnatelné nadmořské výšce zde vypadne více srážek, nežli v Severočeské pánvi (například Drážďany, obr. 2.2-1a a Zhořelec, obr. 2.2-1b). Průměrná rychlost větru rovněž stoupá s nadmořskou výškou. V nížinách je tedy možno zaznamenat průměrné hodnoty od 7 do 15 km/h a na hřebenech hor i více než 30 km/h. Velký vliv má ale místní reliéf. Například zúžení údolí ovlivňuje ventilaci nebo vede k oslabení proudění větru. V důsledku toho dochází v určitých částech území k vyšším výkyvům. Údolí řek, orientovaná severojižním směrem, jsou proto relativně »chudá« na vítr, volné vrcholové polohy vykazují oproti tomu nadprůměrně vysoké rychlosti větru. Rozšíření údolí řeky Labe u Drážďan způsobuje díky své ori-

Taleinungen zu Düsenwirkungen oder zur Abschwächung bei Querströmungen des Windes kommen kann, wodurch gebietsweise wesentlich höheren Schwankungen auftreten. Nord-Süd ausgerichtete Flusstäler sind daher relativ windarm, freie Höhenzüge weisen hingegen überdurchschnittlich hohe Windgeschwindigkeiten auf. Die Elbtalweitung bei Dresden führt durch ihre Ausrichtung ebenfalls zu erhöhten Windgeschwindigkeiten, insbesondere, wenn der »Böhmische Wind« weht (Kap. 3.2.4).

Neben den großräumigen klimatischen Verhältnissen wirken ein Vielzahl weiterer Faktoren auf das Lokalklima ein. Insbesondere kleinräumige Reliefunterschiede, aber auch unterschiedliche Landnutzungen (Wald, landwirtschaftliche Nutzfläche, Bergbau, Wasserflächen, Grünland und Siedlungsräume) sind hierbei von Bedeutung.

2.3 Langzeittrend

Abb. 2.3-1 zeigt eine homogenisierte Langzeitreihe der Lufttemperatur für die Station Dresden (1812–2013) deren Daten setzen sich aus Messungen verschiedener Stationen zusammen (unter anderem Medizinisch-Chirurgische Akademie, Dresden-Altstadt/Zwinger, Dresden-Altstadt/Polytechnikum, Dresden-Neustadt, Wahnsdorf bei Dresden, Dresden-Klotzsche). Das 11-jährig gleitende Mittel filtert kurzfristige große Temperaturschwankungen heraus, wobei längerfristige erhalten bleiben. Der Langzeittrend zeigt von Beginn der Messungen bis zur Gegenwart deutlich zunehmende Jahresmittelwerte, auch wenn es immer wieder Zeiträume mit negativem Trendverhalten gibt. Besonders markant ist der Anstieg im letzten Viertel der Zeitreihe, dem Analysezeitraum des INTERKLIM-Projektes.

entaci rovněž zvýšenou rychlost větru, především tehdy, pokud vane »Český vítr« (kap. 3.2.4).

Vedle velkoplošných cirkulačních typů působí na lokální klima i řada dalších faktorů. Svou roli zde hrají především rozdíly v reliéfu na malém území, ale i různý způsob využití krajiny (les, lesní hospodářství, hornictví, vodní plochy, travní porosty a sídla).

2.3 Dlouhodobý trend

Na obr. 2.3-1 je zobrazena homogenizovaná časová řada teploty vzduchu pro stanici Drážďany (1812–2013), jejíž data se skládají z měření na různých stanicích (mimo jiné Lékařská chirurgická akademie, Drážďany – Staré Město/Zwinger, Drážďany – Staré Město/polytechnická škola, Drážďany – Nové Město, Wahnsdorf u Drážďan, Drážďany – Klotzsche). Jedenáctiletý klouzavý průměr filtruje krátkodobé velké teplotní výkyvy, dlouhodobé výkyvy teplot přitom zůstávají zachovány. Dlouhodobý trend ukazuje od začátku měření až do současnosti výrazně stoupající průměrné roční teploty vzduchu, i když se opakovaně vyskytují období s negativním trendem. Zvláště markantní je nárůst teploty vzduchu během uplynulé čtvrtiny časové řady, tedy období, které bylo v rámci projektu INTERKLIM analyzováno.

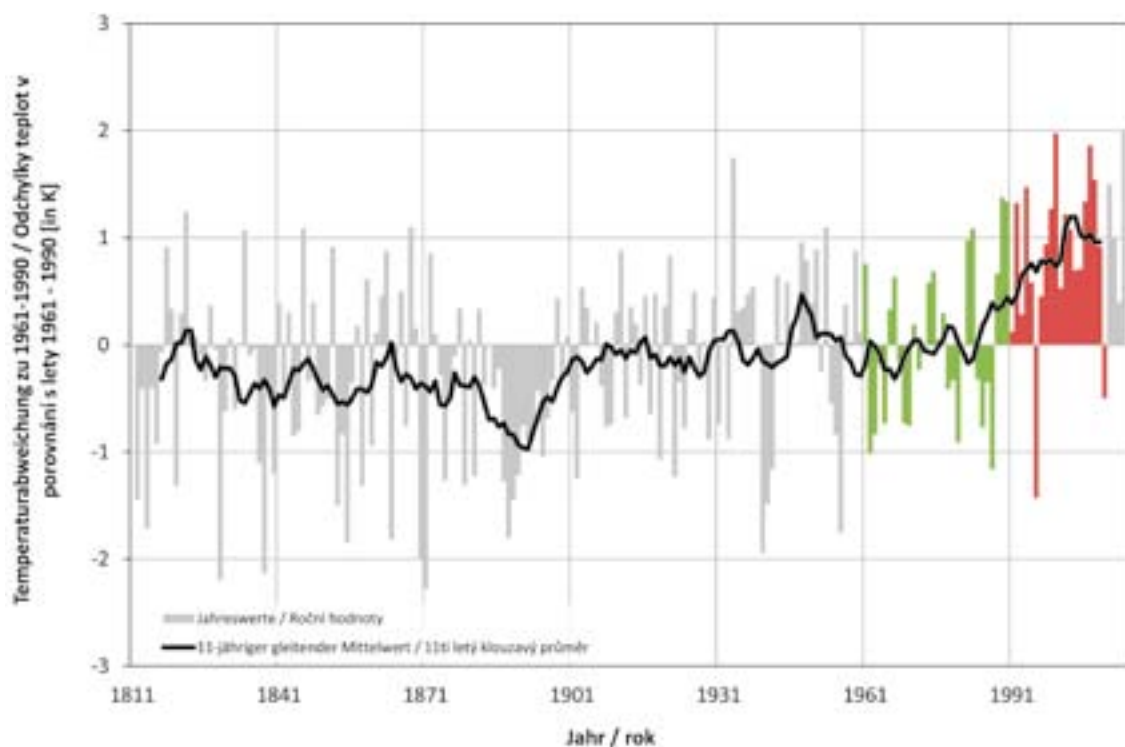


Abb. 2.3-1: Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in Dresden (1812–2014) mit 11-jährig gleitendem Mittelwert (Bernhofer et al., 2009b)

Obr. 2.3-1: Průměrné roční teploty vzduchu v Drážďanech (1812–2014) proložené jedenáctiletým klouzavým průměrem (Bernhofer et al., 2009b)

3 Projektergebnisse

3 Výsledky projektu

3.1 Aufbereitung der klimatologischen Datengrundlagen

Für die Auswertungen im Projekt INTERKLIM wurden klimatologische Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und des Tschechischen Hydrometeorologischen Dienstes (ČHMÚ) verwendet. Diese liegen in Form von Zeitreihen (Tageswerte) für Klima- bzw. Niederschlagstationen vor. Die beiden Datensätze wurden zunächst durch den tschechischen Projektpartner geprüft und ggf. angepasst sowie anschließend in eine gemeinsame Projektdatenbank überführt.

Ein allgemeines Schema der Datenverarbeitung, welches vor einer klimatologischen Analyse durchgeführt werden sollte, ist in Abb. 3.1-1 dargestellt. Nötige Arbeitsschritte umfassen die Erfassung, Überprüfung und mögliche Korrektur von »Ausreißern«, die Erstellung einer Referenzzeitreihe, Homogenitätstests durch Einsatz unterschiedlicher statistischer Verfahren, Ermittlung von

3.1 Zpracování klimatologických dat

Pro zpracování v rámci projektu INTERKLIM byla použita klimatologická pozorování Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a německé meteorologické služby Deutscher Wetterdienst (DWD). Tato pozorování jsou k dispozici ve formě časových řad (denní hodnoty) pro klimatické, případně srážkoměrné stanice. Obě sady dat byly nejprve vyhodnoceny, případně upraveny českým partnerem projektu a uloženy do společné databáze.

Obecné schéma zpracování dat, které je nutné provést před klimatologickou analýzou, je zobrazeno na obr. 3.1-1. Mezi nutné pracovní kroky patří sběr, kontrola a možná oprava odlehých hodnot, vytvoření referenční časové řady, test homogenity prostřednictvím různých statistických postupů, zjištění nehomogenit na bázi výsledků testu a známých metadat, odstranění nehomogenit a nakonec doplnění chybějících hodnot. Tento postup byl

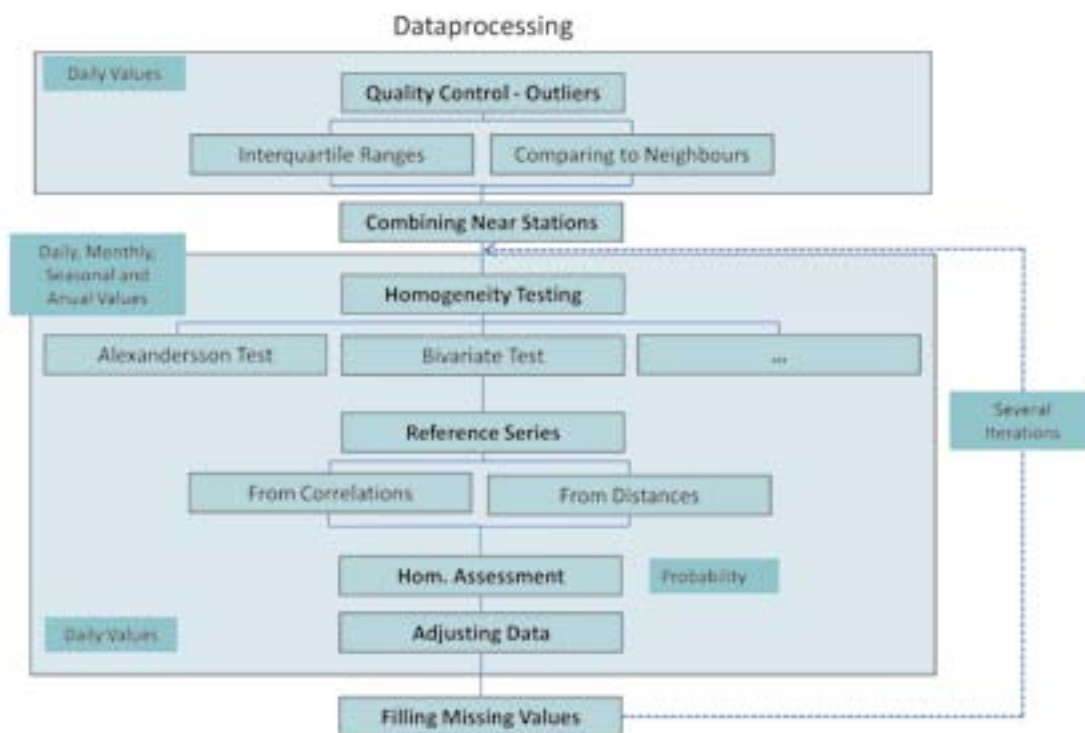


Abb. 3.1-1: Verfahren der Datenverarbeitung – Überprüfung der Datenqualität und Homogenisierung

Obr. 3.1-1: Schéma zpracování dat – kontrola kvality dat a homogenizace

Inhomogenitäten auf Basis der Testresultate und der bekannten Metadaten, die Behebung der Inhomogenitäten und schließlich die Ergänzung fehlender Werte. Im Rahmen des Projektes INTERKLIM wurde dieses Verfahren für die folgenden meteorologischen Elemente im Untersuchungsraum 1961–2010 angewendet: mittlere, maximale und minimale Lufttemperatur, Niederschlagsmenge und Sonnenscheindauer.

3.1.1 Prüfung der Datenqualität

Um die klimatischen Bedingungen eines Ortes oder einer Region zuverlässig untersuchen zu können, sollten die zugrunde liegenden klimatologischen Zeitreihen homogen sein, d.h. ihre Veränderungen ausschließlich die tatsächliche Variabilität des Wetters bzw. des Klimas widerspiegeln. Vor jeder klimatischen Analyse sollten die Daten daher qualitätsgeprüft und ggf. angepasst (homogenisiert) werden, da der Großteil verfügbarer (langjähriger) klimatologischer Zeitreihen Inhomogenitäten beinhaltet. Diese werden z. B. durch Veränderungen des Messstandortes an sich, seiner unmittelbaren und weiteren Umgebung (z. B. Bebauung), Veränderungen oder Alterung verwendeter Messgeräte, methodische Änderungen (z. B. unterschiedliche Berechnung täglicher Mittelwerte, verschiedene Beobachtungszeitpunkte) oder Beobachterwechsel verursacht (Aquilar et al., 2005). Abgesehen von der Repräsentativität längerfristiger Trends und der Variabilität von Zeitreihen sollten die Einzelwerte insgesamt möglichst fehlerfrei sein und eine möglichst geringe Anzahl von fehlenden Werten beinhalten (Vicente-Serrano et al., 2010).

Die Prüfung der Datenqualität wurde individuell an das jeweilige meteorologische Element angepasst, was u. a. mit der unterschiedlichen Verfügbarkeit der Eingangsdaten zusammenhängt.

3.1.2 Homogenisierung der Zeitreihen

Die Prüfung und Korrektur der Eingangsdaten war die Voraussetzung für eine weitere Bearbeitung der Daten. In diesem nächsten Schritt wurden in den Zeitreihen enthaltene Inhomogenitäten ermittelt und behoben. Folgende Homogenitätstests wurden verwendet: 1) der SNHT Test nach Alexandersson, 2) die bivariate Analyse nach Maronna und Yohai sowie 3) der Test nach Easterling und Peterson (Štěpánek et al., 2009). Als Referenzreihen wurden sechs nächstgelegene Stationen mit gleicher Datenverfügbarkeit wie die Testreihe ausgewählt, die statistisch signifikante Korrelationen untereinander aufweisen. Gefundene Inhomogenitäten wurden ggf. mit den Metadaten der Stationen abgeglichen und anschließend über Anwendung und Ausmaß der Korrektur entschieden. Die Daten wurden auf täglicher Basis korrigiert.

Der vorliegende Datensatz verwendet eine neue Korrekturmethode (Verteilungsanpassung auf der Basis von Perzentilen), die auf der Methodik von Dequé (2007) zur Korrektur regionaler Klimamodelldaten basiert. Die hier verwendete Methodik vergleicht Perzentile der Testserien bzw. Differenzen zwischen Test- und Referenzserien vor und nach gefundenen Bruchpunkten. Jeder Monat wurde individuell analysiert, wobei die vor- und nachfolgenden Monate berücksichtigt wurden. Alle Schritte wurden in mehreren Iterationen durchgeführt. Nach jeder Iteration wurde ein insgesamt präziseres Resultat erreicht.

v rámci projektu INTERKLIM použit pro následující meteorologické prvky z období let 1961–2010: průměrná, maximální a minimální teplota vzduchu, úhrn srážek a trvání slunečního svitu.

3.1.1 Kontrola kvality dat

Aby bylo možno spolehlivě zkoumat klimatické podmínky daného místa nebo regionu, měly by být časové řady, na kterých analýza spočívá, homogenní, tedy jejich změny by měly odrážet pouze skutečnou variabilitu počasí, příp. klimatu. Před každou klimatickou analýzou je tedy nutno data vyhodnotit z hlediska jejich kvality a v daném případě je upravit (homogenizovat), protože velká část dostupných (dlouholetých) klimatologických časových řad obsahu nehomogenity. Tyto nehomogenity jsou způsobovány změnou místa měření, bezprostředního i širšího okolí měřící stanice (například zástavbou), změnami nebo stárnutím měřících přístrojů, metodickými změnami (například jiný výpočet průměrných denních hodnot, různé doby pozorování) nebo změnou pozorovatele (Aquilar et al., 2005). Kromě reprezentativnosti dlouhodobých trendů a variability časových řad by jednotlivé hodnoty celkově měly být pokud možno bezchybné a obsahovat co možná nejméně chybějících hodnot (Vicente-Serrano et al., 2010).

Vyhodnocení kvality dat bylo individuálně přizpůsobeno danému meteorologickému prvku, což mimo jiné souvisí s rozdílnou dostupností vstupních dat.

3.1.2 Homogenizace časových řad

Předpokladem pro další zpracování dat byla kontrola a korektura vstupních dat. V rámci tohoto kroku byly zjištěny a odstraněny nehomogenity, které byly v těchto časových řadách zjištěny. Byly použity následující testy: 1) SNHT test Alexanderssona, 2) bivariáční test Maronny a Yohaie; a 3) Easterlingův a Petersonův test (Štěpánek et al., 2009). Jako referenční řada bylo zvoleno šest nejbližších stanic se stejnou dostupností dat jako testovaná řada, které mezi sebou vykazovaly statisticky signifikantní korelace. Nalezené nehomogenity byly v daném případě porovnávány s metadaty stanic. Následně bylo rozhodnuto o aplikaci a rozsahu oprav. Data byla korigována v denním časovém kroku.

V množině staničních dat byla také použita nová metoda oprav (Distribution Fitting na bázi percentilů) vycházející z Dequého (2007) metodiky korektury regionálních dat klimatických modelů. Tato metoda porovnává percentily testovaných časových řad, případně rozdílů mezi testovanou a referenční řadou před a po nalezených bodech zvratu. Každý měsíc byl analyzován individuálně, přičemž zohledněny byly pouze předcházející a následné měsíce. Všechny kroky byly provedeny v několika iteracích. Po každé iteraci bylo dosaženo celkově přesnějšího výsledku.

3.1.3 Doplnění chybějících hodnot

Po vyhodnocení kvality dat a homogenizaci časových řad byly podle statistických vztahů k blízké sousední stanici doplněny chybějící hodnoty (Štěpánek et al., 2009). Výsledkem byly souvislé časové řady pro období let 1961–2010. V tab. 3.1.3-1 je uveden přehled dostupných časových řad pro zájmové území projektu INTERKLIM.

Tab. 3.1.3-1: Anzahl der Stationen in der INTERKLIM-Datenbank

Tab. 3.1.3-1: Počet stanic v databázi projektu INTERKLIM

Meteorologisches Element Meteorologický prvek	Code Kód	Anzahl der Stationen Počet stanic			Zeitraum Období
		Deutschland Německo	Tschechien Česko	Gesamt Celkem	
Mittlere Lufttemperatur Průměrná teplota vzduchu	TM	42	23	65	1961–2010
Maximale Lufttemperatur Maximální teplota vzduchu	TX	42	23	65	1961–2010
Minimale Lufttemperatur Minimální teplota vzduchu	TN	42	23	65	1961–2010
Sonnenschein Sluneční svit	SD	42	23	65	1961–2010
Niederschlag Srážky	RR	342	23	365	1961–2010

3.1.3 Ergänzung fehlender Werte

Nach Prüfung der Datenqualität und der Homogenisierung der Zeitreihen wurden fehlende Werte anhand der statistischen Beziehungen zu nahegelegenen Nachbarstationen ergänzt (Štěpánek et al., 2009), so dass im Ergebnis lückenlose Zeitreihen für die Periode 1961–2010 vorlagen. Tab. 3.1.3-1 gibt eine Übersicht über die verfügbaren Zeitreihen für das INTERKLIM Projektgebiet.

3.1.4 Datenauswahl und weitere Verwendung

Die erarbeitete Datenbasis wurde im Zuge der Klimadiagnose für den Zeitraum 1991–2010 im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 ausgewertet. Berücksichtigung fanden Stationen mit hoher Repräsentativität und Datenverfügbarkeit (mindestens 66 %). Auf Grundlage der Daten wurden zudem aktuelle Klimaprojektionen nach der WETTREG-Methode entwickelt (vgl. Kap. 3.3.3, Kreienkamp et al., 2013) sowie differenzierte Klimakarten für die Projektregion erstellt (Schneider et al., 2014). Daraus abgeleitete Ergebnisse werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben. Für die Untersuchung und Darstellung lokaler Extremereignisse wurde zum Teil zusätzlich auf originale Beobachtungsdaten zurückgegriffen.

3.1.4 Výběr dat a jejich další použití

Takto vytvořené datové podklady byly vyhodnoceny v rámci diagnózy klimatu pro období let 1991–2010 a porovnány s referenčním obdobím 1961–1990. Pro některé analýzy byly zohledněny pouze vysoce reprezentativní stanice s vysokou dostupností dat (minimálně 66 %). Na základě těchto dat byly navíc vytvořeny aktuální projekce klimatu pomocí metody WETTREG (srn. kap. 3.3.3, Kreienkamp et al., 2013) a zpracovány mapy klimatu na zájmovém území projektu (Schneider et al., 2014). Získané výsledky budou podrobněji popsány v následujících kapitolách. Pro studium a popis lokálních extrémních jevů byla ovšem částečně použita původní naměřená (nehomogenizovaná) data.

3.2 Ergebnisse der Klimaanalyse 1961–2010

Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse zeigen die Änderungen des Klimas im Zeitraum 1961–2010 auf. Die Analysen und Interpretationen der aktuellen Klimaentwicklung sind aufgrund der Überlagerung von Klimavariabilität und fortschreitendem Klimawandel immer nur als vorläufig einzustufen.

3.2.1 Temperatur

Räumliche Variabilität

Die Lufttemperatur ist ein Maß für den Wärmezustand der uns umgebenden Luftmassen. Sie wird in einem vor Strahlung schützenden Gehäuse 2 m über dem Erdboden über einer Rasenfläche bestimmt. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 3.2.1-1 bis Abb. 3.2.1-5) zeigen die Verteilung der mittleren Lufttemperatur im Projektgebiet für die Klimanormalperiode 1961–1990 sowie den Zeitraum 1991–2010. Die zeitliche Gegenüberstellung der Karten ermöglicht die Erfassung der standortabhängigen Änderungssignale zwischen den zwei Zeiträumen. Die mittlere jährliche Temperatur lag im Projektgebiet in der Klimanormalperiode 1961–1990 bei 7,5 °C (Flächenmittel nach IDP, 2013). Die niedrigsten Temperaturen treten natürlicherweise in den Kammlagen der Mittelgebirge auf, während nordsächsisches Tiefland, sächsi-

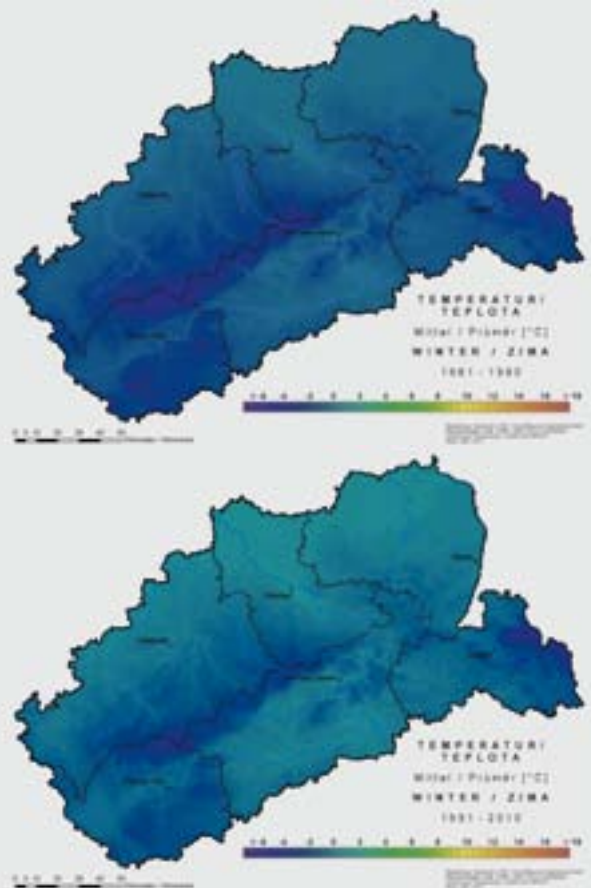


Abb. 3.2.1-2: Mittlere Temperatur im Winter, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.1-2: Průměrná teplota vzduchu v zimě v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

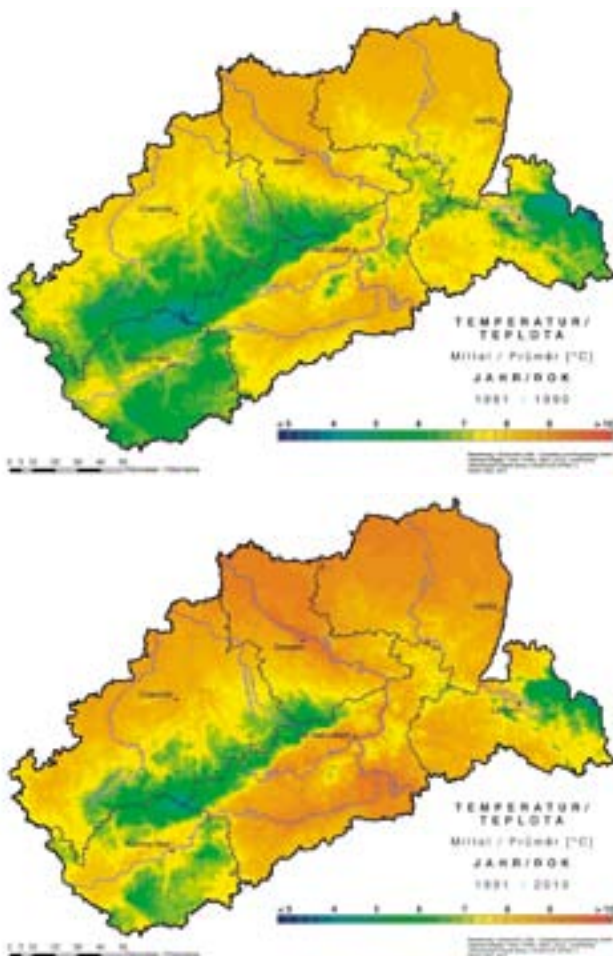


Abb. 3.2.1-1 Mittlere jährliche Temperatur, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.1-1: Průměrná roční teplota vzduchu v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

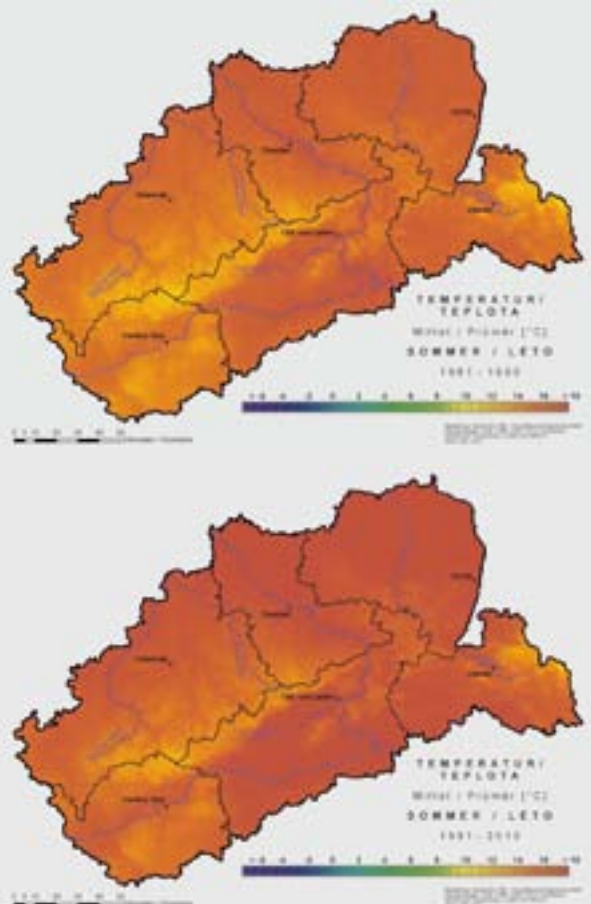


Abb. 3.2.1-4: Mittlere Temperatur im Sommer, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.1-4: Průměrná teplota vzduchu v létě v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

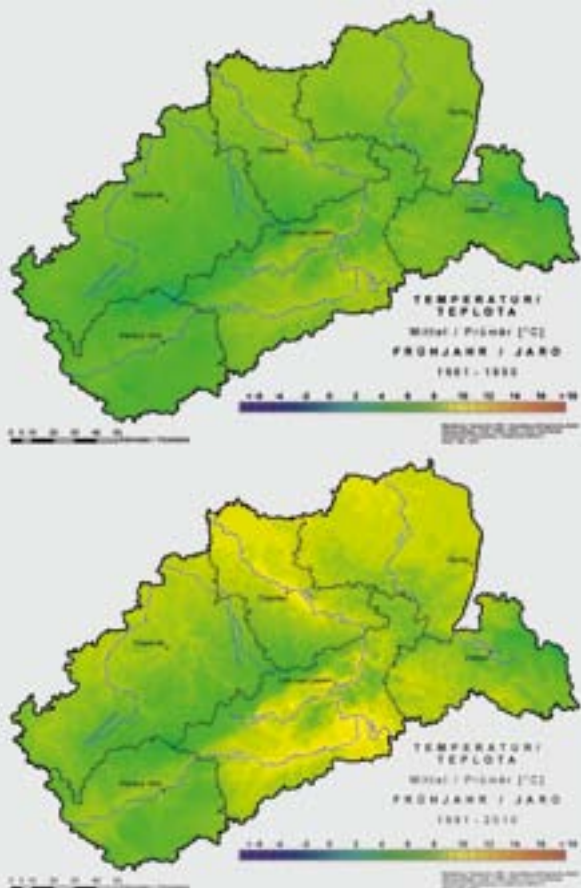


Abb. 3.2.1-3: Mittlere Temperatur im Frühling, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.1-3: Průměrná teplota vzduchu na jaře v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

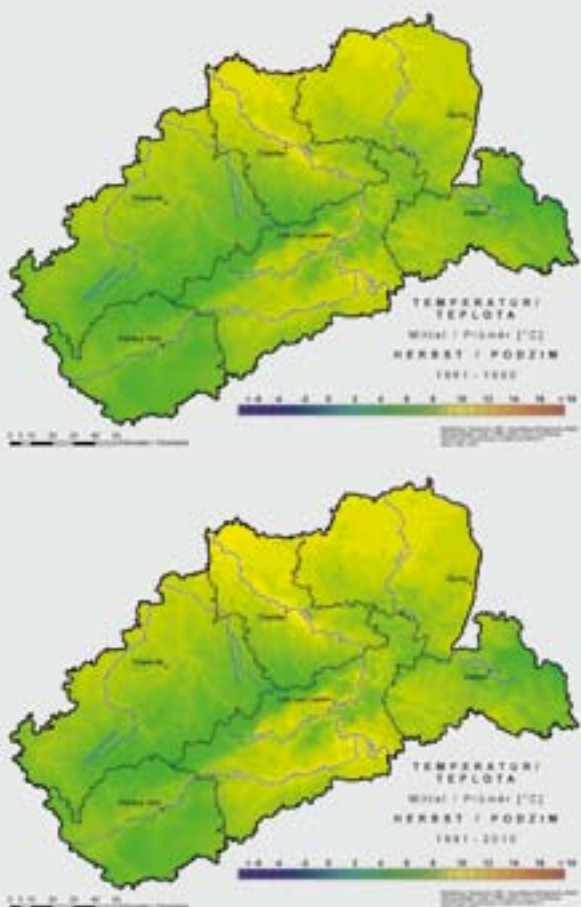


Abb. 3.2.1-5: Mittlere Temperatur im Herbst, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.1-5: Průměrná teplota vzduchu na podzim v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

3.2 Výsledky analýzy podnebí 1961–2010

Výsledky výzkumu, představené v tomto textu, popisují změnu klimatu v období let 1961–2010. Analýzy a interpretace aktuálního vývoje klimatu je nutno, z důvodů překrývání se variability klimatu a pokračující změny klimatu, klasifikovat stále pouze jako přechodné.

3.2.1 Teplota vzduchu

Prostorová variabilita

Teplota vzduchu je měřítkem tepelného stavu vzduchu, který nás obklopuje a má zásadní význam nejen pro utváření a charakter přírodního prostředí, ale i pro mnoho oblastí lidské činnosti. Je měřena v meteorologické v budce nebo radiačním štítu ve výši 2 m nad povrchem země (travnatý povrch). Na následujících vyobrazeních (obr. 3.2.1-1 až obr. 3.2.1-5) je uvedeno rozdělení průměrné roční teploty vzduchu v zájmovém území projektu pro období klimatického normálu 1961–1990 a pro období let 1991–2010. Časové porovnání map umožňuje zachytit signály změny mezi oběma obdobími v závislosti na dané lokalitě. Průměrná roční teplota vzduchu se v zájmovém území pohybovala během klimatického normálu 1961–1990 na úrovni 7,5 °C (plošný průměr, zpracovaný softwarem IDP). Nejnižší teploty vzduchu

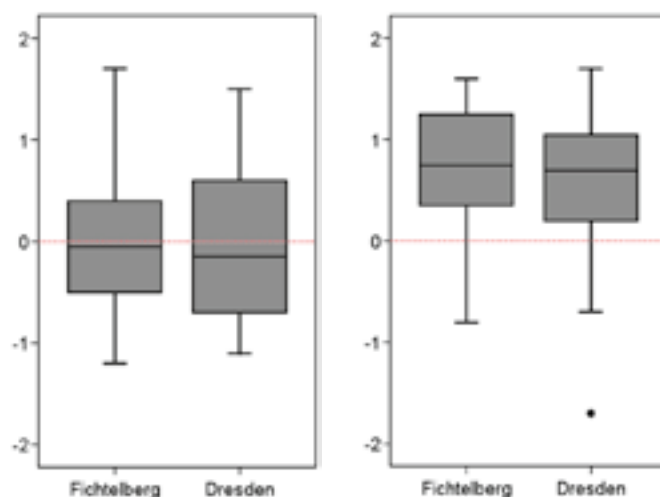


Abb. 3.2.1-6: Variabilität der jährlichen Anomalien der Mitteltemperaturen während der Zeiträume 1961–1990 (links) und 1991–2010 (rechts) der Stationen Fichtelberg und Dresden-Klotzsche ; Darstellungsart: Box-Whisker-Plots

(Erläuterung: Box = Werte zwischen 1. Und 3. Quartil (50 % aller Daten), horizontale Linie innerhalb der Box = Median (2. Quartil), Whisker = Werte zwischen 5. Und 95. Perzentil, Punkte: Ausreißer, Grundlage: geostatistische Interpolation der Beobachtungsdaten auf ein 1x1 km Raster)

Obr. 3.2.1-6: Variabilita průměrných ročních teplot vzduchu v období let 1961–1990 (vlevo) a 1991–2010 (vpravo) na stanicích Fichtelberg a Drážďany, zobrazení: Box-Whisker-Plot (krabicový graf)

(Legenda: Box = hodnoty mezi 1 a 3. kvartilem (50 % všech dat), horizontální linka uvnitř boxu = medián (2. kvartil), Whisker = hodnoty mezi 5 a 95. percentilem, body: Odlehlé hodnoty, podklad: geostatistická interpolace zobrazených dat na rastr 1x1 km)

sches Elbtal und Böhmisches Becken die höchsten Temperaturen aufweisen. Die Lufttemperatur nimmt mit der Höhe im Mittel um 0,6 °C pro 100 m ab.

Abb. 3.2.1-6 gibt anhand von Box- und Whisker Plots beispielhaft für die Stationen Fichtelberg und Dresden-Klotzsche einen Überblick über die Temperaturentwicklung in der Projektregion. Das generell höhere Temperaturniveau im Zeitraum 1991–2010 gegenüber der Klimanormalperiode 1961–1990 in Tief- als auch Berglagen wird anhand der Verschiebung der Wertebereiche deutlich. Einzelne Jahre können dabei immer noch kalt ausfallen – wie das insbesondere in tieferen Lagen um z. T. mehr als 2 °C zu kalte Jahr 1996. Im Zeitraum 1991–2010 nahm die mittlere Temperatur im Projektgebiet um 0,7 °C zu (IDP Flächenmittel) – regional bedeutsame Unterschiede sind dabei nicht erkennbar. Die Erwärmung war im Frühjahr und Sommer mit ca. 1,0 °C am stärksten ausgeprägt und lag im Winter bei ca. 0,8 °C, während das Temperaturniveau des Herbstes weitgehend konstant blieb. Eine Vielzahl von Einflussgrößen wie Landnutzung, Bebauung oder Tal- und Berglagen beeinflussen die lokale Verteilung der Lufttemperatur. Insbesondere die Minimumtemperaturen weisen eine hohe kleinräumige Variabilität infolge lokaler Kaltluftströmungen und –senken auf. Dennoch entspricht die regionale jährliche und jahreszeitliche Verteilung der Maximum- und Minimumtemperaturen weitgehend den für die Mitteltemperatur gezeigten Mustern, weshalb auf die Darstellung dieser Karten verzichtet wird. Im Vergleich von 1991–2010 mit 1961–1990 stiegen die mittleren täglichen Höchsttemperaturen tendenziell etwas stärker als die mittleren täglichen Tiefsttemperaturen an (IDP Flächenmittel).

Zeitliche Variabilität

Abb. 3.2.1-7 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen mittleren Lufttemperatur der Wetterstationen der Zentren der drei deutschen (Chemnitz, Dresden, Görlitz) und tschechischen Teilgebiete (Karlovy Vary, Ústí nad Labem, Liberec) sowie dreier Mittelgebirgsstationen (Fichtelberg, Zinnwald, Desná). Erkennbar ist ein stetiger Temperaturanstieg, der jedoch immer wieder von kühleren Jahren unterbrochen wurde. Das Jahr 1996 war zumeist das kälteste, das Jahr 2000 (nur im Flachland) das wärmste des Beobachtungszeitraumes. Verglichen mit dem Mittelwert der Klimanormalperiode 1961–1990 waren alle Jahre nach 1996 (mit Ausnahme von 2010) wärmer als der langjährige Durchschnitt. Insgesamt nahm die Temperatur in jeder Dekade im Flächenmittel zu.

In Tab. 3.2.1-1 sind die mittleren monatlichen Temperaturen der Klimanormalperiode 1961–1990 des homogenisierten INTERKLIM-Datensatzes (Kap. 3.1.2) aufgeführt. Die durchschnittlich niedrigsten Werte treten im Januar, die höchsten im Juli auf. Aufgrund der (im Winter fehlenden) Wärmespeicherung sind sie zeitlich gegenüber Sonnentiefst- bzw. Sonnenhöchststand um ca. einen Monat nach hinten verschoben. Daher sind die Monatsmittelwerte des Herbstes auch höher als die des Frühjahrs. Der Höhengradient ist im Winter bedingt durch häufige Inversionswetterlagen am schwächsten, im Sommerhalbjahr aufgrund hoher Einstrahlung am stärksten ausgeprägt.

se prirodzené vyskytujú v horských polohách, zatímco Severosaská nížina, saské údolí Labe a Česká pánev vykazujú najvyšší teploty. Teplota vzduchu klesá v priemere o 0,6 °C na 100 m.

Na obr. 3.2.1-6 je na príklade stanic Fichtelberg a Drážďany zobrazen prehľad vývoje teploty vzduchu v zájmovom území. Z posunu rozsahu hodnot je jasne patrná obecně vyšší úroveň teplot vzduchu v letech 1991–2010 oproti období let 1961–1990 v nížinách a v horských polohách. Jednotlivé roky pritom mohou přesto být chladné, jako tomu například bylo v nižších polohách, místy o více než 2 °C v chladnějším roce 1996. V období let 1991–2010 stoupla průměrná roční teplota vzduchu v zájmovém území o 0,7 °C (plošný průměr, zpracovaný softwarem IDP). Regionálně významné rozdíly zde pritom nejsou patrné. Zatímco teplotní úroveň na podzim zůstala z velké části konstantní, na jaře a v létě bylo zaznamenáno nejvyšší zvýšení teploty vzduchu (cca 1,0 °C). V zimě se zvýšení teploty vzduchu pohybovalo kolem cca 0,8 °C.

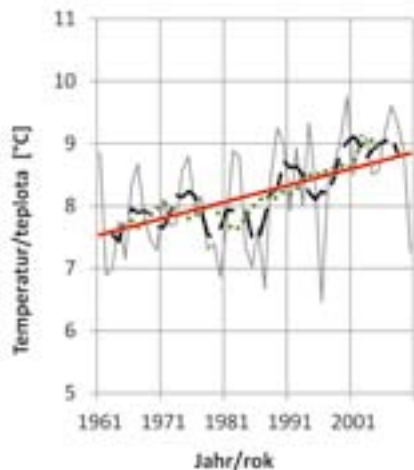
Na lokální rozdělení teploty vzduchu má vliv řada faktorů, např. způsob využití daného území, místní zástavba nebo orografie. V místním měřítku vykazují vysokou variabilitu především minimální teploty vzduchu v důsledku lokálního proudění a klesání chladného vzduchu. I přes tuto skutečnost, regionální rozdělení ročních a sezónních maximálních a minimálních teplot vzduchu odpovídá z velké části rozdělení pro průměrnou roční teplotu vzduchu. Z tohoto důvodu bude od popisu těchto map upuštěno. V porovnání let 1991–2010 s obdobím let 1961–1990 stoupají průměrné maximální denní teploty vzduchu o něco více, nežli průměrné minimální denní teploty vzduchu (plošný průměr, zpracovaný softwarem IDP).

Časová variabilita

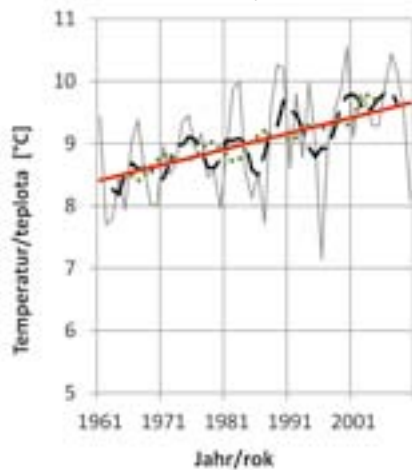
Na obr. 3.2.1-7 je zobrazen časový vývoj průměrné roční teploty vzduchu ze 3 německých meteorologických stanic (Saská Kamenice, Drážďany a Zhořelec) a tří českých meteorologických stanic (Karlovy Vary, Ústí nad Labem, Liberec) nacházejících se v centrech dílčích území projektu a dále ze tří meteorologických stanic, umístěných v horských polohách v regionu (Fichtelberg, Cínovec, Desná). Z výsledků je patrný stálý nárůst teploty vzduchu, přerušovaný chladnějšími roky. Z celého sledovaného období byl nejchladnějším rokem většinou rok 1996, nejteplejším byl rok 2000 (pouze v rovinatě krajině). V porovnání s průměrnou hodnotou klimatického normálu 1961–1990 byly všechny roky po roce 1966 (s výjimkou roku 2010) teplejší, nežli je dlouhodobý průměr. Celkově teplota vzduchu v plošném průměru stoupala během každé dekády.

V tab. 3.2.1-1 jsou uvedeny průměrné měsíční teploty vzduchu za období let 1961–1990 stanovené z homogenizovaných dat projektu INTERKLIM (kap. 3.1.2). Průměrně se nejnižší hodnoty vyskytují v lednu, nejvyšší v červenci. Z důvodů (kromě zimy) akumulace tepla jsou tyto hodnoty časově posunuty zhruba o jeden měsíc oproti nejnižší, případně nejvyšší poloze slunce nad obzorem. Proto jsou i měsíční průměrné hodnoty na podzim vyšší, než na jaře. Výškový gradient je v zimě v důsledku četných inverzí nejslabší, v letním půlroce je z důvodů vysokého slunečního svitu nejsilnější.

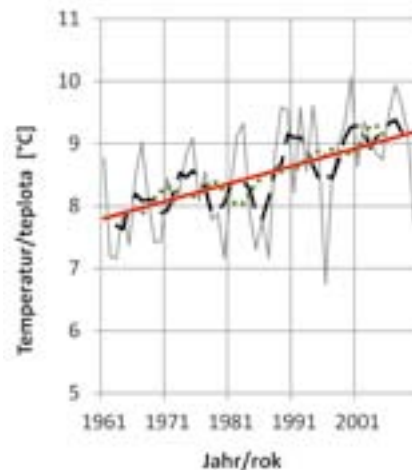
Chemnitz 418 m über NN
Saská Kamenice 418 m n. m.



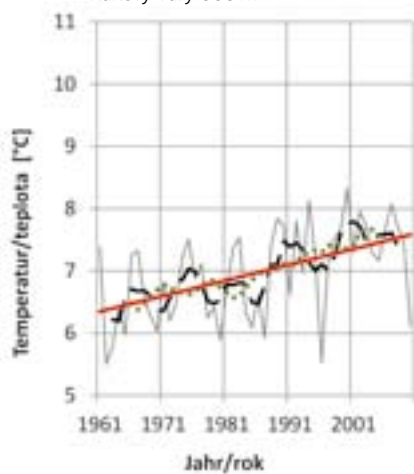
Dresden | Drážďany 227m



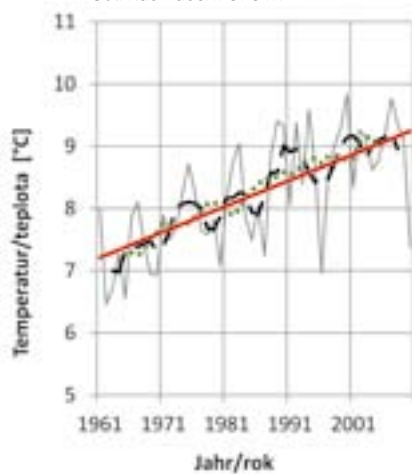
Görlitz | Zhořelec 238 m



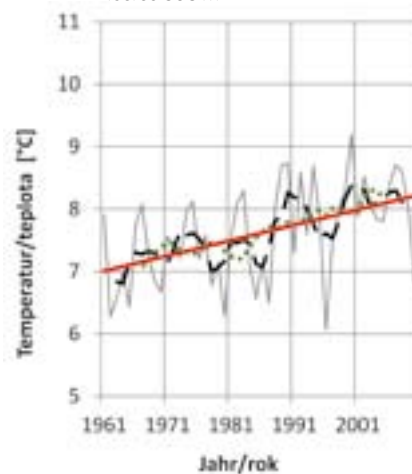
Karlovy Vary 603 m



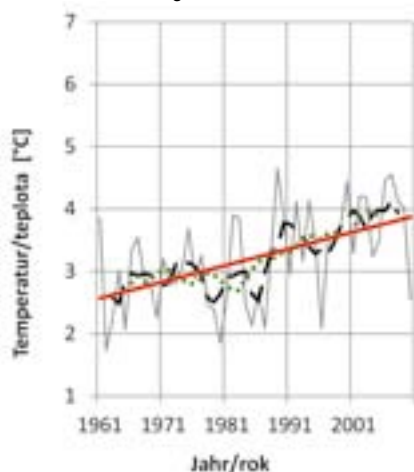
Ústí nad Labem 375 m



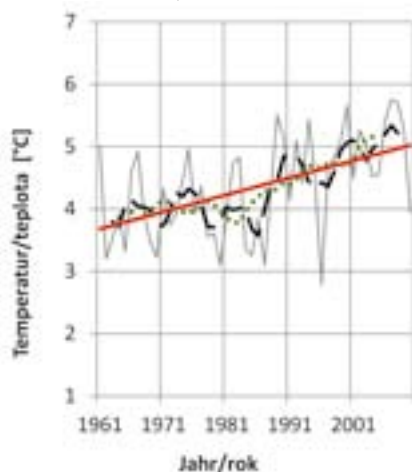
Liberec 398 m



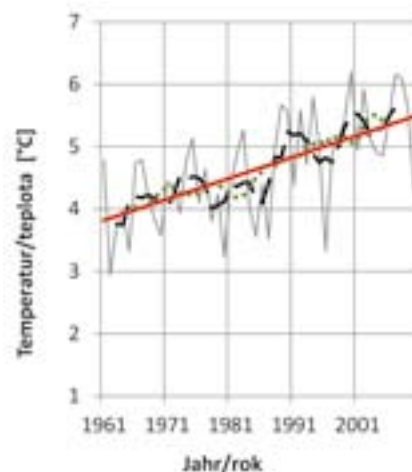
Fichtelberg 1.213 m



Zinnwald | Cínovec 877 m



Desná 772 m



- Jahreswerte/Roční hodnoty
- - - 5 Jahre gleitend/5ti letý klouzavý průměr
- 11 Jahre gleitend/11ti letý klouzavý průměr
- Linearer Trend/lineární trend

Abb. 3.2.1-7: Zeitreihe der Jahresmitteltemperatur

Obr. 3.2.1-7: Časová řada průměrných ročních teplot vzduchu

Tab. 3.2.1-1: Monatliche und jährliche Mittelwerte der Lufttemperatur (in °C) ausgewählter Klimastationen im Projektgebiet im Zeitraum 1961–1990

Tab. 3.2.1-1: Měsíční a roční průměrné hodnoty teploty vzduchu (v °C) vybraných stanic v zájmovém území v období let 1961–1990

	Jan Leden	Feb Únor	Mär Březen	Apr Duben	Mai Květen	Jun Červen	Jul Červenec	Aug Srpen	Sep Září	Okt Říjen	Nov Listopad	Dez Prosinec	Jahr Rok
Chemnitz Saská Kamenice	-1,2	-0,3	2,9	7,0	11,9	15,0	16,6	16,4	13,3	9,1	3,7	0,2	7,9
Dresden Drážďany	-0,8	0,3	3,8	8,0	13,2	16,6	18,1	17,7	14,0	9,7	4,3	0,9	8,8
Görlitz Zhořelec	-1,5	-0,4	3,2	7,6	12,6	15,8	17,3	16,9	13,6	9,2	3,9	0,2	8,2
Karlovy Vary	-2,9	-1,8	1,8	6,3	11,3	14,6	16,2	15,6	12,1	7,1	1,8	-1,7	6,7
Ústí nad Labem	-2,2	-0,6	3,0	7,5	12,5	15,7	17,2	16,8	13,2	8,4	3,0	-0,4	7,8
Liberec	-2,6	-1,1	2,4	6,9	12,0	15,2	16,5	16,1	12,5	8,3	2,9	-0,8	7,4
Fichtelberg	-5,1	-4,8	-2,4	1,3	6,3	9,5	11,2	11,2	8,2	4,5	-0,9	-3,9	2,9
Zinnwald Cínovec	-5,2	-4,4	-1,4	3,0	8,0	11,3	13,1	12,9	9,5	5,4	-0,4	-3,3	4,0
Desná	-5,4	-4,4	-1,4	2,6	8,5	12,1	13,8	13,1	9,9	5,8	0,4	-3,4	4,3

Tab. 3.2.1-2: Änderungssignal (in °C) der monatlichen und jährlichen Mittelwerte der Lufttemperatur ausgewählter Klimastationen im Projektgebiet im Zeitraum 1991–2010 verglichen mit 1961–1990

Tab. 3.2.1-2: Odchytky (v °C) měsíčních a ročních průměrných hodnot teploty vzduchu na vybraných stanicích v zájmovém území v období let 1991–2010 v porovnání s klimatickým normálem 1961–1990

	Jan Leden	Feb Únor	Mär Březen	Apr Duben	Mai Květen	Jun Červen	Jul Červenec	Aug Srpen	Sep Září	Okt Říjen	Nov Listopad	Dez Prosinec	Jahr Rok
Chemnitz Saská Kamenice	1,1	1,0	0,7	1,4	1,0	0,6	1,4	1,3	0,2	-0,2	0,3	0,1	0,8
Dresden Drážďany	1,0	1,1	0,6	1,3	0,7	0,3	1,0	1,0	0,2	-0,4	0,1	-0,2	0,6
Görlitz Zhořelec	1,1	1,2	0,6	1,4	1,0	0,7	1,5	1,4	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,7
Karlovy Vary	1,0	0,9	0,7	1,2	1,1	0,8	1,1	1,2	-0,1	-0,1	0,4	0,0	0,7
Ústí nad Labem	1,3	1,2	1,0	1,8	1,3	1,0	1,6	1,6	0,6	0,2	0,6	-0,1	1,0
Liberec	1,2	0,8	0,4	1,1	0,8	0,6	1,4	1,1	0,1	-0,3	0,4	-0,1	0,6
Fichtelberg	1,0	0,9	0,7	1,5	1,1	0,7	1,3	1,1	0,0	-0,5	0,6	0,5	0,7
Zinnwald Cínovec	1,2	1,1	0,9	1,6	1,1	0,8	1,4	1,3	0,2	-0,5	0,3	0,1	0,8
Desná	1,3	0,9	0,7	1,6	1,4	1,0	1,6	1,5	0,3	-0,2	0,6	0,0	0,9

Tab. 3.2.1-2 zeigt die monatlichen Änderungssignale der neun Stationen für den Zeitraum 1991–2010 verglichen mit 1961–1990. Die jährliche Erwärmung geht demnach fast vollständig auf die Monate Januar bis August zurück, die an den meisten Stationen um mehr als 1 °C wärmer wurden (mit Ausnahme von März und Juni). Das letzte Drittel des Jahres, September bis Dezember, wies kaum noch ein Erwärmungssignal auf, im Oktober gingen die Werte sogar zurück. Unterschiede zwischen Tief- und Berglandstationen, Stationen im Westen bzw. Osten des Projektgebietes sowie dem sächsischen bzw. tschechischen Teil sind in Einzelmonaten vorhanden, jedoch zumeist nur schwach ausgeprägt. Das höhere Erwärmungssignal der Station Ústí nad Labem ist vermutlich auf Inhomogenitäten in der originalen Beobachtungsreihe zurückzuführen.

In Abb. 3.2.1-8 sind die tiefpassgefilterten Zeitreihen des Untersuchungszeitraums 1961–2010 sowie die linearen Trends der Einzelmonate jahreszeitlich gruppiert dargestellt – im Vergleich einer Flachlandstation (Dresden-Klotzsche) und einer Bergstation (Fichtelberg). Dieses Abbildungskonzept gibt über mittel- und langfristige Veränderungen der Monatsmittelwerte Auskunft. Es fällt auf, dass bis auf die Herbstmonate September und Oktober alle Monate einen mehr oder weniger ausgeprägten Anstiegstrend aufweisen. Die zeitliche Variabilität des Temperaturverlaufes ist zwischen den Stationen zumeist ähnlich ausgeprägt, weicht in bestimmten Monaten (z. B. Februar, Dezember) jedoch durchaus voneinander ab. Gleiches gilt für Trendstärke und -richtung – diese harmonisieren in den meisten Monaten zwischen beiden Stationen, können jedoch in Einzelfällen auch eine erkennbar unterschiedliche Trendstärke (z. B. Juni, Dezember) oder gar -richtung (September) aufweisen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Temperatur im Projektgebiet in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich und räumlich weitgehend homogen angestiegen ist, wobei um 1988 ein Sprung im Niveau der Jahresmitteltemperatur zu erkennen ist. Die Erwärmung fand hauptsächlich von Januar bis August statt, während von September bis Dezember nur geringe Veränderungen auftraten. Obgleich sich die generelle Erwärmung konsistent zu beobachteten Entwicklungen in Europa und weltweit zeigt, lassen sich die innerjährlichen Unterschiede am besten anhand von Veränderungen der Wetterlagenhäufigkeit erklären (Kap. 3.2.5).

Extremwertanalyse

Extreme Wetterereignisse sind Teil der natürlichen Klimavariabilität, bedürfen aber aufgrund ihrer sozioökonomischen Relevanz und ihres seltenen Charakters besonderer Evaluierungsmethoden. »Extrem« ist dabei nicht einheitlich definierbar, sondern abhängig von der Zielstellung der jeweiligen Untersuchung. Der beobachtete Temperaturanstieg wirkt sich nicht nur auf die langjährigen Mittelwerte aus, auch die Häufigkeiten von Extremen verändern sich entsprechend – kalte Extreme nehmen generell ab, warme Extreme treten dagegen häufiger auf. Diese Entwicklung lässt sich anhand von Kenntagen sehr gut veranschaulichen (ECAD, 2011; Tab. 3.2.1-3). Abb. 3.2.1-9 stellt das Änderungssignal einer Auswahl kalter (links) und warmer (rechts) Kenntage für den Zeitraum

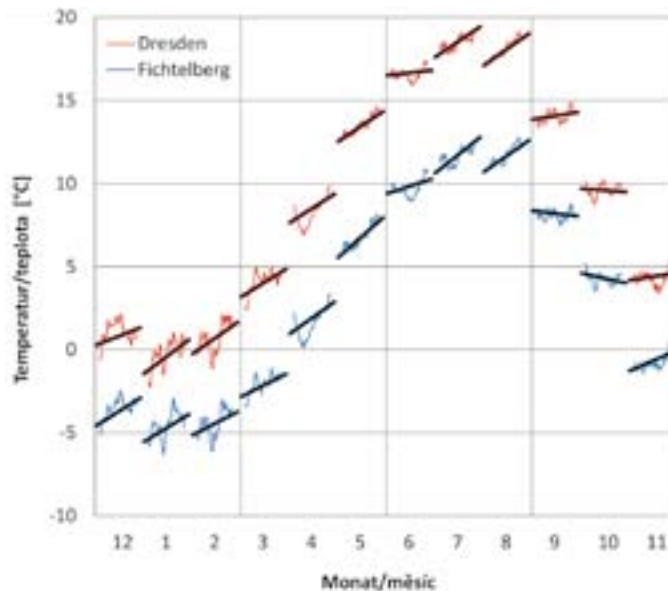


Abb. 3.2.1-8: Veränderung der mittleren monatlichen Temperatur (11-jährig gleitendes Mittel) und lineare Trends in Dresden (rot) und auf dem Fichtelberg (blau) im Zeitraum 1961–2010, gruppiert nach Jahreszeiten

Obr. 3.2.1-8: Změna průměrné měsíční teploty vzduchu (11ti letý klouzavý průměr) a lineární trendy v Drážďanech (červeně) a na stanici Fichtelberg (modře) v letech 1961–2010, setříděno podle ročních období

V tab. 3.2.1-2 jsou zobrazeny odchylky měsíční a roční teploty vzduchu z vybraných devíti stanic pro období let 1991–2010 v porovnání s klimatickým normálem 1961–1990. Příčina zvýšení teploty vzduchu v roční hodnotě spočívá tedy téměř zcela v měsících leden až srpen, ve kterých byly na většině stanic dosaženy o cca 1 °C vyšší teploty vzduchu (s výjimkou března a června). Poslední třetina roku, období od září do prosince, již téměř nevykazuje kladné odchylky teploty vzduchu, v říjnu hodnoty dokonce poklesly. Rozdíly mezi stanicemi v nížinách a na horách, a mezi stanicemi v západní, případně východní části zájmového území a v české, příp. saské části jsou pro jednotlivé měsíce patrné, jsou však většinou pouze málo výrazné. Vyšší kladné odchylky teploty vzduchu na stanici Ústí nad Labem jsou pravděpodobně způsobeny inhomogenitou v původní časové řadě meteorologických pozorování.

Na obr. 3.2.1-8 jsou zobrazeny časové řady teploty vzduchu na území řešeného projektu za období 1961–2010 (shlazeno filtrem) a lineární trendy jednotlivých měsíců setříděných podle ročních období – porovnání nížinné stanice (Drážďany) s horskou stanicí (Fichtelberg). Toto zobrazení poskytuje informace o středně- a dlouhodobých změnách průměrných měsíčních hodnot. Je zjevné, že kromě podzimních měsíců září a říjen vykazují všechny ostatní měsíce více či méně výrazný trend nárůstu teploty vzduchu. Časová variabilita teplotního průběhu je mezi stanicemi většinou podobná, v některých měsících (například únor a prosinec) se však navzájem liší. To samé platí pro sílu a směr trendu – v případě většiny měsíců jsou hodnoty mezi oběma stanicemi harmonické, v jednotlivých případech však mohou vykazovat i jasně patrný rozdíl v síle trendu (například červen, prosinec) nebo i ve směru trendu (září).

Tab. 3.2.1-3: Beschreibung der verwendeten Temperaturindizes

Tab. 3.2.1-3: Popis použitých teplotních indexů

Abkürzung Zkratka	Bezeichnung Označení	Beschreibung Popis
TN10p	Kalte Nächte Chladné noci	Anzahl der Tage mit Temperaturminimum unterhalb des 10. Perzentils aller Tage der Klimanormalperiode 1961–1990 nach Herausfilterung des Jahresgangs Počet dní s teplotním minimem pod 10. percentil všech dnů období 1961–1990 po vyfiltrování ročního chodu
TX10p	Kalte Tage Chladné dny	Analog TN10p, aber für Temperaturmaximum Analogicky k TN10p, ale pro teplotní maxima
CSDI	Kalte Perioden Chladná období	Analog TN10p, aber für Perioden ab 6 Tagen Länge Analogicky k TN10p, ale pro periody od délky 6 dní
FD	Frosttage Mrazové dny	Anzahl der Tage mit Temperaturminimum > 0 °C Počet dnů s nejnižší teplotou < 0 °C
ID	Eistage Ledové dny	Anzahl der Tage mit Temperaturmaximum > 0 °C Počet dnů s nejvyšší teplotou < 0 °C
SF	Tage mit strengem Frost Dny s výskytem tuhého mrazu	Anzahl der Tage mit Temperaturminimum ≤ -10 °C Počet dnů s nejnižší teplotou ≤ -10 °C
TN90p	Warme Nächte Teplé noci	Analog TN10p, aber für Tage oberhalb des 90. Perzentils Analogicky k TN10p, ale pro dny nad 90. percentilem
TX90p	Warme Tage Teplé dny	Analog TN90p, aber für Temperaturmaximum Analogicky k TN90p, ale pro teplotní maxima
WSDI	Warme Perioden Teplá období	Analog TX90p, aber für Perioden ab 6 Tagen Länge Analogicky k TX90p, ale pro periody od délky 6 dní
SU	Sommertage Letní dny	Anzahl der Tage mit Temperaturmaximum ≥ 25 °C Počet dnů s nejvyšší teplotou ≥ 25 °C
HD	Heiße Tage Tropické dny	Anzahl der Tage mit Temperaturmaximum ≥ 30 °C Počet dnů s nejvyšší teplotou ≥ 30 °C

Tab. 3.2.1-4: Mittelwerte der Kälte- und Wärmesumme der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2010 sowie entsprechende Änderungssignale ausgewählter Klimastationen im Projektgebiet

Tab. 3.2.1-4: Průměrné hodnoty sumy teplot pro období 1961–1990 a 1991–2010 a odpovídající signály změny vybraných klimatických stanic v zájmovém území

	Kältesumme Suma »chladných« teplot				Wärmesumme Suma »teplých« teplot			
	1961–1990	1991–2010	Änderung [Summe] Změna [suma]	Änderung [Prozent] Změna [procento]	1961–1990	1991–2010	Änderung [Summe] Změna [suma]	Änderung [Prozent] Změna [procento]
Chemnitz Saská Kamenice	225	175	-49	-22	30	54	24	78
Dresden Drážďany	196	155	-41	-21	61	79	18	29
Görlitz Žořelec	228	180	-47	-21	35	63	28	79
Karlovy Vary	322	273	-49	-15	21	38	16	77
Ústí nad Labem	242	193	-49	-20	35	66	31	87
Liberec	275	229	-46	-17	26	40	14	53
Fichtelberg	669	568	-101	-15	0,7	2,9	2,2	328
Zinnwald Cínovec	574	485	-89	-16	2,1	6,5	4,4	211
Desná	555	466	-89	-16	2,0	8,0	6,0	296

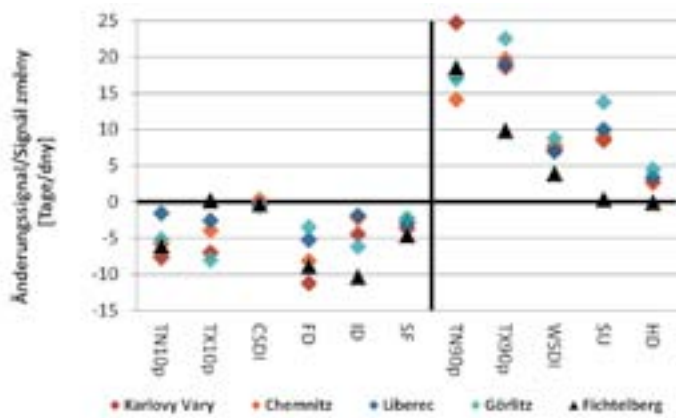


Abb. 3.2.1-9: Darstellung des Änderungssignals (1991–2010 vgl. mit 1961–1990) verschiedener kalter (links) und warmer (rechts) Temperaturindizes für fünf ausgewählte Klimastationen – vier Stationen gelegen im Tief- und mittleren Bergland im Südwesten, Nordwesten, Südosten und Nordosten des INTERKLIM-Projektgebietes sowie die Bergstation Fichtelberg
 Obr. 3.2.1-9: Signál změny (1991–2010 v porovnání s 1961–1990) různých »chladných« (vlevo) a »teplých« (vpravo) teplotních indexů pro pět vybraných stanic – čtyři stanice se nacházejí v nížině a ve středních polohách na jihozápadě, severozápadě, jihovýchodě a severovýchodě území, řešeného v rámci projektu INTERKLIM a horská stanice Fichtelberg

1991–2010 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961–1990 dar. Die abgebildeten Stationen Karlovy Vary, Liberec, Chemnitz und Görlitz repräsentieren die Randbezirke des INTERKLIM-Projektgebietes, ergänzt durch die grenznahe Bergstation Fichtelberg. Die größten Änderungen der warmen Indizes sind an der Station Görlitz zu sehen, was auf eine Zunahme der Kontinentalität in diesem Teil des INTERKLIM-Projektgebietes hindeutet.

Saisonal begrenzte »kalte« Indizes wie Frosttage ($T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), Eistage ($T_{max} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) und Tage mit strengem Frost ($T_{min} \leq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$) traten im Zeitraum 1991–2010 an allen Stationen z. T. deutlich seltener auf. Diese Abnahme ist in höheren Lagen aufgrund der kälteren Ausgangsbedingungen sichtbarer als im Flachland. Abb. 3.2.1-10 illustriert exemplarisch den Rückgang der Frosttage, welcher im Westen stärker ausgeprägt war als im Osten des Projektgebietes. »Wärme-Indizes« – kamen dagegen immer häufiger vor. Insbesondere in niedrigen Höhenlagen betraf dies die saisonal spezifischen Sommertage und heißen Tage.

Perzentilbasierte Indizes (ECAD 2011, Tab. 3.2.1-3) ermöglichen einen direkten Vergleich verschiedener Stationen unabhängig von Höhenlage und lokalklimatischen Spezifika und sind unabhängig vom Jahresgang der Temperatur. Die Anzahl der ganzjährig relevanten kalten Tage (TX10p) und Nächte (TN10p) nahm an den meisten Stationen um bis zu 8 Tage ab. Die stärksten Abnahmen traten im April und insbesondere in Juli und August auf, während im Herbst (insbesondere im Oktober) kalte Extreme häufiger vorkamen. Die Häufigkeitszunahme der ebenfalls ganzjährig relevanten warmen Tage (TX90p) und Nächte (TN90p) überstieg den Rückgang der kalten Tage und Nächte an allen Stationen mit einem Anstieg um bis zu 25 Tage deutlich. In Januar/Februar und Juli/August fiel der Anstieg am deutlichsten aus, während in Oktober und Dezember (nur Minimum) auch negative Trends beobachtet wurden. Kalte (CSDI) und warme Perioden (WSDI) mit

Souhrnně lze konstatovat, že teplota vzduchu v zájmovém území v uplynulých desetiletích se průběžně a územně homogenně zvyšovala, přičemž v roce 1988 je patrný skok v hodnotách průměrné roční teploty vzduchu. K oteplení docházelo především v období od ledna do srpna, zatímco od září do prosince se vyskytovaly pouze malé změny. Obecný trend v oteplování v rámci území projektu INTERKLIM odpovídá vývoji v Evropě a ve světě, rozdíly v průběhu jednoho roku lze nejlépe vysvětlit na základě změn četnosti meteorologických situací (kap. 3.2.5).

Analýza extrémů

Extrémní meteorologické jevy jsou součástí přirozené variability klimatu. Na základě jejich socioekonomického významu a vzácného výskytu však vyžadují specifické metody hodnocení. Pojem »extrémní« přitom nelze definovat jednotně, ale v závislosti na cílech daného výzkumu. Sledovaný nárůst teploty vzduchu nemá vliv pouze na dlouhodobé průměrné hodnoty, odpovídajícím způsobem se mění i četnost extrémů – obecně ubývá »chladných« extrémů, zato »teplých« extrémů přibývá. Tento vývoj lze velmi dobře popsat pomocí referenčních dnů (ECAD, 2011; Tab. 3.2.1-3). Na obr. 3.2.1-9 je zobrazena změna v počtu »chladných« (vlevo) a »teplých« (vpravo) referenčních dnů pro období let 1991–2010 v porovnání s klimatickým normálem 1961–1990. Zobrazené stanice Karlovy Vary, Liberec, Saská Kamenice a Zhořelec reprezentují okrajové části území, řešeného v rámci projektu INTERKLIM, které jsou doplněny o příhraniční horskou stanici Fichtelberg. Největší změny v počtu tzv. »teplých indexů« jsou patrné na stanici Zhořelec, což naznačuje nárůst kontinentálního klimatu v této části řešeného území.

Sezónně omezené tzv. »chladné indexy« jako jsou mrazové dny ($T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), ledové dny ($T_{max} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) a dny s tuhým mrazem ($T_{min} \leq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$) se v období let 1991–2010 na všech stanicích vyskytovaly zčásti výrazně méně. Tento pokles je patrnější ve vyšších polohách z důvodů chladnějších výchozích podmínek, nežli v nížinných polohách. Obr. 3.2.1-10 velmi dobře ilustruje pokles mrazových dnů, který je v západní části výraznější, nežli ve východní části řešeného území. Oproti tomu se »teplé indexy« vyskytovaly stále častěji. Především v nižších polohách se to týkalo sezónně specifických letních a tropických dnů.

Indexy vycházející z percentilů (ECAD 2011, Tab. 3.2.1-3) umožňují přímé porovnání různých stanic nezávisle na nadmořské výšce a specifických lokálního klimatu a nezávisí na ročním chodu teploty vzduchu. Počet celoročně relevantních chladných dnů (TX10p) a nocí (TN10p) poklesl na většině stanic až o 8 dní. K největším poklesům došlo v dubnu a především v červenci a srpnu, zatímco na podzim (především v říjnu) se chladné extrémy vyskytovaly častěji. Nárůst četnosti rovněž celoročně významných teplých dnů (TX90p) a nocí (TN90p) výrazně překročil pokles chladných dnů a nocí na všech stanicích nárůstem až o 25 dní. V lednu / únoru a červenci / srpnu byl nárůst nejvýraznější, zatímco v říjnu a prosinci (pouze minimum) byly pozorovány i negativní trendy. Chladná (CSDI) a teplá období (WSDI), delší nežli 6 dní, se během období let 1961–1990 na většině stanic vyskytovala o cca 5 dnech (chladná období na stanicích Fichtelberg a Cínovec trvala cca 7 dní, na stanici Desná cca 3 dny). Zatímco

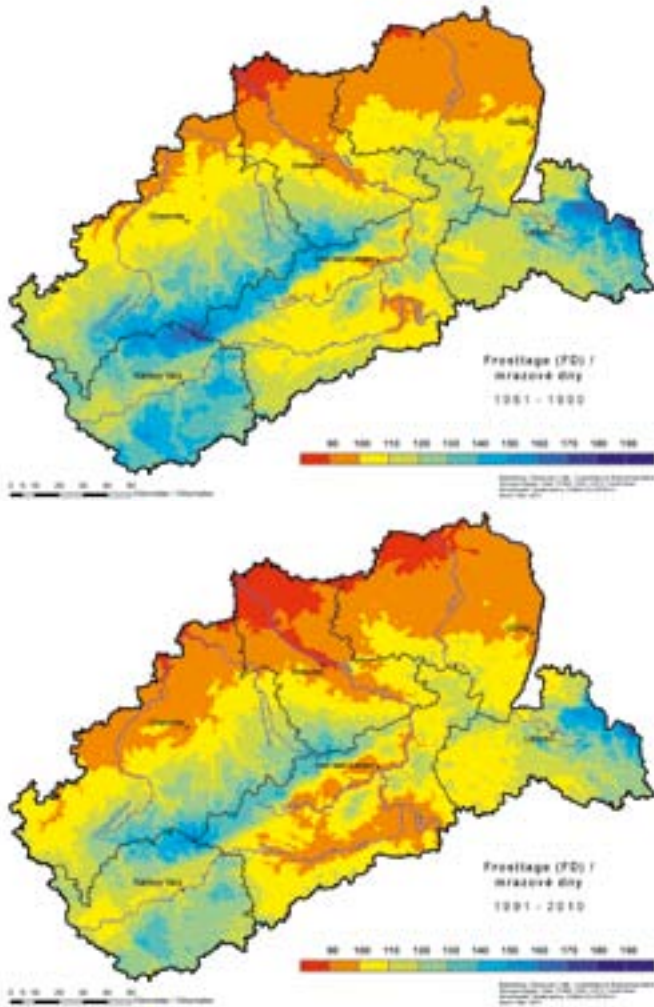


Abb. 3.2.1-10: Mittlere jährliche Anzahl der Frosttage, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.1-10: Průměrný roční počet mrazových dní období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

≥ 6 Tagen Länge kamen in der Klimanormalperiode 1961–1990 an den meisten Station an ca. 5 Tagen vor (kalte Perioden auf dem Fichtelberg und in Zinnwald ca. 7 Tage, in Desná nur ca. 3 Tage). Während die Häufigkeit der kalten Perioden an den meisten Stationen im Zeitraum 1991–2010 nahezu gleich blieb, kam es zu einer Verdopplung bis Verdreifachung der warmen Perioden. Der Anstieg fiel im Sommerhalbjahr deutlicher als im Winterhalbjahr aus (Abb. 3.2.1-11). Bis 1988 traten diese nur alle 2–3 Jahre, danach fast jedes Jahr in deutlich höherer Frequenz und längerer Andauer auf. Dieser Anstieg steht im Zusammenhang mit einem generell höheren Temperaturniveau und einer Zunahme von für Wärmeperioden günstigen Wetterlagenkonstellationen. In Tab. 3.2.1-4 sind die Entwicklungen der Kälte- und Wärmesummen als Indikatoren für Winterstrenge und Sommerhitze dargestellt. Sie definieren sich als die Summe der Beträge aller Tagesmittel der Lufttemperatur unter 0 °C bzw. die Summe aller Tagesmitteltemperaturen über 20 °C (abzüglich 20 °C/Tag). Diese Indikatoren sind in der Literatur zeitlich nicht einheitlich festgelegt und werden an dieser Stelle für die gesamte Winter- bzw. Sommersaison vom ersten bis zum letzten Auftreten genutzt.

četnost »chladných« období zůstává na většině stanic v období let 1991–2010 téměř stejná, dochází ke zdvojnásobení až trojnásobení »teplých« období. Nárůst byl výraznější v letním, nežli v zimním půlroce (obr. 3.2.1-11). Do roku 1988 se tato období vyskytovala pouze každé dva až tři roky, poté téměř každý rok s výrazně vyšší frekvencí a delší dobou trvání. Tento nárůst souvisí s obecně vyšší úrovní teplot a se zvýšením počtu cirkulačních typů, které jsou pro nárůst »teplých« období charakteristické. V tab. 3.2.1-4 je zobrazen vývoj sumy »teplých« a »chladných« teplot jako indikátorů pro vyhodnocení tuhosti zimy a vysokých teplot léta.

Jsou definovány jako suma všech denních průměrných teplot vzduchu pod 0 °C, případně jako suma všech průměrných denních teplot nad 20 °C (bez 20 °C/den). Tyto indikátory nejsou v literatuře stanoveny jednotně. Na tomto místě budou použity pro celou zimní či letní sezónu od prvního až do posledního výskytu. Tuhost zimy silně závisí na převládajících cirkulačních podmínkách – západní proudění přináší mírný atlantický vzduch do zájmového území projektu, naopak východní proudění souvisí s tuhými mrazy. I přes mírně teplejší zimy (v plošném průměru, zpracovaného softwarem IDP +0,8 °C) poklesl v celém zájmovém území v porovnání let 1991–2010 a 1961–1990 výrazně počet »chladných« dní. To je mimo jiné způsobeno tím, že nejchladnější zimy s počtem chladných dní > 400 v nížině s výjimkou zimy 1995/96 se všechny vyskytovaly v období 1961–1990 (1962/63, 1969/70, 1984/85 až 1986/87), oproti tomu mírné zimy se vyskytovaly především v letech 1987/88 až 2001/02.

Podmínky pro tropické dny v létě závisí rovněž z velké míry na podmínkách cirkulace – nejlepší předpoklady vytváří vzduch z Jižní Evropy a Severní Afriky, který se do míst řešeného území dostává většinou jižním prouděním. Stabilní oblasti vysokého tlaku vzduchu nad Střední Evropou nabízejí rovněž dobré předpoklady

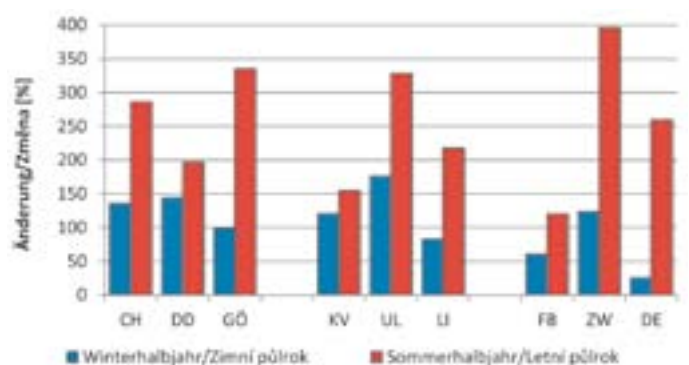


Abb. 3.2.1-11: Prozentuales Änderungssignal der Wärmeperioden (WSDI) im Zeitraum 1991–2010 verglichen mit 1961–1990 der folgenden Stationen (von links nach rechts): Sachsen – Chemnitz (CH), Dresden (DD), Görlitz (GÖ); Böhmen – Karlovy Vary (KV), Ústí nad Labem (UL), Liberec (LI); Bergstationen – Fichtelberg (FI), Zinnwald (ZI), Desná (DE)

Obr. 3.2.1-11: Procentuální signál změny teplých period (WSDI) v období let 1991–2010 v porovnání s lety 1961–1990 na následujících stanicích (zleva doprava): Sasko – Saská Kamenice (CH), Drážďany (DD), Žhořelec (GÖ); Česko – Karlovy Vary (KV), Ústí nad Labem (UL), Liberec (LI); horské stanice – Fichtelberg (FB), Cínovec (ZW), Desná (DE).

Die Winterstrenge hängt stark von den vorherrschenden Zirkulationsbedingungen ab – westliche Anströmung bringt milde atlantische Luftmassen ins Projektgebiet, östliche Luftmassen hingegen gehen mit strengen Frösten einher. Die Kältesumme nahm im gesamten Projektgebiet im Vergleich von 1991–2010 mit 1961–1990 deutlich ab – trotz nur moderat wärmerer Winter (im IDP Flächenmittel +0,8 °C). Dies liegt u.a. daran, dass die kältesten Winter mit einer Kältesumme von verbreitet >400 im Tiefland mit Ausnahme des Winters 1995/96 alle im Zeitraum 1961–1990 auftraten (1962/63, 1969/70, 1984/85 bis 1986/87), milde Winter dagegen insbesondere von 1987/88 bis 2001/02 vorkamen.

Hitzebedingungen im Sommer sind ebenfalls stark zirkulationsabhängig – die besten Voraussetzungen bieten Luftmassen aus Südeuropa und Nordafrika, die zumeist mit südlicher Strömung zu uns geführt werden. Stabile Hochdruckgebiete über Mitteleuropa bieten ebenfalls gute Voraussetzungen für Sommerwärme – sonnige und trockene Bedingungen sorgen für eine stetige Erwärmung der Luftmasse. Die Wärmesumme nahm im gesamten Projektgebiet im Vergleich von 1991–2010 mit 1961–1990 stark zu. Dies liegt auch daran, dass in der Klimanormalperiode 1961–1990 kein einziges Jahr mit einer Wärmesumme von im Tiefland um oder über 100 auftrat – danach jedoch gleich fünf Sommer dieses Kriterium erfüllten (1992, 1994, 2003, 2006 und 2010).

Die Zeitreihen der täglichen Maxima und Minima der Lufttemperatur der zwei Stationen Dresden-Klotzsche und Fichtelberg bilden die Basis von Abb. 3.2.1-12. Dargestellt werden drei Kategorien sehr hoher Maxima und sehr niedriger Minima und deren Auftretenshäufigkeiten im Zeitraum 1961–2010. Die jeweiligen Schwellenwerte für Dresden liegen naturgemäß deutlich über denen des Fichtelberges, wobei sich die Grenzwerte der Temperaturminima zwischen den Stationen (aufgrund winterlicher Inversionswetterlagen) weniger voneinander unterscheiden als die der sommerlichen Temperaturmaxima.

Die beobachtete rezente Erwärmung äußert sich in einem verstärkten Auftreten von warmen Extremen und einem verminderten Auftreten von kalten Extremen seit dem Ende der 1980er Jahre. Im Tiefland bezieht sich diese Änderung vor allem auf die Temperaturmaxima, während sie im Bergland vor allem die Minima betraf. So traten auf dem Fichtelberg nach dem Winter 1986/87 kaum noch kalte Extrema mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von einem Jahr oder weniger auf, während sehr kalte Temperaturen in Dresden nur geringfügig seltener auftraten. Aus dieser Beobachtung und auch dem Vergleich mit anderen Tieflandstationen im Projektgebiet lässt sich schließen, dass das Projektgebiet in den Wintern des Zeitraumes 1991–2010 nur noch selten durch höhenkalte Luftmassen beeinflusst wurde. Dieser Fakt ist nur anhand von Messreihen der atmosphärischen Temperatur in bestimmten Höhenlagen oder eben an relativ frei und zumeist über der Inversionsschicht gelegenen Bergstationen nachweisbar.

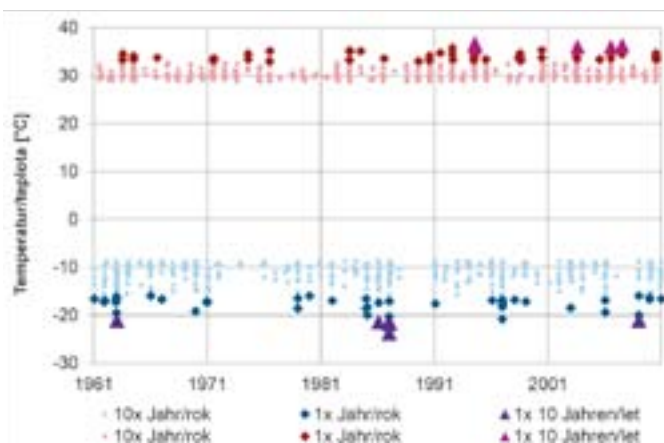
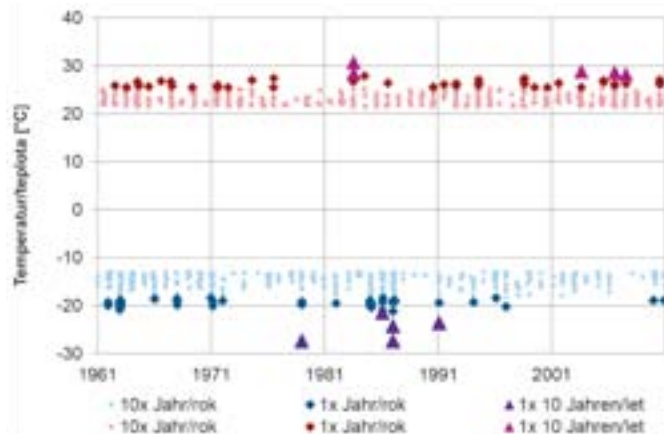


Abb. 3.2.1-12: Häufigkeit des Auftretens von Temperaturextremen im Zeitraum 1961–2010 für die Stationen Fichtelberg (oben) und Dresden (unten); dargestellt sind Zeitreihen sehr hoher Temperaturmaxima (rote Farbtöne) und sehr niedriger Temperaturminima (blaue Farbtöne); Nutzung von quantilbasierten Schwellenwerten, festgelegt auf einer dreistufigen Skala der Wiederkehrzeit

Obr. 3.2.1-12: Četnost výskytu teplotních extrémů v období let 1961–2010 pro stanice Fichtelberg (nahore) a Drážďany (dole); zobrazeny jsou časové řady velmi vysokých teplotních maxim (červené odstíny) a velmi nízká teplotní minima (modré odstíny); využití prahových hodnot na bázi kvantilů na třístupňové škále intervalu opakování.

pro »letní teplo« – slunečné a suché podmínky vedou k plynulému prohřívání vzdušných mas. Počet »teplých« dní v celém území projektu v porovnání let 1991–2010 a 1961–1990 silně narostl. To je způsobeno i tím, že během období let 1961–1990 se nevyskytl žádný rok s počtem »teplých« dní v nížině kolem nebo nad 100. Poté však toto kritérium splňovalo hned pět letních období (1992, 1994, 2003, 2006 a 2010).

Časové řady denní maximální a minimální teploty vzduchu na dvou stanicích, Drážďany a Fichtelberg, jsou základem pro obr. 3.2.1-12. Zobrazeny jsou tři kategorie – velmi vysoká maxima a velmi nízká minima a četnost jejich výskytu během let 1961–2010. Příslušné prahové hodnoty pro Drážďany jsou samozřejmě výrazně vyšší, nežli prahové hodnoty pro Fichtelberg. Limitní hodnoty teplotních minim se přitom mezi stanicemi (z důvodu zimních inverzí) liší méně, nežli letní teplotní maxima.

Sledované nedávné oteplení se projevuje zvýšeným výskytem teplejších extrémů a sníženým výskytem chladnějších extrémů

3.2.2 Niederschlag

Räumliche Variabilität

Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 3.2.2-1 bis Abb. 3.2.2-5) zeigen die Niederschlagsverteilung des Gesamtjahres und der Jahreszeiten im Projektgebiet für die Klimanormalperiode 1961–1990 sowie den Vergleichszeitraum 1991–2010. Die zeitliche Gegenüberstellung der Karten lässt die räumliche Differenzierung der Änderungssignale erkennen. Der mittlere Gebietsniederschlag der Klimanormalperiode 1961–1990 lag bei 716 mm (IDP Flächenmittel). Das Niederschlagsmaximum findet sich im Sommer (1961–1990: 230 mm, 1991–2010: 258 mm). Die räumliche Verteilung der Niederschläge ist stark höhenabhängig. Im Mittel nimmt die Niederschlagsmenge mit der Höhe zu, ist insbesondere in Gebirgslagen aber auch deutlich abhängig von Lage und vorherrschender Anströmungsrichtung (Luv- und Leeeffekte). Die zunehmende Entfernung zum Meer (Kontinentalität) spielt für die Niederschlagsverteilung eine weitere, wenngleich im Vergleich zur Höhe untergeordnete Rolle. In der Klimanormalperiode 1961–1990 fielen die geringsten Niederschläge im nordböhmisches Becken, z. T. nur um die 400 mm (z. B. Tušimice bei Kadaň) während anstaubegünstigte Abschnitte des Riesengebirges mit west- bis nordwestlicher Orientierung Niederschlagsmengen von gebietsweise über 1.500 mm aufwiesen.

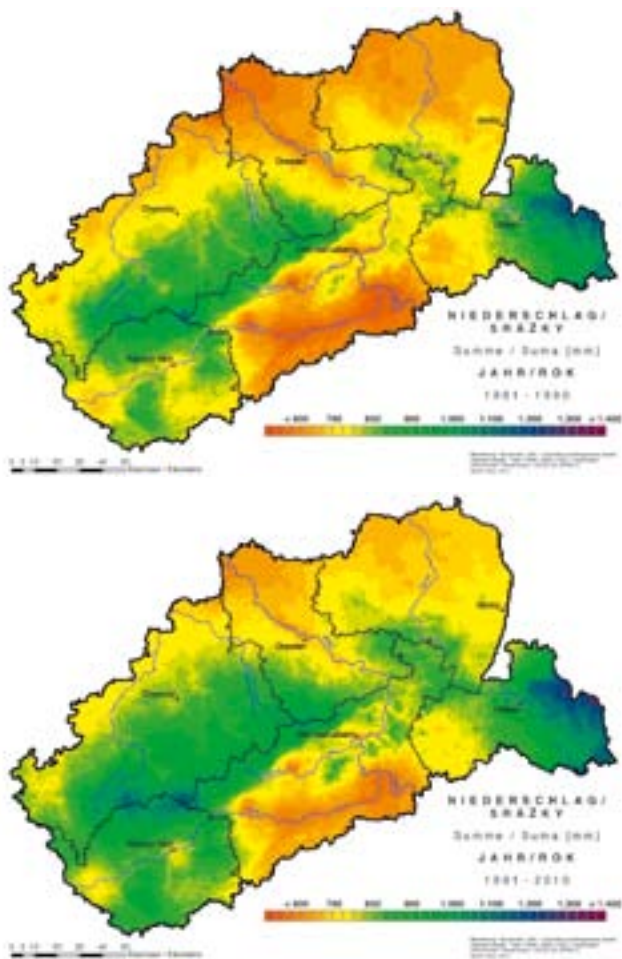


Abb. 3.2.2-1: Mittlere jährliche Niederschlagshöhe, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.2-1: Průměrný úhrn srážek, 1961–1990 (nahore), 1991–2010 (dole)

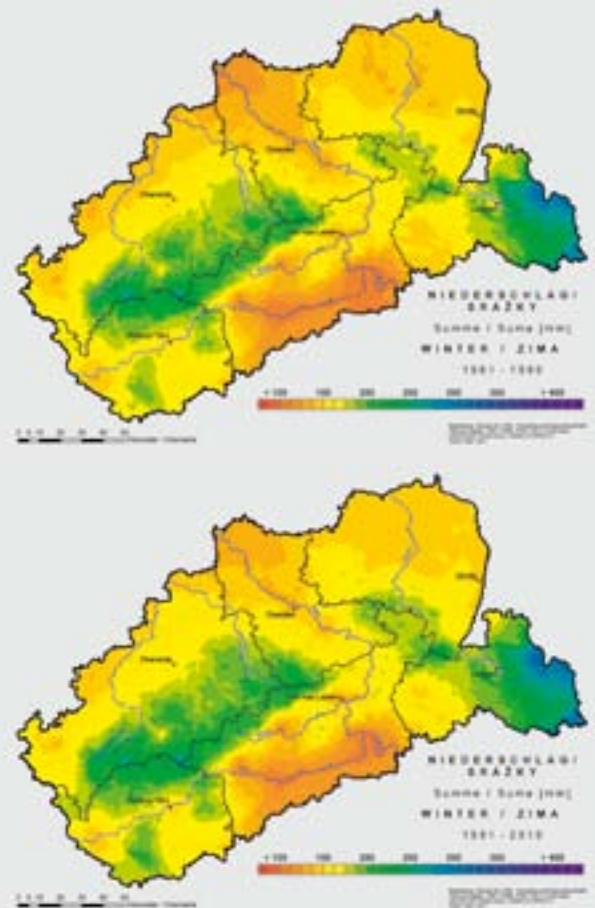


Abb. 3.2.2-2: Mittlere Niederschlagshöhe im Winter, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.2-2: Průměrný úhrn srážek v zimě v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

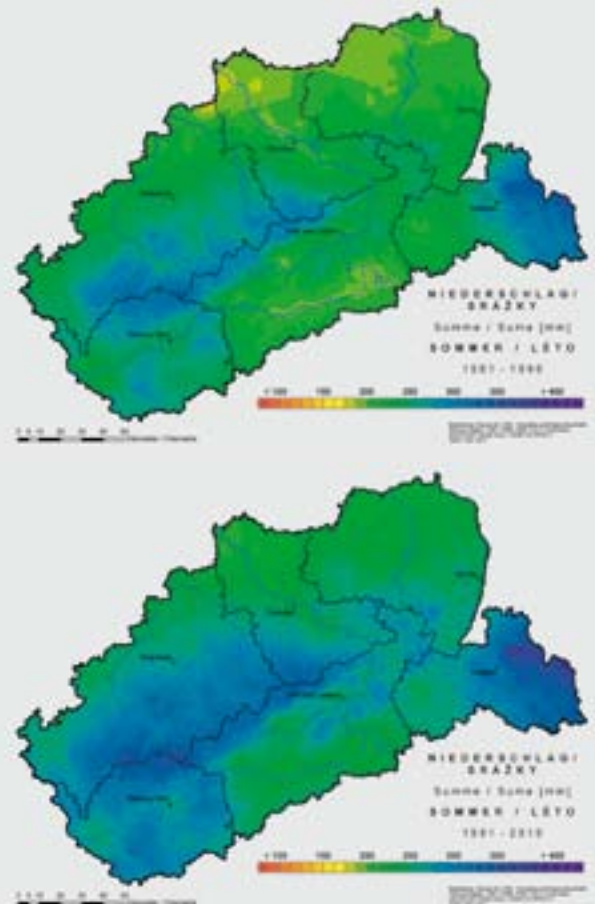


Abb. 3.2.2-4: Mittlere Niederschlagshöhe im Sommer 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.2-4: Průměrný úhrn srážek v létě v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

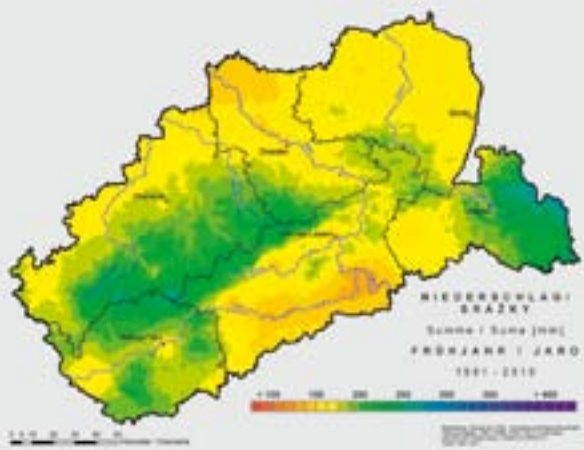


Abb. 3.2.2-3: Mittlere Niederschlagshöhe im Frühling, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.2-3: Průměrný úhrn srážek na jaře v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

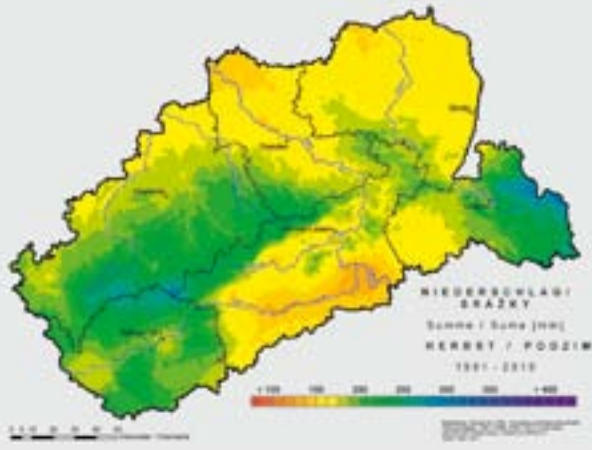
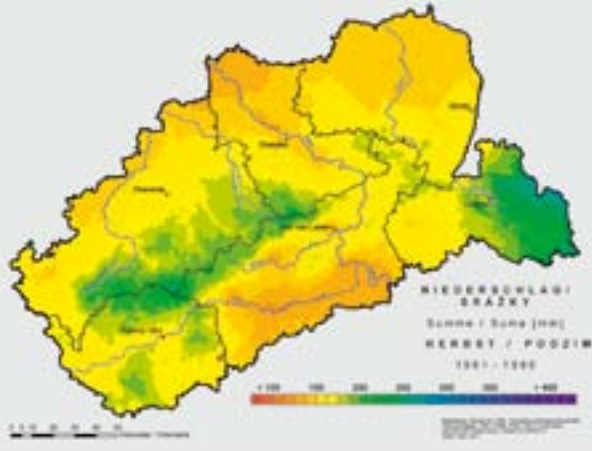


Abb. 3.2.2-5: Mittlere Niederschlagshöhe im Herbst, 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.2-5: Průměrný úhrn srážek na podzim v období let 1961–1990 (nahore) a 1991–2010 (dole)

od konce osmdesátých let 20. století. V nížinách se tato změna týká především teplotních maxim, zatímco na horách především minim. Na Fichtelbergu se po zimě 1986/87 téměř nevyskytovaly chladné extrémy s intervalem opakování v délce jednoho roku nebo méně, zatímco velmi »chladné« teploty se v Drážďanech vyskytovaly pouze nepatrně méně. Z tohoto zjištění, a z porovnání s ostatními stanicemi v nížinách nacházejících se na území projektu, lze usuzovat, že řešené území bylo v zimě v období let 1991–2010 pouze zřídka ovlivňováno chladným vzduchem z velkých výšek. Tato skutečnost je prokazatelná pouze na základě řady měření teploty vzduchu v určitých výškách nebo na horských stanicích, které se nacházejí na relativně volném prostranství a většinou nad inverzní vrstvou.

3.2.2 Srážky

Prostorová variabilita

Následující vyobrazení (obr. od 3.2.2-1 do obr. 3.2.2-5) zobrazuje rozložení srážek během celého roku a v ročních obdobích v letech 1961–1990 a 1991–2010. Časové porovnání map ukazuje na prostorovou diferenciaci signálů změny. Průměrný roční úhrn srážek činil 716 mm za období 1961–1990 na celé území projektu (plošný průměr, zpracovaný softwarem IDP). Maximum srážek bylo zaznamenáno v létě (1961–1990: 230 mm, 1991–2010:

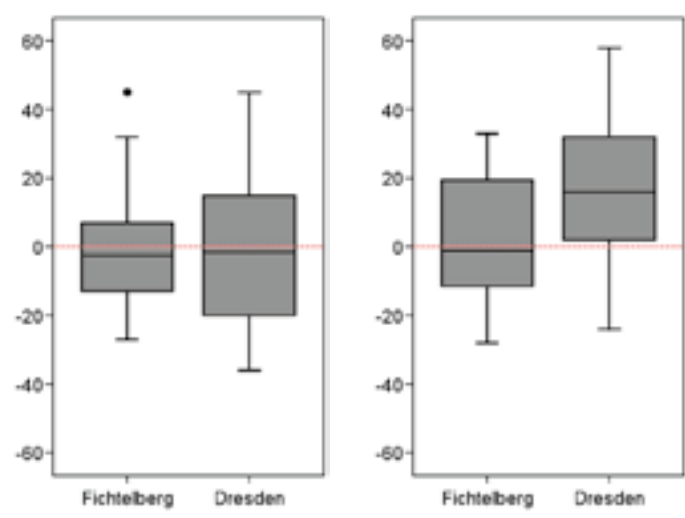


Abb. 3.2.2-6: Variabilität der jährlichen Anomalien der Jahresniederschläge (in Prozent) während der Zeiträume 1961–1990 (links) und 1991–2010 (rechts) der Stationen Fichtelberg und Dresden-Klotzsche ; Darstellungsart: Box-Whisker-Plots

(Erläuterung: Box = Werte zwischen 1. Und 3. Quartil (50 % aller Daten), horizontale Linie innerhalb der Box = Median (2. Quartil), Whisker = Werte zwischen 5. Und 95. Perzentil, Punkte: Ausreißer, Grundlage: geostatistische Interpolation der Beobachtungsdaten auf ein 1 x1 km Raster)

Obr. 3.2.2-6: Variabilita ročních úhrnů srážek (v procentech) v období let 1961–1990 (vlevo) a 1991–2010 (vpravo) na stanicích Fichtelberg a Drážďany, zobrazení: Box-Whisker-Plot (krabicový graf)

(Legenda: Box = hodnoty mezi 1 a 3. kvartilem (50 % všech dat), horizontální linka uvnitř boxu = medián (2. kvartil), Whisker = hodnoty mezi 5 a 95. percentilem, body: Odlehlé hodnoty, podklad: geostatistická interpolace zaznamenaných dat na rastr 1x1 km)

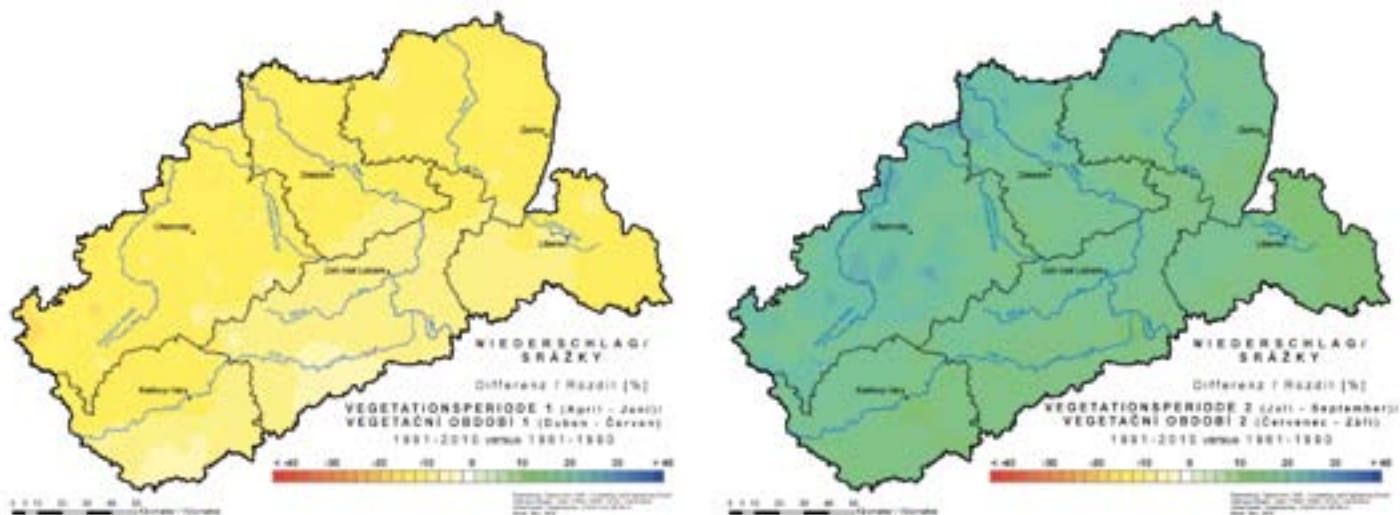


Abb. 3.2.2-7: Änderungssignal der Niederschlagshöhe 1991–2010 verglichen mit 1961–1990

Obr. 3.2.2-7: Signál změny v úhrnu srážek 1991–2010 v porovnání s lety 1961–1990

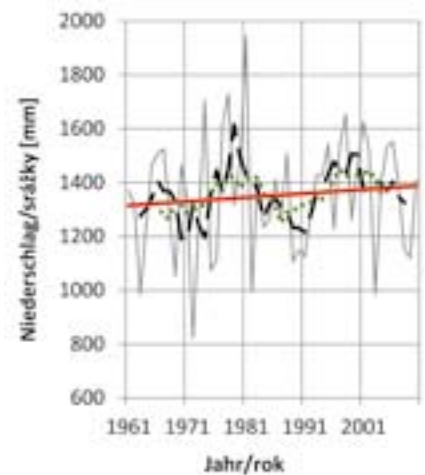
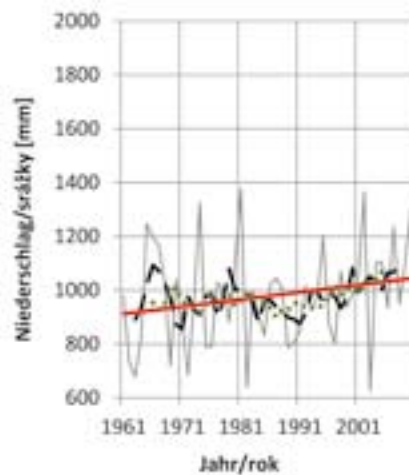
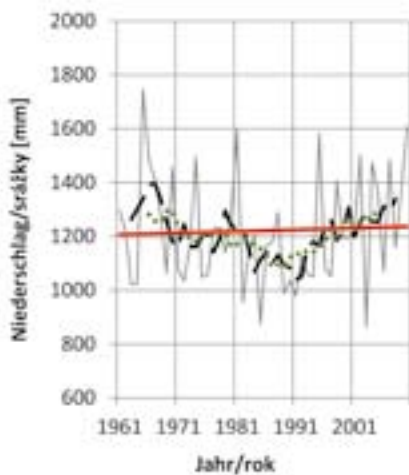
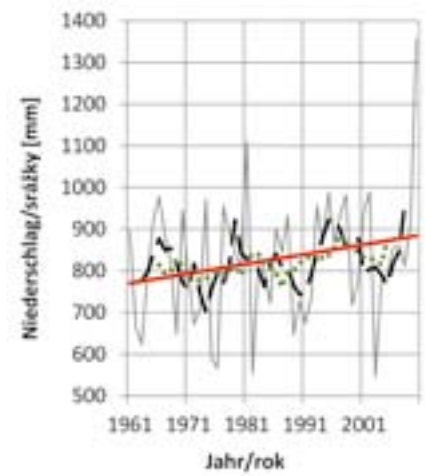
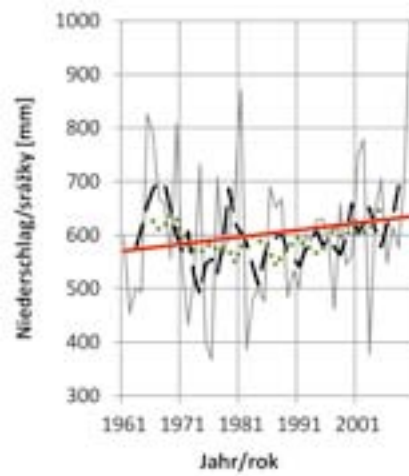
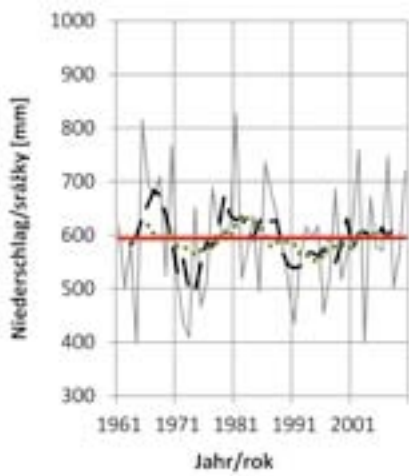
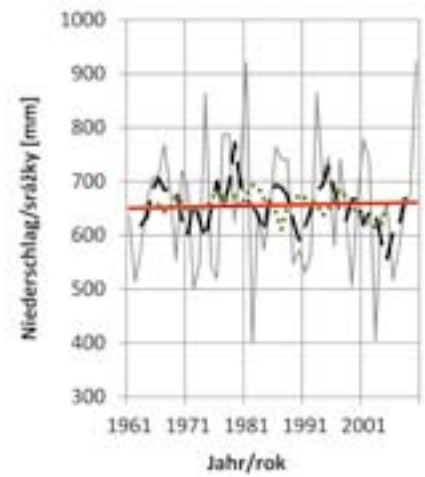
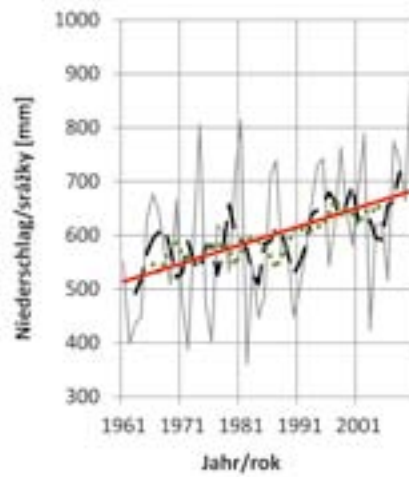
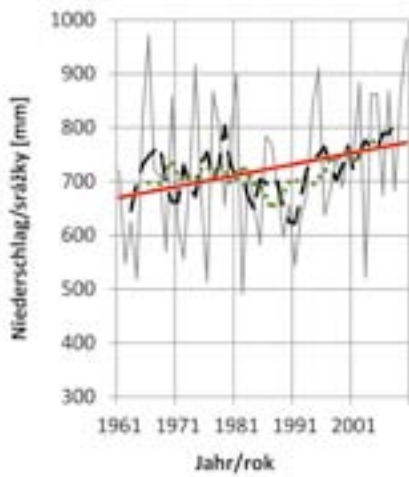
Die in Abb. 3.2.2-6 gezeigten Box- und Whisker Plots für die Stationen Dresden-Klotzsche und Fichtelberg bilden beispielhaft für eine Tieflandstation und eine Bergwetterwarte die Spannweite der Abweichungen der Jahresniederschlagssummen von den Mittelwerten der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2010 ab. Der Schwankungsbereich ist in Dresden deutlich größer als auf dem Fichtelberg, wo im langjährigen Mittel jedoch auch eine mehr als doppelt so hohe Niederschlagsmenge gemessen wird. Die Niederschlagsmenge in Dresden stieg im Zeitraum 1991–2010 gegenüber der Klimanormalperiode 1961–1990 im Vergleich zu anderen Stationen überproportional an, während die Änderungen auf dem Fichtelberg vergleichsweise gering ausfielen. Im IDP Flächenmittel ist zwischen den Zeiträumen eine Zunahme der jährlichen Niederschlagshöhe um ca. 7% zu verzeichnen. Regional fällt die Höhe der Änderungssignale in den Karten (Abb. 3.2.2-1 bis Abb. 3.2.2-5) unterschiedlich aus, wobei aber fast überall eine Zunahme der Niederschläge erkennbar ist. Dieser Anstieg beschränkt sich weitgehend auf Sommer und Herbst (Anstieg im Flächenmittel > 10%), während Winter und Frühjahr kaum Änderungen aufweisen.

Bei Betrachtung der Vegetationsperioden 1 (April bis Juni) und 2 (Juli bis September) wird im Zeitraum 1961–2010 ein völlig gegensätzliches Trendverhalten beider Perioden deutlich (Abb. 3.2.2-7), welches insbesondere für die Landwirtschaft mit großen Problemen verbunden sein kann. In der Vegetationsperiode 1 gingen die Niederschläge prozentual deutlich zurück, insbesondere im sächsischen Tiefland. Somit fehlte im Zeitraum 1991–2010 häufiger als in der Periode zuvor (1961–1990) genau zur Zeit von Aussaat und Pflanzenwachstum der dringend benötigte Regen. Ein umgekehrtes Bild ergibt sich in Vegetationsperiode 2. Hier stiegen die Niederschlagsmengen (verstärkt durch, aber nicht beschränkt auf einige extreme Niederschlagsereignisse der 2000er Jahre; vgl. Kap. 3.2.4) deutlich an, vor allem im Westen von Sachsen.

258 mm). Üzemní distribuce srážek silně závisí na nadmořské výšce. Průměrně množství srážek roste s nadmořskou výškou. Především v horských polohách je však výrazně závislé na poloze a převládajícím směru proudění (efekty návětrné a závětrné strany). Stoupající vzdálenost od moře (kontinentalita) hraje v otázce distribuce srážek další, i když v porovnání s vlivem nadmořské výšky, podřadnější roli. V období let 1961–1990 spadlo nejméně srážek v Severočeské pánvi, pouhých cca 400 mm (například Tušimice u Kadaně), zatímco části Krkonoš vykazovaly místy úhrny srážek nad 1 500 mm.

Hodnoty pro Drážďany a Fichtelberg, uvedené v krabicovém grafu 3.2.2-6, zobrazují na příkladech stanice v nížině a horské stanice rozsah odchylek ročních úhrnů srážek od průměrných hodnot let 1961–1990 a 1991–2010. Výkyvy jsou v Drážďanech výrazně vyšší, nežli na stanici Fichtelberg, kde je ale v ročním průměru naměřeno více než dvojnásobné množství srážek. Množství srážek v Drážďanech stoupl v období let 1991–2010 v porovnání s referenčním obdobím 1961–1990 a s ostatními stanicemi zřetelně více, zatímco změny na stanici Fichtelberg vycházejí jako poměrně nízké. V plošném průměru, zpracovaného softwarem IDP, je možno mezi jednotlivými obdobími možno zaznamenat nárůst ročního úhrnu srážek o cca 7%. Regionálně se výše signálu změny v mapách (obr. 3.2.2-1 až obr. 3.2.2-5) jeví jako rozdílná, přičemž nárůst srážek je patrný téměř všude. Tento nárůst se z větší části omezuje na léto a podzim (nárůst plošného průměru > 10%), zatímco zima a jaro téměř nevykazují žádnou změnu.

Při vyhodnocení vegetačního období 1 (duben až červen) a 2 (červenec až září) je v období 1961–2010 patrná zcela protichůdná tendence obou period (obr. 3.2.2-7). To může znamenat velké problémy především pro zemědělství. Během vegetačního období 1 srážky procentuálně zřetelně poklesly, především v saské nížině. V letech 1991–2010 tedy častěji než v letech 1961–1990 chyběl potřebný déšť v období výsevu a růstu rostlin. Obrácený vývoj vykazuje vegetační období 2. Množství srážek zde výrazně roste (posíleno rovněž o některé extrémní srážkové jevy v prvním



— Jahreswerte/Roční hodnoty
 - - - 5 Jahre gleitend/5ti letý klouzavý průměr
 11 Jahre gleitend/11ti letý klouzavý průměr
 — Linearer Trend/lineární trend

Abb. 3.2.2-8: Zeitreihe der Jahresniederschlagssumme

Obr. 3.2.2-8: Časové řady ročního úhrnu srážek

Tab. 3.2.2-1: **Monatliche und jährliche Mittelwerte der Niederschlagshöhe (in mm) ausgewählter Klimastationen im Projektgebiet im Zeitraum 1961–1990**

Tab. 3.2.2-1: **Měsíční a roční průměrné srážkové úhrny (v mm) vybraných stanic v zájmovém území v období let 1961–1990**

	Jan Leden	Feb Únor	Mär Březen	Apr Duben	Mai Květen	Jun Červen	Jul Červenec	Aug Srpen	Sep Září	Okt Říjen	Nov Listopad	Dez Prosinec	Jahr Rok
Chemnitz Saská Kamenice	43	37	43	55	67	90	76	78	60	47	48	55	700
Dresden Drážďany	35	30	36	52	56	63	53	60	43	45	42	45	561
Görlitz Zhořelec	47	37	38	49	66	70	70	74	52	45	51	57	656
Karlovy Vary	38	33	37	41	65	71	68	68	55	39	41	44	600
Ústí nad Labem	40	36	32	42	61	63	64	75	43	37	46	50	588
Liberec	53	45	49	58	82	84	87	87	65	60	63	67	801
Fichtelberg	95	89	103	93	98	104	112	113	105	86	104	106	1207
Zinnwald Cínovec	77	63	67	69	85	88	91	97	73	64	83	92	950
Desná	125	91	98	84	99	121	128	117	96	99	118	157	1332

Tab. 3.2.2-2: **Änderungssignal (in %) der monatlichen und jährlichen Mittelwerte der Niederschlagshöhe ausgewählter Klimastationen im Projektgebiet im Zeitraum 1991–2010 verglichen mit 1961–1990**

Tab. 3.2.2-2: **Signál změny (v %) měsíčních a ročních průměrných hodnot úhrnu srážek na stanicích v zájmovém území v období let 1991–2010 v porovnání s klimatickým normálem 1961–1990**

	Jan Leden	Feb Únor	Mär Březen	Apr Duben	Mai Květen	Jun Červen	Jul Červenec	Aug Srpen	Sep Září	Okt Říjen	Nov Listopad	Dez Prosinec	Jahr Rok
Chemnitz Saská Kamenice	-2	9	30	-22	1	-22	35	26	8	12	28	-7	7
Dresden Drážďany	12	9	29	-28	20	-5	65	41	25	1	30	-1	17
Görlitz Zhořelec	-14	-3	37	-28	-9	-6	28	10	12	-5	-5	-22	-0
Karlovy Vary	-13	-9	6	-22	-10	-5	10	1	-1	9	5	-6	-2
Ústí nad Labem	-13	-15	22	-23	0	12	38	10	23	19	-5	-9	6
Liberec	14	25	37	-25	-7	1	19	27	11	-5	2	3	8
Fichtelberg	-4	5	11	-21	-7	-3	17	8	4	7	12	3	3
Zinnwald Cínovec	-4	2	28	-22	2	5	22	35	15	13	5	-15	8
Desná	7	30	30	-19	-7	-20	9	19	11	0	4	-13	4

Zeitliche Variabilität

In Abb. 3.2.2-8 ist die zeitliche Entwicklung der jährlichen Niederschlagsmenge der Wetterstationen der drei deutschen und tschechischen Zentren der Teilregionen sowie dreier Mittelgebirgsstationen detailliert dargestellt. Von Nordsachsen bis nach Mittel- und Ostböhmen war das Jahr 2010 zumeist das nasseste Jahr des Untersuchungszeitraumes – in einigen Gegenden (z. B. Ústí nad Labem 1.006 mm – zuvor 871 mm, Liberec 1.355 mm – zuvor 1.110 mm) wurden vorherige Rekorde der Jahresniederschlagsmenge um mehr als 10 % überschritten (Kap. 3.2.4). Sehr trocken waren dagegen die Jahre 1962, 1972, 1976, 1982 und insbesondere 2003 (im Böhmischem Becken Jahresniederschlagsmengen z.T. unter 300 mm, z. B. in Tušimice 250 mm, in Doksanen 274 mm). Die Niederschlagsmenge ist naturgemäß durch eine hohe jährliche Variabilität gekennzeichnet, weshalb der im Untersuchungszeitraum 1961–2010 an vielen Stationen sichtbare und z.T. deutliche Anstiegstrend nicht überinterpretiert werden sollte – zumal eine Verschiebung des Untersuchungszeitraums um wenige Jahre bereits zu deutlichen Veränderungen der Trendwerte führen kann. Eine Verschiebung des Zeitraumes um eine Dekade auf 1951–2000 würde beispielsweise aufgrund der feuchten 1950er Jahre zu überwiegend negativen Niederschlagstrends führen.

In Tab. 3.2.2-1 sind die mittleren Monatsniederschläge der Klimanormalperiode 1961–1990 des homogenisierten INTERKLIM-Datensatzes (Kap. 3.1.2) aufgeführt. Die höchsten Niederschlagsmengen im Tief- und mittleren Bergland fallen mit dem Maximum konvektiver Aktivität (Schauer, Gewitter) im Juli und August zusammen, während die niedrigsten zumeist zum Ende des Winters verzeichnet werden. In höheren Gebirgslagen ist der Jahresgang aufgrund von Stauwirkungen hingegen geringer ausgeprägt. Hier

deserteteiljahr 2000 (není však omezeno pouze na tyto přívalevo srážky); srn. kap. 3.2.4), především v západním Sasku.

Časová variabilita

Na obr. 3.2.2-8 je zachycen časový vývoj ročního množství srážek na meteorologických stanicích tří českých a tří německých meteorologických stanic umístěných v centrech dílčích území projektu a ze tří stanic lokalizovaných ve středních horských polohách. Od severního Saska až po střední a jižní Čechy byl nejvlhčím rokem sledovaného období většinou rok 2010 – v některých oblastech (například v Ústí nad Labem bylo zaznamenáno 1 006 mm – předchozí maximum ročního úhrnu srážek činilo 871 mm, v Liberci byl v roce 2010 roční úhrn srážek 1 355 mm – předchozí maximum ročního úhrnu srážek činilo 1 110 mm) byly o více než 10 % překročeny dosavadní rekordy ročního úhrnu srážek (kap. 3.2.4). Oproti tomu velmi suché byly roky 1962, 1972, 1976, 1982 a především rok 2003 (v České pánvi byly roční úhrny srážek místy do 300 mm, například v Tušimicích 250 mm, v Doksanen 274 mm). Množství srážek se přirozeně vyznačuje vysokou roční variabilitou. Z tohoto důvodu by místy výrazný trend nárůstu, patrný na řadě stanic, neměl být nadměrně interpretován. Navíc může posun sledovaného období o několik málo let vést k výrazným změnám trendu. Tak například posun časového období o jednu dekadu na roky 1951–2000 by z důvodů vlhkých padesátých let vedl k převážně negativnímu trendu srážek.

V tab. 3.2.2-1 jsou uvedeny průměrné měsíční úhrny srážek za období let 1961–1990 vycházející z homogenizované datové sady projektu INTERKLIM (kap. 3.1.2). Nejvyšší množství srážek v nížinách a ve středních horských polohách se shoduje s maximum konvektivní aktivity (přeháňky, bouřky) v červenci a srpnu, zatím-

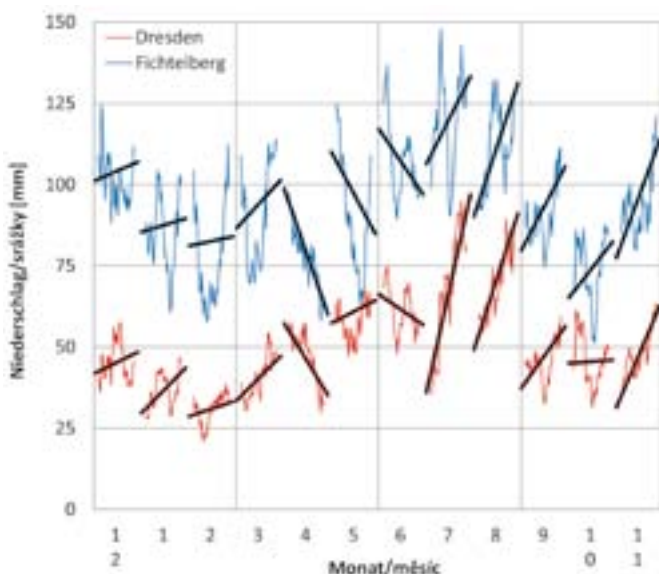


Abb. 3.2.2-9: Veränderung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhe (11-jährig gleitendes Mittel) und lineare Trends in Dresden (rot) und auf dem Fichtelberg (blau) im Zeitraum 1961–2010, gruppiert nach Jahreszeiten
Obr. 3.2.2-9: Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek (11ti letý klouzavý průměr) a lineární trendy v Drážďanech (červeně) a na stanici Fichtelberg (modře) v letech 1961–2010, seříděno podle ročních období

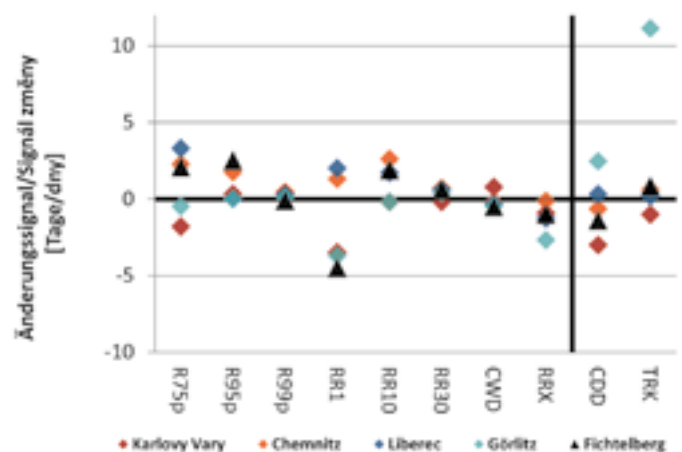


Abb. 3.2.2-10: Darstellung des Änderungssignals (1991–2010 vgl. mit 1961–1990) verschiedener feuchter (links) und trockener (rechts) Temperaturindizes für fünf ausgewählte Klimastationen – vier Stationen gelegen im Tief- und mittleren Bergland im Südwesten, Nordwesten, Südosten und Nordosten des INTERKLIM-Projektgebietes sowie die Bergstation Fichtelberg
Obr. 3.2.2-10: Signál změny (1991–2010 v porovnání s 1961–1990) různých vlhkých (vlevo) a suchých (vpravo) »teplotních indexů« pro pět vybraných stanic – čtyři stanice se nacházejí v nížině a ve středních polohách na jihozápadně, severozápadě, jihovýchodě a severovýchodě území, řešeného v rámci projektu INTERKLIM a horská stanice Fichtelberg

Tab. 3.2.2-3: Beschreibung der verwendeten Niederschlagsindizes

Tab. 3.2.2-3: Popis použitých srážkových indexů

Abkürzung Zkratka	Bezeichnung Označení	Beschreibung Popis
R75p	Moderat nasse Tage Mírně »mokrě« dny	Anzahl der Tage oberhalb des 75. Perzentils aller Tage mit Niederschlag ≥ 1 mm der Klimanormalperiode 1961–1990 Počet dní nad 75. percentilem všech dnů s výskytem srážek ≥ 1 mm referenčního období 1961–1990
R95p	Sehr nasse Tage Velmi »mokrě« dny	Analog R75p, aber für das 95. Perzentil Analogicky s R75p, ale pro 95. percentil
R99p	Extrem nasse Tage Extrémně »mokrě« dny	Analog R75p, aber für das 99. Perzentil Analogicky s R75p, ale pro 99. percentil
RR1	Niederschlagstage Dny s výskytem srážek	Anzahl der Tage mit Niederschlag ≥ 1 mm Počet dní se srážkami ≥ 1 mm
RR10	Starkniederschlagstage Dny s výskytem silných srážek	Anzahl der Tage mit Niederschlag ≥ 10 mm Počet dní se srážkami ≥ 10 mm
RR30	Extremniederschlagstage Dny s výskytem extrémních srážek	Anzahl der Tage mit Niederschlag ≥ 30 mm Počet dní se srážkami ≥ 30 mm
CWD	Feuchteperioden Období »vlhka«	Maximale jährliche Anzahl aufeinanderfolgender Tage mit täglicher Niederschlagssumme ≥ 1 mm Maximální roční počet po sobě následujících dní s denním úhrnem srážek ≥ 1 mm
RRX	Nassperioden Období »mokra«	Anzahl der Tage pro Jahr mit Niederschlagssumme ≥ 5 mm an ≥ 3 Tagen Počet dnů v roce s úhrnem srážek ≥ 5 mm během ≥ 3 dní
CDD	Trockenperioden Období sucha	Analog CWD, aber für Niederschlagssumme < 1 mm Analogicky jako CWD, ale pro úhrn srážek < 1 mm
TRK	Dürreperioden Dlouhé období sucha	Analog RRX, aber für Niederschlagssumme $< 0,5$ mm an ≥ 10 Tagen Analogicky jako RRX, ale pro úhrn srážek $< 0,5$ mm během ≥ 10 dní

gesellt sich ein durch den häufigen Durchzug von Frontensystemen geprägtes zweites Maximum im Dezember dazu, während das Jahresminimum im Bergland oft erst im Oktober auftritt, verbunden mit oftmals beständigen Hochdruckwetterlagen.

Tab. 3.2.2-2 zeigt die monatlichen Änderungssignale der neun Stationen für den Zeitraum 1991–2010 verglichen mit 1961–1990. Die deutlichsten und räumlich weitgehend konsistenten Zunahmen traten in den Monaten Juli bis September (Vegetationsperiode 2) – am stärksten in Sachsen – sowie im März auf. Im Oktober und November beschränkten sich die Niederschlagszunahmen auf den Westen und die Mitte des Projektgebietes. Dezember sowie April bis Juni (Vegetationsperiode 1) waren überwiegend durch eine Abnahme der Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Besonders sichtbar wird dies am Beispiel April – an allen Stationen sank die durchschnittliche Niederschlagshöhe um 19 bis 28 % und in vielen Gebieten löste er den Februar als trockensten Monat des Jahres ab.

In Abb. 3.2.2-9 werden die tiefpassgefilterten Zeitreihen der monatlichen Niederschlagshöhe sowie lineare Trends der Einzelmomente jahreszeitlich gruppiert im Vergleich einer Flachlandstation (Dresden-Klotzsche) und einer Bergstation (Fichtelberg) präsentiert. Mittel- und langfristige Veränderungen der Monatsmittelwerte werden dabei sichtbar. Zusätzlich zu der in Abb. 3.2.2-8 erkennbaren hohen jährlichen Variabilität wird selbst bei 11jähriger Glättung eine starke dekadische Differenziertheit deutlich. Diese

co nejvyšší úhrny srážek byly většinou zaznamenány ke konci zimy. Ve vyšších horských polohách je roční chod méně výrazný. Zde se přidružuje druhé maximum v prosinci, charakterizované častým výskytem frontálních systémů, zatímco minimum se nejčastěji vyskytuje v říjnu ve spojení s častým výskytem stacionárních tlakových výší.

V tab. 3.2.2-2 jsou zobrazeny měsíční signály změny na devíti stanicích pro období let 1991–2010 v porovnání s lety 1961–1990. Nejvýraznější a prostorově nejrozsáhlejší nárůst se vyskytoval v měsících červenec až září (vegetační perioda 2) a v březnu – nejsilněji v Sasku. V říjnu a listopadu se nárůst srážek omezuje na západní a střední část řešeného území. Prosinec, stejně jako duben až červen (vegetační perioda 1), se vyznačují převážně poklesem množství srážek. Dobře patrná je tato změna v měsíci duben na všech stanicích kleslo průměrné množství srážek o 19 až 28 %. Únor se na mnoha stanicích jeví jako nejsušší měsíc roku. Na obr. 3.2.2-9 jsou seříděny časové řady měsíčních úhrnů srážek (shlazeno filtrem) a lineární trendy jednotlivých měsíců podle ročních období – v porovnání stanice v nížině (Drážďany) a na horách (Fichtelberg). Zde jsou patrné průměrné a dlouhodobé změny průměrných měsíčních hodnot. Kromě vysoké roční variability, jak je patrná na obr. 3.2.2-8, je navíc zřetelná i výrazná diferencovanost v jednotlivých dekadách, a to i při shlazení jednáctiletým klouzavým průměrem. Tato diferencovanost je na stanici Fichtelberg, z důvodů obecně většího množství srážek,

ist auf dem Fichtelberg aufgrund der generell höheren Niederschlagsmengen erkennbarer als für die Station Dresden. Die vorhandene Informationsfülle soll an dieser Stelle nur punktuell aufgegriffen werden, sie unterstreicht jedoch die (im Gegensatz zur Temperatur) auch langfristig große Schwankungsbreite des Parameters Niederschlag.

Auch die gegenläufige Entwicklung des Niederschlages während der beiden Vegetationsperioden, findet sich in dieser Abbildung wieder. Bei genauer Betrachtung ergeben sich interessante Details aus den Zeitreihen. So klärt sich die enorme Zunahme der Juli-Niederschlagsmenge in Dresden (Tab. 3.2.2-2) – eine Serie sehr trockener Julimonate steht am Anfang, eine Periode sehr feuchter Julimonate am Ende der Zeitreihe. Der auf dem Fichtelberg ausgeprägte Einschnitt in den 1980er Jahren war in Dresden kaum ersichtlich. Generell ist die Trendrichtung an beiden Stationen bis auf den Mai ähnlich ausgeprägt, größere Unterschiede der Trendstärke finden sich in Februar, Juli und November.

Zusammenfassend ist in den vergangenen zwei Jahrzehnten (1991–2010), verglichen mit der Klimanormalperiode 1961–1990, ein deutlicher Anstieg der Niederschlagshöhe im Projektgebiet zu verzeichnen. Diese Zunahme war im März und von Juli bis September flächendeckend und deutlich ausgeprägt. Einen weitgehend homogenen Niederschlagsrückgang verzeichneten Dezember und, sehr deutlich, April. Die gegensätzliche Entwicklung der Niederschlagsmengen der zwei Vegetationsperioden kann insbesondere für die Landwirtschaft mit Schwierigkeiten verbunden sein. Ursachen dieser Entwicklung werden in Kap. 3.2.5 anhand von Veränderungen der Wetterlagenhäufigkeit diskutiert.

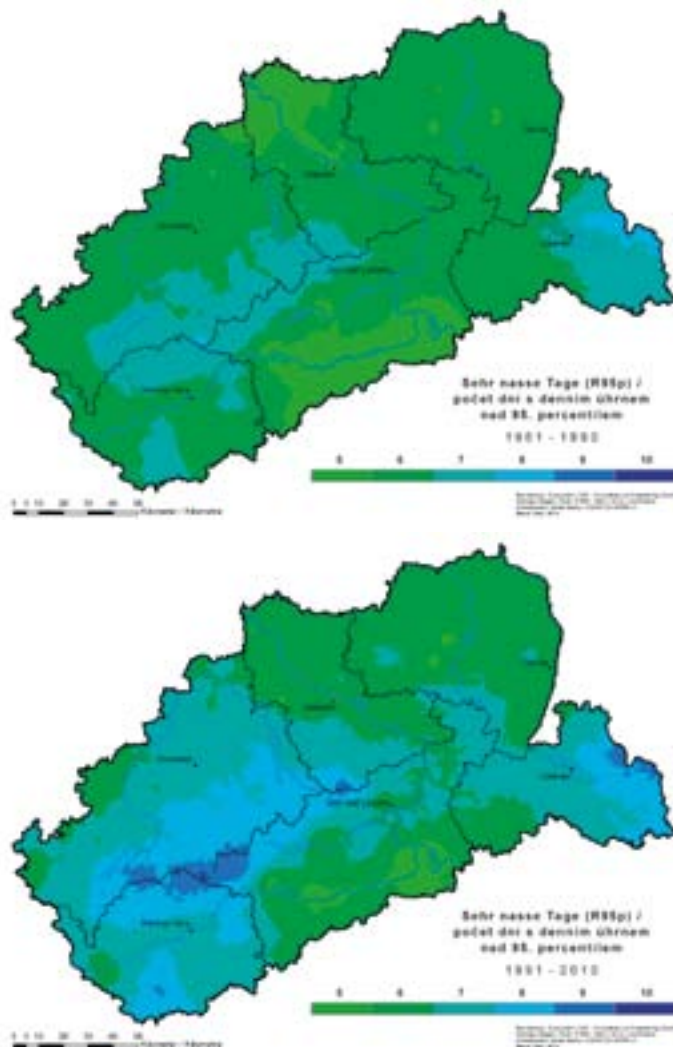


Abb. 3.2.2-11: Mittlere jährliche Anzahl der »sehr nassen Tage« (R95p), 1961–1990 (oben), 1991–2010 (unten)

Obr. 3.2.2-11: Průměrný roční počet velmi »mokrých« dní (R95p), 1961–1990 (nahore), 1991–2010 (dole)

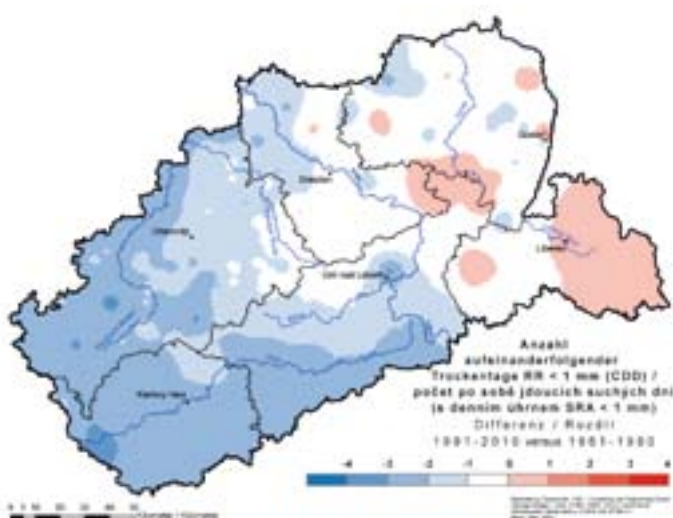


Abb. 3.2.2-12: Änderungssignal der mittleren jährlichen Anzahl aufeinanderfolgender Trockentage (CDD)

Obr. 3.2.2-12: Signál změny průměrného ročního počtu po sobě následujících suchých dní (CDD)

zřetelnější nežli na stanici Drážďany. Stávající množství informací je na tomto místě zmíněno pouze bodově, podtrhuje však na rozdíl od teploty vzduchu i dlouhodobě velké výkyvy atmosférických srážek.

Na následujícím obrázku je patrný protichůdný vývoj srážek během obou vegetačních period – z časových řad vyplývají zajímavé detaily. Enormní nárůst červencového množství srážek v Drážďanech (tab. 3.2.2-2) – na začátku časové řady se nachází série velmi suchých červenců, na konci časové řady pak perioda velmi vlhkých červenců. Zlom, vyskytující se na stanici Fichtelberg v osmdesátých letech 20. století není v Drážďanech téměř patrný. Směr trendu na obou stanicích je, s výjimkou května, podobný. Větší rozdíly v síle trendu jsou patrné v únoru, červenci a listopadu.

Souhrnně lze v uplynulých dvou desetiletích (1991–2010) v porovnání se standardním klimatickým normálem 1961–1990 zaznamenat v zájmovém území řešeného projektu výrazný nárůst množství srážek. Tento nárůst byl v březnu a od července do září plošný a výrazný. Výrazně homogenní pokles srážek byl zaznamenán v prosinci a velmi výrazný byl v dubnu. Protichůdný vývoj

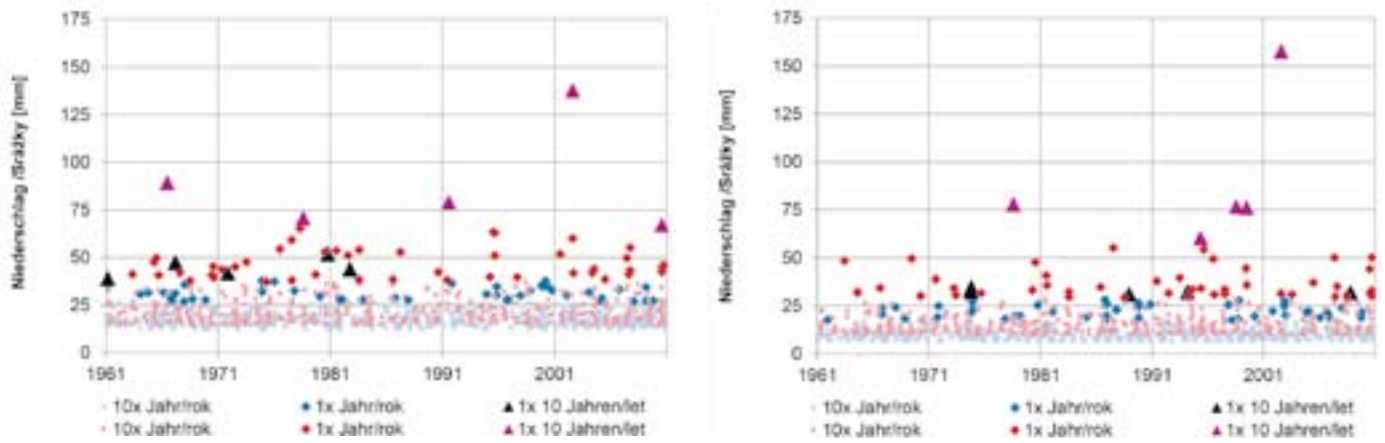


Abb. 3.2.2-13: Häufigkeit des Auftretens von Niederschlags extremen im Zeitraum 1961–2010 an den Stationen Fichtelberg (links) und Dresden (rechts); dargestellt sind Zeitreihen sehr hoher täglicher Niederschlagsmengen; Nutzung von quantilbasierten Schwellenwerten, festgelegt auf einer dreistufigen Skala der Wiederkehrzeit; farbliche Differenzierung in Winterhalbjahr (blaue Farbtöne) und Sommerhalbjahr (rote Farbtöne)

Obr. 3.2.2-13: Četnost výskytu srážkových extrémů v období 1961–2010 na stanici Fichtelberg (vlevo) a Drážďany (vpravo); zobrazeny jsou časové řady velmi vysokého denního množství srážek; využití prahových hodnot na bázi kvantilů, stanoveny na třístupňové škále intervalu opakování; barevné rozlišení podle zimního půlroku (modré odstíny) a letního půlroku (červené odstíny)

Extremwertbetrachtung

Sehr hohe oder niedrige Niederschlagsmengen stellen vielfältige gesellschaftliche Herausforderungen dar. Starkniederschlagsereignisse können wenige Minuten bis zu mehreren Tagen andauern, während Niederschlagsdefizite sich über längere Zeiträume akkumulieren. Um Änderungssignale extremer Niederschlagsereignisse zu bewerten wurden verschiedene Niederschlagsindizes im Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2010 ausgewertet (Tab. 3.2.2-3; Abb. 3.2.2-10).

Im Gegensatz zur Temperatur sind die Änderungssignale beim Niederschlag vergleichsweise gering und ungleichmäßig über das Projektgebiet verteilt, womit räumlich konsistente Aussagen nur schwer möglich sind. Stark- und Extremniederschläge nahmen an den meisten Stationen zu (R95p, R99p, R10, R30). Diese Entwicklung ist räumlich weitgehend konsistent, wie am Beispiel der sehr nassen Tage (R95p; Abb. 3.2.2-11) deutlich wird. Hier ist ebenfalls eine generelle Zunahme von Starkniederschlagsereignissen mit der Höhe erkennbar. Feuchte- und Nassperioden (CWD, RRX) zeigen jedoch eine unterschiedliche Entwicklung – insbesondere die flächendeckend hochwasserauslösenden Nassperioden gingen in ihrer Häufigkeit an allen Stationen zurück. Die extremen Hochwasserereignisse von August 2002 im mittleren sowie August 2010 im östlichen Projektgebiet waren dagegen auf 24–48-stündige Starkniederschläge zurückzuführen. Diese überschritten die Kriterien für R99p an vielen Stationen und waren in insgesamt sehr niederschlagsreiche Perioden eingebettet, ohne jedoch an vielen Stationen die Kriterien der Indizes für Feuchte- und Nassperioden (CWD bzw. RRX) zu erfüllen.

Das Änderungssignal für Perioden mit deutlichem Niederschlagsdefizit zeigt ein deutliches West-Ost-Gefälle. Während lange Trockenperioden (CDD) im Westen und der Mitte des Projektgebietes konform mit der Zunahme der Niederschlagshöhe seltener auftreten, nahmen sie im Osten des Projektgebietes trotz auch hier ten-

množství srážek ve dvou vegetačních obdobích může působit problémy především v zemědělství. Příčiny tohoto vývoje jsou diskutovány v kap. 3.2.5 na základě změn četnosti cirkulačních typů.

Extrémy

Velmi vysoké nebo nízké množství srážek představuje pro společnost řadu problémů. Přivalové srážky mohou trvat několik minut až několik dní, zatímco deficity srážek se kumulují během dlouhých časových období.

Aby bylo možno vyhodnotit signály změn extrémních srážek, byly vyhodnoceny různé charakteristiky s výskytem nebo bez výskytu srážek v porovnání let 1961–1990 a 1991–2010 (tab. 3.2.2-3; obr. 3.2.2-10).

Oproti teplotě vzduchu jsou signály změn v případě srážek poměrně nízké a v zájmovém území nerovnoměrně rozdělené. V důsledku toho je velmi obtížné formulovat konzistentní závěry pro jednotlivá území. Na většině lokalit došlo k nárůstu silných a extrémních srážek ((R95p, R99p, R10, R30). Tento vývoj je územně z velké části konzistentní, jak se ukazuje na příkladu velmi »mokrých dní« (R95p; obr. 3.2.2-11). I zde je obecně patrný nárůst přivalových srážek s nadmořskou výškou. Vlhká a mokrá období (CWD, RRX) však vykazují odlišný vývoj – především došlo na všech stanicích k poklesu tzv. »mokrých« období, plošně vyvolávajících povodně. Příčinou extrémních povodní byly v srpnu 2002 ve střední části a v srpnu 2010 ve východní části řešeného území 24–48 hodinové přivalové srážky. Tyto srážky překročily na řadě stanic kritéria pro R99p a byly celkově součástí období, která byla velmi bohatá na srážky, aniž by však na řadě stanic splňovala kritéria srážkových indexů pro období »vlhka či mokra« (CWD, příp. RRX).

Signál změny s výrazným srážkovým deficitem vykazuje výrazný spád ve směru západ-východ. Zatímco dlouhá období sucha (CDD) se konformně s nárůstem množství srážek na západě a ve středních oblastech řešeného území vyskytovala méně, ve

denziell ansteigenden Niederschlägen eher zu (Abb. 3.2.2-12). Besonders deutlich ist die Zunahme der Dürreperioden (TRK) in Görlitz mit einem Anstieg von 11 Tagen im Jahresmittel. Dieser Anstieg fand weitgehend in den Vegetationsperioden 1 und 2 statt mit größtem Anstieg im April (Anstieg von 4 auf 8 Tage) sowie in August und September. Während der Anstieg der Dürrebedingungen im April konsistent mit zurückgehenden Niederschlagsmengen ist und in ähnlicher Form auch im restlichen Projektgebiet beobachtet wird, erfolgt der Anstieg in August und September vor dem Hintergrund einer Niederschlagszunahme, die wiederum aus einer Zunahme von Starkniederschlägen resultiert.

Auf Grundlage der Zeitreihen täglicher Niederschlagsereignisse sind in Abb. 3.2.2-13 seltene Niederschlagsereignisse nach der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens geordnet (Jährlichkeit) dargestellt. Selektiert wurden Jährlichkeiten von 10 Tagen / Jahr, einem Jahr und einmal in 10 Jahren, differenziert nach Winterhalbjahr (Oktober bis März) und Sommerhalbjahr (April bis September). Durch Nutzung von stationsgebundenen (quantilbasierten) Schwellenwerten lassen sich die unterschiedlichen Niederschlagsregime in Winter- und Sommerhalbjahr sowie die unterschiedliche Höhe der Grenzwerte zwischen Dresden und Fichtelberg gut erkennen. Auf dem Fichtelberg traten die extremsten Winterniederschläge in der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraums 1961–2010 auf, während sich für die Sommerniederschläge keine bedeutsamen Änderungen ergaben. In Dresden wiederum zeigten die stärksten Winterniederschläge keine große Veränderung, während die extremsten Sommerniederschläge in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums auftraten. Die höchste Niederschlagsmenge wurde an beiden Stationen am 12. August 2002 gemessen.

3.2.3 Sonnenscheindauer

Die mittlere jährliche Sonnenscheindauer im Projektgebiet betrug in der Klimanormalperiode 1961–1990 ca. 1500 h – im Vergleichszeitraum 1991–2010 stieg dieser Wert um etwa 100 h auf ca. 1600 h an (interpoliert mit IDP). Karten der räumlichen Verteilung der Sonnenscheindauer werden an dieser Stelle nicht gezeigt, da sie z. T. unplausible Muster beinhalten. Diese sind auf Inhomogenitäten in den Zeitreihen vieler Stationen zurückzuführen, welche auch durch Interpolationen mit benachbarten Stationen (mit ggf. ebenfalls problematischer Datenqualität) nicht behoben werden können. Auf tiefer greifende klimatische Analysen wie in den vorherigen Kapiteln soll daher an dieser Stelle verzichtet werden.

Die (nicht gezeigten) Karten erlauben dennoch die Schlussfolgerung, dass die höchsten jährlichen Werte der Sonnenscheindauer im nordsächsischen Tiefland sowie im Teilgebiet Karlovy Vary auftreten. Die Gebiete Ústí nad Labem und Liberec (mit Ausnahme von Iser- und Riesengebirge) weisen demgegenüber die niedrigste Anzahl an Sonnenstunden auf – weitgehend bedingt durch die hohe Anzahl herbst- und winterlicher Inversionslagen, die zu häufigem Auftreten von Nebel und Hochnebel führen. Abb. 3.2.3-1 präsentiert die zeitliche Entwicklung der jährlichen Sonnenscheindauer der Wetterstationen analog Kap. 3.2.1 / 3.2.2 (mit Ausnahme von Liberec, siehe Abbildungsbeschreibung) im Untersu-

východní části řešeného území měla tato období sucha spíše stoupající tendenci (obr. 3.2.2-12). Výrazný je především nárůst dlouhých období sucha (TRK) ve Zhořelci s nárůstem ve výši 11 dní v ročním průměru. K tomuto nárůstu došlo z velké části během vegetačních period 1 a 2 s nejvyšším nárůstem v dubnu (zdvojnásobení z průměru 4 na 8 dní) a v srpnu a září. Zatímco je nárůst podmínek dlouhého období sucha v dubnu v souladu s poklesem množství srážek a je v podobné formě pozorován i v ostatních částech řešeného území, probíhá nárůst v srpnu a září na pozadí nárůstu množství srážek, vyplývající z nárůstu přívalových srážek.

Na základě časových řad denních srážkových úhrnů jsou na obr. 3.2.2-13 zobrazeny ojedinělé srážkové úhrny podle pravděpodobnosti jejich výskytu (anuita). Selektovány byly anuity 10 dní / rok, jednoho roku a jednou za 10 let, diferencováno podle zimního (říjen až březen) a letního půlroku (duben až září). Díky využití prahových hodnot (na bázi kvantilů), vázaných na konkrétní stanici, lze dobře rozeznat rozdílné srážkové režimy v zimním a letním půlroce a rozdílnou výši mezních hodnot mezi Drážďanami a Fichtelbergem. Na stanici Fichtelberg se nejextrémnější zimní srážky vyskytovaly v první polovině sledovaného období 1961–2010, zatímco letní srážky nevykázaly žádné významnější změny. Naproti tomu v Drážďanech nevykazovaly nejvyšší úhrny srážek v zimních měsících žádné větší změny, avšak extrémní letní srážky se vyskytovaly ve druhé polovině sledovaného období. Nejvyšší úhrn srážek byl na obou stanicích naměřen 12. srpna 2002.

3.2.3 Sluneční svit

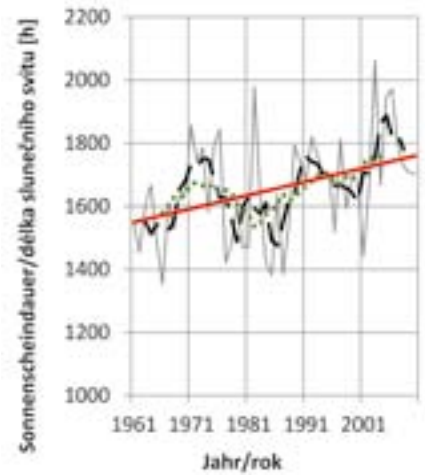
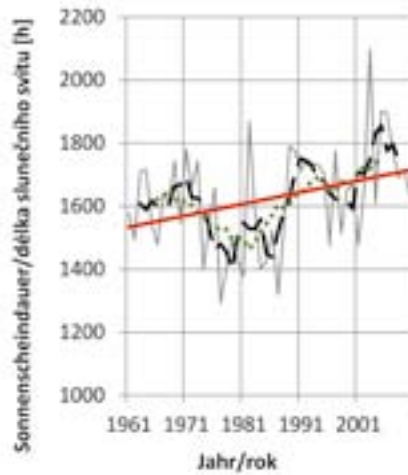
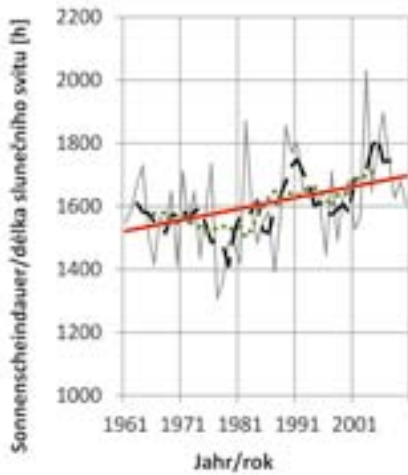
Průměrná roční doba trvání slunečního svitu v zájmovém území činila během klimatického období 1961–1990 cca 1 500 h – v období let 1991–2010 tato hodnota narostla na cca 1 600 h (interpolováno pomocí softwaru IDP). Mapy územní distribuce doby trvání slunečního svitu nejsou na tomto místě prezentovány, protože obsahují zčásti nevěrohodné hodnoty. Příčinou je nehomogenita časových řad meteorologických měření na řadě stanic, které nelze odstranit ani pomocí interpolace se sousedními stanicemi (v daném případě způsobeno problematickou kvalitou dat). Z tohoto důvodu je na tomto místě upuštěno od detailnějších analýz, na rozdíl od předchozích kapitol.

Nejvyšší roční hodnoty doby trvání slunečního svitu se vyskytují v Severosaské nížině a na Karlovarsku. Ústecko a Liberecko (s výjimkou Jizerských hor a Krkonoš) oproti tomu vykazují nejnižší počet hodin slunečního svitu. To je z velké části podmíněno vysokým počtem podzimních a zimních inverzí, jejichž důsledkem je častý výskyt mlh. Na obr. 3.2.3-1 je zobrazen časový vývoj roční doby trvání slunečního svitu na jednotlivých stanicích analogicky s kap. 3.2.1 / 3.2.2 s výjimkou Liberce v období 1961–2010. Nejvíce slunečným rokem v celém zájmovém území byl rok 2003. Všechny stanice v nížině a pahorkatině, s výjimkou Karlových Varů, vykazují velmi výrazný a ve vztahu k roční variabilitě podobný stoupající trend doby trvání slunečního svitu, přičemž se nejvíce slunečních hodin vyskytovalo v dekadě 2001–2010. Oproti tomu vykazují horské stanice lehce klesající trend roční doby trvání slunečního svitu.

Chemnitz | Saská Kamenice

Dresden | Drážďany

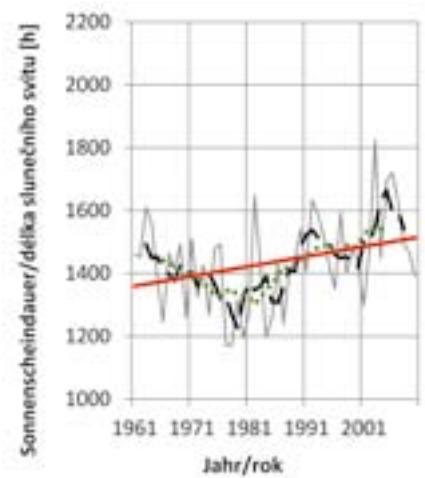
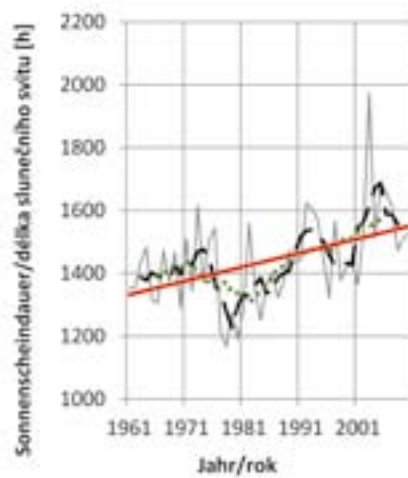
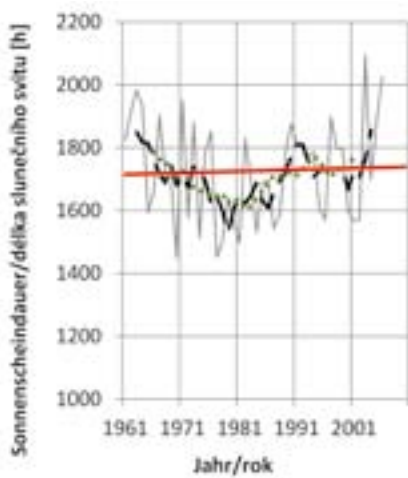
Görlitz | Zhořelec



Karlovy Vary

Ústí nad Labem

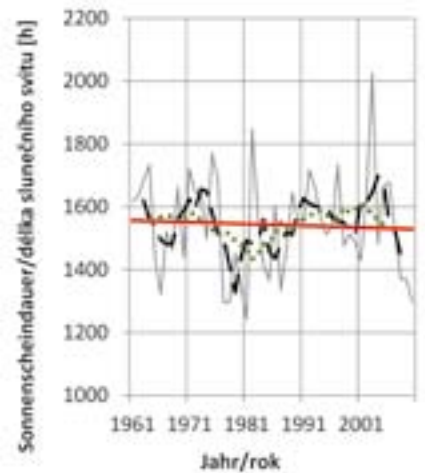
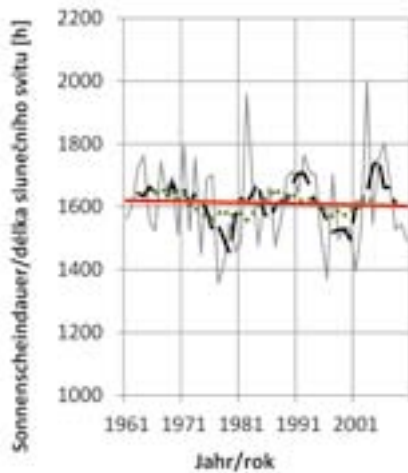
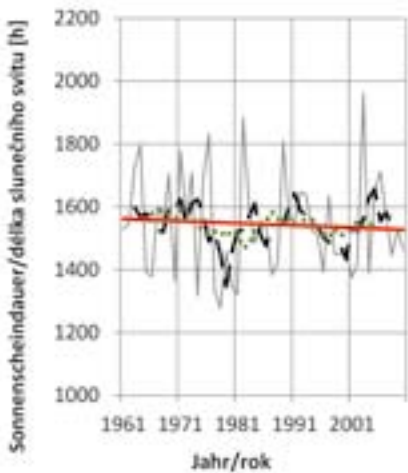
Jablonné v Podještědí



Fichtelberg

Zinnwald | Cínovec

Desná



— Jahreswerte/Roční hodnoty
 — 5 Jahre gleitend/5ti letý klouzavý průměr
 11 Jahre gleitend/11ti letý klouzavý průměr
 — Linearer Trend/lineární trend

Abb. 3.2.3-1: Zeitreihen der jährlichen Sonnenscheindauer (aufgrund von Homogenitätsproblemen der Datenreihen wurde Liberec durch die nahe gelegene Station Jablonné v Podještědí ersetzt, in Karlsbad wurden die Werte ab 2007 entfernt)

Obr. 3.2.3-1: Časové řady roční doby trvání slunečního svítu (stanice Liberec byla nahrazena nedalekou stanicí Jablonné v Podještědí, v Karlových Varech byly odstraněny hodnoty od roku 2007)

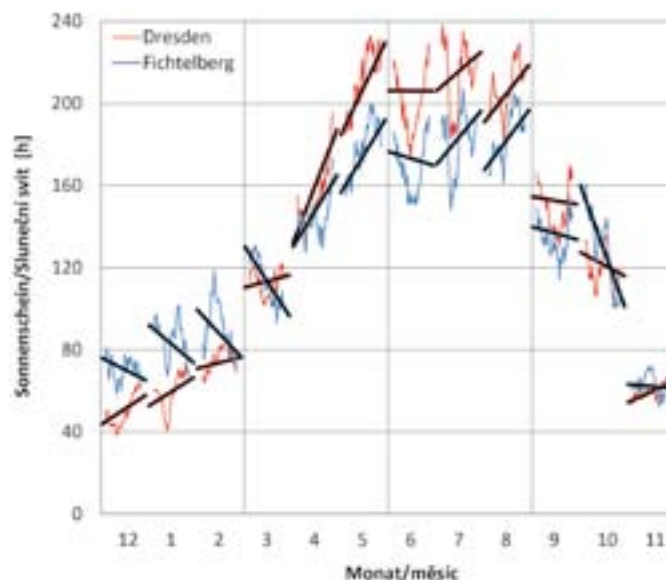


Abb. 3.2.3-2: Veränderung der mittleren monatlichen Sonnenscheindauer (11-jährig gleitendes Mittel) und lineare Trends in Dresden (rot) und auf dem Fichtelberg (blau) im Zeitraum 1961–2010, gruppiert nach Jahreszeiten

Obr. 3.2.3-2: Změna průměrné doby trvání slunečního svitu (11ti letý klouzavý průměr) a lineární trendy v Drážďanech (červeně) a na stanici Fichtelberg (modře) v letech 1961–2010, seřazeno podle ročních období

chungszeitraum 1961–2010. Das Jahr 2003 war im gesamten Projektgebiet am sonnigsten. Alle Flach- und Hügellandstationen mit Ausnahme von Karlovy Vary weisen einen sehr deutlich ausgeprägten und bezogen auf die jährliche Variabilität ähnlichen Anstiegstrend der Sonnenscheindauer auf, wobei die meisten Sonnenstunden in der Dekade 2001–2010 auftraten. Die Bergstationen zeigen hingegen einen leicht rückläufigen Trend der jährlichen Sonnenscheindauer.

In Abb. 3.2.3-2 sind die tiefpassgefilterten Zeitreihen der monatlichen Sonnenscheindauer sowie lineare Trends der Einzelmonate für die Tieflandstation Dresden-Klotzsche und die Bergstation Fichtelberg dargestellt. Zunächst wird eine deutliche Variabilität der Jahregänge beider Stationen sichtbar. Insbesondere im Sommerhalbjahr (April bis September) nimmt mit zunehmender Höhe die Wahrscheinlichkeit von Wolkenbildung zu, weshalb zu dieser Zeit die Sonne im Flachland häufiger als in den Bergen scheint. Im Winterhalbjahr ragen die Bergspitzen bei antizyklonalen Wetterlagen hingegen häufig über die Inversionsschichten der tiefen und mittleren Schichten hinaus, so dass über der Hochnebel- und Nebelschicht der Tallagen sonniges Wetter vorherrscht.

Im Gegensatz zu Temperatur und Niederschlag weichen die Trends der Sonnenscheindauer zwischen den zwei Stationen deutlich voneinander ab. Von November bis März stiegen die sonnigen Abschnitte in Dresden an, während sie auf dem Fichtelberg zurückgingen. In der Dekade 2001–2010 schien die Sonne in Dresden häufiger als auf dem Fichtelberg, während der Fichtelberg im langjährigen Mittel (1961–2010) deutlich sonniger war. Eine Erklärung dieser Entwicklung könnten Häufigkeitsveränderungen bestimmter Wetterlagen liefern – so nahmen die windreichen NW-Lagen – sonniger im Flach- als im Bergland – stark zu, während ruhige, zu Inversionsbedingungen (Temperaturumkehr zwischen Flachland und Bergland) neigende Wetterlagen mit Anströmung aus NO, O, SO und S im Zeitraum 1991–2010 gegenüber der Klimanormalperiode 1961–1990 zurückgingen (Kap. 3.2.5). Von April bis August (mit Ausnahme des Junis) stieg die Sonnenscheindauer an beiden Stationen an – wolkenreiche W- und NW-Lagen nahmen in diesem Zeitraum deutlich ab.

Na obr. 3.2.3-2 jsou zobrazeny časové řady měsíční doby trvání slunečního svitu (shlazeno filtrem) a lineární trendy jednotlivých měsíců pro nížinnou stanici Drážďany a horskou stanici Fichtelberg. Je patrná výrazná variabilita ročních chodů doby trvání slunečního svitu na obou stanicích. Především během letního půlroku (duben až září) stoupá se zvyšující se nadmořskou výškou pravděpodobnost tvorby oblačnosti. Z tohoto důvodu svítí slunce v tuto dobu v nížinných oblastech častěji, nežli na horách. Během zimního půlroku za anticyklonální situace vyčnívají vrcholky hor z inverzní vrstvy. Díky tomu převládá nad touto vrstvou slunečné počasí. Oproti teplotě vzduchu a srážkám se trendy doby trvání slunečního svitu obou stanic od sebe výrazněji liší. Od listopadu do března stoupá počet hodin slunečního svitu v Drážďanech, zatímco na stanici Fichtelberg klesá. Během dekády 2001–2010 svítilo Slunce v Drážďanech častěji, nežli na Fichtelbergu, ačkoliv na Fichtelbergu bylo v dlouhodobém průměru (1961–2010) slunečné počasí výrazně častější. Vysvětlení tohoto vývoje by mohly poskytnout změny četnosti určitých synoptických situací. Počet severozápadních synoptických situací s výraznou cirkulací silně narostl (více slunečného počasí v nížinách nežli na horách), zatímco počet stabilních situací, majících sklon k inverzím (nepravidelná změna teploty vzduchu s nadmořskou výškou), v období let 1991–2010 oproti období let 1961–1990 poklesl (kap. 3.2.5). Dalším pravděpodobným vysvětlením je i výrazné zlepšení čistoty ovzduší. V období od dubna do srpna (s výjimkou června) stoupá doba trvání slunečního svitu na obou stanicích – během tohoto období silně poklesl počet, na oblačnost bohatých, západních a severozápadních synoptických situací.

3.2.4 Extremereignisse und spezielle Wetterlagen

Die in diesem Kapitel angegebenen Einzelwerte und Extrema entsprechen Originalwerten des DWD bzw. ČHMÚ. Die verwendeten Zeitreihen decken zum Teil längere Zeiträume als in den vorherigen Kapiteln (1961–2010) ab.

Hitzeextreme im August 2012

Eine kurze, aber sehr intensive Hitzewelle führte im Spätsommer des Jahres 2012 zu neuen absoluten Rekordhöchstwerten in weiten Teilen des Projektgebietes. Auf der Westflanke eines Hochdruckgebietes über Osteuropa wurde mit südlicher Anströmung sehr heiße Luft direkt aus der Sahara nach Mitteleuropa geführt. Abb. 3.2.4-1 zeigt die Temperatur in ca. 1.500 m Höhe (850 hPa Geopotential). Solch eine Abbildung gibt den Charakter der Luftmassen besser wieder als die bodennahe Lufttemperatur, die stark von regionalen topographischen Gegebenheiten beeinflusst ist. Erkennbar ist die ausgeprägte Wärmezung, die sich von der Westsahara über Spanien und Frankreich bis in den südlichen Ostseeraum erstreckt.

In Deutschland wurden die höchsten Temperaturen im Dresdener Elbtal gemessen – in den Stadtteilen Hosterwitz (39,8 °C) und Strehlen (39,7 °C). Diese Werte liegen nur geringfügig unter den höchsten jemals in Deutschland registrierten Werten von 40,2 °C (gemessen in Süddeutschland in den Jahren 1983 und 2003). In der fast 100-jährigen Messreihe der im Elbhochland gelegenen Station Dresden-Klotzsche (1917–1966: Dresden-Wahnsdorf), wurde mit 37,3 °C der vorherige Rekordwert vom 1. August 1994 (36,9 °C) überschritten. Neue Höchstwerte wurden ebenfalls an den Stationen Chemnitz (37,8 °C) und Lichtenhain-Mittelndorf /Sächsische Schweiz (35,9 °C) erreicht, in Görlitz und Plauen wurden diese nur knapp verfehlt. Auf dem Fichtelberg (Messreihe seit 1916) wurde mit 30,6 °C das zweithöchste Temperaturmaximum nach dem 27. Juli 1983 (30,8 °C) registriert und mit 23,8 °C die zweithöchste Tagesmitteltemperatur nach dem 16. Juli 2007 (23,9 °C). Auf tschechischer Seite des Projektgebietes wurden ebenfalls neue Rekordwerte erreicht, wie z. B. mit 36,5 °C auf dem 837 m hohen Berg Milešovka im Böhmischem Mittelgebirge. Der vorherige Höchstwert seit Beginn der Messungen im Jahre 1906 lag dort mit 35,0 °C am 20. Juli 2006 ganze 1,5 °C niedriger. Die Stadt Prag befindet sich zwar nicht mehr in der Projektregion, soll jedoch aufgrund der langen Datenreihe der in der Innenstadt gelegenen Station »Klementinum« und der unmittelbaren Nähe zum Projektgebiet nicht unerwähnt bleiben. In Prag Klementinum wurde am 20. August 2012 mit 36,1 °C die zweithöchste Augusttemperatur seit Beginn der Messungen 1775 gemessen – noch wärmer war es hier nur am 13. August 2003 (36,8 °C). Ende Juni sowie im Juli traten in der Vergangenheit noch höhere Werte auf, wobei das absolute Maximum der Reihe mit 37,8 °C am 27. Juli 1983 registriert wurde. Am 20. August 2012 wurde jedoch ca. 25 km südwestlich von Prag, in Dobřichovice, mit 40,4 °C ein neuer Allzeitrekord der Lufttemperatur für die Tschechische Republik aufgestellt.

Kälteextreme im März 2013

Zwischen hohem Luftdruck über Skandinavien und dem Nordmeer und einem Tiefdruckgebiet mit Zentrum über der Ukraine

3.2.4 Extrémní jevy a specifické povětrnostní situace

Jednotlivé hodnoty a extrémy, uváděné v této kapitole, odpovídají originálním hodnotám DWD (Deutscher Wetterdienst, Německá meteorologická služba), případně Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Použité časové řady pokrývají zčásti delší období, nežli časové řady v předchozích kapitolách (1961–2010).

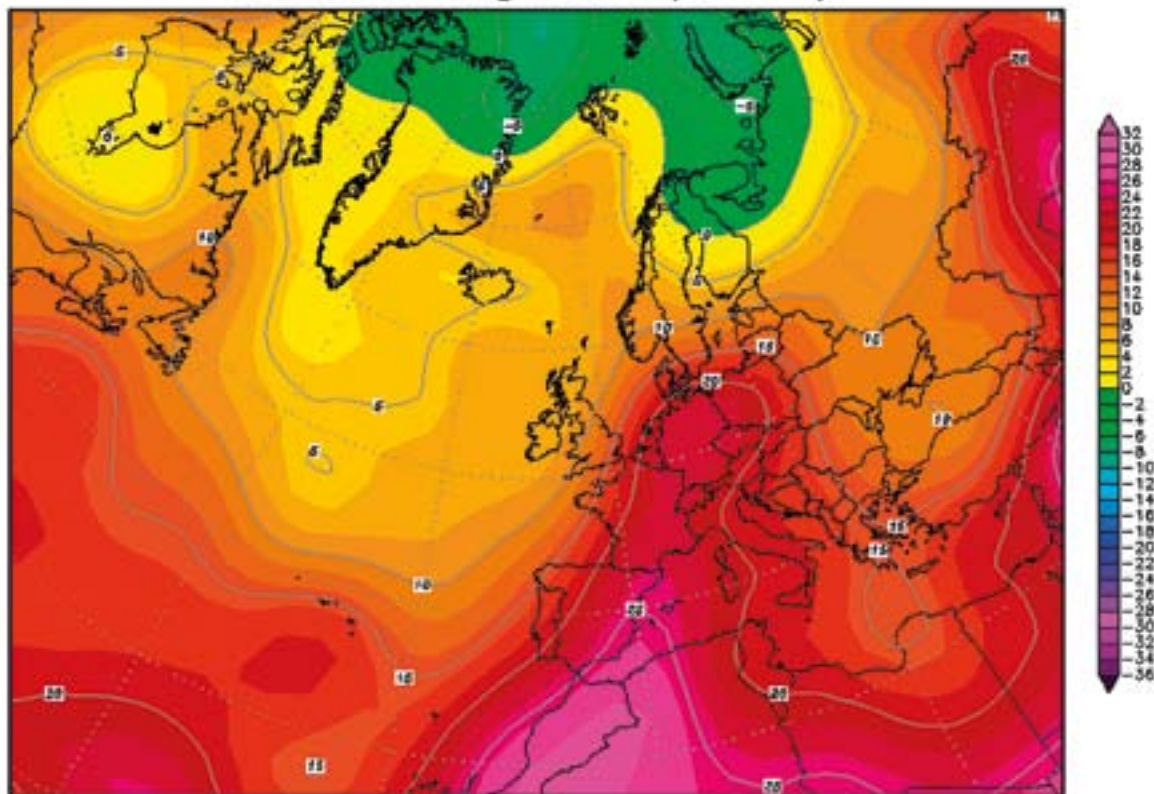
Extrémně vysoké teploty vzduchu v srpnu 2012

Krátká ale velmi intenzivní vlna tropických veder vedla v pozdním létě roku 2012 k novým absolutním rekordním hodnotám v rozsáhlých částech zájmového území. Na západním okraji oblasti vysokého tlaku vzduchu nad východní Evropou proudil z jižního směru do střední Evropy horký vzduch přímo ze Sahary. Na obr. 3.2.4-1 je zobrazena teplota vzduchu ve výšce cca 1 500 m (geopotenciál 850 hPa). Takovéto zobrazení odráží charakter vzdušných hmot lépe, nežli přízemní teplota vzduchu, která je silně ovlivněna regionální topografickou situací. Dobře patrný je výrazný tepelný výběžek, sahající od západní Sahary přes Španělsko a Francii až do oblasti jižního Baltského moře.

V Německu byly nejvyšší teploty vzduchu naměřeny v údolí Labe v Drážďanech – v městských částech Hosterwitz (39,8 °C) a Strehlen (39,7 °C). Tyto hodnoty jsou jen nepatrně nižší než nejvyšší hodnoty, které byly v minulosti v Německu zaznamenány (40,2 °C, naměřeno v jižním Německu v letech 1983 a 2003). V téměř stoleté řadě měření na stanici Dresden – Klotzsche, která se nachází na vysočině v okolí Drážďan (1917–1966: Dresden-Wahnsdorf) překročila hodnota 37,3 °C předchozí rekordní hodnotu z 1. srpna 1991 (36,9 °C). Nové nejvyšší hodnoty byly naměřeny rovněž na stanicích v Saské Kamenici (Chemnitz, 37,8 °C) a Lichtenhain-Mittelndorf v Saském Švýcarsku (35,9 °C), ve Zhořelci (Görlitz) a v Plavně (Plauen) – naměřené hodnoty se pohybovaly těsně pod rekordními hodnotami. Na stanici Fichtelberg (řada meteorologických měření je na této stanici již od roku 1916) byla zaznamenána maximální teplota vzduchu 30,6 °C, jednalo se o druhou nejvyšší hodnotu od 27. července 1983 (30,8 °C) a průměrná denní teplota vzduchu 23,8 °C – druhá nejvyšší průměrná denní teplota vzduchu po 16. červenci 2007 (23,9 °C).

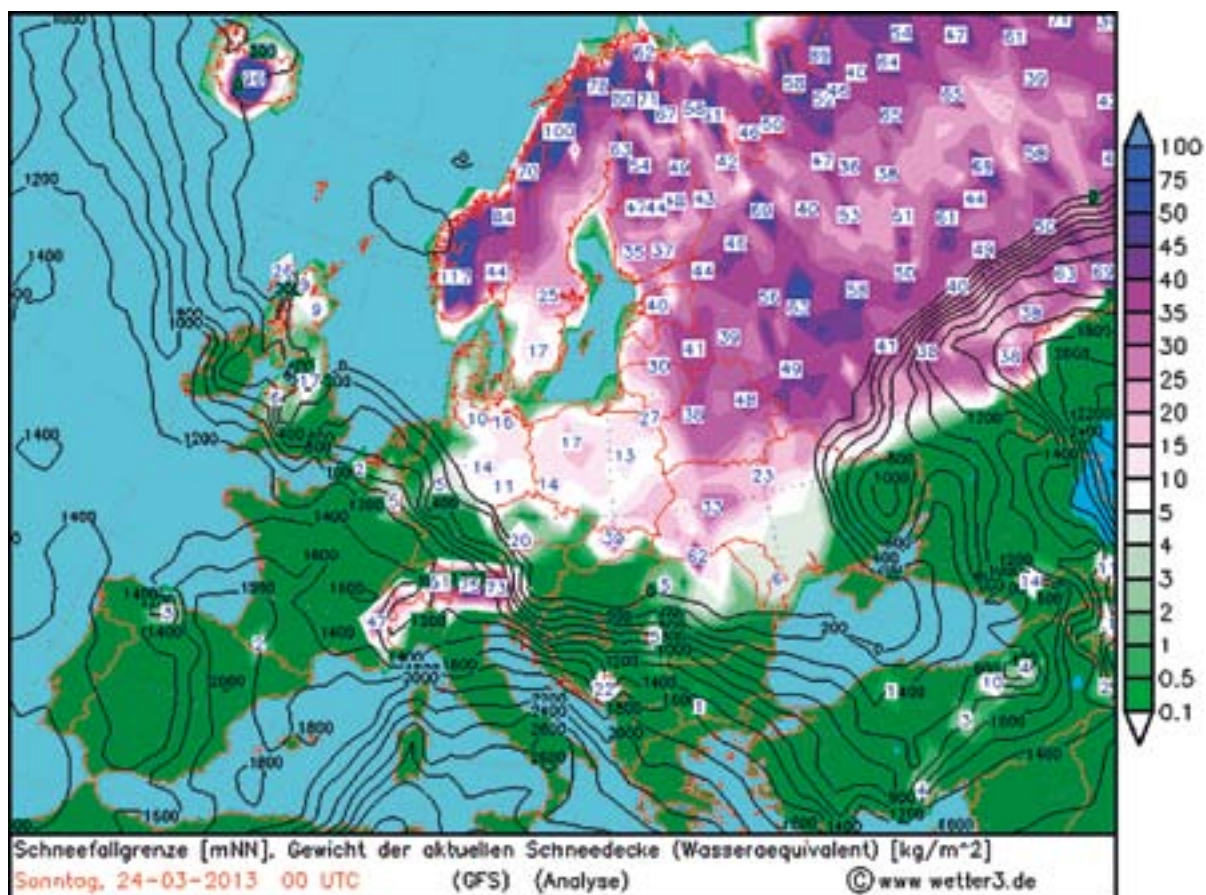
I na české straně zájmového území padly nové teplotní rekordy, jako například 36,5 °C na stanici Milešovka (837 m n. m.) v Českém středohoří. Předchozí nejvyšší hodnota od začátku měření v roce 1906 zde činila 35,0 °C, což je o 1,5 °C méně, nežli 20. července 2006. Praha se sice již v zájmovém území nenachází ale z důvodů dlouhé časové řady meteorologických měření na stanici Klementinum (stanice se nachází přímo v centru města), a bezprostřední blízkosti k zájmovému území, uvádíme též tuto stanici. 20. srpna 2012 byla v pražském Klementinu naměřena maximální teplota vzduchu 36,1 °C, což byla druhá nejvyšší teplota vzduchu v srpnu od začátku měření v roce 1775 – tepleji zde bylo pouze 13. srpna 2003 (36,8 °C). Koncem června a v červenci se v minulosti vyskytly ještě vyšší hodnoty, přičemž absolutní maximum teploty vzduchu (37,8 °C) zde bylo zaznamenáno 27. července 1983. 20. srpna 2012 však byl, cca 25 km jihozápadně od Prahy, v Dobřichovicích, zaznamenán nový rekord maximální teploty vzduchu pro Českou republiku – 40,4 °C.

850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Abb. 3.2.4-1: Temperatur der Luftmassen in 850 hPa (ca. 1500 m Höhe) für den europäischen Raum am 20. August 2012 (Quelle: www.wetterzentrale.de)
Obr. 3.2.4-1: Teplota vzdušných hmot v 850 hPa (cca 1 500 m výšky) pro území Evropy dne 20. srpna 2012 (zdroj: www.wetterzentrale.de)



Schneefallgrenze [mNN], Gewicht der aktuellen Schneedecke (Wasserequivalent) [kg/m²]
Sonntag, 24-03-2013 00 UTC (GFS) (Analyse) © www.wetter3.de

Abb. 3.2.4-2: Schneehöhe (und Schneefallgrenze) im europäischen Raum am 24. März 2013 (Quelle: www.wetter3.de)
Obr. 3.2.4-2: Výška sněhové pokrývky (a hranice sněžení) na území Evropy dne 24. března 2013 (zdroj: www.wetter3.de)

wurden mit nördlicher Strömung noch Ende März 2013 sehr kalte Luftmassen nach Mitteleuropa geführt. Diese erwärmten sich trotz des Ende März bereits recht hohen Sonnenstandes aufgrund der über Nord-, Ost- und Mitteleuropa noch vorhandenen flächendeckenden Schneebedeckung nur wenig (Abb. 3.2.4-2). Weite Teile des Projektgebietes blieben bis Anfang April weiß. Der Himmel war hingegen häufig wolkenverhangen, so dass die Tagesmaxima selbst im Tiefland zumeist nur wenig über oder häufig auch unter 0 °C lagen – klarte es nachts auf, trat hingegen mäßiger bis strenger Frost auf.

Diese Konstellation führte im Projektgebiet am 24. März 2013 flächendeckend zu strengem Frost mit Minima unter -10 °C und Temperaturmaxima deutlich unter 0 °C. Dadurch fielen reihenweise Negativrekorde der Lufttemperatur des 20./21. Jahrhunderts für die letzte Märzdekade (21.–31. März). Auf dem Fichtelberg wurde zum Beispiel am 24. März eine Höchsttemperatur von nur -10,0 °C gemessen, das Temperaturminimum betrug -17,3 °C (Dekadenrekorde für Ende März seit 1916). Die tiefste gemessene Temperatur in Dresden betrug -11,9 °C und lag damit ca. 3 °C niedriger als der vorherige Rekordhalter für das letzte Märztriertel (-9,0 °C am 23. März 1976). In Chemnitz, Zinnwald und Görlitz wurden am 24. März 2013 ebenfalls neue Negativrekorde der Temperatur aufgestellt. Extrem niedrige Werte traten ebenfalls auf böhmischer Seite des Projektgebietes auf (z. B. Temperaturminimum in Milešovka: -15,0 °C, bisheriger Dekadenrekord seit 1906: -12,8 °C am 22. März 1958).

Auch der März 2013 an sich war einer der kältesten seit Beginn des 20. Jahrhunderts, seine Mittelwerte lagen bis zu 6 °C unter dem Mittel der Jahre 1961–2010. Lange, bis in die kleine Eiszeit zurückreichende Zeitreihen, wie die der Prager Innenstadt, belegen, dass im Projektgebiet in früheren Zeiten noch deutlich tiefere Temperaturen auftraten. So war der März 1785 rekordkalt (Mittelwert Prag: -5,5 °C, 1961–2010: +5,5 °C) und auch spätere Märzmonate im 19. Jahrhundert (z. B. 1808, 1845, 1853, 1883) waren deutlich kälter als 2013. Im März 1785 lagen in der Prager Innenstadt alle Temperaturminima unter 0 °C, davon an 20 Tagen unter -10 °C und an 10 Tagen unter -15 °C! Die kälteste jemals in Prag – in allen Monaten – gemessene Temperatur trat am 1. März 1785 mit -27,6 °C auf, und noch am 24. März 1785 wurde ein Minimum von -15,4 °C registriert. Die tiefste Temperatur im gesamten März 2013 betrug dagegen nur -7,8 °C (am 24. März).

Starke und späte Frühjahrshochwasser der Elbe (Ende März bis Ende April) sind häufig nach kalten Märzmonaten zu erwarten, da sich in diesen Jahren der Schnee im Gebirge besonders lange akkumulieren kann. So trat im Projektgebiet das bedeutendste Frühjahrshochwasser der Elbe in den vergangenen >500 Jahren Ende März/Anfang April 1845 auf, nach dem zweitkältesten März nach 1785. Auch Ende April 1785 trat nach einsetzendem Tauwetter ab Mitte des Monats ein beachtenswertes Hochwasser auf. 2013 hingegen wurde kein Aprilhochwasser beobachtet, da sich aufgrund früherer Tauwetterperioden im Januar und Februar keine großen Schneemassen in den Bergen ansammeln konnten. Bemerkenswert ist hierbei, dass durch den Zustrom arktischer Kaltluft in der letzten Märzdekade mit die tiefsten Temperaturen des gesamten Winterhalbjahres 2012/13 auftraten.

Extrémně nízké teploty vzduchu v březnu 2013

Mezi oblastí vysokého tlaku vzduchu nad Skandinávií a Severním mořem a oblastí nízkého tlaku vzduchu se středem nad Ukrajinou se v severním proudění dostával do střední Evropy ještě koncem března 2013 velmi studený vzduch. I přes vysokou polohu Slunce nad obzorem koncem března se však tento studený vzduch v důsledku plošné sněhové pokrývky v severní, východní a střední Evropě ohříval pouze nepatrně (obr. 3.2.4-2). Rozsáhlé části zájmového území tak do začátku dubna zůstaly pod sněhem. Obloha byla často zatažená, denní maxima se i v nížinách pohybovala pouze nepatrně nad, nebo častěji pod 0 °C. V případě nočního vyjasnění se objevil mírný až tuhý mráz.

Tato situace způsobila v řešeném území 24. března 2013 plošný tuhý mráz s minimem pod -10 °C a teplotním maximem výrazně pod 0 °C. V důsledku toho padaly záporné teplotní rekordy 20./21. století pro poslední březnovou dekádu (21.–31. března). Na stanici Fichtelberg byla například 24. března naměřena nejvyšší teplota vzduchu pouhých -10,0 °C, teplotní minimum činilo -17,3 °C (rekord poslední dekády března od roku 1616). Nejnižší naměřená teplota vzduchu v Drážďanech činila -11,9 °C a byla tak o cca 3 °C nižší, nežli předchozí rekord pro poslední dekádu března (-9,0 °C 23. března 1976). V Saské Kamenici, na Cínovci a ve Zhořelci byly 24. března 2013 rovněž zaznamenány nové záporné teplotní rekordy. Extrémně nízké teploty vzduchu se vyskytovaly rovněž na české straně řešeného území (například teplotní minimum na Milešovce bylo -15,0 °C, dosavadní rekord této dekády od roku 1906 činil -12,8 °C dne 22. března 1958).

Též březen 2013 byl jedním z nejchladnějších březnů od začátku 20. století, jeho průměrné hodnoty se pohybovaly až 6 °C pod průměrem let 1961–2010. Dlouhé časové řady, sahající až do malé doby ledové, jakou je i časová řada naměřená v centru Prahy, dokládají, že se v řešeném území v dřívějších dobách vyskytovaly ještě výrazně nižší teploty. Rekordně studený byl březen 1785 (průměrná hodnota pro Prahu: -5,5 °C, dlouhodobý průměr 1961–2010: +5,5 °C) a také pozdější březnové měsíce v 19. století (například 1808, 1845, 1853, 1883) byly výrazně chladnější, nežli v roce 2013. Všechna teplotní minima v centru Prahy se v březnu 1785 pohybovala pod 0 °C, z toho dvacet dní pod -10 °C a po deset dní pod -15 °C. Nejnižší teplota vzduchu, která kdy byla v Praze naměřena, byla teplota -27,6 °C (zaznamenáno 1. března 1785). Ještě 24. března 1785 byla naměřena minimální teplota vzduchu -15,4 °C. Nejnižší teplota vzduchu za celý březen 2013 proti tomu činila pouhých -7,8 °C (24. března).

Silné a pozdní jarní povodně na Labi (konec března až konec dubna) lze často očekávat po chladných březnových měsících. Příčinou je zvláště dlouhá akumulace sněhu na horách. Nejvýznamnější jarní povodeň na Labi se v řešeném území za posledních >500 let vyskytla koncem března / začátkem dubna 1845, po druhém nejchladnějším březnu v roce 1785.

Rovněž koncem dubna 1785 došlo po tání sněhu od poloviny měsíce k výrazné povodni. Oproti tomu nebyla v roce 2013 pozorována žádná povodeň. V důsledku dřívějších období tání sněhu v lednu a únoru se na horách nemohlo nahromadit větší množství sněhu. Přitom je zajímavé, že v důsledku proudění arktického studeného vzduchu během poslední březnové dekády bylo dosaženo nejnižších teplot vzduchu za celý zimní půlrok 2012/13.

Abb. 3.2.4-3: Vb-Zugbahn des Tiefs Ilse von der Biskaya über das nördliche Mittelmeer und die Adria nach Tschechien und Polen im August 2002 – die höchsten Niederschläge traten im Nordstau der sächsischen Gebirge westlich des Tiefdruckkerns auf (Quelle: geändert nach DWD 2003)

Obr. 3.2.4-3: Situace Vb - dráha střední tlakové níže »ILSE« z Biskajského zálivu přes severní Středozemní moře a Jadran do Česka a Polska v srpnu 2002 - nejvyšší srážky se vyskytly na severním návětrí Krušných hor západně od jádra tlakové níže (zdroj: upraveno podle DWD 2003)

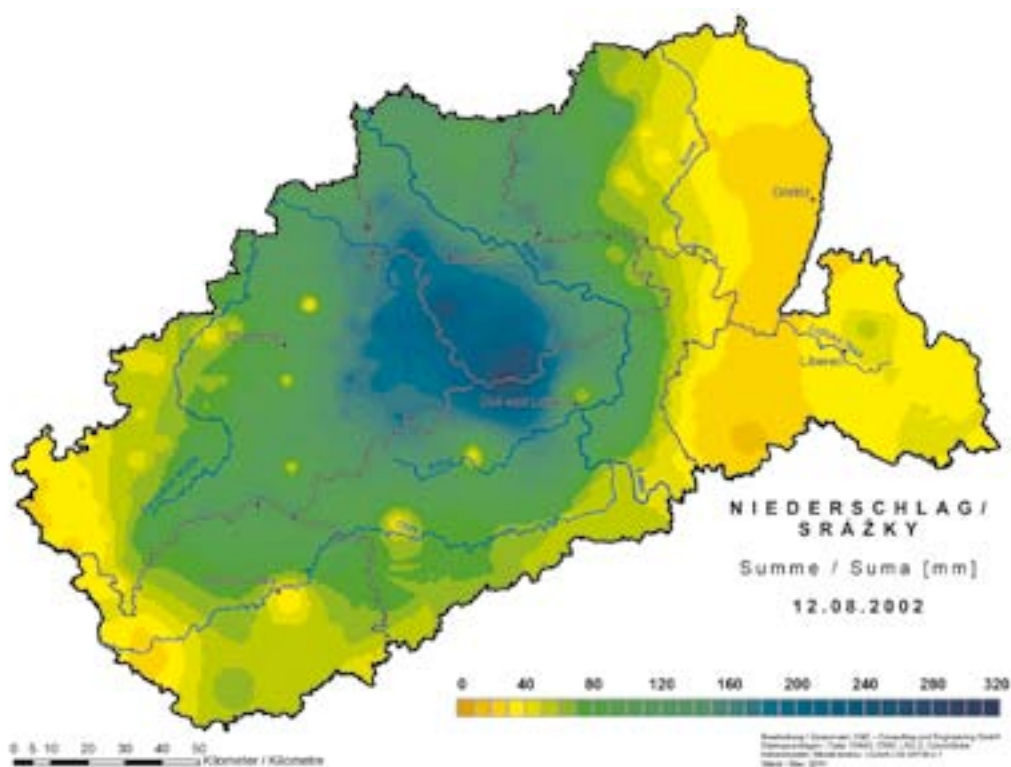


Abb. 3.2.4-4: 24-stündige Niederschlagssummen am 12. August 2002 im Projektgebiet

Obr. 3.2.4-4: 24ti hodinové úhrny srážek dne 12. srpna 2002 v řešeném území

Rekordniederschläge im August 2002

Im Zusammenhang mit einer klassischen »Vb-Wetterlage« fielen am 12. August 2002 von Nordsachsen bis nach Nordböhmen hinein Rekordniederschläge, die im Einzugsgebiet der Elbe, insbesondere im mittleren und östlichen Erzgebirge, eines der größten Hochwasserereignisse der vergangenen Jahrhunderte auslösten. Angereichert mit sehr feuchter Luft aus dem Mittelmeerraum zog das Tiefdruckgebiet »Ilse« östlich der Alpen entlang nach Tschechien, Sachsen und Polen und wurde dort nahezu stationär (Abb. 3.2.4-3). Diese Zugbahn tritt häufig während der Wetterlage »Trog über Mitteleuropa« auf, die auch vom 9. bis 13. August 2002 beobachtet wurde (siehe Kap. 3.2.5).

Rekordní srážky v srpnu 2002

V souvislosti s klasickou cyklonou Vb spadlo 12. srpna 2002 na území, sahajícího od severního Saska až do severních Čech rekordní množství srážek, které v povodí Labe, a dále především ve středním a východním Krušnohoří, způsobily největší povodeň za uplynulá staletí.

Oblast nízkého tlaku vzduchu »ILSE« východně od Alp, nasycená velmi vlhkým vzduchem ze Středomoří, se přesouvala podél Alp do Česka, Saska a Polska, kde se stala téměř stacionární (obr. 3.2.4-3). Tato dráha se často vyskytuje během brázd nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou, která byla zaznamenána rovněž 13. srpna 2002 (viz kap. 3.2.5).

Tab. 3.2.4-1: Niederschlagsmengen von Mai bis September (MJJAS) und im August 2010 an ausgewählten Niederschlagsmessstellen des Projektgebietes
Niederschläge in mm, Anomalien des Jahres 2010 in % vom Mittelwert 1961–2009 (= 100 %), fett gedruckte Werte geben Rekordwerte im Zeitraum 1961–2010 an.

Tab. 3.2.4-1: Úhrn srážek od května do září (MJJAS) a v srpnu 2010 na vybraných srážkoměrných stanicích řešeného území
Srážky v mm, anomálie roku 2010 v % průměrné hodnoty 1961–2009 (= 100 %), tučně vytištěné hodnoty udávají rekordní hodnoty v období 1961–2010.

Wetterstation Meteorologická stanice	Lage Poloha	Höhe (m) Nadmořská výška (m)	Mai bis September Květen až září				August Srpen			
			Mittelwert Průměrná hodnota 1961–2009	Maximum Maximum 1961–2009	Messwert Naměřené hodnota 2010	Abwei- chung Odchylka 2010	Mittelwert Průměrná hodnota 1961–2009	Maximum Maximum 1961–2009	Messwert Naměřené hodnota 2010	Abwei- chung Odchylka 2010
Chemnitz	westlich Západní	418	380	573	633	167 %	84	208	235	280 %
Karlovy Vary		603	323	535	455	141 %	66	160	140	212 %
Fichtelberg		1 213	535	761	844	158 %	114	306	242	212 %
Dresden	zentral Centrální	227	300	483	611	204 %	68	233	195	287 %
Ústí nad Labem		375	317	453	710	224 %	74	192	281	380 %
Zinnwald		877	457	796	760	166 %	108	468	277	256 %
Görlitz	östlich Východní	238	336	537	628	187 %	75	197	195	260 %
Liberec		398	411	591	963	234 %	90	235	414	460 %
Zittau		235	312	554	767	246 %	76	181	302	397 %
Hejnice		396	524	789	1 066	203 %	118	360	475	403 %
Desna		772	560	940	835	149 %	122	435	318	261 %

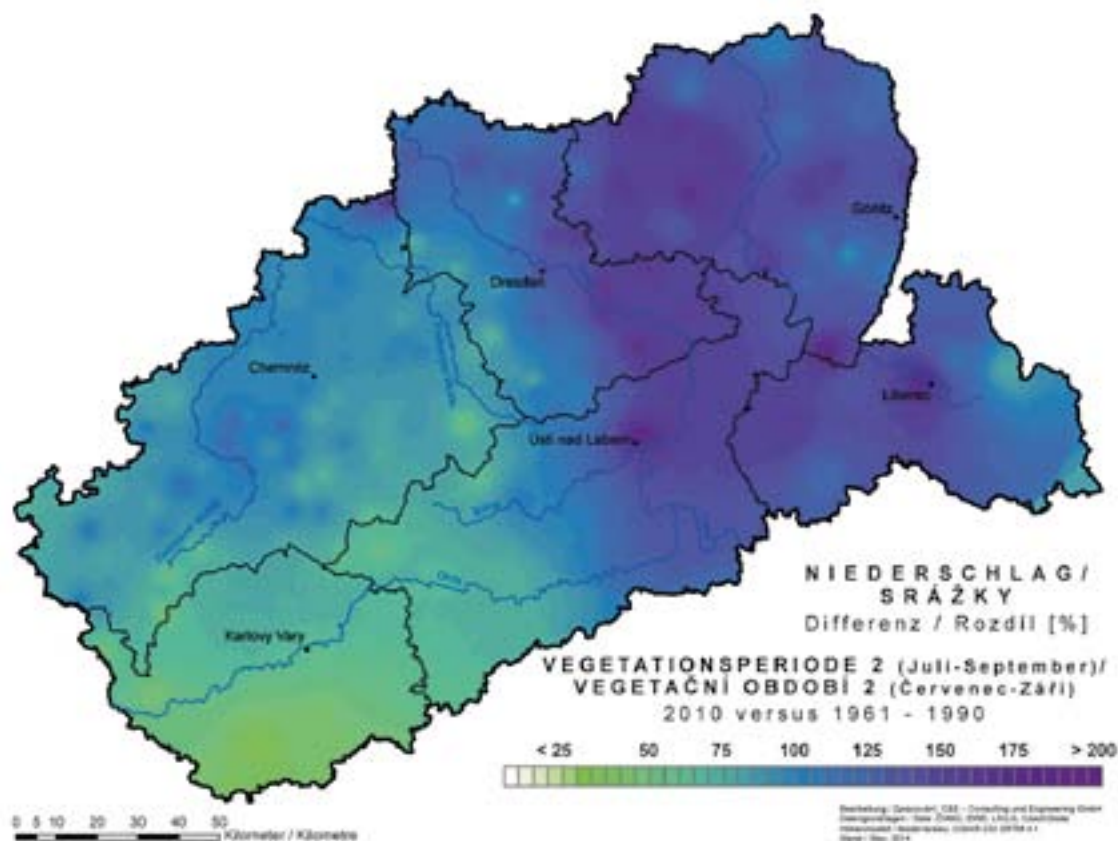


Abb. 3.2.4-5: Anomalie der Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode 2 des Jahres 2010 im Projektgebiet

Obr. 3.2.4-5: Anomalie úhrnu srážek během vegetačního období 2 roku 2010 v řešeném území

Eine kräftige Nordströmung entlang der Westflanke von Tief Ilse sorgte vom 11. bis 13. August, insbesondere am 12. August, für extreme Stauniederschläge vor allem am Erzgebirgsnordrand. Innerhalb von 24 Stunden fielen großflächig auf der sächsischen Seite des Projektgebietes mehr als 100 mm Niederschlag, vom mittleren bis ins östliche Erzgebirge flächendeckend mehr als 200 mm, und im Raum Altenberg/Zinnwald sogar über 300 mm. Die Abb. 3.2.4-4 zeigt die Verteilung der Niederschläge, die von Nordsachsen bis zum Erzgebirgskamm zunahm und auf der tschechischen Seite deutlich niedriger waren. Aufgrund der geringen Anzahl an Niederschlagsstationen in Böhmen (verglichen mit Sachsen) ist die räumliche Auflösung des Gradienten in der Abbildung nur begrenzt visualisierbar.

Die in Zinnwald am 12. August 2002 von 8 bis 8 Uhr gemessene Niederschlagsmenge von 312 mm (von 5 bis 5 Uhr wurden sogar 353 mm registriert) stellt die höchste Regenmenge dar, die je in Deutschland aufgezeichnet wurde. Zuvor lag dieser Rekord bei 260 mm, gemessen am 6. Juli 1906 ebenfalls im INTERKLIM Projektgebiet – im Tiefland von Nordsachsen (Zeithain bei Riesa). In beiden Fällen herrschten im Projektgebiet bodennah Tiefdruckeinfluss und von Westeuropa bis zur Neiße relativ kühle Temperaturen vor, während feuchte Warmluft aus dem Mittelmeerraum bis in das (heutige) Polen gelangte. Im Übergangsbereich dieser Luftmassen kam es dann zu extremen Niederschlagsereignissen. 1906 traten jedoch vermutlich keine ausgeprägten Staueffekte im Gebirge auf, sondern es dominierten punktuelle Starkniederschläge relativ stationärer, sich immer wieder erneuernder Gewitterzellen. 2002 hingegen überwogen flächendeckende, langandauernde Niederschläge, welche gelegentlich durch eingelagerte Schauer und Gewitter verstärkt wurden, so dass im Gegensatz zu 1906 ein viel größeres Gebiet betroffen war.

Rekordniederschläge im Jahr 2010

Das Sommerhalbjahr 2010 war in Ostsachsen durch verschiedene langandauernde und intensive Niederschlagsereignisse gekennzeichnet, die insbesondere in Ostsachsen (vor allem im August) für extrem hohe Niederschlagsmengen sorgten. Die Niederschläge im Zeitraum von Mai bis September entsprachen an bestimmten Stationen zum Teil weit mehr als dem Doppelten der zu erwartenden Menge (Tab. 3.2.4-1). Alte Rekordwerte wurden zum Teil um mehrere hundert Millimeter überschritten und stießen in völlig neue Dimensionen vor – besonders bemerkenswert sind die Werte der Stationen Ústí nad Labem, Liberec und Hejnice. In der Vegetationsperiode 2 (Juli bis September) fiel der meiste Niederschlag. Rekordwerte wurden hier vor allem östlich einer Linie Dresden – Ústí nad Labem beobachtet (Abb. 3.2.4-5). Im August traten vor allem im Raum Zittau/Liberec extreme Regenmengen auf, so dass in dieser Region bis zum Fünffachen der üblichen monatlichen Niederschlagsmenge fiel.

Die größten und flächendeckendsten Regenfälle traten im Zusammenhang mit wetterintensiven Tiefdruckgebieten am 6. und 7. August im Osten (Abb. 3.2.4-6) und vom 25. bis 27. September (Abb. 3.2.4-7) im gesamten Projektgebiet (bis auf die westlichen Gebiete) auf. Die für die Niederschläge Anfang August verantwortliche Wettersituation war wie im August 2002 eine Vb-Tiefdruck-

Silné severní proudění podél západní hrany tlakové níže »ILSE« způsobilo ve dnech 11. až 13. srpna, především pak 12. srpna, extrémní srážky zvláště na severním okraji Krušných hor. Během 24 hodin spadlo na velkém území na saské straně zájmového území více než 100 mm srážek, od středního po východní Krušnohoří plošně více než 200 mm a v prostoru Altenberg/Cínovec více než 300 mm. Na obr. 3.2.4-4 je zobrazeno rozdělení srážek, jejichž intenzita stoupala od severního Saska až po hřeben Krušných hor, a které byly na české straně výrazně nižší. Z důvodů nižšího počtu srážkoměrných stanic v Čechách (v porovnání se Saskem) lze územní rozlišení srážkového gradientu vizualizovat pouze v omezené míře.

Množství srážek ve výši 312 mm, naměřené na Cínovci 12. srpna 2002 od 8 hodin do 8 hodin druhého dne (od 5 hodin do 5 hodin druhého dne bylo zaznamenáno dokonce 353 mm), představuje největší množství srážek, které bylo kdy v Německu zaznamenáno. Tento rekord činil předtím 260 mm. Změřen byl 6. června 1906 rovněž v zájmovém území projektu INTERKLIM – v nížině severního Saska (Zeithain u Riesy). V obou případech převládal v tomto území přízemní vliv nízkého tlaku vzduchu a ze západní Evropy až po Nisu relativně nízké teploty vzduchu, zatímco se do (dnešního) Polska dostával vlhký teplý vzduch ze Středomoří. V přechodové části těchto vzdušných hmot došlo ke vzniku extrémních srážek. V roce 1906 se však zřejmě nevyskytly žádné plošné srážky, převládaly lokální silné srážky vznikající z relativně stálých, stále se obnovujících bouřkových buněk. Oproti tomu v roce 2002 převládaly plošné, dlouhotrvající srážky, které byly příležitostně posilovány přeháňkami a bouřkami. V roce 2002 bylo zasaženo mnohem větší území ve srovnání s rokem 1906.

Rekordní srážky v roce 2010

Letní půlrok roku 2010 se ve východním Sasku vyznačoval různými dlouhotrvajícími a intenzivními srážkami, které především ve východním Sasku vedly (zejména v srpnu) k extrémně vysokému množství srážek. Srážky v období od května do září odpovídaly na určitých stanicích zčásti více než dvojnásobku očekávaného množství (tab. 3.2.4-1). Staré rekordy byly překonány o několik set milimetrů a vytvořily zcela nový rozměr – zajímavé jsou především hodnoty z meteorologických stanic v Ústí nad Labem, Liberci a Hejnicích. Nejvíce srážek spadlo během vegetačního období 2 (červenec až září). Rekordní hodnoty byly zaznamenány zejména východně od spojnice Drážďany – Ústí nad Labem (obr. 3.2.4-5). V srpnu se extrémní množství srážek vyskytlo hlavně na Žitavsku/Liberecku. Zde spadlo až pětinasobné množství průměrného úhrnu srážek.

Největší a plošně nejrozšířenější srážky se vyskytly v souvislosti s výskytem nízkého tlaku vzduchu ve dnech 6. a 7. srpna na východě (obr. 3.2.4-6) a ve dnech 25.–27. září (obr. 3.2.4-7) v celém řešeném území (s výjimkou západních oblastí). Povětrnostní situace, která způsobila extrémní srážkové úhrny na počátku srpna byla, stejně jako v srpnu 2002, cyklona Vb, která po dobu 36 hodin tlačila proti výškovým polohám východního horského hřebenu teplý a velmi vlhký středomořský vzduch. Extrémní úhrn srážek na německé straně zaznamenala stanice Bertzdorf-Hörnitz – 146 mm dne 7. srpna 2010 (Saský zemský úřad pro životní

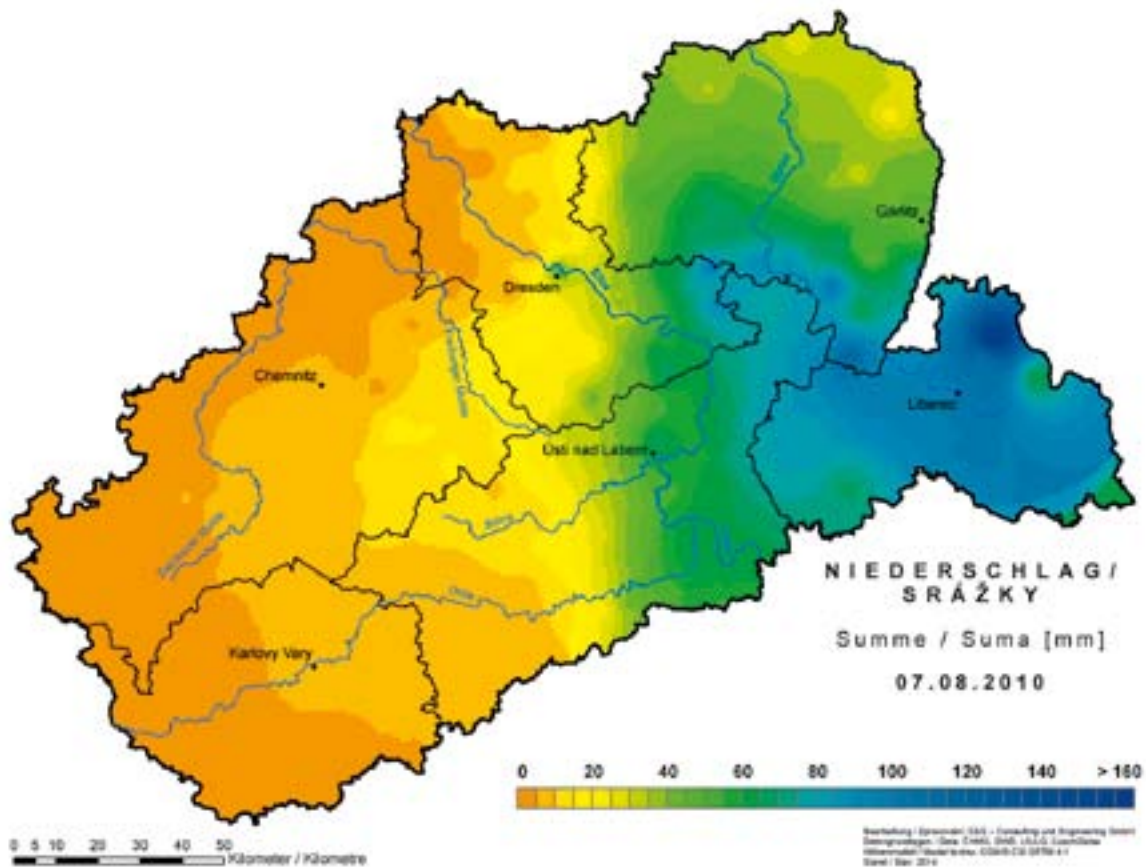


Abb. 3.2.4-6: 24-stündige Niederschlagssummen am 7. August 2010 im Projektgebiet

Obr. 3.2.4-6: 24ti hodinové úhrny srážek dne 7. srpna 2010 v zájmovém území

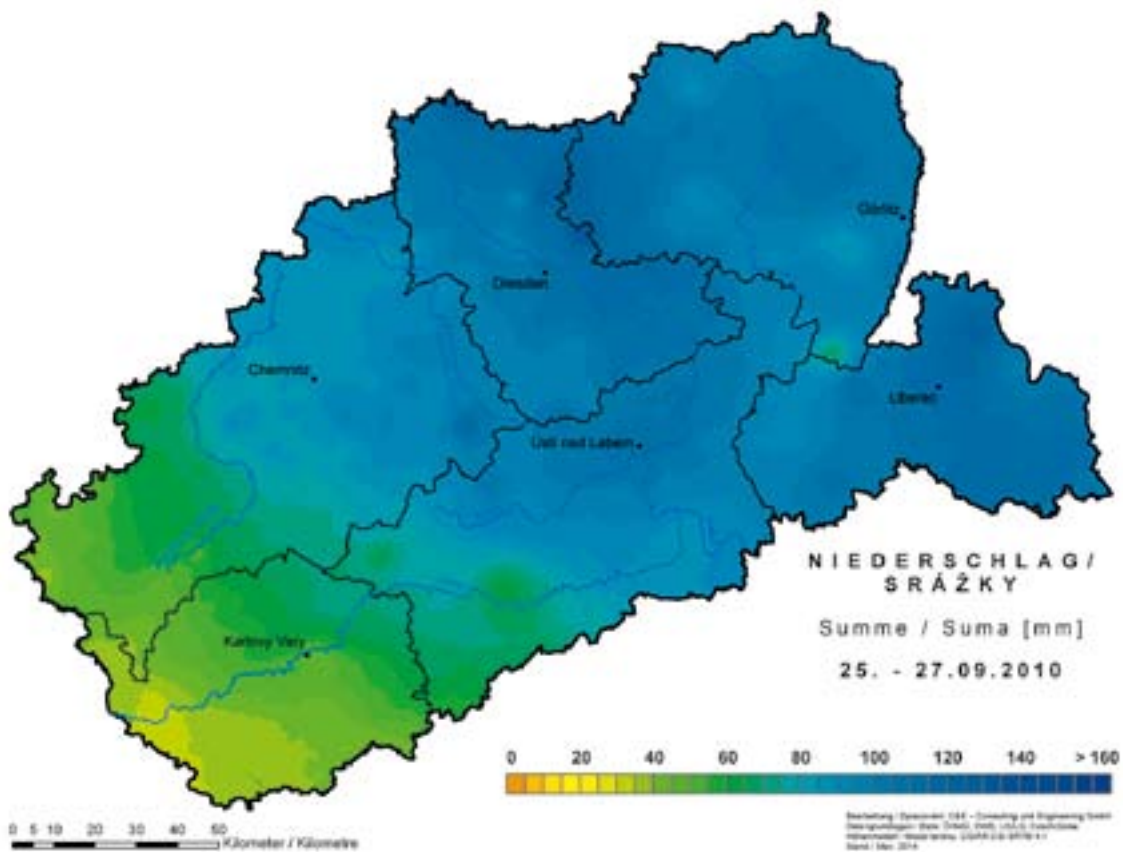


Abb. 3.2.4-7: 72-stündige Niederschlagssummen vom 25. Bis 27. September 2010 im Projektgebiet

Obr. 3.2.4-7: 72ti hodinové úhrny srážek ve dnech 25. až 27. září 2010 v zájmovém území



Abb. 3.2.4-8: Hauptstraße in Bertsdorf-Hörnitz am Bertsdorfer Wasser am 7. August 2010

Obr. 3.2.4-8: Hlavní ulice v obci Bertsdorf-Hörnitz na vodoteči Bertsdorfer Wasser 7. srpna 2010

lage, durch die über einen Zeitraum von ca. 36 h warme und sehr feuchte Mittelmeerluft gegen die Höhenlagen der östlichen Gebirgsketten gepresst wurde. Spitzenreiter der Niederschlagsmengen auf deutscher Seite war Bertsdorf-Hörnitz mit 146 mm Niederschlag am 7. August 2010 (LfULG, 2013). Hier bahnte sich das sonst friedliche Bertsdorfer Wasser den Weg durch das Dorf (Abb. 3.2.4-8). Auch in anderen Gebieten der Kreise Görlitz und Liberec traten hochwasserbedingt große Schäden durch Überflutungen, Schlamm und Geröll in den Flussgebieten von Neiße und Mandau, aber auch an kleineren Flüssen auf.

Ende September befand sich ein Tief über Mitteleuropa und die Projektregion wurde von einer stationären Warmfront beeinflusst, die an drei aufeinanderfolgenden Tagen unabhängig der topographischen Gegebenheiten für sehr hohe Niederschlagsmengen von in der Summe verbreitet über 100 mm sorgte. Die größten Regenmengen während dieses Niederschlagsereignisses fielen in Gröditz in Nordsachsen mit 131,5 mm in 72 h. Der Hochwasserscheitelabfluss der Großen Röder erreichte bei diesem Ereignis sein bisheriges Rekordniveau.

Trockenheit im Jahr 2003

Das Jahr 2003 war eines der trockensten Jahre des 20. Jahrhunderts im Projektgebiet und gleichzeitig in weiten Teilen Europas. Die sonst dominierende Westwindströmung wurde im Jahr 2003 häufig weiträumig um die Hochdruckgebiete über West- und Mitteleuropa herumgeführt. Geprägt durch eine außergewöhnlich hohe Zahl an Tagen mit Hochdruckwettereinfluss (und deren häufig lange Andauer) lagen die Niederschlagsmengen im Projektgebiet bis auf den Juli zumeist um oder unter den langjährigen Mittelwerten. In Februar, August und November wurde an vielen Stationen die geringste Niederschlagsmenge der jeweiligen Monate innerhalb der INTERKLIM-Untersuchungsperiode 1961–2010 registriert.

prostředí, zemědělství a geologii, LfULG 2013). V jinak poklidné vesnici si voda razila cestu vsí (obr. 3.2.4-8).

Rovněž na ostatních místech okresu Žhořelec a okresu Liberec způsobily povodně v povodí Nisy a Mandavy, ale i menších vodních toků, velké škody v důsledku zaplavení, zanesení bahnem a naplaveninami. Koncem září se nad střední Evropou nacházela oblast nízkého tlaku vzduchu. Zájmové území bylo ovlivňováno nepohyblivou teplou frontou, která ve třech po sobě následujících dnech nezávisle na orografických podmínkách přinesla velké množství srážek se srážkovými úhrny více než 100 mm. Největší množství srážek spadlo na stanici Gröditz v severním Sasku – 131,5 mm během 72,0 hodin. Vrchol povodně na vodním toku Große Röder dosáhl tehdy své dosavadní rekordní úrovně.

Sucho v roce 2003

Rok 2003 byl v zájmovém území a současně i v rozsáhlých částech Evropy jedním z nejsušších let 20. století. Jindy převládající západní proudění vedlo v roce 2003 většinou kolem tlakových výší nad západní a střední Evropou. Díky mimořádně vysokému počtu dní, ovlivněných tlakovou výší (a jejím často dlouhým trváním), se množství srážek v řešeném území pohybovalo, s výjimkou července, většinou kolem nebo pod dlouhodobým průměrem. V únoru, srpnu a listopadu bylo na mnoha stanicích naměřeno nejnižší množství srážek v daných měsících v rámci období let 1961–2010, které je předmětem výzkumu v rámci projektu INTERKLIM.

Z důvodů silícího srážkového deficitu, výrazně nadprůměrné délky slunečního svitu a rekordně horkých průměrných a extrémních teplot vzduchu se léto roku 2003 vyznačovalo vysokou mírou

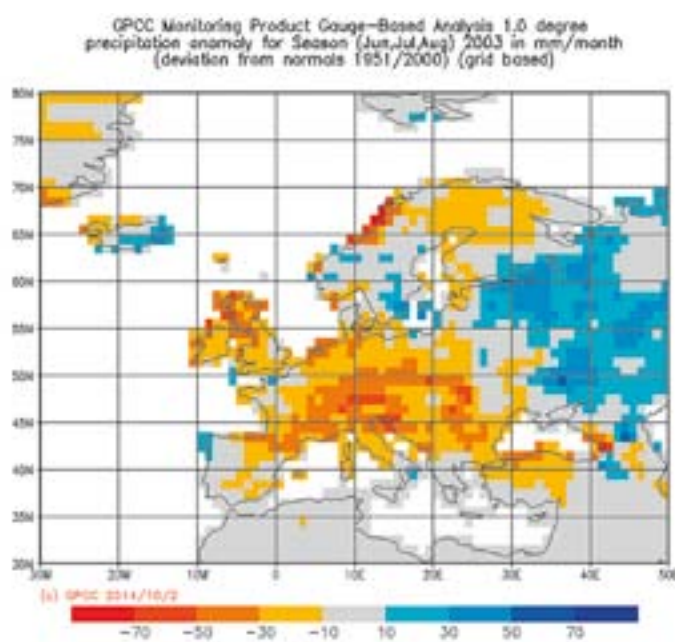


Abb. 3.2.4-9: Niederschlagsanomalien in Europa im Sommer 2003 vom Mittel des Zeitraums 1951–2000 (Quelle: DWD – <http://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>)

Obr. 3.2.4-9: Srážkové anomálie v Evropě v létě roku 2003 od průměru období 1951–2000 (zdroj: DWD – <http://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>)

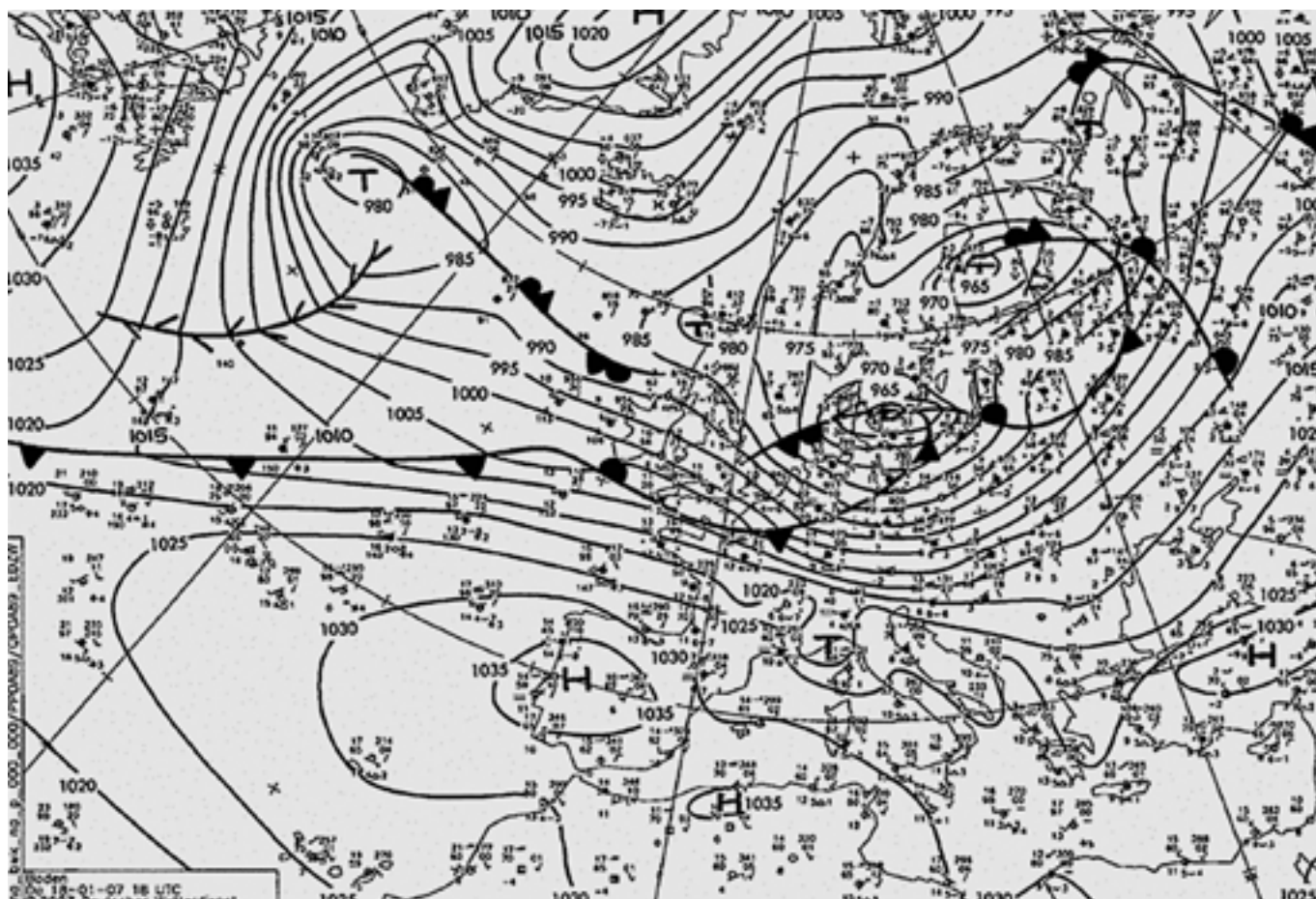


Abb. 3.2.4-10: Bodendruckverteilung und Frontenkarte basierend auf synoptischen Meldungen europäischer Wetterstationen für den 18. Januar 2007, 18 UTC (Quelle: DWD 2007)

Obr. 3.2.4-10: Rozložení přízemního tlakového pole a mapa front na bázi synoptických hlášení evropských meteorologických stanic pro 18. leden 2007, 18 UTC (zdroj: DWD 2007)

Aufgrund des sich seit Februar verstärkenden Niederschlagsdefizites, einer weit überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer und rekordheißen Mittel- und Extremtemperaturen war der Sommer 2003 durch sehr hohe Verdunstungsraten und daraus folgend einem extrem niedrigen Wasserdargebot gekennzeichnet. Dies führte in der Landwirtschaft auf beiden Seiten der Grenze zu großen Problemen. Der Sommer 2003 war an vielen Stationen der heißeste, trockenste und sonnigste Sommer des INTERKLIM-Untersuchungszeitraums 1961–2010 (Abb. 3.2.4-9). Insbesondere Juni und August trugen zu diesen Rekorden bei.

Im August 2003 fielen zum Beispiel in Görlitz nur 3,0 mm Niederschlag. Damit war der August 2003 an dieser Station der trockenste Sommermonat seit mindestens 1848. Mehrfache Standortwechsel der Station beeinflussen diese Aussage nicht. Die mittlere Luftfeuchtigkeit betrug in Görlitz im Mittel nur 57 % und lag damit deutlich unter dem Augustmittelwert der Periode 1961–2010 (73 %) und noch einmal 5 % niedriger als der Rekordwert seit 1947 (August 1992). Der trockene Charakter der Hitze äußerte sich im August 2003 in einer geringen Schwüle, was die hohen Temperaturen zumindest etwas erträglicher gestaltete.

Auch in Dresden lag die Niederschlagsmenge mit 9,9 mm auf Rekordniveau. Diverse, seit 1828 vorliegende Zeitreihen verschiedener Standorte innerhalb und außerhalb Dresdens zeigen, dass

výparu a z toho plynoucího nedostatku vody. Tato situace způsobila velké problémy v zemědělství na obou stranách hranice. Na mnoha stanicích bylo léto roku 2003 nejteplejším, nejsušším a nejslunečným létem za období let 1961–2010 (obr. 3.2.4-9). K těmto rekordům přispěly především červen a srpen.

V srpnu 2003 spadly ve Zhořelci pouze 3,0 m srážek. Srpen roku 2003 tak byl na této stanici nejsušším letním měsícem minimálně od roku 1848. Na tomto výsledku nezměnilo nic ani několikanásobné přemístění stanice. Průměrná vlhkost vzduchu ve Zhořelci činila v průměru pouze 57 % a byla tak výrazně pod srpnovou průměrnou hodnotou za období 1961–2010 (73 %) a o dalších 5 % nižší, nežli rekordní hodnota od roku 1947 (srpen 1992). Suchý charakter horkého počasí se v srpnu 2003 změnil v mírné »parno«, čímž byly vysoké teploty vzduchu alespoň trochu snesitelnější.

Rovněž v Drážďanech se množství srážek s hodnotou 9,9 mm nacházelo na rekordně nízké úrovni. Různé časové řady meteorologických měření, které jsou pro jednotlivé lokality Drážďan k dispozici již od roku 1828 ukazují, že srpen roku 2003 byl i zde nejsušším letním měsícem za uplynulá staletí. Na české straně řešeného území byl srpen roku 2003 rovněž extrémně suchý. Na Milešově spadlo pouhých 6,5 mm srážek, tedy výrazně méně, než zde doposud (od roku 1905) bylo zaznamenáno.

der August 2003 auch hier einer der trockensten Sommermonate der vergangenen Jahrhunderte war. Auf der tschechischen Seite des Projektgebietes war der August 2003 ebenfalls extrem trocken. So fielen auf dem Berg Milešovka nur 6,5 mm Niederschlag, weit weniger als dort bisher (seit 1905) in einem Sommermonat beobachtet wurde.

Orkan Kyrill im Januar 2007

Das Orkantief »Kyrill«, welches am 18. Januar 2007 über Mitteleuropa wütete, war eines der bedeutendsten Sturmereignisse der vergangenen Jahrzehnte. Kyrill war das kräftigste einer Reihe von Sturmtiefs, die seit dem Jahreswechsel 2007 die Projektregion beeinflussten. Nicht zuletzt deswegen war der Januar 2007 einer der sturmreichsten Monate innerhalb der INTERKLIM-Untersuchungsperiode 1961–2010. Kyrill verlagerte sich vom südgrönländisch-isländischen Raum mit einer kräftigen westlichen Höhenströmung sehr schnell über den Nordatlantik nach Osten. Am 18. Januar bildete sich von Norddeutschland bis nach Tschechien ein sehr intensives Sturmfeld aus, bedingt durch den großen Luftdruckunterschied von 70 hPa zwischen einem kräftigen Hochdruckgebiet über Spanien und dem Zentrum von Kyrill über der südlichen Ostsee (Abb. 3.2.4-10).

Von mittags bis nachts traten in großen Teilen des Projektgebiets Sturmböen (Windstärke 9 und mehr, über 75 km/h) auf, die insbesondere im Zusammenhang mit dem Durchzug der Kaltfront Orkanstärke (Windstärke 12, über 120 km/h) erreichen konnten. Die sehr ausgeprägte Kaltfront ging außerdem mit kräftigen Wintergewittern, Starkregen, Hagel und sogar Tornados einher und die Temperaturen sanken innerhalb weniger Minuten um bis zu 15 °C. Extreme Windgeschwindigkeiten wurden sowohl auf den Bergen (Fichtelberg: 183 km/h, Zinnwald: 137 km/h, Carlsfeld: 130 km/h), als auch im Flach- und Hügelland (Chemnitz: 133 km/h, Dresden: 123 km/h, Görlitz: 123 km/h, Lichtenhain-Mittelndorf: 120 km/h, Plauen: 113 km/h, Marienberg: 108 km/h) gemessen. Im Elbtal wurden die von Nordwesten hereindrückenden Winde z.T. noch kanalisiert, so dass z. B. in Ústí nad Labem Böen von 158 km/h auftraten.

Inversionswetterlagen und Böhmischer Wind

Inversionswetterlagen sind Wetterlagen, bei denen die normale Temperaturabnahme mit der Höhe außer Kraft gesetzt wird bzw. sich zum Teil sogar umkehrt. Inversionsbedingungen können sich in klaren Nächten zu allen Jahreszeiten ausbilden, werden bei hohem Sonnenstand im Sommerhalbjahr (April bis September) jedoch zumeist bereits früh oder am Vormittag wieder von der Sonne aufgelöst. Im Winterhalbjahr (Oktober bis März) reicht die Kraft der Sonne häufig nicht aus, um die zudem jetzt häufig mit Nebel und Hochnebel angereicherte Kaltluftschicht aufzulösen, so dass sich bei beständigen Hochdrucklagen eine zunehmend stärkere Inversion ausbildet, die häufig erst wieder im Zuge einer windreichen Wetterlage aufgelöst wird.

Im Böhmischem Becken ist die Inversionsneigung besonders ausgeprägt. Durch die allseitige Begrenzung durch verschiedene Bergketten weht der Wind hier zumeist nur schwach, andererseits begünstigt die Beckenlage die Sammlung kalter und feuchter Luft

Orkán Kyrill v lednu 2007

Tlaková níže, která se rozvinula v orkán »Kyrill« a jež 18. ledna roku 2007 zasáhla rozsáhlou oblast nad střední Evropou, byla jednou z nejméně významnějších bouří uplynulých desetiletí. Bouře »Kyrill« byla jednou z nejsilnějších v řadě bouří, které od roku 2007 ovlivnily zájmové území projektu INTERKLIM. V neposlední řadě byl i proto leden roku 2007 jedním z měsíců s nejvyšším výskytem bouřek během období let 1961–2010. Bouře »Kyrill« se přesouvala z prostoru jižního Grónska a Islandu společně se silným západním prouděním přes severní Atlantik rychle k východu. 18. ledna se v prostoru od severního Německa až do Česka vytvořilo velmi intenzivní bouřkové pole, které bylo podmíněno vysokým rozdílem tlaku vzduchu ve výši 70 hPa mezi silnou oblastí vysokého tlaku vzduchu nad Španělskem a jádrem bouře »Kyrill« nad jižním Baltem (obr. 3.2.4-10).

Od poledních až do nočních hodin se ve velkých částech zájmového území vytvářely větrné bouře (vítr o síle 9° Beaufortovy anemometrické stupnice a více, více než 75 km/h), které mohly především v souvislosti s průchodem studené fronty dosáhnout síly orkánu (síla větru 12° Beaufortovy anemometrické stupnice více než 120 km/h). Výrazná studená fronta byla kromě toho doprovázena silnými zimními bouřemi, silnými srážkami, krupobitím a dokonce i tornády. Během několika minut klesly teploty vzduchu až o 15 °C. Extrémní rychlost větru byla zaznamenána jak na horách (Fichtelberg: 183 km/h, Cínovec: 137 km/h, Carlsfeld: 130 km/h), tak i v rovinných oblastech a pahorkatinách (Saská Kamenice: 133 km/h, Drážďany: 123 km/h, Zhořelec: 123 km/h, Lichtenhain-Mittelndorf: 120 km/h, Plavno: 113 km/h, Marienberg: 108 km/h). V údolí Labe došlo navíc k zesílení proudění od severozápadu, takže v Ústí nad Labem se vyskytly nárazy větru 158 km/h.

Inverzní situace a Český vítr

Inverzní situace jsou situace, při nichž nedochází k normálnímu poklesu teploty vzduchu v závislosti na nadmořské výšce, naopak dochází k opačnému procesu. Podmínky pro vznik inverze se mohou vytvářet za jasných nocí ve všech ročních obdobích. Při vysoké poloze Slunce nad obzorem v letním půlroce (duben až září) se však většina inverzí rozpustí již ráno nebo dopoledne v důsledku intenzivního slunečního svitu. Během zimního půlroku (říjen až březen) však síla slunce často nestačí k rozpuštění vrstvy studeného vzduchu, který je často obohacen mlhou a nízkou oblačností. V případě stálé tlakové výše se tak vytvoří silnější inverze, která se většinou opět rozpustí až při změně povětrnostní situace.

V České pánvi je sklon k inverzním situacím zvláště výrazný. V důsledku ohraničení různými horskými pásmy zde vítr vane většinou pouze slabě, na druhou stranu vytváří pánevní poloha příznivé podmínky pro nahromadění studeného a vlhkého vzduchu v údolích. Vrstva mlhy a nízké oblačnosti je většinou tak mocná, že studený vzduch, který se v Čechách vytvořil vlivem proudění z jihozápadního až jihovýchodního směru, přeteče do Saská údolím Labe a přes horský hřeben, který tvoří česko-saskou hranici (výše položené oblasti Vogtlandska a v západním/středním Krušnohoří většinou z vrstvy studeného vzduchu vyčnívají a zůstávají tak

31OCT2005 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)

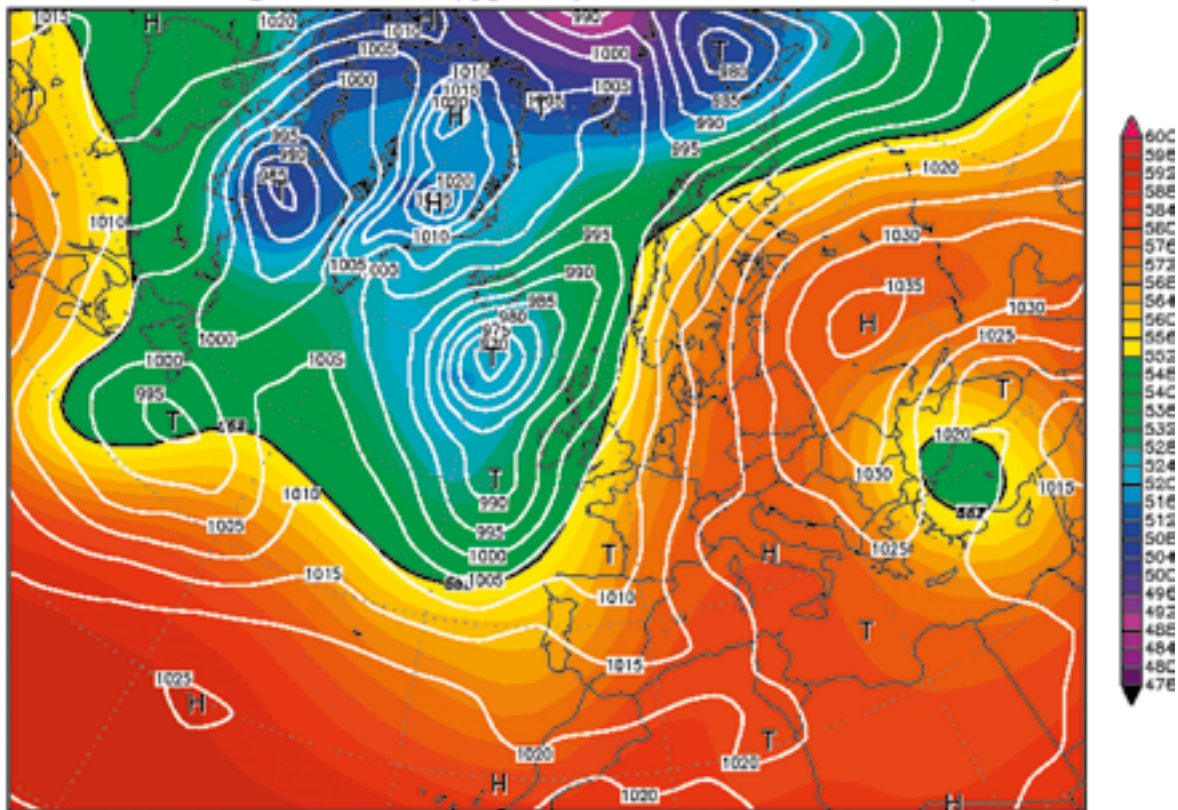


Abb. 3.2.4-11: Geopotential in 500 hPa und Bodendruck für den europäischen Raum am 31. Oktober 2005 (Quelle: www.wetterzentrale.de)

Obr. 3.2.4-11: Geopotenciál v 500 hPa a přízemní tlakové pole pro území Evropy dne 31. října 2005 (zdroj: www.wetterzentrale.de)

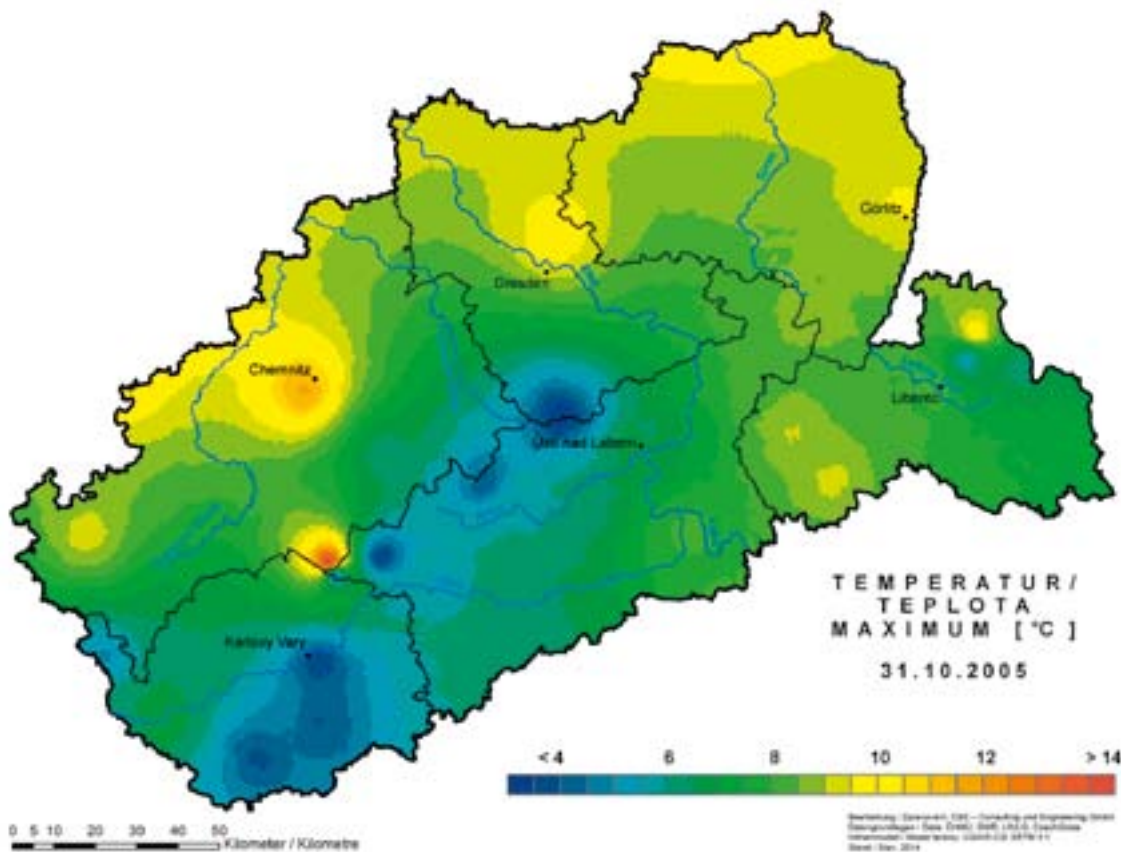


Abb. 3.2.4-12: maximale Temperatur am 31. Oktober 2005 im Projektgebiet

Obr. 3.2.4-12: Maximální teplota vzduchu dne 31. října 2005 v zájmovém území projektu

in den Tallagen. Die Nebel- und Hochnebelschicht ist im Winterhalbjahr häufig so mächtig, dass die in Böhmen gebildete Kaltluft bei entsprechendem »Anschub« aus südwestlich- bis südöstlicher Richtung die Bergrücken der sächsisch-böhmischen Grenze überströmt sowie durch das Elbtal und andere Flusstäler nach Sachsen einfließt (höhere Regionen von Vogtland und westlichem/mittleren Erzgebirge ragen häufig aus der Kaltluftschicht hinaus und verbleiben in wärmeren Luftmassen). Dieses Phänomen wird in Sachsen als »Böhmischer Wind« bezeichnet. Der Böhmische Wind ist demzufolge ein kalter, häufig recht starker und böiger Wind, der insbesondere vom sächsischen Elbtal bis zu Oberlausitz und Zittauer Gebirge auftritt.

Die letzte Oktoberdekade- und erste Novemberhälfte 2005 waren durch eine lang anhaltende Periode mit Warmluftstrom aus süd- bis südwestlicher Richtung und häufig antizyklonalem Wettergeschehen gekennzeichnet (Abb. 3.2.4-11). Vom 28. Oktober bis 15. November lag die durchschnittliche maximale Temperatur auf dem Fichtelberg (über der Inversion gelegen) um 4 °C über den Werten von Zinnwald (häufig innerhalb der Inversion gelegen). Aufgrund der fortgeschrittenen Jahreszeit bildete sich Ende Oktober unter Hochdruckeinfluss im Tiefland, insbesondere im Böhmischem Becken, eine vertikal mächtige Inversionsschicht aus. Diese wurde mit südlicher Anströmung gegen den böhmischen Erzgebirgskamm gedrückt, so dass vom mittleren Erzgebirge bis nach Ostsachsen der Böhmische Wind wehte und die Temperaturen dort niedrig blieben.

Die größten Temperaturunterschiede traten dann am letzten Oktobertag auf – so lagen die Tageshöchsttemperaturen am 31. Oktober 2005 in Zinnwald bei 2,6 °C und auf dem Fichtelberg bei 16,4 °C, eine Differenz von 14 °C! Abb. 3.2.4-12 zeigt die Temperaturverteilung dieses Tages im Projektgebiet – der Fichtelberg war der mit Abstand wärmste, Zinnwald der kälteste Ort. Insgesamt ist das kleinräumige Phänomen des Böhmisches Windes sehr schwer zu regionalisieren und abzubilden, da keine modellierbare Höhenabhängigkeit (regelmäßiger Temperaturanstieg oder -abnahme mit der Höhe) besteht. Für eine genaue Abbildung der beobachteten Realitäten wäre demzufolge eine deutlich höhere Anzahl an Messstationen notwendig als tatsächlich vorhanden.

v wärmeren Luftmassen (in den wärmeren Luftmassen). Tento jev je v Sasku označován jako »Český vítr«. Jedná se o studený, často velmi silný a nárazovitý vítr, který se vyskytuje od saského údolí Labe až po Horní Lužici a Žitavské hory.

Poslední říjnová dekáda a první polovina listopadu roku 2005 se vyznačovaly dlouho trvajícím obdobím proudění teplého vzduchu z jižních až jihozápadních směrů a častými anticyklonálními povětrnostními situacemi (obr. 3.2.4-11). Ve dnech 28. října až 15. listopadu se průměrná maximální teplota vzduchu na vrcholu Fichtelberg (nad inverzí) pohybovala o 4 °C nad hodnotami Cínovce (Zinnwald) (často v inverzi). Z důvodů pokročilé roční doby se koncem října pod vlivem vysokého tlaku vzduchu vytvořila v nížině, především v České pánvi, mohutná vertikální inverzní vrstva. Jižní proudění jí tlačilo proti českému hřebeni Krušných hor. Od středního Krušnohoří až po východní Sasko proto vál »Český vítr«, který vedl k tomu, že v tomto území zůstaly teploty vzduchu nízké.

Největší teplotní rozdíly se pak vyskytly v posledním říjnovém dni – nejvyšší teploty vzduchu se 31. října 2005 pohybovaly na Cínovci kolem 2,6 °C a na vrcholu Fichtelberg kolem 16,4 °C, což je rozdíl 14 °C! Na obr. 3.2.4-12 je zobrazeno rozdělení teplot během tohoto dne v zájmovém území projektu – vrchol Fichtelberg byl s velkým odstupem nejteplejším, Cínovec nejchladnějším místem. Maloplošný jev Českého větru lze celkově velmi obtížně regionalizovat a zobrazit, protože neexistuje žádná závislost na nadmořské výšce (pravidelný nárůst nebo pokles teploty vzduchu v závislosti na nadmořské výšce), kterou by bylo možno modelovat. Pro přesnější zobrazení pozorované reality by proto byl potřebný výrazně vyšší počet měřicích stanic, než v současné době.

3.2.5 Wetterlagen

3.2.5.1 Klassifikation und Methoden

Neben globalen Faktoren wie der Zunahme von klimarelevanten Treibhausgasen in der Troposphäre sind Charakter und Häufigkeit von Wetterlagen bedeutsam für die langfristige Klimavariabilität der Projektregion. Nicht nur die Witterung bestimmter Zeiträume (Wochen bis Jahreszeiten), auch bestimmte klimatische Änderungssignale (Änderungen von Mittelwerten, Variabilität und Extremen) lassen sich anhand von Schwankungen der Auftretenshäufigkeit und des Charakters bestimmter Wetterlagen erklären. Die atmosphärische Zirkulation ist durch komplexe räumliche und zeitliche Strukturen geprägt. Zu deren Vereinfachung werden charakteristische Zirkulationsmuster definiert und zu einer bestimmten Anzahl an Zirkulationsformen, z. B. Großwetterlagen bzw. Großwettertypen, zusammengefasst. Tab. 3.2.5-1 zeigt die 29 Großwetterlagen bzw. 10 Großwettertypen der hier verwendeten Wetterlagenklassifikation nach Baur et al. (1944), weiterentwickelt durch Hess und Brezowsky (1952). Der zugrunde liegende Wetterlagenkatalog stammt aus der Veröffentlichung von Werner und Gerstengarbe (2010) und wird hier für den Zeitraum 1961–2010 verwendet. In diesem Katalog wurde jedem Tag durch erfahrene Meteorologen eine bestimmte Wetterlage (Mindestdauer 3 Tage) auf Basis täglicher synoptischer Karten zugeordnet. Diese Wetterlagen definieren sich anhand von z. B. Position, Verlagerung und Stärke der vorhandenen Druckzentren und von Warm-, Kalt und Mischfronten (Barry et al., 1973; Yarnal, 1993; Huth et al., 2008).

Im Rahmen des Projektes wurden Karten der Temperatur- (in Kelvin (K); 1 K entspricht 1 °C) und Niederschlagsanomalien (in %) vom langjährigen Mittelwert der Periode 1961–2010 für Winterhalbjahr und Sommerhalbjahr erstellt. Das Kartenmaterial ist nach Projektende im sächsischen Regionalen Klimainformationssystem ReKIS (www.rekis.org) abrufbar. Einige Ergebnisse der Wetterlagenauswertungen sollen an dieser Stelle vorgestellt werden, wobei eine detaillierte Analyse zukünftigen Projekten überlassen werden muss. Die nachfolgenden Abbildungen beschreiben charakteristische Temperatur- und Niederschlagsanomalien regional bedeutsamer Wetterlagen für Winter- und/oder Sommerhalbjahr.

3.2.5.2 Einfluss bedeutsamer Wetterlagen auf Temperatur und Niederschlag

Unser Klima wird durch den Wechsel von maritimer Atlantikluft und kontinentalen Luftmassen charakterisiert. In Tab. 3.2.5-1 sind die Häufigkeiten der Wetterlagen in Winter- und Sommerhalbjahr für den Gesamtzeitraum 1961–2010 aufgeführt. Die in allen Monaten des Jahres im Mittel häufigste Wetterlage ist die zyklonale Westlage (WZ). Weitere häufige und für unser Wettergeschehen wichtige Wetterlagen sind die zyklonalen Südwest- (SWZ) und Nordwestlagen (NWZ), die Wetterlagen mit einem Hochdruckgebiet (HM) oder einer Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (BM) und die Troglagen (TRM, TRW).

Insgesamt ist der Zustrom atlantischer Luftmassen nach Mitteleuropa im Winterhalbjahr deutlich stärker ausgeprägt als im Sommerhalbjahr. Im langjährigen Mittel 1961–2010 strömen im Winterhalbjahr fast an jedem zweiten Tag Luftmassen aus süd-

3.2.5 Povětrnostní situace

3.2.5.1 Klasifikace a metody

Kromě globálních faktorů, jako je např. nárůst koncentrací troposférických skleníkových plynů, ovlivňuje variabilitu klimatu v regionálním měřítku také četnost výskytu a charakter jednotlivých synoptických povětrnostních situací. Výkyvy jejich četnosti a projevy lze vysvětlit nejen typické počasí na střednědobé časové škále (týdny až roční období), alei také jistou část signálu klimatické změny (změny průměrných hodnot, extrémů a variability). Atmosférická cirkulace je vysoce komplexní jev probíhající na rozmanitých prostorových i časových škálách. Pro zjednodušení jejího popisu se v meteorologii definují cirkulační typy, které na základě podobnosti zobecňují podobu atmosférické cirkulace a které nazýváme synoptickými povětrnostními situacemi. V tab. 3.2.5-1 je uvedeno 29 synoptických povětrnostních situací a 10 nadřazených typů počasí dle klasifikace popsané v Baur et al. (1944) a dále rozvinuté Hessem a Brezowským v roce (1952). Základem pro rozřídění počasí v období 1961–2010 do jednotlivých cirkulačních typů je katalog synoptických jevů, který pochází z publikace Wernera a Gerstenbargeho (2010). Zkušenosti meteorologové přiřadili v tomto katalogu na základě denních synoptických map každému dni určitou synoptickou povětrnostní situaci (minimální délka trvání 3 dny). Definice povětrnostní situace vycházela například z polohy, postupu a síly tlakových útvarů a s nimi spjatých teplých, studených a okluzních front (Barry et al., 1973; Yarnal, 1993; Huth et al., 2008).

V rámci projektu jsme pro zimní a letní půlrok připravili mapy teplotních (v K, Kelvin+ 1 K odpovídá 1 °C) a srážkových anomálií (v %) ve vztahu k dlouhodobým průměrným hodnotám pro období 1961–2010 a to pro každou povětrnostní situaci uvedenou v tab. 3.2.5-1 I po skončení projektu budou tyto mapy k dispozici v saském regionálním klimatickém informačním systému ReKIS (www.rekis.org). Některé z dosažených výsledků představíme v této části publikace. Podrobnější analýzu ale přenecháváme pro některý z budoucích projektů. Na následujících obrázcích ukazujeme charakteristické teplotní a srážkové anomálie spjaté s regionálně významnými synoptickými cirkulačními typy pro zimní a / nebo letní půlrok.

3.2.5.2 Vliv významných povětrnostních situací na teplotu a srážky

Podnebí ve střední Evropě je charakterizováno častým střídáním mořských a kontinentálních vzduchových hmot. V tab. 3.2.5-1 je uvedena četnost synoptických povětrnostních situací během zimního a letního poleť za celé období 1961–2010. V průměru nejčetnější povětrnostní situací je ve všech měsících roku západní cyklonální situace (WZ). Dalšími častými a pro naše počasí důležitými povětrnostními situacemi jsou jihozápadní (SWZ) a severozápadní (NWZ) cyklonální situace, povětrnostní situace s oblastí vysokého tlaku vzduchu (HM) nebo hřebenem vysokého tlaku nad střední Evropou (BM) a brázdou nízkého tlaku nad střední či západní Evropou (TRM, TRW).

Přísun atlantických vzduchových hmot do střední Evropy je celkově výraznější během zimního půlroku. V dlouhodobém průměru let 1961–2010 přichází nad naše území během zimního půl-

Tab. 3.2.5-1: Systematik der Großwettertypen und Großwetterlagen und deren Auftretenshäufigkeiten im Zeitraum 1961–2010 in Winterhalbjahr (WHJ) und Sommerhalbjahr (SHJ); die häufigsten acht Wetterlagen mit einer jährlichen Auftretenshäufigkeit über 4 % sind grau unterlegt.

Tab. 3.2.5-1: Typy počasí a typizace povětrnostních situací včetně četnosti jejich výskytu v letech 1961–2010 během zimního a letního půlroku; nejčastějších osm povětrnostních situací s roční četností výskytu nad 4 % je podbarveno šedě.

Großwettertypen (GWT) typy počasí		Häufigkeit [%] Četnost [%]		Großwetterlagen (GWL) Synoptická povětrnostní situace		Häufigkeit [%] Četnost [%]	
		WHJ Zimní pololetí	SHJ Letní pololetí			WHJ Zimní pololetí	SHJ Letní pololetí
W	West Západní	30	22	WA	Westlage, anticyklonal Západní proudění, anticyklonální	5,1	5,4
				WZ	Westlage zyklonal Západní proudění, cyklonální	18,5	13,9
				WS	Südliche Westlage Jižní západní proudění	3,7	1,6
				WW	Winkelförmige Westlage Západní proudění s blokací na východě	3	1,4
SW	Südwest Jihozápadní	8	7	SWA	Südwestlage, anticyklonal Jihozápadní proudění, anticyklonální	3,6	2,5
				SWZ	Südwestlage, zyklonal Jihozápadní proudění, cyklonální	4,6	4,7
NW	Nordwest Severozápadní	8	6	NWA	Nordwestlage, anticyklonal Severozápadní proudění, anticyklonální	2,2	2,2
				NWZ	Nordwestlage, zyklonal Severozápadní proudění, cyklonální	6,3	4,2
HME	Hoch Mitteleuropa Tlaková výše nad střední	16	17	HM	Hoch Mitteleuropa Tlaková výše nad střední	6,7	5,3
				BM	Hochdruckbrücke Mitteleuropa Hřeben vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou	9,4	11,9
TME	Tief Mitteleuropa Tlaková níže nad střední Evropou	1	3	TM	Tief Mitteleuropa Tlaková níže nad střední Evropou	1,3	2,6
N	Nord Severní	14	17	NA	Nord, anticyklonal Severní proudění, anticyklonální	0,4	0,9
				NZ	Nordlage, zyklonal Severní proudění, cyklonální	2,5	2,3
				HNA	Hoch Nordmeer, anticyklonal Oblast vysokého tlaku vzduchu nad Severním mořem, anticyklonální	1,5	2,6
				HNZ	Hoch Nordmeer, zyklonal Oblast vysokého tlaku vzduchu nad Severním mořem, cyklonální	1,3	2,2
				HB	Hoch Britische Inseln Oblast vysokého tlaku vzduchu nad britskými ostrovy	3	3,4
				TRM	Trog Mitteleuropa Brázda nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou	5,3	5,8
NE	Nordost Severovýchodní	1	4	NEA	Nordostlage, anticyklonal Severovýchodní proudění, anticyklonální	0,5	1,8
				NEZ	Nordostlage, zyklonal Severovýchodní proudění, cyklonální	0,8	2
E	Ost Východní	7	9	HFA	Hoch Fennoskandien, anticyklonal Oblast vysokého tlaku vzduchu Skandinávií, anticyklonální	2,5	3,2
				HFZ	Hoch Fennoskandien, zyklonal Oblast vysokého tlaku vzduchu Skandinávií, cyklonální	1,3	1,8
				HNFA	Hoch Nordmeer-FS, anticyklonal Oblast vysokého tlaku vzduchu nad Severním mořem-FS, anticyklonální	1	1,9
				HNFZ	Hoch Nordmeer-FS, zyklonal Oblast vysokého tlaku vzduchu nad Severním mořem-FS, anticyklonální	1,9	2,4
SE	Südost Jihovýchodní	5	2	SEA	Südostlage, anticyklonal Jihovýchodní proudění, anticyklonální	2,8	1,1
				SEZ	Südostlage, zyklonal Jihovýchodní proudění, cyklonální	1,8	0,7
S	Süd Jižní	8	12	SA	Südlage, anticyklonal Jižní proudění, anticyklonální	2	1,1
				SZ	Südlage, zyklonal Jižní proudění, cyklonální	1,3	0,3
				TB	Tief Britische Inseln Tlaková níže nad britskými ostrovy	1,5	2,8
				TRW	Trog Westeuropa Brázda nízkého tlaku vzduchu nad západní Evropou	3,3	7,5

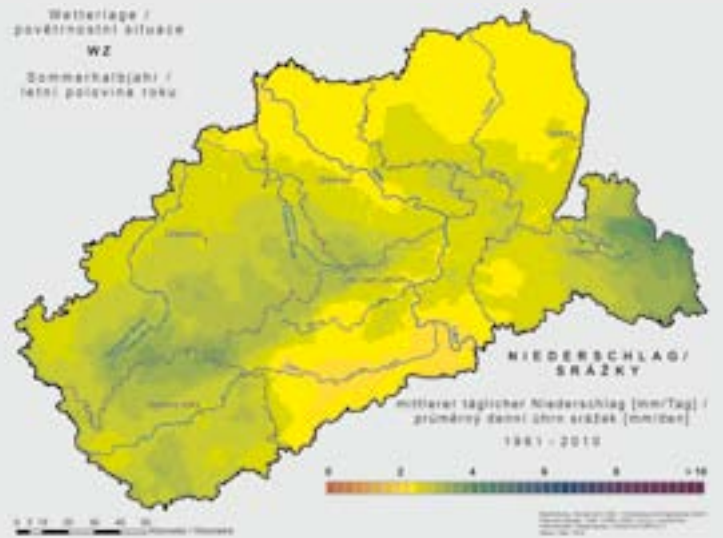
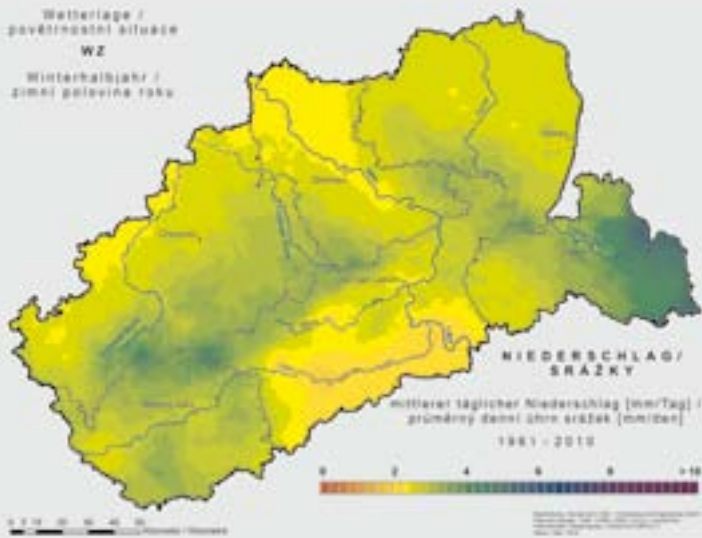
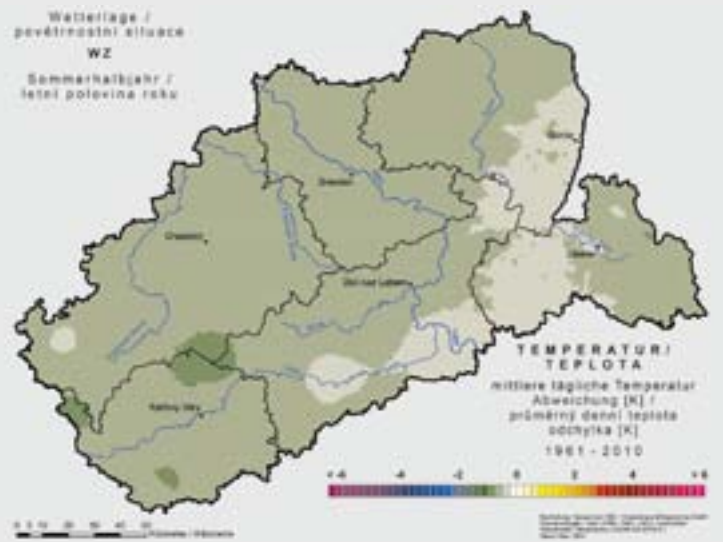
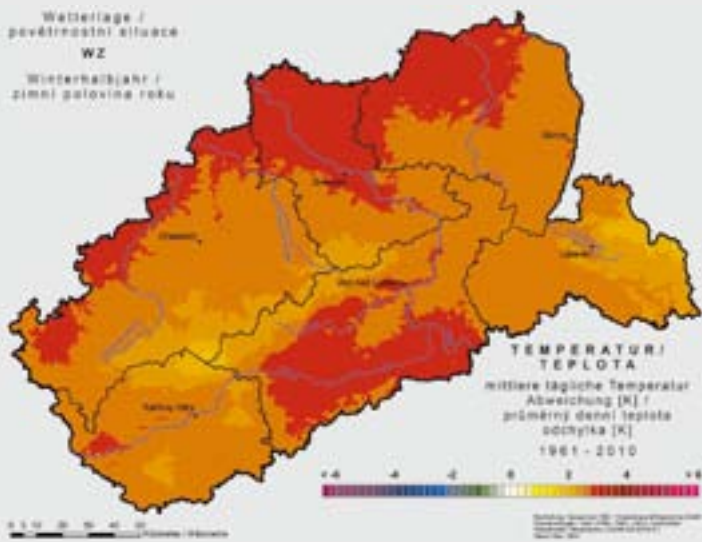


Abb. 3.2.5-1: Anomalien der Lufttemperatur vom langjährigen Mittel 1961–2010 und mittlere tägliche Niederschlagsmengen im Projektgebiet in Winter- und Sommerhalbjahr für die WZ

Obr. 3.2.5-1: Anomálie teploty vzduchu ve vztahu k dlouhodobému průměru let 1961–2010 a průměrné denní množství srážek v zájmovém území projektu během zimního a letního pololetí pro západní cyklonální situaci

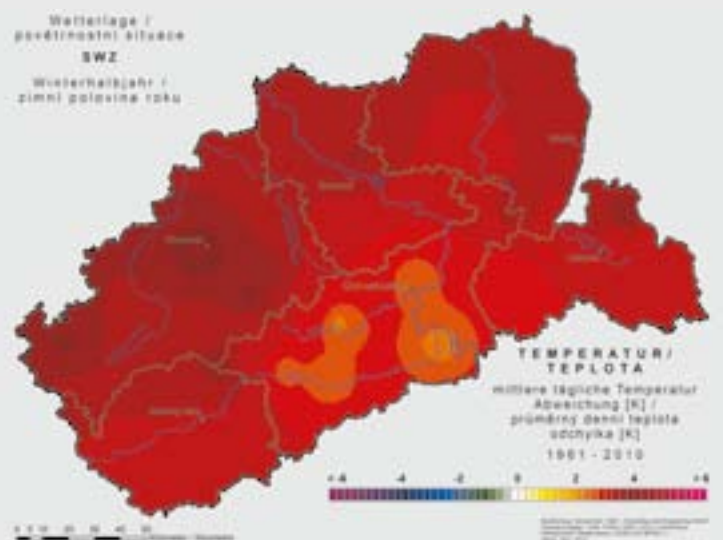
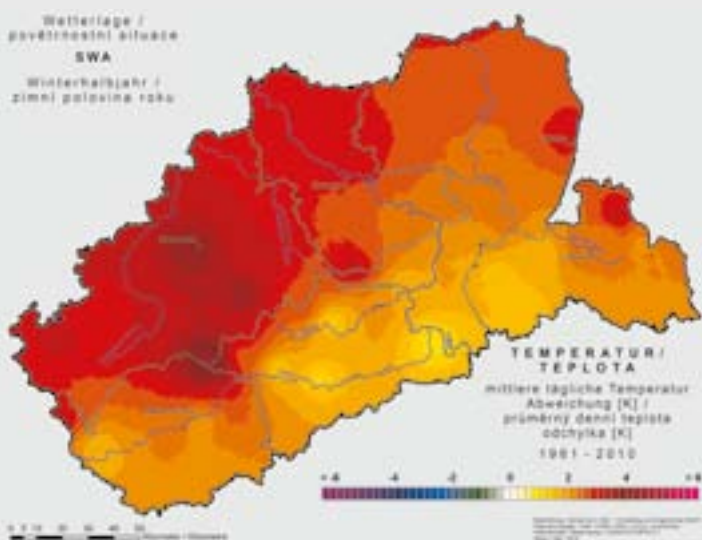


Abb. 3.2.5-2: Anomalien der Lufttemperatur vom langjährigen Mittel 1961–2010 im Projektgebiet während SWA und SWZ

Obr. 3.2.5-2: Anomálie teploty vzduchu ve vztahu k dlouhodobému průměru 1961–2010 v zájmovém území projektu během jihozápadních situací

westlicher, westlicher oder nordwestlicher Richtung in das Projektgebiet ein und sorgen für einen wechselhaften Witterungscharakter, während im Sommerhalbjahr atlantische Luftmassen nur an ca. jedem dritten Tag vorherrschen. Nachfolgend soll anhand einiger Beispiele die räumliche und zeitliche Variabilität der Temperatur- und Niederschlagsanomalien während bestimmter Wetterlagen im Projektgebiet beleuchtet werden.

- Zyklonale Westlage (WZ), Abb. 3.2.5-1

Unsere häufigste Wetterlage ist durch eine intensive atlantische Tiefdrucktätigkeit gekennzeichnet, in deren Folge das Projektgebiet immer wieder von durchziehenden Frontensystemen beeinflusst wird. Während der WZ herrschen im Winter milde, im Sommer kühle Temperaturen vor. Die winterliche Wärmeanomalie ist im Flachland stärker als im Bergland ausgeprägt, was in der nur geringen Inversionsneigung der Wetterlage sowie Stauwirkungen im Bergland begründet liegt. Aufgrund ihrer Häufigkeit ist die WZ ein bedeutsamer Niederschlagslieferant. Atlantische Tiefausläufer führen feuchte Luftmassen heran, so dass es immer wieder zu Niederschlägen kommt, die auch kräftiger ausfallen können. Deren mittlere regionale Verteilung gestaltet sich in den Halbjahren ähnlich. Ausgeprägte Hochwasserereignisse sind im Zusammenhang mit der WZ im Projektgebiet jedoch nicht zu erwarten.

- Südwestlagen (SWA und SWZ), Abb. 3.2.5-2

Südwestlagen führen ganzjährig sehr milde Luftmassen aus Südwesteuropa und Nordwestafrika in die Region. Im Winterhalbjahr treten jedoch insbesondere während der SWA ausgeprägte regionale Temperaturunterschiede auf, die durch die unterschiedliche Verteilung der Gebiete mit Inversionsbedingungen begründet sind. Inversionen, die Umkehr der normalen Temperaturabnahme mit der Höhe, entstehen durch geringe Sonneneinstrahlung und hohe nächtliche Ausstrahlung. So liegen die Temperaturen im weitgehend inversionsfreien West- und Mittelsachsen (ggf. noch verstärkt durch Föhnwind) daher im Zuge von Südwestlagen im Mittel um 4 bis 5 °C über den langjährigen Mittelwerten. Im Böhmischem Becken herrschen dagegen deutlich häufiger kalte Temperaturen mit Nebel und Hochnebel vor, so dass hier die Werte im Winterhalbjahr nur um ca. 2 °C über den langjährigen Mittelwerten liegen. Auf den Karten gut zu erkennen ist auch die geringere Wärmeanomalie im sächsischen Grenzland vom Ostergebirge bis zum Zittauer Gebirge. Hier weht bei Südwest-, Süd- und Südostlagen vielfach der kalte Böhmisches Wind (Kap. 3.2.4).

- Zyklonale Nordwestlage (NWZ), Abb. 3.2.5-3

Feuchte Luftmassen aus dem Nordatlantik strömen bei der NWZ gegen die Kammlagen der Mittelgebirge im Grenzraum und des Riesengebirges und werden zum Aufsteigen gezwungen, weshalb die NWZ im Gebirge, insbesondere im Winterhalbjahr, die kräftigsten Niederschläge bringt. Die Niederschlagsmengen der windabgewandten nordböhmisches Gebiete sind hingegen gering. Die NWZ ist grenzüberschreitend die windreichste Wetterlage im Projektgebiet. Sie hat im Sommerhalbjahr sehr kühle Luftmassen im Gepäck, während sich die Abweichungen im Winter moderater gestalten.

roku téměř každý druhý den vzdušné hmoty z jihozápadního, západního a severozápadního směru a způsobují proměnlivý charakter počasí. Během letního pololetí převládají atlantické vzdušné hmoty pouze každý cca třetí den. Na následujících vybraných příkladech ilustrujeme prostorovou a časovou variabilitu teplotních a srážkových anomálií během vybraných povětrnostních situací nad našim územím.

- Západní cyklonální situace (WZ), obr. 3.2.5-1

Vůbec nejčastější povětrnostní situace se vyznačuje silnou cyklonální aktivitou nad Atlantikem. V důsledku toho je naše území opakovaně ovlivňováno přecházejícími frontálními systémy. Během západní cyklonální situace převládají v zimě mírné, v létě naopak chladné teploty. Kladná teplotní anomálie je v zimě v nížinách výraznější nežli v horských oblastech. Důvodem je jednak pouze malá tendence k tvorbě teplotních inverzí v průběhu této situace a doprovodným vypadáváním srážek, jejichž je díky své četnosti významným zdrojem. Podél jednotlivých brázd nízkého tlaku vzduchu je z Atlantiku přiváděn vlhký vzduch a v důsledku toho dochází k opakovanému výskytu srážek, leckdy i silnějších. Jejich průměrné plošné rozdělení je v obou půlrocích podobné. Výrazné povodňové události se však v souvislosti se západní cyklonální situací nedají v zkoumaném území očekávat.

- Jihozápadní proudění (SWA a SWZ), obr. 3.2.5-2

Jihozápadní proudění přivádí do regionu vzdušné hmoty z severozápadní Evropy a severozápadní Afriky po celý rok. Během zimního půlroku se však především během jihozápadního anticyklonálního proudění vyskytují výrazné regionální teplotní rozdíly. Jejich příčinou jsou rozdílné podmínky pro vznik teplotní inverze. Teplotní inverze, při nichž dochází místo běžného poklesu teploty s výškou k jejímu růstu, vznikají v důsledku nízkého slunečního záření v průběhu dne a vysokého nočního tepelného vyzařování. Teploty v západním a středním Sasku se tak během jihozápadních situací nacházejí průměrně o 4 až 5 °C nad dlouhodobým průměrem, neboť se zde nevyskytuje teplotní inverze. V tomto případě může být oteplení ještě zesíleno vlivem fénu. Naproti tomu v České kotlině často převládají výrazně chladné teploty s výskytem mlhy a nízké oblačnosti. V důsledku toho se zde hodnoty během zimního půlroku pohybují pouze o cca 2 °C nad dlouhodobým průměrem. Na mapách jsou dobře patrné i menší teplotní anomálie v saském pohraničí od východního Krušnohoří až po Žitavské hory. V případě jihozápadních, jižních a jihovýchodních situací zde totiž často vane studený tzv. »Český vítr« (kap. 3.2.4).

- Severozápadní cyklonální situace (NWZ), obr. 3.2.5-3

Za této povětrnostní situace proudí chladný vzduch ze severního Atlantiku přes horské hřebeny v pohraničí a v Krkonoších a je nucen stoupat. Proto přináší severozápadní cyklonální situace v horách především v zimním pololetí nejsilnější srážky. Množství srážek na závětrné straně severních Čech je oproti tomu nízké. Severozápadní cyklonální situace je také v našem území spjata s nejvyššími rychlostmi větru. Během letního pololetí s sebou přináší velmi chladné vzdušné hmoty, zatímco v zimě jsou teplotní anomálie mírnější.

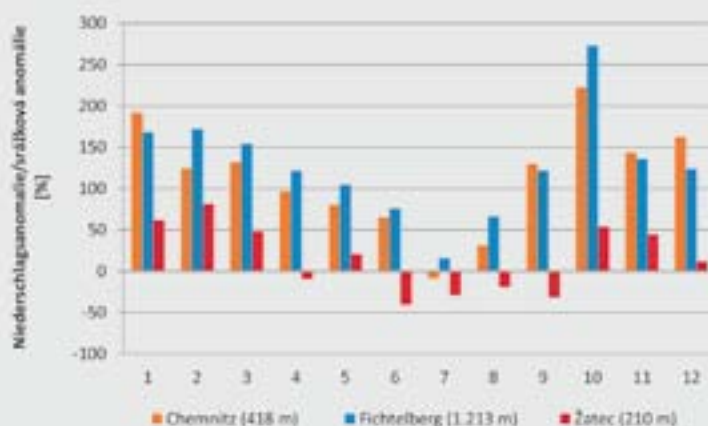
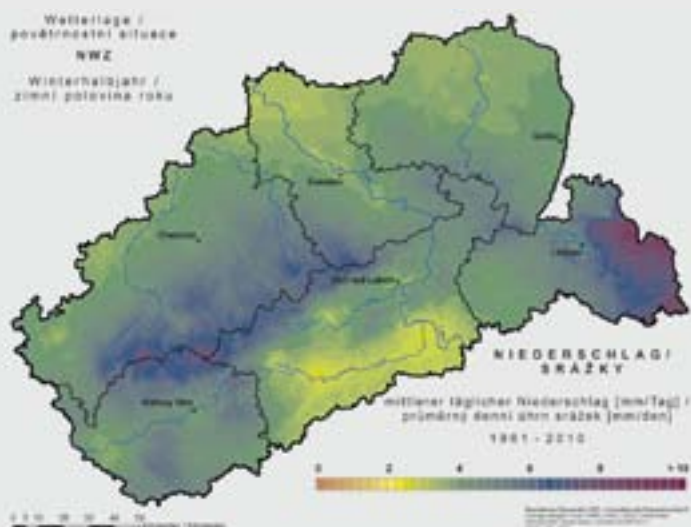
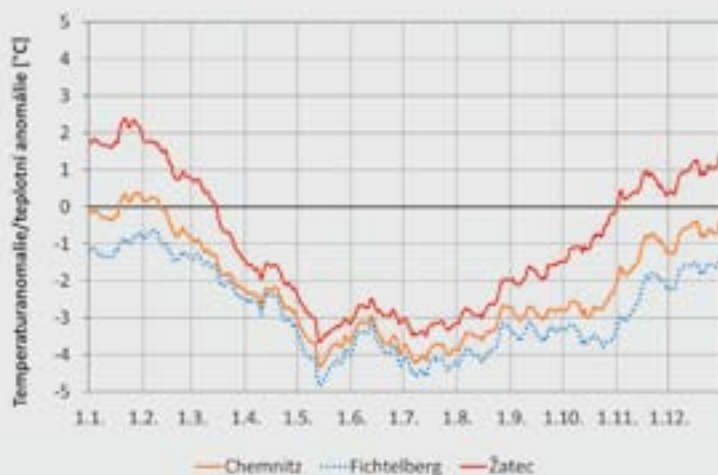
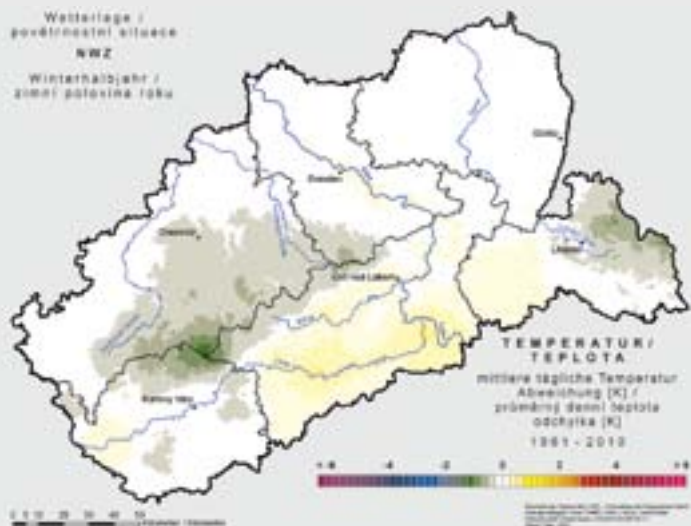


Abb. 3.2.5-3: Wetterlage NWZ – a) mittlere Anomalien der Lufttemperatur im Winterhalbjahr, b) mittlere Anomalien der Lufttemperatur vom langjährigen Mittel (1961–2010) im Jahresgang (31-tägiges gleitendes Mittel), c) mittlere tägliche Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr, d) mittlere monatliche Anomalien der Niederschlagsmenge von den langjährigen Monatsmitteln (1961–2010) im Jahresgang; von oben links nach unten rechts

Obr. 3.2.5-3: Severozápadní cyklonální situace (NWZ) – a) průměrné anomálie teploty vzduchu v zimním půlroce, b) roční chod průměrné anomálie teploty vzduchu ve vztahu k dlouhodobému průměru (1961–2010) (31denní klouzavý průměr), c) průměrné denní množství srážek během zimního půlroce, d) roční chod průměrné měsíční anomálie množství srážek ve vztahu k dlouhodobým měsíčním průměrům (1961–2010). Ze shora vlevo dolů vpravo.

Im Vergleich von Südwest- und Nordwestlagen offenbaren sich beachtliche und z.T. erstaunliche regionale Phänomene. So gehen in Sachsen nordwestliche Anströmungen im westlichen und mittleren Erzgebirge und Erzgebirgsvorland mit deutlich sichtbaren Stauwirkungen einher, die sich dort neben hohen Niederschlagsmengen in einem stark ausgeprägten Temperaturgradienten von Tief- zu Bergland manifestieren. Im Lee des Erzgebirges auf der böhmischen Seite wird die winterliche Temperaturinversion dagegen durch die windreichen Nordwestlagen (im Gegensatz zu den Südwestlagen) zumeist ausgeräumt. Im Böhmischem Becken (z. B. in Žatec) sind Nordwestlagen im Januar daher im Mittel sogar um ca. 1 °C wärmer als Südwestlagen – im Gegensatz zu

Při srovnání jihozápadních a severozápadních situací se ukazují významné a zčásti i překvapivé regionální zvláštnosti. Severozápadní proudění v západních a středních Krušných horách a jejich saském podhůří je doprovázeno výrazným zesílením srážek a větším teplotním rozdílem mezi nížinou a horskými oblastmi. Na závětrné straně Krušných hor na české straně většinou vede tato situace díky silnému proudění k rozrušení zimní teplotní inverze (oproti jihozápadním situacím). V České kotlině (například v Žatci) je proto severozápadní proudění v lednu v průměru dokonce o cca 1 °C teplejší, než jihozápadní proudění – na rozdíl od většiny ostatních oblastí, v nichž se jihozápadní proudění v porovnání se severozápadním směrem projevuje lokálním oteplením.

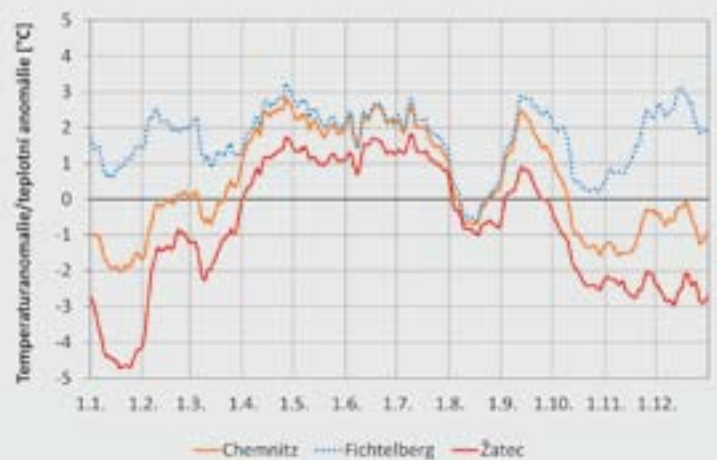
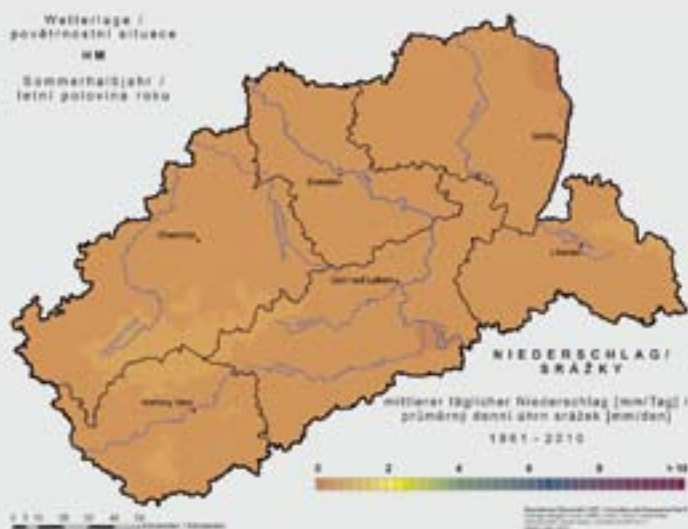
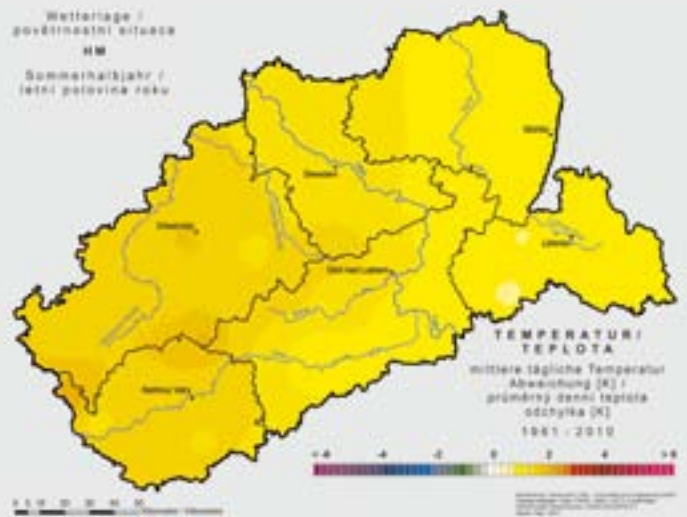
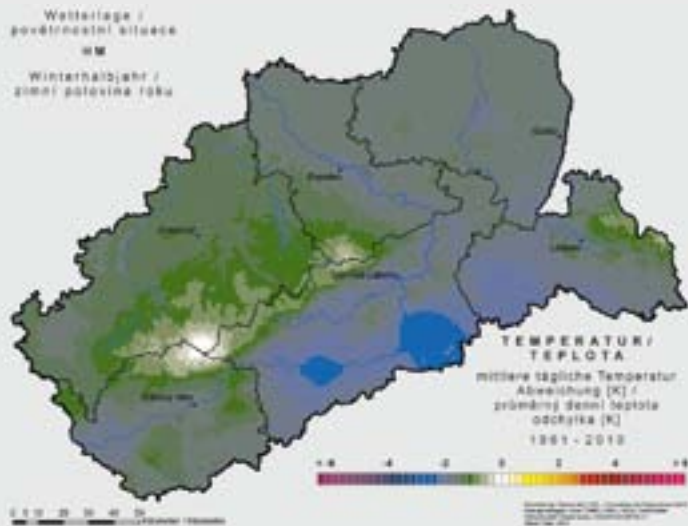


Abb. 3.2.5-4: Wetterlage HM – a) mittlere Anomalien der Lufttemperatur in Winter- und Sommerhalbjahr, b) mittlere tägliche Niederschlagsmengen im Sommerhalbjahr und c) mittlere Anomalien der Lufttemperatur vom langjährigen Mittel (1961–2010) im Jahresgang (31-tägiges gleitendes Mittel) von oben links nach unten rechts

Obr. 3.2.5-4: Povětrnostní situace oblasti vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou (HM) – a) průměrná anomálie teploty vzduchu v zimním a letním půlroce, b) průměrné denní množství srážek během letního půlroce a c) roční chod průměrné anomálie teploty vzduchu ve vztahu k dlouhodobému průměru (1961–2010) (klouzavý 31denní průměr). Ze shora vlevo dolů vpravo

allen anderen Gebieten, wo sich südwestliche im Vergleich zu nordwestlichen Anströmrichtungen immer deutlich wärmer auf das lokale Klima auswirken.

- Hochdruckgebiet über Mitteleuropa (HM), Abb. 3.2.5-4
Über Mitteleuropa positionierte Hochdruckgebiete sorgen für ruhige und sehr trockene Wetterabschnitte. Während sogenannter Omega-Situationen, lange und stabile Phasen blockierender Hochdruckgebiete über Mitteleuropa, fallen zum Teil über Wochen nur wenig oder gar keine Niederschläge. Solche Wettersituationen waren in der Vergangenheit an bedeutenden Dürreereignissen beteiligt.

- Oblast vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou (HM), obr. 3.2.5-4

Oblasti vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou zajišťují klidné a velmi suché počasí. Během těchto situací, kdy se dlouhou a stabilně udržuje oblast vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou, se i po dobu několika týdnů nevyskytnou žádné, nebo pouze velmi malé srážky. Takovéto povětrnostní situace vedly v minulosti k významným obdobím sucha.

V zimním půlroce na hřebenech Krušných hor a Krkonoš nad teplotní inverzí svítí Slunce a umocňuje kladné teplotní anomálie, zatímco v nížinách Saska a ještě více v České kotlině převládají nízké teploty. V letním půlroce přináší tato situace častý a dlouhý

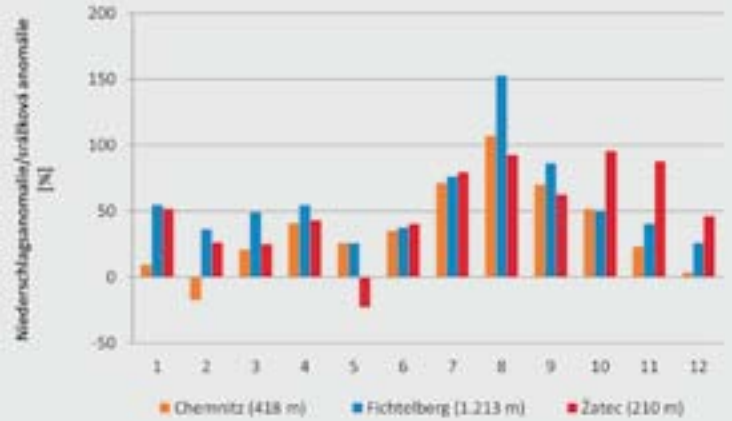
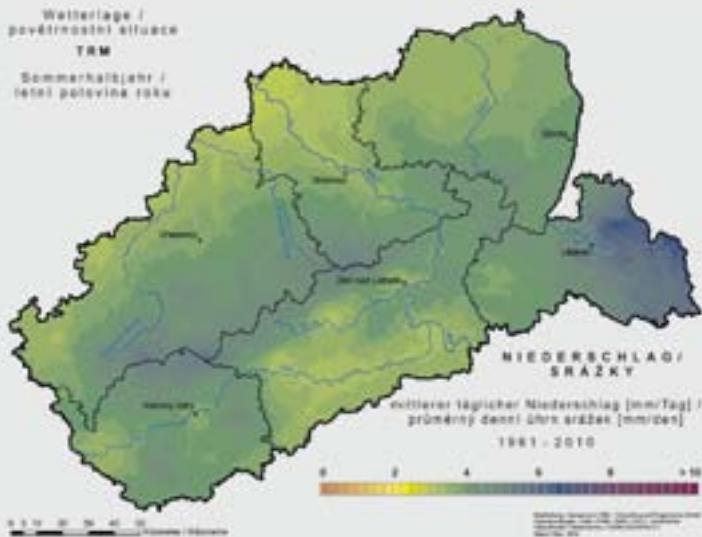


Abb. 3.2.5-5: Wetterlage TRM – mittlere tägliche Niederschlagsmengen im Sommerhalbjahr und mittlere monatliche Anomalien der Niederschlagsmenge von den langjährigen Monatsmitteln (1961–2010)

Obr. 3.2.5-5: Brázda nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou – průměrné denní množství srážek během letního půlroku a průměrné měsíční anomálie množství srážek ve vztahu k měsíčním průměrům (1961–2010)

Im Winterhalbjahr scheint die Sonne in den Kammlagen von Erzgebirge und Riesengebirge oberhalb der Inversionsschicht und fördert positive Temperaturanomalien, während im sächsischen Flachland und deutlich stärker ausgeprägt im Böhmischem Becken niedrige Temperaturen vorherrschen. Im Sommerhalbjahr scheint die Sonne häufig und lang und sorgt für positive Temperaturanomalien relativ unabhängig von der Höhenlage. Der hier erkennbare West-Ost-Gradient resultiert aus der mittleren Lage des Hochdruckzentrums.

- Trog über Mitteleuropa (TRM), Abb. 3.2.5-5

Ein Trog erstreckt sich während der TRM von Nordeuropa bis in das Projektgebiet und führt auf seiner Westseite Tiefdruckgebiete bis in den Mittelmeerraum, von wo sie über das Projektgebiet oder östlich davon wieder nach Norden wandern. Die TRM ist aufgrund ihres Gefährdungspotentials eine der für uns bedeutsamsten Wetterlagen. Die größten 24-stündigen Niederschlagsmengen der Stationen im Projektgebiet traten (mit Ausnahme von lokalen Gewitterereignissen) zumeist in Zusammenhang mit dieser Wetterlage auf, und fast alle ereigneten sich in der ersten Augushälfte (8. August 1978, 12. August 2002, 7. August 2010). Die mittleren täglichen Niederschlagshöhen der Stationen sind ganzjährig überdurchschnittlich, insbesondere aber in der Vegetationsperiode 2. Im August sind die potentielle Feuchtigkeit und damit die potentielle Niederschlagsmenge, die an der Ostseite des Troges gen Norden geführt wird, aufgrund der Kombination von hohen Wassertemperaturen des Mittelmeeres und sommerlichen Bedingungen in Mitteleuropa am höchsten.

Tendenziell nimmt die Niederschlagsmenge bei der TRM von West nach Ost – entgegen der mit zunehmender Kontinentalität üblicherweise beobachteten Niederschlagsabnahme – aufgrund

sluneční svit, což se projevuje na kladných teplotních odchylkách relativně nezávisle na nadmořské výšce.

Rozeznatelný gradient západ – východ vyplývá ze střední polohy centra vysokého tlaku vzduchu.

- Brázda nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou (TRM), obr. 3.2.5-5

Brázda nízkého tlaku vzduchu se během této povětrnostní situace táhne od severní Evropy až nad naše území. Po své západní straně přivádí vzduch až do oblasti Středomoří, odkud se dále přesouvá zpět na sever přes naše území nebo východně od něj. V našem regionu se jedná o jednu z nejvýznamnějších povětrnostních situací a to z důvodů rizika, které s sebou přináší. Největší 24ti hodinové množství srážek na stanicích v česko-saském pohraničí se vyskytly (s výjimkou lokálních bouřek) většinou v souvislosti s touto povětrnostní situací a téměř všechny se odehrály během první poloviny srpna (8. srpna 1978, 12. srpna 2002, 7. srpna 2010). Průměrné denní srážky na stanicích jsou celoročně nadprůměrné, především však během vegetačního období 2 (červenec – září). Množství vlhkosti a tím i potenciální množství srážek, které je přiváděno po východní straně brázdy nízkého tlaku, je z důvodů kombinace vysokých teplot vody ve Středozemním moři a letních podmínek ve střední Evropě v srpnu nejvyšší. Oproti poklesu srážek, který je většinou pozorován s narůstající kontinentalitou, stoupá při výskytu brázdy nízkého tlaku množství srážek od západu na východ. Je to způsobeno střední polohou brázdy nad východní střední Evropou a ovlivněním tlakovou níží typu Vb na východě. Extrémní množství srážek (často spojeno s dráhami postupu tlakových níží typu Vb) souvisí ve východním Sasku cca s každým pátým případem brázdy nízkého tlaku vzduchu, zatímco v západním Sasku pouze v každém desátém přípa-

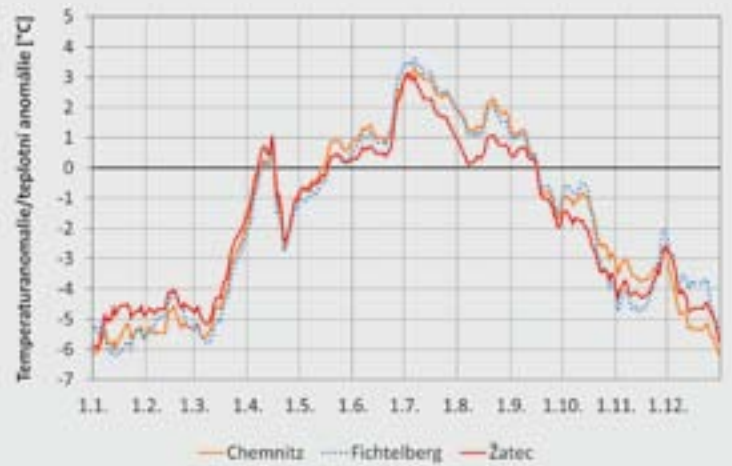
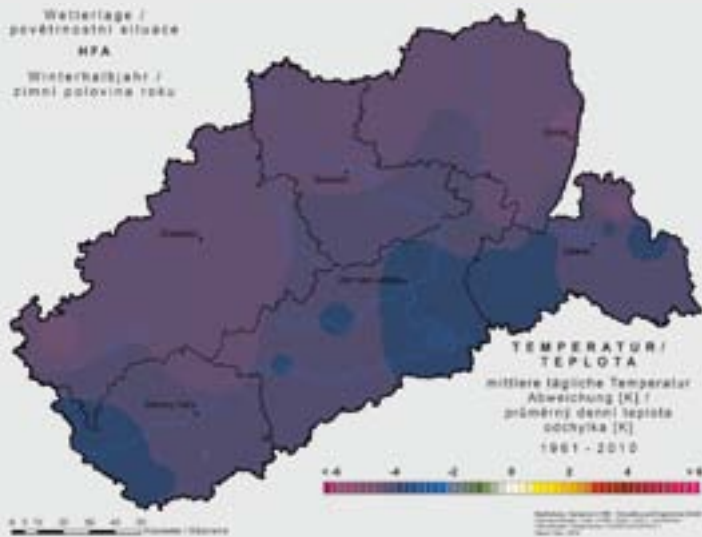


Abb. 3.2.5-6: Wetterlage HFA – mittlere Anomalien der Lufttemperatur in Winterhalbjahr und mittlere Anomalien der Lufttemperatur vom langjährigen Mittel (1961–2010) im Jahresgang (31-tägiges gleitendes Mittel)

Obr. 3.2.5-6: Povětrnostní situace – oblast vysokého tlaku vzduchu nad Finskem a Skandinávií (HFA) – průměrná anomálie teploty vzduchu v zimním půlroce a roční chod průměrné anomálie teploty vzduchu ve vztahu k dlouhodobému průměru (1961–2010) (31denní klouzavý průměr)

der mittleren räumlichen Lage des Trogs über dem östlichen Mitteleuropa und durch die im Osten stärkere Beeinflussung durch sog. Vb-Wetterlagen zu. Extreme Niederschlagsmengen (häufig verbunden mit Vb-artigen Tiefdruckzugbahnen) stehen in Ostsachsen in ca. jedem 5. Fall mit der TRM in Verbindung, während dies in Westsachsen nur in jedem 10. Fall so ist. Troglagen über Westeuropa (TRW) entfalten in Westsachsen eine ähnliche Wetterwirksamkeit wie die TRM, während ihre Bedeutung in Ostsachsen geringer ist. Insgesamt kann ca. jedes 4. Starkniederschlagsereignis im Sommerhalbjahr auf Troglagen zurückgeführt werden.

- Hochdruckgebiet über Fennoskandien (HFA), Abb. 3.2.5-6 Die HFA ist durch ein kräftiges Hochdruckgebiet über Fennoskandien gekennzeichnet, auf dessen Ostseite sehr trockene Luftmassen bei uns einströmen. Die Wetterlage gehört von November bis März zu den kältesten, im Juli zu den wärmsten Wetterlagen im Projektgebiet. Im Mittel des Winterhalbjahrs ist die HFA flächendeckend um über 4 °C zu kalt, während sie im Sommerhalbjahr überall etwas wärmer als das langjährige Mittel dieses Zeitraums ist. Die Nord-Süd und Tal-Berg-Unterschiede sind dabei marginal, von Nord nach Süd lässt die Kälte aufgrund der abnehmenden Kontinentalität der Wetterlage im Winterhalbjahr etwas nach, im Sommerhalbjahr ist dies eher umgekehrt.

3.2.5.3 Wetterlageneigenschaften und Veränderungen der Auftretenshäufigkeit

Die Häufigkeit von Wetterlagen variiert auf kleinen und großen Zeitskalen. Die vergangenen 50 Jahre waren durch bedeutsame Veränderungen der Häufigkeit einzelner Wetterlagen gekennzeichnet. Veränderungen der Niederschlagsmengen im Projektgebiet lassen

dě. Brázdy nízkého tlaku vzduchu nad západní Evropou (TRW) mají v západním Sasku podobný vliv na počasí, jako brázdy nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou, ale ve východním Sasku je jejich význam nižší. Celkově je cca každá čtvrtá silná srážka během letního půlroku zapříčiněna výskytem brázdy nízkého tlaku vzduchu.

- Oblast vysokého tlaku vzduchu nad Finskem a Skandinávií (HFA), obr. 3.2.5-6

Tato situace se vyznačuje přítomností silné oblasti vysokého tlaku vzduchu nad Finskem a Skandinávií, po jejíž východní straně k nám proudí velmi suchý vzduch. Tato situace u nás patří



Abb. 3.2.5-7: Anteil antizyklonaler Wetterlagen im Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2010 (31-tägiger gleitender Mittelwert)

Obr. 3.2.5-7: Podíl anticyklonálních povětrnostních situací v porovnání let 1961–1990 a 1991–2010 (31denní klouzavý průměr)

sich in einem ersten Schritt gut anhand der innerjährlichen Veränderung der Anteile zyklonaler (Tiefdruckeinfluss) und antizyklonaler Wetterlagen (Hochdruckeinfluss) erklären (Abb. 3.2.5-7). Von Ende März bis Mitte Mai nahm der Hochdruckeinfluss besonders stark zu und erklärt den dramatischen Niederschlagsrückgang im April sowie in der Vegetationsperiode 1 (unser typisches »Aprilwetter« – wechselhaftes und kühles Schauerwetter, trat in den vergangenen 20 Jahren immer weniger auf). Die Niederschlagszunahme in der Vegetationsperiode 2 sowie generell in Sommer und Herbst ging hingegen mit einer Zunahme des Tiefdruckeinflusses einher.

během listopadu až března k nejchladnějším, v červenci naopak k nejteplejším. V průměru zimního pololetí je tato situace plošně o více než 4 °C chladnější, zatímco během letního půlroku je na celém území o něco teplejší, než činí dlouhodobý průměr tohoto období. Rozdíly mezi severem a jihem území jakož i mezi nížinami a vrcholky hor jsou zanedbatelné. V severo-jížním směru chlad nepatrně klesá patrně z důvodů klesající kontinentality této situace během zimního půlroku, zatímco v létě je tomu spíše opačně.

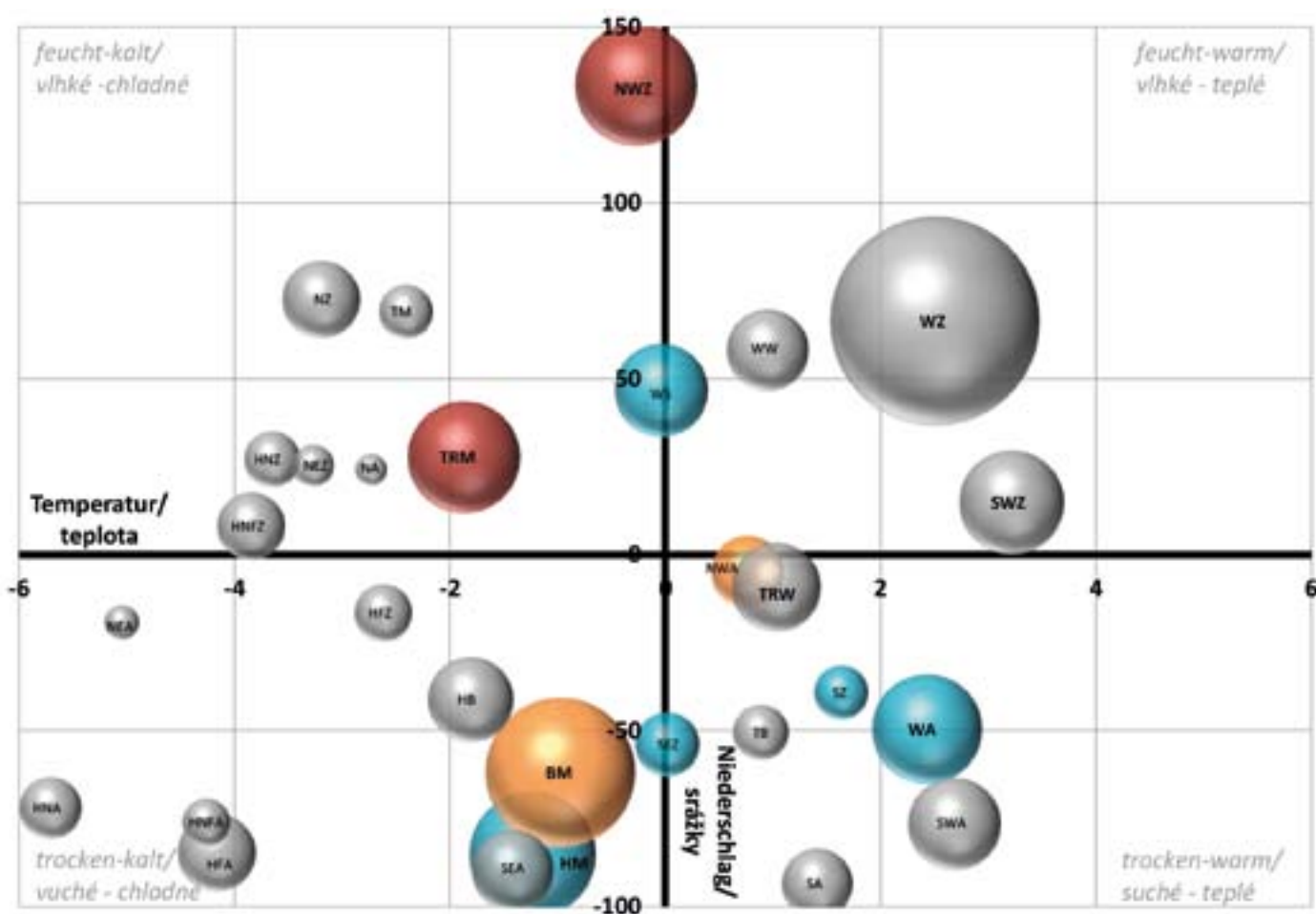


Abb. 3.2.5-8: Thermopluviogramm der Großwetterlageneigenschaften im Projektgebiet für das Winterhalbjahr

Erläuterung: der Standort der Blasen ergibt sich aus der mittlere Anomalie der Lufttemperatur (in °C) und des Niederschlags (in mm) für die 29 Großwetterlagen; die Größe der Blasen gibt die relative Häufigkeit der Großwetterlagen im Zeitraum 1961–2010 an; die Farbgebung hebt Häufigkeitsveränderungen im Zeitraum 1991–2010 verglichen mit 1961–1990 hervor – rot: Anstieg um $\geq 3\%$, orange: Anstieg um $\geq 1\%$, hellblau: Rückgang um $\leq 1\%$, Rückgang um $\leq 3\%$ trat nicht auf. Stationsauswahl Projektgebietmittelpunkt (von West nach Ost): vier sächsische (Plauen, Chemnitz, Dresden, Görlitz) und vier böhmische (Cheb, Tušimice, Doksany, Liberec) Flach- und Hügellandstationen sowie vier Berglandstationen > 600 m ü. NN (Aš, Fichtelberg, Zinnwald, Desná); Anomalien der Lufttemperatur: Abweichungen der täglichen Mittelwerte im Zeitraum 1961–2010 vom jeweiligen langjährigen fünfjährigen Mittelwert des Untersuchungszeitraums 1961–2010 gemittelt für die jeweiligen Großwetterlage; Anomalien der Niederschlagsmenge: prozentuale Abweichung des mittleren täglichen Niederschlags der jeweiligen Großwetterlage vom Mittel aller Wetterlagen im Untersuchungszeitraum 1961–2010.

Obr. 3.2.5-8: Termopluviogram vlastností synoptických povětrnostních situací na našem území v zimním půlroce

Vysvětlivky: Poloha bubliny udává průměrnou odchylku teploty vzduchu (v °C) a srážek (v mm) dané synoptické povětrnostní situace; velikost bubliny udává relativní četnost výskytu situace v období let 1961–2010; barevné odstíny zdůrazňují změnu četnosti výskytu v období let 1991–2010 oproti období let 1961–1990 – červeně: nárůst o $\geq 3\%$, oranžová: nárůst o $\geq 1\%$, světle modrá: pokles o $\geq 1\%$, pokles o $\leq 3\%$ se nevyskytl.

Výběr stanic pro výpočet průměru v zájmového území (od západu k východu): 4 saské (Plavno, Saské Kamenice, Drážďany, Zhořelec) a 4 české (Cheb, Tušimice, Doksany, Liberec) stanice v nížinách a v pahorkatinách a dále 4 horské stanice > 600 m n. m. (Aš, Fichtelberg, Cínovec, Desná); Anomalie teploty vzduchu: odchylky denních průměrných hodnot v období let 1961–2010 od dlouhodobého pětidenního průměru v období 1961–2010; Anomalie množství srážek: procentuální odchylka průměrné denní srážky příslušné situace od průměru všech povětrnostních situací během sledovaného období 1961–2010.

Winterhalbjahr

Die klimatischen Eigenschaften der 29 Großwetterlagen im Projektgebiet sowie deren Häufigkeit sind in Abb. 3.2.5-8 für das Winterhalbjahr im Zeitraum 1961–2010 abgebildet. Dargestellt sind die mittleren Abweichungen von Temperatur und Niederschlag beim Auftreten der 29 Großwetterlagen vom langjährigen Mittel aller Wetterlagen. Rote und blaue Farbtöne markieren diejenigen Wetterlagen, deren Häufigkeiten im Zeitraum 1991–2010 gegenüber 1961–1990 deutlich zu- bzw. abnahmen

Sehr milde Luftmassen werden im Winterhalbjahr insbesondere durch rege atlantische Tiefdrucktätigkeit in das Projektgebiet gelenkt. Vier Wetterlagen mit west- und südwestlicher Anströmung (WA, WZ, SWA und SWZ) führen im Mittel zu Temperaturanomalien von $> 2^\circ\text{C}$. Sie treten zusammen an einem Drittel aller Tage auf. Klassische Südlagen (SA, SZ, TB, TRW) sind hingegen aufgrund ihrer geringeren Dynamik und der daher z.T. auftretenden Inversionsbedingungen in vielen Gebieten nur wenig wärmer als die langjährigen Mittelwerte, auch wenn sich dies auf den Berggipfeln z.T. anders darstellt. SA und SZ zählen auf dem Fichtelberg zu den vier wärmsten Wetterlagen, wirken sich insbesondere im Böhmischem Becken jedoch vergleichsweise kühl aus. Die niedrigsten Temperaturen treten generell bei Anströmungen aus Nord bis Ost auf. Elf Wetterlagen führen zu Temperaturanomalien von $< -2^\circ\text{C}$ – sie treten zusammen allerdings nur an weniger als jedem 6. Tag auf. Ein Drittel des Gesamtniederschlags fällt während der zyklonalen Westlage (WZ), bei relativ gleichförmiger Verteilung über das Projektgebiet. Die an 6 % aller Tage auftretende zyklonale Nordwestlage (NWZ) bringt 15 % des Gesamtniederschlags – noch mehr fällt im Gebirge und im sächsischen Gebirgsvorland. Zentrale Hochdruckgebiete und Wetterlagen mit Anströmung aus Ost bis Süd bringen trockene Bedingungen.

Im Winterhalbjahr, vor allem von Januar bis März, nahmen zwei niederschlagsreiche Wetterlagen in ihrer Häufigkeit zu – die NWZ (von 5 auf 8 %) und die Troglagen über Mitteleuropa (TRM, von 4 auf 7 %). Die Zunahme der NWZ insbesondere zu Winterende und Frühlingsbeginn kann als Hauptgrund für die bis Anfang der 2000er Jahre beobachtete Niederschlagszunahme im März gelten (Abb. 3.2.5-9). Wetterlagen mit westlicher Anströmung gingen in ihrer Häufigkeit etwas zurück, nicht jedoch im Hochwinter (Januar und Februar). Sehr kalte Wetterlagen mit Anströmungsrichtungen aus Nordost, Ost oder Südost traten ebenfalls seltener auf, vor allem zu Winterende (Februar und März).

Sommerhalbjahr

Die klimatischen Eigenschaften der 29 Großwetterlagen, ihre Häufigkeit und wichtige Änderungssignale werden analog dem Winterhalbjahr in Abb. 3.2.5-10 dargestellt.

Im Gegensatz zum Winterhalbjahr werden die höchsten Temperaturen mit mittleren Anomalien von $> 4^\circ\text{C}$ im Sommerhalbjahr durch kontinentale Südlagen (SA, SZ) erreicht, da deren Charakter nun nicht mehr durch Inversionsbedingungen verfälscht wird. Mit $> 2^\circ\text{C}$ ebenfalls deutlich wärmer als das langjährige Mittel sind Südost- und Südwestlagen. Östliche Anströmrichtungen und zentrale Hochdrucklagen führen ebenfalls zu moderat positiven Temperaturanomalien. Tiefe Temperaturen treten bei Anströmun-



Abb. 3.2.5-9: Anteil der zyklonalen Nordwestwetterlage (NWZ) im Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2010 (31-tägiger gleitender Mittelwert)
Obr. 3.2.5-9: Podíl severozápadních cyklonálních situací (NWZ) v porovnání let 1961–1990 a 1991–2010 (31denní klouzavý průměr)

3.2.5.3 Vlastnosti povětrnostních situací a změny v četnosti jejich výskytu

Četnost povětrnostních situací se na kratších i delších časových škálách mění. Uplynulých 50 let se vyznačovalo významnými změnami v četnosti jednotlivých meteorologických situací. Na základě změn podílů cyklonálních (vliv nízkého tlaku vzduchu) a anticyklonálních (vliv vysokého tlaku vzduchu) povětrnostních situací v našem regionu lze vysvětlit mimo jiné změny v úhrnech srážek (obr. 3.2.5-7). Od konce března až do poloviny května výrazně rostl vliv vysokého tlaku vzduchu. To vysvětluje dramatický pokles srážek v dubnu a během vegetačního období 1 (naše typické »aprilové počasí« – proměnlivé a chladné počasí s přeháňkami se v uplynulých 20 letech vyskytovalo stále méně). Nárůst množství srážek během vegetačního období 2 a obecně v létě a na podzim bylo oproti tomu způsobeno nárůstem vlivu nízkého tlaku vzduchu.

Zimní půlrok

Charakteristické vlastnosti 29 synoptických povětrnostních situací v zimním půlroce v letech 1961–2010 nad našim územím a jejich četnosti jsou zobrazeny na obr. 3.2.5-8. Zobrazeny jsou průměrné odchylky teploty a srážek při výskytu jednotlivých synoptických povětrnostních situací od dlouhodobého průměru při všech povětrnostních situacích. Červenými a modrými odstíny jsou označeny ty situace, jejichž četnost během období 1991–2010 oproti letům 1961–1990 výrazně klesla nebo narostla.

Teplé vzduchové hmoty směřují během zimního půlroku nad naše území především v souvislosti s tlakovými nížemi z Atlantiku. Čtyři povětrnostní situace se západním a jihozápadním prouděním (WA, WZ, SWA a SWZ) vedou v průměru k teplotním anomáliím $> 2^\circ\text{C}$. Současně se vyskytují v jedné třetině všech dnů. Z důvodů své vnitřní dynamiky a tedy možnosti výskytu teplotní inverze jsou oproti tomu situace s jižním prouděním (SA, SZ, TB, TRW) v mnoha oblastech pouze mírně teplejší nežli dlouhodobé průměrné hodnoty, i když na vrcholech hor může být situace zčásti odlišná.

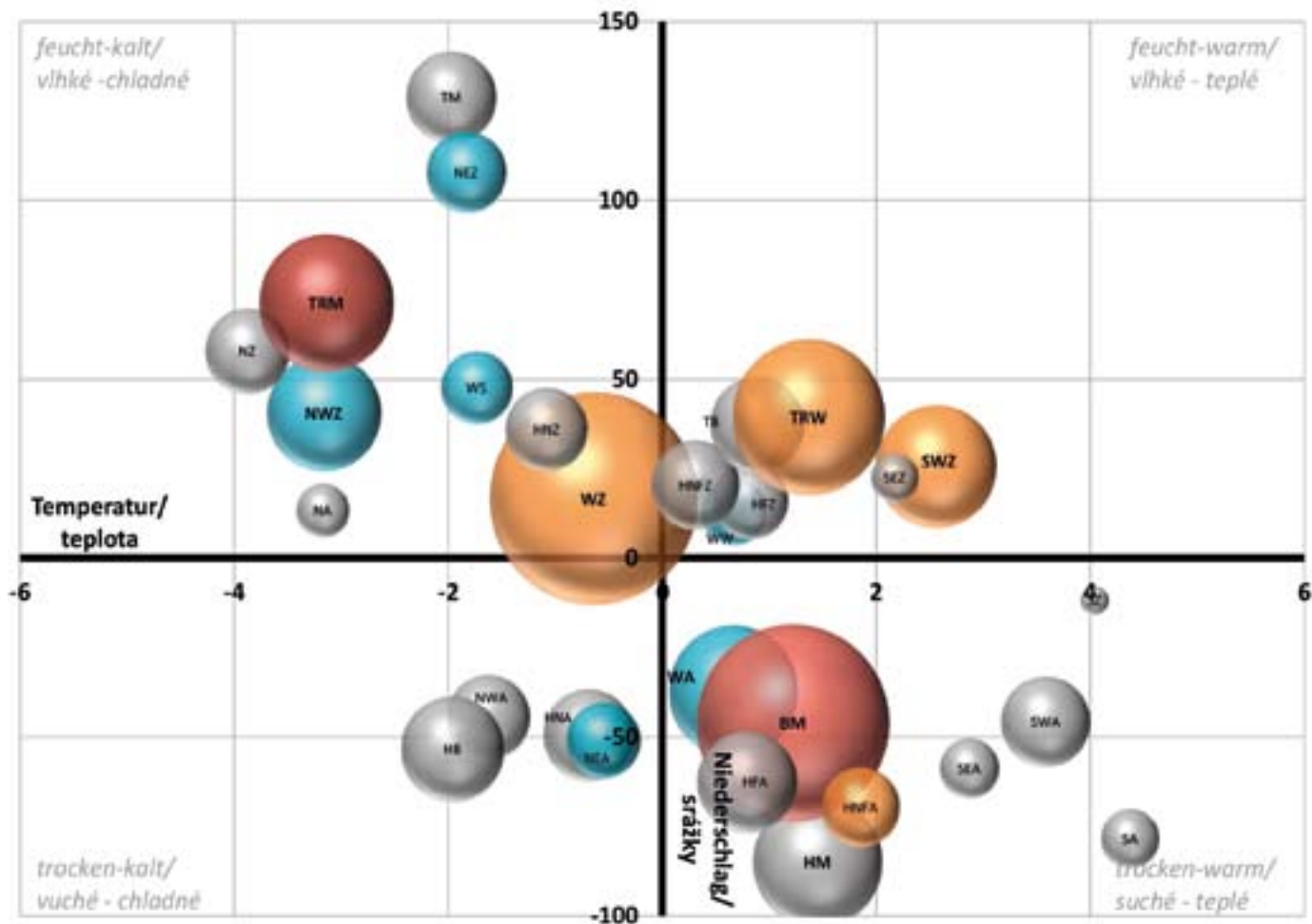


Abb. 3.2.5-10: Thermopluviogramm der Großwetterlageneigenschaften im Projektgebiet für das Sommerhalbjahr (Erläuterungen: siehe Abb. 3.2.5-8)
 Obr. 3.2.5-10: Termopluviogram vlastností synoptických povětrnostních situací na našem území v letním půlroce (vysvětlivky: viz obr. 3.2.5-8)



Abb. 3.2.5-11: Anteil der zyklonalen Südwestwetterlage (SWZ) im Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2010 (31-tägiger gleitender Mittelwert)
 Obr. 3.2.5-11: Podíl jihozápadní cyklonální situace (SWZ) v porovnání s obdobím let 1961–1990 a 1991–2010 (31denní klouzavý průměr)

Situace SA a SZ patří na vrcholu Fichtelberg mezi čtyři nejteplejší povětrnostní situace vůbec. Naproti tomu především v České kotlině se však projevují srovnatelně chladněji. Nejnižší teploty se obecně vyskytují při proudění ze severu až východu. Jedenáct povětrnostních situací má za následek teplotní anomálie $< -2^{\circ}\text{C}$ – současně se však vyskytují pouze méně než každý šestý den. Třetina celkových srážek spadne během západní cyklonální situace (WZ) a jsou relativně rovnoměrně rozděleny po celém zájmovém území. Severní cyklonální situace, která se vyskytuje v 6 % všech dnů, přináší 15 % celkových srážek. Více srážek v takovém případě spadne na horách a v saském podhůří. Oblasti vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou a povětrnostní situace s prouděním z východu až jihu přináší zase suché počasí.

Během zimního půlroku, především od ledna do března, narostla četnost dvou na srážky bohatých povětrnostních situací – severní cyklonální situace (NWZ, z 5 na 8 %) a brázd nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou (TRM, ze 4 na 7 %). Nárůst výskytu severní cyklonální situace především na konci zimy a na začátku jara může být považován za hlavní důvod nárůstu srážek, který byl sledován až do počátku století kolem roku 2000 (obr. 3.2.5-9). Povětrnostní situace se západním prouděním ve své četnosti poněkud poklesly, nikoli však v hlavním zimním období (leden a únor). Velmi chladné povětrnostní situace se severovýchodním,

gen aus Nordwest bis Nordost im Zusammenhang mit Luftmassen arktischen Ursprungs auf. Die im Winter deutlich zu milde WZ ist im Sommer kühler als das Mittel aller Wetterlagen. Die Aufteilung des Niederschlags gestaltet sich deutlich ausgeglichener als im Winterhalbjahr. Die Charakterisierung der Wetterlagen als zyklonal oder antizyklonal dominiert nun gegenüber der Anströmrichtung. Jeweils ca. 10 % des Gesamtniederschlags fällt in Verbindung mit den beiden Troglagen (TRM, TRW), ca. 15 % beim Auftreten der WZ. Generell gehen feuchte Wetterlagen mit Temperaturen unterhalb des langjährigen Mittels einher, während trockene Wetterlagen mit hohen Temperaturen verbunden sind. Auch im Sommerhalbjahr konnten Veränderungen in der Häufigkeitsverteilung der Großwetterlagen beobachtet werden. Nasskalte West- und Nordwestwetterlagen nahmen insgesamt in ihrer Häufigkeit ab, während sommerlich warme, aber zum Teil unbeständige Wetterlagen mit einer Hochdruckbrücke über Mitteleuropa deutlich zunahmten (von 10 auf 14 %). Insbesondere von Juni bis August kamen zyklonale Südwestlagen ebenfalls bedeutend häufiger vor, wobei in jüngster Zeit noch mal eine Verstärkung der Zunahmetendenzen zu beobachten ist (Sommerhalbjahr: Anstieg von 3 auf 6 %; Abb. 3.2.5-11). Von sehr großer Bedeutung für den Wasserhaushalt und ein Indiz für den Anstieg von niederschlagsträchtigen Vb-Wetterlagen war die starke Zunahme von Trogwetterlagen, insbesondere der TRM (von 4 auf 9 %). Es fällt auf, dass die Häufigkeit der Troglagen innerhalb der Periode 1991–2010 nach 2006 nochmals auf ein höheres Niveau angestiegen ist. Troglagen sind durch ausgedehnte Gebiete tiefen Luftdrucks über oder nahe der Projektregion gekennzeichnet und sorgen vor allem im Sommer und Herbst, wenn die Meeresoberflächentemperaturen der Ozeane hoch sind, für große Niederschlagsmengen. Die Häufung z.T. sehr wetterintensiver Trogwetterlagen resultierte u.a. in der Häufung extremer Hochwasserereignisse im Projektgebiet (z. B. Oderhochwasser 1997, Elbehochwasser 2002 und 2013, Neißehochwasser 2010).

východním nebo jihovýchodním prouděním se rovněž vyskytovaly méně, především ke konci zimy (únor, březen).

Letní půlrok

Charakteristické vlastnosti 29 synoptických povětrnostních situací, jejich četnost a důležité signály změn jsou uvedeny analogicky se zimním půlrokem na obr. 3.2.5-10.

Oproti zimnímu pololetí jsou v letním půlroce nejvyšší teploty s průměrnými anomáliemi ve výši $>4\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosahovány při kontinentálních jižních povětrnostních situacích (SA, SZ), jejichž charakter již není ovlivňován inverzními podmínkami. S odchylkou $>2\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou rovněž výrazně teplejší než je dlouhodobý průměr jihovýchodní a jihozápadní situace. Východní směr proudění a přítomnost oblasti vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou vede rovněž k mírně pozitivním teplotním anomáliím. Nízké teploty se vyskytují naopak při proudění od severozápadu až severovýchodu v souvislosti se vzduchovými hmotami arktického původu. V zimním období teplá západní cyklonální situace je v létě chladnější nežli průměr všech povětrnostních situací. Rozdělení srážek je výrazně vyrovnanější nežli během zimního půlroku. Cyklonální či anticyklonální povaha situace určuje její charakteristiku více než jaký směr proudění sama o sobě přináší. Vždy cca 10 % celkových srážek spadne v souvislosti s oběma brázdami nízkého tlaku vzduchu (TRM, TRW), cca 15 % v případě výskytu západní cyklonální situace. Obecně souvisejí vlhčí povětrnostní situace s teplotami pod dlouhodobými průměry, zatímco suché povětrnostní situace jsou spojeny s vysokými teplotami.

Rovněž v letním půlroce bylo možno sledovat změny v četnosti rozdělení synoptických povětrnostních situací. Četnost vlhkých a chladných západních a severozápadních povětrnostních situací celkově poklesla, zatímco teplé, ale zčásti nestálé povětrnostní situace s hřebenem vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou výrazně narostly (z 10 na 14 %). Výrazně častěji se jihozápadní cyklonální situace vyskytovaly během června až srpna, přičemž v nedávné době bylo možno pozorovat zesílení tendence nárůstu (letní půlrok: nárůst ze 3 na 6 %, obr. 3.2.5-11). Velmi významný, svými dopady na vodní režim, byl silný nárůst brázd nízkého tlaku vzduchu spjatých s vysokými srážkovými úhrny především nad střední Evropou (ze 4 na 9 %). Zajímavé je, že četnost brázd nízkého tlaku vzduchu během let 1991–2010 po roce 2006 stoupla znovu na vyšší úroveň. Četný výskyt hlubokých brázd nízkého tlaku vzduchu vyústil mimo jiné v případy extrémních povodní na našem území (např. povodeň na Odře v roce 1997, na Labi v letech 2002 a 2013, nebo na Nise v roce 2010).

3.3.1 Anthropogener Treibhauseffekt und Emissionsszenarien

Der durch menschliche Aktivitäten verstärkte Treibhauseffekt und die damit einhergehende Zunahme der globalen Mitteltemperatur stellt die Menschheit vor große Herausforderungen. Da die zukünftige Höhe der anthropogen verursachten Treibhausgas-Emissionen nicht vorhersehbar ist, werden zukünftig mögliche Entwicklungen anhand verschiedener Szenarien beschrieben. Diese berücksichtigen zum Teil verschiedene gesellschaftliche, ökonomische und energiepolitische Rahmenbedingungen und repräsentieren damit eine Bandbreite zukünftig möglicher Entwicklungen.

Die Szenarien werden auf Grundlage aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse weiterentwickelt. Bisher kamen in der Klimaforschung die sogenannten SRES-Emissionsszenarien (IPCC, 2001) zum Einsatz. Dieser Szenarienfamilie sind u. a. die Emissionsszenarien B1, A1B und A2 zuzuordnen (Abb. 3.3.1-1). Seit dem Jahr 2014 kommen die aktualisierten RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways, Moss et al., 2007) vermehrt zum Einsatz. Eine wesentliche Neuerung dieser Szenarienfamilie besteht in der Verwendung des Strahlungsantriebes (in W pro m^2) als charakteristische Leitgröße anstelle von CO_2 -Äquivalenten (in ppm). Zudem wurden bei der Konstruktion der neuen RCP-Szenarien Rückkopplungen zwischen den verschiedenen Teilsystemen der Szenarien berücksichtigt (Imbery & Plagemann, 2011).

3.3.1 Antropogenní skleníkový efekt a emisní scénáře

V důsledku lidské aktivity zesilující skleníkový efekt a s tím související nárůst průměrné globální teploty vzduchu stává lidstvo před velkými úkoly. Jelikož budoucí výši antropogenních emisí skleníkových plynů nelze odhadnout, bude možný budoucí vývoj popisován pomocí různých scénářů. Tyto scénáře zohledňují různé společenské, ekonomické a energetické rámcové podmínky a představují tak širší možného vývoje.

Tyto scénáře jsou vyvíjeny na základě aktuálních vědeckých poznatků. V klimatologii se dosud používaly tak zvané emisní scénáře SRES (IPCC, 2001). Do této skupiny scénářů patří mimo jiné emisní scénáře B1, A1B a A2 (obr. 3.3.1-1). Od roku 2014 se více používají aktualizované scénáře RCP (Representative Concentration Pathways, Moss et al., 2007). Významná inovace této skupiny scénářů spočívá v aplikaci radiačního působení (ve W na m^2) jako charakteristické řídicí veličiny místo ekvivalentů CO_2 (v ppm). Při sestavování nových scénářů RCP jsou navíc zohledňovány vzájemné zpětné vazby mezi různými dílčími systémy scénářů (Imbery & Plagemann, 2011).

3.3.2 Globální klimatické modely

Globální klimatické modely popisují komplexní klimatický systém země a umožňují blíže zkoumat interakce mezi atmosférou, oceány, kryosférou a biosférou. Na základě různých modelů a emis-

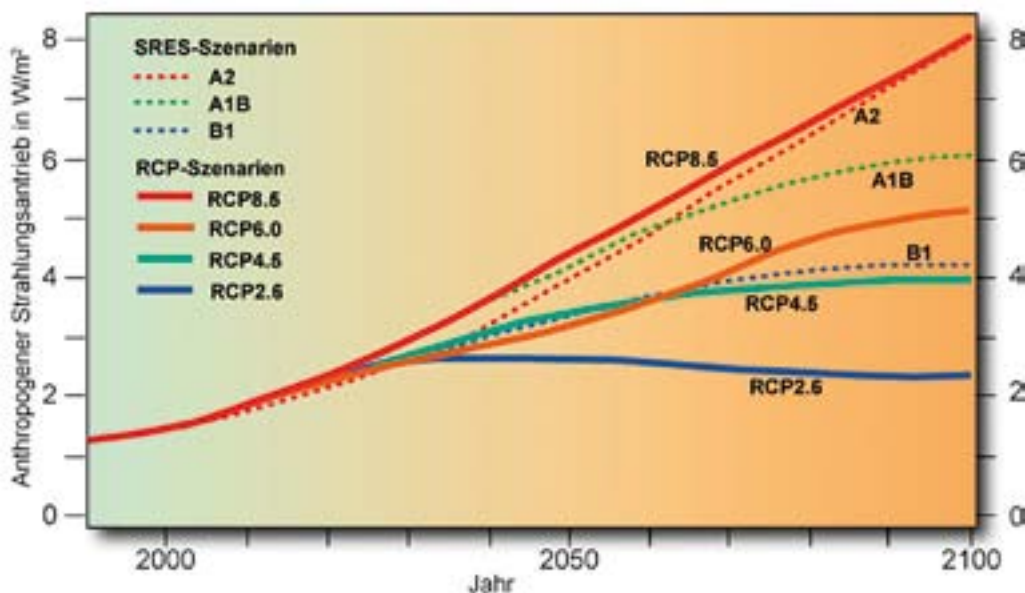


Abb. 3.3.1-1: Strahlungsantrieb bis 2100 im Vergleich zur vorindustriellen Zeit (ca. 1765) SRES und RCP-Szenarien im Vergleich, Quelle: Bildungsserver Wiki-Klimawandel, http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:SRES_RCP_RF_2100.jpg, Eigene Darstellung (Dieter Kasang) nach IPCC (2013): Climate Change 2013, Working Group I: The Science of Climate Change, Figure 12.3

Obr. 3.3.1-1: Radiační působení do roku 2100 v porovnání s předindustriální dobou (cca 1765) porovnání scénářů SRES a RCP Zdroj: Vzdělávací server Wiki-klimatické změny, http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:SRES_RCP_RF_2100.jpg, vlastní zobrazení (Dieter Kasang) podle IPCC (2013): Climate Change 2013, Working Group I: The Science of Climate Change, Figure 12.3

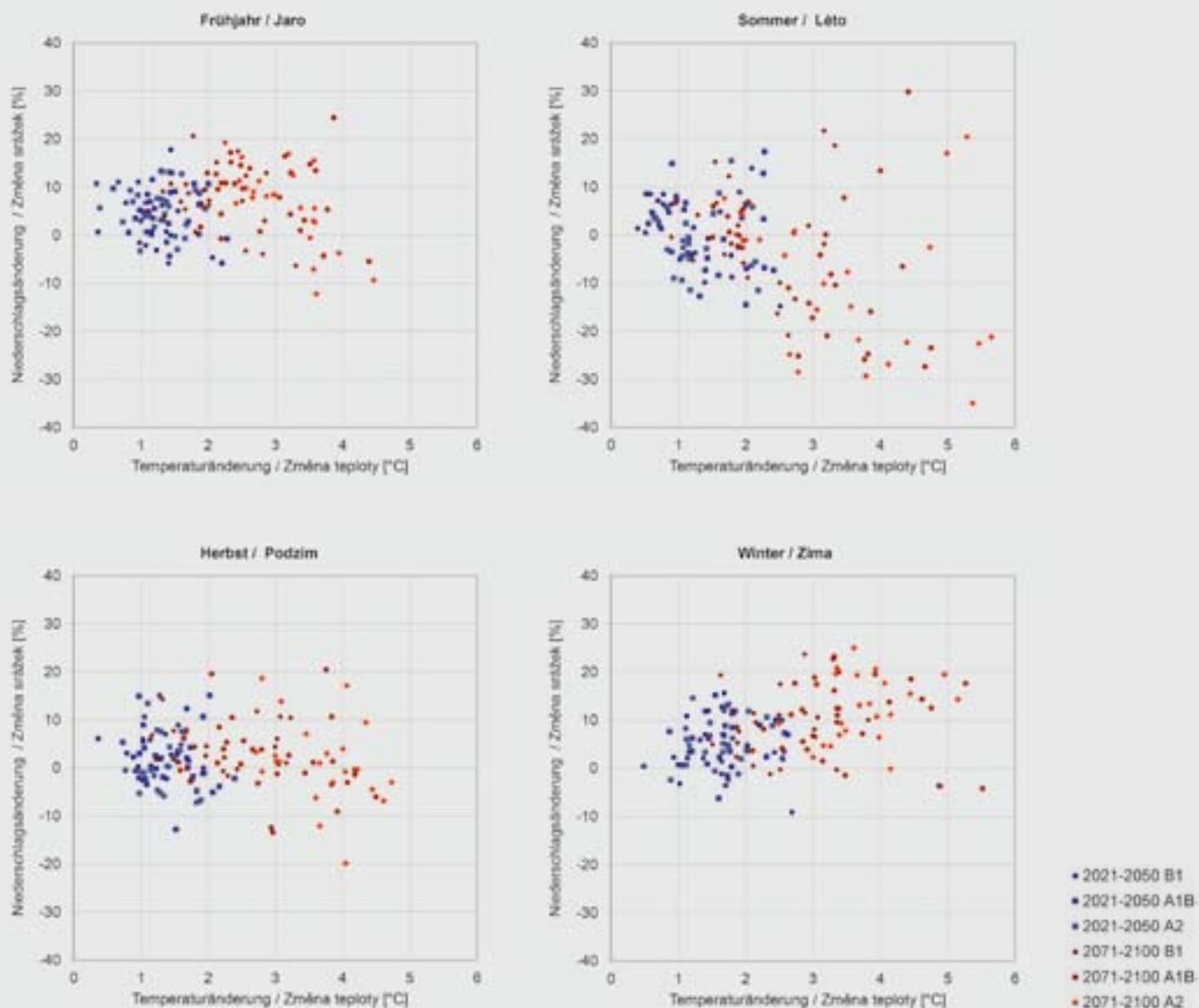


Abb. 3.3.2-1: Kombinierte Darstellung der durch globale Klimamodelle projizierten Temperatur- und Niederschlagsänderungen in den einzelnen Jahreszeiten.
 Obr. 3.3.2-1: Kombinované zobrazení změny teploty vzduchu a srážek v jednotlivých ročních obdobích, projektované globálními klimatickými modely

3.3.2 Globale Klimamodelle

Globale Klimamodelle bilden das komplexe Klimasystem der Erde nach und ermöglichen es die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Ozeanosphäre, Kryosphäre und Biosphäre näher zu untersuchen. Anhand verschiedener Modelle und Emissionsszenarien kann so eine Abschätzung der Bandbreite zukünftig möglicher klimatischer Entwicklungen für das 21. Jahrhundert erfolgen.

In Abb. 3.3.2-1 sind die durch verschiedene globale Klimamodelle projizierten Temperatur- und Niederschlagsänderungen in und um Mitteldeutschland und Böhmen für die Zeiträume 2021–2050 bzw. 2071–2100 dargestellt. Bereits aus der vergleichsweise

nicht scénářů lze odhadovat šíři možného budoucího vývoje klimatu pro 21. století.

Na obr. 3.3.2-1 jsou zobrazeny změny teploty vzduchu a srážek kolem středního Německa a Čech pro roky 2021–2050, případně 2071–2100, projektované pomocí různých klimatických modelů. Již z poměrně velkoplošného pohledu se zřetelně ukazuje, že všechny modely pro různé scénáře vykazují v 21. století výrazný nárůst teploty vzduchu. Naproti tomu je průběh sezónního vývoje srážek nejednotný a je klimatickými modely někdy projektován jako protichůdný. Příčinou této okolnosti je mimo jiné skutečnost, že se zájmové území nachází v přechodové oblasti mezi

Tab. 3.3.3-1: Übersicht über die im Projekt INTERKLIM verwendeten Klimamodelle und Szenarien

Tab. 3.3.3-1: Přehled modelů a scénářů klimatu, použitých v rámci projektu INTERKLIM

Globalmodell-Antrieb Globální model	Institution Instituce	Szenario Scénář	Regionalmodell Regionální model	Institution Instituce	Simulationszeitraum Simulované období
ARPEGE-Climat v4	CNRM Meteo France	A1B	ALADIN-Climate/CZ	CHMI ČHMÚ	1961–1990 2021–2050 2071–2100
ECHAM5/MPI-OM	MPI-M Hamburg	A1B	RegCM3	Karls-Universität Prag Karlova univerzita	1961–1990 2021–2050 2071–2100
MPI-ESM (ECHAM6)	MPI-M Hamburg	RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5	WETTREG (WR13_v03)	CEC Potsdam	1961–2100

großräumigen Betrachtungsweise wird deutlich, dass alle Modelle für die verschiedenen Szenarien im 21. Jahrhundert einen deutlichen Temperaturanstieg ausweisen. Die saisonale Niederschlagsentwicklung verläuft hingegen uneinheitlich und wird durch die Klimamodelle teilweise gegenläufig projiziert. Dieser Umstand ist u. a. darauf zurückzuführen, dass sich die Projektregion im Übergangsbereich zwischen projizierten Niederschlagsabnahmen im Süden und Niederschlagszunahmen im Norden Europas befindet, weshalb die Trendaussagen der Modelle in diesem Übergangsbereich unscharf ausgeprägt sind.

3.3.3 Regionale Klimaprojektionen

Um zu verwertbaren Aussagen auf regionaler Ebene, wie dem böhmisch-sächsischen Grenzraum, zu gelangen, kommen regionale Klimamodelle zum Einsatz, welche die Klimainformation globaler Klimamodelle räumlich detailliert auflösen.

Im Rahmen von INTERKLIM wurden die Ergebnisse regionaler Klimamodelle durch die tschechischen und sächsischen Partner bereitgestellt bzw. für das Projekt entwickelt sowie gemeinsam für den Grenzraum aufbereitet und ausgewertet. Die verwendeten regionalen Klimamodelle ALADIN-Climate/CZ (Farda et al., 2010), RegCM3 (Pal et al., 2007) und WETTREG (Spekat et al., 2007) unterscheiden sich hinsichtlich der zugrundeliegenden Modellmethodik und der räumlichen Auflösung. Die Ergebnisse der Modelle ALADIN-Climate/CZ und RegCM3 entstammen dem EU-Projekt CECILIA (6. Forschungsrahmenprogramm der EU) und sind der Gruppe physikalisch-dynamischer regionaler Klimamodelle zuzuordnen. Diese bilden das regionale Klima auf Grundlage physikalischer Zusammenhänge an Gitterpunkten mit einer räumlichen Auflösung von 10 x 10 km ab. Das Modell WETTREG hingegen ist ein statistischer Regionalisierungsansatz bei dem lokale Klimamessreihen für bestehende Klimastationen auf Grundlage von empirischen Erfahrungswerten erzeugt werden. Im Projekt kam die Modellversion WR13_v03 zum Einsatz. Eine Besonderheit dieses Verfahrens besteht in der Abstrahierung der regionalklimatischen Verhältnisse anhand von aus globalen Klimamodellen abgeleiteten und speziell auf den böhmisch-sächsischen Grenzraum zugeschnittenen objektiven Wetterlagen. Die aus globalen Klimamodellergebnissen vorgegebene Veränderung

projektovaným poklesem srážek na jihu a nárůstem srážek na severu Evropy. Trendy, předpovídané modely, jsou proto v této přechodové oblasti nejisté.

3.3.3 Regionální projekce klimatu

Pro formulaci závěrů, které lze využít na regionální úrovni, jako například pro česko-saské pohraničí, jsou používány tak zvané regionální klimatické modely, které zobrazují klimatické informace globálních klimatických modelů v detailním rozlišení pro určité území. Výsledky regionálních klimatických modelů byly v rámci projektu INTERKLIM vyvinuty nebo poskytnuty českými a saskými partnery. Tyto výsledky byly pro společné pohraničí společně zpracovány a vyhodnoceny. Použité regionální klimatické modely ALADIN-Climate/CZ (Farda et al., 2010), RegCM3 (Pal et al., 2007) a WETTREG (Spekat et al., 2007) se liší metodikou modelu a územním rozlišením. Výsledky modelů ALADIN-Climate/CZ a RegCM3 pocházejí z projektu CECILIA (6. rámcový program EU pro výzkum a technologický rozvoj EU), podpořeného z EU a patří do skupiny fyzikálně-dynamických regionálních klimatických modelů. Tyto klimatické modely popisují klima na základě souvislostí v gridových bodech s rozlišením 10 x 10 km. Model WETTREG představuje oproti tomu statistický přístup regionalizace, kdy jsou na základě empirických hodnot vytvářeny pro stávající meteorologické stanice lokální řady klimatických měření. V rámci projektu byla použita verze modelu WR13_v03. Zvláštností tohoto postupu je abstrakce regionálně-klimatických poměrů na základě objektivních povětrnostních situací, odvozených z globálních klimatických modelů a upravených specificky na česko-saské pohraničí. Pro projekci budoucích možných změn klimatických poměrů na jednotlivých stanicích je použita změna četnosti změn cirkulačních typů, stanovená globálními klimatickými modely.

Pro období let 1961–2100 jsou k dispozici modelové odhady pro emisní scénáře A1B, RCP2.6, RCP4.6, RCP8.5. Porovnání výsledků různých regionálních modelů je možno provést pro emisní scénář A1B. Scénáře RCP2.6 a RCP4.6 a RCP8.5 popisují na základě aktuálního vědeckého poznání šíři možných změn v oblasti globální radiace. V tab. 3.3.3-1 je obsažen přehled regionálních projekcí klimatu, které jsou pro pohraničí k dispozici.

der Wetterlagenhäufigkeiten wird zur Projektion zukünftig möglicher klimatischer Verhältnisse an den Stationen genutzt.

Für den Zeitraum 1961–2100 liegen Modellabschätzungen für die Emissionsszenarien A1B, RCP2.6, RCP4.6 und RCP8.5 vor. Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Regionalmodelle ist für das moderate Emissionsszenario A1B möglich. Die Szenarien RCP2.6 und RCP4.6 und RCP8.5 beschreiben die Bandbreite möglicher Änderungen im globalen Strahlungshaushalt entsprechend dem aktuellen wissenschaftlichen Stand. Tab. 3.3.3-1 enthält eine Übersicht über die für den Grenzraum vorliegenden regionalen Klimaprojektionen.

3.3.4 Projizierte klimatische Entwicklung im böhmisch-sächsischen Grenzraum

Die durch die Klimamodelle projizierte Veränderung von Temperatur und Niederschlag im Laufe des 21. Jahrhundert wurde für das INTERKLIM-Projektgebiet für die beiden Zeiträume 2021–2050 und 2071–2100 im Vergleich zu 1961–1990 ausgewertet.

3.3.4.1 Temperatur

Unabhängig vom Modell und Szenario wird die räumliche Struktur der regionalen Temperaturverteilung gut von den Modellen wiedergegeben (Abb. 3.3.4-1).

3.3.4 Projektovaný vývoj klimatu v česko-saském pohraničí

Změna teploty vzduchu a srážek v průběhu 21. století, projektovaná klimatickými modely, byla pro zájmové území projektu INTERKLIM vyhodnocována pro obě období 2021–2050 a 2071–2100 v porovnání s lety 1961–1990.

3.3.4.1 Teplota vzduchu

Územní struktura regionálního rozdělení teplot vzduchu je modely popisována velmi dobře, nezávisle na modelu a scénáři (obr. 3.3.4-1).

Pro polovinu 21. století vyplývá pro česko-saské pohraničí nárůst teploty vzduchu ve výši minimálně 1 °C oproti letům 1961-1990 (obr. 3.3.4-2). Rozdíly mezi emisními scénáři jsou poměrně nízké. V závislosti na modelu a scénáři činí projektované rozpětí nárůstu teploty vzduchu 1 až 1,6 °C .

Ke konci století (2071–2100) činí rozpětí možného nárůstu teploty vzduchu v pohraničí 1 a 3,7 °C , regionálně i více než 4 °C. Rozdíly mezi emisními scénáři jsou zde jasně patrné. Nejvyšší nárůst teploty vzduchu je přitom očekáván pro zimu a léto, zatímco pro jarní měsíce je projektováno nejnižší oteplení. Z hlediska distribuce v území je oteplení v pohraničí zastoupeno rovnoměrně. Na obr. 3.3.4-3 a 3.3.4-4 je zobrazen projektovaný vývoj teploty vzduchu na příkladu příhraniční stanice Fichtelberg. Průběh tep-

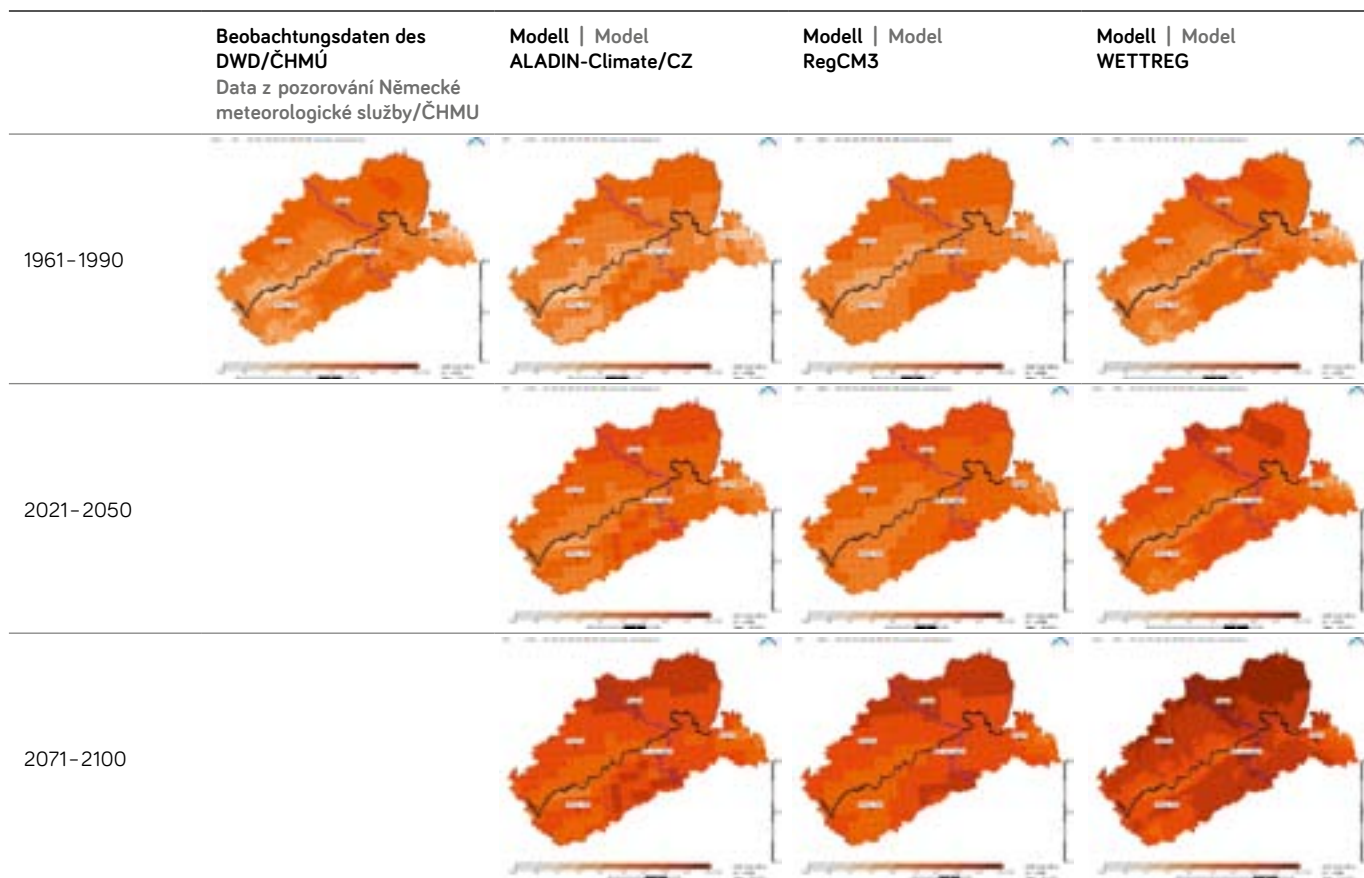


Abb. 3.3.4-1: Beobachtete und von Klimamodellen simulierte Lufttemperatur im böhmisch-sächsischen Grenzraum 1961–1990, 2021–2050 und 2071–2100 für das Szenario A1B

Obr. 3.3.4-1: Pozorovaná a pomocí klimatických modelů simulovaná teplota vzduchu v česko-saském pohraničí 1961–1990, 2021–2050 a 2071–2100 pro scénář A1B

Für den sächsisch-böhmischen Grenzraum ergibt sich für die Mitte des 21. Jahrhunderts eine Temperaturzunahme von mindestens 1 °C gegenüber 1961–1990 (Abb. 3.3.4-2). Die Unterschiede zwischen den Emissionsszenarien fallen vergleichsweise gering aus. Je nach Modell und Szenario beträgt die projizierte Spanne der Temperaturzunahme 1 bis 1,6 °C.

Gegen Ende des Jahrhunderts (2071–2100) umfasst die Spanne der möglichen Temperaturzunahme im Grenzraum zwischen 1 und 3,7 °C, regional auch über 4 °C. Die Unterschiede zwischen den Emissionsszenarien kommen hier deutlich zum Tragen. Der stärkste Temperaturanstieg wird dabei für Winter und Sommer erwartet, während für die Frühjahrsmonate die geringste Erwärmung projiziert wird. Hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung kommt die Erwärmung im Grenzraum relativ gleichförmig zum Ausdruck.

In Abb. 3.3.4-3 und 3.3.4-4 ist die projizierte Temperaturentwicklung am Beispiel der grenznahen Station Fichtelberg dargestellt. Die Temperaturverläufe in den beiden Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 unterscheiden sich deutlich. Im optimistischen Szenario 2.6 ist ab der Mitte des 21. Jahrhunderts eine Dämpfung der Erwärmung erkennbar, so dass im weiteren Verlauf kein weiterer Temperaturanstieg ersichtlich ist. Dieses Szenario ist allerdings angesichts der tatsächlichen globalen Emissionsentwicklung als unrealistisch einzuschätzen. Im Szenario RCP8.5 schreitet die Erwärmung im Laufe des Jahrhunderts hingegen stetig voran. Die unterschiedlichen Kurvenverläufe verdeutlichen die regionale Wirksamkeit potentieller globaler Klimaschutzbemühungen.

3.3.4.2 Niederschlag

Für den Niederschlag ergibt sich aus den Modellergebnissen ein unschärferes Bild, da Projektionen der regionalen Niederschlagsentwicklung in unserem Raum generell mit großen Unsicherheiten behaftet sind und die Modelle die feingliedrige Orographie nur bedingt abbilden können. Aus den für das 21. Jahrhundert projizierten Jahresniederschlagssummen lässt sich kein eindeutiges Trendverhalten ableiten. Auch die Projektionen für die einzelnen Jahreszeiten unterscheiden sich je nach Modell und Szenario teilweise deutlich hinsichtlich der projizierten Trendrichtung (Abb. 3.3.4-5). Allerdings deutet sich gegen Ende des Jahrhunderts eine Abnahme der Sommerniederschläge, teilweise auch der Herbstniederschläge, an. In Anbetracht der kombinierten Wirkung von Temperatur und Niederschlag auf den Wasserhaushalt ist deshalb zukünftig insbesondere im Tiefland und während der Sommer- und Spätsommermonate häufiger mit angespannten Wasserhaushaltssituationen zu rechnen.

Der hohe Unsicherheitsbereich regionaler Niederschlagsprojektionen kommt beispielhaft in Abb. 3.3.4-6 zum Ausdruck. Dargestellt ist die sich aus den verschiedenen regionalen Klimamodellen ergebende Bandbreite der Niederschlagsentwicklung an der Station Fichtelberg. Für das gezeigte moderate Szenario A1B liegen Projektionen der drei Regionalmodelle ALADIN-Climate/CZ, RegCM3 und WETTREG vor. Die nähere Betrachtung dieses einen Emissionsszenarien veranschaulicht bereits, dass sich aufgrund der Modellunterschiede keine eindeutigen Aussagen über die

loty vzduchu v obou scénářích RCP2.6 a RCP8.5 se výrazně odlišuje. V optimistickém scénáři 2.6 je od poloviny 21. století patrné utlumení oteplení, v dalším průběhu pak není patrný žádný nárůst teploty. S ohledem na skutečný globální vývoj emisí je však nutno tento scénář považovat za nerealistický. Ve scénáři RCP8.5 pokračuje oteplování v průběhu století. Různé průběhy křivek ukazují regionální účinnost potenciálních globálních snah o ochranu klimatu.

3.3.4.2 Srážky

Výsledky modelu pro srážky neposkytují zcela jasný obraz. Obecně je projekce regionálního vývoje srážek pro naše území zatížena velkou mírou nejistoty. Modely navíc zobrazují jemnou členitost terénu pouze podmíněně. Z úhrnů srážek, projektovaných pro 21. století, nelze odvodit žádný jednoznačný trend. Stejně tak se projekce pro jednotlivá roční období podle modelu a scénáře místy z hlediska projektovaného směru trendu (obr. 3.3.4-5) výrazně liší. Ke konci století se však ukazuje pokles letních, zčásti i podzimních srážek. S ohledem na kombinovaný účinek teploty vzduchu a srážek na vodní režim je nutno především v nížinách a během letních a pozdních letních měsíců počítat s problémy v oblasti vodního režimu.

Vysoká míra nejistoty regionálních projekcí srážek se projevuje například na obr. 3.3.4-6. Zobrazen je rozsah možností vývoje srážek na stanici Fichtelberg tak, jak vyplývá z různých regionálních klimatických modelů. Pro představený scénář A1B jsou k dispozici projekce ze tří regionálních modelů ALADIN-Climate/CZ, RegCM3 a WETTREG.

Při bližším pohledu na tento emisní scénář se ukazuje, že nelze odvodit žádné jednoznačné závěry ohledně vývoje srážek. Důvodem jsou rozdílné výsledky jednotlivých modelů. Současně se ale také jasně ukazuje, že zohlednění vícero modelů nabízí rozhodou-

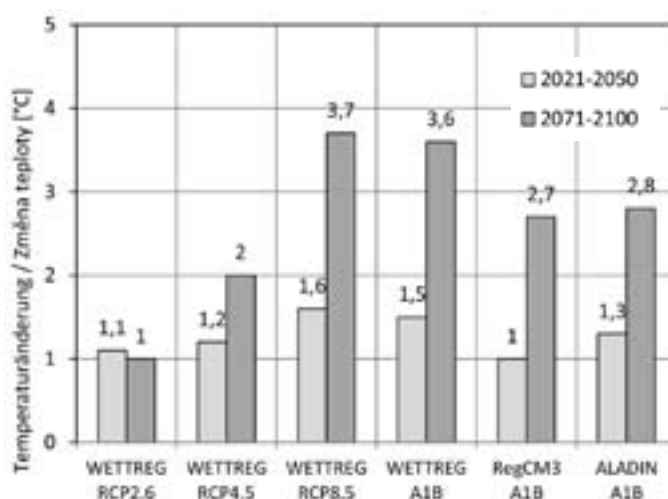


Abb. 3.3.4-2: Aus verschiedenen regionalen Klimamodellen und Szenarien abgeleitete Projektion der Jahresmitteltemperatur 2021–2050 und 2071–2100 im Vergleich zu 1961–1990 für den böhmisch-sächsischen Grenzraum

Obr. 3.3.4-2: Projekce průměrné roční teploty vzduchu 2021–2050 a 2071–2100 v porovnání s lety 1961–1990 pro česko-saské pohraničí, odvozená z různých regionálních klimatických modelů a scénářů

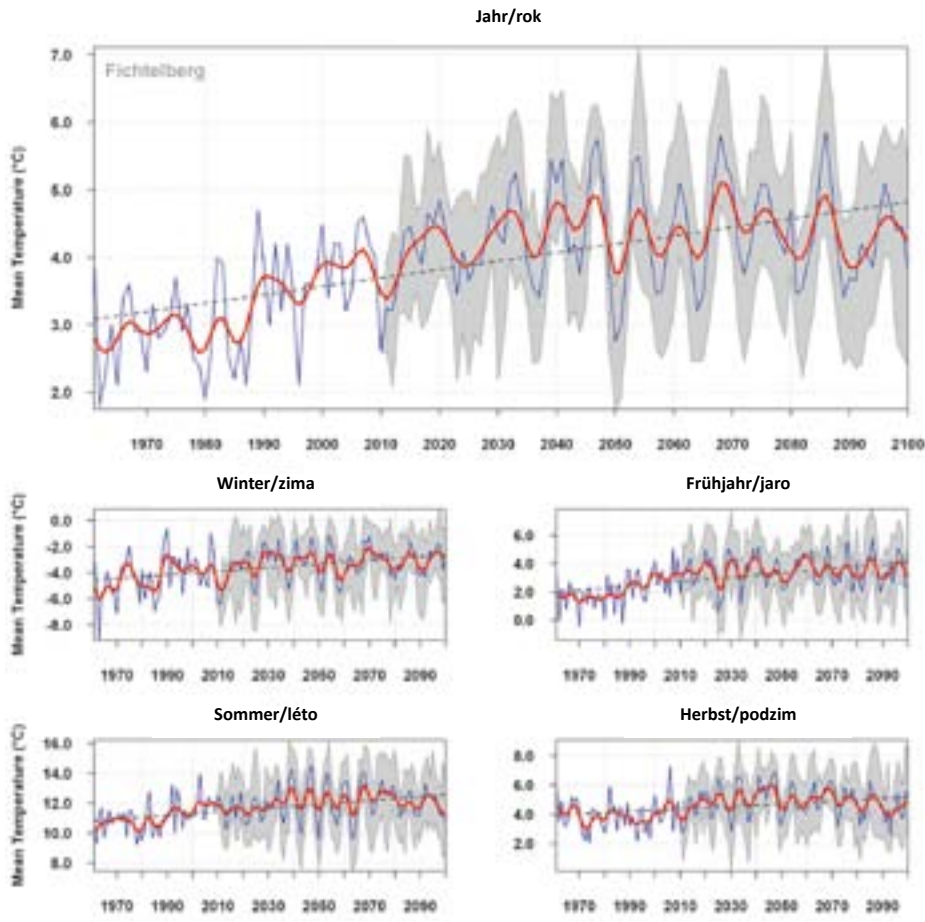


Abb. 3.3.4-3: Projektion der saisonalen Temperaturen an der Station Fichtelberg, Szenario RCP2.6, Modell WETTREG (blaue Linie: Mittelwert, rote Linie: 10-jährig gleitender Mittelwert, grauer Bereich: 95 % Konfidenzintervall ausgedrückt als das 1.96-fache der Standardabweichung vom Mittelwert)
 Obr. 3.3.4-3: Projekce sezónních teplot vzduchu na stanici Fichtelberg, scénář RCP2.6, model WETTREG (modrá křivka: průměrné hodnota, červená křivka: 10ti letý klouzavý průměr, šedá oblast: 95 % interval spolehlivosti, vyjádřen jako 1,96 násobek standardní odchylky od průměru)

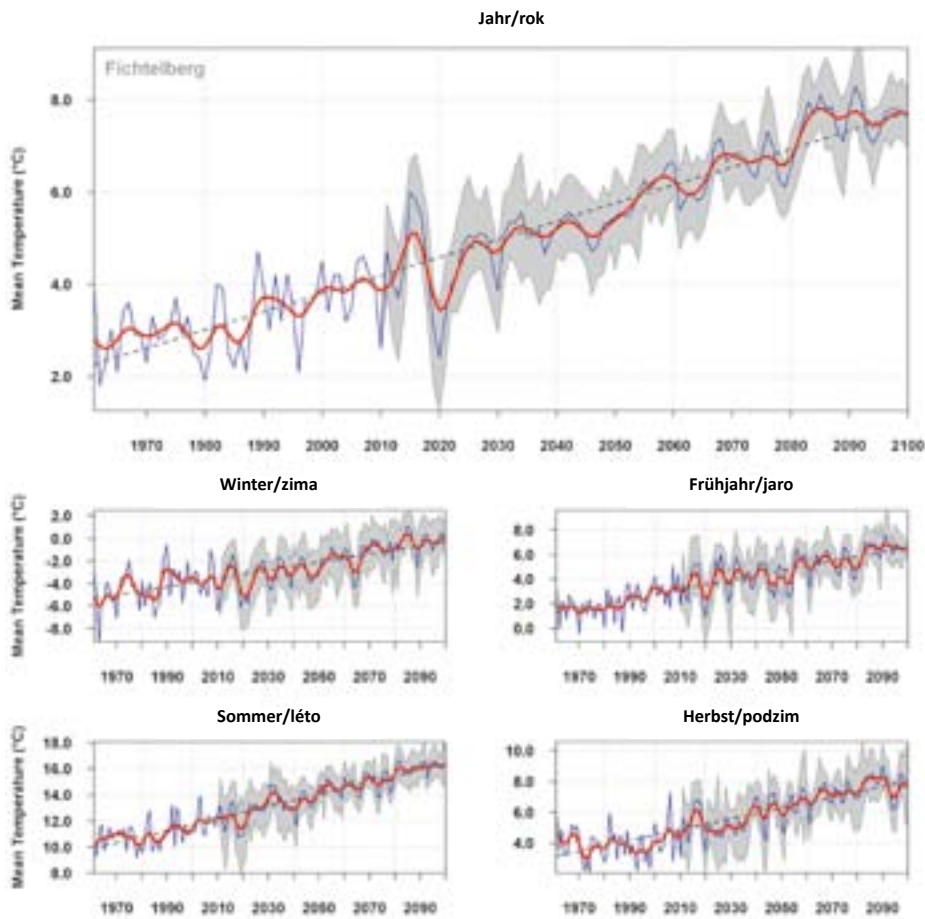


Abb. 3.3.4-4: Projektion der saisonalen Temperaturen an der Station Fichtelberg, Szenario RCP8.5, Modell WETTREG (blaue Linie: Mittelwert, rote Linie: 10-jährig gleitender Mittelwert, grauer Bereich: 95 % Konfidenzintervall ausgedrückt als das 1.96-fache der Standardabweichung vom Mittelwert)
 Obr. 3.3.4-4: Projekce sezónních teplot vzduchu na stanici Fichtelberg, scénář RCP8.5, model WTTREG (modrá křivka: průměrné hodnota, červená křivka: 10ti letý klouzavý průměr, šedá oblast: 95 % interval spolehlivosti, vyjádřen jako 1,96 násobek standardní odchylky od průměru)

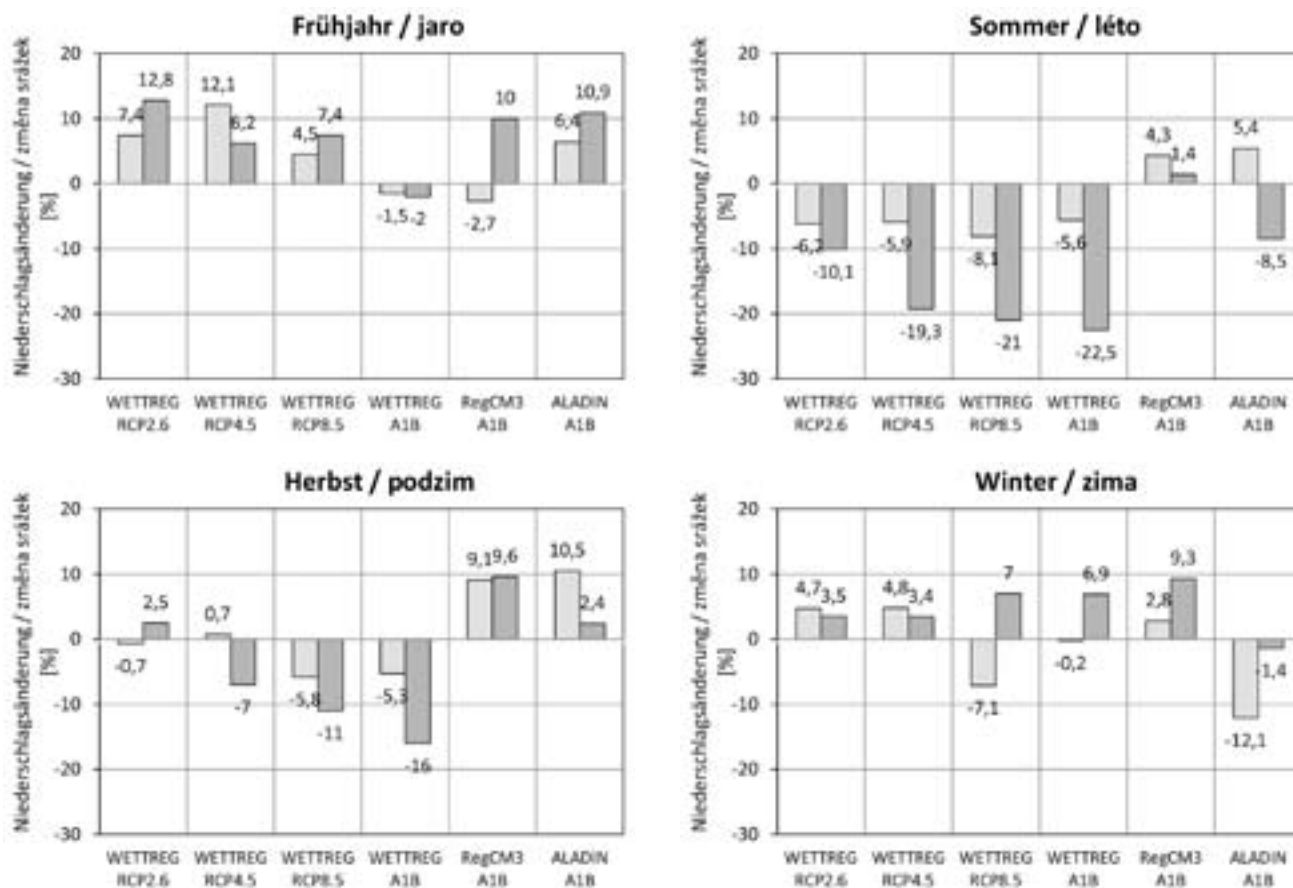


Abb. 3.3.4-5: Projektion der saisonalen Niederschlagsänderung 2021–2050 und 2071–2100 im Vergleich zu 1961–1990 für den böhmisch-sächsischen Grenzraum

□ 2021-2050
■ 2071-2100

Obr. 3.3.4-5: Projektce sezónních změn srážek 2021–2020 a 2071–2100 v porovnání s lety 1961–1990 pro česko-saské pohraničí

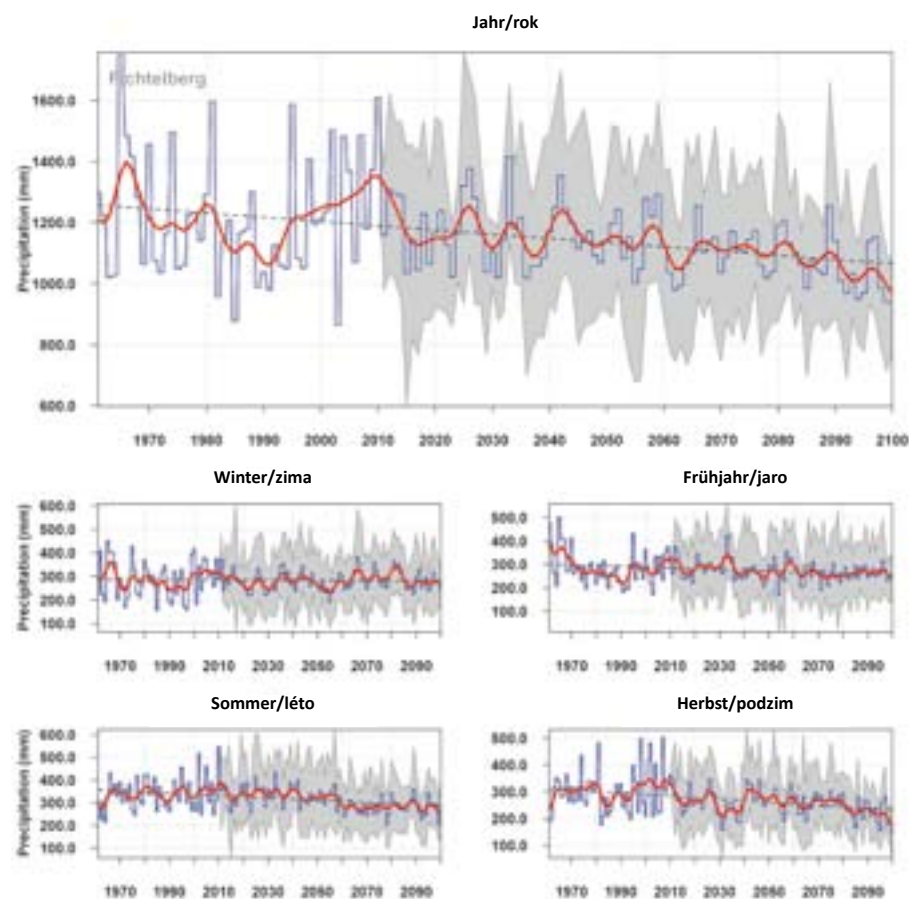


Abb. 3.3.4-6: Projektion der saisonalen Niederschlagssummen an der Station Fichtelberg, Szenario A1B, Modelle ALADIN-Climate/CZ, RegCM3 und WETTREG (blaue Linie: Mittelwert, rote Linie: 10-jährig gleitender Mittelwert, grauer Bereich: 95 % Konfidenzintervall ausgedrückt als das 1,96-fache der Standardabweichung vom Mittelwert)

Obr. 3.3.4-6: Projektce sezónního množství srážek na stanici Fichtelberg, scénář A1B, modely ALADIN-Climate/CZ, RegCM3 a WETTREG (modrá křivka: průměrná hodnota, červená křivka: 10ti letý klouzavý průměr, šedá oblast: 95 % interval spolehlivosti, vyjádřen jako 1,96 násobek standardní odchylky od průměru)

Niederschlagsentwicklung ableiten lassen. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass die Berücksichtigung mehrerer Modelle einen entscheidenden Informationszugewinn bietet. Durch die Darstellung der Unsicherheiten können möglicherweise irreführende Schlussfolgerungen, die auf Grundlage nur eines Modelles gezogen würden, vermieden werden. Diese Herangehensweise wird auch als »Ensemble«-Ansatz bezeichnet und ist für Klimafolgenbetrachtungen und Fragen der Klimaanpassung von grundsätzlicher Bedeutung.

3.3.4.3 Ereignistage und Klimaindizes – Kenngrößen des Klimawandels

Im Hinblick auf die möglichen Auswirkungen der Klimaveränderungen können spezifische Kenngrößen Aufschluss über zu erwartende umweltrelevante Veränderungen geben (Tab. 3.3.4-1). Typischerweise werden schwellenwertbasierte Kenntage, wie z. B. die Anzahl der Eistage, Frosttage, Sommertage oder heißen Tage verwendet. Beispielsweise zeigt die Änderung der Anzahl von heißen Tagen mit einem Temperaturmaximum über 30 °C auf markante Weise, wie die Temperaturerhöhung zukünftig vor Ort zum Ausdruck kommen kann. Im optimistischen Szenario RCP 2.6 ergibt sich auf Grundlage des regionalen Klimamodells WETTREG für den Zeitraum 2071–2100 eine Zunahme von 4 Tagen pro Jahr gegenüber 1961–1990 (im Mittel über das Projektgebiet traten ca. 5 heiße Tage pro Jahr auf). Die regional größten Zunahmen werden für das Elbtal und das Nordböhmisches Becken projiziert, lokal mit bis zu 8 Tagen mehr. Dieses räumliche Erwärmungsmuster kommt auch im pessimistischeren Szenario RCP 8.5 zum Ausdruck. Die Zunahme an heißen Tagen beträgt hier jedoch im Mittel über das INTERKLIM-Projektgebiet ca. 23 Tage pro Jahr. Im nordböhmisches Becken wird in diesem Szenario eine Zunahme von mehr als 40 heißen Tage gegenüber dem Zeitraum 1961–1990 (im Mittel < 10 Tage pro Jahr) projiziert. Der mit der Temperaturerhöhung einhergehende Rückgang von Kälte-Ereignistagen betrifft die Berglagen natürlicherweise in stärkerem Maße. Im Szenario RCP 8.5 nimmt die Anzahl der Eistage im Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zu 1961–1990 im Mittel um ca. 26 Tage pro Jahr ab. Die regionale Spanne reicht dabei von einer Abnahme von 15 Tagen im Tiefland bis zu einem Rückgang von über 40 Tagen pro Jahr in den Hochlagen des Erz- und Riesengebirges. Analog verhält sich der Rückgang der Frosttage in diesem Szenario. Gegen Ende des Jahrhunderts ist demnach mit einem mittleren Rückgang von ca. 40 Tagen im Tief- bzw. 60 Tagen pro Jahr im Bergland zu rechnen.

In Abb. 3.3.4-7 sind die regionalen Veränderungen der Häufigkeit von Ereignistagen anhand des moderaten Szenarios A1B für ausgewählte Stationen im Grenzraum dargestellt. Es ist zu berücksichtigen, dass sich die Interpretation der Veränderungen von Kenntagen in orographisch komplex gegliedertem Gelände, wie dem INTERKLIM-Projektgebiet, mitunter schwierig gestaltet, da die Ausprägung der Kenngrößen von der Geländehöhe abhängt. Beispielsweise steigt die Anzahl der Sommertage im Tiefland gegen Ende des Jahrhunderts deutlich an, während in den Kamm-lagen des Erz- und Riesengebirges zeitgleich nur geringfügige Änderungen zu verzeichnen sind, da hier auch zukünftig sehr

jüci informační přínos. Zobrazením nejistot je zřejmě možno za-mezit mylným závěrům, které by byly odvozeny na základě pou-ze jednoho modelu. Tento přístup má pro klimatologická bádání a otázky adaptace na změny klimatu zásadní význam.

3.3.4.3 Dny s výskytem a klimatický index – parametry změny klimatu

S ohledem na možné důsledky změny klimatu mohou specifické veličiny poskytnout poznatky o očekávaných změnách, ovlivňujících životní prostředí (tab. 3.3.4-1). Jako typické ukazatele jsou používány dny s výskytem na bázi limitních hodnot, jako například počet ledových, mrazových, letních či tropických dnů. Změna počtu tropických dní s teplotním maximem 30 °C nebo více například jasně ukazuje, jak se zvýšení teploty může v budoucnu v daném místě projevit. Podle regionálního klimatického modelu WETTREG vyplývá podle optimistického scénáře RCP 2.6 pro období let 2071–2100 nárůst 4 dnů ročně oproti období 1961–1990 (v průměru se v zájmovém území vyskytovalo cca 5 tropických dnů v roce). Regionálně největší nárůst je projektován pro údolí Labe a Severočeskou pánev, lokálně až o 8 dní více. Tento prostorový vzor oteplení je vyjádřen rovněž v pesimistickém scénáři RCP 8.5. Nárůst tropických dnů však v průměru pro celé zájmové území projektu INTERKLIM činí cca 23 dní ročně. V Severočeské pánvi je v tomto scénáři projektován nárůst více 40 tropických dní oproti období let 1961–1990 (průměrně < 10 dní za rok).

Pokles počtu chladných dní, který se zvýšením teploty souvisí, se přirozeně více týká horských poloh. Počet ledových dní klesá v období let 2071–2100 v porovnání s lety 1961–1990 ve scénáři RCP 8.5 průměrně o cca 26 dní ročně. Regionální rozsah přitom sahá od poklesu o 15 dní v nížinách až po pokles o více než 40 dní ročně v horských polohách Krušných hor a Krkonoš. Pokles mrazových dní v tomto scénáři je analogický. Ke konci století je tedy nutno počítat s poklesem o cca 40 dní v nížinách a 60 dní ročně v horských oblastech.

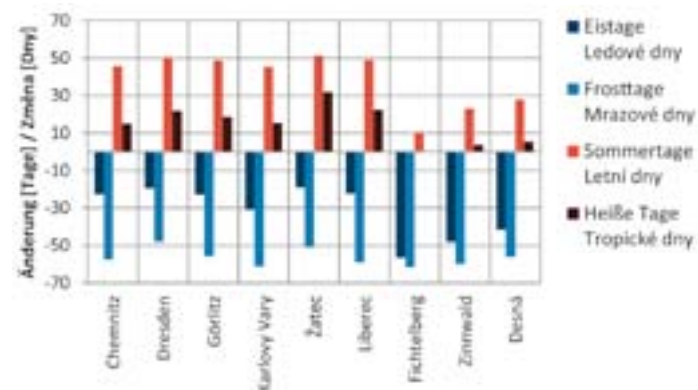


Abb. 3.3.4-7: Projizierte Häufigkeitsänderung von Ereignistagen für den Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zu 1961–1990, Szenario A1B, Modell WETTREG

Obr. 3.3.4-7: Projektovaná změna četnosti dnů s výskytem pro období 2071–2100 v porovnání s lety 1961–1990, scénář A1B, model WETTREG

Tab. 3.3.4-1 Typische Klimaindizes zur Beurteilung von Klimaveränderungen

Tab. 3.3.4-1: Typické klimatické indexy pro posouzení klimatických změn

Temperaturindizes Teplotní index	Beschreibung Popis	Niederschlagsindizes Srážkový index	Beschreibung Popis
TN10p	Kalte Nächte Chladné noci	R75p	Moderat nasse Tage Mírně mokré dny
TX10p	Kalte Tage Chladné dny	R95p	Sehr nasse Tage Velmi mokré dny
TN90p	Warme Nächte Teplé noci	R99p	Extrem nasse Tage Extrémně mokré dny
TX90p	Warme Tage Teplé dny	RR1	Tage mit ≥ 1 mm Dny s ≥ 1 mm
CSDI	Kalte Perioden Chladná období	RR10	Tage mit ≥ 10 mm Dny s ≥ 10 mm
WSDI	Warme Perioden Teplá období	RR30	Tage mit ≥ 30 mm Dny s ≥ 30 mm
FD	Frosttage Mrazové dny	CWD	Feuchteperioden Období vlhka
ID	Eistage Ledové dny	RRX	Nassperioden Období mokra
SF	Tage mit strengem Frost Dny s výskytem tuhého mrazu	CDD	Trockenperioden Období sucha
HD	Heiße Tage Tropické dny	TRK	Dürreperioden Dlouhé suché období
SU	Sommertage Letní dny		

selten Tageshöchsttemperaturen über 25 °C zu erwarten sind. Dies gilt umgekehrt auch für die Abnahme der Frost- und Eistage im Tiefland. Häufig wirken zudem lokalspezifische Faktoren auf die Ausprägung der genannten Kenngrößen, z. B. kann die lokale Geländebeschaffenheit die Bildung von Kaltluftseen und damit die Anzahl der Frosttage beeinflussen.

Vor diesem Hintergrund hat die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) überregional vergleichbare Klimaindizes spezifiziert (sogenannte perzentilbasierte Indizes, vgl. Tab. 3.3.4-1, Klein Tank, 2009), die einen direkten Vergleich klimatischer Kenngrößen verschiedener Orte ermöglichen. In den Abb. 3.3.4-8 und 3.3.4-9 sind die für die Zukunft projizierten Veränderungen von Kenntagen, WMO- und weiteren Klimaindizes zur Mitte und zum Ende des 21. Jahrhunderts am Beispiel der Stationen Fichtelberg und Görlitz dargestellt (Szenario A1B). Auch hier zeigen die Ergebnisse der verschiedenen Klimamodelle deutlich, dass wärmebezogene Kenngrößen wie »warme Nächte« oder die Anzahl an Wärmeperioden zukünftig häufiger auftreten, während typische Kälteereignisse wie »kalte Nächste« oder »kalte Tage« generell in ihrer Anzahl zurückgehen. Die durch die verschiedenen Modelle projizierte Entwicklung von Starkniederschlägen lässt keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu. Allerdings ergibt sich vor allem für die Tieflandstation Görlitz eine mögliche Zunahme der »Dürreperioden«, die hier als Perioden mit einer täglichen Niederschlagssumme $< 0,5$ mm an ≥ 10 Tagen (Tage/Jahr) definiert sind (TRK-Definition nach KLIWETT 2, vgl. Spekat et al., 2013).

Na obr. 3.3.4-7 jsou zobrazeny regionální změny četnosti dnů s výskytem podle scénáře A1B pro vybrané stanice v pohraničí. Přitom je potřeba zohlednit skutečnost, že interpretace změn dnů s výskytem v orograficky členitém terénu, jakým je i zájmové území projektu INTERKLIM, je velmi obtížná, protože charakteristika parametrů závisí na nadmořské výšce terénu. Počet letních dnů v nížinách tak například ke konci století výrazně roste, zatímco v hřebenových polohách Krušných hor a Krkonoš je možno současně zaznamenat pouze malé změny. I zde je totiž možno do budoucna očekávat nejvyšší denní teploty nad 25 °C pouze zřídka. Opačně to platí i pro pokles mrazových a ledových dnů v nížinách. Na charakter uvedených parametrů působí kromě toho i specifické lokální faktory. Například lokální povaha terénu může ovlivňovat tvorbu mrazových kotlin a tím ovlivnit počet mrazových dnů. Na základě toho specifikovala Světová meteorologická organizace (WMO) nadregionálně porovnatelný klimatický index (tak zvaný perzentilový index, srn. tab. 3.3.4-1, Klein Tank, 2009), umožňující přímé porovnání klimatických parametrů různých míst. Na obr. 3.3.4-8 a 3.3.4-9 jsou zobrazeny změny dnů s výskytem, indikátorů WMO a dalších klimatických indikátorů v polovině a ke konci 21. století na příkladu stanic Fichtelberg a Žhořelec (scénář A1B), projektované pro budoucnost. Výsledky různých klimatických modelů výrazně ukazují i zde, že teplotní parametry, jako jsou »teplé noci« nebo počet teplých období se budou do budoucna vyskytovat častěji, zatímco typické chladné jevy, jako »chladné noci« nebo »chladné dny« budou z hlediska jejich počtu obecně

Zusammenfassung

Die Klimamodellerggebnisse zeigen, dass der projizierte globale Temperaturanstieg im Laufe des 21. Jahrhunderts auch auf regionaler und lokaler Ebene im böhmisch-sächsischen Grenzraum erkennbar ist. Das konkrete Ausmaß der Temperaturerhöhung ist abhängig vom betrachteten Szenario und damit auch von der Wirksamkeit möglicher Klimaschutzmaßnahmen. Hinsichtlich der regionalen Niederschlagsentwicklung bestehen größere Unsicherheiten. Diese ergeben sich aus dem heterogenen und schwerer durch Modelle zu beschreibenden Charakter des Niederschlages insbesondere in orographisch komplexen Regionen wie dem böhmisch-sächsischen Grenzraum. In diesem Zusammenhang

klesat. Vývoj silných srážek, projektovaný různými modely, neumožňuje formulovat jednoznačné závěry. Pro nížinou stanici Zhořelec však vyplývá možný nárůst »období dlouhého sucha«, která zde jsou definována jako období s denním úhrnem srážek < 0,5 mm při ≥ 10 dnech (dny/rok) (definice TRK podle KLIWETT 2, srn. Spekat et al, 2013).

Shrnutí

Výsledky klimatických modelů ukazují, že projektovaný globální nárůst teploty vzduchu v průběhu 21. století se projeví i na regionální a lokální úrovni v česko-saském pohraničí. Konkrétní rozsah zvýšení teploty vzduchu závisí na sledovaném scénáři a tím i na

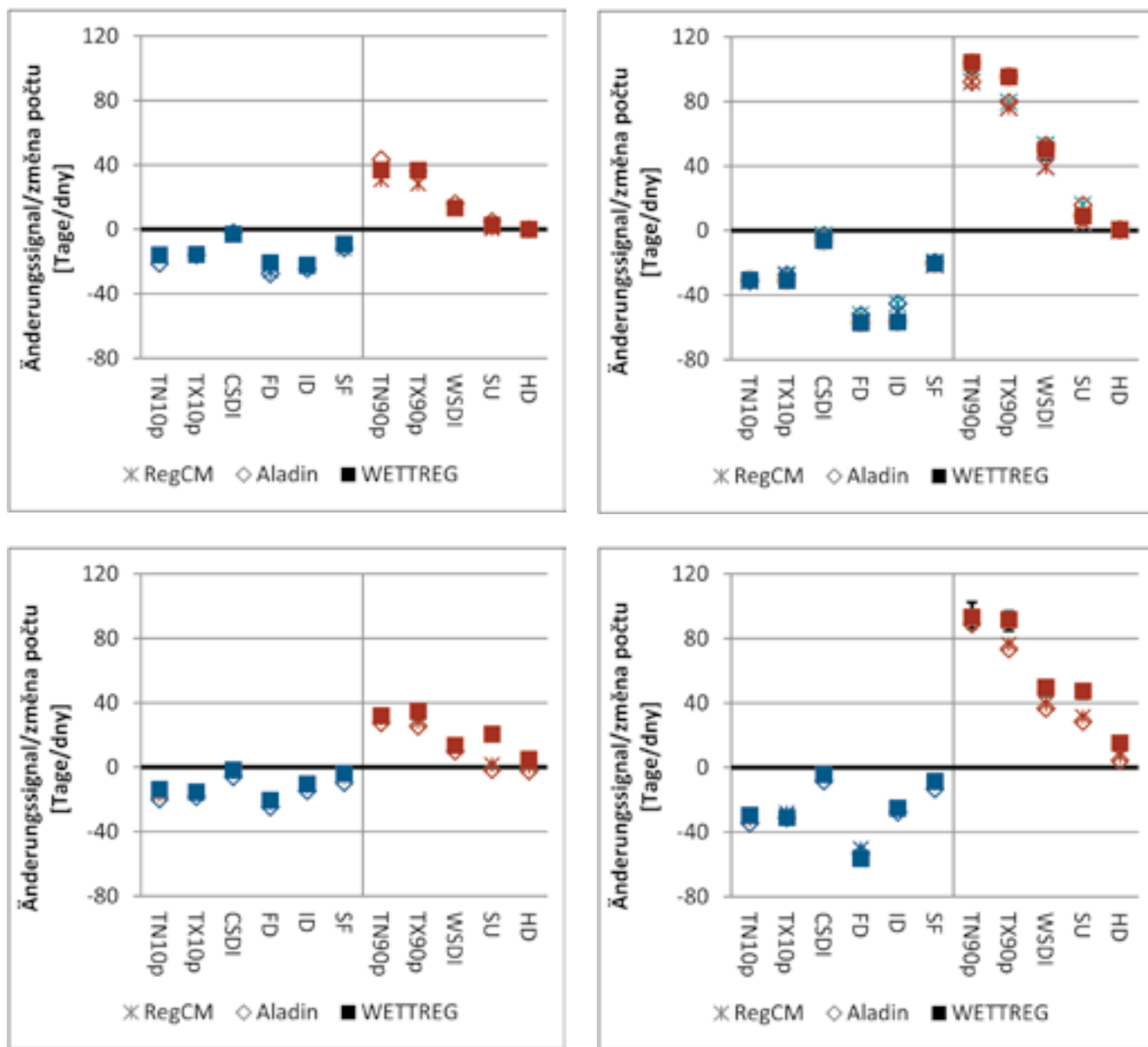


Abb. 3.3.4-8: Projizierte Änderungssignale der Temperaturindizes und Ereignistage 2021–2050 (links) und 2071–2100 (rechts) am Beispiel der Station Fichtelberg (oben) und Görlitz (unten), Szenario A1B, Modelle RegCM3, ALADIN und WETTREG (graue Fehlerbalken geben die Bandbreite von 10 WETTREG-Realisierungen wieder)

Obr. 3.3.4-8: Projektované signály změn teplotních indexů a dnů s výskytem 2021–2050 (vlevo) a 2071–2100 (vpravo) na příkladu stanice Fichtelberg (nahore) a Zhořelec (dole), scénář A1B, modely RegCM3, ALADIN a WETTREG (šedivé chybové úsečky zobrazují rozsah 10 běhů modelu WETTREG).

ist es gerade für schwer abschätzbare Größen unerlässlich, die Ergebnisse mehrerer Modelle mit in Betracht zu ziehen. Die Verwendung und Interpretation verschiedener Modellansätze erlaubt es, die Bandbreite möglicher klimatischer Entwicklungen im böhmisch-sächsischen Grenzraum abzubilden und diese Erkenntnisse für die Ableitung angemessener Klimaanpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen zu nutzen.

účinnosti možných opatření na ochranu klimatu. Velká nejistota panuje v oblasti regionálního vývoje srážek. Tato nejistota pramení z heterogenního charakteru srážek především v orograficky rozdílných regionech, jaký je česko-saské pohraničí, které lze pomocí modelů popsat pouze velmi obtížně. Především pro obtížně odhadnutelné veličiny je v této souvislosti nezbytné zohlednit výsledky několika modelů. Použití a interpretace různých modelů umožňuje zobrazit celou šíři možného vývoje klimatu v česko-saském pohraničí. Tyto poznatky je pak možno využít pro stanovení vhodných opatření v oblasti přizpůsobení se změnám klimatu a ochrany klimatu.

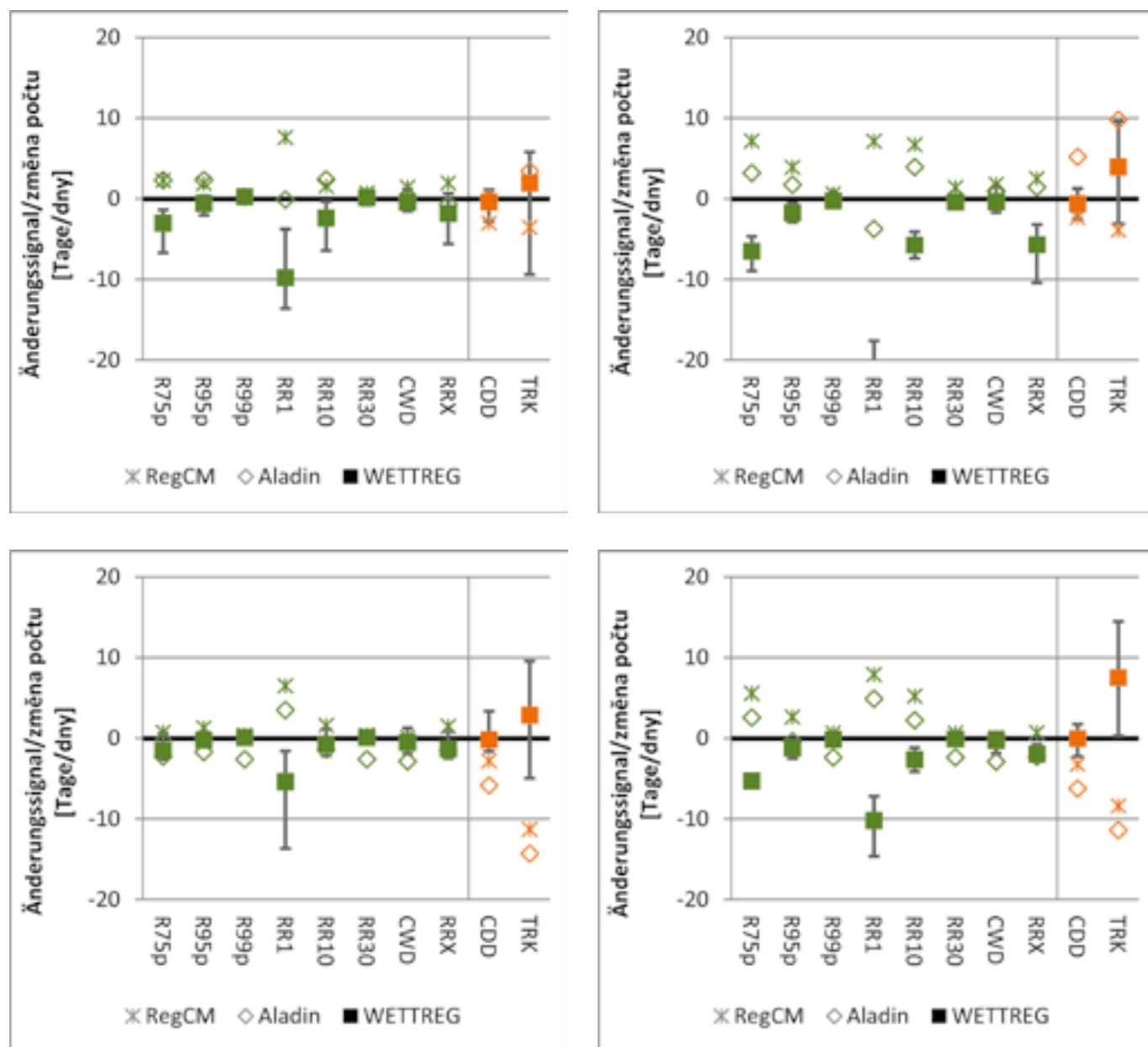


Abb. 3.3.4-9: Projizierte Änderungssignale der Niederschlagsindizes und Ereignistage 2021–2050 (links) und 2071–2100 (rechts) am Beispiel der Station Fichtelberg (oben) und Görlitz (unten), Szenario A1B, Modelle RegCM3, ALADIN und WETTREG (graue Fehlerbalken geben die Bandbreite von 10 WETTREG-Realisierungen wieder)

Obr. 3.3.4-9: Projektované signály změn srážkových indexů a dnů s výskytem 2021–2050 (vlevo) a 2071–2100 (vpravo) na příkladu stanice Fichtelberg (nahore) a Zhořelec (dole), scénář A1B, modely RegCM3, ALADIN a WETTREG (šedivé chybové sloupce zobrazují šíři 10 běhů modelu WETTREG).

4 Der Klimawandel und seine Auswirkungen – Fachbeiträge aus dem böhmisch-sächsischen Grenzraum

4 Změna klimatu a jeho důsledky – vybrané výzkumy z česko-saského pohraničí

Vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden klimatischen Veränderungen, gewinnt der Austausch von regional vorhandenem Fachwissen im Bereich Klimafolgen und Klimaanpassung zunehmend an Bedeutung. Die nachfolgenden Kapitel beinhalten ausgewählte Beiträge von sächsischen und böhmischen Experten zu den Themen Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Bioklima und Gesundheit sowie Wirtschaft und Tourismus.

4.1 Land- und Forstwirtschaft

4.1.1 Der Gehalt an Alphasäuren im Hopfen und globaler Klimawandel

Einführung

Der Gehalt an Alphasäuren stellt einen wichtigen Parameter für die Hopfenqualität dar. Die Abhängigkeit des Gehaltes an Alphasäuren von der Entwicklung des Wetters während der Vegetationsperiode ist seit mehreren Jahrzehnten bekannt. Aus Langfristbeobachtungen zum Alphasäuregehalt im in Mitteleuropa angebauten Hopfen ergibt sich eine bedeutende Variabilität zwischen den einzelnen Jahren. Zattler und Jehl (1962) leiteten aus langjährigen Beobachtungen, die in den Jahren 1926 bis 1961 im Raum Hallertau in Deutschland durchgeführt wurden, die Schlussfolgerung ab, dass ein hoher Gehalt an Alphasäuren sehr oft mit einem feuchten Sommer, Temperaturen leicht unterhalb des Durchschnittswertes, aber auch mit einer durchschnittlichen Strahlungsmenge einhergeht. Thompson und Neve (1972) schlussfolgerten, dass die saisonbedingten Schwankungen des Niveaus der Alphasäuren mit Unterschieden hinsichtlich der Lufttemperatur in der Zeitspanne von etwa 40 bis 60 Tagen vor der Ernte verbunden sind. Nach Smith (1969) gibt es bezüglich der Biosynthese von Alphasäuren in der Zeit von Juli bis August für jede Sorte eine optimale Temperatur, die sich anscheinend zwischen 16 und 17 °C bewegt. Die ungünstigen Auswirkungen hoher Temperaturen auf die Entwicklung von Hopfenharzen während der Hopfenreife wurden durch Ljašenko (1985) und Magadan (1999) bestätigt. Wie Hautke (1979) ausführt, können sich nicht nur hohe, sondern auch niedrige Temperaturen (unter 12 °C) während der Reife der Hopfendolden auf den Gehalt an Alphasäuren auswirken. Hacin (1987) ermittelte für den Zeitraum 1972–1983 eine hohe positive Korrelation zwischen Alphasäuregehalt und Niederschlag sowie eine

S ohledem na zjizitelné změny klimatu se stává čím dál důležitější výměna dostupných odborných informací v regionální měřítku. Následující kapitoly obsahují vybrané příspěvky saských a českých odborníků s tématickým zaměřením na oblast zemědělství, lesnictví, vodní hospodářství, bioklima a zdraví, stejně jako na hospodářství a cestovní ruch.

4.1 Zemědělství a lesní hospodářství

4.1.1 Obsah alfa kyselin ve chmelu a globální klimatické změny

Úvod

Nejdůležitějším parametrem kvality chmele je obsah alfa kyselin. Závislost obsahu alfa kyselin na vývoji počasí v průběhu vegetační sezóny je dobře známa již několik desetiletí. Dlouhodobé sledování obsahu alfa kyselin v chmelu pěstovaných v regionu střední Evropy ukazuje významnou meziroční variabilitu. Na základě dlouhodobého pozorování v letech 1926–1961 v oblasti Hallertau (Německo) došli Zattler a Jehl (1962) k závěru, že vysoký obsah alfa kyselin byl často spojen s vlhkým létem, lehce podprůměrnými teplotami, ale s průměrným množstvím slunečního svitu. Thompson a Neve (1972) došli k závěru, že sezónní výkyvy hladiny alfa kyselin jsou spojeny s rozdíly v teplotě vzduchu v přibližně 40 až 60denním období před sklizní. Podle Smitha (1969) existuje pro každou odrůdu v období červenec–srpen optimální teplota z pohledu biosyntézy alfa kyselin. Tato teplota se zdá být mezi 16 a 17 °C. Nepříznivý vliv vysokých teplot na tvorbu chmelových pryskyřic v období zrání chmele potvrdili Ljašenko (1985) a Magadan (1999). Nejen vysoké, ale i nízké teploty (pod 12 °C) v průběhu zrání chmelových hlávek mohou nepříznivě ovlivnit obsah alfa kyselin v chmelu, jak uvádí Hautke (1979). Vysoce pozitivní korelace mezi obsahem alfa kyselin a srážkami a negativní korelaci mezi obsahem alfa kyselin a max. denními teplotami našel Hacin (1987) ve slovinských chmelech v období let 1972 až 1983. Multilineární matematický model vztahu mezi obsahem alfa kyselin v chmelu a meteorologickými veličinami odvodil Park (1988) pro odrůdu Hallertauer pěstované v Jižní Koreji. Tento článek popisuje matematický model pro predikci obsahu alfa kyselin z meteorologických dat pro Žatecký poloraný

negative Korrelation zwischen dem Gehalt an Alphasäuren und den maximalen Tagestemperaturen im slowenischen Hopfen. Park (1988) leitete für die in Südkorea angebaute Sorte Hallertauer ein mathematisches multilineares Modell für die Beziehung zwischen dem Gehalt an Alphasäuren im Hopfen und meteorologischen Größen ab. In diesem Beitrag wird dieses mathematische Modell zur Voraussage des Gehaltes an Alphasäuren aus den meteorologischen Daten für die Sorte Halbfrüher Rothopfen (Saazer Hopfen) beschrieben, die beim Hopfenanbau in der Tschechischen Republik die meiste Verbreitung findet. Die Zuverlässigkeit des Modells wurde in zwei Anbaugebieten unterschiedlicher Höhenlage und unterschiedlicher klimatischen Standortseigenschaften getestet. In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten des Hopfenbaus in der Tschechischen Republik diskutiert.

Material und Methoden

Das mathematische Modell zur Beschreibung der Beziehung zwischen dem Gehalt an Alphasäuren und meteorologischen Parametern wurde für den Halbfrühen Rothopfen auf Basis der Analyse einer 25-jährigen Datenreihe aus den Jahren 1981 bis 2006 für den Standort Brozany entwickelt. Brozany ist ein traditionelles Hopfenanbaugebiet im zentralen Teil des Auschaer Hopfengebietes und liegt in einer Höhe von 158 m ü. NN. Der Gehalt an Alphasäuren in den einzelnen Hopfenpartien wurde als ein konduktometrischer Wert mittels der EBC 7.4-Methode ermittelt. Diese analytische Methode wurde während der gesamten Untersuchung angewendet, so dass auf diesem Weg mindestens 20 Werte für Alphasäuren aus jeder Ernte gewonnen werden konnten. Der in dem Modell verwendete Wert wurde als arithmetischer Durchschnitt der Einzelergebnisse ermittelt. Die meteorologischen Angaben wurden vom Observatorium des Tschechischen hydrometeorologischen Institutes in Doksany übernommen, welches sich etwa zwei Kilometer von den Versuchsfeldern entfernt befindet.

Als Eingangsvariablen für das Modell wurden die durchschnittlichen Tageswerte von Lufttemperatur, Luftfeuchte, Sonnenscheindauer sowie der Tagesniederschlag verwendet. Die Analyse der Daten setzt eine lineare Abhängigkeit des Gehaltes an Alphasäuren von den klimatischen Bedingungen in unterschiedlichen Monaten des Jahres voraus. Die 25-jährigen Reihen der Tageswerte der zur Verfügung stehenden Variablen wurden mit Hilfe der Software Mini32 (EMS Brno, CZ; www.emsbrno.cz) zu einem Datensatz zusammengeführt und anschließend in Variablen aufgeteilt, die jeweils Daten eines bestimmten Monats der Wachstumsperiode beinhalteten. Anhand einer gewöhnlichen Regressionsanalyse wurden die relevanten Variablen für die weitere Verarbeitung ermittelt. Mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse wurden Parameter ermittelt, mit deren Hilfe der prozentuelle Gehalt an Alphasäuren als Funktion der Witterungsverhältnisse in bestimmten Monaten während des gesamten 25-jährigen Zeitabschnittes dargestellt wurde. Die Variablen mit einem bedeutenden Einfluss auf den Gehalt an Alphasäuren wurden unter Berücksichtigung des Bestimmtheitsmaßes und der Standardabweichung der geschätzten Parameter ausgewählt.

červeňák (ŽPČ), nejběžnější odrůdu chmele pěstovanou v České Republice. Spolehlivost modelu byla testována ve dvou pěstitelských lokalitách s různou nadmořskou výškou a odlišnými klimatickými charakteristikami stanoviště. V článku jsou dále diskutovány možnosti českého chmelařství při řešení možných dopadů globálních klimatických změn na pěstování chmele v ČR.

Material a metody

Matematický model vztahu mezi obsahem alfa kyselin a meteorologickými parametry byl zpracován pro Žatecký poloraný červeňák na základě analýzy dvacetipětileté datové řady z v období let 1981 až 2006 v lokalitě Brozany. Brozany je tradiční lokalita pěstování chmele v centrální části oblasti úštěcké chmelařské oblasti v nadmořské výšce 158 m. Obsah alfa kyselin v jednotlivých partiích chmele byl stanoven jako konduktometrická hodnota, stanovená metodou EBC 7.4. Stejná analytická metoda byla použita v průběhu celého šetření. Tímto způsobem bylo získáno alespoň 20 hodnot alfa kyselin z každé sklizně. Hodnota použitá v modelu byla počítána jako aritmetický průměr jednotlivých výsledků. Meteorologické údaje byly převzaty z Českého hydrometeorologického ústavu, observatoře Doksany, která se nachází ve vzdálenosti dvou kilometrů od farmy.

Jako vstupní proměnné modelu byly použity průměrné denní hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu, délka slunečního svitu a denní suma srážek. Analýza dat byla založena na předpokladu lineární závislosti výnosu alfa kyselin na klimatických podmínkách v různých měsících roku. Pětadvacetileté časové řady denních hodnot dostupných proměnných byly pomocí software Mini32 (EMS Brno, CZ; www.emsbrno.cz) sloučeny do jednoho datového souboru a následně rozděleny na proměnné obsahující data vždy určitého měsíce růstové periody. Za použití běžné lineární regrese byly vybrány relevantní proměnné pro další zpracování. Pomocí multiregresní analýzy byly vypočteny parametry rovnice popisující procentní obsah alfa kyselin jako funkci povětrnostních podmínek v určitých měsících v celém 25letém období. Proměnné s významným vlivem na obsah alfa kyselin byly vybrány s ohledem na koeficienty determinace jejich parametrů a srovnatelné standardní chyby odhadu jednotlivých parametrů.

Spolehlivost modelu byla testována v následujícím období v letech 2007 až 2013 na dvou lokalitách: Brozany (úštěcká oblast) a Kněževy. Druhá lokalita se nachází v žatecké oblasti asi 70 km na západ od Brozany v nadmořské výšce 364 m. Tato lokalita s jinou nadmořskou výškou byla vybrána s cílem posouzení obecné použitelnosti modelu.

Výsledky a diskuse

Výsledný optimální tvar rovnice pro výpočet obsahu alfa kyselin byl nalezen ve tvaru:

$$\text{alfa}[\%] = \text{par1} + \text{par2} \times \text{var1} + \text{par2} \times \text{var2} + \text{ar3} \times \text{var3} + \text{par5} \times \text{var4} + \text{par6} \times \text{var5} + \text{par7} \times \text{var6} + \text{par8} \times \text{var7} + \text{par9} \times \text{var8} + \text{par10} \times \text{var9}$$

Die Zuverlässigkeit des Modells wurde in den folgenden Jahren 2007 bis 2013 an zwei Standorten überprüft: Brozany (Auschaer Gebiet) und Kněževes u Rakovníka. Der zweite Standort befindet sich im Saazer Anbauggebiet etwa 70 km westlich von Brozany in einer Höhenlage von 364 m ü. NN. Dieser Standort wurde mit dem Ziel ausgewählt, die allgemeine Verwendbarkeit des Modells in anderen Höhenlagen zu überprüfen.

Ergebnisse und Diskussion

Die optimale Gleichung zur Berechnung des Gehaltes an Alphasäuren wurde in folgender Form ermittelt:

$$\text{alfa}[\%] = \text{par1} + \text{par2} \times \text{var1} + \text{par2} \times \text{var2} + \text{ar3} \times \text{var3} + \text{par5} \times \text{var4} + \text{par6} \times \text{var5} + \text{par7} \times \text{var6} + \text{par8} \times \text{var7} + \text{par9} \times \text{var8} + \text{par10} \times \text{var9}$$

Die Werte der Parameter wurden Tab. 4.1.1-1 entnommen. Die Variablen mit einer negativen Auswirkung auf den Ertrag sind gelb unterlegt.

Aus der Regressionsanalyse ergab sich, dass nur die klimatischen Bedingungen im Juni, Juli und August eine bedeutende Auswirkung auf den Gehalt an Alphasäuren im Saazer Hopfen haben. Die Abhängigkeit zwischen dem tatsächlichen und dem berechneten Gehalt an Alphasäuren für den Halbfrühen Rothopfen in Brozany für die Jahre 1981 bis 2006 ist in Abb. 1 bzw. 2 dargestellt (Korrelationskoeffizient $R^2 = 0,83$).

In dem Regressionsmodell spiegelte sich eine negative Teilkorrelation zwischen Julitemperaturen dem Alphasäuregehalt ($r5 = -0,236$) wieder. Interessanterweise ist der Niederschlag nur geringfügig im August ($r10 = -0,004$) bzw. indirekt mittels Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur von Bedeutung. In manchen Jahren kommt es vor, dass ein intensiver Niederschlag im August nach einer Trockenperiode das Größenwachstum der Hopfendolden unterstützt, die Biosynthese der Hopfenharze aber zurück bleibt. Das hat eine »Verdünnung« der Alphasäuren in den Dolden zur Folge. Der negative Korrelationskoeffizient (par10) zwischen dem Gehalt an Alphasäuren und dem Niederschlag im August wird auch durch empirische Beobachtungen bestätigt. Der globale Klimawandel kann zu einem Anstieg der Durchschnittstemperaturen führen und ein Niederschlagsdefizit während der Vegetationsperiode sowie ein häufigeres Auftreten extremer Witterungsereignisse wie Hagelschlag, Sturm, Dürreperioden oder Platzregen verursachen. Alle diese Faktoren können sich nicht nur auf den Gehalt an Alphasäuren, sondern auch auf den Ertrag auswirken. Durch eine höhere Luftfeuchtigkeit wird ein starker Infektionsdruck von Pilzkrankungen hervorgerufen (Hopfenmehltau, Falscher Mehltau), der durch chemische Schutzmaßnahmen nicht zwangsläufig beherrschbar ist. Im Juli und August der Jahre 1994 und 2006 wurden in Mitteleuropa langanhaltende, niederschlagsfreie Perioden mit maximalen Tagestemperaturen weit über 30 °C (35–39 °C) verzeichnet. Gleichzeitig wurde in beiden Jahren beim Saazer Hopfen der historisch niedrigste Gehalt an Alphasäuren festgestellt. Die Genauigkeit des Modells in solchen extremen Jahren ist selbstverständlich geringer. Die Schätzung des Gehaltes an Alphasäuren ist dann um 24 % bzw. 37 % höher als in der Realität. Dies kann auf eine nicht-lineare Auswirkung von Variablen oder auch auf andere Fak-

S hodnotami parametrů z tab. 4.1.1-1. Proměnné s negativním vlivem na výnos jsou vyznačeny žlutě:

Tab. 4.1.1-1: Modellparameter

Tab. 4.1.1-1: Parametry modelu

Variable Proměnná		Parameter Parametr		
Code Označení	Bezeichnung Název	Monat Měsíc	Wert Hodnota	Code Označení
	Absolut Absolutní člen		5,916	par1
var1	Mittlere Sonnenscheindauer (h)	6	-0,22	par2
var2	Průměrná délka slunečního svitu (hod)	7	0,117	par3
var3		8	-0,218	par4
var4	Mittlere Monats-temperatur (°C)	7	-0,236	par5
var5	Průměrná měsíční teplota (°C)	8	0,163	par6
var6	Mittlere monatliche Luftfeuchte (%)	6	-0,092	par7
var7	Průměrná měsíční vlhkost vzduchu (% rel.)	7	0,058	par8
var8		8	0,061	par9
var9	Monatliche Niederschlagssumme (mm) Kumulativní srážky v měsíci (mm)	8	-0,004	par10

Regresní analýza ukázala, že zásadní vliv na obsah alfa kyselin v Žateckém červeňáku mají pouze klimatické podmínky v červnu, červenci a srpnu. Závislost mezi skutečným a vypočteným obsahem alfa kyselin pro ŽPČ v Brozanech v letech 1981–2006 s korelačním koeficientem $R^2 = 0,83$ ukazují obr. 1 a 2.

Částečná negativní korelace teplot v červenci a alfa kyselin se výrazně projevila v regresním modelu ($r5 = -0,236$). Je zajímavé, že srážky jsou zahrnuty pouze okrajově v srpnu ($r10 = -0,004$), a nepřímo prostřednictvím vlhkosti a teploty vzduchu. V některých letech se stává, že intenzivní deště v průběhu měsíce srpna, které přicházejí po období sucha, podporují růst velikosti chmelových hlávek, ale biosyntéza chmelových pryskyřic zaostává. To má za následek »ředění« alfa kyselin v hlávkách. Negativní korelační koeficient (par10) mezi obsahem alfa kyselin a srážkami v srpnu potvrzují i empirická pozorování. Globální klimatické změny mohou způsobit zvýšení průměrné teploty, deficit srážek během vegetačního období a častější výskyt extrémních povětrnostních jevů, jako krupobití, vichřice, dlouhodobá sucha či přivalové deště. Všechny tyto faktory mohou ovlivnit nejen obsah alfa kyselin, ale také výnos. Zvýšená vlhkost vzduchu bude vytvářet silný infekční tlak houbových chorob (padlí chmelové, peronospora chmelová), který chemická ochrana nemusí zvládat. V regionu střední Evropy byly v

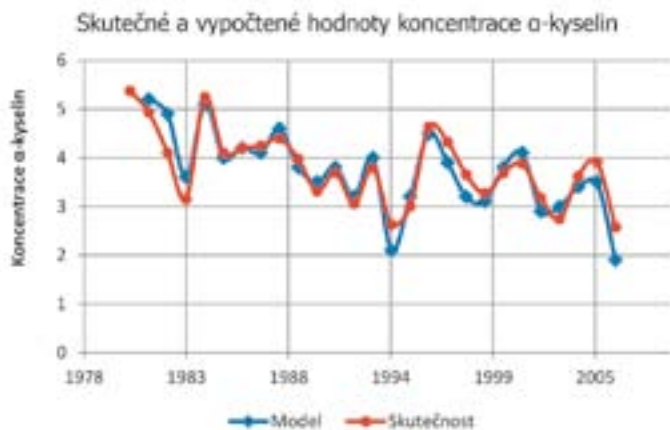


Abb. 4.1.1-1: Die Abhängigkeit zwischen dem tatsächlichen und dem ermittelten Gehalt an Alphasäuren für den Halbfrühen Rothopfen in Brozany in den Jahren 1981 bis 2006.

Obr. 4.1.1-1: Závislost mezi skutečným a vypočteným obsahem alfa kyselin v ŽPČ v Brozanech v letech 1981–2006

toren zurückzuführen sein, die im Modell nicht berücksichtigt wurden. Einen solchen Faktor können die hydrologischen Parameter des Bodens darstellen. Die relativen Unterschiede zwischen dem tatsächlichen und dem modellierten Gehalt an Alphasäuren während der Jahre 2007–2013 liegen im Intervall [- 17,3 bis + 7 % rel.] in Brozany und [- 17,8 bis + 11,5 % rel.] in Kněževs (Abb. 4.1.1-2). Auf die Aussagefähigkeit der Daten aus Kněževs wirken sich fehlende Daten aus den Jahren 2007 und 2013 sowie die unterschiedliche Höhenlage des Standortes aus.

Eine Extrapolation der Veränderung des Alphasäuregehaltes im Zusammenhang mit dem möglichen zukünftigen Klimawandel ist auf Grundlage des mathematischen Modells stark diskutabel. Die angesprochenen höheren Temperaturen können gleichzeitig auch zu einer höheren Verdunstung sowie häufigeren Starkniederschlägen führen. Die Risiken einer Zerstörung der Hopfenfelder durch Hagel und Sturm bzw. eines hohen Infektionsdruckes durch Pilzkrankungen sind deutlich größer, als der Einfluss des Gehaltes an Alphasäuren für den Ertrag und die gesamte Ernte. Den Auswirkungen des Klimawandels kann der böhmische Hopfenbau mit einer Reihe von Maßnahmen begegnen. Im Hinblick auf die hohe regionale Variabilität der Böden in den Hopfenanbaugebieten der Tschechischen Republik kann der Hopfenbau auf Mikroregionen konzentriert werden, die für den Anbau aus bodenkundlicher und klimatischer Sicht die besten Voraussetzungen bieten. Dieser Prozess findet bereits statt. Ein bedeutender stabilisierender Faktor ist eine regelmäßige Erneuerung der Bestände, da die alten Bestände an Leistungsfähigkeit verlieren und mit den Schwankungen des Wetters schwieriger zurechtkommen. Ein weiteres wirksames Werkzeug ist die Nutzung ergänzender Bewässerung, mit deren Hilfe man den Folgen des globalen Klimawandels erfolgreich begegnen kann. Eine bedeutende Rolle kann auch der Züchtung neuer Hopfensorten mit einer längeren Vegetationszeit und einer Toleranz gegenüber höheren Temperaturen zukommen.

letech 1994 a 2006 v průběhu července a srpna zaznamenány dlouhodobé bezdešťové periody s maximálními denními teplotami vysoko nad 30 °C (35–39 °C). V obou letech byly u Žateckého červeňáku současně dosaženy historicky nejnižší obsahy alfa kyselin. Přesnost modelu v takových extrémních letech je samozřejmě horší. Odhad obsahu alfa kyselin je vyšší o 24 %, respektive 37 % ve srovnání se skutečností. To může být způsobeno nelineárním vlivem některé proměnných nebo prostě jinými faktory, které nebyly do modelu zahrnuty. Jedním z takových možných faktorů mohou být půdně-hydrologické parametry. Relativní rozdíly mezi skutečnými a modelovými obsahy alfa kyselin v průběhu testovacího období 2007–2013 byly v intervalu [-17,3 až + 7 % rel.] v Brozanech a [-17,8 do + 11,5 % rel.] v Kněževsi (obr. 4.1.1-2). Vypovídací schopnost dat z Kněževsi je ovlivněna chybějícími daty z roků 2007 a 2013 a ovšem odlišnou nadmořskou výškou lokality.

Extrapolace matematického modelu na změny obsahu alfa kyselin v souvislosti s možnými budoucími změnami klimatu je značně diskutabilní. Zvýšené teploty, o kterých se nejčastěji hovoří, mohou současně způsobit i vyšší odpar vody, častější srážky v podobě přívalových dešťů. Více než samotný obsah alfa kyselin jsou mnohem více ohroženy výnosy a celková sklizeň v důsledku nebezpečí destrukce chmelnic (krupobití, vichřice) či vysokým infekčním tlakem houbových chorob. Vlivům změn klimatu může české chmelařství čelit řadou opatření. Vzhledem k velké půdní a regionální variabilitě chmelařských oblastí ČR je možno pěstování chmele soustředit do mikroregionů, které mají pro pěstování chmele nejvhodnější půdní a klimatické podmínky. K tomuto procesu již konec konců dochází. Pravidelná obnova porostů je významným stabilizačním faktorem, protože staré porosty ztrácí výkonnost a hůře se vyrovnávají s výkyvy počasí. Využití doplňkových závlah je dalším účinným nástrojem pěstitelů, kterým lze úspěšně čelit dopadům globálního oteplování. Významnou roli může sehrát i vyšlechtění nových odrůd chmele s delší vegetační dobou a tolerantních k vyšším teplotám.

Schlussfolgerungen

Das mathematische Modell zur Abschätzung des Gehaltes an Alphasäuren auf Basis meteorologischer Größen zeigte, dass der Alphasäuregehalt des Halbfrühen Rothopfers durch die klimatischen Bedingungen in der relativ kurzen Zeit von Juni bis August, d. h. während der Blüte, dem Ansetzen der Dolden und der Reife, beeinflusst wird. Der bedeutendste Klimafaktor, der sich auf den Gehalt an Alphasäuren im Halbfrühen Rothopfen auswirkt, ist die Julitemperatur ($\text{par5} = -0,24$), was auch durch langjährige empirische Erfahrungen bestätigt werden kann. Die durch das Bestimmtheitsmaß beurteilte Qualität des Modells erreicht im Beobachtungszeitraum von 1981 bis 2006 Werte von $R^2 = 0,83$. Eine weitere Verbesserung der Modellqualität kann durch die Aufnahme weiterer Variablen erreicht werden, beispielsweise durch die Berücksichtigung der Bodenfeuchte oder des Saugpotentials des Bodens, bzw. durch die Ergänzung von nicht-linearen Abhängigkeiten ausgewählter Variablen in statistischen Grenzbereichen. Die Vorhersagegüte des Modells von über 80 % während der Testphase 2007–2013 ist durchaus akzeptabel. Eine Extrapolation an mögliche Veränderungen des Klimas wäre jedoch zu einem großen Teil spekulativ.

Karel Krofta (Institut für Hopfenforschung, Žatec)
Jiří Kučera (EMS Brno)

Závěry

Matematický model pro predikci obsahu alfa kyselin z meteorologických údajů ukázal, že obsah alfa kyselin v Žateckém poloraném červeňáku je ovlivněn klimatickými podmínkami v relativně krátkém období od června do srpna, tj. ve fázi kvetení, hlávkování a zrání. Teploty v červenci jsou nejvýznamnějším klimatickým faktorem ($\text{par5} = -0,24$), ovlivňujícím obsah alfa kyselin v ŽPČ, jak potvrzují i dlouholeté empirické zkušenosti. Kvalita modelu posuzovaná dle koeficientu determinace ve sledovaném období od roku 1981 do roku 2006 dosahuje hodnoty $R^2 = 0,83$. Další zlepšení kvality modelu by bylo možné docílit zavedením dalších proměnných, například hodnot půdní vlhkosti nebo sacího potenciálu půdy, případně doplněním nelineárních závislostí vybraných proměnných v marginálních hodnotách. Více než 80 % spolehlivost modelu v průběhu testovacího období 2007–2013 je nicméně velmi přijatelná. Jeho extrapolace na možné klimatické změny je ale do značné míry spekulativní.

Karel Krofta (Chmelařský institut Žatec)
Jiří Kučera (EMS Brno)

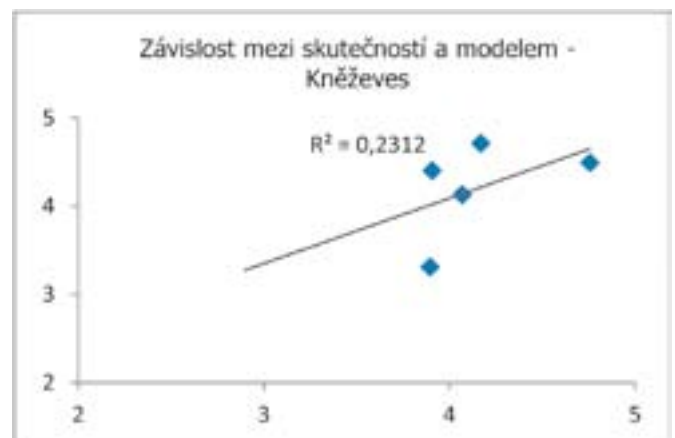
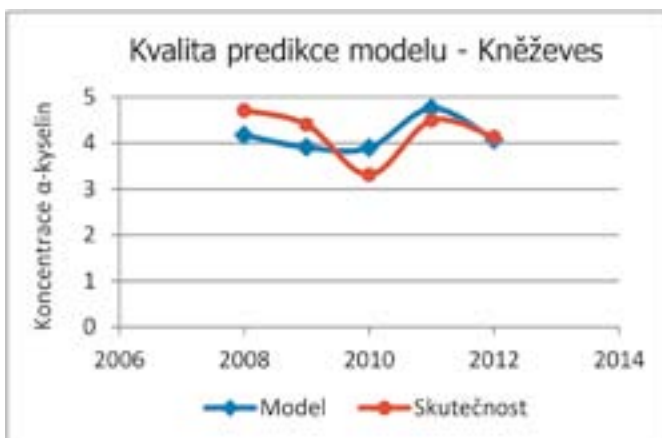
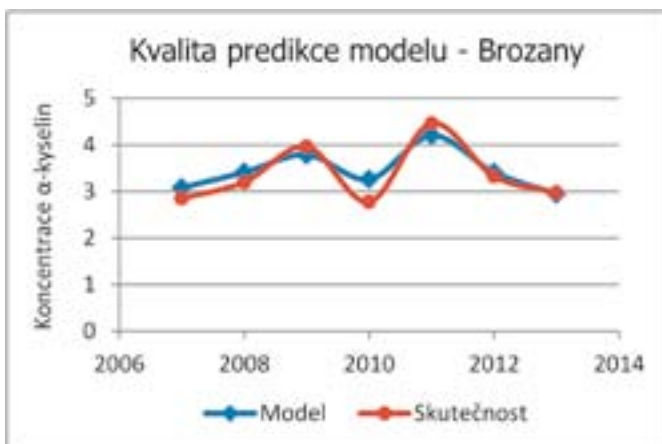


Abb. 4.1.1-2: Relative Unterschiede der tatsächlichen und modellierten Konzentration von Alphasäuren in den Jahren 2007–2013 in Brozany und Kněževés
Obr. 4.1.1-2: Relativní rozdíly skutečných a model alfa obsah kyselin v období 2007–2013 v Brozany a Kněževés

4.1.2 Forstliche Standortsinformationen im Klimawandel

Einleitung

Forstliche Standortsinformationen, das sind aufbereitete Informationen zu Lage, Klima und Boden, sind die Grundlage für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zur Erbringung vielfältiger Ökosystemdienstleistungen. In Sachsen werden Standortsinformationen in hoher Qualität seit vielen Jahrzehnten mit dem Kartierverfahren nach Kopp et al. (1996) erhoben. Die Standortsinformationen werden in der Forstlichen Standortskarte im Maßstab 1:10.000 dargestellt. So bildete die Standortformengruppe mit der Kombination aus Forstlicher Klimastufe, Bodenfeuchtestufe, Nährkraftstufe und Wasserhaushaltsstufe bisher die waldbauliche Auswerteeinheit und Grundlage für waldbauliche Planungen und den Einsatz von Forsttechnik.

Mit dem fortschreitendem Klimawandel und dem Anpassungsbedarf in der Forstwirtschaft steigen jedoch die Anforderungen an Standortsinformationen. Die Ergebnisse der klassischen Standortkartierung müssen deshalb mit neuen Darstellungskonzepten überprüft und ergänzt werden. Beispiele sind die dynamische forstliche Klimagliederung (Gemballa et al., 2007), das Substratfeuchtekonzept (König, 2011) und die Übernahme moderner digitaler Methoden zur Integration neuer Geodaten in die Standortinformations-Systeme.

Dynamische forstliche Klimagliederung

Die forstliche Klimagliederung basierte bisher auf einer Gliederung nach Höhenstufen und Klimafeuchtestufen mit statischen Rahmenwerten für Jahresniederschläge, Jahresmitteltemperaturen und Mittelwerten in der Vegetationszeit (Klimaperiode 1901–1950). Der neue Gliederungsrahmen mit aktuellen Daten (Klimaperiode 1971–2000) basiert auf der Länge der Vegetationszeit (Tage mit $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) und der Klimatischen Wasserbilanz innerhalb der Vegetationszeit (Abb. 4.1.2-1).

Basierend auf 13.000 historischen Vegetationsaufnahmen, für die neben Klimaparametern weitere Standortparameter (Relief, Exposition, Bodentyp, Hydromorphie und Substrat) zugeordnet waren, erfolgte modellgestützt anhand von Leitwaldgesellschaften die Ausweisung von sieben Klimastufen (Abb. 4.1.2-1)

Im Zuge der Klimaveränderungen verschieben sich die Grenzen der forstlichen Klimagliederung. Daneben treten Zustände auf, die aus historischer Zeit für Sachsen bislang nicht bekannt waren. Die neue dynamische Klimagliederung ermöglicht es, auch künftig wahrscheinliche Klimaverhältnisse darzustellen (Abb. 4.1.2-2). Mit dem Klima können sich auch andere Standortseigenschaften ändern. Die Stärke dieser Standortdrift kann derzeit nicht genau abgeschätzt werden. Die Änderung der Standortzustände wird jedoch durch das forstliche Monitoring intensiv überwacht. Außerdem wird gegenwärtig eine Methodik erarbeitet, mit der künftig Aussagen zum Humusstatus in der Fläche möglich sein sollen. Durch die aktuellen Klimaveränderungen wird der Bodenwasserhaushalt bedeutender für die waldbauliche Bewertung von Waldstandorten. Eine relativ einfach darzustellende Größe ist der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher. Dieser Parameter ist die Basis für die Substratfeuchtegliederung von Waldböden in Sachsen (König, 2011).

4.1.2 Lesnické informace a změny klimatu

Úvod

Lesnické informace o stanovištích jsou zpracované informace o poloze, klimatu a půdě. Jsou základem pro udržitelné lesní hospodářství k zajištění rozmanitých ekosystémových služeb. V Sasku jsou lesnické informace shromažďovány na vysoké úrovni a ve vysoké kvalitě již po mnoho desetiletí pomocí mapování podle Koppa a Schwaneckeého (1996). Tyto informace jsou zobrazovány v mapách lesních stanovišť v měříku 1:10 000.

S postupujícími změnami klimatu a potřebou přizpůsobení se lesního hospodářství těmto změnám však stoupají nároky na informace o lesnicky využívaných lokalitách. Výsledky klasického mapování lesních stanovišť je tedy nutno vyhodnotit a doplnit z hlediska nových koncepcí zobrazování. Příkladem je dynamické lesnické klimatické členění (Gemballa et al., 2007), koncepce vlhkosti substrátů (König, 2011) a přebírání moderních digitálních metod pro integraci nových prostorových informací do informačních systémů.

Dynamické klimatické členění lesního ekosystému

Klimatické členění lesního ekosystému dosud vychází ze členění podle výškových stupňů a stupňů vlhkosti klimatu na základě statistických hodnot pro roční úhrn srážek, průměrnou roční teplotu vzduchu a průměrné hodnoty těchto klimatických charakteristik ve vegetačním období (období 1901–1950).

Nový rámec členění s aktuálními daty (období 1971–2000) vychází z délky vegetačního období (dny s průměrnou denní teplotou vzduchu $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) a z vodní bilance během vegetačního období (obr. 4.1.2-1). Na základě 13 000 historických fytoecologických snímků, ke kterým bylo možno přiřadit kromě klimatických charakteristik i další stanovištní parametry (relief, expozice, půdní typ, hydromorfnní vlastnosti a substrát), bylo pomocí modelů podle hlavních lesních společenstev vymezeno sedm klimatických stupňů (obr. 4.1.2-1)

Během klimatických změn dochází k posunu hranic klimatického členění lesních ekosystémů. Kromě toho dochází ke vzniku stavů, které dosud nebyly v Sasku zaznamenány. Nová dynamická klimatická klasifikace umožňuje popisovat rovněž klimatické poměry, které se pravděpodobně vyskytnou v budoucnosti (obr. 4.1.2-2). Současně s klimatem se mohou měnit i další vlastnosti stanovišť. V současné době však není možné přesně odhadnout rozsah těchto změn. Tyto změny jsou však intenzivně sledovány v rámci lesnického monitoringu. Kromě toho je v současné době vyvíjena metodika, umožňující do budoucna získávat informace o stavu humusu v terénu. V důsledku aktuálně probíhajících klimatických změn nabývá na významu vodní režim v půdě pro lesnické hodnocení lesních stanovišť. Relativně jednoduše popsatelnou veličinou je množství vody, zadržované půdou, které je dostupné rostlinám. Tento parametr představuje základ pro klasifikaci vlhkosti lesních půd v Sasku (König, 2011).

Vlhkost substrátů

Schopnost jednotlivých půdních forem zadržovat vodu, dostupnou rostlinám, dosud nebyla při vyhodnocování primárních stanovišť-

Vegetationszeitlänge [Tage/Jahr] Délka vegetačního období [dny/rok]	submediterrann submedi- teranní	> 190	VII trocken & submediterrann Suché & submediteranní					
	sommerwarm Teplé	165 – 190	VI trocken & sommerwarm bis mäßig kühl Suché & teplé až mírně chladné	V mäßig trocken bis mäßig frisch & sommerwarm bis mäßig kühl Mírně suché až mírně vlhké & Teplé až mírně chladné				
	mäßig warm Mírně teplé	140 – 165					III sehr frisch bis feucht & mäßig warm Vlhké až velmi vlhké & mírně teplé	
	mäßig kühl Mírně chladné	110 – 140			IV mäßig frisch & mäßig kühl Mírně vlhké & mírně chladné	II sehr frisch bis feucht & mäßig kühl Velmi vlhké až chladné & mírně chladné		
	winter- kalt Chladné	80 – 110				I sehr frisch bis feucht & winterkalt Vlhké až chladné & chladné		
			-40 ... -25	-25 ... -12,5	-12,5 ... 0	0 ... 12,5	12,5 ... 25	25 ... 50
			extrem som- mertrocken Extrémní letní sucho	stark som- mertrocken Silné letní sucho	mäßig trocken Mírně suché	mäßig frisch Mírně vlhké	sehr frisch Vlhké	feucht Velmi vlhké
			Klimatische Wasserbilanz [mm/Vegetationszeitmonat]					
			Vodní bilance ve vegetačním období [mm/měsíc vegetačního období]					

Abb. 4.1.2-1: Gliederungsrahmen für die dynamische forstliche Klimagliederung in Sachsen

Obr. 4.1.2-1: Schema dynamické klimatické klasifikace pro lesy v Sasku

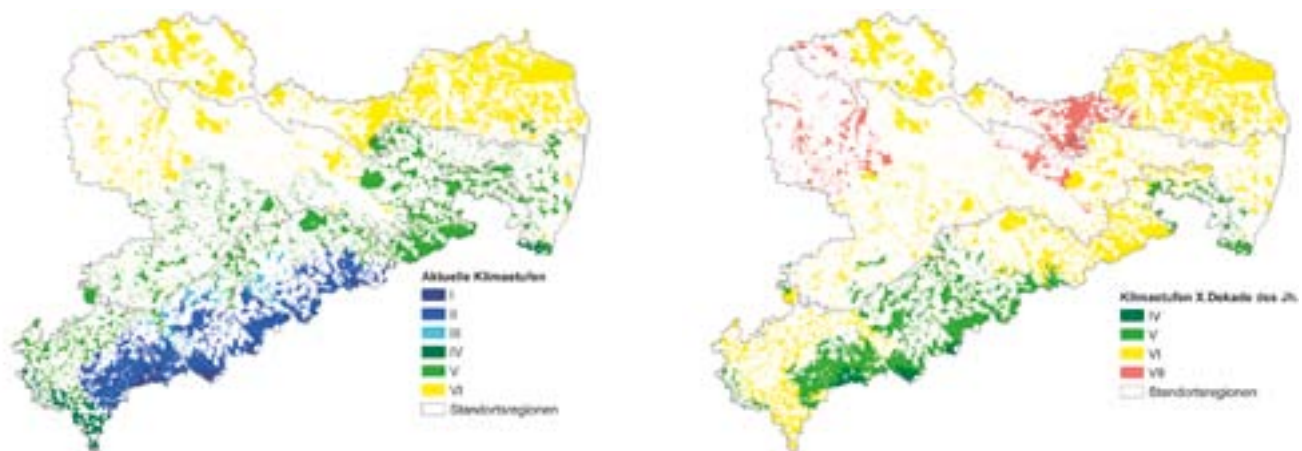


Abb. 4.1.2-2: Klimastufenverteilung in Sachsen (links: aktuelles Klima der Reihe 1971–2000; rechts: modelliertes Klima im B1-Szenario für den Zeitraum 2091–2100; Zuordnung der Klimastufen siehe Abb. 4.1.2-1)

Obr. 4.1.2-2: Rozdělení klimatických tříd v Sasku (vlevo: současné klima (období 1971–2000), vpravo: modelované klima podle scénáře B1 pro období 2091–2100; zařazení do klimatických tříd viz obr. 4.1.2-1)

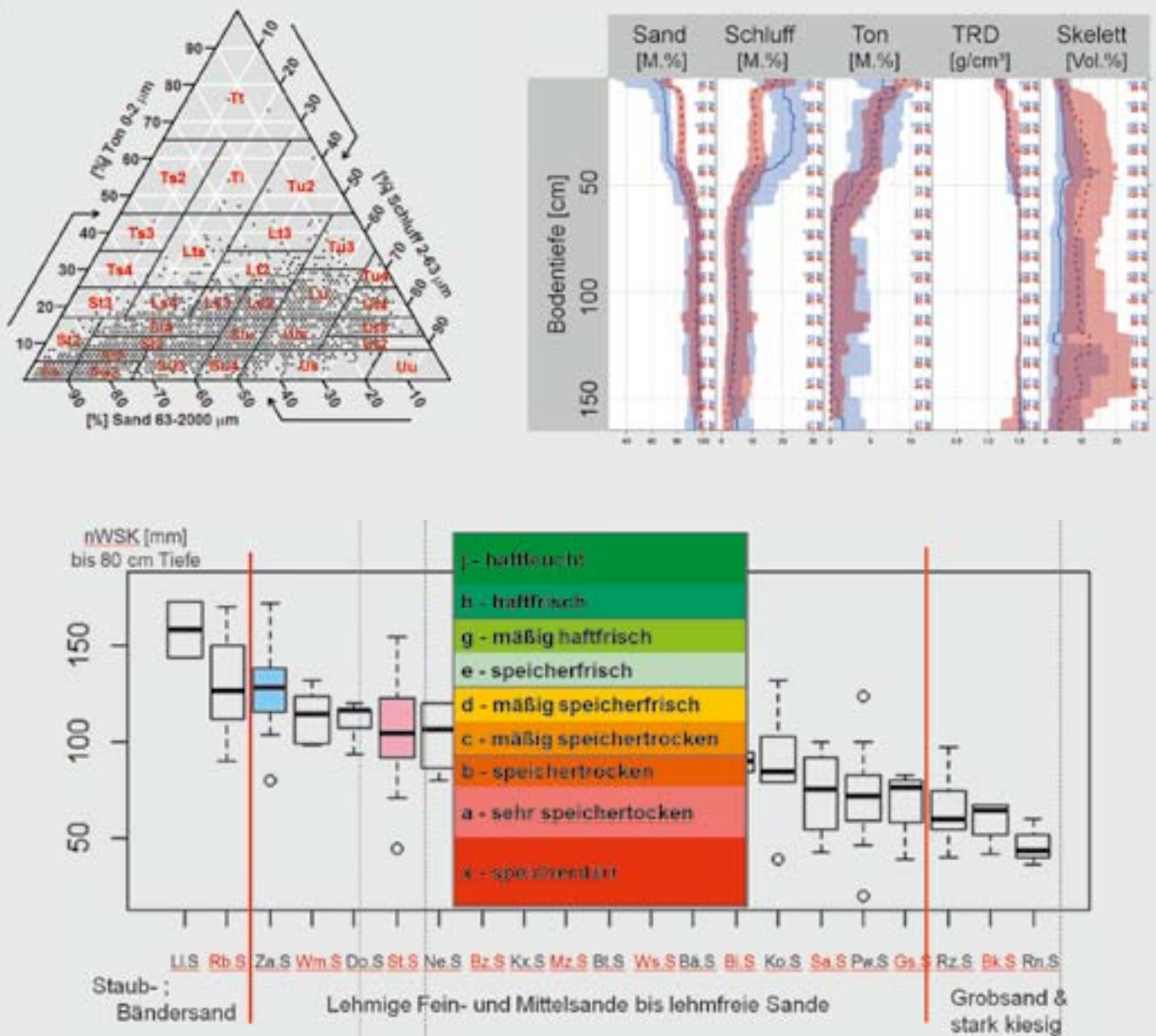


Abb. 4.1.2-3: Herleitung der Substratfeuchtestufen in Sachsen (oben links: Texturdreieck nach KA5 mit rund 3.000 Körnungsanalysen aus Altweiserdaten, oben rechts: Tiefenprofile von bodenphysikalischen Eigenschaften von zwei Lokalbodenformen (Sandbraunerden), unten: Box Plots der mittels Pedotransferfunktion bis 80 cm Tiefe berechneten nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK) am Beispiel von 21 verschiedenen Lokalbodenformen (Sandbraunerden und Sandpodssole des sächsischen Tieflands), 9-stufiger Gliederungsrahmen für die Substratfeuchte

Obr. 4.1.2-3: Odvození stupňů vlhkosti substrátu lesních půd v Sasku (vlevo nahoře: trojúhelník textury (jíl, silt, písek) podle KA5 se zhruba 3 000 analýzami zrnitosti z archivních fondů, nahoře vpravo: hloubkové profily půdně-fyzikálních vlastností (zleva doprava: písek, silt, jíl, hustota půdy, skelet) dvou lokálních půdních forem (písčité kambizemě), dole: krabicový diagram pro užitnou retenční kapacitu (nWSK), vypočtený pomocí střední pedotransferové funkce do hloubky 80 cm, na příkladu 21 různých lokálních forem půd (písčité kambizemě až písčité podzoly saské nížiny; zleva doprava: jemné písky – jílovité jemné písky – jílovité střední písky – písky – hrubé písky – štěrk), devítistupňový rámec se členěním vlhkosti substrátu.

Substratfeuchte

Die Speicherkapazität von Bodenformen für pflanzenverfügbares Wasser fand in bisherigen Auswertungen von primären Standortsinformationen keine Berücksichtigung. Das Konzept der Substratfeuchte schließt diese Lücke (König, 2011). Dafür wurden die Feld-, Labor- und Lagedaten von rund 1.000 Bodenprofilen (Altweiserdaten) digitalisiert und harmonisiert. Diese Datenbasis für das System der Lokalbodenformen (Schwanecke, 1996) ermöglicht mittels

ních informací zohledňována. Tuto mezeru zaplňuje koncepce vlhkosti substrátů (König, 2011). Pro tyto účely byla zdigitalizována a navzájem propojena terénní, laboratorní a stanovištní data z cca 1000 půdních profilů z archivních fondů. Tato databáze systému lokálních půdních forem (Schwanecke, 1996) umožňuje prostřednictvím pedotransferových funkcí (například Renger et al., 2009) objektivní výpočet užité retenční kapacity a odvození stupně vlhkosti substrátu terestrických půd. Na základě těchto dat

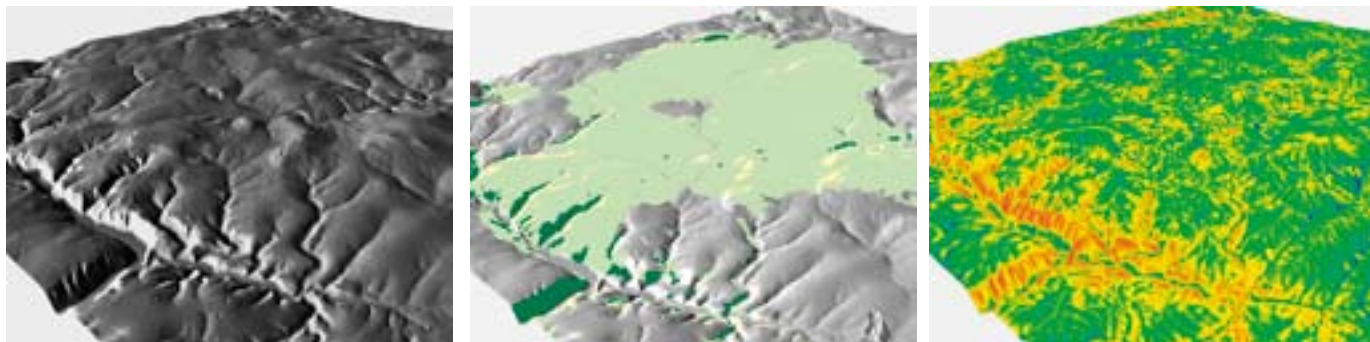


Abb. 4.1.2-4: Aus dem digitalen Geländemodell (10 x 10 m) abgeleitete Reliefparameter am Beispiel des Tharandter Waldes; links: Geländeoberfläche mit der hillshade-Routine (Darstellung 2-fachüberhöht); Mitte: Klassifikation der hillshade in beschattet (dunkelgrün), neutral (hellgrün) und besonnt (gelb), Rechts: Topografischer Feuchteindex (braun – blau = sehr trocken bis sehr feucht)

Obr. 4.1.2-4: Parametry reliéfu odvozené z digitálního modelu terénu (10 x 10 m) na příkladu lesa Tharandter Wald; vlevo: stínovaně zobrazený povrch terénu (zobrazení je dvojnásobně zvětšeno); uprostřed: klasifikace stínování: zastíněné (tmavě zelené), neutrální (světle zelené) a osvětlené (žlutě); vpravo: topografický index vlhkosti (hnědá – modrá = velmi suché až velmi vlhké)

Pedotransferfunktionen (z.B. Renger et al., 2009) die objektive Berechnung der nutzbaren Wasserspeicherkapazität und Ableitung der Substratfeuchtestufe von terrestrischen Böden. Auf Grundlage dieser Datenbasis konnten 350.000 ha Waldfläche (rund 70 % der Waldfläche Sachsens) bewertet werden. (Abb. 4.1.2-3)

Integration neuer Geodaten und Methoden in das Verfahren der forstlichen Standortskartierung

Die Verfügbarkeit neuer Geodaten, z.B. das digitale Geländemodell (DGM10), darauf aufbauende umfangreiche Reliefanalysen sowie moderne GIS-Werkzeuge ermöglichen die Integration neuer Umweltinformationen und digitaler Klassifikationsverfahren für die Aktualisierung und Erweiterung der standortkundlichen Informationen. Mögliche Anwendungen liegen in der Qualitätsverbesserung und Aktualisierung bestehender Kartenwerke (Harmonisierung von Grenzverläufen, kontinuierliche Darstellung von Bodeneigenschaften), der Entwicklung von effektiven Probennahmedesigns und der Erstellung von digitalen Standortprognosekarten für die Erleichterung der Feldarbeit (Abb. 4.1.2-4).

Zusammenfassung und Ausblick

Durch den fortschreitenden Klimawandel und die gleichzeitig steigenden Anforderungen der Gesellschaft an den Wald müssen Anpassungsstrategien in der Forstwirtschaft weiterentwickelt werden. Eine Grundlage dafür sind aktuelle und nach Möglichkeit räumlich und inhaltlich hoch auflösende Daten zu Lage, Klima und Boden. Besondere Bedeutung erlangen regionalisierte Klimadaten aus aktuellen Messperioden, digitale Geländemodelle aber auch vorliegende Altdaten mit bodenkundlichen Informationen insbesondere zur Bodenphysik. Diese Daten werden mit neuen Klassifikationsansätzen und modernen GIS-Werkzeugen praxisnah aufbereitet und erweitern die standortkundliche Informationsbasis. Gleichzeitig bilden diese Daten künftig auch die Grundlage für die Parametrisierung von numerischen Simulationsmodellen, beispielsweise für die dynamische Darstellung des Standorts-Wasserhaushalts oder des Waldwachstums.

*Rainer Gemballa und Rainer Petzold
(Staatsbetrieb Sachsenforst)*

bylo možno vyhodnotit 350 000 ha lesních ploch (zhruba 70 % lesní plochy Saska) (obr. 4.1.2-3).

Integrace nových prostorových informací a metod do procesu mapování lesních stanovišť

Dostupnost nových prostorových informací, například digitální model terénu a z něj vycházející rozsáhlé analýzy reliéfu a moderní nástroje GIS umožňují integrovat nové informace o životním prostředí a nové postupy digitální klasifikace pro aktualizaci a rozšíření informací o jednotlivých stanovištích. Možné použití je např. v oblasti zlepšování kvality a aktualizace stávajících mapových podkladů (harmonizace průběhu hranic, průběžné zobrazování půdních vlastností), v oblasti vývoje efektivního plánování odběru vzorků a zpracování digitálních map jednotlivých stanovišť pro ulehčení práce v terénu (obr. 4.1.2-4)

Souhrn a výhled

S ohledem na pokračující změny klimatu a stoupající nároky společnosti na les je nutno dále rozvíjet strategie pro přizpůsobení se těmto změnám. Základem jsou aktuální data o stanovišti, klimatu a půdě s vysokým prostorovým a obsahovým rozlišením. Mimořádný význam mají pro každý region klimatická data vycházející z aktuálních meteorologických měření, digitální modely terénu ale i dostupná starší data s pedologickými informacemi především s údaji o fyzikálních vlastnostech půd. Tato data jsou zpracovávána pomocí nových klasifikačních postupů a moderních nástrojů GIS a představují rozšíření stanovištních informací. Současně tato data tvoří základ parametrizace numerických simulačních modelů, například pro dynamický popis vodního režimu v dané lokalitě nebo růstu lesních porostů.

*Rainer Gemballa a Rainer Petzold
(Staatsbetrieb Sachsenforst)*

4.1.3 Beginn des Austriebs der Waldhölzer unter sich verändernden Umweltbedingungen in Nordböhmen

Einführung

Die Phänologie befasst sich mit dem Jahresablauf periodisch wiederkehrender Wachstums- und Entwicklungserscheinungen von Pflanzen und Lebewesen in Abhängigkeit von externen Umweltfaktoren, insbesondere von Klima und Wetter. Eine Phänophase ist eine klar definierte, von außen erkennbare, in der Regel sich jährlich wiederholende Erscheinung an Pflanzen. Der Beginn einer Phänophase markiert den Zeitpunkt des Einsetzens eines physiologischen Entwicklungsstadiums. Phänologische Beobachtungen ermöglichen es, die Gesetzmäßigkeiten der Lebenserscheinungen der Pflanzen in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen zu analysieren und stellen eine wertvolle Informationsquelle über den Beginn und die Dauer der Vegetationsperiode in unterschiedlichen Klimagebieten dar. Die Phänologie der Waldgehölze kann zum Beispiel für eine Prüfung der Auswirkungen aktueller Umweltbedingungen auf die Entwicklung der Pflanzengemeinschaften angewendet werden und somit zur Klärung der diskutierten Fragen beitragen, die mit dem Klimawandel zusammenhängen und Auswirkungen auf die Gesundheit und die Artenzusammensetzung der Wälder haben (Bednářová et al., 2013; Škvareninová, 2012, 2013). Der Beginn und Verlauf der phänologischen Phasen im Frühjahr wird überwiegend vom vorangehenden Winterende und dem Beginn der Frühjahrserwärmung bestimmt. Der Blattaustrieb und die Blüte sind dann mög-

4.1.3 Počátek rašení lesních dřevin v měnicích se podmínkách prostředí sledovaného regionu

Úvod

Fenologie je vědní disciplína, která se zabývá studiem časového průběhu periodicky se opakujících životních projevů, zvaných fenologické fáze, rostlin a živočichů v závislosti na podmínkách vnějšího prostředí, zejména na podnebí a počasí (Hájková et al., 2012). Fenofáze je určitý zevně rozpoznatelný, zpravidla každoročně se opakující projev vývinu nadzemních orgánů sledovaných rostlinných druhů. Nástup fenofáze je časový údaj vyjadřující informaci, že vývin dospěl právě do úrovně dané fenofáze. Fenologická pozorování umožňují proniknout do zákonitostí průběhu životních projevů rostlin v závislosti na vnějších podmínkách prostředí a jsou cenným zdrojem informací o nástupu a trvání vegetačního období v různých klimatických oblastech. Fenologii lesních dřevin lze například využít při hodnocení vlivu aktuálních podmínek prostředí na vývoj rostlinných společenstev a přispět tak k objasnění diskutovaných otázek klimatických změn a jejich dopadů na zdravotní stav a druhovou skladbu lesů. (Bednářová et al., 2013; Škvareninová, 2012, 2013). Počátek a průběh jarních fenologických fází je dominantně určený charakterem ukončení zimy a nástupem jarního oteplování. Rašení, počátek olisťování a kvetení je možné tehdy, když teplota půdy a vzduchu překročí kritický bod, charakteristický pro každou fázi životního cyklu (Bednářová et al., 2002). I další autoři uvádí, že doba nástupu jarních fenologických fází závisí především na době překročení určitých teplotních hranic

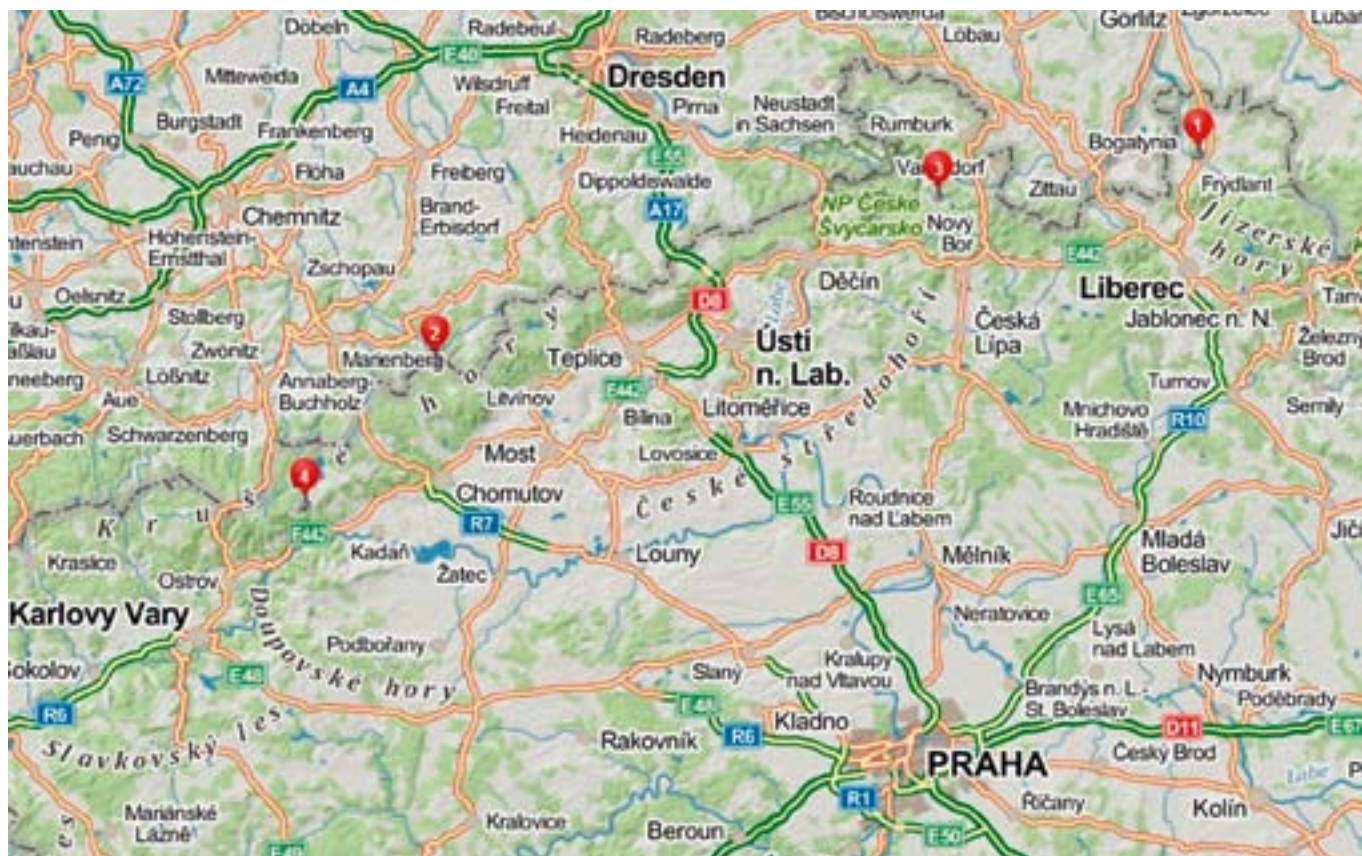


Abb. 4.1.3-1: Die beobachteten Standorte
Obr. 4.1.3-1: Umístění sledovaných lokalit

lich, wenn die Boden- und Lufttemperatur einen kritischen Punkt überschreitet, welcher für jede Phase des Lebenszyklus prägend ist (Bednářová et al., 2002). Auch weitere Autoren führen aus, dass der Beginn der phänologischen Phasen im Frühjahr insbesondere von der Überschreitung von bestimmten Temperaturgrenzwerten abhängt (Larcher, 2003; Kramer, 1996, 2000; Hájková et al., 2010; Škvareninová, 2012, 2013). Die Erkenntnisse aus den phänologischen Beobachtungen können nicht nur in der land- und forstwirtschaftlichen Praxis sowie der botanisch-experimentellen Forschungstätigkeit angewendet werden, sondern auch in der Allergologie, denn viele der beobachteten Pflanzenarten gehören zu bedeutenden Pollenallergenen. Anhand phänologischer Beobachtungen sowie der Voraussage der phänologischen Phasen im Frühjahr können wertvolle Erkenntnisse für die Pollenberichte gewonnen werden. Die phänologischen Beobachtungen haben in der Tschechischen Republik eine langjährige Tradition. Die ersten phänologischen Beobachtungen wurden hier schon im 18. Jahrhundert durchgeführt.

Methodik

Dieser Beitrag befasst sich mit der Aufarbeitung einer langjährigen Beobachtungszeitreihe des Austriebsbeginns bei folgenden Holzarten: Hänge-Birke (*Betula pendula* Roth.), Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und Winter-Linde (*Tilia cordata* Mill.). Die beobachteten Holzarten wachsen in Nordböhmen in Höhenlagen von 380 bis 820 m. Für die Bearbeitung wurden Daten verwendet, die aus den phänologischen Stationen des Tschechischen hydrometeorologischen Insituts (Český hydrometeorologický ústav, ČHMÚ) gewonnen wurden.

Die phänologische Station Frýdlant befindet sich in einer Höhe von 380 m, 50° 55' N, 15° 04' E, Chřibská 380 m, 50° 52' N, 14° 29' E, Brandov 630 m, 50° 38' N, 13° 23' E, Měděnec 830 m, 50° 26' N, 13° 08' E. Aus den gewonnenen Angaben wurde ein langfristiger Trend (Zeitabschnitt 1991–2014) erarbeitet, welcher den Beginn des Austriebs der Hänge-Birke, der Rotbuche und der Winter-Linde abbildet.

Die Arbeit hatte zum Ziel, langfristige Trends der Zeitabschnitte des Austriebsbeginns der beobachteten Holzarten in unterschiedlichen Höhenlagen sowie die Abhängigkeit der Austriebsdauer in den einzelnen Jahren von der durchschnittlichen Lufttemperatur festzustellen.

Aus einer Zeitreihe der Tagestemperatur in den Jahren 2001 bis 2014 wurden die durchschnittlichen Temperaturen in zweiwöchigen Perioden für den Zeitabschnitt Februar bis Mitte April errechnet. Diese durchschnittlichen Werte wurden als unabhängige Variablen in einer Gleichung verwendet, die den Austriebsbeginn als die laufende Nummer des Tages seit Beginn des Jahres darstellt [DOY]:

T1, T2, T3 sind die durchschnittlichen Lufttemperaturen in ausgewählten zweiwöchigen Abschnitten.

Die Parameter der Gleichung (par1, par2, par3, par4) wurden anhand einer linearen multiplen Regression bestimmt. Die zweiwöchigen Perioden für die Berechnung wurden bezüglich deren Auswirkungen auf das Bestimmtheitsmaß identifiziert.



Quelle: wikimedia commons by Pleple2000



Quelle: wikimedia commons by Donald Hobern



Abb. 4.1.3-2: Blätter der beobachteten Holzarten

Obr. 4.1.3-2: Ilustrační obrázky listů sledovaných dřevin

(Larcher, 2003; Kramer, 1996, 2000; Hájková et al., 2010; Škvareninová, 2012, 2013). Poznatky fenologických pozorování lze využít nejen v lesnické a zemědělské praxi, výzkumné botanicko-experimentální činnosti, ale i v alergologii, neboť řada sledovaných druhů rostlin patří mezi významné pylové alergeny. Fenologická sledování a predikce nástupu jarních fenologických fází umožňují získání cenných informací pro pylová zpravodajství. Fenologická pozorování mají v České republice dlouholetou tradici. První fenologická pozorování byla zde prováděna již v 18. století.

Metodika

Předkládaná práce se soustřeďuje na zpracování dlouholeté časové řady sledování počátku rašení u následujících dřevin: bříza

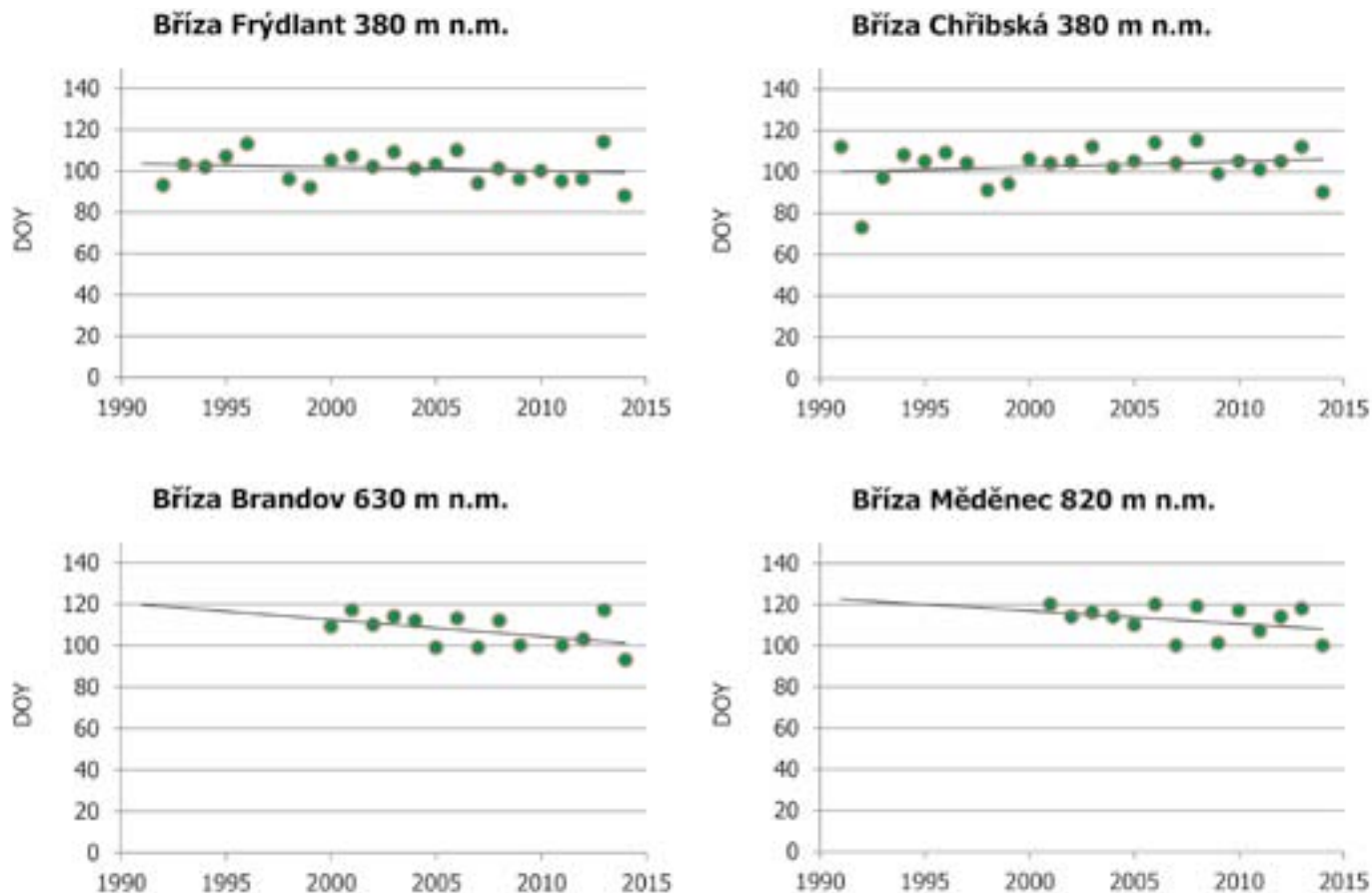


Abb. 4.1.3-3: Langfristige Trends des Austriebsbeginns – Hängebirke (*Betula pendula* Roth.)

Obr. 4.1.3-3: Dlouhodobé trendy počátku rašení – bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth.)

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Beginn des Austriebs der beobachteten Holzarten

Das Einsetzen der phänologischen Phasen des Frühjahrs und insbesondere die Zeit des Austriebs wird durch den Abschluss des Winters und das Erreichen von Temperaturen bestimmt, durch die der Beginn dieser phänologischen Phasen bedingt ist. Der Beginn der Phänophasen ist für die einzelnen Holzarten unterschiedlich und ist genetisch gegeben. Ein bedeutendes Kriterium stellen die klimatischen Faktoren des Untersuchungsgebietes dar, durch die der Beginn der phänologischen Phasen des Frühjahrs beschleunigt, oder sehr verzögert werden kann.

- Hängebirke

In den tiefstgelegenen phänologischen Stationen 380 m ü. NN setzte der Beginn des Austriebs während der langfristigen Beobachtung der Hänge-Birke im Durchschnitt am 101. Tag des Kalenderjahres ein. In den mittleren Lagen 630 m ü. NN wurde der Austrieb der Hänge-Birke im langfristigen Durchschnitt am 104. Tag verzeichnet. In der höchst gelegenen phänologischen Station in 820 m ü. NN setzte diese phänologische Phase im Durchschnitt erst am 110. Tag an.

bělokorá (*Betula pendula* Roth.) buk lesní (*Fagus sylvatica* L.), a lípa srdčitá (*Tilia cordata* Mill.). Sledované druhy dřevin se nachází v nadmořských výškách 380 až 820m v oblasti severních Čech. Pro zpracování byla použita data získaná z fenologických stanic ČHMÚ, rovněž tak denní teploty vzduchu.

Fenologická stanice Frýdlandt se nachází v nadmořské výšce 380 m, 50° 55' N, 15° 04' E, Chřibská 380 m, 50° 52' N, 14° 29' E, Brandov 630 m, 50° 38' N, 13° 23' E, Měděnec 830 m, 50° 26' N, 13° 08' E. Ze získaných údajů byl vypracován dlouhodobý trend (období 1991–2014) nástupu rašení u břízy bělokoré, buku lesního a lípy srdčité.

Cílem práce bylo stanovení dlouhodobých časových trendů počátku rašení sledovaných dřevin v různých nadmořských výškách a závislost doby rašení v jednotlivých letech na průměrných teplotách vzduchu.

Z časové řady denních teplot vzduchu v letech 2001 až 2014 byly vygenerovány průměrné teploty v dvoutýdenních časových periodách v období únor až první polovina dubna. Tyto průměrné teploty vstupovaly jako nezávislé proměnné do rovnice vyjadřující počátek rašení jako pořadové číslo dne od počátku roku [DOY]: Kde T1, T2, T3 jsou průměrné teploty vzduchu ve vybraných dvoutýdenních obdobích.

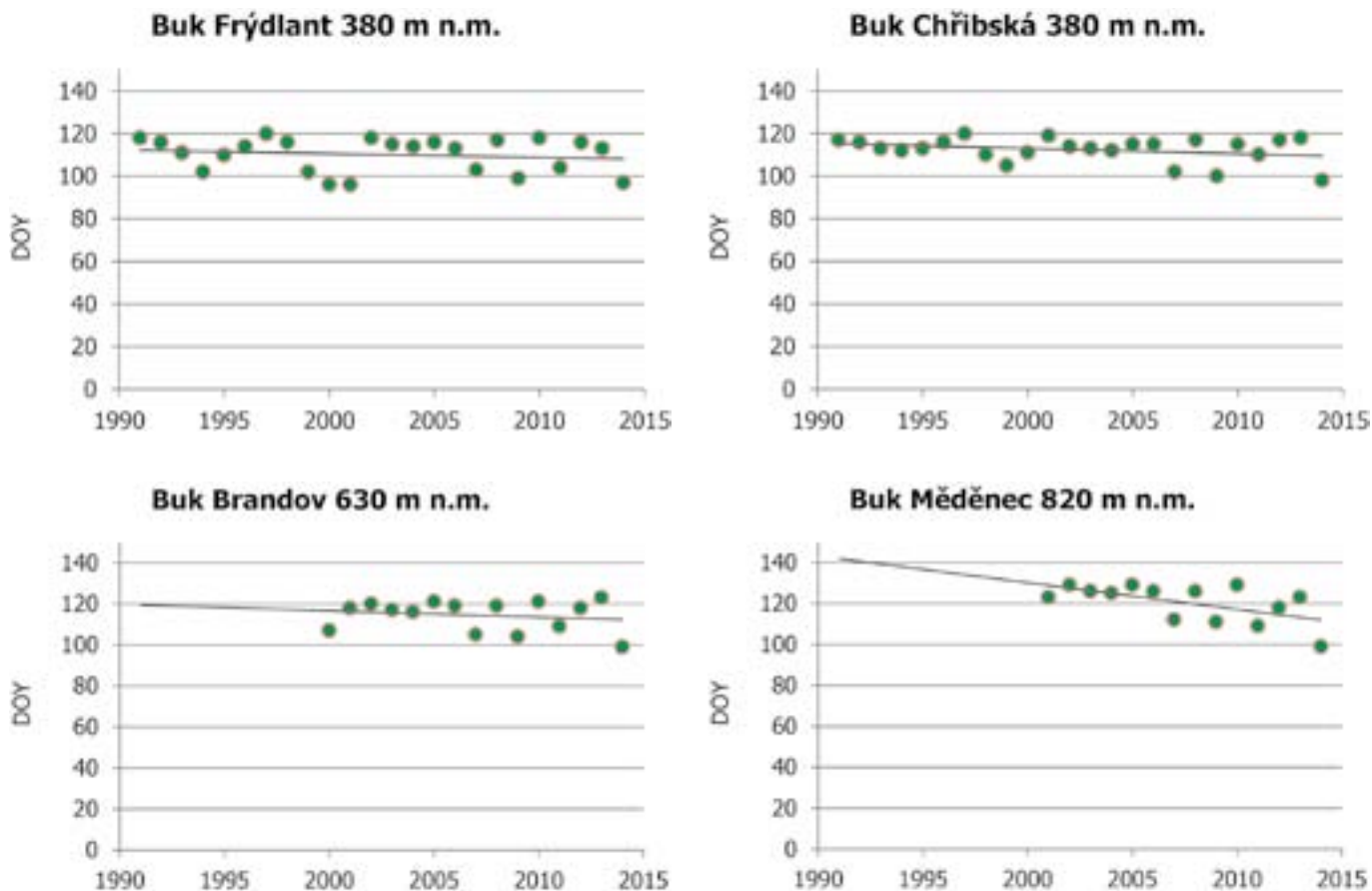


Abb. 4.1.3-4: Langjährige Trends des Austriebsbeginns – Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.)
 Obr. 4.1.3-4: Dlouhodobé trendy počátku rašení – buk lesní (*Fagus sylvatica* L.)

Aus einem langfristigen Trend der Hänge-Birke in der Höhe von 380 m (Abb. 4.1.3-3) geht hervor, dass es zu keiner markanten Veränderung des Austriebszeitpunktes kommt. In mittleren Lagen ist der Trend eines früher einsetzenden Austriebs schon ersichtlich. In den höchsten Lagen des Untersuchungsgebietes ist der Trend eines früheren Eintritts dieser Phase noch deutlicher. Das kann durch höhere Luft- und Bodentemperaturen in den Frühjahrsmonaten der vergangenen Jahre und das verzögerte Ende des Winters in den höchsten Lagen der geprüften Standorte erklärt werden. Ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist auch die genetische Variabilität der beobachteten Holzarten.

- Rotbuche

Bei der Rotbuche wurde in der untersten Höhenlage (380 m ü. NN) der Austrieb im Durchschnitt am 107. Tag seit Jahresbeginn festgestellt. In der mittleren Lage (630 m) setzte der Austrieb am 114. Tag an. In der höchsten Lage (820 m) fand der Austrieb während der gesamten Beobachtungszeit im Durchschnitt erst ab dem 118. Tag des Jahres statt. Aus den langfristigen Trends (Abb. 4.1.3-4) ergibt sich, dass auch im Fall der Rotbuche die Phänophase des Austriebs in den höchsten Lagen ebenfalls früher ansetzt. Die tiefsten Standorte wurden nur geringfügig beeinflusst.

Parametry rovnice (par1, par2, par3, par4) byly hledány metodou lineární multiregrese s kriteriem nejmenších čtverců odchylek. Dvoutýdenní periody pro výpočet byly vybírány s ohledem na jejich vliv na koeficient determinace.

Souhrn získaných výsledků

- Nástup rašení u sledovaných dřevin

Nástup jarních fenologických fází a zejména doba rašení je určována ukončením zimy a dosažením teplot podmiňujících počátek nástupu těchto fenologických fází. Doba začátku fenofází se u jednotlivých dřevin liší a je dána geneticky, ale velmi významným činitelem jsou klimatické faktory sledované oblasti, které mohou počátek jarních fenologických fází uspišit, nebo velmi opozdit.

- Bříza bělokorá

V nejnižše položených fenologických stanicích 380 m n. m. docházelo k počátku rašení, během dlouhodobého sledování, břízy bělokoré v průměru 101. den od počátku kalendářního roku. Ve středních polohách 630 m n. m. bylo zaznamenáno rašení u břízy bělokoré, v dlouhodobém průměru 104. den. V nejnižše polo-

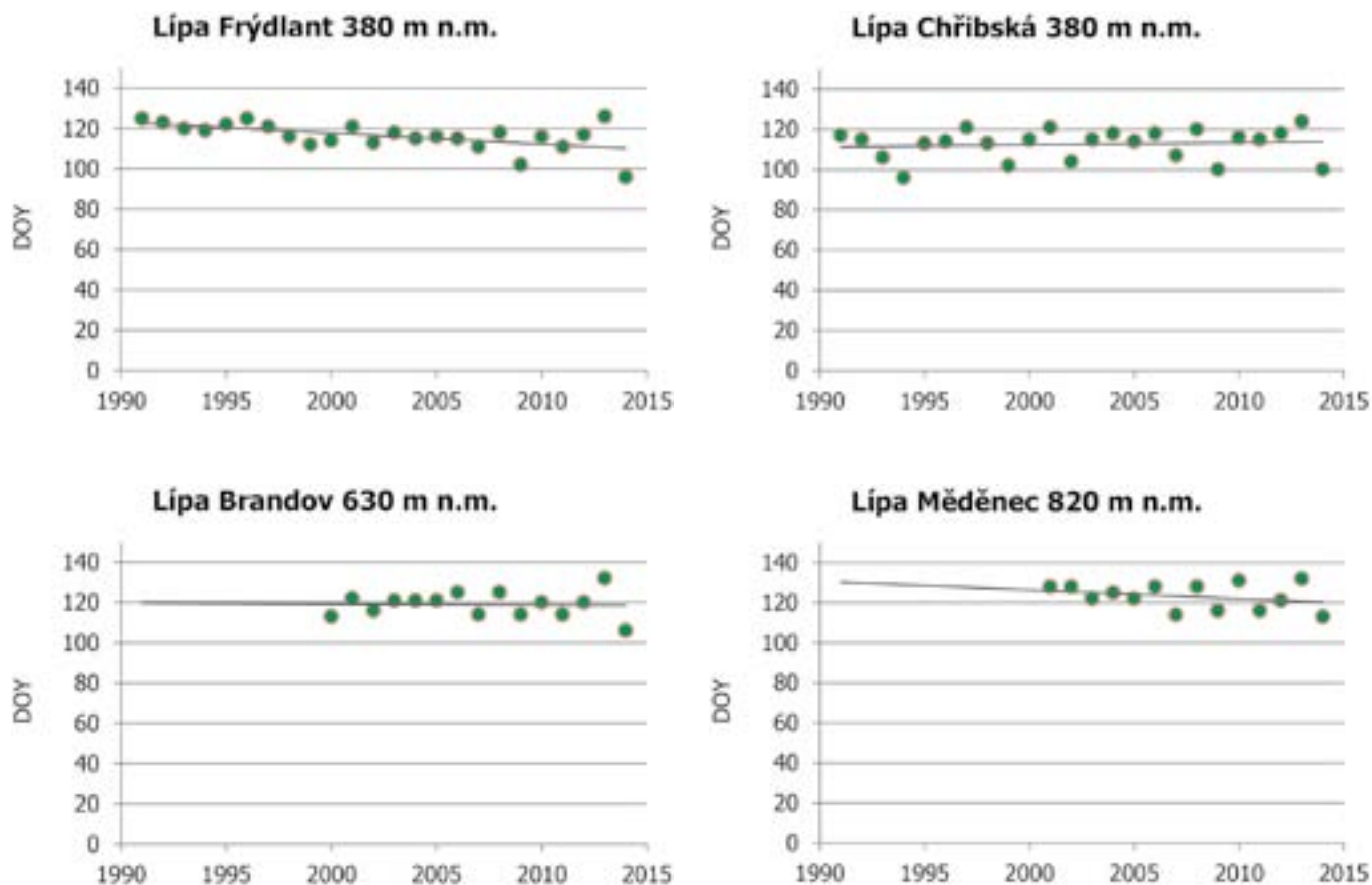


Abb. 4.1.3-5: Langfristige Trends des Austriebsbeginns – Winter-Linde (*Tilia cordata* Mill.)
 Obr. 4.1.3-5: Dlouhodobé trendy počátku rašení – lípa srdčitá (*Tilia cordata* Mill.)

Auch bei dieser Holzart kommen neben klimabedingten Faktoren auch die genetischen Voraussetzungen zum Ausdruck.

- Winter-Linde

Im Fall der Winter-Linde in Frýdlant setzte der Austrieb im Durchschnitt am 117. Tag des Jahres ein. Am Standort Chřibská, in gleicher Höhenlage, fand der Austrieb im Durchschnitt am 113. Tag statt. Auch wenn sich beide Standorte in ihrer Höhenlage nicht unterscheiden, kann die unterschiedliche Anfangszeit des Austriebs durch die genetische Variabilität der Holzart, bzw. die weniger günstigen Klimabedingungen am Standort Frýdlant erklärt werden. In mittleren Lagen der phänologischen Beobachtungen (630 m ü. NN) wurde der Austrieb im Durchschnitt am 119. Tag seit Jahresbeginn verzeichnet. An der höchstgelegenen phänologischen Station (820 m ü. NN) setzte der Austrieb erst am 124. Tag ein.

Die langjährigen Trends (Abb. 4.1.3-5) zeigen, dass am Standort Chřibská keine Veränderung der Austriebszeit verzeichnet werden kann. Aus phänologischen Beobachtungen im Bereich Frýdlant geht hervor, dass der langfristige Trend des Austriebs auf einen früheren Beginn dieser Phase hindeutet. Aus den Ergeb-

zene fenologické stanici nacházející se v 820 m n. m. nastoupila tato fenologická fáze v průměru až 110. den.

Z dlouhodobého trendu u břízy bělokoré v nadmořské výšce 380 m (obr. 4.1.3-3) je patrné, že nedochází k výrazné změně doby rašení. Ve střední poloze je již trend dřívějšího nástupu rašení patrný. V nevyšše položené nadmořské výšce sledování je trend dřívějšího nástupu této fáze ještě zřetelnější. Tuto situaci lze vysvětlit vyššími teplotami vzduchu a půdy v posledních letech během jarních měsíců a koncem zimy v nejvyšších polohách hodnocených lokalit. Nezanedbatelným faktorem zde může být i genetická variabilita sledované dřeviny.

- Buk lesní

U buku lesního bylo v nejnižší nadmořské (380 m n. m.) zaznamenáno rašení v průměru 107. den od počátku roku. Ve střední poloze (630 m), docházelo k rašení 114. den. V nevyšše položené lokalitě (820 m) nastalo rašení v průměru během celé doby sledování až 118. den od počátku roku. Dlouhodobé trendy (obr. 4.1.3-4) ukazují, že i u buku lesního dochází v posledních letech k dřívějšímu nástupu fenofáze rašení v nejvyšších nadmořských výškách. Nejniže položené lokality jsou ovlivněny jen ne-

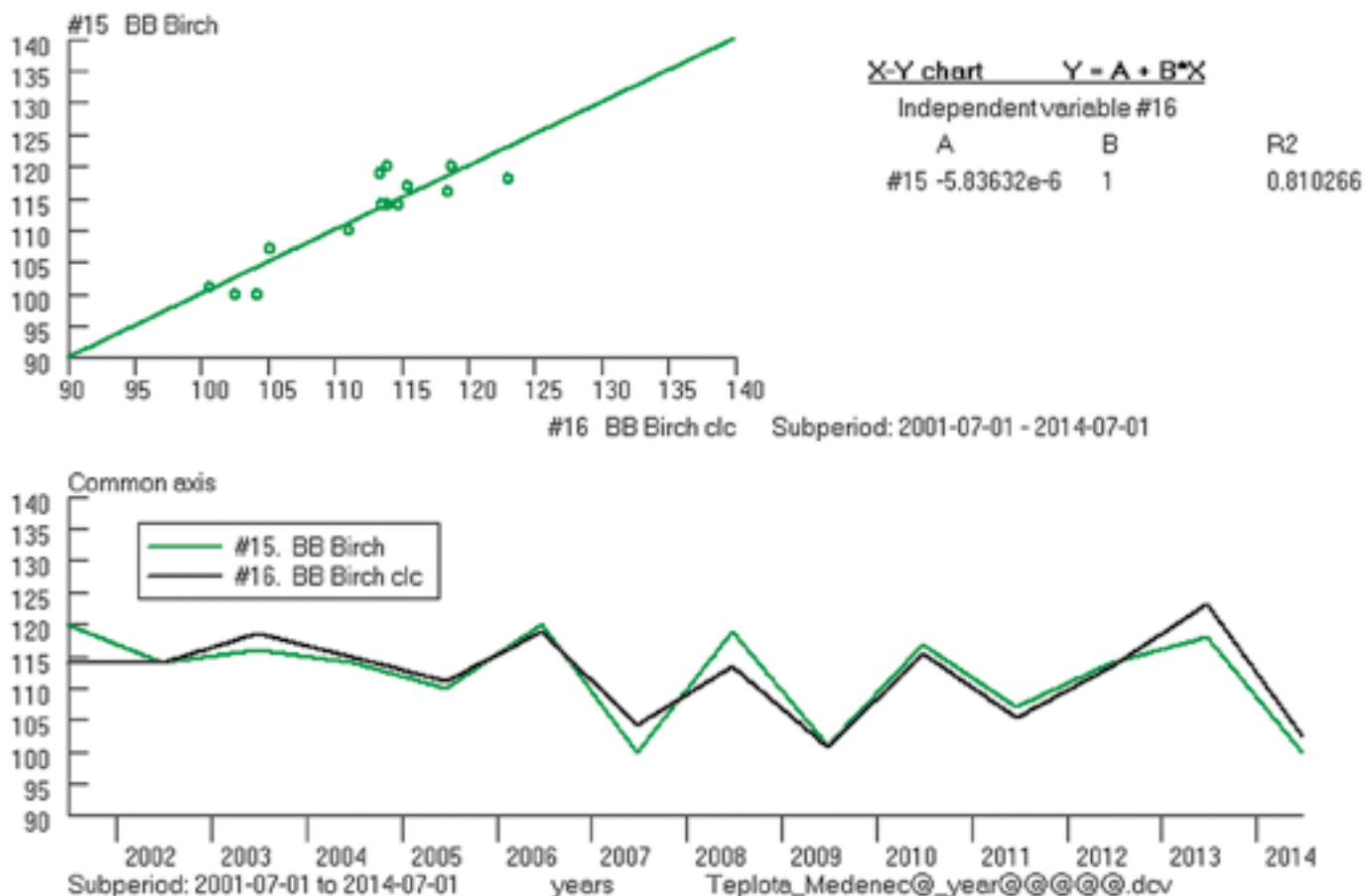


Abb. 4.1.3-6: Abhängigkeit des beobachteten und berechneten Austriebsbeginns – Hänge-Birke (*Betula pendula* Roth.)

Obr. 4.1.3-6: Závislost mezi pozorovaným a vypočteným počátkem rašení – břiza bělokorá (*Betula pendula* Roth.)

nissen, die am Standort Brandov (630 m ü. NN) gewonnen wurden, ist im langjährigen Trend keine Veränderung des Austriebsbeginns der Winter-Linde erkennbar. In der höchsten Lage (820 m) deutet der langfristige Trend auf eine frühere Austriebszeit hin.

Aus den langjährigen Ergebnissen des Beginn des Austriebs aller Holzarten geht hervor, dass markante Holzarten auf die sich verändernden Klimafaktoren erst in höheren Lagen reagieren. Die größten Veränderungen wurden in einer Höhe von 820 m festgestellt.

Die phänologische Phase des Austriebs aller beobachteter Holzarten wies eine markante Variabilität in Abhängigkeit der Witterungsverhältnisse des beobachteten Jahres aus.

Aus dem Vergleich der beobachteten Standorte ist ein vertikaler phänologischer Gradient erkennbar, der eine Zeitverschiebung des Ansatzens der Phänophase in Abhängigkeit von der Höhenlage zum Ausdruck bringt. Die phänologischen Phasen des Frühjahrs verzögern sich mit der Höhenlage, demgegenüber beginnen die phänologischen Phasen des Herbstes in den höheren Lagen früher. Hinsichtlich des zeitlichen Trends ist ein früherer Austriebsbeginn in den höheren Lagen erkennbar.

patrně. I u této dřeviny se projevuje spolu s vlivem faktorů klimatických opět i vliv faktorů genetických.

- Lipa srdčitá

U lípy srdčité nacházející se na lokalitě Frýdlant docházelo v průměru k rašení 117. den od počátku roku. Na lokalitě Chříbská, která je ve stejné nadmořské výšce, bylo rašení v průměru 113. den. I když se obě lokality neliší nadmořskou výškou, lze rozdílnou dobu rašení vysvětlit genetickou variabilitou dřeviny eventuelně méně příznivými klimatickými podmínkami lokality Frýdlant. Ve střední poloze fenologických sledování (630 m n. m.), bylo zaznamenáno rašení v průměru 119. den od počátku roku. Na nejvýše položené fenologické stanici (820 m n. m.) byl počátek rašení až 124. den.

Dlouhodobé trendy (obr. 4.1.3-5) ukazují, že na lokalitě Chříbská v podstatě ke změně trendu doby rašení nedochází. Z fenologických sledování v oblasti Frýdlant je vidět, že dlouhodobý trend rašení ukazuje na dřívější nástup této fáze. Ze získaných výsledků na lokalitě Brandov (630 m n. m.), v dlouhodobém trendu, není patrná změna v nástupu rašení u lípy srdčité. V nejvyšší nadmořské výšce (820 m) ukazuje dlouhodobý trend na dřívější dobu rašení.

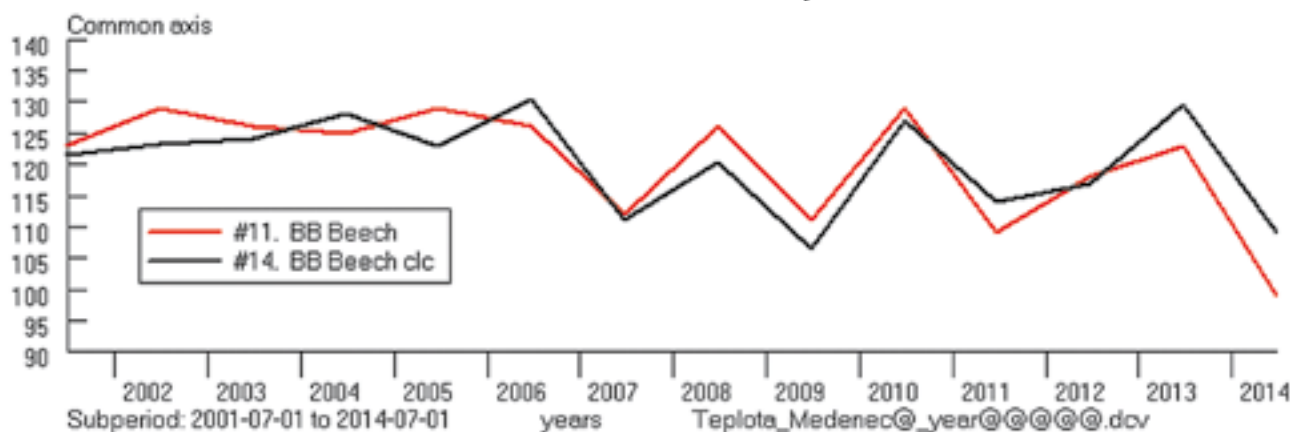
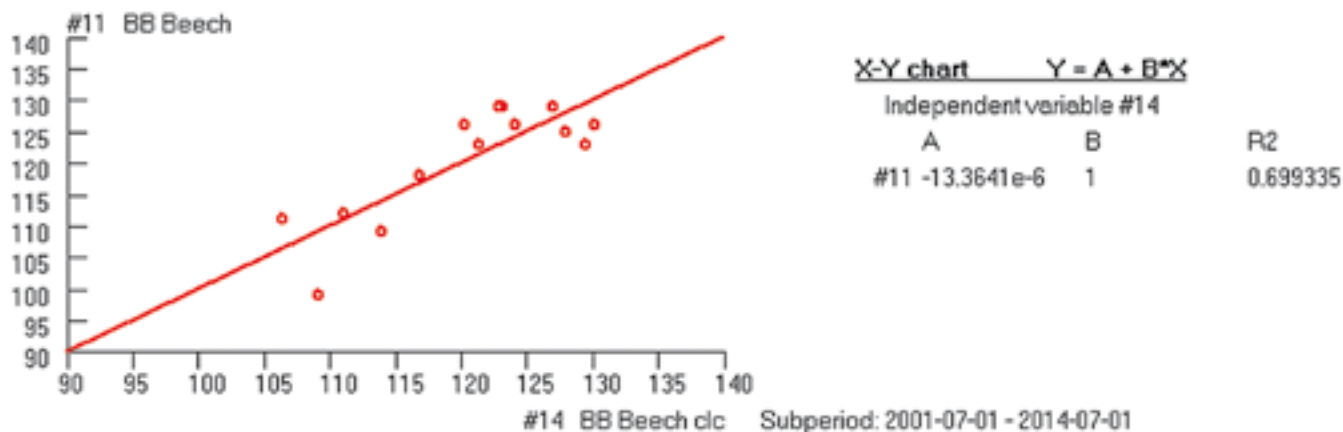


Abb. 4.1.3-7: Abhängigkeit des beobachteten und berechneten Austriebsbeginns – Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.)

Obr. 4.1.3-7: Závislost mezi pozorovaným a vypočteným počátkem rašení – buk lesní (*Fagus sylvatica* L.)

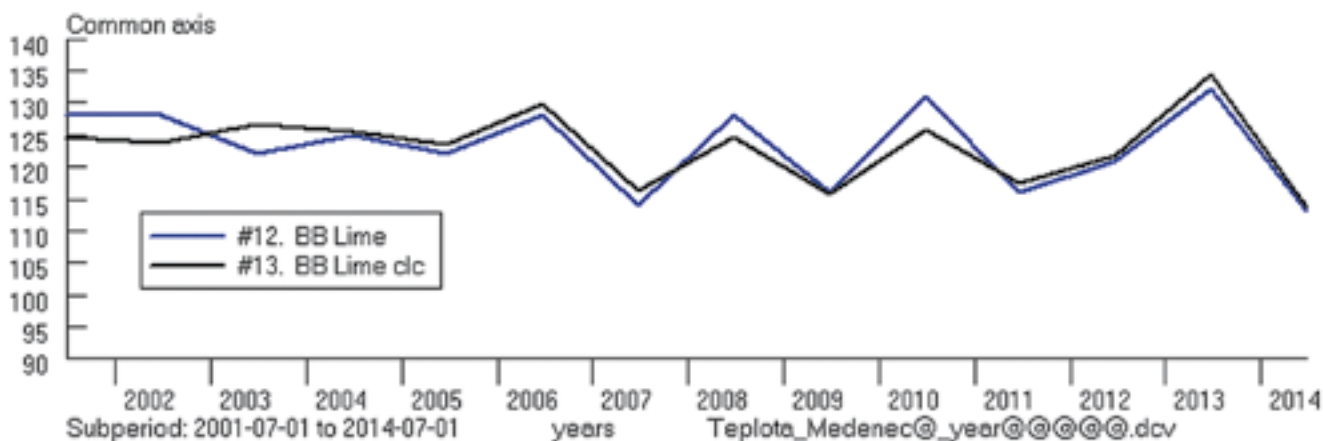
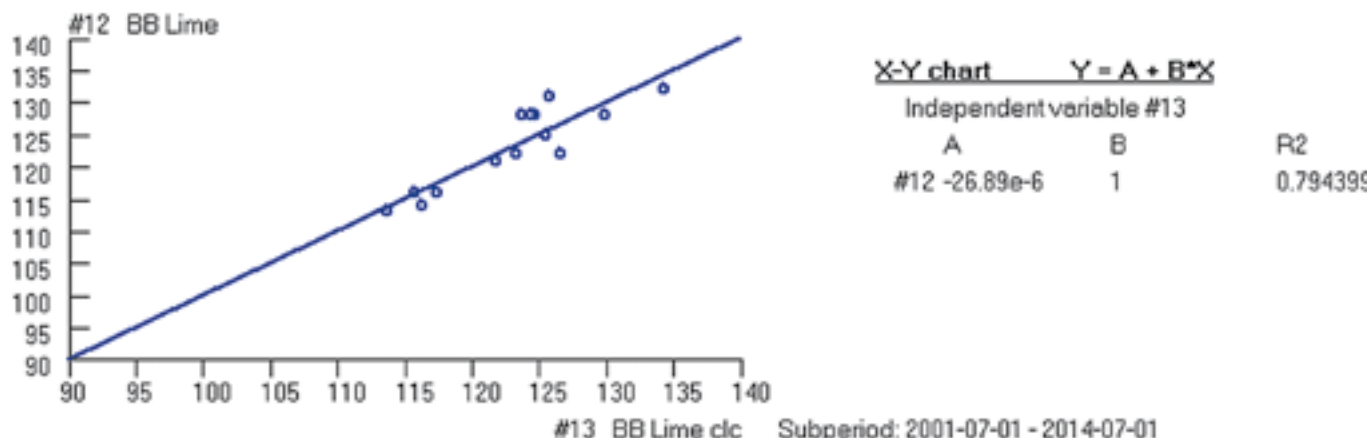


Abb. 4.1.3-8: Abhängigkeit des beobachteten und berechneten Austriebsbeginns – Winter-Linde (*Tilia cordata* Mill.)

Obr. 4.1.3-8: Závislost mezi pozorovaným a vypočteným počátkem rašení – lípa srdčitá (*Tilia cordata* Mill.)

Abhängigkeit der Zeit des Austriebs von der Lufttemperatur

Die gewöhnlich angegebene Abhängigkeit von den Summen effektiver Temperaturen konnte als nicht genügend aussagekräftig nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu zeigte sich eine überraschend enge lineare Abhängigkeit von den durchschnittlichen Temperaturen in ausgewählten zweiwöchigen Perioden im Zeitabschnitt Februar bis April. Als die am meisten signifikanten Zeitabschnitte erwiesen sich für beide Holzarten folgende (die Zahlen stellen die Koeffizienten der linearen Abhängigkeit von der durchschnittlichen Temperatur in der gegebenen Zeit dar):

Die starken Abhängigkeiten des Austriebsbeginns, die beobachtet und aus zweiwöchigen Durchschnittswerten der Temperatur berechnet wurden, sind in Abb. 4.1.3-6 bis 4.1.3-8 dargestellt.

Fazit

Aus den Ergebnissen dieser Studie ergibt sich ein markanter Trend des Austriebsbeginns bei allen beobachteten Holzarten in Lagen über 700 m in Richtung eines früheren Beginns dieser Phänophase.

Als signifikant erwies sich die Abhängigkeit des Austriebsbeginns von der durchschnittlichen Lufttemperatur in zweiwöchigen Abständen in der Zeit Februar bis Mitte April. Die ursprünglich vorausgesetzte Abhängigkeit von der Summe der effektiven Temperatur zeigte sich als wenig bedeutend.

*Emilie Bednářová und Jiří Kučera (Mendel-Universität Brno)
Lenka Hajková (Tschechisches Hydrometeorologisches Institut,
Ústí nad Labem)*

Z výsledků nástupu rašení všech dřevin, v dlouhodobém sledování je patrné, že na měnící se klimatické faktory výrazně reagují dřeviny až od vyšších nadmořských výšek. Největší změny počátku rašení jsou patrné v nadmořské výšce 820 m.

U všech sledovaných dřevin vykazovala fenologická fáze rašení značnou variabilitu v závislosti na povětrnostních podmínkách sledovaného roku.

Při porovnání výsledků ze sledovaných lokalit je patrný vertikální fenologický gradient, který vyjadřuje časový posun nástupu fenofáze v závislosti na nadmořské výšce. Jarní fenologické fáze se s vzrůstající nadmořskou výškou opožďují, naopak podzimní fenologické fáze nastupují ve vyšších nadmořských výškách dříve. Pokud se týká časového trendu, je patrný dřívější nástup rašení ve vyšších polohách.

Závislost doby rašení na teplotě vzduchu

Běžně udávaná závislost na sumách efektivních teplot nebyla prokázána jako dostatečně vypovídající. Naopak se ukázala jako překvapivě těsná lineární závislost na průměrných teplotách ve vybraných dvoutýdenních periodách v období únor až duben. Jako nejvíce signifikantní pro obě dřeviny se ukázala následující období (čísla představují koeficienty lineární závislosti na teplotním průměru v daném období):

Těsnosti závislostí počátku rašení pozorovaného a vypočteného z dvoutýdenních teplotních průměrů jsou ukázány na obr. 4.1.3-6 až 4.1.3-8.

Závěr

Z výsledků této studie vyplývá výrazný trend počátku rašení všech pozorovaných dřevin ve vyšších polohách nad 700 m směrem k dřívějšímu nástupu této fenofáze.

Jako signifikantní se ukázala závislost počátku rašení na průměrných teplotách vzduchu v dvoutýdenních intervalech v období únor až první polovina dubna. Původně předpokládaná závislost na sumě efektivních teplot se prokázala jako málo významná.

*Emilie Bednářová a Jiří Kučera (Mendelova univerzita v Brně)
Lenka Hajková (Český hydrometeorologický ústav,
Ústí nad Labem)*

4.1.4 Auswirkungen zu hoher Konzentrationen des bodennahen Ozons auf den Gesundheitszustand der Assimilationsorgane von Waldgehölzen im Erzgebirge und die Möglichkeiten der Voraussage

Einführung

Die Problematik der globalen Erwärmung und des Klimawandels wurde in den letzten Jahren zu einem Thema, das nicht nur in der Fachöffentlichkeit sondern auch in der breiten Öffentlichkeit diskutiert wird. Der Klimawandel betrifft praktisch alle Bereiche von Natur, Wirtschaft und Gesellschaft. In der jüngeren Vergangenheit wurde in der Tschechischen Republik sowie im Ausland im Zusammenhang mit dem Klimawandel ein neues Phänomen verzeichnet – die Beeinträchtigung der Waldökosysteme durch zu hohe Konzentrationen des bodennahen Ozons. Im europäischen Maßstab wird das Ozon gegenwärtig für den bedeutendsten gasigen Schadstoff gehalten, der sich auf den Gesundheitszustand der Wälder auswirkt (Ashmore, 2003). Auch für den Menschen stellt das Ozon ein prioritäres Problem dar (Šrámek et al., 2007). Der Schaden durch Ozon hängt von den Detoxifikationsfähigkeiten der Pflanzen ab und ist bei einzelnen Holzarten unterschiedlich (Ditmar et al., 2004). Die Beeinträchtigung der Assimilationsorgane durch Ozon macht sich durch Chlorosen und nekrotische Blattflecken bemerkbar. Bei Nadelhölzern sind bei hohen Konzentrationen des bodennahen Ozons auf ihren Nadeln weiße bis gelblich verfärbte Punktchlorosen erkennbar. Weil die Auswirkungen des Ozons kumulativ sind, kommen sie häufiger auf älteren Nadeln vor (Uhlířová et al., 2004; Ditmar et al., 2004). Neben der Beschädigung der Blätter wirkt sich das Ozon auch auf die gesamte Energiebilanz der Bäume aus. In Folge dessen nimmt die Widerstandsfähigkeit der Bäume gegenüber weiteren Stressfaktoren ab (Jones et al., 2004). Auf den Oberflächen der Blätter und Nadeln befindet sich eine Schicht epikutikularer Wachse, die zum Schutz der Pflanze gegen Austrocknung, Verunreinigung und Pathogenen dienen. Weil die epikutikularen Wachse eine Schnittstelle zwischen der Pflanze und der äußeren Umgebung bilden, werden sie oftmals durch Immissionen und hohe Ozonkonzentrationen beschädigt. Ein Indikator für die Beeinträchtigung in Folge von Immissionen ist die Auswertung von Veränderungen der epikutikularen Wachse. In Folge von Immissionen und der Einwirkung des Ozons nehmen die Wachse auf der Blatt- und Nadeloberfläche ab, und die Degradierung von Strukturen setzt ein. Veränderungen der biochemischen Prozesse der Blätter und Nadeln, die durch zu hohe Konzentrationen des bodennahen Ozons hervorgerufen werden, können die Synthese der Wachse und ihre Zusammensetzung verändern und somit die Funktion der Kutikula beeinträchtigen, die durch die Abnahme der Lebensfähigkeit des ganzen Baumes begleitet wird (Karnosky et al., 1999; Percy et al., 2002). Die Untersuchung hatte zum Ziel, die Beeinträchtigung der Assimilationsorgane durch zu hohe Konzentrationen des bodennahen Ozons mit Hilfe des Monitorings der Veränderungen epikutikularer Wachse der Gemeinen Fichte und der Hänge-Birke zu beobachten und ein Modell möglicher Konzentrationen des bodennahen Ozons unter sich verändernden Klimaverhältnissen zu entwickeln.

4.1.4 Vliv nadlimitních koncentrací přizemního ozonu na zdravotní stav asimilačního aparátu lesních dřevin ve východním Krušnohoří a možnosti jeho prognózování

Úvod

Problematika globálního oteplování a klimatických změn se stala v posledních letech velmi diskutovanou otázkou nejen mezi odborníky, ale i mezi laickou veřejností. Problematika vlivů klimatických změn se prakticky dotýká všech přírodních i socioekonomických sfér. V nedávné době byl u nás i v zahraničí zaznamenán nový fenomén v souvislosti s klimatickými změnami, poškozování lesních ekosystémů nadlimitními koncentracemi přizemního ozonu. V evropském měřítku je v současnosti ozon považován za nejvýznamnější plynnou škodlivinu ovlivňující zdravotní stav lesů (Ashmore, 2003). V oblasti antropogenní zátěže představuje přizemní ozon prioritní problematiku (Šrámek et al., 2007). Škodlivost ozonu závisí na detoxikační schopnosti rostliny a u jednotlivých dřevin se liší (Ditmar et al., 2004). Poškození asimilačního aparátu ozonem se viditelně projevuje chlorózami a nekrotickými skvrnami na listech. U jehličnatých dřevin jsou při vysokých koncentracích přizemního ozonu patrné na jehlicích bělavé až žlutavě zbarvené bodové chlorózy. Četnější jsou na starších jehlicích, neboť účinek ozonu bývá kumulativní (Uhlířová et al., 2004; Ditmar et al., 2004). Mimo poškození listů ozon nepříznivě ovlivňuje i celkovou energetickou bilanci stromů, která má za následek snížení odolnosti vůči dalším stresovým faktorům (Jones et al., 2004). Na povrchu listů a jehlic se nachází vrstva epikutikulárních vosků, které mají funkci ochrannou a chrání rostlinu proti vysychání, znečištění a patogenům. Vzhledem k tomu, že epikutikulární vosky tvoří rozhraní mezi rostlinou a vnějším prostředím jsou často poškozovány imisemi a vysokými koncentracemi ozonu. Jedním z užívaných markerů imisního poškozování je hodnocení změn u epikutikulárních vosků. Vlivem imisí a ozonu dochází k jejich úbytku na povrchu listů a jehlic a degradaci struktur. Změny biochemických pochodů u listů a jehlic vyvolané nadlimitními koncentracemi přizemního ozonu mohou měnit syntézu vosků, jejich složení a tím narušit funkci kutikuly provázené snížením životaschopnosti celého stromu (Karnosky et al., 1999; Percy et al., 2002).

Cílem sledování bylo zhodnocení poškozování asimilačního aparátu nadlimitními koncentracemi přizemního ozonu, metodou studia změn u epikutikulárních vosků smrku ztepilého a břízy bělokoré a vytvoření modelu možných koncentrací přizemního ozonu při měnících se klimatických podmínkách

Metodika

V letech 2006–2011 byly měřeny koncentrace přizemního ozonu v hodnocených porostech Krušných hor ve výškovém gradientu 730–1240 m pomocí pasivních dozimetřů umístěných na spodní hranici stromových korun. Každoroční instalace dozimetřů začínala ve fenologické fázi počátek olisťování ze 100 % a pokračovala do konce vegetačního období ve zhruba měsíčních intervalech. Množství epikutikulárních vosků na povrchu listů bylo stanoveno laboratorně podle metodiky Günthardt et al. (1994).



Abb. 4.1.4-1: Nadeln der Gemeinen Fichte, die durch Ozon beschädigt wurden – Erzgebirge – Janov, 900 m ü. NN

Obr. 4.1.4-1: Jehlice smrku ztepilého poškozené ozonem – Krušné hory – Janov 900 m n. m



Abb. 4.1.4-2: Blätter der Hänge-Birke, die durch Ozon beschädigt wurden – Erzgebirge – Janov, 900 m ü. NN

Obr. 4.1.4-2: Listy břízy bělokoré poškozené ozonem – Krušné hory – Janov 900 m n. m

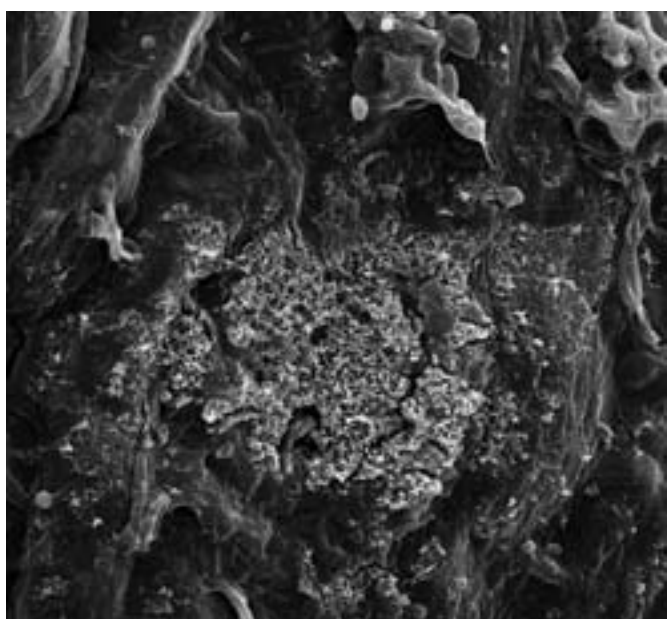


Abb. 4.1.4-3: Beschädigte epicutikulare Wachse der Gemeinen Fichte – Klínovec, 1.240 m ü. NN, I. Nadeljahrgang

Obr. 4.1.4-3: Poškozené epikutikulární vosky u smrku ztepilého – Klínovec 1240 m n. m. I. ročník jehličí

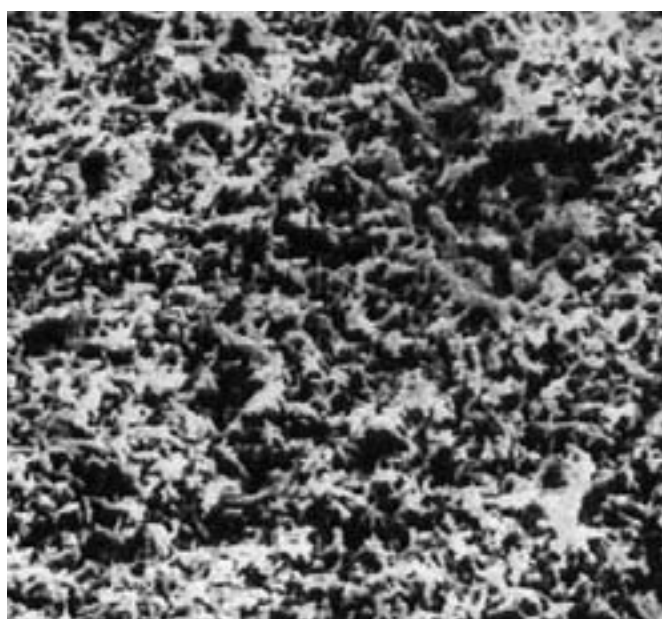


Abb. 4.1.4-4: Unbeschädigte Struktur der epicutikularen Wachse der Gemeinen Fichte, 620 m ü. NN, I. Nadeljahrgang

Obr. 4.1.4-4: Nepoškozená struktura epikutikulárních vosků u smrku ztepilého 620 m n. m. I. ročník jehličí

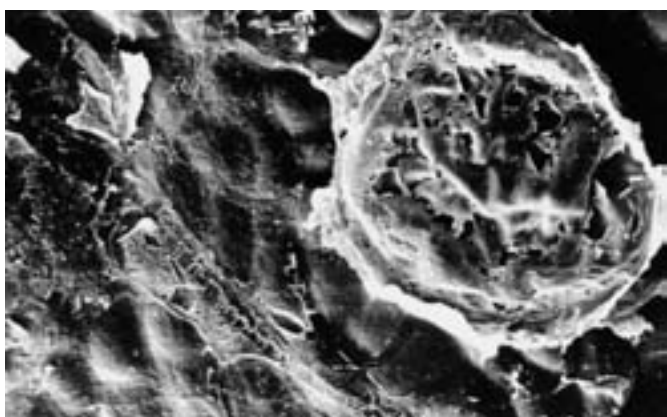


Abb. 4.1.4-5: Beschädigte Struktur der epicutikularen Wachse der Blätter der Birke, 900 m ü. NN

Obr. 4.1.4-5: Poškozená struktura epikutikulárních vosků listů břízy 900 m n. m

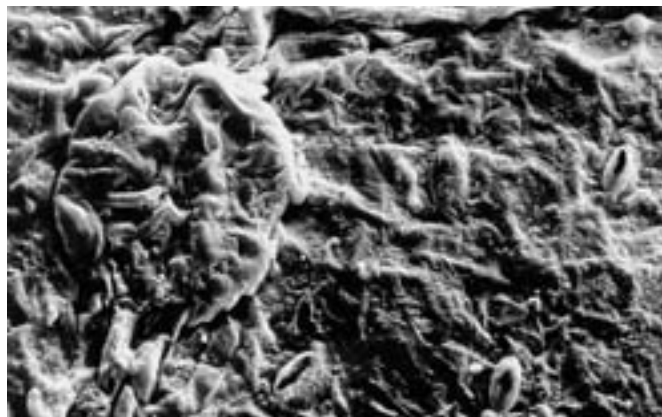


Abb. 4.1.4-6: Unbeschädigte Struktur der epicutikularen Wachse der Blätter der Birke, 730 m ü. NN

Obr. 4.1.4-6: Nepoškozená struktura epikutikulárních vosků listů břízy 730 m n. m

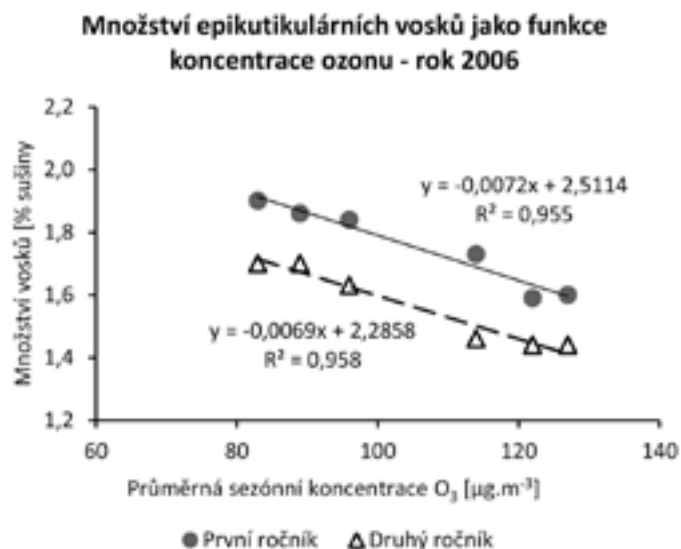


Abb. 4.1.4-7: Beziehung zwischen der Menge epikutularer Wachse (Trockenmasse in %, y-Achse) und den durchschnittlich saisonbedingten Ozonkonzentrationen (x-Achse) – Jahr 2006; Punkte: erster Nadeljahrgang; Dreiecke: zweiter Nadeljahrgang

Obr. 4.1.4-7: Vztah mezi množstvím epikutikulárních vosků a koncentrací ozonu – rok 2006



Abb. 4.1.4-8: Beziehung zwischen der Menge epikutularer Wachse (Trockenmasse in %, y-Achse) und den durchschnittlich saisonbedingten Ozonkonzentrationen (x-Achse) – Jahr 2007; Punkte: erster Nadeljahrgang; Dreiecke: zweiter Nadeljahrgang

Obr. 4.1.4-8: Vztah mezi množstvím epikutikulárních vosků a koncentrací ozonu – rok 2007

Methodik

In den Jahren 2006 – 2011 wurden Konzentrationen des bodennahen Ozons im Erzgebirge in den Höhenlagen zwischen 730 und 1.240 m mit Hilfe passiver Dosimeter, die auf der Unterseite der Baumkronen angebracht wurden, gemessen. Die jährliche Anbringung der Dosimeter wurde in der phänologischen Phase der Ansetzung des Laubwerkes zu 100 % durchgeführt und wurde bis zum Ende der Vegetationsperiode in etwa monatlichen Abständen fortgesetzt. Die Menge epikutularer Wachse auf der Blattoberfläche wurde im Labor durch das Verfahren nach Günthard et al. (1994) festgestellt. Der Zustand der epikutularen Wachse wurde mit Hilfe des Rastermikroskops Vega-Tescan bestimmt. Im Anschluss an die Messungen der Konzentrationen des bodennahen Ozons wurden die Lufttemperatur, Sonnenstrahlung und der Niederschlag kontinuierlich gemessen. Zur Entwicklung des Modells zur Darstellung der Auswirkungen bioklimatischer Parameter auf die Ozonkonzentrationen wurden folgende Größen verwendet: gemessene Konzentrationen des Ozons aus den Dosimetern, Lufttemperatur, Luftfeuchte und Sonnenstrahlung. In dem Modell wurden auch die Höhenlage der untersuchten Bestände, die Hangneigung sowie das Azimut berücksichtigt.

Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse

Während der gesamten Laufzeit der Untersuchungen (2006 bis 2011) erreichten die gemessenen Konzentrationen des bodennahen Ozons an allen beobachteten Standorten im Erzgebirge in einer Lage von mehr als 800 m höhere Werte, als 80 µg.m⁻³, was die Grenzwerte für die Gesundheit des Waldholzes übersteigt. Die erhöhten Konzentrationen des bodennahen Ozons führten

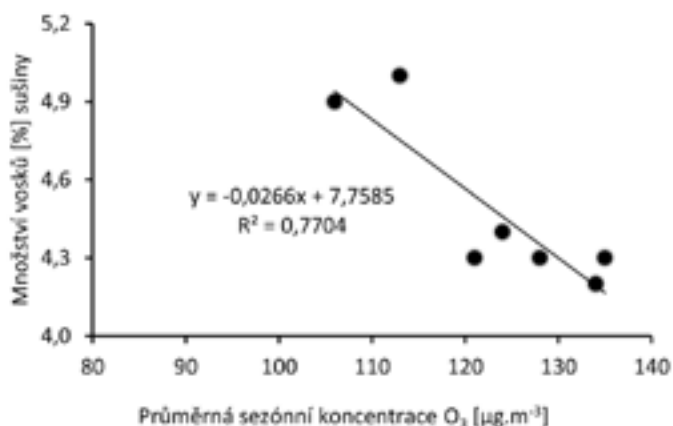
Stav struktury epikutikulárních vosků byl hodnocen pomocí rastrovacího mikroskopu Vega-Tescan. V návaznosti na měření koncentrací přízemního ozonu byla kontinuálně měřena teplota vzduchu, sluneční radiace a srážky. Pro vytvoření modelu charakterizující vliv bioklimatických parametrů na koncentrace ozonu byly použity následující veličiny: naměřené koncentrace ozonu dozimetry, teplota a vlhkost vzduchu a sluneční radiace. Dále model zohledňoval i nadmořskou výšku sledovaných porostů, sklon terénu a azimut.

Souhrn získaných poznatků

Po celou dobu sledování (2006 až 2011) dosahovaly naměřené koncentrace přízemního ozonu na všech sledovaných lokalitách Krušných hor, nacházejících se v nadmořské výšce nad 800 m vyšších hodnot než 80 µg.m⁻³, což překračuje zdravotní limit pro lesní dřeviny. Zvýšené koncentrace přízemního ozonu způsobovaly poškození asimilačního aparátu, které se projevilo úbytkem a degradací epikutikulárních vosků na listech a jehlicích. U porostů nacházejících se v nejvyšších polohách Krušných hor byly i viditelné symptomy poškození na listové ploše.

Poškození u druhého ročníku jehlic smrku ztepilého bylo ještě více patrné, neboť poškození vyvolané oxidačním stresem může kumulovat. Zjištěné množství epikutikulárních vosků a jejich degradace na povrchu jehlic klesalo se vzrůstající nadmořskou výškou hodnocených porostů. U smrkových porostů nacházejících se v nadmořské výšce do 800 m nebylo poškození asimilačního aparátu patrné. Množství epikutikulárních vosků na jehlicích druhého ročníku je vždy nižší oproti prvnímu ročníku, neboť mimo kumulativní vliv antropogenních činitelů způsobuje částečný úby-

Množství epikutikulárních vosků jako funkce koncentrace ozonu. Bříza 900 m n.m



Množství epikutikulárních vosků jako funkce koncentrace ozonu. Bříza 1000 m n.m.

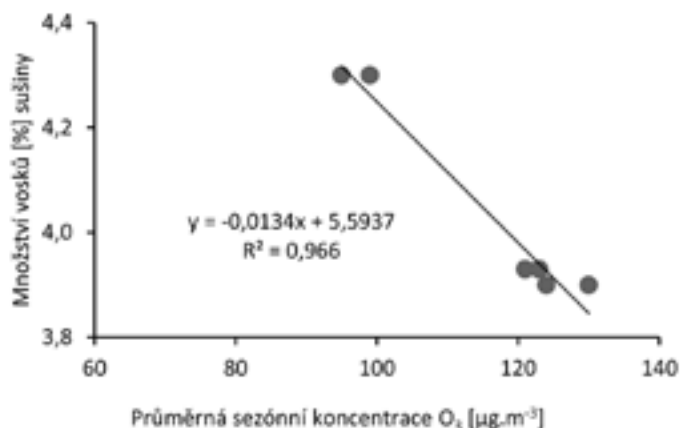


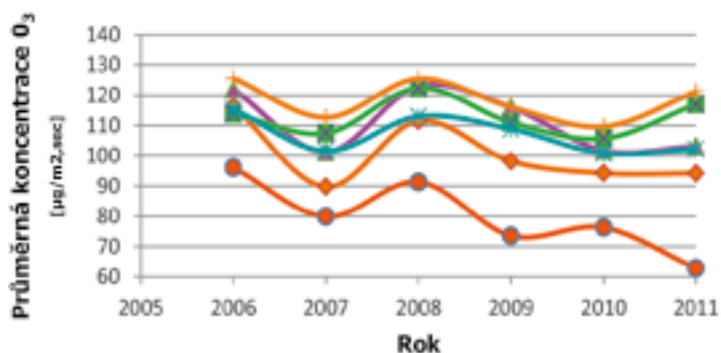
Abb. 4.1.4-9: Beziehung zwischen der Menge epikutikularer Wachse (Trockenmasse in %, y-Achse) und den durchschnittlich saisonbedingten Ozonkonzentrationen (x-Achse) in den Jahren 2003 bis 2009. Hänge-Birke, 900 m ü. NN, I. Nadeljahrgang

Obr. 4.1.4-9: Vztah mezi množstvím epikutikulárních vosků a koncentrací ozonu v letech 2003 až 2009. Bříza bělokorá, 900 m n.m.

Abb. 4.1.4-10: Beziehung zwischen der Menge epikutikularer Wachse (Trockenmasse in %, y-Achse) und den durchschnittlich saisonbedingten Ozonkonzentrationen (x-Achse) in den Jahren 2003 bis 2009. Hänge-Birke, 1000 m ü. NN, I. Nadeljahrgang

Obr. 4.1.4-10: Vztah mezi množstvím epikutikulárních vosků a koncentrací ozonu v letech 2003 až 2009. Bříza bělokorá, 1000 m n.m.

Průběh koncentrací O₃ v letech 2006 až 2011



● 730 ● 825 ▲ 860 ■ 900 ◆ 1050 ◆ 1240 m n.m.

Abb. 4.1.4-11: Saisonbedingte durchschnittliche Ozonkonzentration in den Jahren 2006 bis 2011 in unterschiedlichen Höhenlagen des Erzgebirges
Obr. 4.1.4-11: Sezónní průměrná koncentrace ozonu v letech 2006 až 2011 v různých nadmořských výškách v Krušných horách.

Průběh měsíčních maximálních koncentrací O₃ v letech 2006 až 2011

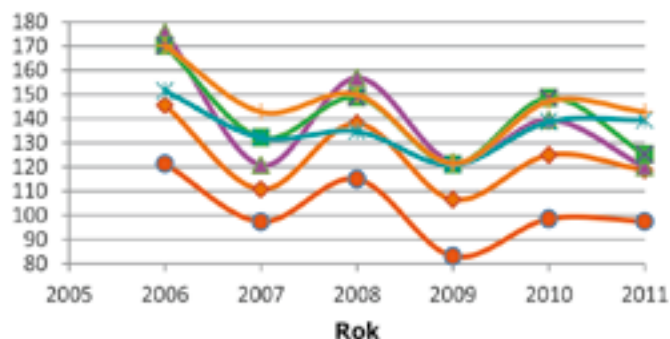


Abb. 4.1.4-12: Maximale durchschnittliche Ozonkonzentration in den Jahren 2006 bis 2011 in unterschiedlichen Höhenlagen des Erzgebirges
Obr. 4.1.4-12: Maximální průměrné měsíční koncentrace ozonu v letech 2006 až 2011 v různých nadmořských výškách v Krušných horách.

zur Beschädigung der Assimilationsorgane, was sich durch die Abnahme und Degradierung epikutikularer Wachse an den Blättern und Nadeln bemerkbar machte. Im Fall von Beständen in den höchsten Lagen des Erzgebirges konnten auch sichtbare Symptome der Beeinträchtigung auf der Blattoberfläche beobachtet werden.

Die Beschädigung des zweiten Jahrganges der Nadeln der Gemeinen Fichte war noch sichtbarer gewesen, weil sich die Beeinträchtigung in Folge des Oxidationsstresses kumulieren kann. Die festgestellte Menge epikutikularer Wachse und ihrer Degradierung an der Nadeloberfläche nahm mit der zunehmenden Höhenlage der beobachteten Bestände ab. Bei Fichtenbeständen in einer Höhenlage von bis zu 800 m konnte keine Beschädigung der Assimilationsorgane beobachtet werden. Die Menge epikutikularer Wachse auf den Nadeln des zweiten Jahrganges ist gegenüber dem ersten Jahrgang immer geringer, denn neben den kumulativen Auswirkungen anthropogener Faktoren wird ein Teilrückgang der Wachse auch durch die natürliche Degradierung in Folge des Altwerdens der Nadeln sowie ungünstiger Auswirkungen klimabedingter Faktoren verursacht. Durch eine statistische Auswertung konnte eine hohe Abhängigkeit der Abnahme epikutikularer Wachse von der hohen Konzentration des bodennahen Ozons nachgewiesen werden.

Im Fichtenbestand in der tiefsten Lage (730 m) bewegten sich die Mengen epikutikularer Wachse von 1,80 % bis 1,96 % der gesamten Nadelnrockenmasse im ersten Jahrgang der Nadeln, im zweiten Jahrgang waren es 1,60 % bis 1,866 %. Im Fall der höchst gelegenen Fichtenbestände (1.240 m) wurden im ersten Jahrgang Mengen epikutikularer Wachse von 1,40 % bis 1,50 % und im zweiten Jahrgang von 1,20 % bis 1,40 % festgestellt.

Zwischen der Menge epikutikularer Wachse und den Ozonkonzentrationen konnte eine starke Abhängigkeit festgestellt werden – siehe Abb. 4.1.4-7 und 4.1.4-8.

Für die Bestände der Hänge-Birke konnte bereits eine Beschädigung der Assimilationsorgane in der Höhenlage von 800 m beobachtet werden. In Zeiten von zu hoher Konzentration des bodennahen Ozons entwickelten sich auf den Blättern chlorotische Flecken (ohne Beschädigung der Hauptrippe), die Ende August auch auf der unteren Blattseite festgestellt werden konnten. Sichtbare Anzeichen einer negativen Auswirkung des Ozons konnten mehrere Wochen nach der Entfaltung der Blattfläche beobachtet werden, insbesondere an südlich und südwestlich ausgerichteten Standorten. Auch bei der Hänge-Birke konnte aufgrund der statistischen Auswertung eine hohe Abhängigkeit der Menge der Wachse von den zu hohen Konzentrationen des bodennahen Ozons in den beobachteten Beständen nachgewiesen werden. Diese Abhängigkeit nahm mit ansteigender Höhenlage der Bestände zu.

Die Konzentrationen des bodennahen Ozons waren in den einzelnen Jahren in Abhängigkeit von den klimatisch bedingten Faktoren unterschiedlich. Aus diesen Gründen weisen sie eine hohe zeitliche sowie räumliche Variabilität auf. Die Ozonkonzentrationen hängen von vielen Faktoren ab: der geographischen Lage, der Höhenlage, der Jahreszeit und der Wetterlage. Als ge-

tek vosků i přirozená degradace vlivem stárnutí jehlic a vliv nepříznivých klimatických faktorů. Statistickým zhodnocením byla prokázána vysoká závislost úbytku epikutikulárních vosků na vysoké koncentraci přízemního ozonu.

Ve smrkovém porostu v nejnižší nadmořské výšce (730 m) se množství epikutikulárních vosků pohybovalo od 1,80 % do 1,96 % z celkové sušiny jehlic u prvního ročníku jehličí, u druhého ročníku 1,60 % až 1,86 %. V nejvyšší nadmořské výšce smrkových porostů (1240 m) bylo zjištěno u prvního ročníku jehličí množství epikutikulárních vosků 1,40 % až 1,50 % a u druhého ročníku 1,20 % až 1,40 %.

Mezi množstvím epikutikulárních vosků a koncentracemi ozonu byla nalezena těsná závislost – viz obr. 4.1.4-7 a 4.1.4-8.

U porostů břízy bělokoré bylo patrné poškození asimilačního aparátu v porostech nacházejících se v nadmořských výškách již v 800 m. V období s nadlimitními koncentracemi přízemního ozonu se na listech vytvářely chlorotické skvrny (bez poškození žilnatiny), které byly koncem srpna patrné i na spodní straně listů. Viditelné příznaky negativního vlivu ozonu se projeví za několik týdnů po rozvinutí listové plochy, zvláště v lokalitách situovaných na jih a jihozápad. Statické zpracování prokázalo i u břízy bělokoré vysokou závislost množství vosků, na nadlimitních koncentracích přízemního ozonu ve sledovaných porostech. Tato závislost se zvyšovala se vzrůstající nadmořskou výškou porostů.

Koncentrace přízemního ozonu se v jednotlivých letech lišily v závislosti na klimatických faktorech, a proto vykazují významnou časovou i prostorovou variabilitu. Koncentrace ozonu závisí na mnoha faktorech: zeměpisné poloze, nadmořské výšce, ročním obdobím, synoptické situaci. Za dobré podmínky pro fotochemický vznik O_3 se všeobecně pokládá vysoká teplota, vysoká intenzita solární radiace, nízká rychlost větru, nízká relativní vlhkost a absence atmosferických srážek. Naměřené koncentrace přízemního ozonu ve sledovaných letech v závislosti na nadmořské výšce sledovaných porostů ukazují obr. 4.1.4-11 a 4.1.4-12.

Ve všech sledovaných letech (2006–2011) byla prokázána vysoká závislost mezi naměřenými a vypočtenými koncentracemi přízemního ozonu. Použitá rovnice vycházela z lineární závislosti na veličinách, které tvorbu přízemního ozonu ovlivňují (obr. 4.1.4-13)

K zpřesnění modelové situace by jistě přispěla znalost množství prekurzorů, které koncentrace ozonu podmiňují. Vysoké regresní koeficienty ukazují, že měnící se klimatické faktory jsou velmi důležitým prvkem pro prognózy vývoje poškozování lesů. Mimo zvyšujících se teplot během vegetačního období a vyšších teplot během zimního klidu, který je pro lesní dřeviny zcela nepostradatelný, hraje začnou roli i nedostatek srážek a jejich nerovnoměrné rozdělení během roku.

Lesní porosty sresované nedostatkem vody nebudou schopné eliminovat zátěž způsobenou vyššími teplotami, které mohou výrazně podmiňovat tvorbu přízemního ozonu a může tak docházet ke zhoršování jejich zdravotního stavu, zvláště u porostů nacházejících se ve vysokých nadmořských výškách.

Při porovnání získaných výsledků z jednotlivých let vidíme, že meziroční rozdíly zde hrají velice významnou roli v oblasti mini-

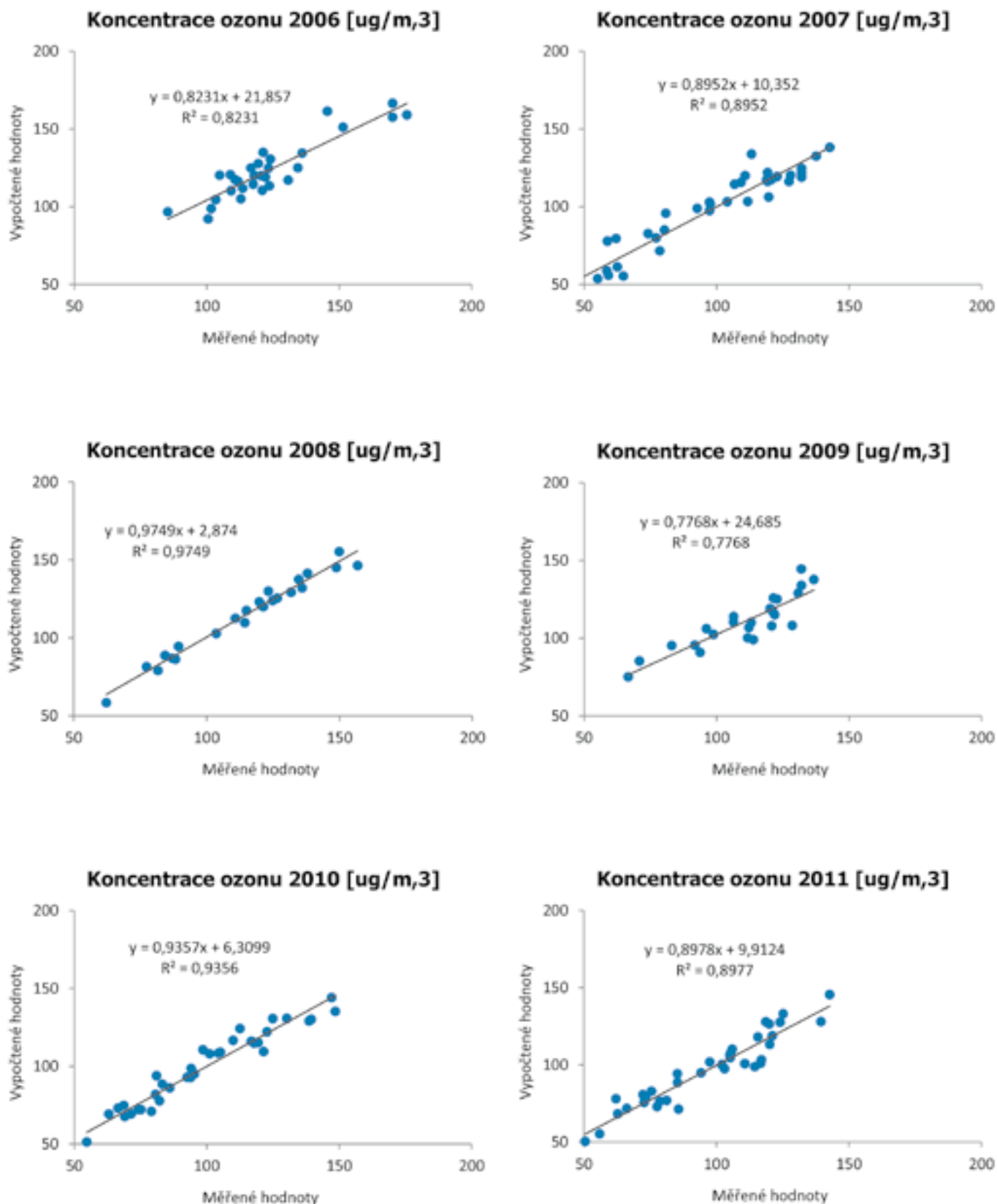


Abb. 4.1.4-13: Gemessene (x-Achse) und berechnete Werte (y-Achse) der bodennahen Ozonkonzentration für die Jahre 2006 bis 2011
Die Regressionsabhängigkeiten zwischen den berechneten und gemessenen Werten korrelieren in den einzelnen Jahren verhältnismäßig gut, es sind aber Unterschiede zwischen den Jahren erkennbar. Die Abhängigkeiten aus den einzelnen Jahren sind auf Abb. 4.1.4-14 zusammengefasst, auf der nur die Regressionsgleichungen dargestellt sind.

Obr. 4.1.4-13: Měřené a vypočtené hodnoty koncentrací přízemního ozonu v letech 2006 až 2011.

Regresní závislosti mezi vypočtenými a měřenými hodnotami v jednotlivých letech koreluji poměrně dobře, jsou však zde patrné meziroční rozdíly. Závislosti z jednotlivých let shrnuje obr. 4.1.4-14, v němž jsou zobrazeny pouze regresní rovnice.

eignete Bedingungen für eine photochemische Entstehung von O_3 werden allgemein eine hohe Temperatur, eine hohe Intensität der Sonnenstrahlung, eine geringe Windgeschwindigkeit, eine geringe relative Feuchte und das Fehlen von Niederschlägen betrachtet. Die gemessenen Konzentrationen des bodennahen Ozons in Abhängigkeit von der Höhenlage der untersuchten Bestände sind in den Abb. 4.1.4-11 und 4.1.4-12. dargestellt.

Im Untersuchungszeitraum konnte eine hohe Abhängigkeit zwischen den gemessenen und berechneten Konzentrationen des bodennahen Ozons festgestellt werden. Die eingesetzte Gleichung basiert auf einer linearen Abhängigkeit von Größen, durch welche die Entwicklung des bodennahen Ozons direkt beeinflusst wird (Abb. 4.1.4-13).

Einer Präzisierung der Modellsituation würde die Kenntnis der Menge von Präkursoren dienen, durch die die Ozonkonzentration bedingt wird. Hohe Regressionskoeffizienten zeigen an, dass die sich verändernden Klimafaktoren ein sehr wichtiges Element für die projizierte Entwicklung des Waldzustandes sind. Neben steigenden Temperaturen im Laufe der Vegetationsperiode und höheren Temperaturen während der Winterruhe, die für die Waldhölzer absolut unentbehrlich ist, spielen auch ein Mangel an Niederschlag und eine ungleiche Verteilung des Niederschlags im Laufe des Jahres eine bedeutende Rolle.

Die durch Wassermangel gestressten Waldbestände sind nicht in der Lage die Belastungen zu eliminieren, die durch höhere Temperaturen verursacht werden. Diese können die Herausbildung des bodennahen Ozons wesentlich bedingen. Somit kann eine Verschlechterung ihres Gesundheitszustandes eintreten, insbesondere im Fall von Beständen in hohen Lagen.

Aus einem Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Jahre geht hervor, dass die Jahresunterschiede hier eine sehr bedeutende Rolle im Bereich der minimalen und maximalen Belastung spielen. Eine Übereinstimmung der mittleren Werte der Konzentrationen des bodennahen Ozons kann nur um $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ festgestellt werden.

Das bodennahe Ozon ist ein sekundärer Schadstoff. Im Unterschied zu anderen Schadstoffen verfügt er also nicht über eine eigene Emissionsquelle in der Luft, sondern entsteht durch photochemische Reaktionen in der Atmosphäre unter Einwirkung der UV-Strahlung und der Vorläufer (Präkursoren), die vermutlich die unterschiedliche Abhängigkeit der Ozonkonzentration von den meteorologischen Größen in den Einzeljahren verursachen.

*Emilie Bednářová und Jiří Kučera
(Mendel-Universität Brno)*

mální a maximální zátěže. Pouze v oblasti středních hodnot koncentrací přízemního ozonu kolem $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dochází ke shodě.

Přízemní ozon je až sekundární znečišťující látka. Nemá tedy, na rozdíl od jiných škodlivin, vlastní emisní zdroj v ovzduší, ale vzniká fotochemickými reakcemi v atmosféře za spolupůsobení ultrafialového záření a tzv. prekursorů, které jsou pravděpodobně hlavní příčinou meziročních rozdílů v závislosti vypočtené koncentrace ozonu na meteorologických veličinách.

*Emilie Bednářová a Jiří Kučera
(Mendelova univerzita v Brně)*

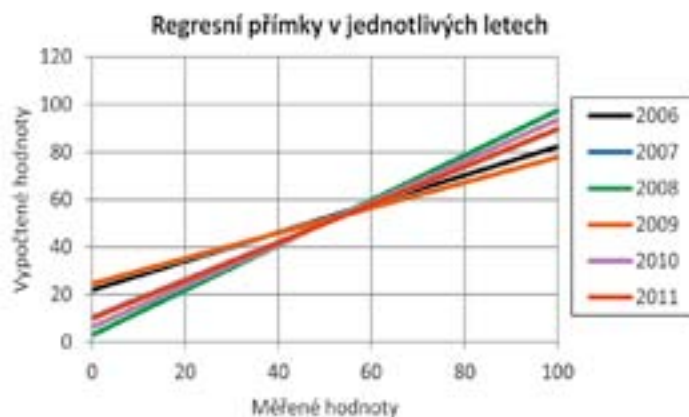


Abb. 4.1.4-14: Regressionsgeraden der Abhängigkeiten zwischen den gemessenen (x-Achse) und berechneten Werten (y-Achse) der bodennahen Ozonkonzentration in den Jahren 2006 bis 2011

Obr. 4.1.4-14: Regresní přímky závislosti mezi měřenými a vypočtenými hodnotami koncentrací přízemního ozonu v letech 2006 až 2011

4.2 Wassermanagement

4.2.1 GRACE – Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet

In den letzten Jahrzehnten ist ein ausgeprägter Wandel der klimatischen Verhältnisse im sächsisch-böhmischen Grenzraum zu beobachten, deren Ausmaß bereits Auswirkungen auf den Wasserhaushalt erwarten lassen. Aktuelle Analysen des regionalen Klimawandels sind somit ein Bestandteil bei der Untersuchung seiner möglichen Auswirkungen. Im Rahmen des grenzüberschreitenden Projektes INTERKLIM der Europäischen Union erarbeiten das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und das tschechische Institut für globalen Wandel gemeinsam eine einheitliche Wissens- und Informationsbasis auf dem Gebiet des regionalen Klimawandels. Die Ergebnisse können dazu beitragen, die komplexen Ursachen auffälliger Schwankungen der Grundwasserstände im sächsisch-böhmischen Grenzraum zu erkennen und im Sinne des Projektes GRACE die zukünftige Trinkwasserversorgung in der Region mit sichern zu helfen.

In der Hinteren Sächsischen Schweiz und im Zittauer Gebirge werden grenzübergreifend seit den 1980er Jahren sinkende bzw. stark schwankende Grundwasserstände beobachtet, wie in der folgenden Abbildung gut erkennbar ist.

Damit stellte sich die Frage nach den Ursachen für dieses Phänomen, was schließlich das Ziel 3 – Projekt GRACE (Groundwater Absence in Cretaceous Sandstone Aquifers, Laufzeit: 08/2011–12/2014) nach sich zog. Im Zentrum des Projektes

4.2 Vodní hospodářství

4.2.1 GRACE – společné využívání zdrojů podzemní vody v česko-saském pohraničí

V uplynulých letech lze pozorovat významnou změnu klimatických poměrů v česko-saském pohraničí. Podle rozsahu této změny lze očekávat vlivy na vodní režim. Součástí výzkumů možných vlivů změn klimatu jsou aktuální analýzy regionální změny klimatu. V rámci přeshraničního projektu INTERKLIM (podpořeného z programu EU Cíl 3) spolupracují Centrum výzkumu globální změny AV ČR v. v. i. se Saským zemským úřadem pro životní prostředí, zemědělství a geologii (Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) na vytváření jednotné znalostní a informační bázi v oblasti regionálních klimatických změn. Výsledky projektu mohou přispět k poznání komplexních příčin nápadných výkyvů stavu podzemní vody v česko-saském pohraničí a pomoci ve smyslu projektu GRACE k zajištění pitné vody pro region v budoucnu.

Jak je patrné z následujícího obr., pozorujeme v oblasti Zadního Saského Švýcarska (Hinterer Sächsischen Schweiz) a Žitavských hor (Zittauer Gebirge) od osmdesátých let 20. století silné kolísání a celkový pokles hladiny spodních vod.

Tento trend nutně nastolil otázku o příčinách tohoto jevu a vedl ke vzniku projektu GRACE (Groundwater Absence in Cretaceous Sandstone Aquifers, doba realizace: 08/2011–12/2014) podpořeného z operačního programu EU Cíl 3. Projekt GRACE se zabývá modelováním proudění podzemní vody, geofyzikou měřících profilů, výzkumem izotopů, vlivu klimatu a fauny podzemní vody.

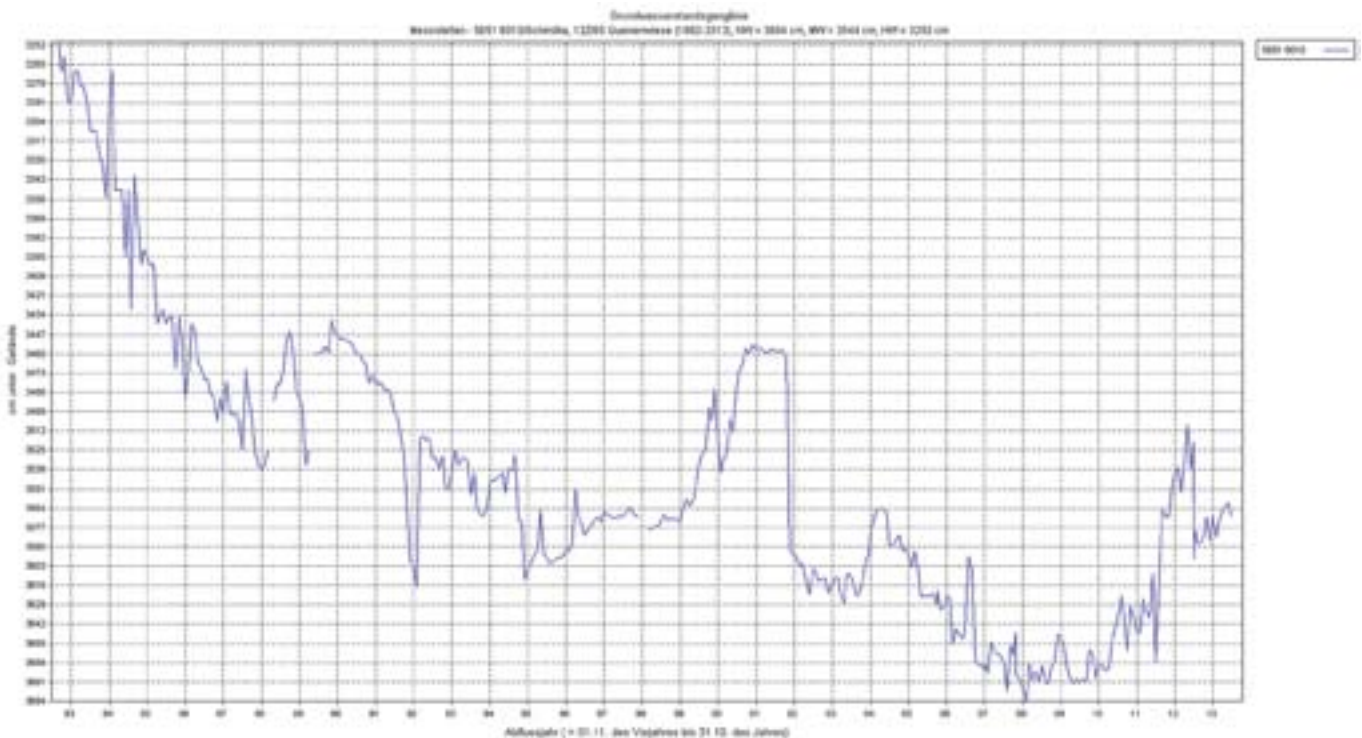


Abb. 4.2.1-1: Grundwasserstandsganglinie (1983–2013) der Messstelle »Quenenwiese« in der Hinteren Sächsischen Schweiz

Obr. 4.2.1-1: Kolísání hladiny podzemních vod (1983–2013) na měřném profilu »Quenenwiese« v regionu Zadní Saské Švýcarsko



Abb. 4.2.1-2: Das Untersuchungsgebiet Hřensko-Kirnitzsch im Projekt GRACE

Obr. 4.2.1-2: Uzemí výzkumu Hřensko-Křínice projektu GRACE

steht die Ursachenforschung, wozu die einzelnen Teilprojekte zu Grundwasserströmungsmodellen, Messstellengeophysik, Isotopenuntersuchungen, Klimaeinflüssen, Grundwasserfauna jeweils ihren Beitrag leisten und letztendlich in der Ableitung gemeinsamer Bewirtschaftungsstrategien für die durch die Wasserversorgung genutzten Grundwasserleiter münden.

Eine wichtige Rolle spielte auch die Studie zu den Klimaeinflüssen für das Verständnis der Grundwasserstandsdynamik. Das Klima als treibende Komponente im Landschaftswasserhaushalt hat maßgeblichen Einfluss auf die Wasserressourcen eines Gebietes. Daher ist es besonders wichtig, das Klima und seine Entwicklung hinsichtlich der Wirkung auf den Wasserhaushalt zu analysieren und zu bewerten. Im Folgenden werden dazu einige Ergebnisse für das Gebiet Hřensko-Křínice/Kirnitzsch in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz vorgestellt.

Das Gebiet befindet sich im Südosten des Freistaates Sachsen und im Norden der Tschechischen Republik. Großklimatisch kann es den ozeanisch geprägten, gemäßigten Breiten zugeordnet werden (SMUL, 2008; Tolasz et al., 2008). Lokalklimatisch weist es die Besonderheit auf, dass es in Folge der Reliefeigenschaften zu einer Umkehr der klimatischen Verhältnisse kommt. Das bedeutet, die engen und tief eingeschnittenen, canyonartigen Täler sind kühler und feuchter im Vergleich zu den stärker besonnten und damit wärmeren und trockeneren Hochflächen, Felswänden

Všechny tyto části projektu mají obecný cíl v odvození společných strategií managementu spodních vod.

Pro správné pochopení dynamiky podzemní vod je tedy důležité znát roli klimatu, který jako hnací komponenta vodního režimu v krajině má rozhodující vliv na vodní zdroje v daném území. V následujícím příspěvku shrneme některé výsledky projektu GRACE na toto téma na příkladu území Hřensko – Křínice v Českosaském Švýcarsku.

Toto území se nachází na jihovýchodě Svobodného státu Sasko a na severu České republiky. Z klimatického hlediska lze celé území zařadit do oceánského, mírného pásu (SMUL, 2008; Tolasz et al., 2008). Z pohledu lokálního klimatu však nacházíme určité odlišnosti způsobené vlastnostmi reliéfu. Úzká a hluboká kaňonovitá údolí jsou v porovnání s více osluněnými (a tím i teplejšími a suššími) plošinami, skalními stěnami a vrcholovými partiemi chladnější a vlhčí. Srážková úhrny jsou zesíleny vlivem vlivem návětrí na Hornoloužické hornatině a v ročním vyčíslení dosahují hodnot až kolem 900 mm. Průměrné roční teploty se zde v období let 1961–1990 pohybovaly od 7,5 do 8,0 °C (Mannsfield et al., 1995).

Pro zodpovězení otázky, do jaké míry ovlivňují již nastalé (a budoucí) změny klimatu systém podzemních vod byly nejprve analyzovány naměřené časové řady klimatických dat. Cílem bylo zjistit, zda jsou změny klimatických charakteristik patrné již dnes.

und Gipfelplateaus. Das Gebiet liegt im Einflussbereich von Stauwirkungen durch das Oberlausitzer Bergland, weshalb mittlere Jahresniederschläge von bis zu 900 mm erreicht werden. Die Jahresmitteltemperaturen lagen in der Klimanormalperiode 1961–1990 bei 7,5 bis 8,0 °C (Mannsfeld et al., 1995).

Heute stellt sich die Frage, inwieweit sich bereits eingetretene und künftige Klimaveränderungen auf das Grundwassersystem auswirken. Zunächst wurden gemessene Klimadatenreihen analysiert, um festzustellen, ob Veränderungen in den Klimakenngrößen bereits sichtbar sind. Dazu werden im Folgenden die zwei Größen Temperatur und Niederschlag betrachtet.

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 und 1991–2005 zeigten eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur im Frühjahr, Sommer und Winter. Im Herbst blieb sie unverändert. Der Vergleich der Jahresniederschlagssummen in den gleichen Perioden zeigte, dass diese gleich geblieben bzw. zum Vergleichszeitraum leicht angestiegen sind. Bei der saisonalen Verteilung fällt auf, dass im Vergleichszeitraum im Herbst und Winter nur eine leichte bzw. sehr leichte Niederschlagserhöhung 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. Eine weitere wichtige Größe, die der Veränderungen unterliegt, ist die Verdunstung. Insbesondere das Zusammenspiel von Temperatur, Niederschlag und Verdunstung wirkt sich direkt auf den Wasserhaushalt aus. So können zum Beispiel wärmere Winter durch das Fehlen einer Schneedecke zu höheren Oberflächenabflüssen und einer verringerten Grundwasserneubildung führen. Entscheidend wirkt sich auf diese Prozesse jedoch der Zustand der ungesättigten Bodenzone (Bodengefrorenis, Feuchtezustand) aus. Dem gegenüber steht, dass bei erhöhten Sommertemperaturen und gegebenenfalls fehlenden Niederschlägen die Verdunstung und damit auch die Zehrung des Grundwasserdargebotes steigen. Essentiell für den Wasserhaushalt ist dabei die Niederschlagsentwicklung und saisonale Verteilung. Kurz- und mittelfristig wird eine Kompensation der stärkeren sommerlichen Verdunstung durch gleichbleibende oder leicht steigende Niederschläge erwartet. Langfristig wird mit einer Abnahme der Sommer- und wenig geänderter Winterniederschläge gerechnet (LfULG, 2014), was eine Verringerung der Grundwasserneubildung mit entsprechender Wirkung auf die Grundwasserressourcen nach sich ziehen wird.

Ein weiteres beobachtbares Phänomen bezogen auf den Niederschlag ist die Veränderung der jährlichen Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensität. In den vergangenen Jahren wurde eine Häufung von extremen Witterungsereignissen beobachtet, die mit Starkniederschlägen und in deren Folge Hochwässern wie in den Jahren 2002, 2010 und 2013 einhergingen. Je nach Vorbefeuchtung des Untergrundes und Dauer der Feuchtperiode können diese Starkniederschläge jedoch auch zu erhöhten Grund-

Zu diesem účelem byly sledovány dvě veličiny – teplota vzduchu a srážky.

Z výsledků výzkumů vývoje průměrných ročních teplot a ročních úhrnů srážek v České republice (Pretel et al., 2011) a Sasku (Saské státní ministerstvo životního prostředí a zemědělství, 2008) vyplynuly pro zkoumané území následující výsledky: z porovnání průměrných teplot v období let 1961–1989 a 1990–2007, případně 1961–1990 a 1991–2005 je patrné zvýšení průměrné teploty na jaře, v létě a v zimě. Na podzim nebyly zaznamenány žádné změny. Z analýzy ročních úhrnů srážek vyplynulo, že nedochází k žádné změně pouze k mírnému nárůstu. V případě sezónního rozdělení srážek došlo na podzim a v zimě k mírnému nárůstu srážek. Zatímco na české straně bylo na jaře detekováno znatelné zvýšení srážek, v Sasku byly naopak registrovány klesající úhrny. V létě došlo na obou stranách hranice shodně k lehkému poklesu. Další důležitou veličinou, která podléhá změnám, je výpar. Hydrologická bilance je z meteorologických parametrů ovlivňována především souhrnou teplotou vzduchu, srážek a výparu. Teplejší zimy tak mohou, například v důsledku chybějící sněhové pokrývky, mít za následek zvýšení povrchového odtoku vody a pokles tvorby podzemních vod. Rozhodující vliv na tyto procesy má však stav nenasycené půdní vrstvy (zmrznutí půdy, vlhkost půdy). Při zvýšené letní teplotě a v případě absence srážek narůstá výpar a tím i klesá akumulace podzemních vod. Zcela zásadní pro hydrologickou bilanci je přitom vývoj srážek a jejich sezónní rozdělení. V krátkodobém a střednědobém horizontu lze očekávat kompenzaci silnějšího letního výparu konstatními nebo lehce zvýšenými srážkami. V dlouhodobém výhledu se ovšem očekává snížení letních úhrnů srážek a a jen mírná změna zimních srážek (LfULG, 2014), což povede ke snížení tvorby pozemní vody s odpovídajícími důsledky pro zdroje podzemních vod.

Další jev, který lze sledovat ve vztahu ke srážkám, je změna ročního rozdělení srážek a jejich intenzity. V uplynulých letech byl pozorován častější výskyt extrémních meteorologických situací doprovázených přívalovými srážkami a v jejich důsledku povodněmi, jako tomu bylo např. v letech 2002, 2010 a 2013. V závislosti na předchozí vlhkosti půdy a době trvání vlhkého období mohou i tyto přívalové srážky vést ke zvýšené tvorbě podzemních vod rovněž v létě, jak se ostatně ukázalo v letech 2010 a 2013. V případě vysoké vlhkosti půdy, případně jejího nasycení a/nebo v důsledku krátkého trvání srážek se nestačí spadá voda vsáknout a je odváděna převážně v podobě povrchového odtoku. Díky tomu se do podzemí dostane jen málo vody. S ohledem na dobrou propustnost hornin v území Hřensko-Křinice je vliv doby trvání srážek na infiltraci a tím i na tvorbu podzemní vody významný.

Jak již bylo uvedeno, nebyly pro studované území porovnáním obou období 1961–1990 a 1991–2005 zjištěny žádné významné změny průměrných ročních úhrnů srážek (data z měřících stanic, www.rekis.org). Ve stejném porovnávaném období však narostl výpar o zhruba 40 mm (www.rekis.org). Pokud dále vyhodnotíme data povrchového odtoku a tvorby podzemní vody, pak z prvotního rozboru těchto dat jasně vyplývá pokles tvorby podzemních vod a povrchových průtoků na profilu v údolí Křinice mezi lety 1991–2005 v porovnání s referenčním obdobím o zhruba

wasserneubildungsraten im Sommer führen, wie die Extremereignisse 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 gute Durchlässigkeit der Gesteine im Gebiet Hřensko-Křinice/Kirnitzsch ist der Einfluss der Niederschlagsdauer auf die Infiltration und damit die Grundwasserneubildung bedeutend.

Wie bereits ausgeführt, konnte für das Betrachtungsgebiet im Vergleich der beiden Perioden 1961–1990 und 1991–2005 keine wesentliche Veränderung bei den mittleren Jahresniederschlagssummen beobachtet werden (Stationsdaten, www.rekis.org). Im selben Vergleichszeitraum ist jedoch die Verdunstung um rund 40 mm gestiegen (www.rekis.org). Betrachtet man weiterhin die Daten der Oberflächenabflüsse und Grundwasserneubildung, so ergibt eine erste Auswertung dieser Gebietsdaten eine Abnahme der Grundwasserneubildung wie auch der Durchflüsse am Pegel Kirnitzschtal zwischen 1991–2005 im Vergleich zur Referenzperiode um jeweils rund 35 mm. Damit deutet sich eine Verringerung des für Oberflächen- und Grundwasser verfügbaren Wasserdargebotes an. Ein eindeutiger Trend ist derzeit jedoch nicht erkennbar. Die Auswertung von Abfluss- und Grundwasserstandsdaten zeigt außerdem die Reaktion der Grundwasserstände auf den Neubildungsimpuls, wobei aber auf Grund der zum Teil sehr hohen Grundwasserflurabstände die Grundwasserreaktion zeitverzögert um ca. 3 bis 5 Jahre eintritt (GEOS, 1997). Beispielhaft für diese Effekte stehen die seit 2010/11 wieder steigenden Grundwasserstände, die auf eine Häufung überdurchschnittlich hoher Niederschläge seit 2005 zurückzuführen sind. In einem engen Zusammenhang dazu sind auch die Abflüsse der Kirnitzsch zu sehen, deren Gesamtabfluss im Mittel zu 87 % durch den Grundwasserabfluss gebildet wird und die auf extreme Niederschlagsereignisse mit entsprechenden Hochwasserabflüssen reagiert. Neben den natürlichen Einflussfaktoren wirken sich auch die Grundwasserentnahmen für die Trinkwasserversorgung auf die Grundwasserstände aus.

Im Rahmen des Projektes GRACE wurden Erkenntnisse gewonnen, die darauf hindeuten, dass die starken Grundwasserstandsschwankungen in den beiden Untersuchungsgebieten sowohl natürliche Ursachen haben als auch durch die Grundwassernutzung für die Trinkwasserversorgung verursacht sind. Da es sich aber um geologisch bzw. hydrogeologisch sehr komplexe Gebiete handelt, sind auch weiterhin Untersuchungen nötig, um die Grundwasserdynamik vollständig zu klären. Dazu ist es unter anderem notwendig, die regionale Klimausprägung und -entwicklung in ihrer Wirkung auf den Bodenwasserhaushalt und die Grundwasserdynamik stärker zu betrachten.

*Anna-Katharina Böhm und Peter Birke
(Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie)*

ba 35 mm. To naznačuje snížení dostupného množství vody jako zdrojů povrchové a podzemní vody. Jednoznačný trend však dosud patrný není. Vyhodnocení dat odtoků a stavů podzemních vod kromě toho ukazuje na reakci stavů podzemních vod na impuls tvorby podzemní vody, přičemž ale z důvodů zčásti velké vzdálenosti hladiny podzemních vod od povrchu terénu dochází k reakci podzemní vody se zpožděním o cca 3 až 5 let (GEOS, 1997). Příkladem tohoto efektu jsou od roku 2010/11 znovu stoupající hladiny podzemních vod, jejichž příčinou jsou nadprůměrně vysoké srážky od roku 2005. V této souvislosti je třeba pohlížet i na povrchové odtoky na Křinici, jejichž celkový odtok je v průměru z 87 % tvořen odtokem podzemní vody. Tento vodní tok rovněž reaguje na extrémní srážkové jevy odpovídajícími povodňovými odtoky. Vedle přirozených vlivů působí na hladiny podzemní vody rovněž čerpání podzemní vody pro účely zásobování pitnou vodou. V rámci projektu GRACE byly získány poznatky, které naznačují, že za silné výkyvy hladiny podzemních vod v obou řešených územích je vedle přirozených příčin zodpovědné rovněž čerpání podzemní vody pro účely zásobování pitnou vodou. Jelikož se však jedná o geologicky, případně hydrogeologicky velmi komplexní území, je zapotřebí dalšího výzkumu, jehož cílem by bylo komplexní řešení dynamiky podzemní vody. Přitom je mimojiné potřeba silněji zohlednit regionální charakter a vývoj klimatu, jeho vliv na režim půdní vody a dynamiku podzemních vod.

*Anna-Katharina Böhm und Peter Birke
(Saský zemský úřad pro životní prostředí,
zemědělství a geologii)*

4.2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt

Gegenwärtig gibt es eine Reihe von Simulationen globaler und regionaler Klimamodelle, die anhand verschiedener Methoden in Szenarien des Klimawandels transformiert werden können. Diese Szenarien beschreiben nicht nur die Entwicklung atmosphärischer Bedingungen, sondern können zugleich auch Informationen über das zukünftige Verhalten der Hydrosphäre sowie der in ihr stattfindenden Prozesse beinhalten. Im Rahmen des Projektes »Unterstützung einer langfristigen Planung und Entwurf von Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Wasserwirtschaft im Kontext des Klimawandels« wurden drei Referenzszenarien des Klimawandels mit dem Ziel entwickelt, die Spannweite möglicher Klimafolgen für den Wasserhaushalt zu beschreiben. Die Ausgangsbasis bildeten Simulationen von 15 regionalen Klimamodellen (RCM) aus dem Projekt ENSEMBLES sowie eine Simulation des Modells ALADIN-CLIMATE/CZ, die durch das Tschechische hydrometeorologische Institut (Český hydrometeorologický ústav) durchgeführt wurde. Zu dieser Zeit (2012), stellten diese Simulationen den aktuellsten für die Tschechische Republik verfügbaren RCM-Simulationsdatensatz dar. Die Referenzszenarien wurden so ausgewählt, dass sie den gesamten Datensatz repräsentieren. Als ein pessimistisches Szenario wurde die Simulation des Modells ALADIN-CLIMATE/CZ gewählt, welches ein typischer Vertreter mit den markantesten Folgen für den Wasserhaushalt ist. Als das vergleichsweise optimistische Szenario wurde die Simulation RCA_EH5 gewählt. Diese vertritt eine Gruppe von Simulationen, deren negative Folgen am geringsten ausfallen und in der zugleich keine ungewöhnlich hohen oder niedrigen Veränderungen des Niederschlags oder der Temperatur in den Einzelmonaten auftreten. Als mittleres Szenario kam nur die Simulation ALADIN-CLIMATE/CZ in Frage. Diese Simulation ALADIN-CLIMATE/CZ (rScen1) stand in einer Bias-korrigierten Fassung zur Verfügung (die Korrektur wurde auf Basis einer Quantil-Abschätzung durch das Tschechische hydrometeorologische Institut durchgeführt). Mit Hilfe derselben Methode wurden auch die Simulationen REMO_EH5 (eScen2) und REMO_EH5 (rScen3) korrigiert. Das Szenario mit der Bezeichnung A1B repräsentiert den mittleren Wertebereich sämtlicher regionaler Klimasimulationen (15 RCMs, Projekt ENSEMBLES).

Hydrologisches Modell Bilan

Für die Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserhaushaltsbilanz wurde das Modell Bilan verwendet, das seit mehr als 15 Jahren in der Abteilung für Hydrologie am Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.) entwickelt wird. In Tages- oder Monatsschritten berechnet das Modell eine chronologische Wasserhaushaltsbilanz des Einzugsgebietes. Es bringt die grundlegenden Bilanzbeziehungen auf der Oberfläche und im Boden des Einzugsgebietes zum Ausdruck, wobei auch die Vegetation und der Grundwasserbereich Berücksichtigung findet. Als eine für den Wasserhaushalt bedeutsame Kenngröße der Energiebilanz wurde die Lufttemperatur verwendet. Durch die Berechnung wird die potentielle Evapotranspiration, die Verdunstung im Gebiet, die Versickerung im Belüftungsbereich und durch diesen Bereich, der Wasservorrat

4.2.2 Dopady klimatické změny na hydrologický režim

V současnosti existuje obrovská řada simulací globálních a regionálních klimatických modelů, jež je možné pomocí řady metod transformovat do scénářů změn klimatu. Tyto scénáře postihují nejen vývoj atmosférických podmínek, ale mohou v sobě také zahrnovat informace o budoucím chování hydrosféry a procesů v ní probíhajících. V rámci projektu »Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu« byly vytvořeny tři referenční scénáře změn klimatu s cílem postihnout rozpětí možných dopadů klimatické změny na hydrologický režim. Vycházeli jsme přitom ze simulací 15 regionálních klimatických modelů (RCM) z projektu ENSEMBLES a simulace modelu ALADIN-CLIMATE/CZ provedenou Českým hydrometeorologickým ústavem. V době přípravy (2012) scénářů se jednalo o neaktuálnější sadu simulací RCM relevantní pro ČR. Referenční scénáře byly vybrány tak, aby reprezentovaly celou tuto sadu.

Jako negativní scénář byla vybrána simulace modelu ALADIN-CLIMATE/CZ, jež je typickým reprezentantem kategorie s nejvýraznějšími dopady na hydrologický režim. Jako relativně pozitivní scénář byla vybrána simulace RCA_EH5, která reprezentuje skupinu simulací s nejméně negativními dopady a zároveň se v ní nevyskytují abnormálně vysoké či nízké změny srážek a teploty pro jednotlivé měsíce. Jako střední scénář připadal v úvahu pouze simulace REMO_EH5. Simulace ALADIN-CLIMATE/CZ (rScen1) byla k dispozici již zkorigována pomocí kvantilové metody (korekce byla provedena Českým hydrometeorologickým ústavem). Stejnou metodou byly zkorigovány i simulace RCA_EH5 (rScen2) a REMO_EH5 (rScen3). Scénář nazvaný A1B udává průměrné hodnoty ze všech simulovaných regionálních klimatických modelů (15 RCM, projekt ENSEMBLES).

Hydrologický model Bilan

Pro modelování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci byl použit model Bilan, který je vyvíjen více jak 15 let na oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i. Model počítá v denním či měsíčním časovém kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v půdní zóně, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (povrchového odtoku) a základní odtok (odtok, který je dotován podzemními vodami) (Tallaksen a van Lanen, 2004; Vizina a Hanel, 2011). Pro modelování hydrologické bilance byla použita měsíční verze modelu.

im Schnee sowie der Grundwasservorrat modelliert. Der Abfluss wird als eine Summe von drei Komponenten berechnet: zwei Komponenten des Direktabflusses (Oberflächenabfluss) und dem Basisabfluss (Abfluss, der durch das Grundwasser gespeist wird) (Tallaksen a van Lanen, 2004; Vizina a Hanel, 2011). Für die Modellierung der hydrologischen Bilanz wurde eine auf die monatliche zeitliche Auflösung zugeschnittene Version des Modells verwendet. Als Input für das Modell werden folgende Tages- oder Monatswerte genutzt:

- Niederschlagssummen [mm]
- Mittlere Temperaturen [°C]
- Mittlere Luftfeuchtigkeit [%]
- Beobachtete Höhen des Abflusses [mm]
- Wassernutzung
- Potentielle Evapotranspiration [mm]

Modellierung der Folgen des Klimawandels für die Wasserwirtschaft

Der Ansatz für die Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt (s. Abb. 4.2.2-1) kann kurz wie folgt zusammengefasst werden:

- Das gewählte hydrologische Modell wird für das entsprechende Einzugsgebiet mit Hilfe von Beobachtungsdaten kalibriert. Die Modellmethodik sollte physikalisch basiert arbeiten, um sicher zu stellen, dass auch für nicht beobachtete klimatische Verhältnisse physikalisch plausible Ergebnisse gewonnen werden können.

Vstupem do modelu jsou denní či měsíční:

- srážkové úhrny [mm]
- průměrné teploty [°C]
- průměrná vlhkost vzduchu [%]
- pozorované odtokové výšky [mm]
- užívání vody
- potenciální evapotranspirace [mm]

Princip modelování dopadu klimatické změny na vodní hospodářství

Samotný postup modelování dopadů změny klimatu na hydrologický režim (obr. 4.2.2-1) lze stručně shrnout následovně:

- Zvolený hydrologický model je pro vybrané povodí nakalibrován pomocí pozorovaných dat. Hydrologický model by měl být fyzikálně založen, aby bylo zaručeno, že i pro nepozorované podmínky bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky.
- Vstupní veličiny z globálního, popřípadě vnořeného regionálního klimatického modelu jsou převedeny na scénářové řady pro jednotlivá povodí, a to:
 - statistickým downscalingem,
 - »postprocessingem«
výstupů klimatického modelu, tj. využitím přírůstkové metody či korekce systematických chyb.
- Často je nutné pomocí prostorové interpolace vztáhnout data z výpočetních buněk klimatického modelu k těžišti daného povodí. Pro korektní využití všech metod je nezbytné mít k dispozici pozorovaná data.
- Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období.

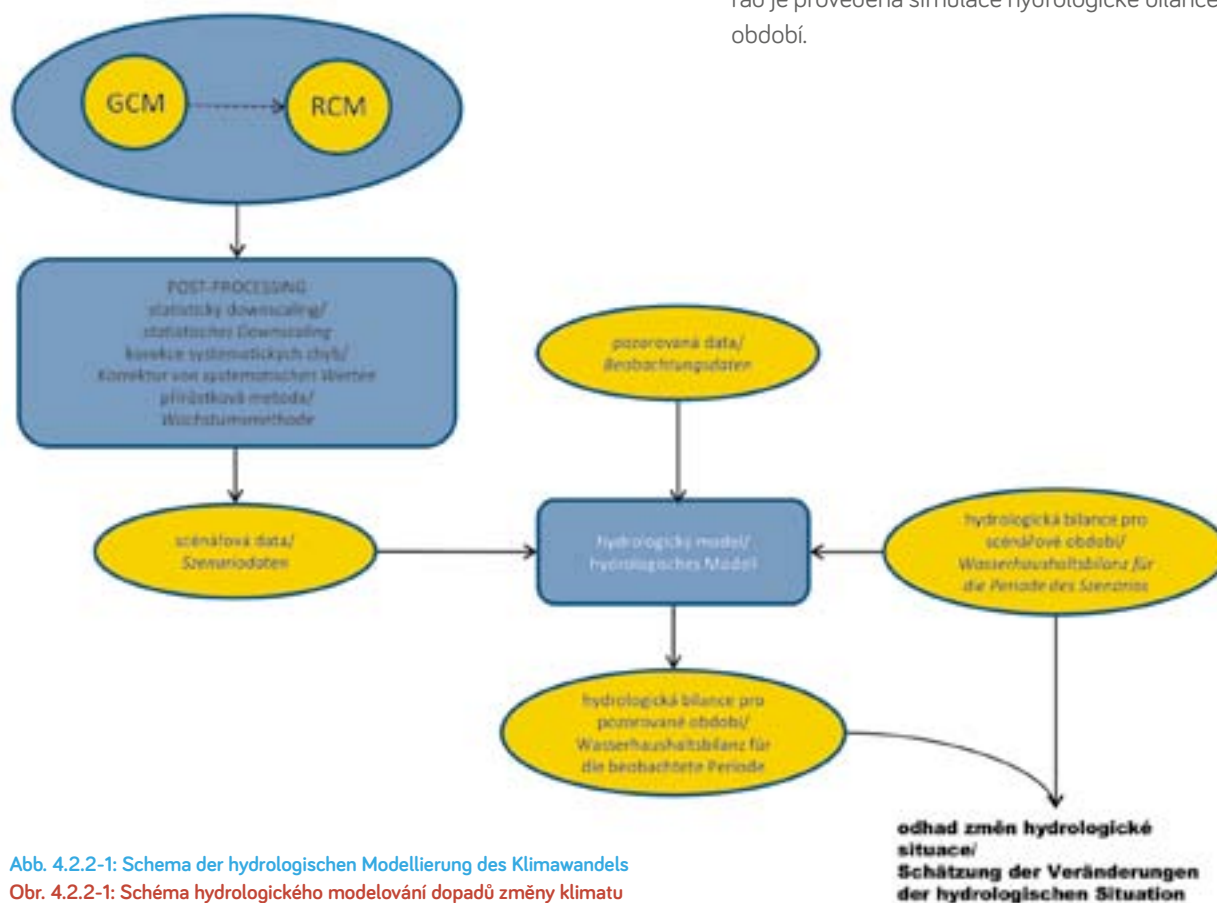


Abb. 4.2.2-1: Schema der hydrologischen Modellierung des Klimawandels
Obr. 4.2.2-1: Schéma hydrologického modelování dopadů změny klimatu

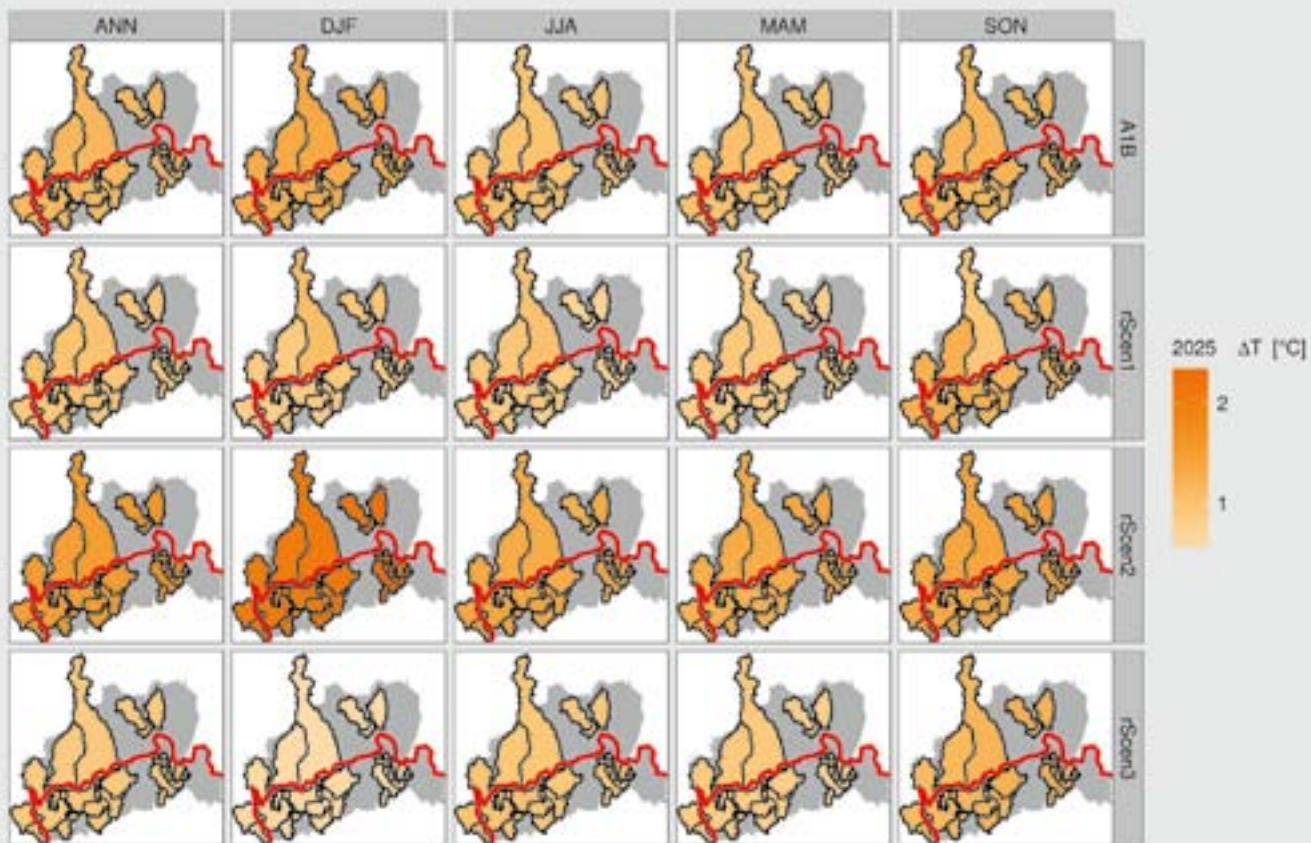


Abb. 4.2.2-2: Temperaturänderung in den Wassereinzugsgebieten im Jahr 2025

Obr. 4.2.2-2: Změna teploty vzduchu pro dílčí povodí a rok 2025

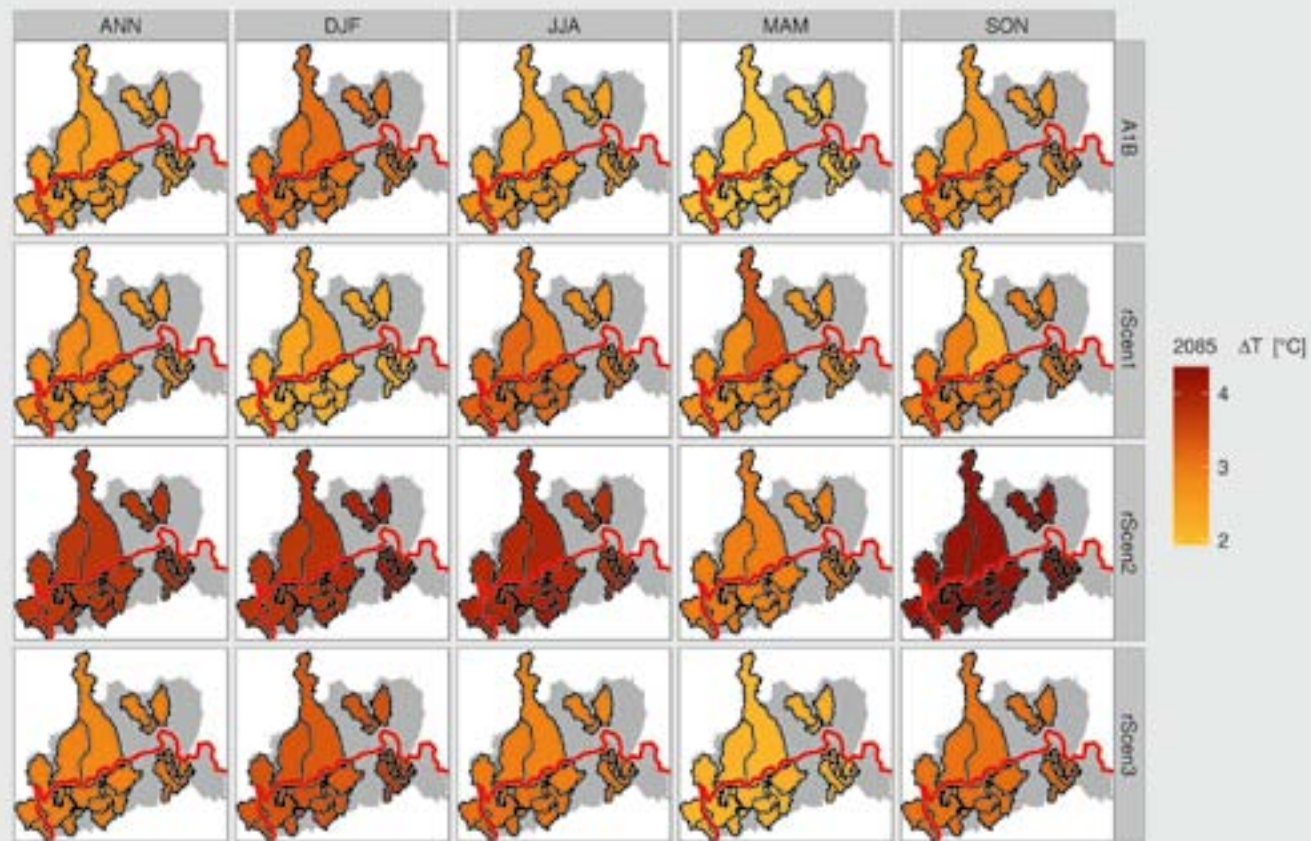


Abb. 4.2.2-3: Temperaturänderung in den Wassereinzugsgebieten im Jahr 2085

Obr. 4.2.2-3: Změna teploty vzduchu pro dílčí povodí a rok 2085

- Die Eingangsgrößen aus dem globalen bzw. eingebetteten regionalen Klimamodell werden in Zeitreihen für einzelne Flusseinzugsgebiete überführt:
 - mit Hilfe eines statistischen Downscalings,
 - durch Postprocessing der Ergebnisse des Klimamodells, z.B. durch die Korrektur systematischer Fehler (Bias-Korrektur).
- Mit Hilfe räumlicher Interpolationsverfahren werden Daten von den Gitterpunkten des Klimamodells auf für die entsprechenden Einzugsgebiete relevante Punkte umgerechnet. Um die Methoden korrekt anwenden zu können, müssen Beobachtungsdaten zur Verfügung stehen.
- Mit Hilfe des kalibrierten hydrologischen Modells und den Reihen der Szenarien wird eine Simulation der Wasserhaushaltsbilanz für den Zeitabschnitt des Szenarios durchgeführt.

Nach der Auswertung von möglichen Veränderungen der Wasserhaushaltsbilanz (oder anderer Größen) wird der gegenwärtige Zeitraum (Kontroll- oder Referenzklima) und der zukünftige Zeitraum (Szenario) getrennt bewertet. In der Klimatologie ist es üblich mit 30-jährigen Zeiträumen zu arbeiten, als Referenzklima wird üblicherweise die Periode 1961–1990 gewählt.

Während der verschiedenen Zeiträume werden Veränderungen in der Charakteristik einzelner Variablen üblicherweise der zwischenjährlichen Variabilität zugeordnet (d. h. ein möglicher Trend im Laufe des jeweiligen Zeitraumes wird ignoriert). Andere Analysen verwenden längere transiente Simulationen der Klimamodelle (z. B. für den Zeitraum 1961–2099), sie befassen sich jedoch eher mit statistischen Veränderungen ausgewählter meteorologischer Kenngrößen (zum Beispiel Niederschlagsextremen, siehe z. B. Buishand et al., 2011), als mit hydrologischer Modellierung.

Zukünftig mögliche Veränderungen

Für die Auswertung der Auswirkungen wurden Einzugsgebiete gewählt, für die Daten zur Verfügung standen. Auf dem Gebiet der Tschechischen Republik handelte es sich um 20 Einzugsgebiete: Libocher Bach (Liběchovka), Eger (Ohře), Wondreb (Odrava), Leibschbach (Libocký potok), Zwodau (Svatava), Rohlau (Rolava), Tepl (Teplá), Lomnický potok, Goldbach (Blšanka), Biela (Bílina), Polzen (Ploučnice) und Zwittebach (Svitávka). Auf der deutschen Seite wurden sechs Einzugsgebiete einbezogen: Elbersdorf, Elsterberg, Kleinraschütz, Neuwiese, Wechselburg und Bad Dübén. Die Auswahl wurde so getroffen, dass die einzelnen Einzugsgebiete unterschiedliche Landschaftstypen repräsentieren.

Die Veränderungen der Lufttemperatur für die Horizonte 2025, 2055 und 2085 stellen sich mehr oder weniger über das gesamte Untersuchungsgebiet homogen dar. In Abhängigkeit von der zeitlichen Entwicklung und dem gewählten Szenario wird ein Temperaturanstieg von 1–2 °C (für den Horizont 2025) bzw. 2–4 °C (für den Horizont 2085) gegenüber dem Zeitraum 1981–2010 projiziert. In den 4.2.2-4 bis 4.2.2-5 sind die relativen Veränderungen der Niederschlagssummen dargestellt. In den Zeilen sind die einzelnen Szenarien und in den Spalten die mittleren Veränderungen im Flussgebiet für das Gesamtjahr (ANN) und die einzelnen Jahreszeiten dargestellt: Winter (DJF), Sommer (JJA), Frühling (MAM) und Herbst (SON).

Pro vyhodnocení možných změn hydrologické bilance (či obecně jakýchkoliv veličin) jsou zpravidla odděleně posuzovány období současné (kontrolní nebo referenční klima) a budoucí (scénářovému) období. V klimatologii jsou jako standardní uvažována třicetiletá období, často je pro kontrolní klima voleno období 1961–1990. V rámci jednotlivých časových úseků se změny v charakteristikách jednotlivých veličin většinou přisuzují meziroční variabilitě (tj. případná nestacionarita v rámci jednotlivých řezů je ignorována). Existují i analýzy posuzující dlouhé transientní simulace klimatických modelů (např. pro období 1961–2099), nicméně tyto analýzy se zabývají spíše změnami vybraných charakteristik meteorologických veličin (např. srážkových extrémů, viz např. Buishand et al., 2011) než hydrologickým modelováním.

Výhledové změny

Pro hodnocení dopadů byly vybrány povodí, pro která byla dostupná data. Na území České republiky se jednalo řádově o dvacet povodí (Liběchovky, Ohře, Odry, Libockého potoka, Svatavy, Rolavy, Teplé, Lomnického potoka, Blšanky, Bíliny, Ploučnice a Svitávky), na území Německa se jedná o šest povodí s uzavřenými profily ve městech: Elbersdorf, Elsterberg, Kleinraschuetz, Neuwiese, Wechselburg a Bad Dübén. Výběr byl proveden tak, aby jednotlivá povodí reprezentovala různé typy území.

Změny teploty vzduchu (v absolutní hodnotě °C) pro výhledové horizonty 2025, 2055 a 2085 ku referenčnímu období 1981–2010 jsou víceméně homogenní pro celé hodnocené území a jsou v jednotkách stupňů Celsia v závislosti na časovém posunu a zvoleném scénáři (pro výhledový horizont 2025 jsou 1–2 °C, pro horizont 2085 2–4 °C).

Na obr. 4.2.2-4 až 4.2.2-5 jsou zobrazeny relativní změny srážkových úhrnů. Ve sloupcích jsou uvedeny jednotlivé scénáře a v řádcích jsou průměrné změny na povodí za celý rok (ANN) a jednotlivé sezóny: zima (DJF), léto (JJA), jaro (MAM) a podzim (SON).

Dopady na stav povrchových vod

Průměrné relativní změny (scénář/současnost) odtoku ze souboru regionálních klimatických modelů pro jednotlivá roční období a časové horizonty jsou uvedeny na následujících obr. 4.2.2-6 až 4.2.2-8. Změny odtoku jsou konzistentní pro všechny časové horizonty – zpravidla můžeme konstatovat růst odtoku v zimním období a jejich pokles po zbytek roku a pro velkou část českého území i v roční bilanci. K větším poklesům zpravidla dochází v jižní polovině našeho území. V roční bilanci se tak může podle simulací regionálních klimatických modelů očekávat pro časový horizont 2025 stagnace odtoku v severní a západní části České republiky a pokles (většinou do 10 %) v jižní a jihovýchodní části republiky. Nicméně je nutno konstatovat, že tyto odhady (zejména na nízký pokles letních a podzimních odtoků) nejsou zcela v souladu s pozorovanými změnami. To může být způsobeno jednak nedokonalostí klimatických modelů, druhým vysvětlením je, že odhadované změny klimatu pro toto období nejsou natolik výrazné (růst ročních srážkových úhrnu kolem 3 % a teplot kolem 1 °C), aby nemohly být převáženy přirozenou variabilitou srážek a teploty. Pro časové horizonty 2055 a 2085 je možno jasně rozlišit období růstu odtoku v zimě (většinou 5 – 10 %, místy 20 % i více)

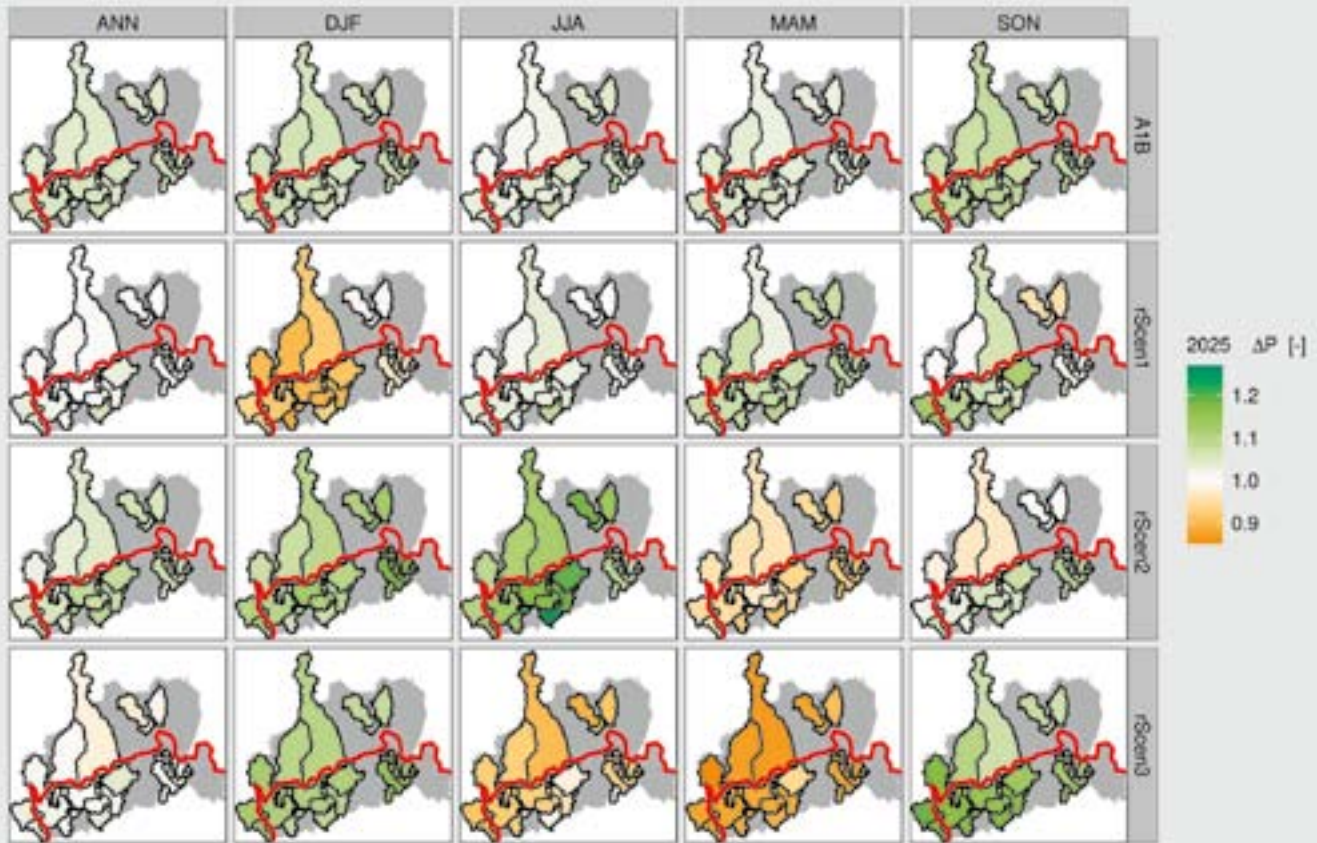


Abb. 4.2.2-4: Relative Veränderung der Niederschlagssummen für die Teileinzugsgebiete und das Jahr 2025
 Obr. 4.2.2-4: Relativní změna srážkových úhrnů pro dílčí povodí a rok 2025

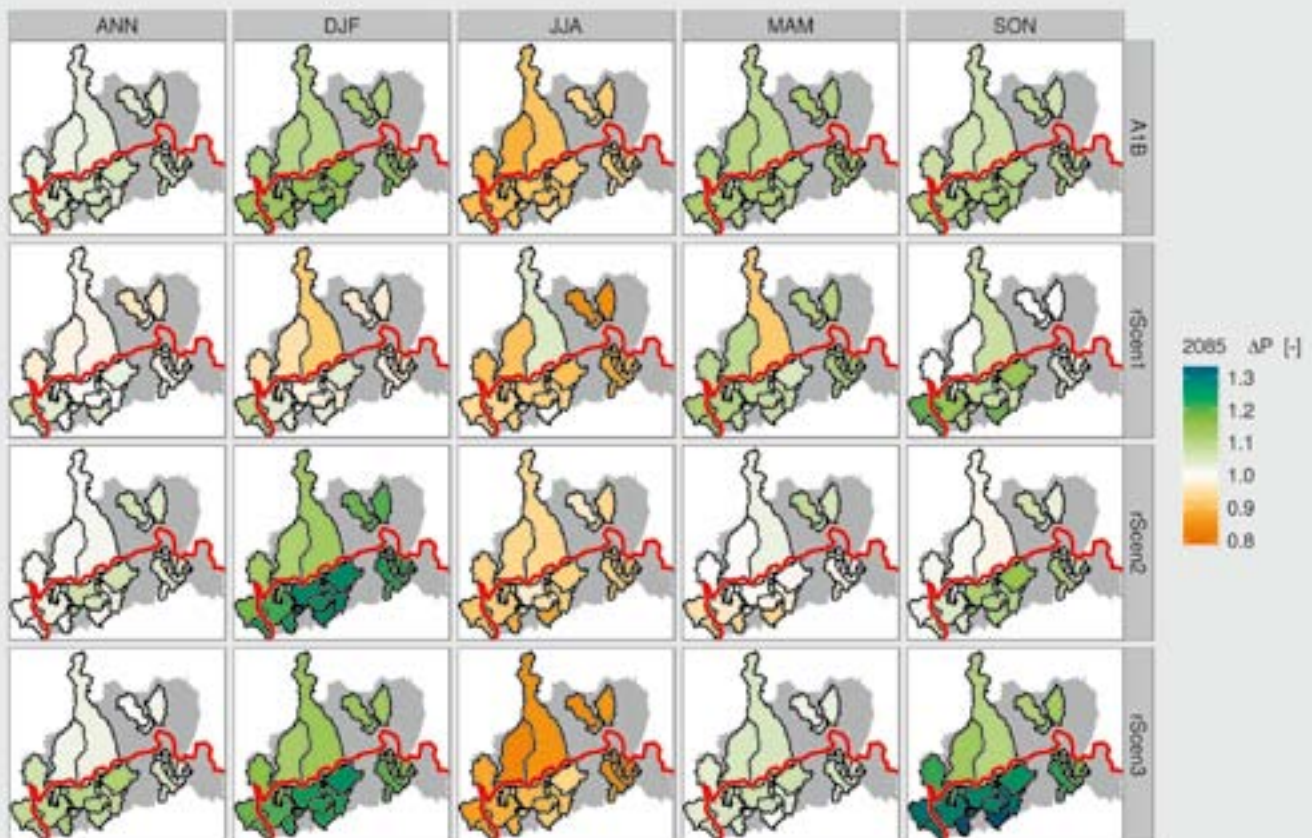


Abb. 4.2.2-5: Relative Veränderung der Niederschlagssummen für die Teileinzugsgebiete und das Jahr 2085
 Obr. 4.2.2-5: Relativní změna srážkových úhrnů pro dílčí povodí a rok 2085

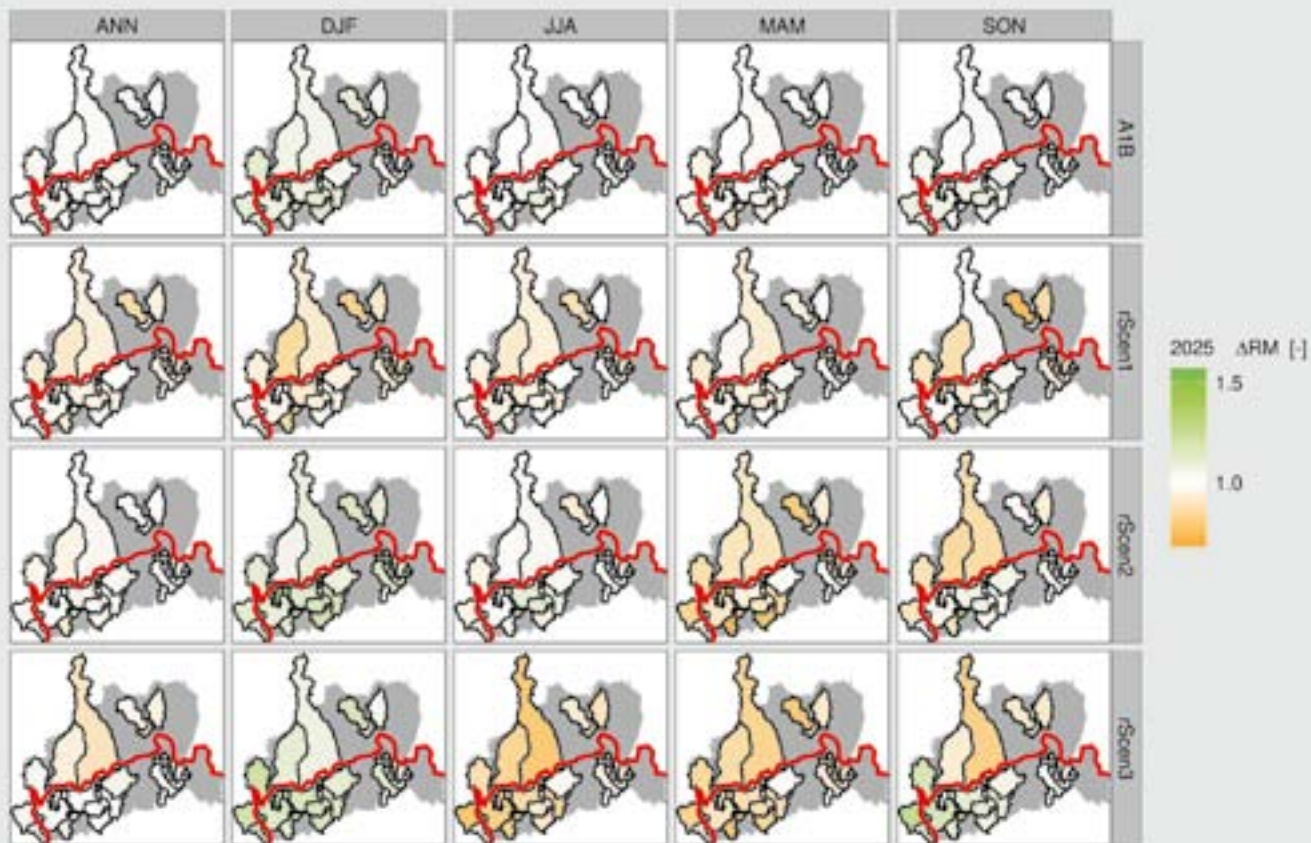


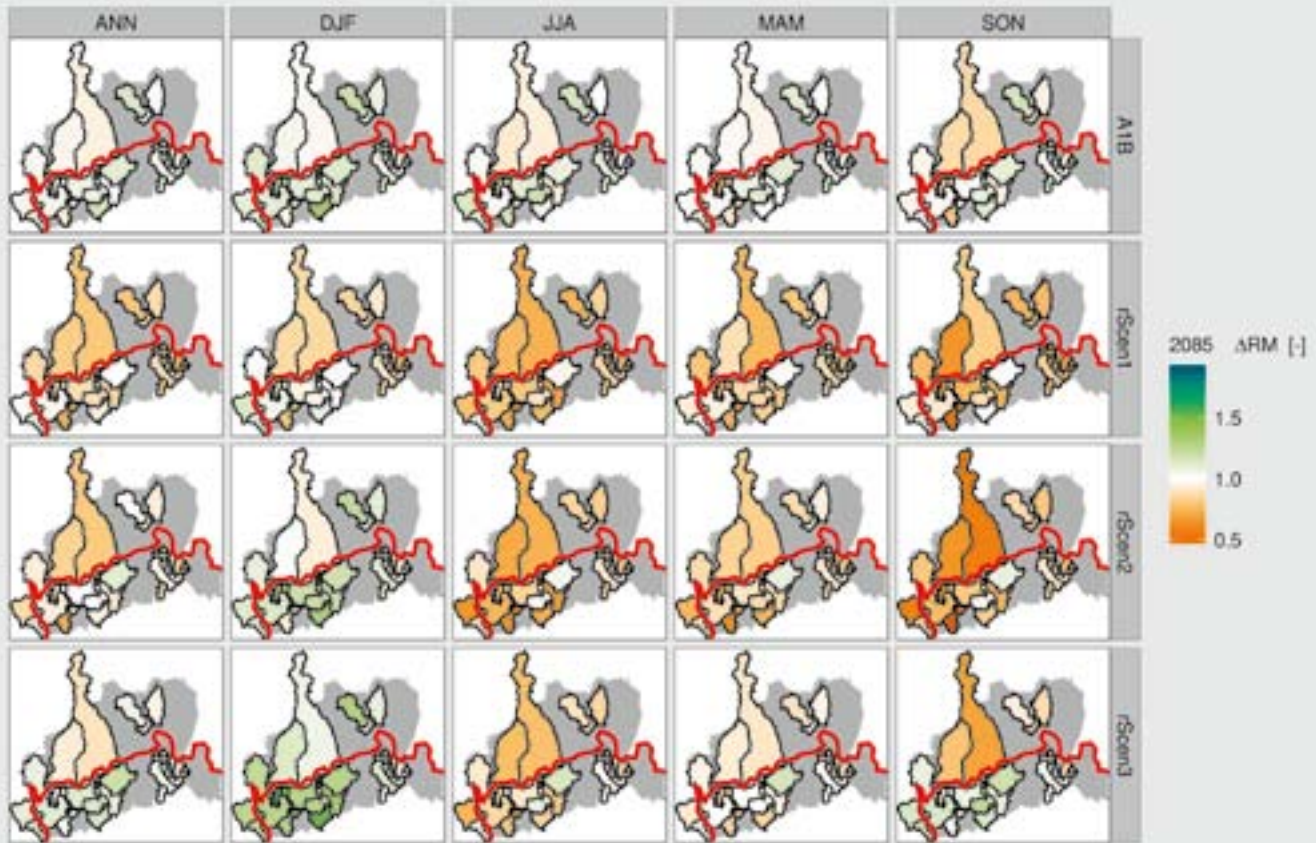
Abb. 4.2.2-6: Veränderungen der mittleren Jahresabflüsse für Teileinzugsgebiete und das Jahr 2025

Obr. 4.2.2-6: Změna průměrných ročních odtokových výšek pro dílčí povodí a rok 2025



Abb. 4.2.2-7: Veränderungen der mittleren Jahresabflüsse für Teileinzugsgebiete und das Jahr 2055

Obr. 4.2.2-7: Změna průměrných ročních odtokových výšek pro dílčí povodí a rok 2055



4.2.2-8: Veränderungen der mittleren Jahresabflüsse für Teileinzugsgebiete und das Jahr 2085

4.2.2-8: Změna průměrných ročních odtokových výšek pro dílčí povodí a rok 2085



Abb. 4.2.2-9: Veränderung der mittleren Jahressummen des Basisabflusses des Szenarios für das Teileinzugsgebiet und das Jahr 2025

Obr. 4.2.2-9: Změna průměrných ročních výšek základního odtoku scénáře pro dílčí povodí a rok 2025



Abb. 4.2.2-10: Veränderung der mittleren Jahressummen des Basisabflusses des Szenarios für das Teileinzugsgebiet und das Jahr 2055
 Obr. 4.2.2-10: Změna průměrných ročních výšek základního odtoku scénáře pro dílčí povodí a rok 2055



Abb. 4.2.2-11: Veränderung der mittleren Jahressummen des Basisabflusses des Szenarios für das Teileinzugsgebiet und das Jahr 2085
 Obr. 4.2.2-11: Změna průměrných ročních výšek základního odtoku scénáře pro dílčí povodí a rok 2085

Auswirkungen auf den Zustand des Oberflächenwassers

In den Abb. 4.2.2-6 bis 4.2.2-8 sind die sich aus der Gesamtheit der betrachteten regionalen Klimamodelle ergebenden mittleren relativen Veränderungen des Abflusses (Szenario/Gegenwart) für die einzelnen Jahreszeiten und Zeithorizonte dargestellt.

Die Abflussveränderungen sind für alle Zeithorizonte konsistent – in der Regel kann eine Zunahme des Abflusses während der Winterzeit und eine Abnahme im Rest des Jahres sowie für einen großen Teil des tschechischen Gebietes auch in der Jahresbilanz festgestellt werden. Stärkere Rückgänge treten in der Regel im südlichen Teil des tschechischen Gebietes auf. In der Jahresbilanz kann somit auf Grundlage der Simulation der regionalen Klimamodelle für den Horizont 2025 eine Stagnation des Abflusses im nördlichen und westlichen Teil sowie ein Rückgang (meist bis 10 %) im südlichen und südöstlichen Teilen der Tschechischen Republik erwartet werden.

Es muss aber festgestellt werden, dass diese Abschätzungen (insbesondere der geringe Rückgang des Abflusses im Sommer und im Herbst) nicht vollständig mit den beobachteten Veränderungen übereinstimmen. Das kann einerseits auf die Unsicherheiten der Klimamodelle zurückgeführt werden. Eine weitere Erklärung besteht darin, dass die abgeschätzten Klimaveränderungen für den untersuchten Zeitraum nicht so markant ausfallen (Anstieg der Jahresniederschlagssumme von ca. 3 %, Temperaturanstieg etwa 1 °C), so dass die Klimaveränderungen in Relation zur natürlichen Variabilität von Temperatur und Niederschlag nur undeutlich zum Tragen kommen.

Für die Zeithorizonte 2055 und 2085 kann zeitweise auch eine Zunahme des Abflusses im Winter (meistens 5–10 %, stellenweise auch 20 % und mehr) und eindeutig eine Abnahme während der anderen Jahreszeiten (besonders im Sommer mit 20–40 %) bzw. in der Jahresbilanz (5–20 %) festgestellt werden. Die Unterschiede zwischen den Horizonten 2055 und 2085 fallen nicht so gravierend aus, wie die zwischen den Horizonten 2025 und 2055. Die Ursache ist offensichtlich die Menge an Emissionen, die anhand des eingesetzten Emissionsszenarios beschrieben werden.

Auswirkungen auf den Zustand des Grundwassers

Analog zur Untersuchung möglicher Auswirkungen der Klimaveränderungen auf das Oberflächenwasser wurden die möglichen Wirkungen auf den Zustand des Grundwassers untersucht. Die mittleren sich aus dem Klimamodelldaten ergebenden relativen Veränderungen (Szenario/Gegenwart) des Basisabflusses sind in Abb. 4.2.2-9 bis 4.2.2-11 für die einzelnen Jahreszeiten und Zeithorizonte dargestellt.

Veränderungen des Basisabflusses hängen insbesondere von dem gewählten Szenario ab. Während in den »pessimistischen Szenarien« eine deutliche Abnahme des modellierten Basisabflusses für alle Zeithorizonte ermittelt wird, geht aus den »optimistischen Szenarien« eher ein Anstieg des Basisabflusses hervor. Es kann jedoch festgestellt werden, dass die Wirkungen des Klimawandels auf den Basisabfluss und somit auch auf den Zustand des Grundwassers einen eher negativen Charakter haben.

Adam Vižina und Martin Hanel

(Tschechische Landwirtschaftliche Universität Prag)

a poklesu v ostatních obdobích, nejvíce v létě (20–40%), v roční bilanci zpravidla 5–20%. Rozdíly mezi horizonty 2055 a 2085 nejsou tak významné jako mezi horizonty 2025 a 2055, což je pravděpodobně způsobeno množstvím emisí odhadovaným podle použitého emisního scénáře.

Dopady na stav podzemních vod

Analogicky jako při hodnocení stavu povrchových vod, jsou vyhodnoceny dopady klimatické změny na stav vod podzemních. Průměrné relativní změny (scénář/současnost) základního odtoku ze souboru regionálních klimatických modelů pro jednotlivá roční období a časové horizonty jsou uvedeny na obr. 4.2.2-9 až 4.2.2-11.

Změny základního odtoku závisí především na volbě scénáře, kdy »pesimistické scénáře« predikují pokles modelovaného základního odtoku v řádu desítek procent pro všechny časové horizonty, avšak »optimistické scénáře« predikují spíše nárůst základního odtoku. Lze však konstatovat, že dopady modelované klimatické změny na základní odtok jsou spíše negativního charakteru, a tím pádem i na stav podzemních vod.

Adam Vizina a Martin Hanel

(Česká zemědělská univerzita v Praze)

4.3.1 Einfluss der Landnutzung auf bioklimatische Extremsituationen im Dresdener Umland

Mit dem Anstieg der Temperatur in den letzten Jahrzehnten ist auch die Zunahme extremer Hitzeereignisse verbunden. Solche Hitzeperioden können sich negativ auf den menschlichen Organismus vor allem sehr junger, älterer und kranker Menschen auswirken. Im Jahr 2013 wurde im Rahmen des Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden (REGKLAM) untersucht, welche bioklimatischen Belastungen an Hitzetagen (Maximaltemperatur ≥ 30 °C) unter der Berücksichtigung der Flächennutzung in der Dresdner Umlandregion wirken.

Einen positiven, daher abkühlenden Effekt bei hitzebelastenden Situationen hat die Grünausstattung einer Fläche. Je größer das Grünvolumen und je größer die Grünfläche ist, desto höher ist deren Kühlwirkung. Um die Abkühlung von Grünflächen zu ermitteln, müssen diese zuerst identifiziert und differenziert werden. Im zweiten Schritt kann die Kühlwirkung in Abhängigkeit von Fläche und Grünvolumen berechnet werden, bevor im letzten Schritt die bioklimatische Belastung in Abhängigkeit der Flächennutzung bestimmt werden kann.

Bestimmung von Grünkennwerten

Die Grünausstattung wurde in vorangehenden Arbeiten des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) bereits für verschiedene Landnutzungen im Dresdner Stadtgebiet durch eine Strukturanalyse der Stadtvegetation auf Grundlage von Stadtbiotoptypen ermittelt. Hierbei handelt es sich um einen Ansatz, homogene Vegetationsstrukturen zu ermitteln, welche dann vergleichende Analysen und Klimamodellierungen ermöglichen. Die vegetationsstrukturelle Analyse der Stadtbiotoptypen erfolgte auf Grundlage von Orthophotos der Stadt Dresden und Messungen der biotopspezifischen Vegetationsstruktur von Repräsentanten der Stadtbiotoptypen. In Folge konnten für die verschiedenen Stadtbiotoptypen unter anderem das spezifische Grünvolumen, die Flächenanteile der niedrigen Vegetation (< 1 m), der mittleren Vegetation (1–3 m) und der hohen Vegetation (> 3 m) ermittelt werden. Aus über 100 Stadtbiotoptypen wurden 52 Strukturtypen der Stadtvegetation differenziert. Hierbei waren Versiegelungsgrad, Vegetationsschichtung sowie Nutzungs- und Pflegeintensität der Biotoptypen ausschlaggebend (Arlt, 2005; Mathey, 2011). Die Kennwerte der Strukturtypen der Stadtvegetation in der Stadt Dresden mussten im Anschluss auf andere Siedlungsgebiete und siedlungsfreie Gebiete übertragen werden. Für die siedlungsfreien Gebiete konnte die Klassifizierung des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) genutzt werden (Abb. 4.3.1-1). Für die Siedlungsgebiete ist diese Gliederung jedoch unzureichend, da spezifische Nutzungsformen und Informationen zum Einzelgebäudebestand nicht flächendeckend zur Verfügung stehen. Für eine differenziertere Betrachtung konnten Baublocktypen genutzt werden, welche mit Hilfe der Arc-GIS Programmweiterung SEMENTA® (Settlement Analyzer) am IÖR ermittelt wurden. Hierbei handelt es sich um ein Programm, welches vollautomatisch siedlungsrelevante

4.3.1 Vliv využití území na extrémní bioklimatické situace v regionu Drážďany

S nárůstem teplot v uplynulých desetiletích je spojeno rovněž zvýšení výskytu extrémních veder. Horká období mohou mít nepříznivý vliv na lidský organismus, především dětí a starších a nemocných lidí. V rámci »Regionálního programu adaptace vůči změně klimatu pro modelový region Drážďany« (Regionales Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden (REGKLAM)) bylo zkoumáno, jaký je vliv využití území (krajiny) v okolí Drážďan na bioklimatickou zátěž při výskytu tropických dní (maximální teplota ≥ 30 °C).

Jak je známo, příznivý účinek (ochlazení) v těchto situacích přináší zeleň. Čím větší je její objem a čím větší plochu zaujímá, tím vyšší je i její příspěvek k ochlazení. Aby bylo možné přesně vyčíslit, jak velké ochlazení zeleň přináší, je nutné nejprve její plochy identifikovat a rozčlenit do různých kategorií. Ve druhém kroku je pak možné v závislosti na rozloze a objemu zeleně vypočítat chladič účinek. Teprve v posledním kroku pak lze stanovit bioklimatickou zátěž v závislosti na využití území.

Stanovení parametrů zeleně

Stav zeleně byl zjišťován v rámci předchozích šetření Leibnizova ústavu ekologického územního rozvoje (Leibniz Institut für ökologische Raumentwicklung, IÖR) pro různé druhy využití území města Drážďan pomocí analýzy struktury městské vegetace na základě typů městských biotopů. Jedná se o metodu, při níž jsou zjišťovány homogenní struktury vegetace, pomocí kterých je možno následně vytvářet srovnávací analýzy a klimatické modely. Analýza struktury vegetace typů městských biotopů byla zpracována na základě leteckých snímků města Drážďan a měření specifické vegetační struktury biotopů, reprezentujících městské typy biotopů. Následně bylo možno pro různé typy městských biotopů určit specifický objem zeleně, podíly ploch s nízkou vegetací (< 1 m), střední vegetací (1–3 m) a vysokou vegetací (> 3 m). Z více než 100 typů městských biotopů bylo rozlišeno 52 typů struktur městské vegetace. Rozhodující byly míra zpevnění a zastavění ploch, rozvrstvení vegetace a intenzita využití a údržby biotopů (Arlt, 2005; Mathey, 2011). Parametry a typy struktur městské vegetace v Drážďanech bylo následně nutno přenést na jiná osídlená a neosídlená území. Pro neosídlená území bylo možno využití klasifikaci úředního topograficko-kartografického informačního systému ATKIS (obr. 4.3.1-1). Pro osídlené oblasti je však toto členění nedostačující, neboť specifické formy využití a informace o stavu jednotlivých budov nejsou k dispozici plošně. Pro hodnocení bylo možno využít typy stavebních bloků, které byly zjištěny za pomoci softwaru Arc-GIS SEMENTA® (Settlement Analyzer) v ústavu IÖR. Jedná se o program, který na bázi topografických map a objektových dat ATKIS plně automaticky odvozuje parametry pro plochy určené k bydlení, průmyslové plochy, plochy se smíšeným využitím a území se specifickou funkcí v sídelních oblastech, (Meinel et al., 2008). Z odvozených dat k sídelní struktuře, jako je například základní plocha budovy, složení budovy a počet obyvatel lze vygenerovat typy stavebních bloků (například

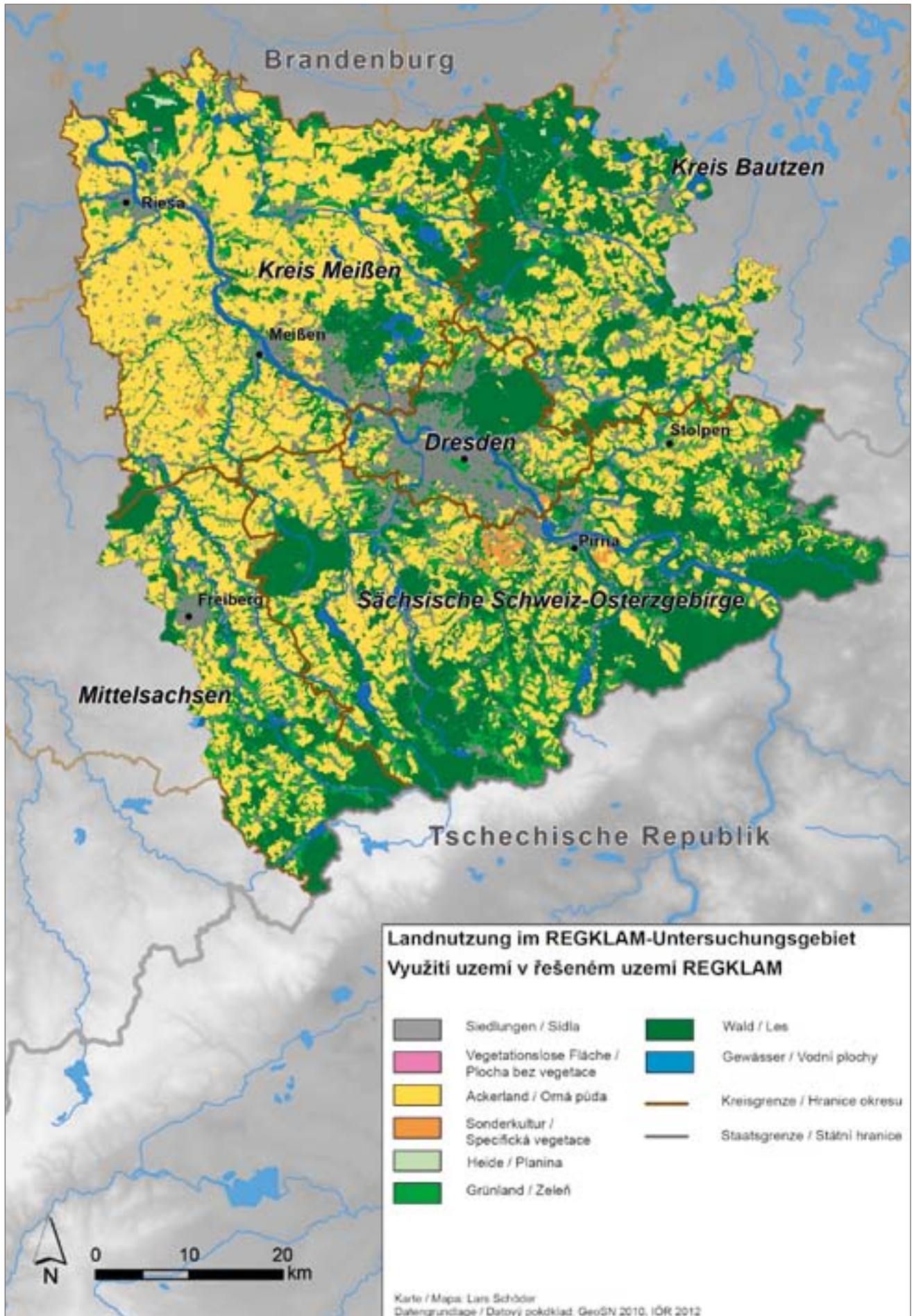


Abb. 4.3.1-1: Landnutzung im REGKLAM-Untersuchungsgebiet
 Obr. 4.3.1-1: Využití území v řešeném území REGKLAM

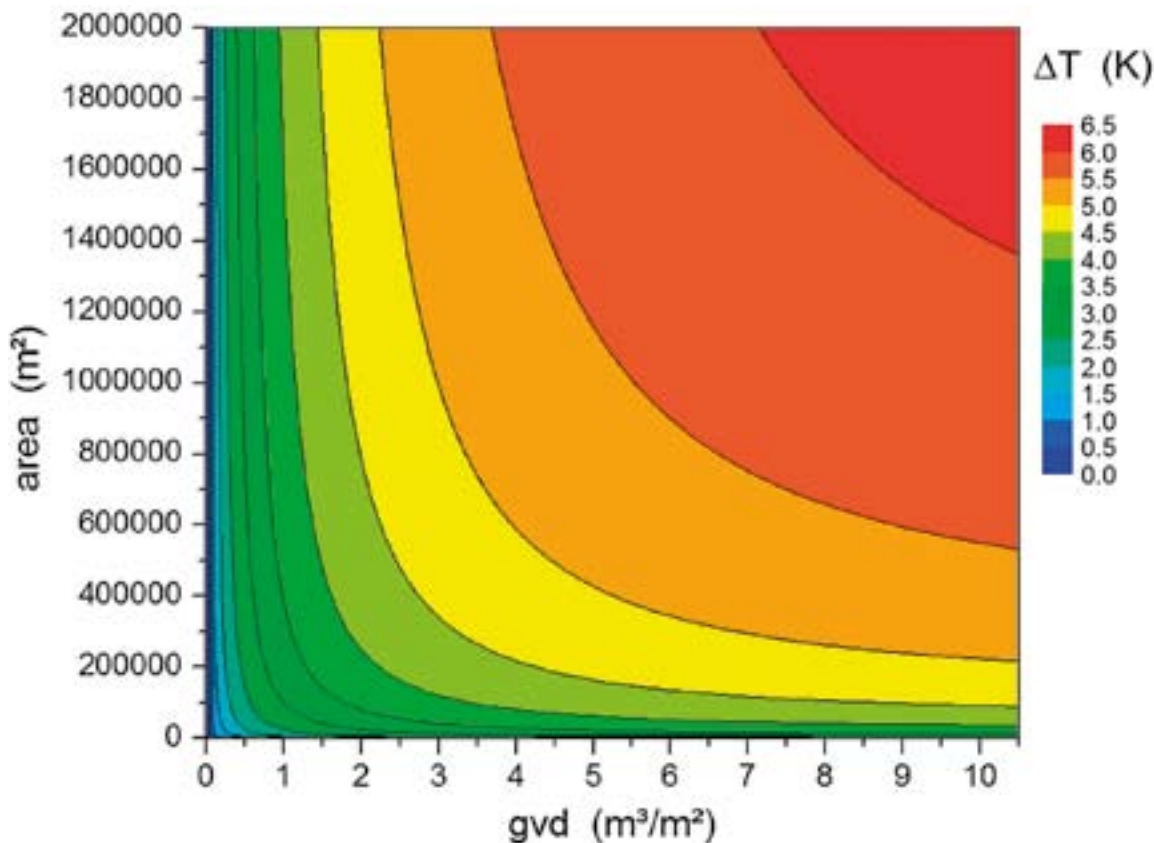


Abb. 4.3.1-2: Zusammenhang zwischen Landnutzungsspezifischer Grünvolumendichte (gvd) der hohen Vegetation, Flächengröße und Abkühlungseffekt; HIRVAC-2D Modellierung (Goldberg, 2013)

Obr. 4.3.1-2: Vztah mezi hustotou objemu zeleně v podobě vysoké vegetace, její rozlohou a velikostí chladicího účinku; 2D-modelování HIRVAC (Goldberg, 2013)

Kennwerte auf Basis von topographischen Karten und den ATKIS-Objekten Wohnbaufläche, Industriefläche, Fläche gemischter Nutzung und Fläche besonderer funktionaler Prägung in Siedlungsbereichen ableitet (Meinel et al., 2008). Aus abgeleiteten siedlungsstrukturellen Kennzahlen wie z. B. Gebäudegrundfläche, Gebäudezusammensetzung und Einwohnerzahl können dann Baublocktypen (z. B. Hochhausbebauung, Ein- und Zweifamilienhaubebauung, Reihenhausbebauung, dörflich traditionelle Bebauung, industrielle Bebauung etc.) ermittelt werden. Mit Hilfe dieses Instrumentes kann der Siedlungsbereich in seiner Nutzung ausreichend differenziert werden. Die Vegetationskennzahlen der Strukturtypen der Stadtvegetation können dann mit Hilfe räumlich-geostatistischer Verfahren den ATKIS-Objekten und den SEMENTA®-Baublocktypen zugeordnet werden. Für ATKIS-Objekte, welche nicht in der Stadt Dresden vorkommen und denen somit keine Grünwerte zugewiesen werden können, müssen Setzungen vorgenommen werden, z. B. für Moore und Sümpfe, dies trifft auch für Flächen zu, welche naturgemäß keine Vegetation aufweisen, etwa Wasserflächen (Wende et al., 2014).

Berechnung der Kühlwirkung

Der Abkühlungseffekt wurde anhand des gegebenen Grünvolumens und dessen Ausdehnung mit dem Modell HIRVAC (High

Resolution Vegetation AtmosphereCoupler) na základě objemu zeleně a jejího rozšíření. Pro tento účel byly pomocí několika simulačních cyklů odvozeny analytické funkce stanovující teplotní rozdíl vůči referenční ploše (suchá půda bez porostu). Teplotní rozdíl je vypočtený pro výšku 1,5 m nad zemí a v okamžiku maximální teplotní zátěže ve 14,00 hodin (Mathey et al., 2011).

Podstatný vliv na velikost chladicího účinku má relativní zastoupení ploch s nízkou vegetací (<1 m), střední vegetací (1–3 m) a vysokou vegetací (>3 m). Z toho pak vyplývá specifická hustota zeleně (hustota objemu zeleně v m³ na m²) jednoho objektu ATKIS nebo typu stavebního bloku SEMENTA® o dané rozloze. Rozlehlé lesní plochy s velkým podílem vysoké vegetace mají

Výpočet chladicího účinku zeleně

Chladicí účinek zeleně byl vyhodnocen pomocí modelu HIRVAC (High Resolution Vegetation AtmosphereCoupler) na základě objemu zeleně a jejího rozšíření. Pro tento účel byly pomocí několika simulačních cyklů odvozeny analytické funkce stanovující teplotní rozdíl vůči referenční ploše (suchá půda bez porostu). Teplotní rozdíl je vypočtený pro výšku 1,5 m nad zemí a v okamžiku maximální teplotní zátěže ve 14,00 hodin (Mathey et al., 2011).

Podstatný vliv na velikost chladicího účinku má relativní zastoupení ploch s nízkou vegetací (<1 m), střední vegetací (1–3 m) a vysokou vegetací (>3 m). Z toho pak vyplývá specifická hustota zeleně (hustota objemu zeleně v m³ na m²) jednoho objektu ATKIS nebo typu stavebního bloku SEMENTA® o dané rozloze. Rozlehlé lesní plochy s velkým podílem vysoké vegetace mají

Resolution Vegetation Atmosphere Coupler) ermittelt. Hierfür wurden mittels mehrerer Simulationsläufe analytische Funktionen abgeleitet, welche eine Temperaturdifferenz zu einer Referenzfläche (trockener unbewachsener Boden) bestimmen. Die Temperaturdifferenz bezieht sich auf den Bereich der stärksten thermischen Wechselwirkung in 1,5 m Höhe zum Zeitpunkt maximaler Temperaturbelastungen um 14 Uhr (Mathey et al., 2011).

Leitgrößen der Kühlwirkung sind dabei die Flächenanteile der niedrigen Vegetation (< 1 m), mittleren Vegetation (1–3 m) und hohen Vegetation (> 3 m) mit der daraus resultierenden spezifischen Grünvolumendichte (gvd in m³ pro m²) eines ATKIS-Objektes oder eines SEMENTA[®]-Baublocktypes, sowie die Flächengröße gleicher Objekte bzw. Typen. Weiträumige Waldflächen mit einem großen Anteil hoher Vegetation haben beispielsweise einen ausgeprägteren Kühleffekt als stark differenzierte kleinflächige Strukturen, z. B. Siedlungen. Abb. 4.3.1-2 zeigt die Abhängigkeit von Flächengröße und spezifischer Grünvolumendichte der hohen Vegetation und der Temperaturdifferenz (Abkühlungsrate). Ergebnis der Berechnungen ist ein Polygon-Layer auf Basis von ATKIS Objekten und SEMENTA[®]-Baublocktypen mit deren Abkühlungsraten (Abb. 4.3.1-3).

Bestimmung der bioklimatischen Belastung

Ein Indikator für das thermische Befinden eines Menschen ist die Physiologische Äquivalenttemperatur (PET). Hierfür wird unter Berücksichtigung aller meteorologischen Parameter, welche für den Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung relevant sind, der thermische Komfort des Menschen bestimmt. Die PET ist definiert als die Lufttemperatur unter typischen Innenraumbedingungen (ohne Wind und Strahlung), welche dem Wärmehaushalt des menschlichen Körpers bei gleicher Haut und Kerntemperatur wie unter komplexen äußeren Bedingungen entspricht. Dies ermöglicht dem Laien, äußere Bedingungen mit eigenen Erfahrungen im Innenraum zu vergleichen (Höppe, 1999) (Tab. 4.3.1-1).

Mittels der Daten aus dem Regionalen Klimainformationssystem (REKIS), wie Lufttemperatur (nach Bestimmung der Abkühlung), Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Oberflächenrauigkeit (Potenzwindgesetz nach Davenport) (Häckel, 1993) konnte mit dem Bioklimamodell RayMan die PET berechnet werden (Abb. 4.3.1-4).

Ergebnisse

Die maximalen Abkühlungseffekte (bis 6 °C) weisen große Waldgebiete auf, die geringsten vegetationsbedingten Abkühlungsraten werden in den Siedlungsräumen erreicht. Obwohl die Grünvolumendichte durch Baumbepflanzungen hier teilweise höher ist als beispielsweise bei landwirtschaftlich genutzten Flächen, sind die Kühlwirkungen aufgrund der geringen Flächenausdehnungen der Begrünung geringer. Zu beachten ist hier, dass das Aufheizen der Siedlungsräume durch Versiegelung und Gebäudefassaden keine Berücksichtigung findet.

Die thermische Belastung ist in den Siedlungsgebieten am höchsten (> 41 °C, extremer Hitzestress). Hierfür sind vor allem die nur

například větší chladicí účinek, než silně diferencované maloplošné struktury, například lidská sídla. Na obr. 4.3.1-2 je zobrazena závislost rozlohy plochy, specifické hustoty objemu zeleně vysoké vegetace a z toho plynoucího teplotního rozdílu (míry ochlazení). Výsledkem výpočtů modelu je vrstva polygonů na bázi objektů ATKIS a typů stavebních bloků SEMENTA[®] a jim příslušející míra ochlazení (obr. 4.3.1-3).

Stanovení bioklimatické zátěže

Indikátorem tepelného komfortu člověka je fyziologicky ekvivalentní teplota (PET). Ta zohledňuje nejen teplotu vzduchu, ale i další meteorologické parametry, které jsou relevantní pro výměnu tepla mezi člověkem a jeho okolím.

PET je definována jako teplota vzduchu za typických podmínek vnitřního prostoru (bez větru a záření) při níž je energetická bilance lidského těla vyrovnaná (se stejnou teplotou pokožky jako uvnitř těla) jako za komplexních vnějších podmínek. Umožňuje nám porovnat vnější podmínky tak, jak dle vlastní zkušenosti vnímáme vnitřní prostředí (Höppe, 1999) (Tab. 4.3.1-1).

PET byla vypočtena pomocí bioklimatického modelu RayMan z údajů dostupných v regionálním klimatickém informačním systému REKIS (Regionales Klimainformationssystem), např. teploty a vlhkosti vzduchu, rychlosti větru atd. (obr. 4.3.1-4).

Výsledky

Maximální ochlazení (až o 6 °C) vykazují rozlehlé lesní oblasti. Naopak nejnižšího ochlazení v důsledku vegetace je dosahováno v sídelních oblastech. Přestože objemová hustota zeleně je zde díky vysázeným dřevinám zčásti vyšší nežli např. na zemědělsky využívaných plochách, celkový účinek je z důvodů malé rozlohy zeleně nižší. Zde je rovněž potřeba zmínit skutečnost, že zahřívání sídelních oblastí v důsledku zástavby a fasád budov není v našich úvahách zohledněno.

Tab. 4.3.1-1: Klassifikation der PET entsprechend der physiologischen Belastung des Menschen (nach Matzarakis et al., 1996).

Tab. 4.3.1-1: Klasifikace PET podle fyziologické zátěže člověka (podle Matzarakis et al., 1996).

PET [°C]	Grad der physiologischen Belastung Stupeň fyziologické zátěže
18 - 23	kein thermischer Stress bez tepelného stresu
23 - 29	leichter Hitzestress Lehký tepelný stres
29 - 35	moderater Hitzestress Mírný tepelný stres
35 - 41	starker Hitzestress Silný tepelný stres
> 41	Extremer Hitzestress Extrémní tepelný stres

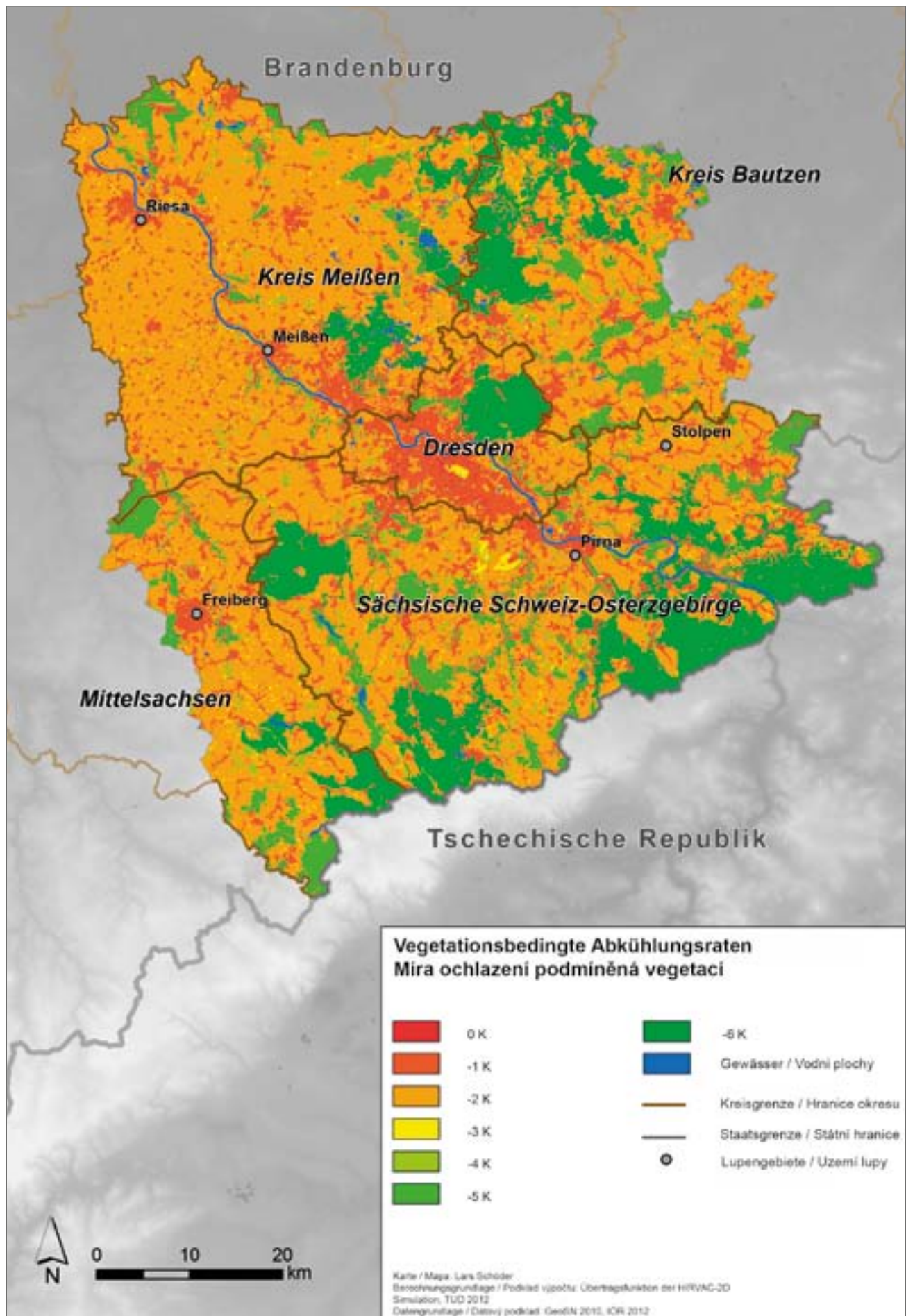


Abb. 4.3.1-3 Vegetationsbedingte Abkühlungsraten
Obr. 4.3.1-3: Míra ochlazení podmíněná vegetací

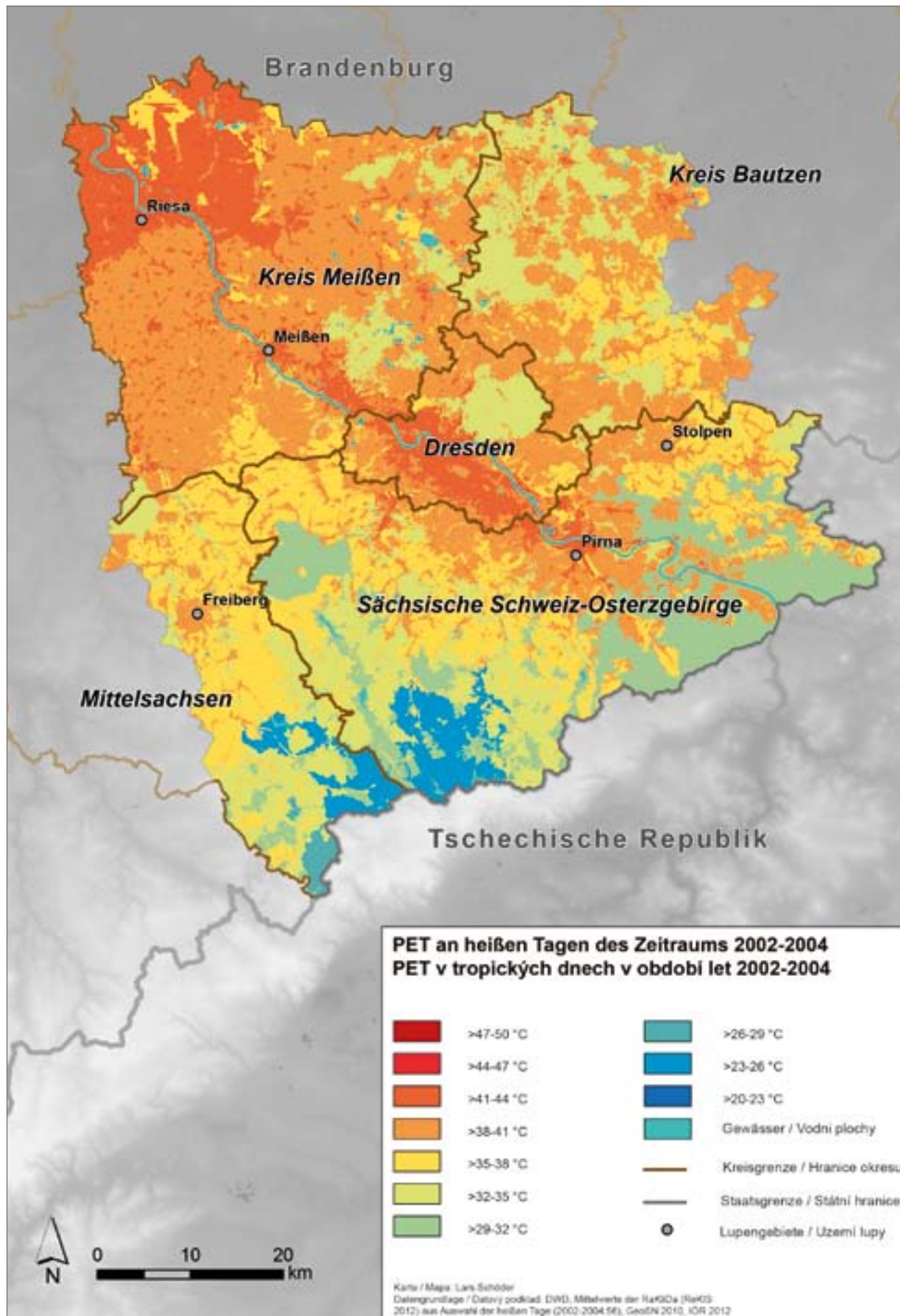


Abb. 4.3.1-4: Mittlere Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) an heißen Tagen im Zeitraum 2002–2004

Obr. 4.3.1-4: Střední fyziologicky ekvivalentní teplota (PET) v tropických dnech v období let 2002–2004.

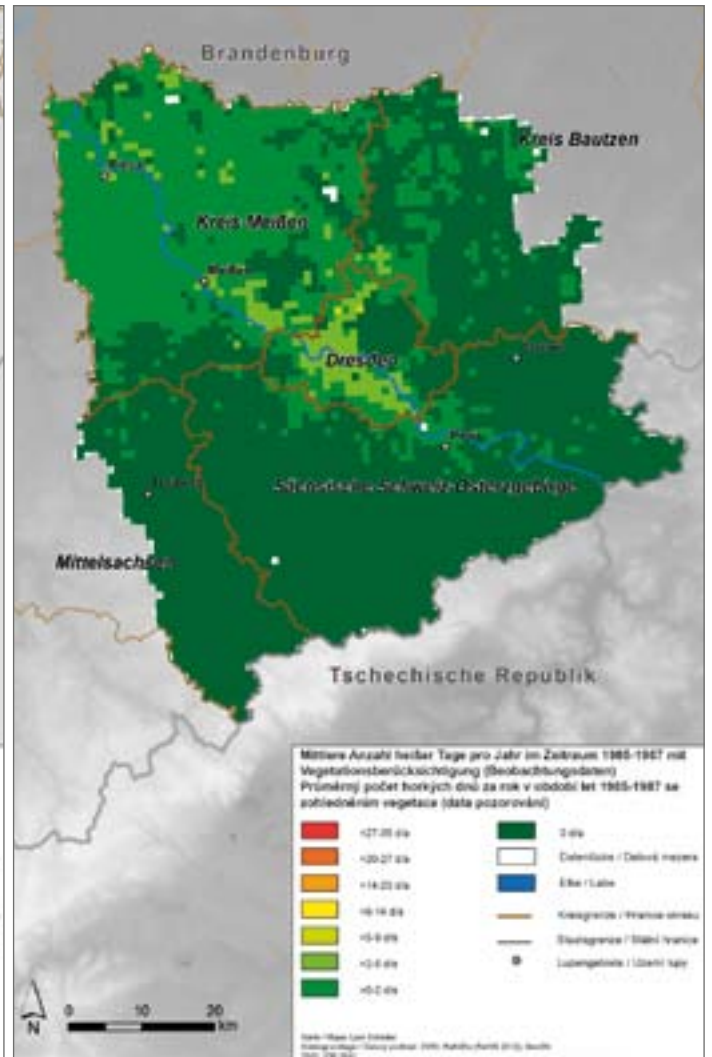
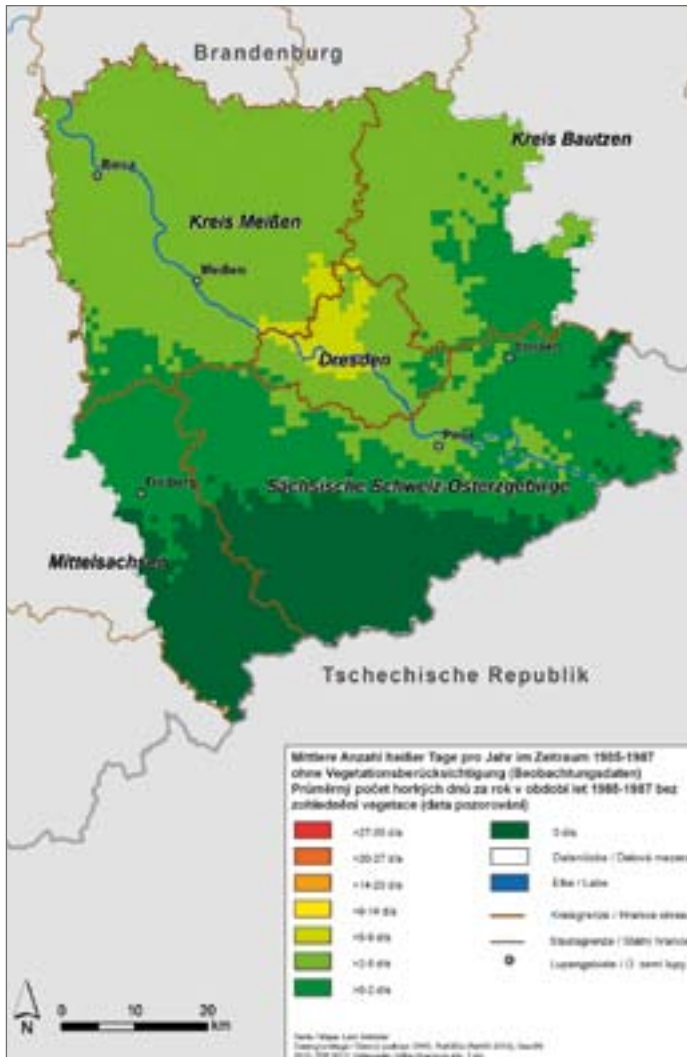


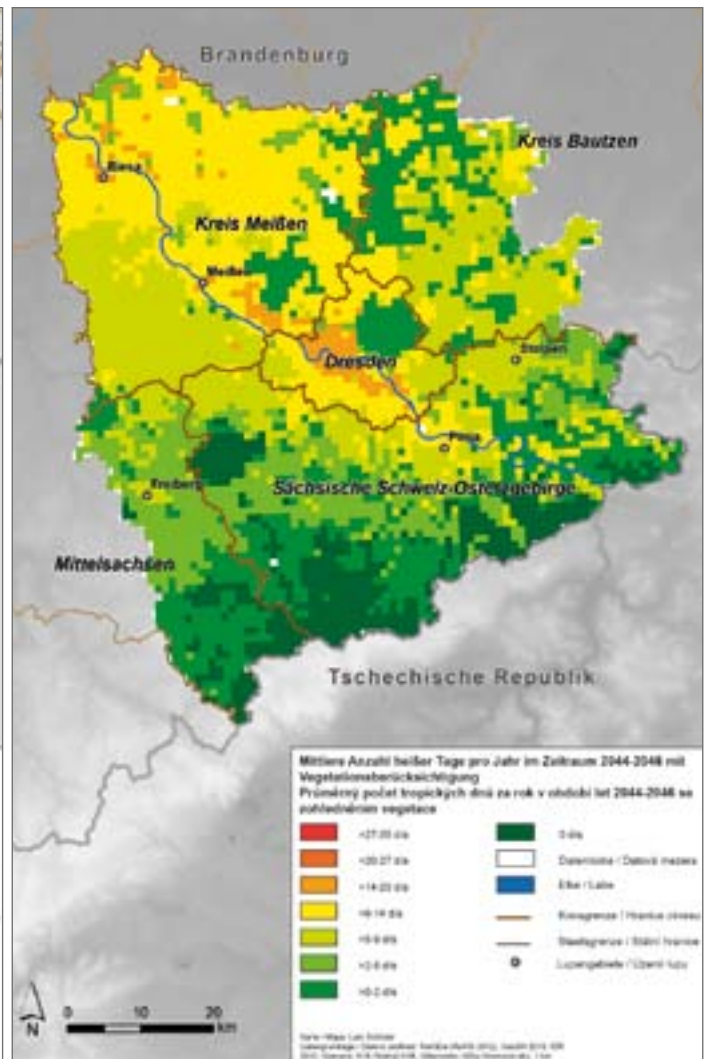
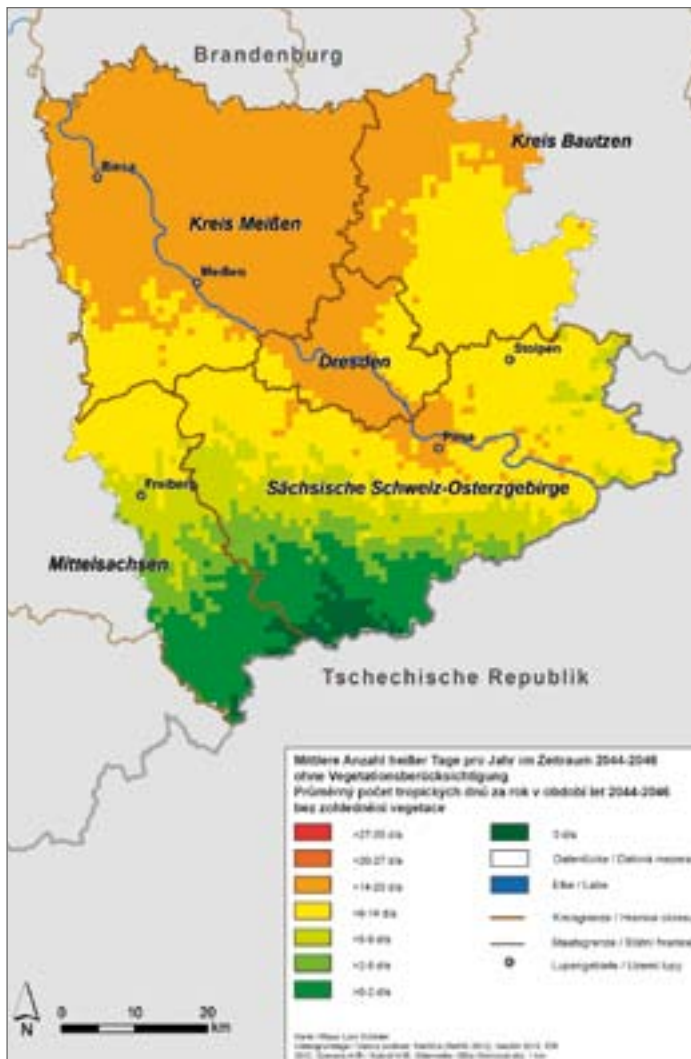
Abb. 4.3.1-5 | Obr. 4.3.1-5:

a) **Mittlere Anzahl heißer Tage pro Jahr im Zeitraum 1985-1987 ohne Vegetationsberücksichtigung**
a) **Průměrný počet horkých dnů za rok v období let 1985-1987 bez zohlednění vegetace**

b) **Mittlere Anzahl heißer Tage pro Jahr im Zeitraum 1985-1987 mit Vegetationsberücksichtigung**
b) **Průměrný počet horkých dnů za rok v období let 1985-1987 se zohledněním vegetace**

partiell vorhandenen Grünflächen verantwortlich, welche durch die geringe Ausdehnung keine entscheidende Kühlwirkung erzielen können. Deutlich wird die kühlende Wirkung eines größeren Stadtparks am Beispiel des Großen Gartens in Dresden, wo die Temperatur 3 °C unter der der Referenzfläche liegt. Die höhere PET in den Siedlungsräumen liegt zudem in der stark ausgeprägten Oberflächenrauigkeit und der damit verbunden geringen Windgeschwindigkeit begründet, so dass das erwünschte »kühlende Lüftchen« oft ausbleibt. Generell ist an den nicht bewaldeten Standorten ein erhöhter Hitzestress zu verzeichnen, welcher sich mit abnehmender Geländehöhe verstärkt, womit die größten Belastungen in der Dresdner Elbtalweitung von Pirna bis Meißen und im Nordwesten des Untersuchungsgebietes im Raum Riesa zu verzeichnen sind. Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte ist die Dringlichkeit dort besonders hoch, großräumige Begrünungen zu veranlassen bzw. vorhandene Grünflächen zu erhalten.

Tepelná zátěž je nejvyšší v sídelních oblastech (> 41 °C, extrémní tepelný stres). Příčinou jsou pouze parciálně zastoupené plochy zeleně, které díky malé rozloze nemohou zajistit dostatečný ochlazení. Jak příznivý vliv má zeleň, je zřejmé na příkladu parku Großer Garten v Drážďanech, kde se PET pohybuje o 3 °C pod teplotou referenční plochy. Vyšší PET v sídelních oblastech je kromě toho způsobena vysokou drsností povrchu a s tím spojenou nízkou rychlostí větru. Díky tomu zde často chybí »chladivý vánek«. Na nezalesněných lokalitách je obecně možno zaznamenat zvýšený tepelný stres, který dále zesiluje s klesající nadmořskou výškou. Proto se vyskytuje nejvyšší zátěž v rozšíření labského údolí od Perna přes Drážďany až po Míšeň a na severozápadě řešeného území v oblasti města Riesa. Z důvodů vysoké hustoty osídlení se proto ukazuje jako naléhavé přistoupit k velkoplošnému vysazování zeleně a také udržovat stávající plochy zeleně.



c) **Mittlere Anzahl heißer Tage pro Jahr im Zeitraum 2044-2046 ohne Vegetationsberücksichtigung**

c) **Průměrný počet tropických dnů za rok v období let 2044-2046 bez zohlednění vegetace**

d) **Mittlere Anzahl heißer Tage pro Jahr im Zeitraum 2044-2046 mit Vegetationsberücksichtigung**

d) **Průměrný počet tropických dnů za rok v období let 2044-2046 se zohledněním vegetace**

Die künftige Bedeutung von kühlenden Grünräumen wird von der zu erwartenden Zunahme der Hitzeereignisse (Tage mit Temperaturmaximum $\geq 30^\circ\text{C}$) unterstrichen. Abb. 4.3.1-5 zeigt die Hitzetage mit (a, c) und ohne (b, d) Berücksichtigung der Landnutzung für einen zurückliegenden (1985-1987) und einen prognostizierten Zeitraum (2044-2046). Die Anzahl der Hitzetage wird durch die Grünflächen deutlich reduziert, wodurch sich ein wesentlich differenzierteres Bild ergibt. Die 30°C -Grenze wird, auch in der Zukunftsperiode, in größeren Waldgebieten zum Teil nicht oder nur selten überstiegen (0-2-mal pro Jahr), wohingegen dies in den Siedlungsbereichen wesentlich öfter der Fall ist (bis 20-mal pro Jahr).

Lars Schöder
Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie, Dresden

Budoucí význam území se zastoupením zeleně je větší i díky očekávanému nárůstu počtu tropických dní (dny s maximální teplotou $\geq 30^\circ\text{C}$). Na obr. 4.3.1-5 je zobrazen počet tropických dní s (a, c) a bez (b, d) zohlednění využití území za uplynulé (1985-1987) a budoucí období (2044-2046). Výskyt tropických dnů je výrazně redukován přítomností zeleně. Hranice 30°C nebude v budoucnosti v rozlehlých lesních oblastech překračována vůbec nebo pouze zřídka (0-2 krát ročně). Oproti tomu v sídelních oblastech to bude tento jev výrazně čtenější (až 20 krát ročně).

Lars Schöder
(Saský zemský úřad pro životní prostředí,
zemědělství a geologii, Drážďany)

4.3.2 Auswirkungen extremer Lufttemperaturen auf die Mortalität

Einführung

Nach den Berechnungen der Klimamodelle wird die Erhöhung der globalen mittleren Temperatur einen Anstieg extremer meteorologischer Lagen zur Folge haben, die sich negativ auf die menschliche Gesundheit und das Leben auswirken werden (IPCC, 2014). Angesichts solcher Auswirkungen gehören die Perioden der extrem hohen und niedrigen Temperaturen in den mittleren Breiten zu den natürlichen Phänomenen, die das höchste Risiko darstellen. Waren die größten Besitzschäden in Europa in den Jahren 1998 bis 2009 durch Hochwasser und starke Gewitter verursacht, bedingen die Lagen mit extremen Temperaturen eine hohe Anzahl von Sterbefällen, vergleichbar mit der von Erdbeben (EEA, 2010).

Die Hitzewellen des Jahres 2003 verursachten mehr als 70.000 Sterbefälle (EEA, 2010). Ähnliche Schätzungen (55.000) werden für den heißen Sommer 2010 in Westrussland angegeben (Barriopedro et al., 2011). Die tragischsten Folgen für die Tschechische Republik während der letzten 20 Jahre hatte die Hitzewelle im Jahre 1994 mit mehr als 500 Toten. In etwa drei Viertel der Fälle war die Hauptursache eine Erkrankung des kardiovaskulären Systems (CVD) (Kyselý a Kříž, 2008, Abb. 4.3.2-1). Im Fall von Hitzestress steigt die Anzahl der Sterbefälle mit einer minimalen Verzögerung nach dem Beginn der Hitzewelle, gefolgt durch einen Rückgang der Sterberate unter das übliche Maß nach dem Abklingen der Hitzewelle (sog. Verschiebung der Sterberate) (Abb. 4.3.2-2). Bevölkerungsgruppen mit hohem Sterberisiko bei hoher Lufttemperatur sind insbesondere ältere Menschen, Kinder

4.3.2 Vliv extrémních teplot vzduchu na úmrtnost

Úvod do problematiky

Předpokládané zvýšení globální průměrné teploty bude mít podle výpočtů klimatických modelů za následek nárůst výskytu extrémních meteorologických jevů, které mají negativní vliv na lidské zdraví a životy (IPCC, 2014). Z hlediska těchto dopadů patří období extrémně vysokých a nízkých teplot vzduchu ve středních zeměpisných šířkách k nejrizikovějším přírodním jevům. Zatímco největší škody na majetku byly v letech 1998–2009 v Evropě způsobeny povodněmi a silnými bouřemi, období výskytu extrémních teplot mají na svědomí velký počet úmrtí srovnatelný pouze se zemětřeseními (EEA, 2010).

Horké vlny v roce 2003 v celé Evropě měly za následek více než 70 000 úmrtí (EEA, 2010) a podobné odhady (55 000) se uvádějí pro horké léto 2010 v západním Rusku (Barriopedro et al., 2011). V České republice měla za posledních dvacet let nejtragičtější dopad horká vlna v roce 1994 – přes 500 zemřelých, z nichž asi u tří čtvrtin případů bylo hlavním příčinou kardiovaskulární onemocnění (dále CVD) (Kyselý a Kříž, 2008, obr. 4.3.2-1). V případě stresu z horka dochází ke zvýšení počtu úmrtí s minimálním zpožděním po nástupu horké vlny, které je následováno poklesem úmrtnosti pod běžnou míru po odeznění horké vlny (tzv. posun úmrtnosti) (obr. 4.3.2-2). Skupinami se zvýšeným rizikem úmrtí při vysokých teplotách vzduchu jsou zejména starší lidé, děti a lidé s chronickým onemocněním kardiovaskulárního, respiračního nebo cévního mozkového systému; vyšší úmrtnost byla zjištěna u žen než u mužů (Kyselý a Kříž, 2008; Kyselý et al., 2011; Davidková et al., 2014).

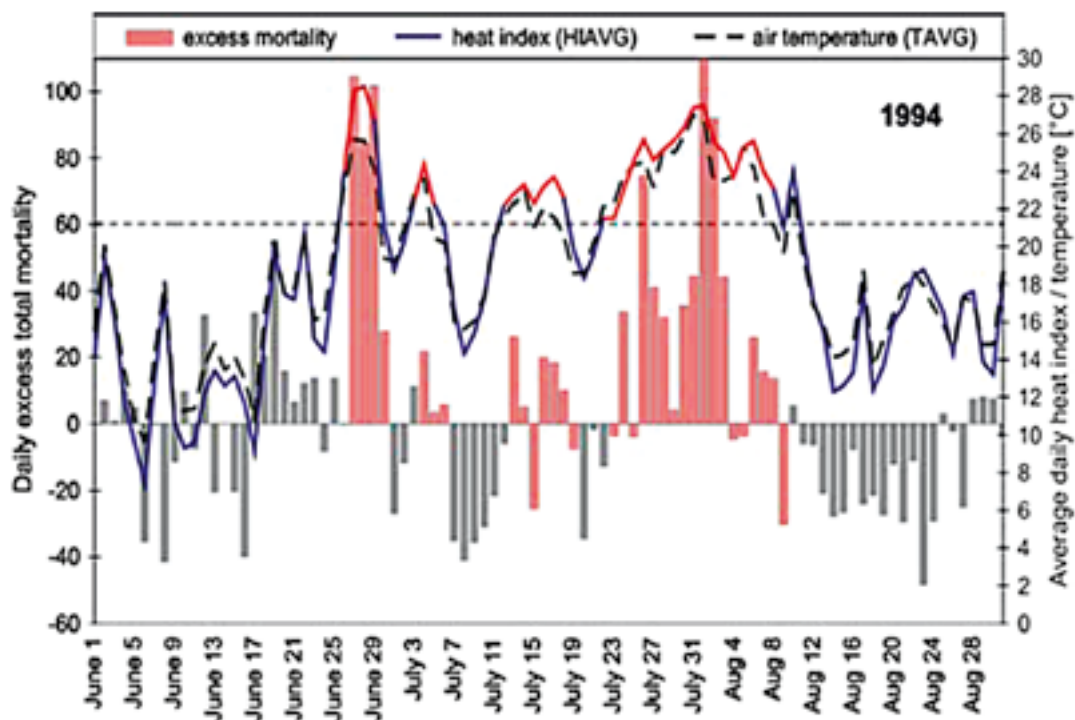


Abb. 4.3.2-1: Hitzewelle im Jahre 1994, Gang der Abweichungen der Sterberate und der durchschnittlichen Lufttemperatur in der Tschechischen Republik (übernommen von Kyselý und Kříž, 2008).

Obr. 4.3.2-1: Horká vlna v roce 1994, průběh odchylek úmrtnosti a prům. teploty vzduchu (TAVG) v ČR (převzato z Kyselý a Kříž, 2008).

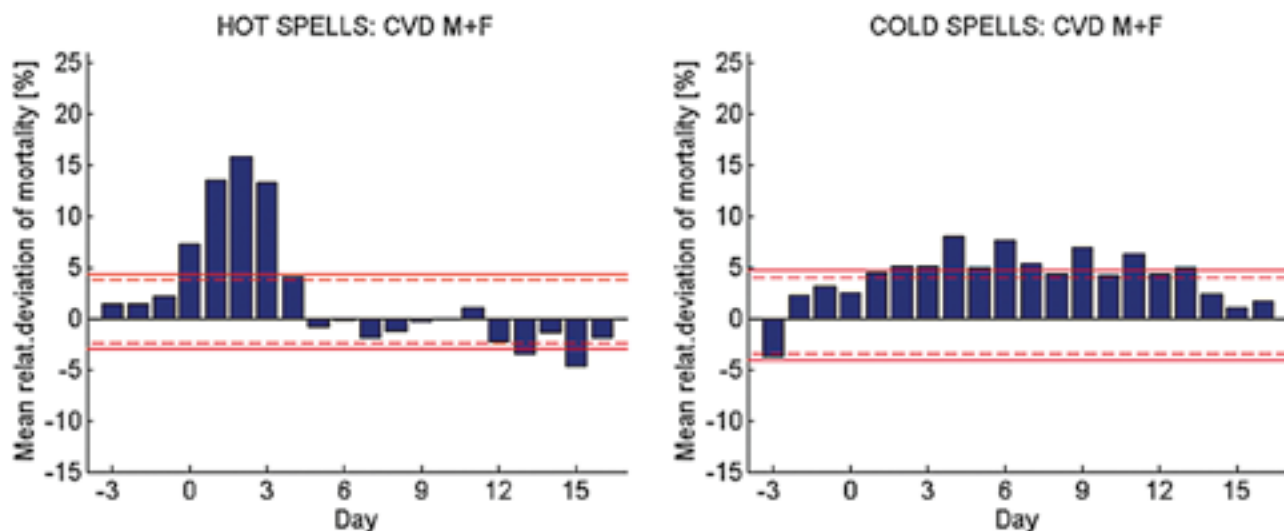


Abb. 4.3.2-2: Gang der durchschnittlichen relativen Abweichungen der Sterberate wegen CVD von den erwarteten Werten zwei Wochen nach Beginn der Hitze- (links) und Kältewelle (rechts) (Übernahme von Kyselý et al., 2011).

Obr. 4.3.2-2: Průběh průměrných relativních odchylek úmrtnosti na CVD od očekávaných hodnot dva týdny po nástupu horké (vlevo) a studené (vpravo) vlny (převzato z Kyselý et al., 2011).

und Personen mit chronischen Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, des Atmungssystems oder des Gefäßsystems des Gehirns; die Mortalität war bei Frauen höher als bei Männern (Kyselý a Kříž, 2008; Kyselý et al., 2011; Davidková et al., 2014). Einer Schätzung der EEA (2010) nach verursachte starker Frost (Kältewellen) in den Jahren 1998 bis 2009 in Europa fast 1.900 Sterbefälle. Diese Schätzungen sind aber scheinbar wesentlich untertrieben, denn die Auswirkungen der niedrigen Lufttemperaturen auf die Mortalität treten typischerweise mit einer längeren Zeitverzögerung von bis zu mehreren Wochen nach dem Temperaturextrem ein und sind somit schwieriger identifizierbar (Abb. 4.3.2-2). Daneben wird eine insgesamt höhere Sterberate während der Winterzeit neben dem eigentlichen Stress in Folge der niedrigen Temperaturen und des winterlichen Wetters auch durch das Vorkommen von Epidemien, akuter Infektionen der Atemwege und Grippe verursacht. Ein höheres Risiko an Todesfällen in Folge einer Herz-Kreislauf-Erkrankung während niedriger Lufttemperaturen tragen insbesondere ältere Bevölkerungsgruppen (Kyselý et al., 2009; Davidková et al., 2014). Im Gegensatz zu hohen Lufttemperaturen wird eine direkte Auswirkung der Kältewellen am deutlichsten bei Menschen (insbesondere Männern) im mittleren Alter in Form von Herzinfarkten erkennbar. Dies wird damit begründet, dass die arbeitende Bevölkerungsgruppe welche verstärkt im Außenbereich tätig ist, was überwiegend auf die männliche Bevölkerung zutrifft, in den Morgenstunden verstärkt dem Starkfrost ausgesetzt ist (Kyselý et al., 2009, 2011; Urban et al., 2014). Die Ursache kann aber in solchen Fällen auch die schlechte Erreichbarkeit aufgrund der Witterung (z. B. starker Schneefall) sein, wodurch schnelle Hilfe nicht immer sichergestellt ist.

Von außen wirken sich auf das Wärmeempfinden eines Individuums insbesondere vier meteorologische Elemente aus – Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Sonnenstrahlung. Trotz einer hohen Anzahl biometeorologischer Indizes, die das

Silné mrazy (studené vlny) měly podle odhadu EEA (2010) v letech 1998–2009 v Evropě na svědomí skoro 1 900 úmrtí. Tyto odhady jsou však nejspíš výrazně podhodnoceny, jelikož vliv nízkých teplot vzduchu na úmrtnost se projevuje typicky s delším časovým zpožděním – až několik týdnů po teplotním extrému – a je hůře identifikovatelný (obr. 4.3.2-2). Celkově vyšší míru úmrtnosti v zimním období má navíc na svědomí kromě samotného stresu z nízkých teplot a zimního počasí také výskyt epidemií akutních respiračních infekcí a chřipky (Kynčl et al., 2005). Zvýšené riziko úmrtí na kardiovaskulární nemoci při nízkých teplotách vzduchu se týká také především starší populace (Kyselý et al., 2009; Davidková et al., 2014). Přímý efekt studených vln je však na rozdíl od vysokých teplot vzduchu nejvíce patrný u obyvatel (zejména mužů) středního věku a u akutních stavů typu infarkt myokardu, což je vysvětlováno zvýšeným vystavením pracujících lidí silným mrazům v ranních hodinách a větším podílem mužů pracujících ve venkovním prostředí (Kyselý et al., 2009, 2011; Urban a Kyselý, 2014). Na vině v takových případech ovšem může být i zhoršená dostupnost rychlé pomoci v zimních podmínkách (např. při sněhových kalamitách).

Z hlediska okolního prostředí mají významný vliv na tepelnou pohodu jedince zejména čtyři meteorologické prvky – teplota, vlhkost vzduchu, rychlost větru a sluneční záření. Přes velké množství biometeorologických indexů pokoušejících se co nejlépe popsat míru stresu způsobenou biometeorologickými podmínkami zůstává teplota vzduchu nejjednodušším a nejčastěji používaným ukazatelem, který poměrně jednoznačně koreluje s epidemiologickými výstupy.

Synoptickou situací typickou pro období s extrémními teplotami vzduchu (v létě i zimě) je oblast vysokého tlaku vzduchu, způsobující stabilní či inverzní (v zimě) zvrstvení atmosféry a počasí s malou oblačností. Radiační ohřívání (v létě) nebo ochlazování (v zimě) zemského povrchu a přilehlých vrstev ovzduší může být podporováno teplou nebo studenou advekcí. Takové podmínky

Maß an Stress, der durch biometeorologische Verhältnisse hervorgerufen wird, so exakt wie möglich beschreiben, bleibt die Lufttemperatur die einfachste und am meisten verwendete Kennziffer, die eindeutig mit den epidemiologischen Ergebnissen korreliert.

Die für die Zeit mit extremen Lufttemperaturen (im Sommer sowie im Winter) typische synoptische Situation ist ein Hochdruckgebiet, das eine stabile oder eine inverse (im Winter) Schichtung der Atmosphäre und geringe Bewölkung verursacht. Die Strahlungserwärmung (im Sommer) oder Abkühlung (im Winter) der Erdoberfläche sowie der anliegenden Luftmassen kann durch eine warme oder kalte Advektion unterstützt werden. Solche Bedingungen waren auch für die extremen Hitzewellen der Jahre 1994, 2003 und 2006 prägend (Abb. 4.3.2-3). Stabile Bedingungen stellen dazu geeignete Voraussetzungen für hohe Konzentrationen von Schadstoffen in der Atmosphäre dar. Die problematischsten Stoffe sind insbesondere Feinstaub (Staubpartikel mit einem Durchmesser von weniger als $10\ \mu\text{m}$ – PM_{10}) und bodennahes (troposphärisches) Ozon. Zusammen mit den extremen Lufttemperaturen beeinflussen diese Stoffe den Menschen und erhöhen somit die Gesamtfolgen der Wetterlage.

Regionale Unterschiede

Die Anpassung des Verhaltens (Lebensstil, Kleidung) und des technologischen Fortschritts (Einsatz von Klimaanlage / Zentralheizung, sowie mögliche Maßnahmen zur Minderung der Folgen in Form von Warnsignalen) an das in der Region verbreitete Temperaturextrem wirkt sich grundsätzlich auf die Gesundheit und das Leben der Menschen aus. In wärmeren Gebieten stellen niedrige Lufttemperaturen ein relativ hohes Risiko für die Bevölkerung dar. Der Grund ist die fehlende Ausstattung von Häusern mit Zentralheizungen. Im Gegensatz dazu stellen die in Südeuropa gewöhnlichen Sommertemperaturen für die Bevölkerung der höheren geographischen Breiten ein sehr hohes Risiko dar, denn in diesen Gebieten fehlt es an typischen Schutzelementen gegen Hitze (Fensterläden, Klimaanlage).

Die Erforschung der Auswirkungen extremer meteorologischer Phänomene auf die Sterberaten konzentriert sich im Rahmen der einzelnen Regionen insbesondere auf die Bevölkerung in Großstädten, deren Verletzbarkeit durch Hitzewellen durch den sog. Wärmeinsel-Effekt der Stadt verstärkt wird. Dieses Phänomen verhindert während der Hitzewellen eine ausreichende Abkühlung der Luftmassen in den Nachtstunden und verstärkt somit den Wärmestress der Bevölkerung. Unterschiede der direkten Folgen von Hitze (während der Hitzewelle) zwischen der städtischen und ländlichen Bevölkerung sind meistens unbedeutend. Unterschiedlich kann aber der kumulative Effekt mit einer längeren Verzögerung nach dem Vorkommen der Hitzewelle sein – die Gesamtsumme der Abweichungen von der erwarteten Mortalität in den Tagen nach der Hitzewelle ist in dichter besiedelten Gebieten höher (der Effekt der Verschiebung der Sterberate ist hier geringer). Andere Studien weisen auf eine größere Auswirkung von niedrigen Lufttemperaturen auf die ländliche Bevölkerung hin, die der abkühlenden Wirkung des Windes verstärkt ausgesetzt ist.

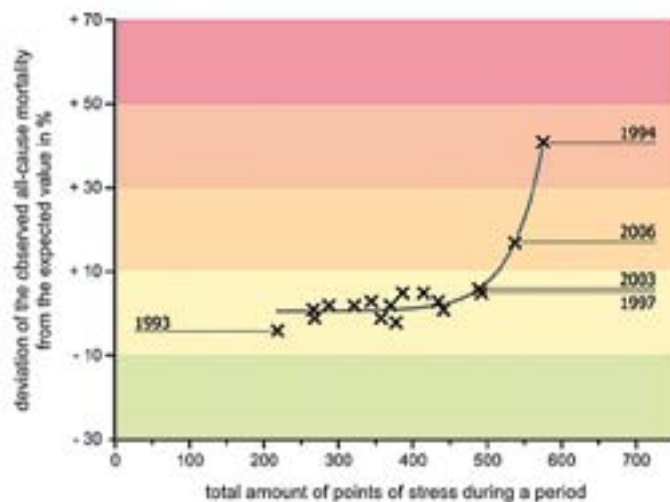


Abb. 4.3.2-3: Relative Abweichungen der Mortalität während Hitzewellen in den Bundesländern Berlin und Brandenburg während der Hitzewellen in den Jahren 1990–2006. Das Maß der Wärmebelastung während der Hitzewelle wurde auf Basis einer Übereinstimmung von drei Verfahren berechnet, die in der humanen Bioklimatologie zur Festlegung einer Hitzewelle eingesetzt werden (Übernahme aus Gabriel und Endlicher, 2011).

Obr. 4.3.2-3: Relativní odchylky úmrtnosti během horkých vln ve spolkových německých zemích Berlín a Braniborsko během horkých vln v letech 1990–2006. Úroveň tepelné zátěže během horké vlny byla vypočtená na základě míry shody tří přístupů používaných v humánní bioklimatologii pro definování horké vlny (převzato z Gabriel a Endlicher, 2011).

byly příznačné i pro extrémní horké vlny v letech 1994, 2003 a 2006 (obr. 4.3.2-3). Stabilní podmínky jsou navíc příhodné pro vysoké koncentrace znečišťujících látek v atmosféře. V současnosti představují nejproblematictější látky zejména suspendované pevné částice (prachové částice o průměru menším než $10\ \mu\text{m}$ – PM_{10}) a přízemní (troposférický) ozon (O_3). Tyto látky působí na člověka společně s extrémními teplotami vzduchu a zvyšují tak celkový dopad povětrnostní situace.

Regionální rozdíly

Behaviorální (životní styl, způsob oblékání) a technologická adaptace (používání klimatizace/ústředního topení, ale i případná existence opatření ke zmírnění následků v podobě varovných systémů) na teplotní extrém běžný v dané oblasti zásadně ovlivňuje dopad extrémních teplot na lidské zdraví a životy. V teplejších regionech představují pro obyvatele relativně vyšší riziko nízké teploty vzduchu z důvodu nevybavenosti domů ústředním topením a naopak běžné letní teploty v jižní Evropě jsou vysoce rizikové pro obyvatele vyšších zeměpisných šířek, kde nejsou typické ochranné prvky proti horku (okenice, klimatizace).

V rámci jednotlivých regionů se výzkum vlivu extrémních meteorologických jevů na úmrtnost soustřeďuje především na populace velkých měst, jejichž zranitelnost vůči horkým vlnám je zesílena efektem tzv. tepelného ostrova města. Tento jev během horkých vln zabraňuje dostatečnému ochlazení vzduchu v nočních hodinách a umocňuje tak tepelný stres na městské obyvatelstvo. Rozdíly v přímém dopadu horka (během horké vlny) mezi městskou a venkovskou populací jsou většinou nevýznamné, rozdílný však může

Neben unterschiedlichen physikalischen und meteorologischen Bedingungen der städtischen und ländlichen Umgebung werden die Folgen von extremen Lufttemperaturen auf die Mortalität zusätzlich durch demographische und sozioökonomische Unterschiede zwischen den Regionen und Bevölkerungsgruppen beeinflusst, die im Maßstab der Tschechischen Republik scheinbar von grundlegender Bedeutung sind. Zu den wesentlichen sozioökonomischen sowie demographischen Faktoren gehören insbesondere das Maß der Urbanisierung (eine größere Isolation der Bevölkerung), die Altersstruktur der Bevölkerung (Anteil der Bevölkerung im Rentenalter), der Gesundheitszustand der Population, der Lebensstil, der sozioökonomische Status (Bildung, Einnahmen, Beschäftigung) oder die Erreichbarkeit und Qualität der Gesundheitspflege. Das Maß der Beeinträchtigung der sozialen Umgebung hängt auch mit dem Schaden an der Umwelt zusammen. Beide Faktoren korrelieren räumlich mit dem Gesundheitszustand der Bevölkerung (Dzúrová, 1993). So ist es kein Zufall, dass die Kreise mit dem höchsten Maß an sozialer Deprivation (Abb. 4.3.2-4 – rote Farben) in den Industrie- und Braunkohleabbaugebieten in Nordmähren/Schlesien (Moravskoslezský kraj) und in Nordwestböhmen (Gebiete des Ústecký kraj und Karlovarský kraj) entsprechen. Diese Regionen sind durch eine hohe Konzentration der Bevölkerung in Städten und zugleich durch eine hohe Arbeitslosenrate geprägt.

být kumulativní efekt s delším časovým zpožděním po výskytu horké vlny – celková suma odchylek od očekávané úmrtnosti v následujících dnech po horké vlně je vyšší v hustěji zalidněných oblastech (je zde menší efekt posunu úmrtnosti). Jiné studie zase poukazují na větší vliv nízkých teplot vzduchu na venkovské obyvatelstvo z důvodu většího vystavení ochlazujícímu účinku větru. Kromě rozdílných fyzikálních a meteorologických podmínek městského a venkovského prostředí mají na dopad extrémních teplot vzduchu na úmrtnost nezanedbatelný, v měřítku ČR pravděpodobně zásadní, vliv demografické a socioekonomické rozdíly mezi regiony a populacemi. Mezi hlavní socioekonomické a demografické faktory patří zejména míra urbanizace (větší izolovanost obyvatelstva), struktura obyvatelstva podle věku (podíl lidí v důchodovém věku), zdravotní stav populace, životní styl, socioekonomický status (vzdělání, příjem, zaměstnanost) či dostupnost a kvalita zdravotní péče. Míra narušení sociálního prostředí souvisí také s úrovní narušení životního prostředí a oba faktory prostorově korelují se zdravotním stavem obyvatelstva (Dzúrová, 1993). Není proto náhodou, že okresy s nejvyšší mírou sociální deprivace (obr. 4.3.2-4 – červené barvy) odpovídají průmyslovým/těžebními oblastem v Moravskoslezském kraji a severozápadních Čechách (Ústecký a Karlovarský kraj). Tyto regiony se vyznačují vysokou koncentrací obyvatelstva ve velkých městech a zároveň vysokou mírou nezaměstnanosti.



Abb. 4.3.2-4: Der SES-Index zeigt das Maß der sozialen Deprivation in den Kreisen der Tschechischen Republik an, berechnet aus den Angaben zur Anzahl der Bevölkerung ohne Abitur, der Arbeitslosenrate und einer durchschnittlichen Lebenserwartung im Jahr 2001. Das Kartogramm zeigt die Werte des SES-Index ab dem Wert des geringsten Maßes der sozialen Deprivation (< -2,5 der Standardabweichung der Auswahl, grün) bis zum höchsten Wert der Deprivation (> 2,5 der Standardabweichung der Auswahl, rot) (Datenquelle: Veřejná databáze ČSÚ (Öffentliche Datenbank des Tschechischen statistischen Amtes)).
 Obr. 4.3.2-4: SES index udává úroveň sociální deprivace v okresech ČR vypočtenou z údajů o podílu obyvatelstva bez maturity, míře nezaměstnanosti a průměrné naděje dožití v roce 2001. Kartogram udává hodnoty SES indexu od hodnot nejnižší míry sociální deprivace (< -2,5 směrodatné odchylky výběru, zeleně) po nejvyšší míru deprivace (> 2,5 směrodatné odchylky výběru, červeně) (data: Veřejná databáze ČSÚ).

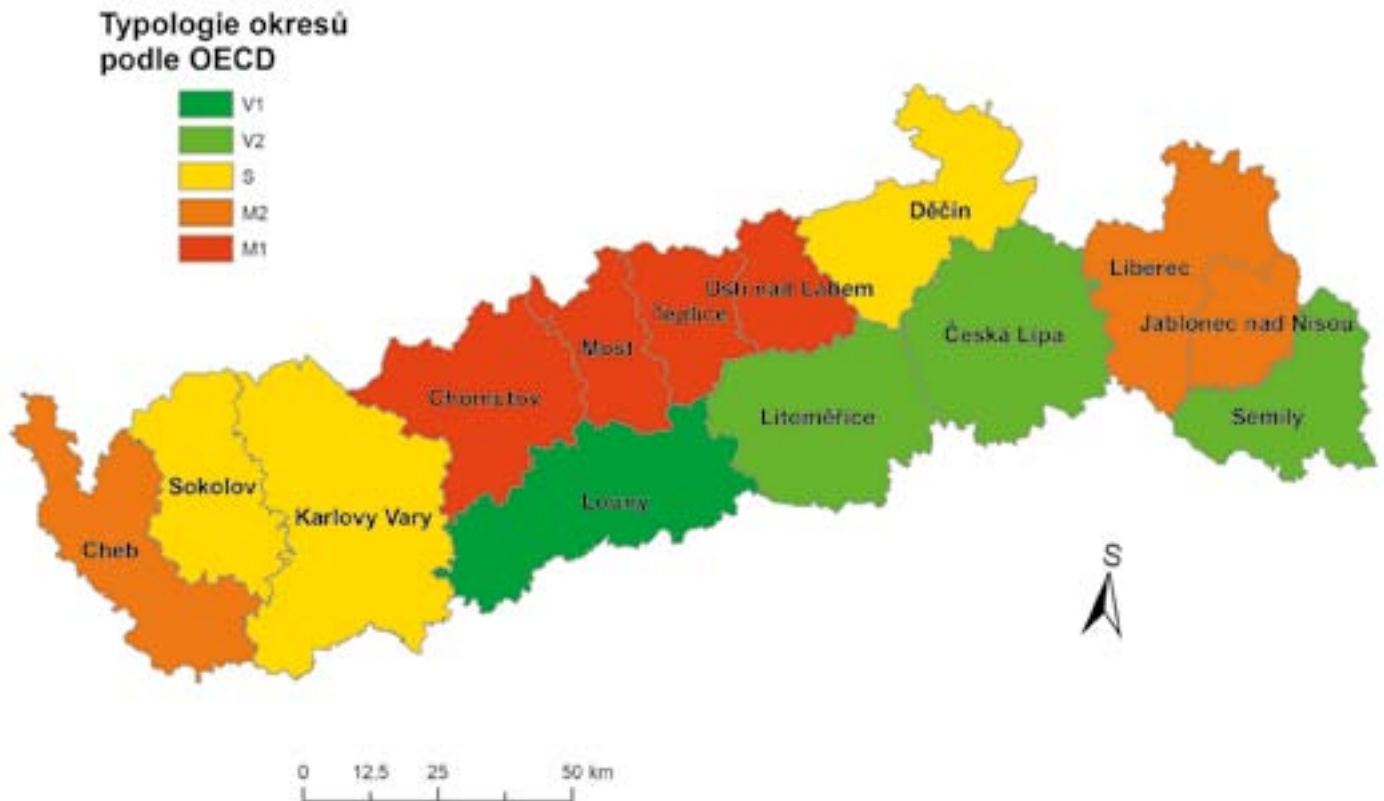


Abb. 4.3.2-5: Typologie der Kreise in Nordwestböhmen gem. der OECD-Definition. M1 und M2 städtische Kreise, S, V2 und V1 ländliche Kreise (Daten übernommen von Blatecká, 2006).

Obr. 4.3.2-5: Typologie okresů v severozápadních Čechách podle definice OECD. M1 a M2 městské okresy, S, V2 a V1 venkovské okresy (data převzata z Blatecká, 2006).

Fallstudie – Vergleich der Auswirkungen von Temperatur-extremen auf die Mortalität im Raum Nordwestböhmen

Die oben dargestellten Gesetzmäßigkeiten und Beziehungen werden in einer Fallstudie dargestellt, in der die Mortalität in Folge von CVD in städtischen und ländlichen Kreisen des Karlovarský kraj, Ústecký kraj und Liberecký kraj (Abb. 4.3.2-5) in Folge von hohen Lufttemperaturen im Sommer und niedrigen Temperaturen im Winter verglichen wird. Die Tageszahlen der Sterbefälle in den ausgewählten Kreisen zwischen 1994 und 2009 wurden um langjährige, saisonale und wöchentliche Zyklen der Mortalität korrigiert (Datenquellen: Tschechisches statistisches Amt und Institut für Informationen und Statistik des Gesundheitswesens). Die weiter dargestellten Ergebnisse repräsentieren relative Abweichungen der Mortalität in Folge von CVD von den erwarteten Werten. Die Klassifizierung von städtischen und ländlichen Kreisen wurde nach der Definition der OECD (Spiezia, 2003) durchgeführt. Der Definition nach ist eine Region städtisch, wenn deren Anteil von Gemeinden mit einer Bevölkerungsdichte von <math><150 \text{ Einwohner/km}^2</math> kleiner als 25 % ist (Kategorie M1 und M2 auf Abb. 4.3.2-5). Die restlichen Kreise (S, V2, V1) wurden zum Vergleich als ländliche Kreise eingestuft.

Die Diagramme in Abb. 4.3.2-6 zeigen die relativen Abweichungen der Mortalität in Folge von CVD in städtischen (Urban) und ländlichen (Rural) Kreisen gegenüber der durchschnittlichen Tageslufttemperatur im Sommer (Juni–August) und im Winter (Dezember–Februar) in den Jahren 1994–2009. Zur Bestimmung

Případová studie – srovnání dopadů teplotních extrémů na úmrtnost v oblasti severozápadních Čech

Výše zmíněné zákonitosti a vztahy jsou znázorněny na případové studii porovnávající úmrtnost na CVD v městských a venkovských okresech Karlovarského, Ústeckého a Libereckého kraje (obr. 4.3.2-5) v důsledku vysokých teplot vzduchu v létě a nízkých teplot v zimě. Denní počty úmrtí ve vybraných okresech mezi lety 1994–2009 byly ošetřeny o dlouhodobé, sezónní a týdenní cykly v úmrtnosti (zdroj dat: ČSÚ a Ústav zdravotnických informací a statistiky). Níže uvedené výsledky představují relativní odchylky úmrtnosti na CVD od očekávané hodnoty. Pro klasifikaci městských a venkovských okresů byla použita definice OECD (Spiezia, 2003), podle které je městským okresem region s podílem obcí s hustotou obyvatelstva <math><150 \text{ obyvatel/km}^2</math> menším než 25 % (kategorie M1 a M2 na obr. 4.3.2-5). Zbýlé okresy (S, V2, V1), byly pro účely porovnání klasifikovány jako venkovské.

Grafy níže (obr. 4.3.2-6) znázorňují relativní odchylky úmrtnosti na CVD v městských (Urban) a venkovských (Rural) okresech vůči průměrné denní teplotě vzduchu v létě (červen–srpen) a v zimě (prosinec–únor) v letech 1994–2009. Pro určení průměrné denní teploty ve dvou vybraných skupinách okresů byla použita data interpolovaná z husté staniční sítě Českého hydrometeorologického ústavu do sítě uzlových bodů. Na průběhu odchylek vyjádřeném kubickými křivkami můžeme pozorovat větší nárůst úmrtnosti u teplot nad 90 % kvantilem v městských okresech a naopak významnější efekt nízkých teplot vzduchu ve venkovských

der durchschnittlichen Tagestemperatur in zwei ausgewählten Gruppen von Kreisen wurden Daten verwendet, die aus dem Stationsnetz des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts in das Netz von Knotenpunkten interpoliert wurden. Aus dem Verlauf der Abweichungen, der durch kubische Kurven (Kurven dritten Grades) dargestellt wird, kann ein höherer Anstieg der Mortalität bei Temperaturen über dem 90 % Quantil in städtischen Kreisen, im Vergleich dazu ein bedeutenderer Effekt der niedrigen Lufttemperaturen in den ländlichen Kreisen festgestellt werden. Die senkrechten Linien stellen den Wert des 90 % Quantils der Verteilung der Lufttemperatur im Sommer (rot), bzw. das 10 % Quantil der Verteilung der Lufttemperatur im Winter (blau) dar. Die Tage mit einer Lufttemperatur über, bzw. unter dem festgelegten Quantil wurden als warme, bzw. kalte Tage definiert. Die durchschnittlichen relativen Abweichungen der Sterberaten an diesen und an folgenden Tagen (D_{+0} und D_{+1}) sind in Abb. 4.3.2-7 dargestellt.

okresech. Svislé čáry znázorňují hodnotu 90 % kvantilu rozdělení teploty vzduchu v létě (červeně), resp. 10 % kvantilu rozdělení teploty vzduchu v zimě (modře). Dny s teplotou vzduchu nad, resp. pod stanoveným kvantilem byly definovány jako teplé, resp. chladné dny, a průměrné relativní odchylky úmrtnosti v těchto dnech a dnech následujících (D_{+0} a D_{+1}) jsou znázorněny na obr. 4.3.2-7. Průměrné odchylky úmrtnosti na obr. 4.3.2-7 potvrzují základní charakteristiky odchylek z obr. 4.3.2-6. Odchylky jsou obecně vyšší v teplých než v chladných dnech a krátkodobý efekt teplých dnů je srovnatelný v městských a venkovských regionech. Naopak průměrný efekt chladných dnů je vyšší ve venkovských okresech a na rozdíl od městských okresů je statisticky významný ($p = 0,05$). Na základě předchozí definice byly dále definovány horké/studené vlny jako dvou- a vícedenní období s teplotou vzduchu nad/pod 90%/10 % kvantilem teploty v létě/zimě. Takových období bylo v letech 1994–2009 nalezeno 34 až 40 v závis-

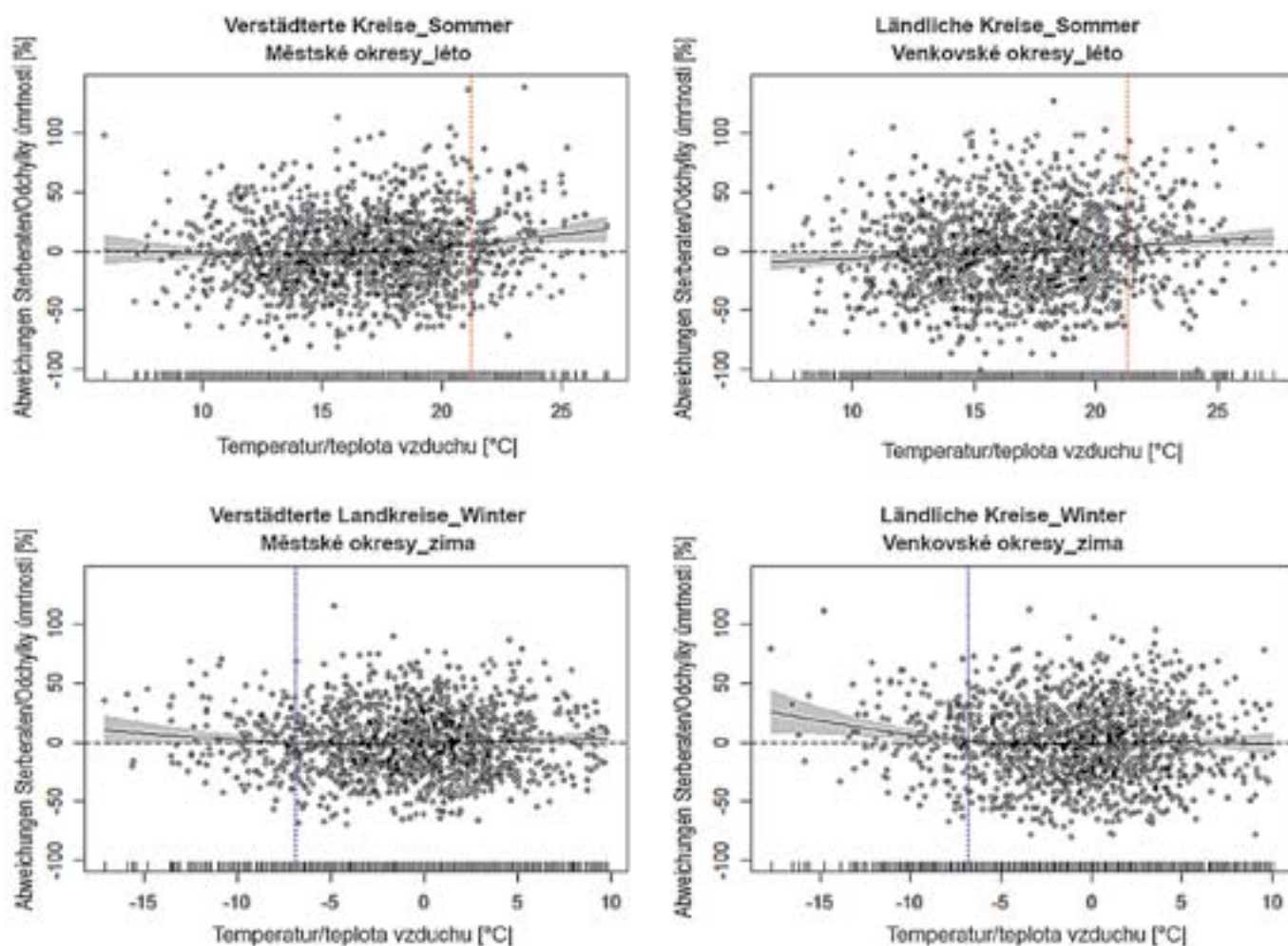


Abb. 4.3.2-6: Relative Abweichungen der Sterberaten (y-Achse) in Folge von CVD in städtischen (Urban) und ländlichen (Rural) Kreisen Nordwestböhmens im Vergleich mit der durchschnittlichen Tageslufttemperatur im Sommer (Juni–August) und im Winter (Dezember–Februar) in den Jahren 1994–2009. Die senkrechten Linien stellen den Wert des 90 % Quantil der Verteilung der Lufttemperatur im Sommer (rot), bzw. 10 % Quantil der Verteilung der Lufttemperatur im Winter (blau) dar. Zwischen die Daten wurden kubische Kurven gelegt. Die grauen Bereiche stellen das 95 % Intervall der Zuverlässigkeit des Verlaufes der Kurven dar.

Obr. 4.3.2-6: Relativní odchylky úmrtnosti na CVD v městských (Urban) a venkovských (Rural) okresech severozápadních Čech vůči průměrné denní teplotě vzduchu v létě (červen–srpen) a zimě (prosinec–únor) v letech 1994–2009. Svislé čáry znázorňují hodnotu 90 % kvantilu rozdělení teploty vzduchu v létě (červeně), resp. 10 % kvantilu rozdělení teploty vzduchu v zimě (modře). Daty jsou proloženy kubické křivky. Šedé oblasti znázorňují 95 % interval spolehlivosti průběhu křivek.

Die durchschnittlichen Abweichungen der Mortalität in Abb. 4.3.2-7 bestätigen die grundlegenden Eigenschaften der Abweichungen in Abb. 4.3.2-6. Allgemein sind die Abweichungen an warmen Tagen höher als an kalten Tagen. Der kurzfristige Effekt der warmen Tage ist in städtischen und ländlichen Regionen vergleichbar. Demgegenüber ist der durchschnittliche Effekt der kalten Tage höher in den ländlichen Kreisen und ist im Unterschied zu den städtischen Kreisen statistisch bedeutend ($p = 0,05$).

Auf Basis der vorherigen Definition wurden weiter Hitze- und Kältewellen als ein zwei- bis mehrtägiger Zeitabschnitt mit einer Lufttemperatur über dem 90 % und unter dem 10 % Quantil der Temperatur im Sommer bzw. Winter festgelegt. 34 bis 40 solcher Abschnitte wurden in den Jahren 1994 bis 2009 in Abhängigkeit von Saison und Region gefunden. In Abb. 4.3.2-8 ist der Kontrast zwischen dem kurzfristigen (erste fünf Tage) und dem langfristigen kumulativen Effekt (drei Wochen nach Beginn der Hitze-/Kältewelle) dargestellt. Ist der langfristige Effekt von Hitzewellen in den städtischen Regionen höher als der kurzfristige, ist dies in den ländlichen Kreisen umgekehrt. Ein noch höherer Kontrast kann im Fall der Kältewellen festgestellt werden, deren Gesamtauswirkungen in den Städten gering und unbedeutend sind. Demgegenüber ist ihr langfristiger Effekt in den ländlichen Kreisen höher als der kurzfristige.

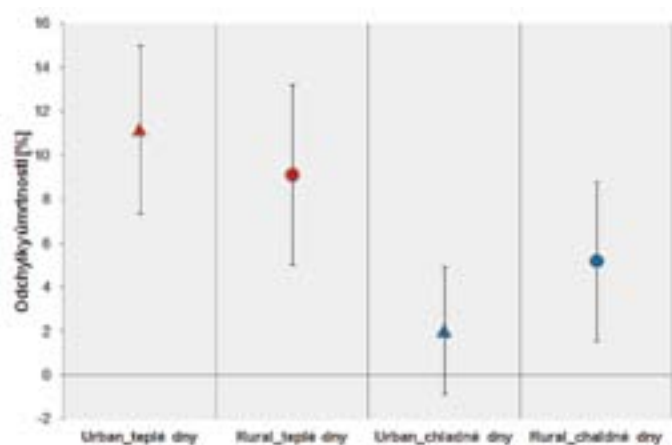


Abb. 4.3.2-7: Durchschnittliche relative Abweichungen der Sterberaten in Folge CVD in städtischen (Dreieck) und ländlichen (Ring) Kreisen Nordwestböhmens an warmen (rot) und kühlen (blau) Tagen. Die Fehlerbalken stellen 95 % Intervall der Zuverlässigkeit der mittleren Werte dar.

Obr. 4.3.2-7: Průměrné relativní odchylky úmrtnosti na CVD v městských (trojúhelník) a venkovských (kolečko) okresech severozápadních Čech v teplých (červeně) a chladných (modře) dnech. Chybové úsečky znázorňují 95 % interval spolehlivosti středních hodnot.

losti na sezóně a regionu. Na obr. 4.3.2-8 můžeme pozorovat kontrast mezi krátkodobým (suma prvních 5 dní) a dlouhodobým kumulativním efektem (tři týdny po nástupu horké/studené vlny). Zatímco dlouhodobý efekt horkých vln je v městských regionech vyšší než krátkodobý, ve venkovských okresech je tomu naopak. Ještě větší kontrast můžeme sledovat u studených vln, jejichž celkový dopad ve městech je malý a nevýznamný, zatímco ve venkovských okresech je dlouhodobý efekt vyšší než krátkodobý.

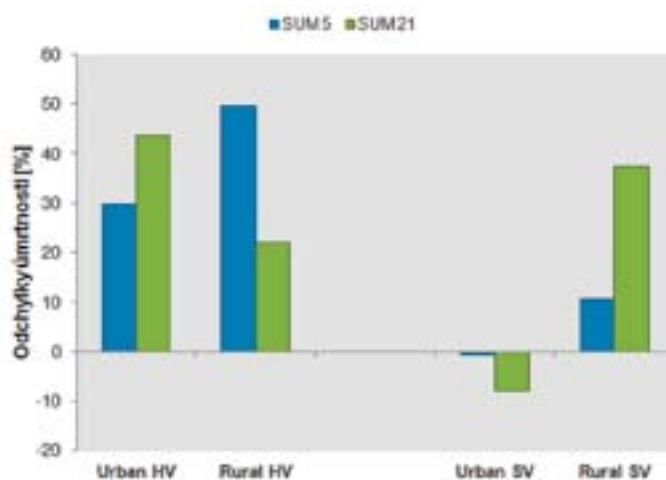


Abb. 4.3.2-8: Durchschnittlicher kumulativer Effekt der heißen (HV) und kalten (SV) Wellen während der ersten fünf Tage nach Beginn einer Hitze-/Kältewelle (SUM 5) und während der drei nachfolgenden Wochen (SUM 21). Y-Achse: Abweichung der Sterberate

Obr. 4.3.2-8: Průměrný kumulativní efekt horkých (HV) a studených (SV) vln v prvních pěti dnech po nástupu HV/SV (SUM 5) a během následujících tří týdnů (SUM 21).

Fazit

Zusammen mit dem Anstieg der globalen Lufttemperatur wird zukünftig auch mit einem Anstieg des Vorkommens extrem heißer Zeiträumen (Hitzewellen) zu rechnen, die den aus den Jahren 1994, 2003 oder 2006 ähnlich sein werden. Gegenläufig dazu, ist eine Abnahme der Häufigkeit kalter Zeiträume (Kältewellen) zu erwarten. Aus diesem Grund wird in einem wärmeren Klima eine Erhöhung der Anzahl der Sterbefälle in Folge von Hitze und gleichzeitig eine Abnahme der Sterbefälle in Folge von niedrigen Temperaturen erwartet. Zwischen den einzelnen Studien besteht ein markanter Widerspruch hinsichtlich des Umfanges möglicher Veränderungen und ihres Anteils an der gesamten Entwicklung der Mortalität, die insbesondere von der Gesamtentwicklung der menschlichen Gesellschaft und der Fähigkeit abhängt, sich dem Klimawandel anzupassen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Entwicklung und dem aktuellen Entwicklungsstand der Regionen in unterschiedlichen Teilen der Welt, wird auch die Anpassungsfähigkeit unterschiedlich stark ausgeprägt sein.

Trotz der Zunahme der durchschnittlichen Temperatur zeigen die Ergebnisse für die Tschechische Republik einen Rückgang der Auswirkungen von Hitzewellen auf die Mortalität in den vergangenen 20 Jahren. Die Gründe liegen scheinbar in einem besseren Bewusstsein über die mit der Hitze zusammenhängenden Risiken (dank einer höheren medialen Aufmerksamkeit) sowie in einem insgesamt besseren Gesundheitszustand der Bevölkerung, u. a. infolge der Veränderungen des Lebensstils nach 1989. Die Szenarien der Auswirkungen von Temperaturextremen auf die Gesundheit und die Mortalität der Bevölkerung sind somit mit großen Unsicherheiten behaftet (Gosling et al., 2009). Den Ergebnissen liegen (häufig wenig unterlegte) Annahmen über das Maß der physiologischen und technologischen Anpassungsfähigkeit sowie über die Anpassung menschlicher Verhaltensweisen zu Grunde (Ebi et al., 2014). Die Ergebnisse der bisherigen Forschungen liefern jedoch Informationen darüber, für welche Bevölkerungsgruppen und in welchen Gebieten Maßnahmen zur Milderung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit der Bevölkerung in der Tschechischen Republik ausgerichtet sein sollten.

*Aleš Urban und Jan Kyselý
(Institut für Atmosphärische Physik der
Tschechischen Republik, Prag)*

Danksagung | Poděkování

Die Verfasser bedanken sich bei den Mitarbeitern des Staatlichen Gesundheitsinstituts der Tschechischen Republik (Státní zdravotní ústav ČR), dem Institut für Informationen und Statistik im Gesundheitswesen (Ústav zdravotnických informací a statistiky), des Tschechischen statistischen Amtes (Český statistický úřad) und des Tschechischen hydrometeorologischen Instituts (Český hydrometeorologický ústav) für die Bereitstellung und Vorbereitung von Datensätzen. Die Auswirkungen meteorologischer Größen auf die Gesundheit der Bevölkerung der Tschechischen Republik wurden im Rahmen des Projektes GA ČR P209/11/1985 untersucht.

Závěr

S nárůstem globální teploty vzduchu je v budoucnu očekáván nárůst výskytu extrémně horkých období (horkých vln), podobných těm v letech 1994, 2003 či 2006, a naopak pokles četnosti chladných období (studených vln). Proto se v teplejším klimatu často předpokládá zvýšení počtu úmrtí způsobených horkem a naopak pokles úmrtí v důsledku nízkých teplot. Mezi jednotlivými studii ale existuje výrazný rozpor ve velikosti možných změn a jejich podílu na celkovém vývoji úmrtnosti, které záleží zejména na celkovém vývoji lidské společnosti a schopnosti přizpůsobit se (adaptovat) změně klimatu. Tato schopnost se pravděpodobně bude v budoucnu výrazně lišit v závislosti na rozdílném vývoji vyspělosti regionů v různých částech světa. Výsledky pro ČR vykazují pokles v dopadu horkých vln na úmrtnost během posledních dvaceti let, navzdory růstu průměrné teploty (Kyselý a Plavcová, 2012). Důvodem je pravděpodobně lepší povědomí o rizicích souvisejících s horkem (díky zvýšenému mediálnímu pokrytí) i lepší celkový zdravotní stav populace mj. v důsledku změn životního stylu po r. 1989. Scénáře vývoje dopadů teplotních extrémů na zdraví a úmrtnost populace jsou proto zatíženy velkými neurčitostmi (Gosling et al., 2009) a jejich výsledky jsou dány především (často málo podloženými) předpoklady o míře fyziologické, behaviorální a technologické adaptace, jaké bude lidská společnost schopna (Ebi et al., 2014). Výsledky dosavadního výzkumu nicméně naznačují, na jaké skupiny obyvatel a do jakých regionů by případná opatření na zmírnění dopadů změny klimatu na zdraví populace ČR měla primárně směřovat.

*Aleš Urban a Jan Kyselý
(Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha)*

4.4 Wirtschaft und Tourismus

4.4.1 Wechselwirkungen zwischen dem Klimawandel und der Lebensstruktur in der Region

Einführung

Klimaveränderungen sind ein fundamentaler Bestandteil der Entwicklung des Lebens auf der Erde. Einer der bedeutendsten Nachweise der natürlichen zyklischen Klimaentwicklung der letzten etwa 500.000 Jahre geht aus den Ergebnissen von Gletscheranalysen Ende des 20. Jahrhunderts hervor (Petit et al., 1999). Zugleich wurde durch die Erkenntnisse der Thermodynamik im Zusammenhang mit natürlichen Systemen (Schneider et al., 2005) nachgewiesen, dass das Leben auf der Erde durch einen sehr langsam wachsenden (nur in geologischer Zeit wahrnehmbaren), zyklisch schwankenden Fluss der Sonnenenergie und eine zunehmende Effizienz ihrer Umwandlungen durch selbstorganisierende Prozesse (Sukzession) auf den Kontinenten der Erde charakterisiert ist. Die unterschiedlichen Energiemengen, die auf die einzelnen Zonen der Erde treffen, bilden die Basis für die Ausweisung von Klimazonen. Die selbstorganisierten Entwicklungsprozesse des Lebens verlaufen im Rahmen von Sukzessionsphasen. Der grundlegende Bezug zwischen dem Fluss der Sonnenenergie und der Sukzession wurde durch Odum (1971) beschrieben.

Odum zeigte, dass die Selbstorganisation der Lebensprozesse stets in Richtung einer Effizienzsteigerung bezüglich der Nutzung solarer Einstrahlung pro Fläche gerichtet ist.

Die Sukzessionsphasen gipfeln in Gestalt einer Klimaxvegetation (wenn die einzelnen Entwicklungsphasen nicht auf den vorhergehenden Stufen unterbrochen werden, zum Beispiel durch das Abweiden durch Pflanzenfresser oder in Folge von menschlichen Eingriffen).

Die Phänologie beschäftigt sich mit der Beobachtung der Entwicklungsphasen von Pflanzen und Tieren in Abhängigkeit von den klimatischen Verhältnissen. Einzelne phänologische Phasen sind äußerliche sichtbare Pflanzenmerkmale (Ausprägungen der Entwicklung von Organen), die sich in der Regel jährlich wiederholen. Aktuelle phänologische Beobachtungen frei wachsender sowie angebaute Pflanzen weisen während der letzten Jahre auf einen früheren Beginn der phänologischen Phasen hin. Insbesondere im Fall der phänologischen Phasen des Frühlings ist diese Tatsache gut erkennbar (Hájková et al., 2012). Zugleich ist im Untersuchungsraum auch eine Verlängerung der Vegetationsperiode festzustellen.

Trotz der unbestreitbar elementaren Bedeutung des Energiehaushalts für das Leben (jede lebendige Zelle eines Organismus ist energetisch aktiv, z. B. durch elektrische Ladungen), stellt die thermodynamische Betrachtungsweise des Lebens unter den etablierten Wissenschaften, wie Biologie, Chemie, Physik oder Klimatologie, eine interdisziplinäre Grauzone dar. Obwohl die energetische Grundlage des Lebens klare Anhaltspunkte für das Verständnis der gemeinsamen Prinzipien des gesamten Geschehens auf der Erde sowie der Prinzipien der Hauptwissenschaften bietet und letztendlich auch einen grundlegenden Weg in eine

4.4 Hospodářství a cestovní ruch

4.4.1 Interakce klimatických změn a struktur života v regionu

Úvodem

Klimatické změny jsou organickou součástí historie vývoje života na Zemi. Jeden z nejdůležitějších důkazů přirozeného cyklického vývoje klimatu Země v posledním přibližně půlmiliónu let poskytly koncem 20. století výsledky z ledovcových analýz (Petit et al., 1999). Poznatky z nerovnovážné termodynamiky živých systémů (Schneider et al., 2005) zároveň prokázaly, že život na Zemi je organizován velmi pomalu rostoucím (patrným jen v geologickém čase), cyklicky kolísajícím tokem sluneční energie a rostoucí efektivností jejich přeměn v rámci fází samoorganizovaných sukcesních procesů na kontinentech Země.

Rozdílná množství energie dopadající na jednotlivá pásma Země tvoří základ pro rozlišení klimatických pásem. V jednotlivých pásmech se samoorganizované procesy rozvoje života odvíjejí v rámci sukcesních fází. Základní vazbu mezi tokem sluneční energie a sukcesí popsal Odum (1971). Ukázal, že samoorganizovaná sukcese znamená vývoj struktury druhů života směrem zvyšujícím měrou efektivnost využití slunečního záření na jednotku krajinného pokryvu. Sukcesní fáze vrcholí klimaxovou vegetací (pokud nejsou vývojové fáze pozastaveny na nižších stupních např. vypásáním stády býložravců či vlivem zásahů lidí). Aktuální fenologická pozorování (fenologie je studiem vývojových fází rostlin a živočichů v závislosti na změnách klimatu) volně rostoucích i pěstovaných rostlin vykazují v posledních letech dřívější nástup fenologických fází (zevně dobře rozpoznatelný, zpravidla každoročně se opakující projev vývinu orgánů), tato skutečnost je patrná zejména u jarních fenofází (Hájková et al., 2012). Rovněž dochází k prodloužení vegetačního období.

Navzdory nepopiratelnému faktu energetické podstaty života (v každé buňce živého organismu fungují ionty s elektrickými náboji) je nerovnovážná termodynamika života dosud jakousi transdisciplinární popelkou mezi standardními vědními disciplínami, jakými jsou třeba biologie, chemie, fyzika či klimatologie. Veřejnosti a zejména mladé generaci zůstává energetická podstata života skryta a to přesto, že nabízí jasná vodítka k chápání společných principů všeho dění na Zemi i principů hlavních vědních disciplín a v neposlední řadě ukazuje také základní cestu k udržitelné budoucnosti.

Vše, co se na zemském povrchu děje, včetně klimatických změn, je výsledkem masivního, multicyklického toku sluneční energie, dopadajícího na Zemi, přeměňujícího se ve svých formách v závislosti na krajinném pokryvu a v podobě nevyužitelného tepla směřujícího do vesmíru s jeho mrazivou průměrnou teplotou přibližně $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$. Základní poznatek termodynamiky, teplo vždy směřuje z teplejšího do chladnějšího prostředí. Intenzita takového proudění závisí na velikosti teplotních, tlakových, chemických, gravitačních a dalších gradientů (rozdílů v prostoru). Tlakové a teplotní gradienty jsou určující v moderní meteorologii a jejich nejdramatičtějšími vířivými projevy jsou cyklóny či hurikány a tornáda. Gradienty umožňují rozumět tomu, že teplé proudy vod

Potenciální přirozená vegetace v Ústeckém kraji Potentielle natürliche Vegetation in der Region Ústí nad Labem

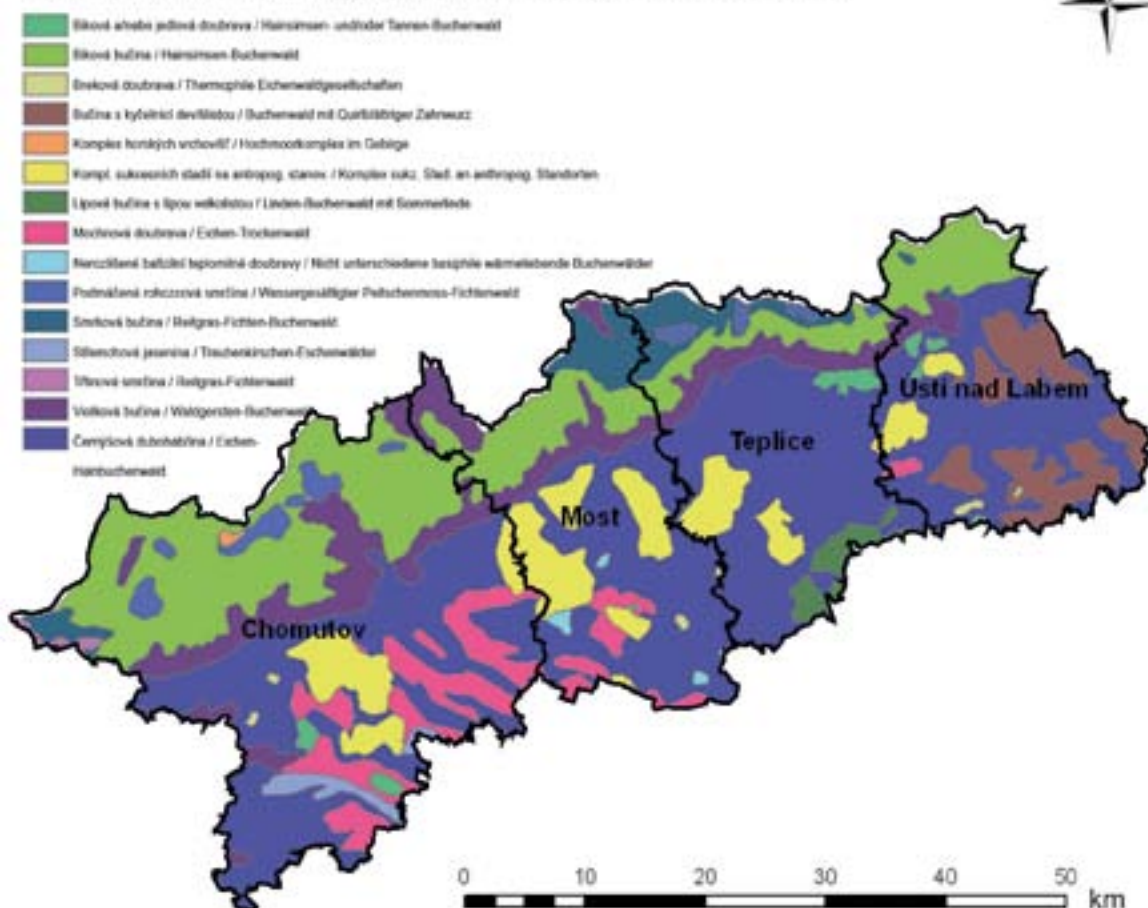


Abb. 4.4.1-1: Potentielle natürliche Vegetation in der Region Ústí

Quelle: Ausschnitt aus der Karte der potentiellen natürlichen Vegetation (Neuhäuslová et al., 1998)

Obr. 4.4.1-1: Potenciální přirozená vegetace ústeckého kraje

Pramen: výřez z mapy potenciální přirozené vegetace (Neuhäuslová et al., 1998)

nachhaltige Zukunft zeigt, bleibt diese Betrachtung für die Öffentlichkeit und insbesondere die Jugend verborgen.

Alles, was auf der Erdoberfläche geschieht, einschließlich des Klimawandels, ist ein Ergebnis einer massiven multizyklischen, auf die Erde fallenden Strömung von Sonnenenergie, die sich in ihren Formen in Abhängigkeit von der Bedeckung der Landschaft und in Gestalt der mit einer mittleren Temperatur von etwa $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ in das Weltall gerichteten Abwärme, umwandelt. Eine grundlegende Erkenntnis der Thermodynamik ist es, dass Wärme immer aus der wärmeren in die kühlere Umgebung strömt. Die Intensität einer solchen Strömung hängt von der Größe der Temperatur- und Druckunterschiede sowie von chemischen Faktoren, Gravitationsgradienten und anderen Unterschieden im Raum ab. Die Druck- und Temperaturgradienten sind in der modernen Meteorologie bestimmend. Ihr dramatischster Ausdruck sind tropische Wirbelstürme. Die Wirkung der Gradienten erklärt auch, warum die warmen Strömungen tropischer Meere zu den Polen fließen, die auf dem Erdball am kühlfsten sind. Alles Lebendige auf der Welt kann als ein Prozess begriffen werden, der mit der Energie und ihrer Dissipation bzw. der Reduzierung entsprechender Gradienten (Ausgleich) verbunden ist.

tropických moří směřují k pólům, které jsou na Zemi nejchladnější. Všechno živé na Zemi představuje proces úzce spjatý s energií a její disipací tak, že jsou redukovány (vyrovnávány) příslušné gradienty.

Zatímco o podílu vlivu lidí na globální klimatické změny, zejména o vlivu antropogenních emisí CO_2 , se v současnosti vedou vědecké spory a stále zřetelněji se ukazuje, že dominantní vliv na změny klimatu Země mají nadále změny sluneční energie (Svensmark, 2007; Evans, 2014), pak v lokálních a regionálních podmínkách je negativní vliv lidí na lokální a regionální klima prostřednictvím likvidace přirozené krajiny zcela prokazatelný a kvantifikovatelný. Jestli v současnosti při aplikaci vědeckých poznatků na způsoby účinného využívání území něco schází, pak je to téměř úplná absence nahlížení na území jako na krajinu s přirozenou vegetací, jinak řečeno absence nahlížení na krajinu v její termodynamické podstatě jako na symbiózu přirozené vegetace s vodou (hypermoře na pevnině, Mcmenamin 1996), čili nahlížení na území jako funkční krajinu se sítí efektivně fungujících přirozených ekosystémů, zajišťujících klimatizační, vodoretenční, čistící, půdotvorné a mnohé další životodárné funkce a služby pro existenci lidského druhu a všech dalších heterotrofních organismů.

Tab. 4.4.1-1: Flächen, punktuelle und monetäre Werte natürlicher Biotope der Region Ústí

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Karte der potentiellen natürlichen Vegetation

Tab. 4.4.1-1: Výměry, bodové a peněžní hodnoty přirozených biotopů Ústeckého kraje

Pramen: Vlastní propočty na základě mapy potenciální přirozené vegetace

Natürliche Biotope des Erzgebirgsvorlandes sowie der Gipfel und Südhänge des Erzgebirges Přirozené biotopy podkruš. páneve, vrchů a jižních svahů Krušných hor	Fläche in km ² Výměra v km ²	Punkte/m ² Body/m ²	Natürliches Kapital in Mio. CZK (1 Punkt = 13,64 CZK) Přír. kapitál v mil.Kč (bod = 13,64 Kč)
1 Traubenkirschen-Eschenwälder 1 Střemchová jasenina	18,47	42	10 581
7 Eichen-Hainbuchenwald (Melampyronemorosi-Carpinetum) 7 Černýšová dubohabřina (Melampyro nemorosi-Carpinetum)	939,46	47	602 269
14 Linden-Buchenwald mit Sommerlinde 14 Lipová bučina	24,62	45	15 112
18 Buchenwald mit Quirlblättriger Zahnwurz 18 Bučina s kyčelnicí devítilistou	101,16	45	62 092
30 Nicht unterschiedene basiphile wärmeliebende Buchenwälder 30 Nerozliš. bazifilní teplomilné doubravy	5,18	60	4 239
33 Eichen-Trockenwald (Potentilloalbae-Quercetum) 33 Mochnová doubrava (Potentillo albae-Quercetum)	136,77	60	111 933
34 Thermophile Eichenwaldgesellschaften (Sorbo-Quercetum) 34 Břeková doubrava	5,11	51	3 555
36 Hainsimsen- und / oder Tannen-Buchenwald 36 Biková a/nebo jedlová doubrava	20,87	51	14 518
50 Komplex sukzessiver Stadien an anthropogenen Standorten (Tagebaubereiche etc.) 50 Rašeliniště (oblasti povrchové těžby aj.)	188,36	53	136 169
Beckenbereich des Erzgebirgsvorlandes gesamt Pánevní části Podkrušnohoří celkem	1 440		960 468
21 Waldgersten-Buchenwald (Violoreichenbachianae-Fagetum) 21 Violková bučina	223,87	45	137 411
24 Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum) 24 Biková bučina (Luzulo-Fagetum) – Woodrush-beech woodland	445,76	52	316 169
25 Reitgras-Fichten-Buchenwald (Calamagrostiovillosae-Fagetum) 25 Smrková bučina (Calamagrostio villosae-Fagetum) – Spruce-beech woodland	86,25	43	50 587
44 Wassergesättigter Peitschenmoss-Fichtenwald (Mastigobryo-Piceetum), stellenweise im Komplex mit Fichten-Moorwald 44 Podmáčená rohozcová smrčina, místy v komplexu s rašelinnou smrčinou	39,88	43	23 390
43 Reitgras-Fichtenwald (Calamagrostiovillosae – Piceetum) 43 Třtinová smrčina	5,23	36	2 568
50 Hochmoorkomplex im Gebirge 50 Komplex horských vrchovišť	1,7	66	1 530
Gipfel und Südhänge des Erzgebirges gesamt Vrchy a jižní svahy Krušných hor celkem	802,69		531 656
Region Ústí gesamt Ústecký kraj celkem	2 242,69		1 492 124

Gegenwärtig wird über den Anteil des Menschen am globalen Klimawandel, insbesondere über die Auswirkungen anthropogener CO₂-Emissionen eine wissenschaftliche Polemik geführt. Unabhängig davon, haben Veränderungen der Sonnenenergie auch zukünftig eine bedeutende Auswirkung auf die globalen klimatischen Verhältnisse (Svensmark, 2007; Evans, 2014). Im Hinblick auf das lokale und regionale Klima sind insbesondere die negativen Auswirkungen durch die Zerstörung der Landschaft eindeutig nachweisbar und quantifizierbar.

Wenn gegenwärtig bei der Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse für die Landnutzung etwas fehlt, dann ist es die Wahrnehmung des Raumes als eine Landschaft mit einer natürlichen Vegetation.

Anders ausgedrückt – das Fehlen einer Wahrnehmung der Landschaft in ihrem thermodynamischen Grundsatz, also die Wahrnehmung des Raumes als eine funktionsfähige Landschaft mit einem Netz effektiv funktionierender natürlicher Ökosysteme, welche eine Reihe von lebensgebenden Funktionen und Leistungen für die Existenz des Menschen sowie aller weiterer heterotropher Organismen sicher stellen, wie zum Beispiel die Klimatisierung, den Wasserrückhalt, natürliche Reinigungsprozesse, die Bodengenese etc..

Region Ústí nad Labem: Langfristige negative anthropogene Auswirkungen auf die Landschaft und das Klima

In einer regionalen Fallstudie für die Region Ústí nad Labem kann die über zwei Jahrhunderte durch den Menschen wesentlich umgewandelte und zerstörte Landschaft aufgezeigt werden. Mit Hilfe einer Karte der potentiellen natürlichen Vegetation sowie anhand von Leitfäden für eine systematische Auswertung von Biotopen und ausgewählten Ökosystemdienstleistungen ist es möglich, eine Schätzung der anthropogen verursachten, langfristigen Verluste der Lebensräume sowie der Leistungen ihrer Biotope durchzuführen. Wäre die Region Ústí nicht durch den Menschen beeinflusst, würde sich in diesem Gebiet durch eine sukzessive Selbstorganisation folgende Klimaxvegetation entwickeln.

Wird der Geldwert dieser natürlichen Lebensräume systematisch mittels der BVM-Biotopbewertung (Seják et al., 2003) ermittelt, erhalten wir die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Werte. Aus thermodynamischer Sicht bzw. bezüglich der Nutzung der eintreffenden Sonnenenergie stellen die Biotope das Sukzessionsmaximum dar, welches in der gemäßigten Zone unter den globalen klimatischen Bedingungen der gegenwärtigen Zwischeneiszeit erreicht werden kann.

Durch einen Vergleich mit dem gegenwärtigen Zustand der Vegetation (Kartengrundlage Corine Land Cover) wurde die aktuelle Raumstruktur bzw. Landschaftsstruktur der Region Ústí identifiziert. Auf Grundlage der Unterschiede wurde der langfristig entstandene Schaden ermittelt, der über Generationen durch die Umwandlung der oben dargestellten natürlichen Waldbiotope zu landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie industriell genutzten und bebauten Flächen verursacht wurde. In Folge dieser langfristigen anthropogenen Eingriffe in die natürliche Landschaft wurde der Biotopwert des Gebietes der Region Ústí im Jahre 1990 auf etwa 772 Milliarden CZK, d. h. etwa 52 % , im Jahre 2000 dann auf

Ústecký region: dlouhodobé negativní antropogenní vlivy na krajinu a klima

Vezmeme-li jako případovou regionální studii po dvě století lidmi zásadně přeměňovanou a ničenou krajinu ústeckého kraje, pak pomocí mapy potenciální přirozené vegetace a pomocí metodik systémového hodnocení biotopů a vybraných služeb ekosystémů, můžeme provést odhad antropogenně působených dlouhodobých ztrát na biotopech i službách jejich ekosystémů. Pokud by území ústeckého kraje nebylo ovlivňováno lidmi, vyvinula by se na něm úspěšná samoorganizací následující klimaxová vegetace. Vyjádříme-li peněžní hodnotu těchto přirozených biotopů pomocí metody systémového hodnocení biotopů BVM (Seják et al., 2003), dostaneme v následující tabulce hodnoty, které představují z termodynamického hlediska využití přicházející sluneční energie úspěšné maximum dosažitelné v mírném pásmu klimaxovou přirozenou vegetací v globálních klimatických podmínkách současného interglaciálu.

Porovnáním se současným stavem byla pomocí mapy Corine Land Cover identifikována současná struktura území (přesněji řečeno krajiny) ústeckého kraje a na základě rozdílů odhadnuta dlouhodobě vzniklá ekologická újma způsobená lidskými generacemi přeměnami výše uvedených přirozených lesních biotopů na zemědělské půdy, na industriální a zastavěná území, atd. V důsledku těchto dlouhodobých antropogenních zásahů do přirozené krajiny byla biotopová hodnota území Ústeckého kraje v r. 1990 odhadnuta na přibližně 772 mld. Kč, tj. cca 52 % a v r. 2000 pak na 790 mld. Kč, tj. asi 53 % své potenciální přírodní hodnoty (Seják, 2008).

Jak ekonomicky významné jsou tyto ztráty přirozených biotopů z hlediska úbytku jejich ekosystémových funkcí a služeb, o tom nám základní informaci poskytne využití metody Energie-voda-vegetace (Seják et al., 2010), která kvantifikuje změny v klimatické a vodoretenční roli krajiny a bere v úvahu i změny v tvorbě kyslíku a kvalitě biotopů co by specifických prostředí pro rozvoj biodiverzity.

Tab. 4.4.1-2: Orientierungsschätzung für Ökosystemdienstleistungen (ES) der natürlichen Vegetation der Region Ústí

Tab. 4.4.1-2: Orientační odhad hodnoty služeb ekosystémů (ES) přirozené vegetace Ústeckého kraje

	Fläche in m ² Výměra v mil. m ²	Vier ES/m ² / Jahr Čtyři ES/ m ² /rok	Wert ES in Milliarden CZK Hodn. ES v mld. Kč
Gipfel und Hänge des Erzgebirges Vrchy a svahy Kruš. hor	802,69	4 372	3 509,36
Biotope des Beckens insgesamt Pánevní biotopy celkem	1 440	5 032	7 246,08
Biotope der Region Ústí insgesamt Biotopy Úst. kraje celkem	2 242,69	-	10 755,44

790 Milliarden CZK geschätzt, d. h. etwa 53 % seines potentiellen natürlichen Wertes (Seják, 2008).

Eine grundlegende Information über die wirtschaftliche Bedeutung dieser Biotopverluste im Hinblick auf die Herabsenkung der Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen kann mit Hilfe der Energie-Wasser-Vegetations-Methode (Seják et al., 2010) ermittelt werden. Diese Methode quantifiziert die Veränderungen der klimatischen Verhältnisse sowie des Wasserrückhaltes der Landschaft und berücksichtigt auch die Veränderungen in der Sauerstoffbildung und der Biotopqualität als ein besonderes Merkmal für die Entwicklung der Artenvielfalt.

Werden die Funktionen und Leistungen der natürlichen erzgebirgischen Mischwälder als Laubwälder (4.372,00 CZK/m²/Jahr) und die Funktionen und Leistungen natürlicher Ökosysteme des Beckens als Auenwälder (5.032,00 CZK m²/Jahr) bewertet, ergibt sich eine Schätzung der höchstmöglich erreichbaren Ökosystemleistung.

Ohodnotíme-li funkce a služby krušnohorských přirozených smíšených lesů jako listnaté lesy (4372 Kč/m²/rok) a funkce a služby přirozených ekosystémů pánevni oblasti jako lužní lesy (5032 Kč/m²/rok), dostaneme odhad maximální dosažitelné hranice jejich ekosystémového výkonu.

Obdobný propoččet pro skutečnou strukturu krajinného pokryvu Ústeckého kraje v r. 2000 (v položkách CLC) dlouhodobě antropogenně ovlivňovanou a přeměňovanou (a zejména pak ve 20. století) poskytuje následující tab. 4.4.1-3.

Podle metody EWVM (Seják et al., 2010) poskytuje krajina Ústeckého kraje celkovou hodnotu ročních ekosystémových služeb ve výši 5 799 mld., to znamená, že je, podobně jako v případě biotopových hodnot, na hladině asi 54 % svého sukcesně dosažitelného maxima.

Jak málo efektivní je z hlediska využívání sluneční energie současná antropogenizovaná krajina ústeckého kraje, o tom poskytuje souhrnnou informaci satelitní termosnímek, ukazující rozdíl-

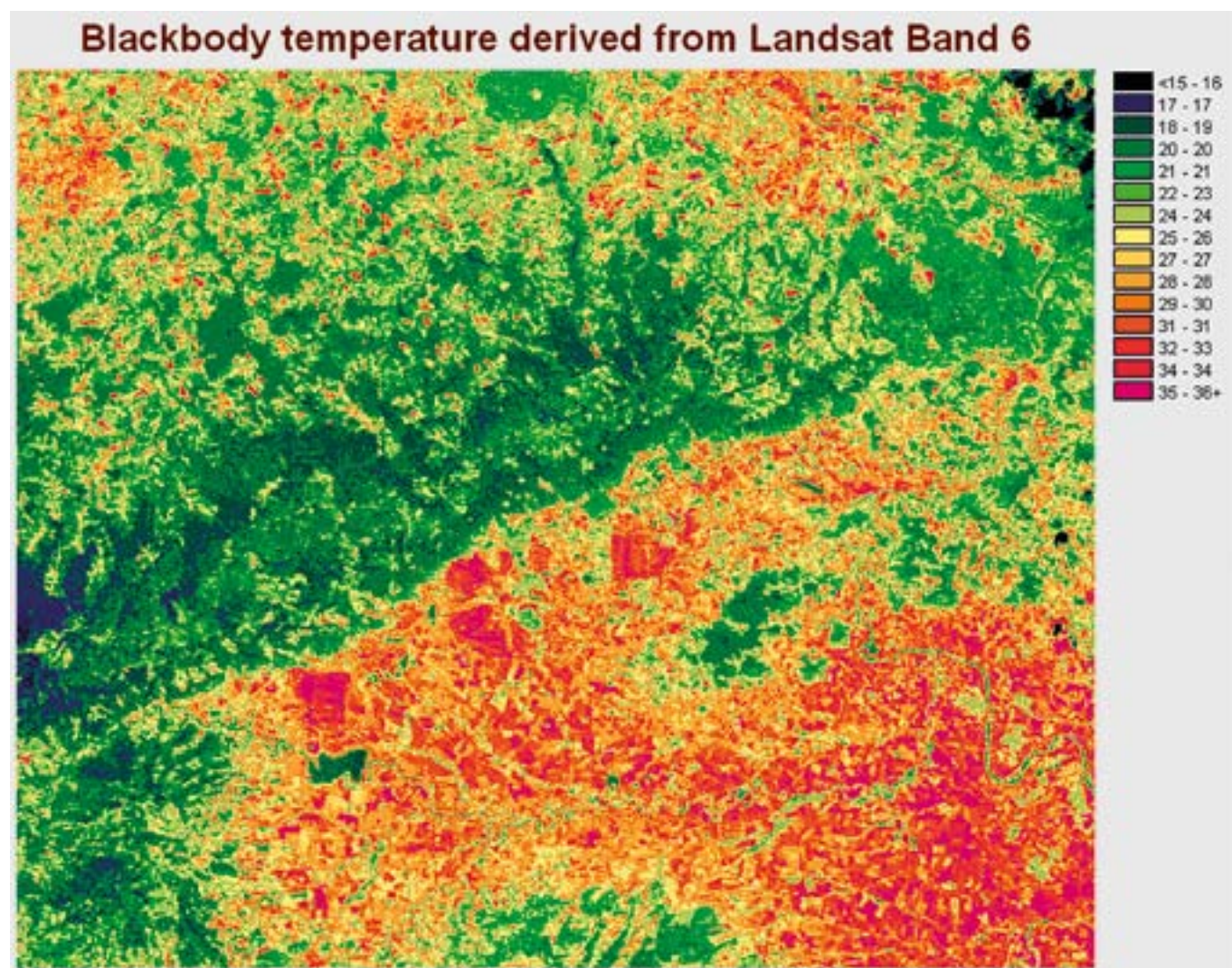


Abb. 4.4.1-2: Oberflächentemperaturen in Nordwestböhmen und Südsachsen, 10. 8. 2004

Obr. 4.4.1-2: Teploty povrchu SZ Čech a jižního Saska , 10. 8. 2004

Tab. 4.4.1-3: Landschaftsformen der Region Ústí im Jahre 2000 und ihre Ökosystemdienstleistungen (ES)

Tab. 4.4.1-3: Krajinny pokrýv Ústeckého kraje v roce 2000 a ekosystémové služby (ES)

TAG	Ústecký kraj in Positionen CLC Ústecký kraj v položkách CLC	Jahr 2000 Rok 2000			ES in CZK ES v Kč	Jahres ES Roční ES
	Beschreibung Popis	Fläche (km ²) Plocha km ²	%	Natürliches Kapital, Mio. CZK Př.kap. mil. Kč	pro m ² /Jahr na m ² /rok	Mio.CZK mil. Kč
112	Nicht zusammenhängende städtische Bebauung Nesouvislá městská zástavba	103	4,52	8 679	1 946	199 757
121	Gewerbe- und Handelsgebiete Průmyslové a obchodní areály	38	1,68	565	797	30 366
122	Straßen- und Eisenbahnnetz mit Umgebung Silniční a železniční síť s okolím	10	0,43	391	1 445	14 277
123	Hafenanlagen Přístavy	1	0,03	16	1 747	1 240
131	Rohstoffabbau Areály těžby nerostných surovin	64	2,79	2 552	1 080	68 612
132	Deponien Areály skládek	71	3,11	4 157	2 476	175 301
141	Städtische Grünanlagen Areály městské zeleně	5	0,23	1 109	2 660	13 938
142	Sportgebiete und Freizeiteinrichtungen Areály sportu a zařiz. pro volný čas	8	0,36	1 713	1 986	16 365
211	Nicht bewässerter Ackerboden Nezavlažovaná orná půda	380	16,73	48 658	1 552	590 319
221	Weinberge Vinice	1	0,04	137	2 211	1 835
222	Obstgärten und Plantagen Ovocné sady a plantáže	14	0,60	2 052	2 205	30 010
231	Wiesen und Weiden Louky a pastviny	326	14,35	120 974	2 562	835 853
242	Mosaik an Feldern, Wiesen und dauerhaften Kulturen Mozaika polí, luk a trvalých kultur	8	0,33	1 212	2 120	15 921
243	Überwiegend landwirtschaftliche Gebiete mit natürlicher Vegetation Převážně zeměd. areály s přír. veg.	239	10,53	59 343	2 495	597 453
311	Laubwälder Listnaté lesy	196	8,62	99 612	3 898	763 774
312	Nadelwälder Jehličnaté lesy	139	6,12	37 779	3 112	432 941
313	Mischwälder Smíšené lesy	295	12,96	107 945	3 270	963 800
321	Natürliche Wiesen Přirozené louky	19	0,83	7 028	2 722	51 582
324	Übergang Wald-Stauden Přechodné leso-křoviny	319	14,05	125 129	2 661	849 790
411	Sümpfe Močály	0	0,01	90	3 968	992
412	Moore Rašeliniště	11	0,50	8 284	4 200	47 754
511	Fließgewässer Vodní toky	4	0,16	864	3 471	12 704
512	Wasserflächen Vodní plochy	23	1,00	11 150	3 703	84 465
	Region Ústí gesamt Ústecký kraj celkem	2 273	100,00	649 439		5 799 049

Eine ähnliche Berechnung für die tatsächliche, langfristig (insbesondere im 20. Jahrhundert) anthropogen beeinflusste und umgewandelte Landschaft der Region Ústí im Jahr 2000 (Grundlage Corine Land Cover – CLC) ist aus Tab. 4.4.1-3 zu entnehmen. Nach der Methode EWVM (Seják et al., 2010) stellt die Landschaft der Region Ústí einen Gesamtwert an jährlichen Ökosystemdienstleistungen von 5.799,00 Milliarden CZK zur Verfügung. Das heißt, dass sie sich ähnlich wie bei den Biotopwerten auf einem Niveau von etwa 54 % ihres sukzessiv erreichbaren Maximums bewegen.

Wie wenig effektiv die gegenwärtige anthropogen überprägte Landschaft der Region aus Sicht der Nutzung der Sonnenenergie ist, kann zusammengefasst aus einer Satelliten-Wärmebilddaufnahme entnommen werden. Diese Aufnahme zeigt die unterschiedliche Temperaturverteilung sommerlicher Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Landnutzung. Am kühleren sind die natürlichen und naturnahen Waldbestände, die höchsten Temperaturen weisen Standorte des Braunkohlentagebaus, bebaute Gebiete sowie vegetationslose landwirtschaftliche Flächen auf.

Unter der Annahme, dass selbstorganisierende Sukzessionsprozesse (nach der Hackelschen Definition der Ökologie als Ökonomie der Natur) auf das Erreichen einer maximalen Effizienz hinsichtlich der Nutzung von Sonnenenergie ausgerichtet sind, muss die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass eine massivere Erneuerung der natürlichen Vegetation für eine Wiederherstellung der Ökosystemdienstleistungen, den Rückhalt des Wassers bzw. Hochwasserschutz sowie für die Regenerierung der Böden am wichtigsten und zugleich auch am billigsten ist (beispielsweise fängt ein Buchen- oder Eichenwald den Niederschlag ab und überführt ihn in das Grundwasser; Válek, 1977).

Somit ist die Wiederherstellung einer natürlichen Vegetation an allen Standorten, an denen der landwirtschaftliche oder wirtschaftliche Nutzen nahe Null bzw. sehr gering ist, in Kombination mit (in Folge durch Erosion abgetragener Nährstoffe) Nassgebieten und Teichlandschaften im Interesse einer nachhaltigen Zukunft. Dies gilt nicht nur für den Naturschutz oder die Wasserwirtschaft, sondern für all diejenigen, die den Raum nutzen und an einer Wiederherstellung einer möglichst natürlichen Landschaft, als wirksamsten und billigsten Weg in eine nachhaltige und durch das Zusammenwirken von Mensch und autotrophen Systemen geprägte Zukunft, interessiert sind.

Josef Seják

(Jan Evangelista Purkyně Universität, Ústí nad Labem)

Lenka Hájková

*(Tschechisches Hydrometeorologisches Institut,
Ústí nad Labem)*

né teploty různých podob krajinného pokryvu za letního slunečního svitu. Nejchladnější jsou přirozené a přírodě blízké lesní porosty, naopak nejvyšší teploty vykazují lokality povrchových těžeb uhlí, zastavěná území a zemědělské plochy zbavené vegetace.

Je-li samoorganizovaná sukcese (čili Hackelova definice ekologie jako ekonomiky přírody) nastavena tokem sluneční energie na dosažení maxima efektivnosti jejího využití v porostech klimaxové přirozené vegetace, potom z takového fungování autotrofních ekosystémů musíme vyvodit závěr, že pro obnovu ekosystémových služeb a udržení vody v krajině je nejdůležitější, a také nejlevnější, masivnější obnova přirozené vegetace. Je to nejlevnější cesta k retenci vody v krajině, k obnově půdy i k protipovodňové ochraně (bučina či doubrava zachytne jakékoliv srážky a převede do spodních vod; Válek, 1977).

Takže obnova přirozené vegetace na všech místech, kde agrární či jiné ekonomické užitky jsou nulové či velmi nízké, v kombinaci s mokřadními rybníky (zachycujícími erozní živiny) je to, co by měli v zájmu udržitelné budoucnosti plošně prosazovat nejen ochránci přírody či vodohospodáři, nýbrž všichni, kdo užívají území a mají zájem obnovit v co největší možné míře přirozenou krajinu jako nejúčinnější a nejlevnější cestu k udržitelné budoucnosti v podobě spolupráce lidí s autotrofními ekosystémy.

Josef Seják

(Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem)

Lenka Hájková

(Český hydrometeorologický ústav, Ústí nad Labem)

4.4.2 Wintertourismus und Klimawandel

In einer im Jahr 2008 am LfULG durchgeführten Studie wurden Auswirkungen des projizierten regionalen Klimawandels auf den Wintertourismus in allen fünf sächsischen Mittelgebirgen untersucht und Lösungsansätze zur Anpassung an eine sich verändernde Umwelt präsentiert. Aufgrund der geografischen Gegebenheiten mit Höhenlagen zumeist unter 1.000 m bilden Skilanglauf und Skiwandern den wintertouristischen Schwerpunkt in Sachsen, während ein Großteil der direkten wintertouristischen Einnahmen auf Abfahrtskigebiete zurückzuführen ist. Bereits in den vergangenen Dekaden verschlechterten sich die Bedingungen für die Ausübung von schneegebundenem Wintertourismus im Untersuchungsgebiet deutlich, wie beispielhaft in Abb. 4.4.2-1 für den Fichtelberg dargestellt. Ausgehend von einer durch Klimamodelle projizierten weiteren Erwärmung erscheint ein Wechsel von stark witterungsabhängigen Angeboten zu einem verstärkt diversifizierten touristischen Angebot daher unvermeidlich. Ziel ist es, die Wettbewerbsfähigkeit des sächsischen Wintertourismus im Vergleich zur überregionalen Konkurrenz langfristig zu erhalten und zu stärken.

Das Problembewusstsein der touristischen Basis ist eine wichtige Grundlage zur erfolgreichen Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. 29 touristische Verantwortliche sächsischer Gemeinden und 33 Vertreter von Skigebieten wurden daher anhand eines standardisierten Fragebogens zu ihrer persönlichen Wahrnehmung des Themas Klimawandel, seinen projizierten Auswirkungen auf wintertouristische Aktivitäten und zu Anpassungsvorschlägen befragt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Mehrheit der Befragten das Thema Klimawandel als wichtiges Zukunftsthema

4.4.2 Zimní turistika a klimatické změny

Ve studii zpracované v roce 2008 Saským zemským úřadem pro životní prostředí, zemědělství a geologii (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, LfULG) byly řešeny vlivy předpokládané regionální změny klimatu na zimní turistiku ve všech pěti saských středohorách a zároveň byly představeny možnosti řešení pro vhodnou adaptaci vůči měnícímu se životnímu prostředí. Z důvodů geografických poměrů jsou těžištěm zimní turistiky v Sasku běh na lyžích a zimní turistika a to především v oblastech s nadmořskou výškou pod 1 000 metrů. Naproti tomu velká část přímých příjmů zimního cestovního ruchu pochází z oblastí sjezdového lyžování. Již v předchozích dekádách se podmínky pro provozování zimních sportů vázaných na sníh v řešeném území významně zhoršovaly, jak ukazuje například obr. 1 pro lokalitu Fichtelberg. Vzhledem k dalšímu oteplení, které předpokládají klimatické modely, se jeví jako nevyhnutelné změnit nabídku cestovního ruchu dosud silně závislé na počasí směrem k nabídce více diverzifikované. Cílem je přitom zachování a posílení konkurenceschopnosti saské zimní turistiky v porovnání s nadregionální konkurencí.

Důležitým předpokladem pro úspěšnou realizaci opatření směřujících k adaptaci na změny klimatu, je samotné povědomí o existenci takového problému. Z tohoto důvodu byl mezi 29 referenty zodpovídajícími v saských obcích za cestovní ruch a mezi 33 zástupci lyžařských areálů proveden průzkum pomocí standardizovaného dotazníku, který se zabýval vnímáním tématu klimatických změn, jejich předpokládaných vlivů na aktivity v oblasti zimního cestovního ruchu a návrhů adaptačních opatření k přizpůsobení se těmto změnám. Výsledky ukazují, že většina

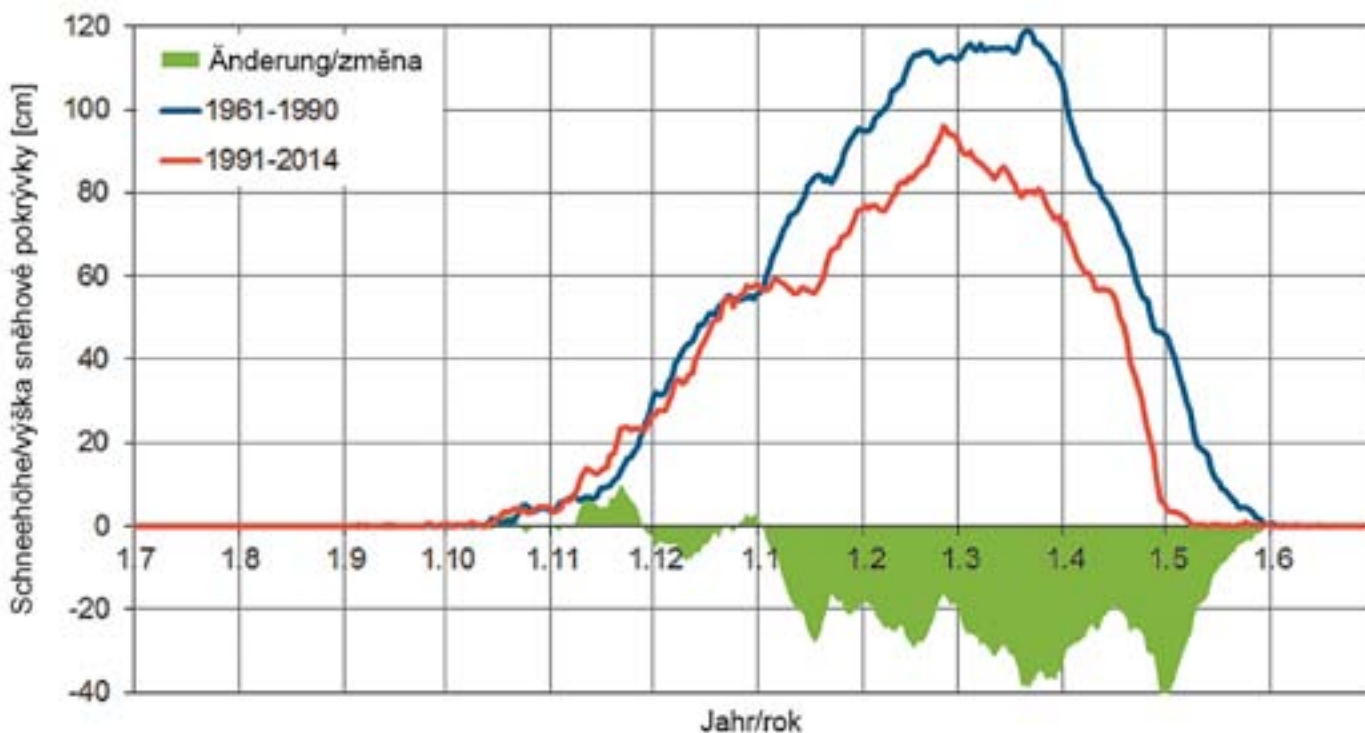


Abb. 4.4.2-1: Jahresgang der mittleren Schneehöhe und Änderungssignal auf dem Fichtelberg im Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2014

Obr. 4.4.2-1: Roční vývoj průměrné výšky sněhové pokrývky a signál její změny na vrcholu Fichtelberg v porovnání let 1961–1990 a 1991–2014.

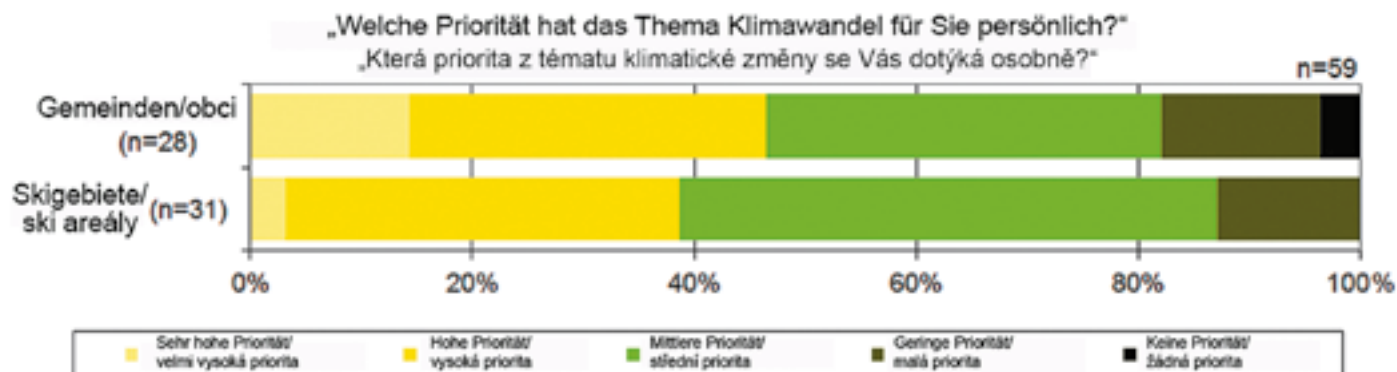


Abb. 4.4.2-2: Priorität des Themas Klimawandel für Wintersportgemeinden und Skigebiete

Obr. 4.4.2-2: Priorita tématu změny klimatu pro lyžařské areály a obce zaměřené na zimní sporty

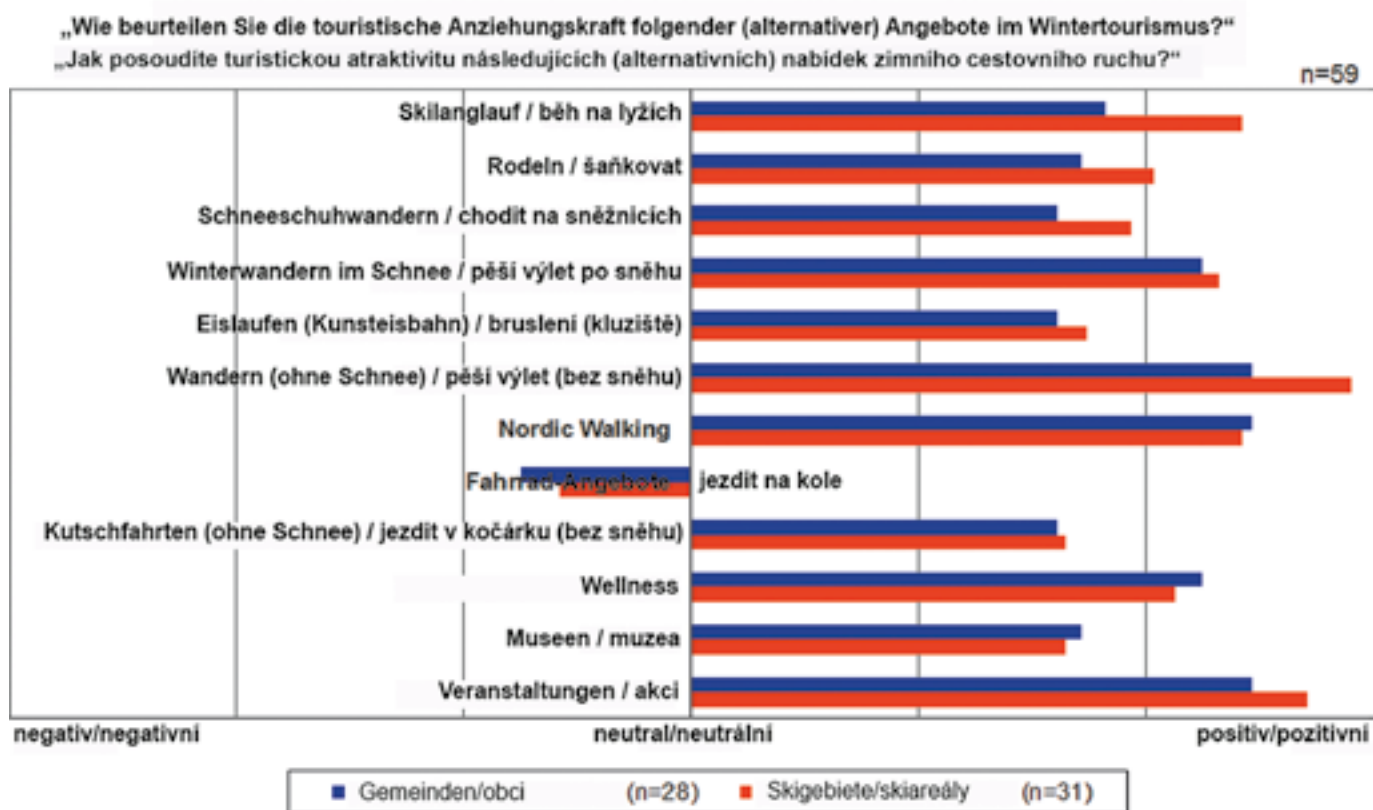


Abb. 4.4.2-3: Beurteilung alternativer Angebote im Wintertourismus

Obr. 4.4.2-3: Posouzení alternativních nabídek zimního cestovního ruchu

einordnet (Abb. 4.4.2-2). Viele der Befragten bringen es jedoch mit dem eigenen Geschäftsfeld nicht ausreichend in Zusammenhang, wodurch ein entsprechender Anpassungsdruck negiert wird. Wissenschaftliche Fakten werden mit großer Unsicherheit betrachtet, hauptsächlich verursacht durch die von Massenmedien vermittelte Scheindebatte zwischen Befürwortern und Skeptikern des anthropogenen Klimawandels.

Um die erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu fördern, müssen daher sowohl die touristische Nachfrage angeregt, als auch potentielle Anbieter ausreichend interessiert und gefördert werden. Es wurden vier mögliche Grundstrategien zum Umgang des sächsischen Wintertourismus mit den sich aus dem Klimawandel ergebenden Entwicklungen identifiziert, von denen drei den in den kommenden Dekaden entstehenden Anpassungsdruck nicht nachhaltig entspannen können:

- a) die lokale Reduktion von Treibhausgasemissionen im Tourismusbereich ist zwar sinnvoll, jedoch aufgrund ihrer Kleinräumigkeit keine Option zur Konservierung der gegenwärtigen sächsischen Klimaverhältnisse;
- b) »business as usual«-Strategien werden am langfristigen Erwärmungstrend scheitern und
- c) die alternativlose Einstellung des wintertouristischen Angebotes schwächt die lokale Wirtschaftskraft, ohne über die Veränderung touristischer Angebote Nachfrageverluste auszugleichen. Eine Diversifizierung des touristischen Angebotes ist daher alternativlos. Die Beurteilung verschiedener Maßnahmen durch die Befragten ist in Abb. 4.4.2-3 illustriert und umfasst zwei generelle Strategien:

- 1) die vorläufige Sicherung des gegenwärtigen Schneetourismus, zum Beispiel über technische Maßnahmen sowie
- 2) die gleichzeitigen Investitionen in wintertouristische Alternativen wie attraktive Allwetterangebote. Zusätzlich ist ein Ausgleich wintertouristischer Einbußen in der Zwischen- und Sommersaison anzustreben, in denen deutsche Mittelgebirge im Allgemeinen als »Gewinner« des Klimawandels gesehen werden.

*Andreas Hoy
(Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie)*

respondentů vnímá téma klimatických změn jako důležité téma budoucnosti (obr. 4.4.2-2). Mnoho respondentů však tyto změny nespojuje v dostatečné míře s vlastním oborem činnosti, což zeslabuje tlak na nutnost zavádění adaptačních opatření. Vědecká fakta jsou vnímána s velkou nejistotou, což je způsobeno především médií zprostředkovanou, a svým významem přeceňovanou debatou přívrženců a skeptiků antropogenních změn klimatu.

Na podporu úspěšného zavedení adaptačních opatření je proto nutno podnítit jak turistickou poptávku, tak zaujmout a podpořit potenciální poskytovatele služeb. V rámci zpracování výsledků průzkumu byly identifikovány čtyři možné základní strategie (přístupy) pro další vývoj zimního cestovního ruchu v Sasku. Tři z těchto přístupů ovšem dlouhodobě nemohou nijak redukovat vnější tlak na adaptaci vůči změně klimatu, který bude v příštích desetiletích sílit:

- a) lokální redukce emisí skleníkových plynů v oblasti cestovního ruchu je sice smysluplná, z důvodů malého území však nepředstavuje možnost pro zachování současných klimatických poměrů v Sasku;
- b) přístup typu »business as usual« představuje typ strategie, která z dlouhodobého hlediska ztroskotá a
- c) ukončení nabídky zimní turistiky bez další alternativy oslabí lokální ekonomiku, aniž by prostřednictvím změny turistické nabídky vyrovnalo ztrátu poptávky.

Adaptace v podobě diverzifikace nabídky zimního cestovního ruchu proto nemá žádnou vhodnější alternativu. Obr. 4.4.2-3 ukazuje vnímání jednotlivých možností respondenty průzkumu a zahrnuje dva obecné typy adaptačních strategií:

- 1) zajištění pokračování současné turistiky vázané na sněhovou pokrývku například pomocí technických opatření a
- 2) současné investice do alternativ v oblasti zimního cestovního ruchu v podobě atraktivních nabídek pro každé počasí.

Kromě toho je nutno usilovat o vyrovnání ekonomických ztrát v oblasti zimního cestovního ruchu v období mezi hlavními sezónami a během hlavní letní sezóny. V těchto obdobích se německá středohoří obecně považují za »vítěze« klimatických změn, neboť umožní svým návštěvníkům rekreaci v stále relativně příjemném a zdravém prostředí, zejména vezmeme-li v úvahu neustále se oteplující aglomerace velkých měst.

*Andreas Hoy
(Saský zemský úřad pro životní prostředí,
zemědělství a geologii)*



Foto: Anke Hahn

Die Elbe und das Böhmisches Mittelgebirge
Labe a České Středohoří

5 Zusammenfassung

5 Shrnutí

Im Rahmen der böhmisch-sächsischen Klimakooperation INTERKLIM konnte in den Jahren 2013 und 2014 eine grenzüberschreitende Wissens- und Informationsbasis im Bereich des regionalen Klimawandels aufgebaut werden. Neben dem Austausch und der Aufbereitung von tschechischen und deutschen Klimadaten standen die grenzüberschreitende Klimadiagnose und Klimaprojektion für die Zeiträume 1961–2010 bzw. 1961–2100 im Mittelpunkt.

Mit einer mittleren Temperaturzunahme von 0,7 °C im Zeitraum 1991–2010 gegenüber 1961–1990 sind die rezenten Klimaveränderungen im Grenzraum deutlich erkennbar. Im Zuge der globalen Entwicklung sind auch Änderungen der großräumigen Zirkulationsverhältnisse in Mitteleuropa zu erwarten bzw. bereits zu beobachten. Diese gehen mit spezifischen regionalklimatischen Auswirkungen einher. Durch die räumliche Charakterisierung und Visualisierung von Großwetterlagen in Form von Kartenmaterial ist es erstmalig gelungen, diese regionalen Spezifika für den orographisch komplex gegliederten Grenzraum darzustellen.

Im Hinblick auf die zukünftig mögliche Klimaentwicklung im 21. Jahrhundert erfolgte eine Bandbreitenabschätzung anhand unterschiedlicher Modelle und Szenarien nach aktuellem wissenschaftlichen Stand (RCP-Szenarien). Die projizierte mittlere Temperaturänderung im Grenzraum beträgt gegen Ende des Jahrhunderts je nach Modell und Szenario 1 bis 4 °C.

Mögliche Auswirkungen dieser einschneidenden klimatischen Veränderungen, gilt es anhand von Klimafolgeuntersuchungen abzuschätzen. Darauf aufbauend können geeignete Klimaanpassungsmaßnahmen entwickelt werden. Die Vernetzung regionaler Akteure ist hierbei eine entscheidende Grundlage.

Ein grenzüberschreitender Wissens- und Erfahrungsaustausch von Fachexperten kann in diesem Zusammenhang einen besonderen Beitrag leisten. In der Publikation werden wegweisende tschechische und sächsische Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Klimafolgen und Klimaanpassung vorgestellt. Die Beiträge aus den Bereichen Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Phänologie, Gesundheit, Wirtschaft und Tourismus belegen auf vielfältige Weise, dass der böhmisch-sächsische Grenzraum vor komplexen Herausforderungen steht.

V rámci česko-saské klimatické spolupráce INTERKLIM bylo možno v letech 2013 a 2014 vybudovat přeshraniční znalostní a informační základnu v oblasti regionální změny klimatu. Kromě výměny a zpracování českých a německých klimatických dat byly v popředí zájmu přeshraniční diagnózy klimatu a projekce klimatu pro období let 1961–2010, případně 1961–2100.

Změny klimatu jsou v pohraničí jasně patrné v podobě nárůstu průměrné teploty vzduchu o 0,7 °C v období let 1991–2010 oproti letům 1961–1990. V rámci globálního vývoje je možné sledovat, případně očekávat, změny ve velkoprostorové cirkulaci ve střední Evropě. Tyto změny souvisejí se specifickými vlivy regionálního klimatu. Díky zobrazení území a vizualizaci velkoplošných cirkulačních typů ve formě map se poprvé podařilo zobrazit tato regionální specifika pro orograficky různě členěné pohraničí.

S ohledem na budoucí možný vývoj klimatu v 21. století byl pomocí různých modelů a scénářů na základě aktuálního stavu poznatků (scénáře RCP) proveden odhad celé šíře možného vývoje.

V závislosti na použitém modelu a scénáři činí navýšení projektované průměrné změny teploty vzduchu v pohraničí 1 až 4 °C. Je potřeba vyhodnotit možné vlivy těchto významných klimatických změn prostřednictvím klimatologického výzkumu. Na tomto základě je pak možno vytvářet vhodná opatření pro přizpůsobení se změně klimatu. Rozhodující je přitom zapojení regionálních účastníků.

Významným příspěvkem může být v této souvislosti přeshraniční výměna znalostí a zkušeností mezi odborníky. V této publikaci jsou představeny české a saské výzkumné práce zabývající se důsledky změn klimatu a adaptací na změny klimatu. Příspěvky z oblasti zemědělství, lesního a vodního hospodářství, fenologie, zdraví, hospodářství a cestovního ruchu dokládají různými způsoby komplexní výzvy a úkoly, před kterými česko-saské pohraničí stojí.

- Arlt, G., Hennersdorf, J., Lehmann I., Thinh N.X. (2005): Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen. IÖR-Texte 147.
- Ashmore, M. (2003): Air pollution impacts on vegetation in Europe. In: Emberso, L., Ashmore, M. Murray, F. (eds.): Air pollution impacts on crops and forests. A global assessment.
- Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. M., García-Herrera, R. (2011): The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science* 332: 220–224. doi:10.1126/science.1201224.
- Barry, R. G., Perry, A. H. (1973): *Synoptic climatology: methods and applications*. Methuen & Co., London, 555 S.
- Baur, F., Hess, P., Nagel, H. (1944): *Kalender der Großwetterlagen Europas 1881–1939*. Bad Homburg v.d.H., 35 S.
- Bednářová, E., Kučera, J. (2002): Phenological observations of two spruce stands (*Picea abies*/L./Karst.) of different age in the years 1991–2000. *Ekologia (Bratislava)* 21: 98–106.
- Bednářová, E., Merklová, L. (2011): Evaluation of vegetative phenological stages in a spruce monoculture depending on parameters of the environment. *Acta univ.agric. et. silvic. Mendel. Brun.* LIX 6: 31–36.
- Bednářová, E., Slovíková, K., Truparová, S., Merklová, L. (2013): Results of a phenological study of the European larch (*Larix decidua* Mill.) growing in a mixed stand. *Acta univ.agric. et silvic. Mendel. Brun.* LXI 5: 1239–1246.
- Bernhofer, C., Matschullat, J., Bobeth, A.(Hrsg.) (2009 b): *Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden*. Publikationsreihe des BMBF geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Heft 1. Dresden.
- Blatecká, K. (2006): *Základní charakteristiky českého venkova*. Diplomová práce v oboru Regionální rozvoj a správa. Masarykova Univerzita v Brně, Ekonomicko-správní fakulta. Praha.
- Davidkovová, H., Plavcová, E., Kynčl, J., Kyselý, J. (2014): Impacts of hot and cold spells differ for acute and chronic ischaemic heart diseases. *BMC Public Health* 14: 480. doi:10.1186/1471-2458-14-480
- Dequé, M. (2007): Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, Volume 57, Issues 1–2, May 2007: 16–26.
- Dittmar, C., Eiling, W., Günthard-Goerg, M., Mayer, F.-J., Gilge, S., Winkler, P., Fricke, W. (2004): Ozonbelastung und Schadsymptome im Extremsommer 2003. *AFZ – Der Wald*, 2004: 683–685.
- ECAD (European Climate Assessment & Dataset, 2011): *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*. Project team ECA&D, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI
- Farda, A., Déqué, M., Somot, S., Horányi, A., Spiridonov, V., Tóth, H. (2010): Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Stud Geophys Geod* 54: 313–332.
- 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.
- Gabriel, K. M., Endlicher, W. R. (2011): Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution* 159: 2044–2050. doi:10.1016/j.envpol.2011.01.016.
- Gemballa, R., Schlutow, A. (2007): Überarbeitung der forstlichen Klimagliederung Sachsens. *AFZ/Der-Wald* 15: 822–826.

- Goldberg, V. (2012): Persönliche Mitteilungen.
- Gosling, S. N., Lowe, J. A., McGregor, G. R., Pelling, M., Malamud, B. D. (2009): Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of literature. *Climatic Change* 92(3–4): 299–341. doi: 10.1007/s10584-008-9441-x.
- Hacin, J. (1987): On the influence of weather factors on the yield and quality of hops. Proc. of VI Yugoslavian symposium of hop production. Žalec, Slovenia, March 1–4: 71–92.
- Häckel, H. (1993): Meteorologie. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- Hájková, L., Nekovář, J., Richterová, D. (2010): Assessment of vegetative phenological phases of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in relation to effective temperature during period of 1992–2008 in Czechia. *Folia Oecologica* 37: 152–161.
- Hájková, L., Voženílek, V., Tolasz, R. (2012): Atlas fenologických poměrů Česka, ČHMU Praha, UP Olomouc.
- Hájková, L., Voženílek, V., Tolasz, R., Kohut, M., Možný, M., Nekovář, J., Novák, M., Reitschlager, J. D., Richterová, D., Stríž, M., Vávra, A., Vondráková, A. (2012): Atlas fenologických poměrů Česka. 1. vydání nakladatelství ČHMÚ Praha/UP Olomouc.
- Hautke, P. (1979): *Brauwissenschaft* 32 (10): 288–294.
- Hess, P., Brezowsky, H. (1952): Katalog der Großwetterlagen Europas. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone* 33, 39 S.
- Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* 43: 71–75.
- Huth, R., Beck, C., Philipp, A., Demuzere, M., Ustrnul, Z., Cahynová, M., Kyselý, J., Tveito, O. E. (2008): Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications. *Ann NY Acad Sci* 1146: 105–152
- Imbery, F., Plagemann, S. (2011): Die neuen RCP-Szenarien für den 5. IPCC Sachstandsbericht. DWD-Online-Veröffentlichung. Stand 21.1.2011. www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwww/Desktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_start&T99803827171196328354269gsbDocumentPath=Content%2FOeffentlichkeit%2FKU%2FKUPK%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimaszenarien__Zukunft%2FEmissionsszenarien%2FSzenarienRCP__PDF.html
- IPCC (2014): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–32.
- IPCC (2013): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: *Klimaänderung 2013: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)*, Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 Seiten. Deutsche Übersetzung durch ProClim, Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, Bern/Bonn/Wien.
- IPCC (2001): Special Report on Emission Scenarios.
- Jones, M. E., Paine, T. D., Fenn, M. E., Poth, A. (2004): Influence of ozone and nitrogen deposition on bark beetle activity under drought conditions. *Forest Ecology and Management* 2004, 200: 67–76.

- Karnosky, D., Maňková, B., Percy, K., Dickson, R. E., Podila, G. K., Sober, J. (1999): Effect of tropospheric O₃ on trembling aspen and interaction with CO₂. *Water Air Soil Pollut.* 116: 311–322.
- Klein Tank, A.M.G., Zwiers F.W. (2009): Guidelines on: analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO-TD 1500.
- König, T. (2011): Substratfeuchte – wichtige Auswerteeinheit der Standortserkundung am Beispiel Sachsens. *Freiburger Forstliche Forschung* 88: 90–100.
- Kopp, D., Schwanecke W. (1996): Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft – Grundzüge von Verfahren und Ergebnissen der forstlichen Standortserkundung in den fünf ostdeutschen Bundesländern. Berlin.
- Kramer, K. (1996): Phenology and growth of European trees in climate change. *Wageningen*.
- Kramer, K. (2000): The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems – an overview. *International Journal of Biometeorology*. 44: 67–75.
- Kreienkamp, F., Spekat, A., Enke, W. (2013): Modellierung von Klimaprojektionen im Rahmen des Ziel3-Projekts INTERKLIM-Klimakooperation für den böhmisch-sächsischen Grenzraum. *Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Abschlußbericht*.
- Kynčl, J., Procházka, B., Goddard, N. L., Havlíčková, M., Částková, J., Otavová, M., Kříž, B. (2005): A study of excess mortality during influenza epidemics in the Czech Republic, 1982–2000. *European Journal of Epidemiology* 20(4): 365–371. doi: 10.1007/s10654-005-1067-y.
- Kyselý, J., Kříž, B. (2008): Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response? *International Journal of Biometeorology* 52(8): 733–745. doi: 10.1007/s00484-008-0166-3.
- Kyselý, J., Pokorná, L., Kynčl, J., Kříž, B. (2009): Excess cardiovascular mortality associated with cold spells in the Czech Republic. *BMC Public Health* 9. doi: 10.1186/1471-2458-9-19.
- Kyselý, J., Plavcová, E. (2012): Declining impacts of hot spells on mortality in the Czech Republic, 1986–2009: adaptation to climate change? *Climatic Change* 113(2): 437–453. doi:10.1007/s10584-011-0358-4.
- Kyselý, J., Plavcová, E., Davidková, H., Kynčl, J. (2011): Comparison of hot and cold spell effects on cardiovascular mortality in the Czech Republic in individual population groups. *Climate Research* 49: 113–129. doi:10.3354/cr01014.
- Larcher, W. (2003): *Physiological Plant Ecology*. Springer – Verlag Berlin, Heidelberg.
- LfULG (2013, Hrg.): Ereignisanalyse Hochwasser im August/September 2010 und im Januar 2011 in Sachsen, 292 S.
- LfULG (Hrsg.) (2014): *Kompendium Klima. Sachsen im Klimawandel*. Dresden.
- Ljašenko (1985): *Chmelevodstvo* 7: 31–37.
- Magadan (1999): *Proc. Scientific Comm. IHGC, Pulawy, Poland*, 81–85.
- Mannsfeld, K., Richter, H. (1995): *Naturräume in Sachsen. – Forschungen zur Deutschen Landeskunde* 238. Trier.
- Mathey, J., Rößler, S., Lehmann, I., Bräuer, A., Goldberg, V., Kurbjuhn, C., Westfeld, A. (2011): Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel – Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben »Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel«. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 111. BfN, Bonn-Bad Godesberg.
- Matzarakis, A., Mayer, H. (1996): Another Kind of Environmental Stress. *WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control*. In: *Newsletters* 18: 7–10.
- McMenamin M. A. S., McMenamin D. L. (1996): *Hypersea: Life on Land*. Columbia University Press.
- Meinel, G., Hecht, R., Herold, H. (2008): Automatische Ableitung von stadtstrukturellen Grundlagendaten und Integration in einem Geographischen Informationssystem. *Forschungen/BBR* 134. Bonn.
- Neuhäuslová, Z., Blažková, D., Grulich, V., Husová, M., Chytrý, M., Jeník, J., Jirásek, J., Kolbek, J., Kropáč, Z., Ložek, V., Moravec, J., Prach, K., Rybníček, K., Rybníčková, E., Sádlo J. (1998): *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Textová část*. Academia, Praha.
- Odum, E.P. (1971): *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia.

- Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Rauscher, S. A., Gao, X., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F. S., Sloan, L. C., Bell, J. L., Diffenbaugh, N. S., Karmacharya, J., Konaré, A., Martinez, D., da Rocha R. P., Steiner, A. L. (2007): Regional Climate Modeling for the Developing World: The ICTP RegCM3 and Reg-CNET. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 88: 1395–1409. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-88-9-1395>.
- Park (1988): *Korean J. Crop Sci.* 33(4): 323–328.
- Percy, K. E., Awmack, C. S., Lindroth, r. L., Kubiske, M. E. P. (2002): Altered performance of forest pests under CO₂ and O₃ enriched atmosphere. *Nature* 420: 403–407.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V. Y., Lorius, C., Pepin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M. (1999): Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429–436.
- Pretel, J. (ed.) (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Ministerstvo životního prostředí. Praha.
- Renger, M., Bohne, K., Facklam, M., Harrach, T., Riek, W., Schäfer, G., Wessolek, Zacharias, S. (2009): Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe »Kennwerte des Bodengefüges2 zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte.« IN: Wessolek, G., Kaupenjohann, Renger, M. (Hrsg.): *Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis. Bodenökologie und Boden-genese* 40: 5–51.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, Eduardo, Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J. F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., van Ypersele, J. P., Zurek, M. (2008): *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.
- Schlutow, A., Gemballa, R. (2008): Sachsens Leitwaldgesellschaften, Anpassung an den prognostizierten Klimawandel. *AFZ-Der Wald* 1: S.28–31
- Schneider E. D., Sagan D. (2005): *Into the Cool: Energy flow, thermodynamics, and life.* The University of Chicago Press.
- Schneider, P., Schmitt, A. (2014): Berechnung und Visualisierung flächenhafter Rasterdaten für Klimaelemente und –größen sowie deren statistische Analyse für den sächsisch-böhmischen Grenzraum im Rahmen des Ziel3-Projekts INTERKLIM für den Zeitraum 1961 bis 2010 et al. 2014. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Abschlußbericht.
- Schwanecke, W. (1993): *Merkmalstabellen für Haupt- und Lokalbodenformen der forstlichen Standortserkundung (Bodenformen-katalog).* Staatsbetrieb Sachsenforst Graupa.
- Seják, J. (2008): *Analýza dlhodobých antropických vlivů v modelovém území Podkrušnohoří (Analysis of longterm anthropic impacts in modelled region of Podkrušnohoří).* *Studia Oecologica*, 1: 28–34.
- Seják, J. (2008): *Dopady přechodu k tržnímu ekonomickému systému na změny pokryvu Podkrušnohoří (Impacts of transition toward market economic system on land use changes in Podkrušnohoří).* *Studia Oecologica* 1: 67–72.
- Škvareninová, J. (2012): *Fenológia rastlin v meniacich sa podmienkach prostredia. Monografia. Technická Univerzita vo Zvolene. Fakulta ekológie a environmentalistiky.*
- Škvareninová, J. (2013): *Vplyv klimatických podmienok na fenologickú odozvu ekosystemov. Monografia. Technická Univerzita vo Zvolene. Fakulta ekológie a environmentalistiky.*
- Smith (1969): *Annual Report for 1986. Department of Hop Research.* Wye College: 47–60.
- SMUL (Hrsg.) (2008): *Sachsen im Klimawandel. Eine Analyse.* Dresden.
- Spekat, A., Miketta, W., Kreienkamp, F., Enke, W. (2013): *KLIWETT – Klimawandel und Wetterlagen Endbericht Phase II. CEC-Potsdam. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.*
- Spekat, A., Enke, W., Kreienkamp, F. (2007): *Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM 5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Forschungsbericht. Umweltbundesamt, FKZ 204 41 138.*
- Spiezia V (2003): *Measuring regional economies. Statistics Brief OECD, No. 6, October 2003. www.oecd.org/dataoecd/2/15/15918996.pdf. Accessed 21 September 2012.*

- Šrámek, V., Novotný, R., Uhlířová, H., Bednářová, E., Hunová, I. (2007): Vliv ouonu na lesní porosty- mechanismus působení – vliv na dřeviny, ukazatele poškození. Zprávy lesnického výzkumu, sv. 52/2: 138–134.
- Štěpánek, P., Zahradníček, P., Skalák, P. (2009): Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. *Adv. Sci. Res.*, 3, 23–26, doi:10.5194/asr-3-23-2009.
- Svernsmark, H. (2007): Cosmoclimateology: A New Theory Emerges. *Astronomy & Geophysics* 48 (1).
- Thomsom, F. C., Neve, R. A. (1972): *J. Inst. Brew.* 78: 156–161.
- Tolasz, R. (2007): Atlas podnebi Česka [kartograficky dokument]. Český hydrometeorologický ústav. Univerzita Palackého v Olomouci. 1. Vyd, Praha.
- Uhlířová, H., Kapitola, P. (2004): Poškození lesních dřevin. Lesnická práce, s.r.o. 2004. Nakladatelství a vydavatelství Kostelec nad Černými lesy.
- Urban, A., Kyselý, J. (2014): Comparison of UTCI with other thermal indices in the assessment of heat and cold effects on cardiovascular mortality in the Czech Republic. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 11: 952–967. doi:10.3390/ijerph110100952.
- Válek, Z. (1977): Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel, SZN Praha.
- Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J. I. (2010): A multiscalar drought index sensitive to global warming: Standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *AMS Journal online* 23/7.
- Wende, W., Rößler, S., Krüger, T. (Hrsg.) (2014): Grundlagen für eine klimawandelangepasste Stadt- und Freiraumplanung, REGKLAM Publikationsreihe. Heft 6. Berlin.
- Werner, P. C., Gerstengarbe, F. W. (2010): Katalog der Großwetterlagen Europas. 7. Auflage, PIK Report 119, 140 S.
- www.rekis.org (Sächsisches Regionales Klimainformationssystem ReKIS)
- Yarnal B. (1993): Synoptic climatology in environmental analysis. A primer. Belhaven Press, London, 195 S.
- Zattler, F., Jehl, J. (1962): *Hopfen-Rundschau*, 13/5: 64–74.
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kotaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T. H. , Albert, P., Semawi, M., Karam, M., Halal Said Al-Shabibi, M., Al-Oulan, Z., Zafari, T., Khelet, I. A. D., Hamoud, S., Sagir, r., Demircan, M., Eken, Adigzel, M., Alexander, L., Peterson, T. C., Wallis, T. (2005): Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research* 110: D22104. doi:10.1029/2005JD006181, 2005.

Herausgeber:

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

Redaktion:

Nils Feske, Anke Hahn, Lenka Hájková, Andreas Hoy, Lars Schöder,
Petr Skalák, Petr Štěpánek

Autoren:

Emilie Bednářová, Anna-Katharina Böhm, Nils Feske, Rainer Gemballa,
Anke Hahn, Lenka Hájková, Martin Hanel, Andreas Hoy, Karel Krofta,
Wilfried Kuchler, Jiří Kučera, Jan Kyselý, Siv-Ann Lippert, Rainer Petzold,
Lars Schöder, Josef Seják, Petr Skalák, Petr Štěpánek, Aleš Urban,
Adam Vizina, Pavel Zahradníček

Fotos:

Cover (im Uhrzeigersinn): Staatsbetrieb Sachsenforst,
Christoph Moormann, Lars Schöder, O. Menges

Gestaltung und Satz:

Sandstein Kommunikation GmbH

Druck:

Lausitzer Druckhaus GmbH

Redaktionsschluss:

12.12.2014

Auflage:

500 Exemplare

Bezug:

Diese Druckschrift kann
kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand
der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 2103-672
Telefax: +49 351 2103-681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis

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

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.