

KLIMASCHUTZ IN DER GRENZREGION POLEN-SACHSEN



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej
we Wrocławiu



Unterstützung der Kompetenzentwicklung von Förderregionseinrichtungen und Schaffung eines ökologischen Bewusstseins für die Gesellschaft im Bereich Klimaschutz durch Umsetzung von Maßnahmen für Klimaschutz und Biodiversität.

Die in dieser Veröffentlichung zum Ausdruck gebrachten Ansichten dürfen keinesfalls dahingehend interpretiert werden, dass sie die offizielle Meinung der Europäischen Union widerspiegeln.

Laufzeit des Projektes: 01.07.2020 – 31.12.2022

Gesamtausgaben: 768.641,45€

Förderung der Europäischen Union: EFRE – 85%

Autoren: Bartłomiej Miszuk, Iwona Lejcuś, Michał Mazurek, Iwona Zdralewicz, Tomasz Żółkiewicz, Mariusz Adynkiewicz-Piragas, Marzenna Strońska

Lead Partner



Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy

Projektpartner



FUNDACJA
NATURA POLSKA

Publikacja dofinansowana ze środków
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej
we Wrocławiu.



Poglądy autorów i treści zawarte w publikacji nie zawsze odzwierciedlają stanowisko
WFOŚiGW

KOSTENLOSES EXEMPLAR

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Stand des Wissens und gesetzliche Regelungen zum Klimaschutz	7
3. Physiographische Charakteristik der Grenzregion Polen-Sachsen	13
4. Klimapotentiale des polnisch-sächsischen Grenzgebiets	17
4.1. Charakteristische Merkmale des Klimas und seine Änderungen in der Region ...	17
4.2. Extreme Erscheinungen	24
4.3. Verwundbarkeit und Risiken der einzelnen Sektoren gegenüber dem Klimawandel	27
5. Klimaschutz im Grenzgebiet Polen-Sachsen	34
5.1. Klimaüberwachung	34
6. Zusammenfassung	41
Literatur	43

1. Einleitung

Das Klima und sein Wandel sind derzeit eines der wichtigeren Probleme der gegenwärtigen Welt. Ihr bedeutender Einfluss auf die soziale, wirtschaftliche oder Umweltsphäre wurde derart relevant, dass er weltweit zum Gegenstand politischer Debatten und jahrelang geführter nationaler und internationaler Strategien wurde. Der am meisten spürbare Klimawandel hängt vor allem mit dem Anstieg der Lufttemperatur zusammen, der auf der ganzen Welt verzeichnet wird und dessen Auswirkungen, neben den Niederschlägen, am meisten von Bedeutung sind. Auf eine deutlich steigende Tendenz bei diesem meteorologischen Einflussfaktor deuten sowohl Messdaten aus den letzten Jahrzehnten (in einigen Fällen sogar aus über zweihundert Jahren) als auch Projektionen hin, die anhand von Klimawandelszenarios erarbeitet wurden. Was die Messdaten anbelangt, so wurde ein besonders intensiver Anstieg der Lufttemperatur in den letzten Jahren zu beobachten, was in Berichten u.a. von der WMO (2019) und NOAA (2019) berücksichtigt wurde. Die im Bericht der WMO (2019) vorgestellten Analysen zeigten, dass die Jahre 2015-2018 die wärmsten in der bisherigen Geschichte der Messungen waren, bei ähnlichen 2019 zu beobachtenden Bedingungen. In dem Bericht wurde ebenfalls auf die Tatsache hingewiesen, dass sich die Mitteltemperatur aus den Jahren 2015-2019 durch eine der höchsten Werte kennzeichnete, indem sie um $1,3^{\circ}\text{C}$ höher im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter und um $0,3^{\circ}\text{C}$ höher im Vergleich zu der für die Jahre 2011-2015 verzeichneten Temperatur war. Unter Berücksichtigung des früheren Zeitraums, d.h. vom Ende des 19. Jh. bis zur Dekade 2006-2015, stieg die mittlere globale Lufttemperatur von $1,38^{\circ}\text{C}$ auf $1,68^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2019). In den vergangenen Jahren wurden besonders hohe Temperaturwerte in Europa in den Jahren 2015 und 2018 verzeichnet (Krzyżewska et al., 2016; Sulikowska et al., 2016; Hoy et al., 2017; Muthers et al. 2017; Urban et al., 2017; Wibig, 2018; Kornhuber et al., 2019; Hoy et al. 2020; Tomczyk und Bednorz, 2020). Derartige Veränderungen der thermischen Verhältnisse sind auch in der Grenzregion Polen-Sachsen bemerkbar. Ergebnisse der Analysen zum Verlauf der Lufttemperaturwerte über einen mehrjährigen Zeitraum, die im Rahmen der Umsetzung der polnisch-deutschen Projekte NEYMO, NEYMO-NW, KLAPS und TRANSGEA ausgewertet wurden, zeigten, dass die Lufttemperatur innerhalb der letzten Jahrzehnte in der betrachteten Region erheblich gestiegen ist, was sich in einer erhöhten Frequenz von Tagen mit Hitzestress-Merkmalen und einer geringeren Häufigkeit von Frosttagen widerspiegelte (Adynkiewicz-Piragas et al., 2014, 2016; Mehler et al., 2014). Gleichzeitig sind, neben den thermischen Verhältnissen, ebenso Veränderungen in Bezug auf Summen und Häufigkeit von Niederschlägen zu beobachten. In Mitteleuropa sind sie nicht so

auffällig wie im Norden und Süden des Kontinents und kennzeichnen sich üblicherweise durch eine geringfügig steigende Tendenz (Kundzewicz & Jania, 2007; IPCC, 2014; Hoy et al. 2018; EC, 2020). In Polen und Deutschland, darin auch im Grenzgebiet Polen-Sachsen sowie im benachbarten Tschechien sind die zu beobachtenden Veränderungen der Niederschläge vorwiegend durch das Fehlen an statistisch relevanten Trends gekennzeichnet (Zebisch et al. 2005; Marosz, 2011; Brázdil et al. 2012, 2022; DWD, 2020; Ziernicka-Wojtaszek & Kopcińska 2020; Łupikasza & Małarzewski, 2021), in einigen Fällen werden allerdings wesentliche Veränderungen im Bereich der Häufigkeit von starken Niederschlägen oder Trockenzeiten beobachtet bzw. vorhergesagt (Franke et al. 2004; Hänsel & Matschullat 2009; Łupikasza et al. 2011; Schwarzak et al. 2015; Rulfová et al. 2016; Somorowska 2016; Beranová, & Kyselý 2018; Szwed, 2019; Hänsel et al. 2019; Pińskwar et al. 2019; Umweltbundesamt, 2019). Im Falle der Grenzregion Polen-Sachsen erhöhte sich die Jahreshäufigkeit der starken Niederschläge (von mehr als 10 mm innerhalb von 24 Stunden) über den mehrjährigen Zeitraum 1971-2010 um etwa 2-4 Tage (Adynkiewicz-Piragas et al., 2014). Eine Besonderheit ist, dass einige Analysen auf eine unerhebliche Erhöhung der Niederschläge in der Winterzeit bei ihrer Verringerung in der Sommerzeit hindeuten (Franke et al. 2004; Anders et al. 2014; Hänsel & Matschullat 2013). Eine solche Entwicklung trägt in der Grenzregion Polen-Sachsen, einhergehend mit der Hitzestress-Erhöhung (Mehler et al. 2014; Miszuk 2021), zur Reduzierung der Klimatischen Wasserbilanz und der agrarmeteorologischen Werte bei (Adynkiewicz-Piragas et al., 2014; Mehler et al. 2014; Pluntke et al. 2016).

Die die Richtung und Intensität des weiteren Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts bestimmenden Klimaprojektionen zeigen, dass der Temperaturanstieg, dessen Dynamik von dem angenommenen Szenario abhängig ist, stets fortschreiten wird. Die Analysen der potentiellen Klimaänderungen in der Zukunft im Lichte verschiedener Klimawandelszenarios (A1B, RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) für das polnisch-deutsche Grenzgebiet zeigten, dass die Lufttemperaturwerte um die Mitte des Jahrhunderts in einigen Fällen um mehr als 1°C, und 2100 sogar um mehr als 3,5°C (Mehler et al., 2014) steigen können. Gleichzeitig wird auch die Senkung der Niederschlagssummen, insbesondere für das warme Halbjahr, prognostiziert (Adynkiewicz-Piragas et al., 2014; Pluntke et al. 2016), was in der Folge zur Beschränkung der Wasserressourcen und zur Verringerung der Stromproduktionsleistung bei zahlreichen - polnischen und deutschen - Wasserkraftwerken in der Lausitzer Neiße führen kann (Adynkiewicz-Piragas & Miszuk, 2020).

Der erfolgende Klimawandel kann schwerwiegende Konsequenzen für viele sozialwirtschaftliche und umweltmäßige Sektoren haben. Zu den wichtigsten Bereichen in der

betrachteten Region, die den Folgen des Klimawandels ausgesetzt sind, gehören: die Wasserwirtschaft, Biodiversität, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Transport, Fremdenverkehr und öffentliche Gesundheit (Adynkiewicz-Piragas & Miszuk, 2020; Miszuk et al. 2022). Dazu tragen die vorgenannte große Anzahl an Wasserkraftwerken und das Bestehen des Braunkohletagebaus sowie eine erhebliche Fläche der geschützten Gebiete, landwirtschaftlichen und Waldgebiete, eine große Touristenmenge (insbesondere in Berggebieten), der grenzüberschreitende Charakter der Region und verhältnismäßig zahlreiche Kurzentren bei. Den Klimaveränderungen, besonders den thermischen und Feuchtigkeitsbedingungen, ist speziell die Bevölkerung der Region ausgesetzt, die zu einem beträchtlichen Teil, insbesondere auf der deutschen Seite, aus Personen im Alter von über 65 Jahren besteht. In den letzten Jahren erhöhte sich deutlich die Häufigkeit von Wettersituationen, die mit dem Hitzestress verbunden sind (Mehler et al. 2014; Miszuk 2021), welche sich insbesondere auf ältere Menschen und Menschen mit Atemwegs- und Kreislauferkrankungen negativ auswirken. Es ist ebenfalls dem Problem der sog. städtischen Wärmeinsel Rechnung zu tragen, die in den größten Städten der Region vorkommt (IOŚ, 2018; REGKLAM, 2013). Diese Erscheinung hängt hauptsächlich mit einem erheblichen Anstieg der Lufttemperatur in Gebieten mit einem hohen Anteil an künstlichen Flächen zusammen, bei denen zusätzlich auch eine geringe Belüftung wegen einer dichten und zusammenhängenden Bebauung vorliegt. Ein Weg zur Einschränkung dieses Phänomens ist eine entsprechende Raumplanung, die sowohl die Bildung von Luftkorridoren als auch die Einführung der mit Vegetation und Gewässerbereichen verbundenen sog. grünen und blauen Infrastruktur ins Stadtgebiet in Rücksicht nimmt. In größeren Städten geführte Forschungen ergaben, dass die Lufttemperatur in Parks sogar um 2-3°C geringer im Vergleich zu bebauten Gebieten sein kann (Kopacz-Lembowicz et al. 1984) wie auch um 7-20% geringer im Verhältnis zu offenen Gebieten (Lewińska, 2000). Um ungefähr 25-35% höher sind in Parks ebenso die relativen Luftfeuchtigkeitswerte (Lewińska, 2000). Es ist ebenfalls zu betonen, dass Vegetationsflächen, speziell sog. Hochgrünflächen, eine wichtige Funktion bezüglich der Modifizierung der Windgeschwindigkeit und -richtung (Yoshino, 1975; Lewińska 2000), des Wasserkreislaufs in der Natur (Bartnicka & Ullman, 2009) und der Lärmreduktion (Łukaszewicz & Łukaszewicz, 2006) erfüllen können. Ein positiver Einfluss auf den Wasserrückhalt sowie auf das lokale Klima, insbesondere vor dem Hintergrund der thermischen und Feuchtigkeitsbedingungen, ist ebenfalls in Bezug auf Gewässer zu beobachten (Januchta-Szostak, 2020).

Der Zweck der vorliegenden Abhandlung ist in Anbetracht der oben dargelegten Fragen die Beurteilung der Möglichkeiten zum Klimaschutz in der Grenzregion Polen-Sachsen, unter

Berücksichtigung des bisherigen Wissensstandes, sowohl zum Klimawandel in der Region und seinen Auswirkungen auf die sozial-wirtschaftliche und Umweltsphäre als auch zu gesetzlichen Gegebenheiten in Zusammenhang mit den Klimafragen. In der Abhandlung wurden die wichtigsten Ergebnisse des Projektes WIKT dargelegt, betreffend das Auftreten von extremen Wettererscheinungen in der Region, Probleme mit dem Wasserrückhalt sowie die Aspekte der Biodiversität und der hydromorphologischen Bewertung der Fließgewässer. Aufgrund der erhaltenen Untersuchungsergebnisse wurden auf das Klimaschutzproblem in der Grenzregion Polen-Sachsen ausgerichtete Vorschläge zu Anpassungsmaßnahmen erarbeitet. Die in der Abhandlung enthaltenen Informationen können bei der Bearbeitung von strategischen Dokumenten der Gemeinden und bei planerischen Maßnahmen ausgenutzt werden, sie können auch als Lehrmaterial für Schulen, Einrichtungen und Bewohner der Region dienen.

2. Stand des Wissens und gesetzliche Regelungen zum Klimaschutz

Das Klima ist in den vergangenen Jahren eine der wichtigeren Angelegenheiten, die in gesetzlichen und strategischen Dokumenten berücksichtigt werden. Seine wachsende Bedeutung ergibt sich vornehmlich aus den erfolgenden Änderungen und ihren Auswirkungen auf die sozialen, wirtschaftlichen und Umweltsphären. Aufgrund des nicht unerheblichen Einflusses des Klimas auf das menschliche Leben kann der Klimaschutz als eines der wichtigsten Menschenrechte eingestuft werden (Stoczkiewicz, 2021). Heutzutage beinhalten die meisten bearbeiteten Dokumente, angefangen von großen internationalen Strategien bis hin zu lokalen Gemeindeentwicklungsplänen, eine Beschreibung des Klimawandelproblems. Zu den wichtigsten Dokumenten, welche den Inhalt der Bestimmungen der Strategien, Empfehlungen, Gesetzen oder Verordnungen determinieren, gehören zweifellos Berichte des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), die et al. über die Richtungen und Intensität der Klimaänderungen, ihre künftigen Ablaufszenarios, potentielle Folgen dieser Änderungen für einzelne Sektoren in verschiedenen Regionen der Welt informieren und den Umfang von Maßnahmen bestimmen, die zur Verbesserung des Klimazustands auf der Erde beitragen können. Die Ergebnisse der genannten Berichte waren eine der grundlegenden Kriterien, an Hand von denen die Inhalte der internationalen Abkommen erarbeitet wurden, welche die Unterzeichner zur Vornahme bestimmter Maßnahmen für die Verhinderung des Klimawandels und Minimierung seiner Folgen verpflichten.

Es sei angemerkt, dass das Klimaschutzrecht auch Klimawandelrecht oder Klimarecht genannt wird. Dieses Recht wird „von oben nach unten“ gesetzt, vom internationalen Recht, also dem Klimaabkommen, über EU-Regelungen bis hin zu nationalen Regelungen. Es spricht

Fragen in Zusammenhang mit dem Umweltschutzrecht sowie den Zweigen des Verwaltungs-, Wirtschafts- und Finanzrechts an. Darin werden auch Mittel sonstiger Bereiche des Umweltschutzrechts wie Naturschutzrecht oder Geologie- und Bergrecht genutzt (Ciechanowicz-McLean, 2017).

International geltende gesetzliche Regelungen können in drei Gruppen unterteilt werden (Wilk & Borek, 2021). Die erste bezieht sich auf Angelegenheiten in Zusammenhang mit der Verschmutzung der Atmosphäre, die zweite Gruppe ist mit Abkommen verbunden, welche die Reaktion der internationalen Gemeinschaften auf Klimaveränderungen bestimmen, die dritte Gruppe umfasst hingegen die drei miteinander verbundenen, im Rahmen der UNO erarbeiteten Abkommen betreffend die Problematik der Verhinderung des Klimawandels und Minimierung seiner Folgen. Dies sind folgende Abkommen:

- UN-Rahmenkonvention zum Klimawandel von 1992,
- Protokoll von Kyoto von 1997,
- Pariser Abkommen von 2016.

Zu den wichtigsten von der Rahmenkonvention genannten Zielen, die zugleich den Umfang anderer internationaler und nationaler gesetzlicher Regelungen bestimmen, kann die Notwendigkeit zur Reduzierung der Konzentration der Treibhausgase zu einem Wert, der keine Bedrohung für Klimabedingungen darstellen würde, gezählt werden. Die Rahmenkonvention setzt voraus, dass unter Klimaschutz das Klimasystem der Erde steht, das sich aus: der Atmosphäre, Biosphäre, Geosphäre und Hydrosphäre zusammensetzt. Beim Protokoll von Kyoto, das eine Ergänzung der Rahmenkonvention darstellt, kommt diesem ein engerer Anwendungsbereich zu – es legt den Fokus vor allem auf die Reduktionsthematik, es beinhaltet deutliche, diese Richtung verfolgende Ziele und definiert ausdrücklich die Arten der Treibhausgase (Marciniak, 2018). Seine Unterzeichner verpflichteten sich zu einer beträchtlichen Reduktion der Treibhausgasemission. Es wurde auch ein System des „Emissionshandels“ zwischen einzelnen Staaten festgesetzt. Das Pariser Abkommen stellt ebenfalls eine Ergänzung zu den Inhalten der Rahmenkonvention dar und gemäß den IPCC-Berichten verweist es auf die notwendige Beschränkung des Anstiegs der globalen mittleren Lufttemperatur auf weniger als 2°C im Verhältnis zum vorindustriellen Zeitalter oder gar auf das Unterbleiben von Bemühungen um eine noch größere Beschränkung dieses Anstiegs auf ein Niveau von 1,5°C. Das Pariser Abkommen setzt auch die Notwendigkeit zur Verhinderung des Klimawandels, Anpassung an die erfolgenden Veränderungen und Minimierung ihrer Folgen voraus sowie verweist auf die Notwendigkeit, die finanziellen Fragen mit dem

Klimaaspekt zu verbinden. Es sieht ebenfalls eine notwendige Einführung von Marktmechanismen, Überwachungssystemen wie auch die Implementierung von Unterstützungsmechanismen – insbesondere für Entwicklungsländer vor. Gleichzeitig wendet sich das Pariser Abkommen von der früher vorausgesetzten Unterscheidung zwischen Verpflichtungen der Industriestaaten und der Entwicklungsländer ab (Marciniak, 2018). Im Rahmen des Abkommens wird eine globale Maßnahmenübersicht alle 5 Jahre vorgesehen, wobei die erste 2023 stattfinden soll. Ihr Zweck ist, die Anpassungsbemühungen der Entwicklungsländer anzuerkennen, die Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen zu stärken, die Angemessenheit und Wirksamkeit der Anpassung zu bewerten sowie den allgemeinen Fortschritt bei der Umsetzung des globalen Anpassungsziels zu beurteilen (Ciechanowicz-McLean, 2017).

Europaweit wurde die Problematik des Klimawandels seit Anfang der 70-er Jahre merkbar, als Berichte aufkamen, die zur Vereinheitlichung des gesamten Umweltrechts aufforderten. Nach der Stockholmer Konferenz, auf der man über die Konsolidierung der Umweltschutzpolitik entschieden hat, entstand 1973 die Europa-Charta zum Umweltschutz, es wurde auch das I. Umweltschutzprogramm aufgelegt, das die einschlägige EWG-Politik vereinheitlichte. In Zusammenhang mit dem Inhalt des Kyoto-Protokolls veröffentlichte die Europäische Kommission im Jahr 2000 das Europäische Klimawandel-Programm (ECCP), das politische Mittel und eine langfristige Strategie zur Treibhausgasreduktion umfasst. Im Grünbuch von 2002 stellte wiederum die Europäische Kommission ihren Vorschlag zu einem System des Emissionshandels innerhalb der Europäischen Union vor. Darüber hinaus wurde 2007 das Energie- und Klimapakett erarbeitet, in dem das sog. „3x20“-Ziel vorausgesetzt wird, das auf die CO₂-Reduktion um 20%, Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energie um 20% und Steigerung der Energieeffizienz um 20% bis 2020 orientiert ist (Wolska, 2010). Aus diesem Grund spielen vor dem Hintergrund der Klimapolitiken die erneuerbaren Energiequellen, deren Entwicklung in bedeutender Weise zur Reduktion der Treibhausgasemission beitragen kann, eine wichtige Rolle. Derartige Fragen sind u.a. im Weißbuch: „Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen“ enthalten. Es wurde 2009 veröffentlicht und behandelte das Thema der Stärkung der Anpassungsfähigkeiten der EU in Hinsicht auf den Klimawandel. Seit 2018 gilt die zweite Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II), welche die Reduktion der CO₂-Emission um 40% im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990 voraussetzt. Im April 2021 wurde eine Vorvereinbarung zum Europäischen Klimarecht in Form einer neuen Regelung ausgehandelt, in der die Reduktion der Treibhausgasemission um 55% bis 2030 gegenüber dem Jahr 1990 vorausgesetzt wird (Gottlieb, 2021). Dieser Akt, der sich durch seine

Formel auf eine Reihe von gesetzlichen Regelungen und EU-Politiken bezieht, kann als ein komplexes, auf den wirtschaftlichen Wandel der Europäischen Union, dessen Ziel die CO₂-Neutralität der Wirtschaft ist, orientiertes Rechtsinstrument wahrgenommen werden (Przyborowicz, 2021). Die Klimaschutzfragen sind ebenfalls im sog. Europäischen Grünen Deal enthalten, bei dem eines der 2019 veröffentlichten Hauptziele ist, bis Mitte des laufenden Jahrhunderts die Klimaneutralität in Europa zu erzielen.

Polen ist Unterzeichner der drei Hauptverträge, d.h. der Rahmenkonvention, des Protokolls von Kyoto und des Pariser Abkommens. Mit dem EU-Beitritt 2004 stiegen die Anforderungen bezüglich der gesetzlichen Regelung der Fragen in Zusammenhang mit der Emission und Klimaschutz. 2016 sank die Emission der Treibhausgase in Polen gegenüber dem Ende der 80-er Jahren um über 30% - in diesem Falle wurden somit die im Kyoto-Protokoll gesetzten Ziele übertroffen (IOŚ-PIB, 2019). Einer der grundlegenden Rechtsakte, die sich auf Klimaaspekte beziehen, ist das Umweltschutzrechtsgesetz von 2001. Das Naturschutzgesetz von 2004 kann wiederum als eine Norm wahrgenommen werden, die durch auf Vegetationsflächen ausgerichtete Schutzmaßnahmen mittelbar zum Klimaschutz beiträgt (Rakoczy, 2011). Zu einem der Schlüsselrechtsakte in Zusammenhang mit dem Klimaschutz kann zweifelsohne das Gesetz über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen von 2004 gerechnet werden. Obwohl es sich nicht direkt auf das Klima bezieht, so hängt die Ansprache des Ozonproblems indirekt mit dem Einfluss des menschlichen Wirkens auf die Klimabedingungen zusammen. Durch ähnliche Bedeutung ist auch das Gesetz über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen und anderen Stoffen, ebenfalls von demselben Jahr, gekennzeichnet. Aufgrund der EU-Politik, die es bestrebt, klimaneutral zu werden, können in Polen zu Bereichen, die mit Beschränkung des Klimawandels in Zusammenhang stehen, der Energiesektor, der Transport, die Industrie und Wirtschaft gerechnet werden, und Sektoren wie u.a. die Landwirtschaft, Fischerei, Biodiversität, Touristik und Gesundheitsschutz werden dagegen der Anpassung (Adaptation) an den Klimawandel bedürfen (Senatskanzlei, 2020). Auf Grundlage des in den Jahren 2011-2013 realisierten Forschungsprojektes KLIMADA wurde der bis 2020, mit einer Perspektive bis 2030, geltende strategische Anpassungsplan für Sektoren und Bereiche entwickelt, die gegen Klimaänderungen empfindlich sind (SPA2020). In den Jahren 2017-2019 entstanden städtische Pläne für die Anpassung an den Klimawandel für 44 Städte in Polen, die meistens mehr als 100 Tsd. Einwohner zählen. Diese Pläne berücksichtigen die wichtigsten Probleme in Zusammenhang mit Klimaänderungen in urbanen Gebieten und legen Ansätze zur Minimierung ihrer Folgen dar. 2019 wurde der Beschluss über die Annahme der ökologischen

Politik des Staates 2030 – Entwicklungsstrategie im Bereich der Umwelt und Wasserwirtschaft gefasst, der das wichtigste strategische Dokument in diesem Bereich ist und dessen Ziel u.a. die Verbesserung der Umweltqualität und der ökologischen Sicherheit ist. Im selben Jahr wurde ebenfalls der Nationalplan für Energie und Klima für die Jahre 2021-2030 angenommen, in dem u.a. eine 7% Reduktion der Treibhausgasemission und die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Energieendverbrauch auf 23% vorausgesetzt wird. Das Thema der Erhöhung des Anteils der emissionsfreien Energiequellen wurde auch in der 2021 verabschiedeten Energiepolitik der Republik Polen bis 2040 (PEP2040) berücksichtigt, gemäß der vorausgesetzt wird, dass im Jahr 2040 mehr als die Hälfte aller installierten Leistungen emissionsfreie Energiequellen sind.

Im lokalen Ausmaß definiert das Umweltschutzrecht die Hauptpflichten der Einheiten der territorialen Selbstverwaltung gegenüber dem Umweltschutz. Zu den wichtigsten unter ihnen gehört die Verpflichtung der Gemeinden und Landkreise zur Ausarbeitung von gemeindlichen und Kreisprogrammen zum Umweltschutz, die vor allem die ökologischen Ziele und Prioritäten, die Ebenen der langfristigen Ziele, die Art und den Zeitplan der umweltorientierten Maßnahmen sowie die für das Erreichen der Ziele notwendigen Mittel - u.a. rechtlich-wirtschaftliche Mechanismen und Finanzmittel - bestimmen sollen (Kassenberg, 2014). Örtliche Programme knüpfen an die ökologische Politik des Staates an, die im Vierjahresmodus verabschiedet wird und auf dem Umweltschutzprogramm der Europäischen Union basiert. Die Klimaschutzproblematik ist in beinahe allen Bereichen der ökologischen Politik des Staates enthalten, die sich auf die Forstwirtschaft, Gewässerwirtschaft, Schutz der Atmosphäre sowie die ökologischen Aspekte der Entwicklung der Energiewirtschaft, Industrie, Transport und der urbanen Gebiete beziehen (Kassenberg, 2014). Auf lokaler Ebene können die Klimafragen ebenfalls in der Entwicklungsstrategie der Gemeinde/des Landkreises sowie in Raumordnungsplänen und in der Studie der Raumordnung und Raumverhältnisse erfasst sein.

In Deutschland wurden die ersten Klimaschutzmaßnahmen 1990 unternommen, als man begann, die IMA-Berichte bezüglich der CO₂-Reduktion zu erarbeiten. Bei der Bearbeitung von weiteren mit diesem Problem zusammenhängenden Dokumenten wurde u.a. die Notwendigkeit erwähnt, die Emission der Treibhausgase weiter zu reduzieren, den Anteil der von erneuerbaren Quellen hergestellten Energie zu steigern und die Qualität der Stromherstellung im Allgemeinen zu verbessern. Eines der wichtigsten deutschen Dokumente, die das Klimaschutzthema behandeln, ist das Nationale Klimaschutzprogramm von 2005, in dem Informationen über die notwendig zu ergreifenden Maßnahmen im Bereich des nationalweiten

Konzeptes fürs Anpassungsvorgehen enthalten sind. Die Konsequenz des Nationalen Klimaschutzprogramms war die Ende 2008 beschlossene Deutsche Anpassungsstrategie, DAS, die ein auf Anpassungsmaßnahmen in Zusammenhang mit dem Klimawandel orientiertes Dokument ist. Diese Strategie präsentiert die Stellungnahme der Bundesregierung zu den Regeln der Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland und stellt Richtlinien für andere Einheiten dar. Ihr Inhalt ist eine Grundlage für Risikoanalysen, die zusammen mit Einheiten auf der regionalen Ebene (Bundesländer) und sonstigen Einrichtungen wie das Umweltbundesamt durchgeführt werden. Das Ziel der Strategie ist die Minimierung der Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel und Erhöhung des Anpassungsniveaus für sozial-wirtschaftliche und umweltbezogene Sektoren. Die Strategie hebt auch die Notwendigkeit hervor, das Wissen in diesem Bereich zu erweitern, das gesellschaftliche Bewusstsein zu steigern sowie Strategien in Bezug auf Faktoren, die mit einem hohen Unsicherheitsgrad belastet sind, zu entwickeln. Potentielle Folgen des Klimawandels wurden in der Strategie für 15 Sektoren dargelegt, für welche man Empfehlungen erarbeitet und auf weitere Vorgehensweise verwiesen hat. Die auf der regionalen Ebene ergriffenen Maßnahmen sind mit bundesweiten Maßnahmen kompatibel und durchdringen sich gegenseitig. Anfangen von 2011 wurden in einzelnen Bundesländern viele Maßnahmen in Bezug auf den Klimawandel umgesetzt, u.a. die Initiierung von Pilotprojekten, Finanzierung von wissenschaftlichen Forschungen, Bildung von Strategien oder Implementierung von örtlichen Anpassungsplänen für verwundbare Sektoren (Wyligala, 2018). 2011 entstand der Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, APA I, der die Inhalte der Strategie aktualisiert. Das Ziel des Plans war die Konkretisierung der Strategie und die Bestimmung der Minimierung der Verwundbarkeit der sozial-wirtschaftlichen und umweltbezogenen Sektoren gegenüber dem Klimawandel bei gleichzeitiger Vergrößerung des Anpassungspotentials. In seiner Konzeption nahm dieser Plan auch die Einbindung in andere Strategien betreffend bspw. die Biodiversität oder Forstwirtschaft in Rücksicht. 2015 wurde ein Monitoringbericht zum Fortschritt der Arbeiten im Rahmen der DAS und APA I verfasst, in dessen Konsequenz die weitere Version des Aktionsplans (Aktionsplan II, APA II) entstand, dessen Bestimmungen die Basis für eine komplexe Verwaltung und Implementierung der geplanten Mittel waren. 2015 wurde zugleich ein Bericht zur Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel veröffentlicht, der die Entwicklung der Strategie darstellte, Prioritäten in Verbindung mit dem Klimarisiko setzte und die Methode zur Bewertung der Verwundbarkeit der Regionen und Sektoren standardisierte (Wyligala, 2018).

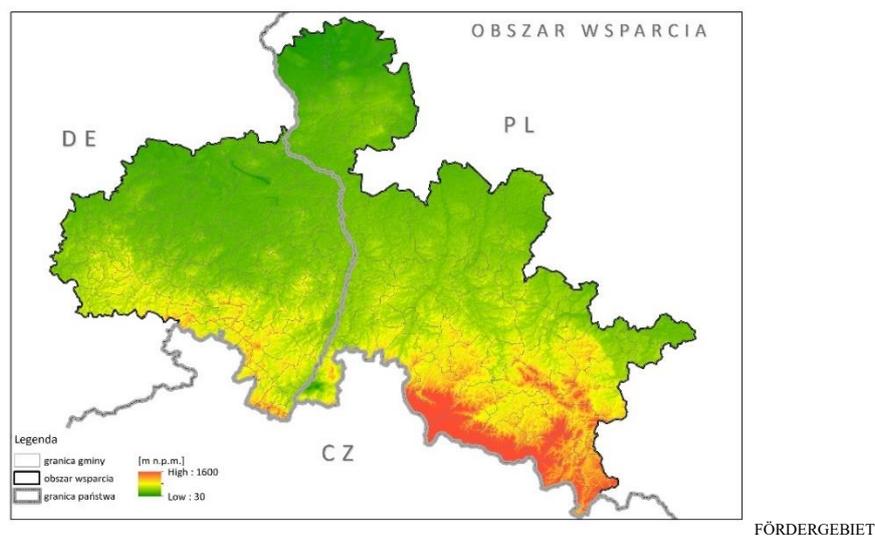
2016 wurde der langfristige Klimaschutzplan 2050 verabschiedet, dessen Voraussetzung das Erzielen der Klimaneutralität bis 2050 bei mindestens 55% Reduktion der Treibhausgasemission im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990. Im Rahmen dieses Dokumentes stellte die Bundesregierung die klimapolitischen Fragen vor, speziell in Zusammenhang mit der Treibhausgasemission, die dabei behilflich sein dürften, die im Pariser Abkommen gesetzten Ziele zu erreichen. Im Juni 2021 wurde im Rahmen des Bundes-Klimaschutzgesetzes ein Ziel vorgestellt, welches das Erzielen der Emissionsneutralität bis 2045 bei einer Reduktion gegenüber dem Jahr 1990 um mindestens 65% im Jahr 2030 und um 88% im Jahr 2040 ist. Dieses Gesetz setzt ebenfalls Reduktionsziele für einzelne Sektoren fest. Fortschritte in diesem Bereich werden vom Umweltbundesamt (UBA) überwacht. Das Gesetz legt auch auf die für die jeweiligen Sektoren verantwortlichen Minister die Pflicht auf, konkrete Maßnahmen zu ergreifen, falls das Reduktionsziel im Bereich dieser Sektoren nicht erreicht werden sollte. Eine wichtige Klimaschutzregelung ist ebenso das Aktionsprogramm Klimaschutz 2030. Es wurden darin Maßnahmen vorgestellt, die in Anlehnung an die Vorschriften des Bundes-Klimaschutzgesetzes zur Minimierung der Folgen des Klimawandels im Bereich von jedem berücksichtigten Sektor beitragen können. In diesem Dokument sind ebenfalls Informationen über die Notwendigkeit zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien, zu Investitionen in den öffentlichen Verkehr und zur Förderung der nachhaltigen Landwirtschaft enthalten (Climate Action in Figures, 2021). Die Konsequenz des Programms war die Beschließung des Kohleausstiegsgesetzes von 2020, das den Verzicht auf kohlebasierte Stromproduktion spätestens bis 2038 voraussetzt. Dieses Gesetz beinhaltet auch Bestimmungen (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) betreffend Initiativen, die auf Umwandlung von Kohlekraftwerken in umweltfreundlichere Objekte ausgerichtet sind, welche z.B. auf Verbrennung von Biomasse oder Gas basieren. Des Weiteren wurden auch sog. Immediate Action Programme 2022 erarbeitet, die zusätzliche Leitlinien für Maßnahmen im Bereich der einzelnen Sektoren und sektorenübergreifend enthalten. Für diesen Zweck wurden für den Zeitraum 2022-2025 Zusatzmittel in Höhe von 8 Mrd. € eingeräumt (Climate Action in Figures, 2021).

3. Physiographische Charakteristik der Grenzregion Polen-Sachsen

Die in dieser Arbeit betrachtete polnisch-sächsische Grenzregion umfasst die Gebiete der Landkreise Görlitz und Bautzen auf der deutschen und die der Landkreise Zgorzelec, Żary, Bolesławiec, Lubań, Lwówek, Jawor, Kamienna Góra, Złotoryja, Jelenia Góra sowie den Stadtkreis Jelenia Góra auf der polnischen Seite. Hinsichtlich der geografischen Bedingungen kennzeichnet sich die betrachtete Region weitgehend durch ihre Mannigfaltigkeit, sowohl im

Hinblick auf die absolute Höhenlage als auch auf das Geländere relief und die Gelände n u t z u n g. Diese Mannigfaltigkeit verursacht eine recht deutliche Vielfalt an klimatologischen Bedingungen, deren Merkmale in den nachfolgenden Kapiteln der Abhandlung ausführlicher dargestellt werden. Bei der absoluten Höhenlage ist der äquatorische Verlauf der einzelnen hypsometrischen Stufen zu erkennen (Rys. 1). Den nördlichen Teil bilden Tieflandgebiete mit einem verhältnismäßig wenig abwechslungsreichen Relief, die durch tiefe Höhenlage ü.d.M. gekennzeichnet sind. Der am tiefsten liegende Ort der gesamten betrachteten Region ist jedoch die Sohle des Tagebaus Turów, deren absolute Höhenlage an ihrer tiefsten Stelle 34 m ü.d.M. beträgt. Im Falle des deutschen Gebiets wurde die geringste Höhenlage in seinem nördlichen Teil verzeichnet, wo sie den Wert von 42 m ü.d.M. erreicht.

Südlich von den Tieflandgebieten erstreckt sich ein Vorbergland mit einem ziemlich mannigfaltigen Relief. Den südlichen Teil bilden dagegen die Bergzüge der Westsudeten und des Zittauer Gebirges mit ihren wichtigsten Gipfeln mit einer Höhe von 1603 m ü.d.M. (Śnieżka (Schneekoppe)) und 793 m ü.d.M. (Lauche). Nach der physiographischen Klassifizierung liegt der nördliche Teil des polnisch-sächsischen Grenzgebiets im Mitteleuropäischen Tiefland, das Vorbergland und die Gebirge sind dagegen ein Teil des Böhmisches Massivs.

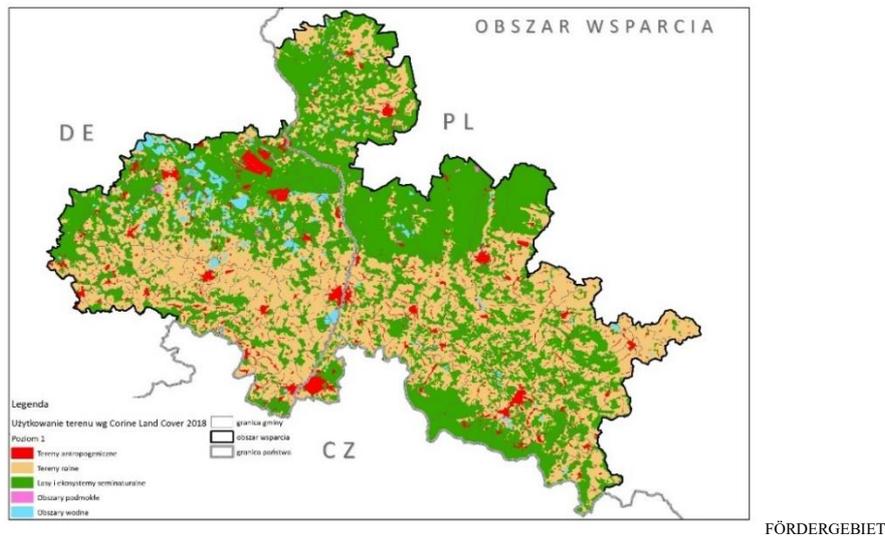


Legende
 Gemeindegrenze [m ü.d.M.]
 Fördergebiet
 Staatsgrenze

Abb. 1. Geländere relief in der Grenzregion Polen-Sachsen (eigene Erarbeitung)

In Hinsicht auf die Gelände n u t z u n g dominieren im nördlichen Tieflandteil der Region Wälder mit einem recht erheblichen Anteil von Nadelwäldern (besonders im polnischen Teil). In Gebieten, die in einer Höhe von bis zu 150 m ü.d.M. gelegen sind, bedecken die Wälder mehr als die Hälfte der Gesamtfläche, fast 70% davon sind Nadelwälder. In höher gelegenen

Gebieten, einschließlich des Vorberglands, ist der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzflächen deutlich höher (Abb. 2). Unter Berücksichtigung der Stufen zwischen 150 und 300 m ü.d.M. beträgt das Verhältnis der landwirtschaftlichen Flächen zur gesamten Fläche dieser Zone 52%. Im Süden der Region im Gebirge steigt wiederum der Anteil von Wäldern, insbesondere in höheren hypsometrischen Stufen. Oberhalb der Höhenlage von 600 m ü.d.M. liegt ihr Anteil bei 87%, wovon einen beachtlichen Teil Schutzgebiete darstellen.



Legende
 Geländenutzung nach Corine Land Cover 2018
 Anthropogene Gebiete
 Landwirtschaftliche Gebiete
 Seminatürliche Wälder und Ökosysteme
 Feuchtgebiete
 Gewässerbereiche

Gemeindegrenze
 Fördergebiet
 Staatsgrenze

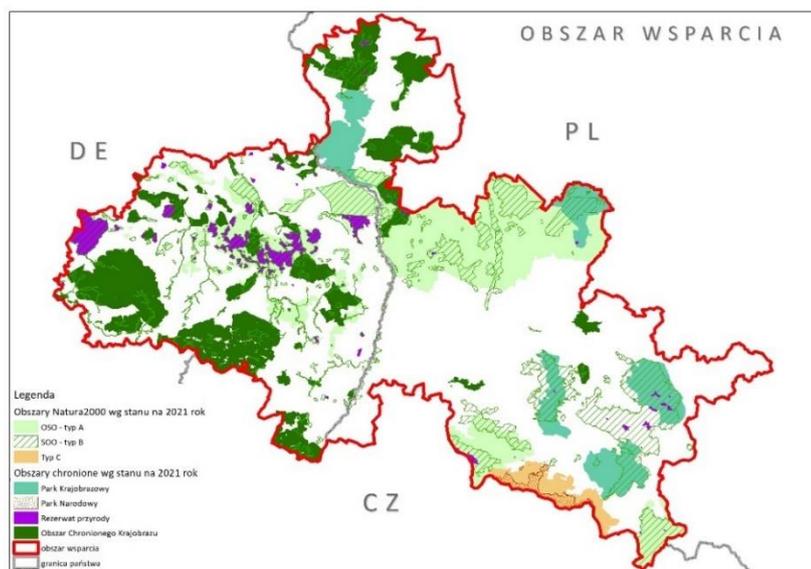
Abb. 2. Geländenutzung in der Grenzregion Polen-Sachsen (eigene Erarbeitung)

Das Fördergebiet umfasst Gelände, die durch einen großen Naturreichtum gekennzeichnet sind, und zwar sowohl aus faunistischer als auch floristischer Sicht. Viele von den im Fördergebiet in den Bestand aufgenommenen Arten und Lebensräumen stehen unter Schutz/sind bedroht. Davon, wie diese Gebiete im Hinblick auf die Natur wertvoll sind, kann die Schaffung verschiedener Umweltschutzformen zeugen. Diese Formen funktionieren auf Grundlage des wissenschaftlichen Wissens und einer langjährigen Praxis des nationalen Naturschutzes. Jede Form spielt eine andere Rolle in nationalen Naturschutzsystemen und dient anderen Zielen, doch die Aufgabe der meisten von ihnen ist, eine weitverstandene Biodiversität sicherzustellen. So bestehen im Fördergebiet solche Naturschutzformen wie der Karkonoski Park Narodowy (Nationalpark Riesengebirge), Naturschutzgebiete, Landschaftsparks, Natura 2000-Gebiete, Landschaftsschutzparks, Natur- und Landschaftskomplexe und Naturdenkmäler. Auf der deutschen Seite sind zusätzlich ein Naturpark und Biosphärenreservat anzuführen.

Das absolut wichtigste Schutzgebiet in der Grenzregion Polen-Sachsen ist der Nationalpark Riesengebirge. Es deckt mit seiner Reichweite den höchsten Bergzug der Sudeten – das

Riesengebirge samt seinem Umfeld ab und stellt ein wertvolles Naturgebiet mit zahlreichen endemischen Arten und einer großen Variabilität an Vegetationsstufen dar sowie kennzeichnet sich durch das Vorkommen der alpinen Stufe in den höchsten Berggebieten. Eine besondere Beachtung verdienen die Natura 2000-Gebiete. Diese Gebiete entstehen in allen EU-Mitgliedsstaaten und bilden das Europäische ökologische Netzwerk Natura 2000. Sein Zweck ist, etwa 200 wertvollste und vom Aussterben bedrohte Naturlebensräume und über eintausend seltene und bedrohte Arten unter Schutz zu stellen. Die Einzigartigkeit dieser Naturschutzform besteht darin, dass die Mitgliedsstaaten dieses Netzwerk auf Grund von gleichen Voraussetzungen aufbauen, die in der Gesetzgebung und Richtlinien der Europäischen Union bestimmt sind, sie verwalten es unter Einsatz ähnlicher Instrumente, sorgen gemeinsam für entsprechende finanzielle Mittel und dessen Förderung.

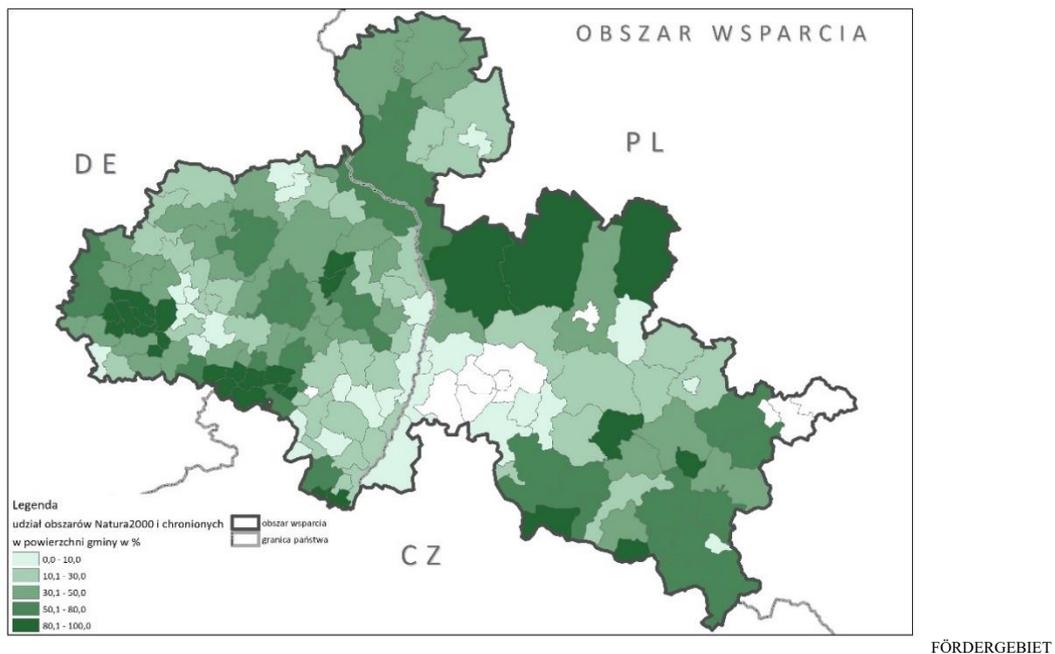
Die Natura 2000-Gebiete sind neben Naturdenkmälern die zweithäufigst verwendete Form des Naturschutzes im Fördergebiet. Im betrachteten Gebiet bestehen insgesamt 143 Natura 2000-Gebiete – 101 auf der deutschen und 42 auf der polnischen Seite. Unter ihnen gab es 40 Fauna-Flora-Habitat-Gebiete (FFH) auf der polnischen und 76 auf der deutschen Seite. EU-Vogelschutzgebiete (EU-VSG) waren hingegen durch 3 Gebiete auf der polnischen und 24 auf der deutschen Seite vertreten. Die Naturschutzformen, außer Naturdenkmälern, nehmen insgesamt eine Fläche von rund 4900 km² ein, was 43% der Fläche der innerhalb des Fördergebiets angesiedelten Gemeinden darstellt (Abb. 3-4).



Legende
Natura 2000-Gebiete Stand 2021
VSG Typ A
FFH Typ B
Typ C
Schutzgebiete Stand 2021

Landschaftspark
Nationalpark
Naturschutzgebiet
Landschaftsschutzgebiet
Fördergebiet
Staatsgrenze

Abb. 3. Schutzgebiete in der Grenzregion Polen-Sachsen (eigene Erarbeitung)



Legenda
 Anteil der Natura 2000-Gebiete und Schutzgebiete
 an der Gemeindefläche in %
 Fördergebiet
 Staatsgrenze

Abb. 4. Anteil der Schutzgebiete an einzelnen Gemeinden der Grenzregion Polen-Sachsen
 (eigene Erarbeitung)

4. Klimapotentiale des polnisch-sächsischen Grenzgebiets

4.1. Charakteristische Merkmale des Klimas und seine Änderungen in der Region

Die Klimabedingungen der Grenzregion Polen-Sachsen sind typisch für den gemäßigten Raum und weichen nicht besonders von sonstigen Gebieten in Polen und Deutschland, die in ähnlicher absoluter Höhenlage gelegen sind, ab. Nach der Köppen-Klimaklassifikation liegt das betrachtete Gebiet in der Klimazone Cfb, mit einer Temperatur des kältesten Monats von oberhalb -3°C und einer verhältnismäßig gleichmäßigen Niederschlagsverteilung im Laufe des Jahres. Hinsichtlich der Luftaustauschsituation, ähnlich wie beim sonstigen Gebiet Polens und Deutschlands, überwiegen Luftmassenadvektionen aus dem westlichen Bereich, die meistens mit den maritim-polaren Luftmassen verbunden sind.

Die Grenzregion Polen-Sachsen ist durch eine recht deutliche Variabilität der Klimabedingungen gekennzeichnet, die sich aus erheblichen Höhenlagenunterschieden zwischen einzelnen Gebieten ergibt. Den nördlichen Teil bilden Tieflandgebiete, die sich durch hohe Lufttemperaturwerte und relativ geringe Niederschlagssummen kennzeichnen. Südlich der Tieflandgebiete liegen das Sudetenvorland und das Vorbergland des Zittauer Gebirges, wo

im Vergleich zum Tiefland eine Senkung der Lufttemperatur bei gleichzeitigem Anstieg der Niederschlagssummen und -häufigkeiten zu beobachten sind. Den südlichen Regionteil stellen Berggebiete mit ihrem höchsten Bergzug des Riesengebirges im polnischen Teil des Gebiets dar. Die thermischen Bedingungen sind hier durch entschieden geringere Werte als die in den niedriger gelegenen Stufen gekennzeichnet, deutlich höher sind hingegen die Niederschlagssummen und -häufigkeiten. Vorangehende Untersuchungen für die Sudeten ergaben, dass die mittlere Jahreslufttemperatur mit der Höhe um etwa $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ sinkt (Schmuck, 1969; Głowicki et al. 2005).

In der Grenzregion und ihrem Umfeld schwankt der Mittelwert der Lufttemperatur in den meteorologischen Stationen Cottbus (69 m ü.d.M.), Görlitz (238 m ü.d.M.), Jelenia Góra (342 m ü.d.M.) und Śnieżka (Schneekoppe) (1603 m ü.d.M.), welche entsprechend den Tieflandteil, Hochlandteil, niedrigere Höhenstufen und die Gipfelzone vertreten, zwischen 1°C auf der Schneekoppe bis zu $9,6^{\circ}\text{C}$ in Cottbus. Im Falle von Görlitz und Jelenia Góra lag die mittlere Temperatur in der Zeit 1971-2019 bei $8,9^{\circ}\text{C}$ und $7,7^{\circ}\text{C}$. Ähnlich wie andere Regionen ist auch das polnisch-sächsisches Grenzgebiet dem Klimawandel ausgesetzt, insbesondere in Bezug auf die thermischen Bedingungen. Der Verlauf des mittleren, maximalen und minimalen Jahrestemperaturwertes kennzeichnet sich größtenteils durch eine statistische Signifikanz von 0,05. Die einzige Ausnahme war der Verlauf der mittleren Jahreswerte der Minimaltemperatur in Cottbus, wo eine solche Signifikanz nicht festgestellt wurde. Bei allen genannten thermischen Werten und allen betrachteten Stationen waren die Verläufe in den Jahren 1971-2019 dagegen durch steigende Tendenz gekennzeichnet (Abb. 5-7). Im Falle der Mitteltemperatur differenzierte sich das Anstiegstempo im betrachteten Zeitraum von $0,3^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt in Jelenia Góra bis hin zu $0,4^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt in Cottbus, Görlitz und auf der Śnieżka (Schneekoppe). Eine Besonderheit ist, dass die höchsten Temperaturwerte im gesamten betrachteten vieljährigen Zeitraum in den letzten Jahren verzeichnet wurden. In Cottbus und Jelenia Góra wurden die Höchstwerte ($11,4^{\circ}\text{C}$ und $9,5^{\circ}\text{C}$) 2019 festgestellt, in Görlitz in den Jahren 2018 und 2019 ($10,8^{\circ}\text{C}$), und auf der Schneekoppe ($2,7^{\circ}\text{C}$) 2014. Das kälteste Jahr in niedrigeren Höhenstufen war wiederum das Jahr 1996, mit einer Mitteltemperatur innerhalb des Bereichs von $5,6^{\circ}\text{C}$ in Jelenia Góra bis zu $7,8^{\circ}\text{C}$ in Cottbus. Auf der Schneekoppe dagegen wurde der geringste Wert ($-0,9^{\circ}\text{C}$) 1980 verzeichnet.

Ein deutlicher, statistisch signifikanter Anstieg wurde ebenfalls für den Verlauf der mittleren Jahreshöchsttemperatur (Abb. 6). Das Anstiegstempo war mit dem bei der Mitteltemperatur zu beobachtenden vergleichbar und schwankte zwischen $0,3^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt in Görlitz bis zu $0,4^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt in sonstigen Wetterstationen. In Tieflandgebieten

(Cottbus) und in niedrigeren Höhenstufen der Gebirge (Jelenia Góra) wurde die höchste mittlere Jahreshöchsttemperatur 2019 beobachtet und sie betrug entsprechend 16,6°C und 15,3°C. Im Hochlandteil (Görlitz) trat das Maximum 2018 auf und betrug 15,4°C. In den höchsten Höhenstufen (Schneekoppe) wurde der höchste Wert von bis zu 5,4°C 2015 verzeichnet. Ähnlich wie bei der Mitteltemperatur waren die tiefsten Werte in Tieflandgebieten, im Hochlandteil und in niedrigeren Höhenstufen 1996 zu beobachten, als sie in einem Bereich von 10,4 bis zu 12,0°C lagen. In der Gipfelzone (Schneekoppe) dagegen war in dieser Hinsicht das Jahr 1980 am kältesten (1,7°C).

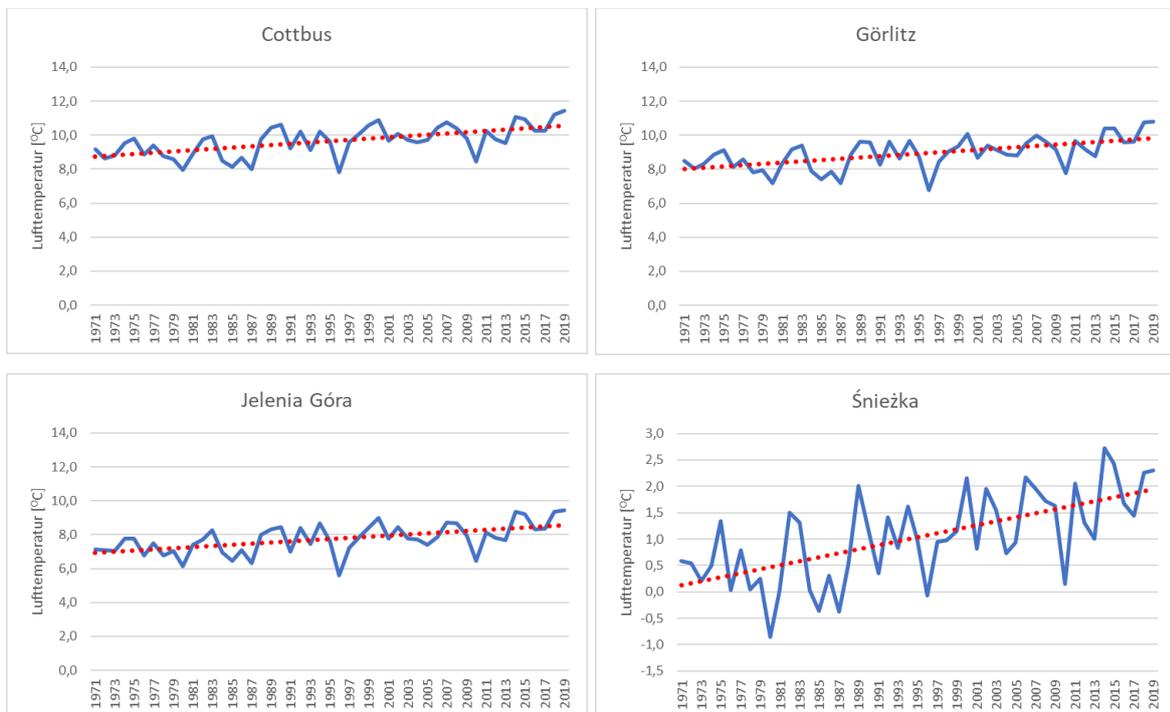


Abb. 5. Verlauf der mittleren Jahreslufttemperaturen in ausgewählten Wetterstationen in der Zeitspanne 1971-2019 (eigene Erarbeitung)

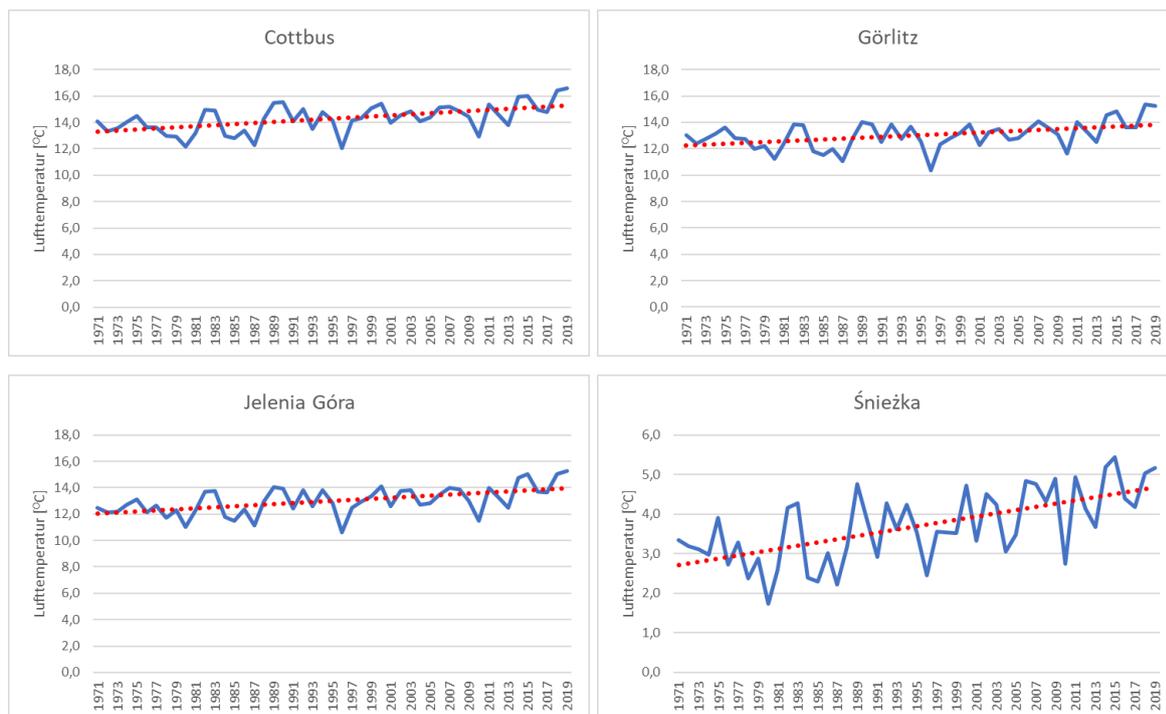


Abb. 6. Verlauf der mittleren Jahreswerte der Maximallufttemperatur in ausgewählten Wetterstationen in der Zeitspanne 1971-2019 (eigene Erarbeitung)

Der Verlauf der mittleren Minimaltemperatur in der Zeitspanne 1971-2019 war ebenfalls durch steigende Tendenz gekennzeichnet, die bei Görlitz, Jelenia Góra und der Śnieżka (Schneekoppe) statistisch signifikant war. Das Anstiegstempo gegenüber der Mittel- und Höchsttemperatur war ein wenig geringer und lag bei $0,2^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt in Görlitz und $0,3^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt im Gebirge. Die höchsten Werte von $6,6^{\circ}\text{C}$ und $6,4^{\circ}\text{C}$ wurden in Cottbus und Görlitz im Jahr 2000 gemessen, und in Jelenia Góra und auf der Śnieżka (Schneekoppe) ($4,3^{\circ}\text{C}$ und $0,7^{\circ}\text{C}$) im Jahr 2014. Die tiefsten Mittelwerte waren hingegen in den Jahren: 2010 ($3,6^{\circ}\text{C}$ in Cottbus), 1996 ($3,4^{\circ}\text{C}$ in Görlitz und $0,8^{\circ}\text{C}$ in Jelenia Góra) und 1980 ($-3,0^{\circ}\text{C}$ auf der Śnieżka (Schneekoppe)) zu beobachten.

Mehrjährige Verläufe der Summen und Häufigkeiten der Niederschläge kennzeichnen sich durch eine weniger deutliche Tendenz im Vergleich zur Lufttemperatur. Bei Jahressummen der Niederschläge trat ein statistisch signifikanter Trend lediglich auf der Śnieżka (Schneekoppe) auf. In dieser Station wurde eine sinkende Tendenz mit einem Änderungstempo von 42 mm pro Jahrzehnt verzeichnet (Abb. 8). Mittlere Jahresniederschlagssummen waren in höchstem Maße durch die absolute Höhe bedingt und differenzierten sich von 565 mm in Cottbus bis zu 651 mm in Görlitz, von 693 mm in Jelenia Góra bis zu 1126 mm auf der Śnieżka (Schneekoppe). In tiefer liegenden Regionen traten die höchsten Niederschläge 1974 (865 mm

in Cottbus) und 2010 (923 mm in Görlitz) auf, im Gebirge war das feuchteste Jahr dagegen das Jahr 1977, als die Jahressummen in Jelenia Góra und auf der Śnieżka (Schneekoppe) entsprechend die Werte 1005 mm und 1908 mm erreichten. Die trockensten Bedingungen traten hingegen in den Jahren: 1976 (335 mm in Cottbus), 2018 (292 mm in Görlitz und 458 mm in Jelenia Góra), und 2003 (756 mm auf der Śnieżka (Schneekoppe)) auf.

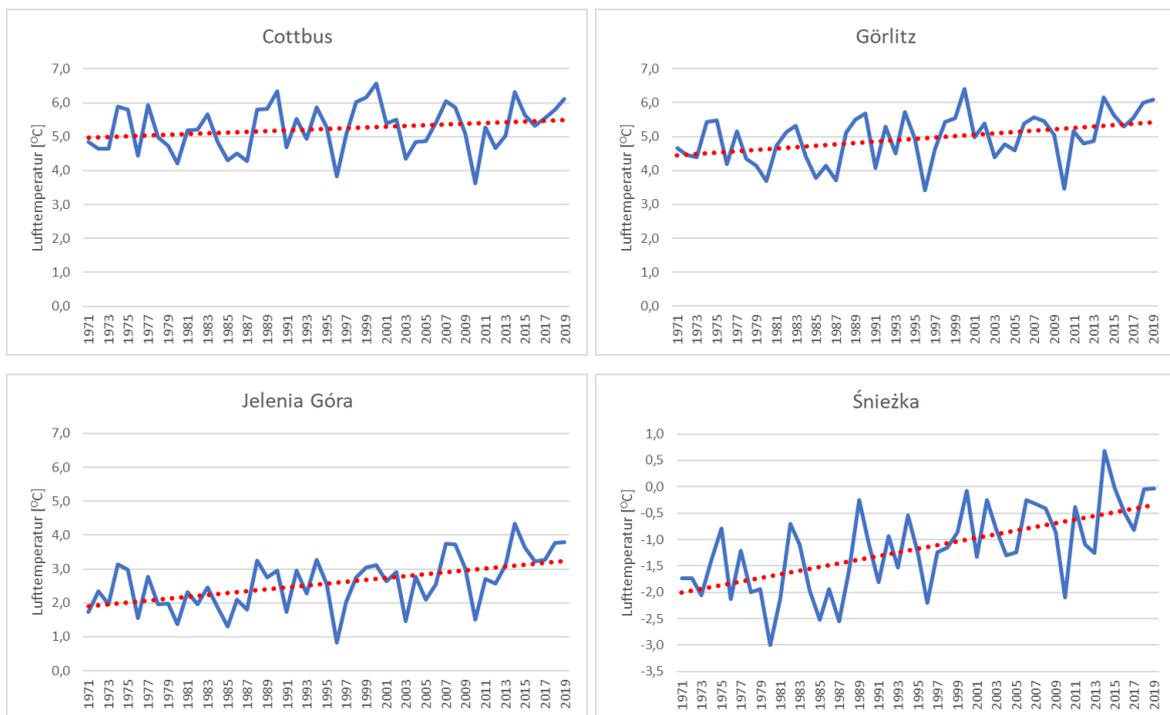


Abb. 7. Verlauf der mittleren Jahreswerte der Minimallufttemperatur in ausgewählten Wetterstationen in der Zeitspanne 1971-2019 (eigene Erarbeitung)

Hinsichtlich der Niederschlagsfrequenz wurde im betrachteten Gebiet keine einheitliche Änderungstendenz verzeichnet (Abb. 9). Potentielle Änderungen der Anzahl der Tage mit Niederschlag waren mit ihrem Rückgang mit einem Tempo von rund 1 Tag pro Jahrzehnt auf der Śnieżka (Schneekoppe) und 2 Tagen pro Jahrzehnt in Görlitz sowie mit einem in der Größenordnung von 2 Tagen liegenden Anstieg in Cottbus und Jelenia Góra verbunden. Allerdings wurde in keiner der in Rücksicht genommenen Stationen ein Trend mit Merkmalen der statistischen Signifikanz festgestellt. Die mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Niederschlag steigt mit der Höhenlage an und in den Jahren 1971-2019 lag sie im betrachteten Gebiet bei 167 Tagen in Cottbus und 175 Tagen in Görlitz bis zu 181 Tagen in Jelenia Góra und 242 Tagen auf der Śnieżka (Schneekoppe). Die maximale jährliche Niederschlagshäufigkeit in der Region variierte von 200 bis zu 277 Tagen. Bei Cottbus wurde

die Anzahl von 200 Tagen dreimal (1981, 1987, 1988) verzeichnet, in Jelenia Góra traten wiederum zweimal Jahre mit 203 Tagen mit Niederschlag auf (1985, 1988). Im Gebirge wurde die höchste Niederschlagsfrequenz von 222 Tagen in Jelenia Góra und von 277 Tagen auf der Śnieżka (Schneekoppe) im Jahr 2001 verzeichnet. Die wiederum geringste Niederschlagshäufigkeit trat in Tieflandgebieten und im Hochlandteil im Jahr 2003 auf, als in der gesamten Region intensive Dürre verzeichnet wurde. Die Anzahl der Tage mit Niederschlag betrug damals in Cottbus und Görlitz 129 und 127 Tage. In Jelenia Góra wurde das Minimum 2018 (136 Tage), und auf der Śnieżka (Schneekoppe) 1992 (205 Tage) festgestellt.

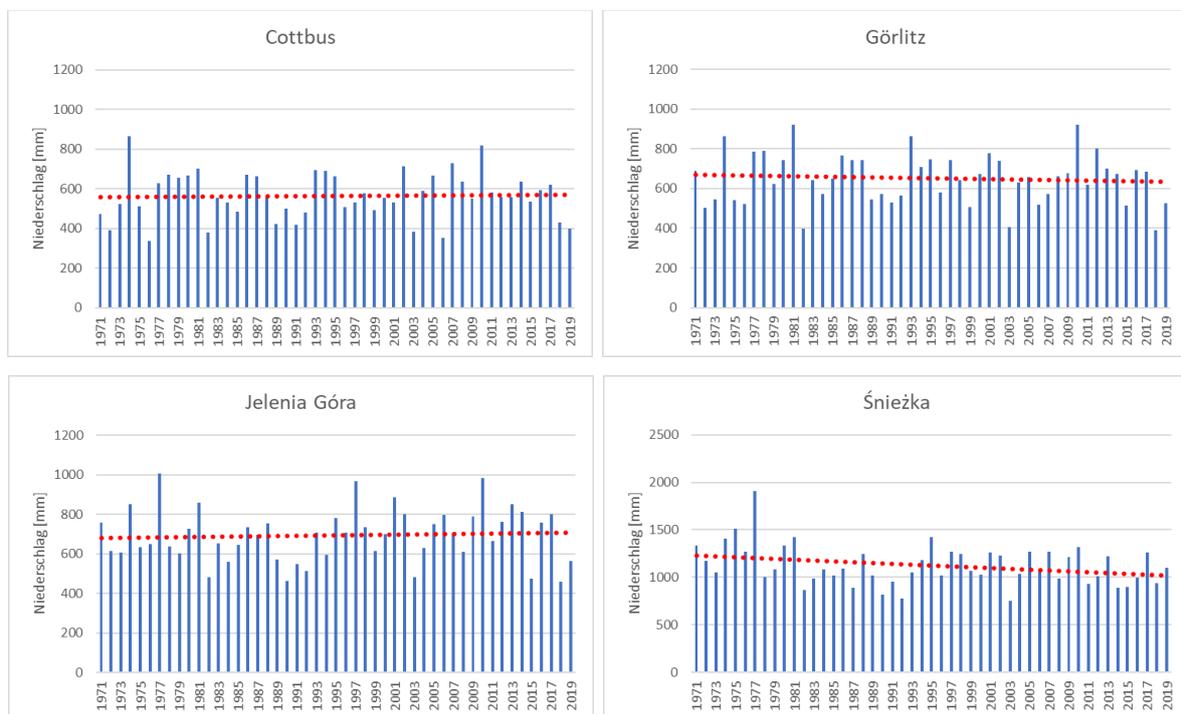


Abb. 8. Verlauf der Jahresniederschlagssummen in ausgewählten Wetterstationen in der Zeitspanne 1971-2019 (eigene Erarbeitung)

Nach manchen Untersuchungsergebnissen ist in den vergangenen Jahrzehnten eine erhöhte Häufigkeit von intensiven Niederschlägen zu beobachten. Doch die in der Grenzregion Polen-Sachsen geführten Analysen bestätigen derartige Tendenzen nicht. Bei dem mehrjährigen Verlauf der Jahreshäufigkeiten der Tage mit einem Tagesniederschlag von mindestens 10 mm hat man für keine der betrachteten Wetterstationen statistisch signifikante Trends verzeichnet (Abb. 10). Ihre Jahreshäufigkeit, ähnlich wie die Niederschlagssummen, ist von der absoluten Höhenlage abhängig und schwankt zwischen 12 Tagen in Cottbus und 16 und 17 Tagen in Görlitz und Jelenia Góra sowie 31 Tagen auf der Śnieżka (Schneekoppe). In

tieferen hypsometrischen Stufen war das Jahr 2010 durch die höchste Frequenz der Tage mit derartigen Niederschlägen gekennzeichnet, als deren Jahresanzahl 24 Tage in Cottbus und 27 Tage in Görlitz und Jelenia Góra betrug. Auf der Śnieżka (Schneekoppe) dagegen war das Maximum 1995 zu beobachten. Die wenigsten Tage mit intensivem Niederschlag traten in den Jahren 2006 (3 Tage in Cottbus und 17 Tage auf der Śnieżka (Schneekoppe)), 1982 (7 Tage in Görlitz) und 1990 (6 Tage in Jelenia Góra) auf.

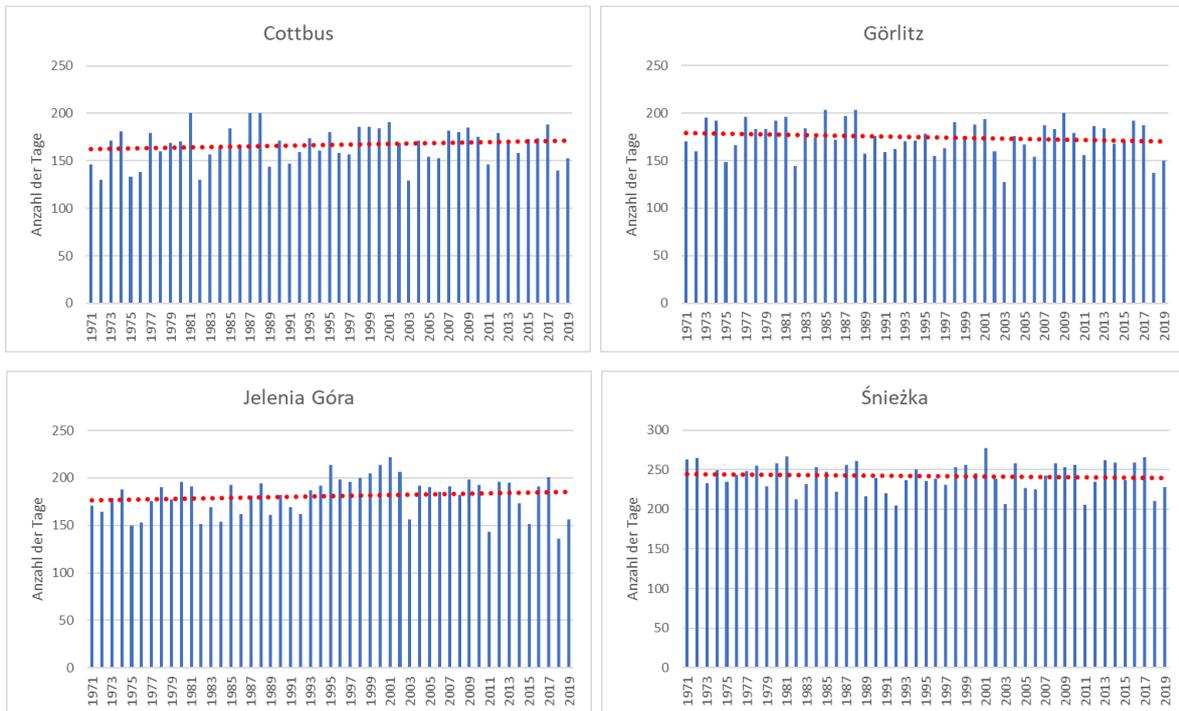


Abb. 9. Verlauf der Jahreshäufigkeit der Niederschläge (mit einer Tagessumme von mindestens 0,1 mm) in ausgewählten Wetterstationen in der Zeitspanne 1971-2019 (eigene Erarbeitung)

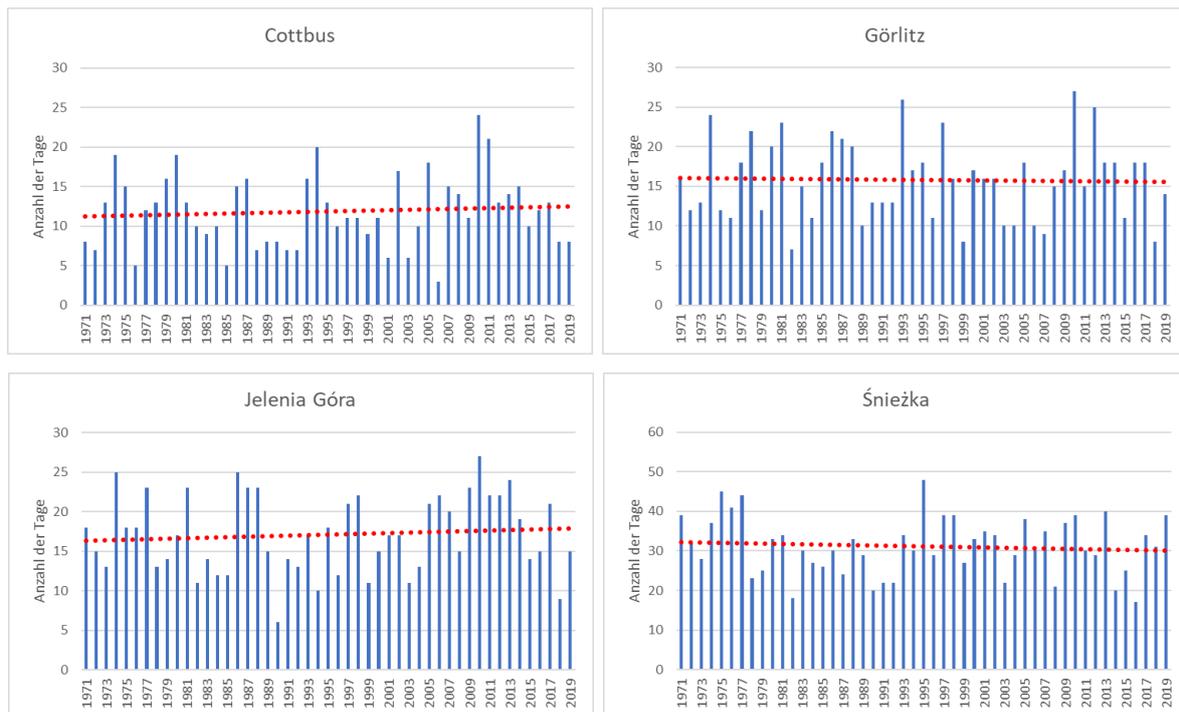


Abb. 10. Verlauf der Jahreshäufigkeit der intensiven Niederschläge (mit einer Tagessumme von mindestens 10 mm) in ausgewählten Wetterstationen in der Zeitspanne 1971-2019 (eigene Erarbeitung)

4.2. Extreme Erscheinungen

Einer der signifikantesten Aspekte, die das Funktionieren verschiedener umweltbezogener und sozioökonomischer Bereiche beeinflussen, sind die klimatischen Bedingungen und damit verbundene extreme Wettererscheinungen. Die Lage der Grenzregion Polen-Sachsen in einer gemäßigten Klimazone macht das Gebiet anfällig für Gefahren wie:

- Hitzewellen
- Kalte Wellen
- Starke Windböen
- Atmosphärische Stürme
- Starke Niederschläge und damit verbundene Überschwemmungserscheinungen
- Trockenheitsperioden

Was die Hitzewellen betrifft, so haben die im Rahmen des MPA-Projekts (Städtische Anpassungen an den Klimawandel) durchgeführten Analysen von Städten in Niederschlesien und Oppeln-Schlesien gezeigt, dass dieses Phänomen in den letzten Jahrzehnten immer häufiger auftritt. Dies gilt auch für den Index der so genannten heißen Tage, an denen die

Lufttemperatur 30°C übersteigt. Die im Rahmen des MPA-Projekts durchgeführten Analysen und die vom IMGW -PIB durchgeführten Studien über die thermischen Bedingungen im westlichen Teil der Woiwodschaft (z. B. im Rahmen des TRANSGEA-Projekts) haben gezeigt, dass die Steigerungsrate der jährlichen Anzahl heißer Tage den Wert von 2 Tagen pro Jahrzehnt überschreiten kann. In den letzten zwei Jahrzehnten waren die Sommer 2003, 2006, 2015 und 2018 besonders heiß, wobei die Zahl der heißen Tage deutlich über dem langjährigen Durchschnitt lag. Solche Wetterbedingungen haben unter anderem zu einem erheblichen Anstieg der Sterblichkeit beigetragen, insbesondere bei älteren Menschen und solchen mit Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen (Graczyk u. a. 2019). In der Grenzregion Polen-Sachsen ist dies unter anderem wegen der großen Anzahl von Kurorten wichtig, in denen sich vor allem ältere Menschen und Menschen mit verschiedenen Krankheiten aufhalten. In wirtschaftlicher Hinsicht können Hitzewellen den Energieverbrauch erhöhen (Klimaanlagen) und auch das Defizit an Wasserressourcen verschärfen. Es ist auch zu betonen, dass angesichts der Daten, die für die nächsten Jahrzehnte prognostiziert werden (Prognosen im Rahmen des KLAPS-Projekts), die Zahl der heißen Tage weiter zunehmen kann. Ein allgemeiner Anstieg der Lufttemperatur kann auch zu einer Veränderung der Artenstruktur von Flora und Fauna mit einem erheblichen Anteil an invasiven Arten führen.

Kältewellen spielen weiterhin eine wichtige Rolle bei der Beeinträchtigung verschiedener Wirtschaftssektoren. Sie können sich nachteilig auf den Verkehr und die Gesundheit auswirken oder die Kosten für die Raumheizung erhöhen. Die vom IMGW-PIB durchgeführten Analysen haben jedoch einen rückläufigen Trend bei den mit diesem Phänomen verbundenen Indikatoren ergeben. Auch die Klimaprognosen deuten auf einen weiteren Rückgang der von Kältewellenhäufigkeit hin.

Wind ist ein Phänomen, das von allen meteorologischen Phänomenen die größten wirtschaftlichen Verluste verursacht und auch eine Bedrohung für die Gesundheit und das Leben der Bewohner darstellt. In diesem Jahrhundert sind im Grenzgebiet Polen-Sachsen immer wieder Winde aufgetreten, deren Böen die Kriterien eines Orkans erreichten. Der extremste Fall war der Orkan Kyrill, der im Januar 2007 beobachtet wurde. Zu dieser Zeit erreichten die Windgeschwindigkeiten im Tiefland der Region in Böen bis zu 40 m/s. In den höchsten Teilen des Riesengebirges waren die Windgeschwindigkeiten zeitweise höher als 55 m/s. In den letzten Jahren haben Orkanböen beispielsweise zahlreiche Sachschäden verursacht. Es waren u.a. Orkane: Xavier (5.-6.X.2017), Frederick (18.I.2018), Gregory (29.X.2019), sowie Dudley und Eunice (Februar 2022).

Starke Winde gehen oft mit Gewitterphänomenen einher, bei denen manchmal auch Hagelstürme zu beobachten sind. Die im Rahmen der Projekte TRANSGEA und WIKT durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Häufigkeit von Gewittererscheinungen in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen hat. Im Tiefland der Region wird der Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Anzahl von Gewittertagen zwischen 1971 und 2019 auf einen Tag alle sechs Jahre geschätzt. Gewitter und die mit ihnen verbundenen starken Windböen haben oft zu schweren Sachschäden und sogar zum Verlust von Menschenleben beigetragen. Ein Beispiel dafür sind die extremen Ereignisse vom 23. Juli 2009 in und um Legnica.

Starke Regenfälle und die dadurch verursachten Überschwemmungen gehören zu den wichtigsten Extremereignissen in der Region. In Polen wurden während der Überschwemmungen von 1997 vor allem in den Gebirgsregionen Rekordniederschlagsmengen über einen Zeitraum von 24 Stunden und mehreren Tagen beobachtet (Dubicki u. a. 1999). In Deutschland hingegen war eine der größten Katastrophen, insbesondere in Sachsen, das Hochwasser im Sommer 2002, das mit dem hohen Wasserstand der Elbe zusammenhing. Neben den oben erwähnten Flussüberschwemmungen sind Sturzfluten aufgrund ihrer Plötzlichkeit ein sehr wichtiges Phänomen, dessen Aspekt für den westlichen Teil Niederschlesiens vom IMGW-PIB im Rahmen des RAINMAN-Projekts analysiert wurde. Neben den oben erwähnten Flussüberschwemmungen sind Sturzfluten aufgrund ihrer Plötzlichkeit ein sehr wichtiges Phänomen, dessen Aspekt für den westlichen Teil Niederschlesiens vom IMGW-PIB im Rahmen des RAINMAN-Projekts analysiert wurde. Ein Beispiel für ein plötzliches Hochwasser mit einem sehr extremen Verlauf war das Hochwasser im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße im August 2010, das in der Gemeinde Bogatynia Schäden in Höhe von 250 Mio. PLN verursachte und vier Opfer forderte. Unter anderem wurde der Niedów-Stausee am Fluss Witka in der Gemeinde Zgorzelec zerstört. Am 7. August verzeichnete Bogatynia eine Rekordniederschlagsmenge von über 160 mm pro Tag in der Region. Neben den oben genannten Beispielen sind auch Überschwemmungen in Städten, die mit intensiven Regenfällen in Gebieten mit einem hohen Anteil an künstlichen Oberflächen verbunden sind, ein wichtiger Aspekt. In solchen Fällen bildet sich in Becken (z. B. unter Talbrücken) Staunässe, weil das Wasser nicht in den Boden versickern kann.

Die Trockenheit wird im Grenzgebiet Polen-Sachsen zunehmend zu einem Problem. Dies ist sowohl auf die steigenden Lufttemperaturen als auch auf die abnehmende Summe und Häufigkeit der Niederschläge zurückzuführen. Dazu tragen sowohl der Anstieg der Lufttemperatur als auch die abnehmenden Niederschlagssummen und -häufigkeiten bei. In den letzten Jahrzehnten traten die extremsten Trockenheitsereignisse in den Jahren 2003, 2015 und

im Zeitraum 2018-2019 auf. Die im Rahmen des NEYMO-NW-Projekts durchgeführten Forschungsarbeiten zum Thema Trockenheit haben gezeigt, dass insbesondere die letzten Jahre durch sehr hohe Wasserdefizite gekennzeichnet waren. Dies kann zu einer Verringerung der Wasserressourcen führen, was wiederum negative Auswirkungen auf die Biologie, die Verfügbarkeit von Wasser für die Bevölkerung oder Einschränkungen der landwirtschaftlichen Produktion zur Folge hat. Die von den Projekten NEYMO und NEYMO-NW erstellten Niederschlagsprognosen für die nächsten Jahrzehnte deuten auf eine Abnahme der Niederschlagshäufigkeit zugunsten einer Zunahme der regenfreien Zeiten hin. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Anpassungsmaßnahmen in Situationen vorzunehmen, in denen der Umfang der Wasserressourcen erheblich reduziert werden kann. Untersuchungen des IMGW-PIB im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße haben zudem ergeben, dass aufgrund der geringeren Wasserführung der Flüsse auch die Stromproduktion der Wasserkraftwerke in Zukunft sinken könnte.

Die Charakteristik der wetterbedingten Extremereignisse im grenzüberschreitenden Raum Polen-Sachsen wird in der Broschüre „Pogodowe zjawiska ekstremalne w regionie transgranicznym Polska-Saksonia” /Wetterbedingte Extremereignisse in der grenzüberschreitenden Region Polen-Sachsen/, die im Rahmen der WIKT-Projektdurchführung erarbeitet wurde, ausführlicher dargestellt. Diese Broschüre ist erhältlich unter <http://wikt.info/broszura-o-zjawiskach-ekstremalnych.html>.

4.3. Verwundbarkeit und Risiken der einzelnen Sektoren gegenüber dem Klimawandel

Die klimatischen Bedingungen und ihre Veränderungen haben einen erheblichen Einfluss auf das Funktionieren vieler Sektoren in der Region, sei es im sozialen, wirtschaftlichen oder ökologischen Bereich. Eine der Aufgaben des TRANSGEA-Projekts bestand darin, die Verwundbarkeit der Sektoren Biodiversität, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Verkehr, Tourismus und öffentliche Gesundheit zu bewerten. In der betreffenden Region ist die Frage der Biodiversität aufgrund der großen Anzahl und Fläche von Schutzgebieten, darunter der Nationalpark Riesengebirge und zahlreiche Natura-2000-Gebiete, von großer Bedeutung. Ein großer Teil des grenzüberschreitenden Gebiets wird landwirtschaftlich genutzt oder ist von Wäldern bedeckt. Der höchste Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche ist in den Vorgebirgen des Sudeten- und Zittauer Gebirges zu verzeichnen, während die Wälder in den Bergregionen und im Norden der Region die größte Fläche einnehmen. Sowohl die Land- als auch die Forstwirtschaft sind ein wichtiger Bestandteil der Wirtschaft in der polnisch-sächsischen

Region. Im Verkehrsbereich ist das wichtigste Thema der grenzüberschreitende Charakter der Region und die Tatsache, dass ein großer Teil der Region touristisch genutzt wird, was die Bedeutung dieses Sektors erhöht. Darüber hinaus führen viele Straßen und Schienenwege durch bewaldete Gebiete, wodurch sich das Risiko von Verkehrsunterbrechungen, z. B. durch mögliche Stürme oder starke Windböen, erhöht. Der Tourismus spielt vor allem im südlichen, gebirgigen Teil der Region eine wichtige Rolle. Hier werden die meisten Touristen verzeichnet, und hier befinden sich auch die meisten Beherbergungsbetriebe. Im Bereich der öffentlichen Gesundheit ist der wichtigste Faktor die große Zahl älterer Menschen, deren Anteil bei über 40 %, in einigen deutschen Kommunen sogar bei 50 % liegt.

Die Verwundbarkeitskarte für die aufgelisteten Sektoren wurde anhand von Kriterien erstellt, die sich auf die wichtigsten, die Leistung dieser Sektoren beeinflussenden Faktoren beziehen. Was die Biodiversität anbelangt, so wurden Fragen im Zusammenhang mit dem Vorhandensein von gesetzlich geschützten Gebieten in der Gemeinde und dem Vorhandensein von aquatischen oder wasserabhängigen Organismen berücksichtigt. In Bezug auf die Forstwirtschaft wurde der Anteil der Wälder an der Gesamtfläche berücksichtigt, wobei der Schwerpunkt auf Laubwäldern (besonders anfällig für den Klimawandel) und dem absoluten Höhenfaktor lag, der den Anteil der Nadelwälder weitgehend bestimmt. Die Bewertung der Verwundbarkeit des Agrarsektors erfolgte auf der Grundlage der landwirtschaftlich genutzten Fläche, einschließlich Ackerland, Obstgärten, Weiden und Wiesen. Im Bereich Verkehr hingegen wurden Fragen der Straßendichte, der Länge der durch Waldgebiete verlaufenden Straßen sowie der Dichte der lokalen Straßen und Eisenbahnen ausgewertet. Im Falle des Fremdenverkehrs waren die wichtigsten Faktoren die absolute Höhe (der höchste Fremdenverkehr ist in den Bergen zu verzeichnen), die Beherbergungseinrichtungen und die Zahl der Touristen, die die Region besuchen. Darüber hinaus wurde auch das Vorhandensein von Kurorten berücksichtigt, die sich in vier Gemeinden befinden. Bei der Bewertung der Verwundbarkeit des öffentlichen Gesundheitssektors wurden die Bevölkerungszahl jeder Gemeinde, der Anteil der älteren Menschen (> 65 Jahre) und der Kinder (< 6 Jahre) sowie der Indikator für die Gesundheitsinfrastruktur, dargestellt durch die Anzahl der Ärzte in den Gemeinden, berücksichtigt.

Untersuchungen der Verwundbarkeit der einzelnen Sektoren gegenüber dem Klimawandel haben gezeigt, dass für alle Sektoren erhebliche räumliche Unterschiede zu beobachten sind (Abb. 11). Im Hinblick auf die Biodiversität und die Forstwirtschaft sind die empfindlichsten Gebiete die im Norden der Region, wo es einen hohen Anteil an bewaldeten und natürlich wertvollen Flächen gibt. Sie ist vor allem für die Forstwirtschaft wichtig, auch im Süden, wo

die Wälder einen großen Teil der Berggebiete, einschließlich des Riesengebirgs-Nationalparks, bedecken. Die empfindlichsten Gebiete im Agrarsektor sind die Vorgebirgsregionen. Dies gilt insbesondere für den deutschen Teil, wo für einige Gemeinden die höchste Verwundbarkeitsklasse verzeichnet wird. In den nördlich gelegenen Gemeinden ist die Verwundbarkeit aufgrund des geringen Anteils an landwirtschaftlich genutzten Flächen gering. Dagegen ist die Verwundbarkeit des Verkehrssektors dort am größten, wo es eine hohe Dichte an Straßen und Schienenwegen gibt, also vor allem in stark urbanisierten Gebieten. Der größte Teil der polnisch-sächsischen Region ist dagegen durch eine geringe (polnischer Teil) oder mäßige (deutscher Teil) Verwundbarkeit im Bereich Tourismus gekennzeichnet. Die größte Verwundbarkeit ist im südlichen Gebirgstiel der Region zu beobachten. Der größte Teil des Westsudetenlandes und des Zittauer Gebirges ist durch eine mindestens hohe Verwundbarkeit gekennzeichnet, während in den Gemeinden, die die höchsten Gebirgslagen repräsentieren und in denen sich Kurorte befinden (Cieplice-Zdrój, Świeradów-Zdrój, Jonsdorf), sogar eine Verwundbarkeit der sehr hohen Klasse verzeichnet wird. Im Gegensatz dazu ist das Gesundheitswesen, wie auch der Verkehr, in städtischen Gebieten am stärksten vom Klimawandel betroffen.

Auf der Grundlage von Informationen über die Verwundbarkeit der einzelnen Sektoren in den Gemeinden der betreffenden Region sowie der Ergebnisse von Studien über die beobachteten und prognostizierten Veränderungen ausgewählter meteorologischer Elemente wurden Risikoanalysen erstellt, die die potenziellen Risiken für die betrachteten Sektoren im Grenzgebiet aufzeigen. Zu diesem Zweck wurde eine Risikomatrix verwendet, bei der sowohl die Intensität des Klimawandels als auch die Verwundbarkeit der einzelnen Sektoren berücksichtigt wurden (Tabelle 1). Auf der Grundlage der für die einzelnen Gemeinden ermittelten Risikowerte wurden Risikokarten für die gesamte Region erstellt.

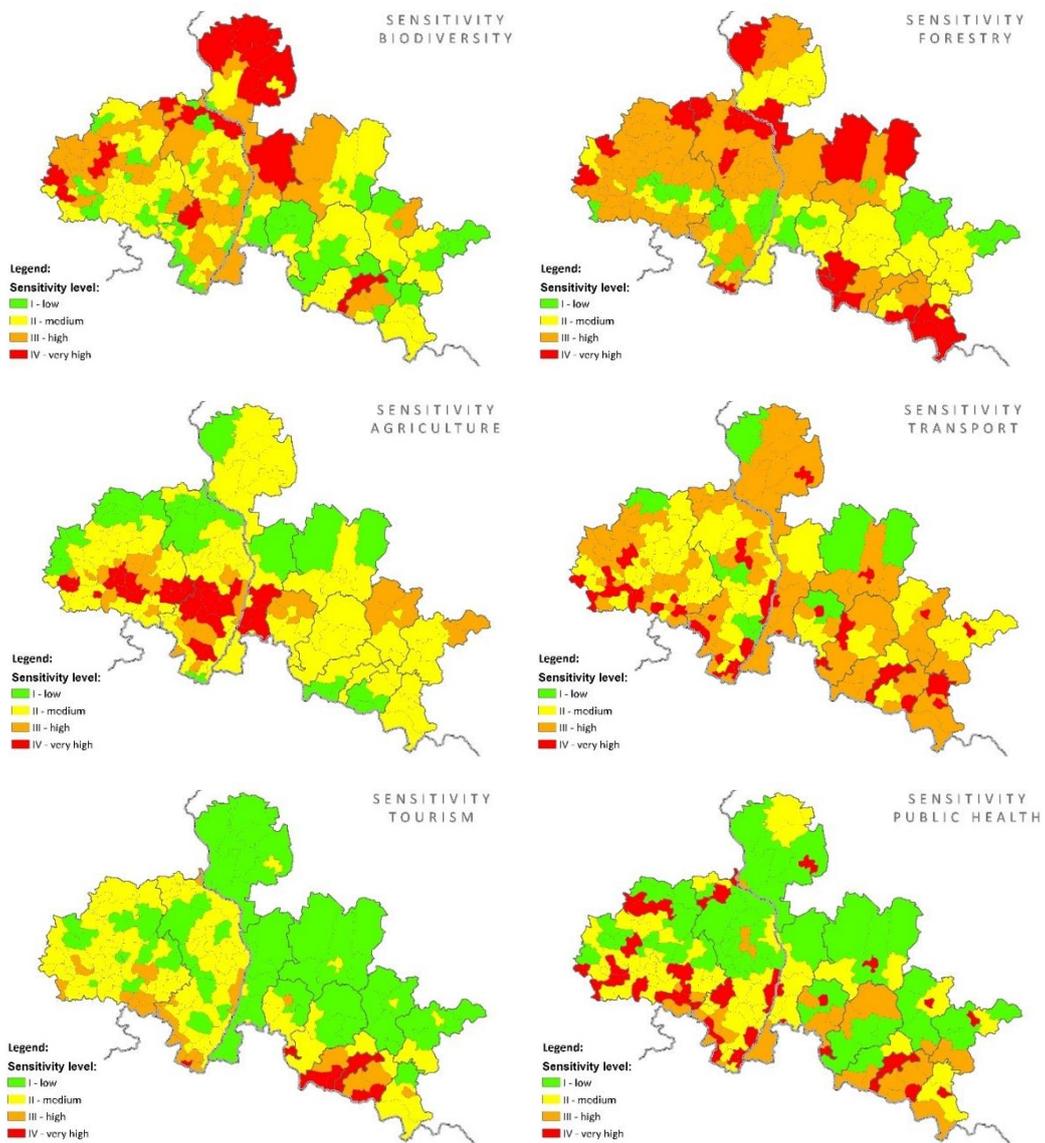


Abb. 11. Verwundbarkeit einzelner Sektoren gegenüber dem Klimawandel in den Gemeinden der Grenzregion Polen-Sachsen; Analysen, die im Projekt TRANSGEA entwickelt wurden (eigene Erarbeitung)

Tab. 1: Risikomatrix zur Spannweite der Wahrscheinlichkeit von Veränderungen der meteorologischen Elemente und der Verwundbarkeit der Sektoren gegenüber dem Klimawandel (rot - sehr hohes Risiko, orange - hohes Risiko, gelb - mäßiges Risiko, grün - geringes Risiko) (basierend auf: Smolarkiewicz u. a. 2011)

RISIKO		WAHRSCHEINLICHKEIT				
		1	2	3	4	5
VERWUNDBARKEIT	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

Die Wahrscheinlichkeit des Klimawandels wurde auf der Grundlage meteorologischer Beobachtungsdaten von 1971 bis 2015 und Projektionen des Klimawandels bis zum Jahr 2100 gemäß dem RCP8.5-Szenario ermittelt. Für die Analysen wurden Informationen über Wärme, Niederschlag, Schnee und sturmbedingte Bedingungen verwendet. Die nachstehend dargestellten Ergebnisse der Risikoforschung werden in der Veröffentlichung *Climate changes and their impact on selected sectors of the Polish-Saxon border region under RCP8.5 scenario conditions* ausführlicher dargestellt. (Mizuk et al. 2022).

Die mit dem Klimawandel verbundenen Risiken im Bereich der Biodiversität sind in bewaldeten Gebieten und Gebieten mit hohem Naturwert am größten (Abbildung 12). Im südlichen Teil wird ein sehr hohes Risiko für die Gemeinde Jelenia Góra festgestellt, da sich dort der Nationalpark Karkonosze mit einer großen Anzahl wertvoller natürlicher Lebensräume befindet. Das geringste Risiko wird dagegen vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten mit geringem Waldanteil und ohne Umweltschutzgebiete verzeichnet. Für den forstwirtschaftlichen Sektor bedeuten der Anstieg der Lufttemperatur und der prognostizierte Rückgang der Niederschlagssummen in Verbindung mit den Verwundbarkeitswerten der einzelnen Gemeinden, dass das höchste Risiko für die zentralen und nördlichen Teile der Region besteht, insbesondere in Gemeinden mit überwiegend Nadelwäldern. Ein sehr hohes Risiko besteht auch in mehreren Gemeinden des Vorgebirges und der Berge (Jonsdorf, Oybin, Karpacz, Kowary, Szklarska Poręba, Lubawka, Mirsk). Im Gegensatz dazu weisen etwa 10 %

der Gemeinden das geringste Risiko auf. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Regionen, in denen weniger als 5 % der Fläche bewaldet sind.

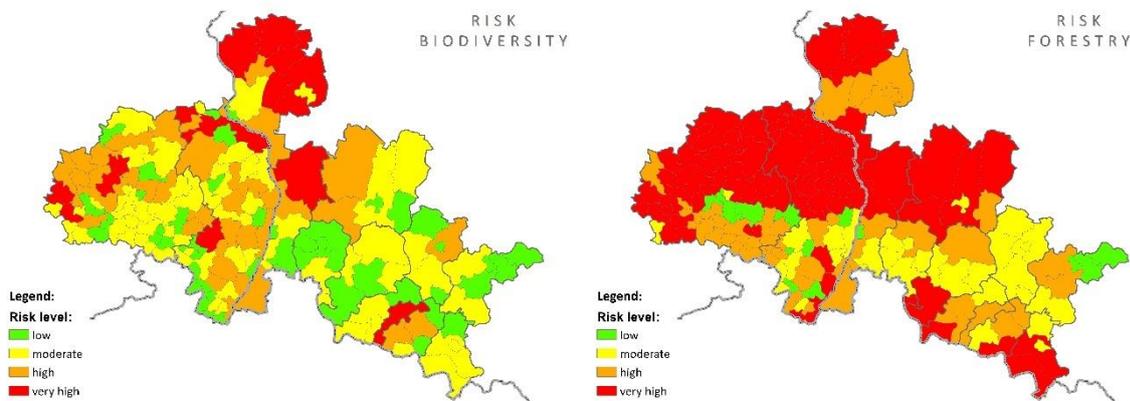


Abb. 12: Risikobewertung für die Sektoren Biodiversität und Forstwirtschaft im Grenzgebiet Polen-Sachsen (Miszuk u. a. 2022) (eigene Erarbeitung)

Wie bei den beiden vorgenannten Sektoren spiegeln auch in der Landwirtschaft die räumlichen Schwankungen des Risikos die Verwundbarkeitsanalysen deutlich wider. Das geringste Risiko wurde in den Bergen und Wäldern beobachtet, während mehr als die Hälfte der Gemeinden ein mäßiges oder geringes Risiko aufwiesen (Abb. 13). Ein hohes Risiko wurde jedoch für 14 % der Gemeinden mit einem hohen Anteil an homogenen landwirtschaftlichen Flächen festgestellt, während ein sehr hohes Risiko für die Gemeinden Sulików und Zgorzelec sowie die deutschen Gebiete im mittleren und südlichen Teil der Region festgestellt wurde. Im Gegensatz dazu war beim Verkehr das mäßige Risiko die vorherrschende Klasse und wurde für fast die Hälfte der Gemeinden verzeichnet. Eine sehr hohe Risikoklasse wurde 9 % der Gemeinden zugeordnet, die städtische Gebiete mit einer hohen Dichte an Straßen und Schienenwegen darstellen. Trotz ihrer hohen oder sehr hohen Verwundbarkeit waren die Gebirge im Allgemeinen durch ein mäßiges Risiko gekennzeichnet, da die Wahrscheinlichkeit eines signifikanten Klimawandels geringer war. 36 % der Gemeinden sind durch ein hohes Risiko betroffen, während das geringste Risiko in zehn Gemeinden festgestellt wurde, die hauptsächlich Waldgebiete darstellen.

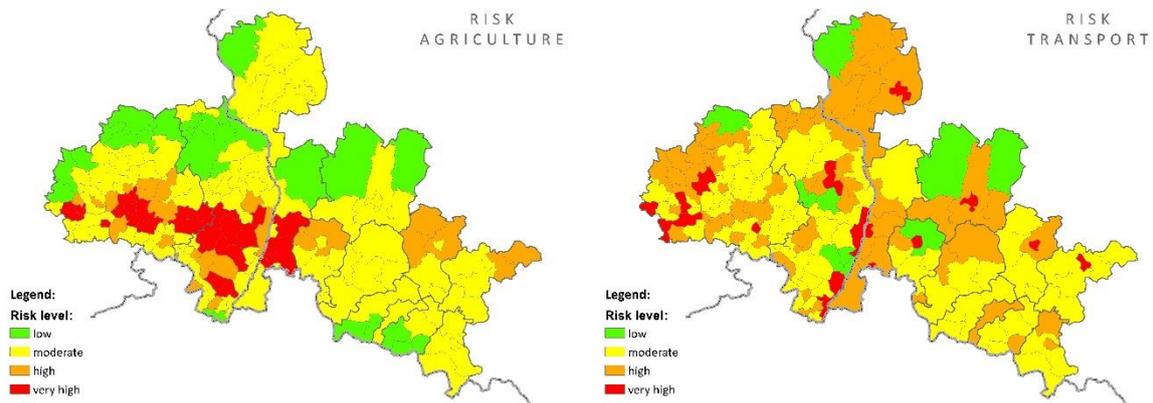


Abb. 13. Risikobewertung für die Sektoren Landwirtschaft und Verkehr im grenzüberschreitenden Gebiet Polen-Sachsen (Miszuk et al. 2022) (eigene Erarbeitung)

Das höchste Risiko für den Tourismussektor besteht im südlichen, gebirgigen Teil der Region, wo der Tourismusverkehr am stärksten ist (Abb. 14). Eine sehr hohe Risikoklasse wird für die drei Gemeinden Jonsdorf, Świeradów-Zdrój und Jelenia Góra festgestellt, in denen sich die Kurzentren befinden. Die meisten der verbleibenden Gebiete des Sudeten- und Zittauer Gebirges sind durch ein hohes Risiko geprägt. Dies gilt auch für die Berggipfel, wo trotz ihrer hohen Verwundbarkeit die Wahrscheinlichkeit eines negativen Klimawandels geringer ist, da es dort keinen Hitzestress gibt, der sich negativ auf den menschlichen Körper auswirkt. Die nördlichen und zentralen Teile der polnisch-sächsischen Region sind durch ein mittleres bis geringes Risiko gekennzeichnet. Am höchsten ist das Risiko im Norden in Bad-Muskau, wo die Lage des Kurortes in dieser Gemeinde eine wichtige Rolle spielt. Für den Bereich der öffentlichen Gesundheit wird unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Wahrscheinlichkeits- und Verwundbarkeitsanalyse ein sehr hohes Risiko in dicht besiedelten Gemeinden festgestellt, die sich in der Regel in tiefer gelegenen Gebieten befinden, in denen negative Klimaänderungen die größten Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit nach sich ziehen können. Ein sehr hohes Risiko ist in fast einem Viertel der Gemeinden zu verzeichnen. In den Vorgebirgsregionen besteht vor allem ein Risiko der hohen Klassen, während es in den Bergen aufgrund der fehlenden Hitzebelastung eher geringer ist. Im Gegensatz dazu wurden in mehreren polnischen Gemeinden, die in den Bergen und im Gebirgsvorland liegen und sich durch eine geringe Bevölkerungsdichte (≤ 50 Einwohner/km²) auszeichnen, geringe Risiken festgestellt: Stara Kamienica, Platerówka, Lubomierz, Mirsk, Wleń, Świerzawa.

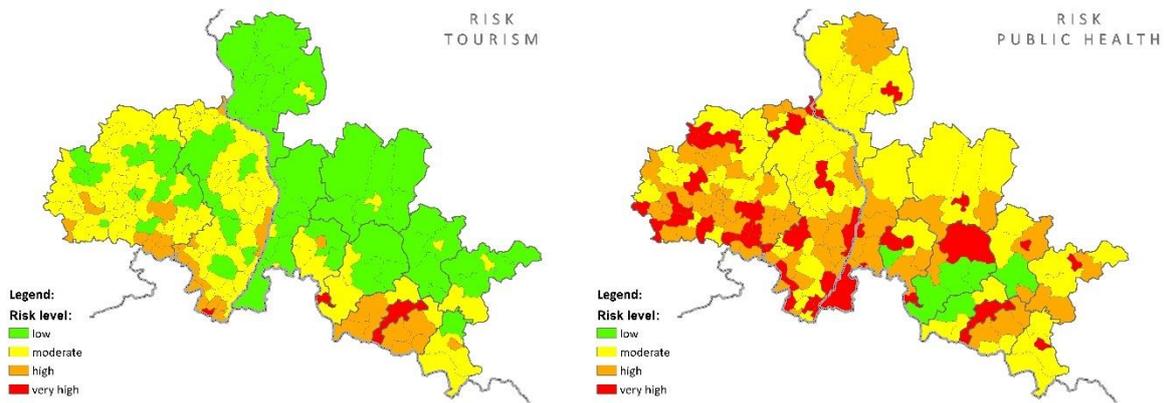


Abb. 14: Risikobewertung für die Sektoren Tourismus und Gesundheit im grenzüberschreitenden Gebiet Polen-Sachsen (Miszuk et al. 2022) (eigene Erarbeitung)

5. Klimaschutz im Grenzgebiet Polen-Sachsen

5.1. Klimaüberwachung

- **Örtliches Messnetz und Messverfahren**

Die von den staatlichen Wetterdiensten durchgeführten meteorologischen Messungen sind durch einen hohen Grad an Verallgemeinerung gekennzeichnet, der mit der begrenzten Anzahl von Messstationen im Verhältnis zum abgedeckten Gebiet zusammenhängt. Aus diesem Grund kann ein lokales Netz von Wetterstationen die genannten Messungen ergänzen und zu detaillierteren Informationen über die in der Region beobachteten meteorologischen Bedingungen beitragen. Gleichzeitig können solche Messungen eine wichtige Informationsquelle für die Anwohner über die lokalen Bedingungen in ihrem Gebiet sein. Diese Informationen können auch als Grundlage für Anpassungsmaßnahmen dienen, die darauf abzielen, die Auswirkungen des Klimawandels zu minimieren. Eine der Aktivitäten im Rahmen des TRANSGEA-Projekts war die Mikroanpassung an den Klimawandel, wozu auch Messungen mit automatischen Wetterstationen im polnisch-sächsischen Fördergebiet gehörten. Die meteorologischen Messungen in dem betreffenden Gebiet werden mit Hilfe von automatischen Davis-Vantage-Vue-Wetterstationen in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz durchgeführt (Foto 1). In Lwówek Śląski befindet sich die Wetterstation 164 Meter über dem Meeresspiegel, in unmittelbarer Nähe des Gemeinde- und Stadtverwaltungsgebäudes in der Wojska-Polskiego-Allee 25A. Im Fall von Leśna werden die Messungen auf dem Sportstadion von Włókniarz Leśna in der Sienkiewicza-Straße auf einer Höhe von 239 m über dem Meeresspiegel durchgeführt. Die Wetterstation in Przewóz hingegen wurde in unmittelbarer

Nähe des Gemeindeamtsgebäudes, am Partyzantów-Platz 1, in 131 m Höhe installiert. Das Spektrum der Messungen umfasste die Aufzeichnung mehrerer meteorologischer Elemente, einschließlich Lufttemperatur und Niederschlag auf stündlicher Basis. Aufgrund der Beschaffenheit der Station wurden die Messungen aller Elemente in einer Höhe von 2 m über dem Boden durchgeführt. Dies ist vor allem für den Niederschlag wichtig, dessen Messungen an den meteorologischen Stationen des IMGW-PIB und des DWD in einer Standardhöhe von 1 m über dem Boden durchgeführt werden. Aus den Messergebnissen wurden Tageswerte berechnet, die die Grundlage für die in dieser Studie vorgestellten Analysen bildeten.

Der Umfang der meteorologischen Messungen wird langfristig auf automatische Stationen in den Gemeinden: Bolesławiec, Gryfów Śląski, Paszowice, Stara Kamienica und Wojcieszów ausgeweitet.



Foto 1: Automatische Davis-Vantage-Vue-Wetterstationen in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (Foto: B. Miszuk)

- **Messergebnisse 2021**

Thermische Verhältnisse.

Pomiary Die Messungen mit automatischen Wetterstationen im Gebiet von Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz im Jahr 2021 wurden vom 10. März bis zum 31. Dezember durchgeführt. Die durchschnittliche Lufttemperatur schwankte in diesem Zeitraum zwischen 10,5°C in Leśna und 10,7°C in Lwówek Śląski bis 11,2°C im am tiefsten gelegenen Przewóz (Tab. 2). Für die Stationen im Sudetenvorland (Lwówek Śląski, Leśna) war der wärmste Monat der Juli mit einer Durchschnittstemperatur von 19-1-19,6°C. In Przewóz hingegen wurde der höchste monatliche Durchschnittswert im Juni mit 20,5°C gemessen, der damit um 0,3°C höher lag als im Juli. Die

bei Weitem kältesten Bedingungen herrschten in allen betrachteten Orten im Dezember. In Leśna und Przewóz lag der Durchschnittswert für diesen Monat bei 1,0°C und in Lwówek Śląski bei 0,8°C.

Tab. 2: Mittlere monatliche Lufttemperaturwerte [oC] vom 10. März bis 31. Dezember 2021 in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	4,9	5,9	11,7	19,4	19,6	16,8	15,1	8,8	4,5	0,8	10,7
Leśna	4,6	5,7	11,3	18,9	19,1	16,4	14,8	9,0	4,4	1,0	10,5
Przewóz	5,0	6,1	12,0	20,5	20,2	17,2	15,6	9,8	5,0	1,0	11,2

*- Messungen vom 10.03.2022

Die Jahreshöchsttemperaturen wurden an allen Stationen im Juni gemessen, der landesweit durch hohen Hitzestress und hohe Temperaturwerte gekennzeichnet war. In Lwówek Śląski und Leśna wurde am 19. Juni mit 35,4°C der höchste Wert gemessen. Demgegenüber wurde der Höchstwert in Przewóz einen Tag später mit 36,3°C gemessen (Tab. 3). Auch im Juli, Mai und August wurden an einigen Tagen hohe Temperaturen von über 30°C gemessen. Relativ hohe Werte wurden auch im März gemessen, als sie 24°C erreichten und überschritten. Im Gegensatz dazu traten die niedrigsten Höchstwerte im Dezember auf, obwohl in diesem Fall die Werte über 14°C für die Jahreszeit noch relativ hoch waren.

Tab. 3. Höchste aufgezeichnete Lufttemperaturwerte [°C] in einzelnen Monaten in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	24,3	20,4	31	35,4	31,1	29,5	28,1	24,2	15,0	14,1	35,4
Leśna	24,0	18,9	28,8	35,4	30,8	29,7	27,6	24,4	16,1	14,1	35,4
Przewóz	24,8	19,6	30,4	36,3	30,8	30,8	28,2	23,3	13,7	14,3	36,3

*- Messungen vom 10.03.2022

Was die Mindestwerte betrifft, so wurden die niedrigsten im Dezember beobachtet (Tab. 4). Die Tiefsttemperaturen waren im dritten Jahrzehnt besonders niedrig, als die Werte unter -10°C absanken. Das Minimum für den gesamten Zeitraum vom 10. März bis zum 31. Dezember wurde am 26. Dezember gemessen, als die tägliche Mindesttemperatur in Lwówek Śląski -15,6°C, in Leśna -14,4°C und in Przewóz -14,9°C betrug. Auch in der zweiten Märzdekade wurden niedrige Werte von unter -8°C gemessen. Erwähnenswert ist auch, dass

im April, Mai und Oktober negative Temperaturen gemessen wurden, im Fall von Lwówek Śląski auch im Mai.

Tab. 4. Niedrigste aufgezeichnete Lufttemperaturwerte [°C] in einzelnen Monaten in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	-8,5	-4,7	-0,1	3,8	10,1	7,1	5,3	-3,5	-4,6	-15,6	-15,6
Leśna	-8,4	-4,7	0,2	3,3	10,2	6,3	4,9	-3,9	-5,6	-14,4	-14,4
Przewóz	-8,9	-4,8	1,0	4,5	10,6	6,3	5,6	-2,4	-3,3	-14,9	-14,9

*- Messungen vom 10.03.2022

Eines der grundlegenden Merkmale der thermischen Bedingungen ist die Information über die Häufigkeit der so genannten charakteristischen Tage, die durch die Überschreitung bestimmter Werte der maximalen bzw. minimalen Lufttemperatur gekennzeichnet sind. Dazu gehören u. a. heiße und schwüle Tage mit thermischen Bedingungen, die durch ein hohes Maß an Hitzestress gekennzeichnet sind, der sich wiederum negativ auf den menschlichen Körper auswirkt. An heißen Tagen liegt der höchste Temperaturwert bei über 30°C. Im Jahr 2021 schwankte die Gesamtzahl dieser Tage in den fraglichen Orten zwischen 8 in Leśna und 12 in Przewóz. An dieser Stelle sei angemerkt, dass der Standort der Messstationen einen erheblichen Einfluss auf die Anzahl der heißen Tage hatte. In Leśna befindet sich die Station am Stadtrand, auf dem Gelände des Sportstadions, wodurch Wetterbedingungen mit Hitzestressmerkmalen gewissermaßen gemildert werden können. In Lwówek Śląski und Przewóz hingegen befinden sich die Stationen im Zentrum der Ortschaften, wo der Anteil der künstlichen Flächen höher ist und die Bedingungen für einen übermäßigen Temperaturanstieg günstiger sind. Darüber hinaus ist auch zu betonen, dass Przewóz auch durch eine geringere absolute Höhe gekennzeichnet ist, was ebenfalls die Häufigkeit heißer Tage erhöhen kann. Die weitaus größte Zahl solcher Tage trat im Juni auf, als 6-7 Fälle festgestellt wurden (Tab. 5). Eine besonders heiße Periode waren die Tage vom 17. bis 21. Juni, als die maximale Lufttemperatur fünfmal hintereinander 30°C überstieg. Abgesehen vom Juni traten heiße Tage in dem betreffenden Jahr am häufigsten im Juli auf (2-3 Mal), während einzelne Fälle auch am 11. Mai (Lwówek Śląski, Przewóz) und am 13. August (Przewóz) verzeichnet wurden.

Tab. 5. Anzahl der heißen Tage ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) in den einzelnen Monaten in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	.	.	1	6	3	.	.	.	.	.	10
Leśna	.	.	.	6	2	.	.	.	.	.	8
Przewóz	.	.	1	7	3	1	.	.	.	.	12

*- Messungen vom 10.03.2022

Heiße Tage mit einer Höchsttemperatur von über 25°C traten im Jahr 2021 mit einer Häufigkeit auf, die von 52 Tagen in Lwówek Śląski bis zu 57 Tagen in Leśna und 62 Tagen in Przewóz reichte (Tab. 6). Die meisten davon wurden im Juni und Juli verzeichnet, wo sie etwa zwei Drittel der Gesamtzahl der Tage in diesen Monaten ausmachten. Im gesamten betrachteten Zeitraum traten heiße Tage vom 9. Mai bis zum 15. September (Lwówek Śląski) bzw. 26. September (Leśna, Przewóz) auf. Zusätzlich zu den genannten Monaten traten auch im August Tage mit Temperaturen über 25°C auf, deren Anzahl zwischen 7 in Lwówek Śląski und 11 in Przewóz lag.

Tab. 6. Anzahl der heißen Tage ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) in den einzelnen Monaten in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	.	.	3	19	19	7	4	.	.	.	52
Leśna	.	.	3	20	19	8	7	.	.	.	57
Przewóz	.	.	3	21	20	11	6	.	.	.	61

*- Messungen vom 10.03.2022

Die Häufigkeit der leichten Frosttage, die durch eine minimale Lufttemperatur unter 0°C gekennzeichnet sind, betrug im Zeitraum vom 10. März bis zum 31. Dezember 55 Tage in Przewóz, 60 Tage in Lwówek Śląski und 64 Tage in Leśna (Tab. 7). Die meisten dieser Tage waren im Dezember zu verzeichnen, als die Mindesttemperatur an 19-20 Tagen unter 0°C lag. Abgesehen vom Dezember wurden im November (9-14 Tage) sowie im März und April (11-12 Tage) relativ viele Tage mit leichtem Frost verzeichnet. Es ist jedoch zu betonen, dass für den März nur das zweite und dritte Jahrzehnt berücksichtigt wurden. Im Allgemeinen dauerten die Tage mit leichtem Frost im Jahr 2021 bis zum 4. Mai im Fall von Lwówek Śląski, bis zum 28. April in Leśna und bis zum 27. April in Przewóz. Im Gegensatz dazu traten in der Herbstsaison am 9. Oktober in Leśna und am 10. Oktober in Lwówek Śląski und Przewóz zum

ersten Mal Tage mit leichtem Frost auf. Neben den Tagen mit leichtem Frost ist ein wichtiger Indikator für die Intensität des Kältestresses die Häufigkeit der Frosttage, an denen die maximale Lufttemperatur unter 0°C liegt. Im fraglichen Zeitraum wurden in Lwówek Śląski und Przewóz insgesamt 4 solcher Tage registriert, während sie in Leśna 3 Mal auftraten (Tab. 8). Alle Fälle wurden im Dezember festgestellt. Besonders frostig war es am 25. und 27. Dezember, als die Temperatur in Lwówek Śląski und Przewóz ununterbrochen unter 0°C lag. Außerdem ist zu betonen, dass die Zahl der Frosttage für das gesamte Jahr 2021 wahrscheinlich höher ausfallen würde, wenn der Zeitraum von Januar bis zum Ende der ersten Märzdekade, in dem Tage mit leichtem Frost und Frosttage in der Regel am häufigsten auftreten, in die Analysen einbezogen würde.

Tab. 7. Anzahl der Tage mit leichtem Frost ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) in den einzelnen Monaten in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	11	11	1	.	.	.	.	7	11	19	60
Leśna	11	12	.	.	.	.	.	8	14	19	64
Przewóz	11	11	.	.	.	.	.	4	9	20	55

*- Messungen vom 10.03.2022

Tab. 8. Anzahl der Frosttage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) in den einzelnen Monaten in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	4	4
Leśna	3	3
Przewóz	4	4

*- Messungen vom 10.03.2022

Niederschlagsbedingungen.

Die Niederschlagssummen im betreffenden Zeitraum, die an den Stationen in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz gemessen wurden, wurden durch den Höhenfaktor bestimmt. Im tiefst gelegenen Przewóz betrug die Gesamtniederschlagsmenge vom 10. März bis zum 31. Dezember weniger als 489 mm, während sie im Sudetenvorland, in Lwówek Śląski und Leśna, 625 mm bzw. 736 mm erreichte (Tab. 9). An den Stationen im Vorgebirge war der Juli der bei Weitem feuchteste Monat. Die monatlichen Niederschlagssummen betragen hier 147 mm und 185 mm, wobei in Przewóz weniger als doppelt gemessen wurde. An allen Stationen wurden

auch im Juli hohe Niederschlagsmengen beobachtet. Im Fall von Przewóz waren es über 130 mm, was dem Höchstwert der monatlichen Niederschlagssummen für den betreffenden Zeitraum entsprach. In Lwówek Śląski und Leśna war die Niederschlagsmenge um einige mm geringer. Die höchsten Tagesniederschläge in den betrachteten Orten fielen am 14. Juli (Lwówek Śląski), 11. Juli (Leśna) und 23. August (Przewóz) und betragen 44,4 mm, 50,0 mm bzw. 32,6 mm. Die niedrigsten monatlichen Niederschlagsmengen wurden dagegen im September (weniger als 14 mm in Lwówek Śląski) und Oktober (31 mm in Leśna und 5 mm in Przewóz) verzeichnet.

Tab. 9. Niederschlagssummen vom 10. März bis 31. Dezember 2021 in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	21,0	64,8	79,2	56,4	147,4	124,2	13,8	52,0	37,8	28,6	625,2
Leśna	41,6	57,6	105,6	57,2	185,2	123,6	40,4	31,2	44,0	49,6	736,0
Przewóz	42,0	36,8	75,8	47,6	75,0	130,8	16,4	5,0	13,4	45,8	488,6

*- Messungen vom 10.03.2022

Neben den Niederschlagssummen ist ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Wetterlage die Niederschlagshäufigkeit, in diesem Fall definiert als die Anzahl der Tage mit Tagessummen von mindestens 0,1 mm. Zwischen dem 10. März und dem 31. Dezember 2021 gab es insgesamt 147-157 solcher Tage, wobei die geringste Anzahl von Tagen in Przewóz und die höchste in Leśna festgestellt wurde (Tab. 10). Im Jahresverlauf fielen die meisten Niederschläge im Mai in Leśna und Przewóz, wo sie an 20-21 Tagen auftraten. Im August und Oktober wurde jedoch in Lwówek Śląski und im November in Leśna eine Häufigkeit von 19 Tagen festgestellt. Am trockensten war es dagegen im Oktober in Przewóz, wo nur an 3 Tagen Niederschläge fielen. Im Sudetenvorland wurde die geringste Fallzahl im Juni in Leśna beobachtet (9 Tage).

Im Hinblick auf die Niederschlagsbedingungen sind vor allem Starkniederschläge von Bedeutung, deren Auftreten vor allem in Gebirgs- und Vorgebirgsregionen zu Überschwemmungen führen kann. Betrachtet man den Starkniederschlagsindex, definiert als eine Wetterlage mit einer täglichen Niederschlagssumme von mindestens 10 mm, so wurde die höchste Anzahl von Tagen mit diesem Anteil im sudetischen Vorgebirge, in Lwówek Śląski und Leśna ermittelt (Tab. 11). Die Gesamtzahl solcher Tage lag hier bei 16 bzw. 17 Fällen, in Przewóz waren es 12. Starke Regenfälle traten vor allem in den Sommermonaten auf. Im Juli

betrug ihre Häufigkeit 4 und 6 Tage in Lwówek Śląski und Leśna, im August 4 Tage in Przewóz. Eine Häufigkeit von 2-3 Tagen pro Monat wurde im Mai und Juni beobachtet, während in den anderen Monaten Tage mit starken Niederschlägen nicht oder nur vereinzelt auftraten.

Tab. 10. Anzahl der Tage mit Niederschlag (mit einer Tagessumme von mindestens 0,1 mm) vom 10. März bis 31. Dezember 2021 in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	10	17	17	12	13	19	12	19	17	13	149
Leśna	13	14	21	9	16	18	12	17	19	18	157
Przewóz	15	18	20	12	15	18	14	3	14	18	147

*- Messungen vom 10.03.2022

Tab. 11. Anzahl der Tage mit Starkniederschlag (mit einer Tagessumme von mindestens 10 mm) vom 10. März bis 31. Dezember 2021 in Lwówek Śląski, Leśna und Przewóz (eigene Erarbeitung)

Wetterstation	III*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-XII
Lwówek	.	2	3	2	4	3	.	1	1	.	16
Leśna	.	1	3	2	6	2	1	1	1	.	17
Przewóz	1	.	2	3	2	4	.	.	.	.	12

*- Messungen vom 10.03.2022

6. Zusammenfassung

Der fortschreitende Klimawandel und seine möglichen Auswirkungen machen Maßnahmen erforderlich, die zum einen auf die Begrenzung dieser Veränderungen und zum anderen auf die Minimierung ihrer negativen Auswirkungen abzielen. Was die Verhinderung des Klimawandels betrifft, so werden die wichtigsten Regelungen und Maßnahmen meist auf nationaler und internationaler Ebene getroffen und betreffen vor allem Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Dabei kann es sich um Fragen im Zusammenhang mit der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen, Veränderungen in den Anbau- und Viehbestandsstrukturen, Verkehrsprobleme usw. handeln. Auf lokaler Ebene beziehen sich die meisten potenziellen Klimaschutzmaßnahmen auf die Begrenzung der Folgen des Klimawandels. Solche Aktionen können sowohl von den Kommunalverwaltungen als auch von den Bürgern durchgeführt werden und haben den zusätzlichen Effekt, dass sie den Komfort und

die Lebensqualität zusätzlich zu den reinen Klimafragen verbessern. Eine Erhöhung des Anteils an blauer und grüner Infrastruktur auf Kosten künstlicher Oberflächen hat den Effekt, dass die thermischen und feuchtigkeitsbedingten Umstände in dem betreffenden Gebiet gemildert werden, und wirkt sich positiv auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bewohner aus. Viele der angeführten Maßnahmen wirken sich auch positiv auf den ökologischen Zustand aus und tragen zur Verbesserung der Biodiversität bei. Studien über die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Sektoren im polnisch-sächsischen Fördergebiet zeigen, dass sich die veränderten klimatischen Bedingungen auf die einzelnen Sektoren in unterschiedlichem Maße auswirken können. Aufgrund der beträchtlichen geografischen Vielfalt der Region und folglich auch der unterschiedlichen Flächennutzung, demografischen Struktur und wirtschaftlichen Aktivitäten ist das Gebiet in unterschiedlichem Maße den spezifischen Auswirkungen des Klimawandels ausgesetzt. Ein wichtiger Punkt ist daher die angemessene Auswahl spezifischer Aktivitäten, die den lokalen Bedürfnissen am besten entsprechen. In diesem Zusammenhang können Aktionskataloge nützlich sein, die geeignete Wege aufzeigen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf lokaler Ebene zu verhindern. Bildung und die damit verbundene Stärkung des Umweltbewusstseins der Einwohner ist ebenfalls ein wichtiges Thema. Angemessene Kenntnisse über die Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels und der Ökologie ermöglichen es, selbst geeignete Maßnahmen zu ergreifen, wie z. B. die Speicherung von Regenwasser oder die Umsetzung grüner und blauer Infrastrukturen im Rahmen von Einzelinvestitionen. Aus diesem Grund war ein Großteil der Maßnahmen, die im Rahmen des WIKT-Projekts ergriffen wurden, auf die Probleme im Zusammenhang mit der Umsetzung dieser Art von Infrastruktur ausgerichtet, wobei der Schwerpunkt auf Schulungs- und Aufklärungsmaßnahmen lag - sowohl für die lokalen Behörden als auch für die Einwohner der Region und die Schüler. Die in diesem Beitrag beschriebenen Initiativen können eine Wissensquelle für weitere Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Klimawandel im polnisch-sächsischen Fördergebiet sein. Sie können auch dazu beitragen, dass der Leser mehr über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Leben der Bewohner der Region erfährt, und Informationen darüber liefern, wie die Folgen des Klimawandels minimiert werden können.

Literatur

Adynkiewicz-Piragas M., Zdralewicz I., Otop I., Miszuk B., Kryza J., Lejcuś I., Strońska M., Lunich K., Pluntke T., Niemand C., Nysa Łużycka – klimat i charakterystyka regionu. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2014, Drezno,

Adynkiewicz-Piragas, M.; Miszuk, B. Risk analysis related to impact of climate change on water resources and hydropower production in the Lusatian Neisse River basin. Sustainability, 2020, 12, 5060, <https://doi.org/10.3390/su12125060>.

Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Die Bundesregierung, 2011, 93. <https://www.bmu.de>.

Anders, I.; Stagl, J.; Auer, I.; Pavlik, D. Climate Change in Central and Eastern Europe. In Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change, Rannov, S., Neubert, M., Eds., Advances in Global Change Research, 2014, 58, 17-30, https://doi.org/10.1007/978-94-007-7960-0_2.

Bartnicka, M., Ullman I. Wykorzystać wszystkie atuty zieleni. Architecturae et Artibus, 2009, 2, 17-22.

Beranová, R.; Kyselý, J. Trends of precipitation characteristics in the Czech Republic over 1961–2012, their spatial patterns and links to temperature and the North Atlantic Oscillation. Int J Climatol, 2018, 132, 1-2, 515-527, <https://doi.org/10.1002/joc.5392>.

Brázdil, R.; Zahradníček, P.; Pišoft, P.; Štěpánek, P.; Bělinová, M.; Dobrovolný, P. Temperature and precipitation fluctuations in the Czech Republic during the period of instrumental measurements. Theor. Appl. Climatol., 2012, 110, 17-34, <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0604-3>.

Brázdil, R.; Zahradníček, P., Dobrovolný, P.; Rehor, J.; Trnka, M.; Lhotka, O.; Štěpánek, P. Circulation and Climate Variability in the Czech Republic between 1961 and 2020: A Comparison of Changes for Two “Normal” Periods. Atmosphere, 2022, 13, 137, <https://doi.org/10.3390/atmos13010137>.

Ciechanowicz-McLean, J. Węzłowe problemy prawa ochrony klimatu. Studia Prawnoustrojowe, 2017, 37, UAM, 7-24.

Climate Action in Figures. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2021, Frankfurt am Main, Germany, 68.

Deutsche Anpassungsstrategie an der Klimawandel. Die Bundesregierung, 2008, 78. <https://www.bmu.de>.

Dubicki A.; Słota H.; Zieliński J. Dorzecze Odry. Monografia powodzi - lipiec 1997. IMGW, 1999, Wrocław.

DWD. Nationaler Klimareport. Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. DWD, 2021, https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/download_report_aufgabe-4.html.

EC, Regions 2020. The climate change challenge for European regions. European Commission, Directorate-General Regional Policy, Policy development, Conception, forward studies, impact

assessment, 2009, Brussels, Belgium. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/publications/regions-2020-the-climate-challenge-for-european-regions>.

Franke, J.; Goldberg, V.; Freydank, E.; Eichelmann, U. Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany. *Clim. Res.*, 2004, 27 (2), 145-150, <https://doi.org/10.3354/cr027145>.

Głowicki, B; Otop, I.; Urban, G.; Tomczyński, K. Warunki klimatyczne województwa dolnośląskiego. [w:] Opracowanie ekofizjograficzne dla województwa dolnośląskiego, IMGW, 2005, Wrocław.

Gottlieb, C. Provisional Agreement On European Climate Law. 2021, <https://www.clearygottlieb.com>.

Graczyk, D.; Kundzewicz, Z.W.; Choryński, A.; Førland, E.J.; Pińskwar, I.; Szwed, M. Heat-related mortality during hot summers in Polish cities. *Theor. Appl. Climatol.* 2019, 136, 1259–1273. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2554-x>.

Hänsel, S.; Matschullat, J. Monthly trends of daily heavy precipitation indicators from lowland to mountainous regions in Saxony, Germany. Conference: Sustainable Development and Bioclimate, 2009, Stará Lesna, Slovakia.

Hänsel, S.; Matschullat, J. Precipitation variability and changes in Saxony between 1901 and 2012. In *Environmental changes and adaptation strategies*, Šiška, B., Nejedlík, P., Hájková, L., Kožnarová, V., Eds., International Scientific Conference, Skalica, Slovakia, 9 – 11 wrzesień, 2013.

Hänsel, S.; Ustrnul, Z.; Łupikasza, E.; Skalak, P. Assessing seasonal drought variations and trends over Central Europe. *Adv. Water Resour.*, 2019, 127, 53-75, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.03.005>.

Hoy A., Hänsel S., Skalak P., Ustrnul Z., Bochnicek O., The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective. *International Journal of Climatology*, 2017, 37, 2, 943–962,

Hoy A.; Feske, N.; Štěpánek, P.; Skalák, P.; Schmitt, A.; Schneider, P. Climatic Changes and Their Relation to Weather Types in a Transboundary Mountainous Region in Central Europe. *Sustainability*, 2018, 10, 49, <https://doi.org/10.3390/su10062049>.

Hoy, A., Hänsel, S., Maugeri, M. An endless summer: 2018 heat episodes in Europe in the context of secular temperature variability and change. *International Journal of Climatology*, 2020, DOI:10.1002/joc.6582.

IOŚ-PIB, 2018: Climate change adaptation plans in 44 Polish cities. Summary report. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 30.

IOŚ-PIB, 2019, Klimat dla Polski – Polska dla klimatu. 1988-2018-2020. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

IPCC, AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2014, 151, <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Kancelaria Senatu, Obszary i problemy związane ze zmianami klimatu. Biuro Spraw Międzynarodowych i Unii Europejskiej, 2020, Warszawa.

Kassenberg, A. (red.), Powiatowy poradnik klimatyczny. Instytut na Rzecz Ekorozwoju, 2014, Warszawa, 72.

Januchta-Szostak, A., Błękitno-zielona infrastruktura jako narzędzie adaptacji miast do zmian klimatu i zagospodarowania wód opadowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz, 2020, 3, DOI:10.21008/j.2658-2619.2020.3.3.

Klimaschutzplan 2050. Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2016, Berlin, 92. <https://www.bmwk.de>.

Kopacz-Lembowicz M., Krassowska-Cezak U., Martyn-Olszewski A., Wpływ zieleni miejskiej na klimat lokalny, [w:] Wpływ zieleni na kształtowanie środowiska miejskiego. Instytut Kształtowania Środowiska, PWN Warszawa, 1984, 79-95.

Kornhuber K., Ospray S., Coumou D., Petri S., Petoukhov V., Rahmstorf S., Gray L. Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern. Environmental Research Letters, 2019, iopscience.iop.org,

Krzyżewska A., Bartoszek K., Wereski S., Warunki meteorologiczne w Lublinie podczas wyjątkowo uciążliwej fali upałów z sierpnia 2015 r. Przegląd Geofizyczny, 2016, LXI, 3-4, s. 239-249,

Kundzewicz, Z.W.; Jania, J.A. Extreme Hydro-meteorological Events and their Impacts. From the Global down to the Regional Scale. Geogr. Pol., 2007, 75, 9-24.

Lewińska J., Klimat miasta – zasoby, zagrożenia, kształtowanie, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, 2000, Kraków, 5-151.

Łukaszewicz, A.; Łukaszewicz, S. Rola i kształtowanie zieleni miejskiej. Wyd. Nauk UAM, 2006, Poznań,

Łupikasza, E.; Hänsel, S.; Matschullat, J. Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951–2006. Int J Climatol, 2011, 31 (15), 2249-2271, <https://doi.org/10.1002/joc.2229>.

Łupikasza, E.; Małarzewski, Ł. Precipitation Change. In Climate Change in Poland. Falarz, M., Eds., Publisher: Springer Climate. Springer, 2021, Cham., pp. 349-373, https://doi.org/10.1007/978-3-030-70328-8_13.

Marciniak, K.J., Zmiany klimatu jako wspólna sprawa ludzkości: współczesne uwarunkowania międzynarodowoprawne, ze szczególnym uwzględnieniem Porozumienia paryskiego. [w:] E. Cała-Wacinkiewicz, J. Menkes (red.), Wspólne wartości prawa międzynarodowego, europejskiego i krajowego, 2018, CH Beck, Warszawa, 105-125.

Marosz, M.; Wójcik, R.; Biernacik, D.; Jakusik, E.; Pilarski, M.; Owczarek, M.; Miętus, M. Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. Rezultaty projektu Klimat (Poland's climate variability 1951–2008. KLIMAT project's results). Prace i Studia Geo-graficzne, 2011, 47, 51-66.

Mehler S., Völlings A., Flügel I., Szymanowski M., Błaś M., Sobik M., Migala K., Werner M., Kryza M., Kryza M., Miszuk B., Otop I, Kolanek A., Strońska M., Zmiany klimatu w regionie granicznym Polski i Saksonii. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2014, Drezno.

Miszuk, B. Multi-Annual Changes in Heat Stress Occurrence and Its Circulation Conditions in the Polish–Saxon Border Region. *Atmosphere*, 2021, 12 (2), 163, <https://doi.org/10.3390/atmos12020163>.

Miszuk, B.; Adynkiewicz-Piragas, M.; Kolanek, A.; Lejcuś, I.; Zdralewicz, I.; Strońska, M. Climate changes and their impact on selected sectors of the Polish-Saxon border region under RCP8.5 scenario conditions. *Meteorol. Z.*, 2022, 31 (1), 53-68, <https://doi.org/10.1127/metz/2021/1101>.

Muthers, S.; Laschewski, G.; Matzarkis, A. The Summers 2003 and 2015 in South-West Germany: Heat Waves and Heat-Related Mortality in the Context of Climate Change. *Atmosphere*, 2017, 8 (11), 224, <https://doi.org/10.3390/atmos8110224>.

Nationales Klimaschutzprogramm. Sechster Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO2-Reduktion“. Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2005, Berlin, 58.

Pińskwar I.; Choryński, A.; Graczyk, D.; Kundzewicz, Z.W. Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990. *Theor. Appl. Climatol.*, 2019, 135, 773–787, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2372-1>.

Pluntke, T.; Schwarzak, S.; Kuhn, K.; Lünich, K.; Adynkiewicz-Piragas, M.; Otop, I.; Miszuk, B. Climate analysis as a basis for a sustainable water management at the Lusatian Neisse. *Meteorol. Hydrol. Water Manag.*, 2016, 4, 3–11, <https://doi.org/10.26491/mhwm/61735>.

Przyborowicz, J. The European Climate Law – a new legal revolution towards climate neutrality in the EU. *OSAP*, 2021, 19 (4), 39-53.

Rakoczy, B. Climate protection in Polish legal system. *Polish Yearbook of Environmental Law*, 2011, 101-110.

REGKLAM. Managing risks, seizing opportunities: The Dresden region faces up to climate change. - Regional Climate Change Adaptation Programme Dresden Region, 2013, 24, <http://regklam.de/en/publications/climate-change-adaptation-program#c1265>.

Rulfová, Z.; Beranová, R.; Kyselý, J. Climate change scenarios of convective and large-scale precipitation in the Czech Republic based on EURO-CORDEX data. *Int J Climatol*, 2016, 37 (5), <https://doi.org/10.1002/joc.4857>.

Schmuck A., Klimat Sudetów, *Prob. Zagosp. Ziem Górskich*, 1969, 5 (18), 93–154,

Schwarzak, S.; Hänsel, S.; Matschullat, J. Projected changes in extreme precipitation characteristics for Central Eastern Germany (21st century, model-based analysis). *Int J Climatol*, 2015, 35 (10), 2724-2734, <https://doi.org/10.1002/joc.4166>.

Smolarkiewicz, M.; Smolarkiewicz, M., Biedugnis, S., Matrix methods for risk management – Associated Matrices Theory. - *Rocz. Ochr. Sr.*, 2011, 13, 241-252.

Somorowska, U. Changes in Drought Conditions in Poland over the Past 60 Years Evaluated by the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index. *Acta Geophys.*, 2016, 64, 2530–2549, <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0110>.

Stoczkiewicz, M. *Prawo ochrony klimatu w kontekście praw człowieka*. Wolters Kluwer Polska Sp. z o.o., 2021, Warszawa, 466.

Sulikowska A., Wypych A., Woszczek I., Fale upałów latem 2015 roku i ich uwarunkowania cyrkulacyjne. *Badania Fizjograficzne, VII, Seria A, Geografia Fizyczna (A67)*, 2016, 205-223.

Szwed, M. Variability of precipitation in Poland under climate change. *Theor. Appl. Climatol.*, 2019, 135, 1003-1015, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2408-6>.

Tomczyk A. M., Bednorz E., The extreme year—analysis of thermal conditions in Poland in 2018. *Theoretical and Applied Climatology*, 2020, 139, 251–260,

Umweltbundesamt. *Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*, 2019, Dessau, Germany, 276.

Urban A., Hanzlikova H., Kysely J., Plavcova E., Impacts of the 2015 Heat Waves on Mortality in the Czech Republic—A Comparison with Previous Heat Waves. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (12), 2017, 1562, doi: [10.3390/ijerph14121562](https://doi.org/10.3390/ijerph14121562),

Wibig J., Heat waves in Poland in the period 1951-2015: trends, patterns and driving factors. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 2018, 6, 1, 37–45, doi: [10.26491/mhwm/78420](https://doi.org/10.26491/mhwm/78420),

Wilk, C.; Borek, A. (red.), *Zmiany klimatu w świetle prawa Unii Europejskiej i prawa polskiego na tle porównawczym*. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2021, 242.

Wolska, Z. *Polityka Unii Europejskiej wobec zmian klimatycznych*. *Studia Europejskie*, 2010, 3, 59-83.

Wyligala, H., *Niemiecka strategia adaptacji do zmian klimatu jako narzędzie polityki bezpieczeństwa*. *Bezpieczeństwo. Teoria i Praktyka*, 2018, 1, 37-59.

Yoshino, M. *Climate in a Small Area: An Introduction to Local Meteorology*. University of Tokyo Press, 1975, Tokio.

Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Hasse, C.; Fritsch, U.; Cramer, W. *Climate Change in Germany. Vulnerability and Adaptation of climate sensitive Sectors*. Umweltbundesamt, 2005, Dessau, Germany, 205.

Ziernicka-Wojtaszek, A.; Kopcińska, J. Variation in Atmospheric Precipitation in Poland in the Years 2001–2018. *Atmosphere*, 2020, 11, 794, <https://doi.org/10.3390/atmos11080794>.

