



LAND  
BRANDENBURG

Ministerium für Ländliche  
Entwicklung, Umwelt und  
Landwirtschaft

Klima



Fachbeiträge des LfU

Heft Nr. 154

## **Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg - Basisbericht**



Landesamt für Umwelt

**Fachbeiträge des Landesamtes für Umwelt  
Titelreihe Heft-Nr. 154**

Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg - Basisbericht

**Herausgeber:**

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft  
des Landes Brandenburg (MLUL)  
Henning-von-Tresckow-Str. 2-13,  
14467 Potsdam  
[Pressestelle@mlul.brandenburg.de](mailto:Pressestelle@mlul.brandenburg.de)  
[www.mlul.brandenburg.de](http://www.mlul.brandenburg.de)

**Kontakt / Ansprechpartner**

Landesamt für Umwelt (LfU)  
Seeburger Chaussee 2  
OT Groß Glienicke  
14476 Potsdam  
Tel.: 033201 - 442 171  
Fax: 033201 - 43678  
[www.lfu.brandenburg.de](http://www.lfu.brandenburg.de)

LfU, Referat T14 – Luftqualität und Nachhaltigkeit, in Kooperation mit dem Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Frauen und Familie (MASGF), dem Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB), dem Polleninformationsdienst (PID) und dem Amt für Statistik Brandenburg (AfS BB)

Potsdam, im Januar 2018

Die Veröffentlichung als Internetpräsentation erfolgt im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Dritten zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

# Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg – Basisbericht

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	6
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	8
<b>Einführung – Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg</b> .....	12
<b>Übergreifende Indikatoren</b> .....	15
Ü-1 Beginn und Dauer der Vegetationsperiode .....	16
Ü-2 Treibhausgasemissionen .....	18
Ü-3 Endenergieverbrauch .....	20
Ü-4 Erneuerbare Energien.....	22
<b>Wasserindikatoren</b> .....	25
W-1 Mittlerer Abfluss .....	26
W-2 Gewässertemperatur .....	28
W-3 Grundwasserneubildung .....	30
W-4 Grundwasserzustand .....	32
W-4 Grundwasserzustand .....	34
W-5 Klimatische Wasserbilanz .....	36
W-6 Retentionsräume.....	38
<b>Bodenindikatoren</b> .....	41
B-1 CO <sub>2</sub> -Freisetzung aus Moorböden.....	42
B-2 Kritische Frühjahrstrockenheit für Winterroggen.....	44
B-3 Bodenerosionsgefährdung durch Wasser .....	46
B-4 Dauergrünlandflächen.....	48
B-5 Lumbriciden (Regenwürmer).....	50

<b>Forstindikatoren</b> .....	53
F-1 Trockenstress .....	54
F-2 Anteil der deutlich geschädigten Bäume .....	60
F-3 Schäden durch biotische Schaderreger.....	62
F-4 Meteorologisch verursachte Waldschäden (Sturmschäden).....	64
F-5 Waldbrandgefahr.....	65
F-6 Waldfläche und nachhaltige Forstwirtschaft .....	67
<b>Landwirtschaftsindikatoren</b> .....	71
LW-1 Ertragsausfallrisiko durch Hagelschäden .....	72
LW-2 Ertrags- und Anbauflächenentwicklung von Weizen, Raps und Mais .....	74
LW-3 Schaderregerbefall (DAS-Indikator) .....	76
LW-4 Stickstoffüberschuss .....	78
<b>Natur- und Biodiversitätsindikatoren</b> .....	81
N-1 Gebietsschutz.....	82
N-2 Invasive Arten – Asiatische Tigermücke (DAS-Indikator) .....	84
N-3 Flächeninanspruchnahme.....	86
<b>Gesundheitsindikatoren</b> .....	89
G-1 Anzahl der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte.....	90
G-2 Anzahl von Hitzewarnungen .....	92
G-3 Hitzebedingte Todesfälle (DAS-Indikator).....	94
G-4 Pollenbelastung für Allergiker .....	96
G-5 Belastung mit Ambrosia-Pollen.....	98
G-6 Blaualgenbelastung in Badegewässern (DAS-Indikator).....	100
G-7 Schadstoffbelastung der Luft .....	102
G-8 Meldepflichtige Infektionskrankheiten .....	104

<b>Infrastrukturindikatoren</b> .....	106
I-1 Verkehrsleistung.....	107
I-2 Heiztage.....	109
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	111

## Abkürzungsverzeichnis

Ao	oberirdischer Abfluss
ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
AfS BB	Amt für Statistik Brandenburg
AG	Arbeitsgruppe
AK UGRdL	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
ALB	Automatisiertes Liegenschaftsbuch
ALKIS	Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem
AS	Aminosäure
BbgWG	Brandenburgisches Wassergesetz
BDF	Bodendauerbeobachtungsfläche
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
C	Kohlenstoff
CCM	Corn-Cob-Mix
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CH <sub>4</sub>	Methan
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie
DIN	Deutsche Industrienorm
DWD	Deutscher Wetterdienst
EBSV	Eisenbahn- und Schiffsverkehr
EE	Erneuerbare Energien
EEV	Endenergieverbrauch
ET	Evapotranspiration
EW	Einwohner
FFH	Flora-Fauna-Habitat-Gebiete
FG	Frischgewicht
FKW	perfluorierte Kohlenwasserstoffe
FLI	Friedrich-Löffler-Institut
FSC	Forest Stewardship Council
GDV	Deutsche Versicherungswirtschaft e.V.
GTZ	Gradtagzahl
GVL	Gesamtverkehrsleistung
GW	Grundwasser
GWN	Grundwasserneubildung
ha	Hektar
HGT	Heizgradtage
HQ	Hochwasser
H-FKW	teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
IGB	Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
INKA BB	Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin
InVeKos	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
ISIP	Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V.
IWU	Institut für Wohnen und Umwelt
JKI	Julius-Kühn-Institut
KABS	Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage
kg	Kilogramm
km	Kilometer
l	Liter

LAVG	Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit
LF	landwirtschaftliche genutzte Fläche
LFE	Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LGB	Landesbetrieb Geobasisdaten Brandenburg
MASGF	Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Frauen und Familie
mm	Millimeter
MWE	Ministerium für Wirtschaft und Energie
N	Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid, Lachgas
Ni	Niederschlag
nFK	nutzbare Feldkapazität
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxid
NSG	Naturschutzgebiet
O <sub>3</sub>	Ozon
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
osmol	Osmolalität
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes
PEV	Primärenergieverbrauch
PID	Polleninformationsdienst
PM10	Feinstaubpartikel mit einem max. Durchmesser von 10 µg
PM2.5	Feinstaubpartikel mit einem max. Durchmesser von 2,5 µg
S	Saugspannung
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
StrV <sub>brutto</sub>	Bruttostromverbrauch
SuV	Siedlungs- und Verkehrsfläche
SVAT-Modell	Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer-Modell
Tarif-tkm	entsprechend Tarif festgelegte Transportleistung
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
TM	Trockenmasse
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VerkStatG	Verkehrsstatistikgesetz
WFBB	Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WZE	Waldzustandserhebung
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
Ψ <sub>s</sub>	Wasserpotenzial

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Beginn und Dauer der Vegetationsperiode dargestellt durch die Dauer der Vegetationsperiode in Tagen und Beginn der Apfelblüte als Tag des Jahres im Zeitraum von 1961-1990 bis 1986-2016 .....	16
<b>Abbildung 2:</b> Entwicklung der Treibhausgasemissionen dargestellt als CO <sub>2</sub> -Emissionen und Summe der CO <sub>2</sub> -Äquivalenten im Zeitraum 1990 – 2014 .....	18
<b>Abbildung 3:</b> Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren Industrie, Verkehr, Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen und private Haushalte in Petajoule für den Zeitraum 2004 - 2014 .....	20
<b>Abbildung 4:</b> Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärstromverbrauch, Endenergieverbrauch und Stromverbrauch im Zeitraum 1990 - 2012.....	22
<b>Abbildung 5:</b> Abweichung des landesweiten Jahresabflussmittelwertes zum Mittel der Reihe 1971 -2010 an 119 Brandenburger Messstellen.....	26
<b>Abbildung 6:</b> Gewässertemperaturentwicklung der Elbe, Havel, Oder und Neiße im Zeitraum 2000 - 2016 .....	28
<b>Abbildung 7:</b> Vergleich der Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1971 - 2010 zu 1991 - 2010.....	30
<b>Abbildung 8:</b> Entwicklung des ausschließlich grundwasserbeeinflussten Wasserstandes am Peetschsee bei Steinförde im Zeitraum 1958-2016 .....	32
<b>Abbildung 9:</b> (links) Ungenutzte und teilgenutzte Grundwasservorräte in Brandenburg, Wasserversorgungsplan 2009 Brandenburg, Stand: 2006 . (Rechts) Trend der Grundwasserstände in Brandenburg für die Zeitreihe 1976 – 2013 .....	34
<b>Abbildung 10:</b> Die klimatische Wasserbilanz von Potsdam in mm / Jahr im Zeitraum 1991 - 2015.....	36
<b>Abbildung 11:</b> Aktive Flutungsräume und Untersuchungsgebiete für mögliche weitere Flutungsräume. Stand: 2017. Tabelle rechts: Festgesetzte Überschwemmungsflächen im Land Brandenburg, inkl. deichgeschützte Flächen, Polder und Vorlandflächen in ha. Stand: 2004.....	38
<b>Abbildung 12:</b> Vergleich von potenziellen CO <sub>2</sub> -Freisetzungen an Intensivgrünland-, Feuchtweiden- / -wiesen- sowie Nasswiesenstandorten bis 2030 unter der Annahme einer gleichbleibenden Temperatur. Gegenüberstellung der CO <sub>2</sub> -Freisetzungspotentiale aller zehn Beispielstandorte unter aktuellen (Ist-Zustand) und fiktiven (Szenarien) Wasserverhältnissen für den Zeitraum 2010-2030 .....	42
<b>Abbildung 13:</b> Kritische Frühjahrstrockenheiten für Winterroggen. Dargestellt ist die Anzahl der Tage mit Unterschreitungen der kritischen Bodenwassergehalte (Schwellenwert 30% nFK) für den Standort Doberlug-Kirchhain auf Feinsand und sandigem Lehm im Zeitraum 1980-2011 .....	44
<b>Abbildung 14:</b> Bodenerosionsgefährdung durch Wasser an Beispiel potentiell erosionsgefährdeter Maisanbauflächen, Stand: 2010.....	46



<b>Abbildung 15:</b> Entwicklung der Dauergrünlandflächen in ha im Zeitraum 2000-2016..	48
.....	
<b>Abbildung 16:</b> Entwicklung der Lumbricidenabundanz (Regenwurmindividuenanzahl/m <sup>2</sup> ) auf ackerbaulich genutzten Sandböden Brandenburgs für drei Untersuchungszeiträume (1.-3. Zyklus), dargestellt sind die Minimal- und Maximalwerte sowie der Median im zeitlichen Verlauf.....	50
<b>Abbildung 17:</b> F.1.1 Stressparameter der Blattoorgane für Trockenstress anhand der Osmolalität des Nadel- bzw. Blattpresssaftes für den 1. und 2. Nadeljahrgang; F.1.2 Stressparameter der Blattoorgane für Trockenstress gemessen am Prolingehalt (% Gesamtgehalt löslicher Aminosäure AS) in Prozent; F.1.3 Stressparameter der Blattoorgane für Trockenstress anhand des Gesamtkohlenhydratgehaltes; F.1.4 Stressparameter der Blattoorgane für Trockenstress anhand des Blattwassergehaltes in % bezogen auf das Frischgewicht (FG). Alle Abbildungen zeigen den Zeitraum 1995 – 2015.....	54
<b>Abbildung 18:</b> Anteil der Bäume mit Kronenverlichtungen von 40 bis 100 % in der Stichprobe der Waldzustandserhebung in Brandenburg differenziert nach Laub- und Nadelbaumarten (die Linien markieren den erwarteten Normzustand) .....	60
<b>Abbildung 19:</b> Schäden durch biotische Schaderreger wie Kiefernbuschhornblattweste, Kiefernspinner und Nonne unterteilt nach merklichem und starkem Fraß sowie Kahlfraß für den Zeitraum 2000 - 2016.....	62
<b>Abbildung 20:</b> Durch Sturm verursachte Waldschäden in Schadholzmenge in m <sup>3</sup> im Zeitraum 2000 - 2014.....	64
<b>Abbildung 21:</b> Von Waldbrand betroffene Fläche in ha und Anzahl der Waldbrände pro Jahr absolut im Zeitraum 1992 - 2015 .....	65
<b>Abbildung 22:</b> Entwicklung der Waldfläche und der nach PEFC und FSC zertifizierten Waldflächen, sowie der Waldfläche je EW im Zeitraum 2006-2016 .....	67
<b>Abbildung 23:</b> Beispielabbildung für die Entwicklung des Ertragsausfallrisiko durch Hagelschäden für Deutschland im Zeitraum 1980 – 2012 aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes.....	72
<b>Abbildung 24:</b> Ertrags- und Anbauflächenentwicklung von Winter- und Sommerweizen, Winter- und Sommerraps und Silomais/Grünmais als Ertrag in t/ha und Anbauflächen in ha im Zeitraum 2005 - 2016 .....	74
<b>Abbildung 25:</b> Beispielabbildung für die Entwicklung des Schaderregerbefalls von Winterweizen (Sachsen-Anhalt) und Winterraps (Mecklenburg-Vorpommern) durch den Befall von Braunrost, Echtem Mehltau und dem Rapsglanzkäfer aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes.....	76
<b>Abbildung 26:</b> Entwicklung des Stickstoffüberschusses auf landwirtschaftlich genutzten Böden dargestellt in kg/ha im Zeitraum 2003 – 2014 .....	78
<b>Abbildung 27:</b> Entwicklung der Naturschutzgebiete anteilig in Prozent an der Landesfläche im Zeitraum 1994 - 2015 .....	82

<b>Abbildung 28:</b> Beispielabbildung für die Entwicklung invasiver Arten am Beispiel der Asiatischen Tigermücke der Fallstudie für Baden-Württemberg (Oberrheingraben) im Zeitraum 2005 – 2013 aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes .....	84
<b>Abbildung 29:</b> Entwicklung der jährlichen zusätzlichen Inanspruchnahme von Bodenflächen für Verkehrs- und Siedlungsfläche als Flächenverbrauch pro Tag und anteilig an der Landesfläche in Prozent im Zeitraum 2000 - 2015 .....	86
<b>Abbildung 30:</b> Entwicklung der mittleren Anzahl an Sommertagen, heißen Tage und Tropennächte für die 10-Jahres-Zeiträume von 1971 - 2010 .....	90
<b>Abbildung 31:</b> Entwicklung der Hitzewarnungen für starke und extreme Hitzebelastung als Anzahl der Tage pro Jahr im Zeitraum 2005 - 2016.....	92
<b>Abbildung 32:</b> Beispielabbildung aus der Deutschen Anpassungsstrategie DAS vom Umweltbundesamt zur Darstellung der hitzebedingten Todesfälle für Deutschland im Zeitraum 2002 – 2013. Diese Abbildung ist ein Platzhalter und wird im Laufe des Jahres gegen die Brandenburger Daten ausgetauscht.....	94
<b>Abbildung 33:</b> Flugzeiten der Pollen Ambrosia, Beifuß, Roggen, Gräser, Esche, Birke, Erle, Hasel für den Zeitraum 2012 – 2016 an den Stationen Cottbus, Drebkau, Vetschau (ab 2015), Berlin, Potsdam (bis 2015) und Treuenbrietzen .....	96
<b>Abbildung 34:</b> Entwicklung der Belastung mit Ambrosiapollen an den Standorten Potsdam, Treuenbrietzen, Vetschau, Cottbus, und Drebkau im Zeitraum 2012 – 2016 .....	98
<b>Abbildung 35:</b> Beispielabbildung für die Entwicklung der Blaualgenbelastung in Badegewässern am Beispiel des Klimawandelmonitorings der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes .....	100
<b>Abbildung 36:</b> Schadstoffbelastung der Luft mit Stickstoffdioxid, Feinstaub PM10, Feinstaub PM2.5 und Ozon, unterteilt nach Allgemeiner Hintergrundbelastung HGB (Ferneintrag), Städtische Hintergrundbelastung SHG und Verkehrsbelastung VB (Verkehrshotspots). Für Stickstoffdioxid und die beiden Feinstäube werden die jährlichen Mittelwerte dargestellt, für Ozon die Anzahl der Überschreitungen des Zielwertes von 120 µg/m <sup>3</sup> .....	102
<b>Abbildung 37:</b> (links) Lyme-Borreliose im zeitlichen Verlauf: Neuerkrankungsraten je 100.000 EW, Land Brandenburg, Zeitraum 2004 – 2013 und (rechts) Geografische Verteilung der Lyme-Borreliose: Kreisbezogene Neuerkrankungsraten je 100.000 EW, sowie höchste, niedrigste und mittlere Neuerkrankungsrate, Land Brandenburg, 2013 .....	104
<b>Abbildung 38:</b> Verkehrsleistung dargestellt als Kilometer pro Person pro Jahr im ÖPNV, die GVL für Eisenbahn-, Schiffs- und Straßenverkehr gesamt, sowie der prozentuale Anteil des Eisenbahn- und Schiffsverkehr (EBSV) an GVL im Zeitraum 2000-2015 bzw. 2000-2014.....	107
<b>Abbildung 39:</b> Entwicklung der Heiztage für Potsdam als Anzahl der Tage im Jahr im Zeitraum 2000 – 2016 sowie der lineare Trend .....	109



## Einführung – Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg

Am 12. Dezember 2015 wurde das **Pariser Abkommen** beschlossen und somit auch Zielsetzungen zur Einschränkung der globalen Folgen des Klimawandels. Das **Hauptziel** ist die Begrenzung der Erderwärmung auf 2° C, besser noch auf 1,5° C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit und die deutliche Senkung der globalen Emissionen. Das Pariser Abkommen ist eine Erweiterung und Aktualisierung des Kyoto-Protokolls, das bisher die Begrenzung der Treibhausgasemissionen regelte, allerdings nur für die EU und einige wenige andere Industrieländer.

Das Pariser Abkommen 2015 betrifft erstmals alle Staaten und verpflichtet diese zusammen mit den Vereinbarungen der UN-Klimakonferenz in Marrakesch 2016, **Maßnahmen und deren Umsetzung** zu beschließen. 196 Staaten vereinbarten die Emissionen zu minimieren und verpflichteten sich, Anpassungsmaßnahmen zu leisten.

**Regionale Auswirkungen des Klimawandels** betreffen auch Brandenburg. Das Land Brandenburg ist bereits jetzt eine der trockensten Regionen Deutschlands und besitzt zudem große Wald- und Landwirtschaftsflächen. Mit steigenden Mittel- und Extremtemperaturen, nehmen auch die Verdunstungsraten zu. Das Trockenheits- und Dürreerisiko auf den überwiegend sandigen Böden Brandenburgs erhöht sich ebenfalls. Doch nicht nur die Land- und Forstwirtschaft werden vom Klimawandel betroffen sein.

Auswirkungen des Klimawandels werden **alle Lebensbereiche** betreffen. Wie stark sich der Klimawandel in Brandenburg auswirken wird, hängt neben dem Klimaschutz auch von den geleisteten Anpassungsmaßnahmen ab. Diese müssen daher ebenfalls in allen Lebensbereichen stattfinden.

Damit Anpassungsleistung überhaupt erfolgen kann, muss zunächst ermittelt werden, wie und wie stark die Auswirkungen des Klimawandels Brandenburg treffen. Dies kann u.a. mit einem **umfangreichen und regelmäßig erstellten Monitoring** erfolgen. Auf Bundesebene gibt es bereits einen Monitoringbericht des Umweltbundesamtes, die Deutsche Anpassungsstrategie DAS mit den entsprechenden Indikatoren.

Für Brandenburg ist im Auftrag der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ ein Klimawandel-Monitoringbericht erarbeitet worden. Die Indikatoren, die dem nun vorliegenden Bericht zugrunde liegen, wurden in einem Entwicklungs- und Abstimmungsprozess **ressortübergreifend** identifiziert. Sie setzen sich aus übergreifenden Indikatoren, sowie aus **Indikatoren** aus den Bereichen Wasser, Boden, Forst, Landwirtschaft, Natur/Biodiversität, Gesundheit und Infrastruktur zusammen.

Der vorliegende **Basisbericht** markiert den Startpunkt eines regelmäßigen, sich weiterentwickelnden Monitorings. Schwerpunkt dieser Arbeit ist, die Möglichkeiten der Indikation zu bestimmen sowie die einzelnen Indikatorenkennblätter zu erstellen. Daher ist auch bei einigen Indikatoren derzeit nur eine **Zustandsdarstellung** möglich, wie bei der Darstellung der Retentionsflächen, der Kohlendioxid-Freisetzung aus Moorböden, die kritischen Frühjahrstrockenheiten sowie die Bodenerosionsgefährdung durch Wasser.

Für **einige Indikatoren liegen auf Landesebene noch keine Daten vor**. Hierfür sind in der Regel Platzhalterindikatoren aus der Deutschen Anpassungsstrategie eingefügt worden (Ertragsausfallrisiko durch Hagelschäden, Schaderregerbefall auf Landwirtschaftsflächen, Invasive Arten und Blaualgenbelastung von Badegewässern). Für den Indikator „Hitzebedingte Todesfälle“ liegen die Berechnungen noch nicht vor, sollen aber im Laufe des Jahres 2018 erstellt werden.

Die im Folgenden dargestellten Indikatorenkennblätter zeigen zunächst die Grafik mit den vorhandenen und aufbereiteten Daten. Unter dem Abschnitt „Bedeutung“ wird der Zusammenhang zum Klimawandel dargestellt und im nächsten Punkt die Berechnungs- und Definitionsgrundlage vorgestellt. Im letzten Teil des Kennblattes sind ggf. Hinweise zur Interpretation benannt.

Der Indikatorenbericht stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern zeigt ein Zwischenergebnis der vorhandenen Daten im Land Brandenburg. In Zukunft sollen einzelne Indikatoren weiter qualifiziert werden. Darüber hinaus sollen für **die Weiterführung des Indikatorensatzes** weitere Indikatoren und weitere Themenbereiche mit aufgeführt werden. Insbesondere die Erweiterung auf Themenbereiche anderer Ressorts erscheint sinnvoll.



# **Übergreifende Indikatoren**

**Ü-1 Beginn und Dauer der Vegetationsperiode**

**Ü-2 Treibhausgasemissionen**

**Ü-3 Endenergieverbrauch**

**Ü-4 Erneuerbare Energien**

# Ü-1 Beginn und Dauer der Vegetationsperiode

## Grafik:

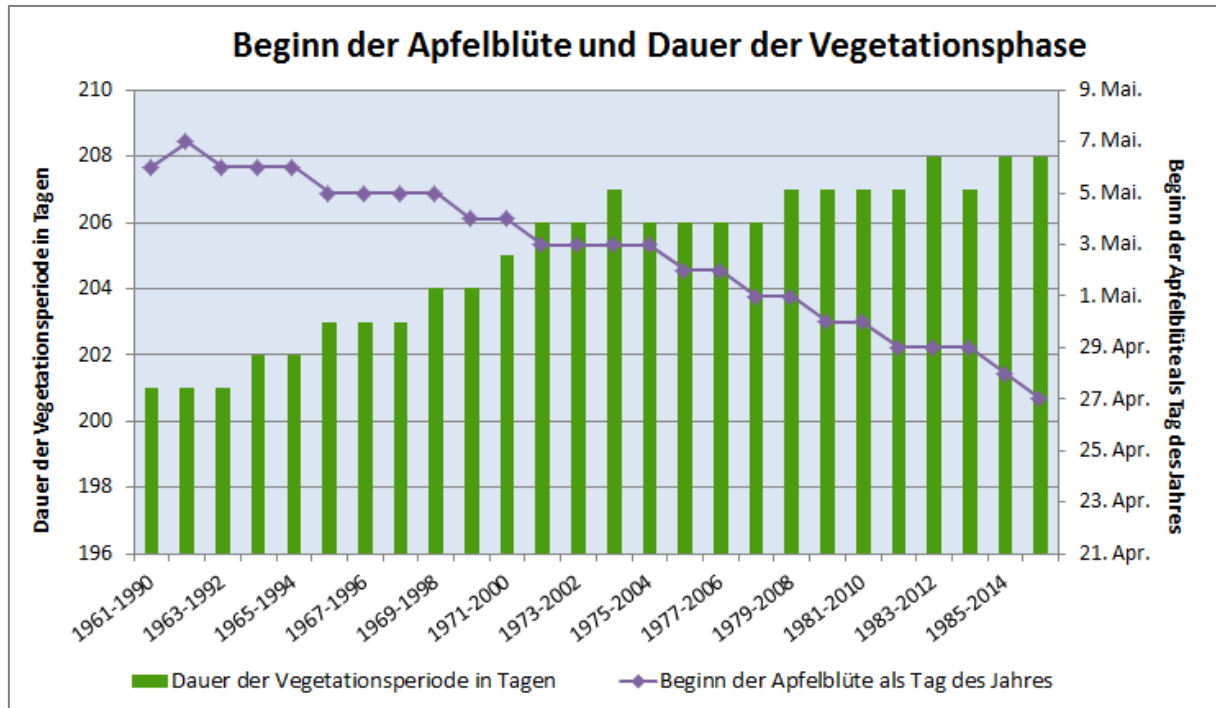


Abbildung 1: Beginn und Dauer der Vegetationsperiode dargestellt durch die Dauer der Vegetationsperiode in Tagen und Beginn der Apfelblüte als Tag des Jahres im Zeitraum von 1961-1990 bis 1986-2016

## Bedeutung:

Die Phänologie ist die Lehre vom Einfluss des Wetters, der Witterung und des Klimas auf den jahreszeitlichen Entwicklungsgang und die Wachstumsphasen der Pflanzen und Tiere, z. B. Blattaustrieb, Blüte und Blattfall, Zugverhalten und Paarungszeit von Vögeln. Phänologische Beobachtungen der Pflanzen erfassen die wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen, also die Eintrittszeiten charakteristischer Entwicklungsstadien (Phasen) der Pflanzen. Sie eignen sich hervorragend als Indikatoren für Klimaänderungen, da Veränderungen in den Umweltbedingungen, insbesondere Witterung und Klima, sich auf die Vegetationsentwicklung, auf die Eintrittszeiten und die Länge phänologischer Phasen auswirken. Die Verschiebungen phänologischer Phasen in Abhängigkeit von Temperaturveränderungen sind wissenschaftlich belegt und indizieren die Wirkung von Klimaänderungen in der belebten Natur. Langjährige Datenreihen haben dabei einen hohen Stellenwert.

Vor allem in gemäßigten Klimazonen wie Deutschland ist die Temperatur ausschlaggebend für die zeitliche Abfolge der phänologischen Phasen. Insbesondere die Frühlingsphasen (Vor-, Erst-, Vollfrühling, d.h. das Aufbrechen der Knospen, der Blattentfaltung und der Blüte der Pflanzen) zeichnen sich durch eine starke Korrelation mit der Temperatur aus (maßgeblich ist die Temperatur der einer Entwicklungsphase vorausgehenden 2-3 Monate); der Eintritt der Herbstphasen dagegen wird von zahlreichen anderen Faktoren, wie z. B. der Niederschlagsmenge im Sommer oder der solaren Einstrahlung etc., mitbestimmt.

Verschiebungen der Phasen können Auswirkungen für den Obst- und Weinbau, die Landwirtschaft und den Wald sowie für Lebensgemeinschaften und Arten haben. Denkbar



sind veränderte und neue Konkurrenzen und Wechselwirkungen. Zudem bleibt auch bei früherem Blühbeginn infolge wärmerer Frühjahrstemperaturen weiterhin die Gefahr von Spätfrösten z. B. für die Obstblüte bestehen.

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkungen des Klimawandels auf die Verschiebung der Vegetationsphasen im Land Brandenburg.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Als Indikator für den langfristigen Entwicklungsgang der Vegetation, abhängig von den Jahreszeiten, wird der Beginn der Apfelblüte als Anzeiger des Eintritts des Vollfrühlings gewählt. Zusätzlich wird die Veränderung der Dauer der phänologischen Vegetationsperiode abgebildet, erfasst durch die Zeitspanne zwischen dem (relativ frühen) Blühbeginn der Salweide und der Blattverfärbung der Stieleiche als phänologischer Zeiger für den Eintritt des Spätherbstes. Damit ist eine Annäherung an die landwirtschaftliche Vegetationsperiode gegeben.

Zunächst werden die jährlichen Mittelwerte des Beginns der Apfelblüte als Tag des Jahres aus den Daten Brandenburgs (ggf. Berlin-Brandenburg) gebildet. Daraus wird im Folgenden das gleitende Mittel für den gesamten 30-Jahres-Zeitraum berechnet. Ebenfalls werden die jährlichen Mittelwerte der Dauer der Vegetationsperiode (Kalendertag Blattverfärbung Stieleiche minus Kalendertag Blühbeginn Salweide) in Tagen aus den Daten für Brandenburg (ggf. Berlin-Brandenburg) gebildet und das gleitende Mittel für den gesamten 30-Jahres-Zeitraum berechnet. Der Zeitraum von 1961-1990 gilt als Klimanormalperiode und wird als Vergleichszeitraum beibehalten. Für die Berechnung des Indikators werden die Daten aller Beobachtungsstationen der Region herangezogen; es werden alle im jeweiligen Jahr zur Verfügung stehenden Daten berücksichtigt.

**Datenquelle:** Deutscher Wetterdienst (DWD)

Die phänologischen Daten werden zentral für das ganze Bundesgebiet durch den DWD erhoben. Der DWD unterhält in den alten Bundesländern seit 1951 ein phänologisches Beobachtungsprogramm. Für die neuen Bundesländer liegen seit 1961 entsprechende Daten vor. Daher beginnen die Datenreihen für den Indikator einheitlich ab dem Jahr 1961. 2013 waren in Deutschland 1185 Stationen aktiv.

### **Hinweise zur Interpretation:**

Beide Indikatoren sind normiert. Bei einer länderübergreifenden Interpretation sind ergänzend die von Klimamodellen projizierten regionalen Unterschiede der Klimaveränderungen und deren Folgen (z. B. für biologische Vielfalt und Landwirtschaft) zu beachten. Die aufeinander folgenden 30-jährigen Betrachtungszeiträume überschneiden sich um jeweils 29 Jahre. Dennoch ermöglicht die Auswertung den Verlauf der Veränderung aufzuzeigen. Daten für beide Parameter stehen jährlich zur Verfügung.

## Ü-2 Treibhausgasemissionen

### Grafik:

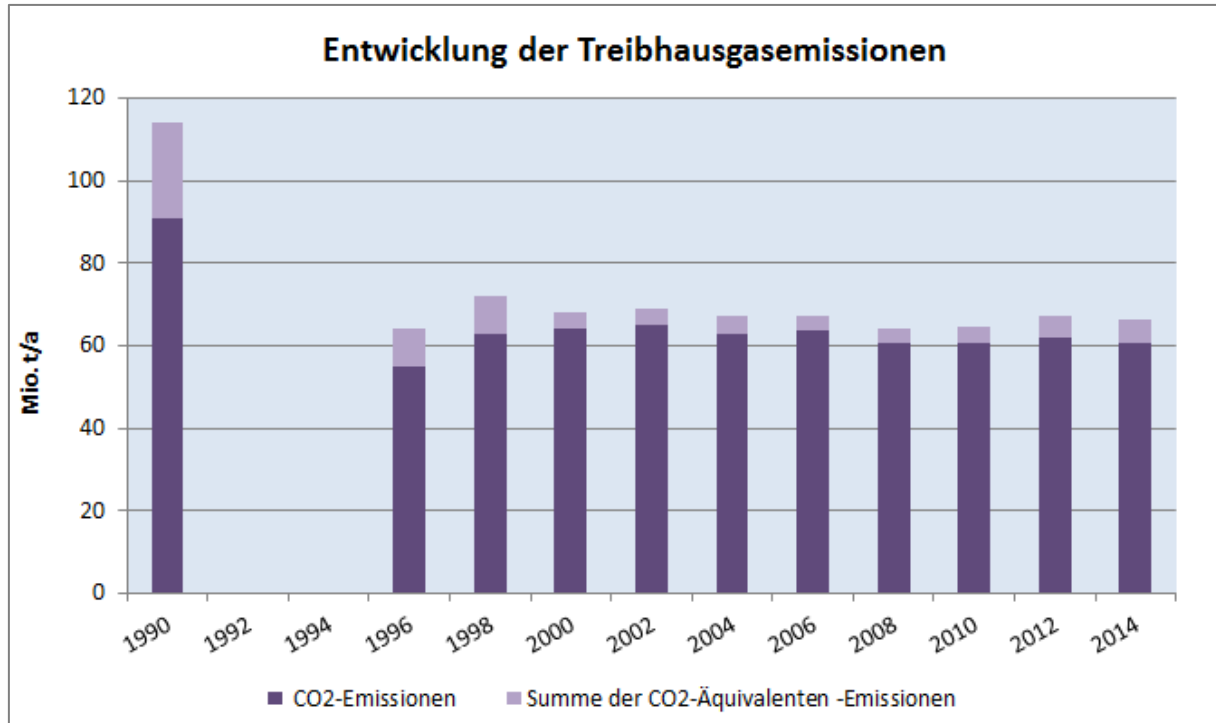


Abbildung 2: Entwicklung der Treibhausgasemissionen dargestellt als CO<sub>2</sub>-Emissionen und Summe der CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Zeitraum 1990 – 2014

### Bedeutung:

Der anthropogen verursachte Treibhauseffekt ist ein globales Problem mit regionalen Verursachern und Folgen. Aufgrund des Anstieges der Konzentrationen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase (Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, Methan CH<sub>4</sub>, Distickstoffmonoxid (Lachgas) N<sub>2</sub>O, teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe H-FKW, perfluorierte Kohlenwasserstoffe FKW und Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub>) in der Atmosphäre, ist die globale Mitteltemperatur seit 1880 um etwa 0,85° C gestiegen und könnte um weitere 5 - 6° C bis zum Jahr 2100 zunehmen. Emissionen dieser Gase entstehen mengenmäßig vorwiegend bei der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Sie treten aber auch bei nicht energetischen Aktivitäten beispielsweise bei der Erzeugung von Eisen und Stahl, beim Umgang mit Lösungsmitteln, beim Einsatz von Mineraldünger, bei der Tierhaltung oder bei der Deponie auf.

Durch die Treibhausgasemissionen kommt es u.a. zur Erwärmung und Versauerung der Ozeane, zu meteorologischen Veränderungen, z.B. der Veränderung der globalen und regionalen Niederschläge sowie zu einer Zunahme extremer Wetterereignisse. Die Klimaänderungen haben weitreichende Auswirkungen auf die Ökosysteme sowie wirtschaftliche und soziale Folgen. Im weltweiten Maßstab tragen die energiebedingten Kohlendioxidemissionen gemessen an den Treibhausgasen mit über 50% den größten Anteil zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Für Deutschland weist ein Anteil von fast 90% auf die Schlüsselfunktion von Kohlendioxid hin.

Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmen in Brandenburg die Gesamtheit der Haupttreibhausgase mit fast 90%. Im Jahr 2014 fielen mehr als 75% der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen unmittelbar im Energiesektor an. Dazu gehören insbesondere die Groß- und Industriekraftwerke, Heizkraftwerke und Heizwerke, eine Brikettfabrik sowie die Erdölraffinerie, in denen aus Primärenergieträgern (Steinkohle, Rohbraunkohle, Erdöl, Erdgas) Endenergieträger (Strom, Nah- bzw. Fernwärme, Kraftstoffe, Heizöle, Brikett, Flüssiggas u.a.) produziert werden. Die Eigenversorgung mit Strom und Mineralölprodukten und die erheblichen Lieferungen dieser Energieträger in andere Bundesländer bestimmen maßgeblich das hohe Emissionspotenzial. Die Verbrauchssektoren Industrie, Verkehr sowie Haushalte und Kleinverbraucher sind jeweils zwischen 7 und 10% an den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen beteiligt.

Durch den stetigen Ausbau der erneuerbaren Energien wird ein Großteil des Energiebedarfs des Landes klimafreundlich gedeckt. Die Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien substituiert fossile Energieträger und vermied im Jahr 2014 den Anstieg der energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 15,0 Mio. Tonnen. Dieser teilweise bereits realisierte Ausbau der erneuerbaren Energien ist kein Selbstzweck. Damit werden die Grundlagen für die zukünftige Energiewirtschaft gelegt.

Der Indikator zeigt die Ursachen für den Klimawandel. Die CO<sub>2</sub>-Minderung kann als Anpassungsleistung betrachtet werden.

#### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Dargestellt sind die in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechneten Gesamtemissionen (ohne Kohlendioxid-Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) für Brandenburg. Um verschiedene Gase hinsichtlich ihrer Klimaschädlichkeit vergleichbar zu machen, werden sie in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten umgerechnet. Der Anteil an Methan in der Atmosphäre ist wesentlich geringer als der von CO<sub>2</sub>, jedoch ist Methan etwa 25-mal, Distickstoffmonoxid etwa 298-mal so schädlich wie CO<sub>2</sub>.

Die Emissionsdaten basieren bis 2012 auf den Energiebilanzen des Landes und entsprechenden landesspezifischen Berechnungen. Die Einschätzungen für das Jahr 2014 beruht auf Hochrechnungen, für die die bereits vorliegenden Abrechnungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen des Zertifikatehandels nach dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) zu Grunde gelegt wurden.

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente erfolgt nur aller zwei Jahre. Die Ermittlung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen wird jährlich durchgeführt und als Klimagasinventur des Landes veröffentlicht.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

## Ü-3 Endenergieverbrauch

### Grafik:

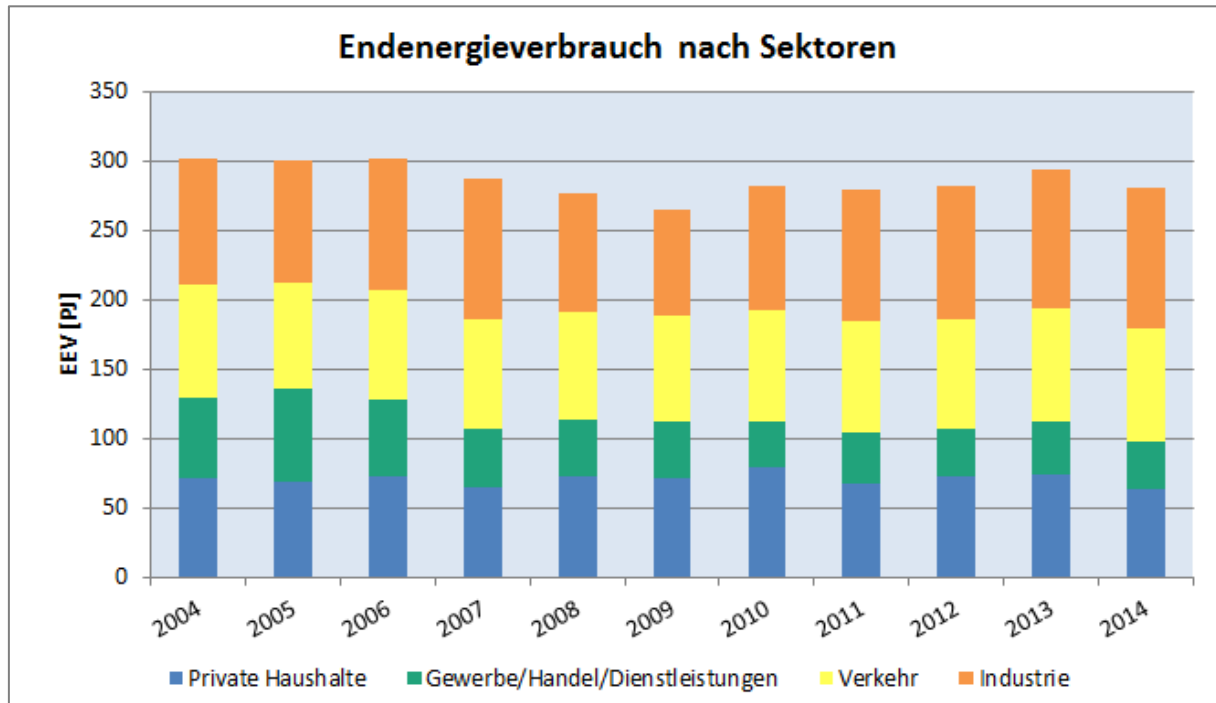


Abbildung 3: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren Industrie, Verkehr, Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen und private Haushalte in Petajoule (PJ) für den Zeitraum 2004 - 2014

### Bedeutung:

Während der Primärenergieverbrauch die gesamte Energie darstellt, die durch die Energieformen und Energiequellen zur Verfügung stehen (z.B. Kohle, Gas, Mineralöl, Windkraft, Biomasse, etc.) zeigt der Endenergieverbrauch (EEV) dagegen die tatsächlich nutzbare Energiemenge nach Umwandlungs- und Übertragungsverlusten. Der Endenergieverbrauch gibt Auskunft über die Verwendung von Energieträgern, die unmittelbar der Erzeugung von Nutzenergie (z.B. Raumwärme, Fahrleistung, Licht) dienen. Energieträger können beispielsweise sein: Brikett, Heizöl, Kraftstoff, Holzpellets, Strom und Fernwärme. Strom ist dabei ein „Bündel“ aus Stromerzeugung unterschiedlichster Art (z.B. Strom aus Kernkraftwerken, aus Braunkohlenkraftwerken oder aus Windkraftanlagen). Der EEV verändert sich in den Sektoren Private Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, Industrie und Verkehr unterschiedlich.

Die Senkung des Energieverbrauchs ist ein Beitrag zum Klimaschutz und somit zur Verringerung des Klimawandels. Dies ist ebenso notwendig, wie aktive Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Der Endenergieverbrauch ist Bestandteil der Energiebilanz, die im Länderarbeitskreis Energiebilanzen methodisch abgestimmt wird. Die Bilanzerstellung im Land Brandenburg erfolgt durch das Amt für Statistik im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Energie (MWE) nach den Regeln der Arbeitsgruppe (AG) Energiebilanzen. Seit 2006 erfolgt ebenfalls im Auftrag des MWE im Nachgang eine Korrektur des „inländischen Verbrauchs von Biomasse“ durch das Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)/ Wirtschaftsförderung Land

Brandenburg GmbH (WFBB) zu Lasten des Exports. Diese Methode ist auch Basis für das Monitoring zur Energiestrategie des Landes.

**Datenquelle:** Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB); AG Energiebilanzen; Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB)

## Ü-4 Erneuerbare Energien

### Grafik:

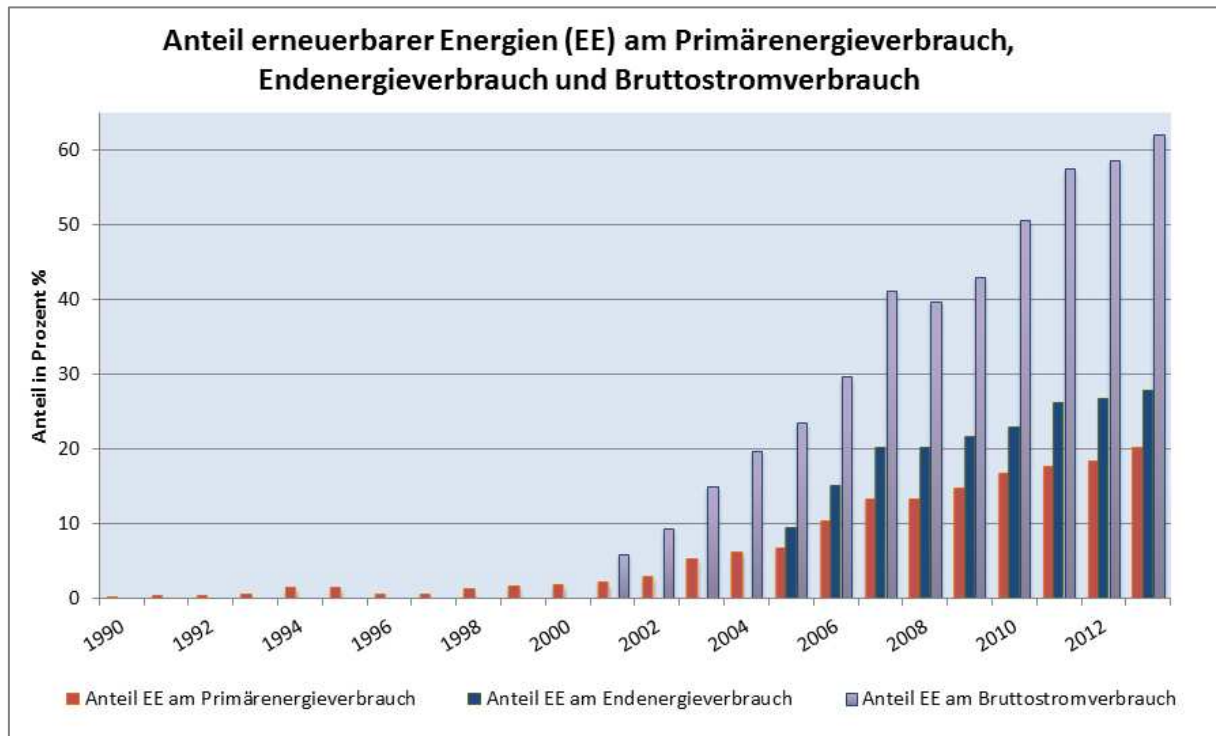


Abbildung 4: Anteil der erneuerbaren Energien am Primärstromverbrauch, Endenergieverbrauch und Stromverbrauch im Zeitraum 1990 - 2012

### Bedeutung:

Der Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) stellt neben der Energieeinsparung und der Steigerung der Energieeffizienz einen wichtigen Baustein in der Energiewende dar. Die bereits seit geraumer Zeit forcierte Nutzung von Sonne, Wind, Biomasse, Wasser und Erdwärme für die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen soll weiter ausgebaut werden. Hierdurch wird ein erheblicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet, da der Einsatz von fossilen Brennstoffen ersetzt und die Emission des klimaschädlichen Kohlendioxids vermieden wird. Über den Klimaschutz hinaus vermindern erneuerbare Energien die Abhängigkeit von Energieimporten, dienen - wegen der begrenzten Reichweiten von Kohle, Öl und Erdgas - der Ressourcenschonung und stärken regionale Wirtschaftskreisläufe.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Als erneuerbare Energien werden Energien aus Quellen bezeichnet, die entweder permanent vorhanden sind, sich kurzfristig von selbst erneuern oder deren Nutzung nicht zur Erschöpfung der Quelle beiträgt. Zu den erneuerbaren Energien zählen Wasserkraft, Windkraft, Solarenergie, Biomasse (inkl. Deponie- und Klärgas), Biogas, aerothermische, hydrothermische Energie, Meeresenergie und Geothermie. Dargestellt wird sowohl der Anteil erneuerbarer Energie am Primärenergieverbrauch, am Endenergieverbrauch und am (Brutto-) Stromverbrauch.

Der Primärenergieverbrauch (PEV) ist der Verbrauch an primären Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden. Dazu zählen Stein- und Braunkohle, Erdöl, Erd- und Grubengas, aber auch die erneuerbaren Energien, Atomenergie sowie Abfälle, die zur

Energiegewinnung verwertet werden. Der Verbrauch ergibt sich aus der Gewinnung dieser Energieträger im Land, den Bezügen und Lieferungen über die Landesgrenzen und aus den erfassten Lagerbestandsänderungen.

Der Endenergieverbrauch (EEV) gibt Auskunft über die Verwendung der aus den primären Energieträgern erzeugten Energie (Nutzenergien wie Strom oder Fernwärme) in Industrie, Verkehr, Haushalten und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (s. Indikator Ü-3).

Der Bruttostromverbrauch ( $\text{StrV}_{\text{brutto}}$ ) setzt sich zusammen aus der Bruttostromerzeugung und dem Austauschsaldo über die Landesgrenzen hinweg. In Brandenburg bedeutet dies Bruttostromerzeugung minus Stromexport. Der  $\text{StrV}_{\text{brutto}}$  umfasst im Unterschied zum Endenergieverbrauchsstrom auch den Eigenverbrauch der Kraftwerke und die Netzverluste.

Die Berechnung von PEV, EEV und  $\text{StrV}_{\text{brutto}}$  sowie die Anteile der EE daran, sind größtenteils Bestandteil der Energiebilanz, die im Länderarbeitskreis Energiebilanzen methodisch abgestimmt wird. Die Bilanzerstellung im Land Brandenburg erfolgt durch das Amt für Statistik im Auftrag des Wirtschaftsministeriums nach den Regeln der Arbeitsgruppe (AG) Energiebilanzen. Ergänzende Berechnungen sind Bestandteil des Monitorings zur Energiestrategie des Landes.

Der Anteil der EE am PEV, EEV und  $\text{StrV}_{\text{brutto}}$  erlauben einen Rückschluss auf die Anpassungsleistung an den Klimawandel.

**Datenquelle:** Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB), Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB)

### **Hinweise zur Interpretation:**

Die Teilindikatoren sind normiert. Bei einer länderübergreifenden Interpretation sind die Unterschiede bei den naturräumlichen Randbedingungen zur Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien (z.B. Wasserkraft, Windkraft, Geothermie, Anzahl der Sonnenstunden sowie geeignete Flächen und Standorte) zu beachten. Außerdem hängt der Energieverbrauch insgesamt stark von der Wirtschaftsstruktur ab. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bildet die Gesamtheit der EE ab. Bei Anteil der EE am Endenergieverbrauch werden in den Energiebilanzen nur die thermischen Anwendungen der EE bilanziert (z.B. Holzheizung) und beim Anteil der EE am Stromverbrauch die elektrischen Anwendungen (z.B. Solarstromerzeugung). Die Bilanzierung der EE gegenüber dem Primärenergieverbrauch ist zwar umfassend, aber ungünstig. Denn je schlechter der Wirkungsgrad der Umwandlung von fossilen Energieträgern ist, desto mehr werden davon benötigt. Somit sinkt der Anteil der EE am PEV. Da die EE vorrangig Strom erzeugen, besteht seitens des Bundes die Empfehlung die Bilanzierung der EE auf ihren Anteil  $\text{StrV}_{\text{brutto}}$  zu fokussieren. Für die Ausweisung des Anteils der EE am EEV werden bei dem Indikator, entgegen der Methode der AG Energiebilanzen, drei separate Anteile berechnet (Anteil an dem Stromverbrauch, Anteil am Wärmeverbrauch, Anteil im Verkehrssektor) und diese saldiert.





# **Wasserindikatoren**

**W-1 Mittlerer Abfluss**

**W-2 Gewässertemperatur**

**W-3 Grundwasserneubildung**

**W-4 Grundwasserzustand**

**W-5 Klimatische Wasserbilanz**

**W-6 Retentionsräume**

## W-1 Mittlerer Abfluss

### Grafik:

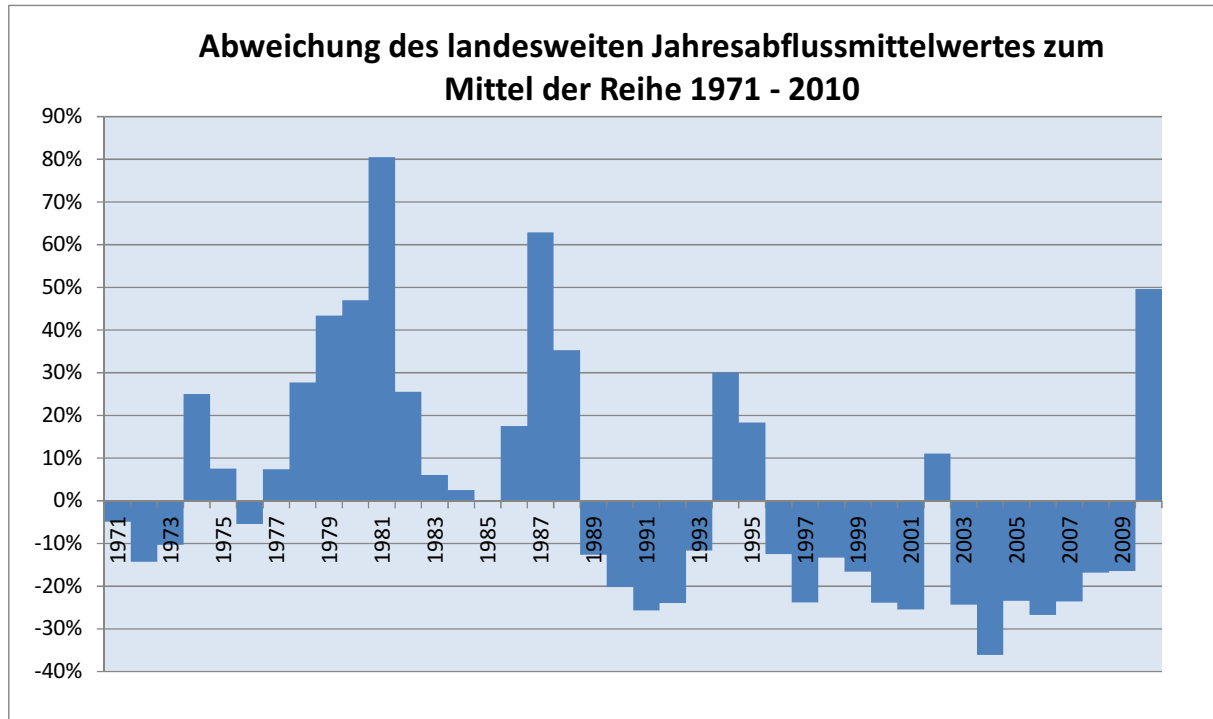


Abbildung 5: Abweichung des landesweiten Jahresabflussmittelwertes zum Mittel der Reihe 1971 -2010 an 119 Brandenburger Messstellen

### Bedeutung:

Die Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen Klimawandel und Abflussgeschehen ist verhältnismäßig eng. Der Klimawandel kann über Veränderungen des Niederschlags und der Temperatur zu räumlichen oder zeitlichen Veränderungen des Abflusses führen. Der mittlere Abfluss hängt natürlicherweise von der im Gebiet gefallenen Niederschlagsmenge, Verdunstung und der langfristigen Speicherung (z.B. im Grundwasser) ab.

Durch den Klimawandel ist eine Veränderung des Abflussverhaltens durch zunehmende Temperaturen, verstärkter Verdunstung sowie Verschiebungen der Sommerniederschläge hin zu den Wintermonaten zu erwarten. Mit dem Anstieg der mittleren Lufttemperatur, nimmt im Allgemeinen auch die Verdunstungsrate zu, sodass weniger Wasser für Grundwasser- und Abflussbildung verbleibt. Für die Bodenspeicher und somit auch für das Pflanzenwachstum, bleibt weniger Wasser zur Verfügung. Klimamodelle projizieren für Brandenburg eine Zunahme der Winterniederschläge und zugleich eine Abnahme der Sommerniederschläge. Weiterhin ist eine Intensivierung des Wasserkreislaufs möglich: Höhere Temperaturen bewirken eine höhere Verdunstung und damit einen höheren Wassergehalt in der Atmosphäre. Dies kann wiederum zu heftigeren Regenfällen und höheren Abflüssen führen.

Der mittlere Abfluss stellt eine wichtige hydrologische Kenngröße für den ökologischen Zustand eines Fließgewässers ebenso wie für die Auenökologie dar. Er wird üblicherweise gemeinsam mit Indikatoren für Niedrig- und Hochwasserereignisse betrachtet, da die Veränderung des mittleren Abflusses die prinzipiellen Nutzungsmöglichkeiten anzeigt, während Extremwerte der Abflüsse mit starken negativen ökologischen und ökonomischen Auswirkungen verbunden sind. Eine Zunahme des mittleren Hochwassers zieht nicht

notwendigerweise vermehrte Hochwasserereignisse nach sich ebenso wenig wie eine Abnahme des mittleren Abflusses nicht notwendigerweise mit häufigeren Niedrigwasserereignissen korreliert.

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkungen des Klimawandels im Land Brandenburg.

**Definition und Berechnungsverfahren:**

Dargestellt sind die mittleren Jahresabflüsse aller verfügbaren Abflussbeobachtungen in Brandenburg an 119 Messstellen. Für alle Messstellen liegen Jahreswerte vor. Aus den 40 Jahreswerten wird der Mittelwert berechnet, zu diesem Wert wird die Abweichung jeden Jahreswerts vom langjährigen Mittel dargestellt.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

## W-2 Gewässertemperatur

### Grafik:

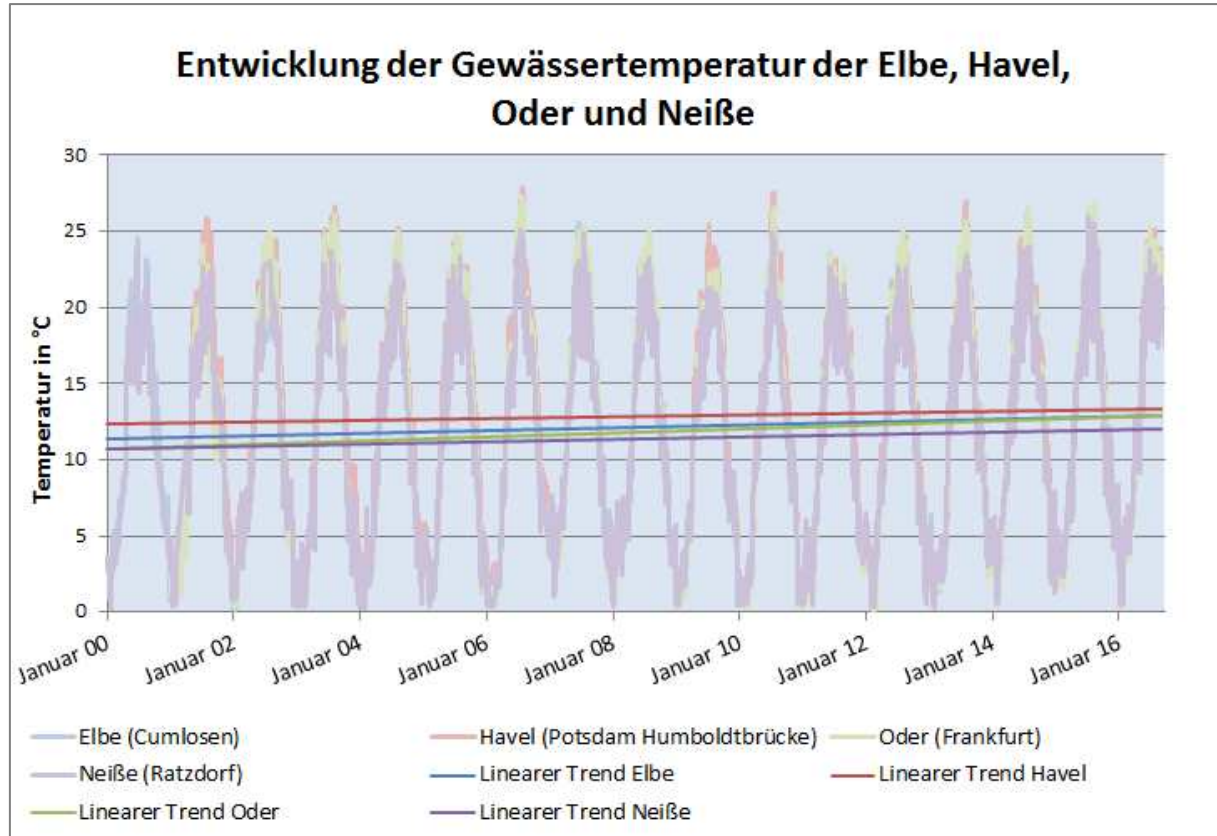


Abbildung 6: Gewässertemperaturentwicklung der Elbe, Havel, Oder und Neißé im Zeitraum 2000 - 2016

### Bedeutung:

Die Erhöhung der Lufttemperatur hat unmittelbaren Einfluss auf die Temperatur der Fließgewässer, sodass die Bestimmung der Temperaturentwicklung ein wichtiger Indikator für die Gewässergütebestimmung ist.

Ein Hauptfaktor, der die Gewässertemperatur von Fließgewässern beeinflusst ist die Abflussbildung im Quellbereich. Hier wird die Wassertemperatur durch die dominierenden Abflussverhältnisse gesteuert. In niederschlagsarmen Zeiten entspricht die Wassertemperatur daher näherungsweise der Grundwassertemperatur und somit in etwa dem langjährigen Mittel der Lufttemperatur. Hier besteht ein direkter Zusammenhang mit dem Anstieg der Lufttemperaturentwicklung im Klimawandel. Zudem hängt die Temperatur der Fließgewässer von den Wärmeaustauschprozessen zwischen Luft und Wasser ab. Starke Sonneneinstrahlung und zugleich geringer Schutz durch Ufervegetation kann zu starker Erwärmung der Gewässer führen.

Die Lufttemperatur wird im Wesentlichen von denselben Energieströmen gesteuert wie die Wassertemperatur, sodass oft ein enger statistischer Zusammenhang zwischen den beiden besteht. Die Lufttemperatur wird daher oft als Indikator für die Wassertemperatur verwendet.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Temperatur eines Fließgewässers ist die Höhe des Abflusses. Längere Trockenphasen mit höheren Durchschnitts- und Maximaltemperaturen

führen zu geringeren Wasserständen, die sich aufgrund ihrer geringeren Masse schneller und stärker erwärmen können.

Die Gewässertemperatur bestimmt letztendlich auch die Qualität der Gewässer. Je wärmer das Wasser ist, desto weniger Sauerstoff kann darin gelöst werden und die Aktivität von sauerstoffzehrenden Bakterien nimmt zu. Einige Fischarten wie z.B. Karpfen können von höheren Durchschnittstemperaturen profitieren und erreichen ein schnelleres Wachstum. Andere Fischarten wie die Regenbogenforelle zeigen bei steigenden Temperaturen Auffälligkeiten in ihrem Fressverhalten. Ab 20-21°C Wassertemperatur fressen Regenbogenforellen weniger, ab 23° C gar nicht mehr, ab 24°C wird es für sie lebensgefährlich.

Die Gewässertemperatur ist ein bedeutender Indikator der vom Klimawandel direkt betroffen sein wird. Die langfristige Beobachtung und das Erkennen der Trends ist daher unerlässlich. Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkung des Klimawandels im Land Brandenburg.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Dargestellt ist die Entwicklung der mittleren Gewässertemperatur der Elbe (Messstelle Cumlosen), Havel (Messstelle: Humboldtbrücke), Oder (Messstelle Frankfurt Oder) und Neiße (Messstelle Ratzdorf).

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), automatisches Gewässergütemessnetz. Die Datenreihe besteht hier in der Regel seit 2000 oder 2001. An der Havel (Messpunkt Humboldtbrücke) gibt es Lücken in den Daten zwischen dem 05.01.2007 bis 01.02.2009 aufgrund von Bauarbeiten.

### **Hinweise zur Interpretation:**

Dargestellt sind die Entwicklungen der Gewässertemperatur der Stationen Elbe Cumlosen, Havel Potsdam Humboldtbrücke, Oder Frankfurt und Neiße Ratzdorf. Aufgrund starker Überlagerungen der Temperaturkurven ist hier der lineare Trend zur Verdeutlichung der Temperaturentwicklung dargestellt.

## W-3 Grundwasserneubildung

### Grafik:

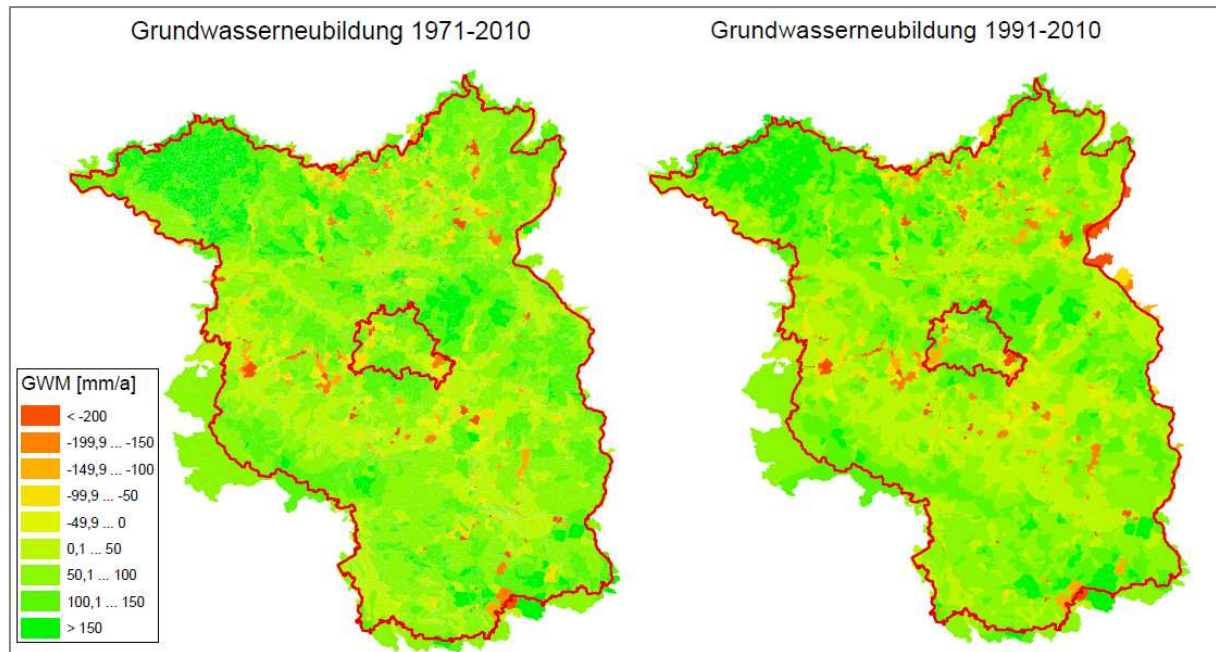


Abbildung 7: Vergleich der Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1971 - 2010 zu 1991 - 2010

### Bedeutung:

Der Klimawandel wirkt sich auf die wichtigsten Einflussfaktoren der Grundwasserneubildung (GWN), Temperatur und Niederschlagsverhältnisse, aus. Die GWN aus Niederschlägen wird von folgenden Faktoren bestimmt: Klima (Niederschlag, Evapotranspiration), Boden (Infiltration, Wassergehalt, nutzbare Feldkapazität, Grundwasserflurabstand) und Faktoren der Landnutzung (Nutzungsart und -form, Versiegelungsgrad). Wegen der hohen Flächenverdunstung in den Sommermonaten sowie aufgrund des Wasserverbrauchs von Pflanzen während der Vegetationsperiode findet eine nennenswerte Versickerung von Niederschlägen hauptsächlich zwischen Oktober und März statt.

Die im Klimawandel erwarteten erhöhten Winterniederschlagsmengen führen zu höheren Sickerwasserraten im Boden und somit zu einer erhöhten Stoffverlagerung (z.B. Nitrat). Falls keine zusätzliche Mobilisierung von Stoffen stattfindet, wird durch erhöhte Sickerwasserbildung und einer daraus resultierenden höheren GWN ein Verdünnungseffekt bei vorhandenen Stoffkonzentrationen stattfinden. Bei einer Erhöhung der GWN kann es in manchen Gebieten zu Vernässungen kommen. Andererseits wird durch erhöhte Grundwasserstände eine höhere Wasserspeicherung erzielt, so dass in ergiebigen Grundwasserleitern höhere Defizite der Sommerhalbjahre unter Umständen kompensiert werden können.

Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass eine Abnahme der Niederschläge zu einer Verringerung der GWN führt, wodurch evtl. ein Trockenfallen von Fassungsanlagen bewirkt wird, die im oberen Grundwasserstockwerk ausgebaut sind. In diesen Gebieten müsste dann auf tiefere Grundwasserstockwerke oder Verbundsysteme ausgewichen werden. Mit abnehmender GWN ist in der Regel auch eine Zunahme der Stoffkonzentrationen verbunden (z. B. Nitrat).

Bei den Jahreswerten des Niederschlages wird keine so stark ausgeprägte Änderung wie bei der Verteilung zwischen Sommer- und Winterniederschlägen projiziert. In Deutschland wird es möglicherweise Gebiete geben, in denen der Jahresniederschlag zunimmt, während in anderen Landesteilen eine Abnahme des Jahresniederschlages zu verzeichnen ist. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass zukünftig nicht nur mit veränderten Mittelwerten und einer innerjährlichen Verschiebung, sondern auch mit erhöhten Schwankungsbreiten zu rechnen ist. Das bedeutet, dass einzelne Extremjahre (nass-trocken) auch in mehrfacher Abfolge zukünftig häufiger auftreten könnten als bisher.

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkung des Klimawandels im Land Brandenburg.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Die GWN wird nach DIN 4049-3 definiert als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“. Zur GWN trägt hauptsächlich aus Niederschlag gebildetes Sickerwasser bei. Die GWN berechnet sich wie folgt:

Grundwasserneubildung = Niederschlag (Ni) – Verdunstung (ET) – oberirdischer Abfluss (Ao)

Um diesen Zugang flächendeckend in Abhängigkeit von klimatischen Faktoren und von der Beschaffenheit der Landoberfläche (Boden, Pflanzen) zu berechnen, muss die GWN mittels eines Bodenwasserhaushaltsmodells bestimmt werden, das in der Lage ist, die maßgeblichen Prozesse innerhalb der Boden-Pflanze-Atmosphäre-Interaktion realistisch abzubilden. In Abhängigkeit von den Standortbedingungen (u. a. grundwasserfern/ grundwassernah, Wechselwirkung zu Oberflächengewässern) müssen neben der Perkolations (Sickerwasserrate) als maßgeblicher Größe weitere Flüsse wie z. B. Zehrung, kapillarer Aufstieg, GW-Entnahmen und Zwischenabfluss berücksichtigt werden.

Für die Modellierung wurde das öko-hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO verwendet.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

### **Hinweise zur Interpretation:**

Die farbigen Bereiche, die über die Landesgrenze hinausgehen, sind oberirdische Teileinzugsgebiete, die nach Brandenburg entwässern und in der Modellierung mit berücksichtigt werden.

## W-4 Grundwasserzustand

### W-4.1 Grundwasserstand Seen

#### Grafik:

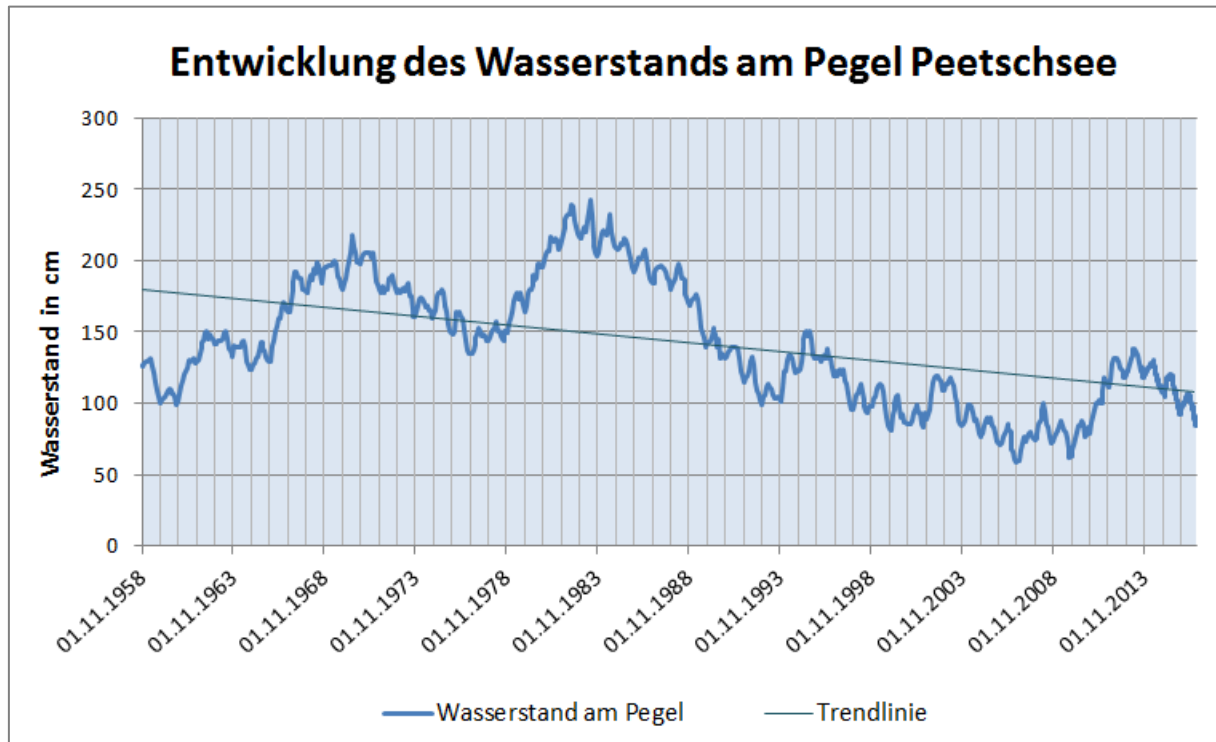


Abbildung 8: Entwicklung des ausschließlich grundwasserbeeinflussten Wasserstandes am Peetschsee bei Steinförde im Zeitraum 1958-2016

#### Bedeutung:

Trinkwasser in Brandenburg wird zu mehr als 94% aus Grundwasser gewonnen. Doch nicht nur als Quelle unseres Trinkwassers ist das Grundwasser von herausragender Bedeutung. Aus ihm werden auch die Oberflächengewässer gespeist und viele Feuchtgebiete verdanken ihre Existenz einem oberflächennahen Grundwasserstand. Damit bilden Schutz und Überwachung der Grundwasserressourcen eine wichtige Grundlage für eine nachhaltige Wasserversorgung, die Reinhaltung von Flüssen und Seen sowie den Erhalt von wertvollen Biotopen. Die Neubildung qualitativ hochwertigen Grundwassers ist daher eine grundlegende Voraussetzung für eine nachhaltige Trinkwasserbereitstellung.

Liegt die Grundwasserneubildungsrate deutlich über der entnommenen Wassermenge, so entspricht dies einem guten mengenmäßigen Zustand des Grundwassers nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Eine über die Grundwasserneubildungsrate hinaus gehende Nutzung von Grundwasservorkommen führt langfristig zu niedrigeren Grundwasserspiegeln. Dies gilt insbesondere bei kleinen Grundwasserkörpern. Die natürliche Grundwasserneubildung (GWN) sowie die Ganglinien des Grundwasserstandes sind abhängig von verschiedenen Faktoren und zeigen in der Regel jahreszeitliche Schwankungen, die oft von mehrjährigen Fluktuationen überlagert werden. Zu diesen Faktoren gehören z.B. der Anteil des Niederschlags, der in den Boden versickert, der Grundwasserflurabstand, die Beschaffenheit der Deckschichten über dem Grundwasser, die Größe und der Typ der Hohlräume im Gestein, das Gefälle der Grundwasseroberfläche und der unterirdische Zu- und Abfluss des Grundwassers.



Der Klimawandel beeinflusst die GWN durch veränderte Temperaturen und Niederschläge. Wegen steigender Temperaturen erhöht sich unter anderem die Verdunstung und damit verringert sich die Versickerung und GWN. Die veränderten Niederschlagsverhältnisse beeinflussen über den Abfluss an der Oberfläche die GWN. Während Niederschlagszunahmen in den Wintermonaten tendenziell einen Anstieg der Grundwasserstände vermuten lassen, können Niederschlagsabnahmen in den Sommermonaten zu einer Verringerung der Grundwasserneubildungsrate führen. Im Vergleich zu Oberflächengewässern reagieren Grundwässer langfristig auf die Verschiebung von Niederschlagsmengen, wodurch z.B. Jahre mit einer geringen Gesamtniederschlagsmenge kompensiert werden können. Allerdings können lokale Niederschlagszunahmen auch durch ansteigende Temperaturen und damit einhergehender erhöhter Verdunstung überkompensiert werden. Wichtig ist, dass der Klimawandel nicht nur die GWN beeinflusst, sondern auch die Nutzung des Grundwassers. Der mengenmäßige Grundwasserzustand lässt sich anhand eines ausschließlich grundwassergespeisten Sees, dem Peetschsee in der Nähe von Steinförde im äußersten Norden Brandenburgs, darstellen. Dieser See ist zurzeit der einzige See im Land, der ausschließlich grundwassergespeist ist und dessen Pegelstand seit vielen Jahren dokumentiert wird.

Dieser Indikator verdeutlicht anhand des Wasserspiegels des Peetschsees die möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Land Brandenburg auf die oberflächennahen Grundwasserstände.

#### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Um die menschlichen Eingriffe in den Grundwasserhaushalt und die klimatisch bedingten Einflüsse auf das Grundwasser erkennen und beurteilen und daraus auch den mengenmäßigen Grundwasserstand ermitteln zu können, wird die Höhe des Grundwasserstandes über dem Meeresspiegel durch Messungen an einer Vielzahl von Messstellen in den Grundwassermessnetzen der Bundesländer beobachtet. Hieraus ergibt sich eine Häufigkeitsverteilung der Grundwasserkörper mit mengenmäßig gutem/schlechtem / unbekanntem Zustand des Grundwassers.

Der Indikator stützt sich auf die Erfassung des mengenmäßig guten Zustandes des Grundwassers nach WRRL und hat damit den Vorteil, dass bundesweit Grundwasserkörper einbezogen werden können. Der hier betrachtete Peetschsee liegt im äußersten Norden Brandenburgs in der Nähe von Steinförde. Er ist ein ausschließlich durch Grundwasser gespeister See ohne Wasserentnahmen und Stauregulierungen und weist somit die natürliche Entwicklung aus.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

## W-4.2 Mengenmäßiger Grundwasserzustand

### Grafik:

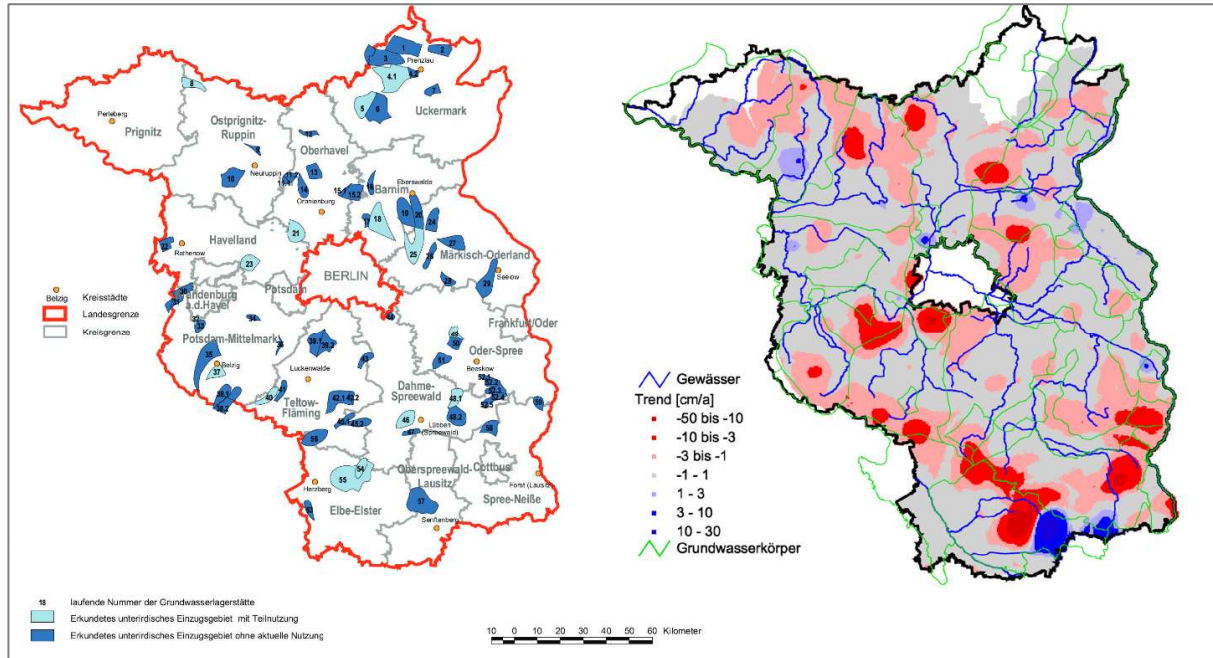


Abbildung 9: (Links) Ungenutzte und teilgenutzte Grundwasservorräte in Brandenburg, Wasserversorgungsplan 2009 Brandenburg, Stand: 2006 . (Rechts) Trend der Grundwasserstände in Brandenburg für die Zeitreihe 1976 – 2013

### Bedeutung:

Ein ausreichendes Grundwasserdargebot ist Voraussetzung für die Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft und Ökosysteme. Für die Versorgung des Bundeslandes Brandenburg steht ein erkundetes Grundwasserdargebot für die Trinkwassergewinnung von über 2 Mio. m<sup>3</sup>/d zur Verfügung, von dem 640.200 m<sup>3</sup>/d ungenutzte und teilgenutzte Vorräte (maximal 10 % Nutzung) sind. Ca. 160.000 m<sup>3</sup>/d davon stellen den teilgenutzten Grundwasservorrat dar. Damit können die etwa 2,5 Mio. Einwohner für absehbare Zeiten sicher versorgt werden. Voraussetzung für eine potenzielle zukünftige Nutzung ist, dass auch weiterhin das Grundwasser flächendeckend geschützt wird. In Brandenburg konnten 60 Vorratsgebiete mit 72 Fassungsstandorten ausgewiesen werden.

Die verringerte Grundwasserneubildung bzw. erhöhte Zehrung ist durch den Anstieg der Globalstrahlung seit den 1980er Jahren verursacht. In Folge der höheren Globalstrahlung kommt es zu einem Anstieg der potenziellen Verdunstung und bei entsprechender Wasserverfügbarkeit zur höheren Evapotranspiration. In Zukunft muss auch mit veränderten Niederschlagsverhältnissen, trockeneren Sommer und feuchteren Wintern gerechnet werden.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Das Land Brandenburg kann auf einen guten Kenntnisstand zu geologisch-hydrogeologischen Lagerungsverhältnissen und Nachweisen zu Grundwasservorräten zurückgreifen. Grundlagen wurden bereits in den 60er Jahren mit großräumig angelegten Grundwasservorratsprognosen geschaffen, wie z. B. Untersuchungsberichte zum

‘Eberswalder Urstromtal’ und ‘Einzugsgebiet Oder’. Diese Vorerkundungen erfassten große Gebiete und gestatteten, Teileinzugsgebiete mit entsprechenden Vorratsgrößen auszuweisen. Im Zeitraum von 1970 bis 1989 sind über 170 hydrogeologische Ergebnisberichte für die Region des Landes Brandenburgs mit Vorratsnachweisen auf der Basis von hydrogeologischen Detailerkundungen erarbeitet worden. Nach 1990 ist diese systematische Bearbeitung hydrogeologischer Erkundungen nur noch lokal bei entsprechendem Erfordernis (z. B. Bootz/Prignitz) durchgeführt worden.

Im Zuge der Vorbereitung des Wasserversorgungsplans aus dem Jahr 1996 wurde durch das damalige Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Jahre 1995 die „Karte der ungenutzten und teilgenutzten Grundwasserlagerstätten des Landes Brandenburg“ im Maßstab 1:300.000 erarbeitet. In der Erhebung für diese Karte sind sämtliche Grundwasservorräte aus Detailerkundungen erfasst worden, die nach damaligem Kenntnisstand in eine wasserwirtschaftliche Nutzung überführt werden könnten. Um ein einheitliches Herangehen für die Gebietsauswahl der Grundwasservorräte zu gewährleisten, ergab sich folgender Definitionsansatz:

*„Erreicht die Akkumulation von Grundwasser eine Konzentration, die gegenwärtig oder in absehbarer Zukunft mit vertretbarem Aufwand genutzt werden kann, so wird aus einem Grundwasservorkommen ein Grundwasservorrat als geologisch-ökonomische Kategorie und der Akkumulationsraum zur Grundwasserlagerstätte. Jeder Grundwasserlagerstätte ist ein Einzugsgebiet als Grundwasserbildungsraum zuzuordnen, abgegrenzt durch Wasserscheiden. Der für eine Nutzung interessante Grundwasservorrat wird aus dem regenerierbaren Grundwasserdargebot rekrutiert.“* (Jordan & Weder, 1995)

Gemäß des Sachstandberichts der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2011) sind 30-jährige Zeitreihen für die Trendentwicklung der Grundwasserstände zu bewerten, da diese annähernd klimatisch trendfrei sein sollen. Allerdings ist für das Land Brandenburg bekannt, dass dies in den Hochflächenbereichen nicht der Fall ist. Damit mindestens 30 Jahre mit Messwerten belegt sind, wurde die Zeitreihe 1976-2013 für die Auswertung gewählt und alle Pegel mit Messwerten für mindestens 360 Monate mittels linearer Regression ausgewertet. Für die meisten Zeitreihen liegen die Messwerte in wöchentlichen Abständen vor. Aus diesen Werten wurden Monatsmittel gebildet. Berücksichtigt wurde jeweils nur der oberste Pegel. Messungen aus tieferen Grundwasserleitern wurden nicht verwendet. Insgesamt konnten 1.290 Grundwasserpegel ausgewertet werden. In Teilen der Landkreise Uckermark und Prignitz sind zu wenig lange Zeitreihen für eine Bewertung vorhanden (helle Flächen).

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkung des Klimawandels im Land Brandenburg.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

**Hinweise zur Interpretation:**

Bei länderübergreifenden Auswertungen sind einheitliche Zeiträume und Parameter für die Trendberechnungen zu wählen. Für die Berechnungen der Abweichung der Grundwasserstände von den Normalwerten sind bei länderübergreifenden Betrachtungen einheitliche Referenzzeiträume festzulegen.

## W-5 Klimatische Wasserbilanz

### Grafik:

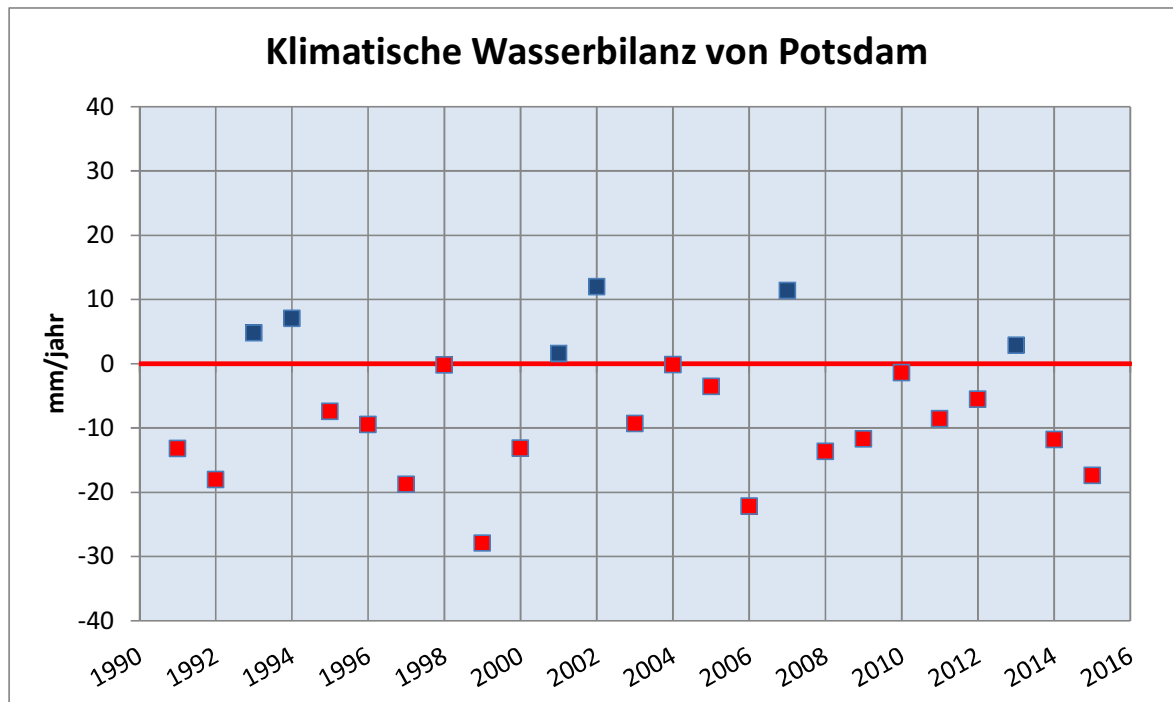


Abbildung 10: Die klimatische Wasserbilanz von Potsdam in mm / Jahr im Zeitraum 1991 - 2015

### Bedeutung:

Das Land Brandenburg gilt als wasserreich, da es zahlreiche Seen, Moor- und Feuchtgebiete besitzt. Diese sind vor allem durch die Weichsel-Eiszeit um 120.000-10.000 Jahre vor heute entstanden. Gleichzeitig leidet Brandenburg unter Niederschlagsarmut. Mit Jahresniederschlägen von unter 600 mm pro Jahr ist Brandenburg eines der trockensten Gebiete Deutschlands (durchschnittlicher Jahresniederschlag Deutschlands: ca. 790 mm).

Bei einer Temperaturzunahme in Folge der Klimaerwärmung wird die Verdunstung erhöht und die Atmosphäre kann einen höheren Wasserdampfgehalt aufnehmen (ca. 7% bei einer Temperaturerhöhung von 1° C). Durch diese Rückkopplung wird der Treibhauseffekt verstärkt.

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkung des Klimawandels im Land Brandenburg.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Die klimatische Wasserbilanz ist eine rechnerische Größe, die aus der Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung berechnet wird. Sie stellt dar, welcher Anteil des Jahresniederschlags zur Befriedigung des Verdunstungsanspruches der Atmosphäre maximal verbraucht werden kann. Jahre mit positiver klimatischer Wasserbilanz sind Überschussjahre, während eine negative klimatische Wasserbilanz defizitäre Jahre kennzeichnet.

Datenquelle: Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)



## W-6 Retentionsräume

### Grafik:

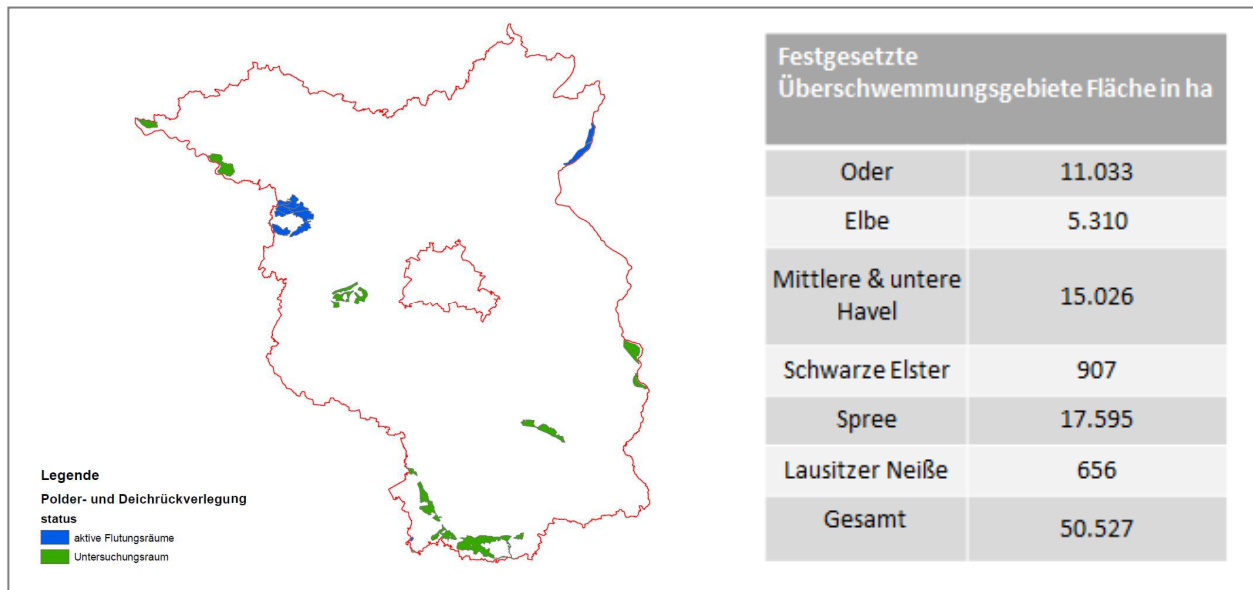


Abbildung 11: Aktive Flutungsräume und Untersuchungsgebiete für mögliche weitere Flutungsräume. Stand: 2017. Tabelle rechts: Festgesetzte Überschwemmungsflächen im Land Brandenburg, inkl. deichgeschützte Flächen, Polder und Vorlandflächen in ha. Stand: 2004

### Bedeutung:

Retentionsräume sind die angrenzenden Flächen an Flüsse und Seen, auf denen sich bei Hochwasser das Wasser ausbreiten und sammeln kann. Die Überflutung von Überschwemmungsflächen bewirkt die Verringerung, Hemmung und Verzögerung des Abflussprozesses sowohl in den Fließgewässern und ihren Überschwemmungsgebieten (Gewässerretention) als auch in ihren Einzugsgebieten (Gebietsretention). Das Retentionsvermögen ist daher die Fähigkeit eines Fließgewässerabschnittes, eines Überschwemmungsgebietes oder eines Einzugsgebietes, zum Wasserrückhalt beizutragen. Zudem sind Retentionsräume eine wichtige Grundlage für die ökologische Vielfalt. Sie tragen auch zum Bodenschutz und zur Grundwasseranreicherung bei.

Bei hohem Retentionsvermögen des Einzugsgebietes wird die Umsetzung des Niederschlags in Abfluss maximal verzögert. Niederschlagsabhängige Abflussspitzen können hierüber gesenkt, der Rückhalt fester und gelöster Stoffe in der Fläche erhöht werden. Auch die Wasserbereitstellung erfolgt kontinuierlicher, was Niedrigwassersituationen in Gewässern zwischen Niederschlagsereignissen entschärfen kann. Hierzu trägt nicht nur die Wasserspeicherung im Boden und der Vegetation des Einzugsgebietes, sondern auch die Rückgewinnung von verdunstetem Wasser durch den "kleinräumigen Wasserkreislauf" bei (Kondensation als Folge der Verdunstungskühle). Eine hohe Retentionsfunktion der Landschaft ist somit gleichzusetzen mit einer maximalen Verweilzeit des Wassers und der Stoffe im gesamten Einzugsgebiet. Sowohl das Abflussverhalten (Extreme und Häufigkeit der Hoch- und Niedrigwasser) als auch die stoffliche Belastung der Gewässer und des Grundwassers stehen in Zusammenhang damit.

Die technischen Möglichkeiten für Hochwasserschutz (Deiche, Rückhaltebecken, Talsperren) unterliegen gewissen Grenzen, da Rückhaltebecken nicht beliebig groß und Deiche nicht immer höher gebaut werden können. Daraus leitet sich ab, dass dem vorbeugenden Hochwasserschutz, als auch der Nutzung und Gestaltung des

Gewässerumfeldes als Vorsorgemaßnahme mehr Raum gelassen werden muss. Ziel ist es, abflusserhöhende und abflussbeschleunigte Maßnahmen zu verhindern und eingetretene negative Effekte weitestgehend rückgängig zu machen. Vordringlich sind die Erhaltung und Vergrößerung der vorhandenen Überschwemmungsgebiete und die Rückgewinnung ehemaliger Überschwemmungsflächen.

Als Hochwasserretentionsräume können zum einen die nach § 100 Abs. 2 Satz 1 des Brandenburgischen Wassergesetzes (BbgWG) festgesetzten Überschwemmungsgebiete bezeichnet werden. Sie bezeichnet Gebiete, die bei einem Hochwasserereignis mit einer statistischen Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren ( $HQ_{100}$ ) natürlicherweise, also ohne menschliches Zutun, überschwemmt werden (s. Tabelle).

Zudem können kontrollierte Polderöffnungen zum Hochwasserschutz beitragen, da sie aktiv den Hochwasserscheitel absenken. Auch Deichrückverlegungen wie am Beispiel Lenzen an der Elbe sind langfristige Methoden, sich zukünftig verstärkten Hochwasserereignissen anzupassen (s. Grafik).

In den letzten zwei Jahrzehnten haben sich weltweit in statistisch verkürzten Abständen Hochwasserkatastrophen ereignet. Die Hochwasserereignisse 1997 an der Oder und im Sommer 2002, Winter 2002/2003 sowie Sommer 2013 an der Elbe haben gezeigt, dass mit derartigen natürlichen Ereignissen immer wieder gerechnet werden muss. Durch den drastischen Rückgang der natürlichen Retentionsräume in den Einzugsgebieten unserer Flüsse hat sich der zeitliche Ablauf der Hochwässer verschärft.

Der Klimawandel wird in Brandenburg einen trockeneren Sommer und deutlich feuchtere Wintermonate verursachen. Gleichzeitig kann das Risiko von Starkniederschlag, sowohl im Sommer als auch im Winter zunehmen. In Zukunft muss sowohl mit Wassermangel als auch mit Wasserüberschuss gerechnet werden. Hochwasserereignisse könnten in Zukunft noch verheerender ausfallen oder häufiger auftreten, wie die Hochwasserereignisse bspw. aus 2002 und 2013 an der Elbe zeigen.

Eine wichtige Anpassungsmaßnahme hierfür ist die Schaffung zusätzlicher Hochwasserrückhalteflächen zur Reduzierung des Hochwasserrisikos. Der Indikator zeigt die Anpassungsleistung an den Klimawandel im Land Brandenburg.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Die erste Darstellung zeigt die derzeitigen aktiven Flutungsräume und zudem weitere mögliche Flutungsräume, die derzeit untersucht wurden. Die Tabelle zeigt die nach § 100 Abs. 2 Satz 1 des BbgWG festgesetzten Überschwemmungsgebiete bis zum Jahr 2004. Es handelt sich dabei um die Gebiete, die von einem  $HQ_{100}$  natürlicherweise, also ohne menschliches Zutun, überschwemmt werden.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)





# **Bodenindikatoren**

**B-1 CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Moorböden**

**B-2 Kritische Frühjahrstrockenheiten für Winterroggen**

**B-3 Bodenerosionsgefährdung durch Wasser**

**B-4 Dauergrünlandflächen**

**B-5 Lumbriciden (Regenwürmer)**

## B-1 CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Moorböden

### Grafik:

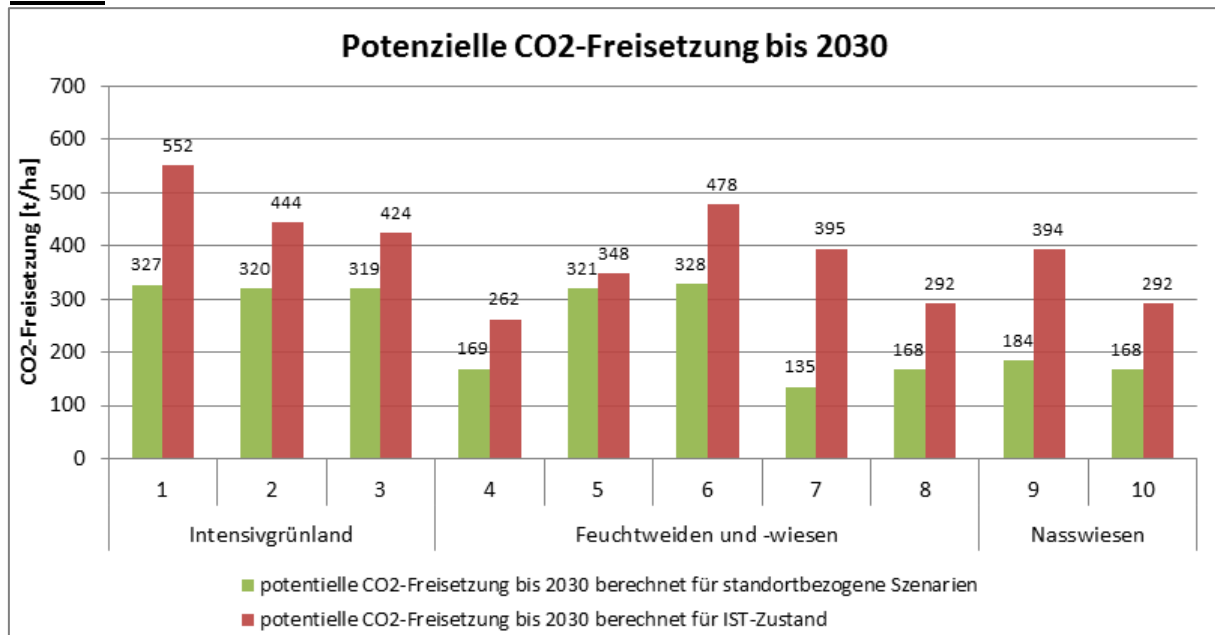


Abbildung 12: Vergleich von potenziellen CO<sub>2</sub>-Freisetzungen an Intensivgrünland-, Feuchtweiden/-wiesen- sowie Nasswiesenstandorten bis 2030 unter der Annahme einer gleichbleibenden Temperatur. Gegenüberstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzungspotentiale aller zehn Beispielstandorte unter aktuellen (Ist-Zustand) und fiktiven (Szenarien) Wasserverhältnissen für den Zeitraum 2010-2030

### Bedeutung:

Moore sind biogene Kohlenstoffspeicher, sodass im Hinblick auf den Klimawandel die Bedeutung der Moore stark zunimmt. Landwirtschaftlich genutzte Moore unterliegen häufig aufgrund von intensiver Nutzung und damit einhergehender Entwässerung einer sekundären Bodenentwicklung. Während dieser Prozesse kommt es zu irreversiblen Veränderungen der Standorte, die sich nachteilig auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken können. Je nach Prozessintensität bilden sich unterschiedliche Standortverhältnisse aus, und natürliche Bodenfunktionen wie z.B. die Speicher- und Regulationsfunktion für Kohlenstoff und Wasser gehen verloren.

Moore sind definiert als Böden aus Torf und binden im Zuge Ihrer Entstehung aufgrund mangelnder Belüftung hohe Mengen organischer Substanz. Diese können Gehalte von bis zu 30% aufweisen. Häufig sind diese Kohlenstoffspeicher mehrere Meter mächtig. In Brandenburg bedecken hydromorphe, also grundwasserbeeinflusste Böden, insgesamt 44% der Landesfläche. Sie werden größtenteils landwirtschaftlich genutzt, vordergründig als Grünlandfläche für den Anbau von Futtergräsern zur Erzeugung von Milch und Fleisch.

Regionale Klimaprojektionen heben die Bedeutung dieser Böden aufgrund ihrer regulativen Eigenschaft im Kohlenstoff- und Wasserhaushalt hervor. Besonders betroffen sind sie durch zukünftig zu erwartende Wechsel der Bodenfeuchtigkeit aufgrund projizierter Starkregenereignisse während der Vegetationsperiode. Dies kann in Verbindung mit steigenden Jahresmitteltemperaturen zu verstärkten Umsetzungs- und Mineralisierungsprozessen der organischen Bodensubstanz führen und die Kohlenstoffemissionen aus diesen Böden erhöhen.

Jegliche traditionelle Landnutzung hydromorpher Böden erfordert eine mehr oder weniger starke Entwässerung. Als Folge der Mineralisierung der organischen Substanz wird Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt. Daneben führt die Sackung und Schrumpfung der ursprünglich sehr locker gelagerten Torfe zu weiteren Höhenverlusten und zur Verdichtung-, und wichtige chemische und physikalische Bodeneigenschaften gehen verloren. Im Laufe der Zeit und in Abhängigkeit von der Entstehungsgeschichte des Bodens können diese Prozesse zum Verlust des (Moor)bodens führen.

Ausschlaggebend für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der organischen Substanz grundwasserbeeinflusster Böden sind zum einen die Grundwasserabsenkungen und zum anderen die stark schwankenden Grundwasserstände, welche zu einer regelmäßigen Durchfeuchtung der Oberböden führen. Unter diesen Bedingungen können sich die Umsetzungsprozesse durch die mikrobielle Aktivität erhöhen.

Der Indikator zeigt die möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Land Brandenburg.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Dargestellt ist eine Gegenüberstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzungspotentiale bis 2030 der untersuchten Beispielstandorte unter aktuellen und fiktiven Wasserverhältnissen. Folgende Beispielstandorte sind untersucht worden: (1) Intensivgrünland auf Gleyen und Anmooren, (2) Intensivgrünland auf tiefem Niedermoor, (3), Intensivgrünland auf flachem Niedermoor, (4) Feuchtweiden auf Gleyen und Anmooren, (5), Feuchtweiden auf Niedermoor, altes Saatgrasland, (6) Feuchtweiden auf Niedermoor, Großseggengeprägt (max. 25%), (7) Feuchtweiden auf Niedermoor, Großseggendominanz (max. 50%), (8) Feuchtwiesen auf Niedermoor, (9) Nasswiesen auf Niedermoor, Reines Großseggenried, (10) Nasswiesen auf Niedermoor, Mischbestand mit Röhrichten.

Der mittlere Sommergrundwasserstand ist in den Szenarien für Intensivgrünland auf 40 cm, für Feuchtweiden und –wiesen auf 30 cm und für Nasswiesen auf 20 cm unter Flur simuliert worden. Weitere Größen, welche die Höhe der potentiellen Kohlendioxidemission beeinflussen sind die Moormächtigkeit, die Nutzungsintensität und die Jahresmitteltemperatur.

Auf repräsentativen Grünlandflächen wurde durch die Humboldt-Universität zu Berlin eine umfangreiche IST-Analyse der Standortfaktoren Boden, Wasser und Vegetation durchgeführt. Basierend auf aktuellen Ergebnissen konnten zehn Standortnutzungsgruppen identifiziert werden. Für jede Gruppe wurde der Einfluss regionaler Klimaänderungen mittels Impactmodellierung geprüft. Die Jahreserträge der durch Entwässerung und intensive Nutzung stark veränderten Niedermoorböden unterliegen starken Schwankungen. Der Grad der Bodenveränderung korreliert stark mit der Grundwasserdynamik. Die Impactmodellierung bestätigt eine erhöhte Vulnerabilität hydromorpher Böden gegenüber regionalen Klimaänderungen. Das Projekt HYDBOS ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsverbundes Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin (INKA BB).

**Datenquelle:** Wallor, E., Dzialek, J., Zeitz, J. (2014) : Grünlandbewirtschaftung grundwasserbeeinflusster Böden Brandenburgs – Möglichkeiten und Grenzen. In: Klimaanpassung in der Land- und Ernährungswirtschaft. Bloch, R., Bachinger, J., Fohrmann, R., Pfriem, R. (Hrsg.), oekom Verlag München. Zeitz, J. (2014): Prozesse und Auswirkungen einer entwässerungsbasierten Moornutzung. In: Luthardt, V. & Zeitz, J. (Hrsg.). Moore in Brandenburg und Berlin. Rangsdorf: Natur & Text Verlag.

## B-2 Kritische Frühjahrstrockenheiten für Winterroggen

### Grafik:

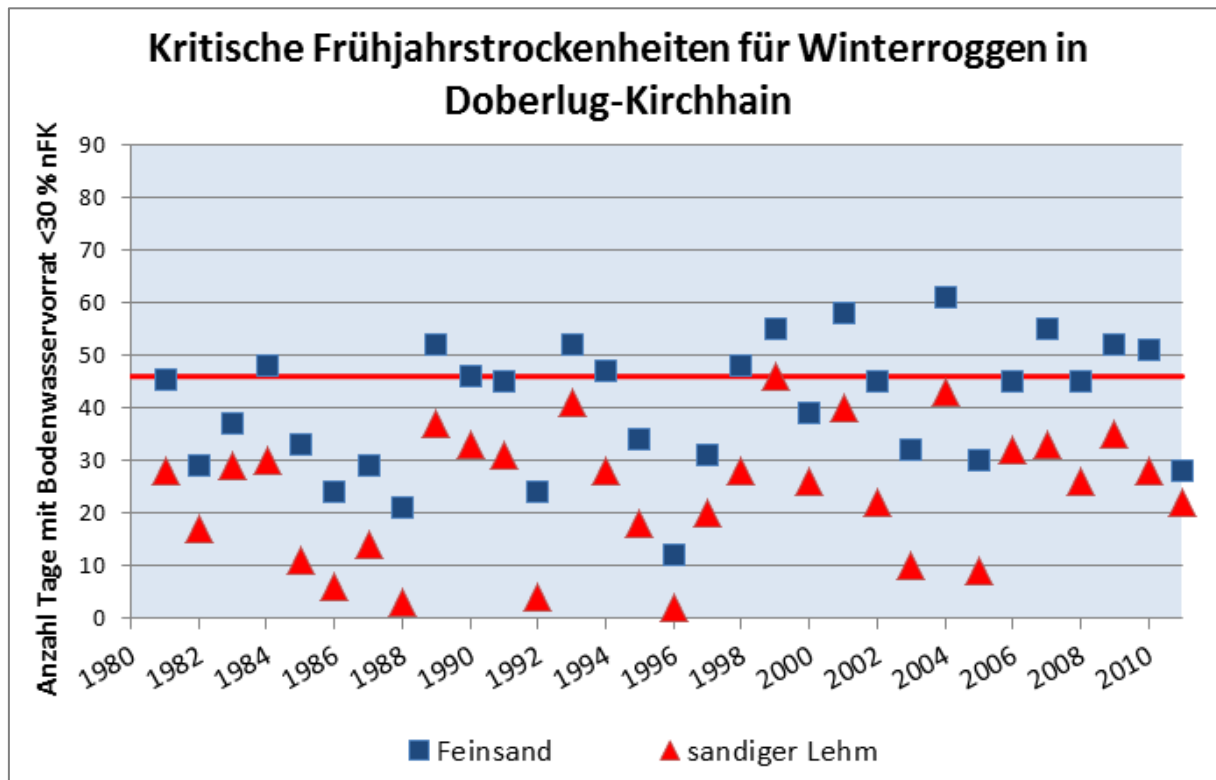


Abbildung 13: Kritische Frühjahrstrockenheiten für Winterroggen. Dargestellt ist die Anzahl der Tage mit Unterschreitungen der kritischen Bodenwassergehalte (Schwellenwert < 30% nFK an 45 Tagen, rote Linie) für den Standort Doberlug-Kirchhain auf Feinsand und sandigem Lehm im Zeitraum 1980-2011

### Bedeutung:

Veränderungen von Niederschlagsverhältnissen und Lufttemperatur wirken sich direkt auf den Wasser- und Stoffhaushalt des Bodens aus. Bodenwassergehalte, Verdunstungsraten und Grundwasserneubildung können sich in Folge von veränderten klimatischen Bedingungen ändern und somit den Bodenwasserhaushalt nachhaltig beeinflussen. Das für die Pflanzen verfügbare Wasser wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) angegeben. Hohe Temperaturen im Frühjahr oder Sommer mit einhergehenden geringen Niederschlägen führen zu einem erhöhten Wasserbedarf der Pflanze. Der Bodenwassergehalt kann dann schnell erschöpft sein. Eine Abnahme der Bodenfeuchte kann insbesondere für Pflanzen im Aufwuchsstadium problematisch sein, da Schäden an der Vegetation entstehen können und der Trockenstress zu Ernteeinbußen führen kann. Da viele brandenburgische Böden stark sandgeprägt sind und diese somit eine nur geringe Feldkapazität besitzen, ist dieses Risiko für Brandenburg besonders ausgeprägt.

Jahreszeitliche Verlagerungen der Niederschlagsverhältnisse können eine Abnahme der Sickerwassermengen im Sommer und eine Zunahme im Winter bewirken. Die Folge wären veränderte Stoffverlagerungsprozesse, die z.B. die Nitratmobilisierung und -verlagerung beeinflussen. Sehr trockene (hydrophobe) Böden behindern zudem die Infiltration, wodurch erhöhter Oberflächenabfluss in Verbindung mit Bodenerosion entstehen kann. Wechselwirkungen mit anderen bodenrelevanten Faktoren können eine austrocknungsbedingte Zunahme der Wind- und Wassererosion, Humusverluste und eine höhere Verdichtungsgefährdung bewirken.

Als Indikator wird die kritische Frühjahrstrockenheit für Winterroggen dargestellt. Winterroggen wird als Indikatorpflanze ausgewählt, da er aufgrund seiner geringeren Ansprüche an Standort und Klima auf leichten Standorten als ertragsstärkste Getreideart gilt. Winterroggen stellt in Brandenburg eine der wichtigsten angebauten Fruchtarten dar, somit besitzt er eine große Flächenrelevanz. Aufgrund seiner relativ hohen Trockentoleranz ist Winterroggen bei zunehmender Trockenheit nicht einfach durch andere Getreidearten zu ersetzen.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels im Land Brandenburg.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Unter Frühjahrstrockenheit wird ein Zeitraum verstanden, in dem aufgrund fehlender Niederschläge der Bodenwasservorrat abnimmt und ggf. unter kritische Grenzwerte fällt. Die Zunahme kritischer Trockenheitsphasen bedeutet für das ackerbauliche Management, dass Standorte mit einer geringen Wasserspeicherfähigkeit künftig für bisherige Anbaustrategien nicht mehr geeignet erscheinen und eine Anpassung stattfinden muss. Abgebildet wird der Sättigungsgrad des Bodenwassers als Prozentanteil der nFK bis in eine Bodentiefe von 60 cm. Unterhalb eines Wertes von 50% nFK muss bei den Pflanzen grundsätzlich mit Wasserstress gerechnet werden. Werte über 100% nFK bedeuten eine Übersättigung des Bodens mit Wasser. Je geringer der Sättigungsgrad, desto höher ist das Risiko, dass die Pflanze unter den gegebenen Standortbedingungen in einer ihrer entscheidenden Entwicklungsphasen in Wasserstress geraten. Beim Auftreten mehrerer aufeinander folgender Tage mit Unterschreiten bzw. Erreichen der kritischen Bodenwassergehalte ist noch einmal mit einer Verstärkung des Trockenstresses der Pflanzen zu rechnen. Ausgehend davon, dass bei Unterschreitendes Bodenwassergehaltes von 30% die Photosyntheseleistung der Pflanzen stark zurückgeht, ist der erste Schwellenwert auf 45 Tage gelegt worden (rote Linie).

Der Indikator stellt die Anzahl der kritischen Frühjahrstrockenheiten in den Monaten April bis Juni für Winterroggen auf Feinsand und sandigem Lehm dar. Der gewählte Zeitraum des Frühjahres (April-Juni) stellt die für den Ertrag besonders wichtige Wuchsphase dar, in der der Auswuchs stattfindet und die Blütenanlage einsetzt.

Verwendet werden die 31-jährigen gleitenden Mittel basierend auf der Methodik der Gauß'schen Tiefpassfilterung. Die Werte basieren auf Berechnungen des in der Praxis erprobten SVAT-Modells (Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer) AMBAV. Das Modell AMBAV benutzt die klassische Penman-Monteith-Beziehung und wird routinemäßig in der agrarmeteorologischen Beratung eingesetzt (z.B. Berechnungsberatung).

**Datenquelle:** Die für den Indikator genutzten Daten des Deutschen Klimaatlas werden regelmäßig und hochfrequent fortgeschrieben und die genutzten Modelle sind qualitätsgesichert.

### **Hinweise zur Interpretation:**

Die Zunahme kritischer Frühjahrstrockenheiten kann für das ackerbauliche Management bedeuten, dass einige Standorte mit einer geringen Wasserspeicherfähigkeit künftig für bisherige Anbaustrategien nicht mehr geeignet erscheinen und eine Anpassung stattfinden muss. Winterroggen besitzt in Brandenburg eine hohe Flächenrelevanz. Aufgrund seiner relativ hohen Trockentoleranz ist Winterroggen bei zunehmender Trockenheit nicht einfach durch andere Getreidearten zu ersetzen.

## B-3 Bodenerosionsgefährdung durch Wasser

### Grafik:

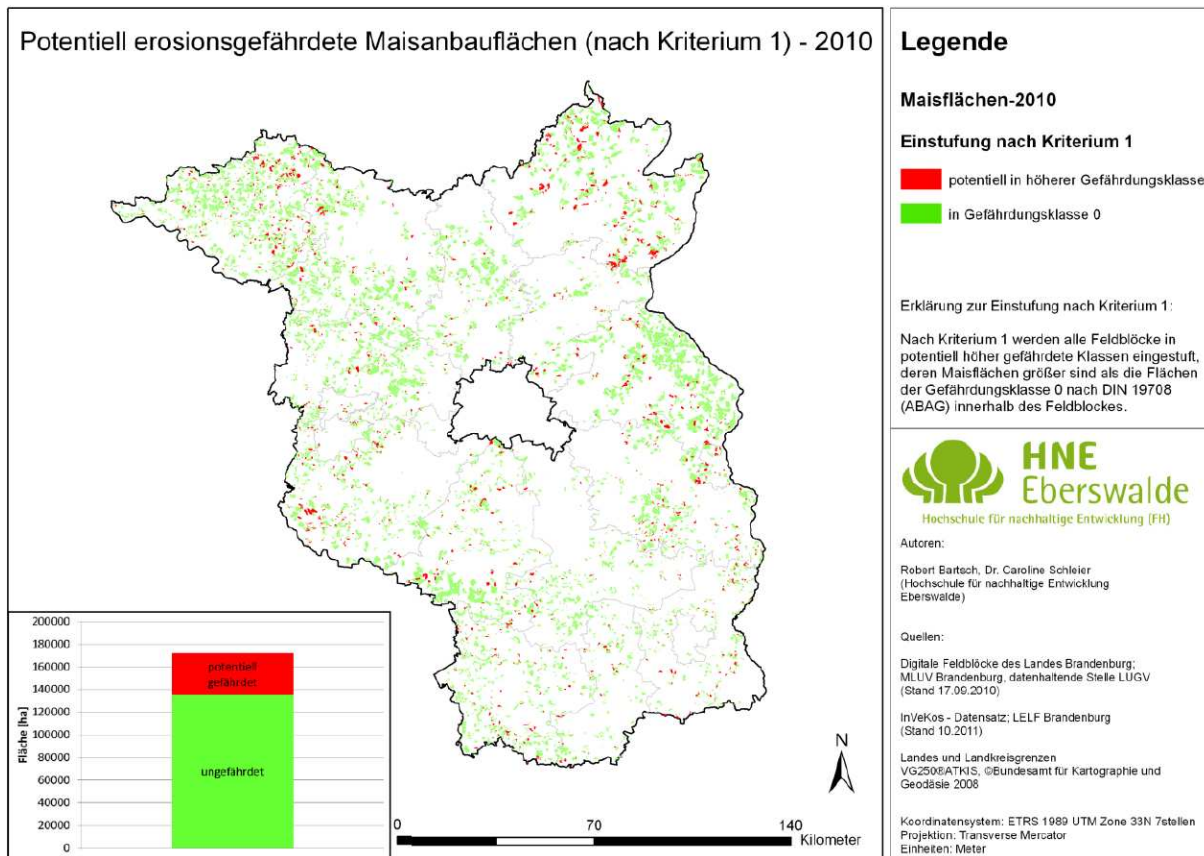


Abbildung 14: Bodenerosionsgefährdung durch Wasser an Beispiel potentiell erosionsgefährdeter Maisanbauflächen, Stand: 2010

### Bedeutung:

Im Zuge des Klimawandels werden Böden insbesondere von der Zunahme von Starkniederschlägen und dem steigenden Anteil der winterlichen Niederschläge am Gesamtjahresniederschlag in einer regional unterschiedlich starken Ausprägung betroffen sein. Besonders Ackerflächen sind stark anfällig für Bodenerosion in Folge von Starkniederschlagsereignissen, sowie die Flussauengebiete bei Hochwasserereignissen. Bodenabtrag, also der Verlust an Boden, insbesondere Humus, führt zu Verminderung des Nährstoffgehaltes im Boden, sodass die Böden durch starke Erosion zunehmend an Fruchtbarkeit verlieren und Ernteeinbußen verursachen können. Insbesondere die fruchtbaren Lössgebiete sind durch Bodenerosion bedroht.

Der Anbau von Mais, aber auch von Zuckerrübe, erhöht die Erosionsgefährdung des Bodens, da sie erst spät eine geschlossene Pflanzendecke ausbilden. Unzureichende Bodenbedeckung bzw. große Abstände zwischen den Pflanzen bilden hierfür die Hauptfaktoren. Mais kann daher als Indikatorpflanze herangezogen werden.

Eine Verringerung der Anbauflächen des Mais bedeutet eine Verminderung der potentiellen Gefährdung durch Erosion und stellt somit eine Anpassungsleistung dar.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Der Indikator zielt auf die Beobachtung von potentiell wassererosionsgefährdeten Anbauflächen und deren ackerbauliche Nutzung ab, da eine Erosionsgefährdung unter Grünland und Wald als vernachlässigbar angesehen werden kann. Dabei werden zwei Kriterien definiert, in denen der Indikator dargestellt wird.

Er ist definiert als Prozentanteil der Flächen in Brandenburg, welche nach Kriterium 1 schwachgefährdet sind. Es wurde ermittelt inwieweit die Landwirte Mais auf potentiell wassererosionsgefährdeten Standorten anbauen, und ob sie ihr Anbauverhalten an die Veränderungen des Klimas entsprechend anpassen. Die Einstufung der potentiellen (natürlichen) Erosionsgefährdung geschieht dabei nach den Stufen der DIN 19708 (DIN 19708). Als Indikatorpflanze wurde der Mais gewählt. Dieser wird als geeignet angesehen, da er hinsichtlich seiner Bestandsentwicklung im Vergleich zu anderen Feldfruchtarten als stärker erosionsgefährdet eingestuft werden kann. Durch seine späte Entwicklung im Frühjahr und seinen späten Bestandsschluss macht er den Boden anfälliger gegenüber Niederschlägen. Dies zeigt sich im Kohlenstofffaktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG), welcher mit etwa +/- 0,33 (Periode 1971-2011) deutlich höher ist als bei anderen verbreiteten Nutzpflanzen (z.B. Roggen +/- 0,1, im Nordostdeutschen Tiefland). Der Mais ist außerdem eine Kulturpflanze, die in Brandenburg einen repräsentativen Flächenanteil an der Ackerfläche einnimmt. Dieser Anteil hat sich in den letzten Jahren deutlich vergrößert und es wird prognostiziert, dass der Anteil in den nächsten Jahren gleich hoch oder ansteigend sein wird. Gründe hierfür sind in der steigenden Nutzung als Biomasse für die Energiegewinnung/-erzeugung und als Futtermittel zu sehen.

**Datenquelle:** Potentielle Erosionsgefährdung: GIS-Karte zur potentiellen Erosionsgefährdung in Brandenburg auf Basis der DIN 19708 (ABAG), Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) 2009.

Maisanbauflächen: InVeKos-Datensatz (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem), Anbaudaten durch das Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung LELF, GIS-Daten zu den Feldblöcken, Landesamt für Umwelt LfU Brandenburg bzw. Landesbetrieb Geobasisdaten Brandenburg, LGB.

### **Hinweise zur Interpretation:**

Eine Veränderung des Maisanbaus (absolut bzw. relativ) auf erosionsgefährdeten Böden zeigt, ob und in welcher Form die Landnutzer das mit der Klimaveränderung einhergehende erhöhte Erosionsrisiko in ihrem Flächenmanagement berücksichtigen.

## B-4 Dauergrünlandflächen

### Grafik:

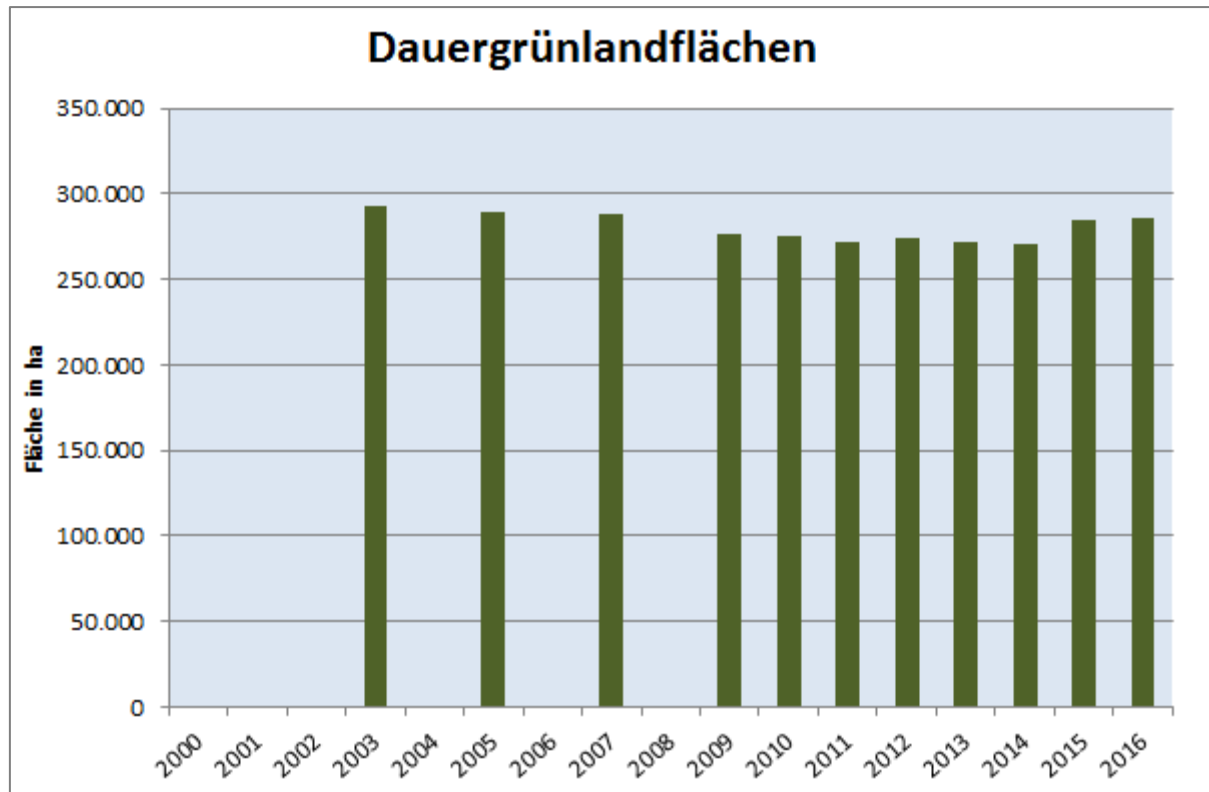


Abbildung 15: Entwicklung der Dauergrünlandflächen in ha im Zeitraum 2000-2016

### Bedeutung:

Als Dauergrünland werden Flächen bezeichnet, die aufgrund von standortkundlichen Bedingungen (Wasserstufe, Steingehalt, Hangneigung, Ertragskraft,...) permanent als Grünland genutzt und kaum Änderungen durch Bodenbearbeitungen bzw. Einsaaten unterliegen. Dauergrünland ist eine mindestens fünf Jahre angelegte Vegetationsform (Wiese oder Weide), die von einer Pflanzengemeinschaft aus Gräsern, Kräutern und Hülsenfrüchtlern gebildet wird. Es findet mehr oder weniger regelmäßig Mahd und/oder Beweidung statt, sodass die Flächen gehölz- bzw. waldfrei bleiben. In der Regel werden sie zur Biomassegewinnung, als Futter, zur Energiegewinnung (als Einsatzstoff für Biogasanlagen oder als Brennstoff) und früher auch zur Einstreu für die Tierhaltung verwendet.

Während global die durch Landnutzungsänderungen verursachten Treibhausgasemissionen vor allem durch Abholzung von Wäldern entstehen, sind hierfür in Deutschland vor allem die landwirtschaftliche Nutzung von entwässerten Mooren, sowie die Umwandlung von Grünland zu Ackerflächen verantwortlich. Die Bedeutung von Grünland für den Klimaschutz ist zum einen die Rückhaltefunktion von Kohlenstoff. In nur 10% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (überwiegend Grünland) werden mehr als 35% der gesamten Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlicher Böden gespeichert. Des Weiteren hat Grünland auch eine Kohlendioxid(CO<sub>2</sub>)-Senkenfunktion.



Bei einer Umwandlung von Grünland in Ackerflächen wird der im Boden festgesetzte Kohlenstoff sehr schnell mineralisiert und zum größten Teil bereits im ersten Jahr nach dem Umbruch als CO<sub>2</sub> freigesetzt (von Haaren et al. 2010). Hinzukommen kann dabei noch die Freisetzung des ebenfalls im Humus gespeicherten Stickstoffs, der ggf. erst zu Nitrat mineralisiert bzw. teils direkt als Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>) ausgeschieden wird, sowie von Lachgas (N<sub>2</sub>O), einem Treibhausgas mit vielfach höherer Wirkung als CO<sub>2</sub>. Umgekehrt wird bei einer Neuanlage von Grünland Kohlenstoff und Stickstoff wieder im Boden gebunden.

Der Verlust bzw. Umbruch von Grünland ist aus Klimaschutzgründen sehr kritisch zu betrachten. Durch Grünlandumbruch wird ein erheblicher Teil des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs in die Atmosphäre freigesetzt. Dies gilt in besonderer Weise für Grünland auf organischen Böden. Die Erhaltung ist daher auch aus Klimaschutzsicht eine Maßnahme von hoher Relevanz. Zudem hat Grünland große Bedeutung für den Artenschutz, die Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie den Boden- und Gewässerschutz.

Seit 2015 darf die Umwandlung von Dauergrünland zu Ackerflächen nur nach Genehmigung erfolgen und in der Regel nur dann, wenn diese Umwandlung mit dem geltenden Fachrecht in Einklang steht und entsprechende Dauergrünlandflächen an anderer Stelle neu angelegt werden. In Flora-Fauna-Habitat-Gebieten (FFH) gilt für Dauergrünland sogar ein striktes Umbruch- und Umwandlungsgebot.

Dieser Indikator stellt die Anpassungsleistung an den Klimawandel dar.

#### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Der Indikator zeigt die Entwicklung der Dauergrünlandflächen in ha, die sich aus den Flächen Wiese, Mähweide, Weiden mit Almen (ohne Hutungen), Streuwiesen und Hutungen sowie Grünlandflächen aus der landwirtschaftlichen Erzeugung ergibt.

**Datenquelle:** Amt für Statistik

## B-5 Lumbriciden (Regenwürmer)

### Grafik:

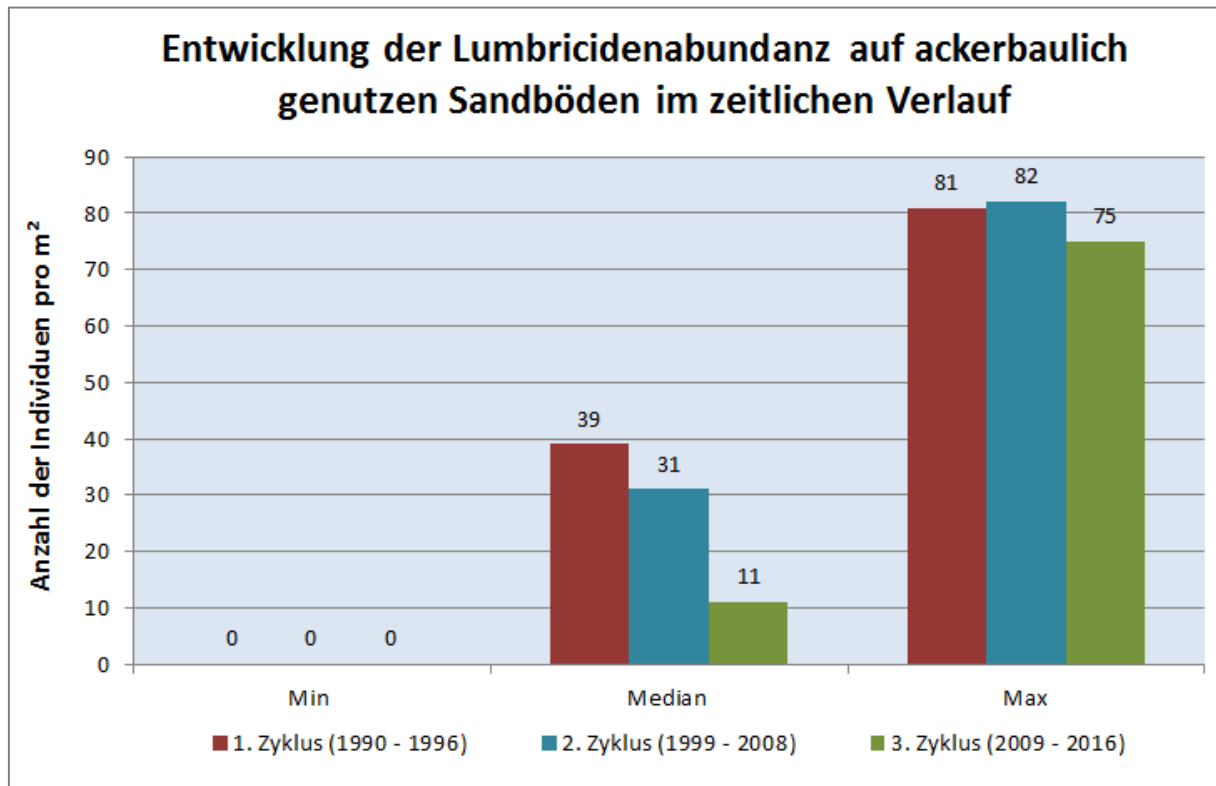


Abbildung 16: Entwicklung der Lumbricidenabundanz (Regenwurmindividuenanzahl/m<sup>2</sup>) auf ackerbaulich genutzten Sandböden Brandenburgs für drei Untersuchungszeiträume (1.-3. Zyklus), dargestellt sind die Minimal- und Maximalwerte sowie der Median im zeitlichen Verlauf

### Bedeutung:

Böden sind gepufferte Systeme, die sich unter dem Einfluss von Bodenbelastungen oft nur langsam verändern. Bodendauerbeobachtungsflächen dienen dem Ziel, schleichende Veränderungen des Bodenzustandes zu erkennen und die zukünftige Entwicklung zu prognostizieren, um im Sinne des Vorsorgeprinzips rechtzeitig Maßnahmen zum Schutz des Bodens und seiner Funktionen ergreifen zu können. Biotische Systeme reagieren auf Umweltveränderungen oft schneller als abiotische Systeme, und erfüllen aus diesem Grunde eine Frühindikatorfunktion. (Boden-)organismen und Vegetation spielen deshalb eine wichtige Rolle als Indikatoren des Klimawandels. Als bodenzoologische Untersuchungsparameter kommen in erster Linie Regenwürmer (Lumbriciden) in Betracht, weil diese in ihrer Eigenschaft als Systemindikatoren Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Bodenbiozönose erlauben. Der Indikator weist als Primärzersetzer im Boden auf seine herausragende Rolle beim Kohlenstoffkreislauf und der Humusbildung hin. Anhand ihrer starken Bindung an den Boden und die abiotischen und biotischen Bodenprozesse zeigen ihre Lebensgemeinschaften Bodenveränderungen an.

Der Indikator zeigt die möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Land Brandenburg.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator fokussiert die Entwicklung der Lumbricidenbestände und beobachtet diese auf 32 Acker- und Grünlandstandorten. Diese Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF)

sind 1.000 m<sup>2</sup> groß und liegen mittig in größeren Flurstücken, sodass Randeﬀekte vermieden werden. Die Untersuchung der Lumbricidenpopulationen erfolgt alle 3-5 Jahre mit jeweils einer Frühjahrs- und Herbstbeprobung. Es werden pro BDF 8 Beprobungsstellen von jeweils einem Achtel m<sup>2</sup> bis 20 cm Bodentiefe untersucht. Zu diesem Zweck werden die einzelnen Beprobungsstellen mit dem Spaten ausgehoben und anschließend 2x nacheinander mit 1,25L 0,2%iger Formalinlösung versehen. Auf diese Weisen werden epigäische (oberirdische) und endogäische (im Oberboden lebende) Lumbriciden per Handauslese und anektische (tiefgrabende) Lumbriciden durch Formalinaustrieb erfasst. Die Austriebszeit beträgt mindestens 30 Minuten. Die Lumbricidenauslese erfolgt entweder vor Ort oder nach Transport der Proben.

Dargestellt werden die Abundanz (Individuenanzahl/m<sup>2</sup>), die Biomasse (g/m<sup>2</sup>) sowie das Artenspektrum und die Individuendominanz der Lumbricidenpopulationen auf 32 Bodendauerbeobachtungsflächen typischer Bodentypen und –arten des Landes Brandenburg.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt Brandenburg

**Hinweise zur Interpretation:**

Sandige Ackerböden sind für Brandenburg typisch und bilden ca. 60% der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die Abundanz der Lumbriciden auf sandigen Ackerböden des Landes Brandenburg hat im Median besonders im dritten Untersuchungszeitraum (2008-2016) deutlich abgenommen. Das betrifft vor allem grundwasserferne Standorte ohne bindigen Unterboden. Ursächlich ist neben einem ungünstigen Witterungsverlauf (z.B. lange Trockenperioden) die intensive landwirtschaftliche Nutzung (Monokultur; hoher Einsatz von anorganischen Düngemitteln und Pestiziden). Unter diesen Bedingungen ist auch das Artenspektrum eingeschränkt. 96% des Medianwertes der Abundanz werden von der Art *Aporrectodea caliginosa* dargestellt.



# **Forstindikatoren**

**F-1 Trockenstress**

**F-2 Anteil der deutlich geschädigten Bäume**

**F-3 Schäden durch biotische Schaderreger**

**F-4 Meteorologisch verursachte Waldschäden (Sturmschäden)**

**F-5 Waldbrandgefahr**

**F-6 Waldfläche und nachhaltige Forstwirtschaft**

# F-1 Trockenstress

## Grafik:

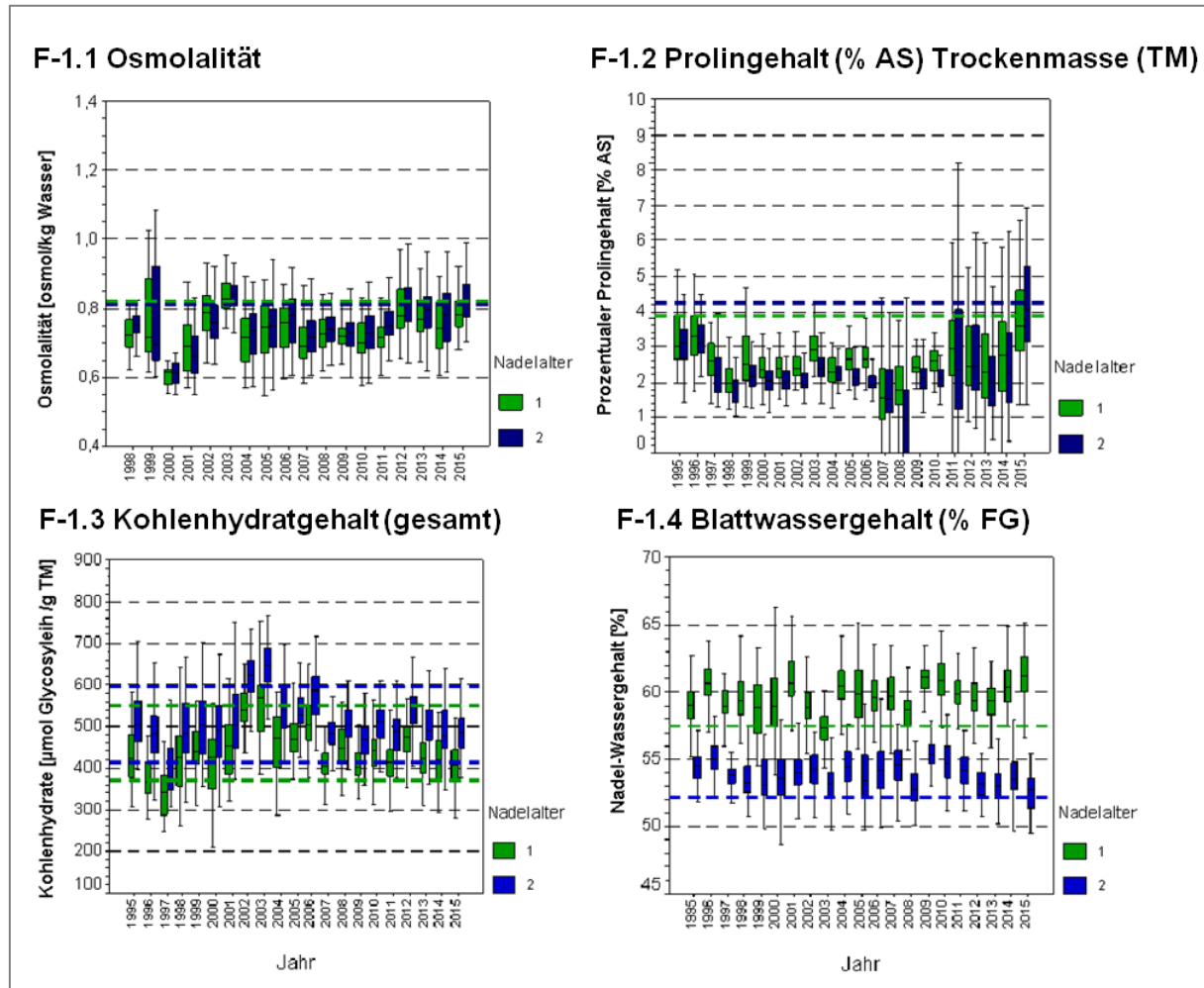


Abbildung 17: F.1.1 Stressparameter der Blattorgane für Trockenstress anhand der Osmolalität des Nadel- bzw. Blattpresssaftes für den 1. und 2. Nadeljahrgang; F.1.2 Stressparameter der Blattorgane für Trockenstress gemessen am Prolinegehalt (% Gesamtgehalt löslicher Aminosäure AS) in Prozent; F.1.3 Stressparameter der Blattorgane für Trockenstress anhand des Gesamtkohlenhydratgehaltes; F.1.4 Stressparameter der Blattorgane für Trockenstress anhand des Blattwassergehaltes in % bezogen auf das Frischgewicht (FG). Alle Abbildungen zeigen den Zeitraum 1995 – 2015

## Bedeutung:

### F-1.1: Osmolalität

Trockenheit ist einer der häufigsten abiotischen Stressfaktoren für Bäume. Die daraus resultierenden Störungen in der Wasserbilanz werden als ein wichtiger Ursachenkomplex von Vitalitätsminderungen gesehen. Im Zuge des Klimawandels wird die Wahrscheinlichkeit für Hitze und längere Trockenphasen zunehmen. Diese Auswirkungen sind in Form mehrerer Zustands-/ Wirkungsindikatoren messbar, die in Abhängigkeit von der Stressintensität zu quantitativen Veränderungen in den Assimilationsorganen führen.

Ein Indikator, der bereits geringe bauminterne Wassermangelzustände anzeigt, ist die Osmolalität des Blattpresssaftes.

### **F-1.2 Prolingehalt (% AS) Trockenmasse (TM)**

Der Indikator zeigt die stressinduzierte Anreicherung der ungebundenen Aminosäure Prolin. Durch eine Vielzahl von Untersuchungen ist gut belegt worden, dass dieser Indikator geeignet ist, Stress und insbesondere Trockenstress anzuzeigen. Die Prolinakkumulation erfolgt erst in einer späten Stressphase bei starkem Wassermangel.

### **F-1.3 Kohlenhydratgehalt (gesamt)**

Ein Indikator, der bereits geringe bauminterne Wassermangelzustände anzeigt, ist der Kohlenhydratgehalt von Nadel und Blättern. Kohlenhydrate sind zentrale Bausteine für das Wachstum und Überleben von Pflanzen. Störungen im Wasserhaushalt von Bäumen durch Trockenheit beeinflussen den Kohlenhydratgehalt der Nadel sowohl über Änderungen der Photosyntheseleistung und Atmung als auch der Transportraten in andere Baumkompartimente (Phloembeladung). Eine Akkumulation von Kohlenhydraten ist u. a. dann zu beobachten, wenn infolge des Wassermangels die während der Photosynthese gebildeten Zucker nicht über die Phloembeladung abfließen können. Der Kohlenhydratgehalt ist daher im Zusammenhang mit anderen Biomarkern ein wichtiger Parameter zur Bewertung der Trockenstressbelastung und Kohlenstoff(C)-Speicherung.

### **F-1.4 Blattwassergehalt (% FG)**

Ein einfach bestimmbarer Indikator für die Trockenstressbelastung ist der absolute bzw. relative (z. B. Bezug zur Frischmasse) Blatt- bzw. Nadelwassergehalt. Wasser dient der Pflanze als Lösungs- und Transportmittel, zur Aufrechterhaltung des Turgors (Druck des Zellsafts auf die Zellwand) und ist eine entscheidende Komponente biochemischer Reaktionen. Infolge dessen hat Wasser den größten Anteil am Frischgewicht von Pflanzenteilen. Da alle Stoffwechselforgänge an einen relativ hohen Wassergehalt gebunden sind, wird der Blattwassergehalt durch die Regulation des Blattturgordrucks weitgehend konstant gehalten, so dass baumartenspezifische Referenzwerte für eine ausgeglichene Wasserversorgung vorliegen. Minderungen im Blattwassergehalt (Unterschreitungen der Referenzwerte) weisen dagegen auf eine hohe Trockenstressbelastung hin.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen zunehmender Trockenheit in Folge des Klimawandels im Land Brandenburg.

## **Definition und Berechnungsverfahren:**

### **F-1.1: Osmolalität**

Der Wasserhaushalt wird im Wesentlichen durch das Wasserpotenzial  $\Psi_s$  (früher Saugspannung S), das osmotische Potenzial  $\Psi_p$ , den Turgor (Druck des Zellsafts auf die Zellwand) und die Transpiration charakterisiert. Für die Berechnung des osmotischen Potenzials wird als Messgröße die Osmolalität bestimmt, die eine integrative Größe der Konzentration an osmotisch wirksamen Substanzen im Zellsaft darstellt. Dazu gewinnt man Nadel- bzw. den Blattpresssaft aus ca. 2 g tiefgefrorenem (-80 °C) Blattmaterial mittels einer Presse. Nach Zentrifugation wird der Überstand mit dem Gefrierpunktsometer OSMOMAT 30 (Fa. Gonotec, Berlin) gemessen. Die Bewertung des Indikators erfolgt auf der Grundlage von Referenzbereichen. Die Überschreitung oberer Schwellenbereiche signalisiert Wassermangelzustände.

<b>Nj</b>	<b>Referenzbereich [osmol/kg Wasser]</b>	<b>oberer Schwellenbereich [osmol/kg Wasser]</b>
<b>1</b>	<b>≤ 0,77</b>	<b>&gt; 0,77 - 0,82</b>
<b>2</b>	<b>≤ 0,76</b>	<b>&gt; 0,76 - 0,81</b>

Aus einem Teil der Mischprobe des gewonnen Blattmaterials wird die Osmolalität wie oben dargestellt einzelbaumweise bestimmt und u.a. zu Bestandswerten aggregiert.

### **F-1.2 Prolingehalt (% AS) Trockenmasse (TM)**

Die Bestimmung des freien Prolins erfolgte bis 2011 nach einer modifizierten Methode von BATES et al. (1973). Seit 2011 wird die für die Identifizierung und Quantifizierung der freien Aminosäuren ein Aminosäureanalysator (ARACUS, Fa. membraPure) eingesetzt. Um Fehlinterpretation bei Prolinanreicherungen, z. B. bei Stickstoffüberernährung auszuschließen, wird für die Bewertung des Trockenstresses der Prolingehalt als prozentualer Anteil des Gesamtaminosäuregehaltes (% AS) berechnet. Grundlage für die Risikobewertung ist der dargestellte baumartenspezifische Referenzbereich.

Aus einem Teil der Mischprobe des gewonnen Blattmaterials wird der Prolingehalt einzelbaumweise bestimmt und u. a. zu Bestandswerten aggregiert.

	<b>Referenzbereich [% AS]</b>	<b>oberer Schwellenbereich [%AS]</b>
<b>1</b>	<b>≤ 3,24</b>	<b>&gt; 3,24 – 3,85</b>
<b>2</b>	<b>≤ 3,84</b>	<b>&gt; 3,84 – 4,25</b>

### **F-1.3 Kohlenhydratgehalt (gesamt)**

Der Kohlenhydratgehalt wird in Blättern/Nadeln nach einer standardisierten Labormethode bestimmt. Aus einem wässrig-methanolischen Extrakt des lyophilisierten (gefriergetrockneten) und gemahlene Pflanzenmaterials wird ein Aliquot (Teilportion einer Probe) zur photometrischen Bestimmung der Gesamtkohlenhydratgehalte nach KLEBER et al. (1987) genutzt. Da der Summenparameter alle löslichen Kohlenhydrate betrifft, wird der Gehalt in Glykosyleinheiten umgerechnet. Als Bezugsgröße dient die Trockenmasse der Assimilationsorgane. Bewertungsgrundlage ist die Einordnung der Blattgehalte in einen baumarten- und nadeljahrgangsspezifischen Referenzbereich bzw. die Überschreitung eines oberen Schwellenbereichs (nachfolgende Tabelle für den 1. und 2. Nadeljahrgang der Kiefer). Eine besondere bioindikative Bedeutung bezüglich des Gehaltes an Kohlenhydraten kommt dem zweiten (stoffwechselaktivsten) Nadeljahrgang zu. Grundlage für die Risikobewertung ist der baumartenspezifische Referenz-, bzw. obere Schwellenbereich.

Aus einem Teil der Mischprobe des gewonnen Blattmaterials wird der Kohlenhydratgehalt wie oben dargestellt einzelbaumweise bestimmt und u. a. zu Bestandswerten aggregiert.



Nj.	Referenzbereich [µmol Glycosyleinheiten/g TM]	oberer Schwellenbereich [µmol Glycosyleinheiten/g TM]
1	414 - 503	> 504 - 548
2	461 - 552	> 553 - 597

#### F-1.4 Blattwassergehalt (% FG)

Der Wassergehalt (und das Frischgewicht) der Blätter/Nadeln (50 Nadelpaare) wird mit einem Moisture Analyser (Fa. Satorius) über Trocknung bis zur Gewichtskonstanz bei 110 °C bestimmt. Grundlage der Bewertung sind die Einordnung der Werte oberhalb eines nadeljahrgangsspezifischen Referenzbereiches bzw. die Unterschreitung eines unteren Schwellenbereichs.

Aus einem Teil der Mischprobe des gewonnenen Blattmaterials wird der Wassergehalt wie oben dargestellt einzelbaumweise bestimmt und u. a. zu Bestandswerten aggregiert.

Nj.	unterer Schwellenbereich [%]	Referenzbereich [%]
1	57,5 - 58,6	> 58,6
2	52,2 - 53,1	> 53,1

**Datenquelle:** Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)

#### Hinweise zur Interpretation:

##### F-1.1 Osmolalität

Dargestellt ist die Osmolalität des jeweils 1. und 2. Nadeljahrganges der Kiefern der sieben Dauerbeobachtungsflächen in Brandenburg und Berlin in der Zeitreihe von 1998 bis 2015 mit den Schwellenbereichen für beide Nadeljahrgänge. Überschreitungen des oberen Schwellenbereichs (z. B. 2003) zeigen frühe Stressreaktionen auf Wassermangel an. Die Streuung des jährlichen Wertebereichs weist gleichzeitig auf die großen baumindividuellen und standörtlichen Unterschiede der Stressbelastung hin. Werte unterhalb des Referenzbereiches schließen dagegen Wassermangel in der zeitlichen Phase der Probenahme aus.

##### F-1.2 Prolingehalt (% AS)

Dargestellt ist der Prolingehalt (bezogen auf den Gesamtgehalt der Aminosäuren) des jeweils 1. und 2. Nadeljahrganges der Kiefern der sieben Dauerbeobachtungsflächen in Brandenburg und Berlin in der Zeitreihe von 1995 bis 2015 mit den Schwellenbereichen für beide Nadeljahrgänge. Deutlich zeigen sich die Unterschiede zwischen den beiden Nadeljahrgängen. Grundsätzlich reagiert der 1. Nadeljahrgang sensitiver gegenüber Wassermangelsituationen. Gleichzeitig wird aber auch die hohe Trockenstresstoleranz der Kiefer deutlich. Im Untersuchungszeitraum lagen die Flächenmittelwerte des prozentualen Prolingehaltes in den Nadeln beider Nadeljahrgänge - trotz erhöhter Werte (1995, 1996, 2003, 2011, 2015) stets im Referenzbereich. Daher konnte - mit Ausnahme für einige wenige Bäume - keine akute Stresssituation nachgewiesen werden.

Überschreitungen des oberen Schwellenbereichs zeigen intensive Stressreaktionen auf Wassermangel an. Die Streuung des jährlichen Wertebereichs weist zum einen auf die großen baumindividuellen und standörtlichen Unterschiede der Stressbelastung hin. Zum anderen können seit 2011 die Analysen durch einen Aminosäureanalysator durchgeführt werden, was den Nachweisbereich und die Genauigkeit der Analysen erhöht. Unterhalb des Referenzbereiches ist ein starker osmotischer Stress in der zeitlichen Phase der Probenahme auszuschließen.

### **F-1.3 Kohlenhydratgehalt (gesamt)**

Dargestellt ist der Kohlenhydratgehalt des jeweils 1. und 2. Nadeljahrganges der Kiefern der sieben Dauerbeobachtungsflächen in Brandenburg und Berlin in der Zeitreihe von 1995 bis 2015 mit den Referenz- und Schwellenbereichen für beide Nadeljahrgänge. Überschreitungen der Medianwerte des oberen Schwellenbereichs betrafen beim 2. Nadeljahrgang die Jahre 2002 und 2003, beim 1. Nadeljahrgang nur das Jahr 2002. Neben der großen Trockenstresstoleranz der Kiefer weist die Streuung des jährlichen Wertebereichs gleichzeitig auf die großen baumindividuellen und standörtlichen Unterschiede der Stressbelastung hin. Eine belastbare Interpretation der Ergebnisse ist nur im Zusammenhang mit weiteren zu erhebenden Biomarkern und der Erfassung von Witterungsbedingungen möglich. Die abgebildeten unteren Schwellenbereiche sind für die Bewertung des Trockenstresses nicht relevant.

### **F-1.4 Blattwassergehalt (% FG)**

Dargestellt ist der relative Wassergehalt in Bezug zum Frischgewicht der Nadeln des jeweils 1. und 2. Nadeljahrganges der Kiefern der sieben Dauerbeobachtungsflächen in Brandenburg und Berlin in der Zeitreihe von 1995 bis 2015 mit den Schwellenbereichen für beide Nadeljahrgänge in Prozent. Deutlich wird die hohe Trockenstresstoleranz der Kiefer. Im Untersuchungszeitraum unterschritten nur die Medianwerte des 1. Nadeljahrgangs im Jahr 2003 den Referenzbereich.

Die Streuung des jährlichen Wertebereichs weist gleichzeitig auf die großen baumindividuellen und standörtlichen Unterschiede der Stressbelastung hin. Mit Nadelwassergehalten von 58,5 bis 58,9 % lagen die Flächenmittelwerte 1999, 2002 und 2008 im unteren Schwellenbereich. Für den 2. Nadeljahrgang wurden ebenfalls die niedrigsten Nadelwassergehalte (Flächenmittelwerte 52,3 %) 2003 bestimmt, dieser Wert lag jedoch noch im Referenzbereich.

Das LFE erhebt seit 1995 mit 6 Stationen, seit 2003 mit 8 (Fünfeichen, Menz) und seit 2007 mit 9 Stationen (Berlin) den Gehalt an ausgewählten, stressanzeigenden Blattinhaltsstoffen (Biomarker) an jeweils 10 bis 30 Einzelbäumen je Bestand. Die Probennahme erfolgt jährlich im August aus dem oberen Kronenbaum durch Baumsteiger.



## F-2 Anteil der deutlich geschädigten Bäume

### Grafik:

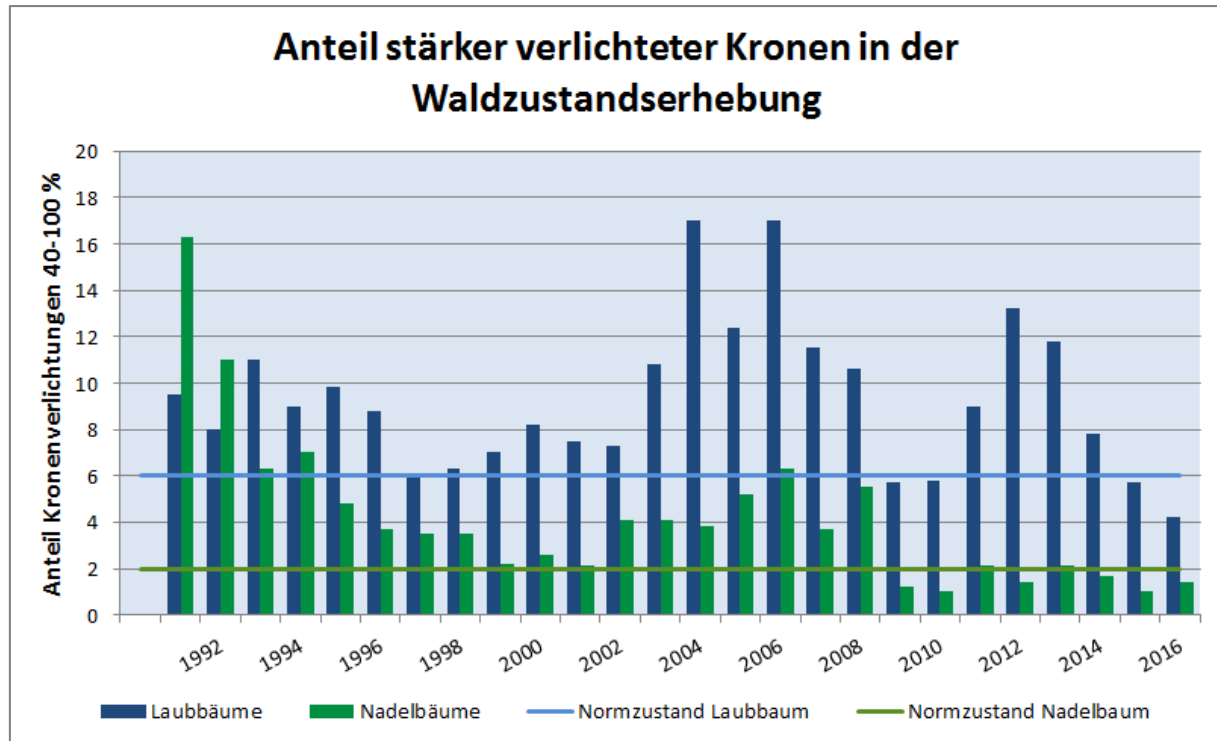


Abbildung 18: Anteil der Bäume mit Kronenverlichtungen von 40 bis 100 % in der Stichprobe der Waldzustandserhebung in Brandenburg differenziert nach Laub- und Nadelbaumarten (die Linien markieren den erwarteten Normzustand)

### Bedeutung:

Vitale Bäume bilden geschlossene Kronen aus, um möglichst viel Licht zur Kohlenstoffassimilation absorbieren zu können. Bei witterungsbedingtem Trockenstress durch trockene Frühjahre und sommerliche Hitzewellen wird die Blattfläche der Bäume reduziert und damit die Assimilationsleistung eingeschränkt. Über längere Zeiträume kann dieses Defizit neben reduziertem Wachstum zu geringerer Vitalität bis zu vermehrtem Absterben der Bäume führen. Nadelbäume haben eine strukturell geringere Sensitivität gegenüber dieser Blattflächenreduktion da sie jährlich nur einen geringeren Teil ihrer Blätter erneuern müssen. Bei der in Brandenburg dominierenden Kiefer sind das knapp 40 %.

Die reduzierte Blattfläche ist eine unspezifische Reaktion auf verschiedene Einflussfaktoren. So waren zu Beginn der 1980er Jahre des letzten Jahrhunderts Luftverunreinigungen, vor allem Schwefeldioxid neben Witterungsextremen Auslöser der großflächigen Waldschäden und ihrer systematischen Beobachtung in der europaweiten Waldzustandserhebung. Eine weitere Ursache von Blattverlusten sind Insekten- und Pilzschäden.

Der Indikator gibt einen unspezifischen Hinweis auf die Vitalität der Waldbäume in Brandenburg, die maßgeblich von Witterungsbedingungen beeinflusst wird. Zunehmende Trockenheiten und Hitzewellen in Folge des Klimawandels beeinflussen die Vitalität des Brandenburger Waldes.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Die jährliche Waldzustandserhebung zur Erfassung der Vitalität der Wälder ist als Teil des Forstlichen Umweltmonitorings bundesweit gesetzlich geregelt. In einem Raster von minimal 16 x 16 km werden systematisch ausgewählte Probestämme jährlich durch geschultes Forstpersonal auf Merkmale des Kronenzustandes angesprochen. Hauptmerkmal ist die Belaubungsdichte, die in 5%-Stufen bonitiert wird. Die Kronenverlichtungen werden in Schadstufen zusammengefasst, die von 0 (bis 10 % Verlichtung) über 1 (15-25 % Verlichtung), 2 (30-60 % Verlichtung), 3 (65-99 % Verlichtung) bis 4 (100 % tote Bäume) reichen. Traditionell hat sich in der Berichterstattung zum Waldzustand die Zusammenfassung der Schadstufen 2-4 (30-100 % Kronenverlichtung) als deutliche Schäden etabliert. Diese tradierte Größe beinhaltet aber noch große Teile des Anpassungspotenzials der Bäume an die Witterungsverläufe, die relativ rasch unter günstigeren Umweltbedingungen kompensiert werden können und sich nicht als Schaden etablieren. Aus diesem Grund wird der Indikator F-2 auf die Kronenverlichtungen ab 40 % beschränkt. Eine Differenzierung nach Baumarten ist entsprechend der Waldstruktur in Brandenburg in der bestehenden Netzdichte nicht möglich. Alternativ werden Nadelbäume (dominiert von Kiefer) und Laubbäume (Eiche, Buche, andere Laubbaumarten) gegenübergestellt.

**Datenquelle:** Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), Waldzustandserhebung (WZE) 2016 des Landes Brandenburg

### **Hinweise zur Interpretation:**

Die Waldzustandserhebung liefert eine unspezifische Reaktion des Waldes auf die Umweltbedingungen für den Wald. Sie beschränkt sich nicht auf Auswirkungen eines oder mehrerer Witterungsfaktoren. Fremdstoffeinflüsse oder biotische Schäden können in Kombination oder allein zu ähnlichen Wirkungen führen. Allerdings haben vitale Wälder ein höheres Anpassungspotenzial an Klimaänderungen und Witterungsbedingungen, vor allem Trockenstress haben einen starken Einfluss auf den Kronenzustand der Wälder.

## F-3 Schäden durch biotische Schaderreger

### Grafik:

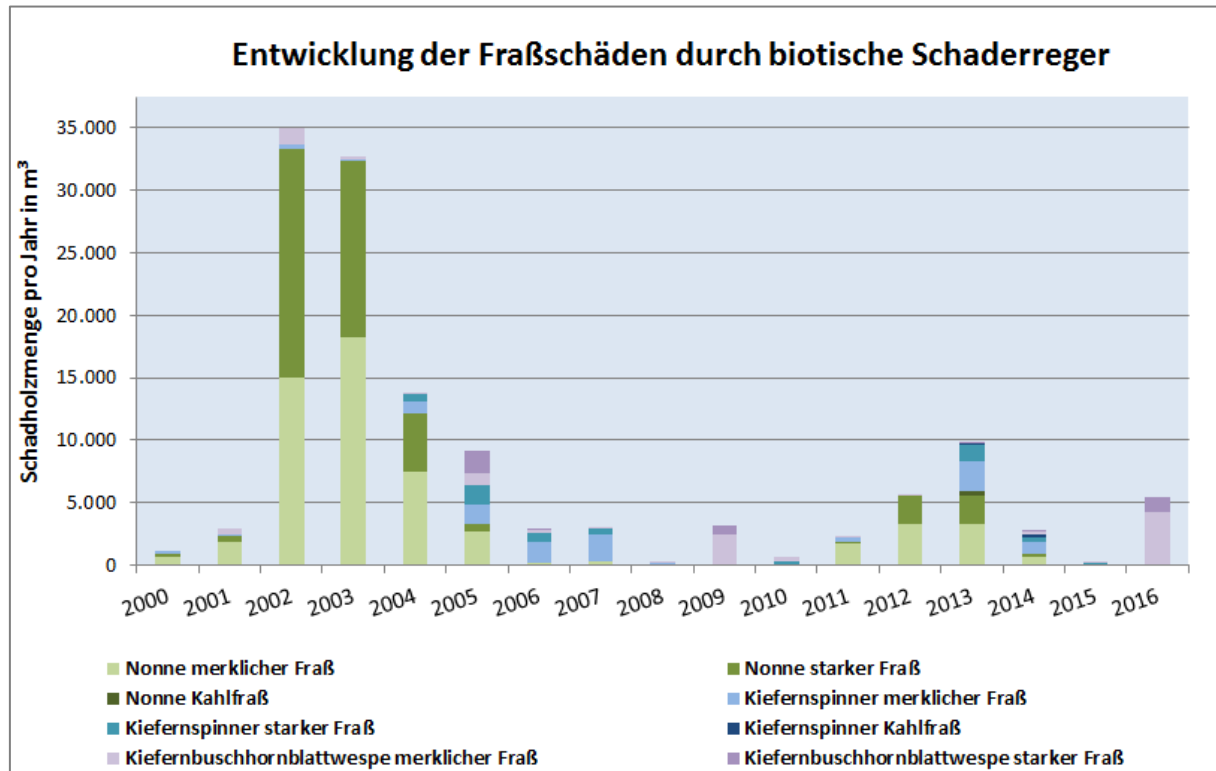


Abbildung 19: Schäden durch biotische Schaderreger wie Kiefernbuschhornblattwespe, Kiefernspinner und Nonne unterteilt nach merklichem und starkem Fraß sowie Kahlfraß für den Zeitraum 2000 - 2016

### Bedeutung:

Eine Zunahme der Häufigkeit von Witterungsextremen wie Dürreperioden, Starkregen, Früh- und Spätfröste oder Hagel beeinflusst u. a. den Verlauf und die Auswirkungen von Komplexkrankheiten der Waldbäume, deren Regeneration nach intensiven Fraßschäden und auch die Sekundärschädlinge. Entsprechend des Trends der Zunahme der Jahresmitteltemperaturen muss auch mit der Arealausweitung wärmeliebender Insekten gerechnet werden. Hierdurch steigt das Risiko für Fraßschäden für wärmeliebende Arten speziell in den warmen und trockenen Monaten. Dauerhaft höhere Mitteltemperaturen in Folge des Klimawandels können die Massenvermehrung beispielsweise des Kiefernspinners fördern, sodass die Wahrscheinlichkeit von größeren Kiefernwaldschäden zunimmt. Zudem fallen in heißen, langen und trockenen Sommern größerer Mengen Schadholz an. Diese Bedingungen wirken sich begünstigend auf die Lebensbedingungen wärmeliebender Arten aus und können bei Kiefern Trockenstress verursachen. Großflächige Bestandsschäden drohen den Brandenburger Waldflächen aufgrund eines hohen Kiefernanteils sowie vermehrte Schäden durch nadelfressende Kieferninsekten. Deren regelmäßig wiederkehrende Massenvermehrungen erfordern aufwendige Überwachungs- und Gegenmaßnahmen.

Der Indikator zeigt sowohl die Auswirkungen sowie die Anpassungsleistung an den Klimawandel im Land Brandenburg.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Der Indikator zeigt die Schäden durch Insektenfraßschäden durch den Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*), die Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* und *D. similis*) und die Nonne (*Lymantria monacha*). Er ist das Ergebnis der jährlichen Meldung der Revierförster im Rahmen des Waldschutzmeldedienstes in den Kategorien:

- merklicher Fraß: 30-50% Nadelmasseverlust
- starker Fraß: 50-90%
- Kahlfraß: >90% Nadelmasseverlust

Die Daten liegen in ha vor.

Die Reviere in Brandenburg melden seit 1996 jährlich an das LFE Fraßschäden durch den Kiefernspinner, die Kiefernbuschhornblattwespe, die Nonne und weitere biotische Schaderreger. Die Schadholzmenge wird für das Käferjahr (01.06.-31.05.) des Folgejahres seit 1990 erfasst.

**Datenquelle:** Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)

## F-4 Meteorologisch verursachte Waldschäden (Sturmschäden)

### Grafik:

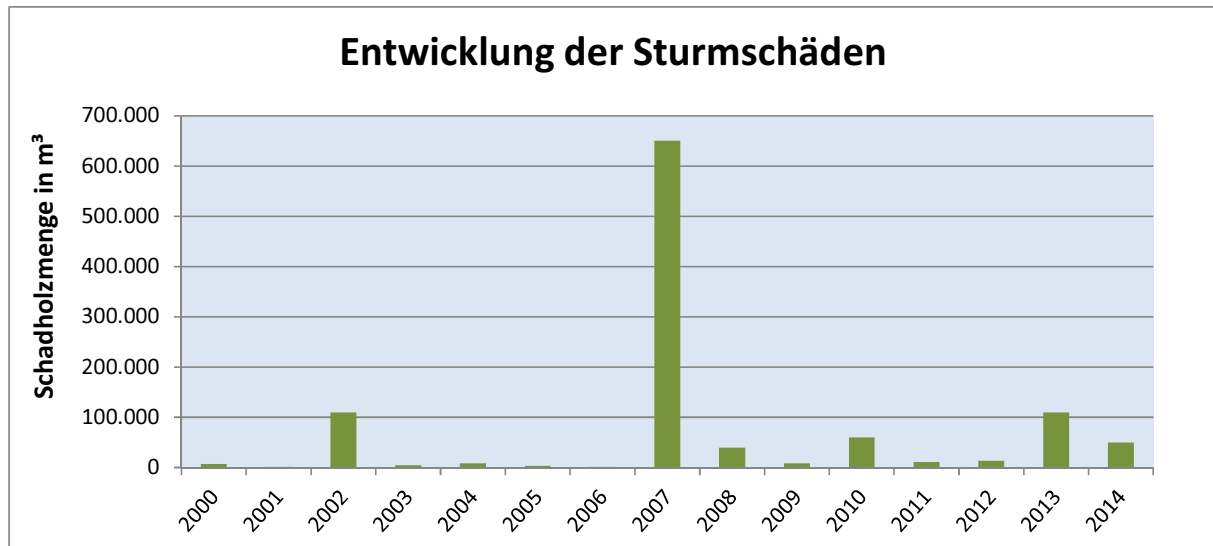


Abbildung 20: Durch Sturm verursachte Waldschäden in Schadholzmenge in m³ im Zeitraum 2000 - 2014

### Bedeutung:

Die regelmäßige Erfassung von Waldschäden und Schadverursachern dient der zeitnahen Beratung der Waldbewirtschafter zu Maßnahmen der Schadensminimierung und weitergehenden Überwachung von Schadverursachern. Die Erfassung der Sturmschäden im Wald lässt Rückschlüsse auf die Intensität von Stürmen zu und erlaubt die Berechnung wirtschaftlicher Verluste.

Sturmereignisse können große Schadholzmengen verursachen. Die seit 1998 durch Sturm verursachten Schadholzmengen zeigten ihren Höhepunkt 2007 mit dem Orkantief „Kyrill“ mit über 600.000 m³ Bruch- und Wurfschadholz.

Ab dem Jahr 2007 liegen die angefallenen Schadholzmengen zumeist höher als in den Vorjahren. Die größeren Schadholzmengen ab 2007 könnten ein Hinweis auf die im Zuge des Klimawandels erwarteten zunehmenden Extreme sein. Mit Hilfe dieses Indikators soll ein Nachweis zur Änderung der Häufigkeit und des Ausmaßes der Schäden am Wald erbracht werden und es werden die Auswirkungen des Klimawandels verdeutlicht.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Monatstypische Waldschäden und Schadverursacher werden durch die Revierleiter vor Ort erfasst und in die Web-Applikation "Monatlicher Meldedienst" des Waldschutzmeldewesens des Landesbetriebes Forst Brandenburg eingetragen. Erfasst wird die durch Stürme verursachte Schadholzmenge an Bruch- und Wurfschadholz in Kubikmetern. Alle Werte sind Schätzwerte.

**Datenquelle:** Landeskompentenzentrum Forst Eberswalde (LFE)



## F-5 Waldbrandgefahr

### Grafik:

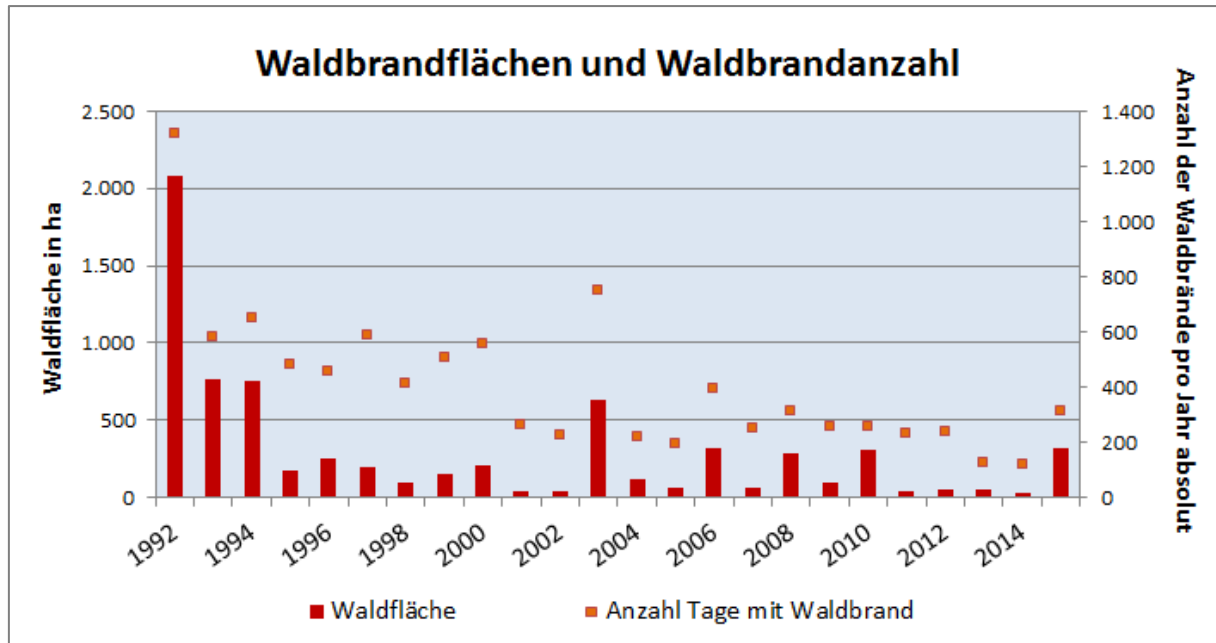


Abbildung 21: Von Waldbrand betroffene Fläche in ha und Anzahl der Waldbrände pro Jahr absolut im Zeitraum 1992 - 2015

### Bedeutung:

Für das Waldbrandgeschehen spielen zwei Faktorenkomplexe eine wichtige Rolle: das menschliche Handeln (Brandstiftung und Fahrlässigkeit) und das Klima- bzw. Witterungsgeschehen. Die Häufigkeit von Bränden ist gemäß Daten der Waldbrandstatistik zu einem großen Prozentsatz von menschlichem Handeln abhängig. Klima und Witterung hingegen beeinflussen neben lokalen Gegebenheiten wie dem Vorhandensein brennbaren Materials (Bestandstyp, Alter, Bodenvegetation usw.) die Disposition einer Waldfläche für die Entzündung und in Folge das weitere Brandgeschehen (Feuerausbreitung). Während sich das Verhalten potenzieller menschlicher Brandverursacher, die Landschaftsstruktur, die Artenzusammensetzung des Waldes sowie die Feuerüberwachungs- und Feuerlöschkapazitäten eher langsam und kontinuierlich verändern, variieren die Witterungsbedingungen sowie Menge und Qualität des brennbaren Materials stärker von Jahr zu Jahr. Ein besonders intensives Brandgeschehen in einzelnen Jahren, das vom längerfristigen Trend (derzeit eher rückläufig) abweicht, lässt sich daher auf den spezifischen Witterungsverlauf in den jeweiligen Jahren zurückführen.

Risikountersuchungen sagen für die kommenden Jahrzehnte ein steigendes Waldbrandrisiko auch für Brandenburg voraus. Dies liegt im Wesentlichen an erhöhten Temperaturen und rückläufigen Niederschlägen in den Frühjahrs- und Sommermonaten (durch Gewitter ausgelöste Waldbrände spielen dabei eine nur untergeordnete Rolle, da diese in Mitteleuropa i.d.R. mit Niederschlägen einhergehen). Auch wenn die Niederschläge in manchen Regionen steigen, wird das durch die zunehmende Verdunstung voraussichtlich ausgeglichen.

Der Indikator zeigt die Veränderung der Häufigkeit und das Ausmaß an Schäden durch Waldbrände. Der Indikator verdeutlicht die Auswirkungen des Klimawandels sowie die Anpassungsleistung durch entsprechende Vorsorge.

**Definition und Berechnungsverfahren:**

Dargestellt sind die Waldbrandanzahl sowie die von Waldbrand betroffene Waldfläche in ha je Jahr.

**Datenquelle:** Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) und Waldbrandstatistik 2015

## F-6 Waldfläche und nachhaltige Forstwirtschaft

### Grafik:

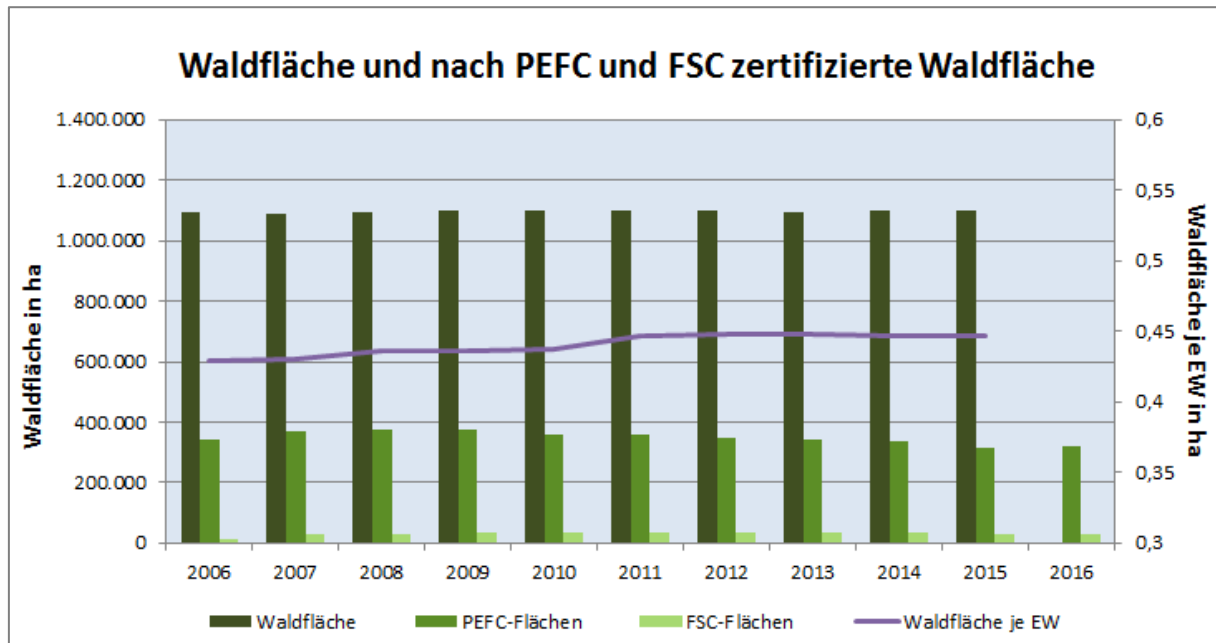


Abbildung 22: Entwicklung der Waldfläche und der nach PEFC und FSC zertifizierten Waldflächen, sowie der Waldfläche je Einwohner (EW) im Zeitraum 2006-2016

### Bedeutung:

#### F6.1 – Waldfläche

Wälder besitzen eine hohe Bedeutung hinsichtlich des klimatischen Wandels. 20-25% der Kohlenstoffdioxid(CO<sub>2</sub>)-Emissionen weltweit gehen auf die Zerstörung von Wäldern zurück. Gleichzeitig sind Wälder Kohlenstoffspeicher und können aufgrund ihrer Photosyntheseaktivität und ihres Biomassewachstums bereits emittiertes CO<sub>2</sub> der Atmosphäre wieder entziehen. In jedem Kubikmeter Holz stecken je nach Baumart bzw. Holzdichte etwa 270 kg Kohlenstoff.

Klimaveränderungen beeinflussen die Produktivität und Vitalität von Wäldern. Steigende Temperaturen, längere Hitzeperioden können sich nachhaltig auf die Wälder auswirken. Vermehrtes Auftreten von Waldbränden, Schäden an den Bäumen durch Hitzestress sowie zunehmenden Insektenbefall können langfristig Schäden an den Wäldern hinterlassen. Das zieht nicht nur ökologische Folgen nach sich, sondern auch bedeutende ökonomische. Wälder waren aufgrund des genetischen Potenzials von Bäumen in der Lage, sich an vergangene Phasen von natürlichem Klimawandel anzupassen. Die aktuelle Klimaveränderung weist eine höhere Geschwindigkeit auf als vergleichbare historische Änderungen im Klimasystem.

Derzeit gib es in Brandenburg ca. 1,1 Mio. ha Wald, das entspricht in etwa 37% der Landesfläche. 9,7% aller Wälder Deutschlands befinden sich auf brandenburgischem Gebiet. Die Entwicklung der Waldfläche in Brandenburg ist in erster Linie von politischen und wirtschaftlichen Restriktionen in Konkurrenz zur landwirtschaftlichen und anderen Bodennutzungen abhängig. Nach § 1 des Waldgesetzes des Landes Brandenburg und

Bundeswaldgesetzes ist die Waldfläche zu erhalten und erforderlichenfalls zu mehren. Wegen dieser strikten gesetzlichen Vorgabe ist aktuell das Hauptziel der Waldflächenerhalt insbesondere im Gegensatz zum Flächenverbrauch durch Bergbau und Infrastrukturmaßnahmen, wie Straßenbau, Flughafenbau, Wohnungsbau, Deichbau.

Der Erhalt der Wälder Brandenburgs ist eine wichtige Maßnahme als Anpassungsleistung an den Klimawandel, sodass eine Beobachtung der Waldflächenveränderung und die Erhaltung des nachhaltigen Anteils bedeutsam sind.

## **F6.2 – Nach PEFC und FSC zertifizierte Waldflächen**

Das Ziel einer nachhaltigen Forstwirtschaft ist die Schaffung artenreicher Mischwälder, die sich aus standortgerechten Baumarten zusammensetzen, die Bildung von stabilen und ertragsreichen Beständen, die den in Zukunft veränderten Klimabedingungen wie längeren Hitze- und Trockenphasen, sowie ein erhöhtes Waldbrandrisiko zumindest in gewissem Maße „gewachsen“ sind.

Der Indikator bilanziert die nach PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes; deutsch: Zertifizierungssystem für nachhaltige Waldbewirtschaftung) beziehungsweise FSC (Forest Stewardship Council) zertifizierten Waldflächen in Flächen in ha. Diese Flächen unterliegen strengen Richtlinien und Kontrollen um eine möglichst naturnahe Waldwirtschaft zu erhalten. In Deutschland gibt es mittlerweile mehr als 7 Mio. Hektar PEFC zertifizierte Waldfläche.

In Brandenburg ist etwa ein Drittel der Waldfläche PEFC-zertifiziert. Das entspricht einer Fläche von rund 320.000 Hektar.

Die Indikatoren zeigen die Anpassungsleistung an den Klimawandel.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

#### **F6.1 – Waldfläche**

Der Indikator beschreibt die Gesamtwaldfläche in Brandenburg in ha sowie den Anteil der Waldfläche je Einwohner in Prozent.

#### **F6.2 – Nach PEFC und FSC zertifizierte Waldflächen**

Der Indikator zeigt die Entwicklung der nach PEFC und FSC zertifizierten Waldfläche in ha. Für die Berechnung des Indikators wird auf Daten der Zertifizierungsstellen PEFC und FSC zurückgegriffen. Bezugsgröße für die Berechnung der Flächenanteile ist die Gesamtwaldfläche Deutschlands, die zuletzt durch die Bundeswaldinventur 2012 ermittelt wurde. Sie beträgt circa 11,4 Millionen Hektar.

**Datenquelle:** Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB): Einwohnerzahl Brandenburgs. Waldfläche: Regionaler Waldbericht Brandenburg 2016, Regionale PEFC Arbeitsgruppe Brandenburg e.V.

### **Hinweise zur Interpretation:**

Bei der Darstellung des Indikators ist zu beachten, dass Waldflächen gleichzeitig nach PEFC und FSC zertifiziert sein können. Da das Ausmaß von Flächenüberschneidungen beider Zertifizierungssysteme nicht bekannt ist, werden die Flächenangaben im Diagramm

nebeneinander dargestellt. Abweichungen zu den Daten der Landeswaldinventur 2013 resultieren aus der unterschiedlichen Erhebungsmethodik.



# **Landwirtschaftsindikatoren**

**LW-1 Ertragsausfallrisiko durch Hagelschäden (DAS-Indikator)**

**LW-2 Ertragsentwicklung von Weizen, Raps und Mais**

**LW-3 Schaderregerbefall (DAS-Indikator)**

**LW-4 Stickstoffüberschuss**

# LW-1 Ertragsausfallrisiko durch Hagelschäden (DAS-Indikator)

## Grafik:

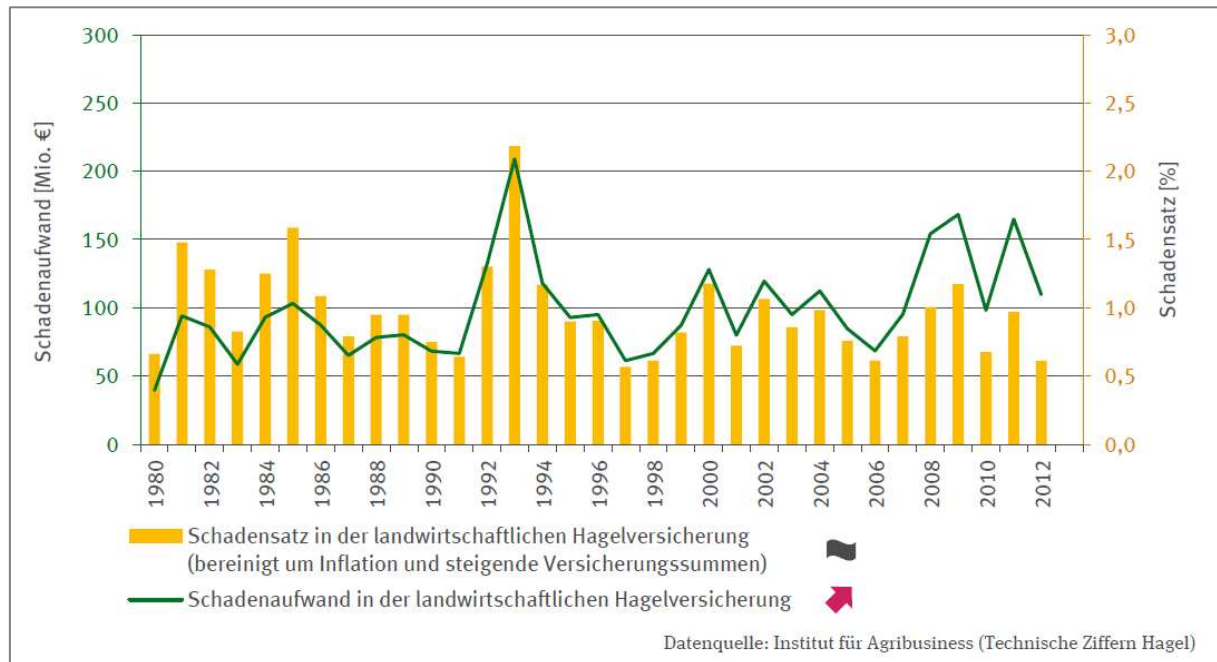


Abbildung 23: Beispielabbildung für die Entwicklung des Ertragsausfallrisiko durch Hagelschäden für Deutschland im Zeitraum 1980 – 2012 aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes

## Bedeutung:

Die Landwirtschaft ist am stärksten von den Witterungsbedingungen und damit auch von den langfristigen Veränderungen des Klimas betroffen. Die Veränderungen können sich schleichend oder durch vermehrtes Auftreten von Extremereignissen wie Hochwasser, Dürre, Hagel und Windbruch ereignen. Hagel besteht aus gefrorenem Wasser mit kleinen Luftpfeilchen, die sehr hohe Fallgeschwindigkeiten von über 100 km/h und somit hohe kinetische Energien erreichen kann. Für Hagel entsteht somit ein hohes Schadpotenzial insbesondere für die Erträge der Landwirtschaft.

Zwischen 1990 und 2006 betragen die Schäden durch Wetterextreme in der Landwirtschaft für Deutschland schätzungsweise 8 Mrd. Euro, durchschnittlich also jährlich 470,6 Mio. Euro. Trockenheit und Dürre verursachten 59,1% der Schäden, Hagel 21,2%, Sturm, Starkregen, Überschwemmungen 15,7%, Auswinterung und Frostschäden 4,1%. Hagelereignisse machen ca. ein Fünftel der Schäden durch Wetterextremereignisse aus. Daten für Brandenburg stehen bislang nicht zur Verfügung, sodass hier derzeit ein Platzhalter aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) des Umweltbundesamtes verwendet wird.

Da Hagelschäden nur ca. ein Fünftel aller geschätzten landwirtschaftlichen Schäden ausmachen, bildet der Schadenaufwand in der Hagelversicherung nur einen geringen Teil der tatsächlichen Risiken und Belastungen der Landwirte ab. Alle anderen Schäden tragen die Landwirte selbst, oder sie bekommen fallweise Gelder aus Hilfsprogrammen. In Zukunft ist



mit Neuabschlüssen von Verträgen und steigenden Versicherungssummen zu rechnen, wobei staatliche Beihilfen im Agrar- und Forstsektor bei Naturkatastrophen nur noch in sehr begrenzten Ausnahmefällen vergeben werden sollen.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Im derzeit dargestellten Indikator aus der DAS werden die Höhe des Schadenaufwands, d.h. die Bruttoaufwendungen für auftretende Versicherungsfälle in Abhängigkeit von der Häufigkeit und Schwere von Schadereignissen abgebildet. Der Schadenaufwand umfasst Zahlungen und Rückstellungen für die im Geschäftsjahr verursachten Schäden einschließlich der Aufwendungen für die Schadenregulierung. Mitunter wird synonym auch der Begriff der Versicherungsleistung verwendet. Gemeint ist in keinem der beiden Fälle jedoch der Betrag, den der Versicherungsnehmer im Schadenfall letztendlich ausgezahlt bekommt.

Zudem wird der Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung dargestellt. Mit höheren Werten der versicherten Objekte geht auch ein höherer Schadenaufwand einher. Mit dem Schadensatz wird der Einfluss der sich vollziehenden Wertsteigerung und der Inflation herausgerechnet und die Größe hat damit eine unmittelbare Beziehung zu den eigentlichen Schadtreibern.

**Datenquelle:** Das Hagelrisiko für die Landwirte wird traditionell privatwirtschaftlich über eine Hagelversicherung abgedeckt, sodass weit mehr als 60% der Anbauflächen versichert sind. Die Hagelversicherung gibt es inzwischen seit mehr als 200 Jahren. Unter dem Dach des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) laufen die Daten der gesamten Bruttobeitragseinnahmen aller Hagel-Versicherer in Deutschland zusammen. Kleinere z.T. seit Jahrhunderten bestehenden Hagelgilden sind unter dem Dach „Hagelgilde“ vereinigt, die wiederum Mitglied des GDV ist.

### **Hinweise zur Interpretation:**

Der Indikator sollte nicht dahingehend interpretiert werden, dass die Versicherung der Landwirte allein eine geeignete Anpassungsmaßnahme darstellt. Vielmehr muss es darum gehen, die Risiken für das Auftreten von Ernteschäden zu verringern oder auch Maßnahmen der Risikostreuung (z.B. durch Diversifizierung) durchzuführen. Viele Landwirte schließen auch bewusst keine Versicherung ab, da diese nur den konkreten Ernteausfall, aber nicht die damit verbundenen Folgewirkungen für den Gesamtbetrieb abdeckt.

# LW-2 Ertrags- und Anbauflächenentwicklung von Weizen, Raps und Mais

## Grafik:

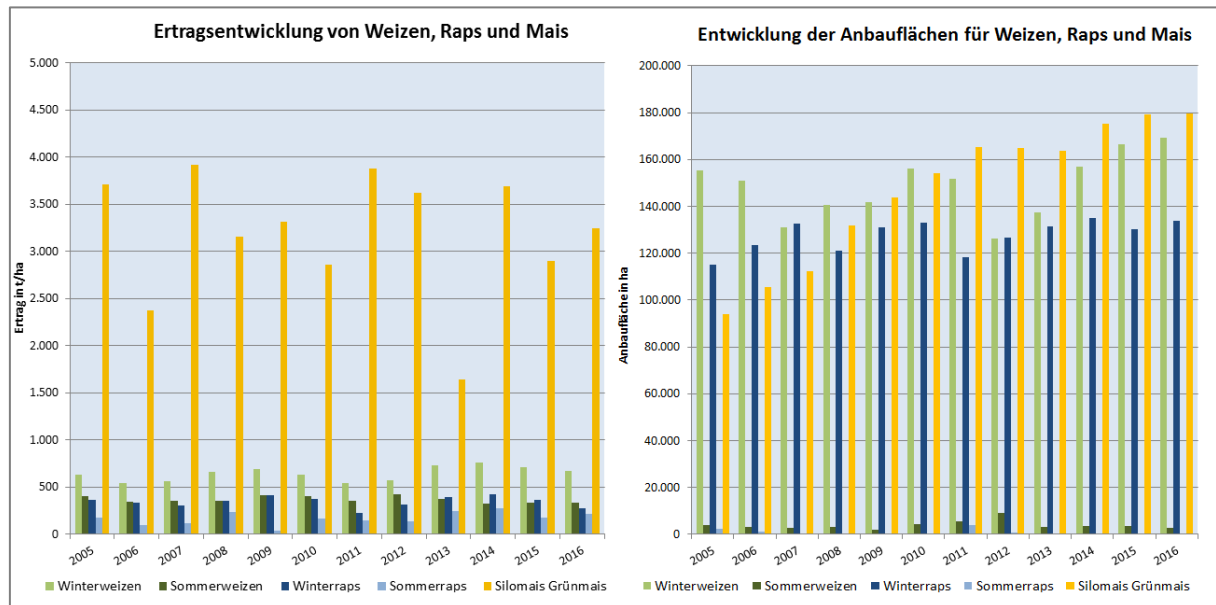


Abbildung 24: Ertrags- und Anbauflächenentwicklung von Winter- und Sommerweizen, Winter- und Sommerraps und Silomais/ Grünmais als Ertrag in t/ha und Anbaufläche in ha im Zeitraum 2005 - 2016

## Bedeutung:

Das Klima bzw. die Witterungssituation gehören zu den wichtigsten Größen in der Landwirtschaft. Verlängerte Vegetationsperioden oder höhere Temperaturen verbunden mit CO<sub>2</sub>-Düngeeffekten können Ertragssteigerungen befördern. Dem stehen Ertragsdepressionen u.a. durch Trockenstress oder Extremereignissen (Sturm, Starkregen, Hagel, Überschwemmungen) gegenüber.

Züchtungen und technischer Fortschritt ließen die landwirtschaftlichen Erträge in den letzten 50 Jahren ansteigen. Ob auch der Klimawandel zur Zunahme der Entwicklung der Erträge beigetragen hat, ist derzeit nicht quantifizierbar. Vermutlich war der Beitrag aber gering und wurde von anderen Faktoren insbesondere aus dem ökonomischen und technologischen Umfeld überlagert.

Grundsätzlich geht man davon aus, dass Wetter- und Witterungsschwankungen in Zukunft die Landwirtschaft vor größere Herausforderungen stellen wird als die langfristigen Klimatrends, aufgrund der schwierigen Anpassung an stark wechselnde Witterungsbedingungen. Insbesondere Klimaextreme mit langen Trockenperioden wie z.B. in den Jahren 1964/65, 1972, 1992 oder 2003 führten immer wieder zu deutlichen Ertragseinbußen.

Interanuelle Ernteschwankungen reflektieren am ehesten die Zusammenhänge zwischen Klima und Erträgen. Es kann davon ausgegangen werden, dass Ertragsschwankungen von Jahr zu Jahr im Wesentlichen klima- bzw. witterungsbedingt sind. Die Erhöhung der Ertragsvariabilität führt zu einem höheren Produktionsrisiko für die Landwirte.

Mais ist derzeit eine der wichtigsten Kulturarten in Brandenburg und steht daher im besonderen Fokus von Ertragsbetrachtungen. Ebenso ist Raps und Weizen bedeutend für den Nahrungs- und Futtermittelsektor, sowie für nachwachsende Rohstoffe für die Herstellung von Biodiesel und Schmierstoffen von Bedeutung. Mais ist auf Grund seines sehr hohen Ertrags- und Energiepotentials die wichtigste Ackerfutterpflanze. Außerdem ist Mais infolge der unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten, die von der traditionellen Maissilage über Lieschkolbenschrot- und CCM-Silage (Corn-Cob-Mix, ein Futtermittel, das nur die Körner der Pflanze enthält) bis hin zur reinen Körnernutzung reichen, auch die vielseitigste Futterpflanze.

Der Indikator zeigt sowohl die Auswirkungen des Klimawandels als auch eine Anpassungskapazität an den Klimawandel.

**Definition und Berechnungsverfahren:**

Der Indikator zeigt die Ertrags- und Flächenentwicklung der Sommer- und Winterweizen-, Sommer- und Winterraps-, sowie Silo-/Grünmaiserträge in Brandenburg für die Erträge in Tonnen/ha und die Fläche in ha.

**Datenquelle:** Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland im Land Brandenburg. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB)

## LW-3 Schaderregerbefall (DAS-Indikator)

### Grafik:

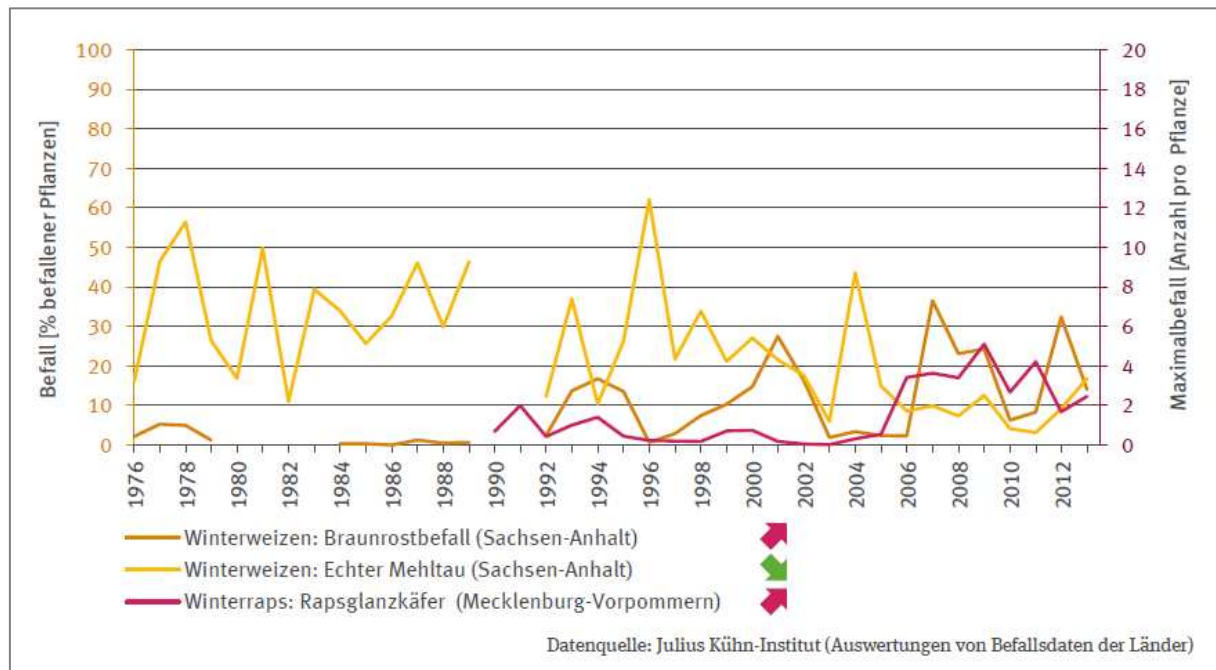


Abbildung 25: Beispielabbildung für die Entwicklung des Schaderregerbefalls von Winterweizen (Sachsen-Anhalt) und Winterraps (Mecklenburg-Vorpommern) durch den Befall von Braunrost, Echtem Mehltau und dem Rapsglanzkäfer aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes

### Bedeutung:

Die Entwicklung von Schaderregern in der Landwirtschaft, im Obst-, Wein- und Gartenbau ist stark vom Witterungsverlauf des Jahres abhängig. Wärmere Witterung und die Verlängerung der Vegetationsperiode ermöglichen einigen Schaderregern, eine größere Zahl von Generationen auszubilden und führen zu günstigeren Ausbreitungsbedingungen. Andere Schaderreger, die zum Beispiel auf längere Feuchteperioden angewiesen sind, könnten zurückgehen. Bedingt durch den Klimawandel ist in den nächsten Jahren daher mit Verschiebungen im Artenspektrum von Pflanzenschädlingen in der Landwirtschaft zu rechnen. Schäden durch Pilzkrankheiten werden voraussichtlich abnehmen (dies gilt jedoch nicht für wärmeliebende Pilzarten wie den Mehltau, die im Befall eher zunehmen werden), die Bedeutung verschiedener Ungräser und Unkräuter, tierischer Schädlinge und nichtparasitärer Krankheiten könnten hingegen eher zunehmen. Ferner profitieren Insekten grundsätzlich von wärmeren Temperaturen. Schaderreger, die bisher nicht in unseren Breiten vorgekommen sind, können unter den veränderten klimatischen Rahmenbedingungen eingeschleppt werden und sich ausbreiten. Schaderreger reagieren sehr empfindlich und spontan auf veränderte Witterungsverhältnisse, sodass es für Landwirte schwierig ist, rasch und flexibel zu reagieren. Beim Braunrost (*Puccinia triticina*) am Winterweizen, dem Echten Mehltau (*Erysiphe graminis*) ebenfalls am Weizen und dem Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) kann nach derzeitigem Wissensstand davon ausgegangen werden, dass der Klimawandel mit wärmeren Wintern und einem trockeneren und wärmeren Frühjahr den Populationsaufbau bzw. die Massenvermehrung fördert.

Aus bisherigen Forschungsarbeiten lassen sich einzelne Hinweise auf klima- bzw. witterungsbedingte Veränderungen im Schadorganismenaufreten ableiten, insgesamt gibt es jedoch noch sehr große Unsicherheiten, die ein langfristiges und vor allem eine Vielzahl von Schaderregern umfassendes Monitoring erfordern. Die hier diskutierten Proxy-

Indikatoren beinhalten nur eine kleine Auswahl von Schaderregern, bei denen von einer vergleichsweise starken Witterungsabhängigkeit ausgegangen werden kann. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass auch für diese Schaderreger die Untersuchungen als noch nicht abgeschlossen gelten müssen. Der Indikator ist daher als Stellvertreter-Indikator zu interpretieren, der nach Erweiterung der Kenntnisse fortgeschrieben werden muss.

Die derzeit verwendete Abbildung stellt nur eine Beispieldarstellung für den Indikator dar. Der Indikator entstammt dem Monitoring-Bericht der Deutschen Anpassungsstrategie des Umweltbundesamtes. Für Brandenburg liegen derzeit noch keine vergleichbaren Daten vor.

Der Indikator zeigt mögliche Folgen des Klimawandels auf.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Der Indikator beschreibt die durchschnittliche von Braunrost und Echtem Mehltau befallene Blattfläche des Winterweizens, sowie den durchschnittlichen Befall mit Rapsglanzkäfern auf Monitoringflächen in Brandenburg.

Braunrost befällt Weizen und Triticale (Kreuzung aus Weizen und Roggen) und äußert sich in Rostpusteln, die vor allem auf der Blattoberseite erscheinen, seltener auf Blattscheiden, Ähren und Grannen. Befallene Blattflächen vergilben und vertrocknen. Erhöhte Braunrostgefahr besteht bei mildem Herbst- und Winterwetter, warmem Frühjahr und Auftreten von Rost bereits im Vorjahr. Braunrost benötigt für eine epidemische Ausbreitung höhere Temperaturen von 20-25°C am Tag oder 15°C in der Nacht mit Taubildung oder Niederschlag.

Echter Mehltau befällt das lebende grüne Pflanzengewebe von Gerste, Weizen und Triticale und äußert sich am auffälligsten durch die Bildung weißer, watteartiger Pilzgeflechte. Warme, relativ trockene Frühjahrs- oder Herbstwitterung begünstigt den Mehltaubefall. Hohe Luftfeuchtigkeit, nicht aber Regen, Temperaturen zwischen 18-22°C, abwechseln warme und feuchte Tage wirken befallsfördernd.

Rapsglanzkäfer ernähren sich nicht ausschließlich von Raps, sondern von den Blüten anderer Pflanzen mit meist gelben Blütenblättern. Sie fressen neben den Pollen auch Stempel und Fruchtknoten der Blüten. Das Massenaufreten von Rapsglanzkäfern wird vermutlich durch milde Winter und trockenes Wetter mit warmen Temperaturen im April befördert.

**Datenquelle:** bis 2003 Auswertungen von Länderdaten durch das Julius-Kühn-Institut (JKI), ab 2003 Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V. (ISIP).

## LW-4 Stickstoffüberschuss

### Grafik:

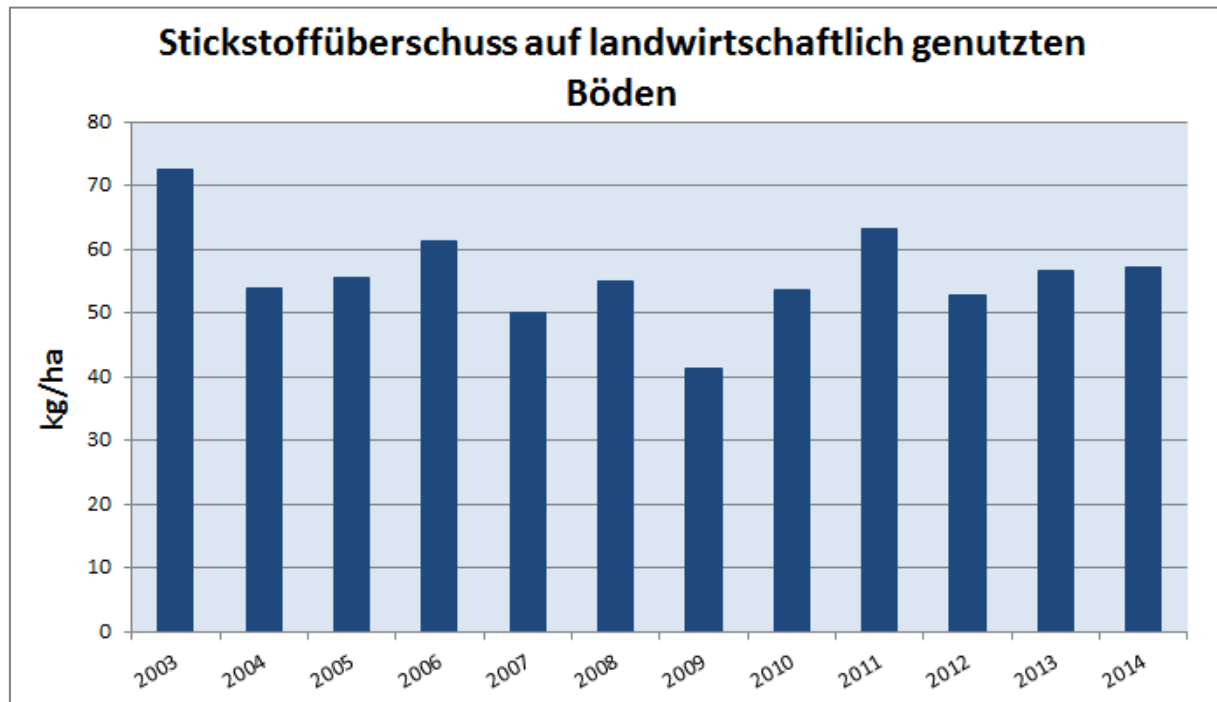


Abbildung 26: Entwicklung des Stickstoffüberschusses auf landwirtschaftlich genutzten Böden dargestellt in kg/ha im Zeitraum 2003 – 2014

### Bedeutung:

Ein wichtiger Gradmesser für potenzielle Umweltbelastungen durch Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft ist der Überschuss der Stickstoffflächenbilanz. Stickstoff (N) wird in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt und kann - soweit er nicht von den Nutzpflanzen aufgenommen wird - auf verschiedenen Wegen (Volatilisation, Auswaschung, Erosion) in die Umwelt gelangen. Dort kann der zusätzliche Stickstoffeintrag weitreichende Auswirkungen auf den Naturhaushalt haben, u.a. Versauerung, Eutrophierung, Nitratbelastung des Grundwassers, Belastung der Oberflächengewässer und Meere, Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt und Minderung der Anpassungskapazität des Landes an die Folgen des Klimawandels.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Die Flächenbilanz betrachtet die Stickstoffflüsse zu und von der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Auf die Fläche gelangt Stickstoff in Form von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist), Sekundärrohstoffdünger (Klärschlamm, Kompost), atmosphärische Einträge (netto) sowie der Stickstoffbindung durch Leguminosen. Beim Wirtschaftsdünger werden vorab die Stickstoffverluste an die Atmosphäre aus den Ställen und bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern abgezogen. Den Zufuhren stehen die Stickstoffabfuhr mit dem Ernteentzug entgegen, die von der Fläche abgefahren wird. Die Differenz (der Saldo) zwischen Stickstoffzufuhr und Stickstoffabfuhr von der Fläche bildet schließlich den Stickstoffflächenbilanzüberschuss.

Das Berechnungsverfahren der Länderflächenbilanzierung ist beschrieben in Bach et al. (2014), die Gesamtbilanzierung für das Bundesgebiet in Bach et al. (2011). Alle

Mengenangaben über Zufuhr und Entzug von Produkten sind mit wenigen Ausnahmen den Veröffentlichungen der Statistischen Bundesamtes (destatis.de, regionalstatistik.de) zu entnehmen.

**Datenquelle:** Amt für Statistik (AfS BB)

### **Hinweise zur Interpretation**

Das sensitivste Glied der Länderstickstoffbilanz ist die Stickstoffmineraldüngung, weil zu dieser Größe für die Bundesländer keine zuverlässigen statistischen Angaben zur Verfügung stehen. Das Statistische Bundesamt veröffentlicht zwar in der Düngemittelstatistik (Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 8.2) Angaben zum Stickstoffmineraldüngerabsatz nach Bundesländern, bezogen auf die landwirtschaftliche genutzte Fläche (LF) der einzelnen Bundesländer zeigen diese Absatzmengen jedoch außerordentlich große, unplausible Diskrepanzen. Infolgedessen muss die Höhe der N-Mineraldüngung für die Bundesländer berechnet werden. Der Berechnungsansatz geht vom gesamten Stickstoffbedarf der angebauten Nutzpflanzen aus, von dem ein Teil durch Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung und weiteren Quellen gedeckt wird, der restliche Bedarf wird dann mit Mineraldünger zugeführt (Einzelheiten s. Bach et al. 2011). In Anbetracht der Schätzannahmen dieses Ansatzes sowie der weiteren Ungenauigkeiten in der Methodik der Stickstoffbilanzierung wird die Genauigkeit der Größe Stickstoffflächenbilanzüberschuss auf ca. 10 kg Stickstoff/ ha LF geschätzt. Bei der Interpretation von Unterschieden zwischen Bundesländern ist diese Größenordnung der möglichen Unschärfe zu berücksichtigen.

Bei einer Auswertung der N-Bilanzierungen ist darauf hinzuweisen, dass zahlreiche unterschiedliche Verfahren für die Bilanzrechnung verwendet werden, die zu divergierenden Ergebnissen bezüglich der Höhe des Stickstoffbilanzüberschusses führen.





# **Natur- und Biodiversitätsindikatoren**

**N-1 Gebietsschutz**

**N-2 Invasive Arten – Asiatische Tigermücke (DAS-Indikator)**

**N-3 Flächeninanspruchnahme**

## N-1 Gebietsschutz

### Grafik:

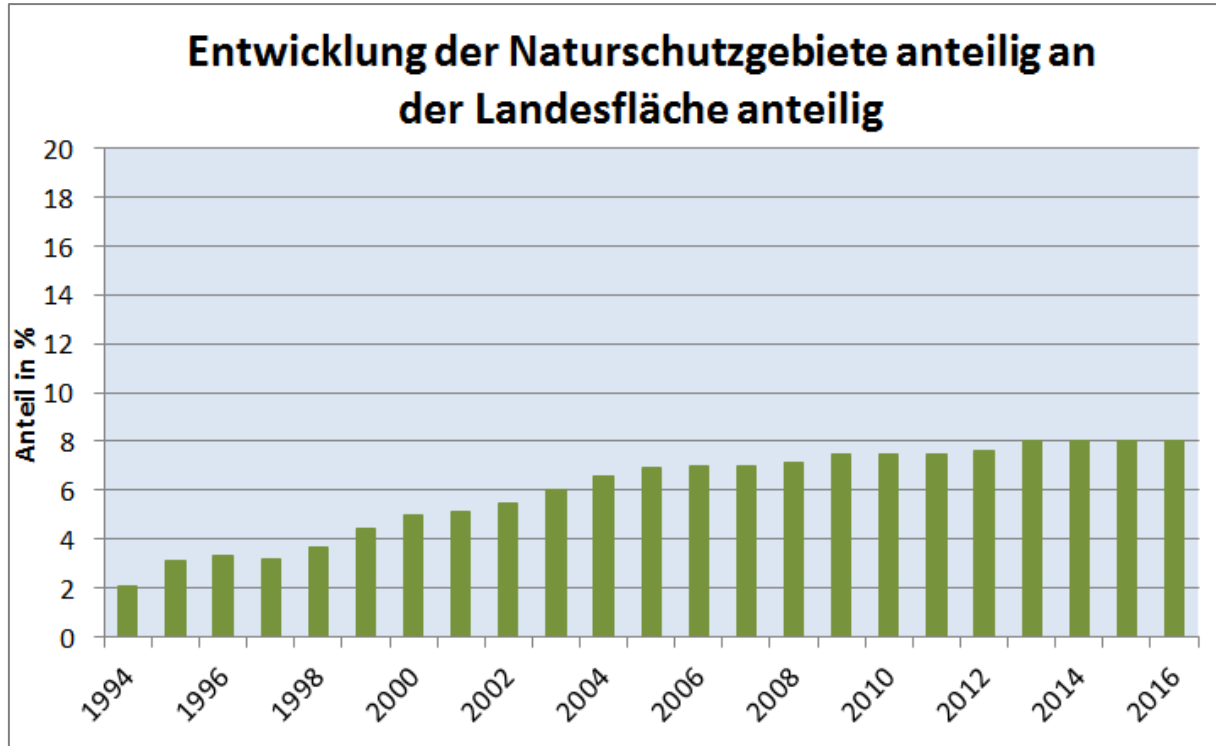


Abbildung 27: Entwicklung der Naturschutzgebiete anteilig in Prozent an der Landesfläche im Zeitraum 1994 - 2015

### Bedeutung:

Um die biologische Vielfalt nachhaltig zu sichern sind ausreichend große Flächen erforderlich, auf denen sich die Natur ohne belastende Eingriffe des Menschen entfalten kann - streng geschützte Gebiete mit "Vorrang für Natur". Die Ausweisung von Schutzgebieten gehört deshalb zu den wichtigsten Instrumenten des Naturschutzes. Ihr Flächenanteil sagt etwas aus über die Aktivitäten der Länder zur Erhaltung, Wiederherstellung und Entwicklung von Existenzmöglichkeiten für empfindliche Arten und Biotope. Allerdings entspricht in vielen Gebieten der tatsächliche Zustand nicht den Anforderungen, die an Vorrangflächen eigentlich zu stellen sind. Da der Indikator keine Aussagen zur Qualität der Gebiete beinhaltet, hat er insofern nur eine begrenzte Aussagekraft. Es handelt sich um einen Maßnahmenindikator, keinen Zustandsindikator. Mittelfristig wäre eine Ergänzung durch einen Zustandsindikator zur Qualität der Schutzgebiete wünschenswert, da dann Anpassungsleistung an den Klimawandel, ersichtlich werden kann.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Flächenanteil der bundeseinheitlich naturschutzrechtlich streng geschützten Gebiete, die vorrangig dem Schutzgut "Arten- und Biotopschutz" dienen. Einbezogen werden:

- Naturschutzgebiete gemäß § 23 Bundesnaturschutzgesetz BNatSchG.
- Nationalparke gemäß § 24 BNatSchG (nur Kern- und Pflegezonen, die wie Naturschutzgebiet (NSG) geschützt sind).

- Biosphärenreservate gemäß § 25 BNatSchG (nur Kern- und Pflegezonen, die wie NSG geschützt sind).

Wenn sich verschiedene Schutzkategorien überschneiden, wird der mehrfach geschützte Flächenanteil nur einmal mitgezählt.

Die Gebiete gemeinschaftlicher Bedeutung (so genannte Flora-Fauna-Habitat-Gebiete "FFH-Gebiete") werden, soweit sie nicht ohnehin bereits Naturschutzgebiet oder Kern- und Pflegezonen in Nationalparks oder Biosphärenreservaten sind, nicht berücksichtigt. Denn das Bundesnaturschutzgesetz sieht in § 32 (2) vor, dass die Länder die Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung zu geschützten Teilen von Natur und Landschaft im Sinne des § 20 (2) BNatSchG erklären sollen; der Status als "FFH-Gebiet" allein begründet noch keinen hinreichenden Schutz gegenüber jedermann.

Die Landesfläche wird nach dem Amtlichen Liegenschaftsbuch angegeben.

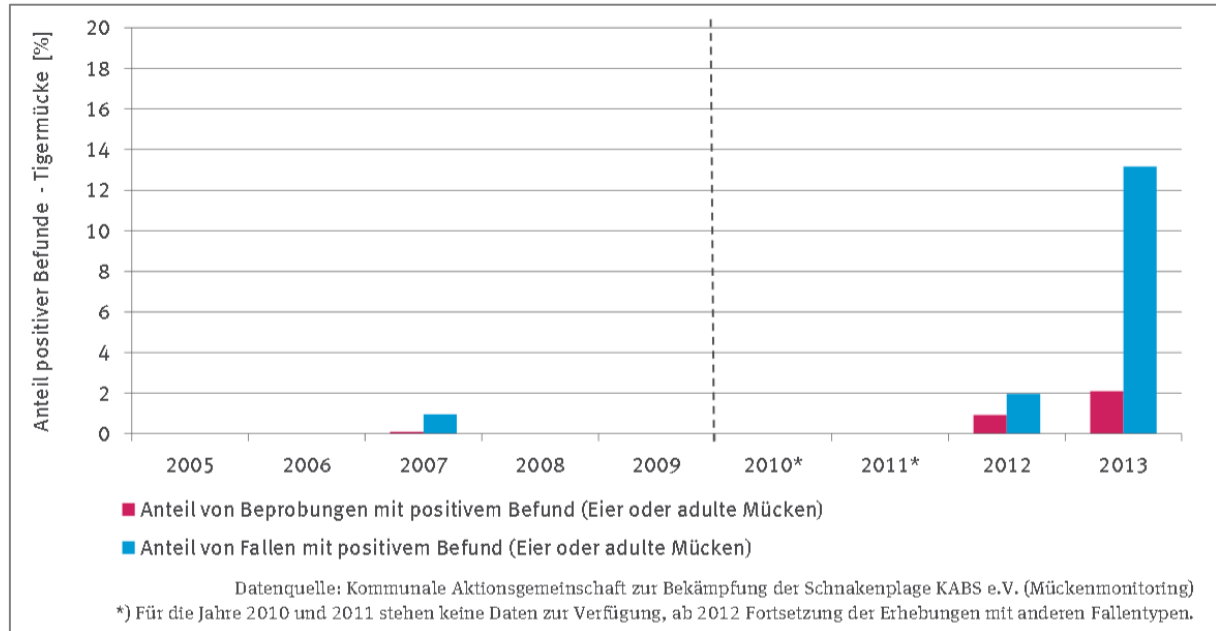
**Datenquelle:** Bundesamt für Naturschutz (BfN), Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

**Hinweise zur Interpretation:**

Der Indikator ist normiert.

## N-2 Invasive Arten – Asiatische Tigermücke (DAS-Indikator)

### Grafik:



**Abbildung 28: Beispielabbildung für die Entwicklung invasiver Arten am Beispiel der Asiatischen Tigermücke der Fallstudie für Baden-Württemberg (Oberrheingraben) im Zeitraum 2005 – 2013 aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes**

### Bedeutung:

Als invasiv gelten Arten, deren Vorkommen außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes für die dort natürlich vorkommenden Ökosysteme, Biotope oder Arten ein erhebliches Gefährdungspotenzial darstellt. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn durch die Ausbreitung einer invasiven Art einheimische Arten an bestimmten Standorten verdrängt und dadurch in ihrem Bestand gefährdet werden. Zudem können durch invasive Arten wie Stechmücken, Zecken oder Wanzen Krankheiten übertragen werden. Die tierischen Krankheitsüberträger werden dann als Vektoren bezeichnet.

Die Einschleppung exotischer Stechmückenarten ist in erster Linie ein Effekt der Globalisierung (internationalen Verkehrs- und Handelsströme), allerdings fördern günstige Klimaverhältnisse die lokale Etablierung und Ausbreitung dieser Arten. Die Klimaerwärmung kann zu einer zunehmenden und schnelleren Vermehrung der invasiven Arten führen, sowie eine Verlängerung der jährlichen Aktivitätsperioden, höhere Überlebensraten durch mildere Winter und die Etablierung und Verbreitung eingeschleppter neuer Vektorarten und Krankheitserregern bewirken.

Einige Arten, wie die aus Südostasien stammende Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), die als hocheffizienter Vektor über 20 unterschiedliche Viren übertragen kann, sind bisher in Deutschland nicht etabliert. Beobachtung der letzten Jahre ergaben aber Funde von Eiern und adulten Tieren. Als inzwischen etabliert gilt dagegen der japanische Buschmoskito (*Ochlerotatus japonicus*), der in Südwest- und Westdeutschland nachgewiesen ist. Beide genannten Arten werden in ihrer Entwicklung durch höhere Temperaturen und Niederschläge begünstigt.

Die Rheinebene als wärmebegünstigte Region gilt als eine wichtige Eintrittspforte wärmeliebender Arten nach Deutschland. Nach der inzwischen vollzogenen Etablierung der Asiatischen Tigermücke in Südeuropa steigt die Einwanderungsgefahr nach Deutschland weiter, da sich die Art nach Norden hin ausbreitet. Brandenburg ist bislang von beiden zuvor genannten Mückenarten nicht betroffen. Im Falle der Tigermücke muss davon ausgegangen werden, dass bei einer Erhöhung der Mitteltemperatur um 1,5° C eine Etablierung auch in weiteren Teilen Deutschlands möglich ist. Die Beobachtung der Mückenfunde sollte daher mit Voranschreiten des Klimawandels auch für Brandenburg ein wichtiger Bestandteil des Klimawandelmonitorings sein.

Der Indikator zeigt die Folgen des Klimawandels auf.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Stechmückenpopulationen und deren Entwicklung werden seit 30 Jahren am Oberrhein gezielt mit speziellen Fallen untersucht. Seit 2005 werden dabei auch exotische Stechmücken erfasst und seit 2007 auch nachgewiesen, z.B. die Asiatische Tigermücke.

Der Indikator stellt die Funde der Asiatischen Tigermücke am Oberrheingraben im Zeitraum von 2005 – 2013 dar. Der erste Teil des Indikators zeigt den Anteil von Fallen im Oberrheingebiet mit positiven Befunden von *Aedes albopictus* mit mindestens einem Mückenei oder einem adulten Tier, geteilt durch die Anzahl aufgestellter und beprobter Fallen mit 100 multipliziert. Im zweiten Teil des Indikators wird der Anteil der Beprobungen mit positiven Befunden dargestellt. Der Anteil ergibt sich aus der Anzahl der Beprobungen mit positiven Befunden (ebenfalls Mückenei oder adultes Tier) geteilt durch die Summe der an allen Fallen durchgeführten Beprobungen mit 100 multipliziert.

Die kontinuierlich erhobenen Daten stammen aus der Fallstudie der Kommunalen Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage KABS sowie seit 2011 vom Friedrich-Löffler-Institut FLI und dem Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung ZALF.

Im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB werden seit 2012 (im Rahmen des Forschungsvorhabens „Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung krankheitsübertragender Tiere: Importwege und Etablierung gebietsfremder Mücken in Deutschland“, Laufzeit 2011 - 2014) an 29 Fallenstandorten in Baden-Württemberg, Bayern, Hamburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Sachsen Erfassungen von Mücken durchgeführt. Diese führten in allen Jahren regelmäßig zu Funden von allen Entwicklungsstadien von *Aedes albopictus* in Baden-Württemberg und Bayern. Das Forschungsvorhaben wird in dem Zeitraum 2014-2017 weitergeführt, allerdings unter ausschließlicher Berücksichtigung der Standorte an Autobahnen, die aus dem Süden kommen (Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung krankheitsübertragender Tiere (exotische Stechmücken: Ermittlung der Risiken an den bereits identifizierten Importwegen nach Deutschland).

**Datenquelle:** Kommunalen Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage (KABS), Friedrich-Löffler-Institut (FLI) und Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)

## N-3 Flächeninanspruchnahme

### Grafik:

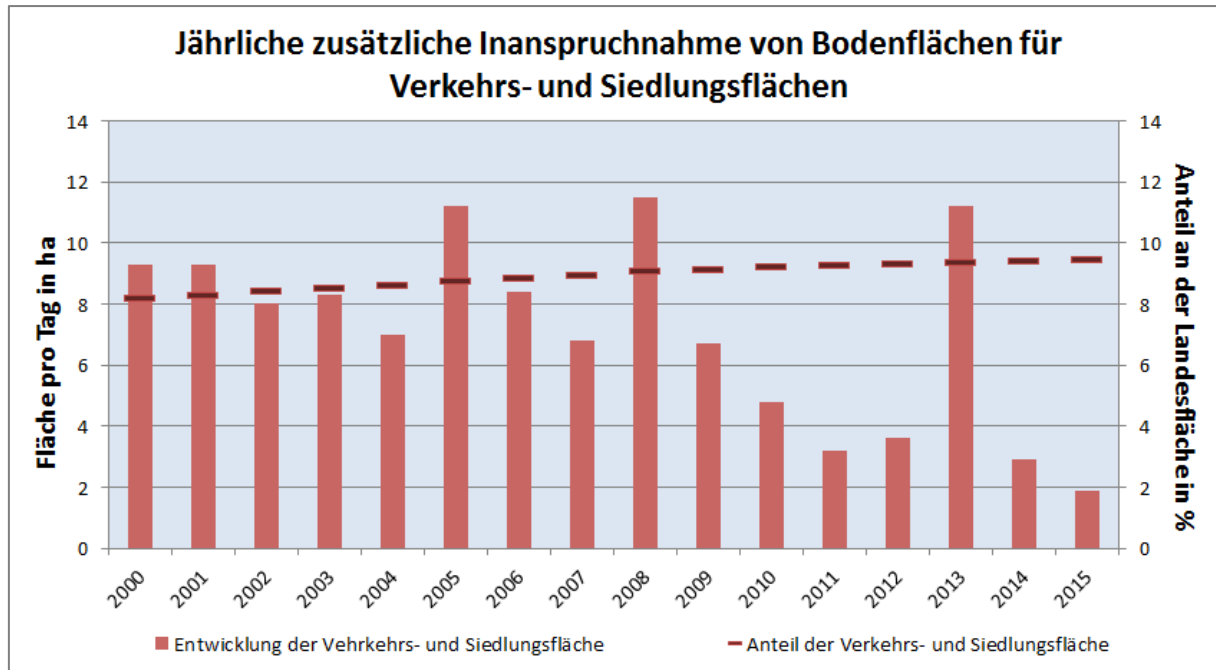


Abbildung 29: Entwicklung der jährlichen zusätzlichen Inanspruchnahme von Bodenflächen für Verkehrs- und Siedlungsfläche als Flächenverbrauch pro Tag und anteilig an der Landesfläche in Prozent im Zeitraum 2000 - 2015

### Bedeutung:

Die Flächeninanspruchnahme ist ein Schlüsselindikator für die Nachhaltigkeit der Raumnutzung und somit für die Erhöhung der Anpassungskapazität des Landes. Die mit der Flächeninanspruchnahme einhergehenden Umweltschädigungen treten in der Regel zeitverzögert über lange Zeiträume hinweg auf. Folgewirkungen sind daher auf den ersten Blick nur schwer zu erkennen, deren Gefahren werden zurzeit noch deutlich unterschätzt.

Die Flächeninanspruchnahme beinhaltet die Umnutzung von Freiflächen, i.d.R. landwirtschaftlich genutzten Flächen, in Siedlungs- und Verkehrsflächen. Diese sind in etwa der Hälfte der Fälle versiegelt, sodass Böden ihre Fähigkeit, Wasser versickern zu lassen oder zu speichern verlieren, was bei Starkregen das Risiko von Überflutungen erhöhen kann. Die Flächen verlieren zudem ihre Funktion für das Kleinklima und können im Sommer die Überhitzung in Städten nicht lindern. Ebenfalls gehen ökologische Funktionen des Bodens selbst verloren und somit Lebensräume für Flora und Fauna. Häufig handelt es sich anstelle einer multifunktionalen um eine einseitige, rein wirtschaftsorientierte Nutzung des Bodens. Die Flächeninanspruchnahme ist darüber hinaus meist verbunden mit der Zunahme des Verkehrsaufkommens und des Energieverbrauchs und dem kostenträchtigen Ausbau von Infrastruktur. Der Indikator indiziert daher auch Belastungspotentiale, die über die in Anspruch genommenen Flächen hinausgehen.

Die tägliche Flächeninanspruchnahme eines Jahres wird als erster Teil des Indikators verwendet, da sie eine sehr anschauliche und inzwischen weithin bekannte Größe ist. Bei vergleichenden Darstellungen ist eine Normierung auf eine geeignete Bezugsgröße (z.B. auf Flächengröße oder Bevölkerungsdichte) vorzunehmen.

Mit dem Anteil an Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) wird die Zunahme an SuV auf die Gesamtfläche des Landes bezogen.

Die Entwicklung der jährlichen zusätzlichen Inanspruchnahme von Bodenflächen für Verkehrs- und Siedlungsflächen zeigt die Anpassungskapazität an den Klimawandel.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Die jährliche zusätzliche Inanspruchnahme von Bodenflächen für SuV pro Tag wird errechnet, indem der jährliche Zuwachs an SuV durch die Anzahl der Kalendertage des Jahres geteilt wird.

Der zweite Teil des Indikators setzt die SuV zur Gesamtfläche des Landes Brandenburg in Beziehung.

Die SuV setzen sich aus folgenden Katasterkategorien zusammen:

- Gebäude- und Freiflächen
- Betriebsflächen (ohne Abbauflächen)
- Erholungsflächen inkl. Grünanlagen
- Straßen, Wege, Plätze und sonstige dem Verkehr dienenden Flächen
- Friedhofsflächen

Die Daten zur SuV und zur Gesamtfläche des Landes werden von der Arbeitsgemeinschaft "Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder" (AG UGR d L) für alle Bundesländer erstellt. Grundlage ist die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung, die auf den Angaben des Automatisierten Liegenschaftsbuchs basiert, mit Stichtag 31.12. des angegebenen Jahres.

**Datenquelle:** Amt für Statistik BB / Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder AK UGRdL

### **Hinweise zur Interpretation:**

Das Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) ersetzt das bisher als Datenbasis verwendete Automatisierte Liegenschaftsbuch (ALB). Die Umstellung soll bundesweit für das Erhebungsjahr 2015 abgeschlossen sein. Im Rahmen der ALKIS-Umstellung wird der gesamte Flächendatenbestand komplett neu erfasst. Während beim ALB die Flurstücke mit teils veralteten Nutzungsartenzuordnungen die Datengrundlage bildeten, basiert ALKIS auf digital ermittelten geometrischen Flächen, bei denen überwiegend Luftaufnahmen genutzt wurden. Bei der ALKIS-Umstellung wird nicht nur der Datenbestand aktualisiert, sondern auch die Nutzungsartenzuordnung teilweise geändert. Folglich ist bei der zeitlichen und räumlichen Vergleichbarkeit grundsätzlich zu berücksichtigen, dass Änderungen der Vermessungs- und Katasterverwaltungen in den Ausgangsdaten einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Zudem gibt es bei der Erfassung länderspezifische Regelungen.





## **Gesundheitsindikatoren**

**G-1 Anzahl der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte**

**G-2 Anzahl von Hitzewarnungen**

**G-3 Hitzebedingte Todesfälle**

**G-4 Pollenbelastung für Allergiker**

**G-5 Belastung mit Ambrosia-Pollen**

**G-6 Blaualgenbelastung in Badegewässern (DAS-Indikator)**

**G-7 Schadstoffbelastung der Luft**

**G-8 Meldepflichtige Infektionskrankheiten**

## G-1 Anzahl der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte

### Grafik:

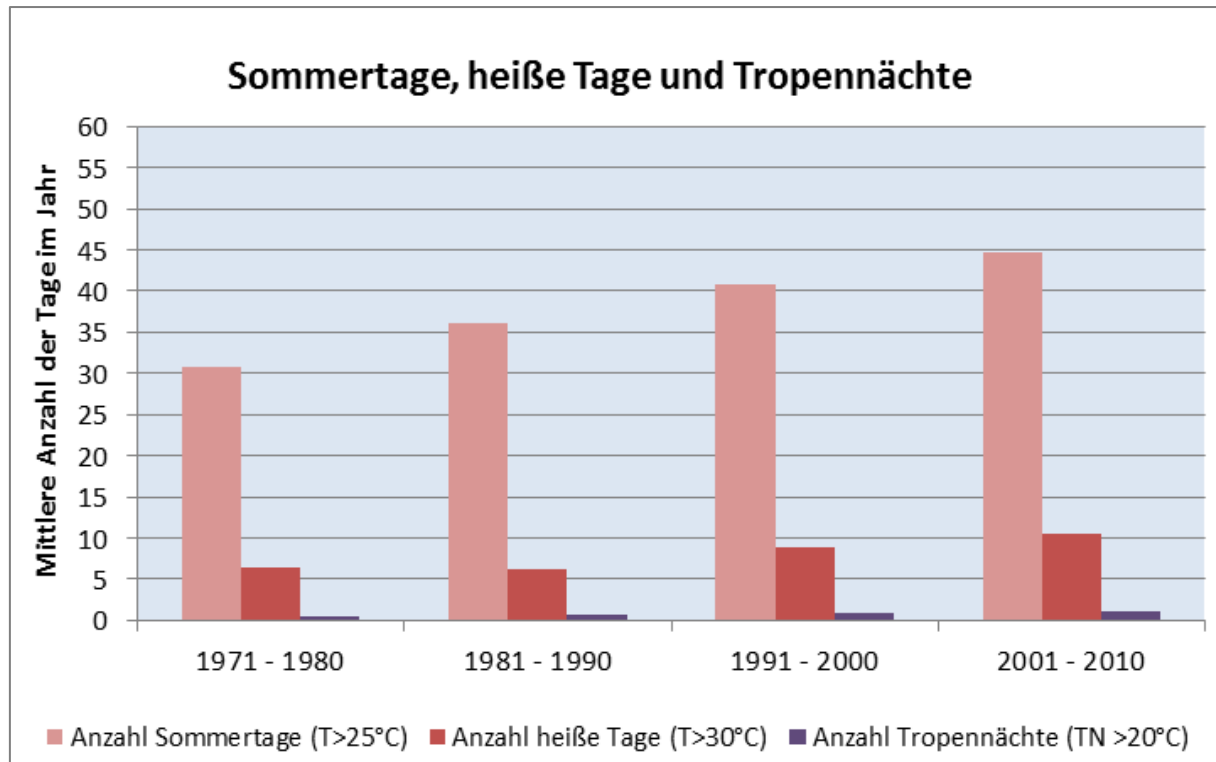


Abbildung 30: Entwicklung der mittleren Anzahl an Sommertagen, heißen Tage und Tropennächte für die 10-Jahres-Zeiträume von 1971 - 2010

### Bedeutung:

Die Temperaturkenntage werden von der Temperatur abgeleitet, die als Leitgröße zur Beschreibung der anthropogenen Klimaveränderung dient. Temperaturkenntage charakterisieren besonders warme oder kalte Perioden eines Jahres und geben damit einen Eindruck von der Wärmebelastung bzw. dem Kältereiz in einem Gebiet.

Warme und heiße Tage können gesundheitsbeeinträchtigend sein und insbesondere bei älteren Menschen zu ernsthaften gesundheitlichen Problemen führen. Im Hitzesommer 2003 starben europaweit ca. 52.000 Menschen. Auch in den Nächten fiel die Temperatur in Brandenburg kaum unter 20° C. Die Belastung für den Körper ist unter diesen Umständen sehr stark. Die Beobachtung dieser Parameter ist für die Zukunft im Klimawandel essenziell.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Berechnet wird die mittlere Anzahl der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte für die Jahrzehnte 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010. Ein Sommertag ist die meteorologisch-klimatologische Bezeichnung für einen Tag, an dem die Tageshöchsttemperatur 25 °C überschreitet. An einem heißen Tag überschreitet die

Tageshöchsttemperatur 30 °C. Tropennächte sind Nächte, die eine Temperatur über 20° C erreichen.

Die Gebietsmittel wurden aus Flächenkarten der Anzahl der Sommerkentage, Heißen Tage und Tropennächte gebildet, in jährlicher Auflösung auf der Basis von Messungen des Deutschen Wetterdienstes und anschließender Interpolation auf ein Raster von 1 km x 1 km unter Berücksichtigung der Geländetopographie. Die Karten umfassen die Fläche Brandenburgs und beziehen sich auf den Zeitraum von 1971 bis zum aktuellen Jahr. Zur Bestimmung der Gebietsmittel wurden die Flächenkarten über Brandenburg gemittelt.

Die Daten werden kontinuierlich erhoben.

**Datenquelle:** Deutschen Wetterdienst (DWD)

## G-2 Anzahl von Hitzewarnungen

### Grafik:

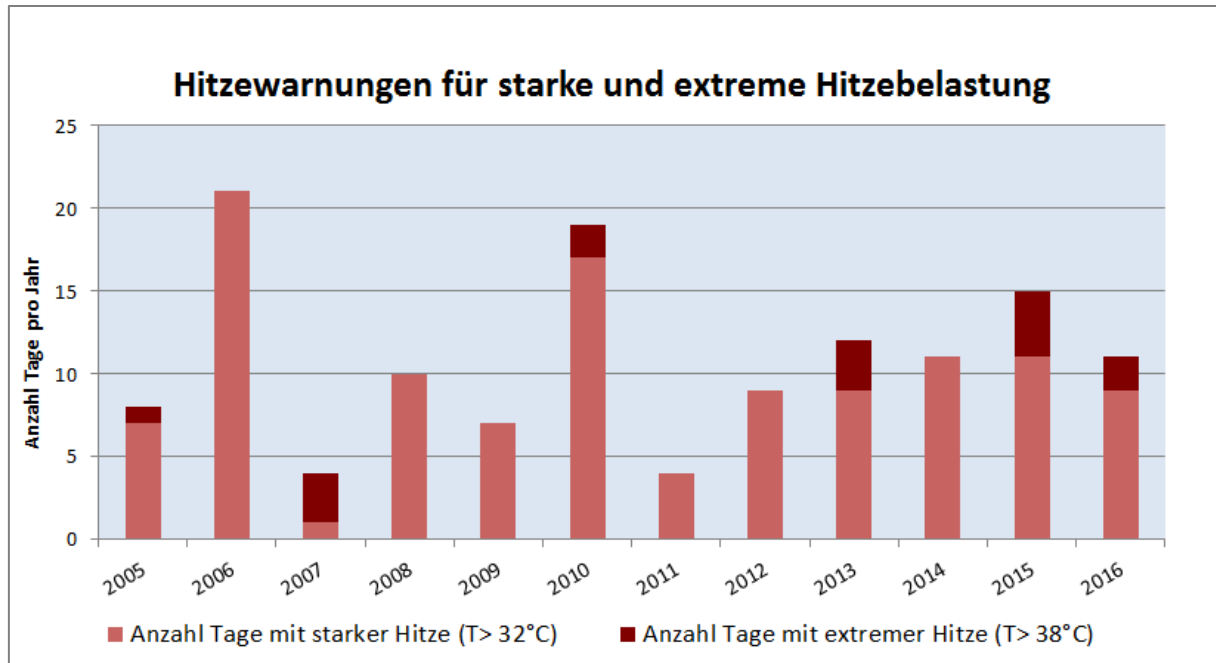


Abbildung 31: Entwicklung der Hitzewarnungen für starke und extreme Hitzebelastung als Anzahl der Tage pro Jahr im Zeitraum 2005 - 2016

### Bedeutung:

Wissenschaftler postulieren als Folgen des Klimawandels die Zunahme von wetter- und klimabedingten Extremwetterereignissen. Zu den Extremwetterereignissen zählen u. a. die Hitzewellen. Im Zusammenhang mit Hitzeereignissen werden durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) auch die Tage mit starker und extremer Wärmebelastung erfasst. Zu den Extremtemperaturen am Tage bleiben die Nächte zu warm und die Schlafqualität leidet. All diese Witterungssituationen stellen eine große Belastung für die Bevölkerung und eine akute Gesundheitsgefährdung für bestimmte Bevölkerungsgruppen dar. Von Hitze betroffen sind vor allem ältere Menschen und Menschen mit eingeschränkter Anpassungsfähigkeit, wie chronisch Kranke oder kleine Kinder. Gesunde Personen können sich besser anpassen und den Hitzefolgen aktiv entgegensteuern.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Seit 2005 hat der DWD ein Hitzewarnsystem eingerichtet, welches bezogen auf Landkreisebenen für diese Hitzewarnungen herausgibt. Dabei wird in zwei Abstufungen unterschieden:

Starke Wärmebelastung "Gefühlte Temperatur" an zwei Tagen (früher Nachmittag) in Folge über etwa 32°C, zusätzlich nur geringe nächtliche Abkühlung.

Extreme Wärmebelastung "Gefühlte Temperatur" am frühen Nachmittag über 38 °C.

Die Anzahl der vom DWD für das Land Brandenburg ausgesprochenen Hitzewarnungen gibt einen Überblick über das Auftreten von Wetter- und Witterungssituationen, die für die Gesundheit kritisch sein können. Sie sagt aber nichts darüber aus, wie viele Menschen tatsächlich betroffen sind und unter welchen gesundheitlichen Beeinträchtigungen die Betroffenen tatsächlich leiden.

**Datenquelle:** Deutscher Wetterdienst (DWD)

**Hinweise zur Interpretation:**

Auf eine Auswertung auf Landkreisebene wird verzichtet, da bis 2015 im Hitzewarnsystem mit größeren Warnbereichen gearbeitet wurde und dadurch kein bedeutender Mehrwert bei höherer Auflösung erwartet werden kann.

## G-3 Hitzebedingte Todesfälle (DAS-Indikator)

### Grafik:

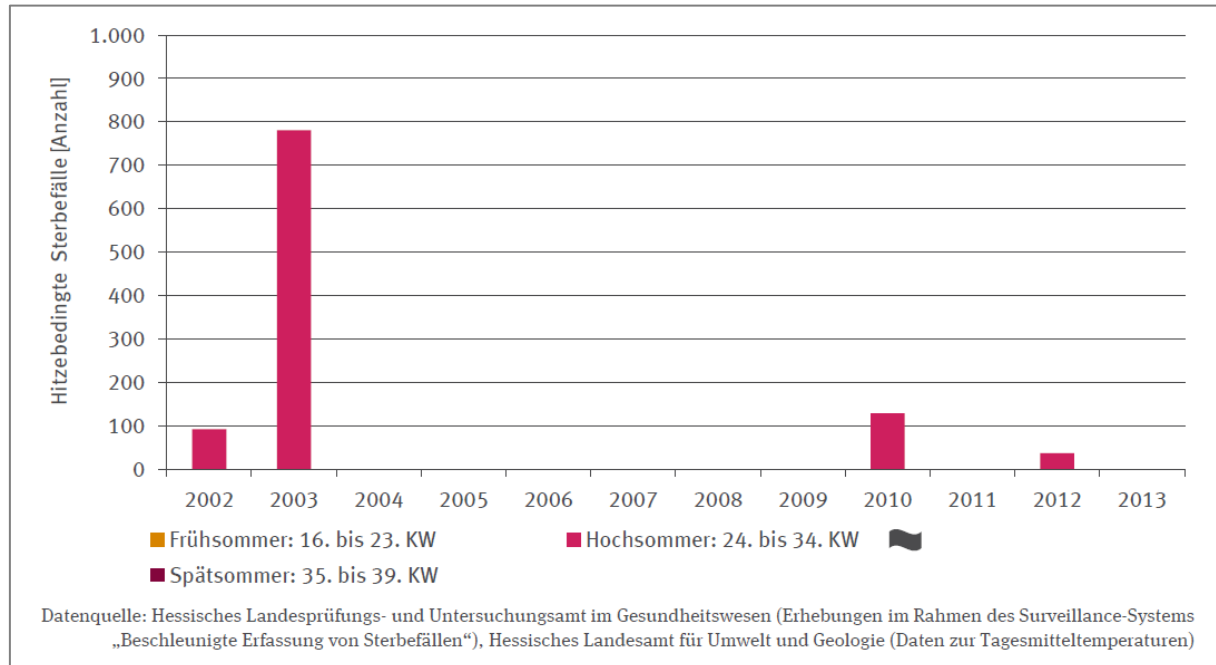


Abbildung 32: Beispielabbildung aus der Deutschen Anpassungsstrategie DAS vom Umweltbundesamt zur Darstellung der hitzebedingten Todesfälle für Deutschland im Zeitraum 2002 – 2013. Diese Abbildung ist ein Platzhalter und wird im Laufe des Jahres gegen die Brandenburger Daten ausgetauscht

### Bedeutung:

Im Sommer 2003 haben Hitzewellen in Europa schätzungsweise mehr als 52.000 Menschen das Leben gekostet, für Deutschland werden 7.000 Todesopfer genannt. Als physiologische Ursache werden u.a. die Überforderung der körpereigenen Temperaturregulationsmechanismen z.B. durch zu hohen Flüssigkeits- und Elektrolytverluste bei verstärkter Transpiration oder Überlastung des Herz-Kreislauf-Systems durch die Anforderung eines hohen Wärmetransportes genannt.

Besonders betroffen sind ältere und kranke Menschen sowie Kinder. Gesunde Personen können der Hitzebelastung aktiv besser entgegenwirken. Zusätzlich belastend ist die Hitze für alle Bevölkerungsgruppen, wenn zeitgleich die Luftqualität schlecht ist.

Der Klimawandel wird in Zukunft verstärkte und verlängerte Hitzeperioden zur Folge haben. Hiervon lässt sich ableiten, dass die Mortalitäts- sowie Morbiditätsraten durch Hitze zunehmen werden.

Die derzeit verwendete Abbildung stellt nur eine Beispieldarstellung für den Indikator dar. Der Indikator entstammt dem Monitoring-Bericht der Deutschen Anpassungsstrategie des Umweltbundesamtes. Für Brandenburg liegen derzeit noch keine vergleichbaren Daten vor.

Der Indikator zeigt die Folgen des Klimawandels auf.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Das Ziel des Indikators ist die Schätzung der Übersterblichkeit während der meteorologischen Sommermonate. Eine Übersterblichkeit liegt dann vor, wenn das Sterbegeschehen ein zuvor definiertes Exzesskriterium erfüllt. Zentraler Teil dieses Exzesskriteriums ist ein Schwellenwert, der die Summe der an diesem Tag erwarteten Anzahl von Sterbefällen und einen Aufschlag, der die natürliche Schwankung des Sterbegeschehens berücksichtigt, repräsentiert. Die Schätzung der täglich zu erwartenden Anzahl der Sterbefälle erfolgt mit Hilfe eines einfachen Glättungsverfahrens unter Rückgriff auf die Sterbedaten einer aus fünf aufeinanderfolgenden Jahren bestehenden Referenzperiode. Mit Hilfe eines Bereinigungsverfahrens wird der potenziell die Schätzung des Erwartungswertes verzerrende Einfluss früherer, mit Hitzeperioden zusammenhängender Tage mit Übersterblichkeit ausgeschlossen. Auf diese Weise kann für jeden Sommertag ein Vergleich zwischen der beobachteten Anzahl an Sterbefällen und dem wie oben beschriebenen Schwellenwert erfolgen. Die Berechnung des Indikators erfolgt im Routinebetrieb bezogen auf das Sterbegeschehen geeigneter Auswertungsregionen.

**Datenquelle:** Deutscher Wetterdienst (DWD), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB)

# G-4 Pollenbelastung für Allergiker

## Grafik:

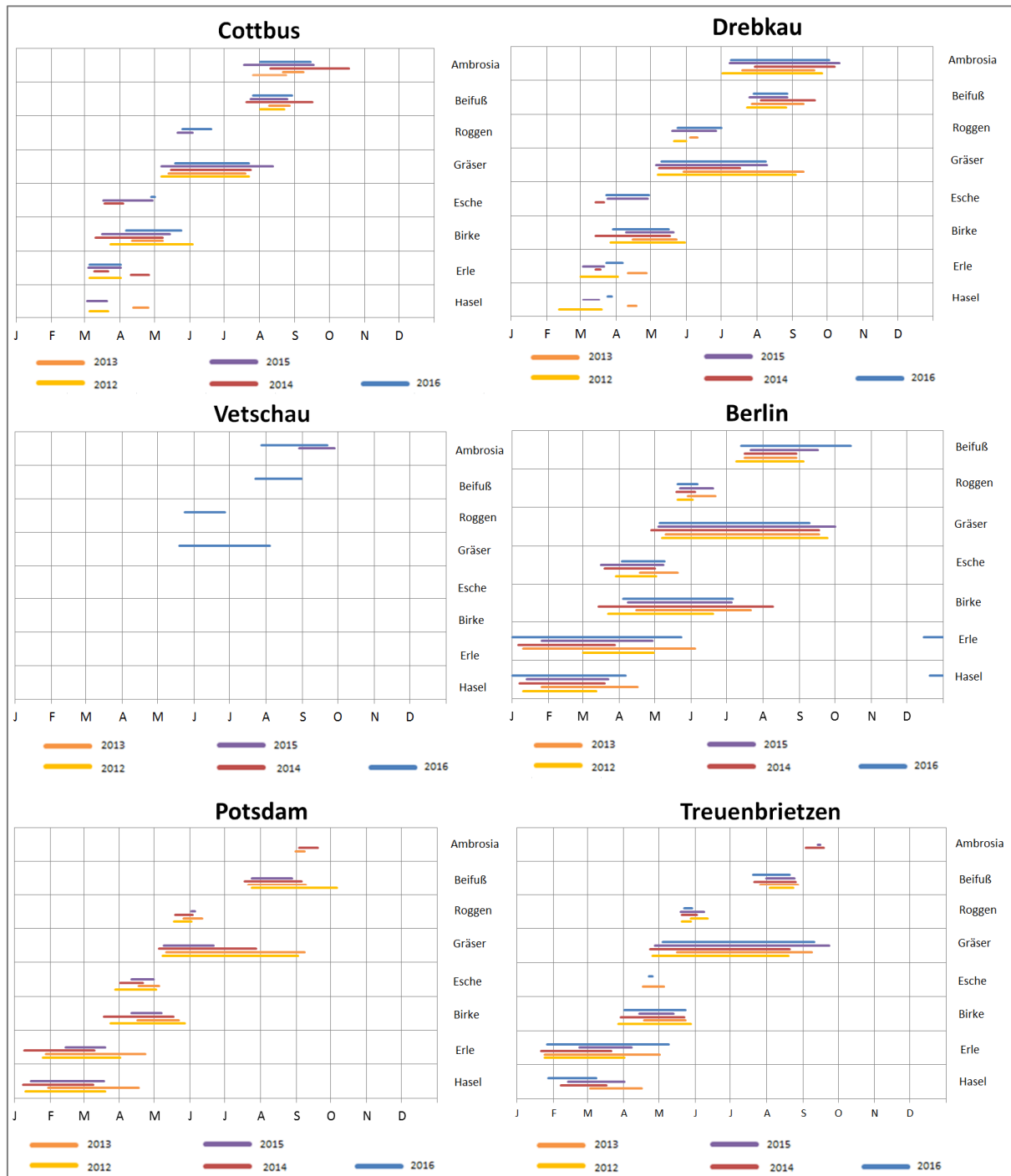


Abbildung 33: Flugzeiten der Pollen Ambrosia, Beifuß, Roggen, Gräser, Esche, Birke, Erle und Hasel für den Zeitraum 2012 – 2016 an den Stationen Cottbus, Drebkau, Vetschau, Berlin, Potsdam und Treuenbrietzen



## **Bedeutung:**

Jedes Jahr zu Beginn der Blühphasen bestimmter Pflanzenarten wie Hasel, Birke, Erle, Esche, Gräser, Roggen, Beifuß und Ambrosia reagieren viele Menschen, ca. 15 % der Deutschen, mit einer allergischen Reaktion. In vereinfachter Weise kann diese Reaktion des Menschen auf Pollen in der Luft auf das Immunsystem zurückgeführt werden, das die im Prinzip harmlosen Pollen als Angreifer erkennen. Als Abwehrmaßnahme werden Botenstoffe ausgesandt, die Symptome wie Schnupfen, Bindehautentzündungen oder/und Asthma hervorrufen können. Und die Zahl der von Pollenallergien Betroffenen steigt weiter an.

Die weltweiten Änderungen des Klimas können einen verstärkten und früher einsetzenden Pollenflug auslösen. Der Klimawandel führt zu Veränderungen in der Phänologie der Pflanzen. Das Wachstum setzt früher ein und die Blühphasen verlängern sich. In den letzten Jahrzehnten haben sich die Wachstumsperioden um bis zu acht Tage verlängert, in höheren Breiten sogar um bis zu zwei Wochen. Mit verlängerten Blühphasen kann die jährliche Pollenbelastung zunehmen.

Schon wenige Pollen (ab zehn) in einem m<sup>3</sup> Luft können bereits starke allergische Reaktionen hervorrufen. Die Intensität der allergischen Reaktion kann zwar individuell sehr unterschiedlich sein, dennoch besteht ein Zusammenhang von Pollenkonzentration und Stärke der allergischen Reaktion. Steigende Mitteltemperaturen führen zu milderem Winter und zu einem früher einsetzenden Frühling. Ebenso führen größere Mengen von CO<sub>2</sub> in der Luft dazu, dass Pflanzen ihre Pollen über einen längeren Zeitraum produzieren können.

Ebenfalls wirken sich die Witterungsverhältnisse auf die Höhe der Pollenkonzentration aus. Bei lang anhaltenden Trockenphasen steigt die Pollenkonzentration der Luft an, da diese erst wieder mit einsetzendem Niederschlag abnimmt. Die Regentropfen nehmen diese beim Fallen auf. Der Klimawandel kann insbesondere in den Sommermonaten länger anhaltende Trockenphasen verursachen, sodass die Belastungszeiten für Pollenallergiker zunehmen werden.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf.

## **Definition und Berechnungsverfahren:**

Dargestellt ist die Entwicklung der Flugzeiten von Hasel-, Erlen-, Birken-, Eschen-, Gräser-, Roggen-, Beifuß- und Ambrosia-Pollen an den Stationen Cottbus, Drebkau, Vetschau (ab 2015), Berlin, Potsdam (bis 2015) und Treuenbrietzen im Zeitraum 2012 bis 2016. Der Beginn der Blühzeit wird registriert, wenn an drei hintereinander liegenden Tagen Pollen der jeweiligen Art gezählt wurden. Ebenso wird das Ende festgelegt.

**Datenquelle:** Ärzteteam Dr. Schneider/ Gereke aus Cottbus (Auswertung der Pollenfallen in Drebkau und Cottbus), Pollen Counter Schubert (Vetschau), Polleninformationsdienst (PID), Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Frauen und Familie MASGF

## **Hinweise zur Interpretation:**

Die ermittelte Pollenmenge erlaubt keine gesicherten Rückschlüsse auf das Risiko der Bevölkerung, tatsächlich mit den Pollen in Kontakt zu kommen, oder das Risiko, eine Sensibilisierung oder allergische Reaktionen zu entwickeln.

Die Darstellungen der gemessenen Pollenarten der einzelnen Jahre an den Messstandorten dokumentieren u.a. das Vegetationsverhalten der Pflanzen und erlauben auch eine Einschätzung der Länge des Expositionszeitraums (Saisonlänge).

## G-5 Belastung mit Ambrosia-Pollen

### Grafik:

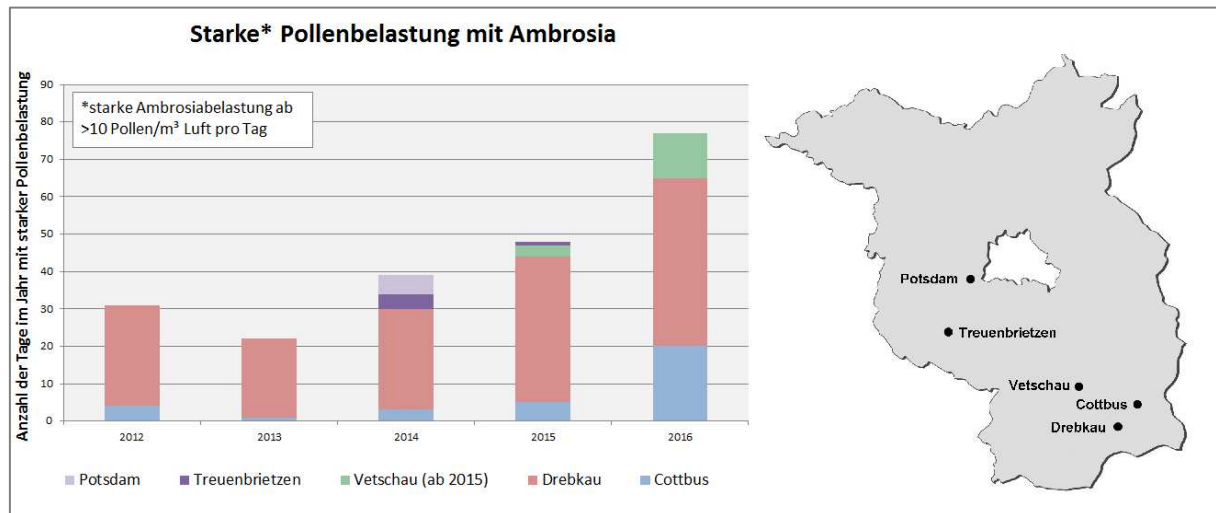


Abbildung 34: Entwicklung der Belastung mit Ambrosiapollen an den Standorten Potsdam, Treuenbrietzen, Vetschau, Drebkau und Cottbus im Zeitraum 2012 – 2016

### Bedeutung:

In Deutschland leiden rund 18 Millionen Menschen unter allergischen Erkrankungen. Mehrere klinische Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Pollen und dem Vorkommen des allergischen Schnupfens. Das Pollenaufreten wiederum ist stark von der Witterung bzw. dem Klima beeinflusst. Ein insgesamt milderes Klima mit einer längeren Vegetationsperiode begünstigt längere Pollenflugzeiten und höhere Pollenkonzentrationen. Möglicherweise nimmt auch die Wirksamkeit von Pollenallergenen mit höheren Temperaturen zu. Wird es wärmer, können außerdem wärmeliebende Pflanzenarten, die bisher in Deutschland nicht heimisch waren und ein hohes allergenes Potenzial haben, einwandern.

Das aus Nordamerika stammende Beifußblättrige Traubenkraut (engl. Ragweed), kurz Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), war in Deutschland lange ein relativ seltenes und unbeständiges Unkraut. Erst seit Anfang der 1990er Jahre nehmen die Bestände zu. Heute kommt die Beifuß-Ambrosie in allen Bundesländern vor und bildet vor allem in Brandenburg in der Niederlausitz auch schon größere, etablierte Bestände mit vielen tausend Pflanzen.

Ambrosia ist eine Pflanzengattung mit etwa 50 Spezies, wovon *Ambrosia trifida* („giant ragweed“, dreilappige Ambrosia), *Ambrosia psilostachya* (ausdauernde Ambrosia) und *Ambrosia artemisiifolia* (echte Ambrosia) die bekanntesten sind. *Ambrosia artemisiifolia* ist die weltweit am meisten verbreitete Ambrosia-Art und hat sich neben Europa auch in Asien und Australien ausgebreitet. Verbreiten kann sich die Pflanze insbesondere in warmen oder gemäßigten Klimaten mit milden Herbstmonaten. Die Samen überdauern die kalte Jahreszeit keimfähig und bleiben unter Umständen viele Jahre oder sogar Jahrzehnte keimfähig, während die Pflanze selbst sehr frostempfindlich ist und deshalb nur bis zu den ersten stärkeren Frösten überlebt.

Bei steigenden Temperaturen durch den Klimawandel wird daher davon ausgegangen, dass das Vorkommen und die Ausbreitung von *Ambrosia artemisiifolia* weiter zunehmen werden. Das bedeutet wiederum, dass durch die Erhöhung der Pflanzenbestände auch die Pollenmenge zunimmt. Da die Ambrosia-Pflanzen erst spät im Jahr blühen, ist auch der

Pollenflug erst recht spät, wenn man die Pollenflugsaison betrachtet. Deshalb verlängert sich durch das Hinzukommen der Ambrosia-Pollen die Pollensaison und Pollenallergiker leiden unter Umständen das ganze Jahr hindurch.

Die Pollen der Ambrosia verfügen über eine erhebliche Allergenität. Bei spezifisch sensibilisierten Personen können bereits geringe Pollenkonzentrationen (ab ca. 10 Pollen pro m<sup>3</sup> Luft) allergische Reaktionen auslösen. Daher wird bereits ab einer Konzentration von 11 Pollen pro m<sup>3</sup> Luft von einer starken Belastung gesprochen (im Unterschied etwa zu Gräser-Pollen, hier gilt >50/m<sup>3</sup> als starke Belastung). Ambrosia-Pollen verursachen in den meisten Fällen eine Heuschnupfen-Symptomatik. Ein relativ hoher Anteil (bis zu einem Viertel der Betroffenen) entwickelt auch ein Asthma bronchiale. Daneben können auch Hautreaktionen nach Hautkontakten mit dem Blütenstand oder anderen Pflanzenbestandteilen auftreten.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Der Polleninformationsdienst (PID) betreibt ein Netz von Pollenfallen in Deutschland, deren Messwerte zusammen mit den Beobachtungen der Phänologen und den Wetterdaten zur Pollenflugvorhersage des Deutschen Wetterdienstes (DWD) führen. In Brandenburg gibt es am Standort Treuenbrietzen und Potsdam eine Pollenfalle vom PID. Weitere Pollenfallen existieren in Drebkau und Cottbus sowie seit 2015 in Vetschau. Die Messungen mit den so genannten Burkard-Fallen sind standardisiert und liefern vor diesem Hintergrund valide und in der Zeitreihe interpretierbare Daten. Bei der Dokumentation der Pollenfunde von Ambrosia wird zwischen verschiedenen Arten nicht unterschieden.

Die Pollenmenge /m<sup>3</sup> Luft wird für jeden Tag der Saison ermittelt und die Anzahl der Pollen als Tagesmittelwerte pro m<sup>3</sup> Luft dargestellt. Bei Ambrosia liegt die Schwelle zu hoher Belastung bei größer zehn Pollen pro m<sup>3</sup>. Die Anzahl der Tage mit Überschreitungen von > 10 Pollen/m<sup>3</sup> Luft in der Saison wird für jede Messstation als Schwelle zu hoher Belastung ausgewertet und dargestellt.

### **Datenquelle:**

Ärzteteam Dr. Schneider/ Gereke aus Cottbus (Auswertung der Pollenfallen in Drebkau und Cottbus), Pollen Counter Schubert (Vetschau), Polleninformationsdienst (PID), Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Frauen und Familie (MASGF)

### **Hinweise zur Interpretation:**

Die gemessene Pollensumme erlaubt keine gesicherten Rückschlüsse auf das Risiko der Bevölkerung, tatsächlich mit den Pollen in Kontakt zu kommen, oder das Risiko, eine Sensibilisierung oder allergische Reaktionen zu entwickeln. Es ist unumstritten, dass eine erhöhte Pollenexposition zu erhöhten Sensibilisierungsraten führt. Die Höhe der ermittelten Tageswerte verglichen mit dem Schwellenwert von größer 10 Pollen/ m<sup>3</sup> Luft erlauben jedoch eine verbale Einschätzung für das Expositionsrisiko.

Die Darstellungen der gemessenen Ambrosia-Pollen der einzelnen Jahre an den Messstandorten dokumentieren u.a. das Vegetationsverhalten von Ambrosia und erlauben auch eine Einschätzung der Länge des Expositionszeitraums (Saisonlänge).

## G-6 Blaualgenbelastung in Badegewässern (DAS-Indikator)

### Grafik:

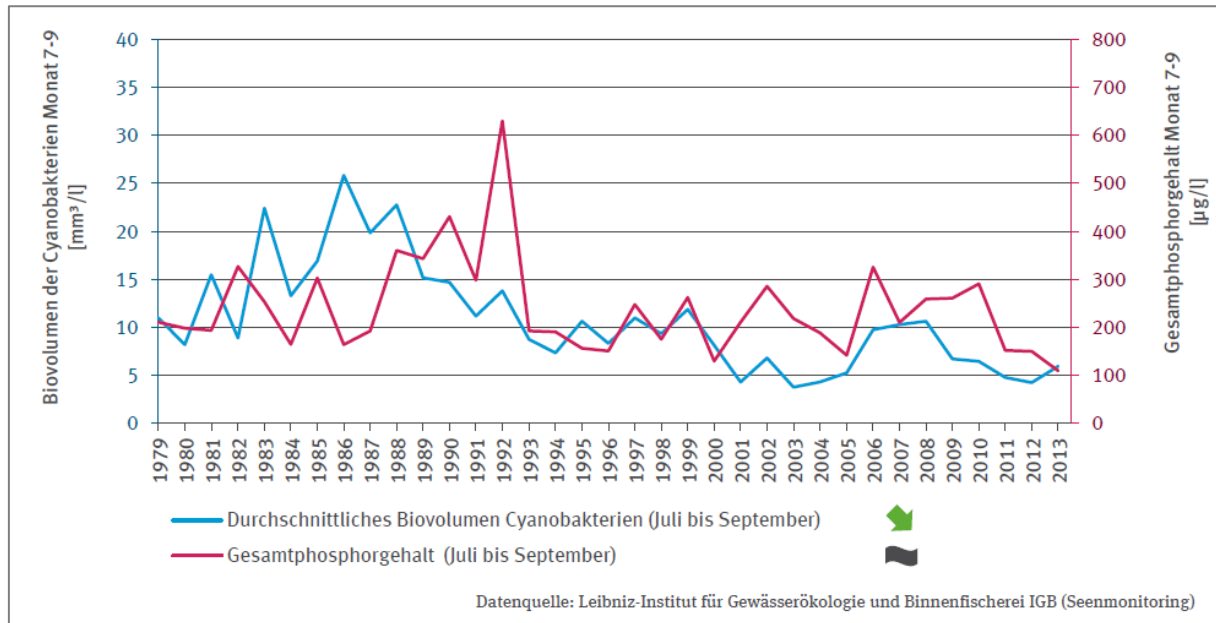


Abbildung 35: Beispielabbildung für die Entwicklung der Blaualgenbelastung in Badegewässern am Beispiel des Klimawandelmonitorings der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes

### Bedeutung:

Der Klimawandel kann sich auf die Qualität von Badegewässern nachteilig auswirken. Ein im Zusammenhang mit dem Klimawandel viel diskutiertes Gesundheitsrisiko ist die Belastung von Badegewässern mit Cyanobakterien, landläufig auch als Blaualgen bezeichnet.

Zu erhöhten Konzentrationen von Cyanobakterien kommt es vor allem in eutrophen Gewässern, die reich an Phosphor, also an Nährstoffen sind. Blaualgen profitieren besonders von starker Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen im Frühjahr, da hier eine stabile thermische Schichtung des Wassers entsteht. Aufgrund dieser Abhängigkeit der Blaualgenblüte von den Witterungsbedingungen wird ein Zusammenhang zwischen dem Klimawandel, der Wassererwärmung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Cyanobakterien diskutiert.

Durch Baden in stark blualgenhaltigem Wasser treten – Beobachtungen zufolge – vermehrt Symptome wie Haut- und Schleimhautreizungen und allergische Reaktionen, aber auch Magen-Darm- und Atemwegserkrankungen auf. Ob diese letztendlich durch die cyanobakteriellen toxischen Inhaltsstoffe (Cyanotoxine) oder Begleitbakterien verursacht sind, ist noch nicht geklärt. Bei der Aufnahme größerer Mengen von Cyanotoxinen kann es zu schwerwiegenden Schädigungen an Leber, Nieren und Nerven kommen. Besonders gefährdet sind Kleinkinder und Kinder im Grundschulalter, die beim Krabbeln oder Toben im Flachwasserbereich unbeabsichtigt auch größere Wassermengen schlucken können, oder eher ungeübte Wassersportler, die beim Surfen und Wasserskifahren mit Cyanobakterien belastetes Wasser nicht nur verschlucken, sondern auch über die Atmung aufnehmen. Ist das Wasser deutlich sichtbar durch Cyanobakterien getrübt oder bilden sich gar Schlieren an der Wasseroberfläche, wird vom Baden abgeraten.

Daten für Brandenburg stehen bislang nicht zur Verfügung, sodass hier derzeit ein Platzhalter aus dem Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes verwendet wird.

Dieser Indikator zeigt die Folgen des Klimawandels auf.

#### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Die Ermittlung der Blaualgenbelastung von Badegewässern, erfolgt als Saisonmittel des Biovolumens im Müggelsee als Summe aller zwischen Juli und September gemessenen Biovolumina der Cyanobakterien geteilt durch die Anzahl der Messungen. Berücksichtigt werden nur Jahre, in denen zwischen Juli und September mindestens drei Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattgefunden haben. Des Weiteren wird das Saisonmittel des Biovolumens der Summe aller zwischen Juli und September gemessenen Gesamtposphorkonzentration geteilt durch die Anzahl der Messungen ermittelt.

Dargestellt ist der Gesamtposphorgehalt in den Monaten Juli, August und September in [ $\mu\text{g/l}$ ] sowie das Biovolumen der Cyanobakterien in denselben Monaten im [ $\text{mm}^3/\text{l}$ ].

**Datenquelle:** Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) Berlin: Seen-Monitoring am Müggelsee in jährlicher Auflösung seit 1979.

# G-7 Schadstoffbelastung der Luft

## Grafik:

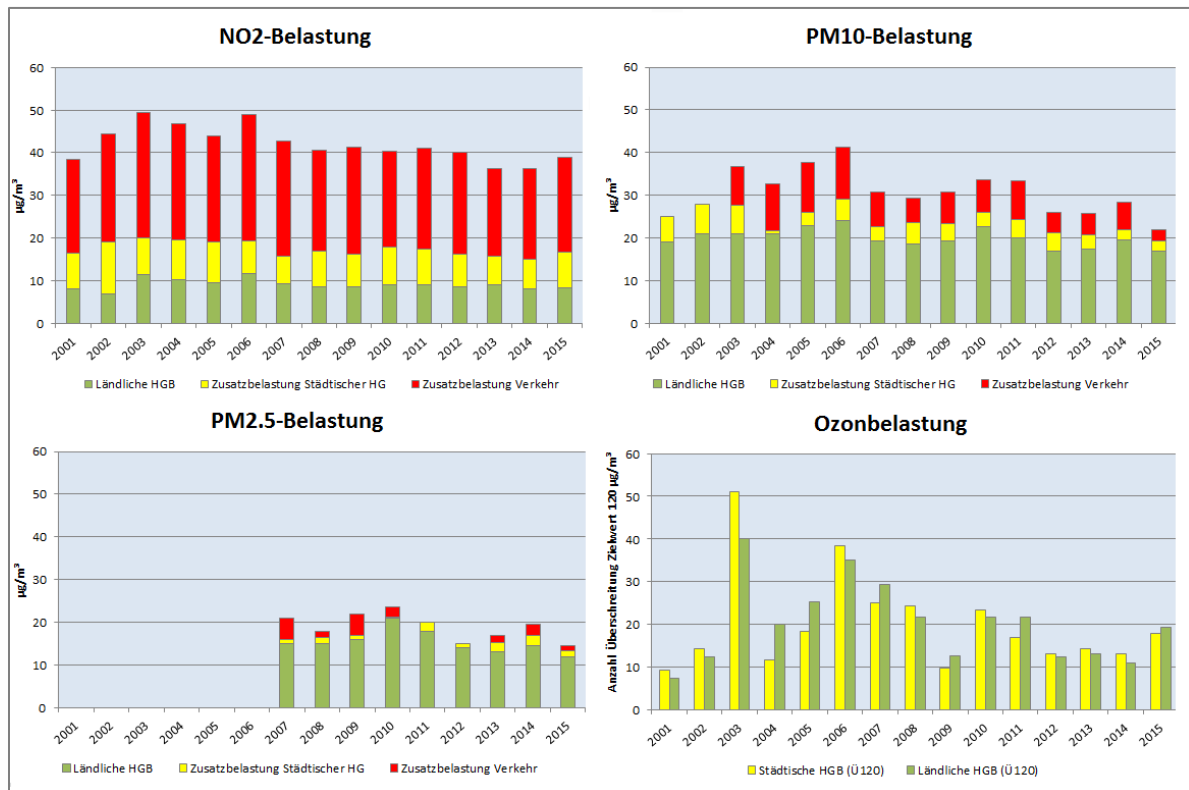


Abbildung 36: Schadstoffbelastung der Luft mit Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>, Feinstaub PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> zusammengesetzt aus ländlicher Hintergrundbelastung HGB (u.a. Ferneintrag), zudem die Zusatzbelastung städtischer Hintergrundbelastung HG und der Zusatzbelastung Verkehr (Verkehrshotspots). Für Stickstoffdioxid und die beiden Feinstaubkomponenten werden die Jahresmittelwerte dargestellt, für Ozon wird die kalenderjährliche Anzahl der Überschreitungen des Zielwertes von 120 µg/m<sup>3</sup> der städtischen und ländlichen HGB dargestellt. Es werden die Zeiträume 2001 bis 2015 dargestellt.

## Bedeutung:

Die Hauptquellen von CO<sub>2</sub>-Emissionen – der Abbau und die Verbrennung fossiler Energieträger – sind nicht nur am Klimawandel wesentlich beteiligt, sondern erzeugen auch große Mengen an Luftschadstoffen. Zudem beeinflussen zahlreiche Luftschadstoffe, die negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme haben, auch den Klimawandel. Dabei kommen in Abhängigkeit des Schadstoffs erwärmende genauso wie abkühlende Einflüsse zum Tragen. Bspw. beeinflussen allein Partikel den Strahlungshaushalt direkt über die planetare Albedo (kühlend), aber auch indirekt über die Wolkenbildung (kühlend und erwärmend). Auch die Klimaeffekte anderer Luftschadstoffe sind weithin bekannt und der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen.

PM<sub>10</sub>, also Feinstaubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von  $\geq 10 \mu\text{m}$ , kann, abhängig von der Größe und der ihm anhaftenden Stoffe, gesundheitsgefährdend sein. PM<sub>2.5</sub> bezeichnet eine Teilmenge von PM<sub>10</sub> und umfasst alle Partikel  $\leq 2,5 \mu\text{m}$ . PM<sub>10</sub> kann beim Menschen in die Nasenhöhle, PM<sub>2.5</sub> bis in die Bronchien und Lungenbläschen gelangen. Untersuchungen weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von chronischer Bronchitis, Lungenkrebs und Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems und der Feinstaubbelastung hin. Wesentliche PM<sub>10</sub>-Emittenten sind neben natürlichen Quellen industrielle Prozesse, Feststofffeuerungen und der Kfz-Verkehr. Grenzwerte sind in der 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung (39. BImSchV) festgesetzt: 50 µg/m<sup>3</sup> als Tagesmittelwert, 35 Überschreitungen im Jahr zulässig; 40 µg/m<sup>3</sup> als Mittelwert im Kalenderjahr.

Erhöhte NO<sub>2</sub>-Konzentrationen können beim Menschen ebenfalls zu Reizungen der Atemwege führen und sind zudem eine Vorläufersubstanz bei der sommerlichen Bildung von bodennahem Ozon. Abgesehen von geringen Anteilen aus natürlichen Quellen stammt NO<sub>2</sub> in etwa zu gleichen Anteilen aus industriellen Verbrennungsprozessen und aus dem Kraftfahrzeugverkehr und führt insbesondere in den Ballungsräumen zu hohen Luftbelastungen, seit dem Jahr 2000 teilweise mit zunehmender Tendenz. Als Grenzwerte nach 39. BImSchV gelten 40 µg/m<sup>3</sup> als Mittelwert im Kalenderjahr; 200 µg/m<sup>3</sup> als 1h-Mittelwert (18 Überschreitungen im Jahr zulässig).

Erhöhte Ozonkonzentrationen können zu Vegetationsschäden führen und auch die menschliche Gesundheit beeinträchtigen, insbesondere durch Reizungen der Atemwege und Augen. Ozon wird nicht direkt emittiert, sondern aus Vorläuferstoffen (flüchtige organische Verbindungen sowie Stickstoffoxide) unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung gebildet. Die besonders wirkungsrelevanten Ozonspitzenwerte treten deshalb insbesondere im Sommer bei geringem Luftaustausch, hohen Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung auf. Als Zielwert für 2010 gelten laut 39. BImSchV: 120 µg/m<sup>3</sup> für den höchsten 8h-Wert eines Tages (25 Überschreitungen im Jahr zulässig, gemittelt über 3 Jahre); langfristiges Ziel für 2020: 120 µg/m<sup>3</sup> für den höchsten 8h-Wert eines Tages; Informationsschwelle: 180 µg/m<sup>3</sup> als 1h-Mittelwert; Alarmschwelle: 240 µg/m<sup>3</sup> als 1h-Mittelwert.

Der Indikator stellt die Auswirkungen und die Anpassungskapazität an den Klimawandel dar.

#### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Der Indikator umfasst die regionale/ ländliche Hintergrundbelastung, die Zusatzbelastung städtischer Hintergrund, sowie die verkehrsbezogene Belastung an Verkehrshotspots in µg/m<sup>3</sup> für NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>. Für Ozon werden Hintergrundbelastungen im ländlichen sowie städtischen Bereich (Definition gemäß EU-Ratsentscheidung über den Informationsaustausch (97/101/EG)) einbezogen.

Für NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> werden Jahresmittelwerte aus 1h-Mittelwerten, mit mindestens 75% gültigen Werten verwendet. Für Ozon wird der Quotient aus Anzahl der Überschreitungen des Zielwerts 120µg/m<sup>3</sup> und höchstem 8h-Gleitmittel des Tages pro Jahr betrachtet.

Die hier verwendeten Daten ergeben sich aus dem Mittel aller Messpunkte (Cottbus, Frankfurt Oder, Potsdam Zentrum) für die städtische Hintergrundbelastung und die Verkehrsbelastung. Daten zur Messung der ländlichen Hintergrundbelastung werden von der Station in Lütze (Belzig), Hasenholz (Buckow) und Spreewald erhoben und hier verwendet.

Die Messungen der Immissionskonzentrationen erfolgen gemäß 39. BImSchV (Umsetzung der EU-Richtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht), für die PM<sub>10</sub>- und PM<sub>2,5</sub>-Konzentration nach dem diskontinuierlichen Referenzmessverfahren (gravimetrische Massenbestimmung der auf einem Filter abgeschiedenen PM<sub>10</sub>-Fraktion) oder nach einem gleichwertigen Messverfahren. Die NO<sub>2</sub>- und Ozon-Konzentrationsmessungen erfolgen kontinuierlich nach dem jeweils festgelegten Referenzmessverfahren (Chemilumineszenz bzw. UV-Photometrie) an den Messstationen im Luftgütemessnetz Brandenburg.

**Datenquelle:** Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg

#### **Hinweise zur Interpretation:**

Der Indikator ist normiert. Wegen unterschiedlicher Messnetzcharakteristik sind Ländervergleiche aber nicht möglich.

## G-8 Meldepflichtige Infektionskrankheiten

### Grafik:

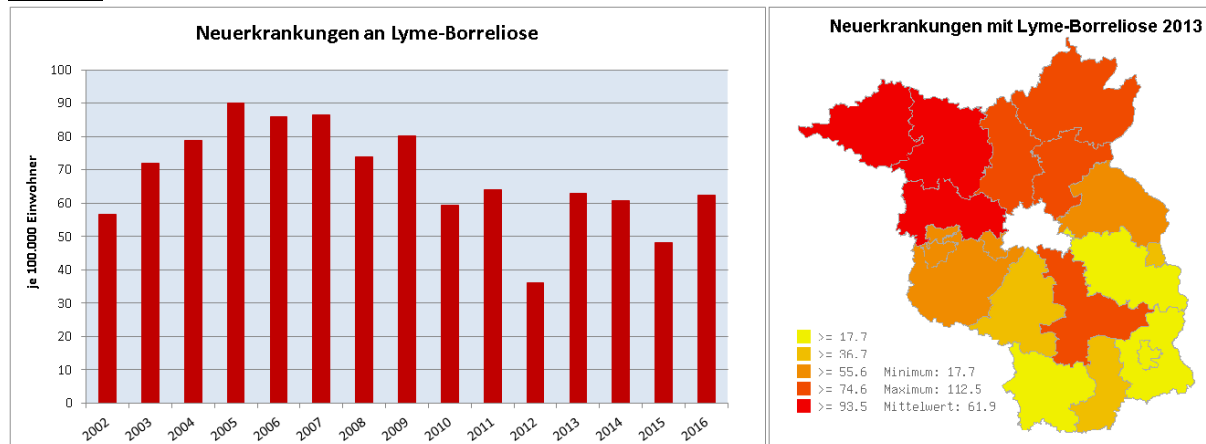


Abbildung 37: (links) Lyme-Borreliose im zeitlichen Verlauf: Neuerkrankungsraten je 100.000 EW, Land Brandenburg, Zeitraum 2002 – 2016 und (rechts) Geografische Verteilung der Lyme-Borreliose: Kreisbezogene Neuerkrankungsraten je 100.000 EW, sowie höchste, niedrigste und mittlere Neuerkrankungsraten, Land Brandenburg, 2013

### Bedeutung:

Die Lyme-Borreliose ist die häufigste durch Zecken übertragene Infektionskrankheit in Europa. In Deutschland werden die Erreger durch den Gemeinen Holzbock (*Ixodes ricinus*) übertragen. Die Krankheitsausbreitung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehört das menschliche Verhalten (z.B. eine Zunahme von „Outdoor“-Aktivitäten) sowie die Aktivität und die geografische Ausbreitung der Zecken als Überträger. Diese ist an die Ausbreitung der Wirtstierarten, Veränderungen in der Landnutzung und an die klimatischen Faktoren wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit geknüpft.

Aktuelle Studien weisen darauf hin, dass sich der Holzbock über seine bisherige nördliche Ausbreitungsgrenze im mittleren Skandinavien weiter in Richtung Norden ausbreitet. Hier kann seit den 1980ern und frühen 1990ern ein verstärktes Vorkommen des Gemeinen Holzbocks beobachtet werden. Die zunehmende Ausbreitung des Überträgers wird auf die milderen Winter, insbesondere auf die geringere Anzahl an Tagen mit unter  $-12\text{ °C}$  zurückgeführt. Früher einsetzender Frühling und später beginnender Herbst bestärken diesen Trend zunehmend.

Zudem kann der Gemeine Holzbock aufgrund von milden Wintern in diesem Zeitraum länger aktiv bleiben. Üblicherweise zieht sich die Zecke bei Temperaturen unter  $6-7\text{ °C}$  ins Laub zurück, um sich vor Kälte zu schützen und ist in Winterruhe. In diese Zeit ist der Holzbock nicht auf Wirtssuche. Bei milderen Wintern jedoch verlängert sich die Aktivitätsphase des Gemeinen Holzbockes. Die Winterruhe kann in extrem milden Wintern sogar gänzlich unterbleiben. Höhere Durchschnittstemperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit bewirken zudem eine verstärkte Produktion von Eiern und zu einem beschleunigten Lebenszyklus und höherer Populationsdichte der Zecke.

Die verlängerte Aktivität der Zecken und größere Populationsdichte kann sich dann auch in der Anzahl der Neuerkrankungen an Lyme-Borreliose widerspiegeln.

Die Beobachtung meldepflichtiger Infektionskrankheiten ist auch für weitere Krankheiten sinnvoll. Derzeit gehen die im Land Brandenburg gemeldeten Infektionen mit Dengue-, Chikungunya- oder Zikaviren auf Ansteckungen im Ausland zurück. Mit veränderten



klimatischen Bedingungen in Brandenburg könnten sich langfristig die Lebensbedingungen für die Vektoren, also die krankheitsübertragenden Tiere wie z.B. (sub)tropische Stechmücken, z.B. die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), die Chikungunya oder Dengue-Viren übertragen kann, verbessern. Steigende Durchschnittstemperaturen können ein höheres Etablierungs- und Verbreitungspotenzial sowie eine Verstärkung der Vermehrungsgeschwindigkeit der Vektoren und der Replikation von Bakterien und Viren verursachen.

Vektorvermittelte Infektionskrankheiten müssen in Brandenburg daher auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel beobachtet werden. Weitere meldepflichtige Infektionskrankheiten können ggf. zukünftig in diesen Indikator integriert werden. Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels.

### **Definition und Berechnungsverfahren:**

Lyme-Borreliose ist im Land Brandenburg seit 1996 meldepflichtig und fällt seit November 2001 unter die erweiterte Meldeverordnung des Landes. Die Daten liegen bis auf Kreisebene vor. Im vorliegenden Indikator werden Neuerkrankungen an Lyme-Borreliose nach dem Wohnort des Erkrankten in Inzidenzen, also Erkrankungen je 100.000 Einwohner, ausgewiesen.

Grundlage für die Inzidenzberechnung ist die von den Statistischen Landesämtern bekannt gegebene Stichtagsbevölkerung zum 31.12. des Vorjahres. Es handelt sich um einen Ergebnisindikator.

### **Datenquelle:**

Die Güte der Daten ist gekennzeichnet durch eine standardisierte Dokumentation nach den Falldefinitionen des Robert Koch-Instituts zur Übermittlung von Erkrankungs- oder Todesfällen und Nachweisen von Krankheitserregern, die nach Landesverordnungen meldepflichtig sind. Es erfolgt eine Qualitätskontrolle durch die Abteilung Gesundheit des Landesamts für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit (LAVG). Bis zum 31.05.2007 wurden alle Lyme-Borreliose-Meldungen an das Landesgesundheitsamt übermittelt. Seit 01.06.2007 erfolgt auf Landesebene die Fallzählung und umfassende Qualitätskontrolle strikt nach den vom Robert Koch-Institut festgelegten Referenzdefinitionen, die sowohl das klinische Bild als auch den labordiagnostischen Nachweis berücksichtigen.

Die Vollständigkeit der Meldedaten wird u. a. durch die Meldedisziplin der ambulant oder stationär behandelnden Ärztinnen und Ärzte sowie der labordiagnostischen Einrichtungen beeinflusst. Die Daten werden kontinuierlich erhoben.

### **Hinweise zur Interpretation:**

Im Land Brandenburg besteht seit 1996 eine Meldepflicht für die Lyme-Borreliose. Deshalb sind die Informationen zur Verbreitung und zum Ausmaß dieser Infektionskrankheit in der Bevölkerung, anders als in Bundesländern, in denen die Meldepflicht nicht oder erst seit kurzem besteht, gut etabliert. Die Darstellung erfolgt für den Zeitraum ab 2002, da die Daten seitdem elektronisch übermittelt wurden. Die vorherige Zeitreihe erfolgte mit einem landeseigenen Erfassungssystem und ist somit eingeschränkter vergleichbar.

Zeitliche Veränderungen in der Neuerkrankungsrate und regionale Unterschiede können von Veränderungen vieler Faktoren abhängen, dazu gehört das menschliche Verhalten („Outdoor“-Aktivität) oder die Veränderung der Ausbreitung der Vektoren (krankheitsübertragende Tiere) durch veränderte Landnutzung, Klima etc.

# **Infrastrukturindikatoren**

**I-1 Verkehrsleistung**

**I-2 Heiztage**

# I-1 Verkehrsleistung

## Grafik:

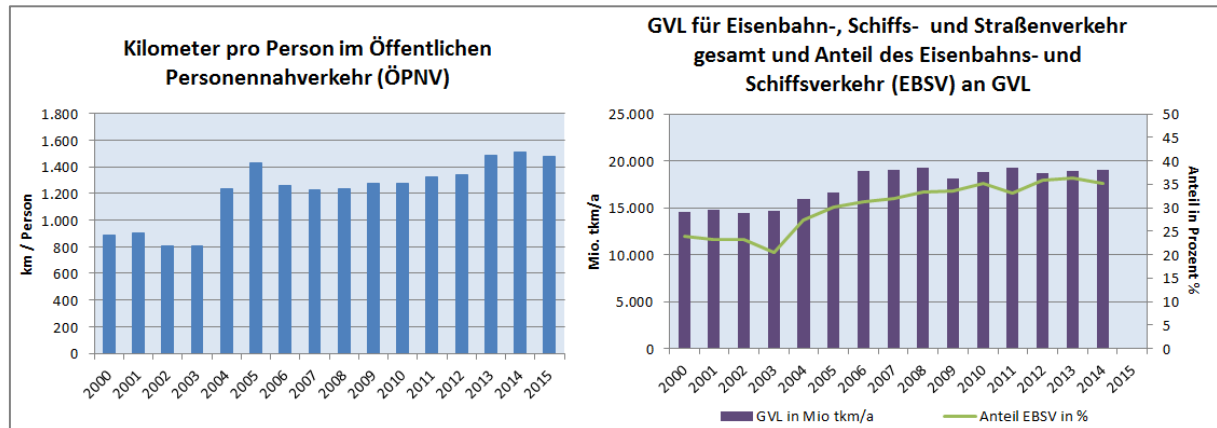


Abbildung 38: Verkehrsleistung dargestellt als Kilometer pro Person pro Jahr im ÖPNV, die GVL für Eisenbahn-, Schiffs- und Straßenverkehr gesamt, sowie der prozentuale Anteil des Eisenbahn- und Schiffsverkehr (EBSV) an GVL im Zeitraum 2000-2015 bzw. 2000-2014

## Bedeutung:

### I-1.1 Kilometer pro Person im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)

Die Veränderung der Verkehrsleistungen im Öffentlichen Personenverkehr spiegelt die Nachfrage der Bevölkerung nach Angeboten des öffentlichen Verkehrs wider. Sie ist ein Hinweis für eine nachweisbare Substitution von Umwelteffekten des motorisierten Individualverkehrs. Eine Veränderung zu Gunsten energie- und schadstoffarmer Verkehrsmittel geht dabei mit einer Verminderung der Umweltbelastung einher.

### I-1.2 Gesamtverkehrsleistung (GVL) für Eisenbahn-, Schiffs- und Straßenverkehr gesamt und Anteil des Eisenbahn- und Schiffsverkehr an GVL

Die dargestellte Relation von Verkehrsleistungen des Güterverkehrs per Schiene und Binnenschiff zum insgesamt erfassten Güterverkehr spiegelt in der Tendenz die Höhe der Umweltbeeinträchtigungen wider. Eine Veränderung zu Ungunsten des energie- und schadstoffärmeren Schienen- und Binnenschiffverkehrs kann in der Regel mit einer Erhöhung der Umweltbelastung gleichgesetzt werden. Die gewählte statistische Erfassung ermöglicht die Zuordnung von Verkehrsleistungen zu einzelnen Bundesländern, gibt aber nicht die tatsächlich im Bundesland erbrachten Leistungen wieder.

Die Verlagerung von Individualverkehr auf den ÖPNV und die Verlagerung der Güter auf Eisenbahnen/ Schiffe gelten als Maßnahmen zum Klimaschutz und sonst allgemein als Anpassungsmaßnahme.

## Definition und Berechnungsverfahren:

### I-1.1 Kilometer pro Person im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)

In der Zeitreihe bis einschließlich 2003 wird im Indikator nur der Öffentliche Straßenpersonenverkehr betrachtet, der folgendermaßen definiert war: Personenverkehr (Allgemeiner Linienverkehr, Sonderformen des Linienverkehrs, Gelegenheitsverkehr) mit

Straßenbahnen (einschl. Hoch-, U- und Stadtbahnen), mit Oberleitungsbussen und mit Kraftomnibussen der Verkehrsunternehmen, die über sechs und mehr Omnibusse (Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als 9 Sitzplätzen, einschl. Fahrersitz) und/oder schienengebundene Verkehrsmittel verfügen. Nicht erfasst werden der Taxi- und Mietwagenverkehr und schienengebundene ÖPNV (S-Bahn, Eisenbahnverkehr).

Ab 2004 umfasst der Indikator auf Grund einer Änderung des Verkehrsstatistikgesetzes (VerkStatG) in der Neufassung vom 20.02.2004 gemäß §1 Nr.7 im Rahmen des Öffentlichen Personenverkehrs den Liniennahverkehr innerhalb des Bundeslandes mit Eisenbahnen, Straßenbahnen und Omnibussen. Als für den Indikator wesentlichste Neuerung gegenüber der Zeitreihe bis 2003 wird nun der Eisenbahnnahverkehr (inklusive des S-Bahnverkehrs) mit berücksichtigt. Gegenüber der bisherigen Zeitreihe bleiben ab 2004 der Gelegenheitsverkehr und der Personenfernverkehr mit Omnibussen unberücksichtigt, da deren Beförderungsleistungen nicht bundesländerbezogen vorliegen.

Abweichend von der bisherigen Erfassung werden ab 2004 zur Entlastung der berichtspflichtigen Unternehmen nur noch Verkehrsunternehmen mit mindestens 250.000 Fahrgästen/Jahr (Großunternehmen) quartalsweise und jährlich befragt. Im fünfjährigen Turnus, beginnend 2004, erfolgt die Jahreserhebung als Totalerhebung. Dabei werden alle Unternehmen erfasst. Die Werte ab 2004 sind folglich mit der Zeitreihe bis 2003 nicht mehr direkt vergleichbar. Die Zeitreihe bis 2003 bleibt dennoch im Indikator erhalten. Die Daten zur Verkehrsleistung werden durch die Statistischen Landesämter erhoben und an das Statistische Bundesamt zentral weitergegeben.

### **I-1.2 Gesamtverkehrsleistung (GVL) für Eisenbahn-, Schiffs- und Straßenverkehr gesamt und Anteil des Eisenbahn- und Schiffsverkehr an GVL**

Der Indikator betrachtet die jährlichen Verkehrsleistungen der Brandenburg ausgehenden Transporte, unabhängig vom Ort der erbrachten Leistung. Die Verkehrsleistung entspricht dem Produkt aus transportierter Menge und Entfernung in km. Im Eisenbahnverkehr wird die entsprechend Tarif festgelegte Transportleistung (Tarif-tkm) erfasst.

Bei den Zahlen für Brandenburg bleiben Verkehrsleistungen von im Ausland zugelassenen bzw. registrierten Fahrzeugen im Untersuchungsgebiet (Transitverkehr, Kabotagefahrten), der Luftfrachtverkehr, der Rohrleitungsverkehr, im Straßengüterverkehr der gesamte Wirtschaftsverkehr (Fahrzeuge < 3,5 Tonnen Nutzlast), der landwirtschaftliche und militärische Verkehr sowie die im Ausland beginnenden grenzüberschreitenden Verkehrsleistungen im Schienen-, Straßen- und Binnenschiffsverkehr unberücksichtigt.

Der Indikatoranteil zum Anteil des Eisenbahn- und Schiffsverkehr an GVL setzt die Verkehrsleistung von Binnenschiff und Schienenverkehr in Relation zur insgesamt erfassten Verkehrsleistung im Güterverkehr.

Angaben zur Güterverkehrsleistung werden im Rahmen von Verflechtungsmatrizen durch das Statistische Bundesamt (Eisenbahn, Binnenschiff) und durch das Kraftfahrtbundesamt (Straßengüterverkehr) durch Hochrechnung auf Basis von Stichproben erhoben. In die Daten des Kraftfahrtbundesamtes zum Straßengüterverkehr fließen sowohl Erhebungen des Bundesamtes für Güterverkehr (zum gewerblichen Straßengüterverkehr) als auch des Kraftfahrtbundesamtes selbst (zum Werksverkehr im Straßengüterverkehr) ein.

**Datenquelle:** Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL)/ Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB) / Statistisches Bundesamt/ Kraftfahrt-Bundesamt

## I-2 Heiztage

### Grafik:

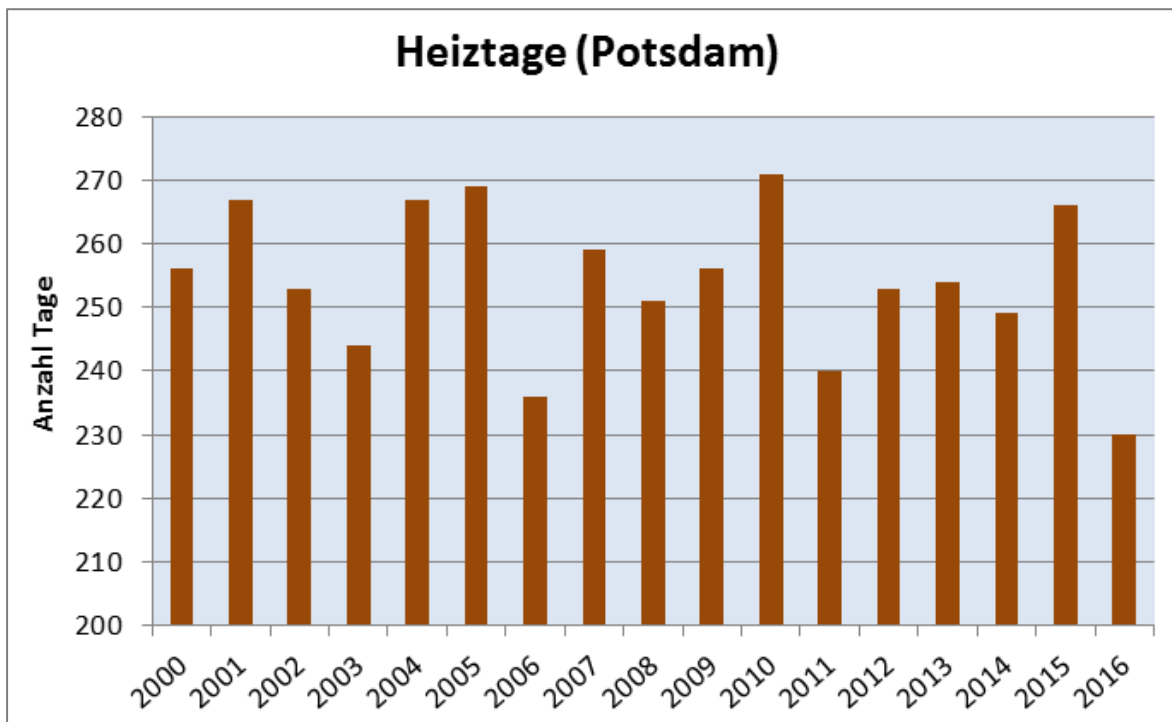


Abbildung 39: Entwicklung der Heiztage für Potsdam als Anzahl der Tage im Jahr im Zeitraum 2000 – 2016 sowie der lineare Trend

### Bedeutung:

Die Heizgradtage und die Heiztage sind ein Indiz für die Notwendigkeit der Beheizung von Wohnräumen in Abhängigkeit der Wetter- bzw. klimatischen Bedingungen. Die Heizgrenze (15 °C) gibt an, ab welcher Außentemperatur die Heizungsanlage angeschaltet werden sollte, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen und wird mittels spezieller Richtlinien festgelegt. Die Berechnung dieser Größe gilt als Grundlage für die Bereinigung der sogenannten Klimafaktoren der Witterung und stellen die Temperaturdifferenzsumme der Tage eines Monats dar, an dem die mittlere Lufttemperatur unter 15° C liegt (Heiztage). Mit veränderten, langfristig steigenden, Durchschnittstemperaturen (Klimaerwärmung) sollten die Heiztage pro Jahr langfristig abnehmen. Die objektspezifische Beeinflussung der Heiztage durch Gebäudesanierung werden bei diesem Indikator nicht erfasst.

Die Anzahl der jährlichen Heizgradtage stellt die Auswirkungen des Klimawandels dar.

### Definition und Berechnungsverfahren:

Heiztage können nur ortsbezogen berechnet werden, da sie von den klimatischen Bedingungen und der Gebäudetypisierung abhängig sind. Es wird für den Indikator von einem Bestandsgebäude (kein Niedrigenergiehaus o.ä.) ausgegangen. Für das Land Brandenburg bildet die Station Potsdam einen guten Durchschnittswert der Temperatur innerhalb des Landes ab. Die Heiztage werden auf Basis der Heizgradtage gebildet. Als Heiztage werden die Tage bezeichnet, an denen die mittlere Außentemperatur unter die festgelegte Heizgrenze von 15 °C sinkt.

Die jährlichen Heizgradtage (HGT) (oder die Heizgradstunden) für den Standort eines Gebäudes können aus der Häufigkeitsverteilung der Außentemperaturen und der Heizgrenze berechnet werden. Sie sind relevant für die Berechnung des Heizwärmebedarfs und werden in der Einheit Kd/a (Kelvin x Tag pro Jahr) angegeben. Eine verwandte Größe ist die Gradtagszahl (GTZ). Das Grundprinzip der Heizgradtage besteht darin, dass man für jede vorkommende Außentemperatur unterhalb der Heizgrenze (i.d.R. in Deutschland 15° C) die Differenz zwischen dieser Heizgrenztemperatur und der Außentemperatur mit der jeweiligen Anzahl der Tage multipliziert. Die Heizgradtage werden nach der Norm VDI 3807 und DIN V 4108-6 berechnet.

**Datenquelle:** Berechnung nach Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), Deutscher Wetterdienst (DWD)

## Quellenverzeichnis

- **ARGE StickstoffBW (Hrsg.) (2015):** Ermittlung der in Baden-Württemberg eingesetzten Stickstoff-Mineraldüngermenge. Abgleich von Berechnungen mit Daten auf Bundes- und Landesebene. Stand 2011.
- **Bach, M., Hillebrecht, B., Hunsager, E. A., Stein, M. (2014):** Berechnung von Stickstoff-Flächenbilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland mit Regionalgliederung „Kreise und kreisfreie Städte“ - Jahre 2003 bis 2011. Univ. Gießen, Abschlussbericht (Auftraggeber: KIT Karlsruhe, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung).
- **Bach, M., Godlinski, F., Greef, J.-M. (2011):** Handbuch Berechnung der Stickstoff-Bilanz für die Landwirtschaft in Deutschland Jahre 1990 – 2008. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut. 159.
- **Bronstert, A. & Engel, H. (2011):** Veränderung der Abflüsse. Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011), (Hrsg.) Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese
- **Buters, J. TM., Alberternst, B., Nawrath, S., Wimmer, M., Traidl-Hoffmanns, C., Starfinger, U., Behrendt, H., Schmidt-Weber, C., Bergmann, K.-Ch. (2015):** Ambrosia artemisiifolia (Traubenkraut) in Deutschland –aktuelles Vorkommen, allergologische Bedeutung und Maßnahmen zur Eingrenzung, Allergo J Int 2015; S.24 - 108.
- **Dröge, W., Hoffmann, J., Maleska, V., Meister, S., Prange, N., Schwarze, R., Spitzer, S., Tichatschke, M., Zweig, M. (2008):** Fachkonzept zur Berechnung des Wasserhaushalts für den Fest- und Lockergesteinsbereich in Sachsen mit dem Schwerpunkt Grundwasserhaushalt („Grundwasserhaushalt Sachsen“). Fachkonzept Grundwasserhaushalt Sachsen . Bericht März 2008. Dresden.
- **Fachbeitrag des LUGV (2012):** Brandenburg spezifische Boden-Indikatoren für ein Klimamonitoring im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) sowie Zusammenstellung von aussagefähigen Wirkungs- und Alarmschwellen Abschlussbericht 2012. Heft Nr. 126. Potsdam.
- **Forst Brandenburg Landesbetrieb (LFB) (2016):** Waldzustandsbericht 2016 des Landes Brandenburg. Eberswalde.
- **Gesundheitsplattform (2016):**  
[http://www.gesundheitsplattform.brandenburg.de/sixcms/detail.php?qsid=bb2.c.479421.de&template=gesi\\_zeitreihe\\_d](http://www.gesundheitsplattform.brandenburg.de/sixcms/detail.php?qsid=bb2.c.479421.de&template=gesi_zeitreihe_d) (letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (2008):** Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Böden ausgewählter hessischer Dauerbeobachtungsflächen. Abschlussbericht. Wettenberg.  
[http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim\\_plus/berichte/boden.pdf](http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim_plus/berichte/boden.pdf) (letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) (2013):** Aktueller Kenntnisstand über mögliche Auswirkungen von Änderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein und mögliche Handlungsperspektiven. Bericht Nr. 204. Koblenz.

- **Jordan, HP., Weder, H.-J. (1995):** Hydrogeologie. Grundlagen und Methoden. Regionale Hydrogeologie. Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen . (Hrsg.) Jordan, HP. und Weder, H.-J., 2., stark überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart.
- **Kallweit, R. (2014):** Wald-Monitoring-Konzeption des Landes Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 57. Eberswalde.
- **Klimareport Brandenburg 2016** – Das Klima von gestern, heute und in Zukunft. Darstellung der Entwicklung des Klimawandels im 20. Jh., aktuellen Problemen und von Szenarioergebnissen zum Ende des 21. Jh.. Fachbeitrag des LfU, Heft Nr. 150. Referat T 14 – Luftqualität und Nachhaltigkeit.
- **Kropp, J., Roithmeier, O., Hattermann, F., Rachimow, C., Lüttger, A., Wechsung, F., Lasch, P., Christiansen, E.S., Reyer, C., Suckow, F., Gutsch, M., Holsten, A., Kartschall, T., Wodinski, M., Hauf, Y., Conradt, T., Österle, H., Walther, C., Lissner, T., Lux, N., Tekken, V., Ritchie, S., Kossak, J., Klaus, M., Costa, L., Vetter, T., Klose, M. (2009):** „Klimawandel in Sachsen-Anhalt - Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels“. Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK).
- **Landesumweltamt Brandenburg (LUA) (2004):** Retentionsflächenkonzept für das Land Brandenburg. Arbeitsbericht der AG „Retentionsflächen im Land Brandenburg“, Potsdam.
- **Länderinitiative Kernindikatoren A3** – Energieverbrauch Brandenburg (Stand: 30.06.2017)  
<https://indikatoren-landuv.nrw.de/liki/index.php?indikator=3&aufzu=1&mode=indi>  
(letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Länderinitiative Kernindikatoren A4** – Erneuerbare Energien Brandenburg (Stand: 15.06.2017)  
<https://indikatoren-landuv.nrw.de/liki/index.php?indikator=608&aufzu=1&mode=indi>  
(letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Länderinitiative Kernindikatoren B3** – Naturschutzflächen (Stand: 22.08.2017)  
<https://www.landuv.nrw.de/liki/index.php?liki=B3>  
(letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Länderinitiative Kernindikatoren B6** – Stickstoffüberschuss (Stand: 11.07.2017)  
<https://www.landuv.nrw.de/liki/index.php?liki=D6>  
(letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Länderinitiative Kernindikatoren C3** – Verkehrsleistung (Stand: 30.06.2017)  
<https://www.landuv.nrw.de/liki/index.php?liki=C3>  
(letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Länderinitiative Kernindikatoren D1** – Flächeninanspruchnahme (Stand: 15.12.2016)  
<https://www.landuv.nrw.de/liki/index.php?liki=D1>  
(letztes Abrufdatum: 26.01.2018)



- **Lange, M. (2014):** Indikatoren-Factsheet: Mengenmäßiger Grundwasserzustand. Indikatoren für die Deutsche Anpassungsstrategie. Umweltbundesamt / KomPass. Dessau-Roßlau.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/656/dokumente/ww-i-1\\_indikator\\_grundwasserzustand.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/656/dokumente/ww-i-1_indikator_grundwasserzustand.pdf) (letztes Abrufdatum: 19.09.2017)
- **Langen, U., Schmitz, R., Steppuhn, H. (RKI) (2013):** Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland – Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 2013 5 / 6: 698–706. DOI 10.1007/s00103-012-1652-7  
<http://edoc.rki.de/oa/articles/reSp8JYqnpVo/PDF/20xkoi9E0FU4w.pdf> (letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Lunderstädt, J., Ahlers, S. (1983):** Zur Nahrungsqualität von Fichtennadeln für forstliche Schadinsekten. In: Zeitschrift für Angewandte Entomologie. Volume 95, 1-5, p. 141-150.
- **Medlock, J.M., Hansford, K.M., Bormane, A., Derdakova, M., Estrada-Peña, A., George, J.C., Golovljova, I., Jaenson, T.G., Jensen, J.K., Jensen, P.M., Kazimirova, M., Oteo, J.A., Papa, A., Pfister, K., Plantard, O., Randolph, S.E., Rizzoli, A., Santos-Silva, M.M., Sprong, H., Vial, L., Hendrickx, G., Zeller, H., Van Bortel, W. (2013):** Driving forces for changes in geographical distribution of Ixodes ricinus ticks in Europe. Parasit Vectors. 2013 Jan 2;6:1. doi: 10.1186/1756-3305-6-1.
- **Ministerium der Justiz, für Europa und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Oberste Landesbehörde für Badegewässer (2016):** Cyanobakterien (Blaualggen) und –toxine „Wasserblüte“  
[https://mdjev.brandenburg.de/media\\_fast/bb1.a.3663.de/handlungsempfehlung\\_olb\\_b\\_blaualggen\\_vom\\_7.pdf](https://mdjev.brandenburg.de/media_fast/bb1.a.3663.de/handlungsempfehlung_olb_b_blaualggen_vom_7.pdf) (letztes Abrufdatum 28.01.2018)
- **Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz MLUV (2009):** Wasserversorgungsplan 2009 für das Land Brandenburg. Potsdam.
- **Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie, Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung.**  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht\\_2015\\_zur\\_deutschen\\_anpassungsstrategie\\_an\\_den\\_klimawandel.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf) (letztes Abrufdatum: 28.01.2018)
- **Ostfeld, R.S., Brunner, J.L. (2016):** Climate change and Ixodes tick-borne diseases of humans. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2015 Apr 5;370(1665). pii: 20140051. doi: 10.1098/rstb.2014.0051.
- **Regionale PEFC - Arbeitsgruppe Brandenburg e.V. (2016):** Regionaler Waldbericht. Brandenburg 2016.  
[https://pefc.de/media/filer\\_public/f2/b1/f2b1f6e8-8738-4ad4-8995-7b7a68ca8434/reg\\_wber\\_brandenburg\\_2016.pdf](https://pefc.de/media/filer_public/f2/b1/f2b1f6e8-8738-4ad4-8995-7b7a68ca8434/reg_wber_brandenburg_2016.pdf) (letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Scherber, K., Endlicher, W., Langner, M. (2013):** Klimawandel und Gesundheit in Berlin-Brandenburg. In: Jahn, H.J., Krämer, A., Wörmann, T. (Eds.): Klimawandel und Gesundheit - Internationale, nationale und regionale Herausforderungen und Antworten. Springer-Verlag, S.25-38, Berlin, Heidelberg.

- **Schirmer, H., Buschner, W., Cappel, A., H.-G. Mattäus, H.-G. und Schlegel, M. (1987):** Meteorologie - Meyers kleines Lexikon. Mannheim, S. 496
- **Schönthaler, K. (2014):** Indikatoren-Factsheet: Hitzetote. Indikatoren für die Deutsche Anpassungsstrategie. Umweltbundesamt / KomPass. Dessau-Roßlau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/656/dokumente/ge-i-2\\_indikator\\_hitzetote.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/656/dokumente/ge-i-2_indikator_hitzetote.pdf) (letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Stock, M. & Lahmer, W. (2011):** Brandenburg: eine Region im Klimawandel – Seenreichtum und drohender Wassermangel. Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011), (Hrsg.) Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese
- **Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft – Stickstoff-Flächenbilanz**  
<http://www.efre-thueringen.de/efre/efre/nachhaltigkeit/boden/stickstoff/>  
(letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Umwelt Bundesamt (UBA) (2007):** Bodenbiologische Bewertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) anhand von Lumbriciden. Workshop in Weimar. 20.November bis 01.Dezember 2006. Texte 34/7. Dessau-Roßlau.
- **Van Wagner, C.E. (1987):** Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, Ottawa, Forestry Technical Report 35.
- **Wallor, E., Dzialek, J., Zeitz, J. (2014):** Grünlandbewirtschaftung grundwasserbeeinflusster Böden Brandenburgs – Möglichkeiten und Grenzen. In: Klimaanpassung in der Land- und Ernährungswirtschaft. Bloch, R., Bachinger, J., Fohrmann, R., Pfriem, R. (Hrsg.), oekom Verlag München. Zeitz, J. (2014): Prozesse und Auswirkungen einer entwässerungsbasierten Moornutzung. In: Luthardt, V. & Zeitz, J. (Hrsg.). Moore in Brandenburg und Berlin. Rangsdorf: Natur & Text Verlag (in Vorbereitung).  
<http://project2.zalf.de/hydbos/hydbosbeitragwebsite> (letztes Abrufdatum: 26.01.2018)
- **Wilking, H., Stark, K. (2014):** Trends in surveillance data of human Lyme borreliosis from six federal states in eastern Germany, 2009-2012. Ticks Tick Borne Dis. 2014 Apr;5(3):219-24.
- **Wittich, K.-P., Löpmeier, F.-J., Lex, P., (2011):** Waldbrände und Klimawandel in Deutschland – Maßnahmenvielfalt ist die beste Vorbeugung. AFZ-Der Wald, 66 (18).