2.4 KLIMA/LUFT

2.4.1 Begriffe, Wirkung und Funktionen von Klima und Luft

Das Klima ist die Gesamtheit charakteristischer Witterungserscheinungen in einem bestimmten Gebiet während eines längeren Zeitraums. Es ist Ausdruck von komplexen meteorologischen Zuständen und Prozessen, die in der Erdatmosphäre ablaufen. Das Klima wird durch das Zusammenwirken verschiedener Klimaelemente (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Windstärke, Windrichtung, Bewölkung, Sonnenscheindauer etc.) sowie durch typische jährliche Witterungsverläufe bestimmt. Die Ausprägung dieser Klimaelemente ist von Klimafaktoren, wie der atmosphärischen Zirkulation, der geografischen Breite, der Höhenlage und der Entfernung zum Meer sowie vom Relief und den vorherrschenden Oberflächenbeschaffenheiten abhängig (WISSEN 2007, SYRBE ET AL. 2014).

Als Klimaelement gilt auch die Phänologie, weil verschiedene Witterungsfaktoren in einem Messinstrument der Pflanzen und Tiere integriert werden. Pflanzen sowie Tiere reagieren auf verschiedene Witterungsfaktoren (Luft- und Bodentemperatur, Niederschlagsmengen, Strahlung) und weitere klimabestimmte Einflüsse (Schädlingskalamitäten, Nährstoffverfügbarkeit, Luftschadstoffe, Fotoperiode). Die Phänologie beobachtet und erfasst die im Jahresverlauf periodisch wiederkehrenden, klimabeeinflussten Wachstums- und Entwicklungserscheinungen, wie bspw. Blattaustrieb, Blühbeginn, Fruchtreife, Blattfärbung oder Laubfall, anhand ausgewählter Zeigerpflanzen. Sie untersucht dabei die Zusammenhänge zwischen dem Lebens- und Wachstumszyklus der Pflanzen auf der einen sowie der Witterung und dem Klima auf der anderen Seite (vgl. DWD 2015).

Meteorologische Zustände, Erscheinungen und Prozesse des Klimas sind an die Lufthülle gebunden. Als Luft bezeichnet man die gasförmige Hülle der Erdatmosphäre. Es handelt sich dabei unterhalb etwa 100 km um ein homogenes Gasgemisch (TOP-WETTER 2007).

Klimatische Gegebenheiten und der Luftzustand prägen maßgeblich die natürlichen Lebensbedingungen von Pflanzen, Tieren und Menschen. Sie beeinflussen die landschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten eines Raums, insbesondere für die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, aber auch für den Tourismus und die landschaftsgebundene Erholung. Klima und Luft haben zugleich wichtige Funktionen für den Erhalt oder die Wiederherstellung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts. Über das Klima werden wesentliche physikalische, chemische und biologische Prozessabläufe (u. a. Verwitterungs- und Erosionsprozesse, Bodenentwicklung oder Wasserhaushaltsprozesse) gesteuert. Die Luft ist ein wichtiges stoffliches Transport- und Speichermedium. Ihr natürliches Selbstreinigungsvermögen durch verschiedene Abbau- oder Transportprozesse wird jedoch vom Witterungsverlauf beeinflusst. Die bodennahe Lufthülle ist zudem Bestandteil von Ökosystemen und ihren Lebensräumen. An diese bedeutsamen Funktionen und Wirkungen von Klima und Luft sind verschiedene nutzungsrelevante Naturprozesse eng gebunden (vgl. DECKER ET AL. 2014), z. B.:

- <u>Bodenentwicklung</u>
  Niederschläge und Bodentemperatur beeinflussen den Bodenwasserhaushalt, die Bodendurchlüftung, die Nährstoffverfügbarkeit bzw. -mobilisierung und Humusbindung. Böden sind sowohl wichtige Schnittstellen als auch Reaktionsräume im Klimawandel.
- <u>Wasserhaushalt</u>
  Niederschläge und ihr Abfluss sichern mit der Grundwasserneubildung das Wasserdargebot zur Trinkwasser- und Brauchwassergewinnung und -bereitstellung.
- <u>Bioklima</u>
  Klima und Witterung sind von entscheidender Bedeutung für die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Bioklimatisch wirksam sind Abbauprozesse von Wärmebelastungen durch Frischluft- und Kaltluftzustrom aus Freiflächen (Ausgleichsräume) mit Abkühleffekten für Siedlungs-, Industrie- und Gewerbegebiete (Wirkungsräume). Gebiete mit günstigem Bioklima weisen – nicht zuletzt im Hinblick auf die landschaftsbezogene Erholung – optimale Kombinationen von Kältereizen und Wärmezufuhr durch ausreichende Sonnenscheindauer, verträgliche bis stimulierende Temperatur- und Windverhältnisse in der jahreszeitlichen Abfolge auf.

- Luftreinhaltung
  Luftbewegungen mit bestimmten Mindestwindgeschwindigkeiten für die bodennahe Durchlüftung mindern Luftschadstoffbelastungen bzw. bauen diese ab, vor allem in Ballungsgebieten und nach Inversionswetterlagen.
- Klimaeigenschaften als Ausstattungsmerkmal für Erholungsgebiete
  Gebiete mit besonderen Klimaeigenschaften und hoher Luftqualität, z. B. ganzjährig wirksame Ausprägungen bioklimatischer Reizklimate oder großräumige Auen- und Waldklimate, sind für naturverbundene Formen der Erholung, des Tourismus sowie für Sport- und Freizeitnutzungen besonders geeignet.

Die Landschaftsrahmenplanung geht im Wesentlichen auf regionale Funktionen und Aspekte von Klima und Luft ein. Im Fokus steht die Sicherung klimabezogener Wirkungen auf den Naturhaushalt, die menschliche Gesundheit und die landschaftsbezogene Erholungsvorsorge. Sie soll dazu beitragen, bioklimatisch und lufthygienisch wirksame Ausgleichsräume sowie raumbedeutsame Abflussbahnen für Frisch- und Kaltluft in Siedlungsgebiete hinein funktionsfähig zu erhalten. Bei Bedarf sollen neue Ausgleichsräume entwickelt werden. In diesem Zusammenhang ist auch die Sicherung oder ggf. Neuentwicklung »Klimaökologischer Komfortinseln« als Erholungsflächen insbesondere aus gesundheitlicher Sicht bedeutsam, vorzugsweise benachbart oder in räumlicher Nähe zu regionalbedeutsamen Wirkungsräumen.

Planungsrelevante klimatologische Parameter sind u. a. Mittlere Jahresdurchschnittstemperaturen, Anzahl von Frost- und Hitzetagen, Dauer der Vegetationsperioden, Jahresdurchschnittssummen der Niederschläge, Potenzielle Verdunstung, Klimatische Wasserbilanz, Windgeschwindigkeitsverteilung, bodennahe Durchlüftungsverhältnisse, Mittlere Inversionshäufigkeit, Globalstrahlung, Waldbrandindex, Wetterextreme sowie meteorologische Trendanalysen.

2.4.2 Charakteristik des Klimas in der Region

Karte 2.4-1 „Klimatope“

Umfangreiche Messreihen meteorologischer Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ermöglichen detaillierte klimatologische Auswertungen, bspw. zur topografisch bedingten Klimavariabilität in Sachsen, aber auch zu veränderten Klimatrends im Vergleich der letzten 50 Jahre. Als Referenzzeiträume stehen die Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010 zur Verfügung. Der Freistaat Sachsen stellt mit dem Regionalen Klimainformationssystem (ReKIS) landesweit vergleichbare und aufbereitete Datenreihen sowohl zu einzelnen Klimaelementen als auch zu komplexen Klimagrößen bereit. Die Region Leipzig-Westsachsen kann zudem auf eine regional differenzierte Klimaanalyse zurückgreifen, welche im Rahmen des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO) erarbeitet und 2012 fortgeschrieben wurde (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, SEIDEL 2012).

2.4.2.1 Klimagebiete

Die Region gehört großklimatisch zur Westwindzone der mittleren Breiten mit warm- und feuchtgemäßigtem Übergangsklima zwischen maritimen westeuropäischen und kontinentalen osteuropäischen Klimaeinflüssen und ausgeprägten Jahreszeiten (vgl. BERNHOFER ET AL. 2008). Durch den überwiegenden Einfluss westlicher Winde werden meist feuchte Luftmassen vom Atlantik herangeführt. Dieser maritime Einfluss sorgt für relativ milde, niederschlagsreiche Winter und nicht zu heiße Sommer. Da aber der kontinentale Einfluss in Deutschland von Nordwest nach Südost zunimmt, wird das Klima der Region im bundesweiten Vergleich bereits relativ stark kontinental geprägt (vgl. KÜCHLER & SOMMER 2005, SYRBE ET AL. 2014). In den Sommermonaten sind die Niederungen und Tieflagen an der Nordwest-, Nord- und Ostgrenze der Region zu Sachsen-Anhalt und Brandenburg aufgrund des stärkeren kontinentalen Einflusses vergleichsweise so warm wie der milde Südwesten Deutschlands (vgl. DWD 2017). Die Region gehört zu den wärmsten und zugleich niederschlagsärmsten Gebieten Sachsens und ist folgenden Klimabezirken (SMUL 2005) zuzuordnen:

- Ostdeutsches Binnenland-Klima (Leipziger Tieflandsbucht, Elbtal)
- Deutsches Berg- und Hügelland-Klima

Anhand differenzierter räumlicher Besonderheiten lässt sich die Region in weitere Klimagebiete unterteilen. Diese sind in Tab. 2.4-1 nach charakteristischen Merkmalen beschrieben und in Abb. 2.4-1 dargestellt.

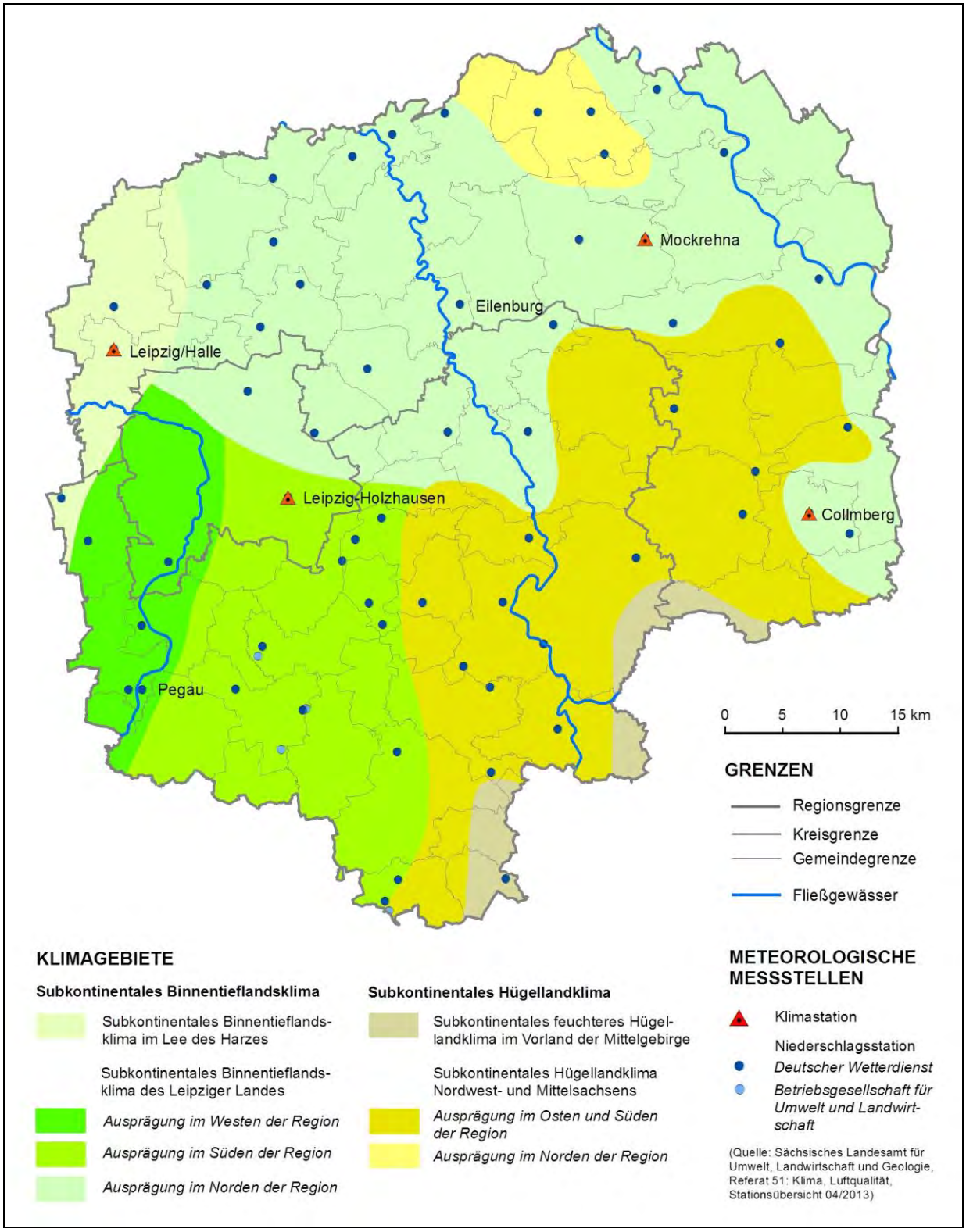


Abb. 2.4-1: Klimagebiete der Region (BFT 1972)

Tab. 2.4-1: Klimagebiete in der Region (nach BFT 1972, ergänzt nach SCHMIDT ET AL. 2011)

Klimagebiet: Subkontinentales Binnentieflandsklima			
Teilraum	**Charakteristik**		
Lee des Harzes	- im Mittel höchste Temperaturen der Region, höchste Anzahl frostfreier Tage, längste Vegetationsperiode und geringste Niederschläge (SCHMIDT ET AL. 2011) - Jahresmitteltemperatur 9,2-9,7 °C, im Mittel 195-200 frostfreie Tage, < 20 Eistage, < 80 Frosttage, 25-35 Tage mit Schneefall, mittlerer Beginn der Feldarbeiten vor dem 15. März, 500-530 mm Jahresniederschlag - ausgeprägte Trockenheit des Winterhalbjahres (September-April: 70-80 % trockene Monate) - kein Ausgleich des Herbst- und Winter-Feuchtdefizits trotz 20-30 % feuchter Monate bei > 40% normaler Monate von Mai-August durch hohe Verdunstungsansprüche des Sommers - Übergangsgebiet zu Trockengebiet		
Leipziger Land	- im regionalen Vergleich hohe Temperaturen und geringe Niederschläge (SCHMIDT ET AL. 2011) - Jahresmitteltemperatur 8,6-9,5 °C, im Mittel 190-195 frostfreie Tage, 20-25 Eistage, 80-85 Frosttage, 25-35 Tage mit Schneefall, mittlerer Beginn der Feldarbeiten vor dem 20. März - kaum thermische, aber schwache Lee- und Luvwirkung infolge geringer Reliefunterschiede - hygrisch differenziert		
	Ausprägung im Norden	**Ausprägung im Westen**	**Ausprägung im Süden**
	- 500-580 mm Jahresniederschlag - deutliche Trockenheit des Winterhalbjahres (September-April: 50-70% trockene Monate) - Mai-August meist > 70 % normale und feuchte Monate - Elbaue bei Torgau durch Leewirkung der Dahlener Heide im Februar-März besonders trocken (70 % trockene Monate)	- 530-550 mm Jahresniederschlag - Herbst und Frühwinter besonders trocken (September-Januar: > 60 % trockene Monate)	- 580-600 mm Jahresniederschlag - Frühjahr und Herbst vor allem im Übergangsbereich zum Hügelland etwas feuchter (April-Mai und September-Oktober 10 % mehr feuchte und normale Monate als im Norden der Region)

Klimagebiet: Subkontinentales Hügellandklima Nordwest- und Mittelsachsens		
Teilraum	**Charakteristik**	
außerhalb des Mittelgebirgsvorlandes	- Übergangsklima zwischen den trockenen, warmen Tieflagen und dem feuchteren, gemäßigt temperierten Hügellandklima (SCHMIDT ET AL. 2011) - Jahresmitteltemperatur 8,4-9,2 °C, im Mittel 185-190 frostfreie Tage, 20-25 Eistage, 80-85 Frosttage, 30-40 Tage mit Schneefall, mittlerer Beginn der Feldarbeiten vor dem 25. März - geringe thermische Unterschiede, Täler meist stärker frostgefährdet - bei südwestlich-südlicher Strömung Bewölkung föhnig aufgelockert - hygrisch differenziert	
	Ausprägung im Osten und Süden	**Ausprägung im Norden**
	- 600-650 mm Jahresniederschlag - deutlich höhere Frühjahrsfeuchte (Mai-Juni: 70-75 % normale und feuchte Monate) - während gesamter Speicherphase des Winterhalbjahres etwa 50 % normale und feuchte Monate - ausreichende Durchfeuchtung in der Vegetationsperiode	- 590-620 mm Jahresniederschlag - im Sommerhalbjahr > 5% höherer Anteil von trockenen Monaten - Winterhalbjahr wie Ausprägung im Süden und Osten der Region - Niederschlag auslösende Wirkung der Dübener Heide besonders bei SW-Lagen (Februar-März) deutlich
feuchteres Hügellandklima im Vorland der Mittelgebirge (Erzgebirge)	- im regionalen Vergleich niedrigste Temperaturen, kürzeste Vegetationsperiode und höchste Niederschlagsmenge (SCHMIDT ET AL. 2011) - Jahresmitteltemperatur 8,1-8,6 °C, im Mittel 180-185 frostfreie Tage, 25 Eistage, > 85 Frosttage, 35-40 Tage mit Schneefall, mittlerer Beginn der Feldarbeiten vor dem 30. März, 650-700 mm Jahresniederschlag - im Frühjahr deutlich höhere Niederschlagsspende (April-Juni: 20-30 % feuchte Monate bei zumeist < 20 % trockenen Monaten) - während des gesamten Sommerhalbjahres knapp 80 % normale und feuchte Monate - Feuchtregime vom noch bestehenden Winterdefizit (50 % trockene Monate, 50 % normale und feuchte Monate) unabhängig	

2.4.2.2 Mittlere Temperatur

Im landesweiten Vergleich zählt die Region Leipzig-Westsachsen neben der klimabegünstigten Dresdner Elbtalweitung und der Lausitz zu den wärmsten Teilräumen Sachsens (vgl. Abb. 2.4-2). Das sächsische Tiefland weist Jahresmitteltemperatur zwischen 8,6 und 8,9 °C auf. In Nordwestsachsen sowie im Elbtal erreichen die Jahresmitteltemperaturen sogar über 9 °C. Im Hügelland sind die langjährigen Temperaturmittelwerte hingegen deutlich geringer zwischen 7,9 und 8,7 °C (vgl. SYRBE ET AL 2014).

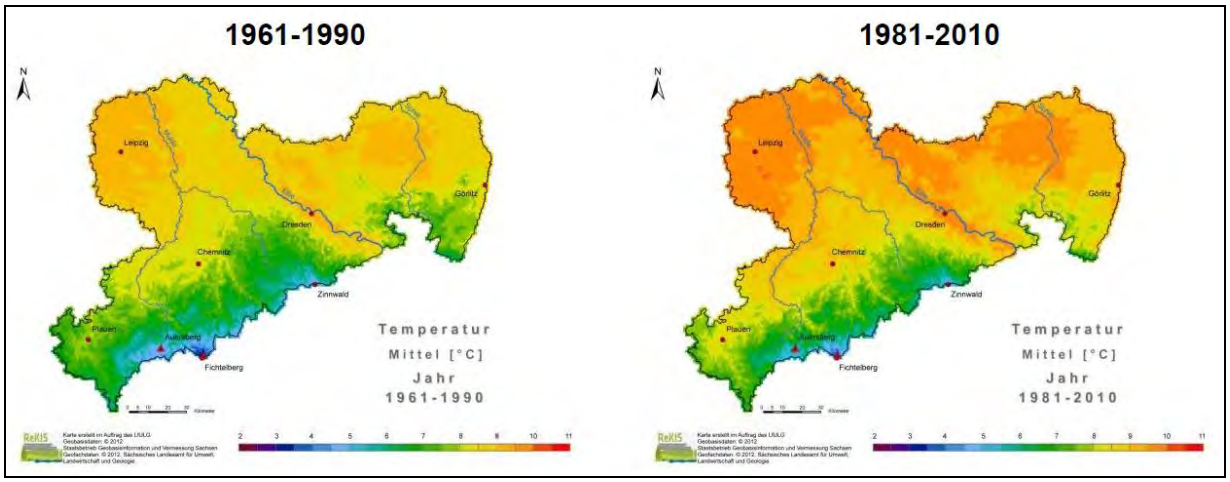


Abb. 2.4-2: Flächenhafte Verteilung der Jahresmitteltemperaturen (°C) in Sachsen im Vergleich der Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010 (BERNHOFER ET AL. 2015)

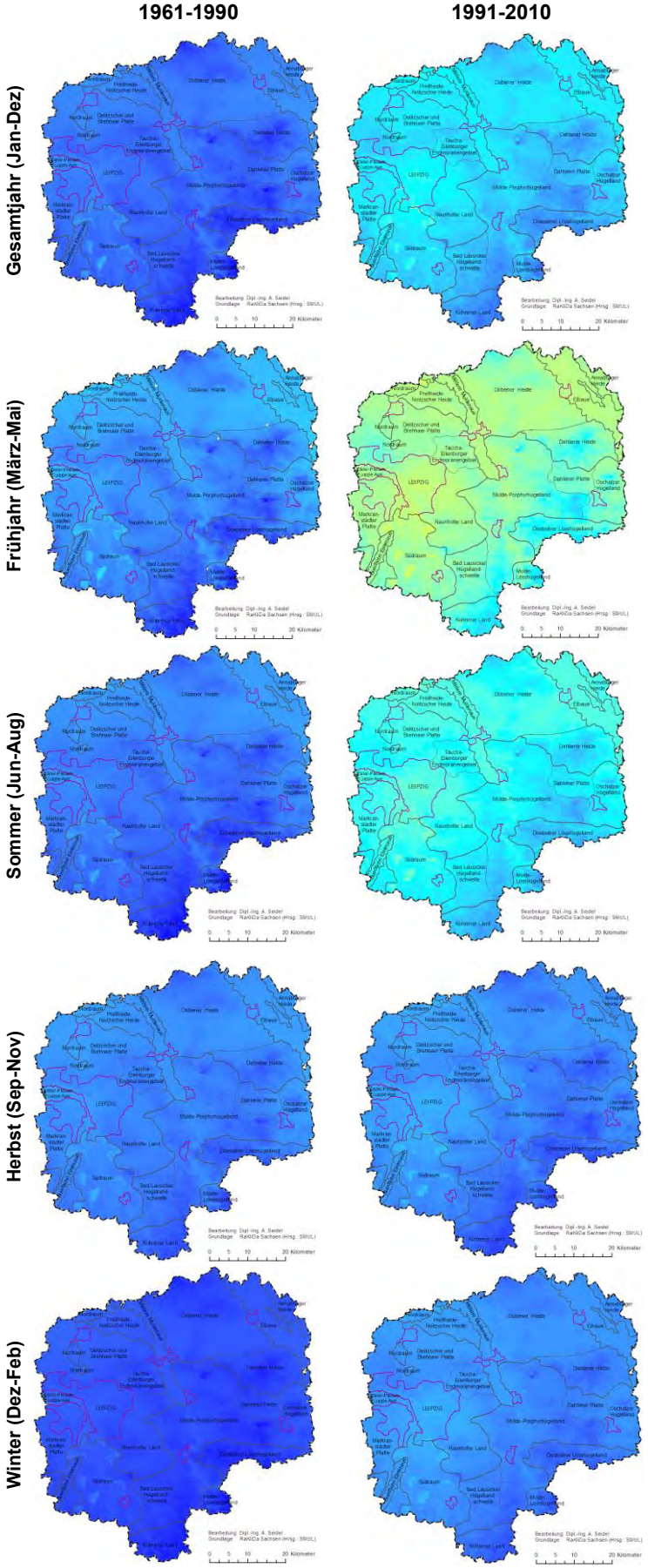
Im trocken-warmen Nordwesten und Norden der Region sowie in der Elbaue liegen die Jahresmitteltemperaturen der Referenzperiode 1991-2010 zwischen 9,8 und 10,1 °C (SEIDEL 2012). Zu den wärmsten Tieflandsgebieten der Region gehören die Delitzscher und Brehnaer sowie Markranstädter Platte, Elster-Pleiße-Luppe-Aue, Südliche Elsteraue, Mittlere Muldenaue, Prellheide-Noitzscher Heide, südliche Dübener Heide, Annaburger Heide und die Elbaue.

Im Übergangsklima der Löss- und Porphyrhügellandschaften sind die Jahresmitteltemperaturen hingegen deutlich geringer. In den südöstlichen und östlichen Hügellandgebieten der Region erreichen die langjährigen Temperaturmittelwerte zwischen 9,0 und 9,7 °C (vgl. Abb. 2.4-3).

In der Gegenüberstellung der Referenzzeiträume 1961-1990 und 1981-2010 (vgl. Abb. 2.4-2) wird eine sachsenweite Zunahme der Jahresmitteltemperaturen von insgesamt rund 1 °C deutlich (vgl. FRANKE 2015). Die Zunahme erfolgt jedoch räumlich und zeitlich differenziert. Die Frühjahrs- und Sommermonate weisen im Mittel die stärksten Temperaturzunahmen auf. Besonders starke Temperaturanstiege verzeichnen die nordsächsischen Tieflandregionen und das Elbtal (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015). Dies spiegelt sich auch in den regionalen Datenreihen zur Klimaentwicklung wider (vgl. Tab. 2.4-2). Ein signifikanter Erwärmungstrend ist insbesondere für die westlichen und nördlichen Teilräume der Region abzuleiten (vgl. Abb. 2.4-3).

Tab. 2.4-2: Vergleich der Mittleren Temperatur für die Referenzzeiträume 1961-1990 und 1991-2010 unterschieden nach Hügelland und Tiefland der Region (SEIDEL 2012)

	Mittlere Temperatur im Hügelland		**Mittlere Temperatur im Tiefland**	
	1961-1990	**1991-2010**	**1961-1990**	**1991-2010**
Jahr	8,6 °C	9,2 °C	9,3 °C	10,0 °C
Frühjahr	8,1 °C	9,0 °C	8,8 °C	9,8 °C
Sommer	17,4 °C	17,9 °C	17,2 °C	17,7 °C
Herbst	9,2 °C	9,1 °C	9,7 °C	9,8 °C
Winter	0,2 °C	0,7 °C	0,8 °C	1,5 °C



8,5 — 13,0
Temperatur Mittel [°C]

1961-1990

Wärmste Lagen im Nordwesten um Delitzsch bis Südraum Leipzig zwischen 9 und 9,6 °C
Kühlste Lagen in Hügelländern und nördlicher Dübener Heide zwischen 8,5 und 8,7 °C

1991-2010

Wärmste Lagen im Nordwesten und Elster-Pleiße-Luppe-Aue sowie im Nordosten (Elbaue) zwischen 9,7 und 10,0 °C
Kühlste Lagen zwischen 9 und 9,7 °C im Südosten

8,0 — 11,5
Temperatur Mittel [°C]

1961-1990

Wärmste Lagen um 9 °C im Norden und Nordosten (Elbaue)
Kühlste Lagen vom Kohrener Land bis Dahlener Heide um 7,8 °C

1991-2010

Wärmste Lagen im Norden und Nordwesten um 9,8 °C
Kühlste Lagen zwischen 8,8 °C und 9,4 °C im Südosten (Hügelländer)

16,5 — 22,0
Temperatur Mittel [°C]

1961-1990

Wärmste Lagen zwischen 17,5 und 18 °C im Nordosten (Elbaue) und von Mittlerer Muldeaue bis in Nordraum
Kühlste Lagen von 16,5 bis 17 °C vom Kohrener Land bis südliche Dahlener Heide

1991-2010

Wärmste Lagen zwischen 18,5 und 18,7 °C mit Schwerpunkt im Nordwesten und im Nordosten
Kühlste Lagen vom Kohrener Land bis in südliche Dahlener Heide zwischen 17,6 und 18 °C

8,5 — 14,0
Temperatur Mittel [°C]

1961-1990

Wärmste Lagen im Nordwesten um Delitzsch bis in Südraum von Leipzig zwischen 9,5 und 10 °C
Kühlste Lagen in Hügelländern und um Trossin (Dübener Heide) um 9 °C

.**1991-2010**

Wärmste Lagen im Nordwesten und Nordosten (Elbaue) sowie in Elster-Pleiße-Luppe-Aue um 9,7 °C
Besonders kühle Lagen im Südosten zwischen 8,9 und 9,4 °C

-0,0 — 7,0
Temperatur Mittel [°C]

1961-1990

Wärmste Lagen im Nordwesten bei Delitzsch und Leipzig um 1 °C
Kühlste Lagen in Hügelländern und nördliche Dübener Heide von 0,0 bis 0,4 °C

1991-2010

Wärmste Lagen zwischen 1,3 und 1,6 °C mit Schwerpunkt im Nordwesten
Kühlste Lagen vom Kohrener Land bis südliche Dahlener Heide zwischen 0,7 und 1,3 °C

Abb. 2.4-3: Flächenhafte Verteilung der Mittleren Temperatur (°C) für die Referenzzeiträume 1961-1990 und 1991-2010 (RaKliDa Sachsen 2012) in der Region (vgl. SEIDEL 2012)

Die Klimaanalyse für die Region Leipzig-Westsachsen (SEIDEL 2012) weist im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 einen flächendeckenden Temperaturanstieg nach (vgl. Abb. 2.4-3). Besonders signifikant ist die Zunahme der Mittleren Temperatur im Frühjahr von 0,9 bis 1,0 °C. Aber auch für die Sommer- und Wintermonate sind steigende Mittlere Temperaturen von 0,5 bis 0,7°C nachgewiesen, wobei das Erwärmungssignal im Tiefland stärker ausfällt als im Hügelland (vgl. Tab 2.4-2).

Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur wirkt sich auf weitere temperturabgeleitete Klimagrößen aus (vgl. FRANKE 2015). Mit dem erhöhten Temperaturniveau ändern sich bspw. die frostfrei Zeit, die Anzahl der Sommer- und Hitzetage (Tageshöchsttemperatur ≥ 25 °C bzw. ≥ 30 °C) im Jahr sowie Beginn und Dauer der Vegetationsperiode. Mit dem Erwärmungstrend nimmt die mittlere Anzahl der Frosttage (Tagesminimum der Lufttemperatur unter 0°C) im Jahr sachsenweit ab. In der Region liegt diese großräumig unter 85 Frosttagen. Die sachsenweit geringste Anzahl der Frosttage 1981-2010 (75 bis 70 d/Jahr) weisen der urbane Raum der Stadt Leipzig, der Südraum Leipzig, die Elster-Pleiße-Luppe-Aue und südliche Elsteraue, die Markranstädter Platte und der Raum um Delitzsch auf (vgl. Abb. 2.4-5). Die mittlere Anzahl der Sommertage nimmt hingegen in Sachsen flächendeckend zu. Im Bereich der Leipziger Tieflandsbucht und der Dübener Heide steigt die mittlere Anzahl der Sommertage um 10 bis 15 Tage im Jahr (BERNHOFER ET AL. 2015).

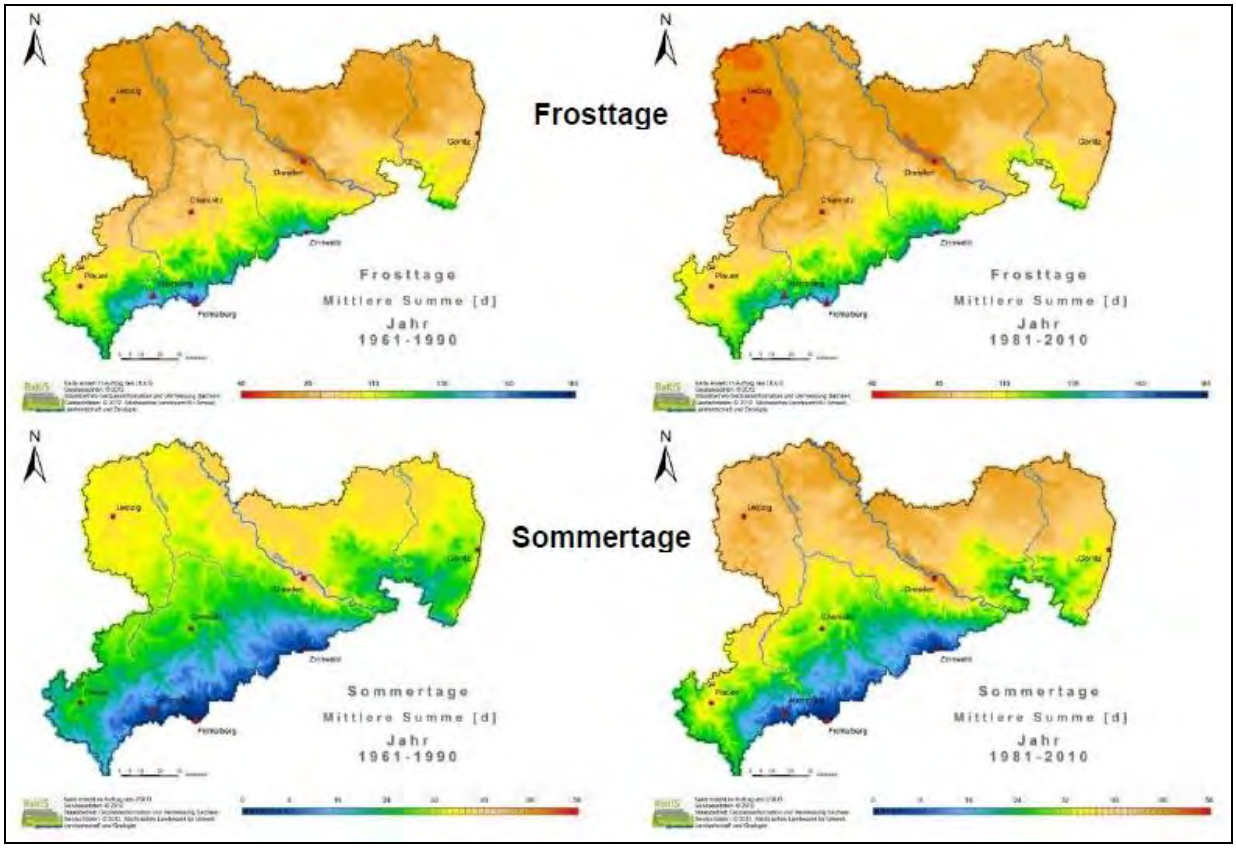


Abb. 2.4-4: Mittlere Anzahl der Frosttage und Sommertage in Sachsen (BERNHOFER ET AL. 2015)

Gleichzeitig steigt auch die mittlere Anzahl der Hitzetage sachsenweit an. Die höchsten Werte weisen neben dem Dresdner Elbtal vor allem die nordöstlichen Tieflandsgebiete im Grenzraum zu Brandenburg auf (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015). Die höchste mittlere Anzahl an Hitzetagen in der Referenzperiode 1981-2010 erreichen in der Region die Elbaue, die Annaburger Heide und die südliche Dübener Heide (vgl. Abb. 2.4-5).

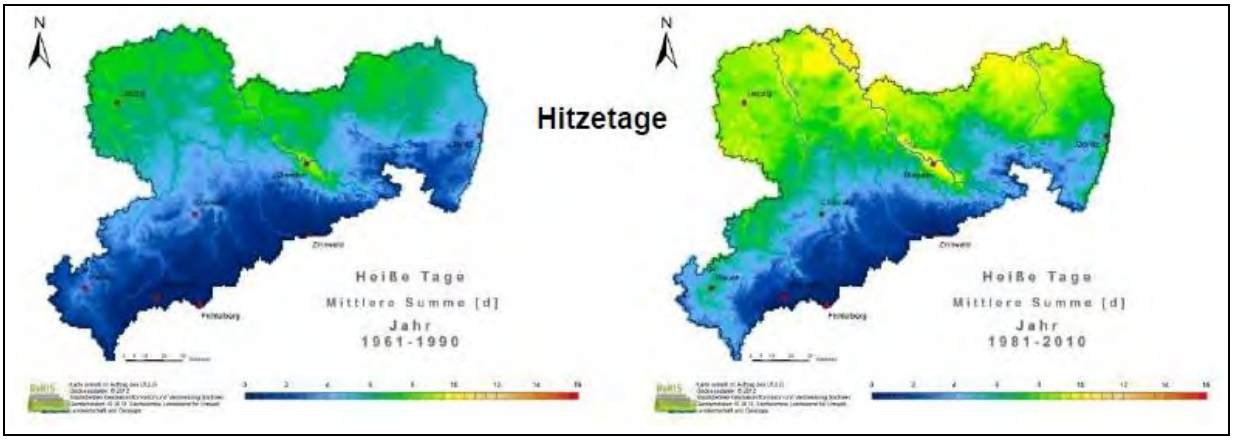


Abb. 2.4-5: Mittlere Anzahl der Hitzetage in Sachsen (BERNHOFER ET AL. 2015)

Im Vergleichszeitraum 1951-2006 waren in der Region zwischen 5 Hitzetage in den südlichen Hügellandschaften und 9 Hitzetage in den westlichen und nördlichen Tieflandsgebieten zu verzeichnen (vgl. Abb. 2.4-6). In der Referenzperiode 1981-2010 weist insbesondere das nordöstliche Tiefland zwischen Mittlerer Mulde und Annaburger Heide bereits zwischen 10 und 11 Hitzetage pro Jahr auf (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015). Gemäß den Prognosen des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) wird sich die Anzahl der Hitzetage in der Region bis Mitte des Jahrhunderts auf 9 bis 21 Tage erhöhen. In den Löss- und Porphyrhügellandschaften der Region wird sich die Anzahl der Hitzetage etwa verdoppeln. Die stärksten Hitzebelastungen in der Region werden jedoch für den Teilraum zwischen Mittlerer Muldenaue und Annaburger Heide prognostiziert. Hier ist ein Anstieg auf bis zu 21 Hitzetage zu erwarten. Doch auch der Nordwesten und Westen der Region sind zukünftig einer hohen Hitzebelastung mit mehr als 15 Hitzetagen im Jahr ausgesetzt (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

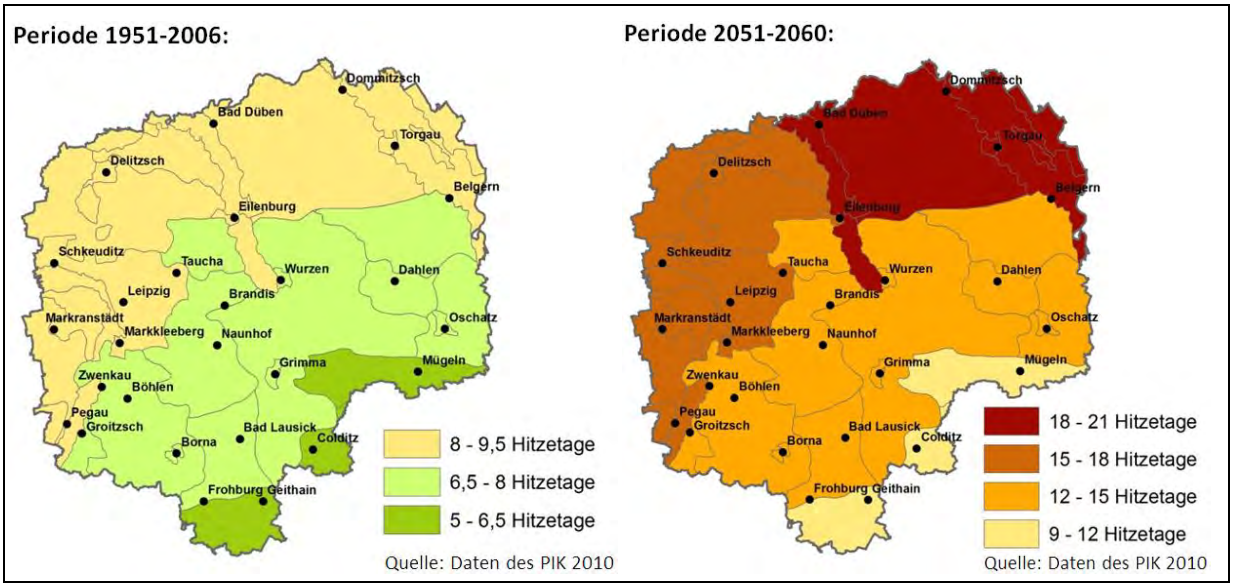


Abb. 2.4-6: Mittlere Anzahl der Hitzetage der Region 1951-2006 und 2051-2060 (SCHMIDT ET AL. 2011)

2.4.2.3 Mittlerer Niederschlag

Die Region ist wegen des abnehmenden maritimen Einflusses, der geringen Höhenlagen und des regionalen Regenschatteneffekts im Lee des Harzes verhältnismäßig niederschlagsarm (vgl. SYRBE ET AL. 2014, BERNHOFER ET AL. 2015). Im landesweiten Vergleich zählt die Region Leipzig-Westsachsen mit rund 550 bis 800 mm Jahresniederschlag zu den trockensten Teilräumen in Sachsen (vgl. Abb. 2.4-7).

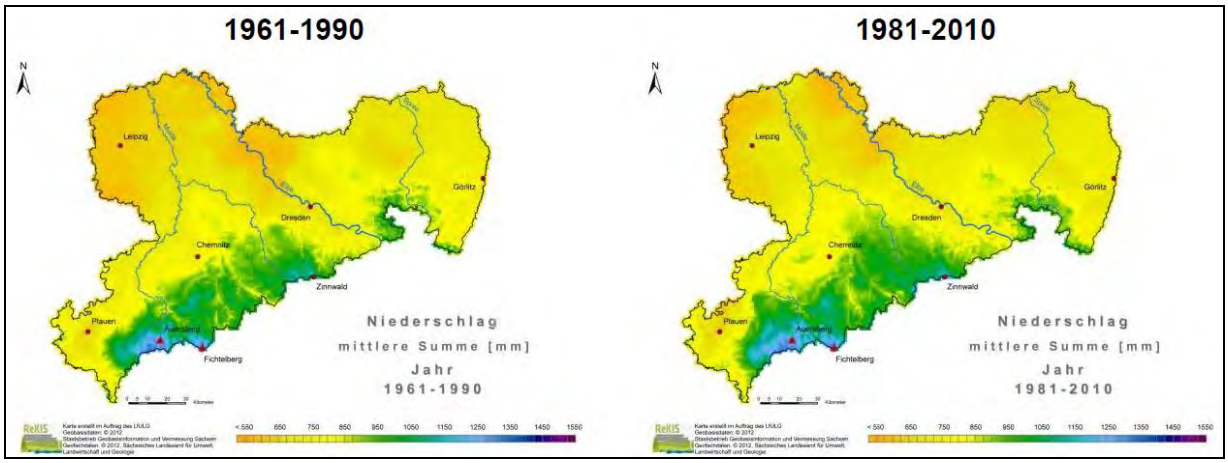


Abb. 2.4-7: Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags (mm) in Sachsen im Vergleich der Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010 (BERNHOFER ET AL. 2015)

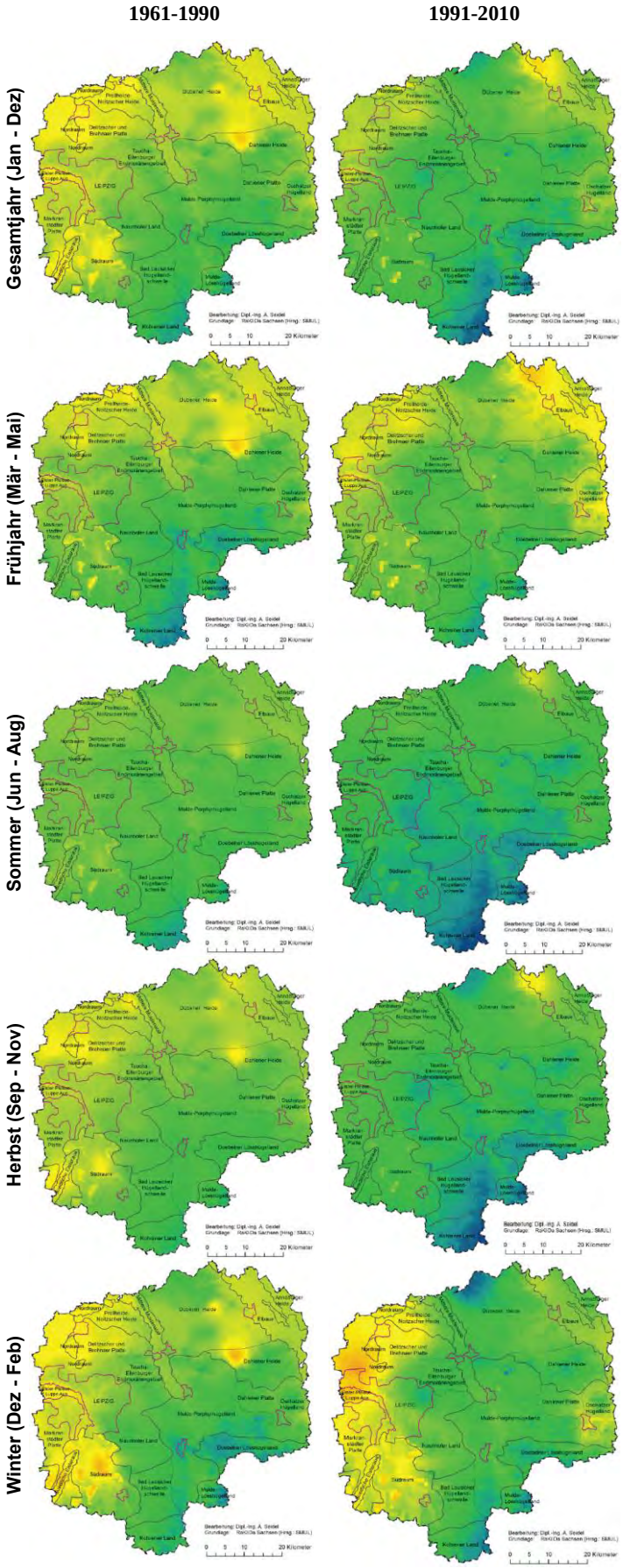
Die Niederschlagssummen unterscheiden sich in der Region teilräumlich. Die höchsten Jahresmittelwerte erreichen die Löss- und Porphyrhügellandschaften, wobei die mittleren jährlichen Niederschlagsmengen von Nord nach Süd ansteigen. Die westlichen und nordöstlichen Tieflandsgebiete der Region zählen hingegen zu den niederschlagsärmsten Teilräumen in Sachsen (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015). Die mittleren jährlichen Niederschlagssummen im nordwestlichen Tiefland im Leebereich des Harzes (Delitzscher und Brehnaer Platte) sowie in der Elbaue und Annaburger Heide sind besonders gering (vgl. Abb. 2.4.-7).

Weitere Unterschiede der regionalen Niederschlagsverteilung zeigen sich im Jahresverlauf. Im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 wird eine hohe Varianz der jahreszeitlichen Niederschlagsmengen deutlich (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011). Besonders signifikant sind die Niederschlagsänderungen im Sommer und Herbst, wobei diese im Hügelland deutlich stärker ausfallen als in den tieferen Lagen der Region (vgl. Tab. 2.4-3).

Tab. 2.4-3: Vergleich des Mittleren Niederschlags (korrigiert) der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 unterschieden nach Hügelland und Tiefland der Region (vgl. SEIDEL 2012)

	Hügelland			**Tiefland**		
	1961-1990 (mm)	**1991-2010** (mm)	**Änderung** (%)	**1961-1990** (mm)	**1991-2010** (mm)	**Änderung** (%)
Jahr	685-765	719-836	+5,3 bis +9,5	565-641	582-668	+3,0 bis +4,0
Frühjahr	166-191	163-187	-1,8 bis -2,0	133-155	134-152	+0,5 bis -1,6
Sommer	215-245	234-271	+9,9 bis +11,5	185-200	182-216	+7,5 bis -1,2
Herbst	154-169	170-198	+10,5 bis +17,4	129-146	132-158	+2,0 bis +8,0
Winter	151-173	151-179	+0,2 bis +3,5	114-138	111-137	-0,4 bis -2,6

Im Vergleich der Jahreswerte 1961-1990 und 1991-2010 ist für die Region eine insgesamt leichte Zunahme der mittleren Niederschlagssummen zu verzeichnen. In den südlichen Hügellandgebieten steigen die Jahresmittelwerte um +34 bis +71 mm, in den trocken-warmen Tieflandsgebieten um +17 bis +27 mm. Jahreszeitlich variiert die Niederschlagsverteilung in der Region jedoch deutlich (vgl. Abb. 2.4-8).



483 — 818
Niederschlag Summe [mm]

1961-1990
trockenste Lagen (565-640 mm) im Westen, Nordosten und nordwestliche Dahlener Heide; feuchteste Lagen (685-765 mm) in südlichen Hügelländern

1991-2010
Anstieg der mittleren Niederschlagssumme, im Tiefland weniger deutlich als im Hügelland
trockenste Lagen (560-660 mm) im Nordwesten und Nordosten (v. a. nördliche Elbaue); feuchteste Lagen (710-815 mm) im Hügelland (v. a. Kohrener Land, Mulde-Lösshügelland)

113 — 234
Niederschlag Summe [mm]

1961-1990
trockenste Lagen (135-155 mm) im Norden und nordwestliche Dahlener Heide; feuchteste Lagen (160-190 mm) in südlichen Hügelländern

1991-2010
leichter Niederschlagsrückgang bis -2 %, v. a. im Nordosten und in den südlichen Hügelländern
trockenste Lagen (130-150 mm) vorrangig im Nordwesten und Nordosten; feuchteste Bereiche (160-186 mm) im Süden

132 — 243
Niederschlag Summe [mm]

1961-1990
nur gering differenziert; trockenste Lagen (180-200 mm) im Norden und Westen; feuchteste Lagen (215-240 mm) in den südlichen Hügelländern

1991-2010
Anstieg des mittleren Niederschlags v. a. im Hügelland, im Tiefland abgeschwächte Tendenz
trockenste Lagen (200-215 mm) nördliche Elbaue; feuchteste Lagen (250-260 mm) im Hügelland (v. a. Kohrener Land, Mulde-Lösshügelland)

100 — 196
Niederschlag Summe [mm]

1961-1990
trockenste Lagen (132-135 mm) im Nordwesten und Westen, abgeschwächt in Elbaue, Dübener und Dahlener Heide; feuchteste Lagen (155-170 mm) in den südlichen Hügelländern

1991-2010
deutlicher Anstieg des mittleren Niederschlags
trockenste Lagen (132-140 mm) nur noch im Nordosten; feuchteste Lagen (165-190 mm) in den südlichen Hügelländern

96 — 183
Niederschlag Summe [mm]

1961-1990
trockenste Lagen (115-140 mm) im Nordwesten und Westen, punktuell auch in Heidegebieten und Elbaue; feuchteste Lagen (150-172 mm) in den Lösshügelländern

1991-2010
Anstieg des mittleren Niederschlags in den Heidelandschaften und Hügelländern; Abnahme hingegen in den westlichen Tieflandsgebieten
trockenste Lagen (124-146 mm) im Nordwesten, feuchteste Lagen (160-185 mm) in Dübener Heide

Abb. 2.4-8: Flächenhafte Verteilung des Mittleren Niederschlags (mm) der Referenzzeiträume 1961-1990 und 1991-2010 (RaKliDa Sachsen 2012) in der Region (vgl. SEIDEL 2012)

Im Frühling nehmen die Mittleren Niederschläge der Referenzperiode 1991-2010 gegenüber 1961-1990 regionsweit ab, insbesondere im Nordosten sowie in den Hügellandschaften der Region um bis zu -2 %. In den Sommermonaten sind hingegen überwiegend steigende Niederschlagssummen nachweisbar, welche im Hügelland zwischen +10 bis +11 % erreichen. Im Tiefland weisen die Mittleren Niederschlagsmengen im Sommer eine hohe Schwankungsbreite auf. Während in den westlichen und nördlichen Tieflandsgebieten die Mittleren Niederschlagssummen zunehmen, sind in der nördlichen Elbaue rückläufige Niederschlagssignale zu verzeichnen. In den Herbstmonaten sind sowohl im Hügelland als auch im Tiefland steigende Niederschlagssummen nachgewiesen. Diese betragen in tieferen Lagen bis +8,0 %, im Hügelland sogar zwischen +10 bis +17 %. Besonders ausgeprägt sind die herbstlichen Niederschlagszunahmen im Kohrener Land sowie im Mulde-Lösshügelland. Im Winter variieren die Niederschlagssignale in der Region deutlich. Während die winterlichen Niederschlagssummen im Tiefland im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 bis -2 % abnehmen, ist die Entwicklung der Niederschlagsmittel im Hügelland hingegen leicht positiv.

Insgesamt weisen die südlichen Hügellandgebiete der Region zwischen 1961-1990 und 1991-2010 lediglich im Frühjahr eine verringerte mittlere Niederschlagssumme auf, während diese im Sommer, Herbst und Winter hingegen signifikant zunehmen. Für die bereits trocken-warmen Tieflandsgebiete sind sowohl im Frühling als auch im Winter verringerte Niederschlagsmittel abzuleiten. Diese sind im Frühjahr vorrangig im Nordosten, im Winter vorrangig im Nordwesten ausgeprägt. Eine Ausnahme stellen die Heidelandschaften dar, insbesondere die nördliche Dübener Heide, welche im Winter hingegen eine Zunahme der mittleren Niederschlagssummen aufweisen Eine Zunahme der mittleren Niederschlagssummen ist im Tiefland v. a. im Herbst, aber auch in den Sommermonaten zu verzeichnen. Diese fallen jedoch deutlich geringer als im Hügellland aus. Eine Ausnahme bildet die nördliche Elbaue, welche auch im Sommer und Herbst eine Abnahme der mittleren Niederschlagssummen aufweist (vgl. Abb. 2.4-8). Im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 haben sich v. a. die Schwankungsbreiten der Niederschlagsereignisse in der Region räumlich als auch quantitativ erhöht (SEIDEL ET AL. 2012).

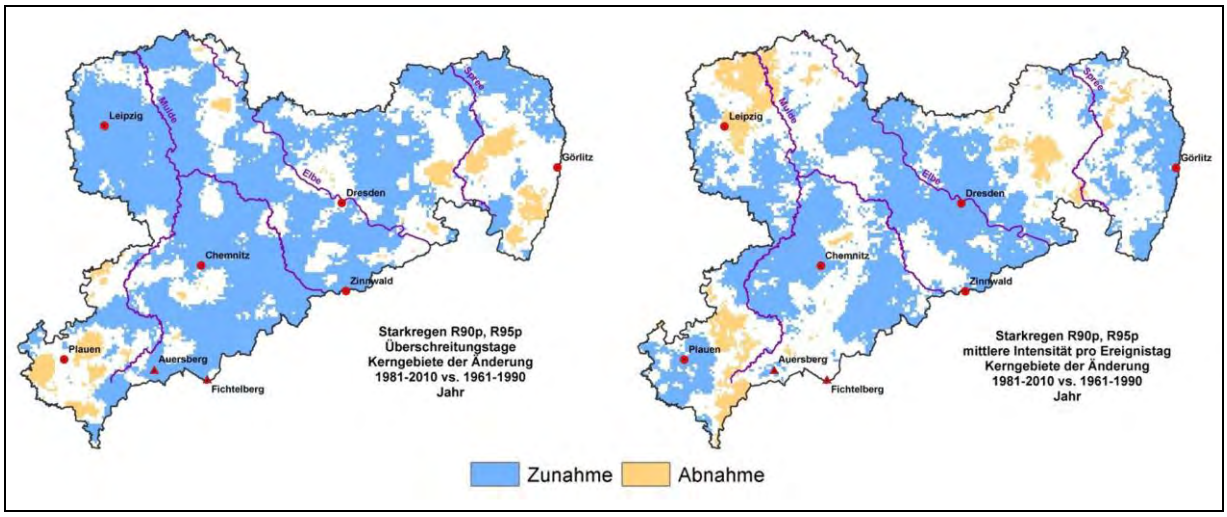


Abb. 2.4-9: Flächenhafte Verteilung der Änderung von Starkniederschlagsereignissen in Sachsen im Vergleich der Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010 (FRANKE 2015)

Die Niederschlagsentwicklung in der Region wirkt sich auf weitere komplexe Klimagrößen aus. Beispielsweise steht diese im unmittelbaren Zusammenhang zum Grad der Wolkenbedeckung, zur Relativen Sonnenscheindauer, potenziellen Verdunstung und Klimatischen Wasserbilanz (vgl. Kap. 2.4.2.4). Im Zuge der veränderten Temperatur- und Niederschlagsentwicklung steigt zudem die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen in Sachsen zwischen 1961-1990 und 1981-2010 (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015, FRANKE 2015). Auch in der Region nimmt die Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen im Flächenmittel zu (vgl. Abb. 2.4-9).

Das Auftreten von Starkniederschlagsereignissen ist in der Region allerdings heterogen (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015). Im Frühjahr nimmt die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen in der Region tendenziell ab. Vor allem westlich der Mulde sind deutliche Abnahmen zu verzeichnen. Im Sommer steigen die Auftrittswahrscheinlichkeiten in weiten Teilen der Region hingegen

deutlich an. Starke Zunahmen weisen das westliche Tiefland, der Südraum Leipzig sowie die Löss- und Porphyrhügelländer auf, während die Heidelandschaften und das Elbtal nur geringfügige Änderungen verzeichnen. Im Herbst sind steigende Starkniederschlagshäufigkeiten v. a. im Norden und Westen der Region nachgewiesen. In Gebieten östlich der Mulde verringert sich hingegen die Auftrittswahrscheinlichkeit. Die Häufigkeit von Starkniederschlägen im Winter weist regionsweit hohe Schwankungsamplituden auf. Starke Zunahmen verzeichnen v. a. das Taucha-Eilenburger Endmoränengebiet, die Dübener und Dahlener Heide, der Südraum Leipzig sowie die südlichen Hügelländer. Im nordwestlichen Tiefland und Südosten der Region sind die winterlichen Starkniederschlagsereignisse hingegen rückläufig. Insgesamt lässt sich v. a. für die Vegetationsperiode II (Jul-Sep) eine nahezu regionsweite Zunahme der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen nachweisen. Nach BERNHOFER ET AL. (2015) sind im Leipziger Land, im Südraum Leipzig sowie in Teilen des Nordsächsischen Platten- und Hügellandes die höchsten Zunahmen sachsenweit zu verzeichnen.

Zunahmen der mittleren Intensität der Starkniederschlagsereignisse sind in der Region im Zeitraum 1961-1990 und 1981-2010 hingegen nur teilräumlich abzuleiten, v. a. für die westlichen Tieflandsgebiete, die südliche Elsteraue und die südlichen Hügelländer (vgl. Abb. 2.4-9). Im landesweiten Vergleich ist die mittlere Intensität der Starkniederschlagsereignisse der Region mit ca. 22 bis 24 mm pro Ereignistag verhältnismäßig gering (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015).

2.4.2.4 Klimatische Wasserbilanz

Die Klimatische Wasserbilanz ist eine komplexe Klimagröße, die sich aus der Differenz der korrigierten Niederschlagssumme und der potenziellen Verdunstung ableitet. Sie ist ein Indikator zur Abschätzung des potenziellen Wasserdargebotes der Region, kennzeichnet Phasen der Bodenaustrocknung und kann deshalb als Trockenindex verwendet werden (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, BERNHOFER ET AL. 2015).

Die Region Leipzig-Westsachsen ist bereits unter aktuellen Klimaverhältnissen aufgrund des kontinentalen Einflusses und naturräumlicher Gegebenheiten (geringe Höhenlage, Regenschatteneffekte im Lee des Harzes) durch eine angespannte Wasserhaushaltssituation gekennzeichnet. Die Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 haben zu einer Verschärfung des Wasserdargebotes in der Region beigetragen. Nach BERNHOFER ET AL. (2015) weisen die westlichen und nordöstlichen Tieflandsgebiete der Region überwiegend negative jährliche Wasserbilanzen auf (vgl. Abb. 2.4-10). Im sachsenweiten Vergleich sind diese regionalen Wasserdefizite der Tieflandsgebiete innerhalb der Referenzperiode 1981-2010 am stärksten ausgeprägt.

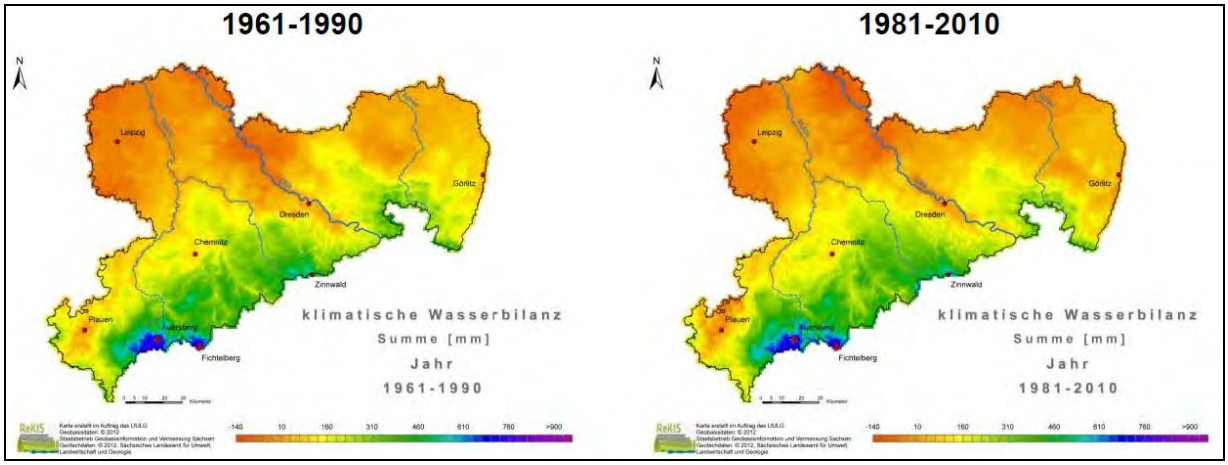


Abb. 2.4-10: Flächenhafte Verteilung der Klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen im Vergleich der Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010 (BERNHOFER ET AL. 2015)

Tab. 2.4-4: Vergleich der Klimatischen Wasserbilanz (Absolutwerte in mm) der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 für Hügelland und Tiefland der Region (vgl. SEIDEL 2012)

	Hügelland			**Tiefland**		
	1961-1990 (mm)	**1991-2010** (mm)	**Änderung** (mm)	**1961-1990** (mm)	**1991-2010** (mm)	**Änderung** (mm)
Jahr	61 bis 160	69 bis 195	+8 bis +35	12 bis -67	9 bis -65	+2 bis -3
Sommer-halbjahr	-32 bis -170	-49 bis -116	-8 bis -17	-137 bis -173	-149 bis -212	-12 bis -39
Winter-halbjahr	173 bis 215	186 bis 243	+13 bis +29	109 bis 151	109 bis 159	+/-0 bis +8

Das potenzielle Wasserdargebot unterscheidet sich in der Region teilräumlich zwischen Tiefland und Hügelland sowie im jahreszeitlichen Verlauf (vgl. Tab. 2.4-4 und Abb. 2.4-11).

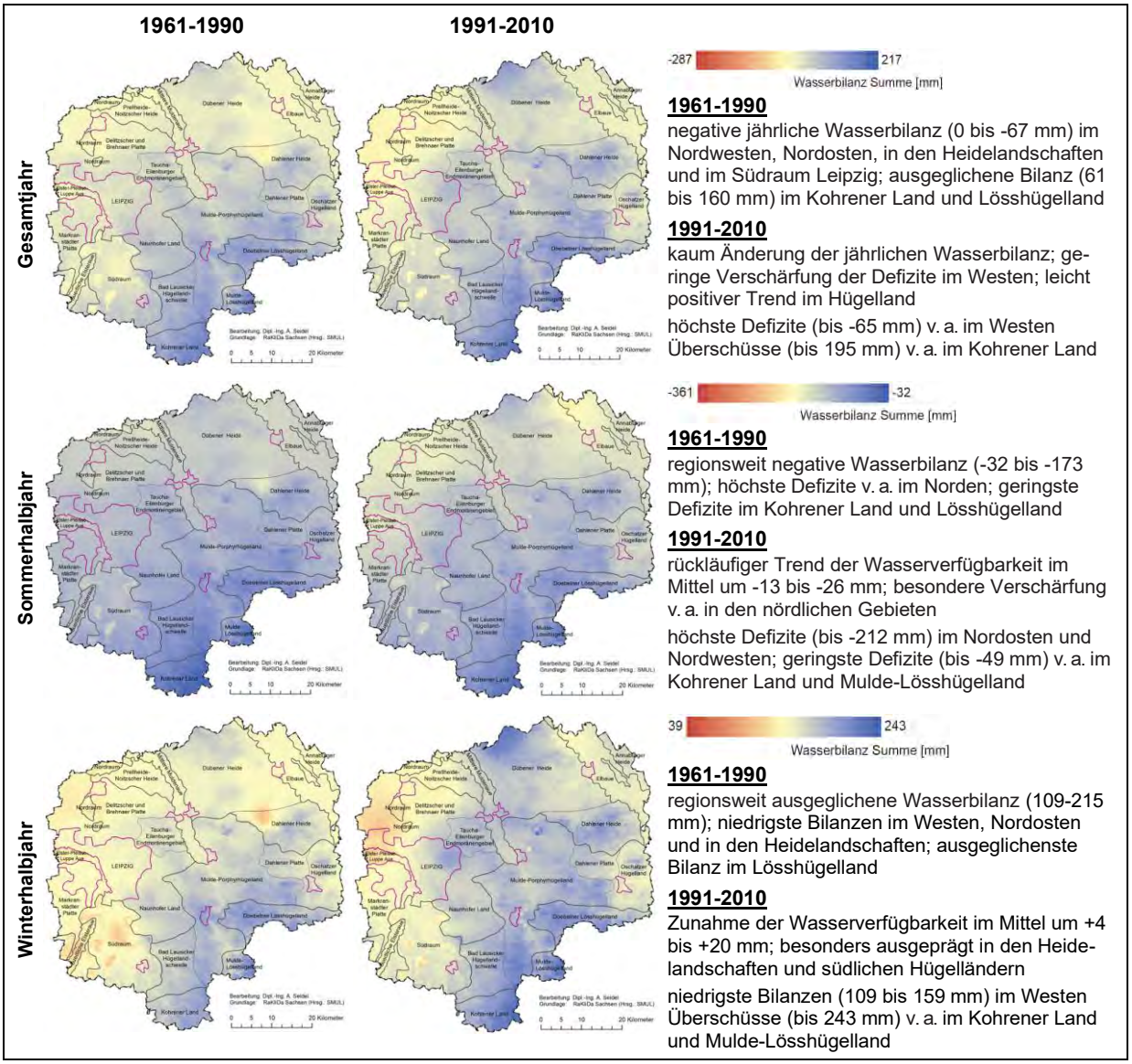


Abb. 2.4-11: Flächenhafte Verteilung der Klimatischen Wasserbilanz (mm) der Referenzzeiträume 1961-1990 und 1991-2010 (RaKliDa Sachsen 2012) in der Region (vgl. SEIDEL 2012)

Für die Tieflandsgebiete der Region sind im Jahresmittel vorrangig negative Klimatische Wasserbilanzen zu verzeichnen (mittlerer Absolutwert -28 mm). In der Referenzperiode 1961-1990 sind diese über den gesamten Norden der Region (Elster-Pleiße-Luppe Aue, Delitzscher und Breh-

naer Platte, Nordraum Leipzig, Prellheide-Noitzscher Heide, Dübener Heide, nördliche Dahlener Heide, Elbaue bis Annaburger Heide) ausgeprägt. Im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 bleibt der mittlere Absolutwert im Tiefland zwar konstant, allerdings ändern sich die Wasserdefizite teilräumlich. In den westlichen Tieflandsgebieten verschärfen sich die negativen Wasserbilanzen, v. a. in der Elster-Pleiße-Luppe Aue, Delitzscher und Brehnaer Platte sowie im Nordraum Leipzig. Für die nordöstlichen Tieflandgebiete ist hingegen ein Rückgang der Defizite zu verzeichnen. Dieser ist in der Elbaue und Annaburger Heide gering, in der nördlichen Dübener Heide und Dahlener Heide hingegen deutlicher ausgeprägt. In den Hügelländern der Region sind im Gegensatz vorrangig positive Jahresbilanzen für die Referenzperioden nachgewiesen. Wasserüberschlüsse weisen v.a. die südlichen Bereiche der Region, insbesondere das Kohrener Land, die Lösshügelländer sowie das südliche Mulde-Porphyrhügelland auf. Im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 steigt der mittlere Absolutwert im Hügelland von 111 mm auf 132 mm leicht an, welcher sich aus den erhöhten Niederschlagssummen in diesen Gebiete ableitet (vgl. Kap. 2.4.2.3).

Im Sommerhalbjahr ist die gesamte Region durch eine negative Klimatische Wasserbilanz (Wasserzehrung) gekennzeichnet. Im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 hat sich diese zudem weiter verschärft. Die höchsten Defizite der Wasserverfügbarkeit im Zeitraum 1991-2010 zeigen der Nordwesten und Nordosten der Region. Ursachen liegen in der Temperaturzunahme und steigenden potenziellen Verdunstung während der Frühjahrs- und Sommermonate bei gleichzeitg leichtem Niederschlagsrückgang im Frühjahr bzw. nur geringfügigen Niederschlagszunahmen im Sommer (vgl. Kap. 2.4.2.2, 2.4.2.3). Die sich verstärkende negative Klimatische Wasserbilanz im Sommer weist auf ein erhöhtes Trockenheitsrisiko der nordsächsischen Tieflandsgebiete hin (vgl. FRANKE 2015).

Im Winterhalbjahr sind im Gegensatz regionsweit positive Klimatische Wasserbilanzen nachgewiesen. Im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2010 zeigt sich zudem ein überwiegend positiver Trend der Wasserverfügbarkeit in der Region, wobei die mittleren Absolutwerte im Tiefland um +4 mm (von 130 mm auf 134 mm) und im Hügelland um +21 mm (von 194 mm auf 215 mm) ansteigen. Eine Ausnahme stellen die westlichen Tieflandsgebiete dar. Vor allem im Grenzraum zu Sachsen-Anhalt im Bereich der östlichen Delitzscher und Brehnaer Platte sowie in der Elster-Pleiße-Luppe Aue ist im Referenzzeitraum 1991-2010 eine Abnahme der Klimatischen Wasserbilanz im Winter festzustellen. Deutliche Zunahmen der Wasserverfügbarkeit und steigende winterliche Wasserüberschüsse sind hingegen v. a. zwischen Muldenaue und Elbaue in den Hügelländern der Region sowie in der Dübener und Dahlener Heide zu verzeichnen.

2.4.2.5 Windverhältnisse

Der Wind ist eine Ausgleichsbewegung der Luft infolge unterschiedlich starker Luftdruckverhältnisse. Er wird durch Windgeschwindigkeit und Windrichtung charakterisiert, welche sich durch die wechselnde Verteilung von Hoch- und Tiefdruckgebieten im Jahresverlauf ändern und wesentlich von topographischen Gegebenheiten und dem Reibungswiderstand bestehender Landnutzungen beeinflusst werden (vgl. BERNHOFER ET AL. 2008). Der Wind bestimmt den Austausch von Luftmassen, transportiert Luftschadstoffe und Gerüche und bildet deshalb ein bedeutsames Kriterium für die lufthygienischen Verhältnisse in der Region.

Eine grobe windenergetische Gliederung des Freistaates Sachsen kann auf Basis der Ergebnisse des Sächsischen Windmessprogramms erfolgen. Danach lassen sich mindestens 6 verschiedene Windsysteme in Sachsen erkennen. Die Ausdehnung der Windsysteme ist umso geringer, je komplizierter das Relief ist. Besonders großflächig sind die Windsysteme in flacheren, mäßiger gegliederten Gebieten. Die Region Leipzig-Westsachsen ist dem „Windsystem Nord- und Westsachsen“ zuzuordnen. Dieses Gebiet erstreckt sich vom Südwesten bis Nordosten Sachsens, etwa parallel und vorgelagert zum Erzgebirgskamm (SMUL 1994).

Im Tiefland der Region sind die Windgeschwindigkeiten aufgrund der nur geringen Reliefenergie maßgeblich vom Reibungswiderstand der bestehenden Flächennutzungsstrukturen abhängig. Im Tiefland treten deshalb zumeist großflächige homogene Windfeldstrukturen auf, wobei die waldreichen Tieflandsgebiete der Heidelandschaften infolge höherer Rauhigkeiten deutlich geringere mittlere Windstärken verzeichnen als die großflächig landwirtschaftlich genutzten, windoffenen Tieflandsgebiete der Sandlöss-Ackerebenen. In südlicher Richtung im Bereich der Porphyr- und Lösshügelländer werden die Windgeschwindigkeiten hingegen mit zunehmender Reliefenergie

und steigender Höhe über NN auch stärker von lokalen Reliefverhältnissen beeinflusst. Vor allem die windexponierten Hochflächen, Höhenrücken und Kuppen der Hügelländer weisen erhöhte Windgeschwindigkeiten auf, während die Tallagen im Hügelland häufig windgeschützter sind.

Tab. 2.4-5: Mittlere jährliche Windgeschwindigkeiten in der Region (nach SMU 1997)

Mittlere Windgeschwindigkeiten			Verbreitungsgebiete in der Region
niedrig	< 1,8 m/s	- dicht bebaute Stadtkerne	- Leipzig
mittel	1,8 bis 2,4 m/s	- weniger dicht bebaute Gebiete - Wälder (oberhalb des Kronenraumes) - bewaldete oder bebaute Tallagen	- Stadtrand Leipzig, Mittelzentren - Dübener Heide, Dahlener Heide, Wermsdorfer Forst, weitere Waldgebiete wie Annaburger Heide - Flächen des Braunkohlenbergbaus südlich Leipzig
hoch	2,5 bis 3,6 m/s		- überwiegend
erhöht	> 3,6 m/s	- großflächig in Gebieten mit hohem Freiflächenanteil	- Bereiche der Delitzscher, Brehnaer und Markranstädter Platte - vereinzelte Kuppen im Döbelner und Mulde-Lösshügelland sowie Oschatzer Hügelland - höchster Wert 4,1 m/s (Station Leipzig-Schkeuditz)

Insgesamt schwanken die mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten der Region zwischen kleiner 1,8 m/s in windgeschützten Lagen der dicht bebauten Urbanen Räume und größer 3,6 m/s in windoffenen, unbewaldeten Lagen der Platten- und Hügelländer (vgl. Tab 2.4-5).

Die geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten der Region treten im dicht bebauten Innenstadtgebiet von Leipzig auf. Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten sind hingegen auf den exponierten Hochflächen, Höhenrücken und Kuppen der südlichen Hügelländer zu verzeichnen, insbesondere im Oschatzer Porphyrhügelland sowie im Döbelner, Kohrener und Mulde-Lösshügelland. Erhöhte Windstärken treten jedoch auch in den windoffenen, großschlägigen Agarlandschaften der Delitzscher, Brehnaer und Markranstädter Platte im Westen und Nordwesten der Region auf. Nur geringe Windgeschwindigkeiten sind dagegen in den größeren, zusammenhängenden Waldgebieten der Heidelandschaften sowie in den Tallagen und Waldgebieten der Porphyrhügellandschaften kennzeichnend. Diese regionale Differenzierung der mittleren Windgeschwindigkeiten spiegelt sich auch in der Verteilung der Windspitzen wieder. Abb. 2.4-12 stellt die Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes zur räumlichen Verteilung von Windspitzen im Wiederkehrintervall von 50 Jahren auf Grundlage von Messwerten dar (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

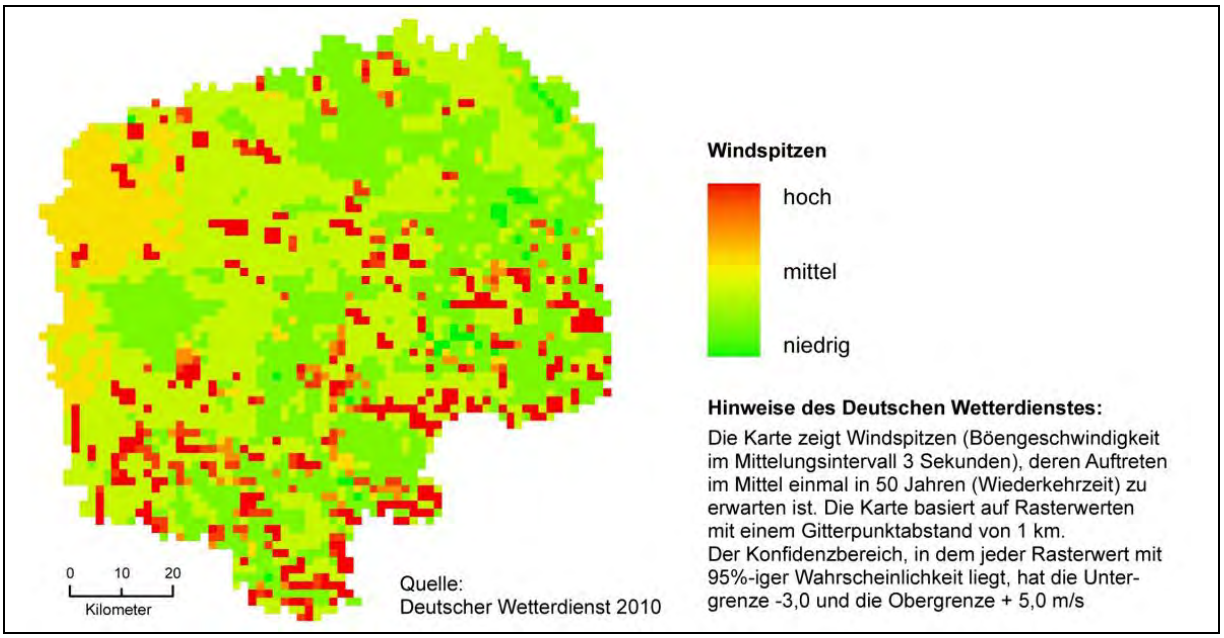


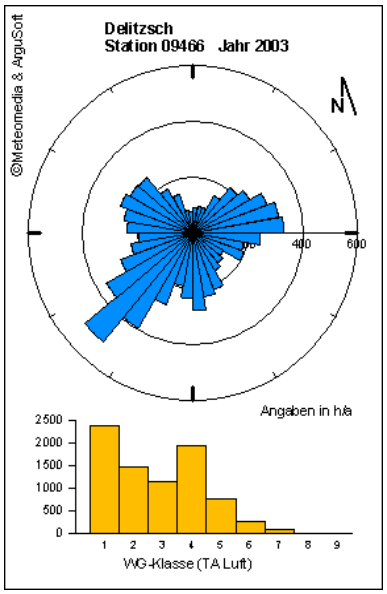
Abb. 2.4-12: Windspitzen vom 33-41 m/s im Zeitraum 1971-2008 gemäß DWD 2010 (SCHMIDT ET AL.2011)

Zur Charakterisierung der Windverhältnisse in der Region stehen Windrosen zur Verfügung, an Hand derer die statistische Verteilung der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Windrichtung zusammengefasst und in Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeitsklassen dargestellt ist (vgl. Abb. 2.4-13). Dabei werden auch Windrosen angrenzender Stationen der Nachbarregionen abgebildet, sofern diese repräsentativ für Leipzig-Westsachsen sind.

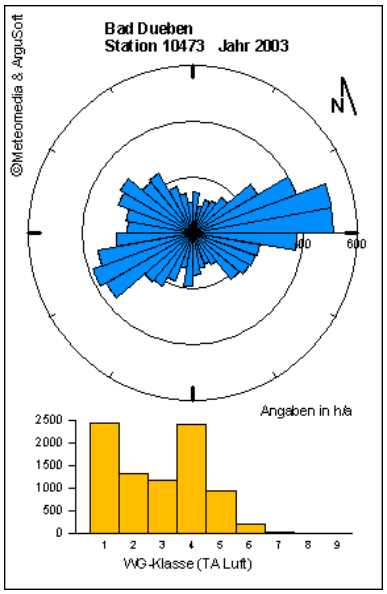
Die Region Leipzig-Westsachsen ist der Westwindzone zuzuordnen. Winde aus westlicher und südwestlicher Richtung treten im Jahresverlauf am häufigsten auf (vgl. BERNHOFER ET AL. 2008). Seltener sind hingegen die Winde der Hochdruckwetterlagen aus östlichen bis nordöstlichen Richtung. Teilräumliche Differenzierungen der Windrichtungsverteilung infolge reliefbedingter Besonderheiten treten in der Region nur geringfügig auf (vgl. Abb. 2.4-13). Die Hauptwindrichtung ist in der Region deutlich ausgeprägt und liegt bei 240° bis 210° (WSW bis SSW). Die Windrosen der Region ähneln damit der allgemeinen Windrose im mitteldeutschen Flachland, sind aber um ca. 30° nach Süden gedreht. Diese mesoklimatische Besonderheit lässt sich mit der Leitwirkung der Pultscholle Erzgebirge erklären. Der dominierend wirkende Einfluss des Erzgebirges kann noch 100 km nordwestlich des Westerzgebirgskammes nachgewiesen werden (SMUL 1994).

Klimagebiet: Subkontinentales Binnentieflandsklima

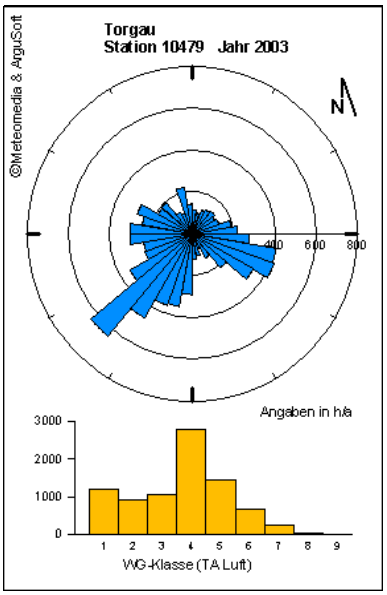
Station Delitzsch



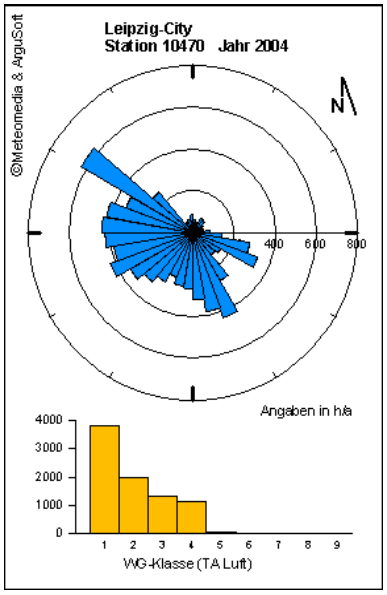
Station Bad Düben



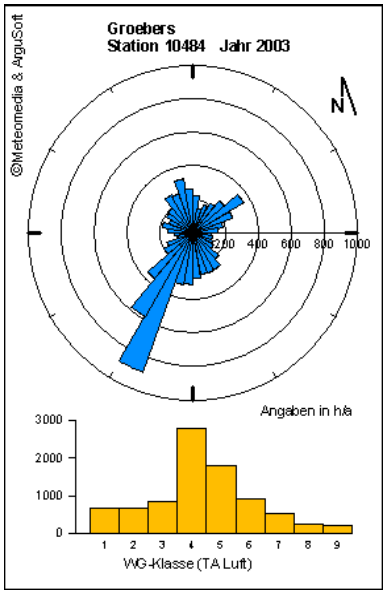
Station Torgau



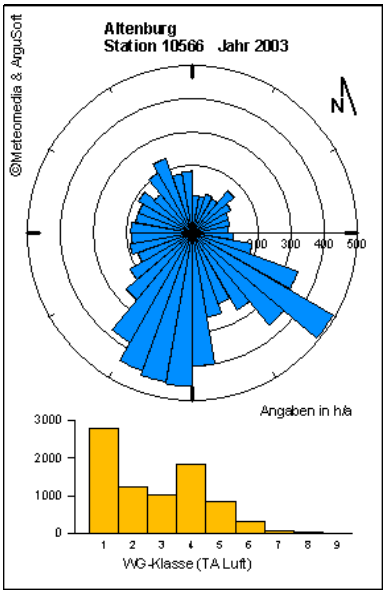
Station Leipzig



Station Gröbers (Sachsen-Anhalt)



Station Altenburg (Thüringen)



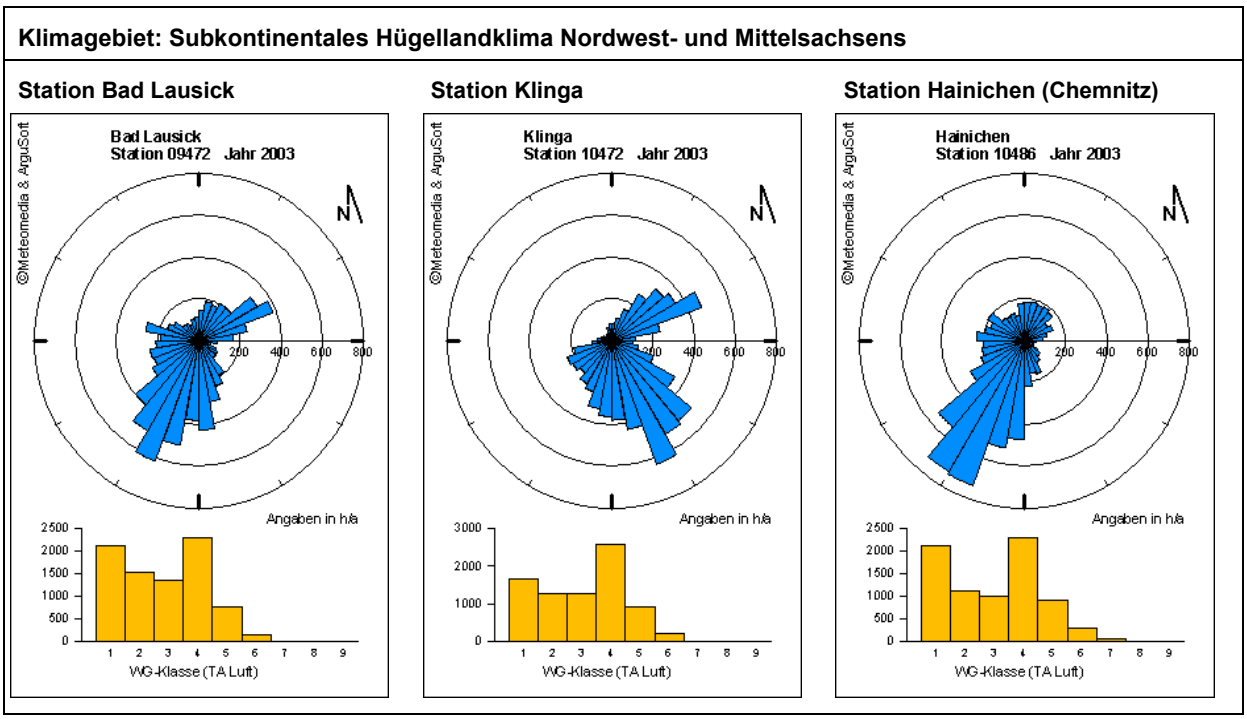


Abb. 2.4-13: Windrichtungsverteilung und Windgeschwindigkeitsklassen (WG-Klasse) ausgewählter Stationen im Jahr 2003/2004 (ARGUSOFT 2007)

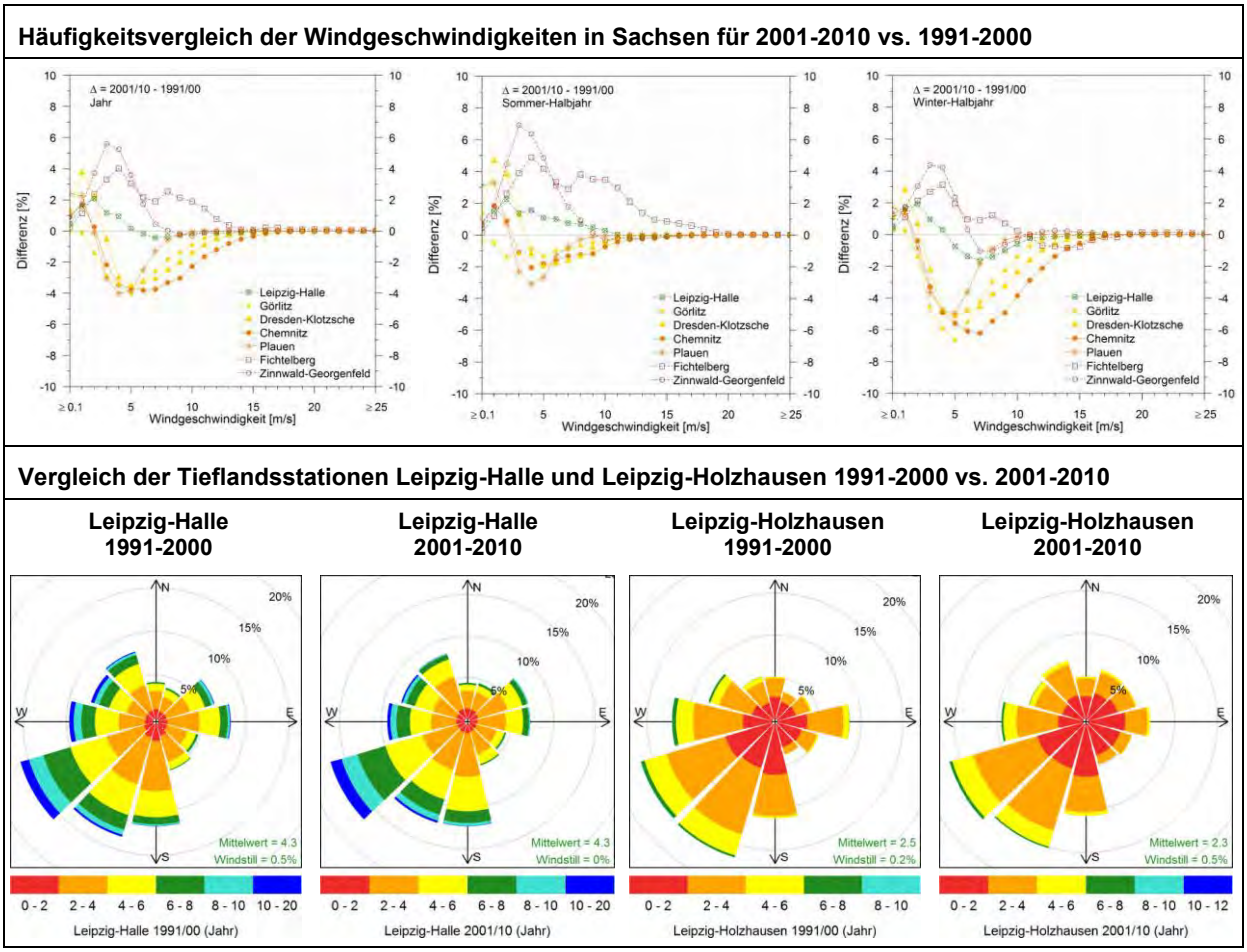


Abb. 2.4-14: Windverhältnisse im Vergleich 1991-2000 vs. 2001-2010 (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015)

Die Differenzen der Referenzperioden 1991-2000 und 2001-2010 (vgl. Abb. 2.4-14) zeigen für die Tieflandsstation Leipzig-Halle veränderte Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeitsklassen. In den Sommerhalbjahren 2001-2010 treten hier Windgeschwindigkeiten bis 11 m/s im Vergleich zu 1991-2000 gehäufter auf, während in den Winterhalbjahren 2001-2010 Windgeschwindigkeiten zwischen 5 bis 12 m/s vergleichsweise rückläufig sind. Insgesamt nehmen die Windgeschwindigkeiten im Tiefland leicht zu (vgl. BERNHOFER ET AL. 2015). Im Vergleich der Windrichtungsverteilungen der Referenzperioden 1991-2000 und 2001-2010 sind hingegen keine signifikanten Änderungen erkennbar.

2.4.2.6 Phänologie

Phänologische Daten ermöglichen die Saisonalität von Pflanzen zu beschreiben, die natürliche Vegetationszeit einer Region zu definieren und den jährlichen Entwicklungsverlauf der Vegetation darzustellen. Da die Entwicklungsprozesse der Pflanzen in hohem Maße temperaturabhängig sind, können phänologische Beobachtungen als sensitive Bioindikatoren der Klimaänderungen in den mittleren und höheren Breiten genutzt werden. Die im Jahresverlauf periodisch wiederkehrenden Lebens- und Wachstumszyklen der Pflanzen sind in 10 physiologisch-biologisch begründete „phänologische Jahreszeiten“ (spezielle Entwicklungsphasen ausgewählter Zeigerpflanzen) eingeteilt. Besondere aussagekräftig sind dabei die periodisch wiederkehrenden Entwicklungsphasen ausgewählter Zeigerpflanzen im Frühjahr (Aufbrechen der Knospen, Blattentfaltung, Blühbeginn) und Herbst (Fruchtreife, Blattfärbung, Laubfall).

Die phänologischen Jahreszeiten sind innerhalb der Region hinsichtlich Eintreten und Dauer lokal unterschiedlich. In den thermisch begünstigten Regionen, insbesondere in den Tieflandsgebieten und der Elbaue, ist der Eintritt der Entwicklungsphasen jeweils einige Tage früher zu beobachten. Exemplarisch für die phänologischen Jahreszeiten im Leipziger Land sind die phänologischen Beobachtungen der Station Leipzig-Schkeuditz wiedergegeben (vgl. Tab. 2.4-6).

Tab. 2.4-6: Phänologische Jahreszeiten – Normalwerte der Periode 1961-1990 für die Station Leipzig-Schkeuditz (DWD 2007b)

phänologische Jahreszeit	Beginn	Ende	Dauer (Tage)	phänologische Leitphase	
Vorfrühling	3. März	2. April	31	Schneeglöckchen	Beginn der Blüte
Erstfrühling	3. April	3. Mai	31	Stachelbeere	Beginn der Blattentfaltung
Vollfrühling	4. Mai	2. Juni	30	Apfel	Beginn der Blüte
Frühsommer	3. Juni	20. Juni	18	Schwarzer Holunder	Beginn der Blüte
Hochsommer	21. Juni	31. Juli	41	Sommer-Linde	Beginn der Blüte
Spätsommer	1. August	31. August	31	Apfel, frühreifend	Beginn der Pflückreife
Frühherbst	1. September	21. September	21	Schwarzer Holunder	erste reife Früchte
Vollherbst	22. September	11. Oktober	20	Stiel-Eiche	erste reife Früchte
Spätherbst	12. Oktober	26. Oktober	15	Stiel-Eiche	Blattverfärbung
Winter	27. Oktober	2. März	127	Winterweizen	Auflaufen*

* Auflaufen - Keimscheide durchbricht die Bodenoberfläche

Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur (vgl. Kap 2.4.2.2) beeinflusste auch die phänologischen Entwicklungsphasen in der Region sowie Beginn und Dauer der Vegetationsperiode. Im Vergleich der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2012 hat sich der phänologische Winter sachsenweit im Mittel um -16 Tage verringert (von insgesamt 129 auf 113 Tage im Jahr) und zu einer verlängerten Vegetationsperiode von bereits Ende Februar bis Anfang November geführt (vgl. SMUL 2017). In der Region hat sich die phänologische Vegetationsperiode im sachsenweiten Vergleich zwischen 1961-1990 und 2016 am stärksten verändert und ist im Mittel um +10 bis +31 Tage angestiegen. Besonders signifikant sind hierbei die Änderungen im Urbanen Raum der Stadt Leipzig (vgl. Abb. 2.4-15).

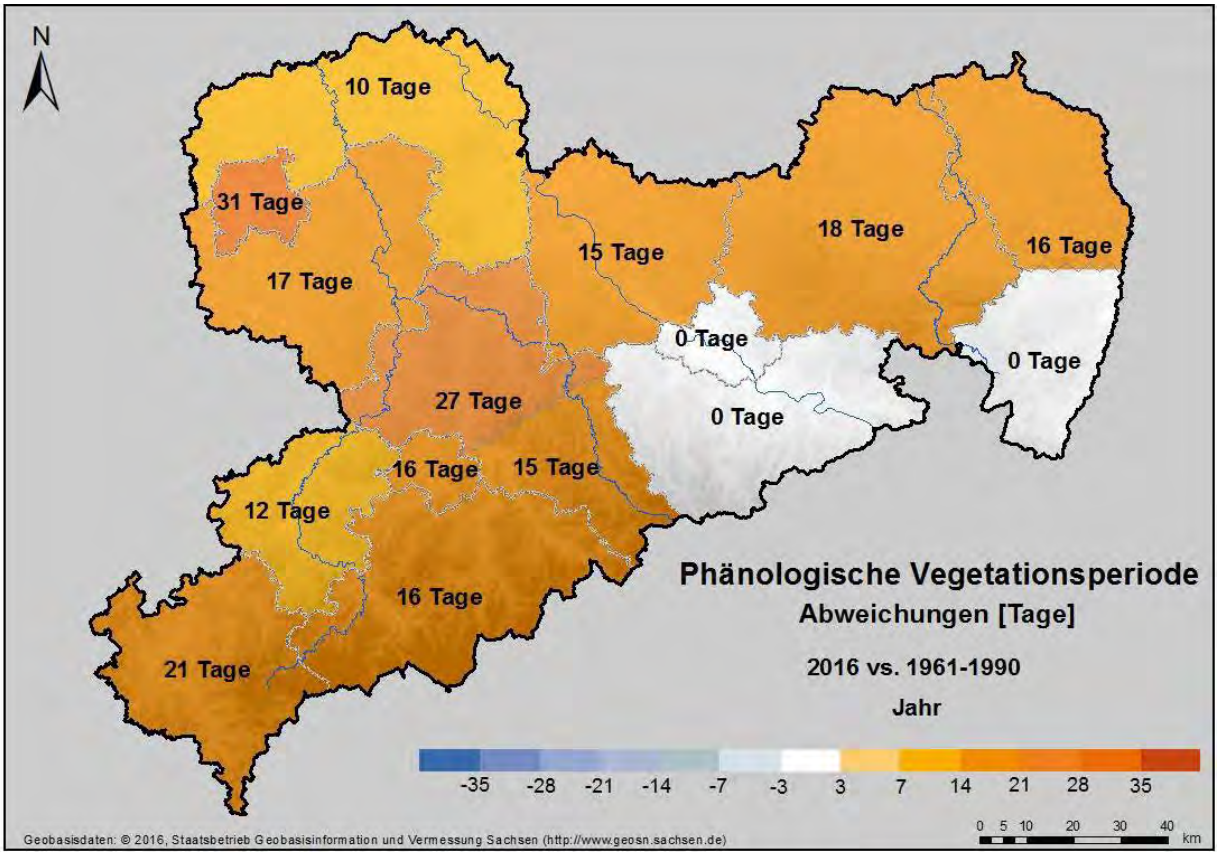


Abb. 2.4-15: Länge der phänologischen Vegetationsperiode im Vergleich 2016 vs. 1961-1990 auf Basis der Messwerte des DWD (BÖTTCHER & SCHMIDT 2017)

2.4.2.7 Klimatope

Klimatope beschreiben Gebiete mit ähnlicher mikroklimatischer Ausprägung. Diese unterscheiden sich maßgeblich nach ihrem thermischen Tagesgang, der vertikalen Rauigkeit (Windfeldstörung), der topografischen Lage bzw. Exposition und nach der Art der realen Flächennutzung (vgl. Tab 2.4-7). Als zusätzliches Kriterium spezieller Klimatope wird das Emissionsaufkommen herangezogen. Da in besiedelten Räumen die mikroklimatischen Ausprägungen im Wesentlichen durch die Realnutzung und insbesondere durch Art und Dichte der Bebauung bestimmt werden, sind die Klimatope der Region gemäß der dominanten Flächennutzungsarten bzw. baulichen Nutzungen benannt (BWB 2004). Die Klimatope der Region sind in Karte 2.4-1 dargestellt.

Tab. 2.4-7: Klimatope (BWB 2004/LÜFTNER 1996)

Klimatop	Charakteristik	Ausbreitung
Waldklima	- stark gedämpfte Tages- und Jahresgänge der Temperatur und Feuchte - tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit - nachts relativ milde Temperaturen - Blätterdach wirkt als Filter gegenüber Luftschadstoffen - Regenerationszonen für die Luft - als Erholungsraum für den Menschen geeignet	größere Waldflächen (Durchmesser > 200 m)
Gewässer-klima	- gegenüber Umgebung ausgleichender thermischer Einfluss durch schwach ausgeprägte Tages- und Jahresgänge - Lufttemperaturen im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als in der Umgebung - hohe Luftfeuchtigkeit und Windoffenheit	Standgewässer (> 5 ha)

Klimatop	Charakteristik	Ausbreitung
Stadtklima	- gemäßigter städtischer Überwärmungsbereich - sehr geringe nächtliche Abkühlung bei starker Aufheizung am Tage (Wärmeinseleffekt mit relativ niedriger Luftfeuchtigkeit) - erhebliche Beeinflussung über-/regionaler Windsysteme - Luftaustausch eingeschränkt - hohe Luftschadstoff- und Lärmbelastungen - böenartige Windverwirbelungen in den Straßenschluchten	verdichtete Bebauung (Misch-, Block-, Großbebauung) mit wenig Grünflächenanteilen
Innenstadt-klima	- intensiver städtischer Überwärmungsbereich - tagsüber starke Aufheizung und nachts Ausbildung einer deutlichen Wärmeinsel bei durchschnittlich geringer Luftfeuchtigkeit - bedeutende Beeinflussung über-/regionaler Winde - hohe Luftschadstoff- und Lärmbelastungen - böenartige Windverwirbelungen in den Straßenschluchten	dichte und hohe innerstädtische Bebauung mit sehr geringen Grünanteilen (ausschließlich Stadt Leipzig)
Stadtrand-klima und Klima kleinerer Ortslagen	- stark eingeschränkte bis merkliche nächtliche Abkühlung im Wesentlichen von der Umgebung abhängig - lokale Winde und Kaltluftströme werden behindert - Regionalwinde gebremst - deutlicher Einfluss des Freilandes	gut durchgrünte offene bis dichte stehende Bebauung
Parkklima (Grün-anlagen-Klimatop)	- ausgleichende Wirkung auf bebaute und meist überwärmte Umgebung aufgrund des relativ extremen Temperatur- und Feuchte-Tagesgangs und damit verbundener Kalt- und Frischluftproduktion - größere Grünflächen als Ventilationsschneisen - tagsüber kühle Ausgleichsflächen mit hoher Luftfeuchtigkeit gegenüber der erwärmten Umgebung bei innerörtlichen Grünflächen mit dichtem Baumbestand (Verschattung)	Grünanlagen, Parks, Klein-gärten, Friedhöfe
Gewerbe-/ Industrie-klima	- (deutlicher) Wärmeinseleffekt - differenziertes nächtliches Wärmebild (intensive Auskühlung im Dachniveau und weiterhin stark erwärmte Verkehrsflächen) - erhebliche Windfeldstörung durch massive Baukörper und bodennahe Erwärmung - erhöhte bis hohe Emissionen - erwärmte, trockene und mit Schadstoffen angereicherte am Boden befindliche Luftmassen	-Gewerbe- und Industriegebiete -landwirtschaftliche Betriebs-standorte -Hafenanlagen -ausgedehnten Zufahrtsstraßen, großflächige Verkehrsflächen
Bahnanla-genklima	- intensive Erwärmung am Tag und rasche nächtliche Abkühlung - Gleiskörper aufgrund ihrer geringfügigen Überbauung windoffen - in bebauten Gebieten Luftleitbahnen bzw. -austauschflächen	größere zusammenhängende Gleisanlagen in Leipzig sowie in ausgewählten Städten
Freiland-klima	- extremer Tages- und Jahresgang der Temperatur und Feuchte - sehr geringe Windströmungsveränderungen - intensive nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion (insbesondere auf ausgedehnten Wiesen- und Ackerflächen sowie auf Freiflächen mit sehr lockerem Gehölzbestand)	-überwiegend Acker, teilweise Grünland, geringer Gehölzanteil -Einzelgehöfte und Siedlungen mit weit auseinander liegenden Gehöften
Bereiche mit spezifischen Klimaeigenschaften		
Kuppen, Hügel-länder	- Gebiete können längere Zeit aus Bodeninversion herausragen - kleinräumig schwacher Kaltluftabfluss möglich - stärker windoffen - in Abendstunden relativ warm	Bereiche oberhalb 160 m NN
Halden	- starker Einfluss auf das Wind- und Ausbreitungsverhältnis - tagsüber starke Aufheizung, nachts relativ warm	Halden in der Stadt Leipzig
Niederungs-bereiche	- nächtlicher Kaltluftsammelraum im Tal (feucht und kalt) - Wärmenachschub zusätzlich verzögert - nächtliche Bodeninversionen - erhöhte Bodennebelgefahr und Bodenfrostgefahr	-flache Auen und Niederungen, z. T. mooriger Untergrund -frisches und feuchtes Grünland -Auenbereiche außerhalb des Lösshügellandes sowie Tal der Vereinigten Mulde zwischen Sermuth-Wurzen
Tallagen	- Kaltluftsammel- und -abflussbereiche in Abhängigkeit von Gefälle und Talquerschnitt	Auenbereiche des Lösshügel-landes und Tal der Vereinigten Mulde zwischen Sermuth-Wurzen
Offene Tagebaue	- Kaltluftsammelbecken	Braunkohlenabbaugebiete

2.4.3 Regionale Klimaprojektionen und Klimatrends

Änderungen in der atmosphärischen Zirkulation als Folge des globalen Klimawandels beeinflussen auch die regionalen Klimate. Ein steigender Erwärmungstrend ist in der Region bereits nachweisbar (vgl. Kap 2.4.2.2) und wird sich zukünftig fortsetzen. Infolge des Klimawandels sind in der Region deutliche Zunahmen der Jahresmitteltemperatur, steigende Minimum- und Maximumtemperaturen, ein Rückgang der Frostperioden und eine starke Zunahme von Hitzebelastungen zu erwarten, begleitet von leichten Zunahmen der Niederschläge im Winter, Niederschlagsabnahmen im Frühjahr und Sommer sowie ein hierdurch deutlich erhöhtes Trockenheitsrisiko innerhalb der Vegetationsperiode I (April bis Juni). Vor allem die bereits trocken-warmen und niederschlagsarmen Tieflandsgebiete im Nordwesten und Nordosten der Region werden davon besonders betroffen sein.

Künftige Klimaentwicklungen in der Region lassen sich mithilfe regionaler Klimaprojektionen abschätzen. Aufbauend auf globalen Klimamodellen können so räumlich und zeitlich differenzierte Informationen zu Auswirkungen des Klimawandels in der Region bis Ende des 21. Jahrhunderts abgeleitet werden. Als eine von acht bundesweiten Modellregionen erhielt die Region Leipzig-Westsachsen die Möglichkeit im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO) regionale Klimaprojektionen speziell für die Region auszuwerten und eine flächendeckende Vulnerabilitätsanalyse zu erarbeiten. In der Phase I des Modellvorhabens 2009-2011 sind die möglichen klimatischen Veränderungen in der Region zunächst für unterschiedliche Emissionsszenarien des 4. IPCC-Reports (B1, A1B, A2) auf Basis des Regionalisierungsverfahrens WEREX IV, einem speziell entwickelten Klimamodell für Sachsen (Rasterklimadatenbank RaKliDa, LFULG 2009), ausgewertet (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011). Im Verstetigungsprozess des Modellvorhabens (Phase II 2012-2013) sind die Ergebnisse der regionalen Klimaanalyse auf Grundlage des weiterentwickelten, dynamisch-statistischen Regionalisierungsverfahrens für Deutschland WETTREG 2010, welches auf dem globalen Klimamodell ECHAM5/MPI-OM, Szenario A1B, Lauf 1 basiert (Regionales Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen ReKIS, LFULG 2012), überprüft und fortgeschrieben (vgl. SEIDEL 2012). Im Fokus der Projektionsanalysen für die Region stehen die nachfolgenden klimatische Kenngrößen und saisonale Vergleichsperioden, welche differenziert für Klimanormalperiode, aktuelle Referenzperiode und zwei ausgewählte Projektionsdekaden aufbereitet und in Spannweiten wiedergegeben sind (vgl. Kap 2.4.3.1 bis 2.4.3.3).

Klimatische Kenngrößen

- Mittlere Temperatur
- Mittlerer Niederschlag (korrigiert)
- Klimatische Wasserbilanz (korrigiert)

Zeitliche Perioden

- Jahresmittel
- Frühling (März bis Mai)
- Sommer (Juni bis August)
- Herbst (September bis November)
- Winter (Dezember bis Februar)
- Vegetationsperiode I (April bis Juni)

Betrachtungszeiträume

- Referenzzeitraum 1961–1990 (Klimanormalperiode KNP), basierend auf langjährigen Mittelwerten der sächsischen Wetterstationen (SMUL 2008)
- Referenzzeitraum 1991–2010 (aktuelle Referenzperiode), basierend auf Datenreihen des Deutschen Wetterdienstes (RaKliDa, LFULG 2009)
- Projektionszeiträume 2041–50 und 2091–2100 mit modellierten Klimaänderungen auf Basis WETTREG 2010, Szenario A1B bis Ende des 21. Jahrhunderts (ReKIS, LFULG 2012)

Klimaprojektionen und Modellaussagen sind, wie Trendprognosen jeglicher Art, immer mit Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten resultieren u. a. aus der Unvorhersehbarkeit künftiger sozioökonomischer Entwicklungen oder unsicherer klimarelevanter Umweltprozesse. Unsicherheiten sind jedoch an Hand von Bandbreiten möglicher Modell-Ensemble abbildbar (vgl. DECKER ET AL 2014, FRANKE 2015) und lassen sich so im Rahmen raumspezifischer Anpassungs- und Entwicklungsstrategien auch planerisch berücksichtigen.

2.4.3.1 Projektion der Mittleren Temperatur

Nach Auswertung der Klimaprojektionen auf Basis von WEREX IV ist ein Anstieg der Mittleren Temperatur in allen Jahreszeiten bis Ende des 21. Jahrhunderts zu erwarten (vgl. hierzu auch MELLENTIN 2009). Die Projektionsergebnisse nach WETTREG 2010 bestätigen diesen Trend steigendender Durchschnittstemperaturen für die Region in allen Jahreszeiten bis Ende des 21. Jahrhunderts (SEIDEL 2012). Jedoch tritt das projizierte Erwärmungssignal im Klimamodell WETTREG 2010 stärker als im Klimamodell WEREX IV hervor. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts liegt die Temperaturzunahme nach WETTREG 2010 nur leicht über den projizierten Werten des Klimamodells WEREX IV. Bis Ende des 21. Jahrhunderts ist gemäß der Projektion nach WETTREG 2010 hingegen eine wesentlich steilere Erwärmungskurve zu erwarten als im Vergleich der Projektion nach WEREX IV. Die Projektion nach WETTREG 2010 liegt näher an den Modellverläufen anderer Klimamodelle (bspw. REMO, STAR) und ist als wahrscheinlicher anzusehen (vgl. SEIDEL 2012).

Aktuell liegt die Jahresdurchschnittstemperatur in der Region im Mittel zwischen 9,5 bis 10,0 °C (vgl. BÖTTCHER & SCHMIDT 2017). Auf Basis von WETTREG 2010 ist unter Annahme des moderaten Emissionsszenarios A1B bis Mitte des 21. Jahrhunderts eine Erwärmung im Jahresmittel um ca. +2 °C, bis Ende des 21. Jahrhunderts um ca. +3,7 °C zu erwarten. Unterschiede in der Erwärmungsintensität sind zwischen Hügelland und Tiefland mit nur 0,1 °C Differenz im Jahresmittel kaum abzuleiten (vgl. Tab. 2.4-8). Für das Hügelland der Region ist eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur bis Ende des 21. Jahrhunderts auf 12,1 bis 12,5 °C, im Tiefland auf 12,7 bis 13,3 °C projiziert.

Tab. 2.4-8: Projizierte Entwicklung der Mittleren Temperatur im Hügelland und Tiefland der Region auf Basis WETTREG 2010, Szenario A1B bis Ende des 21.Jahrhunderts (vgl. SEIDEL 2012)

		Referenzzustand		Projektionszeitraum		Temperaturänderung	
		1961-1990	1991-2010	2041-2050	2091-2100	KNP zu 2041-2050	KNP zu 2091-2100
Hügelland	Jahresmittel	8,6 °C	9,2 °C	10,3 - 10,7 °C	12,1 - 12,5 °C	+1,8 bis +1,9 °C	+3,6 bis +3,7 °C
	Frühjahr	8,1 °C	9,0 °C	9,4 - 10,0 °C	10,3 - 10,9 °C	+1,6 bis +1,7 °C	+2,5 bis +2,6 °C
	Sommer	17,4 °C	17,9 °C	18,5 - 19,0 °C	20,6 - 21,2 °C	+0,8 bis +1,8 °C	+2,9 bis +3,9 °C
	Herbst	9,2 °C	9,1 °C	20,3 - 10,8 °C	11,2 - 11,6 °C	+1,4 °C	+2,2 bis +2,3 °C
	Winter	0,2 °C	0,7 °C	3,7 - 4,2 °C	5,6 - 6,2 °C	+ 3,7 bis +3,8 °C	+5,7 bis +5,8 °C
Tiefland	Jahresmittel	9,3 °C	10,0 °C	11,0 - 11,5 °C	12,7 - 13,3 °C	+ 1,9 °C	+3,6 bis +3,7 °C
	Frühjahr	8,8 °C	9,8 °C	10,3 - 10,9 °C	11,1 - 11,7 °C	+ 1,7 bis +1,9 °C	+2,6 bis +2,7 °C
	Sommer	17,2 °C	17,7 °C	19,3 - 19,8 °C	21,5 - 21,9°C	+1,8 bis +1,9 °C	+4,0 °C
	Herbst	9,7 °C	9,8 °C	11,0 - 11,4 °C	11,8 - 12,2 °C	+1,4 bis +1,5 °C	+2,3 °C
	Winter	0,8 °C	1,5 °C	4,4 - 4,9 °C	6,5 - 7,0 °C	+3,8 bis +3,9 °C	+5,9 bis 6,0 °C

KNP = Klimanormalperiode 1961-1990

Besonders stark ist das Erwärmungssignal im Winter in den Tieflandsgebieten der Region ausgeprägt mit bis zu +6 °C. Aber auch die Sommermonate zeigen im Mittel mit bis zu +4 °C deutlich steigende Durchschnittstemperaturen, wobei das sommerliche Erwärmungssignal im Tiefland stärker ausfällt als im Hügelland. Am geringsten sind die Temperaturzunahmen bis 2091-2100 im Herbst, mit rund + 2,3 °C im Tiefland und im Hügelland. Insgesamt ist auf Basis der projizierten Temperaturänderungen nach WETTREG 2010 ein gleichmäßiger Temperaturanstieg bis Ende des 21. Jahrhunderts abzulesen. Lediglich im Hügelland ist der Anstieg der mittleren Sommertemperatur bis 2041-2050 vergleichsweise verhalten, steigt bis 2091-2100 aber ebenfalls deutlich an (vgl. Tabelle 2.4-8). Das Erwärmungssignal kann als robust angesehen werden (SEIDEL 2012).

Die nördlichen und westlichen Tieflandsgebiete der Region zählen bereits zu den wärmsten Teilräumen in Sachsen (vgl. Kap. 2.4.2.2). Gemäß WETTREG 2010 sind auch zukünftig die höch-

sten Temperaturwerte im Tiefland zu erwarten. Jedoch ist eine jahreszeitliche Varianz in der räumlichen Ausprägung erkennbar (vgl. SEIDEL 2012). Beispielsweise ist in den Frühjahrs- und Herbstmonaten ein erhebliches Erwärmungssignal für den Leipziger Raum abzuleiten. Im Sommer liegt der Bereich höchster Temperaturen v. a. nördlich der Prellheide-Noitzscher Heide und östlich der Elbe. Das räumliche Erwärmungssignal nach WETTREG 2010 bestätigt damit nicht die Ergebnisse nach WEREX IV, wonach sich ein künftiger Hitzeschwerpunkt allein im Nordosten im Bereich der Elbaue ausbildet. Die kühlsten Lagen der Region befinden sich gemäß der beiden Klimamodelle auch zukünftig in der Dahlener Heide und den südlichen Hügellandgebieten (vgl. Abb. 2.4-16 und 2.4-17). Landnutzungen sind in den Klimaprojektionen allerdings nicht einbezogen. Insbesondere in stark versiegelten städtischen Räumen ist ein zusätzliches Erwärmungspotenzial anteilig zur versiegelten Fläche zu berücksichtigen. Waldgebiete, Seen und Gewässerauen bewirken hingegen ausgleichende und abkühlende lokale Effekte.

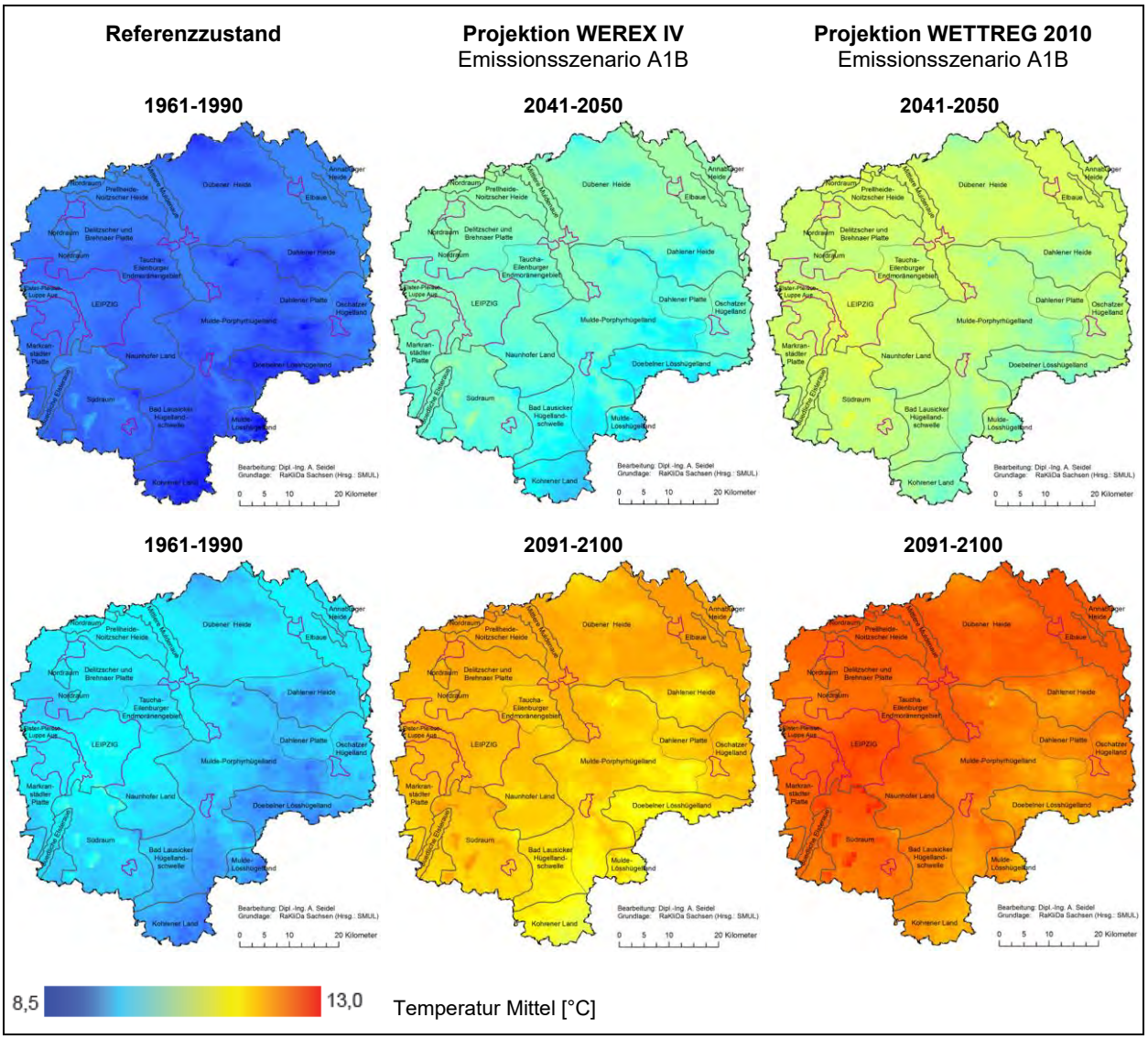
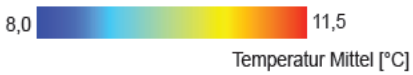


Abb. 2.4-16: Regionsweiter Vergleich der projizierten Jahresmitteltemperaturen auf Basis der Klimamodelle WEREX IV und WETTREG 2010 (vgl. SEIDEL 2012)

Referenzzustand **Projektion WETTREG 2010 (Emissionsszenario A1B)**

1991-2010 **2041-2050** **2091-2100**

Frühjahr (März- Mai)



- konstante Temperaturzunahme in der gesamten Region
- wärmste Bereiche: Leipziger Raum
- kühlste Bereiche: Dahlener Heide und südliche Hügelländer

	Mittlere Temperaturen (Hügelland/Tiefland)							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	8,3	9,0	9,3	10,1	10,0	10,9	10,9	11,7
Median	8,1	8,8	9,0	9,8	9,7	10,6	10,6	11,4
Minimum	7,8	8,6	8,7	9,6	9,4	10,3	10,3	11,1

Sommer (Juni - Aug)

- konstante Temperaturzunahme in der gesamten Region
- wärmste Bereiche: nördliche Tieflandsgebiete
- kühlste Bereiche: südliche Hügelländer und Dahlener Heide

	Mittlere Temperaturen (Hügelland/Tiefland)							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	17,2	17,9	18,2	18,9	19,0	19,8	21,2	21,9
Median	16,9	17,7	17,9	18,7	18,7	19,5	20,9	21,7
Minimum	16,7	17,5	17,6	18,5	18,5	19,3	20,6	21,5

Referenzzustand **Projektion WETTREG 2010 (Emissionsszenario A1B)**

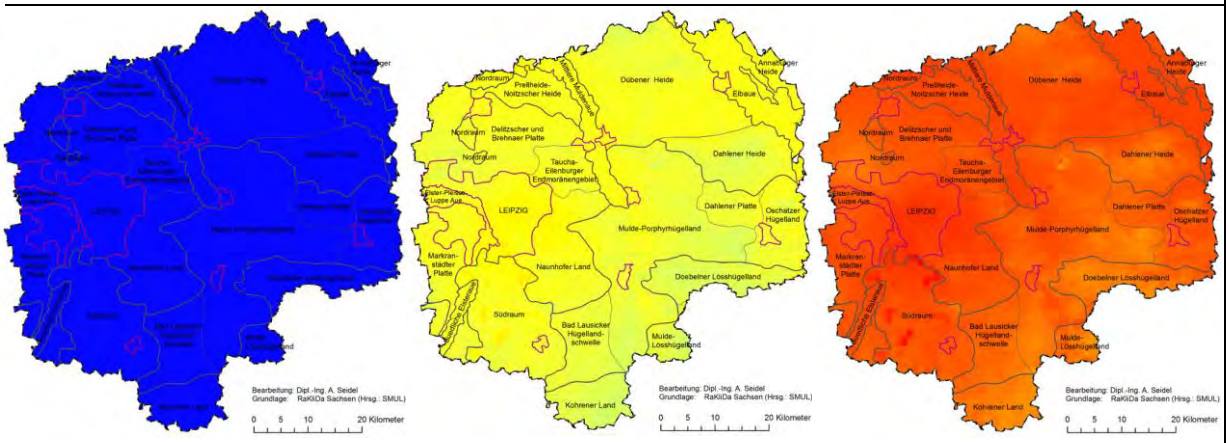
1991-2010 **2041-2050** **2091-2100**

Herbst (Sep - Nov)

- konstante Temperaturzunahme in der gesamten Region
- wärmste Bereiche: Nordwesten und Leipziger Raum
- kühlste Bereiche: südliche Hügelländer, Dahlener Heide, nördliche Dübener Heide

	Mittlere Temperaturen (Hügelland / Tiefland)							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	9,4	9,9	9,4	10,0	10,8	11,4	11,6	12,2
Median	9,2	9,7	9,1	9,8	10,5	11,2	11,4	12,0
Minimum	8,9	9,6	8,8	9,6	10,3	11,0	11,2	11,8

Winter (Dez - Feb)



- konstante Temperaturzunahme in der gesamten Region
- wärmste Bereiche: Leipziger Raum
- kühlste Bereiche: südliche Hügelländer, Dahlener Heide, nördliche Dübener Heide

	Mittlere Temperaturen (Hügelland / Tiefland)							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	0,4	1,0	1,0	1,8	4,2	4,9	6,2	7,0
Median	0,2	0,8	0,7	1,5	3,9	4,7	5,9	6,7
Minimum	0,0	0,6	0,5	1,3	3,7	4,4	5,6	6,5

Abb. 2.4-17: Projizierte Temperaturentwicklung in der Region im jahreszeitlichen Vergleich auf Basis von WETTREG 2010 für das Emissionsszenario A1B (vgl. SEIDEL 2012)

2.4.3.2 Projektion des Mittleren Niederschlags

Projektionen der zukünftigen Niederschlagsentwicklungen sind mit größeren Unsicherheiten verbunden als die des Temperaturanstiegs (SCHMIDT ET AL. 2011). Auf Basis von WEREX IV ist eine breite Spannweite der möglichen Niederschlagsentwicklungen in der Region zu verzeichnen. Besonders ausgeprägt sind diese in der Dekade 2041-2050, welche neben deutlichen Niederschlagsabnahmen auch Niederschlagszunahmen aufweist. In der Dekade 2091-2100 ist die Streuung der Werte geringer und zeigt eine deutliche Tendenz der Niederschlagsrückgänge (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

Die projizierten Werte nach WETTREG 2010 ordnen sich für das Hügelland in die modellierte Spannweite von WEREX IV ein. Für das Tiefland ist nach WETTREG 2010 aber ein deutlich stärkeres Signal der Niederschlagsrückgänge abzuleiten (vgl. SEIDEL 2012). Vor allem für die Dekade 2041-2050 ist ein starker Rückgang des Mittleren Niederschlags zu verzeichnen. Im Jahresmittel ist nach WETTREG 2010 bis 2041-2050 für das Hügelland eine Abnahme des Mittleren Niederschlags um ca. 8 % und im Tiefland um ca. 15,5 % im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-1990 projiziert. Bis Ende des 21. Jahrhunderts nehmen die projizierten Niederschlagswerte im Jahresmittel wieder leicht zu. Die Niederschlagssummen bleiben aber sowohl im Hügelland als auch im Tiefland deutlich unterhalb der erfassten Werte von 1991-2010 (vgl. Tab. 2.4-9).

Insgesamt nehmen die projizierten Jahressummen der Niederschläge nach WETTREG 2010 bis 2091-2100 in der gesamten Region deutlich ab, im Hügelland um -43 bis -53 mm und im Tiefland um -48 bis -75 mm gegenüber der Klimanormalperiode. Vor allem im Frühjahr und Sommer ist für die gesamte Region ein ausgeprägtes Trockensignal abzuleiten, welches in den Tieflandsgebieten der Region besonders stark hervortritt. Bis Ende des 21. Jahrhunderts ist im Tiefland eine Abnahme des mittleren sommerlichen Niederschlags von bis zu 37 % und im Hügelland von bis zu 13,5 % zu erwarten. Diese kann in den bereits trocken-warmen Tieflandsgebieten der Region zu einer starken Zunahme von Dürreperioden innerhalb der Vegetationsperiode I (April-Juni) führen. Die projizierten Niederschlagswerte der Herbst- und Wintermonate weisen hingegen größere Spannweiten bis Ende des 21. Jahrhunderts auf und schwanken zwischen Niederschlagsabnahmen und -zunahmen im Hügelland um -3 bis +25 mm und geringen bis mittleren Niederschlagsabnahmen im Tiefland um -4 bis -25 mm (vgl. Tab. 2.4-9 und Abb. 2.4-19). MELLENTIN (2009) verweist diesbezüglich auf eine bereits in der zurückliegenden Periode zu verzeichnende Variabilität sehr feuchter Winter 1998/1999 und 1999/2000 als auch trockener Winter 2000/2001. Diese Variabilität könnte sind zukünftig fortsetzen (vgl. SEIDEL 2012).

Tab. 2.4-9: Projizierte Entwicklung des Mittleren Niederschlags (korrigiert) im Hügelland und Tiefland auf Basis WETTREG 2010, Szenario A1B bis Ende des 21.Jahrhunderts (vgl. SEIDEL 2012)

		Referenzzustand		Projektionszeitraum		Niederschlagsänderung	
		1961-1990 (mm)	1991-2010 (mm)	2041-2050 (mm)	2091-2100 (mm)	KNP zu 2041-2050 (%)	KNP zu 2091-2100 (%)
Hügelland	Jahresmittel	685 - 765	719 - 836	611 - 721	632 – 722	-5,5 bis -10,6	-5,3 bis -7,4
	Frühjahr	166 - 191	163 – 187	151 – 175	145 – 171	-8,3 bis -9,1	-10,6 bis -12,7
	Sommer	215 - 245	234 – 271	189 – 224	184 – 234	-7,6 bis -11,0	-3,8 bis -13,5
	Herbst	154 - 169	170 – 198	142 – 174	160 – 194	-2,8 bis -7,5	+6,0 bis +25,0
	Winter	151 - 173	151 – 179	132 – 154	148 – 174	-11,2 bis -12,9	+1,3 bis -2,3
Tiefland	Jahresmittel	565 - 641	582 – 668	456 – 566	490 – 593	-11,7 bis -19,4	-7,4 bis -13,3
	Frühjahr	133 - 155	134 – 152	118 – 141	107 – 135	-9,1 bis -11,4	-12,9 bis -19,8
	Sommer	185 - 200	182 – 216	147 – 175	115 – 169	-12,8 bis -19,8	-15,8 bis -37,4
	Herbst	129 - 146	132 – 158	94 – 129	104 – 142	-11,7 bis -27,3	-3,1 bis -19,1
	Winter	114 - 138	111 – 137	92 – 119	108 – 134	-13,9 bis -18,9	-4 bis -6

KNP = Klimanormalperiode 1961-1990

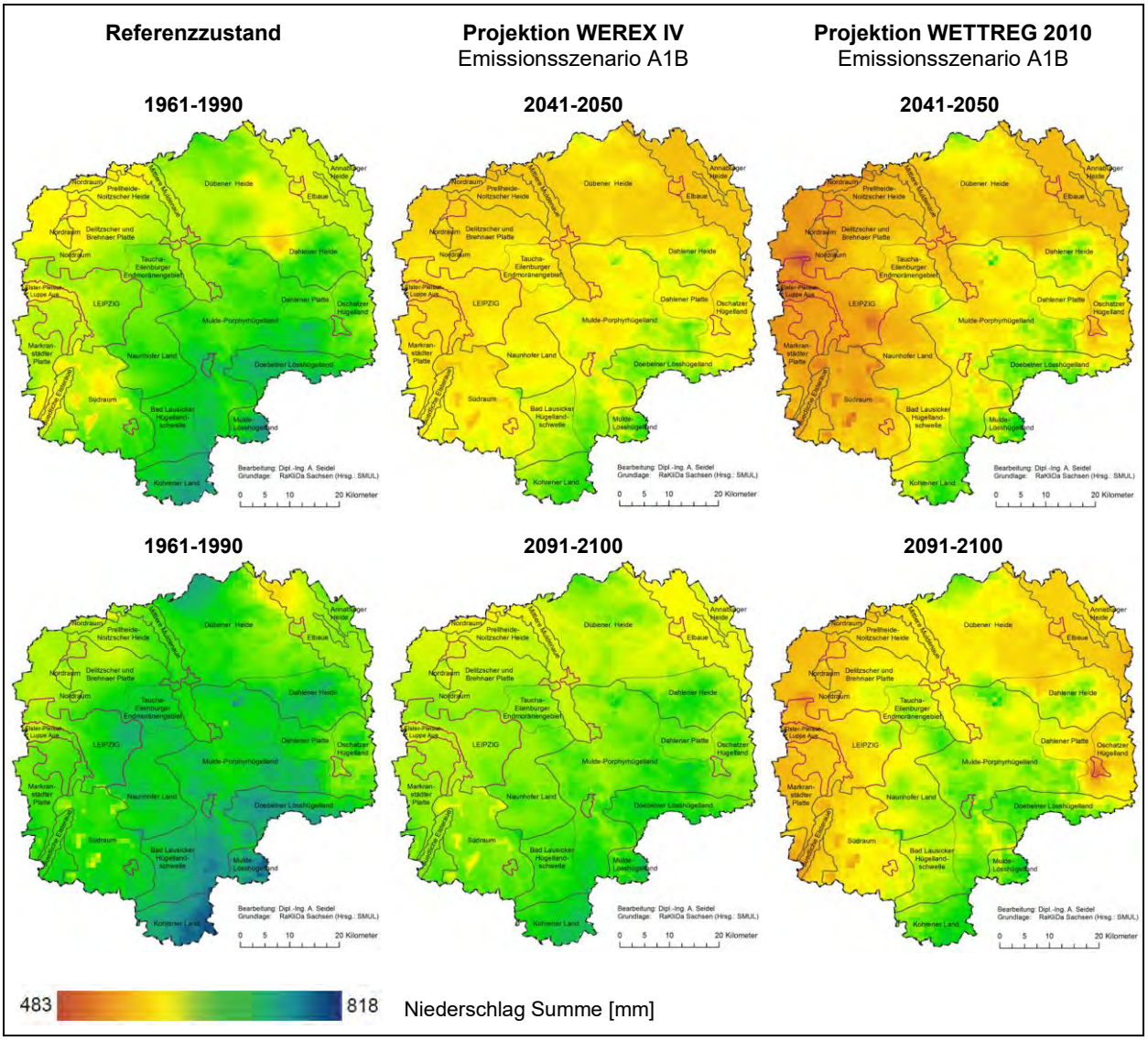


Abb. 2.4-18: Regionsweiter Vergleich der projizierten mittleren jährlichen Niederschläge (korrigiert) auf Basis der Klimamodelle WEREX IV und WETTREG 2010 (vgl. SEIDEL 2012)

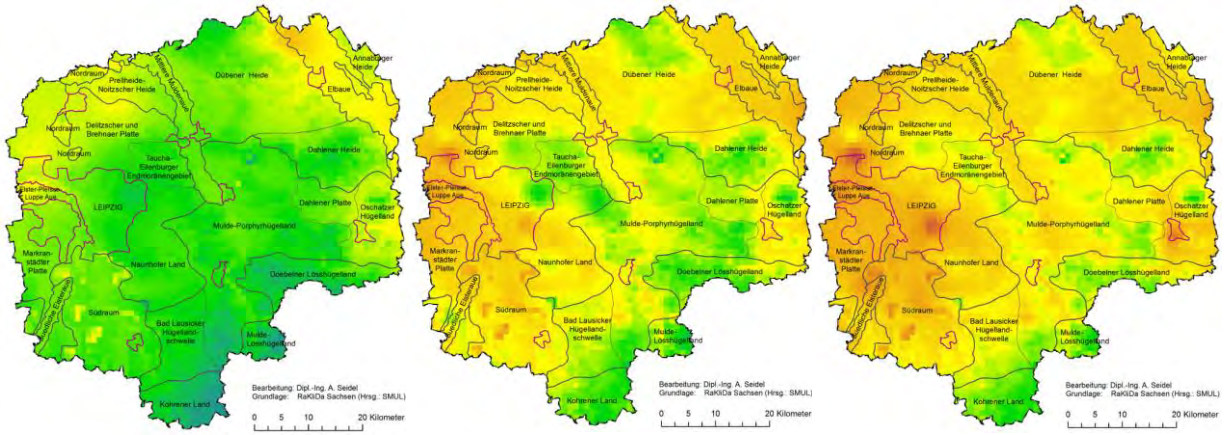
Im Vergleich zu WEREX IV belegen die projizierten mittleren Niederschlagssummen auf Basis von WETTREG 2010 insbesondere für die Tieflandgebiete der Region ein wesentlich stärkeres Signal der Niederschlagsrückgänge sowohl 2041-2050 als auch 2091-2100 (vgl. Abb. 2.4-18). Auch räumlich sind modellierte Unterschiede der Niederschlagsentwicklung erkennbar. Auf Basis von WEREX IV sind starke Niederschlagsabnahmen besonders im Nordosten der Region in der Elbaue und Annaburger Heide zu erwarten. Nach WETTREG 2010 verteilen sich besonders starke Niederschlagsrückgänge im Jahresmittel schwerpunktmäßig im Westen der Region. Aber auch die nördlichen Tieflandsgebiete Prellheide-Noitzscher Heide, südliche Dübener Heide, Annaburger Heide und die Elbaue weisen eine starke Abnahme der Jahresniederschläge auf.

Nach WETTREG 2010 ergeben sich im jahreszeitlichen Verlauf deutliche Unterschiede der Niederschlagsverteilung. Im Frühjahr sind die niederschlagsärmsten Bereiche der Region v. a. im Westen zu erwarten. Die stärksten Niederschlagsrückgänge im Sommer sind hingegen im Osten der Region zu verzeichnen. In den Herbstmonaten entspannt sich die Intensität der Niederschlagsrückgänge in der Region leicht, wobei die nordwestlichen und nordöstlichen Tieflandsgebiete dennoch deutliche Niederschlagsabnahmen aufweisen. Im Winter ist ein markantes West-Ost-Gefälle der mittleren Niederschlagssummen abzuleiten. Die geringsten winterlichen Niederschlagswerte sind im Westen der Region projiziert, während sich feuchte Bereiche östlich der Mulde von der Dübener Heide bis ins Döbelner Lösshügelland erstrecken (vgl. Abb. 2.4-19).

Referenzzustand **Projektion WETTREG 2010 (Emissionsszenario A1B)**

1991-2010 **2041-2050** **2091-2100**

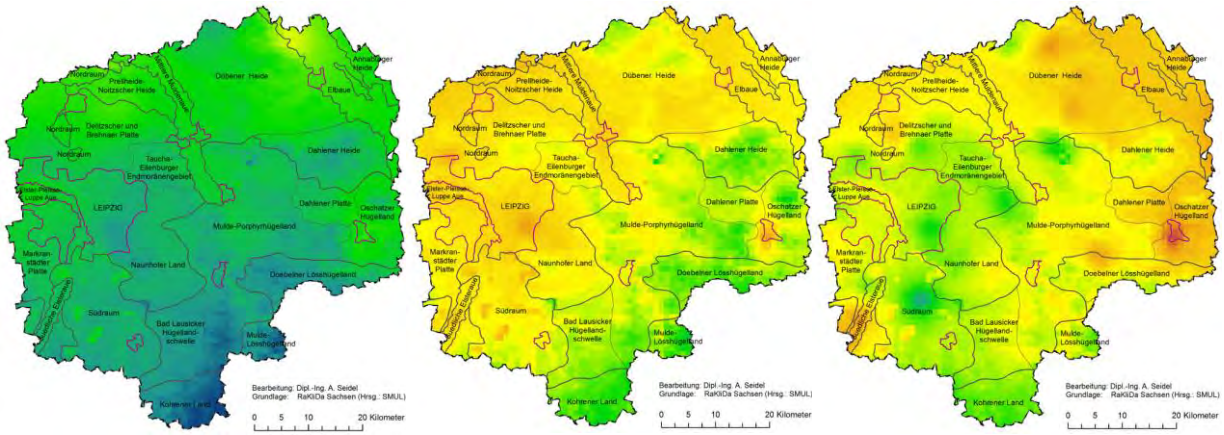
Frühjahr (März - Mai)



- konstante Niederschlagsrückgang in der gesamten Region
- trockenste Bereiche: westlich von Leipzig und südliche Elbaue
- feuchteste Bereiche: südliche Hügelländer, Dahlener Heide, nördliche Dübener Heide, Taucha-Eilenburger Endmoränengebiet

	Mittlerer Niederschlag (Hügelland / Tiefland) in mm							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	191	155	187	152	175	141	171	135
Median	179	144	175	143	163	129	158	121
Minimum	166	133	163	134	151	118	145	107

Sommer (Juni - Aug)



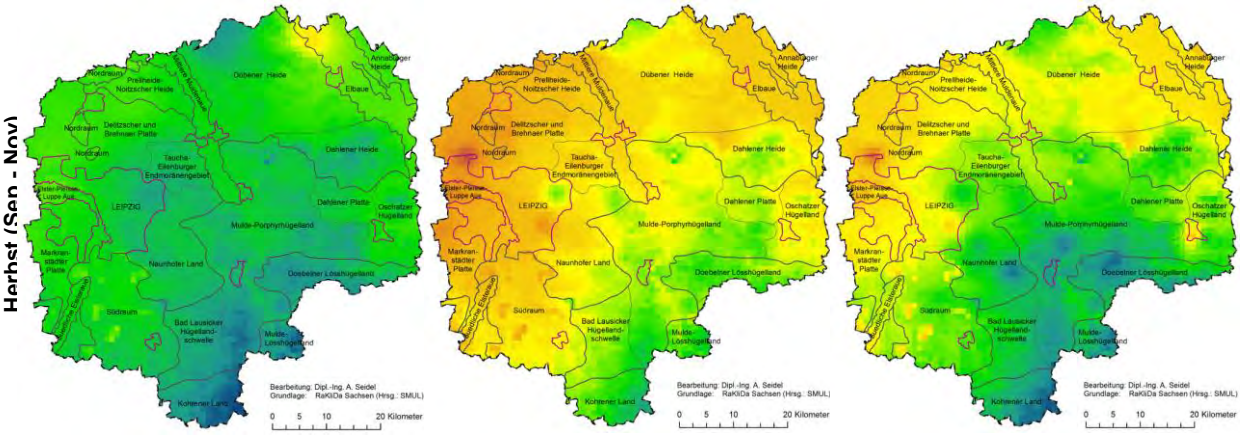
- Niederschlagsrückgange variieren innerhalb der Dekaden räumlich
- 2041-2050: trockenste Bereiche im Nordwesten, feuchteste Bereiche in den südlichen Hügelländern und Dahlener Heide
- 2091-2100: trockenste Bereiche im Osten, feuchteste Bereiche vom Leipziger Raum über den Südraum bis ins Kohrener Land

	Mittlerer Niederschlag (Hügelland / Tiefland) in mm							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	243	201	271	216	224	175	234	169
Median	228	193	253	199	207	161	209	142
Minimum	213	184	234	182	189	147	184	115

Referenzzustand **Projektion WETTREG 2010 (Emissionsszenario A1B)**

1991-2010 **2041-2050** **2091-2100**

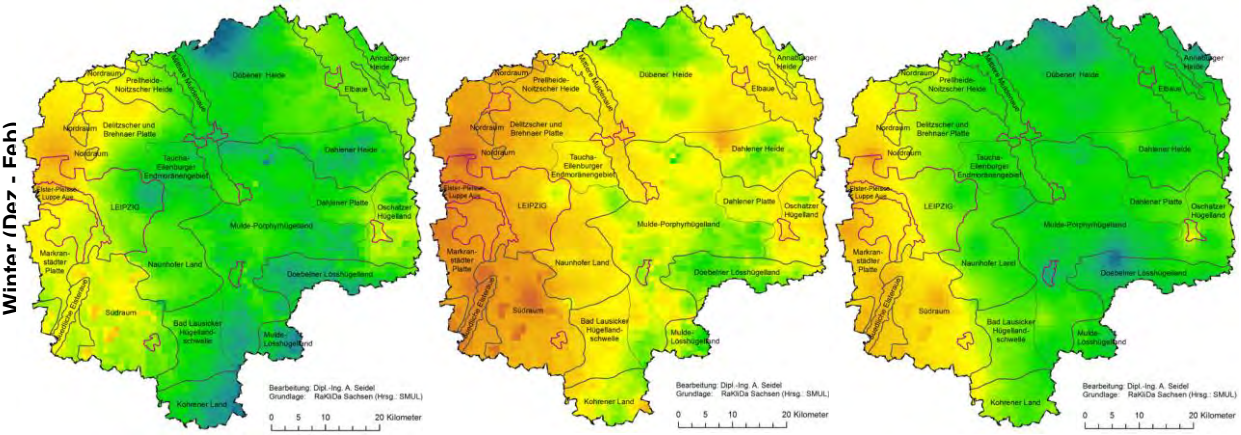
Herbst (Sep - Nov)



- Niederschlagsrückgange 2041-2050 stärker ausgeprägt als 2091-2100
- 2041-2050: trockenste Bereiche im Westen, feuchteste Bereiche in den südlichen Hügelländern
- 2091-2100: trockenste Bereiche im Nordwesten und Nordosten, feuchteste Bereiche vom Hügelland und Naunhofer Land bis in Dahlener Heide und nördliche Dübener Heide

	Mittlerer Niederschlag (Hügelland / Tiefland) in mm							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	169	146	198	158	174	129	194	142
Median	162	138	184	145	158	111	177	123
Minimum	154	129	170	132	142	94	160	104

Winter (Dez - Feb)



- Niederschlagsrückgange 2041-2050 stärker ausgeprägt als 2091-2100
- trockenste Bereiche: im Westen
- feuchteste Bereiche: östlich der Mulde von der Dübener Heide bis ins Döbelner Lösshügelland

	Mittlerer Niederschlag (Hügelland / Tiefland) in mm							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	173	138	179	137	154	119	174	134
Median	162	126	165	124	143	106	161	121
Minimum	151	114	151	111	132	92	148	108

Abb. 2.4-19: Projizierte Niederschlagsentwicklung in der Region im jahreszeitlichen Vergleich auf Basis von WETTREG 2010 für das Emissionsszenario A1B (vgl. SEIDEL 2012)

2.4.3.3 Projektion der Klimatischen Wasserbilanz

In Auswertung der Klimamodelle WEREX IV und WETTREG 2010 ist künftig mit einer kontinuierlichen Abnahme der klimatischen Wasserbilanz zu rechnen. Der regionsweit projizierte Temperaturanstieg und die räumlich differenzierten Veränderungen der Niederschlagssummen (vgl. Kap. 2.4.3.1 und 2.4.3.2) werden sich auf das Wasserdargebot in der Region auswirken und in weiten Teilen der Region zu einem deutlich angespannten Wasserhaushalt führen.

Die projizierten Jahresmittelwerte der Klimatischen Wasserbilanz zeigen bereits bis Mitte des 21. Jahrhunderts in weiten Teilen der Region einen negativen Wert, wobei die negative Klimatische Wasserbilanz im Tiefland deutlich stärker zu verzeichnen ist als im Hügelland. Bis Ende des 21. Jahrhunderts verschieben sich die Jahresmittelwerte noch stärker in den negativen Bereich (vgl. SEIDEL 2012), wodurch eine signifikante Abnahme der Wasserverfügbarkeit in der gesamten Region abzuleiten ist.

Nach WETTREG 2010 nimmt die projizierte Wasserverfügbarkeit im Tiefland im jährlichen Mittel um -188 mm bis 2041-50 und um -204 mm bis 2091-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 ab (vgl. Tab. 2.4-10). Für das Hügelland ist eine ähnlich, wenn auch leicht abgeschwächte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz zu verzeichnen. Die projizierten Jahresmittel reduzieren sich im Hügelland um -148 mm bis 2041-2050 und um -194 mm bis 2091-2100.

Tab. 2.4-10: Projizierte Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz (korrigiert) im Hügelland und Tiefland auf Basis WETTREG 2010, Szenario A1B bis Ende des 21.Jahrhunderts (vgl. SEIDEL 2012)

		Referenzzustand		Projektionszeitraum		Änderung KNP zu	
		1961-1990 (mm)	1991-2010 (mm)	2041-2050 (mm)	2091-2100 (mm)	2041-2050 (mm)	2091-2100 (mm)
Hügelland	Jahresmittel	61 bis 160	69 bis 196	22 bis -98	-33 bis -134	-138 bis -159	-193 bis -195
	Sommer-halbjahr	-32 bis -107	-49 bis -116	-150 bis -219	-210 bis -262	-112 bis -117	-155 bis -178
	Winter-halbjahr	173 bis 215	186 bis 243	136 bis 186	122 bis 172	-29 bis -37	-43 bis -51
Tiefland	Jahresmittel	12 bis -67	9 bis -65	-148 bis -284	-177 bis -287	-160 bis -216	-189 bis -219
	Sommer-halbjahr	-137 bis -173	-149 bis-212	-250 bis -323	-289 bis -361	-113 bis -150	-152 bis -188
	Winter-halbjahr	109 bis 151	109 bis 159	51 bis 111	39 bis 98	-57 bis -39	-53 bis -69

KNP = Klimanormalperiode 1961-1990

Besonders deutlich ist das Signal der steigenden Wasserdefizite (Wasserzehrung) im Sommerhalbjahr. Im Vergleich zur Klimanormalperiode sinken die projizierten Werte der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr kontinuierlich in der Region, bis Ende des 21. Jahrhunderts im Mittel um -170 mm im Tiefland und -166 mm im Hügelland. Im Winterhalbjahr liegt die Klimatische Wasserbilanz aufgrund geringer Temperaturen und potenzieller Verdunstung regionsweit im positiven Bereich und weist trotz der projizierten klimatischen Veränderungen einen Wasserüberschuss auf. Doch auch im Winterhalbjahr ist eine Verknappung der Wasserverfügbarkeit sowohl im Tiefland als auch im Hügelland zu erwarten. Diese fällt im Winterhalbjahr allerdings deutlich schwächer als im Sommerhalbjahr aus. Die winterlichen Überschüsse im Wasserhaushalt nehmen bis Ende des 21. Jahrhundert im Tiefland im Mittel um -61 mm und im Hügelland um -47 mm ab (vgl. Tab. 2.4-10 und Abb. 2.4-21).

Im Vergleich zu WEREX IV belegen die projizierten Werte nach WETTREG 2010 ein deutlich stärkeres Signal steigender Wasserzehrung in der Region (vgl. Abb. 2.4-20). Teilräume mit einer starken Abnahme der Klimatischen Wasserbilanz bis Ende des 21. Jahrhunderts verteilen sich nach WETTREG 2010 deutlich breiter im gesamten Tiefland und reichen vom Westen der Region über die nördlichen Tieflandsgebiete bis in die Elbaue und Annaburger Heide.

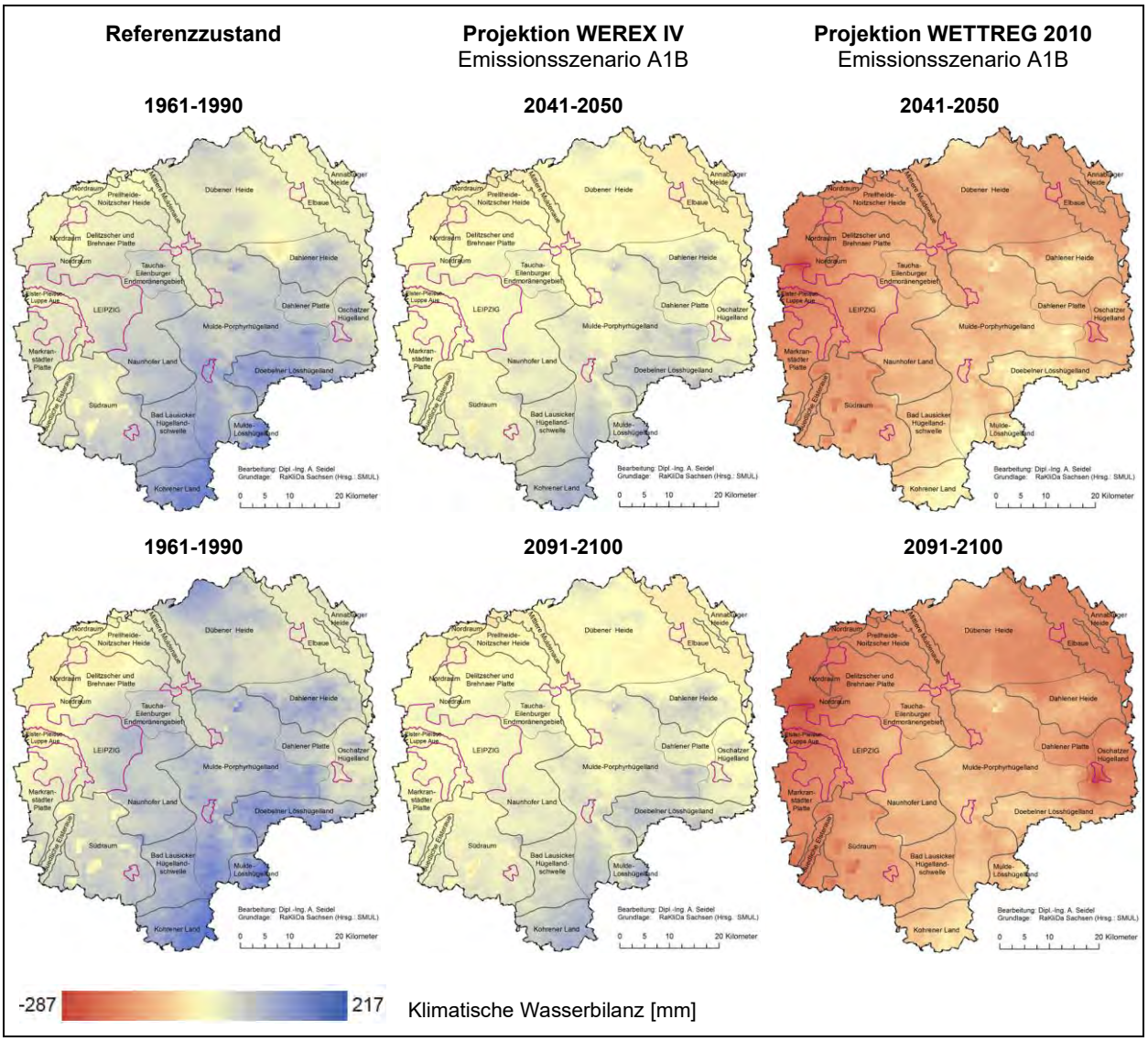


Abb. 2.4-20: Regionsweiter Vergleich der projizierten Klimatischen Wasserbilanz (korrigiert) auf Basis der Klimamodelle WEREX IV und WETTREG 2010 (vgl. SEIDEL 2012)

Im sachsenweiten Vergleich ist die Region Leipzig-Westsachsen am stärksten innerhalb des Freistaates durch die projizierte Verringerung der Klimatischen Wasserbilanz bis Ende des 21. Jahrhunderts betroffen. Dies zeigt die landesweite Gegenüberstellung zur Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz in Sachsen im Rahmen des Klimaschecks zum Landesentwicklungsplan Sachsen (vgl. SEIDEL 2012).

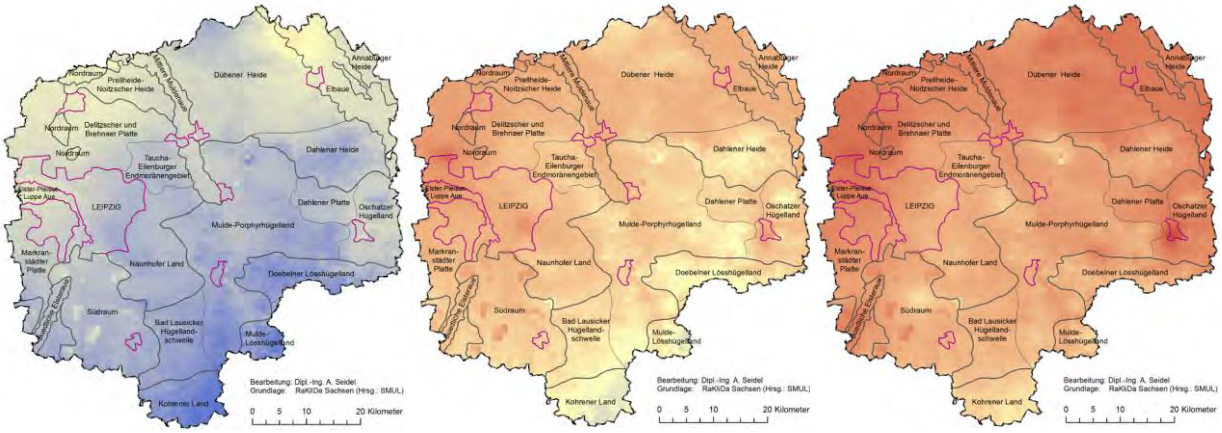
Auf Basis von WETTREG 2010 ist eine regionsweite Verknappung des Wasserdargebots zu erwarten. Der deutliche Rückgang der Wasserverfügbarkeit bis 2100 wird sich auf die Landnutzungen in der Region auswirken. Das höchste Wasserbedürfnis besteht in der Vegetationsperiode I von April bis Juni. In der Region sinkt die Wasserverfügbarkeit in dieser Periode im Vergleich zu 1991-2010 im Tiefland im Mittel um -30 mm bis 2041-50 und -65 mm bis 2091-2100. Das Hügelland weist einen ähnlichen Rückgang von -25 mm bis 2041-50 und -60 mm bis 2091-2100 auf (vgl. SEIDEL 2012).

Gebiete mit höchster Wasserzehrung variieren jahreszeitlich. Im Sommerhalbjahr sind diese v. a. in den nördlichen Tieflandsgebieten der Region zu verzeichnen, insbesondere im Bereich der Elster-Pleiße-Luppe Aue, Delitzscher und Brehnaer Platte, Prellheide-Noitzscher Heide sowie in der östlichen Dübener Heide, Elbaue und Annaburger Heide. Im Winterhalbjahr schwächt sich die Wasserverknappung regionsweit leicht ab, insbesondere aber in der nördlichen Dübener Heide sowie im Löss- und Mulde-Porphyrhügelland. Bereiche mit starker Wasserverknappung sind im Winterhalbjahr in den westlichen und östlichen Randzonen der Region projiziert.

Referenzzustand **Projektion WETTREG 2010 (Emissionsszenario A1B)**

1991-2010 **2041-2050** **2091-2100**

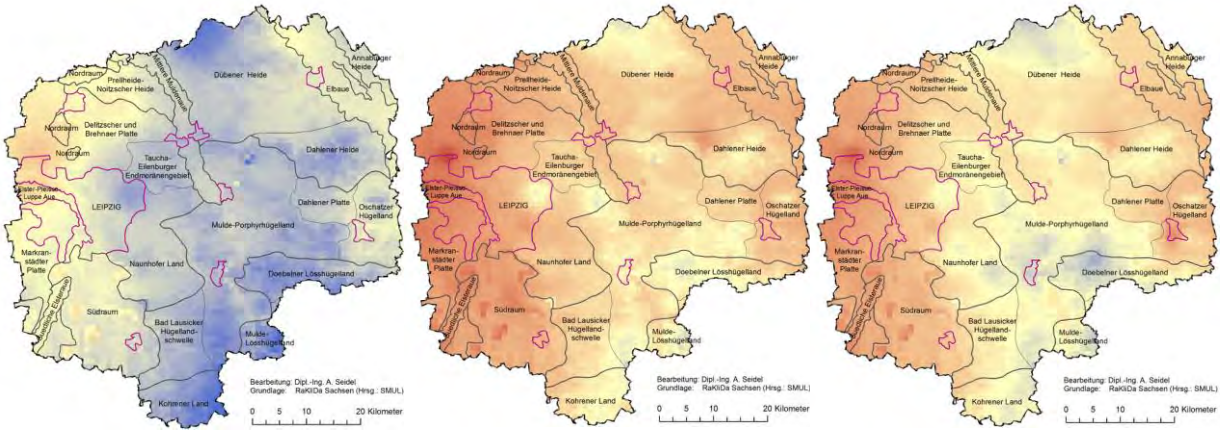
Sommerhalbjahr (Mär – Sep)



- Wasserzehrung in der gesamten Region ausgeprägt
- 2041-2050: Bereiche höchster Wasserdefizite nordwestlich von Leipzig, ausgeglichenste Bereiche im Kohrener Land und den Lösshügelländern
- 2091-2100: weiträumige Wasserzehrung im Norden der Region, ausgeglichenste Bereiche im südlichen Hügelland

	Klimatische Wasserbilanz (Hügelland / Tiefland) in mm							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	-32	-137	-49	-149	-150	-250	-210	-289
Minimum	-107	-173	-116	-212	-219	-323	-262	-361

Winterhalbjahr (Okt – Feb)



- Klimatische Wasserbilanz regionsweit im positiven Bereich, Rückgang der Wasserverfügbarkeit jedoch in der gesamten Region, in Tiefland etwas stärker ausgeprägt als im Hügelland
- Bereiche höchster Wasserzehrung: im Westen und östlich der Elbe
- ausgeglichenste Bereiche: in den südlichen Hügelländern, im Mulde-Porphyrhügelland und im Norden der Dübener Heide

	Mittlerer Niederschlag (Hügelland / Tiefland) in mm							
	1961-1990		1991-2010		2041-2050		2091-2100	
Maximum	215	151	243	159	186	111	172	98
Minimum	173	109	186	109	136	51	122	39

Abb. 2.4-21: Projizierte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz in der Region im halbjährlichen Vergleich auf Basis WETTREG 2010, Emissionsszenario A1B (vgl. Seidel 2012)

2.4.3.4 Planungsräume im Klimawandel

An Hand der modellbasierten Projektionsergebnisse für die Region (vgl. Kap. 2.4.3.1 bis 2.4.3.3) lassen sich Teilräume mit unterschiedlicher klimatischer Ausprägung und Entwicklungstendenz ableiten. Eine Abgrenzung solcher Teilräume kann zur Entscheidungsfindung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel beitragen und bei der Festlegung konkreter Maßnahmestrategien und Planungsschwerpunkte hilfreich sein (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, FRANKE 2015).

Die Abgrenzung der regionalen Planungsräume im Klimawandel erfolgte durch SCHMIDT ET AL. (2011) im Zusammenhang mit der regionsweiten Vulnerabilitätsanalyse im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO). Die Abgrenzung der Klimaräume basiert auf der Auswertung der Klimasignale nach WEREX IV und orientiert sich an den regionalen Landschaftseinheiten sowie der Gliederung des BFT (1972) in Tieflands- und Hügellandklima. Durch SEIDEL (2012) konnte die Abgrenzung der regionalen Planungsräume im Klimawandel auf Grundlage des weiterentwickelten, dynamisch-statistischen Regionalisierungsverfahrens WETTREG 2010 überprüft und fortgeschrieben werden.

Die regionale Abstufung der Klimaräume auf Basis von WEREX IV in Hügelland, Übergangslagen und Tiefland wird durch die Projektion nach WETTREG 2010 grundsätzlich bestätigt. Für das Klima des Hügellandes sind im regionsweiten Vergleich die höchsten Niederschläge, die gemäßigtsten Temperaturen und das ausgeglichenste Wasserdargebot innerhalb der Region zu erwarten. Für das Klima des Tieflandes sind hingegen regionsweit die höchsten Temperaturen, die geringsten Niederschläge, die stärkste jährliche Wasserzehrung und ein deutliches erhöhtes Trockenheitsrisiko kennzeichnend. Das Übergangsklima stellt Wechselbereiche dar, welche sowohl ähnliche projizierte Temperatur- und Feuchtewerte wie das Hügelland und das Tiefland aufweisen, im jahreszeitlichen Verlauf in ihrer klimatischen Ausprägung schwanken oder Zwischenstufen der Klimasignale des Hügel- und Tieflandes aufzeigen (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, SEIDEL 2012). Die regionalen Planungsräume im Klimawandel sind in Abb. 2.4-22 dargestellt und in Tab. 2.4-11 ausführlich beschrieben.

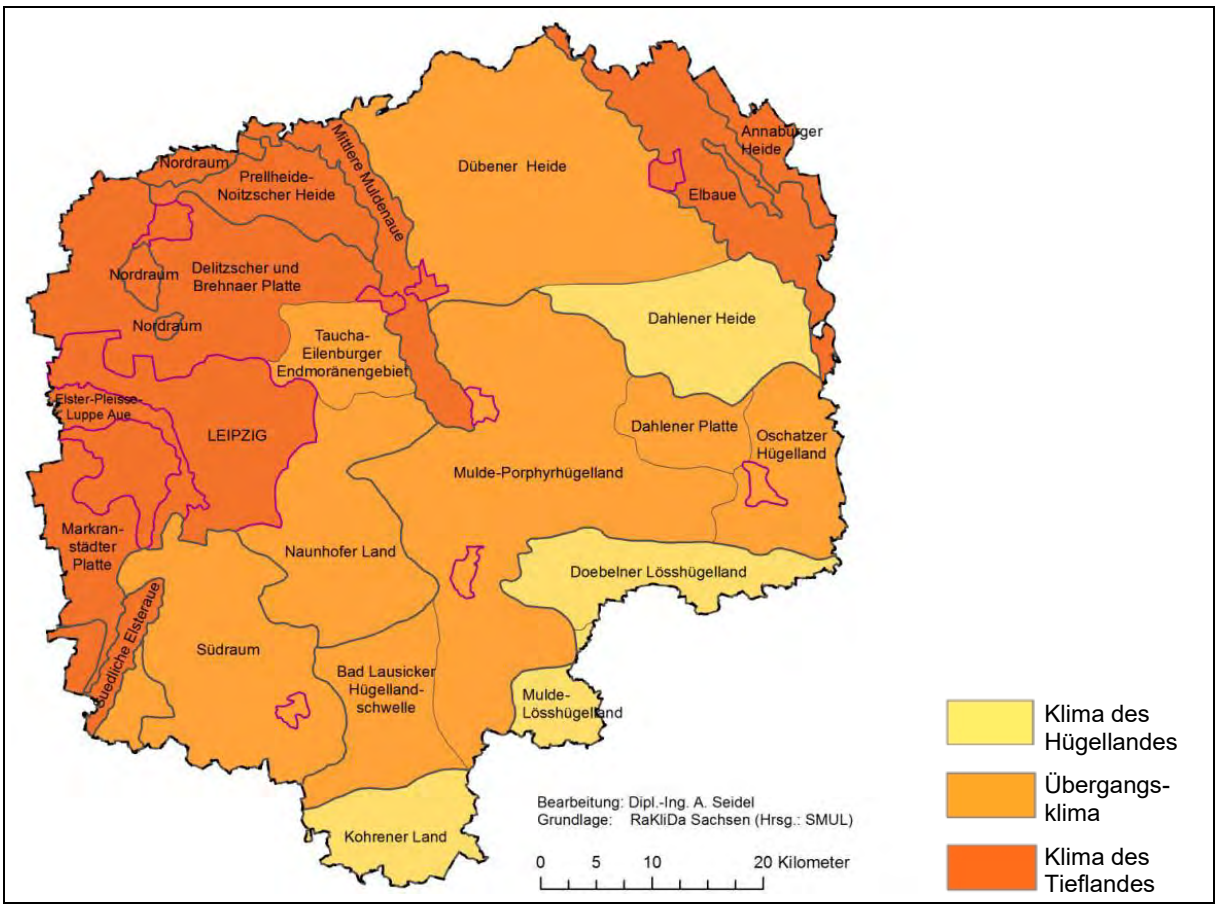


Abb. 2.4-22: Planungsräume im Klimawandel auf Grundlage der Klimaprojektionen (SEIDEL 2012)

Tab. 2.4-11: Zusammenfassende Übersicht der projizierten klimatischen Ausprägungen und Entwicklungstendenzen der regionalen Planungsräume im Klimawandel auf Basis von WETTREG 2010 (vgl. SEIDEL 2012)

	Klima des Hügellandes	**Übergangsklima**	**Klima des Tieflandes**
Temperatur	kühlste absolute Durchschnittstemperaturen	gemäßigte absolute Durchschnittstemperaturen	hohe absolute Durchschnittstemperaturen
Niederschlag	höchste durchschnittliche Niederschläge	gemäßigte durchschnittliche Niederschläge	niedrige durchschnittliche Niederschläge
Wasserbilanz	negative jährliche Wasserbilanz	leichte bis deutliche negative jährliche Wasserbilanz	deutliche negative jährliche und sommerliche Wasserbilanz
Änderungs-signal	gemäßigste regionale Erwärmung und Nieder-schlagsrückgänge	deutliche Temperaturerhöhung und Niederschlagsrückgänge	höchste regionale Temperatur-erhöhung sowie hohe Vorbe-lastung
Landschafts-einheiten der Region	- Kohrener Land - Mulde-Lösshügelland - Döbelner Lösshügelland - Dahlener Heide	- Oschatzer Hügelland - Dahlener Platte - Dübener Heide - Mulde-Porphyrhügelland - Bad Lausicker Hügelland-schwelle - Naunhofer Land - Südraum Leipzig - Taucha-Eilenburger End-moränengebiet	- Mittlere Muldenaue - Prellheide-Noitzscher Heide - Delitzscher und Brehnaer Platte - Nordraum Leipzig - Stadt Leipzig - Markranstädter Platte - Elster-Pleiße-Luppe-Aue - Südliche Elsteraue - Elbaue - Annaburger Heide

Projizierte Entwicklungen sind als Tendenz zu betrachten und abhängig vom den zugrunde liegenden Rahmenbedingungen und Regionalisierungsverfahren.

2.4.4 Klimafolgenabschätzung

Aus der bisherigen sowie projizierten Klimaentwicklung in der Region (vgl. Kap. 2.4.2 und 2.4.3) und den hieraus abschätzbaren voraussichtlichen Folgen auf regional bedeutsame Raumfunktionen und Landnutzungen ergibt sich ein verstärkter regionaler Handlungsbedarf. Im Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012 sind durch die Staatsregierung mittelfristige klimapolitische Zielstellungen des Freistaates zur Minderung der Treibhausgasemissionen als auch sektorale Anpassungsstrategien bis 2020 festgelegt. Jedoch wirkt sich der Klimawandel nicht in allen sächsischen Regionen in gleichem Maße und gleicher Intensität aus (vgl. FRANKE ET AL. 2016). Auf Basis der Ergebnisse des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung KlimaMORO - Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, REGIONALER PLANUNGSVERBAND LEIPZIG-WESTSACHSEN 2014) lassen sich für die Planungsregion konkrete regionale Betroffenheiten und bereits heute unvermeidbare Klimafolgen gebietsspezifisch identifizieren und gewichten, um risikobezogene Anpassungsmaßnahmen abzuleiten und Handlungsoptionen für die Region aufzuzeigen. Die Abschätzung potenzieller Klimafolgen auf natürliche Ressourcen und Raumfunktionen der Region (bspw. Arten und Lebensräume, Böden, Grund- und Oberflächenwasser etc) ist bereits in den jeweiligen Fachkapiteln erfolgt (vgl. Kap. 2.1.5, 2.2.3.4, 2.2.5.1.6, 2.3.1.1.7, 2.3.1.2.5, 2.3.2.3.1 sowie 2.3.2.5). Nachfolgend werden deshalb klimatisch bedingte Auswirkungen auf bedeutsame Raumnutzungen ergänzt und überblicksartig zusammengefasst.

Landwirtschaft

Die Landwirtschaft bildet mit einem Flächenanteil von fast zwei Drittel die Hauptlandnutzungsform der Region und prägt entscheidend die Kulturlandschaft. Im Zuge des Klimawandels ergeben sich für die Landwirtschaft sowohl Chancen, bspw. Ertragszuwächse infolge steigender Jahresdurchschnittstemperaturen, aber auch Risiken durch zusätzliche Verringerung des pflanzenverfügbaren Wasserdargebotes innerhalb der Vegetationszeit sowie durch klimatisch verstärkte Wind- und Wassererosion auf Ackerböden. Zudem wird in allen sächsischen Agrarräumen ein steigendes Risiko von Ertrags- und Qualitätseinbußen infolge von Extremwetterereignissen - Hitze- und Dürreperioden, Starkregen, Überschwemmung, sowie Stürme, Hagel, Früh- und Spätfröste – erwartet (vgl. LFULG 2009, HENK ET AL. 2015).

Temperatur, Niederschlag und Strahlung stellen wichtige Indikatoren für das Pflanzenwachstum dar. Die projizierten Klimaveränderungen hinsichtlich Temperatur- und Niederschlagsentwicklung sowie deren jahreszeitliche Verteilung werden sich auf den Ackerbau entscheidend auswirken, nach LFL (2005) vorrangig durch:

- Verschiebung der Entwicklungsphasen, Verringerung der Frosttage (vgl. Abb. 2.4-4) und Verlängerung der Vegetationszeit (vgl. Abb. 2.4-15)
- Veränderung des Spektrums an tierischen und pilzlichen Schaderregern sowie Unkräutern
- dürrebedingte Ertragsausfälle
- stark ausgetrocknete Bodenoberflächen → Gefahr der Winderosion
- Extremniederschläge → Risiko von Wassererosion und Überschwemmungen

Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft sind von der Exposition (den klimatisch bedingten Risiken von Trockenphasen oder Extemwetterereignissen), vom der Empfindlichkeit und dem Puffervermögen der landwirtschaftlich genutzten Böden (Austrocknungsrisiko, Wasserspeichervermögen, Wind- und Wassererosionsgefährdung) als auch von der nutzungsbedingten Sensitivität (vom Wasserbedarf der Anbaukulturen bzw. dem Anteil wasserzehrender Fruchtarten) abhängig. Grundsätzlich wird die Ertragsqualität deutlich von der Wasserversorgung beeinflusst. Je trockener die Klimate, desto niedriger die Erträge. Durch die weitere Abnahme der Niederschlagsmengen im Frühjahr und Frühsommer werden in der Region vor allem die Agrargebiete der Heidelandschaften mit bereits angespanntem Gebietswasserhaushalt betroffen sein. Der Anbau stark wasserbedürftiger Fruchtarten (Weizen, Mais, Rüben, Raps, Kartoffeln, Gemüse, Sonderkulturen) kann dort zukünftig vermehrt zu Mindererträgen führen und die Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Produktionsflächen nachhaltig beeinträchtigen. Lössgeprägte Agrarlandschaften der Region können Trockenphasen aufgrund ihres Wasserspeichervermögens

hingegen puffern. Hier ist vielmehr mit temporären Risiken infolge hoher Niederschlagsintensitäten und Starkregen zu rechnen (vgl. LFL 2005).

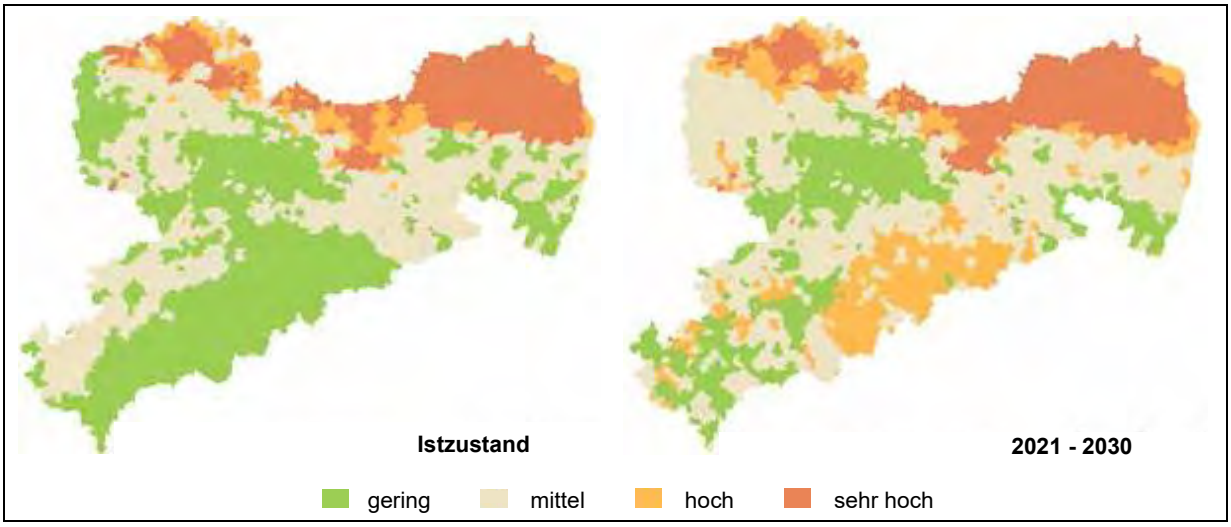


Abb. 2.4-23: Vergleich trockenheitsbedingter Ertragsausfallrisiken in Sachsen (nach HENK ET AL. 2015)

Nach HENK ET AL. (2015) ist in der Region ein Anstieg der Ertragsausfallrisiken zu verzeichnen. Gebiete mit hoher und sehr hoher Anfälligkeit gegenüber trockenheitsbedingten Ertragsausfällen werden sich unter den projizierten Klimaänderungen bis 2030 im Norden und Nordosten der Region weiter ausdehnen. Ertragseinbußen bei wasserbedürftigen Fruchtarten sind am stärksten auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen der Prellheide-Noitzscher Heide, Dübener und Dahlener Heide sowie der Annaburger Heide zu erwarten. Doch auch in den westlichen Sandlöss-Ackerebenenlandschaften der Delitzscher und Brehnaer Platte sowie der Markranstädter Platte steigt das Ertragsausfallrisiko im Zuge des Klimawandels bis 2031 an. Auf den tiefgründigen Böden der Lösshügellandschaften sind auch zukünftig vergleichsweise geringe Veränderungen der Erträge zu erwarten (vgl. Abb. 2.4-23).

Im Rahmen des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung KlimaMORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ konnten auf Basis modellgestützter Szenarienbetrachtungen bis 2100 mögliche Beeinträchtigungsrisiken für die Landwirtschaft der Region abgeschätzt werden. Die größten Herausforderungen für den Ackerbau bestehen zukünftig in der Anpassung an zunehmende Hitze- und Trockenphasen sowie an häufigere intensive Starkregenereignisse. Deshalb wurde im Forschungsprojekt schwerpunktmäßig die Vulnerabilität landwirtschaftlicher Nutzflächen gegenüber Austrocknung und Wassererosion untersucht und Schwerpunktgebiete mit hohem Risiko gegenüber trockenheitsbedingter Ertragsminderung oder erosionsbedingtem Bodenabtrag identifiziert (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

Nach SCHMIDT ET AL. (2011) wird die Landwirtschaft in der Region zukünftig mit einem zunehmend angespannten Wasserhaushalt konfrontiert sein. Besonders betroffen durch die Zunahme von Dürreperioden sind flachgründige, grundwasserferne Agrarstandorte und landwirtschaftlich genutzte Böden mit geringem Wasserrückhalt. Im Zuge anhaltender Hitze- und Trockenphasen wird das Wasserspeichervermögen der landwirtschaftlich genutzten Böden zu einem wesentlich ertragsbestimmenden Faktor (vgl. HENK ET AL. 2015). In der Region wird sich die projizierte Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz innerhalb der Vegetationszeit auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen der Heidelandschaften am deutlichsten auswirken. Die oberflächige Austrocknung landwirtschaftlich genutzter Böden verstärkt zugleich die Winderosionsdisposition der ackerbaulichen Nutzflächen im Norden und Nordosten.

Infolge intensiver Starkregenereignisse in Frühjahr und Frühsommer erhöht sich zukünftig zudem das Risiko von Wassererosion durch erhöhte Oberflächenabflüsse, Überschwemmungen und Hochwasser. Eine hohe bis sehr hohe potenzielle Wassererosionsgefährdung weisen in der Region aufgrund ihrer natürlichen Standortbedingungen die stärker relieffierten Ackerflächen der Lösshügelländer auf.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnten zwei räumlich differenzierte Handlungsprämissen abgeleitet werden (vgl. Abb.2.4-24). Folgende Vulnerabilitäten sind im Ergebnis der Klimafolgenabschätzung für die Landwirtschaft in der Region abzuleiten:

- Hohe Vulnerabilität gegenüber sinkenden sommerlichen Niederschlägen bei zugleich steigenden Durchschnittstemperaturen im Norden und Nordosten → In den Heidelandschaften und der Elbaue wird die Landwirtschaft zukünftig unter erhöhtem Bewirtschaftungsaufwand und einem zunehmenden Ertragsrisiko betrieben werden. Anpassungsstrategien an den Klimawandel werden jedoch auch in den traditionellen Ackerbaulandschaften der Delitzscher und Brehnaer Platte erforderlich.
- Hohe Vulnerabilität gegenüber steigender Wassererosionsgefahr in Südosten → In den landwirtschaftlich stark geprägten Lösshügellandschaften werden zukünftig vor allem Anpassungsmaßnahmen zum Schutz vor starkregenbedingtem Bodenabtrag erforderlich. Dennoch werden in den Lösshügelländern die potenziellen Ertragszuwächse anspruchsvoller Fruchtarten am günstigsten eingeschätzt.

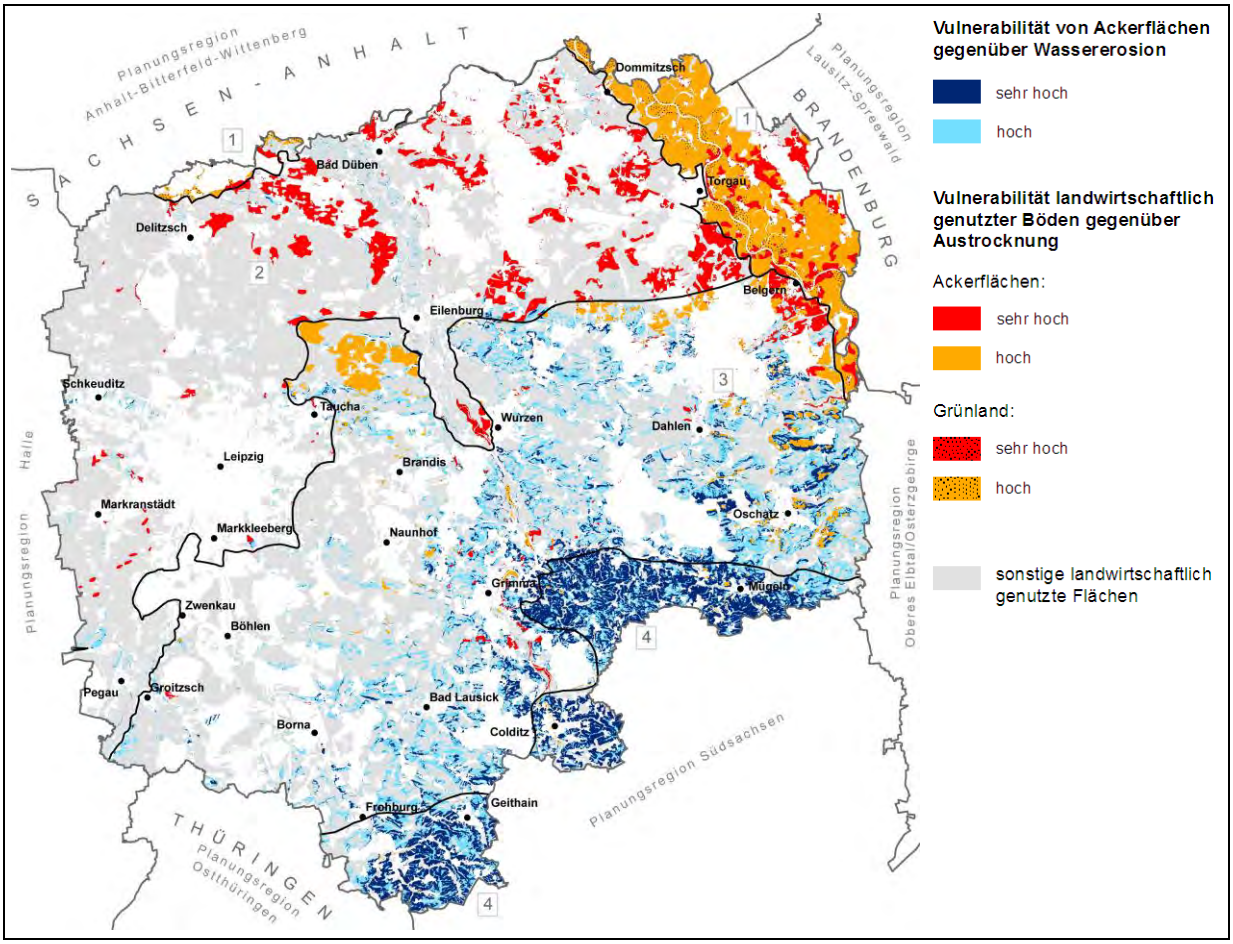


Abb. 2.4-24: Vulnerabilität landwirtschaftlich genutzter Flächen im Klimawandel (SCHMIDT ET AL. 2011)

Des Weiteren beeinflusst auch die Dauer der Vegetationsperiode entscheidend die Wachstumsphasen der Anbaukulturen und deren Ertragsqualität. Im Zuge der klimatischen Veränderungen hat sich die Dauer der Vegetationsperioden in der Region bereits verlängert (vgl. Abb. 2.4-15) und wird zudem weiter zunehmen. Allerdings steigt mit dem früheren Beginn der Vegetationszeit zugleich die Gefahr von Ertragseinbußen durch Spätfröste, insbesondere im Obst- und Gemüseanbau.

Klimatisch bedingte Veränderungen, wie bspw. Hitze- und Trockenstress, erhöhte Einstrahlungsintensität, trockenheitsbedingtes Nährstoffdefizit, erhöhen zudem die Anfälligkeit landwirtschaftlicher Kulturen und deren Kalamitätsrisiko gegenüber der Ausbreitung von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten. Die Zunahme milder Winter infolge der projizierten Temperaturanstiege in der Region begünstigt den frühzeitigen Ausbruch von Krankheiten und die massive Vermehrung

von Schadinsekten. Gefährdet sind vor allem die leichten, trocken Ackerflächen der Heidelandschaften, zukünftig jedoch auch trocken-warme Lössgebiete der Region (vgl. HENK ET AL. 2015).

Um der Verantwortung der Landwirtschaft als nachhaltige Landnutzungsform gerecht zu werden, und deren langfristige Produktivität und Wirtschaftlichkeit sicher zu stellen, sind tragfähige und ressourcenschonende Strategien zur Anpassung an den Klimawandel erforderlich. Nachfolgend sind ausgewählte regionsbezogene Anpassungsmaßnahmen für den Pflanzenbau stickpunktartig benannt (vgl. SMUL 2009, SCHMIDT ET AL. 2011, HENK ET AL. 2015):

- ressourcenorientiertes Wassermanagement in trockenstressgefährdeten Agrarlandschaften mit dem Ziel das Risiko von Ertragsverlusten und Qualitätseinbußen zu mindern: Verringerung des Anteils stark wasserzehrender Anbaukulturen, standortoptimierte Fruchtartenspektren, Einsatz wassersparender Bodenbearbeitungs- und Bewirtschaftungsverfahren, Anbau sowie Züchtung von standortangepassten, trockenheitstoleranten Sorten (insbesondere in Agrarlandschaften des trocken-warmen Tieflandes im Norden der Region)
- breite Risikostreuung hinsichtlich der Kulturartenauswahl sowie vielgestaltige Fruchtfolge reduzieren das Ausfallrisiko infolge anhaltender Trockenphasen oder Extremwetterereignissen und vermindern die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen
- nachhaltiger und vorsorgender Erosionsschutz: dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaatverfahren, Streifenbearbeitung sowie bodengefügeerhaltende bzw. -verbessernde Maßnahmen (Vermeidung schädlicher Bodenverdichtung, Humusaufbau zur Stabilisierung des Bodengefüges und Wasserrückhaltes), Minimierung von Bewirtschaftungsphasen ohne schützende Bodenbedeckung durch angepasste Fruchtfolgenplanung, Zwischenfruchtanbau oder mehrjähriger Futteranbau, Unterteilung der Schlagfluren und Gliederung durch Fruchtartenwechsel oder Anlage von Grünstreifen quer zur Hangneigung, dauerhafte Begrünung erosionsgefährdeter Abflussbahnen, Förderung von erosionsmindernden Gehölzstrukturen (insbesondere in Agrarlandschaften der wassererosionsgefährdeten Lösshügelländer im Südosten der Region sowie in strukturarmen, windoffenen Ackerebenen in Nordwesten)
- angepasstes und effizientes Nährstoffmanagement mit dem Ziel das Abschwemmungs- und Auswaschungsrisiko von Nährstoffen zu verringern: bedarfsgerechte Düngestrategie sowie Einarbeitung der Düngergaben in den Wurzelbereich (Injektionsdüngung/Unterflurdüngung) zur Verbesserung der Nährstoffaufnahmefähigkeit auch bei angespanntem Bodenwasserhaushalt oder oberflächennaher Austrocknung der Böden
- Schadensüberwachung und Präventionsmaßnahmen: Befallsmonitoring, schadschwellenangepasste Schutzkonzepte und Vorsorgemaßnahmen gegenüber Pflanzenkrankheiten sowie Schadinsekten (insbesondere im Getreide-, Kartoffel- und Zuckerrübenanbau) als auch gegenüber Schäden durch Extremwetterereignisse (z. B. Hagelschutznetze, Tröpfchenbewässerung, Knospenschutz im Obstanbau)

Forstwirtschaft

Die Abhängigkeit der Forstwirtschaft von klimatisch bedingten Umweltfaktoren ist unmittelbar. Das Klima stellt einen wesentlichen Einflussfaktor auf Waldstandorte dar und bestimmt Vitalitätszustand, Wachstumsprozesse, Ertragsleistung und Bestandsstabiltät. Gemäß dem Energie- und Klimaprogramm Sachsen (SMWA/SMUL 2013) wird der Klimawandel auch die Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft in Sachsen entscheidend verändern. Klimaänderungen wirken sich auf den Boden- und Wasserhaushalt der Waldstandorte aus, verändern langfristig die Wuchs- und Konkurrenzbedingungen innerhalb der Bestände, können Wälder durch witterungsbedingte Extremereignisse (bspw. anhaltende Dürreperioden, schwere Stürme, Spätfroste etc.) direkt schädigen und erhöhen zugleich deren Anfälligkeit gegenüber weiteren Schadensfaktoren (bspw. Waldbrand, Schädlingsbefall, Sturmwurf/Windbruch). Die Betroffenheit der Waldbestände im Klimawandel ist jedoch sehr verschieden. Ihre Vulnerabilität hängt sowohl entscheidend von der witterungsbedingten Exposition als auch von der Sensitivität des Waldstandortes und der bestandsbildenden Baumarten ab. Witterungsbedingte Risiken ergeben sich vorrangig aus der Quantität und Verteilung der Niederschläge und den lokalen Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz innerhalb der Vegetationsperiode, dem Grad der Temperaturerhöhung und Strahlungsintensität sowie durch Häufung von Extremereignissen. Standortspezifische Ausprägungen können das Ausmaß witterungsbedingter Risiken bspw. in Abhängigkeit vom Wasserspeichervermögen der Bodensubstrate oder durch die Pflanzenverfügbarkeit von Grundwasservorräten puf-

fern oder aber zusätzlich verstärken. Zudem bestimmen auch bestandsbedingte Faktoren, insbesondere die Baumartenzusammensetzung, Bestands- und Altersstruktur, Standortgerechtigkeit, Schichtung, Kronenschluss etc. maßgeblich die Widerstandsfähigkeit, Stresstoleranz und Vitalität der Waldbestände im Klimawandel. Entscheidend ist, inwieweit die bestandsbildenden Hauptbaumarten die zu erwartenden Klimarisiken und klimatisch bedingten Standortänderungen im Rahmen ihrer artspezifischen physiologischen Toleranzspannen ertragen und unter diesen vitale und entwicklungsfähige Waldbestände ausbilden können. Vor allem monostrukturierte, gleichaltrige und einschichtige Reinbestände nicht standortgerechter Baumarten verfügen aufgrund ihrer fehlenden Arten-, Struktur- und Altersdiversität über ein nur sehr geringes Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen und Abwehrmechanismen und weisen eine erhöhte Anfälligkeit und Schadensintensität auf.

Klimatische Veränderungen im Zuge des Klimawandels führen langfristig zu einer Arealverschiebung der forstlichen Klimastufen und Wuchsgebiete in Sachsen (vgl. SBS 2013) und erfordern auch in der Region eine Anpassung der Auswahl, Verteilung und Mischung von bestandsbildenden Leitbaumarten und forstlichen Waldentwicklungstypen.

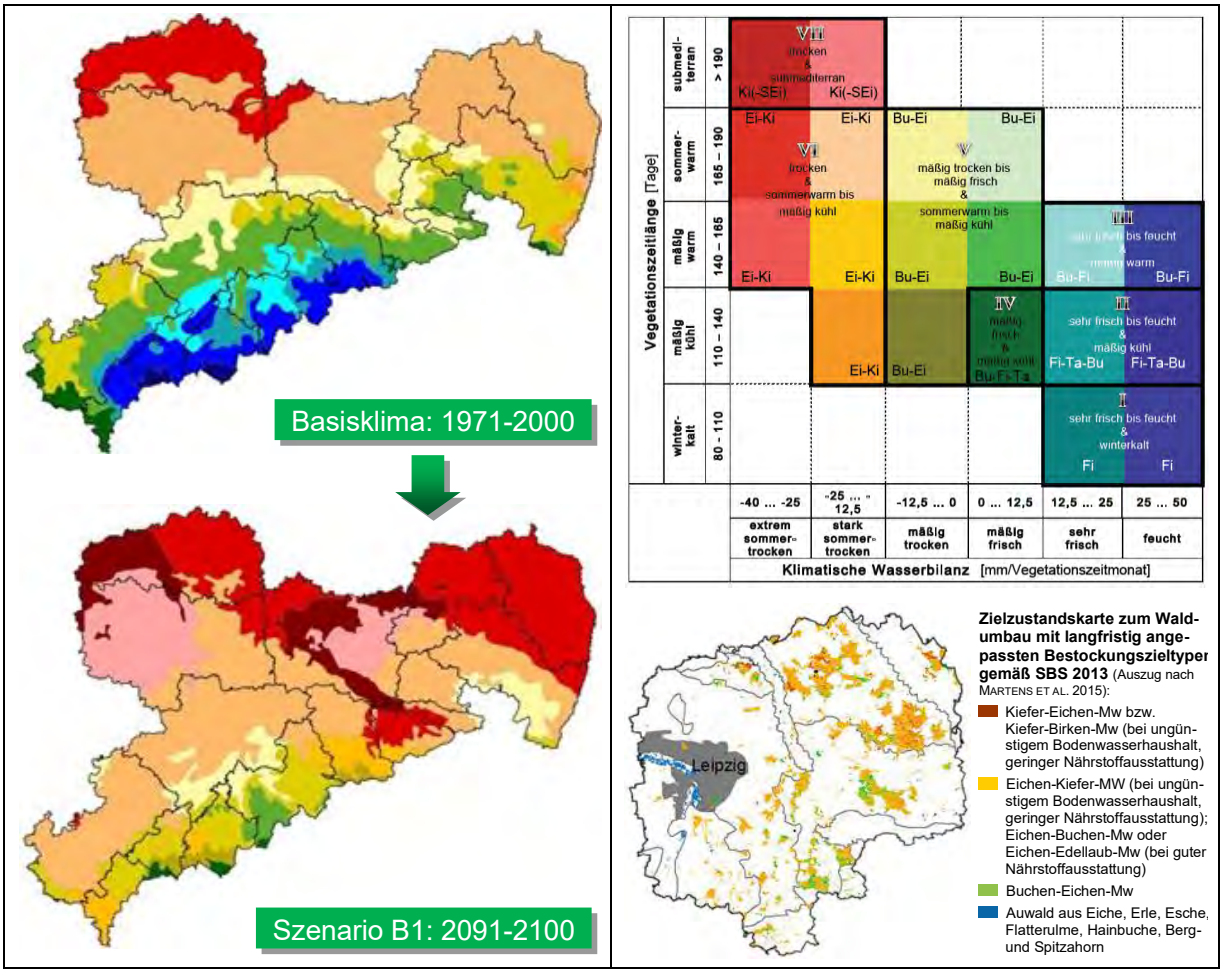


Abb. 2.4-25: Klimagliederung gemäß Staatsbetrieb Sachsenforst im Vergleich zwischen Basisklima 1971-2000 und Szenario B1 im Projektionszeitraum 2091-2100 mittels dynamischer Klimastufen (I bis VII) und Klimaklassen in Kombination aus klimatischer Wasserbilanz und Vegetationslänge einschließlich klassendominierender Leitbaumarten (Auszug nach PADBERG & MÜLLER 2013, ergänzt um MARTENS ET AL. 2015)

Nach PADBERG & MÜLLER (2013) werden sich die forstlichen Kimastufen vor allem im Nordwesten und Westen der Region deutlich verändern und bis 2100 von „subkontinental/gering subkontinental - sommerwarm“ in „subkontinental/gering subkontinental - submediterran“ übergehen (vgl. Abb. 2.4-25). Hierdurch wird auch ein verstärkter Wechsel der Bestandeszieltypen erforderlich. Besonders trockenheitstolerante Eichenarten wie Stiel- und Traubeneiche aber auch Flaumeiche

werden als bestandsbildende Baumarten im Westen der Region an Bedeutung gewinnen. Doch auch in den bereits trocken-warmen und sandgeprägten Tieflandsgebieten der Heidelandschaften werden sich unter den projizierten Klimaänderungen die Bestandsareale trockenheitstoleranter Baumarten wie Stiel- und Traubeneiche sowie Waldkiefer weiter ausdehnen. Für die trockenheitsempfindliche und kühle-adaptierte Fichte, aber auch für Rotbuche, Weißtanne oder Douglasie werden sich die Entwicklungsbedingungen und Wuchsgebiete hingegen in der gesamten Region weiter verschlechtern.

Folgen des Klimawandels auf den Waldzustand, wie bspw. Trockenstress, Dürreschäden oder klimatisch begünstigte Schädlingskalamitäten, sind in der Region bereits sichtbar. Aufgrund der langen Generationsphasen und Entwicklungszeiträume sind Wälder aber nur sehr langfristig an klimawandelbedingte Standortveränderungen anpassbar. Es bedarf deshalb eines frühzeitigen Erkennens gebietskonkreter Schadenspotenziale und vorausschauende forstwirtschaftliche Entscheidungen, rechtzeitige waldbaulichen Maßnahmen und Handlungsprioritäten, um die Stabilität der Wälder auch unter künftig veränderten Klimabedingungen zu gewährleisten, die Anpassungskapazität der Waldbestände standortspezifisch zu erhöhen und damit die Produktionsgrundlage für eine nachhaltige Forstwirtschaft zu sichern. Neben ihrer forstwirtschaftlichen Nutzfunktion erfüllen Wälder zudem auch wichtige ökologische Schutzfunktionen zur Regulierung und Reinhaltung des Wasserhaushaltes, des Boden-, Klima- und Immissionsschutzes, des Arten- und Biotopschutzes sowie des Denkmalschutzes, tragen damit wesentlich zu Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen sowie zum Landschaftsverbund bei, sind bedeutsame Kohlenstoffspeicher und bilden zudem eine wichtige Basis für die Erholungsvorsorge und den Tourismus in der Region. Die Sicherung ihrer dauerhaften Funktionsfähigkeit und Stabilität sind folglich auch aus ökosytemaren und gesellschaftlichen Gesichtspunkten von besonderer Relevanz.

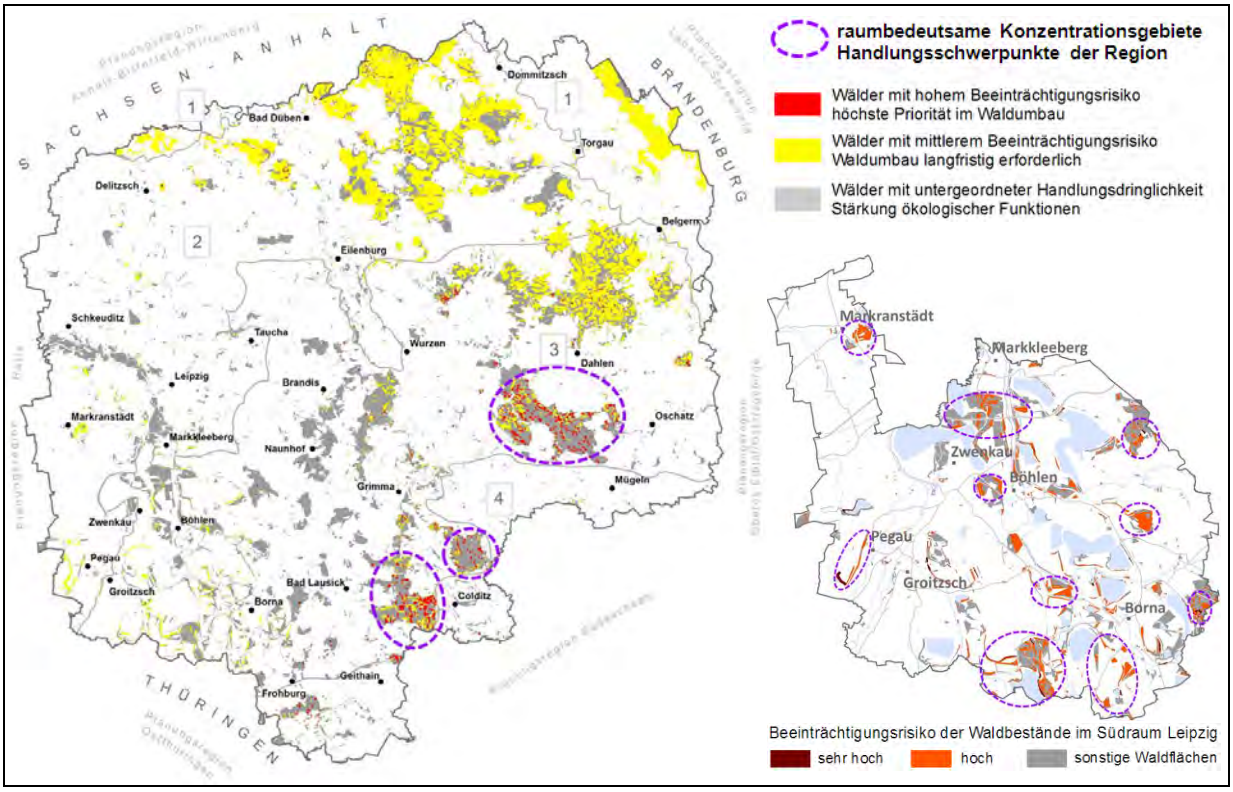


Abb. 2.4-26: Vulnerabilität der Wälder in der Region gegenüber klimatisch bedingten Beeinträchtigungsrisiken infolge von Trockenstress, Waldbrand, Schädlingskalamität, Windbruch/Sturmwurf (Auszug nach SCHMIDT ET AL. 2011, RPV-LWS 2014)

In Leipzig-Westsachsen, der waldärmsten Planungsregion im Freistaat Sachsen mit einem Waldanteil von lediglich 18,6 Prozent, stehen der Walderhalt und die nachhaltige Anpassung der Forstwirtschaft an den Klimawandel besonders im Fokus. Beeinträchtigungen der Vitalität und Leistungsfähigkeit sowie eine weitere Reduzierung der Waldbestände durch Bestandsausfälle sind aufgrund der hohen Bedeutung für das Allgemeinwohl und ihrer vielfältigen Funktionen im

Naturhaushalt wirksam zu vermeiden. Im Rahmen des KlimaMORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ konnten mittels modellgestützter Szenarienbetrachtungen bedeutsame Klimaanpassungsstrategien für die Forstwirtschaft in der Region abgeleitet werden. In Phase I des Forschungsvorhabens wurden auf Basis des Klimamodells WEREX IV erstmals mögliche Auswirkungen der Klimaentwicklung bis 2100 auf den regionalen Waldbestand flächendeckend abgeschätzt und Schwerpunktgebiete mit hoher Vulnerabilität gegenüber Trockenstress, Waldbrand, Schädlingsbefall, Sturmwurf sowie Spätfrost identifiziert (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011). Waldbestände in den Bergbaufolgelandschaften der Region sind infolge des dynamischen Gebietswasserhaushaltes und vielfältiger Standortausprägungen einer Vielzahl von nutzungs- und klimawandelbedingten Beeinträchtigungsrisiken ausgesetzt. In Phase II des Modellvorhabens wurden diese auf Basis des weiterentwickelten Regionalisierungsverfahrens WETTREG 2010 für den bergbaugeprägten Südraum Leipzig vertiefend untersucht (vgl. RPV-LWS 2014). An Hand der szenariengestützten regionalen Klimaanalysen lassen sich raumbedeutsame Konzentrationsgebiete mit hohem Beeinträchtigungsrisiko der Wälder im Klimawandel für die Region ermitteln und Bereiche mit prioritärem Handlungsbedarf sowie gebietskonkrete Empfehlungen für die Forstwirtschaft ableiten. Die Ergebnisse der Klimafolgenabschätzung für Wald und Forstwirtschaft in der Region sind nachfolgend überblicksartig zusammengefasst (vgl. Abb. 2.4-26 und Tab 2.4-12).

Tab. 2.4-12: Übersicht regionaler Beeinträchtigungsrisiken der Wälder im Klimawandel, raumbedeutsame Verbreitungsschwerpunkte und regionale Handlungserfordernisse (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, RPV-LWS 2013b)

Trocken-stress	Steigende Verdunstungsraten (Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur bis 2100 um 2 bis 3,5 °C) bei zugleich projizierter Abnahme der durchschnittlichen Jahresniederschläge (Hügelland: -5 bis -10 %; Tiefland: -10 bis -20 %) führen zu sommerlicher Wasserverknappung, Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz (im Jahresmittel um -190 bis -220 mm) und dauerhaften Verminderung des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrats vor allem innerhalb der Vegetationsperiode (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, SEIDEL 2012). Vor allem in den trocken-warmen Tieflandsgebieten mit bereits angespanntem Bodenwasserhaushalt im Westen und Norden der Region steigt das Trockenstressrisiko bis 2100 erheblich. Doch auch im bisher gut wasserversorgtem Hügelland sind deutliche Änderungsraten zu erwarten, allerdings bleibt die klimatische Wasserbilanz positiv. Anhaltender Trockenstress führt zu Dürreschäden (Sprosswelken, Kronendürre, vorzeitiger Blattabfall), zu Vitalitätsverlusten infolge reduzierter Photosyntheseleistung, Wuchsstörungen, Zuwachsstockung, Bestandsausfall und zahlreichen weiteren Folgeschäden, bspw. erhöhte Anfälligkeit gegenüber Schwächeparasiten, Schädlingsbefall, Windbruch/Sturmwurf oder verstärkte Zünd- und Brennbereitschaft). Das Ausmaß der Schädigungen hängt entscheidend von der Reduzierung des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrates, vom standörtlichen Puffervermögen, der Toleranzspanne der bestandsdominanten Baumarten sowie von der Alters- und Bestandsstruktur der Wälder ab. ● Höchste Vulnerabilität gegenüber Trockenstress weisen fichtendominierte Nadelwaldbestände auf, da die Fichte in der Region außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsareales nicht standortgerecht und in monostrukturierten Reinbeständen stockt und ihre Bestandsvitalität bereits vorbelastet ist. Signifikante Vitalitätseinbußen im Zuge des Klimawandels leiten sich zudem für Buchenbestände ab. Vulnerable Schwerpunktgebiete konzentrieren sich vorrangig im Colditzer Forst, Wermsdorfer Wald und Thümmlitzwald; kleinflächiger zudem in der Bergbaufolgelandschaft (Oberholz, Fürstenholz). ● Auch für Waldbestände der Heidelandlandschaften im nördlichen Tiefland steigt das Beeinträchtigungsrisiko durch ausgeprägte sommerliche Trockenphasen weiter an (Prellheide-Noitzscher Heide, Dübener Heide, Annaburger Heide, Dahlener Heide). ● Auf verritzten Standorten der Bergbaufolgelandschaften haben strukturarme, einschichtige Pionierwaldbestände aus Pappel, Aspe und Birke in Altersklassen von 40 bis 50 Jahren zudem bereits das Ende ihrer natürlichen Entwicklungszyklen erreicht, weisen eine verminderte Bestandsvitalität und Widerstandskraft auf und sind gegenüber zunehmenden Dürrephasen und verringerter Wasserverfügbarkeit ebenfalls sehr empfindlich. Auf austrocknungsgefährdeten, flachgründigen und grundwasserfernen Kippenflächen oder einstrahlungsintensiven Halden und Böschungen wird sich ihr Vitalitätsverlust infolge klimawandelbedingter Hitze- und Trockenperioden zusätzlich beschleunigen (schwerpunktmäßig Halde Kulkwitz, Halde Trages, Kippe Böhlen, Altkippe Borna, Kippe Witznitz, Kippe Haselbach sowie Randzonen der Tagebaugebiete Profen und Vereinigtes Schleenhain). An Hand der projizierten Klimaszenarien ist bis 2100 mit einer weiteren Zunahme trockenstressbedingter Beeinträchtigungen zu rechnen. Zusätzlich betroffene Waldstandorte befinden sich im Bereich Neue Harth, Kippe Borna-Bockwitz und Halde Lippendorf. <u>Empfehlungen zum Waldumbau</u>: stärkere Durchmischung und Umbau in arten- und strukturreiche, klimarobuste, vitale Mischwälder durch Erhöhung des Anteils standortangepasster, trockenheitstoleranter Laubbaumarten mit den Ziel der Risikostreuung und Stärkung des Puffervermögens gegenüber sommerlichem Trockenstress, schrittweise Verjüngung, Förderung mehrschichtiger und gestufter Bestandesstrukturen, Vermeidung wasserzehrender Konkurrenzen; besondere Umbaupriorität haben

	vorrangig Waldbestände mit bereits hohem struktur- und altersbedingten Vitalitätsrisiko, fehlender Bestandsdiversität sowie geringer Standortgerechtigkeit, um diese dauerhaft als Waldstandorte zu sichern und die Bandbreite möglicher Anpassungs- und Abwehrmechanismen zu erhöhen Empfehlungen für die Waldmehrungsplanung: Aufforstung austrocknungsempfindlicher Standorte ausschließlich mit trockenheitsverträglichen heimischen Baumarten (vorrangig Stiel-/Traubeneiche, Waldkiefer, Vogelkirsche, Winterlinde, Hainbuche), zukünftig zudem Beimischung trockenheitsresistenter Arten submediterraner Verbreitungsgebiete (bspw. Flaumeiche, Roteiche, Schwarzkiefer, Eßkastanie, Robinie etc.), Begründung der Kulturen unter Schirm, Vorwaldanbau, Beschränkung der Waldmehrung auf Extremstandorten auf nicht investive Maßnahmen
Waldbrand	Waldbrände werden durch anthropogene Wirkfaktoren (Funkenflug, Fahrlässigkeit, Brandstiftung) oder Blitzschlag verursacht. Standort- und bestandsbedingte Faktoren verstärken das Waldbrandrisiko jedoch signifikant. Waldbrände können erhebliche wirtschaftliche Schäden an Waldbeständen, urbaner Infrastruktur und ggf. auch Personenschäden verursachen. Zudem führen Waldbrände zu erheblichen Verlusten an organischer Bodensubstanz, erhöhten das Erosionsrisiko und zerstören wertvolle Habitate und leistungsstarke Kohlenstoffspeicher. Regionale Klimaanalysen belegen erhebliche Erwärmungssignale und Niederschlagsrückgänge. Mit Zunahme ausgeprägter Hitze- und Trockenphasen vor allem im Frühjahrs und Sommer steigt das Austrocknungsrisiko und damit die Zünd- und Brennbereitschaft sensitiver Waldbestände. Erhöhte Waldbrandrisiken bestehen insbesondere im Nahbereich anthropogener Nutzungen, in Waldbeständen entlang von Straßen, Bahnlinien sowie in stark erholungsfrequentierten Bereichen. Waldbrandgefährdet sind in der Region vorrangig austrocknungsgefährdete Nadelwaldbestände (mit hohem Anteil an Kiefer/Fichte/Lärche, sowohl in lichten und stark vergrasten Altbeständen als auch in dicht gedrängten jungen Reinkulturen mit leicht entzündbarer tiefer Beastung oder Reisigauflage) sowie lückige und bereits gestörte, stark vergraste, strukturarme Pionierwaldbestände der Bergbaufolgelandschaften (mit hohem Anteil an Pappel/Birke/Aspe sowie leicht zünd- und brennbarer Bodenvegetation oder Totholzanteil) Vulnerable Verbreitungsgebiete konzentrieren sich: • schwerpunktmäßig im nördlichen Tiefland der Region in bereits stark trockenheitsbestimmten Heidewaldgebieten, deren Austrocknungs- und Waldbrandrisiko sich im Zuge des Klimawandels durch sommerliche Wasserverknappung und ausgeprägte Dürrephasen zusätzlich verschärft. (Prellheide-Noitzscher Heide, Dübener Heide, Dahlener Heide, Annaburger Heide) • auf austrocknungsgefährdeten Standorten innerhalb zusammenhängender Waldgebiete, in denen Waldbrände leicht auf benachbarte Kulturen übergreifen und sich die Schadesintensität im Brandfall damit deutlich erhöht (Oberholz, Fürstenholz) • in Bergbaufolgelandschaften zudem auf flachgründigen und grundwasserfernen Kippenflächen mit geringem Wasserrückhalt oder besonders austrocknungsempfindlichen Halden und Böschungen mit hoher Einstrahlungsintensität und Windexposition, auf denen sich Waldbrände hangaufwärts schnell ausbreiten sowie die Waldbrandbekämpfung und Löschwasserversorgung zusätzlich erschweren. (Halde Trages, Halde Kulkwitz, Neue Harth, Kippe Böhlen, Kippe Witznitz, Kippe Haselbach/Altkippe Schleenhain) Empfehlungen zum Waldumbau: Minderung der Zünd- und Brennbereitschaft durch Verringerung des Nadelholzanteils, stärkere Durchmischung und Etablierung standortgerechter, geringer entzündbarer Laubbaumarten (Stiel-/ Traubeneiche, Birke, Hainbuche, Winterlinde), Förderung der Naturverjüngung in alters- und strukturbedingt beeinträchtigten Beständen mit starker Vergrasung/Ruderalisierung und Entwicklung geschlossener, mehrstufiger und vitaler Waldbestände zur dauerhaften Sicherung des Waldcharakters, Regulierung leicht zünd- und brennbarer Begleitvegetation durch regelmäßige Kulturpflege und Durchforstung, Beschattung des Waldbodens durch forstsanitären Unterbau Empfehlungen zu forsttechnischen Präventionsmaßnahmen: Prüfung und ggf. Anpassung der Waldbrandgefahrenklassen, Erhalt und Weiterentwicklung der Warn- und Meldesysteme zur Gefahrenabwehr, steigender Bedarf an Informations- und Beratungsleistungen zur Waldbrandprävention, Ausweisung von Sicherheitszonen entlang risikorelevanter Infrastrukturtrassen, Gewährleistung der Zugänglichkeit in Risikogebieten, Erhaltung/Sanierung und ggf. Neuanlage von Wasserentnahmestellen und Löschwasserteichen, Anlage und Unterhaltung von Brandschutzstreifen, Gefahrenhinweisbeschilderung und ggf. zeitliche Nutzungsbeschränkungen in stark frequentierten Waldgebieten
Sturmwurf/ Windbruch	Stürme und extreme Unwetter mit Orkanböen können gravierende Schäden in Wäldern verursachen. Eine erhöhte Häufigkeit von Sturmereignissen ist an Hand verfügbarer Projektionen bisher nicht ableitbar (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, SEIDEL 2012). Stürme treten jedoch im Zuge starker Tiefdruckgebiete auf, deren Intensitäten klimawandelbedingt zunehmen und sich jahreszeitlich verschieben werden (vgl. MARTENS ET AL. 2015). Gegenüber Frühjahrs- und Sommerstürmen sind Wälder deutlich empfindlicher als im blattlosen Zustand. Stürme führen zur Lockerung des Wurzelwerkes, Zuwachsstockung oder vollständiger Entwurzelung und Baumwurf sowie zu Ast-, Kronen- oder Stamm-/Schaftbruch und Wuchsdeformation, erhöhen die Anfälligkeit gegenüber Pilz- und Schädlingsbefall und können im Extremfall den Verlust des gesamten Waldbestandes verursachen. Das Schadensrisiko ist von der Bestandsstruktur (Baumart, Höhe, Dichte), der standortbedingten Verankerungsmöglichkeit und der Exposition der Waldstandort abhängig. Ein hohes Beeinträchtigungsrisiko zeigen insbesondere monostrukturierte, gedrängte Reinbestände sensitiver Altersklassen sowie gestörte, stark lückige Waldbestände. Vor allem Wälder auf windlastexponierten Standorten sind

	Sturmereignissen und Extremwetterlagen besonders ausgesetzt. Flachgründige, stark vernässte oder verdichtete Standorte führen zudem zu Beeinträchtigungen des Wurzelsystems, Ausbildung flacher Wurzelteller und hierdurch zu verringerter Standfestigkeit und erhöhtem Sturmwurfrisiko. Höchste Vulnerabilität gegenüber Sturmwurf weisen in der Region gleichförmig ausgebildete, naturferne Fichtenreinbestände auf, in der Bergbaufolgelandschaft vorrangig auch flachwurzelnde, raschwüchsige und bereits gestörte Pionierwaldgesellschaften aus Pappel, Birke, Aspe mit standort- und altersbedingten Vitalitätseinbußen. Windbruchgefährdet sind zudem kiefer- und robiniendominierte Waldbestände sensitiver Altersklassen. Vulnerable Verbreitungsgebiete konzentrieren sich schwerpunktmäßig: • im Colditzer Forst und Wermsdorfer Wald auf vorbelasteten fichtendominierten Waldstandorten • auf windlastexponierten bergbaubedingten Halden und Böschungen mit strukturarmen, lückigen und vitalitätsgeschwächten Pionierwäldern (Halde Trages, Halde Lippendorf) sowie auf exponierten Waldrandbereichen (Fürstenholz) • auf windoffenen flachgründigen Kippenbereichen der Bergbaufolgenlandschaft (Kippe Witznitz, Kippe Böhlen, Kippe Haselbach, Altkippe Borna) Empfehlungen zum Waldumbau: Verringerung des Anteils an bruch- bzw. wurfgefährdeten Baumarten besonders sensitiver Altersklassen, Umbau naturferner strukturarmer Reinbestände durch Erhöhung des Anteils standortangepasster, bestandsstabilisierender Baumarten und Beförderung einer ausgewogenen Baumartenmischung mit dem Ziel der Risikostreuung und nachhaltigen Minderung der Schadensanfälligkeit und -intensität, auf exponierter Hanglage vorrangig mit tiefwurzelnden, standortgerechten Arten (Traubeneiche, Lärche), Verbesserung der Bestandsstruktur und Entwicklung mehrschichtiger, kleinteilig wechselnder, gestufter Mischwaldbestände, Förderung der standortgemäßen Naturverjüngung und vitalitätsstärkenden Durchforstung, Erhalt von Stützfunktionen benachbarter Bestände, Vermeidung destabilisierender Bewirtschaftungsweisen, flächiger Bestandesöffnungen oder Bestandeslücken, Erhalt und Förderung stufiger Waldrandstrukturen
Schädlings-kalamität	Klimaveränderungen erhöhen das Risiko der Ausbreitung und Massenvermehrung von Waldschädlingen. Steigende Durchschnittstemperaturen und jahreszeitlich veränderte Niederschlagsmengen begünstigen die Populationsentwicklung von Schadorganismen, steigern die Anzahl und den Erfolg der Bruten und potenzieren somit den Bestand fortpflanzungsfähiger Generationen. Schadorganismen wärmerer Klimaregionen können zudem vermehrt einwandern und sich explosionsartig in Beständen ausbreiten. Zum anderen erhöht sich im Zuge des Klimawandels die Anfälligkeit der Wälder gegenüber Schaderregern. Schädlingsbefördernde Stressfaktoren (bspw. anhaltende Sommertrockenheit, Hitzeperioden, Sturmereignisse, Spätfröste) können die Vitalität der Bestände und deren Widerstandskraft erheblich beeinträchtigen. Der Befall durch Schadinsekten führt zu Fraßschäden, Kronenverlichtung bis hin zu vitalitätsgefährdendem Kahlfrass, zur Ausbildung von Ersatztrieben und Verbuschung der Kronenbereiche. Pilzinfektionen können Verfärbung und vorzeitiges Welken infizierter Blatt- und Triebspitzen, Verkahlung, Rindenschäden und Nekrosen, Baumkrebs und eine erhöhte Frost- und Dürreempfindlich verursachen. Folgeschäden sind häufig Kümmerwuchs, Wachstumsverluste, Zuwachsstockung, Verlust der Vitalität und Standsicherheit, erhöhtes Bruch- und Wurfrisiko, steigender Totholzanteil sowie erhöhte Zünd- und Brennbereitschaft. Nach mehrjährig starkem Befall kann dies das Absterben ganzer Bestände bewirken. Schädlingskalamitäten ergeben sich in Sachsen vorrangig durch Borkenkäfer (Buchdrucker, Kupferstecher, Lärchenborkenkäfer), Schmetterlingsraupen (Eichenprozessionsspinner, Frostspanner, Schwammspinner, Eichenwickler, Kieferneule, Nonne, Kiefernspinner, Lärchenminiermotte), Blatt- und Gallwespen oder Pilzinfektionen bspw. Kiefernschütte und Eschentriebsterben (vgl. SBS 2013, SMUL 2012). Die Anfälligkeit der Wälder gegenüber Schädlingsbefall und ihre Schadensintensität sind in besonderem Maße von der Baumartenzusammensetzung, den Mischungsverhältnissen und der Bestandsstruktur abhängig. Während vitale und gesunde Wälder Fraßschäden und Pilzinfektionen kompensieren können, sind geschwächte oder bereits gestörte, stark überalterte oder aber sehr junge Bestände hingegen besonders anfällig. Gefährdet sind vor allem gleichaltrige, strukturarme Reinbestände sowie Bestände geringer Standortgerechtigkeit aufgrund ihrer nur geringen Toleranzspannen, Abwehrmechanismen und Regenerationsmöglichkeiten. Sehr hohe Vulnerabilität gegenüber Insektenkalamitäten zeigen fichtendominierte, nicht standortgerechte und monostrukturierte Nadelwaldbestände der Region. Ihre hohe Empfindlichkeit gegenüber Schädlingen äußert sich bereits aktuell im Befall regionaler Fichtenbestände durch den Borkenkäfer. Der höchste Anteil vulnerabler Fichtenbestände ist im Colditzer Forst und Wermsdorfer Wald zu verzeichnen. Kiefer, Lärche und Eichen weisen je nach Witterung ebenfalls eine mittlere Sensitivität gegenüber Schädlingskalamitäten auf. Infolge des projizierten Anstieges sommerlicher Trockenphasen ist auch für ausgedehnte Kiefernforste der Heidelandschaften im Norden und Nordosten der Region eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber Schädlingsbefall abzuleiten. Eichen und Lärche sind vor allem in dichten, undurchforsteten und strukturarmen Reinbeständen sensitiver junger Altersklassen besonders befallsgefährdet. Empfehlungen zum Waldumbau: Bestandsdurchmischung mit standortangepassten heimischen Laubgehölzen in vorgeschwächten, befallsgefährdeten Waldbeständen und Entwicklung stabiler, klimarobuster Mischwälder mit dem Ziel der Risikostreuung und Schadensminimierung, Entnahme erntereifer, bereits geschädigter Altbäume zur Holzwertsicherung und Schadensprävention, Sanitär-

	hiebe und Beräumung befallsbetroffener Bestände zur Reduzierung von Brutstätten und Populationsdichten, Kulturpflege und regelmäßige Durchforstung dichter, gleichförmiger Aufforstungen zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit und Bestandesvitalität Empfehlungen zu forsttechnischen Präventionsmaßnahmen: Waldschutzmonitoring zuständiger Forstbehörden (Populationsüberwachung, Befallskartierung, Warnmeldungen), Erhalt und Weiterentwicklung von Waldschutzmeldesystemen, risikobezogene Information und Beratung von Privatwaldbesitzern, Unterstützung bei der Schadensbeseitigung, forstliche Saatgutgewinnung bzw. Pflanzgutvermehrung in standortangepassten, robusten Beständen
Extremwetterereignisse **Spätfrost/ Nassschnee**	Im Zuge des Klimawandels ist mit einer verstärkten Variabilität der Wettergeschehnisse zu rechnen. Wetterextreme - Früh-/Spätfröste, Hagel, Nassschnee etc.- treten räumlich jedoch sehr unterschiedlich, lokal und spontan auf und lassen auf regionaler Ebene keine standortbezogene Sensitivitätsabschätzung zu. Dennoch sollte die Sensitivität gegenüber Extremwetterereignissen im Zuge waldbaulicher Maßnahmeplanungen, insbesondere bei der Baumartenauswahl und -zusammensetzung, berücksichtigt werden. Spätfröste: Erhöhte Durchschnittstemperaturen im Winter und Frühjahr begünstigen den frühzeitigen Vegetationsbeginn, verkürzen die Winterruhe und den natürlichen Frostschutz in Beständen, befördern deren frühzeitigen Blattaustrieb und erhöhen somit das Risiko und die Schadensintensität gegenüber Spätfrosten von April bis Juni. Spätfröste schädigen mitunter irreversible das Blattwerk, junge Triebe und Zweige oder Blütenstände, verursachen Rindenschäden und Nekrosen und führen zu Biomasseverlust, Wachstumsstörung und Schwächung der Bestandesvitalität. Gefährdet sind vorrangig Jungbestände sensitiver Altersklassen in feucht-nassen Senken oder kaltluftexponierten Lagen und Abflussmulden, Aufforstungen mit starkem Grasbewuchs sowie vorgeschwächte Bestände. Erhöhte Spätfrostempfindlichkeit zeigen vor allem gleichaltrige, strukturarme Jungbestände, dominiert von Buche, Eiche, Lärche, Douglasie; im Südraum Leipzig vorrangig in der Bergbaufolgelandschaft. Nassschnee/Schneebruch: Im belaubten Zustand der Wälder kann Nassschnee infolge der Schneelast erhebliche Bruchschäden verursachen, erhöht die Wurfanfälligkeit, mehrt Schadstellen und den Totholzanteil im Bestand und begünstigt die Ausbreitung von Sekundärschädlingen. Betroffen sind vorrangig nadelbaumdominierte Bestände (Fichte, Kiefer, Douglasie) sowie Laubwaldbestände mit spätem herbstlichen Blattwurf und breiter Kronenausbildung (Buche, Eichen). Hagel: Rindenschäden infolge von Hagelereignisse befördern Nekrosen, Wucherungen, Krebswunden etc. und schwächen damit nachhaltig die Vitalität und Widerstandsfähigkeit der Waldbestände. Empfehlungen zum Waldumbau: bei erhöhter Disposition gegenüber Spätfrösten verstärkte Durchmischung und Erhöhung des Anteils standortangerechter, frostharter Laubbaumarten (Hainbuche, Erle, Birke, Linden- und Ahornarten), Etablierung von Vorwaldstadien und gestufte Kulturerziehung der Zielbaumarten, Erhalt bzw. Voranbau schirmbildender Bestandsschichten, Regulierung kaltluftbefördernder Bodenvegetation; Anlage von Frostschutzriegeln, gestuften Waldrändern oder Heckenstrukturen; bei erhöhter Schadensintensität infolge von Nassschnee/Schneebruch Sanitärhiebe und Beräumung des Schadholzes zur Schadensprävention sowie regelmäßig Durchforstung, frühzeitige Bestandserziehung und Entwicklung mehrschichtiger, ungleichaltriger Mischbestände

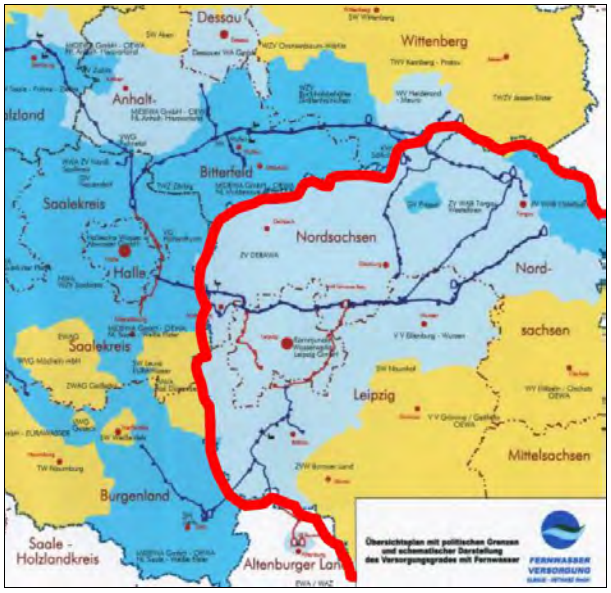
Ziele des Waldschutzes und der Waldmehrung erhalten im Zuge der klimawandelbedingten Entwicklung einen noch höheren Stellenwert in der Region als bisher. Angesichts der umfangreichen Anpassungsmaßnahmen der Forstwirtschaft an den Klimawandel sind vorausschauende Waldbaustrategien und eine Priorisierung der Handlungserfordernisse unerlässlich, um die notwendigen Maßnahmen des Waldschutzes und Waldumbaus vorrangig auf jene Standorte in der Region zu lenken, auf denen sich der Verluste der Waldbestände und ihrer Funktionsfähigkeit besonders erheblich auswirken. Im Fokus stehen vor allem:

- Wälder mit einer hohen Überlagerung bedeutsamer Waldfunktionen
- Wälder mit besonderer Erholungsfunktion (vorrangig innerhalb der „30-Minuten-Naherholungszone“ um Leipzig)
- Wälder mit hoher Bedeutung für die Minderung von Klimafolgen („regional bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete“)

Der Umbau in standortgerechte, arten- und strukturreiche, vitale und klimarobuste Mischwaldgesellschaften bildet zudem nicht nur eine wirksame Maßnahme zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel, sondern ist mit einer Vielzahl weiterer nachhaltiger Synergien verbunden, bspw. Stärkung der biologischen Vielfalt, nachhaltige Beiträge zum Boden- und Erosionsschutz, Sicherung der Retentionsfunktionen im Freiraum sowie Förderung leistungsfähiger attraktiver Erholungslandschaften.

Wasserver- und entsorgung

Bei der Betrachtung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf die regionale Wasserver- und -entsorgung hat sich die Technische Universität Dresden im Rahmen der „Vulnerabiltätsanalyse Westsachsen“ (SCHMIDT ET AL. 2011) exemplarisch auf zwei zentrale Unternehmen der regionalen Wasserver- bzw. -entsorgung gestützt. Untersucht wurden die länderübergreifende Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH und die den Verdichtungsraum um Leipzig versorgende Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH (vgl. Abb. 2.4-27).



Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH (Auszug nach STANDFUß 2009): *rot – Regionsgrenze, dunkelblau – Vollversorgung hellblau – teilweise Versorgung*

Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH (Auszug nach WINKLER 2009): *grün – Trink- und Abwasser, blau – Trinkwasser, orange – Abwasser*

Abb. 2.4-27: Einzugsbereiche der untersuchten regionalen Wasserver- und -entsorgungsunternehmen

Nach SCHMIDT ET AL. (2011) wird die in der Region zu erwartende Verschärfung der klimatischen Wasserbilanz im Zuge des Klimawandels zu einer potenziellen Verringerung des regionalen Wasserdargebotes führen und sich damit grundsätzlich auch auf das System der Trinkwasserversorgung auswirken. Die Sensitivität der regionalen Trinkwassersysteme hängt jedoch von einer Vielzahl an Faktoren ab. Neben Qualität und Quantität der zur Verfügung stehenden Grundwasserreservoire sind insbesondere auch der regionale Trinkwasserverbrauch und die demografische Entwicklung entscheidend. Gemäß STANDFUß (2009) und WINKLER (2009) hat sich der Trinkwasserbedarf in der Region seit 1990 stark reduziert. Sowohl im Einzugsgebiet der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH als auch der Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH ist dieser bis 2010 um über zwei Drittel gesunken. Ursachen sind zum einen der kontinuierliche Bevölkerungsrückgang in der Region, aber auch die deutliche Abnahme des jährlichen Wasserverbrauchs in Haushalten und Wirtschaft sowie die Reduzierung von Leitungsverlusten infolge umfangreicher Netzsanierungen. Da unter Berücksichtigung des demografischen Wandels auch künftig weitere Bevölkerungsrückgänge in der Region erwartet werden, sind im Rahmen der Vulnerabilitätsanalyse, selbst bei einer klimatisch bedingten Verringerung des regionalen Wasserdargebots und einem Wiederanstieg des jährlichen Wasserverbrauchs, keine Kapazitätsengpässe für die Trinkwasserversorgung abzuleiten. Zudem fördert die Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH das Trinkwasser aus der sog. „Elbtalwanne“. Diese umfasst ein Wasserreservoir von ca. 700 Mio. m³ und einen jährlichen Zufluss von 16,2 Mio. m³, welches sich aus dem landseitigen Grundwasserzustrom und dem Uferfiltrat der Elbe zusammensetzt. Bei einer Spitzenentnahme der Elbaue-Wasserwerke von max. 2 m³/s wird selbst bei einer künftigen klimawandelbedingten Abnahme des Niedrigwasserabflusses der Elbe unter 117 m³/s ein ausreichend großer Zufluss erhalten bleiben, um die Nachhaltigkeit der Wasserversorgung absichern zu können. Im Vergleich zu lokalen Wasserressourcen im Gebiet der Dübener Heide mit bereits hoher Empfindlichkeit gegenüber einer Verringerung des sommerlichen Wasserdargebotes, kann das

Wasserversorgungssystem der Elbaue-Ostharz GmbH unter dem Aspekt des Klimawandels somit als nachhaltig und robust bewertet werden (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011). Allerdings gestaltet sich die künftige Netzauslastung des Fernwasserversorgungssystems durch die Abnahme des jährlichen Wasserverbrauchs und bei weiterem Bevölkerungsrückgang infolge des demografischen Wandels zunehmend problematisch und bedarf flexibler Erhaltungs- und Anpassungsmaßnahmen (vgl. Abb. 2.4-28).

Stärker als die quantitativen Engpässe sind in der Region die potenziellen qualitativen Beeinträchtigungen der Trinkwasserversorgung zu bewerten, da die stofflichen Belastungen der regionalen Grundwasserkörper bereits erhebliche Ausmaße aufweisen, Nutzungskonkurrenzen auf der Fläche stetig steigen und sich unter den Aspekten des Klimawandels zukünftig noch verschärfen werden. Nach SCHMIDT ET AL. (2011) ist der vorsorgende Schutz hochwertiger Wasserressourcen und relevanter Einzugsgebiete vor jedweder Beeinträchtigung oder Inanspruchnahme durch konkurrierende grundwassergefährdende Nutzungen deshalb zunehmend bedeutsam.

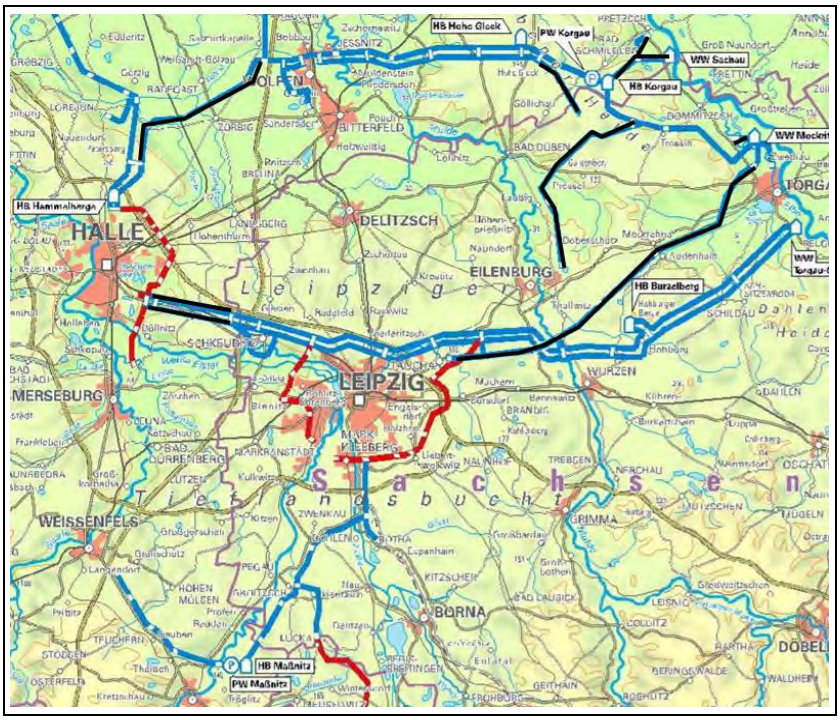


Abb. 2.4-28: Netzbereiche der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH (Auszug nach STANDFUß 2009): dunkelblau – mit Stagnationsgefahr

Für die regionalen Abwasserentsorgungssysteme werden im Zuge des Klimawandels zunehmende Risiken und Anpassungserfordernisse abgeleitet. Die unter dem Aspekt des Klimawandels einerseits zu erwartende Häufung hydrologischer Extremsituationen durch Hochwasser- oder Starkregenereignisse und die gleichzeitig signifikante Verringerung der sommerlichen Niederschlagsmengen und Änderung der Abflussverhältnisse werden die Gegensätze zwischen Niedrigwassersituationen und abflussintensiven Ereignissen deutlich verstärken und zu erheblichen Belastungsschwankungen innerhalb der Entsorgungssysteme führen (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011). In Phasen anhaltender sommerlicher Trockenheit verlängern sich die niederschlagsbedingten Spülintervalle in den Kanalnetzen erheblich und verursachen hierdurch eine nur geringe, unzureichende Remobilisierung und erhöhte Häufung von Ablagerungen. Demgegenüber erhöhen sich durch eine tendenzielle Häufung von Hochwasser- und Starkregenereignissen die hydraulischen Belastungen der Kanalsysteme zur Niederschlagsableitung. Bestimmungen und Grundsätze zur Abwasserbeseitigung gemäß des veränderten Wasserhaushaltsgesetzes 2010 zur weitgehenden Vermeidung bzw. Verringerung der Ableitung von Niederschlagswasser durch ortsnahe Versickerung, Verrieselung sowie Trennung von Niederschlags- und Schmutzwasser bei der Vorfluteinleitung tragen zu einer zusätzlichen Verschärfung der hydraulischen Belastungsschwankungen der Netze bei. Nach SCHMIDT ET AL. (2011) werden die Anforderungen an die Flexibilität der Entsorgungsnetze, insbesondere der Mischsysteme, unter der Aspekt des Klimawandels künftig steigen und einer konkreten, situationsspezifischen Betrachtung auf kommunaler Ebene bedürfen.

Erholung und Tourismus

Im Zuge des Klimawandels und steigender gesundheitsrelevanter Hitzebelastungen gewinnen klimatisch wirksame Bereiche für die wohnungsnahe Erholung (städtische Grünflächen, klimatische Komfortinseln) und die Anbindung urbaner Belastungsräume an siedlungsnahe Freiraumsysteme mit bioklimatischer, lufthygienischer Ausgleichsfunktion sowie gut erreichbare Naherholungs- und Tourismusgebiete zunehmend an Bedeutung. Gebiete für die landschaftsbezogene Erholung und Freizeitnutzung, für Bewegung aber auch Ruhe und Entspannung in der Natur, sind wichtige weiche Standortfaktoren der Wohn- und Lebensqualität in der Region, bilden eine wesentliche Voraussetzung für gesundsheitsbefördernde Aktivitäten (Spazieren, Wandern, Joggen, Walken, Radfahren, Baden oder Wassersportarten) und tragen somit zudem zur Gesundheitsprävention bei. Im Umland staatlich anerkannter Kur- und Erholungsorte sowie in Fremdenverkehrsregionen haben erholungsrelevante Freiräume einen besonderen Stellenwert.

Im Rahmen des KlimaMORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ konnten für die Modellregion Leipzig-Westsachsen regionsspezifische Überwärmungsrisiken in dicht besiedelten Räumen an Hand der Zunahme projizierter Hitzetage ermittelt sowie Auswirkungen auf den Gebietswasserhaushalt für regional bedeutsame Erholungsgebiete abgeleitet werden. Untersucht wurden zugleich erholungsbedingte Sensitivitäten im Zuge des wachsenden Erholungsdruckes der urbanen Bevölkerung sowie die nutzungsbedingte Empfindlichkeit erholungsrelevanter Wälder und Gewässerlandschaften. Im Ergebnis der risikobezogenen Überlagerung konnten raumbedeutsame Vulnerabilitäten gegenüber möglicher Veränderungen der Erholungseignung für stark frequentierte Freiräume der Region abgeschätzt werden (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011 sowie Abb. 2.4-29).

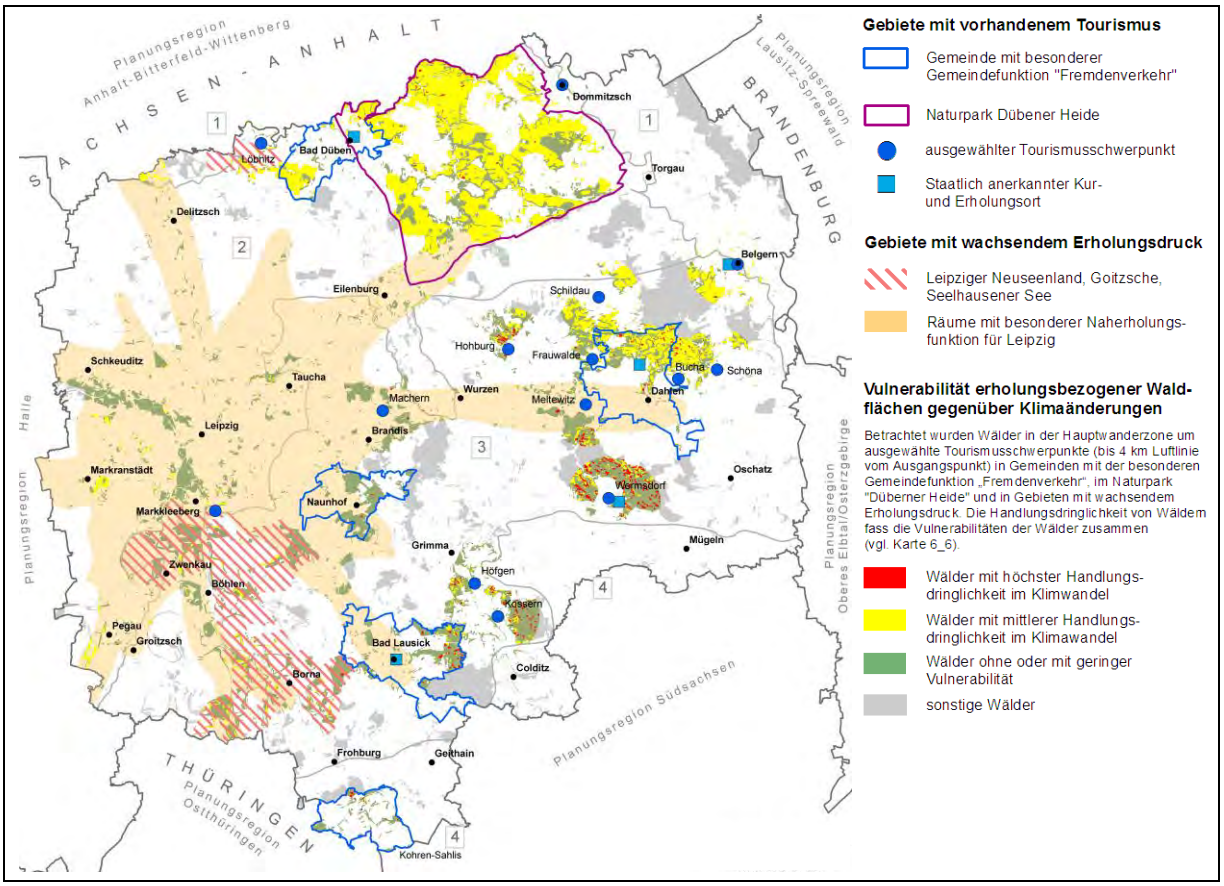


Abb. 2.4-29: Vulnerabilität erholungsrelevanter Räume (SCHMIDT ET AL. 2011)

Im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990 verdoppeln sich die Hitzetage (Tage über 30 °C) in der Region voraussichtlich bis 2051-2060. Stadtklimatische Wärmeinseln verstärken diese Entwicklung in urbanen Räumen zusätzlich. Klimaprojektionen belegen, dass die Überwärmung urbaner Räume stark zunehmen wird (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011 sowie Kap. 2.4.2.2). Insbesondere für die urbane Bevölkerung im Verdichtungsraum um das Oberzentrum Leipzig steigt hier-

durch der Bedarf an Naherholung, vorzugsweise im Umkreis bis 4 km Luftlinie bzw. innerhalb einer 30-Minuten-Naherholungszone (vgl. Abb. 2.4-29).

Gebiete mit regionalbedeutsamer Erholungseignung befinden sich vorrangig in Landschaftsräumen mit hohem Wald- oder Gewässeranteil. Wichtige Erholungsfunktionen für die Region weisen insbesondere die Kur- und Erholungsorte Bad Düben in Verbindung mit dem Naturpark Dübener Heide, Schmannewitz in Verbindung mit der Dahlener Heide, Wermsdorf in Verbindung mit dem Wermsdorfer Wald- und Teichgebiet und Bad Lausick mit Teilbereichen des Colditz-Glastener Forstes auf. Doch auch die Bergbaufolgelandschaften des ehemaligen Braunkohlenbergbaus im Nord- und Südraum von Leipzig haben sich zu attraktiven wald- und gewässerreichen Erholungslandschaften entwickelt. Die Frequentierung dieser erholungsrelevanten Freiräume wird unter dem Aspekt steigender Hitzebelastung der Städte voraussichtlich zunehmen und zu einem wachsenden Nutzungsdruck in den Gebieten führen. Andererseits wirken sich klimatisch bedingte Veränderungen des Gebietswasserhaushaltes sowie Extremwetterereignisse auch erheblich auf die Erholungseignung, Leistungsfähigkeit und Attraktivität der Wälder und Gewässerlandschaften innerhalb der regionalen Erholungsräume aus (vgl. Kap. 2.4.4/Forstwirtschaft sowie SCHMIDT ET AL. 2011, RPV-LWS 2014). In Überlagerung der erholungs- und nutzungsbedingten Sensitivitäten werden besondere Handlungserfordernisse deutlich (vgl. Abb. 2.4-29).

Erholungsrelevante Freiräume sind in ihrer Attraktivität und Leistungsfähigkeit zu erhalten und durch nachhaltige Strategien an klimatisch bedingte Veränderung anzupassen. In Gebieten mit wachsendem Erholungsdruck, insbesondere im Leipziger Neuseenland und innerhalb der 30-Minuten-Naherholungszone, besteht zukünftig ein erhöhter Bedarf der Erholungsflächenvorsorge und Entwicklung attraktiver erholungswirksamer Freiraumverbünde. Siedlungsnahe Erholungsgebiete, bioklimatisch wirksame Freiflächen (Wälder, Grünflächen, Parkanlagen) sowie die erlebnisreichen Wald- und Gewässerlandschaften im Südraum Leipzig sind an städtische Belastungs- und Überwärmungsgebiete anzubinden und ggf. durch ergänzende Freiraumstrukturen zu vernetzen. Besondere Anforderungen ergeben zudem für die Zugänglichkeit und Erreichbarkeit der siedlungsnahen Erholungsräume. Wegenetze und Infrastrukturen sind in ihrer vielseitigen Nutzbarkeit für die Naherholung zu sichern, qualitativ aufzuwerten und ggf. naturraumverträglich zu ergänzen, vor allem aber an den wachsenden Nutzungsdruck sowie an die Vielzahl verschiedener Erholungs- und Freizeitaktivitäten anzupassen bzw. differenziert zu entwickeln. Mit steigender Frequentierung der erholungsrelevanten Gebiete steigen auch die Anforderungen an deren nachhaltige Erschließung durch den ÖPNV und Radverkehr.

Klimawandelbedingte Waldumbaustrategien haben in erholungsbestimmten Landschaftsräumen eine besondere Priorität, um die Eignung, Erlebniswirksamkeit und bioklimatische, lufthygienische Funktion der Erholungswälder nachhaltig sicher zu stellen und Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes zu vermeiden. Regionalbedeutsame umbaubedürftige Erholungswälder mit hoher Vulnerabilität im Klimawandel stocken vorrangig in der Dübener Heide, Dahlener Heide, Hohburger Berge, im Wermsdorfer Wald und Colditz-Glastener Forst. Besondere Umbauerfordernisse leiten sich zudem für zahlreiche Pionierwälder der Bergbaufolgelandschaften innerhalb der 30-Minuten-Naherholungszone und im Leipziger Neuseenland ab (vgl. Abb. 2.4-29). Bei der Planung und Umsetzung forstwirtschaftlicher Anpassungsmaßnahmen sind die zunehmenden Erholungsbelange verstärkt zu berücksichtigen. Möglichkeiten der Konfliktvermeidung zwischen Erholungsfunktionen und umbaubedingten Sperrbereichen sowie Beschilderungen, Informationsangebote oder temporäre Besucherlenkungen sind in erholungsrelevanten Waldgebiete besonders bedeutsam und zu unterstützen (vgl. RPV-LWS 2013c). Für die vielgestaltigen erholungsrelevanten Gewässerlandschaften in und um Leipzig sind im Zuge des Klimawandels zudem gewässerspezifische Mindestwasserabflüsse, Wasserspiegelhöhen und Wasserqualitäten sicher zu stellen, um die Nutzung als erholungsrelevante Badegewässer oder für wassergebundene Sport- und Freizeitaktivitäten dauerhaft erhalten zu können (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011, RPV-LWS 2014).

Einer Überlastung der erholungsrelevanten Gebiete ist vorzubeugen. So können bspw. zugleich gebietsspezifische Nutzungsbeschränkungen, temporäre Sperrzeiten für Erholungssuchende oder Bereiche zur Besucherlenkung erforderlich werden. Stark frequentierte Erholungsräume sind nachhaltig in ihrer Anpassungskapazität zu stärken und im Zuge der Gewässersanierung, des Waldumbaus oder der Waldmehrung zu berücksichtigen. Maßnahmen zur Aufwertung des Landschaftsbildes und der landschaftlichen Erlebniswirksamkeit sind prioritär in den erholungsrelevanten Freiraumsystemen der Region zu bündeln. Zudem erlangen auch großflächig unzerschnitten verkehrsarme Räume als siedlungsnahe Ruhe- und Erholungsräume an Bedeutung.

2.4.5 Bioklima und Lufthygiene

Klima und Luftqualität wirken sich direkt sowie indirekt über Stoffimmissionen auf den Mensch und die menschliche Gesundheit aus. Sie bestimmen maßgeblich die Wohn-, Arbeits- und Lebensqualität in Stadtquartieren, wirken sich auf die Eignung und Funktionsfähigkeit siedlungsrelevanter Freiräume aus und sind wichtige Grundvoraussetzungen für die landschaftsbezogene Erholungsvorsorge.

2.4.5.1 Wirkungen von Klima und Witterung auf den Menschen

Bioklima

Das Bioklima ist die Summe aller auf lebende Organismen wirkenden Faktoren des Klimas. Es gilt als Maß für den Einfluss meteorologischer Verhältnisse auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen. Vor allem Lufttemperatur (Hitze/Kälte), Luftfeuchte, Luftdruck und Strahlungsintensität beanspruchen die Regulationsmechanismen des menschlichen Organismus. Beispielsweise belasten längere Hochdruck-Wetterlagen mit starker Sonneneinstrahlung, hoher Luftfeuchtigkeit und geringer Luftbewegung (Schwüle) das Herz-Kreislauf-System, den Stoffwechsel und die Atmung. Die bioklimatische Sensitivität der Menschen ist jedoch recht unterschiedlich ausgeprägt und abhängig von Alter, Vitalität, Gesundheitszustand oder Akklimatisierungsvermögen. Während bei gesunden Menschen mittleren Alters die erforderlichen Anpassungsreaktionen des Organismus unproblematisch stattfinden, können die körperlichen Regulationsmechanismen bei vorbelasteten, vulnerablen Bevölkerungsgruppen (Kranke, Alte, Kleinkinder) eingeschränkt oder überfordert sein und zu klimatisch verursachten Belastungen, Leistungsbeeinträchtigung oder gesundheitlicher Gefährdung führen. Aspekte des Bioklimas spielen daher siedlungsklimatisch und für die Erholungsvorsorge eine besondere Rolle.

Zur bioklimatischen Bewertung dient die gefühlte Temperatur. Sie beschreibt das durch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind und Strahlung beeinflusste Temperaturempfinden des Menschen und dessen thermische Beanspruchung unter verschiedenen Witterungsbedingungen. Geführte Temperaturen zwischen 0 und 20 °C werden als behaglich wahrgenommen, wohingegen gefühlte Temperaturen unter 0 °C ein Kälte- und über 20 °C ein Wärmegefühl erzeugen (vgl. GRATZ & JENDRITZKY 2003). Vor allem hohe geführte Temperaturen werden als Belastung und starker Stress empfunden.

Wärmebelastungen treten hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hohen Temperaturen, erhöhter Luftfeuchte und geringer Luftbewegung auf. Kältereize sind dagegen mit niedrigen Temperaturen, starker Bewölkung und höheren Windgeschwindigkeiten verknüpft. Bioklimatische Wirkungen werden zudem durch Reliefeigenschaften (Höhenlage, Luv-/Leeeffekte, Talformen, Hangneigung) und die Landnutzung (Waldklima, Stadtklima) modifiziert. Belastungen treten vorrangig in Gebiete mit besonderen Aufheizungseffekten und in austauscharmen Becken- und Tallagen mit geringer Durchlüftung, Luftaustauschdefiziten und häufigen Inversionsereignissen auf. Klimaökologische Belastungsgebiete sind aber auch stark versiegelten und gering durchlüfteten urbane Siedlungsräume, welche im Sommerhalbjahr häufig intensive Wärmebelastungen und ein hohes Überhitzungsrisiko aufweisen und in Ballungsgebieten durch vorhandene Schadstoffquellen (Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Verkehr) zusätzlich belastet werden (vgl. JENDRITZKY 1998).

Die bioklimatischen Verhältnisse in der Region sind überwiegend geprägt durch eine relativ hohe Wärmebelastung in Verbindung Franke et al. 2014mit mittleren Kältereizen. Dennoch lässt sich die Planungsregion an Hand der Bioklimakarte von Deutschland in Gebiete mit verschiedenen biometeorologischen Anforderungen an die Thermoregulation untergliedern. Die Analyse des Bioklimas in Deutschland basiert auf dem Klima-Michel-Modell sowie langjährigen Mess- und Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes im Zeitraum 1971-2000 und stellt die im Mittel zu erwartende Häufigkeit von Wärmebelastungen im Sommerhalbjahr und Kältereizen im Winterhalbjahr trotz angepasster Bekleidung dar (DWD 2002). Die bioklimatische Gliederung der Region beschreibt die Gunst oder Ungunst der klimaökologischen Verhältnisse innerhalb der regionalen Landschaftsräume (vgl. Tab. 2.4-13).

Tab. 2.4-13: Bioklimatische Bewertung der Region nach Häufigkeit auftretender Wärmebelastungen oder Kältereize (vgl. SMU 1997, DWD 2002)

	Häufigkeit	**regionale bioklimatische Zuordnung**
Gebiete mit vermehrter Wärmebelastung und gelegentlichem Kältereiz in Ballungsräumen	Wärmebelastung hoch (> 20 Tage/Jahr) Kältereiz mittel (28 bis 43 Tage/Jahr)	hohe Wärmebelastungen im Sommerhalbjahr treten vorrangig in urbanen Bereichen im Verdichtungsraum (v. a. im Stadtgebiet Leipzig) sowie in stark versiegelten, schlecht durchlüfteten Siedlungsräumen der Städte im nördlichen Tiefland auf
Gebiete mit vermehrter Wärmebelastung und gelegentlichem Kältereiz	Wärmebelastung relativ hoch (13 - 20 Tage/Jahr) Kältereiz mittel (28 bis 43 Tage/Jahr)	vorrangig in westlichen und östlichen Tieflandsgebieten - Elster-Pleiße-Luppe-Aue, Markranstädter Platte, südliche Elsteraue, Bergbaufolgelandschaft Südraum - Muldenaue zwischen Grimma und Eilenburg - Annaburger Heide, Elbaue und Niederungsgebiet Schwarzer Graben
Gebiete mit gelegentlicher Wärmebelastung und gelegentlichem Kältereiz	Wärmebelastung relativ hoch (13 - 20 Tage/Jahr) Kältereiz relativ hoch (28 bis 43 Tage/Jahr)	vorrangig in weiten Teilen der Sandlöss-Ackerebenen und Heidelandschaften im nördlichen Tiefland ausgeprägt - Delitzscher und Brehnaer Platte, Taucha-Eilenburger-Endmoränengebiet, Naunhofer Land - Prellheide-Noitzscher Heide, südliche Dübener Heide
Gebiete mit gelegentlicher Wärmebelastung und vermehrtem Kältereiz	Wärmebelastung mittel (5 - 12 Tage/Jahr) Kältereiz relativ hoch (28 bis 43 Tage/Jahr)	vorrangig in großflächig zusammenhängenden Waldgebieten der Heidelandschaften (nördliche Dübener Heide, Dahlener Heide) sowie in weiten Teilen der Porphyrhügellandschaften (v. a. südliches Mulde-Porphyrhügelland, Bad Lausicker Hügellandschwelle) und im Lösshügelland bestimmend

Stadtklima

Das Stadtklima unterscheidet sich gegenüber den klimatischen Bedingungen im Umland und ist wesentlich durch Bebauung, Versiegelungsgrad, Anteil und Verteilung von Grünstrukturen und unversiegelten Freiflächen bestimmt. Anthropogene Emission (Luftschadstoffe sowie Abwärme) bedingten eine zusätzliche Wärmebelastung in Städten sowie verunreinigungsbedingten Dunst. Stadtklimate zeichnen sich durch ein erhöhtes sommerliches Hitzerisiko, lokale innerstädtische Wärmeinseln, relative Wintermilde und weniger Kältereize, reduzierte Windgeschwindigkeiten und Durchlüftungsdefizite (wenngleich in Anhängigkeit der Bebauung durch Düseneffekte oder Verwirbelungen auch lokal erhöhte Windintensitäten und Turbulenzen auftreten können), geringere Einstrahlung, häufigere Dunst- und Nebelbildung und erhöhte Schadstoffkonzentrationen in der Luft aus (vgl. DWD-Lexikon, LESER 1994).

Das Stadtklima ist aus human-bioklimatologischer Sicht zwar überwiegend kritisch zu bewerten (Belastungsklima), jedoch haben die stadtklimatologischen Eigenschaften nicht zwangsläufig negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Menschen. Es können auch positive Effekte auftreten, bspw. seltenere Glättegefahr und Schneelagen, vorzeitiger Vegetationsbeginn, längere Aufenthaltsmöglichkeiten im Freien (vgl. SLF 1995).

Waldklima

Das Waldklima wird aufgrund seiner ausgeglichen klimatischen Verhältnisse vom menschlichen Organismus als sehr angenehm empfunden. In Abhängigkeit von Bestandsgröße, Altersstruktur, Bestockungstyp und Vitalitätszustand zeichnen sich Waldklimate durch Einstrahlungsreduktion, ausgeglichenen und verzögerten Temperaturen in Tages- und Jahresgang auf relativ kühlem Niveau, ausgeglichene hohe Luftfeuchte, Windruhe und reduzierte Niederschlagemengen aus. Das Waldklima gilt daher als Schonklima mit Eigenschaften eines Heilklimas (LESER 1994). Insbesondere die großflächig zusammenhängenden Waldgebiete (Dübener, Annaburger und Dahlener Heide, Wermsdorfer Forst, Planitzwald, Thümmlitzwald, Colditz-Glastener Forst sowie das Leipziger Auwaldsystem) sind aufgrund ihrer klimaökologischen Ausgleichs-, Regenerations- und Erholungsfunktion in der waldarmen Region Leipzig-Westsachsen überaus bedeutsam. Wirkungen des Waldklimas auf den Menschen sind in Tab. 2.4-14 dargestellt.

Tab.2.4-14: Wirkungen des Waldklimas auf den Menschen (Quelle: LFUG 2004)

Parameter	Strahlung	Wärme	Lufthygiene
Auslösende Prozesse	- Filterung der direkten Sonneneinstrahlung durch das Kronendach, dadurch diffuse Himmelsstrahlung	- Dämpfung von Temperatur-Extremwerten - Reduzierung der Wind-geschwindigkeit - höhere Luftfeuchtigkeit	- Ausfiltern von Immissionen, v. a. Partikel (Staub) und Aerosole - Verdünnung u. Zerstreuung schadstoffhaltiger Luftmassen - Produktion von Sauerstoff
Wirkungen	- erhöhte Grün- und Infrarot-Anteile der Strahlung mit günstiger physiologischer und psychischer Wirkung	- Abschwächung thermischer und mechanischer Reize - Erwärmung bzw. Abkühlung des Körpers werden reduziert	- Luftreinigung/Regeneration von Frischluft mit günstiger Aus-wirkung auf Gesundheit und Wohlbefinden

Auch Gewässer und Grünflächen haben eine bioklimatische Bedeutung. Gewässerklimate kennzeichnen sich gegenüber ihrer Umgebung durch ihre ausgeglichenen thermischen Bedingungen und geringen Tages- und Jahresschwankungen. Die Lufttemperatur im Umfeld von Gewässern ist am Tag niedriger und nachts höher als die Umgebung. Zudem sind eine hohe Luftfeuchte und Windhäufigkeit prägend. Auch Grünflächenklimatope haben eine ausgleichende Wirkung gegenüber der angrenzenden bebauten Umgebung. Sie wärmen sich aufgrund guter Durchlüftung und geringerem Versiegelungsgrad tagsüber weniger stark auf und wirken als kühlende Ausgleichsflächen. Nachts kühlen Grünflächen hingegen stärker ab und fördern die Kaltluftentstehung. Größere vernetzte Grünflächen dienen in urbanen Räumen zudem als Ventilationsbahnen.

Inversionswetterlagen

Inversionswetterlagen entstehen infolge austauscharmer Witterungsverhältnisse und sehr stabiler Luftschichtung, wobei die Lufttemperaturen mit steigender Höhe zunehmen, die kalte schwere Luft bodennah unter den wärmeren Luftschichten liegt und so eine Sperrschicht bildete, die den Austausch bodennaher und höher liegender Luftschichten verhindert. Bei Inversionswetterlagen findet kein nennenswerter vertikaler Luftaustausch mehr statt, so dass sich unter der Sperrschicht anthropogene Emissionen (Staubpartikel, Abgase) innerhalb der Inversionsschicht anreichern können und zu erheblichen Luftverschmutzungen führen (insbesondere in industriell geprägten Verdichtungsräumen und über Stadtgebieten mit hoher Luftverunreinigung – vgl. Abb. 2.4-30). Das Auftreten und die Dauer von Inversionen sind abhängig von meteorologischen Faktoren (Großwetterlagen), topografischen Gegebenheiten (Tal-, Mulden-, Beckenlagen) sowie von der Jahres- und Tageszeit. Je nach Dauer der Inversionswetterlage kann es zu extremen Schadstoffkonzentrationen kommen und es besteht die Gefahr der Smog-und Nebelbildung.

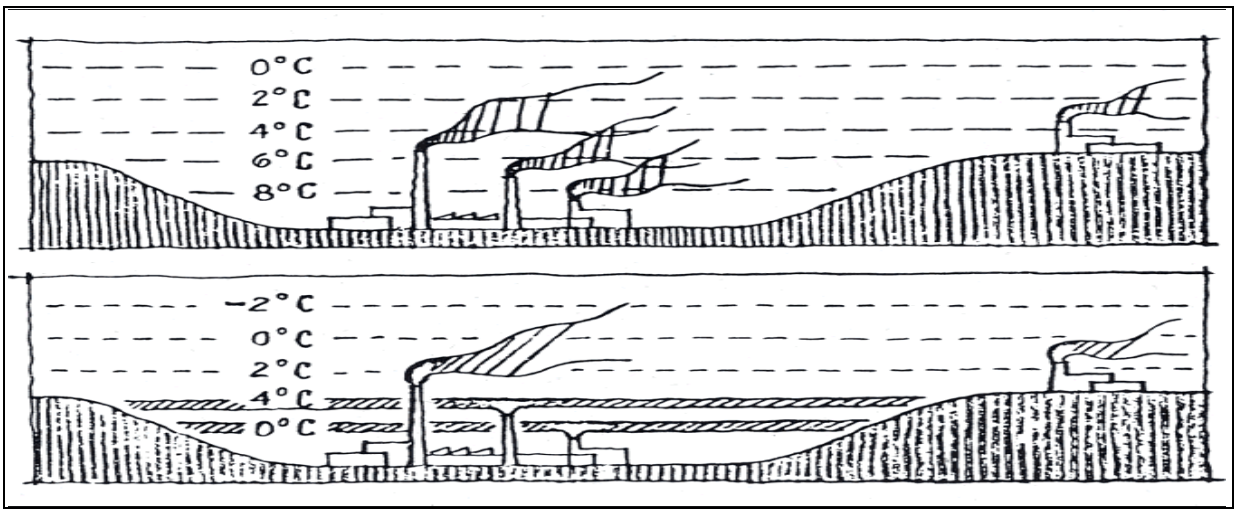


Abb. 2.4-30: Vertikale Temperaturschichtung und Schadstoffausbreitung - unteres Bild: Inversionswetterlage (BWB 2004b)

Im nordwestlichen Tiefland von Sachsen (zwischen 100 bis 150 m NN) kann an ca. 235 Tagen im Jahr (ca. 64 % aller Tage) mit Inversionsereignissen gerechnet werden, wobei die Inversions-

schichten Mächtigkeiten von > 100 m aufweisen. Mit zunehmender Geländehöhe verringert sich die Inversionshäufigkeit langsam. Zu den großflächigen Gebieten mit hoher Inversionshäufigkeit und über 235 Inversionstagen/Jahr zählen in der Region das Elbtal und die Leipziger Tieflandsbucht. Ausgenommen sind lediglich einzelne Höhenzüge, die die Talsysteme von Elbe, Mulde, Weißer Elster und Pleiße voneinander abgrenzen. Eine geringe bodennahe Durchlüftung und erhöhte Inversionsrisiken sind zudem für den urbanen Verdichtungsraum sowie für den Südraum Leipzig und für die Talsohlen der Mulde und Muldenzuflüsse im Hügelland kennzeichnend (vgl. FRANKE ET AL. 2014, SMU 1997).

Vulnerabilität infolge des Klimawandels

Der Klimawandel wird in der Region eine signifikante Änderung der Jahresmitteltemperaturen und eine steigende Anzahl an Hitzetagen bewirken (vgl. Kap. 2.4.2.1, 2.4.3.1, SCHMIDT ET AL. 2011, SEIDEL 2012). Dies wird zu einer zusätzlich erhöhten Wärmebelastung im Sommerhalbjahr, bei zugleich abnehmenden Kältereizen und relativ milden Wintern führen. Im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung (KlimaMORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ wurde die Verletzbarkeit der Region gegenüber steigenden Hitzebelastungen vertiefend untersucht und sowohl flächendeckend für die Gesamtregion als auch für ausgewählte urbane Belastungsräume abgeleitet. Die Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen ermittelt sich aus dem Grad der Zunahme von Hitzeperioden (Exposition) sowie der naturräumlichen und nutzungsbedingten Sensitivität der Region unter Berücksichtigung ihrer Anpassungskapazität und dem Grad der Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden (demografisch-sozioökonomische Sensitivität). Abbildung 2.4-31 verdeutlicht den gewählten Untersuchungsansatz.

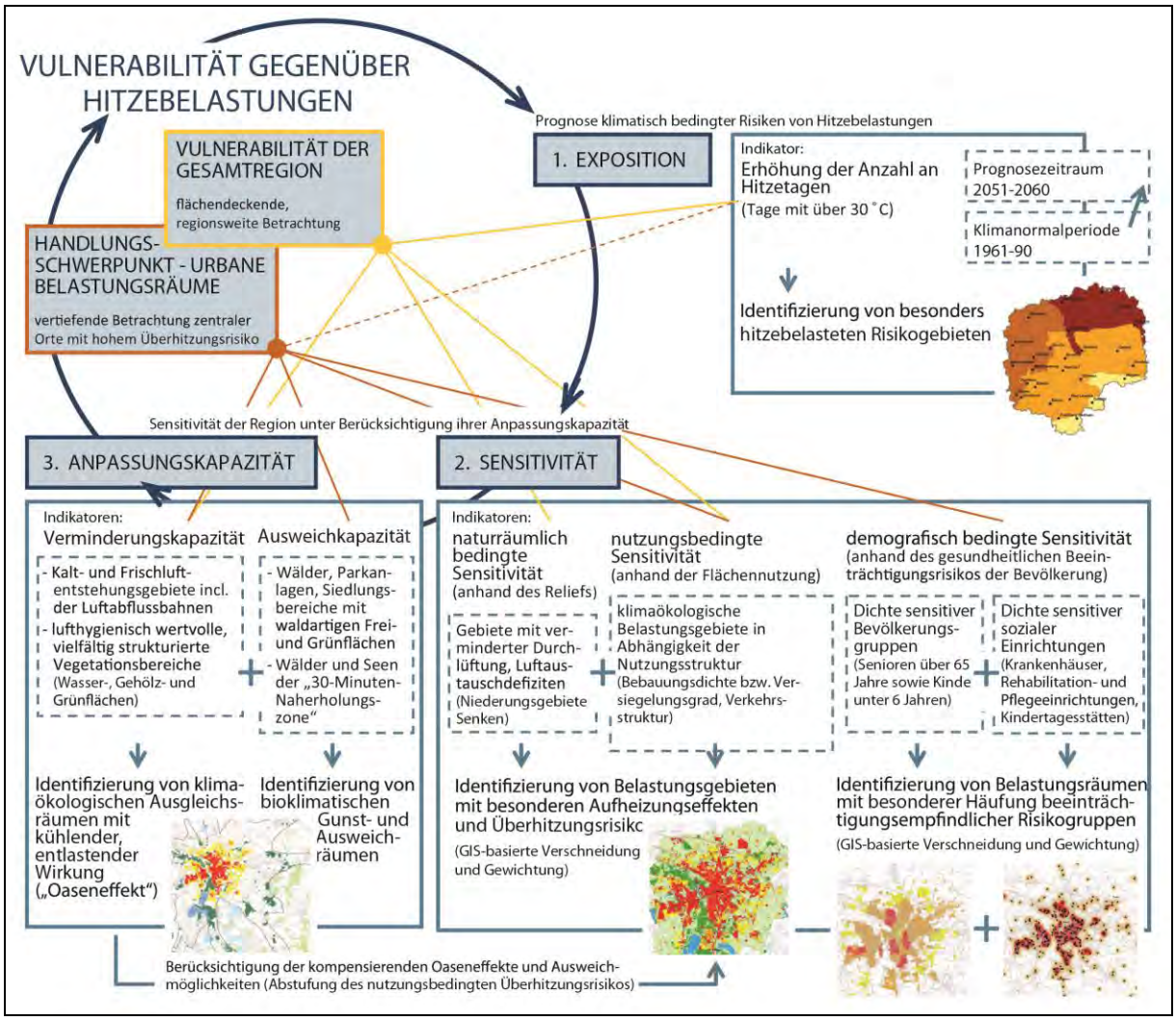


Abb. 2.4-31: Ermittlung der Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen (RPV-LWS 2011)

Als Indikator, um das klimatisch bedingte Risiko von Hitzebelastungen verlässlich abbilden zu können, dient die Anzahl der mittleren jährlichen Hitzetage (Tagestemperatur > 30 °C). Gemäß den Prognosen des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) wird sich die Anzahl der Hitzetage in der Region bis Mitte des Jahrhunderts auf 9 bis 21 Tage erhöhen und sich somit gegenüber der Klimanormalperiode 1961-1990 in der gesamten Region mehr als verdoppeln. Die stärksten Hitzebelastungen in der Region werden für die nördlichen und nordwestlichen Tieflandsgebiete prognostiziert. Für den nordöstlichen Raum zwischen Mittlerer Muldenaue und Annaburger Heide sind bis zu 21 Hitzetage zu erwarten und auch der Nordwesten und Westen der Region ist zukünftig einer hohen Hitzebelastung mit bis zu 18 Hitzetagen im Jahr ausgesetzt (vgl. Kap. 2.4.2.1, SCHMIDT ET AL. 2011). Eine besonderes Risiko gegenüber klimatisch bedingten Hitzebelastungen weisen die Städte Torgau, Dommitzsch, Bad Düben sowie Eilenburg, Delitzsch, Schkeuditz, Taucha, Markranstädt, Markkleeberg, Pegau sowie das Oberzentrum Leipzig auf (Exposition).

Die Zunahme der Hitzetage in der Region muss aber nicht zwangsläufig zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Bevölkerung führen. Ob Hitze als Belastung empfunden wird und negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat, ist vielmehr von besonderen Empfindlichkeiten abhängig und räumlich verschieden. In gut durchlüfteten Gebieten können Hitzetage weniger belastend empfunden werden als in Niederungsgebieten oder Senken, in denen nur ein verminderter Luftaustausch stattfindet (naturräumlich bedingte Sensitivität).

Vor allem Wälder aber auch Gewässer und Grünflächen sind für ihr ausgleichendes Bioklima bekannt und können Hitzebelastungen vermindern, während versiegelte Flächen und hohe Bebauungsdichten (vgl. KUTTLER 1998) eine weitere Aufheizung bewirken können. Ein hohes Aufheizungsrisiko zeigen insbesondere stark versiegelte, schlecht durchlüftete Siedlungsbereiche (nutzungsbedingte Sensitivität).

Eine entlastende Wirkung für stark hitzebelastete Räume entfalten regional bedeutsamen Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete. Doch auch durch die ausgleichende Wirkung von Wasser-, Gehölz- und Grünflächen > 1 ha kann eine Minderung der Hitzebelastungen erzielt werden. Auf der regionalen Maßstabsebene kann ihr „Oaseneffekt“ (kühlende Wirkung für ihr Umland sowie ausgeglichene Lufttemperatur und -feuchte) pauschal mit einem Ausstrahlungsbereich von 100 m bemessen werden (Anpassungskapazität infolge ausgleichender Wirkungen oder Abkühlungseffekten).

Tab. 2.4-15: Methodik zur Abschätzung des regionalen Überhitzungsrisikos (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011)

	SENSITIVITÄT: naturräumlich-nutzungsbedingtes Aufheizungsrisiko und Abkühlungseffekte					
	hoch	**mittel**	**gering**	**vorhanden**		**ausgleichend**
EXPOSITION **Anzahl an Hitzetagen**	bebaute Bereiche in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad nach MOSIMANN (1999) (> 70 %)	(70 - 50 %)	(< 50 - 25 %)	bebaute Bereiche < 25 % Versiegelung	Acker-, Grün- und Restflächen	Wasser-, Gehölz- und Grünflächen (> 1 ha) plus „100 m-Wirkraum“
17	sehr hoch	sehr hoch	hoch	hoch	vorhanden	Oaseneffekt
16	sehr hoch	hoch	hoch	vorhanden	vorhanden	Oaseneffekt
15	hoch	hoch	vorhanden	vorhanden	nicht erheblich	Oaseneffekt
14	hoch	vorhanden	vorhanden	nicht erheblich	nicht erheblich	Oaseneffekt
13	vorhanden	vorhanden	nicht erheblich	nicht erheblich	nicht erheblich	Oaseneffekt

Die naturräumliche und nutzungsbedingte Sensitivität gegenüber Hitzebelastungen sowie bioklimatisch wirksamen Grün- und Freiflächen in der Region sind im Rahmen der Vulnerabilitätsanalyse auf Basis der Biotop- und Landnutzungskartierung (BTLNK 2005) ermittelt und hinsichtlich ihrer bioklimatischen Bedeutung in Anlehnung an den Versiegelungsgrad nach MOSIMANN (1999) differenziert betrachtet. Darüber hinaus wurden Autobahnen sowie Bundes- und Staatsstraßen mit ihrem klima- und immissionsökologischen Belastungsbereich berücksichtigt, der zwischen 400 m (Autobahnen) bis zu 100 m (Bundes- und Staatsstraßen) reicht (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

Zur flächendeckenden Abschätzung der regionalen Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen wurde die prognostizierte Anzahl an Hitzetagen im Referenzzeitraum 2051-2060 mit den naturräumlichen bzw. nutzungsbedingten Aufheizungseffekten überlagert und unter Berücksichtigung vorhandener Abkühlungswirkungen oder Ausgleichsräume die gebietsspezifischen Überhitzungsrisiken in der Region ermittelt (vgl. Tab. 2.4-15).

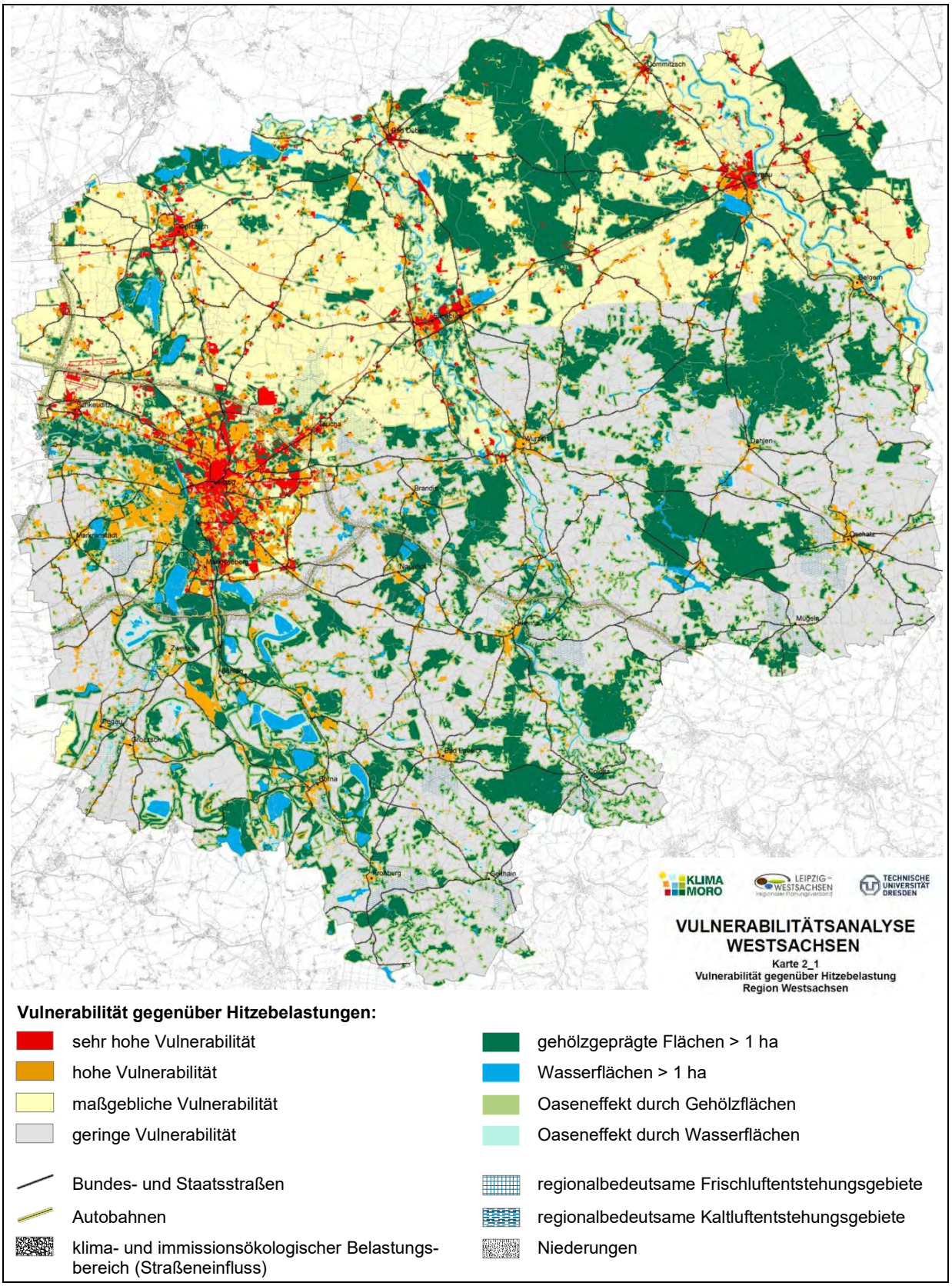


Abb. 2.4-32: Vulnerabilität der Region gegenüber steigenden Hitzebelastungen (SCHMIDT ET AL. 2011)

Im regionalen Vergleich können sowohl besondere Klimakomfortbereiche als auch klimaökologische Belastungsgebiete differenziert werden. Besonders vulnerabel gegenüber Hitzebelastungen sind die urbanen Bereiche im Verdichtungsraum Leipzig sowie stark versiegelte und schlecht durchlüftete Siedlungsräume in den Städten der nördlichen Tieflandsgebiete der Region, welche durch eine besonders starke Zunahme an Hitzetagen betroffen sind und zugleich über wenige Ausgleichsfunktionen verfügen. Ein hohes Überhitzungsrisiko weisen im Verdichtungsraum die Städte Leipzig, Markkleeberg, Schkeuditz und Taucha sowie des Weiteren die Städte Delitzsch, Eilenburg, Bad Düben, Dommitzsch und Torgau auf (vgl. Abb. 2.4-32).

Urbane Belastungsräume mit hohem Überhitzungsrisiko, die eine sehr hohe Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen zeigen und zugleich zentralörtliche Funktionen erfüllen, sind im Rahmen der Vulnerabilitätsanalyse als Räume mit besonderem Handlungsbedarf vertiefend untersucht. Die Vulnerabilität der urbanen Belastungsräume gegenüber Hitzebelastungen und die hieraus abzuleitenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Bevölkerung ermitteln sich aus der naturräumlichen und nutzungsbedingten Sensitivität (Aufheizungsrisiko infolge von Lage, Bebauungsdichte und Versiegelung) in Verbindung mit der demografische Sensitivität (Betroffenheit sensitiver Bevölkerungsgruppen sowie sozialer Einrichtungen für deren Gesundheit, Pflege oder Betreuung - vgl. Tab. 2.4-16).

Das Aufheizungsrisiko urbaner Belastungsräume wird neben den naturräumlichen Einflussfaktoren (Tallagen, Niederungen, windoffene Kuppen) maßgeblich durch den Versiegelungsgrad und die Bebauungsstruktur der Siedlungsflächen bestimmt. Besonders überhitzungsgefährdet sind Stadtquartiere mit einem Versiegelungsgrad über 70 %, vorrangig stark verdichtete Wohn- und Mischbebauungen, Altstadtgebiete aber auch stark versiegelte Gewerbe-, Lager- und Verkehrsflächen (vgl. Tab. 2.4-15). Hitzebelastungen wirken sich jedoch in verschiedenster Weise auf den Menschen aus und können bspw. durch Flüssigkeitsverlust, Überlastung der Temperaturregulation oder Herz-Kreislauf-Versagen erhebliche Beeinträchtigungen oder Krankheiten verursachen. Insbesondere Personen mit Vorerkrankungen oder eingeschränkter Regulationsfähigkeit können bei Hitze durch eine erhöhte Kreislaufbelastung unmittelbar gefährdet sein (vgl. KROMP-KOLB 2006). Hitzeempfindlich sind vorrangig kranke, pflegebedürftige und ältere Menschen sowie Kleinkinder. Deshalb wurden auf Grundlage der 5. Regionalisierten Bevölkerungsprognose Sachsens (STALA 2011) Stadtquartiere mit einer hohen Dichte dieser besonders sensitiven Bevölkerungsgruppen ermittelt. Maßgeblich für die demografische Sensitivität urbaner Räume ist zudem die Dichte von Einrichtungen, die der Pflege und Gesundheit oder dem täglichen Aufenthalt sowie der Betreuung sensitiver Altersgruppen dienen (Krankenhäuser, Rehabilitationskliniken, Einrichtungen der Altenpflege, Kindertagesstätten).

Tab. 2.4-16: Methodik zur Abschätzung der demografischen Sensitivität urbaner Belastungsräume (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011)

Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: besonders sensitive Altersgruppen unter 6 Jahren oder über 65 Jahren (sensitive Einwohner/Hektar versiegelte Fläche)	**Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen, die der Pflege und Gesundheit oder dem täglichen Aufenthalt und der Betreuung sensitiver Bevölkerungsgruppen dienen:** Krankenhäuser und Rehabilitationskliniken, Altenpflegeeinrichtungen, Kindertagesstätten (Standorte/km²)		
	hoch (> 2,7 bis 9)	**mittel** (2,7 bis > 0,6)	**gering** (0,6 bis 0)
hoch (> 18 EW/ha)	hoch	hoch	mittel
mittel (6 bis 18 EW/ha)	hoch	mittel	gering
gering (bis 6 EW/ha)	mittel	gering	gering

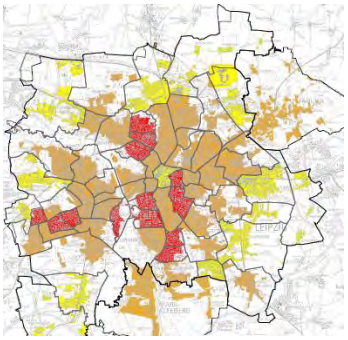
Klimaökologisch ausgleichende Siedlungsbereiche können in urbanen Belastungsräumen zu einer Minderung des Aufheizungsrisikos beitragen (Verminderungskapazität durch Abkühlungseffekte). Mit Zunahme von Hitzebelastungen steigt zugleich aber der Bedarf an klimatisch günstigen Erholungsräumen, in die ausgewichen werden kann (Ausweichkapazität durch bioklimatische Gunsträume). Beide Anpassungskapazitäten sind in der Vulnerabilitätsanalyse der Region vertiefend berücksichtigt.

Unbebaute oder stark durchgrünte städtische Siedlungsstrukturen (Wasser- und Gehölzflächen, strukturreiche Vegetationsbestände in Grün-, Freizeit- und Erholungsflächen) bilden klimaökologische Ausgleichsräume (so genannte „Klimakomfortinseln mit entlastendem Oaseneffekt“). Sie verbessern die bioklimatischen und lufthygienischen Bedingungen für die Bevölkerung in urbanen Belastungsräumen und üben zudem auf die umgebende städtische Bebauung eine kühlende Wirkung aus. Auf der regionalen Maßstabsebene können die „Oaseneffekte“ von Grün-, Gehölz- und Wasserflächen pauschal mit einer Ausstrahlungsreichweite von 100 m berücksichtigt werden. „Klimakomfortinseln“ müssen emissionsarm sein, einen Mindestabstand von 400 m zu Autobahnen und 100 m zu Bundes- und Staatsstraßen aufweisen und zudem im Durchmesser nicht weniger als 50 m sowie in der Fläche nicht weniger als 3 ha bemessen, um entlastend zu wirken. Siedlungsnahe Wälder, Stadtparks mit waldartigem Baumbestand oder gehölz- und strukturreiche Freiflächen stellen zudem wichtige bioklimatische Gunst- und Erholungsräume für stark hitzebelastete Bevölkerungsteile dar. Eine besondere Ausweichfunktion besitzen jene Grün- und Freiflächen, welche eine Mindestgröße von 3 ha und klimabedeutsame Naherholungsstrukturen aufweisen, sich im 500-m-Nahbereich (Luftlinie) oder aber in einer gut erreichbaren Naherholungszone befinden, d. h. innerhalb von 30 Minuten durch öffentliche Verkehrsmittel erreicht werden können (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

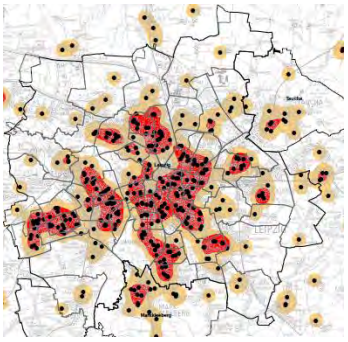
Tabelle 2.4-17 dokumentiert die Verletzbarkeit urbaner Räume der Region mit hoher Anzahl an Hitzetagen durch die räumliche Überlagerung der ermittelten demografischen Sensitivitäten (auf Basis der Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen und sozialer Einrichtungen) und der nutzungsbedingten Aufheizungsrisiken (auf Basis von Versiegelungsgrad und Bebauungsstruktur) unter Berücksichtigung der siedlungsspezifischen Minderungs- und Ausweichkapazitäten (klimatisch wirksame Grün-, Gehölz- und Wasserflächen mit Oaseneffekt sowie siedlungsnahe Gebiete mit Ausgleichs- und Erholungsfunktion). Die höchste sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen zeichnet sich in den hoch verdichteten Innenstädten und stark versiegelten Stadtquartieren der urbanen Belastungsräume ab. In diesen Siedlungsbereichen ist mit einer erheblichen Belastung der Bevölkerung bei Hitzeperioden zu rechnen. Für diese besteht folglich der größte Handlungsbedarf, klimaökologische „Komfortinseln“ neu zu schaffen und somit Hitzebelastungen vorsorgend zu mindern.

Tab. 2.4-17: Abschätzung der sozioökonomischen Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen in urbanen Belastungsräumen der Region nach SCHMIDT ET AL. (2011)

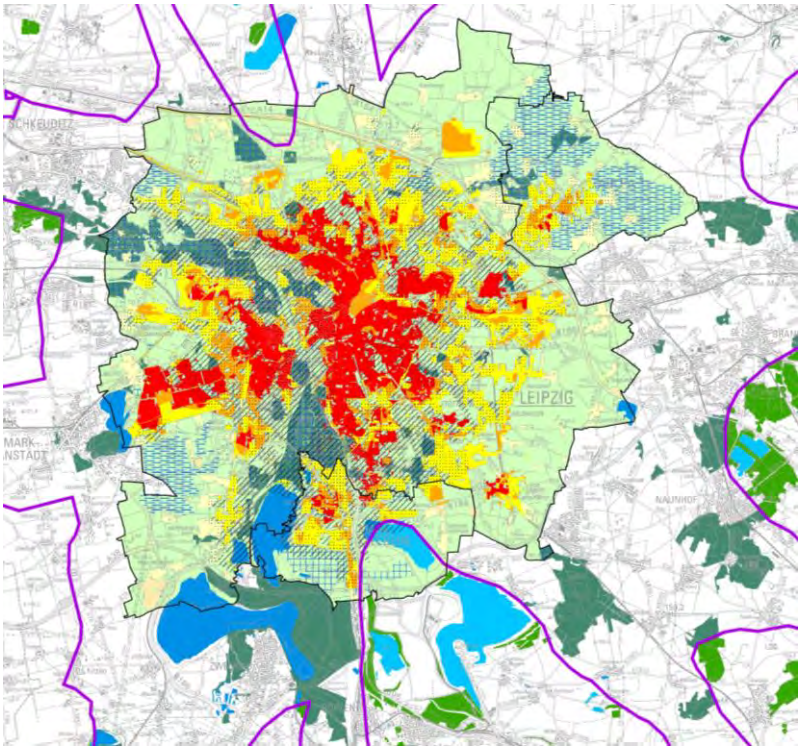
Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: (Auszug)



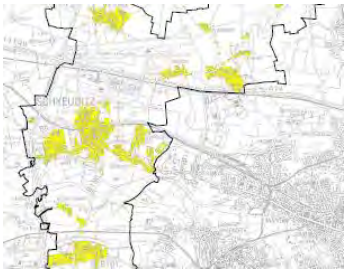
Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen: (Auszug)



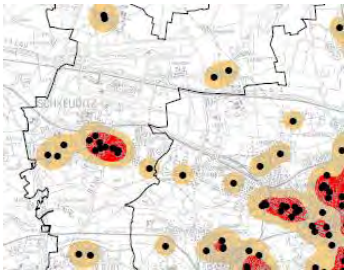
sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen: Leipzig - Markkleeberg - Taucha (Auszug)



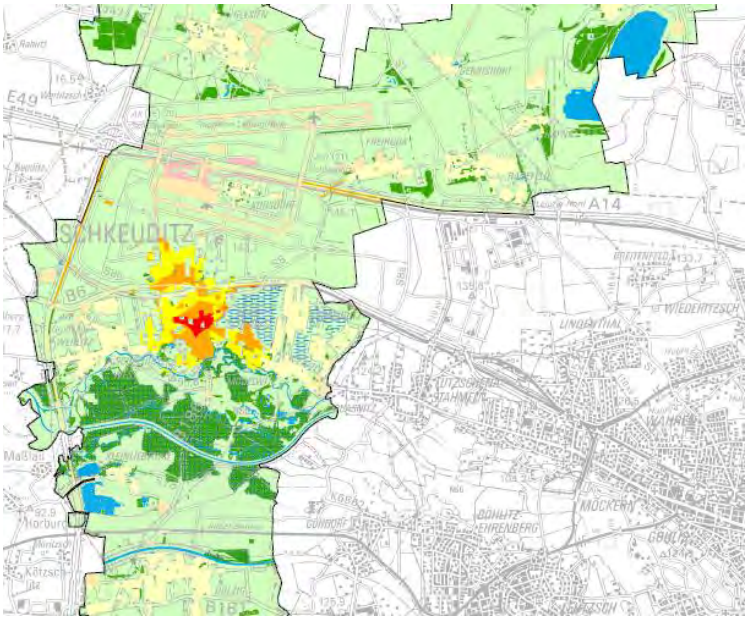
Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: (Auszug)



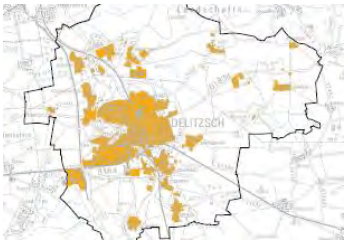
Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen: (Auszug)



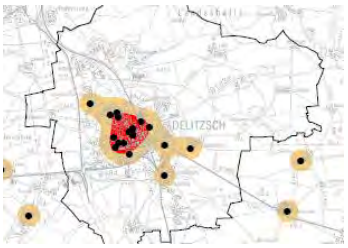
sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen: Schkeuditz (Auszug)



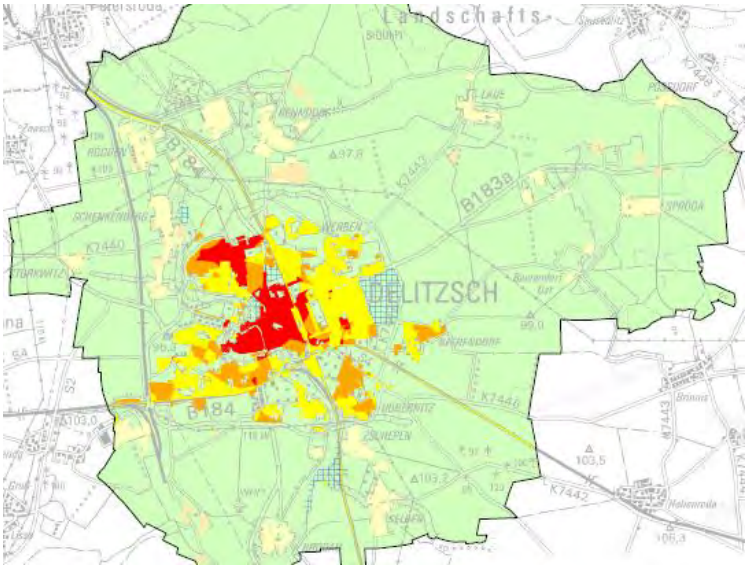
Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: (Auszug)



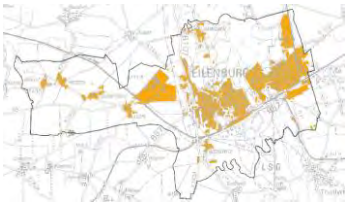
Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen: (Auszug)



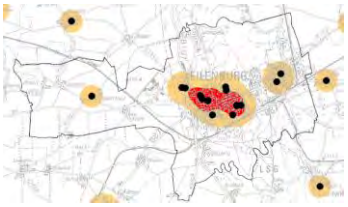
sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen: Delitzsch (Auszug)



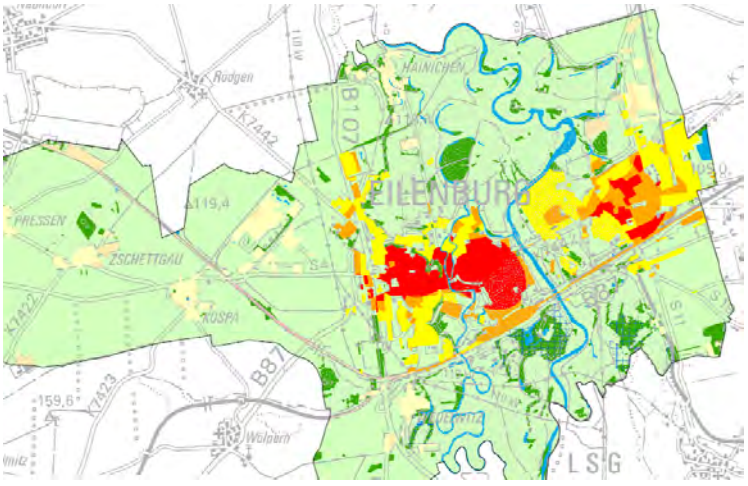
Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: (Auszug)



Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen: (Auszug)



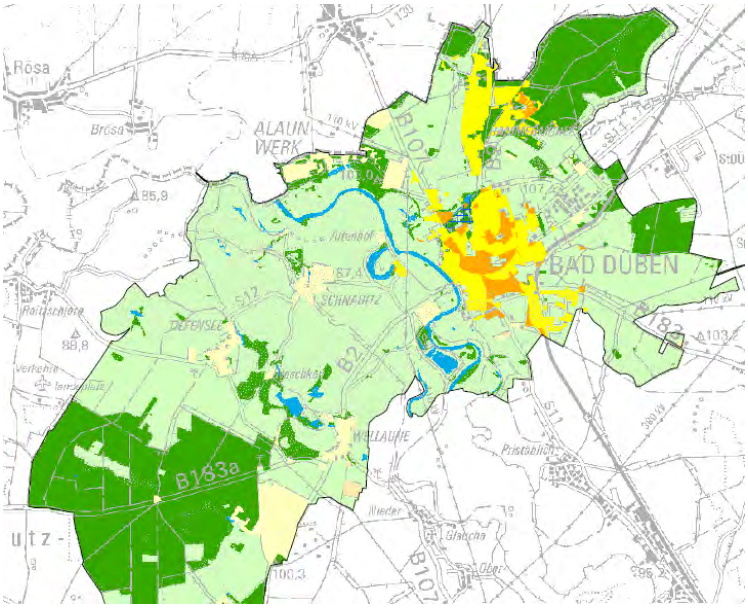
sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen: Eilenburg (Auszug)



Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: (Auszug)

Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen: (Auszug)

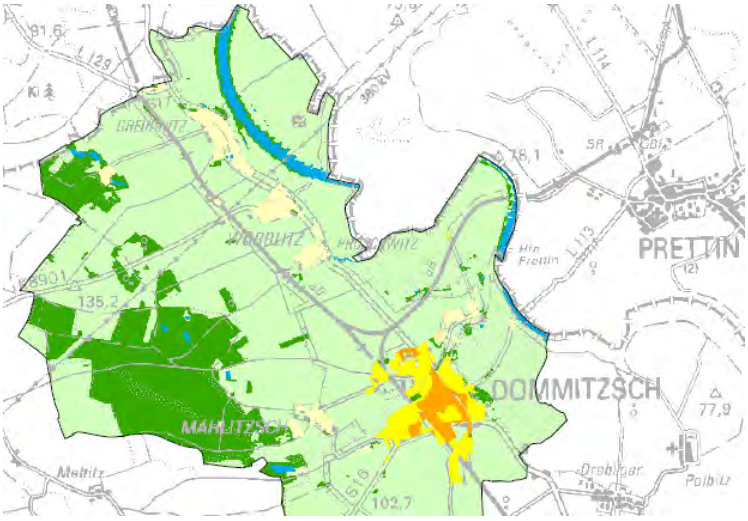
sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen: Bad Düben (Auszug)



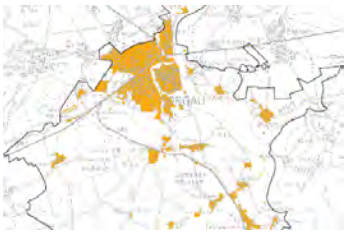
Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: (Auszug)

Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen: (Auszug)

sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen: Dommitzsch (Auszug)

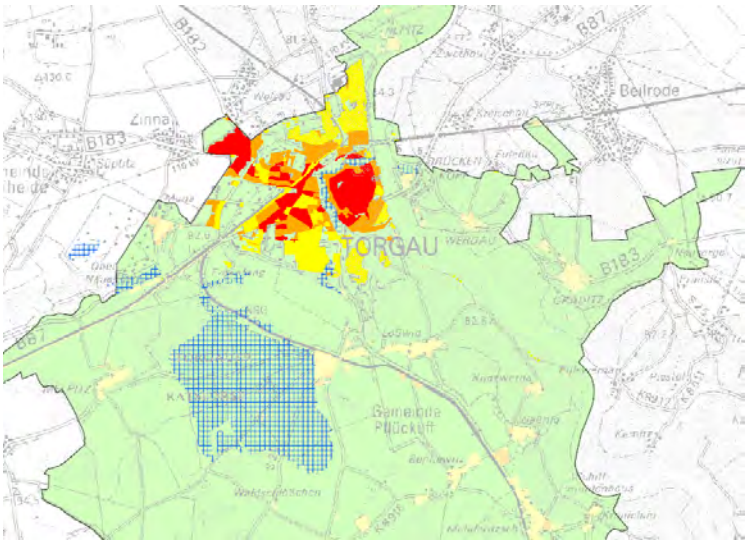


Dichte sensitiver Bevölkerungsgruppen: (Auszug)



Dichte sensitiver sozialer Einrichtungen: (Auszug)

sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen: Torgau (Auszug)



Legende zu Tab. 2.4-17:

sensitive Bevölkerungsgruppen
sensitive Einwohner der Altersgruppen unter 6 Jahren bzw. über 65 Jahre pro Hektar versiegelte Fläche

- hohe (> 18 EW/ha)
- mittel (> 6 bis 18 EW/ha)
- gering (bis 6 EW/ha)

sensitiver sozialer Einrichtungen
Standorte von Krankenhäusern, Rehabilitationskliniken, Einrichtungen der Altenpflege, Kindertagesstätten pro Quadratkilometer

- hoch (> 2,7 bis 9 Standort/km²
- mittel (> 0,6 bis 2,7 Standort/km²
- gering (0 bis 0,6 Standort/km²
- Standorte vulnerabler sozialer Einrichtungen

sozioökonomische Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen
Aggregation aus demografischer Sensitivität (Dichte empfindlicher Altersgruppen und Standorte) und strukturellen Gefährdungsrisiken der Wirkräume (in Überlagerung von Versiegelungsgrad, Oaseneffekten und Ausweichkapazitäten)

- hohe Vulnerabilität
- mittlere Vulnerabilität
- geringe Vulnerabilität
- Naherholungsbereich
- Kimakomfortinsel mit bioklimatisch-lufthygienischer Ausgleichswirkung
- Ausstrahlungsreichweite von Klimakomfortinseln (Oaseneffekt in angrenzende Wirkräume: Gewässer/Wälder 400 m, sonstige Grün- und Freiflächen 200 m)
- Randfläche unter 100 ha mit hoher Vulnerabilität
- Randfläche unter 100 ha mit mittlerer Vulnerabilität
- Randfläche unter 100 ha mit geringer Vulnerabilität
- Gewässer im Naherholungsbereich
- weitere Gewässerflächen
- Wälder im Naherholungsbereich
- weiter Waldflächen bzw. gehölzgeprägte Flächen
- offene Grün- und Freiflächen
- Frischluftentstehungsgebiet
- Kaltluftentstehungsgebiet
- Niederungen

Die sozioökonomische Vulnerabilität urbaner Räume gegenüber Hitzebelastungen ist am deutlichsten im Verdichtungsraum Leipzig ausgeprägt. Im regionalen Vergleich konzentriert sich in den verdichteten Bereichen der Kernstadt Leipzig die höchste Dichte an vulnerablen Siedlungsflächen und damit die höchste Handlungspriorität. Doch auch die Innenstadtbereiche von Markkleeberg, Taucha und Schkeuditz sowie im ländlichen Raum von Delitzsch, Eilenburg und Torgau zeigen Bereiche hoher Vulnerabilität. Stadtklimatische Untersuchungen in Leipzig (vgl. STEINICKE & SCHWAB 2010, BEHRENS & HOFFMANN 2016) stützen die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse und bestätigen die regionalen Einstufungen.

Vor dem Hintergrund zunehmender Hitzebelastungen sind Ausgleichsräume, eine gute Durchlüftung und ein funktionsfähiger Luftaustausch für das Siedlungsklima von hoher Bedeutung. Wald-, Gewässer- oder Grünflächen, welche als klimaökologische „Komfortinseln“ wirken und durch Oaseneffekte auch in ihr unmittelbares Umfeld ausstrahlen, können der steigenden Hitzebelastung urbaner Räume entgegenwirken. In stark versiegelten und dicht bebauten Siedlungsquartieren können im Zuge des Klimawandels vermehrt auch Brachflächen in wichtiges klima-ökologisches Ausgleichspotenzial aufweisen, insbesondere wenn diese nur gering versiegelt und emissionsarm sind oder zu „Urbanen Wäldern“ entwickelt werden können und somit auch für umgebende Siedlungsflächen eine Verbesserung der bioklimatischen und lufthygienischen Bedingungen bewirken (vgl. BURKHARDT ET AL. 2008). Zudem bieten innerstädtische Brachflächen die Möglichkeit wirksame Erholungs- und Ausweichräume zu schaffen, die das Wohlbefinden der Bevölkerung in urbanen Belastungsräumen steigern können. Brachflächen mit bioklimatisch-lufthygienischer Ausgleichswirkung müssen mindestens einen Hektar umfassen, bevorzugt in Stadtgebieten mit hoher sozioökonomischer Vulnerabilität liegen und keine Zweckbestimmung für Wohn- oder Gewerbenutzungen aufweisen sowie einen Mindestabstand von 100 m zu Bundes- und Staatsstraßen gewähren. Auf regionaler Ebene stellt die Freihaltung wirksamer Durchlüftungsachsen und Luftleitbahnen sowie der Erhalt oder die Verbesserung der Funktionsfähigkeit regional bedeutsamer Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete im Wirkbereich stark hitzebelasteter Siedlungsräume eine nachhaltige Klimaanpassungsstrategie dar. Schutzbedürftig sind siedlungsklimatisch bedeutsame Bereiche, vorrangig für den bioklimatisch-lufthygienischen Ausgleich vom Wirkräumen urbaner Belastungsgebiete, im Umfeld von Klinik- und Kureinrichtungen oder Erholungsgebieten sowie in siedlungsnahen Gebieten mit bedeutsamer Naherholungs- und Freizeitfunktion.

2.4.5.2 Luftregeneration und klimatischer Ausgleich

Karte 2.4-2 „Gebiete für die Luftregeneration und den klimatischen Ausgleich“

Der bioklimatisch-lufthygienische Ausgleich beschreibt das Leistungsvermögen eines Raums, Belastungszustände durch ständige Vermischung und Erneuerung sowie Abkühlung der Luft zu mindern oder ggf. zu verhindern (vgl. MARKS ET AL. 1989). Aus Sicht der Landschaftsplanung sind folgende bioklimatische und lufthygienische Ausgleichsfunktionen von Bedeutung:

- Gebiete der Luftregenation und Frischluftentstehung
- Gebiete für die Entstehung und den Abfluss von Kaltluft

Luftregeneration

Vegetationsbestände, insbesondere Wälder und Gehölzflächen, sind grundsätzlich befähigt, als bioklimatische Ausgleichsflächen zu wirken und nachhaltig zur Luftregeneration beizutragen, da diese gegenüber bebauten und versiegelten Flächen eine deutlich reduzierte Einstrahlungsintensität sowie tages- und jahreszeitlich ausgeglichene Lufttemperatur und -feuchte aufweisen und in Abhängigkeit von Bestandsgröße und Struktur kontinuierlich Schadstoffe sowie Staubfrachten aus der Luft filtern, zurückhalten und die in der Luft verbleibenden Stoffimmissionen verdünnen. Infolge von temperaturbedingten Differenzen bewirken größere Waldbestände lokale Luftzirkulationen und eine Luftdurchmischung, befördern den lufthygienischen Austausch im Siedlungsbereich, verbessern die Luftqualität durch das Absorbieren von Luftverunreinigungen und stellen eine wichtige nutzungsbedingte Senke für anthropogene Schadstoffemissionen dar (vgl. PAUSCH ET AL. 2014).

Wälder und gehölzdominierte Freiräume besitzen eine hohe Bedeutung für den Erhalt und die Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse in der Region. Bedeutsam sind vor allem die Waldbestände in urbanen Wirkungsräumen bzw. im räumlichen Bezug zu diesen sowie Wälder in Gebieten für die landschaftsbezogene Erholung (vgl. Kap. 2.4.5.1). Die Fähigkeit und das Maß der Wald- oder Gehölzflächen zur Luftregeneration und Frischluftentstehung beizutragen, ist nach SCHMIDT (1994) abhängig von:

- der Baumartenzusammensetzung (Laub- oder Nadelgehölze), wobei die Wirkung mit Größe und Rauigkeit der Blattoberflächen steigt; sommergrüne Laubwälder können aufgrund höherer Luftfeuchten stärkere Reinigungswirkungen erzielen als zeitgleich Nadelwälder, während winterkahle Laubwälder über eine wesentlich geringere Wirkungsleistung als Nadelwälder verfügen; insgesamt nehmen immergrüne Gehölzbestände im Jahresverlauf die größten Schadstoffmengen auf
- dem Bestandsalter und der -dichte, wobei sich die Wirkung mit Alter und Dichte der Waldbestände erhöht (größere Blattoberflächen)
- der Größe und räumlichen Anordnung des Bestands, wobei sich ein ausgeprägtes Bestandsklima erst 50-100 m vom Waldrand entfernt entwickeln kann; klimatisch wirksam sind daher Waldbestände ab einer Mindestbreite von 200 m
- dem Gesundheitszustand und der Vitalität der Bestände (Waldschäden)

In der Waldfunktionenkartierung des Freistaats Sachsen werden die besonderen Leistungen des Waldes, die den Menschen über das Medium Luft erreichen, erfasst und Wälder mit besonderen Klimaschutzfunktionen gemäß § 29 Abs. 2 SächsWaldG bestimmt. Dabei wird in „Wälder mit besonderer lokaler Klimaschutzfunktion“ (zum Schutz von Wohnstätten, Erholungsanlagen oder Sonderkulturen vor Wind- oder Kaltluftschäden) und „Wälder mit besonderer regionaler Klimaschutzfunktion“ (zur Verbesserung des Klimas und der Luftqualität durch Luftmassenaustausch) differenziert. Die Wälder mit besonderer regionaler Klimaschutzfunktion nach sächsischer Waldfunktionenkartierung umfassen die Waldflächen in Nachbarschaft von Städten mit mehr als 40 000 Einwohnern bzw. von Städten mit mehr als 20 000 Einwohnern, sofern diese im Verdichtungsraum oder im verdichteten Bereich im ländlichen Raum liegen. Diese leiten sich aus den Waldflächen innerhalb eines bestimmten Kreises um den Mittelpunkt solcher Städte ab, wobei der Radius des Kreises der Horizontalausdehnung der betreffenden Stadt entspricht. Die Abgrenzung der Wälder mit besonderer regionaler Klimaschutzfunktion ist dem Relief oder

weiteren spezifischen topographischen Linien sowie der Schwachwindrichtung sinnvoll anzugleichen (vgl. SBS 2010).

Zu den Wälder mit besonderer regionaler Klimaschutzfunktion zählen in der Region die Wälder im Verdichtungsraum Leipzig, im Bereich der Bergbaufolgelandschaften zwischen Neukieritzsch, Borna, Regis-Breitingen und der Landesgrenze zu Thüringen sowie im Umfeld der Städte Delitzsch und Eilenburg bzw. die im Umfeld der Stadt Riesa befindlichen regionalen Waldbestände.

Frischluftentstehungsgebiete

Als Frischluft werden kühle Luftmasse bezeichnet, die eine geringe lufthygienische Vorbelastung aufweisen. Wälder haben eine besondere Bedeutung für die Luftregeneration und sind die Hauptproduzenten von Frischluft. In der waldarmen Planungsregion bilden deshalb vor allem großflächig zusammenhängende Wälder bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete. Hierzu zählen die zusammenhängenden Waldgebiete der Heidelandschaften (Dübener Heide, Dahlener Heide, Annaburger Heide, Noitzscher Heide) sowie Planitzwald, Wermsdorfer Wald, Thümmlitzwald und Colditz-Glastener Forst.

Frischluftentstehungsgebiete, die über ein lokales Zirkulationssystem in Beziehung zu urbanen Räumen stehen, besitzen für diese eine klimatisch ausgleichende Wirkung. Regional bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete mit Wirkraumbezug sind größere siedlungsnahe Waldflächen, deren Wirkungsbereich in vulnerable Siedlungsgebiete hineinreicht. Hierzu zählen insbesondere das Leipziger Auwaldsystem, die Neue Harth, das Eichholz, die Waldbestände der Altkippe Böhlen, das Oberholz, die Laubwaldgebiete im Parthegebiet um Naunhof-Beucha-Brandis, das Klosterholz Grimma, der Colditzer Forst sowie der Torgauer Ratsforst (vgl. Karte 2.4-2). Diese Waldgebiete sind in ihrer Funktionsfähigkeit als regional bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete urbaner Wirkungsräume dauerhaft zu erhalten und in zukunftsfähige, klimarobuste und strukturreiche Waldbestände umzubauen.

Kaltluftentstehungsgebiete

Während die Luftaustauschprozesse in der Region überwiegend durch die in Hauptwindrichtung ausprägten Windverhältnisse bestimmt werden, sind bei austauscharmen Wetterlagen vor allem Aspekte der Kaltluftentstehung und des Kaltluftabfluss bedeutsam für den Luftmassenaustauch. Windschwache, austauscharme Wetterlagen sind in der Region häufig mit kritischen Belastungssituationen verbunden. Der Zustrom von Kaltluft in urbane Belastungsgebiete kann deshalb sowohl zu einer Minderung gesundheitsgefährdender Hitzebelastung beitragen, als auch einen wirksamen Frischlufteffekt aufweisen, da bodennahe Kaltluft vorrangig auf gering emissionsbelasteten Freiflächen entsteht. In Kaltluftsammelgebieten ist allerdings auch einem erhöhten Frostrisiko und starker Nebelbildung zu rechnen.

Kaltluft entsteht in Gebieten (Kaltluftentstehungsgebiete), in denen sich in wolkenarmen, windschwachen Nächten (Strahlungsnächten) aufgrund der Ausstrahlung der Erdoberfläche die Luftschicht in Bodennähe stärker abkühlt als in den darüber liegenden Luftschichten. Es entsteht die bodennahe Kaltluft. Die Mächtigkeit der bodennahen Kaltluftschichten ist dabei abhängig von der Größe des Kaltluftentstehungsgebietes, den Bodeneigenschaften und der Flächennutzung, wobei die Kaltluftbildung von Siedlungsflächen über Wald bis zu Acker- und Grünland zunimmt. Die Intensität der Kaltluftproduktion hat wiederum einen wesentlichen Einfluss auf den Kaltluftabfluss, da größere Kaltluftmengen nur gegrenzt an Hindernissen gestaut werden und diese überströmen können (vgl. MARKS ET AL. 1989). Die Menge der in einer Nacht produzierten Kaltluft ist von der Jahreszeit, der absoluten Bodentemperatur, der Windgeschwindigkeit, dem Bewölkungsgrad und den Bodenfeuchteverhältnissen, die Einfluss auf die Verdunstung haben, abhängig.

Wälder erzeugen in ihrem Inneren kaum Kaltluft. Die im Kronenraum und auf der Waldoberfläche nachts entstehende Kaltluft bildet zwar z. T. hohe Schichtdicken, sackt jedoch in der Regel in den Stammraum der Wälder ab. Die höchsten Produktionsraten von Kaltluft weisen feuchte Acker- und Grünlandstandorte auf (vgl. Tab. 2.4-18). In den frühen Morgenstunden erreichen die Kaltluftschichten ihre größte vertikale Ausdehnung (SMU 1997).

Tab. 2.4-18: Einstufung der Kaltluftproduktivität verschiedener Freiflächentypen (MOSIMANN ET AL. 1996)

Klimaökologisch relevante Freiflächentypen	Einstufung der mittleren, relativen Kaltluftproduktivität
Wiesen, Weiden, Heideflächen, Magerrasen, Moore, Offenbodenbereiche	hoch bis sehr hoch
Ackerflächen, Gartenbauflächen	mittel bis sehr hoch
Wald	mittel bis hoch
Wasserflächen (incl. Sümpfe/Röhrichte)	keine Kaltluftproduktion

Für die Region erfolgte eine flächendeckende Bewertung der Kaltluftproduktivität von Freiflächen auf Grundlage der Biotop- und Landnutzungskartierung (LFUG 2008). Großflächige Bereiche mit sehr hoher Kaltluftproduktion treten in der Region vorrangig in unverbauten, grünlandgeprägten Fluss- und Bachauen, insbesondere in den Talauen und Niederungen von Elbe, Mulde und südlicher Weißen Elster, sowie im Niederungsgebiet des Schwarzbaches in der Dübener Heide auf (vgl. Karte 2.4-2).

Luftabflussbahnen

Den Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten können Luftleitbahnen zugeordnet werden, in denen der Luftaustausch in Hauptwindrichtung oder durch den reliefbedingten Abfluss bodennaher, kalt- und frischlufttransportierender Luftschichten ungehindert erfolgen kann. Als Ventilations- oder Abflussbahnen eignen sich vorrangig unbebaute und gering bewaldete Freiräume, Hangbereiche und abflussfähige Talsohlen. Bedeutsam sind vor allem Luftleitbahnen, welche Luftaustauschprozesse zwischen urbanen Wirkungsräumen und klimatischen Ausgleichsflächen ermöglichen und einen Transport von gering belasteten, schadstoffarmen und kühlen Luftmassen in belastete Siedlungsgebiete gewähren.

Der Abfluss von Kaltluft bei autochtonen Windverhältnissen ist von der vertikalen Mächtigkeit der Kaltluftschichten und vor allem vom Relief (Tal- und Hangneigung der Abflussbahnen) abhängig, da dieser nach dem Prinzip der Schwerkraft und des geringsten Widerstands erfolgt. Die Fließgeschwindigkeit wird von der Hangneigung (ab 2°) und der landnutzungsbedingten Rauigkeit bestimmt. Kaltluftabflüsse äußern sich bei geringen Hangneigungen in Form eines schubhaften „Abtropfens“ von Kaltluftmassen. Bei größeren Hangneigungen verbunden mit guten Abflussbedingungen treten stärkere, lang anhaltende Kaltluftflüsse auf, wobei kleinere Hindernisse im Abflussbereich von der abfließenden Kaltluft ohne nennenswerte Staubildung überwunden werden können. An größeren Hindernissen (bspw. Wald- oder Siedlungsränder) stellt sich luvseitig ein Kaltluftstau ein. Auch in Talsenken und Niederungen können bodennahe Luftschichten nur begrenzt abfließen, verbleiben vor Ort und bilden Kaltluftsammelgebiete. In Räumen mit reduzierten Luftaustauschprozessen und stagnierender Kaltluft ist die Häufigkeit von Frostereignissen und Nebelbildung sowie das Risiko von Inversionslagen mit erheblicher Schadstoffanreicherung in der Luft deutlich erhöht. Größere Kaltluftstaus treten u. a. in Talabschnitten der Zwickauer Mulde und der Weißen Elster auf (LFUG 2004).

Eine Durchdringung von belasteten Siedlungsgebieten kann erst bei Fließgeschwindigkeiten der Kaltluft von mindestens 2 m/s erfolgen. Dazu ist nach FINKE (1979) ein Talsohlengefälle von mindestens 1° erforderlich. Kaltluftabflüsse dienen auch der Frischluftzufuhr, wenn die transportierten Luftmassen innerhalb der Leitbahnen oder im Kaltluftentstehungsgebiete keine lufthygienischen Belastungen bspw. durch bedeutsame Emittenten (Industrie, Gewerbe) und/oder stark befahrene Straßen aufweisen.

Als bedeutsame Bereiche für den ungehinderten Abfluss von Kaltluft werden aus landesweiter Sicht die Talsysteme von Weißer Elster, von Zwickauer, Freiberger und Vereinigter Mulde einschließlich ihrer Nebenflüsse sowie die unbewaldeten Freiflächen der Lösshügelländer bewertet. Für die urbane Stadtlandschaft Leipzig sind das Elster-Luppe-Auensystem mit seiner unmittelbaren Stadtlage sowie das Parthegebiet als Abflussbereiche für die Kalt- und Frischluftzufuhr besonders bedeutsam (vgl. DECKER ET AL. 2014). Regional bedeutsame Kalt- und Frischluftabflussbahnen sind zudem für die siedlungsbezogenen Wirkräume Frohburg, Geithain, Bad Lausick (in Tallagen von Wyhra und Eula), Colditz, Grimma, Wurzen (in Talräumen von Zwickauer und Vereinigter Mulde), Mügeln, Oschatz (im Porphyr- und Lösshügelland) und Dahlen abgeleitet (vgl. Karte 2.4-2).

2.4.5.3 Siedlungsklimatisch bedeutsame Bereiche

Für das Siedlungsklima relevante Bereiche ergeben sich aus dem funktionalen Zusammenhang zwischen Siedlungsräumen einerseits und den Freiflächen zur Sicherung und Entwicklung des bioklimatischen und lufthygienischen Ausgleiches von Siedlungen andererseits (Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge). Hierzu müssen positive Funktionen bspw. Frischluftzufuhr und Durchmischung erhalten und verbessert sowie vorhandene bioklimatische und lufthygienische Belastungen durch ausgleichende Prozesse gemindert bzw. abgebaut sowie weitere Belastungen wirksam vermieden werden. Aus klimaökologischer Sicht werden Wirkungs- und Ausgleichsräume unterschieden.

Wirkungsräume sind bebaute und versiegelte Räume mit Wärme- und Schadstoffbelastung aufgrund der Auswirkungen strahlungsreicher Hochdrucklagen mit hoher Lufttemperatur bei geringer Luftbewegung (austauscharme Wetterbedingungen), mit nachfolgender Akkumulation von Immissionen. In Ballungsräumen mit reduziertem bis fehlendem (thermischem) Luftaustausch, v. a. in austauscharmen Tal- und Beckenlagen verstärken sich diese Belastungseffekte. Hohe sommerliche Wärmebelastungen und häufige Inversionslagen (infolge austauscharmer Wetterlagen) sind für den verdichteten, bevölkerungsreichen Leipziger Raum kennzeichnend (vgl. DECKER ET AL. 2014).

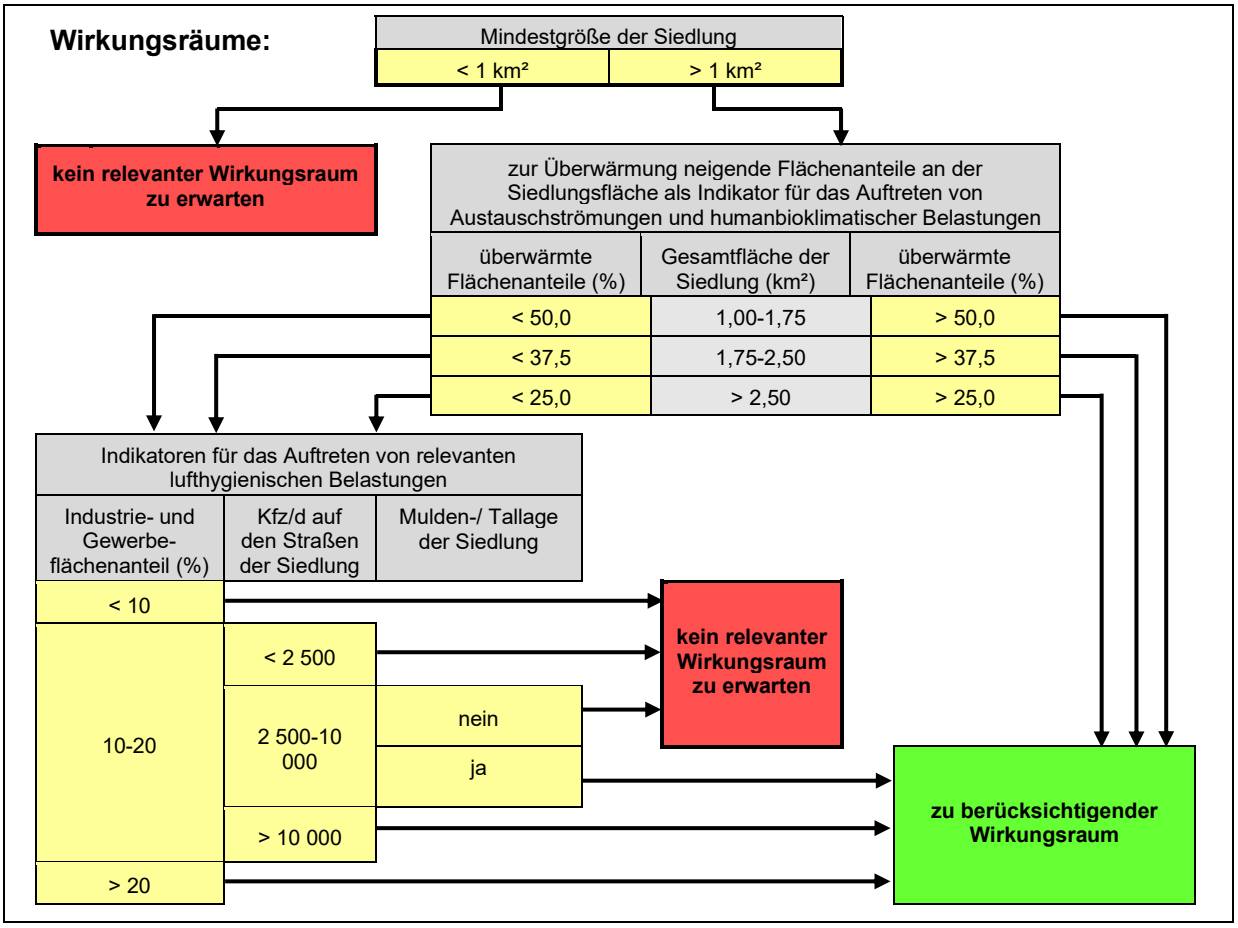


Abb. 2.4-33: Bestimmung von Wirkungsräumen nach MOSIMANN ET AL. (1996)

Die Abgrenzung von Wirkungsräumen in der Region (vgl. Abb. 2.4-33) erfolgte unter Berücksichtigung der Siedlungsgröße, des Anteils wärmebelasteter Flächen und der Einschätzung der lufhygienischen Belastungssituation in den Siedlungen nach MOSIMANN ET AL. (1999) und ist in Karte 2.4-2 dargestellt. Wirkungsräume mit hoher Vulnerabilität im Zuge des Klimawandels bilden in der Region die Städte Leipzig, Markkleeberg, Taucha und Schkeuditz (im Verdichtungsraum) sowie Delitzsch, Bad Düben, Eilenburg, Dommitzsch und Torgau (im hitze- und inversionsexponierten nördlichen Leipziger Tiefland - vgl. Abb. 2.4-32 und Tab. 2.4-16).

Urbane Wirkungsräume der Region sind hinsichtlich ihrer bioklimatischen und lufthygienischen Belastungen zu mindern und zu sanieren. Hierzu ist ihre Anbindung an wirksame, leistungsfähige Ausgleichsräume nachhaltig zu sichern bzw. ggf. weiter zu entwickeln und diese vor qualitativen sowie quantitativen Beeinträchtigungen (z. B. Immissionen, Verbauung) zu schützen.

Ausgleichsräume sind den Wirkungsräumen räumlich-funktional benachbarte bzw. zuordenbare, unbebaute Räume mit klimaökologischen und lufthygienischen Ausgleichsvermögen, vor allem durch die Kaltluft- und Frischluftproduktion und deren Abfluss. Ausgleichsräume zeichnen sich durch fehlende bzw. deutlich geringere Wärme- und Schadstoffbelastung aus (vgl. DECKER ET AL. 2014). Insbesondere vegetationsbestandene Freiflächen mit hoher Luftregenerationsfunktion und Frischluftentstehung oder hohen Neubildungsraten von gering belasteter Kaltluft stellen wichtige bioklimatische und lufthygienischen Ausgleichsräume dar. Ausgleichsräume sind deshalb als siedlungsklimatisch bedeutsame Bereiche dauerhaft zu erhalten, in ihrer Funktionsfähigkeit zu sichern und im Zuge des Klimawandels in ihrer Anpassungskapazität nachhaltig zu stärken.

Im Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Gefüge sind die Neubildung und der Abfluss von Kalt- und Frischluft von elementarer lokalklimatischer Bedeutung. Die vorhandene Kalt- und Frischluftströmungen beeinflussen die Minderung bioklimatischer und lufthygienischer Belastungen, die Entstehung von Kaltluftsammelgebieten oder Stagnationsbereichen mit besonderen Klimaverhältnissen und prägen die klima- und immissionsökologischen Funktionszusammenhänge. Das Maß der Kalt- und Frischluftproduktion bestimmt die potenzielle Ausgleichsleistung der klimatischen Ausgleichsräume verschiedener Größenordnungen (vgl. MOSIMANN ET AL. 1996).

Die Bestimmung der regional bedeutsamen Ausgleichsräume erfolgte nach SCHMIDT (1994) auf Basis der Größe der Kaltlufteinzugsgebiete, der Intensität der Kaltluftbildung sowie der Bodenfeuchteverhältnisse. Im Einzelfall gingen zudem die Talsohlenneigung, die Breite der Talsohle sowie eine Bewertung der Rauigkeit der Talsohle unter Berücksichtigung von Luftaustauschbarrieren ein (vgl. Tab. 2-4-19).

Tab. 2.4-19: Bewertung des Kaltluftabflusses (verändert nach SCHMIDT 1994)

Parameter	**Bewertung**					**Quelle**
	sehr hoch	**hoch**	**mittel**	**gering**	**sehr gering**	
Größe des Kaltluft-einzugsgebiets (EZG) [km²]	> 20	15-20	10-15	5-10	< 5	MARKS ET AL. (1989)
Intensität der Kaltluft-produktion im EZG (Anteil an Acker, Wiesen, Feuchtbiotopen im EZG)	> 75 %	50-75 %	25-50 %	15-25 %	< 15 %	MARKS ET AL. (1989)
zusätzlich: Bewertung des Wasser-speichervermögens der Böden im EZG	*sehr hoch auf > 75 % des EZG*	*sehr hoch auf $^{2}/_{3}$ des EZG*	*sehr hoch, hoch und mittel auf $^{2}/_{3}$ des EZG*	*sehr hoch, hoch, mittel und gering auf $^{2}/_{3}$ des EZG*	*sehr hoch, hoch, mittel und gering auf weniger als $^{2}/_{3}$ des EZG*	SMUL (2005a)
Talsohlenneigung [%]	> 15 (> 9)	10-15 (6-9)	5-10 (3-6)	5-1,75 (1-3)	< 1,75 (< 1)	PÖU (1984)
Talsohlenbreite [m]	> 1 000	700-1 000	400-700	100-400	< 100	ZIMMERMANN (1988)
Rauigkeit der Talsohle und Abflusshindernisse	Acker, Wiesen, offenes Tal; kaum Hindernisse	mindestens $^{2}/_{3}$ Äcker, Wiesen; lediglich Einzelhäuser/ Baumgruppen	< 50 % Wiesen und Äcker	Wald oder lockere Bebauung dominieren > 50 %	abriegelnde Bebauung auf > $^{2}/_{3}$ der Talsohle; zahlreiche Dämme und Riegel	MARKS ET AL. (1989); ZIMMERMANN (1988)

Siedlungsklimatisch bedeutsame Kaltluftentstehungsgebiete und Abflussbahnen

Die in der Karte 2.4-2 dargestellten regional bedeutsamen Kaltluftentstehungsgebiete sind überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen, die über einen möglichen Kaltluftabfluss als Ausgleichsräume für klimatische Belastungsgebiete (Wirkungsräume) fungieren. Vor allem die unbewaldeten Freiflächen der Porphyr- und Lösshügellandschaften sind bedeutsame regionale Ausgangspunkte für Kaltluftabflüsse. Doch auch das Partheeinzugsgebiet um Taucha weist bedeutsame Kaltluftabflüsse auf.

Den Kaltluftentstehungsgebieten urbaner Wirkungsräume sind regional bedeutsame Kaltluftabflussbahnen zugeordnet, welche dem oberirdischen Gewässereinzugsgebiet entsprechen, sofern keine größeren Abflussbarrieren existieren. Insbesondere die Talauen der Zwickauer, Freiberger und Vereinigten Mulde sowie der Parthe, Wyhra und Eula einschließlich ihrer Nebenflüsse stellen bedeutsame Leitbahnen für den ungehinderten Abfluss von Kaltluft aus den umgebenden unbewaldeten Freiflächen dar. Sofern diese Abflussbahnen bzw. die aus ihren Einzugsgebieten transportierte Kaltluft frei von größeren lufthygienischen Belastungen ist (bspw. durch bedeutende Emissionsquellen aus Industrie, Gewerbe oder Verkehr), erfolgte deren Darstellung als regional bedeutsame Frischluftabflussbahn.

Ein abflusswirksames Talsohlengefälle von mindestens 1° wird in den Tieflandsgebieten der Region vielfach unterschritten. Die wenigen potenziellen Abflussbahnen sollten deshalb in Verbindung mit ihren zugehörigen Kaltluftentstehungsgebieten nicht zerschnitten, bebaut und dauerhaft offen gehalten werden.

Siedlungsklimatisch bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete

Wälder tragen gegenüber unbewaldeten Freiflächen zwar kaum zur Kaltluftproduktion bei, besitzen jedoch eine herausragende Bedeutung für die Frischluftversorgung. In Windrichtungssektoren aus denen häufig Luftmassen mit erhöhter Immissionsbelastung (durch Luftschadstoffe, Staubfrachten, Lärm) an Siedlungs- und Erholungsräume herangeführt werden, können Waldbestände durch Filterung und Absorption sowohl Luftverunreinigungen reduzieren als auch Lärmimmissionen wirksam verringern. Wälder mit Zuordnung zu klimatischen Wirkungsräumen sind daher von besonderer Bedeutung für die Verbesserung der lufthygienischen Situation von Belastungsgebieten.

Siedlungsnahe Waldflächen stellen bedeutsame Gebiete der Luftregeneration und Frischluftzufuhr für benachbarte belastete Stadtquartiere dar. Von besonderer Wirksamkeit sind dabei Waldbestände, die aufgrund ihrer Größe ein eigenes Bestandsklima ausbilden. Als regional bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete gelten wirkraumbezogene Waldbestände daher erst ab einer Mindestgröße von 4 ha. Gemäß SBS (2010) sind vorrangig Waldflächen innerhalb eines bestimmten Kreises um den Mittelpunkt der urbanen Wirkungsräume zu berücksichtigen. Der Radius des Umkreises entspricht dabei der Horizontalausdehnung des jeweiligen Wirkungsraumes unter Berücksichtigung von Relief, Schwachwindrichtung und topografischen Gegebenheiten.

Die regional bedeutsamen Frischluftentstehungsgebiete sind in Karte 2.4-2 dargestellt. Wertgebende Frischluftentstehungsgebiete für den klimatisch beeinträchtigten und immissionsbelasteten Verdichtungsraum Leipzig sind das Leipziger Auewaldsystem, die Waldbestände der Parthenaue sowie die Wälder der südlichen Bergbaufolgelandschaften (vor allem Neue Harth, Oberholz, Atkippen Böhlen und Kulkwitz). Doch auch die Hang- und Terrassenwälder entlang der Flusstäler des Hügellandes, vorrangig an Zwickauer und Vereinigter Mulde, sind besonders bedeutsam für die Luftregeneration und den klimatischen Ausgleich urbaner Wirkungsräume in der Region (Colditzer Forst, Klosterholz Grimma, Tresenwald). Weitere regional bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete stellen zudem der Naunhof-Brandiser Forst sowie der Torgauer Ratsforst dar. Die siedlungsklimatisch bedeutsamen Waldgebiete sind in ihrer Funktionsfähigkeit als regional bedeutsame Frischluftentstehungsgebiete urbaner Wirkungsräume dauerhaft zu erhalten und in zukunftsfähige, klimarobuste und strukturreiche Waldbestände umzubauen.

Grundsätzlich sind zur Gewährleistung des bioklimatischen und lufthygienischen Ausgleichs in der Region siedlungsklimatisch bedeutsame Freiräume der Luftregeneration, Frischluftversorgung und Kaltluftproduktion in ihrer Funktionsfähigkeit (Flächenausdehnung, Bestandsgröße, Qualität der Vegetationsstrukturen, Durchlässigkeit etc.) zu sichern und nachhaltig vor baulicher Inanspruchnahme, Versiegelung und Zerschneidung freizuhalten. Zudem ist in siedlungsklimatisch bedeutsamen Bereichen darauf zu achten, dass Anlagen mit schädlichen Emissionen oder störenden Barrierewirkungen den Luftaustausch nicht behindern oder mit Schadstoffen belasten. Wo dies der Fall ist, sind geeignete Gegenmaßnahmen zu treffen (LFUG 2004).

Zudem besteht in der waldarmen Planungsregion aus siedlungsklimatischer Sicht ein besonderer Handlungsbedarf für die Erweiterung bzw. Neuanlage von Wäldern im Umfeld von klimatischen Wirkungsräumen, vorrangig in Hauptwindrichtung sowie in der Umgebung von Emissionsquellen.

2.4.6 Luftqualität und regionale Belastungssituation

Die Luftqualität hat als wichtige Komponente des Klimas infolge zunehmender anthropogener Beeinflussungen der Atmosphäre stark an Bedeutung gewonnen. Die Immissionsbelastung eines Gebietes hängt von den vorhandenen Schadstoffemissionen und der Wetterlage ab, welche über den Transport und die Verdünnungsmöglichkeiten von Stoffkonzentrationen entscheidet (vgl. PESCHKE 1992). Die Luftqualität bzw. vorhandene Luftschadstoffe wirken sich direkt oder indirekt über Stoffkreisläufe auf die Umweltgüter Mensch, Boden, Wasser, Pflanzen und Tiere aus. Sie bestimmen maßgeblich die Wohn- und Lebensbedingungen in Siedlungen und beeinflussen zudem die Aufenthaltsqualität in siedlungsbezogenen Freiräumen und Erholungsgebieten (vgl. PAUSCH ET AL. 2014).

Wesentliche Luftqualitätsstandards zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor schädlichen Luftverunreinigungen sowie zur Vermeidung immissionsbedingter Beeinträchtigungen auf Lebensräume und Ökosysteme leiten sich auf Grundlage der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) sowie aus der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) ab, welche die europäischen Richtlinien zur Luftreinhaltung umsetzten. Der Freistaat Sachsen betreibt zur Überwachung der Luftqualität ein landesweites Luftmessnetz (PAUSCH 2015). Ziel ist ein sachsenweites Monitoring zur Einhaltung der gesetzlichen Grenz- und Schwellenwerte für die gesundheitsgefährdenden Luftschadstoffe Schwefeldioxid (SO_2), Ozon (O_3), Stickstoffoxide (NO_x), Feinstaub der Fraktionen < 10 µm sowie < 2,5 µm (PM_{10}, $PM_{2,5}$), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC - Benzol, Toluol, Xylol), Staubniederschlag und dessen Gehalt an Schwermetallen, Arsen oder polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). In der Region werden hierzu die folgenden 7 Messstationen betrieben:

- Leipzig - Mitte (110 m NN, Ballungsraum: städtischer Hintergrund/Verkehrsbelastung)
- Leipzig - Lützner Str. (110 m NN, Ballungsraum: städtischer Hintergrund/Verkehrsbelastung)
- Leipzig - West (115 m NN, Ballungsraum: städtisches Belastungsgebiet)
- Leipzig - Thekla (110 m NN, Ballungsraum: vorstädtisches Gebiet
- Schkeuditz (122 m NN, ländlicher Hintergrund/stadtnah)
- Collmberg (313 m NN, ländlicher Hintergrund)
- Borna (145 m NN, städtischer Hintergrund/Verkehrsbelastung)

2.4.6.1 Emissionen und Emittenten

Die Belastungen durch Luftschadstoffe sind in Sachsen zwischen 1990 und 2010 deutlich zurückgegangen (PAUSCH ET AL. 2014). Durch die vorrangige Gewinnung und Verarbeitung fossiler Brennstoffe sowie veraltete Großfeuerungsanlagen zählten auch der Verdichtungsraum Leipzig sowie der Südraum Leipzig über Jahrzehnte zu einer durch Luftverschmutzung erheblich betroffenen Region in Sachsen. Wirtschaftliche Umstrukturierungen, die Stilllegung von umweltverschmutzenden Anlagen im Energie- und Industriesektor, die Energieträgerumstellung und die weitgehende Ablösung von Festbrennstoffen für die Raumheizung sowie die Ertüchtigung oder der Neubau von Anlagen nach dem heutigen Stand der Technik haben zu einer wesentlichen Emissionsminderung in der Region beigetragen (vgl. SCHREIBER 2015b). Nach der deutlichen Verbesserung der Luftqualität seit 1990 haben sich die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen in den letzten 10 Jahren auf ein stabiles Maß eingependelt. Weitere relevante Emissionsminderungen sind seither nicht zu verzeichnen (SCHREIBER 2015a).

Hauptverursacher von Luftschadstoffen sind Großfeuerungsanlagen, private Kleinfeuerungsanlagen, Industrie und Gewerbe, Landwirtschaft und Verkehr. Die aktuell stärkste Emittentengruppe von gesundheitsbeeinträchtigenden Luftschadstoffen ist der zunehmende Verkehrssektor, obgleich sich die verkehrsbedingten Emissionen durch technische Entwicklungen im Kraftfahrzeugbereich (Katalysatortechnik, Motormanagement, reduzierter Kraftstoffverbrauch etc.) bereits verringert haben und sich dieser Trend weiter fortsetzt. Verkehrsbedingte Emissionen tragen den Hauptanteil der Luftschadstoffbelastungen durch NO_x, CO, Feinstaub (PM_{10}/$PM_{2,5}$), Benzol sowie verschiedene Schwermetalle (verkehrsbedingter Anteil an der Gesamtemission Sachsen 2015: NO_x 43 %, $PM_{2,5}$ 40 %, PM_{10} 38 %, CO 37 %, Benzol 79 %, As 51 %, Ni 51 %, Cd 49 %, vgl. SCHREIBER 2015a). Auch in vielen Gemeinden im Westen und Nordwesten der Region, insbeson-

dere im stark verkehrsfrequentierten Verdichtungsraum Leipzig, trägt der Verkehrssektor die Emissionshauptlast (vgl. Abb. 2.4-33). Über 90 Prozent der verkehrsbedingten Emissionen werden dabei durch den Straßenverkehr verursacht. Großfeuerungsanlagen, die bis 1990 auch in der Region maßgeblich die Emissionssituation bestimmt haben, sind heute nur noch hinsichtlich ihrer SO_2-Emissionen bedeutsam (vgl. Tab. 2.4-20).

Tab. 2.4-20: Anteil der Emittentengruppen an der Gesamtemission in Sachsen 2014 (nach LFULG 2017)

Emittenten von Luftschadstoffen	**nutzungsspezifische Anteile an der Gesamtemission in Prozent [%]**				
	SO_2	NO_x	CO	NMVOC (Anteil: Benzol)	Schwebstaub (Anteil: PM_{10}, $PM_{2,5}$)
Großfeuerungsanlagen	**82**	**35**	**8**	**2** (5)	**7** (8, 15)
Private Kleinfeuerungsanlagen	**10**	**6**	**57**	**14** (22)	**13** (15, 31)
Industrie und Gewerbe	**7**	**13**	**4**	**8** (5)	**23** (12, 8)
Verkehr	**1**	**40**	**31**	**19** (74)	**31** (37, 37)
Landwirtschaft				**21**	**27** (28,10)
Sonstige				**36**	

Nach SCHREIBER (2015a) lagen die Pro-Kopf-Emissionen 2012 für die Luftschadstoffe NO_x (16,5 kg) und SO_2 (7,6 kg) in Sachsen über denen der Bundesrepublik (15,8 kg bzw. 5,2 kg), für NMVOC (11,1 kg) im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (14,1 kg) allerdings deutlich darunter. Während sich die Emissionen von SO_2, NMVOC, CO und Schwebstaub in Sachsen seit 1990 deutlich verringert haben (vgl. SCHREIBER 2015b), ist die Luftschadstoffbelastung infolge von NO_x und Feinstaub mit aerodynamischen Partikeldurchmessern unter 10 µm weiterhin alarmierend. Luftverschmutzungen durch NO_x-Emissionen und Feinstäube wirken umweltschädigend, tragen zur Ozonbildung bei, verursachen zahlreiche Erkrankungen und beeinflussen maßgeblich die Lebens- und Erholungsqualität.

Hohe NO_x-Emissionen treten in der Region insbesondere im Westen und Süden auf, wobei diese im Ballungsraum Leipzig die Grenzwerte nach BImSchV überschreiten. Durch eingeschränkte Durchlüftungsbedingungen innerhalb dichter Bebauung und häufige Inversionswetterlagen bilden sich hohe gesundheitsbelastende NO_x-Konzentrationen. Im Ballungsraum Leipzig werden diese vorrangig durch den Straßenverkehr verursacht. In ländlichen Teilräumen trägt zudem auch die Landwirtschaft (Düngerwirtschaft, Austrag aus landwirtschaftlich genutzten Böden, Intensivtierhaltung) zu einer Anreicherung von NO_x-Emissionen bei. In Böhlen wirkt die Großfeuerungsanlage des Kraftwerks Lippendorf als Hauptemittent (vgl. Abb. 2.4-34).

Feinstaub und ultrafeine Partikel, die vorrangig durch verkehrsbedingte Verbrennungsprozesse (insbesondere in Dieselabgasen) entstehen oder zudem durch genehmigungspflichtige Anlagen nach BImSchG, private Kleinfeuerungsanlagen und Bautätigkeit verursacht werden, bilden stark gesundheitsgefährdende, toxisch wirkende Luftverschmutzungen und fördern das Risiko von Krebs, Herzerkrankungen, Thrombose, Gehirnblutungen und Atemwegserkrankungen (vgl. LÖSCHAU ET AL. 2015). Feinstaubpartikel erfordern aufgrund ihrer leichten Lungengängigkeit deshalb besondere Vorsorge- und Schutzmaßnahmen. In der Region sind besonders hohe und langjährige Feinstaubbelastungen (PM_{10}, $PM_{2,5}$, Ruß) im Ballungsraum Leipzig zu verzeichnen.

Bei anhaltenden Hochdruckwetterlagen mit intensiver UV-Einstrahlung bilden sich durch chemische Reaktionen aus Stickoxiden (NO_x) und Kohlenwasserstoffen (VOC, CO) sog. Photooxidantien - Ozon (O_3), Peroxiacetylnitrat (PAN) und weitere phytotoxische Photooxidantien. Hohe bodennahe Konzentrationen haben eine starke toxische Wirkung auf Pflanzen (Blattschäden) und führen für den Menschen zu Kopfschmerzen, Tränenreiz, Allergien, Reizungen der Atemwege und Atembeschwerden, Einschränkungen der Lungenfunktion sowie Lungenerkrankungen.

Seit 2008 ist die Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa in Kraft. Die Richtlinie wurde mit der 39. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (39. BImSchV) vom 02.08.2010 in deutsches Recht umgesetzt und durch schadstoffspezifische Grenz- bzw. Schwellenwerte und Emissionshöchstmengen ausgeformt. Neu eingeführt sind seit 2010 die festgelegten Immissionswerte für die besonders gesundheitsschädlichen Feinstäube $PM_{2,5}$. Aufgrund der anhaltenden Grenzwertüberschreitungen von Feinstaub (PM_{10}, $PM_{2,5}$) und Stickstoffdioxid (NO_2) im Ballungsraum Leipzig wurde für das Stadtgebiet Leipzig ein Luftreinhalteplan erforderlich. Die Stadt Leipzig hat in diesem Zusammenhang 48 Maßnahmen festgelegt, um die

umweltbelastenden Luftverschmutzungen deutlich zu vermindern und die Luftqualität nachhaltig zu verbessern. Die Einführung der Umweltzone ist dabei eine wichtige verkehrsbezogene Maßnahme (vgl. LÖSCHAU ET AL. 2015).

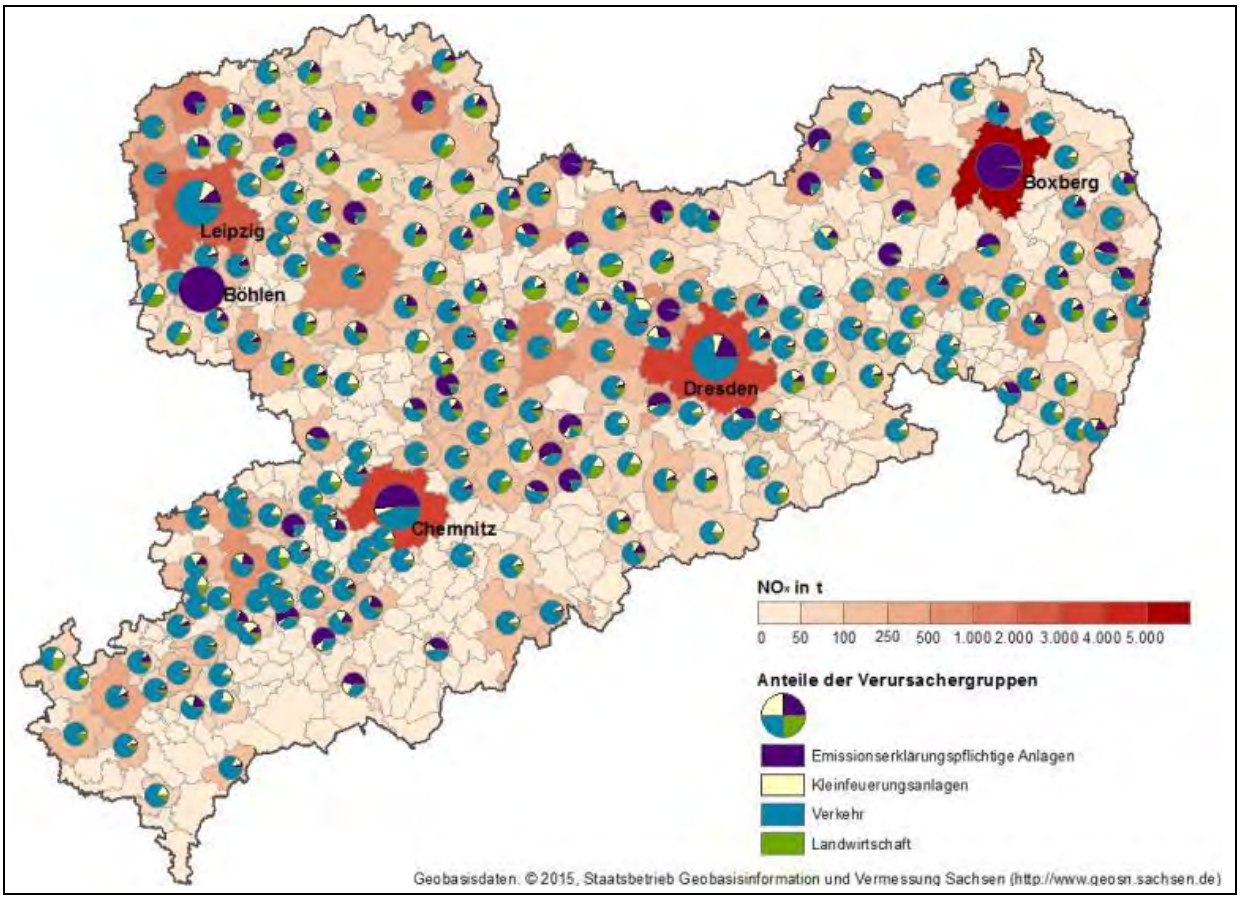


Abb. 2.4-33: NO_x-Emissionen nach Emittentengruppen in Sachsen 2012 (SCHREIBER 2015a)

2.4.6.2 Immissionssituation

Die nachfolgende Bewertung zur Immissionssituation in der Region basiert auf den Ergebnissen der Jahresberichte zur Luftqualität in Sachsen (PAUSCH ET AL. 2008-2016). Als Vergleichswerte für das Maß der erfassten Immissionsbelastungen dienen die verbindlich festgelegten Grenz-, Alarm- und Schwellenwerte für Luftschadstoffe gemäß der 39. Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom 02.08.2010 (39. BImSchV) in Verbindung mit der EU-Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa.

Gemäß den Jahresberichten müssen bestimmte Teilräume in Sachsen weiterhin als belastete Gebiete eingestuft werden, wobei nach verschiedenen Luftschadstoffen zu differenzieren ist. In der Region zählt hierzu der Ballungsraum Leipzig, welcher durch hohe Gesamtbelastungen und vor allem durch Schwebstaub (PM_{10}/$PM_{2,5}$), Stickoxide (NO_x), Kohlenmonoxid (CO) und leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (NMVOC) – letztere sind Vorläufersubstanzen für bodennahes Ozon (O_3) – gekennzeichnet ist. Hauptemittent dieser Luftschadstoffe ist im Ballungsraum Leipzig der stetig zunehmende Straßenverkehr.

Die Immissionssituation wird zudem stark durch meteorologische Bedingungen bestimmt. Zum Beispiel bedingen anhaltend milde Wintertemperaturen einen reduzierten Heizbedarf und folglich verringerte Ausstöße von Luftschadstoffen durch Kleinfeuerungsanlagen. Schwach ausgeprägte Westwindverhältnisse und häufige Hochdruckwetterlagen mit eingeschränktem Luftaustausch verringern hingegen die Ausbreitung und den Verdünnungseffekt von Luftschadstoffen in Belastungsgebieten und verursachen hohe Schadstoffakkumulationen. Eine anhaltend hohe Sonneneinstrahlung und UV-Konzentration erhöht deutlich die Ozonbildung.

Schwefeldioxid SO_2

SO_2-Emission haben sich auch in der Region seit den 1990iger Jahren durch Modernisierung der Großfeuerungsanlagen nach dem Stand der Technik, durch die Stilllegung von Altanlagen und durch die Umrüstung vieler Kleinfeuerungsanlagen privater Haushalte auf neue Energieträger (Erdgas, Erdöl) stark verringert und befinden sich seit 1999 etwa auf einem gleichbleibenden Niveau. Lagen die Jahresmittelwerte für SO_2-Konzentrationen im Sachsen 1992 in städtischen Belastungsgebieten noch über 90 µg/m³ und in ländlichen Gebieten zwischen 20 bis 30 µg/m³, sind diese seit 1999 sachsenweit auf Jahresmittelwerte zwischen 2 und 5 µg/m³ (mit Ausnahme des Erzgebirgskamms) zurückgegangen.

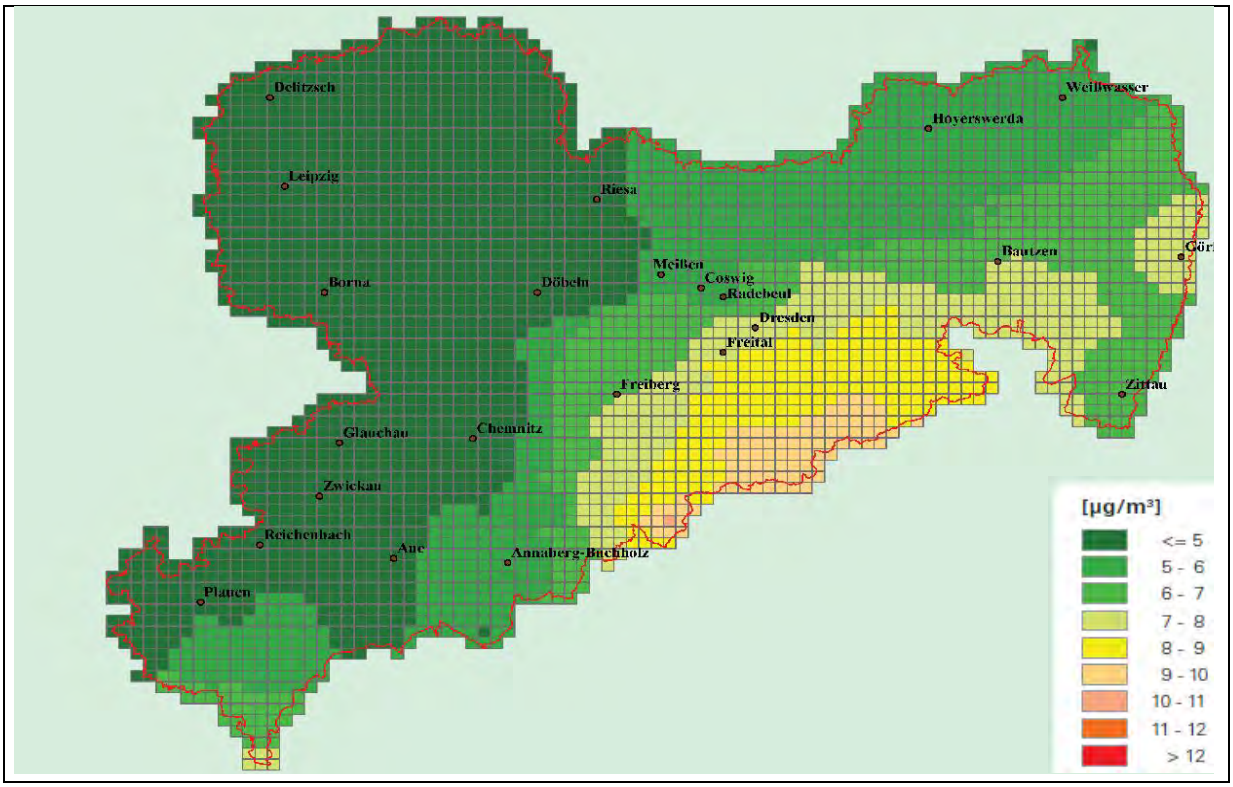


Abb. 2.4-35: SO_2-Immissionen in Sachsen 2006 (BERGER ET AL. 2007)

Tab. 2.4-21: SO_2-Immission in der Region 2006-2016 (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Station	**SO_2-Konzentration [Jahresmittelwert in µg/m³]** Grenzwert zum Schutz von Ökosystemen/Vegetation: 20 µg/m³ Grenzwert zum Schutz menschlicher Gesundheit: 1-h-Wert 350 µg/m³ (24-mal)*									
	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Leipzig-Mitte	3	2	3	3	2	3	3	3	3	2
Borna	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Collmberg	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* maximal zulässige Überschreitungshäufigkeit im Jahr; (-) keine Messung

Im landesweiten Vergleich weist die Region dabei deutlich geringere SO_2-Konzentrationen als weite Teile Sachsens auf. Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit oder kritische Werten für den Schutz der Vegetation und Biodiversität werden nunmehr seit 15 Jahren in der Region mit dem erreichten aktuellen Niveau weit unterschritten (vgl. PAUSCH ET AL. 2008-2016).

Stickoxide NO_x

Im Landesmittel haben sich die NO_2-Immissionen zwischen 1995 und 2016 kontinuierlich leicht reduziert (im Mittel von ca. 30-35 µg/m³ auf ca. 20-25 µg/m³), allerdings bestehen teilräumlich erhebliche Differenzen. In urbanen Ballungsgebieten mit hoher Straßenverkehrsbelastung sowie entlang überregional bedeutsamer Verkehrsachsen werden die landesweiten Durchschnittswerte

um ein Vielfaches überschritten. Während in den ländlichen Gebieten die NO_2-Immissionen bis 2016 zwischen 10-15 µg/m³ vergleichsweise konstant sind, liegen die Jahresmittelwerte der NO_2-Konzentrationen in urbanen Ballungsgebieten sowie an überregionalen Verkehrsachsen noch immer deutlich über diesen und schwanken um 40 µg/m³. In den Ballungsräumen Dresden, Leipzig und Chemnitz werden diese Konzentrationen regelmäßig mit 45-50 µg/m³ noch deutlich überschritten.

In der Region sind anhaltend hohe NO_2-Konzentration insbesondere im Ballungsraum Leipzig und entlang der Bundesautobahnen BAB A 9 und A 14 zu verzeichnen. Diese schwankten im Zeitraum 2006-2016 im Mittel zwischen 41-45 µg/m³. Während im Zeitraum 2006-2016 an den Messstationen am Collmberg, in Borna sowie im Stadtrandbereich von Leipzig (Leipzig-West) kontinuierlich leichte Rückgänge der NO_2-Konzentrationen zu verzeichnen waren, welche deutlich unter dem gesetzlichen Grenzwert liegen, verminderten sich die NO_2-Immissionen in den Kernstadtbereichen bis 2011 nahezu kaum. Ab 2012 ist jedoch auch in den innerstädtischen Bereichen durch erfolgte Immissionsschutzmaßnahmen der Stadt Leipzig eine leichte Abnahme der NO_2-Konzentrationen zu verzeichnen, wobei diese 2016 mit 42 µg/m³ noch immer über dem gesetzlichen Grenzwert lagen.

Tab. 2.4-22: NO_x-Immission in der Region 2006-2016 (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Station	**NO_x-Konzentration [Jahresmittelwerte von NO_2 / NO in µg/m³]** NO_2-Grenzwert zum Schutz von Ökosystemen/Vegetation: 20 µg/m³ NO_2-Grenzwert zum Schutz menschlicher Gesundheit: 1-h-Wert 200 µg/m³ (18-mal)*									
	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Leipzig-Mitte	53 48	46 43	43 39	48 49	48 55	46 52	45 52	40 50	43 53	42 50
Leipzig-Lützner Str.	45 31	45 34	46 35	45 36	40 33	34 26	36 29	37 32	40 35	42 37
Leipzig-Thekla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leipzig-West	22 4	19 4	20 4	21 4	20 5	19 4	16 3	17 4	16 4	17 4
Borna	36 36	27 23	29 25	29 23	28 26	25 23	23 20	23 13	22 19	20 15
Collmberg	13 1	11 1	12 1	13 1	12 1	10 1	9 1	9 1	9 1	9 1
Schkeuditz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* maximal zulässige Überschreitungshäufigkeit im Jahr; (-) keine Messung

Für den Luftschadstoff NO_2 existieren gemäß EU-Richtlinien 2008/50/EG und 39. BImSchV seit 2010 zwei Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Der NO_2-Stundengrenzwert von 200 µg/m³ als Indikator akuter Kurzzeitbelastungen wird in Sachsen flächendeckend sicher eingehalten. Der Jahresgrenzwert von 40 µg/m³ als Indikator der Dauerbelastung wird hingegen in drei sächsischen Belastungsgebieten (Dresden, Leipzig, Chemnitz) zwischen 1995 und 2016 regelmäßig überschritten. Von fünf stark belasteten Messstationen in Sachsen befinden sich mit „Leipzig-Mitte“ und „Leipzig-Lützner Str.“ zwei der NO_2-Überschreitungsstationen in der Region.

Aufgrund der regelmäßigen Überschreitung des Jahresgrenzwertes für NO_2-Konzentrationen in Leipzig wurde 2004 ein Luftreinhalteplan erstellt und mittel- sowie langfristige Maßnahmen zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastungen festgelegt. Um die gesetzlichen Grenzwerte für NO_x-Immissionen zu erreichen und dauerhaft einhalten zu können, wurde 2011 in Leipzig die Umweltzone eingerichtet und eine Modernisierung der städtischen Fahrzeugflotte beschleunigt (vgl. LÖSCHAU ET AL. 2015).

Der gesetzlich fixierte Jahresgrenzwert von 30 µg/m³ NO_x zum Schutz der Vegetation und Biodiversität wird in der Region am Collmberg überwacht und in den letzten Jahren stets eingehalten. Die erfassten NO_x-Konzentrationen am Collmberg liegen im Zeitraum 2010-2016 zwischen 15-10 µg/m³ und sind kontinuierlich leicht zurückgegangen. Mit einer Überschreitung des Grenzwertes ist am Collmberg auch in Zukunft nicht zu rechnen (vgl. PAUSCH ET AL 2009-2016).

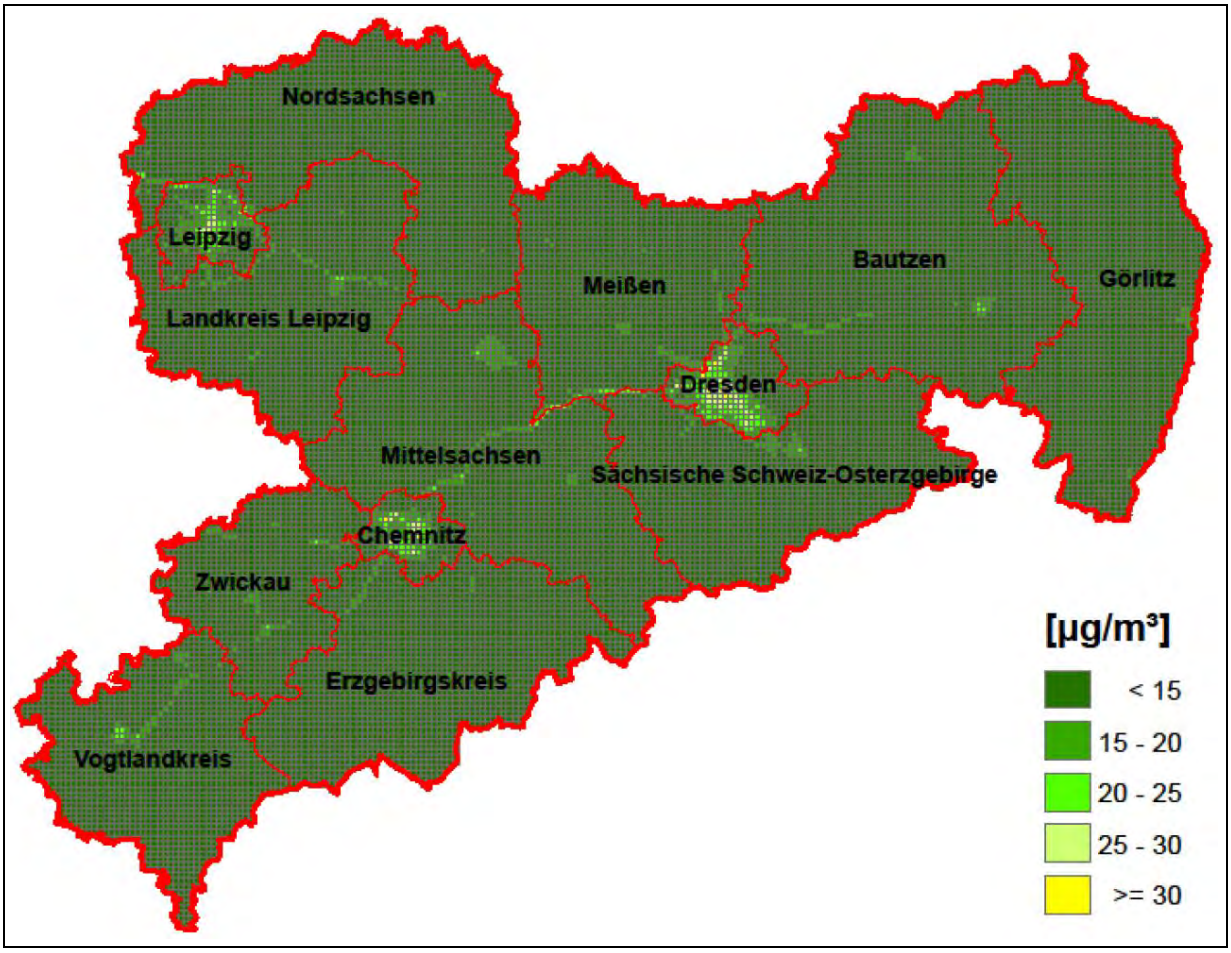


Abb. 2.4-36: NO_2-Immissionen in Sachsen 2016 (PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Kohlenmonoxid CO

Hauptemittenten für Kohlenmonoxid sind der Straßenverkehr und die Verbrennung von festen Brennstoffen, insbesondere in Kleinfeuerungsanlagen durch unvollständige Verbrennung von Kohlenstoff und kohlenstoffhaltigen Verbindungen. Kohlenmonoxid ist ein giftiges Gas und ein Vorläuferstoff für die Ozonbildung (vgl. SCHREIBER 2015a). Verkehrsbedingte CO-Emissionen, die durch die Ableitung von Kraftfahrzeugabgasen entstehen, konzentrieren sich aufgrund ihrer bodennahen Ausbreitung im unmittelbaren Aufenthaltsbereich von Menschen und sind damit als gesundheitsbeeinträchtigende Luftverunreinigung besonders relevant.

Durch die Stilllegung bzw. Modernisierung vieler Kleinfeuerungsanlagen sind die gemessenen CO-Konzentrationen sachsenweit im Zeitraum zwischen 1990 bis 2000 stark zurückgegangen, von über 1.300 Kilotonnen auf unter 200 Kilotonnen pro Jahr. Dies entspricht einer Reduktion um rund 90 Prozent. Seit 2000 stagnieren jedoch die jährlichen CO-Emissionen ohne eine weitere signifikante Reduzierung. Im Jahr 2012 wurden in Sachsen ca. 128 Kilotonnen Kohlenmonoxid emittiert. Diese werden zu ca. 54 Prozent durch Kleinfeuerungsanlagen und ca. 37 Prozent durch den Verkehrssektor verursacht (vgl. SCHREIBER 2015a).

Der Grenzwert für Kohlenmonoxid gemäß der 39. BImSchV (Anlage 11 zu den §§ 21 und 28) beträgt als höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages 10 mg/m³. Dieser wurde in den letzten Jahren an keiner sächsischen Messstelle überschritten (vgl. SCHREIBER 2015a). Die Jahresmittelwerte der CO-Belastung schwanken in Sachsen zwischen 0,5 und 0,6 µg/m³. Die höchsten gemessenen CO-Jahresmittel werden dabei an verkehrsnahen Messstationen erfasst.

In der Region ist insbesondere der stark verkehrsfrequentierte Ballungsraum Leipzig betroffen. Die im sachsenweiten Vergleich höchste CO-Belastung ist an der Messstation Leipzig-Mitte mit über 0,65 µg/m3 zu verzeichnen (vgl. BERGER ET AL. 2006).

Ozon O_3

Ozonkonzentrationen in bodennahen Schichten sind stark witterungsabhängig und weisen einen ausgeprägten Jahresgang mit Höchstwerten im Sommerhalbjahr auf. Erhöhte Konzentrationen von bodennahem Ozon entstehen an strahlungsreichen, niederschlagsarmen Hitzetagen > 30 °C und sind ein wesentlicher Bestandteil des so genannten Sommersmogs. Sachsenweit haben die Ozonkonzentrationen zwischen 1995 und 2006 leicht zugenommen. Im Zeitraum 2006 bis 2016 sind die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration in der Region unter Berücksichtigung der witterungsbedingten jährlichen Schwankungen sowohl in den erfassten Stadtgebieten als auch im ländlichen Raum nahezu konstant geblieben. Die Ozonbelastung liegt in der Region damit weiterhin auf einem hohen Niveau mit Jahresmittelwerten zwischen 40-60 µg/m³. Dabei treten folgende räumliche Differenzierungen der Ozonbelastung auf:

- geringste Belastung in innerstädtischen Bereichen (O_3-Abbau durch andere Schadstoffe)
- erhöhte Belastungen in Stadtrandlagen (höchste Werte im Lee städtischer Bereiche)
- stärkste Belastungen in ländlichen Gebieten (nur geringe O_3-Abbauraten durch andere Schadstoffe)

Tab. 2.4-23: O_3-Immission in der Region 2006-2016 (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Station	**O_3-Konzentration [Jahresmittelwerte in µm/m³ sowie Anzahl der Tage 8 h > 120 µg/m³]** O_3-Zielwert zum Schutz menschlicher Gesundheit: Tage mit 8-h-Wert >120 µg/m³ (25-mal)* O_3-Informations-/Alarmschwellenwert für die Bevölkerung: 1-h-Wert von 180/240 µg/m³									
	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Leipzig-Mitte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leipzig-Lützner Str.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leipzig-Thekla	47 29	40 12	39 0	44 24	42 12	42 9	44 10	38 11	42 19	39 9
Leipzig-West	49 28	46 16	45 7	48 26	47 15	48 15	48 15	45 18	51 27	47 19
Borna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Collmberg	64 41	58 27	57 20	61 28	59 18	59 19	59 19	57 27	62 35	57 18
Schkeuditz	50 29	46 18	45 11	49 22	48 17	48 18	49 17	45 20	51 28	47 25

* maximal zulässige Überschreitungshäufigkeit im Jahr; (-) keine Messung

Sowohl die Zielwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit als auch die für den Schutz der Vegetation und Biodiversität (gemäß EU-Richtlinie 2008/50/EG und 39. BImSchV) werden seit 2006 in der Region regelmäßig überschritten, wobei die Anzahl der Tage mit Überschreitung des O_3-Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit (höchster 8-Stundenwert eines Tages > 120 µg/m³) an allen Messstationen der Region leicht rückgängig ist, insbesondere in Leipzig-Thekla. Am häufigsten sind die Zielwertüberschreitungen am Collmberg zu verzeichnen. An der Messstation am Collmberg wurde die zulässige Überschreitungshäufigkeit von maximal 25 Überschreitungstagen pro Jahr im Zeitraum 2006-2026 mehrfach überschritten. Im Jahr 2015 wurde diese aufgrund des extremen Sommerhalbjahres zudem auch an weiteren Messstationen der Region überschritten (Leipzig-West, Schkeuditz).

Der Schwellenwert zur Information der Öffentlichkeit über kurzfristige akute Ozonbelastungen beträgt 180 µg/m³ (1-h-Mittelwert). Während die Ozon-Informationsschwelle im Jahr 2015 an 3 Messstationen, in Schkeuditz (an 5 Tagen), Leipzig-West (an 4 Tagen) und Leipzig-Thekla (an 2 Tagen) überschritten wurde, ist diese 2016 in der Region nur an einem Tag (Leipzig-West: 27.08.2017) überschritten.

Der Zielwert zum Schutz der Vegetation und Biodiversität vor bodennahen Ozonbelastungen ist demgegenüber in der Region seit 2011 an allen Messstellen eingehalten.

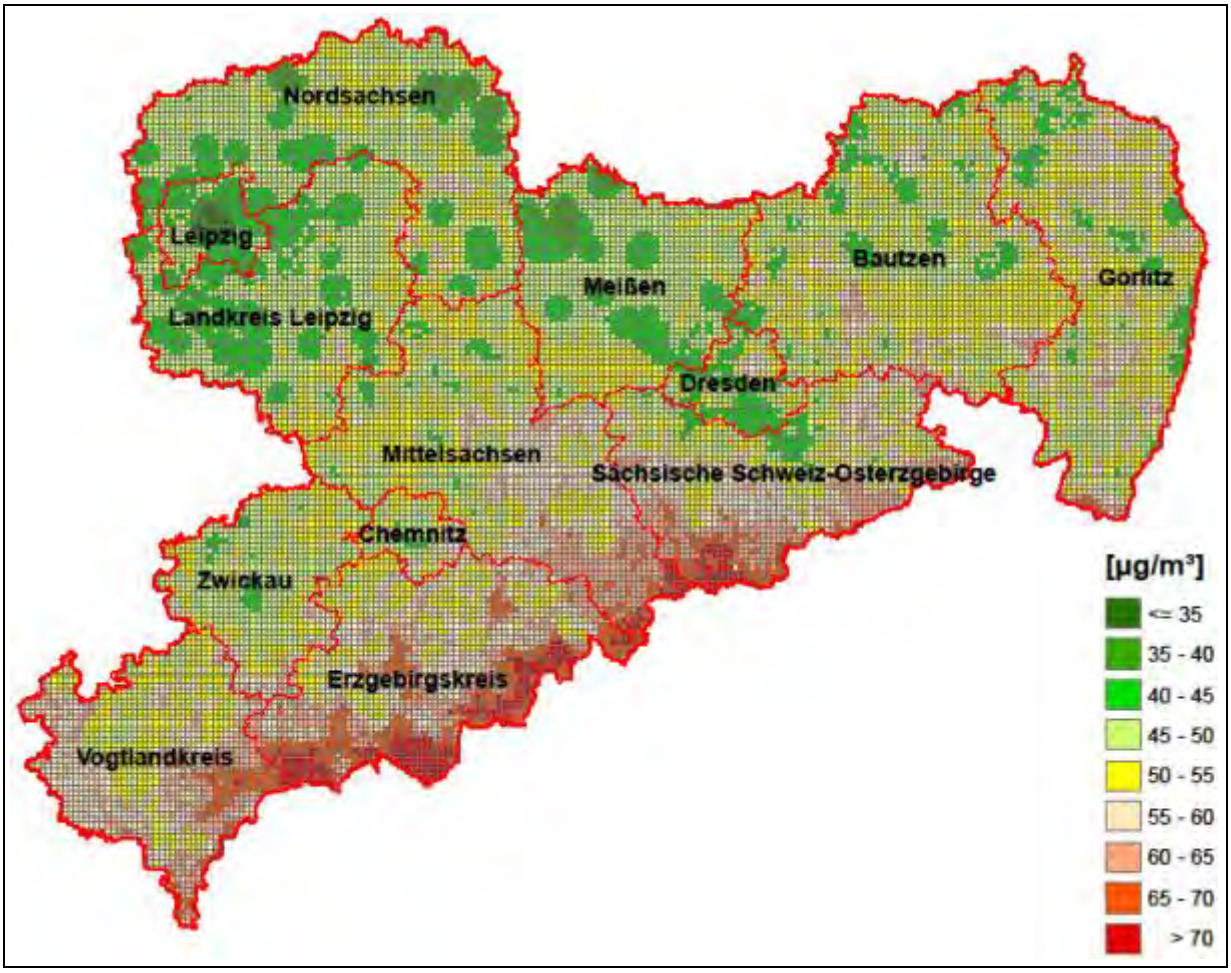


Abb. 2.4-37: Ozonimmission in Sachsen 2016 (PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Feinstaub $PM_{10}/PM_{2,5}$

Je nach Größe der Partikel unterscheidet man in Grobstaub, Feinstaub oder ultrafeinen Staub. Als „Feinstaub“ werden Staubfrachten mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser kleiner 10 µm (PM_{10}) bzw. kleiner 2,5 µm ($PM_{2,5}$) zusammengefasst. In urbanen Ballungsgebieten mit hoher Straßenverkehrsbelastung werden Feinstaubfrachten vor allem durch verkehrsbedingte Verbrennungsprozesse (insbesondere durch Dieselmotoren), Reifenabrieb und aufgewirbelten Straßenstaub verursacht. Doch auch der Anteil an Kleinfeuerungsanlagen wirkt sich deutlich auf die Feinstaubkonzentration aus. In ländlichen Gebieten trägt zudem die Landwirtschaft sekundär als Staubquelle bei, da Feinstaubfrachten auch durch chemische Reaktionen von gasförmigen Vorläuferschadstoffen (bspw. Ammoniak) aus Emissionen der Tierhaltung entstehen.

Feinstaub wirkt stark gesundheitsbeeinträchtigend. PM_{10} kann beim Menschen in die Nasenhöhle, $PM_{2.5}$ bis in die Bronchien und Lungenbläschen und ultrafeine Partikel bis in das Lungengewebe und sogar in den Blutkreislauf eindringen und je nach Eindringtiefe zu Schleimhautreizungen, lokalen Entzündungen in der Luftröhre, den Bronchien oder Lungenbläschen, einer verstärkten Einlagerung in Blutgefäße, erhöhtem Thromboserisiko oder Herzfrequenzvariabilität führen (vgl. SCHREIBER 2015a).

In stark verkehrsbelasteten Stadtgebieten verläuft die Konzentration von feinen und ultrafeinen Staubfrachten in Abhängigkeit zur Verkehrsstärke. An Werktagen steigen die Feinstaubkonzentrationen morgens mit steigendem Verkehrsaufkommen rasch an und erreichen während der Hauptverkehrszeit die Maximalwerte. Am Abend und in den Nachtstunden reduzieren sich die Feinstaubbelastungen mit Abnahme der Verkehrsströme und durch die Durchmischung der Luft (vgl. LÖSCHAU ET AL. 2015). Hohe Feinstaubkonzentrationen treten zudem insbesondere bei Inversionswetterlagen auf, an denen sich die Feinstaubbelastungen aufgrund des ausbleibenden Luftaustausches nicht verdünnen und sich anreichern (Summationseffekt).

Bis 1998 erfolgte die Schwebstaubprobennahme ausschließlich im gesamten Korngrößenbereich als Gesamtschwebstaub. Aufgrund medizinischer Erkenntnisse (zum erhöhten Krebsrisiko durch lungengängigen Feinstaub) und Änderung der EU-Richtlinien und bundesweiten Verordnungen wurden die Messprogramme ab 1999 und nochmal ab 2010 umgestellt. Erfasst werden seitdem nur der stark gesundheitsgefährdende Schwebstaubanteil mit Partikeldurchmesser kleiner 10 µm (PM_{10}) und kleiner 2,5 µm ($PM_{2,5}$).

Nach Abnahme der Luftverschmutzungen in den 1990iger Jahren stagniert die Entwicklung der Feinstaubbelastung in Sachsen seit 2001. Schwankungen der Jahresmittelwerte sind vor allem auf witterungsbedingte Ausbreitungsverhältnisse zurückzuführen.

Tab. 2.4-24: Feinstaubimmission der Region 2006-2016 (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Station	**Feinstaubkonzentration [Jahresmittelwerte PM_{10} / $PM_{2,5}$ in µg/m³] (einschl. Anzahl der Überschreitungstage mit Tagesgrenzwert > 50 µg/m³)** PM_{10}-Jahresgrenzwert (Indikator Dauerbelastung): 40 µm/m³ PM_{10}-Tagesgrenzwert (Indikator Kurzzeitbelastung): 50 µg/m³ (35-mal)* $PM_{2,5}$-Jahresgrenzwert: 25 µm/m³									
	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Leipzig-Mitte	37 (74)	34 17 (39)	26 16 (25)	32 22 (41)	35 20 (63)	30 35 (39)	28 18 (33)	28 18 (34)	25 15 (17)	24 15 (10)
Leipzig-Lützner Str.	39 (76)	31 (32)	33 (51)	33 (49)	34 (69)	29 (37)	29 (41)	30 (43)	28 (26)	27 (21)
Leipzig-Thekla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leipzig-West	25 (19)	19 (5)	23 (17)	21 16 (22)	22 16 (24)	19 13 (13)	19 14 (11)	21 15 (23)	17 12 (8)	17 12 (4)
Borna	29 (32)	24 (10)	25 (26)	26 (28)	26 (32)	23 (19)	23 (20)	24 (29)	21 (8)	19 (5)
Collmberg	20 (9)	16 (3)	17 (6)	18 14 (14)	19 13 (19)	16 11 (8)	16 11 (9)	18 13 (13)	15 10 (4)	14 10 (4)
Schkeuditz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* maximal zulässige Überschreitungshäufigkeit im Jahr; (-) keine Messung

Im landesweiten Vergleich weist der Ballungsraum Leipzig kontinuierlich die höchsten Jahresmittelwerte der PM_{10}-Konzentration in Sachsen auf und schwankt seit 2006 zwischen 27-39 µg/m³ (durchschnittliches Jahresmittel: 32 µg/m³, vgl. BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016). Zwar sind im Zeitraum 2006-2016 an allen Messstationen der Region leichte Rückgänge der Feinstaubkonzentrationen zu verzeichnen, jedoch ist die Feinstaubbelastung regional sehr verschieden (vgl. Abb. 2.4-38). Städtische Gebiete, insbesondere im stark verkehrsbelasteten Ballungsraum Leipzig, weisen fast den doppelten Jahresmittelwert auf wie der ländliche Raum (vgl. Tab. 2.4-24). Des Weiteren wird auch der PM_{10}-Tagesgrenzwert von 50 µm/m³ im landesweiten Vergleich seit 2006 am stärksten im Ballungsraum Leipzig überschritten (durchschnittliche Tagesgrenzwert-Überschreitung im Zeitraum 2006-2016: Leipzig-Lützner Str. an 44 Tagen/Jahr, Leipzig-Mitte an 38 Tagen/Jahr). Der Tagesgrenzwert von 50 µg/m³ als Indikator für Kurzzeitbelastungen durch gesundheitsbeeinträchtigende Feinstaubkonzentrationen (maximal zulässige Überschreitung an 35 Tagen/Jahr) ist damit im Ballungsraum Leipzig regelmäßig überschritten. Zwar ist die Anzahl an Überschreitungstagen in der Region seit 2006 grundsätzlich leicht rückläufig, jedoch ist diese in stark verkehrsbelasteten Stadtgebieten von Leipzig noch immer sehr hoch. In den Jahren 2015 und 2016 wurde der Tagesgrenzwert für PM_{10}-Kurzzeitbelastungen erstmals an allen Messstationen der Region nicht überschritten.

Die gesetzlich festgelegten Jahresgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 40 µg/m³ für PM_{10} und 25 µg/m³ für $PM_{2,5}$ werden in der Region hingegen (mit Ausnahme der Messstation Leipzig-Mitte 2012 für $PM_{2,5}$-Konzentrationen) eingehalten.

Einen hohen Anteil an der kritischen Feinstaubbelastung im Ballungsraum Leipzig trägt vor allem der Straßenverkehr. Weitere signifikante Feinstaubquellen sind zudem baubedingte Staubemissionen sowie private Kleinfeuerungsanlagen in kalten Jahreszeiten von November bis März. Aufgrund der regelmäßigen Grenzwertüberschreitungen für PM_{10}-Kurzzeitbelastungen wurde für die Stadt Leipzig ein Luftreinhalteplan erstellt, dessen Maßnahmen verstärkt auf eine Vermeidung, Verringerung sowie Optimierung des städtischen Verkehrs zielen. Im März 2011 wurde hierzu die

Umweltzone in der Stadt Leipzig ausgewiesen. Ebenfalls von Bedeutung sind zudem die Förderung von emissionseffizienten Raumstrukturen durch nachhaltige Verkehrs- und Siedlungskonzepte, die Freihaltung von siedlungsklimatisch wirksamen Durchlüftungsachsen sowie der Erhalt und die Anlage von staubbindenden Gehölz- und Grünstrukturen mit Filter- und Pufferfunktion, insbesondere in stark feinstaubbelasteten Räumen und im Umfeld raumbedeutsamer Emittenten.

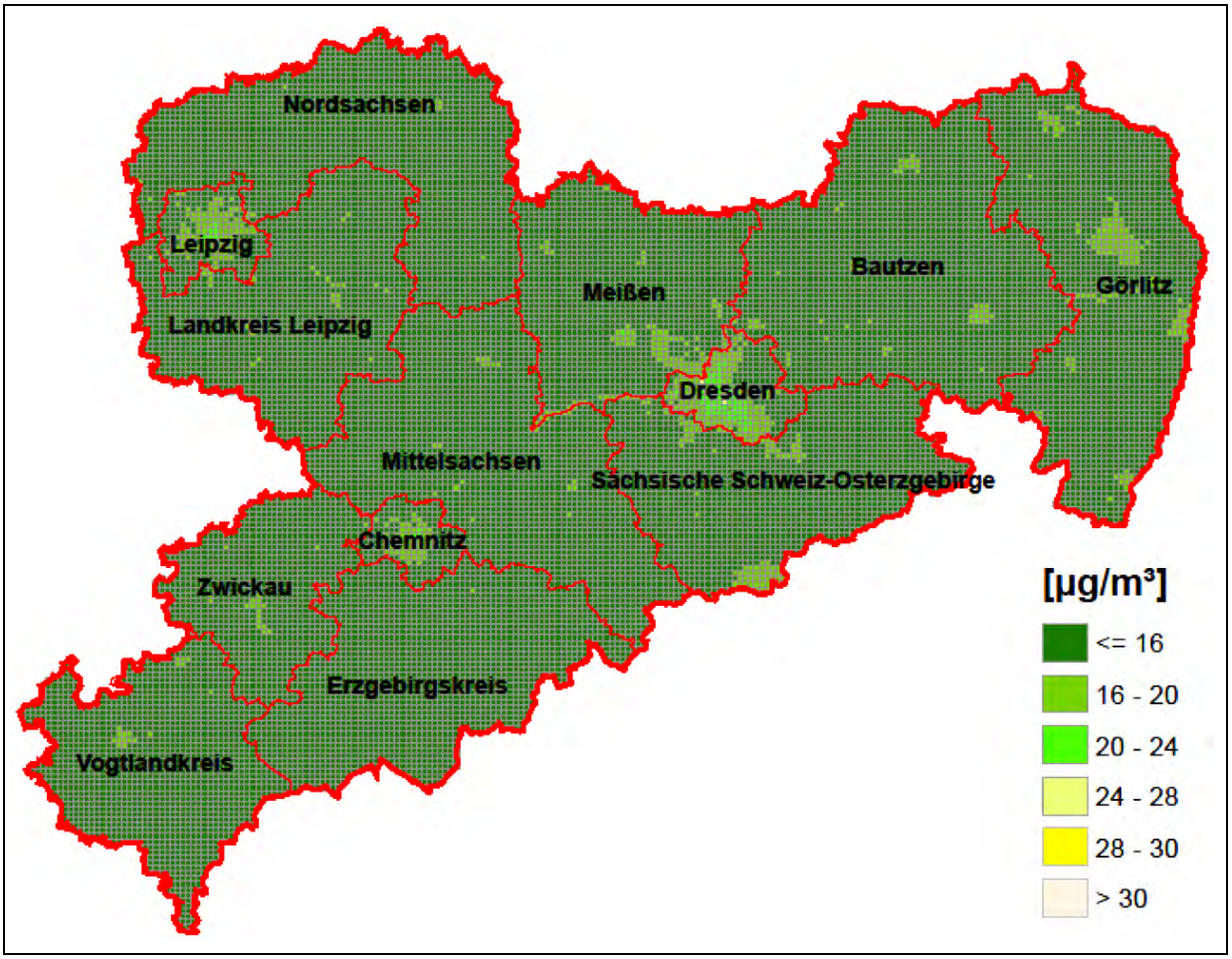


Abb. 2.4-38: Jahresmittelwerte der PM_{10}-Konzentration in Sachsen 2016 (PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Ruß

Ruß ist neben Schwermetallen (Pb, As, Cd, Ni, Cr) und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) ein weiterer gesundheitsbeeinträchtigender Inhaltsstoff im Schwebstaub. Rußpartikel entstehen durch nicht vollständige Verbrennung von flüssigen und festen Brennstoffen. Mit einem aerodynamischen Durchmesser < 10 µg/m³ zählen Rußteilchen zu den thoraxgängigen, krebserregenden Stoffen (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016).

Tab. 2.4-25: Rußimmission im Feinstaub 2006-2015 (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Station	Rußkonzentration [Jahresmittelwert in µg/m³]									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Leipzig-Mitte	5,4	4,5	3,9	3,2	3,4	3,1	3,0	2,6	2,7	1,7
Leipzig-Lützner Str.	4,8	4,3	4,0	3,9	3,6	3,1	2,6	2,5	2,7	1,7
Borna	4,1	3,4	2,6	2,9	-	-	-	-	-	-
Collmberg	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-	-

Nachdem der Einsatz von festen Brennstoffen in den 1990er Jahren stark zurückging, haben die Rußemissionen aus dem Straßenverkehr (speziell aus der Verbrennung von Dieselkraftstoff) eine

größere Bedeutung bekommen (*PAUSCH ET AL. 2010*). Besonders hohe Rußkonzentrationen im Feinstaub sind in Sachsen an verkehrsnahen Messstationen zu verzeichnen (vgl. PAUSCH ET AL. 2008-2016). In der Region sind die höchsten Rußkonzentrationen an den Messstationen im Ballungsraum Leipzig (Leipzig-Mitte, Leipzig-Lützner Strasse) erfasst (vgl. Tab. 2.4-25). Im sachsenweiten Vergleich sind die Jahresmittelwerte dieser Stationen neben den Messstationen in Görlitz und Dresden seit Jahrzehnten vergleichsweise hoch.

Im Zeitraum 2010-2015 verringerte sich die Rußkonzentration an verkehrsnahen Messstationen in Sachsen um fast 50 Prozent (vgl. PAUSCH ET AL. 2008-2016). Auch in der Region ist eine deutliche Reduzierung der Jahresmittelwerte zu verzeichnen (vgl. Tab. 2.4-25). An der Messstation im Ballungsraum Leipzig verringerte sich die Rußpartikelbelastung aus Motoremissionen 2014 gegenüber 2010 um 0,5 bis 0,9 µg/m³ und ging gegenüber 2005 somit um ca. 47 Prozent zurück (vgl. LÖSCHAU ET AL. 2015). Als Hauptursachen werden die schrittweise Einführung der Partikelfilter für Dieselfahrzeuge sowie die Umsetzung von Maßnahmen gemäß der sächsischen Luftreinhaltepläne, im Stadtgebiet Leipzig insbesondere die 2011 eingeführte Umweltzone und die damit verbundene Modernisierung der Fahrzeugflotte, angesehen.

Benzol

Der Jahresgrenzwert von Benzol gemäß der 39. BImSchV (Anlage 11 zu den §§ 21 und 28) von 5 µg/m³, der seit 01.01.2010 einzuhalten ist, wird in Sachsen seit Jahrzehnten an keiner Messstation überschritten (vgl. BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016).

Die Hauptemissionsquelle von Benzol ist der Straßenverkehr. In stark verkehrsfrequentierten städtischen Ballungsräumen liegen die Benzolkonzentrationen deutlich über dem sächsischen Durchschnittswert. In der Region weist der Ballungsraum Leipzig vergleichsweise hohe Benzolkonzentrationen auf (vgl. Tab 2.4-26).

Benzol ist der einzige verkehrsbedingte Luftschadstoff, der unabhängig von den jeweils vorherrschenden meteorologischen Verhältnissen seit Beginn der Messungen Mitte der 1990er-Jahre kontinuierlich abgenommen hat (vgl. BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016). Im Jahr 1996 betrug der durchschnittliche Jahresmittelwert der Benzolkonzentrationen in Sachsen noch 5,5 µg/m³, sank ab 2004 auf unter 2,0 µg/m³ und reduzierte sich damit landesweit um ca. 67 Prozent. In den letzten Jahren verringerte sich dieser Trend. Die Benzolkonzentrationen blieben auf annähernd gleich niedrigem Niveau (PAUSCH ET AL. 2016). Ursachen für die Abnahme der Benzolkonzentrationen sind vor allem die Verringerung des Benzolgehalts im Kraftstoff und die verbesserte Ausstattung der Kraftfahrzeuge mit Katalysatoren.

Erhöhte Benzolkonzentrationen an verkehrsnahen Messstationen sind vorrangig bei austauscharmen Wetterlagen der Monate November bis Februar zu verzeichnen.

Tab. 2.4-26: Benzol-Immission in der Region 2004-2016 (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016)

Station	**Benzolkonzentration [Jahresmittelwerte in µm/m³]** Jahresgrenzwert für Benzol-Immissionen: 5 µm/m³ (einzuhalten seit 01.01.2010)									
	2004	2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Leipzig-Mitte	2,5	2,1	2,0	1,9	2,1	1,9	1,9	1,3	1,2	1,2
Leipzig-West	1,0	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Borna	2,0	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-

Versauerungs- und Eutrophierungsgase

Luftschadstoffe, vor allem Schwefelverbindungen (SO_2), Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH_3) und flüchtige organische Verbindungen (VOC) sowie deren atmosphärische Reaktionsprodukte können durch Ablagerungen aus der Luft (trockene Deposition) oder Niederschlag (nasse Deposition) Schadstoffeinträge in Böden und Gewässern verursachen und hierdurch langfristige Ökosystemschäden durch Versauerungsprozesse (Herabsetzung der pH-Werte, Überschreitung der Pufferkapazität in Böden, Änderung des Mineralienhaushaltes, Schwermetallfreisetzung aus Bodenpartikeln bzw. Sedimenten) sowie durch Eutrophierung (Nährstoffanreicherung und Überdüngung infolge übermäßiger Stickstoffeinträge) bewirken (vgl. SCHREIBER 2012, PAUSCH ET AL. 2008-2016). Als Folge können Schädigungen der Vegetation, veränderte Wuchs- und Konkurrenzbedingungen, eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber weiteren Stressfaktoren (bspw. Frost, Dürre, Schädlingsbefall), eine vermehrte Biomasseproduktion in Verbindung mit erhöhtem Sauerstoffmangel in Gewässern sowie eine zunehmende Verdrängung sensitiver Arten, Pflanzengesellschaften und Lebensräume (insbesondere oligotropher Ausprägung) auftreten, welche sich entscheidend auf Land- und Wasserökosysteme und die Biodiversität auswirken. Gemäß dem Umweltbundesamt ist die Überdüngung eine der fünf Hauptursachen für den Rückgang der Biodiversität. Beispielweise ist fast die Hälfte der in der Roten Liste für Deutschland aufgeführten Farn- und Blütenpflanzen durch Stickstoffeinträge gefährdet (UBA 2013).

Infolge der Anreicherung der Atmosphäre durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen vor 1990 haben Versauerungsprozesse und die Eutrophierung von Böden und Gewässern zu flächenhaften Umweltbelastungen geführt, wodurch die Grenzen der Belastbarkeit von Ökosystemen in Sachsen erreicht und teilweise erheblich überschritten wurden (vgl. LFUG 2004). In den Jahren 1990 bis 2000 haben die Emissionen von Versauerungs- und Eutrophierungsgasen in Sachsen jedoch deutlich abgenommen (vgl. Abb. 2.4-39).

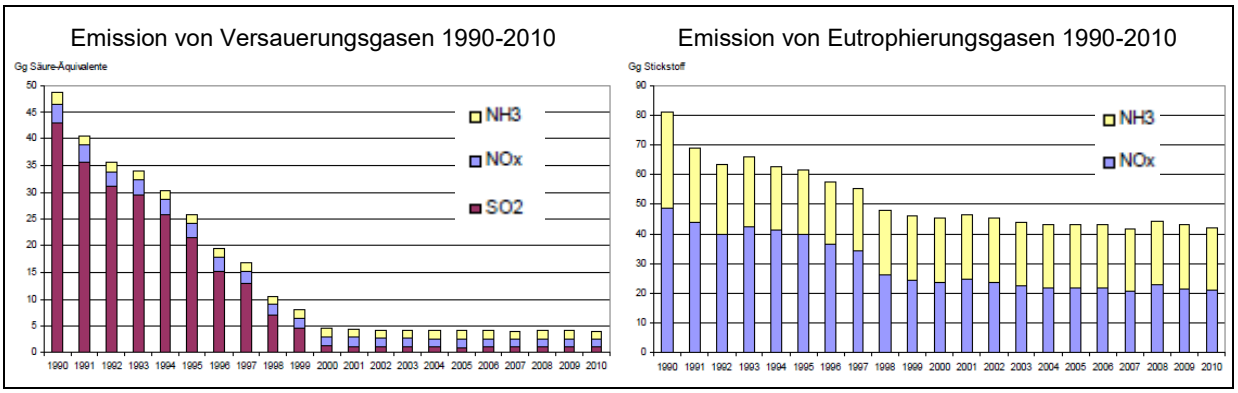


Abb. 2.4-39: Emissionsentwicklung der Versauerungs-/Eutrophierungsgase in Sachsen (SCHREIBER 2012)

Besonders signifikant ist die Verringerung der Emissionen von Versauerungsgasen in Sachsen von 45-50 Kilotonnen Säure-Äquivalente 1990 auf unter 5 Kilotonnen Säure-Äquivalente 2000 (vgl. SCHREIBER 2012). Seit 2000 ist die Emission von Versauerungsgasen auf diesem Niveau nahezu gleichbleibend. Im Vergleich zu 1990 ist damit eine Reduzierung der säurebildenden Luftschadstoffe um ca. 92 Prozent feststellbar. Hauptursache ist vor allem der starke Rückgang der SO_2-Emissionen. Im Jahr 1990 setzten sich die Emissionen der versauernd wirkenden Luftschadstoffe noch zu 88 % aus SO_2, zu 7 % aus NO_x und zu 5 % aus NH_3 zusammen. Im Jahr 2010 bestanden diese hingegen aus 38 % NH_3, 38 % NO_x und 24 % SO_2 (SCHREIBER 2012). Eine deutliche Abnahme der versauernd wirkenden Stickstoffemissionen ist in Sachsen hingegen nicht zu verzeichnen, so dass diese nunmehr hauptverantwortlich für Versauerungsprozesse sind.

Die Emissionen von Eutrophierungsgasen sind in Sachsen um etwa 50 Prozent von über 80 Kilotonnen Stickstoff 1990 auf unter 50 Kilotonnen Stickstoff ab 1998 gesunken und schwanken im Zeitraum 2000-2010 nahezu gleichbleibend zwischen 40-45 Kilotonnen Stickstoff pro Jahr.

In der 39. BImSchV sind bundesweite Luftqualitätsstandards und Grenzwerte zum Schutz der Vegetation und der natürlichen Ökosysteme festgelegt. Die über ein Kalenderjahr gemittelten kritischen Werte für Stickstoffoxide von 30 µg/m³ bzw. für Schwefeldioxid von 20 µg/m³ werden in der Region eingehalten (vgl. Tab 2.4-27).

Tab. 2.4-27: Mittelwerte zum Schutz der Vegetation vor SO_2- und NO_x-Einträgen in der Region 2005-2016 (BERGER ET AL. 2007, PAUSCH ET AL. 2008-2016)

gemittelter Wert [µm/m³]	**Station Collmberg** Grenzwert für SO_2 pro Kalenderjahr bzw. Winterhalbjahr (Oktober-März): 20 µm/m³ Grenzwert für NO_x pro Kalenderjahr: 30 µm/m³									
	2005	2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SO_2	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-
NO_x	15	15	13	15	14	12	11	11	10	11

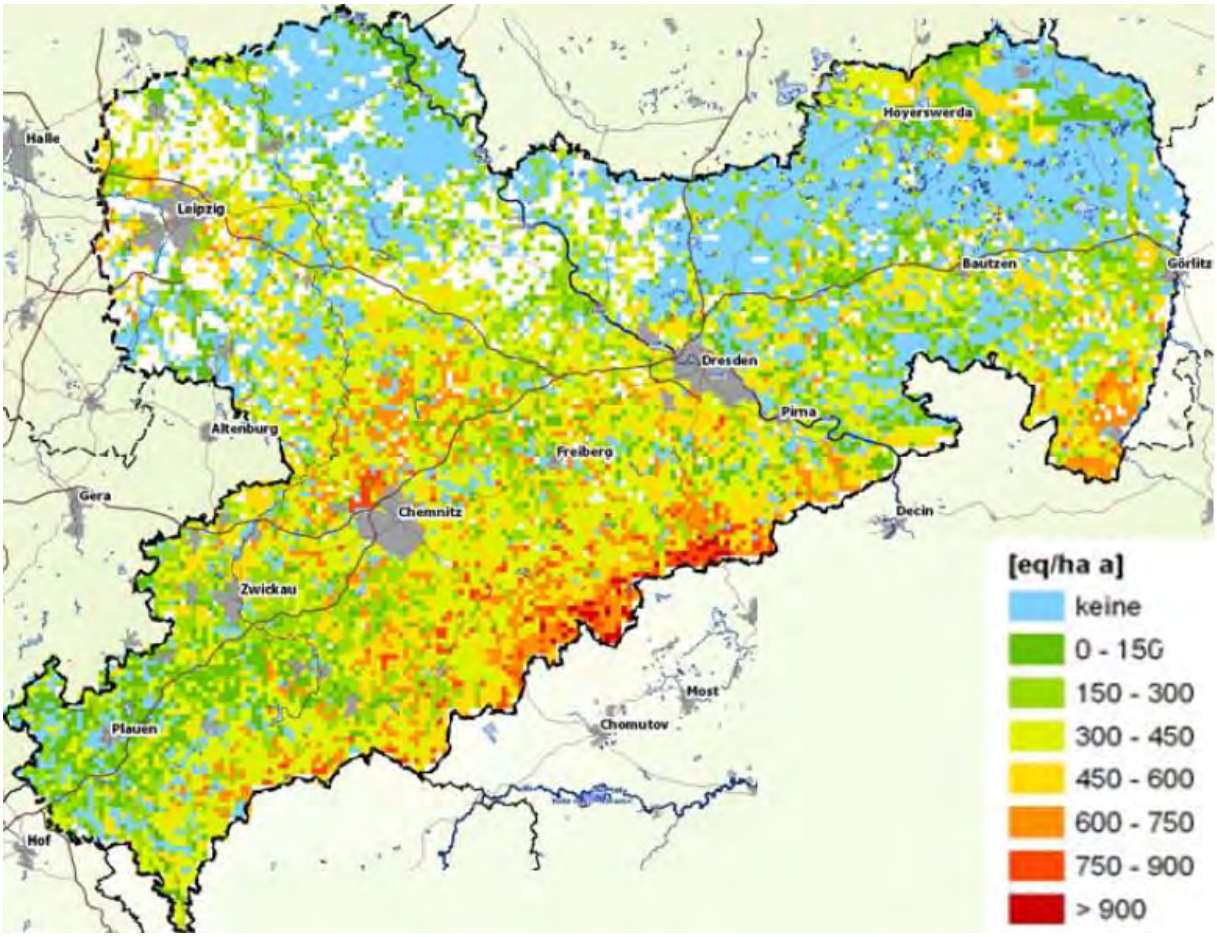
Zwar ist seit 1990 sachsenweit ein deutlicher Trend zur Verbesserung der Belastungssituation durch Luftschadstoffe zu verzeichnen: Die Folgen früherer und gegenwärtiger Immissionen wirken jedoch schleichend und nachhaltig auf Boden, Wasser und davon ausgehend auf Lebensräume und Artvorkommen. Zu Schutz der Vegetation und der natürlichen Ökosysteme hat der Freistaat Sachsen ökologische Belastungsgrenzen für Wälder und waldfreie naturnahe Vegetationsbestände gegenüber säurebildenden und eutrophierenden Luftschadstoffen (kurz: Critical Loads) bestimmt und überwacht deren Überschreitungen in Abhängigkeit von der landesweiten Depositionssituation. Mit dem Überschreitungsgrad der ökologischen Belastungsgrenzen wird die Wirkung von Luftschadstoffen auf sensitive Ökosysteme ermittelt und bewertet, in welchem Maße diese durch die Pufferfunktion in Böden und Vegetation oder ihre natürliche Toleranzspanne gegenüber dem Eintrag von Schwefel- und Stickstoffverbindungen vor Versauerung bzw. Eutrophierung geschützt sind oder aber langfristig geschädigt werden.

Niedrige Belastbarkeitsgrenzwerte für atmosphärische Säureeinträge leiten sich in der Region vorrangig für grünlandbestimmte Gebiete der Sandlöss-Ackerebenen des Leipziger Tieflandes ab, wohingegen kieferndominierte Wälder und Sandböden der Heidelandschaften (Annaburger Heide, Dübener-Dahlener Heide, Prellheide-Noitzscher Heide) sowie oligotrophe Rohboden- und Magerrasenstandorte der Bergbaufolgelandschaften im Südraum Leipzig vor allem niedrige Belastbarkeitsgrenzwerte für eutrophierende Stickstoffeinträge aufweisen (vgl. SCHLUTOW ET AL. 2010). In Abhängigkeit der lokal unterschiedlichen Deposition von Luftschadstoffen ist die Überschreitung der kritischen Belastbarkeitsgrenzen für Säure- oder Stickstoffeinträge regional verschieden (vgl. Tab. 2.4-28 und Abb. 2.4-40, 2.4-41).

Tab. 2.4-28: Regionale Überschreitung der kritischen Belastbarkeitsgrenzen für Säureeinträge und eutrophierende Stickstoffeinträge 2006 (vgl. SCHLUTOW ET AL.2010)

Critical-Loads-Überschreitung (Klassen)	**regional betroffene Gebiete**	**Begründung durch Hauptparameter**	
		Belastbarkeits-grenze	**Säureeinträge (aktuelle Deposition)**
für Säureeinträge:			
hoch/ überwiegend hoch	Eichenwälder und grünlandbestimmte Gebiete der Leipziger Sandlöss-Ackerebenen	mittel/niedrig	sehr hoch bis hoch
mäßig bis hoch	Feuchtgrünland sowie Bruch-/Auenwälder in Flussauen der Leipziger Tiefebene, im Elbtal und Lösshügelland	sehr hoch	mittel bis hoch
gering bis mäßig	grünlandbestimmte Gebiete im Lösshügelland	mittel	mittel
gering bis keine	grünlandbestimmte Gebiete der Heidelandschaften	mittel	gering
überwiegend keine	Kiefernwälder der Heidelandschaften	mittel	wenig bis mittel
für eutrophierende Stickstoffeinträge:			
hoch	Kiefernwälder auf trockenen Sandböden der Heidelandschaften	sehr niedrig	gering bis mittel
gering bis mäßig	Eichenwälder der Sandlöss-Ackerebenen	hoch	mittel
keine bis gering	Kiefernwälder in Niederungen der Heidelandschaften	mittel	gering bis mittel
keine	grünlandbestimmte Gebiete im Lösshügelland und in Sandlöss-Ackerebenen des Leipziger Tieflandes Feuchtgrünland sowie Bruch-/Auenwälder in Flussauen der Leipziger Tiefebene und im Lösshügelland	hoch bis sehr hoch	mittel

Überschreitung der Critical Loads für Säureeinträge im Freistaat Sachsen 2006 (Auszug: SCHLUTOW ET AL. 2010)



Überschreitung der Critical Loads für Versauerung durch Schwefel- und Stickstoffeinträge in Deutschland im Vergleich 2009 und 2009-2011 (Auszug: UBA 2017)

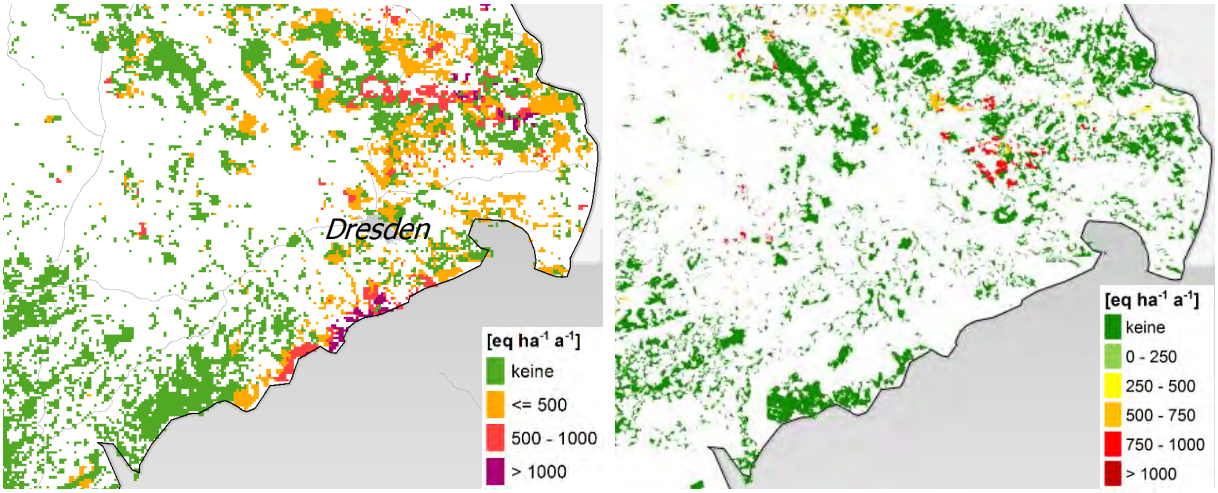
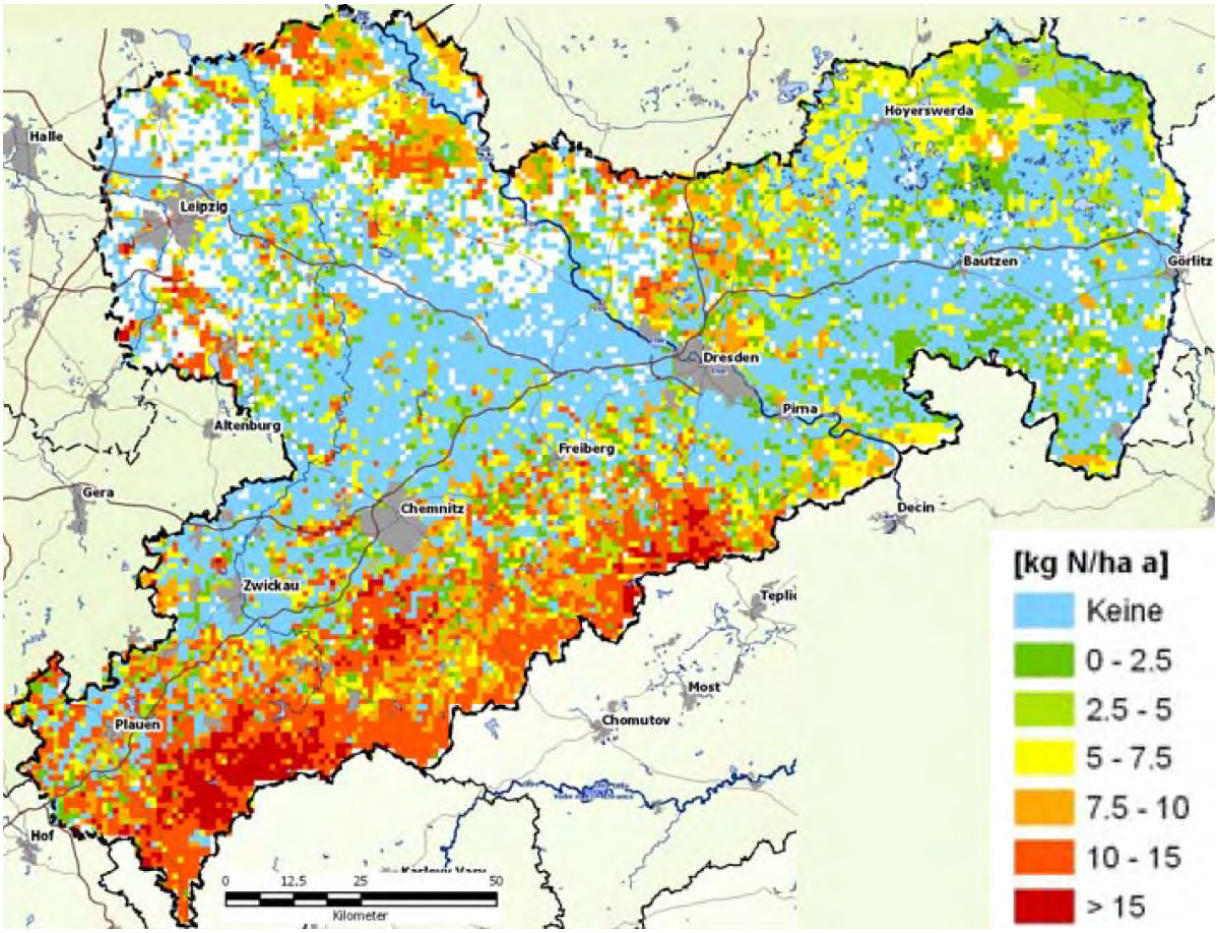


Abb. 2.4-40: Entwicklung der Critical-Loads-Überschreitung für Versauerung in Sachsen (vgl. SCHLUTOW ET AL. 2010, UBA 2017)

Durch den starken Rückgang von säurebildenden SO_2-Emissionen in Sachsen hat sich die Höhe der Critical-Loads-Überschreitungen für Säurebelastungen auch in der Region weiter deutlich vermindert. Gebiete mit hohen Überschreitungswerten haben seit 1999 stetig abgenommen. In weiten Teilen der Region werden die kritischen Belastungsgrenzen für Versauerung nicht oder nur gering überschritten. Hohe Überschreitungswerte für Säureeinträge (> 600 eq/ha a) sind nach

SCHLUTOW ET AL. (2010) und UBA (2017) kleinräumig in den Sandlöss-Ackerebenen des Leipziger Tieflandes zu verzeichnen. Während die Belastungssituation durch versauernd wirkende Stoffeinträge signifikant reduziert werden konnte, sind die Erfolge bei der Verminderung der Belastung durch Eutrophierung hingegen deutlich geringer.

Überschreitung der Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge im Freistaat Sachsen 2006 (Auszug: SCHLUTOW ET AL. 2010)



Überschreitung der Critical Loads für Eutrophierung in Deutschland im Vergleich 2009 und 2011 (Auszug: UBA 2017)

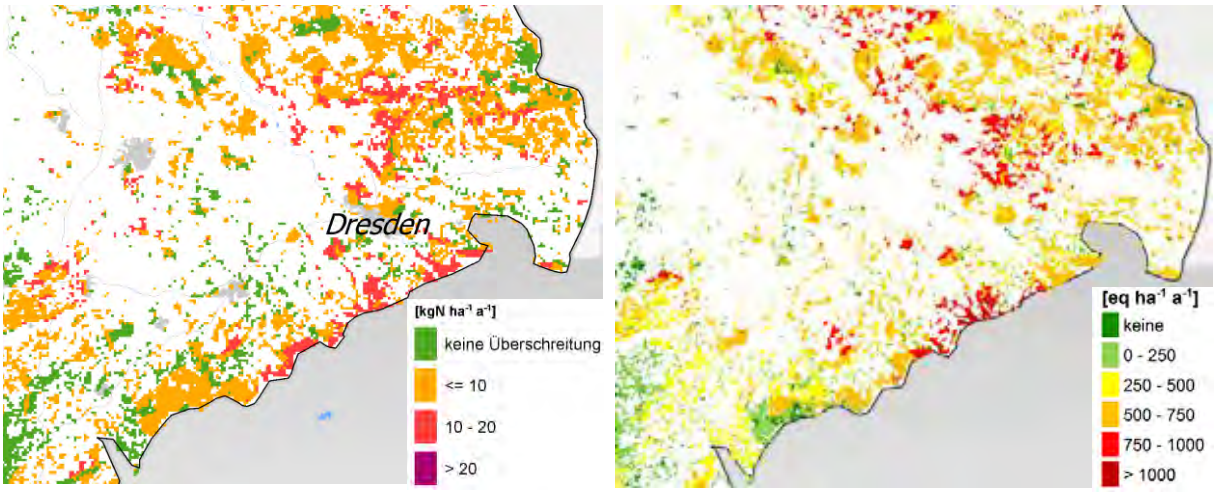


Abb. 2.4-41: Entwicklung der Critical-Loads-Überschreitung für eutrophierende Stickstoffeinträge in Sachsen (vgl. SCHLUTOW ET AL. 2010, UBA 2017)

Aufgrund der weiterhin hohen Gesamtemission von Eutrophierungsgasen in Sachsen werden die kritischen Belastbarkeitsgrenzen für eutrophierende Stickstoffeinträge auch in der Region teilräumlich deutlich überschritten, wenngleich sich die Höhe der Critical-Loads-Überschreitung für eutrophierende Stickstoffbelastungen im Vergleich 2006 bis 2011 vermindert hat (vgl. Abb. 2.4-41). Im Gegensatz zur Versauerungsbelastung ist der regionale Anteil von Flächen, die durch Eutrophierung beeinträchtigt werden, noch immer hoch. Hohe Überschreitungswerte für eutrophierende Stickstoffeinträge (> 10 kg N/ha a) weisen nach SCHLUTOW ET AL. (2010) vor allem die nährstoffarmen Ökosysteme der Heidelandschaften sowie oligotroph ausgeprägte Sekundärbiotope der Bergbaufolgelandschaften im Südraum Leipzig auf. Vor allem in den Waldgebieten der Dübener-Dahlener Heide aber auch in der Prellheide-Noitzscher Heide sind infolge der sehr niedrigen natürlichen Belastbarkeitsgrenzen hohe Grenzwertüberschreitungen festzustellen. Aber auch Teilräume in der Leipziger Tiefebene sind trotz mittlerer Critical Loads aufgrund der lokal hohen Stickstoffdeposition im Raum Leipzig noch stark überlastet. Im Bereich der Flussniederungen führt das sehr hohe Puffervermögen der Auenton- und -lehmböden hingegen trotz der hohen Stickstoffdeposition zu nur geringer bzw. keiner Überschreitung der Belastbarkeitsgrenzwerte. Insgesamt besteht in der Region trotz rückläufiger Stickstoffbelastung weiterhin ein signifikanter Handlungsbedarf, um die Beeinträchtigungen sensitiver Ökosysteme durch Nährstoffeinträge aus der Luft nachhaltig zu reduzieren.

Zusammenfassend zeigt die Entwicklung der ökologischen Belastungsgrenzen (vgl. Abb. 2.4-40 und 2.4-41) einen signifikanten Wechsel der Belastungssituation, von ehemals vorrangig durch Schwefelverbindungen verursachte Überschreitungen der Critical Loads hin zu vorwiegend stickstoffdominierten Belastungen. Die Überschreitung der kritischen Belastbarkeitsgrenzen für eutrophierende Stickstoffeinträge stellt ein anhaltendes Umweltrisiko dar (vgl. UBA 2017). Der Schutz sensitiver Ökosysteme vor übermäßiger Eutrophierung durch Luftschadstoffe erfordert deshalb verstärkte Maßnahmen zur Reduzierung der Stickstoffemissionen. Die dauerhafte und vollständige Unterschreitung kritischer Belastungswerte für Versauerung und Eutrophierung ist ein langfristiges Ziel der EU-Luftreinhaltepolitik (NEC-RL 2016: Richtlinie nationaler Emissionsminderungsverpflichtungen bis 2020/2030). Darüber hinaus ist auch in der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt sowie in der Naturschutz-Offensive 2020 für biologische Vielfalt das Ziel zur Einhaltung der ökologischen Belastungsgrenzen bis 2020 verankert.

Klimarelevante Gase (Treibhausgasemission)

Zum Treibhauseffekt in der Atmosphäre tragen vor allem Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffmonoxid (N_2O/Lachgas) bei. Treibhausgase (THG) können die an der Erdoberfläche durch Sonneneinstrahlung erzeugte Wärmestrahlung absorbieren und somit entscheidend zur Erderwärmung beitragen. Der Hauptanteil der anthropogenen THG-Emissionen wird durch Kohlendioxid verursacht (Sachsen 2012: 92 % CO_2, 5 % CH_4, 3 % N_2O). Allerdings sind Methan bis zu 25-fach und Distickstoffmonoxid bis zu 310-fach klimawirksamer als Kohlendioxid (vgl. SCHREIBER 2012). Die Treibhausgase CO_2, CH_4 und N_2O werden im Emissionskataster Sachsens nach Emittentengruppen erfasst. Die bedeutendsten Emissionsquellen für THG sind Groß- und Kleinfeuerungsanlagen sowie der Verkehr (vgl. Abb. 2.4-42 und Tab. 2.4-29).

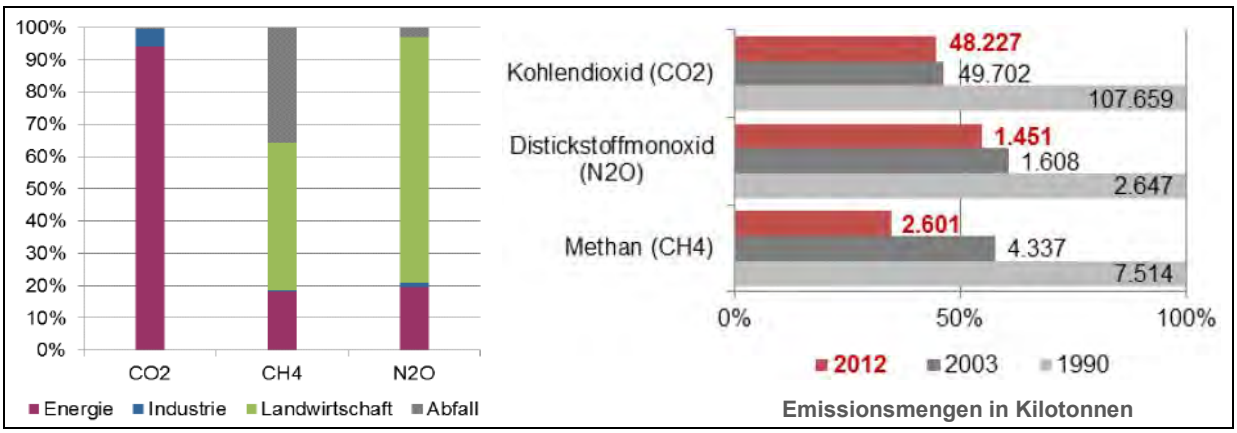


Abb. 2.4-42: THG-Emission in Sachsen nach Emittenten und Emissionsmenge (Auszug: SCHREIBER 2015b)

Tab. 2.4-29: Anteil der THG-Emissionen in Sachsen nach Emittenten (Auszug: SCHREIBER 2015a)

Emittenten	Treibhausgasemissionen in Sachsen 2012							
	CO_2		CH_4		N_2O		Summe THG	
	Tonnen	Anteil*	t CO2eq	Anteil*	t CO2eq	Anteil*	Tonnen	%-Anteil
Großfeuerungsanlagen	29 497 453	61 %	18 910	1 %	178 102	12 %	29 694 465	57 %
Kleinfeuerungsanlagen	5 022 310	10 %	14 325	1 %	53 926	2 %	5 090 561	9,7 %
Emissionspfl. Anlagen	4 063 881	8 %	14 552	1 %	27 826	2 %	4 106 259	7,9 %
Verkehr	9 413 333	20 %	11 827	0,5 %	83 998	6 %	9 509 158	18,2 %
Landwirtschaft	32 943	< 1 %	1 195 020	46 %	1 103 994	76 %	2 331 957	4,5 %
Abfalldeponien			874 160	34 %			874 160	1,7 %
Abwasserbehandlung	128 232		35 100	1 %	27 893	2 %	191 225	0,4 %
Kompostierung	68 363		18 104	1 %	14 630	1 %	101 097	0,2 %
Braunkohleförderung			58 860	2 %			58 860	0,1 %
Erdgasverbrauch			320 250	12 %			320 250	0,6 %

* Prozentanteil an der Gesamtemission des jeweiligen Treibhausgases

Kohlendioxid entsteht vorrangig bei der Verbrennung fossiler Energieträger für die Strom- und Wärmeerzeugung sowie durch die Kraftstoffverbrennung in Motoren. Hauptemittent von CO_2 ist der Energiesektor. Im Jahr 2012 wurden in Sachsen 61 Prozent in Großfeuerungsanlagen, 10 Prozent in Feuerungsanlagen privater Haushalte und 20 Prozent durch den Verkehr emittiert. Die Entwicklung der CO_2-Emissionen ist in Sachsen und auch in der Region stark von der Braunkohleverstromung beeinflusst, die im Vergleich zu Erdöl oder Erdgas einen höheren CO_2-Ausstoß verursacht. Durch die wirtschaftliche Umstrukturierung nach 1990, durch Stilllegung veralteter Feuerungsanlagen, Energieträgerumstellung, Modernisierung und Effizienzerhöhung der Kraftwerksanlagen und den vermehrten Einsatz von emissionsreduzierten Anlagetechniken konnten die CO_2-Emissionen in Sachsen bis 1999 um 65 Prozent von rund 108 Mio. t/a auf unter 40 Mio. t/a vermindert werden (vgl. SCHREIBER 2012). Mit Inbetriebnahme der Braunkohlekraftwerke Boxberg IV und Lippendorf zur Stromerzeugung stieg der CO_2-Ausstoß in Sachsen allerdings trotz umfassender Effizienzverbesserungen wieder und schwankt im Zeitraum 2000-2012 zwischen 45 und 50 Mio. t/a (vgl. SCHEIBER 2015a). Ein Abnahmetrend ist nicht zu verzeichnen. Auch die verkehrsbedingten CO_2-Emissionen des Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Flugverkehrs sind trotz fahrzeugtechnischer Entwicklungen in Sachsen von 1996 bis 2012 nur geringfügig von 9,6 auf 9,4 Mio. t/a zurückgegangen (vgl. LFULG 2015, SCHREIBER 2015a).

Im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung (KlimaMORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ konnte für die Region Leipzig-Westsachsen eine Energie- und Klimabilanz erstellt werden, welche die regionale Bestandssituation zum Endenergieverbrauch sowie zur CO_2-Emission in der Region für das Bezugsjahr 2008 untersuchte und Handlungsstrategien zur künftigen Energie- und Treibhausgaseinsparung für die Region bewertete (vgl. IE LEIPZIG 2010).

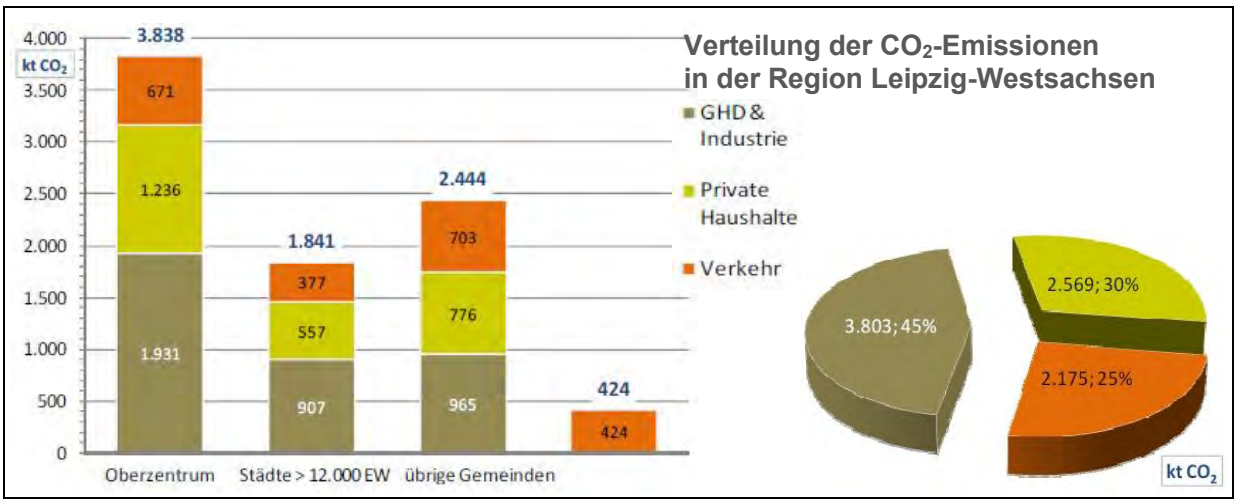


Abb. 2.4-43: CO_2-Emission der Region nach Sektoren und Emissionsmenge (Auszug: IE LEIPZIG 2010)

Der Endenergieverbrauch und die CO_2-Emissionen der Region wurden nach drei Hauptsektoren (private Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD)/Industrie sowie Verkehr) bilanziert und teilräumlich nach drei Siedlungskategorien, dem Oberzentrum Leipzig, den Städten über 12.000 Einwohner (Landkreis Leipzig: Wurzen, Grimma, Markkleeberg, Markranstädt, Borna; Landkreis Nordsachsen: Schkeuditz, Delitzsch, Eilenburg, Torgau, Oschatz, Taucha) und den übrigen Gemeinden der Landkreise differenziert.

Insgesamt wurden in der Region 2008 rund 8.547 kt CO_2 emittiert. Dies entspricht einem Pro-Kopf-Ausstoß von CO_2 in der Region von 8,56 t CO_2/Einwohner. Im Vergleich liegt dies deutlich über dem sächsischen Durchschnittswert von 6,90 t CO_2/Einwohner, jedoch leicht unter dem Bundesdurchschnitt von 9,43 t CO_2/Einwohner (vgl. IE LEIPZIG 2010). Den höchsten Anteil an CO_2-Emissionen verursacht in der Region der Sektor GHD/Industrie mit rund 45 Prozent. Dabei entfielen über die Hälfte der CO_2-Emissionen aus diesem Sektor auf das Oberzentrum Leipzig, während die Städte über 12.000 Einwohner und die übrigen Gemeinden jeweils rund ein Viertel des gewerblich und industriell bedingten CO_2-Ausstoßes emittierten. Gründe hierfür sind die hohe wirtschaftliche Konzentration und Standortgunst im Ballungsraum Leipzig. Der Hauptanteil an CO_2-Emissionen in Sektor GHD/Industrie wird in der Region durch den Stromverbrauch (62 %) und den Einsatz von Erdgas (20 %) bedingt. Der CO_2-Ausstoß der privaten Haushalte liegt in der Region mit einem Anteil von rund 30 Prozent über dem bundesweiten Vergleichswert von rund 24 Prozent. Als Gründe der Abweichungen im Sektor der privaten Haushalte werden die hohe Anzahl an alter Bausubstanz, die mit dem historischen Gebäudebestand verbundenen denkmalpflegerischen Konflikte bei der energetischen Bestandssanierung sowie die im Bundesdurchschnitt geringe Finanzkraft der Region im Bereich der Gebäudesanierung benannt. Im Bezugsjahr 2008 wurden durch den Sektor Verkehr in der Region rund 25 Prozent des CO_2-Ausstoßes verursacht. Die verkehrsbedingte CO_2-Emission in der Region weist ein im Bundesdurchschnitt vergleichbares Niveau auf. Im Oberzentrum Leipzig wurden durch den Verkehrssektor allerdings mit 1,6 t CO_2/Einwohner deutlich weniger CO_2-Emissionen pro Kopf emittiert als im sächsischen und bundesweiten Durchschnitt. In den Städten über 12 000 Einwohner und insbesondere in den übrigen Gemeinden der Region sind hingegen durch den Sektor Verkehr mit rund 2,25 bzw. 3,18 t CO_2/Einwohner deutlich höhere CO_2-Emissionen pro Kopf zu verzeichnen, welche deutlich über dem sächsischen Pro-Kopf-Vergleichswert liegen. Vor allem periphere Räume im ländlichen Raum weisen hohe verkehrsbedingte CO_2-Emissionen auf. Abweichungen im Sektor Verkehr werden infolge des regional unterschiedlichen Nutzungsgrades nichtmotorisierter Verkehrsmittel, durch Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf energieeffizientere Mobilitätsformen des ÖPNV sowie aufgrund der regional verschiedenen Erreichbarkeiten und Pendlerdistanzen abgeleitet. Die sektorale und räumliche Verteilung der CO_2-Emissionen in der Region ist in Tab. 2.4-30 zusammengefasst.

Tab. 2.4-30: Regionale CO_2-Emissionen nach Sektoren und Siedlungskategorien (vgl. IE LEIPZIG 2010)

Sektorale Verteilung	**Bundesrepublik**	**Freistaat Sachsen**	**Region Leipzig-Westsachsen**				
			OZ Leipzig	Städte > 12000 EW	übrige Gemeinden	ohne Zuordnung	Gesamtregion
CO_2-Gesamtemission [kt]	**775 148**	**29 052**	**3 838** [45 %]	**1 841** [21 %]	**2 444** [29 %]		**8 547**
Emission pro Kopf	**9,43**	**6,9**	**7,76**	**9,26**	**9,52**		**8,56**
Sektor GHD/Industrie [kt]	403 484	14 175	1 931 [50 %]	907 [49 %]	965 [40 %]		3 0803 [45 %]
Emission pro Kopf	4,91	3,37	3,75	4,35	3,51		3,81
Sektor private Haushalte [kt]	187 014	14 175	1 236 [32 %]	557 [30 %]	776 [32 %]		2 569 [30 %]
Emission pro Kopf	2,28	1,88	3,75	4,35	3,51		3,81
Sektor Verkehr [kt]	184 650	6 926	671 [18 %]	377 [21 %]	703 [29 %]	424	2 569 [25 %]
Emission pro Kopf	2,25	1,64	1,62	2,25	3,18		2,18

Bezugsjahr der Emissionsangaben für Bundesrepublik und Freistaat Sachsen ist 2007, für die Region 2008; Prozentangaben der Siedlungskategorien beziehen sich auf den sektoralen Anteil an der CO_2-Gesamtemission der jeweiligen Siedlungskategorie; die Kategorie „Ohne Zuordnung“ bezieht sich auf Schienen- und Flugverkehr

Das Treibhausgas **Methan** entsteht vorrangig durch Rinderhaltung in der Landwirtschaft und bei Abbauprozessen in Deponien oder Altablagerungen (SCHREIBER 2015a: 46 % Landwirtschaft, 34 % Abfalldeponien, 18 % sonstige Quellen - Erdgasverbrauch, Braunkohleförderung, emissionspflichtige Anlagen, Feuerungsanlagen, Abwasserbehandlung, Kompostierung). Die Emissionsmengen von CH_4 sind in Sachsen seit 1990 kontinuierlich zurückgegangen und konnten bis 2010 um 60 Prozent reduziert werden. Emissionsminderungen wurden vor allem im Abfallsektor durch Deponiegasreduzierung, Rekultivierungen oder energetische Reststoffverwertung erzielt. THG-Emissionen der sächsischen Landwirtschaft haben sich hingegen seit 1992 nach Verringerung der ostdeutschen Tierbestände kaum verändert (LFULG 2016). Im Zeitraum 2010-2012 sind die Emissionen von CH_4 in Sachsen um 8 Prozent gestiegen. Insgesamt wurden 2012 über 104.000 t Methan (rund 2.601 kt CO_2-Aquivalente) in Sachsen emittiert (vgl. SCHREIBER 2015a).

Hauptemittent für **Distickstoffmonoxid** ist die Landwirtschaft, insbesondere der Pflanzenanbau durch den Emissionsaustrag aus Böden (Mineral- und Wirtschaftsdüngerausbringung, Ernterückstände, Denitrifizierung durch Bodenbakterien) sowie durch Emissionen aus Ställen und Düngemittellagern (SCHREIBER 2012: 80 % Landwirtschaft, 9 % Großfeuerungsanlagen, 4 % Verkehr, 4 % emissionspflichtige Anlagen, 3 % sonstige Quellen). Die Emissionsmengen von N_2O sind in Sachsen von 1990 bis 1992 um rund 34 Prozent gesunken und unterliegen seither jährlichen Schwankungen in Abhängigkeit der ausgebrachten Düngermengen. Im Jahr 2012 wurden in Sachsen 4.869 t N_2O (rund 1.451 kt CO_2-Aquivalente) emittiert (vgl. SCHREIBER 2015a).

Insgesamt konnte die THG-Emission in Sachsen bis 2012 im Vergleich zum Referenzjahr 1990 um rund 55 Prozent vermindert werden (vgl. SCHREIBER 2015a). In den letzten Jahren haben die Emissionsminderungen prozentual jedoch stark abgenommen. Im Jahr 2012 überschritten nach SCHREIBER (2015a) die CO_2-Emissionen pro Kopf in Sachsen mit 11,9 t CO_2/EW aufgrund des höheren Einsatzes von Braunkohle als Energieträger deutlich den bundesweiten Vergleichswert (10,2 t CO_2/EW). Weitere deutliche Einsparungspotenziale sind deshalb erforderlich, um die Minderungsziele für Treibhausgase gemäß dem Sächsischen Energie- und Klimaprogramm 2012 zu erreichen und nachhaltig zur europäischen Energie- und Klimapolitik beizutragen.

Langfristiges Kernziel der europäischen Energie- und Klimapolitik ist es, die THG-Emissionen bis 2050 EU-intern um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 zu senken. Die Bundesrepublik hat hierzu im Energiekonzept 2010 ehrgeizige Strategien zum Klimaschutz festgelegt, wonach der Anteil erneuerbarer Energien stetig erhöht (*bis 2020 auf 18 % des Bruttoendenergieverbrauchs, bis 2050 auf mindestens 80 % des Bruttostromverbrauchs*), die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gesteigert (*bis 2025 auf 40 bis 45 %, bis 2035 auf 55 bis 60 %*), die Verbrauchswerte gegenüber dem Bezugsjahr 2008 hingegen gesenkt (*für Primärenergie bis 2020 um 20 %, bis 2050 um 25 %; für Strom bis 2020 um 10 %, bis 2050 um 25 %*), die Sanierungsrate für Gebäude verdoppelt (*von derzeit knapp 1 % auf 2 % des Gebäudebestandes pro Jahr*) und im Sektor Verkehr der Endenergieverbrauch gegenüber 2005 reduziert (*bis 2020 um 10 %, bis 2050 um 40 %*) werden sollen (vgl. SCHREIBER 2015a). Die Klimaschutzziele des Freistaates sind im Sächsischen Energie- und Klimaprogramm 2012 festgeschrieben und konzentrieren sich maßgeblich auf Gebäudewirtschaft, private Haushalte, öffentliche Verwaltung und den Verkehrssektor. Zum Schutz des Klimas wird in Sachsen eine Minderung der CO_2-Emissionen gegenüber dem Referenzjahr 2009 um 25 Prozent bis 2020 *(im privaten Sektor um rund 1,5 Mio. t CO_2 [26 %], im Verkehrssektor um rund 2,1 Mio. t CO_2 [23 %]*) sowie ein ausgewogener Mix unterschiedlicher Energieträger angestrebt (vgl. SCHREIBER 2015b). Minderungspotenziale bestehen vorrangig in der umweltgerechten Gestaltung des Energiesystems, in der Steigerung der Energieeffizienz, im Ausbau erneuerbarer Energien sowie in Marktanreizen und Finanzierungsprogrammen zur Gebäudesanierung oder Energieeinsparung in Gewerbe, Industrie und Haushalten. Zur Senkung der verkehrsbedingten CO_2-Emissionen ist in Sachsen eine stärkere Verminderung des Gesamtausstoßes erforderlich. Das Energie- und Klimaprogramm 2012 des Freistaates wird aktuell fortgeschrieben.

Weitere Einsparungspotenziale für THG-Emissionen lassen sich in Sachsen zudem im Bereich Landwirtschaft und für die Abfallwirtschaft ableiten. Gemäß LFULG (2016) sind Minderungen der N_2O-Freisetzung in Sachsen durch Maßnahmen zur Senkung des Stickstoffüberschusses im Boden und durch Verbesserungen im Wirtschaftsdüngermanagement erreichbar. Eine Reduzierung von CH_4-Emissionen kann durch optimierte Futtereinsätze in der Tierhaltung erzielt werden. Weitere Einsparungspotenziale bestehen zudem durch Verbesserung der Energieeffizienz in der landwirtschaftlichen Produktion (Dieseleinsparung, Senkung des Stromverbrauchs bspw. in Ställen und Lagern, Senkung des Wärmeverbrauchs im Unterglasanbau, Erhalt und Etablierung von

Grünland, Erhöhung des Leguminosenanteils im Futterbau etc.) sowie durch Effizienzsteigerung in der energetischen Biomassenutzung. In der Abfallwirtschaft können THG-Emissionen vor allem durch Effizienzsteigerung der Verwertungsprozesse bspw. in der Behandlung von Deponieabfällen, im Recycling von Metallschrott, Verpackungen und Altpapier oder durch eine verbesserte energetische Abfallverwertung bspw. von Bioabfällen vermindert werden.

In der Region liegen die maßgeblichen Herausforderungen zur Minderung von CO_2-Emissionen gemäß IE LEIPZIG (2010) vor allem in der Senkung des Energieverbrauches und der effizienten Energienutzung entlang der gesamten energiewirtschaftlichen Wertschöpfungsketten sowie im schrittweisen Umbau der Energieerzeugungsstruktur. Im Sektor GHD/Industrie kann eine verstärkte Substitution emissionsreicher Industrien sowie die Ansiedlung und Förderung neuer Wirtschaftszweige mit verbrauchsreduzierten, energieeffizienten Prozessen nachhaltig zu einer Reduzierung des Endenergieverbrauches und der regionalen CO_2-Emission beitragen. Regionale Minderungspotenziale im Sektor der privaten Haushalte bestehen durch weitere Umstellung und Effizienzsteigerung von Heizungssystemen, Erhöhung der Dämmungs- und Sanierungsgrade im Gebäudebestand, erhöhte Anpassung an energetische Standards, durch einen verstärkten energieeffizienten Wohnungsneubau sowie durch veränderte individuelle Nutzerverhalten. Im Sektor Verkehr liegen die regionalen Minderungspotenziale maßgeblich in der Verkehrsvermeidung (durch Steuerung der Siedlung- und Gewerbeflächenentwicklung, Stärkung der Innenstädte und Minderung des Verkehrsaufwandes infolge kurzer Erreichbarkeiten), im Ausbau und der Attraktivitätssteigerung energieeffizienter öffentlicher Verkehrsmittel sowie in der weiteren Förderung des nichtmotorisierten Verkehrs, vor allem auch in ländlichen Räumen.

2.4.6.3 Wirkung von Luftschadstoffimmissionen auf Ökosysteme

Die Emission von Luftschadstoffen im Zuge der Industrialisierung führte ab Mitte des 19. Jahrhunderts großflächig zu einer neuen Art und Qualität der Stoffbelastung von Ökosystemen. Bis weit in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts waren es vorwiegend Schwefelverbindungen der Kohlekraftwerke, die das regionale Emissionsgeschehen bestimmten und zu einer vermehrten Versauerung von Ökosystemen führten. Nach Minderung der Schwefelbelastungen infolge restriktiver Luftreinhaltepolitik in Industrie und Energiewirtschaft haben in den letzten Jahrzehnten demgegenüber die Emissionen von Stickstoffverbindungen aus Verkehr und Landwirtschaft stark an Bedeutung gewonnen, so dass übermäßige Stickstoffeinträge nun vielerorts den Hauptbelastungsfaktor für Ökosysteme darstellen und zu erhöhter Eutrophierung führen (vgl. Kap. 2.4.6.2/Versauerungs- und Eutrophierungsgase).

Auswirkungen auf Waldökosysteme

Sowohl Schwefel- als auch Stickstoffverbindungen fungieren in der Luft als Säurebildner und sind durch Ferntransporte und Bildung des sogenannten „Sauren Regens“ auch in peripheren Waldgebieten von Bedeutung. Es ist unumstritten, dass infolge dieser Schadstoffbelastungen – neben den direkten Schäden an den oberirdischen Pflanzenorganen – vor allem eine beschleunigte Veränderung der chemischen und biologischen Bodeneigenschaften stattgefunden hat (SBS 2006). Versauernd wirkende Schwefel- und Stickstoffverbindungen können zu Beeinträchtigung und Verlust wesentlicher Standorteigenschaften führen, senken den pH-Wert der Waldböden, verändern die Lebensbedingungen für Bodenorganismen, die Nährstoffmobilität und -auswaschung und führen damit längerfristig zu Säurestress, Mangelernährung, Blattverfärbungen und Blattverlust sowie zu Wurzelschäden und Verlagerung der Schadstoffbelastungen bis ins Quell- und Grundwasser (vgl. SBS 2016).

Mit Abnahme der Schwefelemissionen in Sachsen seit 1990 sind auch die Schwefelgehalte der Niederschläge und die damit verbundenen Schwefeleinträge in Waldökosysteme signifikant zurückgegangen. Gemäß der jährlichen Waldzustandserhebungen des Staatsbetriebes Sachsenforst (vgl. SBS 2016) verursachten immissionsbedingte Versauerungen bis 1999 überdurchschnittlich hohe Kronenverlichtungen und Bestandsschäden in Wäldern. Besonders beeinträchtigt waren Nadelwaldbestände aufgrund ihrer ganzjährigen Belaubung. Die Veränderung der Schadstoffemissionen in Sachsen (vgl. Kap. 2.4.6.2) hat jedoch zu einem Wechsel der Belastungssituation der Wälder geführt. Seit dem Rückgang der säurebildenden SO_2-Emissionen gewinnen vor allem Stickstoffverbindungen aber auch Ozon als Belastungsfaktoren an Bedeutung. Stickstoffimmissionen (NO_x, NH_4) tragen durch den Eintrag von Nitrit- bzw. Nitrationen oder als

Ammoniumverbindungen sowohl zu Versauerungs- als auch zu Eutrophierungsprozessen in Wäldern bei und sind zudem eine Vorläufersubstanz der Ozonbildung. Stickstoffverbindungen sind wichtige Pflanzennährstoffe, führen im Übermaß jedoch zur Wachstumsbeschleunigung und zu Nährstoffungleichgewichten, beeinträchtigen damit die Pflanzenernährung (Nährstoffmangelverhältnisse), erhöhen die Anfälligkeit der Waldbestände gegenüber anderen Stressfaktoren und verstärken die Nährstoffauswaschung ins Sicker- und Grundwasser. Vor allem in trockenen Regionen kann ein Stickstoffüberangebot durch die erhöhte Wuchsleitung und Biomasseproduktion zu ernsthaften Problemen hinsichtlich der Wasserversorgung in Waldbeständen führen (vgl. SBS 2006). Hohe Stickstoffbelastungen der Wälder (mit Überschreitung der kritischen Belastbarkeitsgrenzen für eutrophierende Stickstoffeinträge von jährlich 10-15 kg N/ha) sind in der Region in den Heidelandschaften und im Südraum Leipzig zu verzeichnen (vgl. Abb. 2.4-41). Als Indikator für Bestandsschäden und den Vitalitätszustand der Wälder wird in Sachsen die Kronenverlichtung (Belaubungs- bzw. Benadelungszustand) herangezogen und durch ein jährliches Monitoring überwacht. Gemäß dem Waldzustandsbericht 2016 lassen die Wuchsgebiete des Westlichen Tieflandes sowie des Mittelsächsischen Lösshügellandes in der Region in Bezug auf die Kronenverlichtung keinen eindeutigen Trend erkennen. Zeitlich versetzt wechseln sich Phasen hoher und niedriger Nadel- bzw. Blattverluste ab (vgl. Abb. 2.4-44).

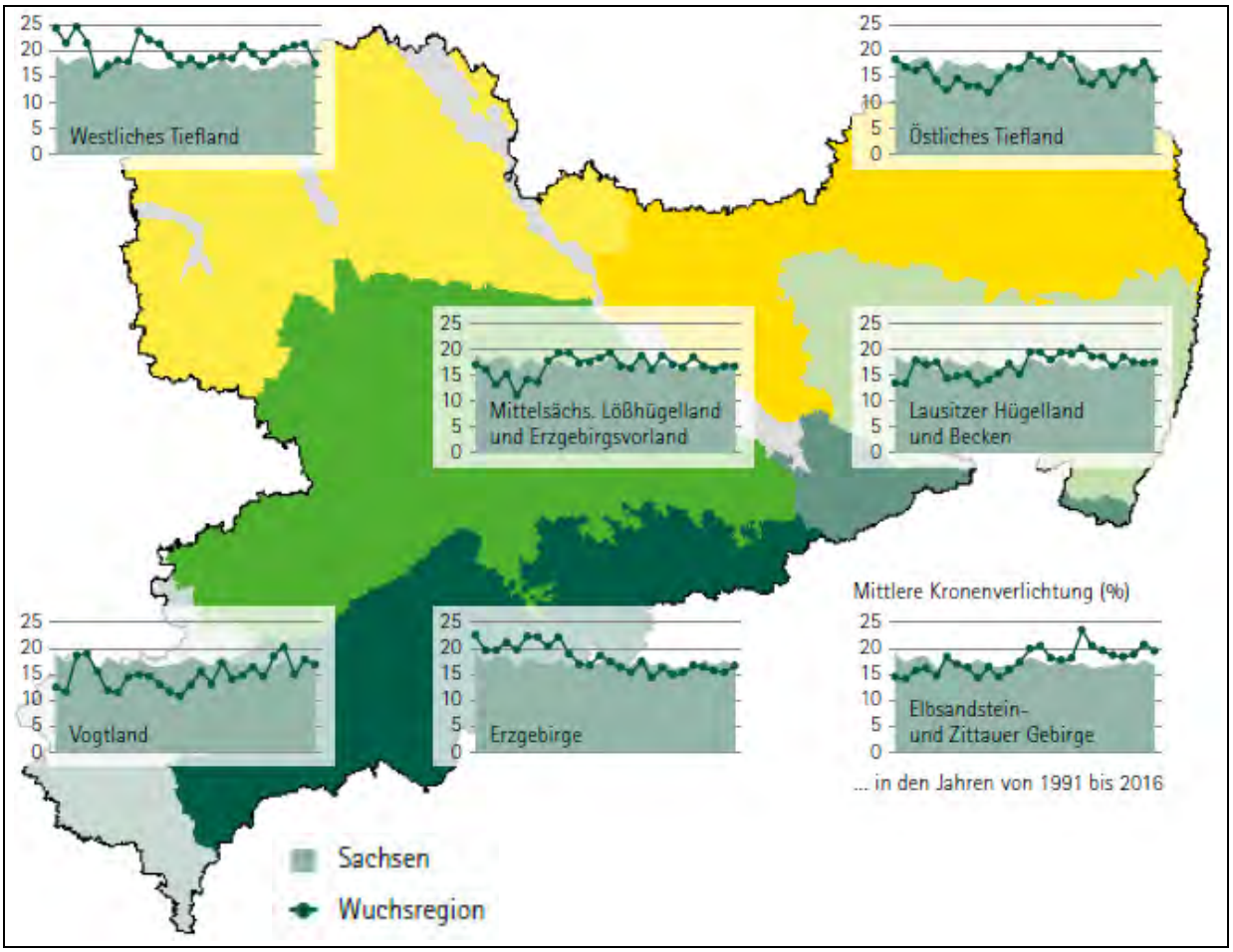


Abb. 2.4-44: Vergleich der Belastungssituation der Wälder an Hand der mittleren Kronenverlichtung von 1991 bis 2016 (Auszug: SBS 2016)

Seit dem Rückgang der Immissionsbelastungen in den 1990er Jahren wirken sich klimatische Einflüsse und biotische Schadfaktoren allerdings wesentlich entscheidender auf den Waldzustand und den Vitalitätsgrad aus (vgl. Kap. 2.4.4/Forstwirtschaft). In den Wuchseinheiten der Region wechseln sich ungünstige Witterungsperioden (vor allem anhaltend starke, wiederkehrende Trockenheit und Stürme) und biotische Einflussfaktoren (Schädlingskalamitäten, Pilzkrankheiten) als Hauptursache für Stressbelastungen und Bestandsschäden in Wäldern ab (vgl. SBS 2016). Während die immissionsbedingte Versauerung von Waldböden in den letzten Jahrzehnten

stark vermindert werden konnte, stellt die Eutrophierung von Waldbeständen eine anhaltende Beeinträchtigung insbesondere für sensitive oligotrophe Waldgesellschaften der Region dar.

Auswirkungen auf Offenland- und Gewässerökosysteme

Im Freistaat Sachsen sind neben den Waldökosystemen besonders die Offenlandlebensräume auf mittleren bis armen, meist extremen Standorten sowie aquatische Lebensräume durch Schadstoffemissionen aus der Luft gefährdet (vgl. LFULG 2004, IHL ET AL. 2014).

In Gewässern ist die Pufferkapazität für saure Stoffeinträge geringer als im Boden. Wird das natürliche Puffervermögen überschritten versauern die Gewässer. Aufgrund der meist hohen Spezialisierung der aquatischen Arten an spezifische Stoffkonzentrationen und pH-Werte hat die Versauerung weitreichende Folgen auf den Gewässerzustand und die Lebensraumqualität. Versauerte Gewässer sich durch eine Verarmung ihrer Flora und Fauna gekennzeichnet. Auch der erhöhte Eintrag von eutrophierenden Stickstoffverbindungen in Gewässer führt längerfristig zu einer Nivellierung der Ökosysteme, da die erhöhte Nährstoffverfügbarkeit das Pflanzenwachstum und die Algenblüte befördert, die Biomasseproduktion und Sauerstoffzehrung in den Gewässern erhöht und damit zu veränderten Konkurrenzverhältnissen und der Verdrängung von Arten beiträgt. Langsam fließende und stehende Gewässerbiotope sind davon besonders beeinträchtigt.

In Offenlandlebensräumen bewirken die Luftschadstoffbelastungen vor allen ein wachsendes Nährstoffungleichgewicht und den Verlust der Artenvielfalt. Durch das immissionsbedingte Überangebot an Stickstoffverbindungen sind maßgeblich naturnahe bis halbnatürliche Offenlandbiotope mit meso- oder oligothropher Ausprägung und einer langen Entwicklungsdauer starken Veränderungen unterworfen (vgl. LFULG 2004, UBA 2011). Als Folgen der Eutrophierung sind neben den veränderten Standorteigenschaften (Nährstoffstufe, Humusgehalt) eine verstärkte Ausbreitung von nitrophilen Konkurrenzarten, Verschiebungen der Artenzusammensetzung, die Verdrängung und der Verlust an seltenen und gefährdeten Arten mit Bindung an oligothrophe bzw. extreme Standorte sowie die beschleunigte Sukzession, Vergrasung und Verschattung wertvoller, insbesondere „magerer“ Offenlandbiotope zu verzeichnen.

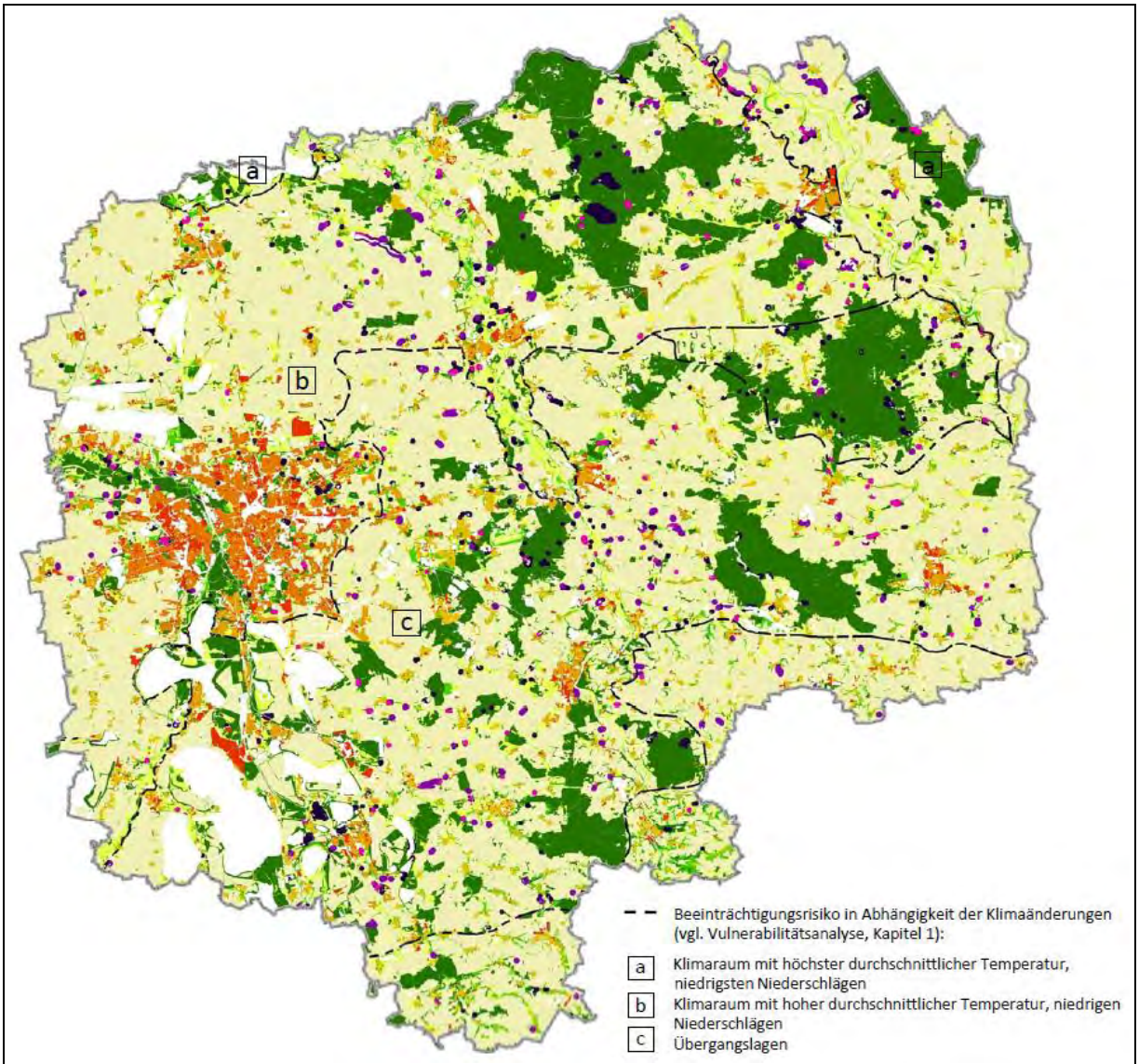
2.4.7 Klimaschutzrelevanz von Ökosystemen und Landnutzungen

Der projizierte Klimawandel in der Region (vgl. Kap. 2.4.3) wirkt sich auf land- und forstwirtschaftlich genutzte sowie auf extensive oder naturnahe Ökosysteme aus (vgl. Kap. 2.1.5 und 2.4.4). Diese werden durch veränderte Klimabedingungen mitunter maßgeblich beeinflusst (bspw. infolge von Trockenstress, Witterungsextremen, Arealverschiebungen etc.). Gleichwohl stellen auch Ökosysteme und Landnutzungen selbst klimabeeinflussende Wirkfaktoren dar, können klimarelevante Treibhausgase (THG) freisetzen oder aber zurückhalten und binden. Aus diesen Wechselwirkungen können sich sowohl Chancen für den Klimaschutz aber auch Verletzbarkeiten und klimarelevante Gefährdungspotenziale ergeben (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

Ökosysteme und Landnutzungen können in unterschiedlichem Maße zur THG-Bilanz der Region beitragen. Sie weisen folgende klimarelevante Wirkfaktoren auf:

- Ökosysteme speichern und konservieren in Form von belebter wie unbelebter Biomasse oder organischer Substanz im Boden den organisch gebundenen Kohlenstoff und bilden langjährige Kohlenstoffvorräte. (THG-SPEICHER)
- Ökosysteme können der Atmosphäre aktiv Kohlendioxid (CO_2) entziehen und dieses in organischen Kohlenstoffverbindungen durch photosynthetische Prozesse binden; sie senken hierdurch klimarelevante CO_2-Konzentrationen der Luft. (THG-SENKE)
- Unter veränderten Klima- und Bewirtschaftungsbedingungen können Ökosysteme und Landnutzungen im Umkehreffekt, durch Zersetzung und Mineralisierung von organischer Substanz, aber auch weit über das natürliche Maß hinaus Treibhausgase emittieren. (THG-QUELLEN)

Im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung (KlimaMORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ wurde für die Region die Klimaschutzrelevanz und -wirksamkeit von Ökosystemen und Landnutzungen (deren Speicher-, Senken- und Quellenpotenzial für THG) räumlich differenziert abgeschätzt, um hieraus Schutz-, Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen für die Region abzuleiten und mögliche Einsparungspotenziale aufzuzeigen. In Abb. 2.4-45 ist die Klimawirksamkeit der Ökosysteme und Landnutzungen in der Region dargestellt.



Landnutzungen mit klimaschutzrelevanten Kohlenstoffvorräten (THG-Speicher):

- sehr hohe Kohlenstoffvorräte der Ökosystemböden (naturnahe Moorökosysteme)
- sehr hohe Kohlenstoffspeicherleistung der Ökosysteme (Waldökosysteme)

Landnutzungen mit klimaschutzrelevanter Kohlenstoffbindefähigkeit (THG-Senken):

- sehr hoch (Dauergrünland)
- hoch (Moore und Feuchtgebietsnutzungen)
- mittel (Wirtschafts-/Intensivgrünland, Grün- und Freiflächen)
- gering bis keine (Ackerland, Sonderkulturen, Gärten und Grabeland)

Landnutzungen mit klimaschutzrelevanten Emissionspotenzialen (THG-Quellen):

- sehr hoch (Ackerland, Gärten etc. auf reliktischen Moorstandorten)
- Hoch (Intensivgrünland auf reliktischen Moorstandorten)

Landnutzungen mit bedeutsamen THG-Emissionen:

- sehr hoch (Gewerbe- und Industrieflächen)

Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsflächen:

- hoch (im Oberzentrum Leipzig)
- mittel (in Mittelzentren, Verdichtungsraum Leipzig
- gering (in übrigen Gemeinden der Region)

Abb. 2.4-45: Klimawirksamkeit regionaler Ökosysteme und Landnutzungen (Auszug: SCHMIDT ET AL. 2010)

Treibhausgasspeicher

Ökosysteme und Landnutzungen mit langjähriger Kohlenstoffbindung (infolge geringerer Nutzungsintensität oder langer Umtriebszeiten) und kontinuierlicher Kohlenstoffspeicherung in Form von Biomasse, Streu und Totholz oder in Ökosystemböden feucht-nasser Ausprägung besitzen eine sehr hohe Vorratsleistung. Sie bilden raumbedeutsame Vorratsspeicher. Ökosysteme und Landnutzungen mit sehr hohen bzw. hohen Kohlenstoffvorräten sind aufgrund ihrer großen Menge an potenziell freisetzbarem Kohlendioxid besonders klimaschutzrelevant und weisen einen erhöhten Schutz-, Vorsorge- und Anpassungsbedarf auf, vor allem in Räumen mit projizierter hoher Klimaänderung (vgl. Kap. 2.4.3).

Ökosysteme und Landnutzungen mit raumbedeutsamer Kohlenstoffspeicherfunktion in der Region sind nach SCHMIDT ET AL. (2011):

- intakte, naturnah bewirtschaftete oder ungenutzte Moore, Moorwälder, Torfstiche, Niedermoore und Riede (sehr hohe Kohlenstoffvorräte in Biomasse und Ökosystemböden)
- naturnah bewirtschaftete, struktur- und artenreiche Wälder und Forste (sehr hohe Kohlenstoffvorräte in Biomasse, Streu und Totholz; insbesondere in Wäldern der Flussauen, Niederungen sowie in Moorwäldern)
- Feuchtgebietskomplexe, Röhrichte, feucht-nasse Ruderalfluren, Feucht-Nassgrünland (hohe Kohlenstoffvorräte in Biomasse und Ökosystemböden)
- Reliktstandorte von Moorökosystemen (beeinträchtigte, reliktische Kohlenstoffvorräte in Ökosystemböden)

Hohe Kohlenstoffvorräte sind in der Region in den Moorökosystemen der Dübener Heide gespeichert. Infolge ihrer nassen Standortausprägung und überaus hohen Kohlenstoffspeicherfunktion sind diese als besonders verletzlich gegenüber THG-freisetzenden Klima- und Nutzungsänderungen zu bewerten und befinden sich zudem in einem Raum mit projizierter Klimaänderung (hohe Durchschnittstemperaturen, niedrige Niederschläge).Sie weisen folglich einen erhöhten Schutz- und Vorsorgebedarf auf. Kohlenstoffspeichernde Niedermoorstandorte häufen sich zudem in den Gewässerauen der Region (Elster-Luppe-Aue, Partheaue, Muldeaue, Elbaue), im Mulde-Porphyrhügelland und in der Dahlener Heide. Aufgrund ihrer meist kleinräumigen Ausprägung sind stabilisierende Nutzungsanpassungen zum Erhalt bzw. zur Wiederherstellung der naturnahen Bodenfeuchteregime sowie zur Pufferung von Beeinträchtigungen von Bedeutung. Ebenfalls raumbedeutsame Kohlenstoffvorräte lagern in den großflächig zusammenhängenden Waldgebieten der Region (Leipziger Auwald, Prellheide-Noitzscher Heide, Dübener, Dahlener und Annaburger Heide, aber auch Planitzwald, Torgauer Ratsforst, Wermsdorfer Forst, Thümmlitzwald und Colditz-Glastener Forst). Wälder sind in ihrer Funktion als raumbedeutsame Kohlenstoffspeicher und -senken zu erhalten und in ihrer Vitalität zu stärken. Waldgebiete in Räumen mit projizierter starker Klimaänderung bedürfen zudem besonderer Schutz- und Anpassungsmaßnahmen (Waldumbau, Mehrung stabiler, struktur- und artenreicher Bestände).

Treibhausgassenken

Ökosysteme und Landnutzungen verfügen in Abhängigkeit ihrer Naturnähe, Nutzungsart und -intensität über bedeutsame Kohlenstoffbindefähigkeiten und Senkenleistungen. Sie wirken als Kohlenstoffsenke, wenn die Aufnahme von Kohlenstoff in der Biomasse und den Ökosystemböden größer ist als dessen Veratmung und Mineralisierung bzw. Entnahme von Kohlenstoff infolge von Ernten (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011). Für die nachhaltige Stabilisierung von Ökosystemen und Landnutzungen mit hoher Kohlenstoffbindefähigkeit und -senkenfunktion sind erhöhte Schutz-, Vorsorge- und Entwicklungsmaßnahmen erforderlich.

Ökosysteme und Landnutzungen mit raumbedeutsamer Kohlenstoffsenkenfunktion in der Region sind nach SCHMIDT ET AL. (2011):

- Waldökosysteme
- Dauergrünland (Extensivgrünland, Feucht-Nassgrünland, Streuwiesen, Wiesen und Weiden sowie Ruderal- und Staudenfluren)
- Moore und Feuchtgebiete (Riede, Röhricht, Verlandungsbereiche)

Intensivgrünland und ackerbauliche Nutzungen binden Kohlendioxid hingegen nur sehr kurzfristig. Die kurze Verweildauer des organischen Materials, der schnelle Stoffumsatz und Entzug

der produzierten Biomasse, insbesondere in einjährigen Anbaukulturen befördern die Kohlenstoffzehrung und -freisetzung. Intensive ackerbauliche Landnutzungen wirken deshalb zumeist als THG-Quelle (SCHMIDT ET AL. 2011).

Bedeutsame und effiziente Kohlenstoffsenkenpotenziale bilden in der Region die großflächig zusammenhängenden Waldgebiete (Leipziger Auwald, Dübener und Dahlener Heide, Prellheide-Noitzscher Heide, Annaburger Heide aber auch Planitzwald, Torgauer Ratsforst, Wermsdorfer Forst, Thümmlitzwald und Colditz-Glastener Forst). Ihre Senkenleistung und Funktionsfähigkeit sind dauerhaft zu sichern und vor konkurrierenden Nutzungen zu schützen. Durch nachhaltige Entwicklungsmaßnahmen (Waldumbau und Mehrung stabiler, standort- und klimaangepasster Waldbestände, verlängerte Umtriebszeiträume, Förderung des Alt- und Totholzanteils) lassen sich die Kohlenstoffsenkenpotenziale der Wälder der Region zudem zusätzlich erhöhen (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

Einen besonderen Schutz erfordern auch die kohlenstoffsenkenden, extensiven Grünlandnutzungen der Region. Diese häufen sich im Mulde-Lösshügelland östlich Colditz, im Kohrener Land und in südlichen Teilbereichen der Bad Lausicker Hügellandschwelle. Extensiv bewirtschaftetes Grünland in Flussauen und Feuchtgebieten (Feucht-Nassgrünland, Extensivweiden, Ried-/Streuwiesen) verfügt über eine besondere Senkenleistung. Es ist deshalb an geeigneten Standorten zu mehren. Intensivgrünland sowie ackerbaulich genutzte Standorte auf feucht-nassen oder wechselfeuchten Böden bilden hierfür geeignete Entwicklungsbereiche. Extensives Dauergrünland ist nachhaltig vor Landnutzungsänderung (Grünlandumbruch, Nutzungsintensivierung) und standörtlichen Beeinträchtigungen zu schützen und ggf. durch gezielte Vorsorgemaßnahmen (Nutzungsreduzierung, Rotationsbewirtschaftung, Wiedervernässung) zu stärken.

Treibhausgasquellen

Ökosysteme und Landnutzungen können allerdings auch bedeutsame und großflächige THG-Quellen darstellen. Ein hohes Emissionspotenzial weisen vor allem nicht standortangepasste landwirtschaftliche Nutzungen auf. Emissionsmindernde Anpassungsmaßnahmen können deshalb einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von THG-Emissionen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen leisten (standortverträgliche Bewirtschaftungsformen, konservierende Bodenbearbeitung zur Minderung der THG-Freisetzung aus Ackerflächen, Reduzierung von Düngeüberschüssen, Erhalt von Ernterückständen auf der Fläche, biologischer Anbau). Ein besonderes Entwicklungs- und Einsparungspotenzial besitzen landwirtschaftlich Nutzflächen auf Böden mit hohen Kohlenstoffgehalten und hohem natürlichen Senkenpotenzial, insbesondere in den Auen und Feuchtgebieten der Region.

Ökosysteme und Landnutzungen mit raumbedeutsamem Emissionspotenzial in der Region sind nach SCHMIDT ET AL. (2011):

- Ackerland, Sonderkulturen, Gärten etc. auf reliktischen Moorstandorten
- Intensivgrünland auf reliktischen Moorstandorten

Die Klimaschutzrelevanz und Klimawirksamkeit von Ökosystemen wird entscheidend durch deren Sensitivität gegenüber möglichen Klima- und Landnutzungsänderungen bestimmt. Nutzungsänderungen können sowohl mit erheblichen klimarelevanten Emissionen als auch mit signifikanten Einsparungspotenzialen verbunden sein (vgl. SCHMIDT ET AL. 2011).

Emissionen infolge von Landnutzungsänderungen ergeben sich durch:

- Verlust und Rodung von Wäldern,
- landwirtschaftliche Inanspruchnahme und Degradierung von Mooren und Feuchtgebietskomplexen (bspw. ackerbauliche Nutzung von Mooren bis 25 t CO_2/ha),
- Umbruch von Grünland in Acker, insbesondere auf feucht-nassen Standorten, in Niederungen und Überschwemmungsgebieten,
- ackerbauliche Intensivierung der Bodenbearbeitung und erhöhte Düngemittelüberschüsse.

Bedeutsame Emissionsminderungen erzielt hingegen die Nutzungsumwandlung auf gestörten Moorstandorten bspw.:

- von Acker zu Grünland bis 10 t CO2 eq/ha a,
- bei Extensivierung der Grünlandnutzung bis 15 t CO 2 eq/ha a,
- bei Renaturierung bis 30 t CO 2 eq/ha a.

Unter veränderten Bedingungen des Klimawandels (steigende Durchschnittstemperaturen, verringerte Sommerniederschläge, anhaltende Trockenphasen, steigende negative Wasserbilanz) erhöht sich das Risiko von THG-Emissionen durch den verstärkten Abbau der gebundenen Kohlenstoffvorräte im Landschaftsraum, insbesondere in Gebieten feucht-nasser Ausprägung. Die Kohlenstoffbindefähigkeit der Landnutzungen und Böden sinkt infolge zunehmender Bodentemperaturen und verringerter Bodenfeuchte. Landnutzungen mit raumbedeutsamen Kohlenstoffvorräten (Wälder, Moore) erfordern deshalb in Räumen mit projizierter starker Klimaänderung gezielte Schutz-, Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen (bspw. Waldumbau oder Reaktivierung gestörter Wasserhaushaltsregime zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit und Stabilität).

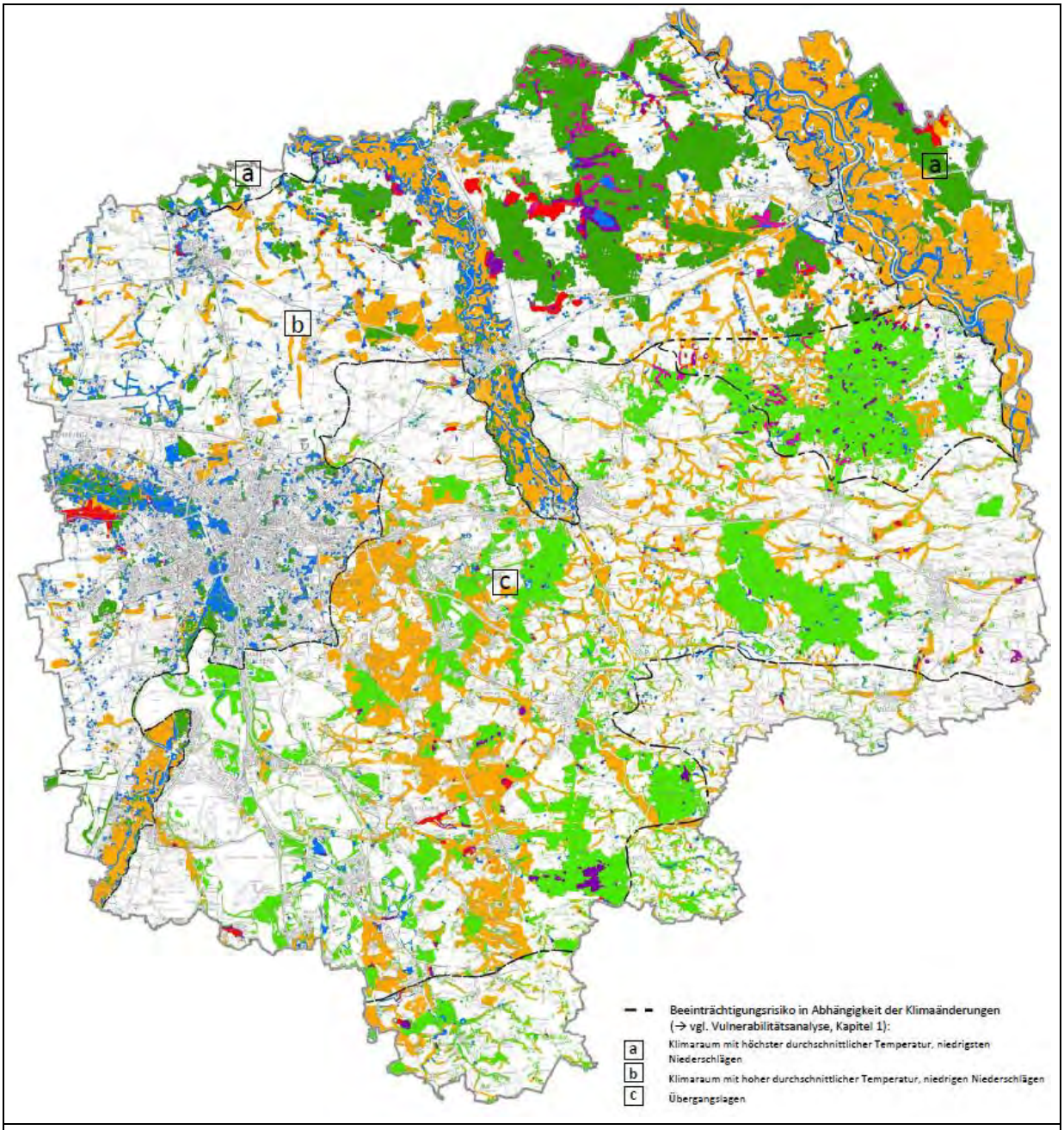
Landnutzungen mit raumbedeutsamer Senken- oder Speicherfunktion für THG sind vorrangig zu erhalten. In Räumen mit projizierter starker Klimaänderung sind diese zudem durch geeignete, standortspezifische Schutz-, Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen ggf. zu stabilisieren und zu stärken. Landnutzungen mit raumbedeutsamen THG-Quellen sind hingegen verstärkt durch eine standortverträgliche Änderung der Nutzung oder Bewirtschaftungsintensität in ihrer Emissionswirkung zu mindern oder zumindest vor zusätzlichem Emissionsaustrag zu bewahren. Entwicklungs- und Einsparpotenziale sind zu nutzen.

In Abb. 2.4-46 sind die klimaschutzrelevanten Handlungsempfehlungen und Entwicklungsstrategien für die Region zusammengefasst. Standortangepasste, ressourcenschonende Raumnutzungen können einen effizienten Beitrag zum Klimaschutz sowie zur Anpassung der Region an den Klimawandel leisten. Ihnen kommt dabei eine wichtige Doppelfunktion zu, sie können:

- die Minderung von klimarelevanten Treibhausgasen unterstützen und THG-Emissionen der Land- und Forstwirtschaft nachhaltig reduzieren
- das Speicher- und Senkenpotenzial für THG im Freiraum erhalten, stärken bzw. erhöhen und Auswirkungen des Klimawandels puffern.

Grundsätzlich lassen sich folgende drei Hauptstrategien zum Klimaschutz bzw. zur Klimaanpassung ableiten:

- Nachhaltige Sicherung von bestehenden raumbedeutsamen Speicher- und Vorratsleistungen durch Erhalt klimaschutzrelevanter Ökosysteme und Landnutzungen (Schutz vor Landnutzungsänderung sowie funktionsstabilisierende Vorsorge- und Schutzmaßnahmen)
- Stärkung und Entwicklung raumbedeutsamer Senkenpotenziale durch Nutzungsanpassung, Extensivierung oder Reaktivierung klimaschutzrelevanter Ökosysteme und Landnutzungen
- Minderung nutzungsbedingter THG-Emissionen und nachhaltige Stärkung von Einsparpotenzialen durch Nutzungsanpassung bzw. -umwandlung von THG-freisetzenden Nutzungsformen in Bereichen der Landschaft mit hohen oder sehr hohen Kohlenstoffvorräten und Speichervermögen



dauerhafter Erhalt der bestehenden Kohlenstoffspeicher und -senken im Freiraum:

- Schutz von Bereichen der Landschaft mit klimaschutzrelevanter Speicher-/Rückhaltefunktion sowie hoher Senkenleistung vor Nutzungsänderung und -intensivierung
- Sicherung der dauerhaften Funktionsfähigkeit von Bereichen der Landschaft mit klimaschutzrelevanten Kohlenstoffvorräten, stabilisierende Vorsorge- und Schutzmaßnahmen in Räumen mit projizierter starker Klimaänderung

nachhaltige Emissionsminderung und Stärkung von Einsparpotenzialen im Freiraum:

- Nutzungsänderung auf THG- freisetzenden landwirtschaftlichen Nutzflächen in Bereichen der Landschaft mit klimaschutzrelevanten Kohlenstoffspeichern

nachhaltige Stärkung der natürlichen Senkenfunktionen und Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Freiraum:

- Entwicklung, Mehrung und Förderung von standortangepassten, kohlenstoffbindenden Landnutzungen in Bereichen der Landschaft mit hohem Senkenpotenzial
- Anpassung der Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität auf Böden mit hohem Kohlenstoffvorrat und Speicherpotenzial
- Reaktivierung reliktischer Kohlenstoffspeichervermögen und Förderung der naturnahen Eigenentwicklung

Abb. 2.4-46: Klimaschutzrelevante Handlungsempfehlungen und Anpassungsstrategien für die Region (Auszug: SCHMIDT ET AL. 2011)

Quellen

39. BIMSCHV [39. VERORDNUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES BUNDESIMMISSIONSSCHUTZGESETZES] (2016): Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV vom 02.08.2010. letzte Änderung vom 10.10.2016. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil I Nr. 48. ausgegeben zu Bonn am 14.10.2016. online unter https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl116s2242.pdf#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl116s2242.pdf%27%5D__1515755114280 (03/2017)

ARGUSOFT [METEOROLOGISCHE ZEITREIHEN FÜR AUSTAL 2000] (2007): online unter http://www.argusoft.de/ austmet/imap/index.html. (01/2007)

BEHRENS, U. & HOFFMANN, K. [DEUTSCHER WETTERDIENST - HRSG.] (2016): Bericht – Stadtklimatische Untersuchungen in Leipzig. Ergebnisse statistischer Auswertungen langjähriger Klimareihen sowie temporärer Stations- und Profilmessungen des Deutschen Wetterdienstes. Potsdam

BERGER, F.; GERWIG, H.; LÖSCHAU, G.; WOLF, U. [SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE - HRSG.] (2007): Jahresbericht zur Immissionssituation 2006 - Materialien zur Luftreinhaltung. Abteilung Integrativer Umweltschutz, Klima, Luft, Strahlen. Dresden. online unter https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13863

BERNHOFER, C., GOLDBERG, V., FRANKE, J., HÄNTZSCHEL, J., HARMANSA, S., PLUNTKE, T., GEIDEL, K., SURKE, M., PRASSE, H., FREYDANK, E., HÄNSEL, S., MELLENTIN, U., KÜCHLER, W. (2008): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. Meteorologische Auswertungen im Zusammenarbeit der Technischen Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie und des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.). Dresden

BERNHOFER, C., FRANKE, J., FISCHER, S., KIRSTEN, L., KÖRNER, P., KOSTROWSKI, D., PRASSE, H., SCHALLER, A., DONIX, T. (2015): Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Heft 3/2015. Dresden

BFT [BÜRO FÜR TERRITORIALPLANUNG LEIPZIG; Hrsg.] (1972): Bezirk Leipzig – Planungsatlas. Karte Klima. Leipzig. 1972.

BÖTTCHER, F. & SCHMIDT, M. (2017): Klimawandel: Sachsen ist mittendrin - Die Witterung des Jahes 2016. 5. Pressegespräch „Wetter trifft auf Klima“. Vortragsreihe des Deutschen Wetterdienstes. Vortrag vom 26.01.2016 in Dresden. online unter

BURKHARDT, I.; DIETRICH, R., HOFFMANN, H., LESCHNER, J., LOHMANN, K.; SCHODER, F.; SCHULTZ, A. (2008): Urbane Wälder. Abschlussbericht zur Voruntersuchung für das Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben „Ökologische Stadterneuerung durch Anlage urbaner Waldflächen auf innerstädtischen Flächen im Nutzungswandel – ein Beitrag zur Stadtentwicklung“. In: Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 63. Bonn

BWB [BADEN-WÜRTTEMBERG, INNENMINISTERIUM] (2004): Städtebauliche Klimafibel Online, Hinweise für die Bauleitplanung. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/kap_5/kap_5-5.htm> (14.02.2007)

DECKER, A., FRANKE, J., TENHOLTERN, R. (2014): Erfassung und Bewertung „Klima und Klimawandel“. Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Freiberg

DWD [DEUTSCHER WETTERDIENST] (2002): Das Bioklima in Deutschland. Bioklimakarten mit Informationsbroschüre des Deutschen Wetterdienstes. Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie Freiburg. Flöttmann Verlag GmbH. 3. Auflage. Gütersloh. online unter http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb2002_pdf/24_2002.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (03/2017)

DWD [DEUTSCHER WETTERDIENST] (2007b): Ausgabe Klimadaten: Phänologische Jahreszeiten <http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/ausgabe_phaeno.htm> (16.01.2007)

DWD [DEUTSCHER WETTERDIENST] (2010): Datensatz der Sturmgefährdung "Mittlere Wiederkehrzeit 50 Jahre" (gesamte BRD). Offenbach

DWD [DEUTSCHER WETTERDIENST] (2015): Phänologie - Klima und Pflanzen. Faltblatt des Deutschen Wetterdienstes, Agrarmeteorologie. 5. Auflage 07/2015. Offenbach. online unter http://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/presse/phaeno_faltblatt.pdf;jsessionid=DD4BA259DD87FC7D6C1FC7763B97E1AA.live21073?__blob=publicationFile&v=1 (01/2017)

DWD [DEUTSCHER WETTERDIENST] (2017): Deutscher Klimaatlas. Mittelwerte der Lufttemperatur in Deutschland bis 2016. online unter http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html (01/2017)

FRANKE, J. (2015): Klimaentwicklung in Sachsen - Stand und Ausblick. In: Klimawandel in Sachsen - wir passen uns an. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.). Dresden

KÜCHLER, W., SOMMER, W. (2005): Klimawandel in Sachsen, Sachstand und Ausblick 2005. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.). Dresden

KUTTLER, W. (1998): Stadtklima. In: Stadtökologie. Sukopp, H. & Wittig, R., Fischer Verlag. Stuttgart.

GRÄTZ, A. & JENDRITZKY, G. (2003): Bioklima – die Bedeutung des Klimas für den Menschen. In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland – Band 3: Klima, Pflanzen- und Tierwelt. Institut für Länderkunde e. V. Leipzig

IE LEIPZIG [LEIPZIGER INSTITUT FÜR ENERGIE GMBH] (2010): Endenergieverbrauch und Handlungsansätze zur Minderung der Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Westsachsen. Expertise im MORO-Modellvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel". Im Auftrag des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-Westsachsen. Leipzig

IHL, A.; HETTWER, C.; MAIER, K.; NOWAK, A.; TENHOLTERN, R.; TRAPP, H.; UHLEMANN, S.; ZÖPHEL, U.; DECKER, A.; KITTEL, M. (2014): Biologische Vielfalt - Erfassung und Bewertung „Arten- und Biotopschutz". Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Freiberg

JENDRITZKY, G. (1998): Das Bioklima in der Bundesrepublik Deutschland. Beitrag zum Klimastatusbericht des Deutschen Wetterdienstes (Hrsg.). Offenbach

LESER, H. [HRSG.] (1994): Westermann-Lexikon Ökologie & Umwelt. Georg Westermann Verlag GmbH. Braunschweig. 1994

LFL [SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT] (2005): Klimawandel und Landwirtschaft. Leipzig. 2005

LFUG [LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE SACHSEN; HRSG.] (2004): Fachbeitrag des Naturschutzes und der Landschaftspflege zum Landschaftsprogramm des Freistaates Sachsen. Teil 1: Grundlagen und textliche Zielstellungen. Entwurf mit Stand vom 30.03.2004. unveröffentlicht. Dresden

LFUG [LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN] (2008): Daten der selektive Biotopkartierung SBK2/SBK3 1996-2004 (2. Durchgang) und 2006-2008 (3. Durchgang). Referat 61 - Landschaftsökologie, Flächennaturschutz. Freiberg

LFULG [LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN] (2009): WEREX IV - Projektionsdaten des Regionalisierungsmodells WEREX IV, Bereitstellung über Rasterklimadatenbank des LfULG Sachsen (RaKliDa). im Rahmen des MORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel". Stand 12/2009

LFULG [LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN] (2009a): Klimawandel und Landwirtschaft – Fachliche Grundlage für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. in Zusammenarbeit mit dem Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) und dem Institut für Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden. Graupa

LFULG [LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN] (2012): WETTREG 2010 - Projektionsdaten des Regionalisierungsmodells WETTREG 2010, Bereitstellung über

Regionales Klimainformationssystem Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (ReKIS). im Rahmen des MORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ – Phase II (Verstetigung). Stand 04/2012

LFULG [LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN] (2015): Kohlendioxid-Emission des Verkehrs in Sachsen in den Jahren 1990 bis 2012. online unter http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/4636.asp?id=4976&headline=Schutzgut:%20Klima. Stand 06/2015

LFULG [LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN] (2016): Treibhausgasemissionen der sächsischen Landwirtschaft in den Jahren 1990 bis 2014. online unter http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/4770.asp. Stand 07/2016

LFULG [LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN] (2017): Emissionssitualition in Sachsen - Anteil der Emittenten an der Gesamtemission gasförmiger Luftschadstoffe 2014 sowie Anteil der Emittenten an der Gesamtemission von Stäuben 2014. Referat 51: Klima, Luftqualität. online unter https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/ 7078.htm. Stand 01/2017

LÖSCHAU, G.; WOLF, U.; HAUSMANN, A.; BÖTTGER, M.; BASTIAN, S.; WIEDENSOHLER, A.; RASCH, F.; SPINDLER, G.; MÜLLER, K: BIRMILI, W.; HERRMANN, H; ANHALT, M.; DIETZ, V.; BÖHME, U. (2015): Umweltzone Leipzig - Teil 4: Immissionssitution 2010-2014. Informationsschrift des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen in Zusammenarbeit mit Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V. (TROPOS), Stadt Leipzig/Amt für Umweltschutz, Landeshauptstadt Dresden/Umweltamt und Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Dresden

LÜFTNER, H. (1996): Das Regionalklima im Ruhrgebiet. In: Europäische Hochschulschriften, Reihe XLII Ökologie, Umwelt und Landespflege. Bd. 19. Peter Lang GmbH. Europäischer Verlag der Wissenschaften. Frankfurt am Main. 1996

MARKS, R.; MÜLLER, M.J.; LESER, H. & H.-J. KLINK [HRSG.] (1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushalts. Forschungen zur deutschen Landeskunde. Band 229. Trier.

MARTENS, S.; GEMBALLA, R.; PETZOLD, R.; OTTO, L.-F.; EISENHAUER, D.-R. (2015): Wald und Forstwirtschaft. In: Klimawandel in Sachsen - wir passen uns an. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.). Dresden

MELLENTIN, U. (2009): Klimasignale regionaler Klimaprojektionen für Sachsen. In: Klimawandel - Was verändert sich und wie reagieren wir darauf?. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden (Hrsg.). Heft 3-4. Dresden

MOSIMANN, T. FREY, T. & P. TRUTE (1996): Klima und Luft in der Landschaftsplanung. Anleitung für die Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan. Hannover

MOSIMANN, T. FREY, T. & P. TRUTE (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. In: Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen. Heft 4/99. Hildesheim. 1999

MOSIMANN, T. (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung; Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan. Hannover

PADBERG, A. & MÜLLER, S. (2013): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel - Erfahrungen und Ergebnisse des KlimaMORO II aus forstwirtschaftlicher Sicht. Vortrag der Vertreter des Staatsbetriebs Sachsenforst/Forstbezirk Leipzig im Rahmen der Ergebniskonferenz zum Modellvorhaben der Raumordnung KlimaMORO Verstetigungsphase 2011-2013 der Modellregion Leipzig-Westsachsen zum Thema „Auswirkungen des Klimawandels auf den Südraum Leipzig unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Erholungsnutzungen sowie der Anforderungen an Waldumbau und Waldmehrung“. online unter http://rpv-westsachsen.de/wp-content/uploads/2015/01/05.07.2013_06_SBS_FB_Leipzig_Padberg.pdf

PAUSCH, A.; DECKER, A.; TENHOLTERN, R. [SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE - HRSG.] (2014): Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm – Erfassung und Bewertung „Luft und Lärm“. in Zusammenarbeit von Referate Klima, Luftqualität (51) und Landschaftsökologie, Flächennaturschutz des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden. online unter http://www.umwelt.sachsen.de/ umwelt/ natur/224 72.htm. (03/2017)

PAUSCH, A. [SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE – HRSG.] (2015): Daten und Fakten: „Luftqualität in Sachsen“. Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen. Dresden. online unter https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Daten_Fakten-Luftqualitaet 2014.pdf. (03/2017)

PAUSCH, A.; FRANKE, J.; LÖSCHAU, G.; HAUSMANN, A. ; BASTIAN, S. [SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE – HRSG.] (2008-2016): Jahresberichte zur Luftqualität in Sachsen vom 2008 bis 2016. Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen. Dresden. online unter https:// umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/18914.htm. (03/2017)

RPV-LWS [REGIONALER PLANUNGSVERBAND LEIPZIG-WESTSACHSEN] (2011): Vulnerabilitätsanalyse zum Klimawandel. Ergebnisbroschüre der Modellregion Westsachsen im Rahmen des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO Phase I). Forschungsprojekt in Zusammenarbeit des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-Westsachsen und der Technischen Universität Dresden. Leipzig

RPV-LWS [REGIONALER PLANUNGSVERBAND LEIPZIG-WESTSACHSEN] (2013a): Gewässerprofile - Entwicklung des Wasserhaushalts im Südraum Leipzig unter dem Ansatz einer regionalen Klimaprojektion. Dokumentationsblätter im Rahmen der Verstetigungsphase des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (kurz: KlimaMORO Phase II). Leipzig

RPV-LWS [REGIONALER PLANUNGSVERBAND LEIPZIG-WESTSACHSEN] (2013b): Risikoabschätzung Wald - GIS-basierte Risikoanalyse und Bewertung der Sensitivität der Wälder im Südraum Leipzig unter Berücksichtigung der hohen gebietsspezifischen Entwicklungsdynamik sowie der zu erwartenden klimawandelbedingten Risiken und Chancen. Dokumentationsblätter im Rahmen der Verstetigungsphase des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO Phase II). Leipzig

RPV-LWS [REGIONALER PLANUNGSVERBAND LEIPZIG-WESTSACHSEN] (2013c): Fokusgebiete - Auswirkungen des Klimawandels auf den Südraum Leipzig unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Erholungsnutzungen sowie der Anforderungen an Waldumbau und Waldmehrung. Dokumentationsblätter im Rahmen der Verstetigungsphase des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO Phase II). Leipzig

RPV-LWS [REGIONALER PLANUNGSVERBAND LEIPZIG-WESTSACHSEN] (2014): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für den Südraum Leipzig. Ergebnisbroschüre im Rahmen der Verstetigungsphase des bundesweiten Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO Phase II). Forschungsprojekt in Zusammenarbeit des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-Westsachsen und des Staatsbetriebs Sachsenforst/Forstbezirk Leipzig. Leipzig.

SBS [STAATSBETRIEB SACHSENFORST] (2006): Waldzustandsbericht 2006. Veröffentlichung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landschaft (Hrsg.). Dresden. online unter http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/downloads/wzb2006.pdf. Stand 02/2007

SBS [STAATSBETRIEB SACHSENFORST] (2010): Waldfunktionenkartierung - Grundsätze und Verfahren zur Erfassung der besondere Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes im Freistaat Sachsen. Obere Forst- und Jagdbehörde. Referat Rahmenplanung/Träger öffentlicher Belange. Pirna/OT Graupa

SBS [STAATSBETREIB SACHSENFORST] (2013): Waldschutzinformation 1/2013. im Internet unter http://www.waldbesitzerverband.de/pdf/waldschutz/Waldschutzinfo_1_2013.pdf

SBS [STAATSBETRIEB SACHSENFORST] (2016): Waldzustandsbericht 2016. Veröffentlichung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landschaft (Hrsg.). Dresden. online unter https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/29874. Stand 03/2017

SCHMIDT, C. (1994): Bewertung des Kaltluftabflusses in der Landschaftsrahmenplanung Westsachsen (unveröffentlicht). Leipzig.

SCHMIDT, C., SEIDEL, A., KOLODZIEJ, J., KLAMA, K., SCHOTTKE, M., BERKNER, A., FRIEDRICH, M., CHMIELESKI, S. (2011): Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen. TU Dresden im Auftrag des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-Westsachsen (Hrsg.) im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO) des BMVBS/BBSR. Dresden/Leipzig.

SCHREIBER, U. [SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE – HRSG.] (2012): Luftschafstoff- und Treibhausgasemissionen in Sachsen. Verursacher und Trends. Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/ Referat Luftqualität. online unter https://publikationen. sachsen.de/bdb/artikel/14813. Dresden

SCHREIBER, U. [SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE – HRSG.] (2015a): Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen in Sachsen - Jahresbericht 2012. Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/Referat Klima, Luftqualität. online unter https://publikationen.sachsen.de/bdb/ artikel/13414. Dresden

SCHREIBER, U. [SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE – HRSG.] (2015b): Daten und Fakten: „Emissionen in Sachsen“. Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/ Referat Klima, Luftqualität. Dresden. online unter https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/ download/DuF_Emissionen_032016.pdf.

SEIDEL, A. (2012): Klimaanalyse für die Planungsregion Leipzig-Westsachsen und den Südraum Leipzig. Expertise zum Modellvorhaben der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ – Phase II (KlimaMORO Verstetigung) des BMVBS/BBSR. im Auftrag des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-Westsachsen (Hrsg.). Dresden

SLF [SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN] (1995): Wald und Klima. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 2/1995. Graupa

SMI [SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN - HRSG.] (2013): Landesentwicklungsplan Sachsen. Dresden

SMU [SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG] (1994): Windenergienutzung im Freistaat Sachsen. Windmessprogramm. In: Grundsatz und Querschnittsaufgaben der Umweltpolitik, Band 1, 2. Auflage. Dresden

SMU [SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG] (1997): Klimatologische Grundlagen für die Landes- und Regionalplanung (Projekt "Klimakarten für den Freistaat Sachsen", Bearbeitung. durch den Deutschen Wetterdienst/DWD). In: Materialien zur Landesentwicklung 1/1997. Dresden

SMUL [SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT] (2009): Klimawandel und Landwirtschaft - Strategien zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Referat 33 Pflanzliche Erzeugnisse, landwirtschaftlicher Ressourcenschutz. Neuauflage 12/2009. online unter https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11557

SMUL [SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT] (2012): Waldzustandsbericht 2012. Referat Bodenmonitoring/Standortserkundung/Labor, Referat Waldbau/ Waldschutz. Graupa 10/2012

SMUL [SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT] (2017): Phänologische Uhr für Sachsen - Leitphasen, mittlerer Beginn und Dauer der phänologischen Jahreszeiten - Zeiträume 1961-1990 und 1991-2012 im Vergleich. online unter https://www.umwelt. sachsen.de/umwelt/download/Phaenologische_Beobachtung_Uhr.pdf. (02/2017)

SMWA/SMUL [SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND VERKEHR/ SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (HRSG.)] (2013): Energie- und Klimaprogramm Sachsen. Dresden

STANDFUß, M. (2009): Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH – Übersicht zur Fernwasserversorgung in Mitteldeutschland. Vortrag vom 13.11.2009. unveröffentlicht

STEINICKE, W. & SCHWAB, U. [STEINICKE & STREIFENEDER, UMWELTUNTERSUCHUNGEN GMBH] (2010): Stadtklimauntersuchung Leipzig. Bericht im Auftrag Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz (Hrsg.). Freiburg/Leipzig

STLA [STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN] (2011): Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen bis 2020. 3 Varianten. Gemeinden nach Landkreisen - aufbereitet durch die Regionale Planungsstelle Westsachsen. Kamenz/Leipzig

SYRBE R.-U., GRUNEWALD, K., MANNSFELD, K., SLOBODDA, S., BASTIAN, O., KLENKE, F. (2014): Landschaftsökologische Charakterisierung der naturräumlichen Potenziale, der Empfindlichkeiten und der Landnutzung im Freistaat Sachsen. Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Freiberg

UBA [UMWELTBUNDESAMT] (2011): Stickstoff - Zuviel des Gutes? - Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Menschen wirksam vermeiden. Dessau-Roßlau. online unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4058.pdf

UBA [UMWELTBUNDESAMT] (2013): Überschreitung der Belastungsgrenzen für Versauerung und Eutrophierung. Daten zur Umwelt. online unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/land-oekosysteme/ueberschreitung-der-belastungsgrenzen. Abfrage 09/2017.

WINKLER, U. (2009): Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH – Ansatzpunkte für eine wassersensible Stadtentwicklung. Vortrag vom 01.10.2009. unveröffentlicht

WISSEN (2007): online unter http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/reisen/index,page=1165542.html. Abfrage 01/2007