



LAND
BRANDENBURG

Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz

Klima



Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg – Aktualisierungsbericht

Fachbeiträge des LfU, Heft Nr. 160



Landesamt für Umwelt

Herausgeber:

Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz (MLUK)
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Henning-von-Tresckow-Straße 2-13, Haus S,
14467 Potsdam
Telefon: +49 (0)331 866-7237
E-Mail: bestellung@mluk.brandenburg.de
Internet: mluk.brandenburg.de

Redaktion

Landesamt für Umwelt (LfU)
Abteilung Technischer Umweltschutz 1
Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam
Telefon +49 (0) 33201 442-0
E-Mail: infoline@lfu.brandenburg.de
Internet: lfu.brandenburg.de

Autoren

LfU, Referat T14 – Luftqualität, Klima, Nachhaltigkeit,
in Kooperation mit dem Ministerium für
Soziales, Gesundheit, Integration und Verbraucherschutz (MSGIV),
dem Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB),
dem Polleninformationsdienst (PID)
und dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB)

Satz

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg

1. Auflage – Mai 2021

Diese Veröffentlichung ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht für Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Broschüre dem Empfänger zugegangen ist, darf sie, auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl, nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	9
Abbildungsverzeichnis.....	12
Einführung – Klimawandelmonitoring im Land Brandenburg	16
Übergreifende Indikatoren.....	19
Ü-1 Klimawandel und Vegetationsentwicklung	20
Grafik:.....	20
Bedeutung:	20
Definition und Berechnungsverfahren:	21
Hinweise zur Interpretation:.....	21
Ü-2 Treibhausgasemissionen.....	22
Grafik:.....	22
Bedeutung:	22
Definition und Berechnungsverfahren:	23
Ü-3 Endenergieverbrauch.....	24
Grafik:.....	24
Bedeutung:	24
Definition und Berechnungsverfahren:	24
Ü-4 Erneuerbare Energien	26
Grafik:.....	26
Bedeutung:	26
Definition und Berechnungsverfahren:	26
Hinweise zur Interpretation:.....	27
Wasserindikatoren	29
W-1 Mittlerer Abfluss.....	30
Grafik.....	30
Bedeutung:	30
Definition und Berechnungsverfahren:	30
W-2 Gewässertemperatur	32
Grafik:.....	32
Bedeutung:	32
Definition und Berechnungsverfahren:	33
W-3 Grundwasserneubildung.....	34
Grafik:.....	34
Bedeutung:	34
Definition und Berechnungsverfahren:	35

W-4 Grundwasserzustand	36
W-4.1 Grundwasserstand Seen	36
Grafik:	36
Bedeutung:	36
Definition und Berechnungsverfahren:	37
W-4 Grundwasserzustand	38
W-4.2 Mengenmäßiger Grundwasserzustand	38
Grafik:	38
Bedeutung:	38
Definition und Berechnungsverfahren:	38
Hinweise zur Interpretation:	39
W-5 Klimatische Wasserbilanz	40
Grafik:	40
Bedeutung:	40
Definition und Berechnungsverfahren:	40
W-6 Retentionsräume	42
Grafik:	42
Bedeutung:	42
Definition und Berechnungsverfahren:	43
Bodenindikatoren	45
B-1 CO₂-Freisetzung aus Moorböden	46
Grafik:	46
Bedeutung:	46
Definition und Berechnungsverfahren:	47
B-2 Bodenwassergehalt	48
Grafik:	48
Bedeutung:	48
Definition und Berechnungsverfahren:	49
B-3 Bodenerosionsgefährdung durch Wasser	50
Grafik:	50
Bedeutung:	51
Definition und Berechnungsverfahren:	51
B-4 Dauergrünlandflächen	54
Grafik:	54
Bedeutung:	54
Definition und Berechnungsverfahren:	55

B-5 Regenwürmer (Lumbriciden)	56
Grafik:.....	56
Bedeutung:	56
Definition und Berechnungsverfahren:	56
Hinweise zur Interpretation:.....	57
Forstindikatoren	59
F-1 Trockenstress	60
Grafik:.....	60
Bedeutung:	60
Definition und Berechnungsverfahren:	61
Hinweise zur Interpretation:.....	63
F-2 Waldzustand	66
Grafik:.....	66
Bedeutung:	66
Definition und Berechnungsverfahren:	67
Hinweise zur Interpretation:.....	67
F-3 Schäden durch biotische Schaderreger	68
Grafik:.....	68
Bedeutung:	68
Definition und Berechnungsverfahren:	69
F-4 Meteorologisch verursachte Waldschäden	70
Grafik:.....	70
Bedeutung:	70
Definition und Berechnungsverfahren:	70
F-5 Waldbrandgefahr	72
Grafik:.....	72
Bedeutung:	72
Definition und Berechnungsverfahren:	73
F-6 Waldfläche und nachhaltige Forstwirtschaft	74
Grafik:.....	74
Bedeutung:	74
Definition und Berechnungsverfahren:	75
Hinweise zur Interpretation:.....	75

Landwirtschaftsindikatoren.....	77
LW-1 Ertragsausfallrisiko durch Hagelschäden (DAS-Indikator).....	78
Grafik:.....	78
Bedeutung:.....	78
Definition und Berechnungsverfahren:.....	79
Hinweise zur Interpretation:.....	79
LW-2 Ertrags- und Anbauflächen von Weizen, Raps und Mais.....	80
Grafik:.....	80
Bedeutung:.....	80
Definition und Berechnungsverfahren:.....	81
LW-3 Schaderregerbefall (DAS-Indikator).....	82
Grafik:.....	82
Bedeutung:.....	82
Definition und Berechnungsverfahren:.....	83
LW-4 Stickstoffüberschuss	84
Grafik:.....	84
Bedeutung:.....	84
Definition und Berechnungsverfahren:.....	84
Hinweise zur Interpretation:.....	85
Natur- und Biodiversitätsindikatoren	87
N-1 Gebietsschutz	88
Grafik:.....	88
Bedeutung:.....	88
Definition und Berechnungsverfahren:.....	88
Hinweise zur Interpretation:.....	89
N-2 Invasive Arten – Asiatische Tigermücke (DAS-Indikator).....	90
Grafik:.....	90
Bedeutung:.....	90
Definition und Berechnungsverfahren:.....	91
N-3 Flächeninanspruchnahme	92
Grafik:.....	92
Bedeutung:.....	92
Definition und Berechnungsverfahren:.....	93
Hinweise zur Interpretation:.....	93

Gesundheitsindikatoren	95
G-1 Anzahl der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte	96
Grafik:.....	96
Bedeutung:	96
Definition und Berechnungsverfahren:	96
G-2 Anzahl von Hitzewarnungen.....	98
Grafik:.....	98
Bedeutung:	98
Definition und Berechnungsverfahren:	98
Hinweise zur Interpretation:.....	99
G-3 Hitzebedingte Todesfälle	100
Grafik:.....	100
Bedeutung:	100
Definition und Berechnungsverfahren:	100
G-4 Pollenbelastung für Allergiker	102
Grafik:.....	102
Bedeutung:	103
Definition und Berechnungsverfahren:	103
Hinweise zur Interpretation:.....	104
G-5 Belastung mit Ambrosia-Pollen	106
Grafik:.....	106
Bedeutung:	106
Definition und Berechnungsverfahren:	107
Hinweise zur Interpretation:.....	107
G-6 Blaualgenbelastung in Badegewässern (DAS-Indikator)	108
Grafik:.....	108
Bedeutung:	108
Definition und Berechnungsverfahren:	109
G-7 Schadstoffbelastung der Luft.....	110
Grafik:.....	110
Bedeutung:	110
Definition und Berechnungsverfahren:	111
Hinweise zur Interpretation:.....	112
G-8 Meldepflichtige Infektionskrankheiten	114
Grafik:.....	114
Bedeutung:	114
Definition und Berechnungsverfahren:	115
Hinweise zur Interpretation:.....	115

Infrastrukturindikatoren.....	117
I-1 Verkehrsleistung	118
Grafik:.....	118
Bedeutung:	118
Definition und Berechnungsverfahren:	118
I-2 ÖPNV-Nutzung.....	120
Grafik:.....	120
Bedeutung:	120
Definition und Berechnungsverfahren:	120
I-3 Heiztage	122
Grafik:.....	122
Bedeutung:	122
Definition und Berechnungsverfahren:	122
Quellenverzeichnis	124

Abkürzungsverzeichnis

Ao	oberirdischer Abfluss
ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
AfS BB	Amt für Statistik Berlin-Brandenburg
AG	Arbeitsgruppe
AK UGRdL	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
ALB	Automatisiertes Liegenschaftsbuch
ALKIS	Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem
AS	Aminosäure
ATV-DVWK	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (heute DWA)
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 ₂	Kohlenstoffdioxid
CH ₄	Methan
d	Tag
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie
DIN	Deutsche Industrienorm
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ehemals ATV-DVWK)
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
mm	Millimeter
MLUK	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz
MSGIV	Ministerium für Soziales, Gesundheit, Integration und Verbraucherschutz
MWAE	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie
N	Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffmonoxid, Lachgas
Ni	Niederschlag
nFK	nutzbare Feldkapazität
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxid
NSG	Naturschutzgebiet
O ₃	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 ₆	Schwefelhexafluorid
StrV _{brutto}	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_s	Wasserpotenzial

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beginn der Apfelblüte (Tag des Jahres) und Dauer der Vegetationsperiode (Anzahl der Tage) in Brandenburg im gleitenden 30 jährigem Mittel von 1961-1990 bis 1990-2019	20
Abbildung 2: Treibhausgasemissionen in Brandenburg als Gesamtemissionen in Megatonnen (Mt) CO ₂ - Äquivalenten und die CO ₂ -Emissionen in Megatonnen (Mt) CO ₂ von 1990 bis 2018.....	22
Abbildung 3: Endenergieverbrauch in Petajoule (PJ) nach Sektoren (Industrie, Verkehr, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, private Haushalte) in Brandenburg von 2004 bis 2018.....	24
Abbildung 4: Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch, am Endenergieverbrauch und am Bruttostromverbrauch in Brandenburg von 1990 bis 2018.....	26
Abbildung 5: Abweichung von der durchschnittlichen Oberflächengewässertemperatur der Elbe, der Havel, der Oder und der Neiße in Brandenburg vom Mittel der Jahre 1994 bis 2020 in Prozent (%).....	32
Abbildung 6: Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 1971 bis 2010 im Vergleich zum Zeitraum von 1991 bis 2010 in Brandenburg.....	34
Abbildung 7: Höhe des Oberflächenpegels und des Grundwasserstandes des ausschließlich grundwasserbeeinflussten Peetschsees bei Steinförde im Zeitraum von 1962 bis 2018	36
Abbildung 8: (Links) Ungenutzte und teilgenutzte Grundwasservorräte in Brandenburg, Wasserversorgungsplan 2009 Brandenburg, Stand: 2006. (Rechts) Trend der Veränderung der Grundwasserstände (in cm pro Jahr) in Brandenburg von 1976 bis 2013.....	38
Abbildung 9: Klimatische Wasserbilanz an der Klimamessstation in Potsdam in Millimeter pro Jahr (mm/Jahr) von 1990 bis 2020. Überschussjahre in Blau, defizitäre Jahre in Rot.	40
Abbildung 10: Aktive Flutungsräume und Untersuchungsgebiete für mögliche weitere Flutungsräume, Stand: 2017. Tabelle rechts: Festgesetzte Überschwemmungsflächen im Land Brandenburg, inklusive deichgeschützte Flächen, Polder und Vorlandflächen in Hektar (ha), Stand: 2004	42
Abbildung 11: Potentielle CO ₂ -Freisetzung von grundwasserbeeinflussten Böden in Brandenburg bis 2030 auf unterschiedlich genutzten Standorten. Die potentielle CO ₂ -Freisetzung wird mit den aktuellen Bedingungen (IST-Zustand) und prognostizierten Veränderungen an den Standorten Intensivgrünland, Feuchtweiden und -wiesen und Nasswiesen dargestellt.....	46

Abbildung 12: Kritische Frühjahrstrockenheit für Winterroggen. Dargestellt ist die Anzahl der Tage mit Unterschreitungen des kritischen Bodenwassergehaltes (Schwellenwert < 30% nFK an 45 Tagen, rote Linie) für den Standort Menz und Cottbus auf Feinsand und sandigem Lehm in 5-Jahres-Abschnitten im Zeitraum 1980-2014 und im 3-Jahres-Abschnitt von 2015-2017.....	48
Abbildung 13: Bodenerosionsgefährdung 2011 und 2016 durch Wasser am Beispiel potentiell erosionsgefährdeter Maisanbauflächen.....	50
Abbildung 14: Dauergrünlandfläche (in Hektar) in Brandenburg von 2000 bis 2019	54
Abbildung 15: Regenwurmpopulationsdichte (Lumbricidenabundanz) auf ackerbaulich genutzten Sandböden in Brandenburg von 1990 bis 2016 für drei Beobachtungszyklen (1. Zyklus 1990 bis 1996, 2. Zyklus 1999 bis 2008, 3. Zyklus 2009 bis 2016)	56
Abbildung 16: Stressparameter der Blattorgane für Trockenstress für den Zeitraum von 1995 bis 2015 unterteilt in: F.1.1 Osmolalität des Nadel- beziehungsweise Blattpresssaftes für den 1. und 2. Nadeljahrgang; F.1.2 Prolingehalt (in Prozent, Gesamtgehalt löslicher Aminosäure AS); F.1.3 Gesamtkohlenhydratgehaltes; F.1.4 Blattwassergehalt in Prozent bezogen auf das Frischgewicht (FG).....	60
Abbildung 17: Mittlere Kronenverlichtung in Prozent (%) in Brandenburg von 1991 bis 2020 und die mittlere Kronenverlichtung in den Zeiträumen 1991-2007 und 2009-2020 für Laub- und Nadelbäume	66
Abbildung 18: Fraßschäden in Schadholzmenge pro Hektar (ha), durch Kiefernadelfressende Insekten (Nonne, Kiefernspinner und Kiefernbuschhornblattwespe) in Brandenburg von 1996 bis 2019	68
Abbildung 19: Durch Stürme verursachte Schadholzmenge in Kubikmetern (m ³) in Brandenburg von 2000 bis 2019.....	70
Abbildung 20: Die Anzahl der Waldbrände und die Waldbrandfläche in Hektar (ha) pro Jahr in Brandenburg von 2000 bis 2019.....	72
Abbildung 21: Die gesamte Waldfläche und die nach PEFC und FSC zertifizierte Waldfläche in Brandenburg und die Waldfläche je Einwohner in Hektar von 2006 bis 2018.....	74
Abbildung 22: Schadensatz und Schadenaufwand in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung in Deutschland, Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum 1980 bis 2017. (Pfeil nach unten: fallender Trend, Pfeil nach oben: steigender Trend, grüner Pfeil: günstige Entwicklung, roter Pfeil: ungünstige Entwicklung)	78
Abbildung 23: Ertragsfläche (in Tonne pro Hektar t/ha) und Anbaufläche (in Hektar ha) von Weizen, Raps und Mais in Brandenburg von 2005 bis 2019.....	80

Abbildung 24: Schaderregerbefall von Winterweizen (Sachsen-Anhalt) und Winterraps (Mecklenburg-Vorpommern) durch den Befall von Braunrost, Echtem Mehltau und dem Rapsglanzkäfer, Fallstudie des Klimawandelmonitorings der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum von 1976 bis 2013. (Pfeil nach unten: fallender Trend, Pfeil nach oben: steigender Trend, grüner Pfeil: günstige Entwicklung, roter Pfeil: ungünstige Entwicklung)	82
Abbildung 25: Stickstoffüberschuss (Kilogramm pro Hektar) pro Jahr auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Brandenburg von 2003 bis 2018	84
Abbildung 26: Anteil der streng geschützten Gebiete an der Landesfläche Brandenburgs von 2000 bis 2020, für 2019 liegen keine Daten vor	88
Abbildung 27: Vorkommen der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg (Oberrheingraben) als Beispiel für invasive Arten, Fallstudie des Klimawandelmonitorings der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum von 2005 bis 2017	90
Abbildung 28: Jährliche zusätzliche Bodeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen in Brandenburg von 2000 bis 2019 und der prozentuale Anteil dieser Flächen an der gesamten Landesfläche	92
Abbildung 29: Mittlere Anzahl der Sommertage (maximale Temperatur > 25 Grad Celsius), der heißen Tage (maximale Temperatur > 30 Grad Celsius) und der Tropennächte (minimale Temperatur > 20 Grad Celsius) in Brandenburg von 1971 bis 2020 in Dekaden	96
Abbildung 30: Anzahl der Tage mit der Warnung vor starker Hitze (T > 32 Grad Celsius) und mit der Warnung vor extremer Hitze (T > 38 Grad Celsius) in Brandenburg von 2005 bis 2020.....	98
Abbildung 31: Anzahl der hitzebedingten Exzess-Sterbefälle in Brandenburg von 1985 bis 2019	100
Abbildung 32: Anzahl der Pollenbelastungstage für Hasel, Esche, Roggen, Beifuß, Birke, Erle und Gräser für die Standorte Drebkau, Cottbus, Vetschau (ab 2015), Treuenbrietzen, Potsdam und Berlin von 2012 bis 2017	103
Abbildung 33: Anzahl der Tage mit starker Pollenbelastung mit Ambrosia in Drebkau, Cottbus, Vetschau, Treuenbrietzen und Potsdam von 2012 bis 2019; rechts: Lage von Drebkau, Cottbus, Vetschau, Treuenbrietzen und Potsdam in Brandenburg	106
Abbildung 34: Blaualgenbelastung im Großen Müggelsee (Berlin) als Beispiel für die Blaualgenbelastung in Badegewässern, Fallstudie des Klimawandelmonitorings der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum von 1979 bis 2017. (Pfeil nach unten: fallender Trend, gebogener Pfeil nach unten: Trendumkehr (erst steigend, dann fallend), grüner Pfeil: günstige Entwicklung)	108

Abbildung 35: Schadstoffbelastung der Luft mit Stickstoffdioxid NO ₂ , Feinstaub PM ₁₀ und PM _{2,5} und Ozon O ₃ in Brandenburg von 2001 bis 2020. Die Schadstoffbelastung setzt sich zusammen aus der ländlichen Hintergrundbelastung, der zusätzlichen städtischen Hintergrundbelastung und der zusätzlichen Verkehrsbelastung an Verkehrshotspots. Für NO ₂ und PM _{2,5} werden die Jahresmittelwerte dargestellt und für PM ₁₀ die Anzahl der Tage eines Kalenderjahrs mit einer Überschreitung des Grenzwertes. Für O ₃ wird die Anzahl der Tage eines Kalenderjahrs mit einer Überschreitung des Grenzwertes über drei Jahre gemittelt.	110
Abbildung 36: Inzidenz (Fälle je 100.000 Einwohner) der gemeldeten Borreliosefälle in Brandenburg von 2002 bis 2020. Die Borreliosefälle werden aufgeschlüsselt in Borreliose (Borrelia spec.), Lyme-Borreliose (Borrelia burgdorferi spec.) und nicht erhobener oder nicht ermittelbarer Borreliose.....	114
Abbildung 37: Güterverkehrsleistung in Mio. Tonnenkilometer (tkm) pro Jahr für Eisenbahn-, Binnenschiffs- und Straßenverkehr in Brandenburg von 2000 bis 2019.....	118
Abbildung 38: Nutzung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) in Personenkilometer (Pkm) pro Einwohner in Brandenburg von 1989 bis 2018, der Indikator ist für die Jahre bis 2003 nur bedingt mit denen ab 2004 vergleichbar, da sich die Datenerfassungsmethode geändert hat	120
Abbildung 39: Anzahl der Heiztage im Jahr in Potsdam von 2000 bis 2020, also die Anzahl der Tage im Jahr an denen die Außentemperatur unterhalb von 15 Grad Celsius liegt.....	122

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 Grad Celsius, besser noch auf 1,5 Grad Celsius 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 Dürrierisiko 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 unter anderem mit einem umfangreichen und regelmäßigen Monitoring erfolgen. Auf Bundesebene gibt es bereits einen Monitoringbericht des Umweltbundesamtes zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), mit den entsprechenden Indikatoren (2019).

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 Basisbericht ist Anfang 2018 erschienen und markierte den Startpunkt eines regelmäßigen, sich weiterentwickelnden Monitorings. Ein Schwerpunkt des Monitorings ist zunächst zu ermitteln, welche Indikatoren umsetzbar sind und die einzelnen Indikatorenblätter zu erstellen. Für einige Indikatoren war in der ersten Version aufgrund einer fehlenden Datengrundlage nur eine Zustandsdarstellung möglich, wie bei der Darstellung der Retentionsflächen, der Kohlendioxid-Freisetzung aus Moorböden, der kritischen Frühjahrstrockenheit sowie der Bodenerosionsgefährdung durch Wasser. Die beiden letztgenannten Indikatoren konnten mittlerweile mit Daten gefüllt und die Indikatoren-Kennblätter aktualisiert werden.

Für einige Indikatoren lagen auf Landesebene noch keine Daten vor. Hierfür sind in der Regel Platzhalterindikatoren aus der Deutschen Anpassungsstrategie eingefügt worden (Ertragsausfallrisiko durch Hagel-

schäden, Schaderregerbefall auf Landwirtschaftsflächen, invasive Arten und Blaualgenbelastung von Badegewässern). Für den Indikator „Hitzebedingte Todesfälle“ liegen die Berechnungen des AfS BB im Auftrag des MSGIV nun erstmals vor.

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 gegebenenfalls 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 Klimawandel und Vegetationsentwicklung

Ü-2 Treibhausgasemissionen

Ü-3 Endenergieverbrauch

Ü-4 Erneuerbare Energien

Ü-1 Klimawandel und Vegetationsentwicklung

Grafik:

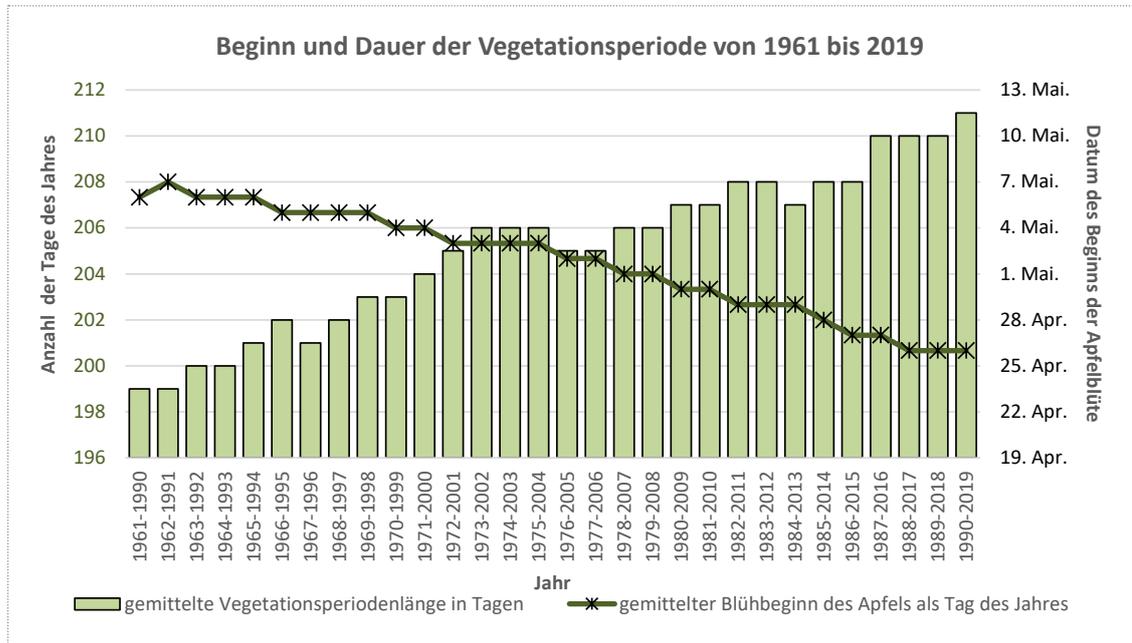


Abbildung 1: Beginn der Apfelblüte (Tag des Jahres) und Dauer der Vegetationsperiode (Anzahl der Tage) in Brandenburg im gleitenden 30-jährigen Mittel von 1961 bis 1990 bis 1990 bis 2019

Bedeutung:

Die Phänologie ist die Lehre vom Einfluss des Wetters, der Witterung und des Klimas auf den jahreszeitlichen Entwicklungsgang und die Wachstumsphasen von Pflanzen und Tieren. Phänologische Beobachtungen erfassen die Eintrittszeiten wiederkehrender Wachstums- und Entwicklungserscheinungen wie zum Beispiel den Blattaustrieb, die Blüte und den Blattfall von Pflanzen oder das Zugverhalten und die Paarungszeit von Vögeln.

Die zeitliche Verschiebung phänologischer Phasen in Abhängigkeit von Temperaturveränderungen ist wissenschaftlich belegt. Vor allem in gemäßigten Klimazonen wie Deutschland ist die Temperatur ausschlaggebend für die zeitliche Abfolge der phänologischen Phasen. Insbesondere die Frühlingsphasen (Vor-, Erst-, Vollfrühling, das heißt das Aufbrechen der Knospen, die Blätterfaltung und die Blüte der Pflanzen)

zeichnen sich durch eine starke Korrelation mit der Temperatur aus (maßgeblich ist die Temperatur der einer Entwicklungsphase vorausgehenden zwei bis drei Monate). Die Herbstphasen dagegen werden neben der Temperatur von zahlreichen anderen Faktoren, wie der Niederschlagsmenge im Sommer oder der solaren Einstrahlung et cetera, mitbestimmt.

Auswirkungen von Klimaänderungen sind dabei in der Vegetationsentwicklung, dem Beginn und der Länge phänologischer Phasen von Pflanzen zu beobachten. Verschiebungen der Vegetationsphasen können Auswirkungen für den Obst- und Weinbau, die Landwirtschaft und den Wald, sowie für die Lebensgemeinschaften und Arten haben, zum Beispiel durch veränderte und neue Konkurrenzen und Wechselwirkungen. Dies verändert die zeitliche Balance zum Beispiel des Nahrungsangebots für bestäubende Insekten und daraus folgend auch die der Vö-

gel, die auf diese Insekten spezialisiert sind. Zudem bleibt auch bei früherem Blühbeginn infolge wärmerer Frühjahrstemperaturen weiterhin die Gefahr von Spätfrösten zum Beispiel für die Obstblüte beziehungsweise den Obstanbau bestehen.

Da die Verschiebung der phänologischen Phasen von Pflanzen eine Auswirkung von Umweltveränderungen, insbesondere der Witterung und des Klimas ist, eignet sie sich als Indikator für Klimaänderungen.

Dieser Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetationsphasen im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der phänologische Vollfrühling beginnt mit dem Tag, an dem die ersten Apfelblüten vollständig geöffnet sind (Beginn der Apfelblüte). Die phänologische Vegetationsperiode ist die Zeitspanne zwischen dem Blühbeginn der Salweide (*Salix caprea*) und der Blattverfärbung der Stieleiche (*Quercus robur*). Damit ist auch eine Annäherung an die landwirtschaftliche Vegetationsperiode gegeben.

Aus den jährlichen Mittelwerten des Tags des Jahres an dem der Beginn der Apfelblüte in Brandenburg festgestellt wurde, wird das gleitende Mittel für einen Zeitraum von 30 Jahren berechnet, da das Klima als Wetter über eine Zeitspanne von 30 Jahren definiert wird. Ebenfalls wird der jährliche Mittelwert der Dauer der Vegetationsperiode (Kalendertage vom Tag des Blühbeginns der Salweide bis zum Kalendertag der Blattverfärbung der Stieleiche) aus allen Daten der Beobachtungsstationen für Brandenburg gebildet und das gleitende Mittel für den 30-Jahres-Zeitraum berechnet. Der Zeitraum von 1961 bis 1990 gilt als Klimanormalperiode und dient als Vergleichszeitraum.

Datenquelle:

Deutscher Wetterdienst (DWD), Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) LIKI Indikator A1

Die phänologischen Daten werden zentral für das ganze Bundesgebiet durch die ehrenamtlichen phänologischen Beobachtenden des 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 und sind seitdem miteinander vergleichbar. 2018 waren in Deutschland circa 1200 Beobachtende aktiv.

Hinweise zur Interpretation:

Beide Indikatoren sind normiert und stehen jährlich zur Verfügung. Die aufeinander folgenden 30-jährigen Betrachtungszeiträume überschneiden sich um jeweils 29 Jahre, dennoch ist der Verlauf der Änderung deutlich zu erkennen. Bei einer länderübergreifenden Zukunftsprognose sind die von Klimamodellen projizierten regionalen Unterschiede der Klimaveränderungen und deren Folgen (zum Beispiel für biologische Vielfalt und Landwirtschaft) zu beachten.

Ü-2 Treibhausgasemissionen

Grafik:

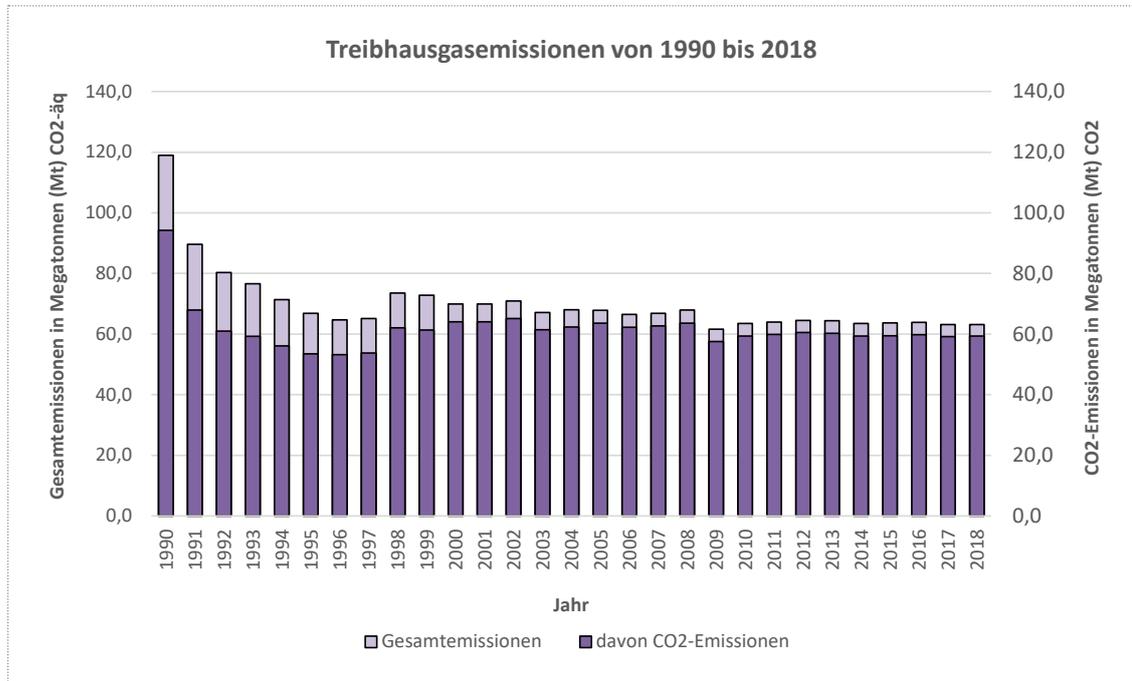


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen in Brandenburg als Gesamtemissionen in Megatonnen (Mt) CO₂ - Äquivalenten und die CO₂-Emissionen in Megatonnen (Mt) CO₂ von 1990 bis 2018

Bedeutung:

Der von Menschen verursachte Treibhauseffekt ist ein globales Problem mit regionalen Verursachern und Folgen. Aufgrund des Anstieges der Konzentrationen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase (Kohlendioxid CO₂, Methan CH₄, Distickstoffoxid (Lachgas) N₂O, teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe H-FKW, perfluorierte Kohlenwasserstoffe FKW und Schwefelhexafluorid SF₆) in der Atmosphäre ist die globale Mitteltemperatur seit 1880 um etwa 0,85 Grad Celsius gestiegen. Bis zum Jahr 2100 könnte die Temperatur um weitere 5 bis 6 Grad Celsius zunehmen. Diese Gase emittieren 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 Ein-

satz von Mineraldünger, bei der Tierhaltung oder bei der Deponie auf.

Durch die Treibhausgasemissionen kommt es unter anderem zur Erwärmung und Versauerung der Ozeane, zu meteorologischen Veränderungen, zum Beispiel der Veränderung der globalen und regionalen Niederschläge, sowie zu einer Zunahme extremer Wetterereignisse. Die Klimaänderungen haben weitreichende Auswirkungen auf die Ökosysteme und 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 Schlüssel-funktion von Kohlendioxid hin.

In Brandenburg bestimmen die energiebedingten CO₂-Emissionen die Gesamtheit

der Haupttreibhausgase mit fast 90 %. Im Jahr 2018 fielen circa 75 % der energiebedingten CO₂ Emissionen unmittelbar bei der Energiegewinnung und Energieumwandlung 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- beziehungsweise Fernwärme, Kraftstoffe, Heizöle, Brikett, Flüssiggas unter anderem) produziert werden. Die Eigenversorgung mit Strom und Mineralölprodukten und die erheblichen Lieferungen dieser Energieträger in andere Bundesländer bestimmen maßgeblich das hohe Emissionsniveau Brandenburgs. Die Verbrauchssektoren Industrie, Verkehr sowie Haushalte und Kleinverbraucher sind jeweils zwischen 6 und 10 % an den energiebedingten CO₂ Gesamtemission.

Definition und Berechnungsverfahren:

Dargestellt sind die in CO₂-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 CO₂-Äquivalenten umgerechnet. Der Anteil an Methan in der Atmosphäre ist wesentlich geringer als der von CO₂, jedoch ist Methan etwa 25-mal und Distickstoffoxid etwa 298-mal so schädlich wie CO₂.

Die Emissionsdaten entstammen der Treibhausgasinventur des Landes Brandenburg. Die Berechnungen basieren auf der Energie- und CO₂-Bilanz des Amtes für Statistik, auf der jährlichen Berichterstattung des Thünen-Instituts und landesspezifischen Berechnungen des Landesamts für Umwelt Brandenburg.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

Ü-3 Endenergieverbrauch

Grafik:

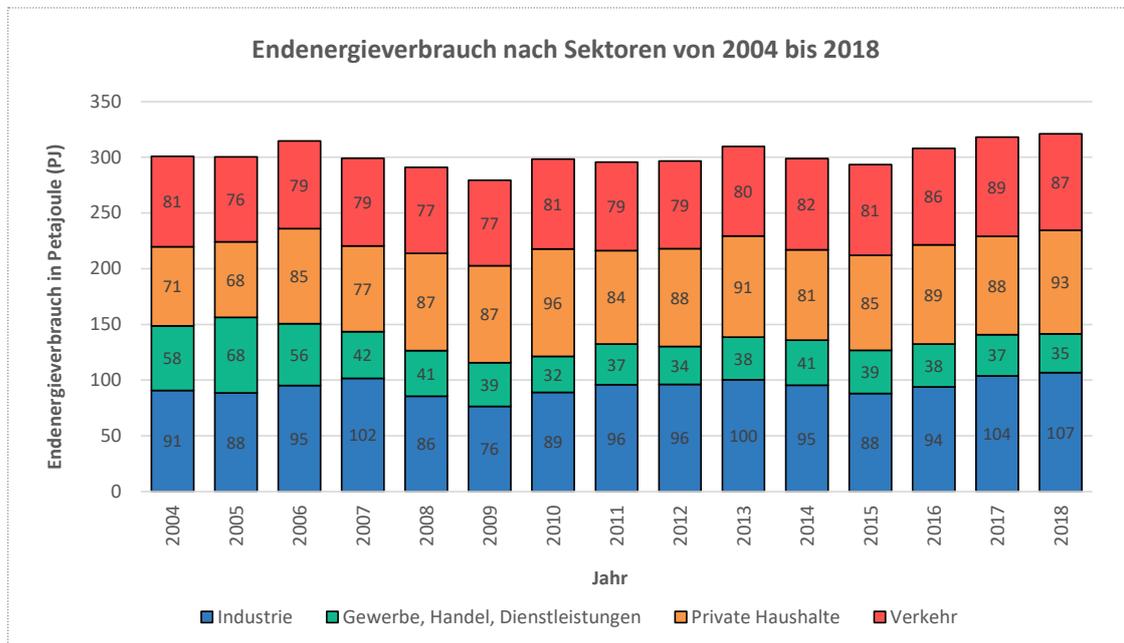


Abbildung 3: Endenergieverbrauch in Petajoule (PJ) nach Sektoren (Industrie, Verkehr, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, private Haushalte) in Brandenburg von 2004 bis 2018

Bedeutung:

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

be/Handel/Dienstleistungen, Industrie und Verkehr unterschiedlich.

Die Senkung des Endenergieverbrauchs 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.

Datenquelle:

Länderarbeitskreis Energiebilanzen

Ü-4 Erneuerbare Energien

Grafik:

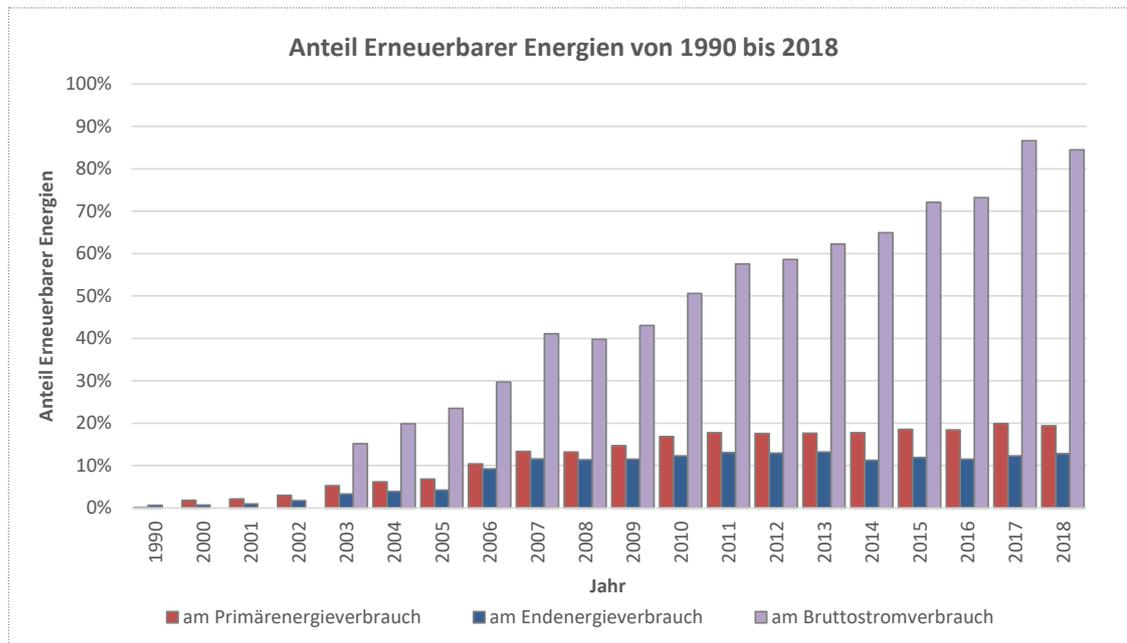


Abbildung 4: Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch, am Endenergieverbrauch und am Bruttostromverbrauch in Brandenburg von 1990 bis 2018

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 (inklusive Deponie- und Klärgas), Biogas, aerothermische und hydrothermische Energie, Meeresenergie und Geothermie. Dargestellt wird 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 Energie, die aus den primären Energieträgern erzeugt wird (Nutzenergien wie Strom oder Fernwärme) in Industrie, Verkehr, Haushalten und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (siehe Indikator Ü 3).

Der Bruttostromverbrauch (StrVbrutto) setzt sich zusammen aus der Bruttostromerzeugung und dem Austauschsaldo über die Landesgrenzen hinweg. In Brandenburg bedeutet dies Bruttostromerzeugung minus Stromexport. Der StrVbrutto umfasst im Unterschied zum Endenergieverbrauchsstrom auch den Eigenverbrauch der Kraftwerke und die Netzverluste.

In der Arbeitsgruppe (AG) der Länder „Energiebilanzen“ wird die Berechnung der Energiebilanzen methodisch abgestimmt. Die Berechnung von PEV, EEV und StrVbrutto sowie die Anteile der EE daran sind wesentliche Bestandteile der Energiebilanz. Die Bilanzerstellung im Land Brandenburg erfolgt durch das Amt für Statistik im Auftrag des Wirtschaftsministeriums nach den methodischen Vorgaben der AG Energiebilanzen. Der Anteil der EE am PEV, EEV und StrVbrutto erlauben bereits einen Rückschluss auf die Anpassungsleistung an den Klimawandel. Die Energiestrategie des Landes Brandenburg geht darüber hinaus. Weitere Berechnungen fließen in das Monitoring des Landes ein.

Datenquelle:

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB)

Hinweise zur Interpretation:

Die Teilindikatoren sind normiert. Bei einer länderübergreifenden Interpretation sind die Unterschiede bei den naturräumlichen Randbedingungen zur Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien (zum Beispiel 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. Beim Anteil der EE am Endenergieverbrauch werden in den Energiebilanzen nur die thermischen Anwendungen der EE bilanziert (zum Beispiel Holzheizung) und beim Anteil der EE am Stromverbrauch die elektrischen Anwendungen (zum Beispiel 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 am StrVbrutto zu fokussieren.

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

siehe Definition und Berechnungsverfahren

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 (zum Beispiel im Grundwasser) ab.

Durch den Klimawandel, also durch erhöhte Temperaturen, verstärkte Verdunstung sowie Verschiebungen der Sommerniederschläge hin zu den Wintermonaten, ist eine Veränderung des Abflussverhaltens 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 Winter-niederschläge 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 höherem Abfluss 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 unbedingt mit häufigeren Niedrigwasserereignissen korreliert.

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Momentan werden die Definition und das Berechnungsverfahren überarbeitet.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

W-2 Gewässertemperatur

Grafik:

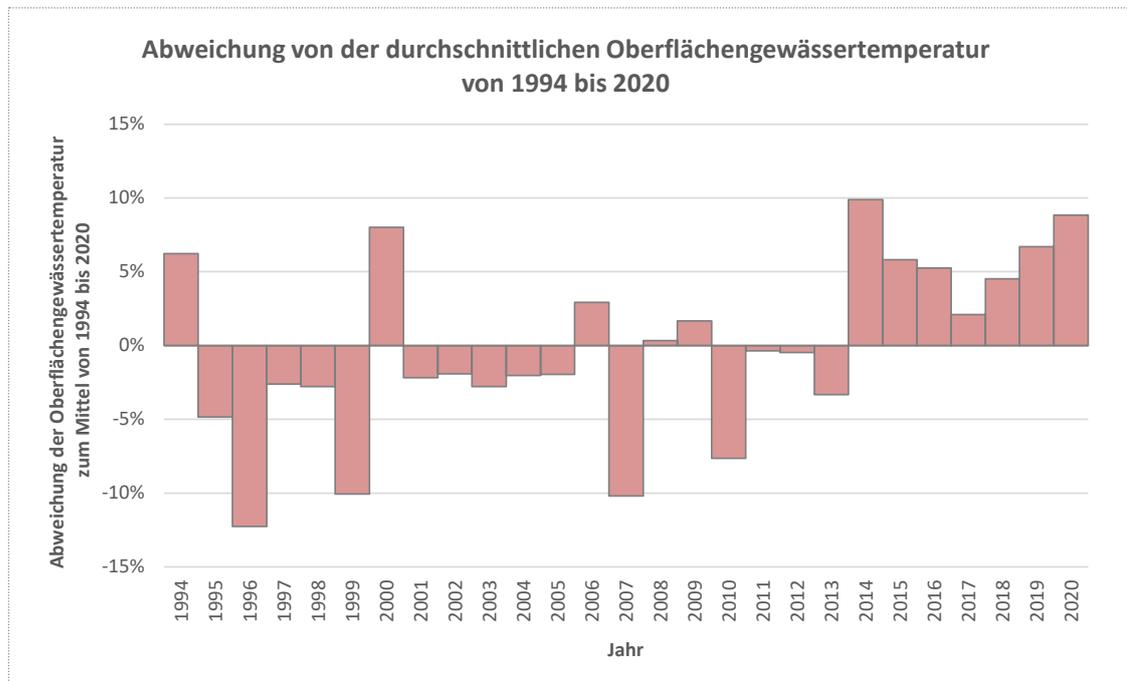


Abbildung 5: Abweichung von der durchschnittlichen Oberflächengewässertemperatur der Elbe, der Havel, der Oder und der Neiße in Brandenburg vom Mittel der Jahre 1994 bis 2020 in Prozent (%)

Bedeutung:

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

Die Abflussbildung im Quellbereich ist einer der Hauptfaktoren, der die Gewässertemperatur von Fließgewässern beeinflusst. Im Quellbereich wird die Wassertemperatur durch die dominierenden Abflussverhältnisse gesteuert. In niederschlagsarmen Zeiten entspricht die Wassertemperatur daher näherungsweise der Grundwassertemperatur, also etwa dem langjährigen Mittel der Lufttemperatur. Durch die Erhöhung der Lufttemperatur durch den Klimawandel erhöht sich daher auch die Gewässertemperatur. Zudem hängt die Temperatur der Fließgewässer von

den Wärmeaustauschprozessen zwischen Luft und Wasser ab. Beispielsweise können starke Sonneneinstrahlung und zugleich geringer Sonnenschutz durch Ufervegetation zu starker Erwärmung von Gewässern 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, was die Atmung einiger Tierarten erschweren kann. Einige Fischarten wie zum Beispiel 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 bis 21 Grad Celsius Wassertemperatur fressen Regenbogenforellen weniger, ab 23 Grad Celsius gar nicht mehr, ab 24 Grad Celsius 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 sind daher unerlässlich. Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkung des Klimawandels auf die Gewässergüte im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Dargestellt ist die jährliche Abweichung der mittleren Oberflächengewässertemperatur der Elbe (Messstelle Cumlosen), Havel (Messstelle: Humboldtbrücke), Oder (Messstelle Frankfurt Oder) und Neiße (Messstelle Ratzdorf) zum Mittel des Zeitraums von 1994 bis 2020.

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 5. Januar 2007 und dem 1. Februar 2009 aufgrund von Bauarbeiten.

W-3 Grundwasserneubildung

Grafik:

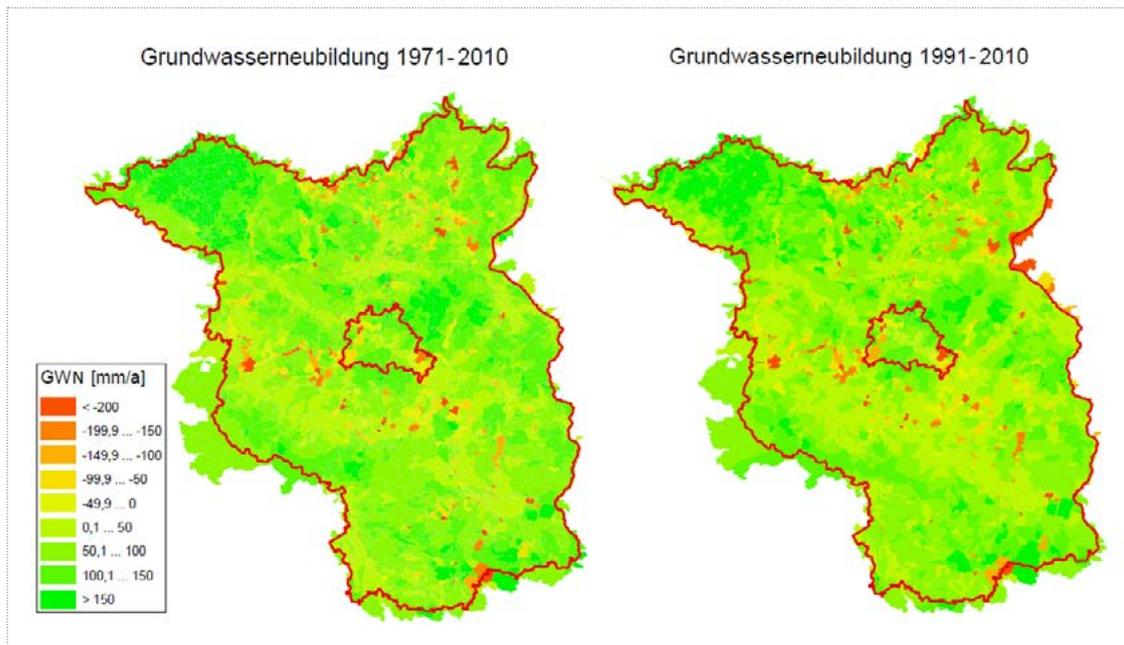


Abbildung 6: Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 1971 bis 2010 im Vergleich zum Zeitraum von 1991 bis 2010 in Brandenburg

Bedeutung:

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

Die im Klimawandel erwarteten erhöhten Winterniederschlagsmengen führen zu höheren Sickerwasserraten im Boden und somit zu einer erhöhten Stoffverlagerung (von zum

Beispiel 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 Vernässung kommen. Andererseits wird durch einen erhöhten Grundwasserstand eine höhere Wasserspeicherung erzielt, sodass in ergiebigen Grundwasserleitern 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 eventuell ein Trockenfallen von Fassungsanlagen (Brunnen und Quellen) bewirkt wird, die im oberen Grundwasserstockwerk ausgebaut sind. In diesen Gebieten müsste dann auf tiefere Grundwasserstockwerke oder Verbundsysteme zurückgegriffen werden.

Mit abnehmender GWN ist in der Regel auch eine Zunahme der Stoffkonzentrationen verbunden (zum Beispiel von Nitrat).

Für den Jahresniederschlag wird keine 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 erwarten 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 oder trocken) auch in mehrfacher Abfolge zukünftig häufiger auftreten könnten als bisher.

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkung des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung 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)

Die GWN wird flächendeckend in Abhängigkeit von klimatischen Faktoren und der Beschaffenheit der Landoberfläche (Boden, Pflanzen) berechnet. Dafür 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 (unter anderem grundwasserfern oder grundwassernah, Wechselwirkung zu Oberflächengewässern) müssen neben der Perkolation (Sickerwasserrate) als maßgeblicher Größe zum Beispiel die Zehrung, kapillarer Aufstieg, GW-Entnahmen und der Zwischenabfluss berücksichtigt werden.

Für die Modellierung wurde das ökohydrologische Modellierungssystem ArcEGMO verwendet.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

Hinweise zur Interpretation:

Die Grundwasserbereiche, die über die Landesgrenze hinausgehen, sind oberirdische Teileinzugsgebiete, die für die Modellierung mitberücksichtigt werden, da sie nach Brandenburg entwässern.

W-4 Grundwasserzustand

W-4.1 Grundwasserstand Seen

Grafik:

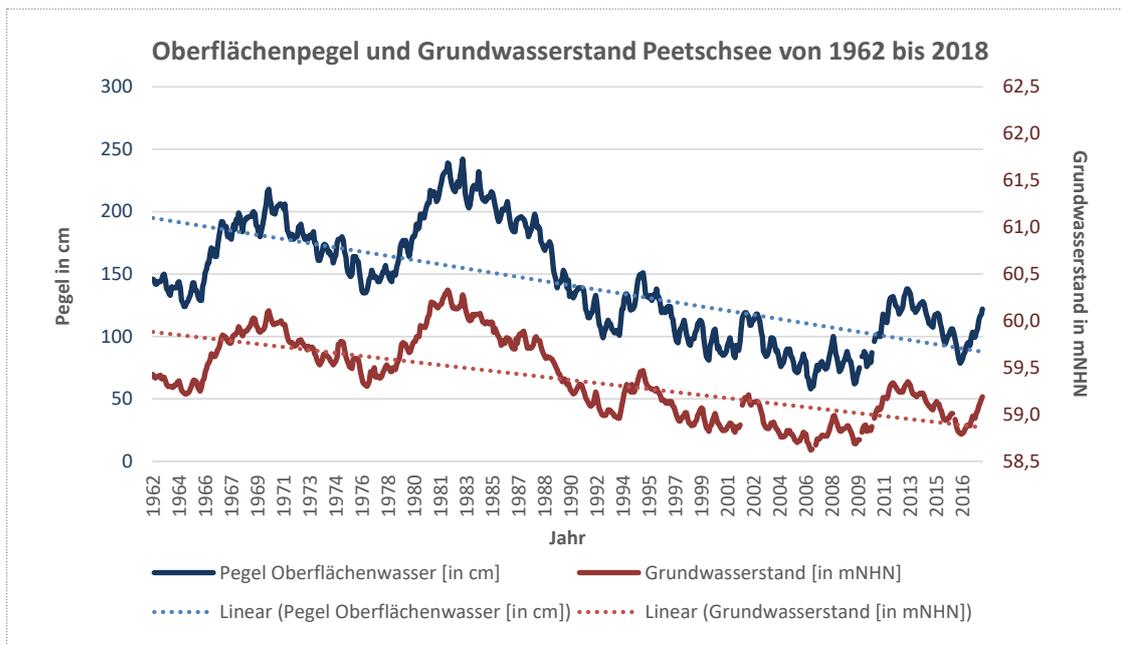


Abbildung 7: Höhe des Oberflächenpegels und des Grundwasserstandes des ausschließlich grundwasserbeeinflussten Peetschsees bei Steinförde im Zeitraum von 1962 bis 2018

Bedeutung:

Das Trinkwasser in Brandenburg wird zu mehr als 94 % aus Grundwasser gewonnen. Aus dem Grundwasser werden viele Oberflächengewässer gespeist und viele Feuchtgebiete verdanken ihre Existenz einem oberflächennahen Grundwasserstand. Damit bilden sowohl der Schutz, als auch die Überwachung der Grundwasserressourcen eine wichtige Grundlage für eine nachhaltige Trinkwasserversorgung, 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 hinausgehende Nutzung von Grundwasserkörpern führt langfristig zu niedrigeren Grundwasserspiegeln. Dies gilt insbesondere bei kleinen Grundwasserkörpern. Die natürliche Grundwasserneubildung (GWN) und der Grundwasserstand sind abhängig von verschiedenen Faktoren und zeigen in der Regel jahreszeitliche Schwankungen, die oft von mehrjährigen Fluktuationen überlagert werden. Zu diesen Faktoren gehören zum Beispiel 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 die 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 reagiert Grundwasser langfristig auf die Verschiebung von Niederschlagsmengen, wodurch zum Beispiel 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 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, oder 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 natürlichen Schwankungen aus.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

W-4 Grundwasserzustand

W-4.2 Mengenmäßiger Grundwasserzustand

Grafik:

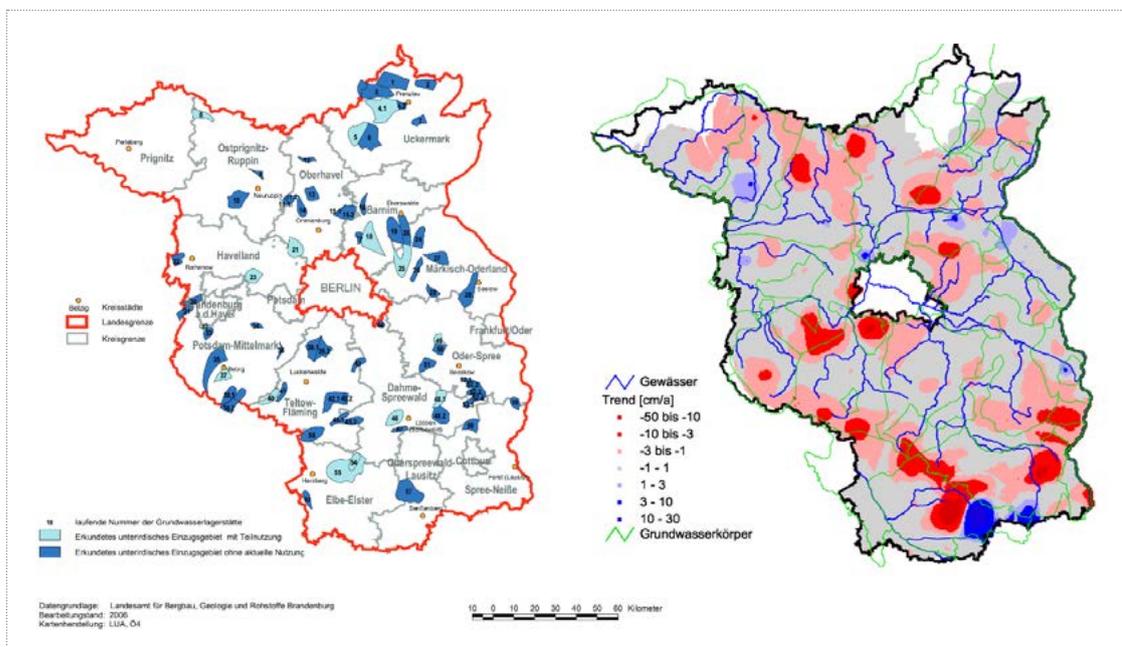


Abbildung 8: (Links) Ungenutzte und teilgenutzte Grundwasservorräte in Brandenburg, Wasserversorgungsplan 2009 Brandenburg, Stand: 2006. (Rechts) Trend der Veränderung der Grundwasserstände (in cm pro Jahr) in Brandenburg von 1976 bis 2013

Bedeutung:

Ein ausreichendes Grundwasserdargebot ist Voraussetzung für die Trinkwasserversorgung, die Landwirtschaft und für Ökosysteme. Für die Versorgung des Bundeslandes Brandenburg steht ein erkundetes Grundwasserdargebot für die Trinkwassergewinnung von über 2 Millionen m³ pro Tag (d) zur Verfügung. Davon sind 640.200 m³/d ungenutzte und teilgenutzte Vorräte (maximal 10 % Nutzung). Circa 160.000 m³/d entsprechen dem teilgenutzten Grundwasservorrat. Damit können die etwa 2,5 Millionen Einwohner Brandenburgs für absehbare Zeit sicher mit Wasser 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 beziehungsweise erhöhte Zehrung wurde 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 zu höheren Evapotranspirationsraten. In Zukunft muss auch mit veränderten Niederschlagsverhältnissen, trockeneren Sommern 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 Sechzigerjahren mit großräumig angelegten

Grundwasservorratsprognosen geschaffen, wie zum Beispiel die Untersuchungsberichte zum 'Eberswalder Urstromtal' und dem '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 Brandenburg mit Vorratsnachweisen auf der Basis von hydrogeologischen Detailerkundungen erarbeitet worden. Nach 1990 ist diese systematische Bearbeitung hydrogeologischer Erkundungen nur noch lokal bei entsprechendem Erfordernis (zum Beispiel 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 dem Sachstandbericht 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 auf die Menge des Grundwasserspeichers 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:

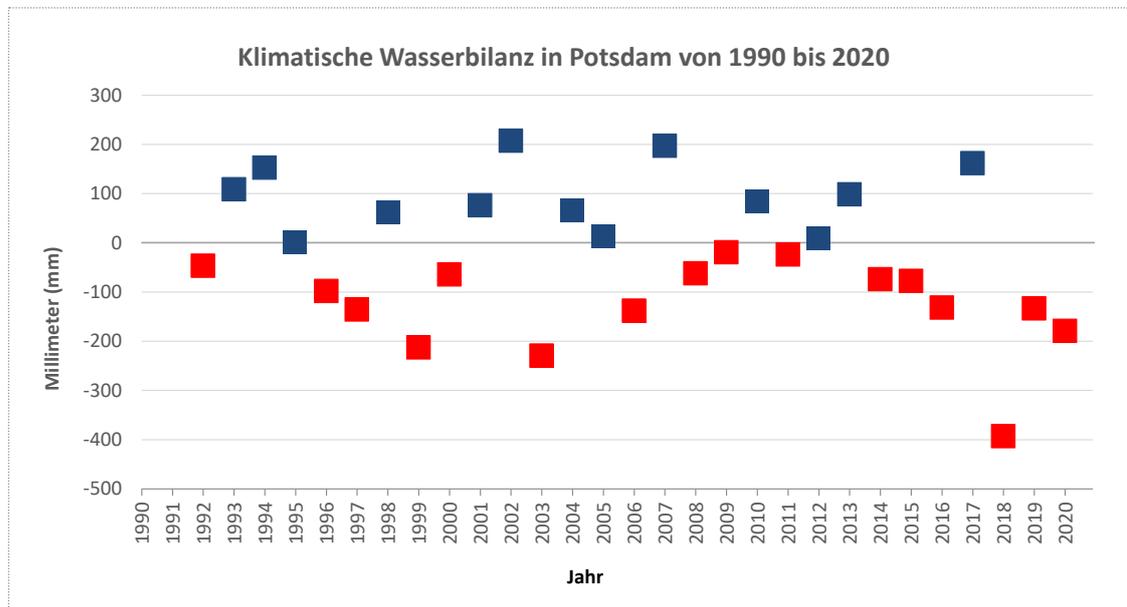


Abbildung 9: Klimatische Wasserbilanz an der Klimamessstation in Potsdam in Millimeter pro Jahr (mm/Jahr) von 1990 bis 2020. Überschussjahre in Blau, defizitäre Jahre in Rot.

Bedeutung:

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

Bei einer Temperaturzunahme in Folge der Klimaerwärmung wird die Verdunstung erhöht und die Atmosphäre kann einen höheren Wasserdampfgehalt aufnehmen (circa 7 % bei einer Temperaturerhöhung von 1 Grad Celsius). Da Wasserdampf ein „natürliches Treibhausgas“ ist, wird durch diese Rückkopplung der Treibhauseffekt verstärkt.

Dieser Indikator verdeutlicht die Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt

beziehungsweise die klimatische Wasserbilanz im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Die klimatische Wasserbilanz ist die Differenz aus der Niederschlagshöhe und der Höhe der potenziellen Verdunstung über Gras. Jahre mit positiver klimatischer Wasserbilanz sind Überschussjahre, es fällt mehr Niederschlag als durch Verdunstung abgegeben wird. Dagegen kennzeichnet eine negative klimatische Wasserbilanz defizitäre Jahre. Die Werte wurden nach ATV-DVWK (2002) aus tageweise korrigierten Niederschlagshöhen und der Gras-Referenzverdunstung nach Wendling der Klimastation Potsdam berechnet.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), berechnet aus Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

W-6 Retentionsräume

Grafik:

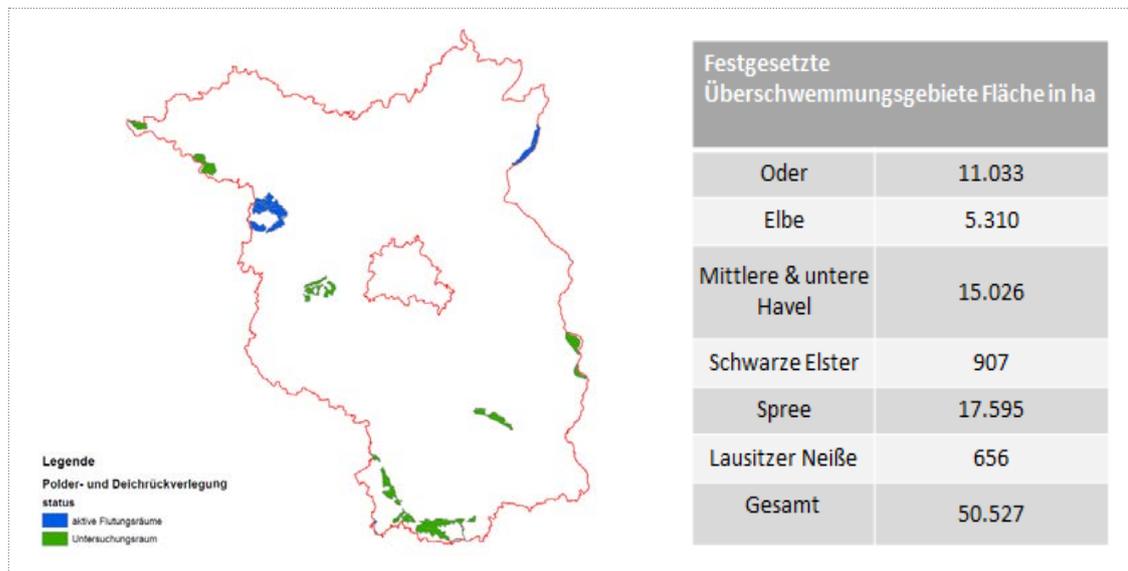


Abbildung 10: Aktive Flutungsräume und Untersuchungsgebiete für mögliche weitere Flutungsräume, Stand: 2017. Tabelle rechts: Festgesetzte Überschwemmungsflächen im Land Brandenburg, inklusive deichgeschützte Flächen, Polder und Vorlandflächen in Hektar (ha), Stand: 2004

Bedeutung:

Retentionsräume sind an Flüssen und Seen angrenzende Flächen, auf denen sich bei Hochwasser das Wasser ausbreiten und sammeln kann. Die Überflutung von Überschwemmungsflächen bewirkt die Verringerung, Hemmung und Verzögerung des Abflussprozesses in den Fließgewässern und ihren Überschwemmungsgebieten (Gewässerretention) und Einzugsgebieten (Gebietsretention). Das Retentionsvermögen ist die Fähigkeit eines Fließgewässerabschnittes, eines Überschwemmungsgebietes oder eines Einzugsgebietes, Wasser zurückzuhalten. Dadurch wird auch zum Bodenschutz und insbesondere zur Grundwasseranreicherung durch die langsame Versickerung beigetragen. Retentionsräume bieten besondere Lebensräume (zum Beispiel Auwälder), die eine große ökologische Vielfalt aufweisen.

Bei einem hohen Retentionsvermögen eines Einzugsgebietes wird der Abfluss, der sich

aus dem Niederschlag ergibt, maximal verzögert. Niederschlagsabhängige Abflussspitzen können hierüber gesenkt und der Rückhalt fester und gelöster Stoffe in der Fläche erhöht werden. Auch die Wasserbereitstellung erfolgt bei hohem Retentionsvermögen kontinuierlicher, was Niedrigwassersituationen in Gewässern entschärfen kann. Hierzu trägt nicht nur die Wasserspeicherung im Boden und der Vegetation des Einzugsgebietes bei, sondern auch die Rückgewinnung von verdunstetem Wasser durch den "kleinräumigen Wasserkreislauf" (Kondensation als Folge der Verdunstungskühle). Eine hohe Retentionsfunktion der Landschaft ist somit gleichzusetzen mit einer maximalen Verweilzeit des Wassers und der darin gelösten 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 mit dem Retentionsvermögen.

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 und der vorsorgenden Nutzung und Gestaltung des Gewässerumfeldes mehr Fläche gelassen werden muss. Ziel ist es, abflusserhöhende und abflussbeschleunigte Maßnahmen zu verhindern und bereits eingetretene negative Effekte weitestgehend rückgängig zu machen. Vordringlich sind die Erhaltung und Vergrößerung der vorhandenen Überschwemmungsgebiete und die Rückgewinnung ehemaliger Überschwemmungsflächen anzustreben.

Als Hochwasserretentionsräume können die nach § 100 Absatz 2 Satz 1 des Brandenburgischen Wassergesetzes (BbgWG) festgesetzten Überschwemmungsgebiete bezeichnet werden. Dies sind Gebiete, die bei einem Hochwasserereignis mit einer statistischen Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren (HQ100) natürlicherweise, also ohne menschliches Zutun, überschwemmt werden (siehe 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 (siehe 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 verstärkt gerechnet werden muss. Durch den

drastischen Rückgang der natürlichen Retentionsräume in den Einzugsgebieten der Flüsse hat sich das zeitliche Auftreten von Hochwasser 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 beispielsweise die Hochwasserereignisse 2002 und 2013 an der Elbe zeigen.

Eine wichtige Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel 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 werden. Die Tabelle zeigt die nach § 100 Absatz 2 Satz 1 des BbgWG festgesetzten Überschwemmungsgebiete bis zum Jahr 2004. Es handelt sich dabei um die Gebiete, die von einem Jahrhunderthochwasser (HQ100) natürlicherweise, also ohne menschliches Zutun, überschwemmt werden.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)

Bodenindikatoren

B-1 CO₂-Freisetzung aus Moorböden

B-2 Bodenwassergehalt

B-3 Bodenerosionsgefährdung durch Wasser

B-4 Dauergrünlandflächen

B-5 Lumbriciden (Regenwürmer)

B-1 CO₂-Freisetzung aus Moorböden

Grafik:

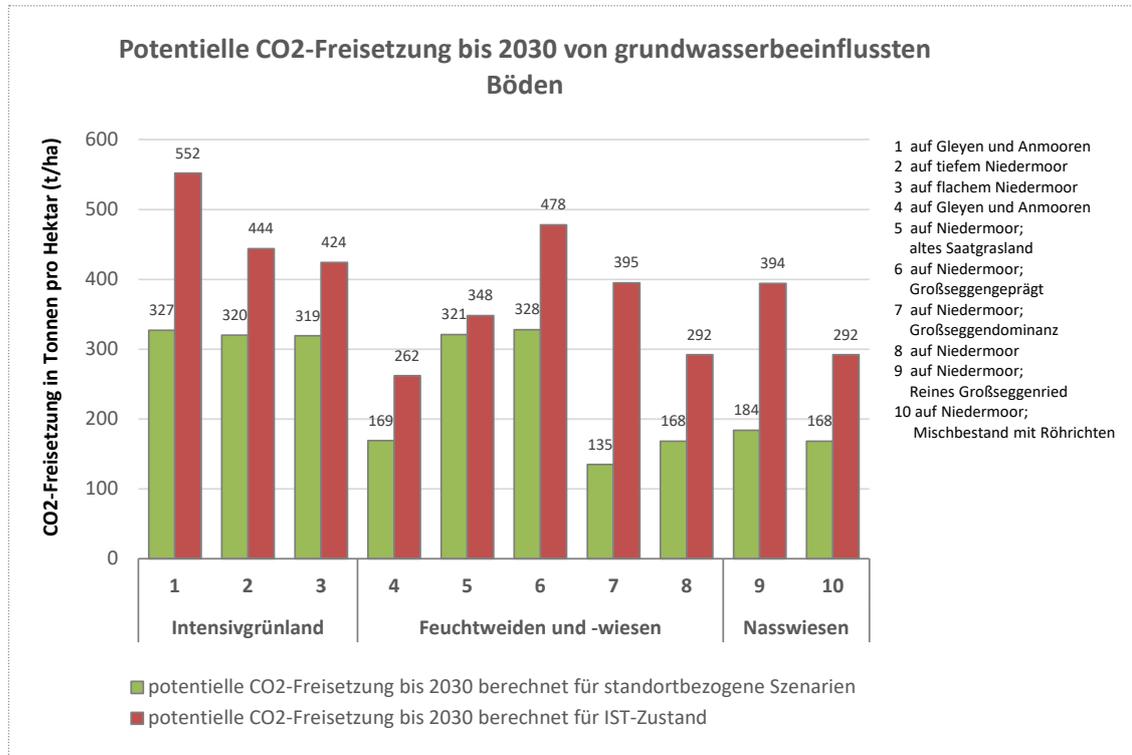


Abbildung 11: Potentielle CO₂-Freisetzung von grundwasserbeeinflussten Böden in Brandenburg bis 2030 auf unterschiedlich genutzten Standorten. Die potentielle CO₂-Freisetzung wird mit den aktuellen Bedingungen (IST-Zustand) und prognostizierten Veränderungen an den Standorten Intensivgrünland, Feuchtweiden und -wiesen und Nasswiesen dargestellt

Bedeutung:

Moorböden sind Kohlenstoffspeicher, die im Hinblick auf den Klimawandel eine große Relevanz haben. Um Moorböden landwirtschaftlich bewirtschaften zu können müssen sie in der Regel entwässert werden. Während dieser Entwässerung kommt es zu irreversiblen Veränderungen, die sich nachteilig auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken können, da zum Beispiel die Speicher- und Regulationsfunktion für Kohlenstoff und Wasser des Bodens verloren gehen kann.

Moore binden im Zuge Ihrer Entstehung aufgrund anhaltender Sauerstoffarmut hohe Mengen organischer Substanz. Bei Gehalten von über 30 % organischer Substanz, wer-

den diese Ablagerungen als Torf bezeichnet, welcher Moorböden definiert. Häufig sind diese Kohlenstoffspeicher mehrere Meter mächtig. In Brandenburg bedecken hydromorphe, also grundwasserbeeinflusste Böden, insgesamt 44 % der Landesfläche. Sie werden größtenteils zum Anbau von Futtergräsern zur Erzeugung von Milch und Fleisch genutzt.

Regionale Klimaprojektionen für Brandenburg heben die Bedeutung dieser Böden aufgrund ihrer regulativen Eigenschaft im Kohlenstoff- und Wasserhaushalt hervor. Besonders betroffen werden Moorböden durch prognostizierte Wechsel der Bodenfeuchtigkeit durch Starkregenereignisse und Trockenperioden während der Vegeta-

tionsperiode. Dies kann in Verbindung mit steigenden Jahresmitteltemperaturen zu verstärkten Umsetzungs- und Mineralisierungsprozessen der organischen Bodensubstanz führen und zur Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂).

Jegliche traditionelle Landnutzung hydromorpher Böden erfordert eine mehr oder weniger starke Entwässerung. Als Folge der damit verbundenen Mineralisierung der organischen Substanz wird Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt. Des Weiteren führt die Entwässerung zu einer Sackung und Schrumpfung der ursprünglich sehr locker gelagerten Torfe und damit zu Höhenverlusten und zur Verdichtung. Dadurch gehen wichtige chemische und physikalische Bodeneigenschaften verloren.

Ausschlaggebend für die CO₂-Emissionen aus der organischen Substanz grundwasserbeeinflusster Böden sind zum einen die Grundwasserabsenkungen und zum anderen die stark schwankenden Grundwasserstände. Unter diesen Bedingungen können sich die Umsetzungsprozesse durch die mikrobielle Aktivität erhöhen, was wiederum zu Kohlendioxid-Emissionen führt.

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

Definition und Berechnungsverfahren:

Gegenübergestellt sind die CO₂-Freisetzungspotentiale bis 2030 der zehn untersuchten Standort-Nutzungsgruppen unter aktuellen und fiktiven Wasserverhältnissen. Der mittlere Sommergrundwasserstand liegt in den Szenarien für Intensivgrünland bei 40 cm, für Feuchtwiesen und –wiesen bei 30 cm und für Nasswiesen bei 20 cm unter der Erdoberfläche. 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. Kombiniert mit errechneten Wertschöpfungsketten konnten nachhaltige Anpassungsstrategien definiert werden. Als Ergebnis liegt die Informationsplattform www.hydbos.de vor. 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 hohe Sensitivität 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. Rangsorf: Natur & Text Verlag.

B-2 Bodenwassergehalt

Grafik:

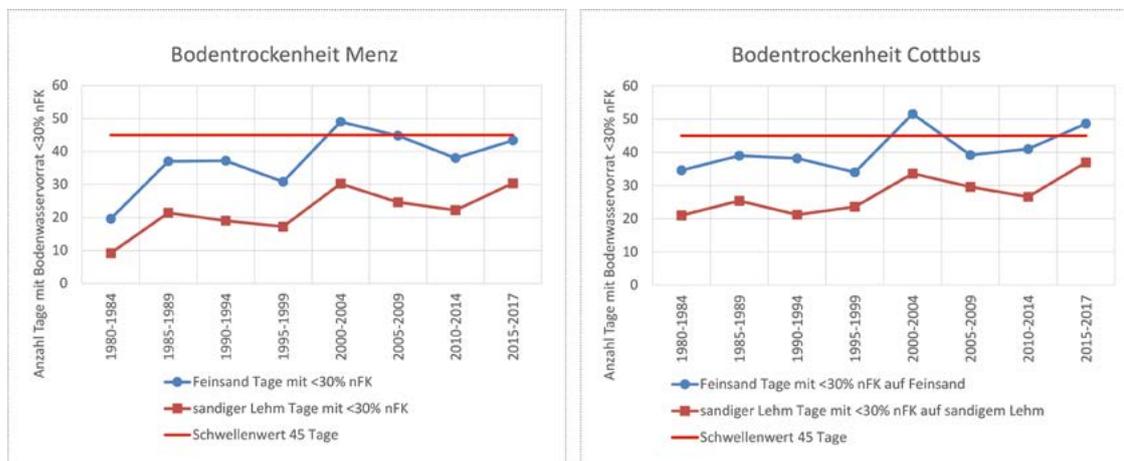


Abbildung 12: Kritische Frühjahrs­trockenheit für Winterroggen. Dargestellt ist die Anzahl der Tage mit Unterschreitungen des kritischen Bodenwassergehaltes (Schwellenwert < 30% nFK an 45 Tagen, rote Linie) für den Standort Menz und Cottbus auf Feinsand und sandigem Lehm in 5-Jahres-Abschnitten im Zeitraum 1980 bis 2014 und im 3-Jahres-Abschnitt von 2015 bis 2017

Bedeutung:

Veränderungen von Niederschlagsverhältnissen und der Lufttemperatur wirken sich direkt auf den Wasser- und Stoffhaushalt des Bodens aus. Bodenwassergehalt, 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 in Kombination mit geringen Niederschlägen führen zu einem erhöhten Wasserbedarf der Pflanzen. Eine Abnahme der Bodenfeuchte kann insbesondere für Pflanzen im Aufwuchsstadium problematisch sein, da Schäden an der Vegetation entstehen können und der Trockenstress in der Landwirtschaft zu Ernteeinbußen führen kann. Da viele brandenburgische Böden stark sandgeprägt sind und diese eine geringe Feldkapazität besitzen, ist das Risiko für Bodentrockenheit in Brandenburg besonders ausgeprägt.

Jahreszeitliche Verlagerungen der Niederschlagsverhältnisse können eine Abnahme der Sickerwassermengen im Sommer und eine Zunahme im Winter bewirken. Zu den Folgen zählen veränderte Stoffverlagerungsprozesse, die zum Beispiel die Nitratmobilisierung und Nitratverlagerung 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, eine Verringerung des Humusgehaltes und eine höhere Verdichtung der Böden bewirken.

Der Indikator zeigt die kritische Frühjahrs­trockenheit (April, Mai, Juni) für Winterroggen. Winterroggen wird als Indikatorpflanze ausgewählt, da er aufgrund seiner geringeren Ansprüche an den Standort und das Klima auf leichten Standorten als ertragsstärkste Getreideart gilt. Winterroggen ist in Brandenburg eine der wichtigsten angebauten Fruchtarten und besitzt daher eine große Flä-

chenrelevanz. Aufgrund seiner relativ hohen Trockentoleranz ist Winterroggen bei zunehmender Trockenheit nicht leicht durch andere Getreidearten zu ersetzen.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwassergehalt von Ackerflächen im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator Bodenwasser bildet die kritische Frühjahrstrockenheit für Winterroggen auf grundwasserfernen Ackerstandorten auf Sand und sandigem Lehm an den Standorten Menz und Cottbus ab. Er bezieht sich auf Böden ohne seitliche Ab- und Zuflüsse und ohne Bodenartenwechsel und erfordert leicht zugängliche Eingabedaten von Klimamessstationen. 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.

Unter Frühjahrstrockenheit wird ein Zeitraum verstanden, in dem aufgrund fehlender Niederschläge der Bodenwasservorrat abnimmt und gegebenenfalls 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 sein werden 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 Pflanzen unter den gegebenen Standortbedingungen in einer entscheidenden Entwicklungspha-

se in Wasserstress geraten. Beim Auftreten mehrerer aufeinander folgender Tage mit Unterschreiten beziehungsweise Erreichen des kritischen Bodenwassergehaltes ist eine Verstärkung des Trockenstresses der Pflanzen zu erwarten. Ausgehend davon, dass bei Unterschreiten des Bodenwassergehaltes von 30 % die Photosyntheseleistung der Pflanzen stark zurückgeht, ist der Schwellenwert auf 45 Tage gelegt worden (rote Linie).

Der Indikator stellt die Anzahl der Tage mit kritischer Frühjahrstrockenheit in den Monaten April bis Juni dar. Es werden die 31-jährigen gleitenden Mittel basierend auf der Methodik der Gauß'schen Tiefpassfilterung verwendet, bei der die Jahre, die sich am nächsten an dem zu berechnendem Jahr für die Mittelwertbildung befinden, stärker gewichtet werden. Die Werte der Frühjahrstrockenheit basieren auf Berechnungen des in der Praxis erprobten SVAT-Modells (Soil-Vegetation-Atmosphäre-Transfer) AMBAV (Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung). Das Modell AMBAV benutzt die klassische Penman-Monteith-Gleichung (Berechnung der potentiellen Verdunstung) als Modellbasis und wird routinemäßig in der agrarmeteorologischen Beratung eingesetzt (zum Beispiel Berechnungsberatung).

Datenquelle:

Schultz-Sternberg, R., Probst, R. (2018): Brandenburg spezifische Boden-Indikatoren für ein Klimamonitoring – Fortführung der Zeitreihe bis 2016 sowie Weiterentwicklung und Prüfung der Indikatoren. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

B-3 Bodenerosionsgefährdung durch Wasser

Grafik:

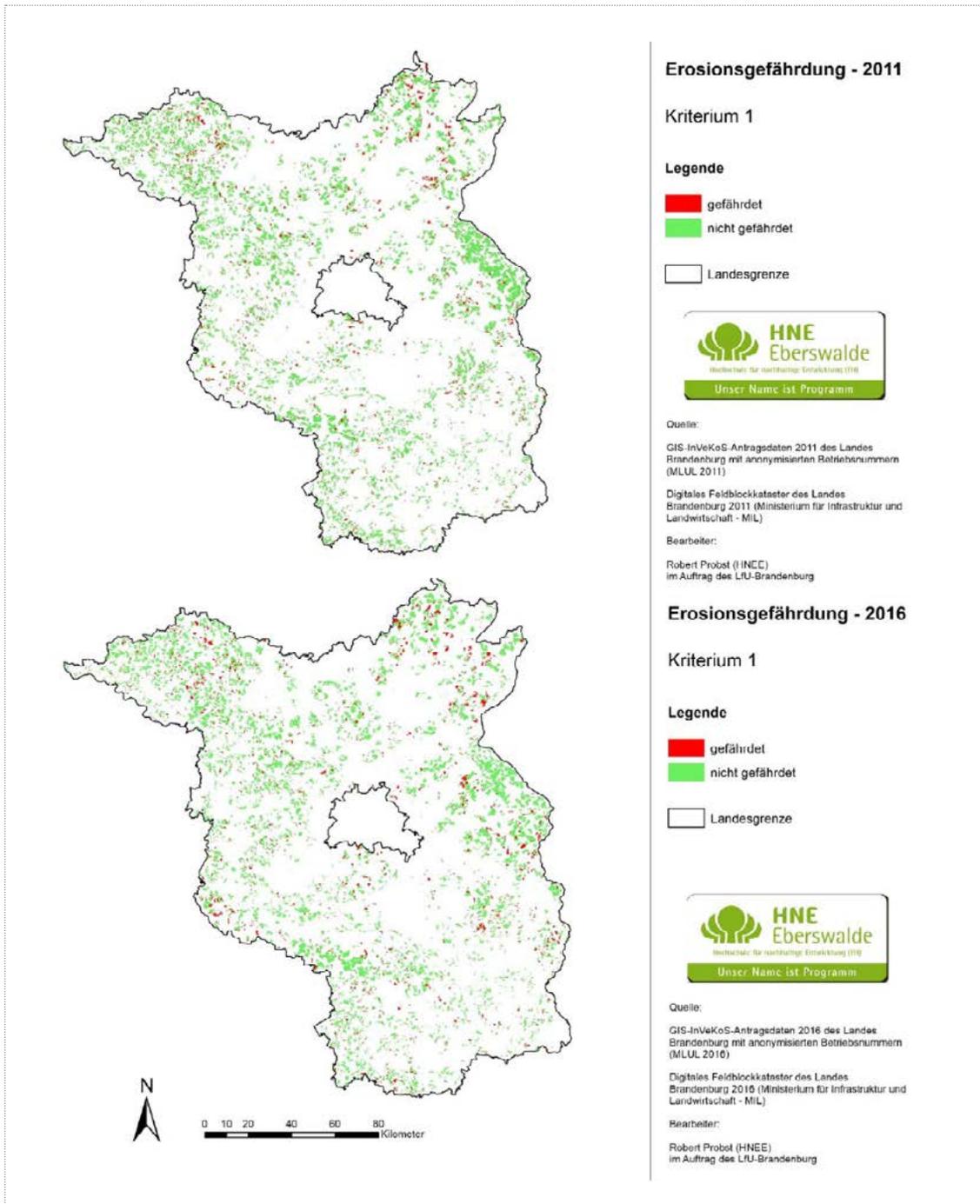


Abbildung 13: Bodenerosionsgefährdung 2011 und 2016 durch Wasser am Beispiel potentiell erosionsgefährdeter Maisanbauflächen

Bedeutung:

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

Der Anbau von Mais, aber auch von Zuckerrübe, erhöht die Erosionsgefährdung des Bodens, da diese Pflanzen erst spät eine geschlossene Pflanzendecke ausbilden, die vor Starkregenereignissen schützen kann. Unzureichende Bodenbedeckung beziehungsweise große Abstände zwischen den Pflanzen bilden einen unzureichenden Schutz vor Bodenabtrag. Mais kann daher als Indikatorpflanze für potentielle Bodenerosionsgefährdung herangezogen werden.

Eine Verringerung der konventionellen Anbauflächen von Mais bedeutet eine Verminderung der potentiellen Gefährdung durch Erosion und stellt somit eine Anpassungsleistung an die Folgen des Klimawandels dar.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator zeigt die potentiell wassererosionsgefährdeten Anbauflächen und deren ackerbauliche Nutzung. Eine Erosionsgefährdung der Böden von Grünland und Wald

kann als vernachlässigbar angesehen werden. Der Indikator zeigt die Flächen in Prozent in Brandenburg, welche nach Kriterium 1 (geringe Gefährdung; Kriterium 2 = stärkere Gefährdung) nicht oder schwach von Bodenerosion gefährdet sind.

Es wurde ermittelt inwieweit Mais auf potentiell wassererosionsgefährdeten Standorten angebaut wird und die Art des Anbaus an die Veränderungen des Klimas angepasst wird. Die Einstufung der potentiellen (natürlichen) Erosionsgefährdung geschieht dabei nach 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 stark erosionsgefährdet eingestuft werden kann. Durch seine späte Entwicklung im Frühjahr und seinen späten Bestandsschluss macht Mais den Boden anfälliger gegenüber Niederschlägen. Dies zeigt sich im Kohlenstofffaktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG), welcher mit etwa +/- 0,33 (Periode 1971 bis 2011) deutlich höher ist als der Faktor anderer verbreiteter Nutzpflanzen (zum Beispiel Roggen +/- 0,1, im Nordostdeutschen Tiefland). 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 steigend sein wird. Gründe hierfür sind die steigende Nutzung als Biomasse für die Energiegewinnung/-erzeugung und die steigende Nutzung als Futtermittel.

Datenquelle:

Digitales Feldblockkataster des Landes Brandenburg 2016 (Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft – MIL), Maisanbauflächen: GIS-InVeKos-Antragsdate 2016 (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem), An-



baudaten durch das Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung LELF, GIS-Daten zu den Feldblöcken, Landesamt für Umwelt LfU Brandenburg beziehungsweise Landesbetrieb Geobasisdaten Brandenburg, LGB.Schultz-Sternberg, R., Probst, R. (2018): Brandenburg spezifische Boden-Indikatoren für ein Klimamonitoring – Fortführung der Zeitreihe bis 2016 sowie Weiterentwicklung und Prüfung der Indikatoren. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

Hinweise zur Interpretation:

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

B-4 Dauergrünlandflächen

Grafik:

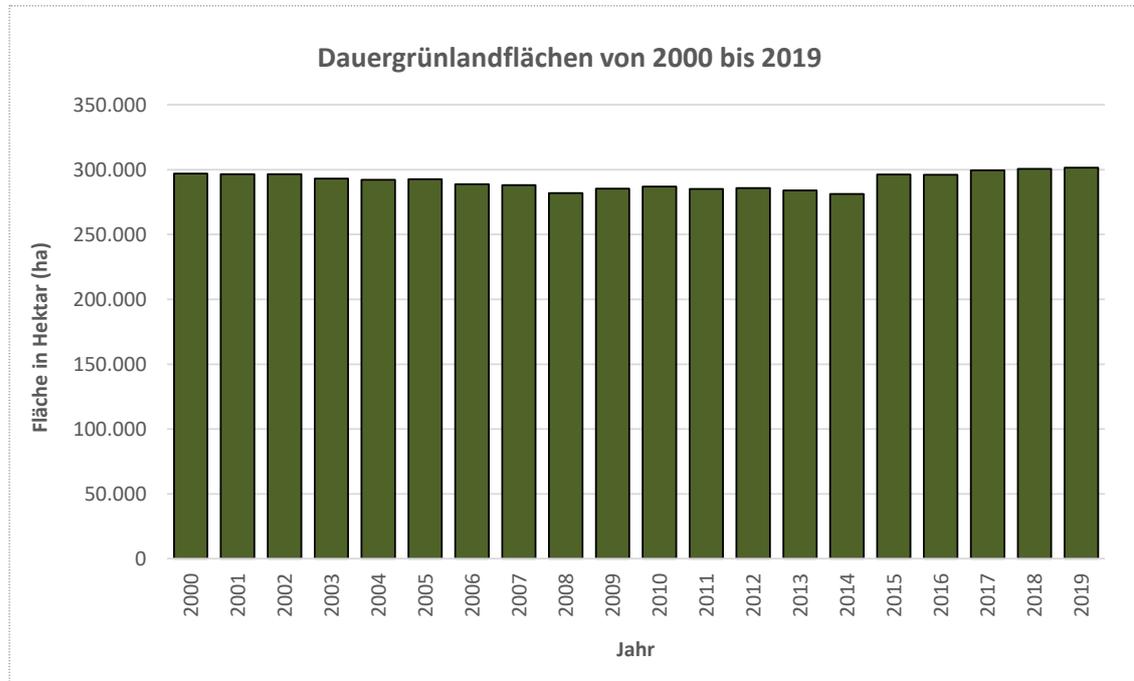


Abbildung 14: Dauergrünlandfläche (in Hektar) in Brandenburg von 2000 bis 2019

Bedeutung:

Als Dauergrünland werden Flächen bezeichnet, die durch ihre Wasserstufe, ihren Steingehalt, ihre Hangneigung, ihre Ertragskraft et cetera permanent als Grünland genutzt und kaum durch Bodenbearbeitungen beziehungsweise Einsaaten verändert werden. 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 frei von Gehölzen beziehungsweise Wald bleiben. In der Regel werden die Dauergrünlandflächen zur Biomassegewinnung, als Futter, zur Energiegewinnung (als Einsatzstoff für Biogasanlagen oder als Brennstoff) und als Einstreu für die Tierhaltung verwendet.

Global werden die Treibhausgasemissionen, die durch Landnutzungsänderungen entstehen, hauptsächlich durch die Abholzung von Wäldern verursacht. In Deutschland werden die Treibhausgasemissionen, die durch Landnutzungsänderungen entstehen, vor allem durch die Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung von Mooren, sowie durch die Umwandlung von Grünland in Ackerflächen verursacht.

Die Bedeutung von Grünland für den Klimaschutz liegt in seiner Rückhaltefunktion von Kohlenstoff. In nur 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (überwiegend Grünland) werden mehr als 35 % der gesamten Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlicher Böden gespeichert.

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 CO₂ freigesetzt (von Haaren et al., 2010). Hinzukommen kann dabei noch die Freisetzung des ebenfalls im Humus gespeicherten Stickstoffs, der gegebenenfalls erst zu Nitrat mineralisiert beziehungsweise teils direkt als Stickstoffoxid (NO_x) ausgeschieden wird, sowie von Lachgas (N₂O), einem Treibhausgas mit vielfach höherer Wirkung als CO₂. Umgekehrt wird bei einer Neuanlage von Grünland Kohlenstoff und Stickstoff wieder im Boden gebunden.

Die Freisetzung von CO₂ durch den Umbruch von Grünland ist auf organischen Böden besonders hoch. Die Erhaltung dieser Grünlandflächen ist daher 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-Gebiete) gilt für Dauergrünland ein striktes Umbruch- und Umwandlungsverbot.

Dieser Indikator stellt eine Maßnahme zum Klimaschutz und eine mögliche Anpassungsleistung an den Klimawandel dar.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator zeigt die Dauergrünlandflächen in ha in Brandenburg, 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 Berlin Brandenburg, April 2021

B-5 Regenwürmer (Lumbriciden)

Grafik:

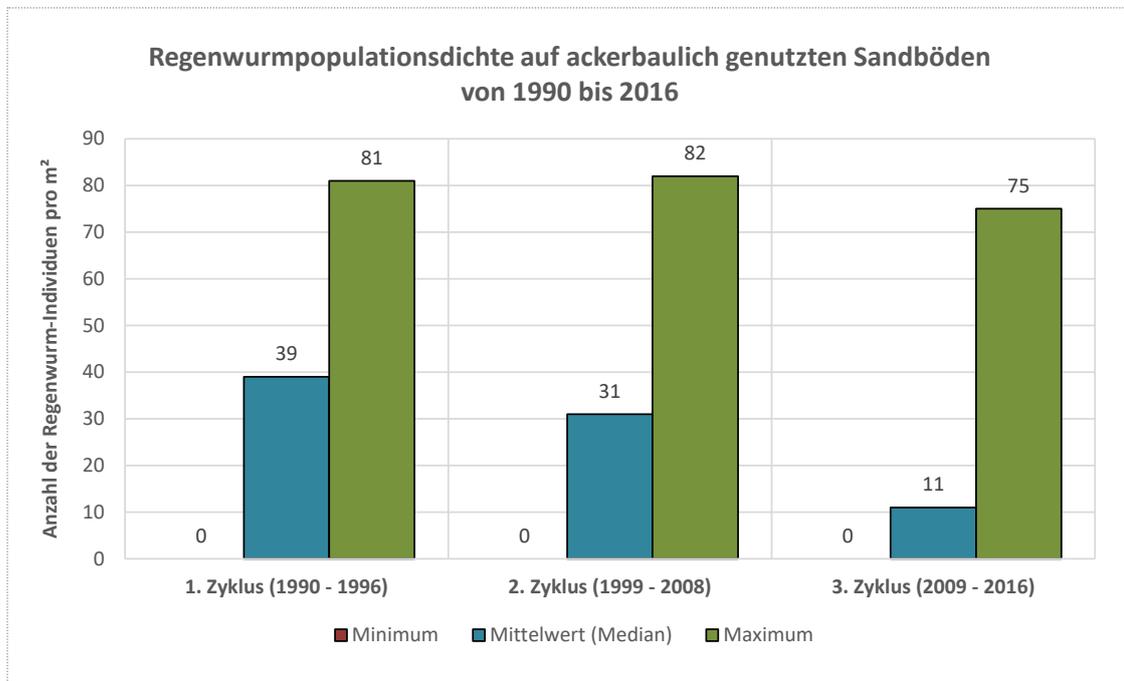


Abbildung 15: Regenwurmpopulationsdichte (Lumbricidenabundanz) auf ackerbaulich genutzten Sandböden in Brandenburg von 1990 bis 2016 für drei Beobachtungszyklen (1. Zyklus 1990 bis 1996, 2. Zyklus 1999 bis 2008, 3. Zyklus 2009 bis 2016)

Bedeutung:

Böden sind gepufferte Systeme, die sich unter dem Einfluss von Bodenbelastungen oft nur langsam verändern. Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) dienen dem Ziel 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. Lebende Organismen (biotische Systeme) reagieren auf Umweltveränderungen oft schneller als die unbelebte Umwelt (abiotische Systeme). Bodenorganismen und Bodenvegetation spielen deshalb eine wichtige Rolle als Indikatoren des Klimawandels. Regenwürmer (Lumbriciden) sind Primärzersetzer im Boden und haben daher eine wichtige Funktion im Kohlenstoffkreislauf und vor allem in der Humusbildung. Besonders

interessant ist das Vorkommen von Regenwürmern daher auf fruchtbaren und ackerbaulich genutzten Flächen. Neben der Art der Flächennutzung (Pflügen, Düngemittel, Pestizide) wirkt sich sowohl die Wasserverfügbarkeit, als auch die Witterung (Temperatur, Trockenperioden) auf das Vorkommen von Regenwürmern aus. Daher eignen sich insbesondere Regenwürmer als Frühindikatoren für Veränderungen.

Der Indikator zeigt die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Vorkommen von Bodenorganismen im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator zeigt die Populationsdichte von Regenwürmern (Lumbriciden) auf 32 beobachteten Acker- und Grünlandstandorten

beziehungsweise eine Auswahl der Ackerstandorte die auf Sandböden liegen. Die Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) sind 1.000 m² groß und liegen mittig in größeren Flurstücken, sodass der Einfluss von Randeffekten vermieden wird. Die Untersuchung der Lumbricidenpopulationsdichte erfolgt im Optimalfall alle drei bis fünf Jahre mit jeweils einer Probenahme im Frühjahr und einer im Herbst. Es werden pro BDF an acht Beprobungsstellen jeweils etwa 40 Liter Boden entnommen. Das entspricht etwa einer Fläche von 35 cm mal 35 cm bei einer Tiefe von 20 cm oder einem Achtel m², sodass bei acht Proben genau einen m² Fläche untersucht wird. Die ausgehobenen Proben werden anschließend zweimal nacheinander mit 1,25 L 0,2%iger Formalinlösung versehen. Auf diese Weisen werden oberirdische (epigäische) und im Oberboden lebende (endogäische) Lumbriciden per Handauslese und tiefgrabende (anektische) Lumbriciden durch Formalinaustrieb erfasst. Die Austriebszeit beträgt mindestens 30 Minuten. Die Artbestimmung der lebenden Regenwürmer erfolgt entweder vor Ort oder nach dem Transport der Proben.

Aufgenommen wird die Individuenanzahl pro m² (Abundanz), die Biomasse (in Gramm pro m²) sowie das Artenspektrum und die Individuendominanz der Lumbricidenpopulationen auf 32 Bodendauerbeobachtungsflächen typischer Bodentypen und -arten des Landes Brandenburg. Hier dargestellt ist die Abundanz auf ackerbaulich genutzten Sandböden.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt Brandenburg

Hinweise zur Interpretation:

Sandige Ackerböden sind für Brandenburg typisch und bilden circa 60 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die Lumbricidenpopulationsdichte auf sandigen Ackerböden des Landes Brandenburg hat im dritten Untersuchungszeitraum (2008 bis 2016) deutlich abgenommen. Das betrifft vor allem grundwasserferne Standorte ohne bindigen Unterboden. Ursächlich ist neben einem ungünstigen Witterungsverlauf (zum Beispiel durch lange Trockenperioden) die intensive landwirtschaftliche Nutzung (Monokultur; hoher Einsatz von anorganischen Düngemitteln und Pestiziden). Unter diesen Bedingungen bildet sich eine geringe Diversität an Arten aus. So sind im Mittel 96 % der Regenwürmer Individuen einer Art (*Aporrectodea caliginosa*) zuzuordnen.

Forstindikatoren

F-1 Trockenstress

F-2 Waldzustand

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:

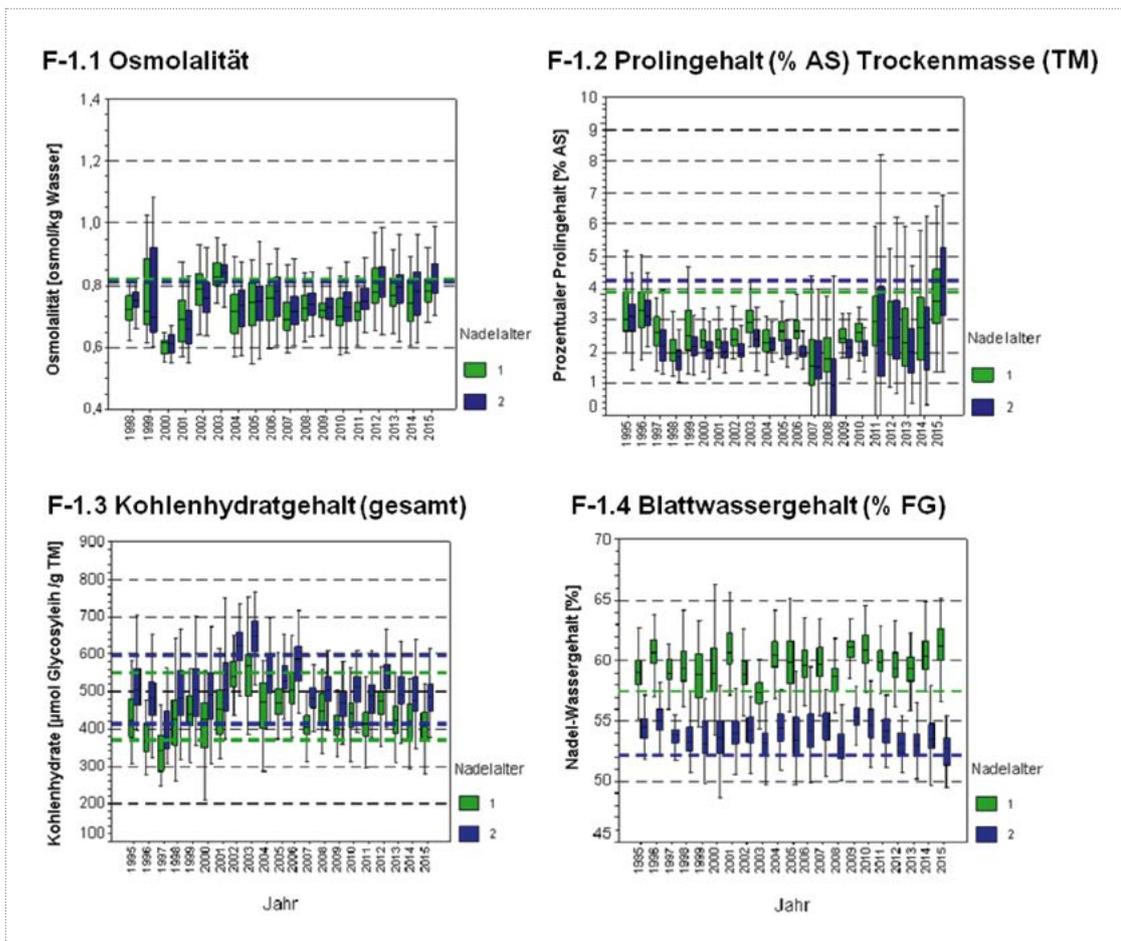


Abbildung 16: Stressparameter der Blattoorgane für Trockenstress für den Zeitraum von 1995 bis 2015 unterteilt in: F.1.1 Osmolalität des Nadel- beziehungsweise Blattpresssaftes für den 1. und 2. Nadeljahrgang; F.1.2 Prolingehalt (in Prozent, Gesamtgehalt löslicher Aminosäure AS); F.1.3 Gesamtkohlenhydratgehaltes; F.1.4 Blattwassergehalt in Prozent bezogen auf das Frischgewicht (FG).

Bedeutung:

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 Stress-

intensität zu quantitativen Veränderungen in den Assimilationsorganen führen.

F-1.1 Osmolalität

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 belegt worden, dass dieser Indikator geeignet ist, Stress und insbesondere Trockenstress anzuzeigen. Die Prolinanreicherung 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 Nadeln 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 Anreicherung von Kohlenhydraten ist unter anderem 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 beziehungsweise relative (zum Beispiel im Bezug zur Frischmasse) Blatt beziehungsweise 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 auf Nadelbäume im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

F-1.1 Osmolalität

Der Wasserhaushalt wird im Wesentlichen durch das Wasserpotenzial Ψ_s (früher Saugspannung S), das osmotische Potenzial Ψ_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. Um die Osmolalität zu bestimmen wird aus circa 2 g tiefgefrorenem (-80 Grad Celsius) Blattmaterial mittels einer Presse Nadel beziehungsweise Blattpresssaft gepresst. Nach Zentrifugation wird der Überstand mit dem Gefrierpunktometer OSMOMAT 30 (Fa. Gonotec, Berlin) gemessen. Die Bewertung des Indikators erfolgt auf der Grundlage von Referenzbereichen. Die Überschreitung oberer Schwellenbereiche signalisiert Wassermangelzustände.

Nadeljahr (Nj)	Referenzbereich [osmol/kg Wasser]	oberer Schwellenbereich [osmol/kg Wasser]
1	≤ 0,77	> 0,77 - 0,82
2	≤ 0,76	> 0,76 - 0,81

Tabelle 1:
Referenzbereich und oberer Schwellenbereich der Osmolalität je Nadeljahr

Aus einem Teil der Mischprobe des gewonnenen Blattmaterials wird die Osmolalität wie oben beschrieben für jeden Einzelbaum bestimmt und unter anderem 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, zum Beispiel 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 gewonnenen Blattmaterials wird der Prolingehalt für jeden Einzelbaum bestimmt und unter anderem zu Bestandswerten aggregiert.

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 Be-

stimmung des Gesamtkohlenhydratgehaltes 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 beziehungsweise die Überschreitung eines oberen Schwellenbereichs (nachfolgende Tabelle für den 1. und 2. Nadeljahrgang der Kiefer). Eine besondere Bedeutung bezüglich des Gehaltes an Kohlenhydraten kommt dem zweiten (stoffwechselaktivsten) Nadeljahrgang zu. Grundlage für die Risikobewertung ist der baumartenspezifische Referenz-, beziehungsweise obere Schwellenbereich.

Aus einem Teil der Mischprobe des gewonnenen Blattmaterials wird der Kohlenhydratgehalt wie oben dargestellt für jeden Einzelbaum bestimmt und unter anderem zu Bestandswerten aggregiert.

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 Grad Celsius bestimmt. Grundlage der Bewertung ist die Einordnung der Werte oberhalb eines nadeljahrgangsspezifischen Referenzbereiches beziehungsweise die Unterschreitung eines unteren Schwellenbereichs.

Nadeljahr (Nj)	Referenzbereich [% AS]	oberer Schwellenbereich [%AS]
1	≤ 3,24	> 3,24 – 3,85
2	≤ 3,84	> 3,84 – 4,25

*Tabelle 2:
Referenzbereich und oberer Schwellenbereich des Prolingehaltes je Nadeljahr*

Nadeljahr (Nj)	Referenzbereich [μ mol Glycosyleinheiten/g TM]	oberer Schwellenbereich [μ mol Glycosyleinheiten/g TM]
1	414 - 503	> 504 - 548
2	461 - 552	> 553 - 597

*Tabelle 3:
Referenzbereich und oberer Schwellenbereich des Kohlenhydratgehaltes je Nadeljahr*

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

*Tabelle 4:
Unterer Schwellenbereich
und Referenzbereich
des Blattwassergehaltes
je Nadeljahr*

Aus einem Teil der Mischprobe des gewonnenen Blattmaterials wird der Wassergehalt wie oben dargestellt jeden Einzelbaum bestimmt und unter anderem zu Bestandswerten aggregiert.

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 (zum Beispiel 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 (Flächenmittelwert 52,3 %) 2003 bestimmt, dieser Wert lag jedoch noch im Referenzbereich.

Das LFE erhebt seit 1995 mit sechs Stationen, seit 2003 mit acht (Fünfeichen, Menz) und seit 2007 mit neun Stationen (Berlin) den Gehalt an ausgewählten, stressanzeigenden Blatthaltstoffen (Biomarker) an jeweils zehn bis 30 Einzelbäumen je Bestand. Die Probenahme erfolgt jährlich im August aus dem oberen Kronenbaum durch Baumkletterer.

bedingungen beeinflusst wird. Zunehmende Trockenheit und Hitzewellen als Folge des Klimawandels beeinflusst 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 (Kronenverlichtung), die in 5%-Stufen bemessen wird. Der Grad der Kronenverlichtung wird 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. Eine Differenzierung nach Baumarten ist entsprechend der Waldstruktur in Brandenburg in der bestehenden Netzdichte nicht möglich. Stattdessen werden die Nadelbäume (dominiert von Kiefer) den Laubbäumen (Eiche, Buche, andere Laubbaumarten) gegenübergestellt.

Datenquelle:

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), Waldzustandserhebung (WZE) 2019 des Landes Brandenburg

Hinweise zur Interpretation:

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen eine unspezifische Reaktion des Waldes auf seine Umweltbedingungen. Neben den Auswirkungen von einem oder mehreren Witterungsfaktoren können Fremdstoffeinträge oder biotische Schädlinge in Kombination oder allein zu ähnlichen Reaktionen des Waldes führen. Allerdings haben vitale

Wälder ein höheres Anpassungspotenzial an Klimaänderungen und Witterungsbedingungen, als bereits geschädigte Wälder. Vor allem Trockenstress hat einen starken Einfluss auf den Kronenzustand der Wälder.

F-3 Schäden durch biotische Schaderreger

Grafik:

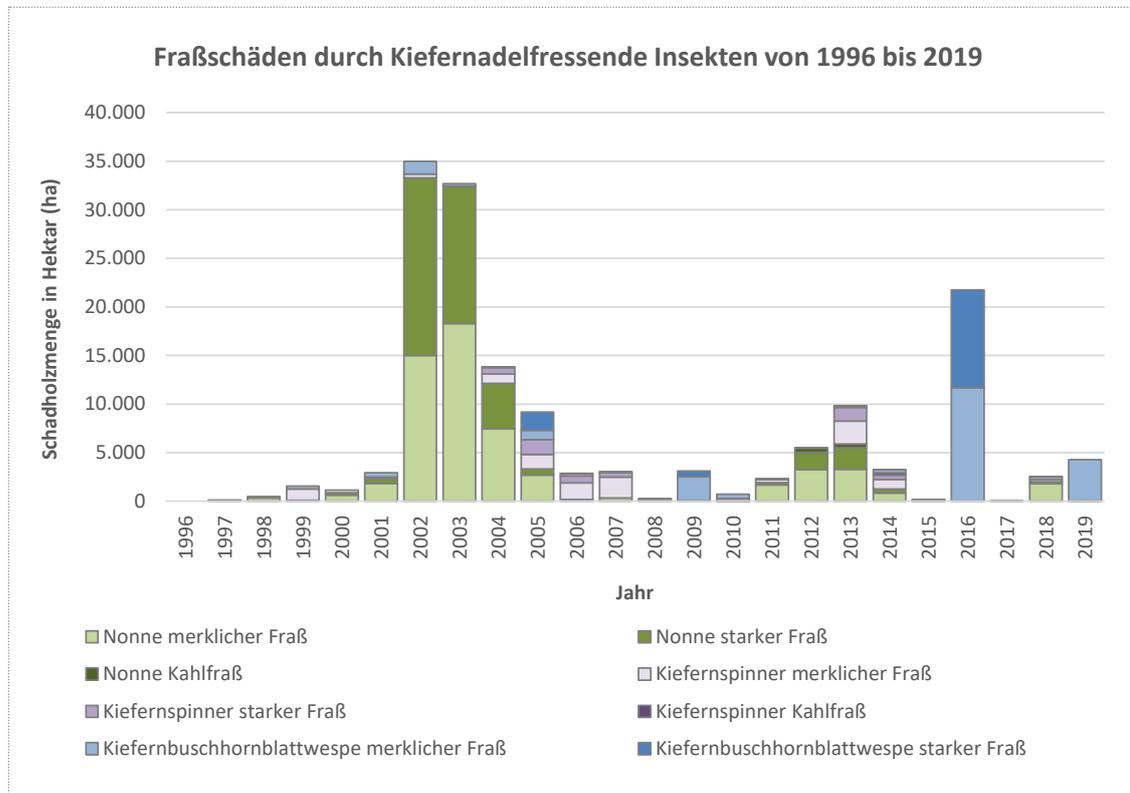


Abbildung 18: Fraßschäden in Schadholzmengen pro Hektar (ha), durch Kiefernadelfressende Insekten (Nonne, Kiefernspinner und Kiefernbuschhornblattwespe) in Brandenburg von 1996 bis 2019

Bedeutung:

Eine Zunahme der Häufigkeit von Witterungsextremen wie Dürreperioden, Starkregenereignissen, Früh- und Spätfrösten oder Hagel beeinflusst unter anderem den Verlauf und die Auswirkungen von Komplexkrankheiten von Waldbäumen, sowie deren Regeneration nach intensiven Fraßschäden und gegebenenfalls Sekundärschädlingen. Mit der Zunahme der Jahresmitteltemperaturen wird mit der Arealausweitung wärmeliebender Insekten gerechnet. Hierdurch steigt das Risiko für Fraßschäden durch wärmeliebende Arten, speziell in den warmen und trockenen Monaten. Zudem fallen in heißen, langen und trockenen Sommern größerer Mengen Schadholz an. Diese Bedingungen wirken

sich begünstigend auf die Lebensbedingungen wärmeliebender Arten aus, während sie gleichzeitig bei Bäumen Trockenstress verursachen können. Dauerhaft höhere Mitteltemperaturen in Folge des Klimawandels können die Massenvermehrung beispielsweise des Kiefernspinners fördern, sodass die Wahrscheinlichkeit von größeren Kiefernwaldschäden zunimmt. Großflächige Bestandsschäden drohen den Brandenburger Waldflächen aufgrund eines hohen Kiefernanteils. Darüber hinaus kann es zu vermehrten Schäden durch Kiefernadelfressende Insekten kommen. Deren regelmäßig wiederkehrende Massenvermehrungen erfordern aufwendige Überwachungs- und Gegenmaßnahmen.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf biotische Kieferschädlinge beziehungsweise deren Schadauswirkungen auf Kiefern im Land Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator zeigt die Schäden durch Insektenfraß des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini*), der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* und *D. similis*) und der Nonne (*Lymantria monacha*), angegeben als Schadholzmenge in Hektar (ha) pro Jahr. Die jährlichen Meldungen der Revierförster im Rahmen des Waldschutzmeldedienstes werden in die folgenden Kategorien unterteilt:

merklicher Fraß: 30-50 % Nadelmasseverlust

starker Fraß: 50-90 % Nadelmasseverlust

Kahlfraß: über 90 % Nadelmasseverlust

Die Reviere in Brandenburg melden Fraßschäden durch den Kiefernspinner, die Kiefernbuschhornblattwespe, die Nonne und weitere biotische Schaderreger seit 1996 jährlich an das Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE). 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

Grafik:

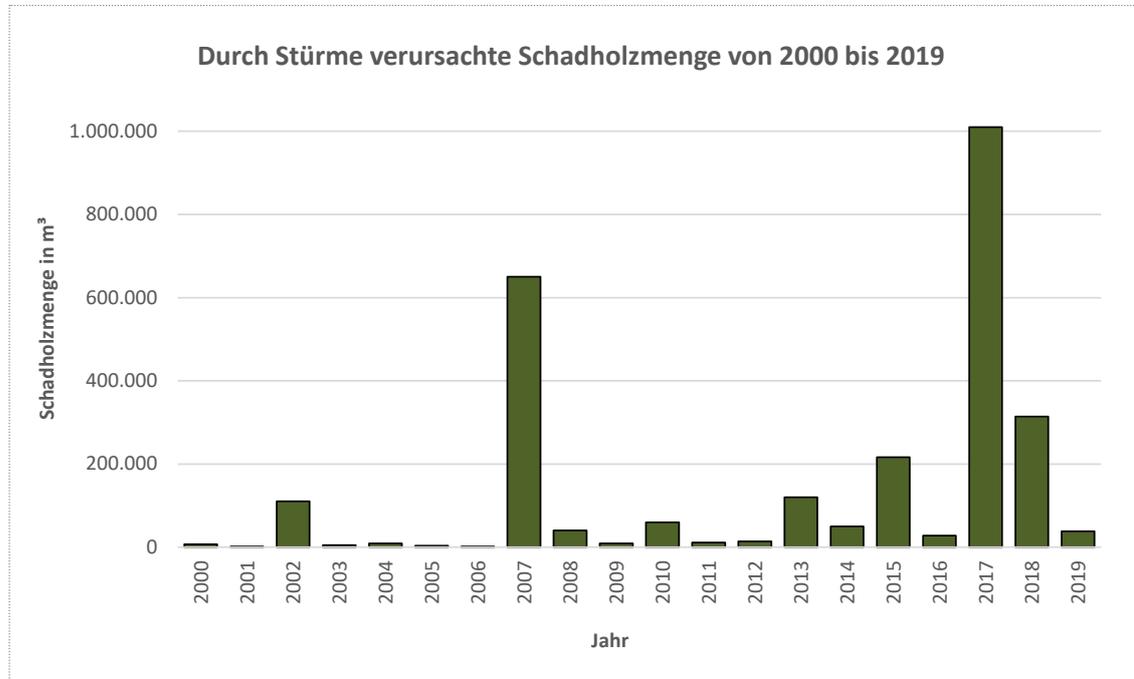


Abbildung 19: Durch Stürme verursachte Schadholzmenge in Kubikmetern (m³) in Brandenburg von 2000 bis 2019

Bedeutung:

Die Erfassung von Sturmschäden im Wald lässt Rückschlüsse auf die Intensität von Stürmen zu und erlaubt die Berechnung wirtschaftlicher Verluste. Die regelmäßige Erhebung von Waldschäden und Schadverursachern dient der zeitnahen Beratung der Waldbewirtschaftler um Maßnahmen der Schadensminimierung zu entwickeln und die weitergehende Überwachung von Schadverursachern auszudehnen oder anzupassen.

Sturmereignisse können große Schadholzmengen verursachen. Die seit 1998 durch Stürme verursachten Schadholzmengen zeigten ihren Höhepunkt 2007 mit dem Orkantief „Kyrill“ mit über 600.000 m³ Bruch- und Wurfholz. Prognostiziert wird eine Zunahme von Extremereignissen, wie Stürmen, durch den Klimawandel.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Häufigkeit beziehungsweise Stärke von Stürmen auf den Zustand des Waldes in Brandenburg.

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 Wurfholz in Kubikmetern. Alle Werte sind Schätzwerte.

Datenquelle:

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)

F-5 Waldbrandgefahr

Grafik:

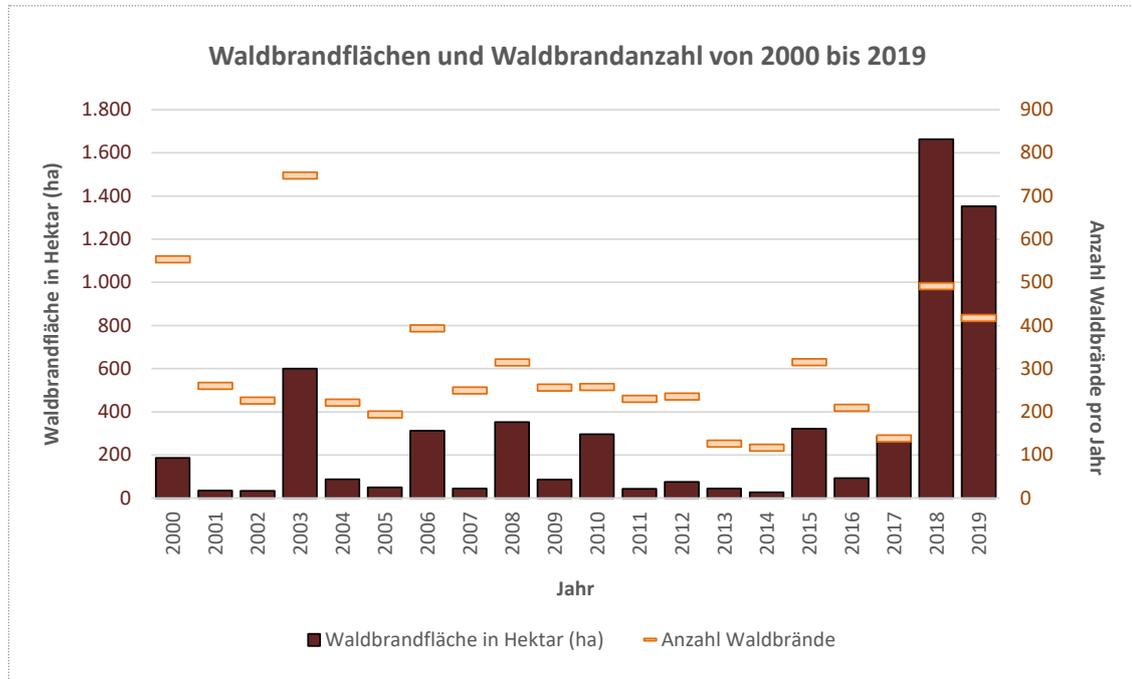


Abbildung 20: Die Anzahl der Waldbrände und die Waldbrandfläche in Hektar (ha) pro Jahr in Brandenburg von 2000 bis 2019

Bedeutung:

Für das Waldbrandgeschehen spielen zwei Faktorenkomplexe eine wichtige Rolle: das menschliche Handeln zum Beispiel Brandstiftung oder Fahrlässigkeit und das Klima-beziehungsweise Witterungsgeschehen. Die Häufigkeit von Bränden ist gemäß Waldbrandstatistik zu einem großen Prozentsatz von menschlichem Handeln abhängig. Neben lokalen Gegebenheiten wie dem Vorhandensein brennbaren Materials (Waldbestandstypen, Alter der Bäume, Bodenvegetation und so weiter), beeinflussen Klima und Witterung nicht nur die Anfälligkeit einer Waldfläche für Flammenbildung, sondern auch die Feuer- ausbreitung.

Während sich das menschliche Verhalten, die Landschaftsstruktur, die Artenzusammensetzung des Waldes sowie die Feuerüberwachungs- und Feuerlöschkapazitäten

eher langsam bis gar nicht verändern, variieren die Witterungsbedingungen sowie die Menge und Qualität des brennbaren Materials von Jahr zu Jahr. Ein besonders intensives Brandgeschehen in einzelnen Jahren, das vom längerfristigen Trend abweicht, lässt sich daher auf den spezifischen Witterungsverlauf dieser Jahre zurückführen.

Risikountersuchungen sagen für die kommenden Jahrzehnte ein steigendes Waldbrandrisiko in 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 in der Regel mit Niederschlägen einhergehen.

Der Indikator zeigt die Häufigkeit und das Ausmaß von Waldbränden in Brandenburg.

Der Indikator verdeutlicht die Auswirkungen des Klimawandels auf das Waldbrandgeschehen, sowie die Anpassungsleistung durch entsprechende Vorsorge.

Definition und Berechnungsverfahren:

Dargestellt ist die Anzahl der Waldbrände und die von Waldbrand betroffene Waldfläche in Hektar je Jahr in Brandenburg.

Datenquelle:

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) und Waldbrandstatistik 2019

F-6 Waldfläche und nachhaltige Forstwirtschaft

Grafik:

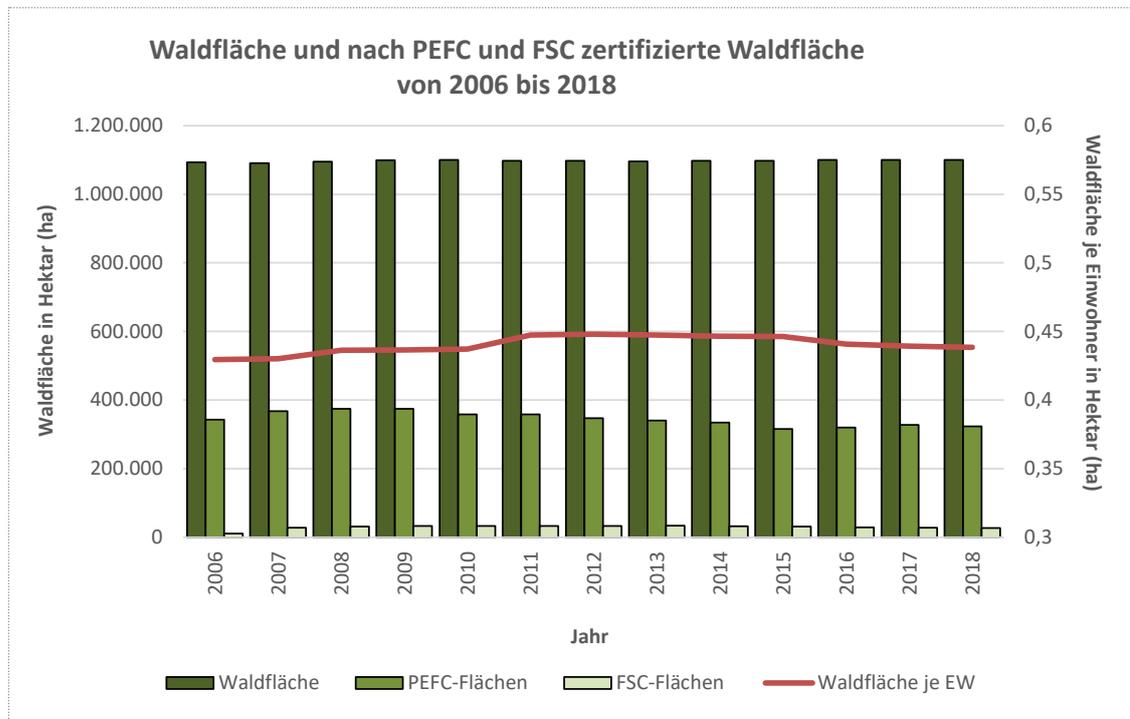


Abbildung 21: Die gesamte Waldfläche und die nach PEFC und FSC zertifizierte Waldfläche in Brandenburg und die Waldfläche je Einwohner in Hektar von 2006 bis 2018

Bedeutung:

F6.1 Waldfläche

Wälder haben eine hohe Bedeutung für den Klimawandel. 20 % bis 25 % der Kohlenstoffdioxid(CO₂)-Emissionen weltweit gehen auf die Zerstörung von Wäldern zurück. Wälder sind Kohlenstoffspeicher und können aufgrund ihrer Photosyntheseaktivität und ihres Biomassewachstums bereits emittiertes CO₂ der Atmosphäre entziehen. In jedem Kubikmeter Holz stecken je nach Baumart beziehungsweise Holzdichte etwa 270 kg Kohlenstoff. Pro Kilogramm absolut trockenem Holz (atro-Masse) sind etwa 0,5 kg Kohlenstoff vorhanden. Der Kohlenstoffgehalt schwankt je nach Holzart und Holzdichte.

Klimaveränderungen beeinflussen die Produktivität und Vitalität von Wäldern. Steigende Temperaturen und längere Hitzeperioden können

sich langfristig auf die Wälder auswirken. Das vermehrte Auftreten von Waldbränden, Schäden an den Bäumen durch Hitzestress sowie zunehmender Insektenbefall können langfristig die Wälder schädigen. Das zieht nicht nur ökologische Folgen nach sich, sondern auch bedeutende ökonomische Folgen. An natürliche Klimaveränderungen der Vergangenheit konnten sich Wälder beziehungsweise die Bäume aufgrund ihrer genetischen Vielfalt anpassen. Die aktuelle Klimaveränderung weist eine deutlich höhere Geschwindigkeit auf, als vergleichbare historische Änderungen im Klimasystem.

Derzeit gib es in Brandenburg circa 1,1 Mio. Hektar (ha) Wald, was in etwa 37 % der Landesfläche entspricht. 9,7 % aller Wälder Deutschlands befinden sich auf brandenburgischem Gebiet. Die Veränderung der Waldfläche in Brandenburg ist in erster Linie von politischen und wirtschaftlichen Restriktionen

in Konkurrenz zu landwirtschaftlichen und anderen Bodennutzungen abhängig. Nach § 1 des Waldgesetzes des Landes Brandenburg und des Bundeswaldgesetzes ist die Waldfläche zu erhalten und wenn erforderlich zu vergrößern. Der Waldflächenerhalt insbesondere im Gegensatz zum Flächenverbrauch durch Bergbau und Infrastrukturmaßnahmen wie Straßenbau, Flughafenbau, Wohnungsbau oder Deichbau ist aktuell als Ziel zu nennen.

Der Erhalt der Wälder Brandenburgs ist eine wichtige Maßnahme als Anpassungsleistung an den Klimawandel, sodass eine Beobachtung der Waldflächenveränderung und die Erhaltung nachhaltig genutzten Waldflächen 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. Des Weiteren wird das Ziel die Bildung von stabilen und ertragsreichen Beständen, die den veränderten Klimabedingungen wie längeren Hitze- und Trockenphasen, sowie einem erhöhten Waldbrandrisiko, zumindest in gewissem Maße, „gewachsen“ sind. Der Indikator zeigt die nach PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes; Deutsch: Zertifizierungssystem für nachhaltige Waldbewirtschaftung) und FSC (Forest Stewardship Council) zertifizierten Waldflächen in Hektar. 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 durch eine nachhaltige Waldnutzung.

Definition und Berechnungsverfahren:

F6.1 Waldfläche

Der Indikator beschreibt die gesamte Waldfläche in Brandenburg in Hektar und 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 Hektar. 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, Regionale PEFC Arbeitsgruppe Brandenburg e.V., Diestel S. & Weimar H. (2014) Der Kohlenstoffgehalt in Holz- und Papierprodukten - Herleitung und Umrechnungsfaktoren. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 110 p, Thünen Working Paper 38).

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 der Grafik 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:

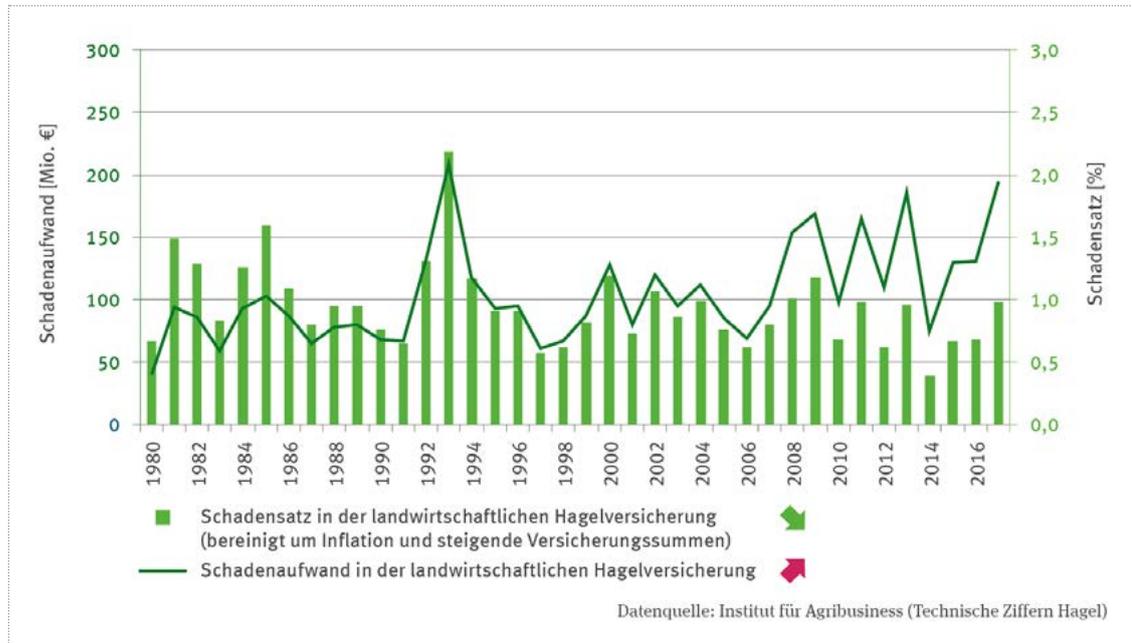


Abbildung 22: Schädensatz und Schadenaufwand in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung in Deutschland, Klimawandelmonitoring der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum 1980 bis 2017. (Pfeil nach unten: fallender Trend, Pfeil nach oben: steigender Trend, grüner Pfeil: günstige Entwicklung, roter Pfeil: ungünstige Entwicklung)

Bedeutung:

Die Landwirtschaft ist stark von den Witterungsbedingungen und damit auch von den langfristigen Veränderungen des Klimas betroffen. Diese Veränderungen können sich langsam oder durch vermehrtes Auftreten von Extremereignissen wie Hochwasser, Dürre, Hagel und Windbruch zeigen. Hagel besteht aus gefrorenem Wasser mit kleinen Lufteinschlüssen, das 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 betrug der Schaden durch Wetterextreme in der Landwirtschaft für Deutschland schätzungsweise 8 Milliarden Euro, durchschnittlich also jähr-

lich 470,6 Millionen Euro. Trockenheit und Dürre verursachten 59,1 % der Schäden, Hagel 21,2 %, Sturm, Starkregen und Überschwemmungen 15,7 %, Auswinterung und Frostschäden 4,1 % der Schäden. 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 circa ein Fünftel aller geschätzten landwirtschaftlichen Schäden ausmachen, bildet der Schadenaufwand in der Hagelversicherung nur einen geringen Teil der tatsächlichen Risiken und Belastungen der Landwirte durch Extremwetterereignisse ab. Die anderen Schäden durch Extremwetterereignisse tragen die Landwirte selbst, oder sie bekommen fallweise Gelder aus Hilfsprogrammen. In Zukunft ist mit Neuabschlüs-

sen 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 zu erwartende Schäden beziehungsweise Ernteausfälle in der Landwirtschaft durch Extremwetterereignisse am Beispiel Hagel.

Definition und Berechnungsverfahren:

Im dargestellten Indikator aus der DAS werden die Höhe des Schadenaufwands, das heißt 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. Der Schadensatz ist um die Effekte steigender Versicherungssummen und der Inflation bereinigt und ist daher ein direkter Anzeiger für den Schadentreiber (Hagel).

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 zum Teil seit Jahrhunderten bestehenden Hagelgilden sind unter dem Dach „Hagelgilde“ vereinigt, die wiederum Mitglied des GDV ist. Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel Indikator-LW-I-3

Hinweise zur Interpretation:

Der Indikator sollte nicht dahingehend interpretiert werden, dass die Versicherung der Landwirte allein eine geeignete Anpassungsmaßnahme darstellt. Insgesamt soll gezeigt werden, dass die Risiken für das Auftreten von Ernteschäden zu verringern sind oder Maßnahmen der Risikostreuung (zum Beispiel durch Diversifizierung) durchzuführen sind. Viele Landwirte schließen keine Versicherung ab, da diese nur den konkreten Ernteausfall, aber nicht die damit verbundenen Folgewirkungen für den Gesamtbetrieb abdeckt.

LW-2 Ertrags- und Anbauflächen von Weizen, Raps und Mais

Grafik:

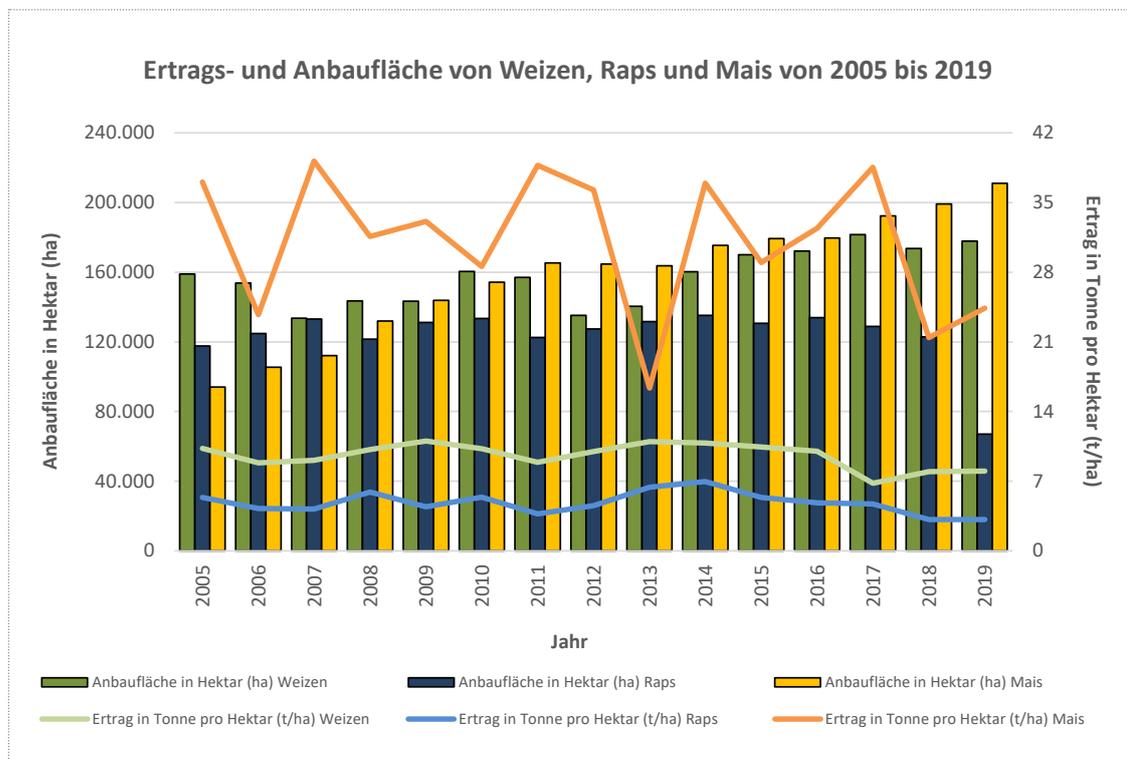


Abbildung 23: Ertragsfläche (in Tonne pro Hektar t/ha) und Anbaufläche (in Hektar ha) von Weizen, Raps und Mais in Brandenburg von 2005 bis 2019

Bedeutung:

Das Klima beziehungsweise die Witterung gehört zu den wichtigsten Größen in der Landwirtschaft. Verlängerte Vegetationsperioden und höhere Temperaturen verbunden mit CO₂-Düngeeffekten können Ertragssteigerungen befördern. Dem stehen Ertragsminderungen unter anderem durch Trockenstress oder Extremereignisse (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 Erträge beigetragen hat, ist derzeit nicht quantifizierbar.

Wetter- und Witterungsschwankungen werden die Landwirtschaft in Zukunft vor größere Herausforderungen stellen als die langfristige Klimaänderung. Insbesondere Wetterextreme wie lange Trockenperioden zum Beispiel in den Jahren 1964/65, 1972, 1992 oder 2003 führten zu deutlichen Ertragseinbußen. Besonders schwierig für die Landwirtschaft ist die Anpassung an stark wechselnde Witterungsbedingungen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Schwankungen in der Ertragsmenge in unterschiedlichen Jahren durch das Wetter beziehungsweise die Witterung bedingt sind. Die Erhöhung der Wetterschwankungen beziehungsweise der Extremereignisse durch den Klimawandel führt zu einem höheren Produktionsrisiko landwirtschaftlicher Betriebe.

Mais ist derzeit eine der wichtigsten Kulturarten in Brandenburg und steht daher im besonderen Fokus von Ertragsbetrachtungen. Ebenso sind Raps und Weizen für den Nahrungs- und Futtermittelsektor, sowie für die Herstellung von Biodiesel und Schmierstoffen von Bedeutung. Mais ist auf Grund seines sehr hohen Ertrags- und Energiepotentials die wichtigste Ackerfutterpflanze und wird vielfältig genutzt, zum Beispiel als traditionelle Maissilage, Lieschkolbenschrot- und CCM-Silage (Corn-Cob-Mix, ein Futtermittel, das nur die Körner der Pflanze enthält) oder zur reinen Körnernutzung.

Der Indikator zeigt sowohl die Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftlichen Erträge von Mais, Raps und Weizen, als auch eine Anpassungskapazität durch den Anbau unterschiedlicher Pflanzen an den Klimawandel.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator zeigt die Erträge (in Tonnen pro Hektar) und die Anbaufläche (in Hektar) von Weizen, Raps und Silo-/ Grünmais in Brandenburg.

Datenquelle:

Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland im Land Brandenburg 2019, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB)

LW-3 Schaderregerbefall (DAS-Indikator)

Grafik:

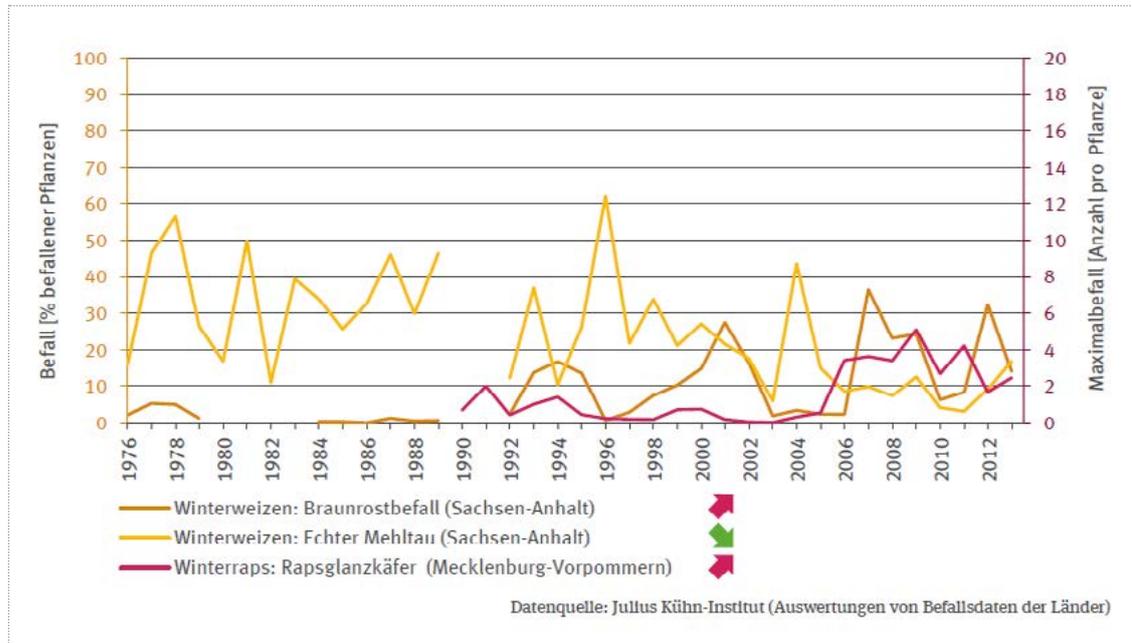


Abbildung 24: Schaderregerbefall von Winterweizen (Sachsen-Anhalt) und Winterraps (Mecklenburg-Vorpommern) durch den Befall von Braunrost, Echtem Mehltau und dem Rapsglanzkäfer, Fallstudie des Klimawandelmonitorings der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum von 1976 bis 2013. (Pfeil nach unten: fallender Trend, Pfeil nach oben: steigender Trend, grüner Pfeil: günstige Entwicklung, roter Pfeil: ungünstige Entwicklung)

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 können schlechtere Ausbreitungsbedingungen bekommen. Bedingt durch den Klimawandel ist in den nächsten Jahren daher mit Verschiebungen im Artenspektrum von Pflanzenschädlingen in der Landwirtschaft zu rechnen. Schäden durch Pilzkrankungen werden voraussichtlich abnehmen (dies gilt jedoch nicht für wärmeliebende Pilzarten

wie den Mehltau, die im Befall eher zunehmen werden). Die Bedeutung verschiedener Gräser und Unkräuter, tierischer Schädlinge und nichtparasitärer Krankheiten könnten hingegen eher zunehmen. Ferner profitieren Insekten grundsätzlich von wärmeren Temperaturen. Schaderreger 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. Für Braunrost (*Puccinia triticina*) am Winterweizen, Echten Mehltau (*Erysiphe graminis*) ebenfalls am Weizen und Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) kann nach derzeitigem Wissensstand davon ausgegangen werden, dass der Klimawandel mit wärmeren Wintern und einem trockeneren und wärmeren Früh-

jahr den Populationsaufbau beziehungsweise die Massenvermehrung dieser Arten fördert.

Aus bisherigen Forschungsarbeiten lassen sich einzelne Hinweise auf klimabeziehungsweise witterungsbedingte Veränderungen im Schadorganismenaufreten ableiten, insgesamt gibt es jedoch große Unsicherheiten, die ein langfristiges und eine Vielzahl von Schaderregern umfassendes Monitoring erfordern. Für die hier diskutierte kleine Auswahl von Schaderregern kann von einer vergleichsweise starken Witterungsabhängigkeit ausgegangen werden. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass auch für diese Schaderreger die Untersuchungen als noch nicht abgeschlossen gelten. Der Indikator ist daher als Stellvertreter-Indikator zu interpretieren, der nach Erweiterung der Kenntnisse fortgeschrieben werden muss.

Die derzeit verwendete Abbildung zeigt ein Fallbeispiel für den Indikator. 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 die Entwicklung und das Vorkommen von Schädlingen in der Landwirtschaft.

Definition und Berechnungsverfahren:

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

Braunrost befällt Weizen und Triticale (eine Kreuzung aus Weizen und Roggen) und äußert sich in Rostpusteln, die vor allem auf der Blattoberseite erscheinen, seltener auf

den Blattscheiden, Ähren und Grannen. Befallene Blattflächen vergilben und vertrocknen. Erhöhte Braunrostgefahr besteht bei mildem Herbst- und Winterwetter, warmem Frühjahr und dem Auftreten von Rost im Vorjahr. Braunrost benötigt für eine epidemische Ausbreitung warme Temperaturen von 20 bis 25 Grad Celsius am Tag oder 15 Grad Celsius in der Nacht mit ausreichender Feuchtigkeit durch 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 Mehлтаubefall. Hohe Luftfeuchtigkeit ohne Regen, Temperaturen von 18 bis 22 Grad Celsius, abwechselnd warme und feuchte Tage wirken befördernd den Befall durch Echten Mehltau.

Rapsglanzkäfer ernähren sich nicht ausschließlich von Raps, sondern auch 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), Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel Indikator-LW-I-4

LW-4 Stickstoffüberschuss

Grafik:

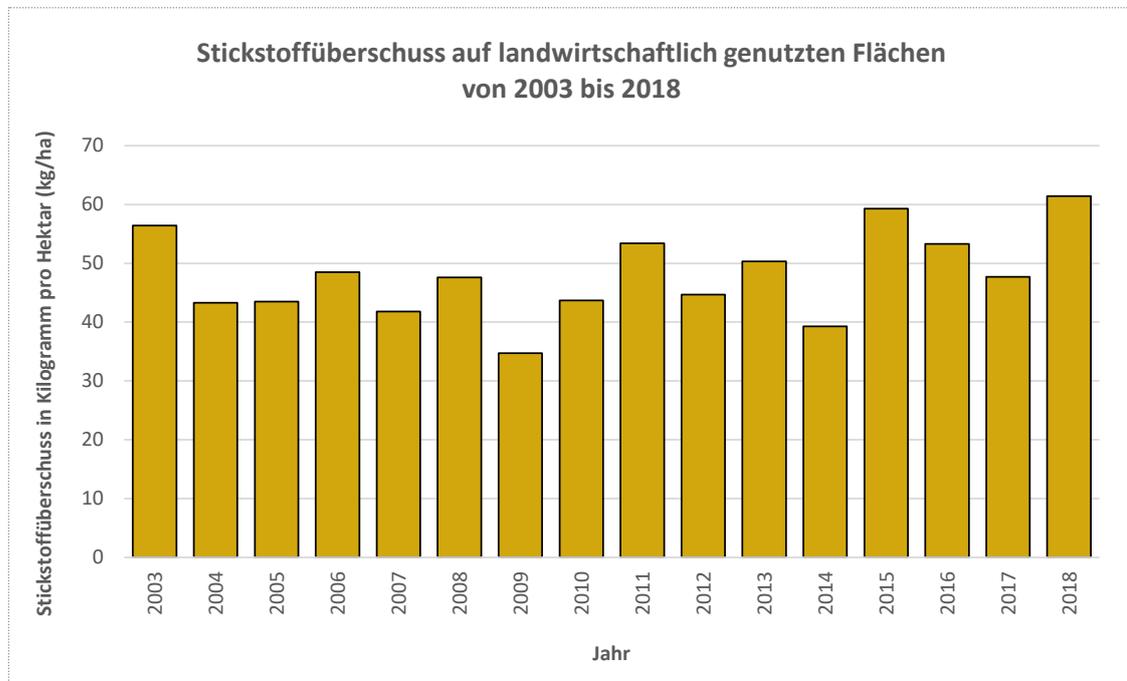


Abbildung 25: Stickstoffüberschuss (Kilogramm pro Hektar) pro Jahr auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Brandenburg von 2003 bis 2018

Bedeutung:

Ein Indikator für potenzielle Umweltbelastungen durch Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft ist die Stickstoffflächenbilanz. Stickstoff (N) wird in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt und kann - soweit er nicht von den Nutzpflanzen aufgenommen wird - auf verschiedenen Wegen zum Beispiel Volatilisation (gasförmige Verflüchtigung), Auswaschung oder Erosion in die Umwelt gelangen. Dort kann der zusätzliche Stickstoffeintrag weitreichende Auswirkungen auf den Naturhaushalt haben. Stickstoff kann insbesondere in Gewässern unter anderem zu Versauerung, Eutrophierung („Umkippen“ eines Gewässers), zu einer Nitratbelastung des Grundwassers, zur Belastung der Oberflächengewässer und Meere und zur Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt führen und damit insgesamt zu einer 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), atmosphärischen Einträgen sowie durch die Stickstoffbindung durch Leguminosen (Hülsenfrüchtler). Für die Berechnung werden vom Wirtschaftsdünger die Stickstoffverluste, die aus den Ställen und bei der Lagerung an die Atmosphäre abgehen, abgezogen. Den Zufuhren stehen die Stickstoffabfuhr durch Ernteentzug entgegen, die der Fläche entzogen werden. Die Differenz (der Saldo) zwischen Stickstoffzufuhr und Stickstoffabfuhr einer Fläche ergibt die Stickstoffflächenbilanz. Ist diese positiv, spricht man von einem Stickstoffüberschuss

In Häußermann et al. (2019) ist das Berechnungsverfahren der Länder-Flächenbilanzierung beschrieben. Es wurde im Jahr 2019 weiterentwickelt und auch für zurückliegende Jahre rückgerechnet. Alle Mengenangaben über Zufuhr und Entzug von Produkten sind mit wenigen Ausnahmen den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes (destatis.de, regionalstatistik.de) zu entnehmen.

Datenquelle:

Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) LIKI Indikator B6

Hinweise zur Interpretation:

Das sensitivste Glied in der Berechnung der Länderstickstoffbilanz ist die Stickstoffmineraldüngung, weil zu dieser Größe für die Bundesländer keine zuverlässigen statistischen Angaben zur Verfügung stehen. Das Statistische Bundesamt veröffentlicht in der Düngemittelstatistik (Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 8.2) Angaben zum Stickstoffmineraldüngerabsatz nach Bundesländern, bezogen auf die landwirtschaftliche genutzte Fläche (LF), jedoch zeigen diese Absatzmengen außerordentlich große, nicht erklärbare Unterschiede. Infolgedessen wird die Höhe der Stickstoffmineraldüngung für die Bundesländer berechnet. Der Berechnungsansatz nimmt an, dass vom gesamten Stickstoffbedarf der angebauten Nutzpflanzen ein Teil durch Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung und weiteren Quellen gedeckt wird und der restliche Bedarf mit Mineraldünger zugeführt wird (Einzelheiten siehe Häußermann et al. 2019). In Anbetracht der Schätzannahmen dieses Ansatzes sowie der weiteren Ungenauigkeiten in der Methodik der Stickstoffbilanzierung wird die Genauigkeit des Stickstoffflächenbilanzüberschusses auf circa fünf bis zwölf Kilogramm Stickstoff pro Hektar LF geschätzt. Bei der Interpretation von Unterschieden zwischen Bundes-

ländern ist diese Größenordnung zu berücksichtigen.

Bei einer Auswertung der N-Bilanzierungen ist darauf hinzuweisen, dass zahlreiche unterschiedliche Verfahren für die Bilanzrechnung verwendet werden, die zu unterschiedlichen 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:

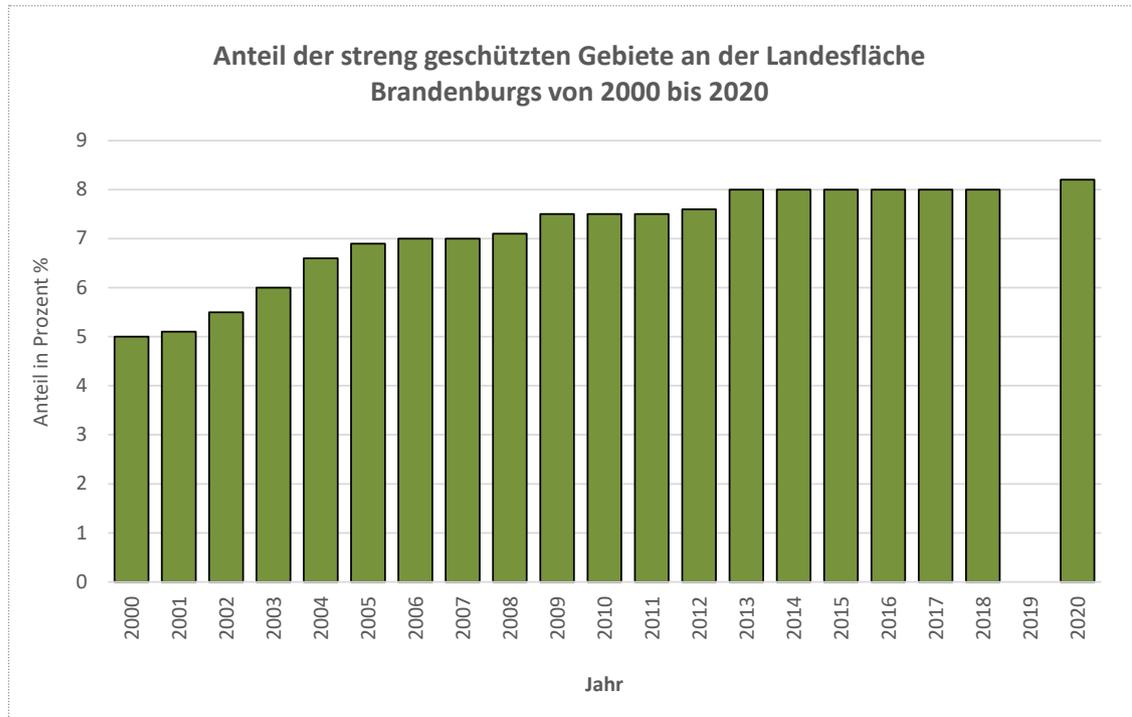


Abbildung 26: Anteil der streng geschützten Gebiete an der Landesfläche Brandenburgs von 2000 bis 2020, für 2019 liegen keine Daten vor

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.

Der Flächenanteil dieser streng geschützten Gebiete zeigt die Bestrebungen der Länder zur Erhaltung, Wiederherstellung und Entwicklung von empfindlichen Arten und Biotopen. Allerdings entspricht in vielen Gebieten der tatsächliche Zustand nicht den Anforderungen, die an Vorrangflächen zu stellen sind. Da dieser Maßnahmen-Indikator keine Aussagen zur Qualität der Gebiete beinhaltet, hat er nur eine begrenzte Aussagekraft und kann nicht

als Zustands-Indikator gewertet werden. Mittelfristig wäre die Ergänzung eines Zustands-Indikators zur Qualität der Schutzgebiete wünschenswert, da dann die Anpassungsleistung an den Klimawandel, ersichtlich werden kann.

Definition und Berechnungsverfahren:

Zum Flächenanteil der bundeseinheitlich naturschutzrechtlich streng geschützten Gebiete, die vorrangig dem Schutzgut "Arten- und Biotopschutz" dienen, zählen:

- 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 Naturschutzgebiet oder Kern- und Pflegezonen in Nationalparks oder Biosphärenreservaten sind, nicht berücksichtigt. Dies liegt daran, dass "FFH-Gebiete" rechtlich auf anderer Grundlage (siehe § 32 (2) BNatSchG und § 20 (2) BNatSchG) gesichert sind.

Die Landesfläche wird nach dem Amtlichen Liegenschaftsbuch angegeben.

Datenquelle:

Bundesamt für Naturschutz (BfN), Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) LIKI Indikator B3

Hinweise zur Interpretation:

Der Indikator ist normiert, das heißt bei einer länderübergreifenden Interpretation sind strukturelle Unterschiede in der Landnutzung und in den Ländern (zum Beispiel Meeresschutzgebiete) zu beachten.

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

Grafik:

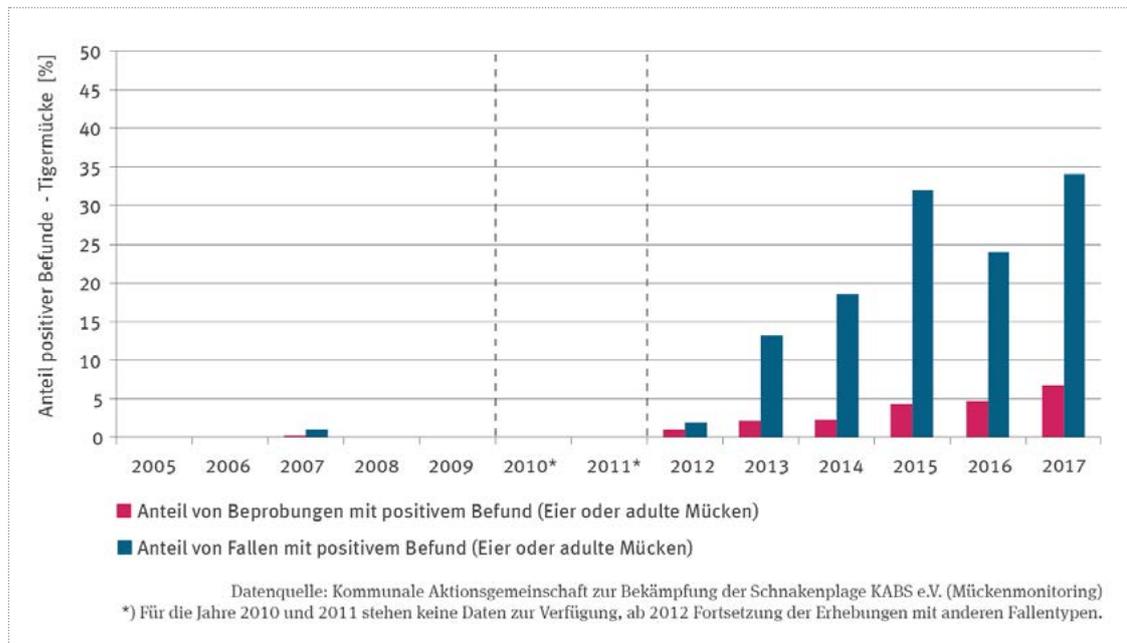


Abbildung 27: Vorkommen der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg (Oberheingra-ben) als Beispiel für invasive Arten, Fallstudie des Klimawandelmonitorings der Deutschen An-passungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum von 2005 bis 2017

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 in ihrem Bestand gefährdet werden. Zudem können durch invasive Arten wie Stechmücken, Zecken oder Wanzen Krankheiten übertragen werden. Diese tierischen Krankheitsüberträger werden dann als Vektoren bezeichnet.

Die Einschleppung exotischer Stechmückenarten ist in erster Linie ein Effekt der Globalisierung (internationale Verkehrs- und Handelsströme), allerdings fördern günstige Klimaverhältnisse die lokale Etablierung und

Ausbreitung dieser Arten. Die Klimaerwärmung kann zu einer stärkeren und schnelleren Vermehrung von invasiven Arten führen, sowie eine Verlängerung der jährlichen Aktivitätsperioden, höhere Überlebensraten durch mildere Winter und die Etablierung und Verbreitung eingeschleppter neuer Vektorarten und Krankheitserreger bewirken.

Einige Arten, wie die aus Südostasien stammende Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), die über 20 unterschiedliche Viren übertragen kann, sind bisher in Deutschland nicht etabliert. In den letzten Jahren wurden allerdings Eier und adulte Tiere in Proben und Fallen gefunden. Als inzwischen etabliert gilt dagegen der japanische Buschmoskito (*Ochlerotatus japonicus*) in Südwest- und Westdeutschland. Für die Entwicklung beider Arten ist eine Klimaänderung mit höheren Temperaturen und Niederschlägen günstig.

Die Rheinebene gilt als eine wichtige Eintrittspforte wärmeliebender Arten nach Deutschland. Nach der Etablierung der Asiatischen Tigermücke in Südeuropa steigt die Gefahr ihrer Einwanderung nach Deutschland an, da sie sich 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 Grad Celsius eine Etablierung auch in weiteren Teilen Deutschlands möglich ist. Die Beobachtung der Mückenpopulation sollte daher mit Voranschreiten des Klimawandels auch für Brandenburg ein wichtiger Bestandteil des Klimawandelmonitorings sein.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung krankheitsübertragender Tiere.

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 wurde zum Beispiel die Asiatische Tigermücke nachgewiesen.

Der Indikator zeigt das Vorkommen der Asiatischen Tigermücke am Oberrheingraben im Zeitraum von 2005 bis 2017. Der prozentuale Anteil von Fallen im Oberrheingebiet mit positiven Befunden von *Aedes albopictus* (mit mindestens einem Mückenei oder einem adulten Tier) an der gesamten Anzahl aufgestellter und beprobter Fallen wird dargestellt. Außerdem wird der prozentuale Anteil der Beprobungen mit positiven Befunden dargestellt. Dieser ergibt sich aus der Anzahl der Beprobungen mit positiven Befunden (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 und seit 2011 vom Friedrich-Löffler-Institut FLI und dem Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung ZALF.

Im Auftrag des Bundesministeriums 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 bis 2014) an 29 Fallenstandorten in Baden-Württemberg, Bayern, Hamburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Sachsen das Vorkommen von Mücken erfasst. Dabei wurden Regelmäßig alle Entwicklungsstadien von *Aedes albopictus* in Baden-Württemberg und Bayern erfasst. Seit 2015 wird bundesweit ein Stechmückenmonitoring aufgebaut.

Datenquelle:

Kommunalen Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage (KABS), Friedrich-Löffler-Institut (FLI) und Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel Indikator-GE-I-4

N-3 Flächeninanspruchnahme

Grafik:

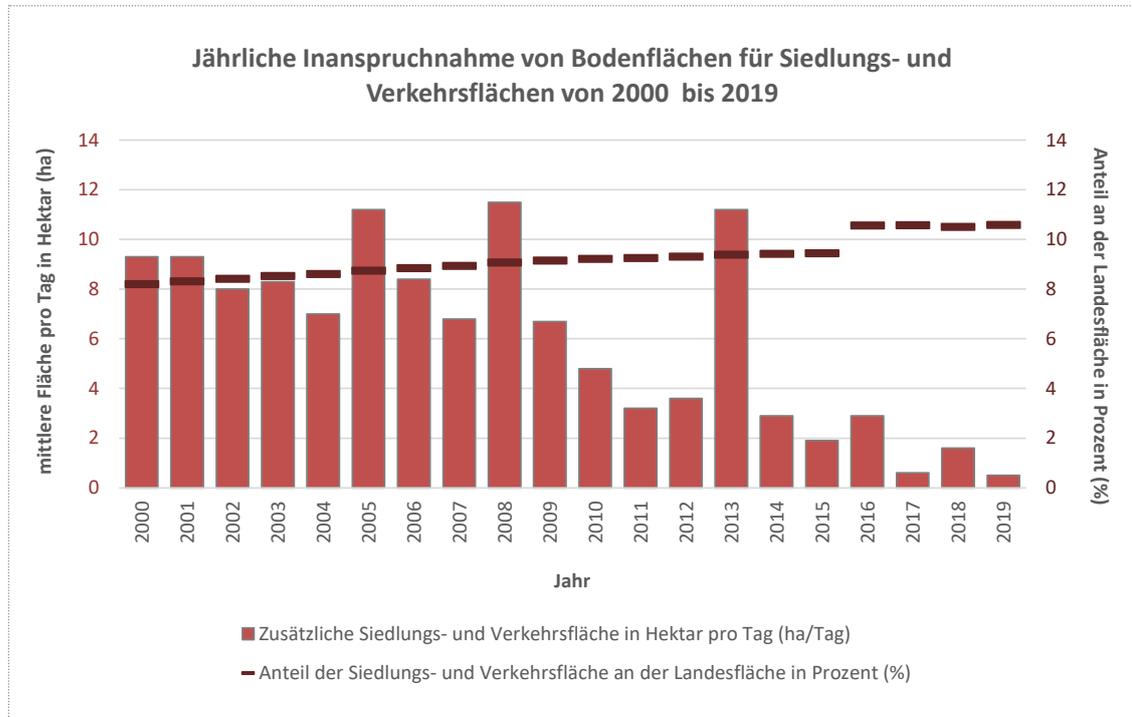


Abbildung 28: Jährliche zusätzliche Bodeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen in Brandenburg von 2000 bis 2019 und der prozentuale Anteil dieser Flächen an der gesamten Landesfläche

Bedeutung:

Die Flächeninanspruchnahme ist ein Schlüsselindikator für die Nachhaltigkeit der Raumnutzung und somit für die Erhöhung der Anpassungskapazität des Landes an den Klimawandel. Die mit der Flächeninanspruchnahme einhergehenden Umweltschädigungen treten in der Regel zeitverzögert über lange Zeiträume hinweg auf. Dementsprechend werden Folgewirkungen teilweise deutlich unterschätzt.

Die Flächeninanspruchnahme beinhaltet die Umnutzung von Freiflächen, in der Regel landwirtschaftlich genutzten Flächen, in Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV). Diese sind in etwa der Hälfte der Fälle versiegelt, sodass Böden ihre Fähigkeit, Wasser zu versickern oder zu speichern verlieren, was bei Starkregen

das Risiko von Überflutungen erhöhen kann. Die Flächen verlieren zudem ihre regulative Funktion für das Kleinklima – so können beispielsweise natürliche Böden im Sommer Hitze aufnehmen, während versiegelte Flächen die aufgenommene Hitze deutlich abstrahlen. Ebenfalls gehen ökologische Funktionen des Bodens selbst verloren und somit Lebensräume für Flora und Fauna. Die Flächeninanspruchnahme ist darüber hinaus meist mit der Zunahme des Verkehrsaufkommens, des Energieverbrauchs und dem Ausbau von Infrastruktur verbunden. Der Indikator zeigt daher auch Belastungspotentiale, die über die in Anspruch genommenen Flächen hinausgehen.

Bei vergleichenden Darstellungen ist eine Normierung auf eine geeignete Bezugsgröße (zum Beispiel auf Landesfläche oder Bevölkerungsdichte) vorzunehmen.

Der gesamte Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen wird anteilig auf die Landesfläche Brandenburgs bezogen.

Die jährliche zusätzliche Inanspruchnahme von Bodenflächen für Verkehrs- und Siedlungsflächen, sowie ihr Anteil an der gesamten Landesfläche zeigt die Umweltbelastungen und die Anpassungskapazität an den Klimawandel.

Definition und Berechnungsverfahren:

Die jährliche zusätzliche Inanspruchnahme von Bodenflächen für SuV wird als mittlerer Flächenzuwachs in Hektar pro Tag dargestellt. Dafür wird der jährliche Zuwachs an SuV durch die Anzahl der Kalendertage des Jahres geteilt. Die gesamte Flächeninanspruchnahme wird durch ihren prozentualen Anteil an der Landesfläche dargestellt.

Die SuV setzen sich aus den folgenden Flächen zusammen:

- Gebäude- und Freiflächen
- Betriebsflächen (ohne Abbauflächen)
- Erholungsflächen inklusive 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.

Datenquelle:

Amt für Statistik BB, Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder AK UGRdL, Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) LIKI Indikator D1

Hinweise zur Interpretation:

Das Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) ersetzt seit 2016 das bisher als Datenbasis verwendete Automatisierte Liegenschaftsbuch (ALB). Im Rahmen der ALKIS-Umstellung wurde 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 wurde 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 unterschiedliche 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:

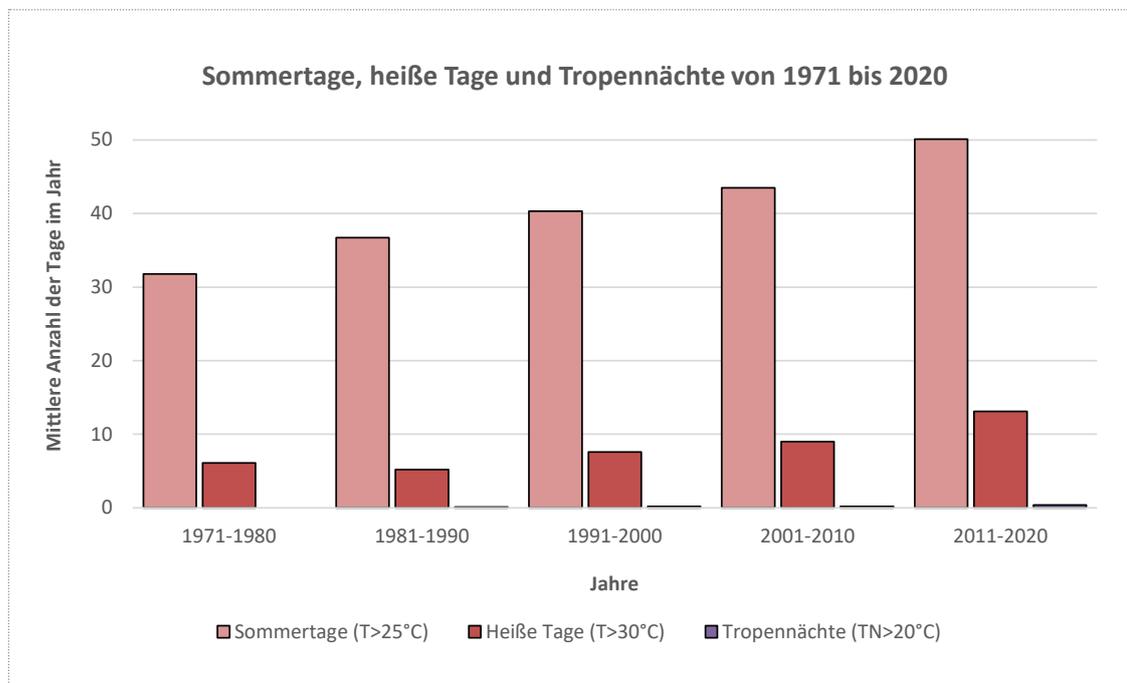


Abbildung 29: Mittlere Anzahl der Sommertage (maximale Temperatur > 25 Grad Celsius), der heißen Tage (maximale Temperatur > 30 Grad Celsius) und der Tropennächte (minimale Temperatur > 20 Grad Celsius) in Brandenburg von 1971 bis 2020 in Dekaden

Bedeutung:

Die Temperaturkenntage, wie die Anzahl der Sommertage, 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 beziehungsweise 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 circa 52.000 Menschen. In diesem Jahr fiel die Temperatur in den Nächten in Brandenburg kaum unter 20 Grad Celsius. Die Belastung für den menschlichen Körper ist unter diesen Um-

ständen sehr stark. Die Beobachtung dieser Parameter ist für Anpassungsstrategien an die Zukunft im Klimawandel essenziell.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Temperaturen in Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Berechnet wird die mittlere Anzahl der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte für die Jahrzehnte 1971 bis 1980, 1981 bis 1990, 1991 bis 2000, 2001 bis 2010 und 2011 bis 2020. Als Sommertag wird ein Tag bezeichnet, an dem die Tageshöchsttemperatur 25 Grad Celsius überschreitet. An einem heißen Tag überschreitet die Tageshöchsttemperatur 30 Grad Celsius. Tropennächte sind Tage (beziehungsweise Nächte) an denen die Temperatur nicht unter 20 Grad Celsius sinkt.

Das Gebietsmittel für die maximale und die minimale Tagestemperatur in Brandenburg wurden für diesen Indikator aus den Daten von zehn Temperaturmessstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) gebildet. Die Daten werden kontinuierlich erhoben.

Datenquelle:

Deutschen Wetterdienst (DWD)

G-2 Anzahl von Hitzewarnungen

Grafik:

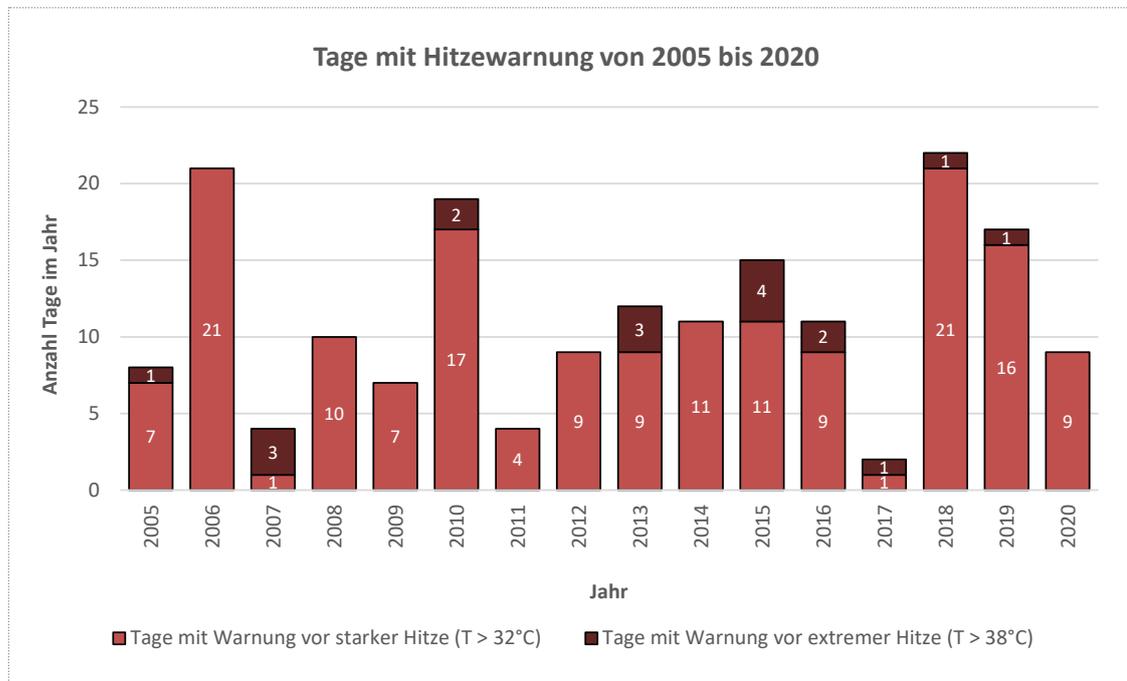


Abbildung 30: Anzahl der Tage mit der Warnung vor starker Hitze ($T > 32$ Grad Celsius) und mit der Warnung vor extremer Hitze ($T > 38$ Grad Celsius) in Brandenburg von 2005 bis 2020

Bedeutung:

Als Folge des Klimawandels wird eine Zunahme von wetter- und klimabedingten Extremereignissen erwartet. Zu den Extremwetterereignissen zählen unter anderem Hitzewellen. Die Tage mit starker und extremer Wärmebelastung werden durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) erfasst. 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. Neben der Belastung durch Extremtemperaturen am Tage verringert sich die Schlafqualität in warmen Nächten. Dies stellt eine große Belastung für die Bevölkerung und eine akute Gesundheitsgefährdung für bestimmte Bevölkerungsgruppen dar.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Anzahl der Tage mit Warnung vor starker und extremer Hitze in Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Seit 2005 hat der DWD ein Hitzewarnsystem eingerichtet, welches auf Landkreisebene Hitzewarnungen herausgibt. Dabei wird unterschieden in:

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

Extreme Wärmebelastung: "Gefühlte Temperatur" am frühen Nachmittag über 38 Grad Celsius.

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. Es können jedoch keine Aussagen dazu getroffen werden wie viele Menschen tatsächlich betroffen sind und unter welchen gesundheitlichen Beeinträchtigungen die Betroffenen leiden.

Datenquelle:

Deutscher Wetterdienst (DWD)

Hinweise zur Interpretation:

Auf eine Auswertung auf Landkreisebene wird verzichtet, da das Hitzewarnsystem bis 2015 größere Bereiche als die Landkreise abgedeckt hat und dementsprechend kein bedeutender Mehrwert bei höherer Auflösung erwartet werden kann.

G-3 Hitzebedingte Todesfälle

Grafik:

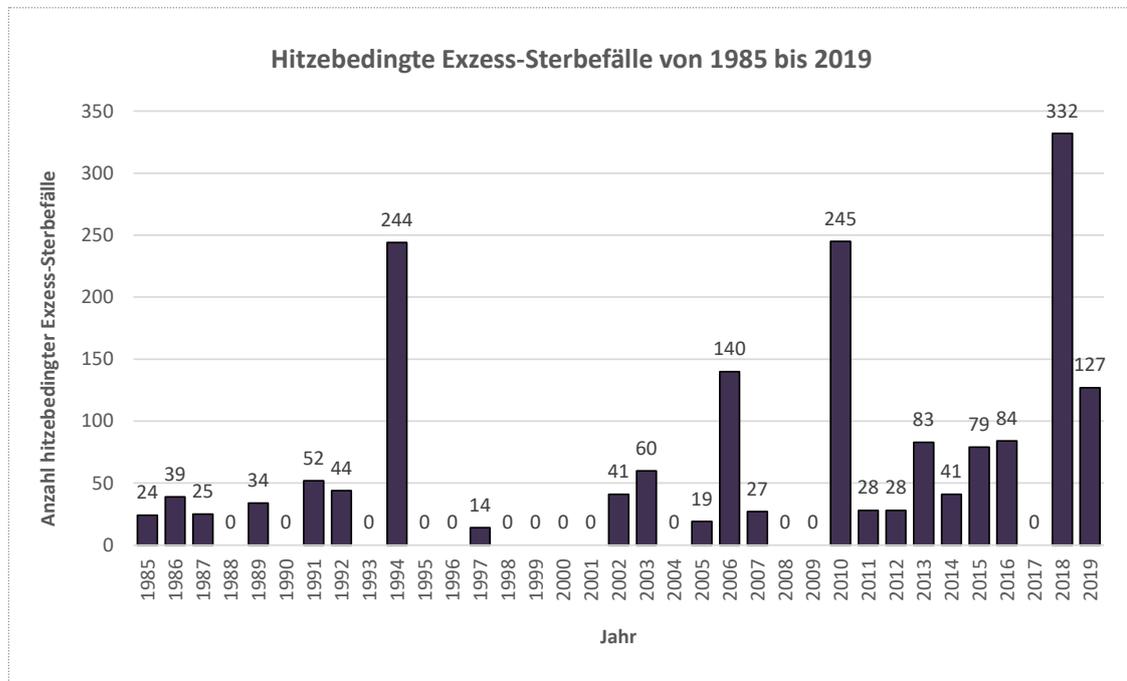


Abbildung 31: Anzahl der hitzebedingten Exzess-Sterbefälle in Brandenburg von 1985 bis 2019

Bedeutung:

Heiße Temperaturen, die im Zuge des Klimawandels stärker zunehmen werden, können sich direkt auf die menschliche Gesundheit auswirken. Hitzebelastung kann insbesondere bei älteren oder kranken Menschen und Kindern zu Hitzeerschöpfung und im schlimmsten Falle zu Hitzeschlag und zum Tod führen. Heiße Tage mit Temperaturen über 30 Grad Celsius und warme Nächte, an denen die Temperatur nicht unter 20 Grad Celsius sinkt, sind insbesondere über mehrere Tage in Folge eine starke körperliche Belastung für den Menschen.

Im Sommer 2003 haben Hitzewellen in Europa schätzungsweise mehr als 52.000 Menschen das Leben gekostet, für Deutschland werden 7.000 Todesopfer genannt. Physiologische Ursache ist unter anderem die Überforderung der körpereigenen Temperaturregulationsmechanismen. Diese werden zum

Beispiel durch zu hohen Flüssigkeits- und Elektrolytverluste bei verstärkter Transpiration oder durch Überlastung des Herz-Kreislauf-Systems durch die Anforderung eines hohen Wärmetransportes überfordert.

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

Der Indikator zeigt die Folgen des Klimawandels auf den menschlichen Organismus auf.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator zeigt eine Abschätzung der Übersterblichkeit während der Sommermonate Juni, Juli und August. Eine zeitliche Erweiterung auf die Monate Mai bis September wurde geprüft und aufgrund der zu geringen

Anzahl heißer Tage in diesen Monaten verworfen. Die Sterbefallstatistik wird grundsätzlich nach dem Wohnort der verstorbenen Person ausgewertet. Das bedeutet, dass Personen in der Brandenburger Sterbefallstatistik in Brandenburg wohnhaft waren und nicht, dass Sie dort zwangsläufig gestorben sind.

Um einzuschätzen, ob und wie viele der Todesfälle an einem Tag auf Hitze zurückzuführen sind, wird Hitze zunächst definiert. Hitzetage sind die Tage an denen die Tagesmitteltemperatur 23 Grad Celsius überschreitet. Dieser Mittelwert ergibt sich in der Regel dann, wenn ein Hitzetag (Tagesmaximumtemperatur ≥ 30 Grad Celsius) und / oder eine tropische Nacht (Tagesminimumtemperatur ≥ 20 Grad Celsius) vorliegt.

Als notwendige Bedingung muss nun eine Grenze beziehungsweise ein Grenzwert definiert werden, ab wann die Sterbefallzahl als überdurchschnittlich hoch identifiziert wird. Dieser Grenzwert wird hier als Exzess-Schwelle bezeichnet. Um diese ermitteln zu können, wird zunächst die Basislinie, also die Zahl der zu erwarteten Sterbefälle, berechnet.

Wenn die hinreichende Bedingung „Überschreitung des Temperaturkriteriums“ und die notwendige Bedingung „Überschreitung der Exzess-Schwelle“ erfüllt sind, sind die ermittelten Exzess-Sterbefälle auf Hitze zurückzuführen. Ein Tag an dem dies erfüllt ist, wird folgend als hitzebedingter Exzess-Tag bezeichnet.

Datenquelle:

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

G-4 Pollenbelastung für Allergiker

Grafik:

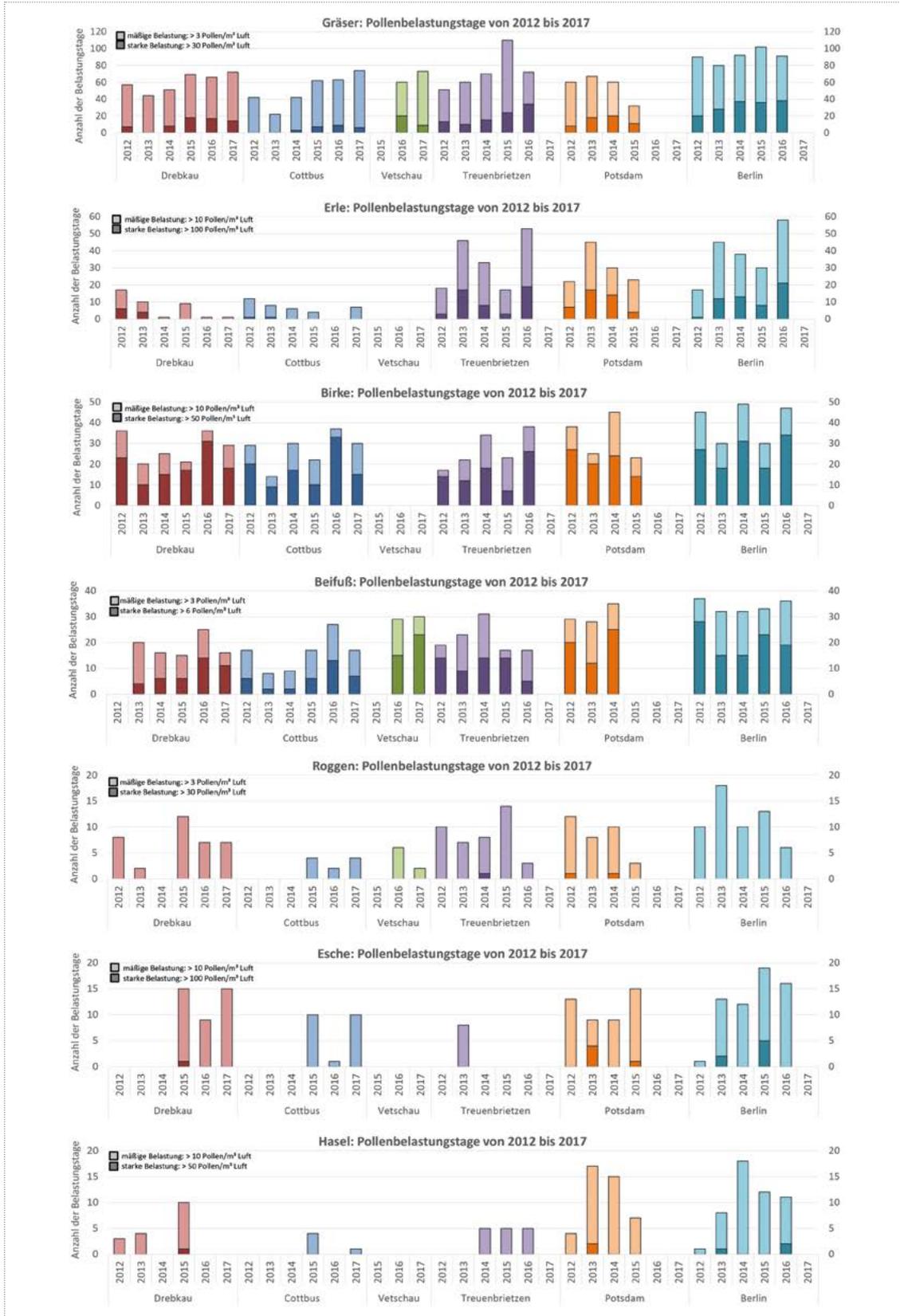


Abbildung 32: Anzahl der Pollenbelastungstage für Hasel, Esche, Roggen, Beifuß, Birke, Erle und Gräser für die Standorte Drebkau, Cottbus, Vetschau (ab 2015), Treuenbrietzen, Potsdam und Berlin von 2012 bis 2017

Bedeutung:

Jedes Jahr zu Beginn der Blühphasen bestimmter Pflanzenarten wie Hasel, Birke, Erle, Esche, Gräser, Roggen, Beifuß und Ambrosia reagieren viele Menschen, circa 15 % der Deutschen, mit einer allergischen Reaktion auf die Pollen dieser Pflanzen. In vereinfachter Weise kann diese Reaktion auf das Immunsystem zurückgeführt werden, das die im Prinzip harmlosen Pollen als Angreifer erkennt. Als Abwehrmaßnahme werden Botenstoffe ausgesandt, die Symptome wie Schnupfen, Bindehautentzündungen oder/und Asthma hervorrufen können. Die Zahl der von Pollenallergien Betroffenen zeigt einen ansteigenden Trend. Schon wenige Pollen (ab zehn) in einem m³ 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.

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. Steigende Mitteltemperaturen führen zu milderem Wintern und zu einem früher einsetzenden

Frühling. Ebenso führen größere Mengen von CO₂ 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 langanhaltenden Trockenphasen steigt die Pollenkonzentration der Luft an, die erst wieder mit einsetzendem Niederschlag abnimmt. Die Regentropfen nehmen die Pollen beim Fallen auf, so dass diese nicht mehr eingeatmet werden können. Der Klimawandel kann insbesondere in den Sommermonaten länger anhaltende Trockenphasen verursachen, sodass die Belastungszeit für Pollenallergiker zunehmen wird.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit der Menschen in Brandenburg auf.

Definition und Berechnungsverfahren:

Dargestellt ist Anzahl der Belastungstage von Hasel-, Erlen-, Birken-, Eschen-, Gräser-, Roggen-, Beifuß- und Ambrosia-Pollen an den Stationen Cottbus, Drebkau, Vetschau (ab 2015), Berlin, Potsdam und Treuenbrietzen im Zeitraum von 2012 bis 2017. Als Belastungstag gilt ein Tag, an dem die Anzahl an Pollen in einem Kubikmeter (m³) Luft um den Schwellenwert für die jeweilige Pflanzenart überschritten wird. Dabei werden mäßige und starke Belastungstage unterschieden. Für Pollen von Bäumen liegen die Belastungsgrenzen in der Regel höher als für die anderen Pflanzen.

Datenquelle:

Ärzteteam Dr. Schneider/ Gereke aus Cottbus (Auswertung der Pollenfallen in Drebkau und Cottbus), Pollen Counter Schubert (Vetschau), Polleninformationsdienst (PID), Ministerium für Soziales, Gesundheit, Integration und Verbraucherschutz (MSGIV).

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 unter anderem das Vegetationsverhalten (Blühverhalten) der Pflanzen und erlauben auch eine Einschätzung der Länge des Expositionszeitraums (Saisonlänge).

G-5 Belastung mit Ambrosia-Pollen

Grafik:

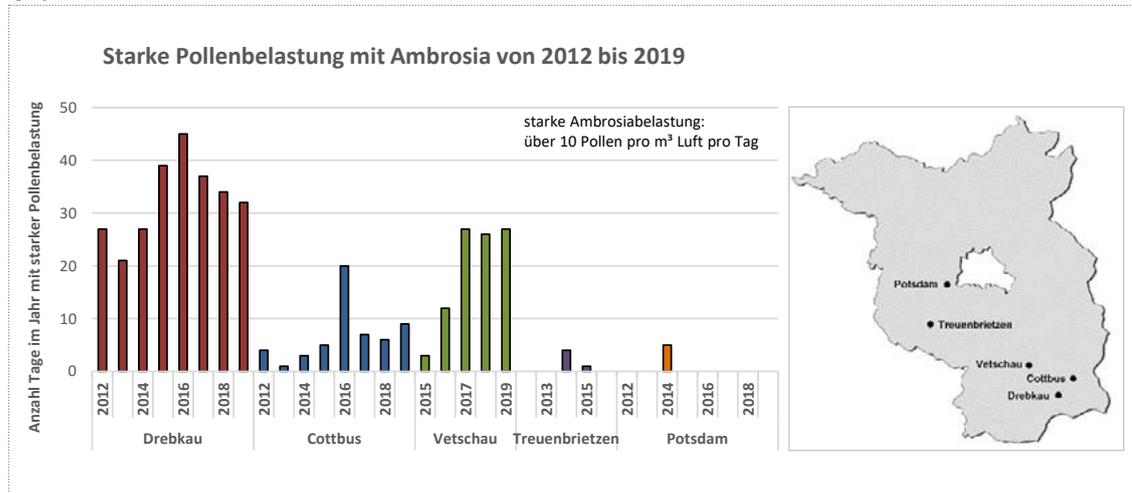


Abbildung 33: Anzahl der Tage mit starker Pollenbelastung mit Ambrosia in Drebkau, Cottbus, Vetschau, Treuenbrietzen und Potsdam von 2012 bis 2019; rechts: Lage von Drebkau, Cottbus, Vetschau, Treuenbrietzen und Potsdam in Brandenburg

Bedeutung:

In Deutschland leiden rund 18 Millionen Menschen unter allergischen Erkrankungen. Insbesondere der Heuschnupfen wird durch die Pollen bestimmter Pflanzenarten hervorgerufen. Die Pollendichte und die Pollenflugzeit werden stark von der Witterung beziehungsweise dem Klima beeinflusst. Ein insgesamt milderes Klima mit einer längeren Vegetationsperiode begünstigt längere Pollenflugzeiten und höhere Pollenkonzentrationen in der Luft. Möglicherweise nimmt auch die Wirksamkeit von Pollenallergenen mit höheren Temperaturen zu. Wird es wärmer, können sich außerdem wärmeliebende Pflanzenarten, die bisher in Deutschland nicht heimisch waren und ein hohes allergenes Potenzial haben, ansiedeln.

Das aus Nordamerika stammende Beifußblättrige Traubenkraut (englisch Ragweed), kurz Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), war in Deutschland bis Anfang der 1990er Jahre ein relativ seltenes und unbeständiges Unkraut. Heute kommt die Beifuß-Ambrosie

sie in allen Bundesländern vor und bildet in Brandenburg, in der Niederlausitz, 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 und bleiben unter Umständen viele Jahre oder sogar Jahrzehnte keimfähig, während die Pflanze selbst sehr frostempfindlich ist.

Bei steigenden Temperaturen durch den Klimawandel wird angenommen, dass das Vorkommen und die Ausbreitung von *Ambrosia artemisiifolia* weiter zunehmen wird. Durch die Erhöhung der Pflanzbestände wird die Pollenmenge ebenfalls zunehmen.

Die Pollensaison wird durch die spät im Jahr blühende Ambrosia-Pflanze verlängert, wodurch Pollenallergiker unter Umständen das ganze Jahr hindurch unter der Allergie leiden. Dazu kommt, dass die Pollen der Ambrosia eine erhebliche Allergenität aufweisen. Bei spezifisch sensibilisierten Personen können bereits geringe Pollenkonzentrationen (ab circa 10 Pollen pro Kubikmeter Luft) allergische Reaktionen auslösen. Daher wird bereits ab einer Konzentration von 11 Pollen pro Kubikmeter Luft von einer starken Belastung gesprochen (im Unterschied etwa zu Gräser-Pollen, hier gilt > 50 Pollen pro Kubikmeter als starke Belastung). Ambrosia-Pollen verursachen in den meisten Fällen Heuschnupfen-Symptome. Ein relativ hoher Anteil (bis zu einem Viertel der Betroffenen) entwickelt auch ein Asthma bronchiale. Daneben können auch Hautreaktionen nach Hautkontakt mit dem Blütenstand oder anderen Pflanzenbestandteilen auftreten.

Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit von Allergien betroffener Menschen in Brandenburg.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Polleninformationsdienst (PID) betreibt ein Netz von Pollenfallen in Deutschland, dessen Messwerte zusammen mit den Beobachtungen der Phänologen und der Wetterdaten zur Pollenflugvorhersage des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beitragen. In Brandenburg gibt es am Standort Treuenbrietzen und Potsdam eine Pollenmessstation beziehungsweise Pollenfalle vom PID. Weitere Pollenfallen existieren in Drebkau und Cottbus und seit 2015 in Vetschau. Die Messungen mit den so genannten Burkard-Fallen sind standardisiert und liefern valide, interpretierbare Daten. Die Dokumentation von Ambrosia-Pollen erfolgt nicht artspezifisch.

Die Pollenmenge pro Kubikmeter Luft wird für jeden Tag der Pollensaison ermittelt, sodass sich ein Tagesmittelwert der Anzahl der Pollen pro Kubikmeter Luft ergibt. Die Schwelle zu einer hohen Belastung mit Ambrosia-Pollen liegt bei größer zehn Pollen pro Kubikmeter Luft. Dargestellt ist die Anzahl der Tage mit einer Überschreitung der Schwelle mit hoher Belastung.

Datenquelle:

Ärzteteam Dr. Schneider/ Gereke aus Cottbus (Auswertung der Pollenfallen in Drebkau und Cottbus), Pollen Counter Schubert (Vetschau), Polleninformationsdienst (PID), Ministerium für Soziales, Gesundheit, Integration und Verbraucherschutz (MSGIV).

Hinweise zur Interpretation:

Die gemessene 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. Es ist unumstritten, dass eine erhöhte Pollenexposition zu erhöhten Sensibilisierungsraten führt. Die Anzahl der Tage mit einer Überschreitung des Schwellenwertes von größer 10 Pollen/m³ Luft erlauben jedoch eine Einschätzung für das Expositionsrisiko.

Die Darstellungen der gemessenen Ambrosia-Pollen der einzelnen Jahre an den Messstandorten dokumentiert unter anderem das Vegetationsverhalten von Ambrosia und erlaubt auch eine Einschätzung der Länge des Expositionszeitraums (Saisonlänge).

G-6 Blaualgenbelastung in Badegewässern (DAS-Indikator)

Grafik:

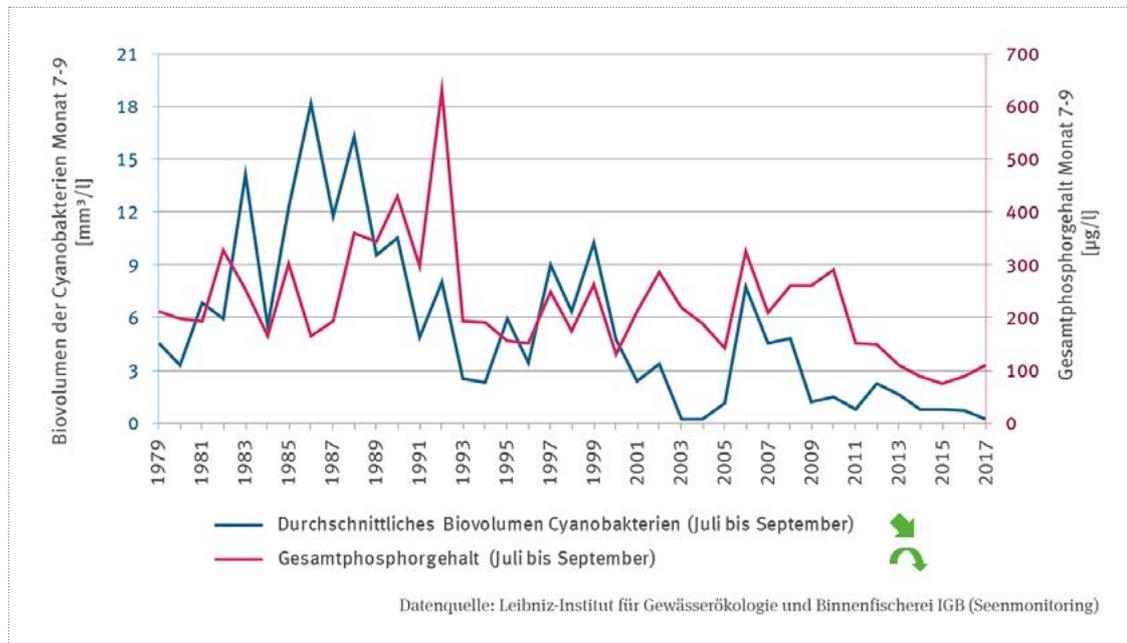


Abbildung 34: Blaualgenbelastung im Großen Müggelsee (Berlin) als Beispiel für die Blaualgenbelastung in Badegewässern, Fallstudie des Klimawandelmonitorings der Deutschen Anpassungsstrategie DAS des Umweltbundesamtes für den Zeitraum von 1979 bis 2017. (Pfeil nach unten: fallender Trend, gebogener Pfeil nach unten: Trendumkehr (erst steigend, dann fallend), grüner Pfeil: günstige Entwicklung)

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, also nährstoffreichen Gewässern, die reich an Phosphor sind. Blaualgen profitieren besonders von starker Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen beziehungsweise einer stabilen thermischen Schichtung des Wassers. Es wird ein Zusammenhang zwischen dem Klimawandel, der Wassererwärmung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Cyanobakterien diskutiert.

Durch Baden in stark blaualgenhaltigem Wasser treten vermehrt Symptome wie Haut- und Schleimhautreizungen und allergische Reaktionen, aber auch Magen-Darm- und Atemwegserkrankungen auf. Ob diese letztendlich durch die toxischen Stoffwechselprodukte der Blaualgen (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 mögliche Folgen des Klimawandels auf die Qualität von Badegewässern auf.

Definition und Berechnungsverfahren:

Die Ermittlung der Blaualgenbelastung und des Phosphorgehalts von Badegewässern erfolgt zwischen Juli und September. Aus den Messwerten wird das Saisonmittel berechnet. Berücksichtigt werden nur Jahre, in denen zwischen Juli und September mindestens drei Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattgefunden haben. Dargestellt ist der Gesamtphosphorgehalt in den Monaten Juli, August und September in Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) sowie das Biovolumen der Cyanobakterien in Kubikmillimeter pro Liter (mm^3/l).

Datenquelle:

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) Berlin: Seen-Monitoring am Müggelsee in jährlicher Auflösung seit 1979, Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel Indikator-GE-I-5

G-7 Schadstoffbelastung der Luft

Grafik:

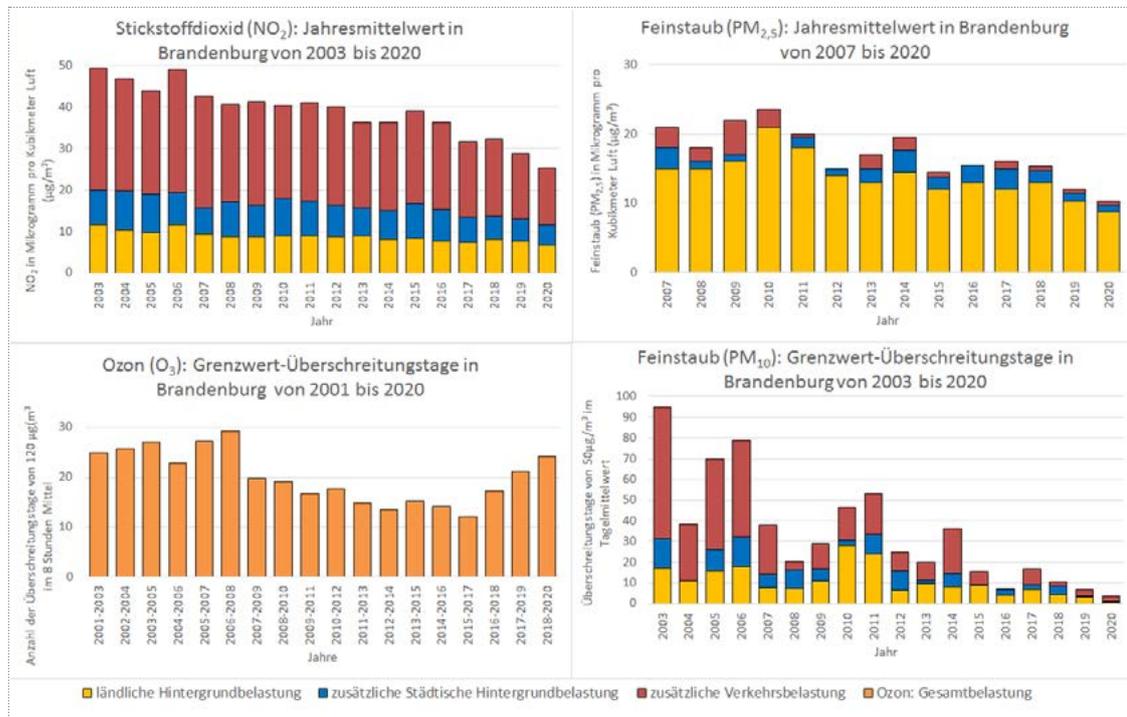


Abbildung 35: Schadstoffbelastung der Luft mit Stickstoffdioxid NO₂, Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} und Ozon O₃ in Brandenburg von 2001 bis 2020. Die Schadstoffbelastung setzt sich zusammen aus der ländlichen Hintergrundbelastung, der zusätzlichen städtischen Hintergrundbelastung und der zusätzlichen Verkehrsbelastung an Verkehrshotspots. Für NO₂ und PM_{2,5} werden die Jahresmittelwerte dargestellt und für PM₁₀ die Anzahl der Tage eines Kalenderjahrs mit einer Überschreitung des Grenzwertes. Für O₃ wird die Anzahl der Tage eines Kalenderjahrs mit einer Überschreitung des Grenzwertes über drei Jahre gemittelt.

Bedeutung:

Die Antreiber des Klimawandels, wie die CO₂ Emissionen, die durch den Abbau und die Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, erzeugen große Mengen an Luftschadstoffen. Zahlreiche Luftschadstoffe, die negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme haben, beeinflussen auch den Klimawandel. Je nach Schadstoff können die Auswirkungen des Klimawandels verstärkt oder verringert werden. Beispielsweise beeinflussen Partikel in der Luft den Strahlungshaushalt direkt über die planetare Rückstrahlung (Albedo), aber auch indirekt über die Wolkenbildung. Die

Klimaeffekte der einzelnen Luftschadstoffe sind der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen.

Feinstaubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) können, abhängig von der Größe und der ihnen anhaftenden Stoffe, gesundheitsgefährdend sein. PM_{2.5} bezeichnet eine Teilmenge von PM₁₀ und umfasst alle Partikel $\leq 2,5 \mu\text{m}$. PM₁₀ kann beim Menschen in die Nasenhöhle, PM_{2.5} 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, der Betroffene ausgesetzt sind, hin. Wesentliche PM10-Emittenten sind natürlichen Quellen, industrielle Prozesse, Feststofffeuerungen und der Kfz-Verkehr. Grenzwerte sind in der 39. Verordnung zur Durchsetzung des Bundes-Immissionschutzgesetzes – Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) festgesetzt: der Tagesmittelwert liegt bei $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes sind im Jahr zulässig; Jahresmittelwert (Kalenderjahr) von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind als Grenzwert festgelegt.

Erhöhte Stickstoffdioxid-Konzentrationen (NO_2) können beim Menschen ebenfalls zu Reizungen der Atemwege führen. Außerdem kann NO_2 unter der Einwirkung von UV Strahlung zur Bildung von bodennahem Ozon führen. Nur ein kleiner Anteil des NO_2 stammt aus natürlichen Quellen, der Großteil setzt sich zusammen aus industriellen Verbrennungsprozessen und dem Kraftfahrzeugverkehr. Insbesondere in Ballungsräumen führt NO_2 daher zu hohen Luftbelastungen. Als Grenzwerte nach 39. BImSchV gilt ein Jahresmittelwert (Kalenderjahr) von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und ein Ein-Stunden-Mittelwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18 Überschreitungen im Jahr zulässig).

Erhöhte Ozonkonzentrationen (O_3) 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 und Stickstoffoxide) durch den 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: $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für

den höchsten acht Stunden Mittelwert eines Tages (25 Überschreitungen im Jahr zulässig, gemittelt über drei Jahre). Als langfristiges Ziel für 2020 sollen $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den höchsten Acht-Stunden-Mittelwert nicht überschritten werden. Die Informationsschwelle liegt bei $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Ein-Stunden-Mittelwert, die Alarmschwelle liegt bei $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Ein-Stunden-Mittelwert.

Der Indikator stellt die Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit und die Anpassungskapazität an den Klimawandel dar.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator umfasst die regionale beziehungsweise ländliche Hintergrundbelastung, die Zusatzbelastung städtischer Hintergrund, sowie die verkehrsbezogene Belastung an Verkehrshotspots in Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) für NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ und PM_{10} . Für Ozon werden Hintergrundbelastungen im ländlichen sowie städtischen Bereich zusammenfassend dargestellt, da sie kaum zu trennen sind. Aufgrund der Wechselwirkungen von Ozon und Stickstoffdioxid wird die durch den Verkehr verursachte Ozonbelastung nicht separat gemessen.

Für NO_2 und $\text{PM}_{2.5}$ werden die Jahresmittelwerte aus Ein-Stunden-Mittelwert, mit mindestens 75 % gültigen Werten verwendet. Der Grenzwert für den Jahresmittelwert liegt für NO_2 bei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft und für $\text{PM}_{2.5}$ bei $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft. Für Ozon und PM_{10} wird die Anzahl der Grenzwert-Überschreitungen im Jahr betrachtet. Der Grenzwert für Ozon liegt bei $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft im Acht-Stunden-Mittelwert. Im Drei-Jahresmittel darf dieser Grenzwert an nicht mehr als 25 Tagen im Kalenderjahr überschritten werden. Der Grenzwert für PM_{10} liegt bei $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft im Tagesmittelwert und darf an nicht mehr als 35 Tagen im Kalenderjahr überschritten werden.

Die hier verwendeten Daten ergeben sich aus dem Mittel aller Messpunkte (Cottbus, Frankfurt Oder, Potsdam Zentrum) für die städtische Hintergrundbelastung und die Verkehrsbelastung. Daten der ländlichen Hintergrundbelastung werden gemittelt für die Stationen in Lütte (Belzig), Hasenholz (Buckow) und Spreewald.

Die Messungen der Immissionskonzentrationen erfolgen gemäß 39. BImSchV (Umsetzung der EU-Richtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht), für die PM10- und PM2.5-Konzentration nach dem diskontinuierlichen Referenzmessverfahren (gravimetrische Massenbestimmung der auf einem Filter abgeschiedenen PM10-Fraktion) oder nach einem gleichwertigen Messverfahren. Die NO₂- und Ozon-Konzentrationsmessungen erfolgen kontinuierlich nach dem jeweils festgelegten Referenzmessverfahren (Chemilumineszenz beziehungsweise UV-Photometrie) an den Messstationen im Luftgütemessnetz Brandenburg.

Datenquelle:

Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg

Hinweise zur Interpretation:

Die tatsächliche Überschreitung der jährlichen Grenzwerte beziehungsweise die Überschreitung der zulässigen Anzahl der Belastungstage ist aus den hier dargestellten Mittelwerten nicht abzulesen. Die Mittelwertbildung dient der Darstellung des Verlaufs der Belastung und zeigt nicht die tatsächliche Schadstoffbelastung die eine Person einatmet.

Der Indikator ist normiert. Aufgrund unterschiedlicher Messnetzcharakteristik sind Ländervergleiche nicht möglich.

G-8 Meldepflichtige Infektionskrankheiten

Grafik:

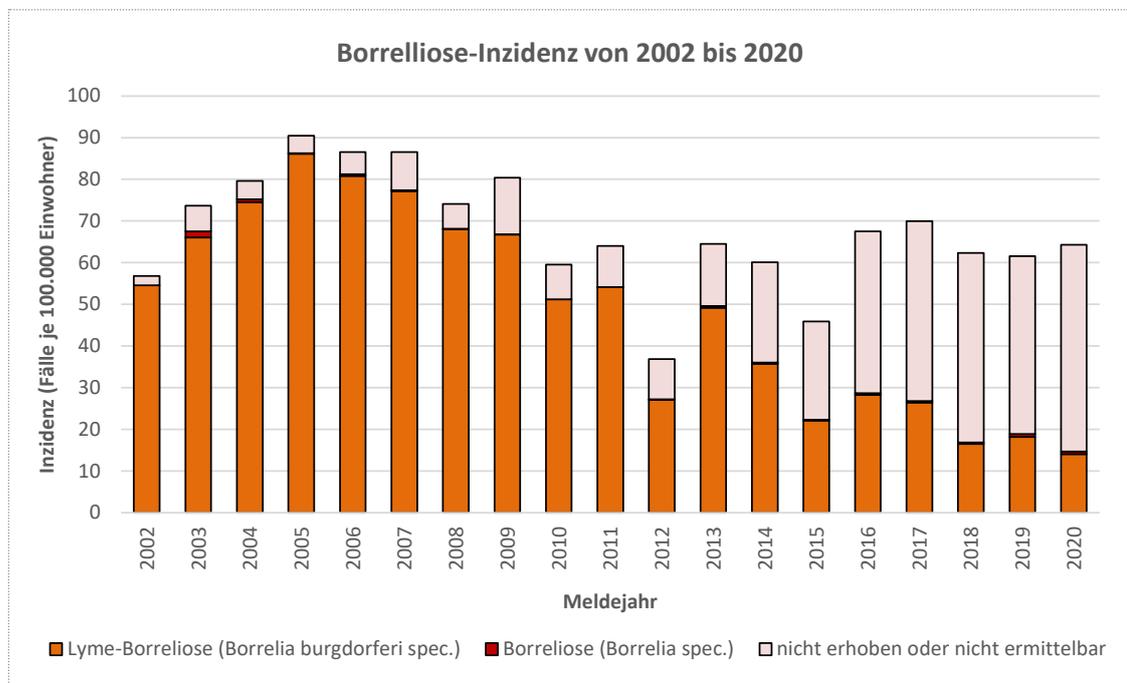


Abbildung 36: Inzidenz (Fälle je 100.000 Einwohner) der gemeldeten Borreliosefälle in Brandenburg von 2002 bis 2020. Die Borreliosefälle werden aufgeschlüsselt in Borreliose (Borrelia spec.), Lyme-Borreliose (Borrelia burgdorferi spec.) und nicht erhobener oder nicht ermittelbarer Borreliose

Bedeutung:

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 (zum Beispiel „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 klimatische Faktoren wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit geknüpft.

Der Holzbock verbreitet sich im mittleren Skandinavien weiter in Richtung Norden. 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 Grad Celsius zurückgeführt. Früher einsetzender Frühling und später beginnender Herbst bestärken diesen Ausbreitungstrend.

Üblicherweise zieht sich die Zecke bei Temperaturen unter 6 bis 7 Grad Celsius ins Laub zurück, um sich vor Kälte zu schützen und ist in Winterruhe. In dieser 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, einen beschleunigten Lebenszyklus und eine höhere Populationsdichte der Zecke.

Die verlängerte Aktivität der Zecken und größere Populationsdichte kann sich dann auch in der Anzahl der Borreliose-Neuerkrankungen 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 krankheitsübertragende Tiere (Vektoren) wie zum Beispiel (sub)tropische Stechmücken wie 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 ihrer übertragbaren Bakterien und Viren verursachen.

Vektorvermittelte Infektionskrankheiten müssen in Brandenburg daher auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel beobachtet werden. Weitere meldepflichtige Infektionskrankheiten können gegebenenfalls zukünftig in diesen Indikator integriert werden. Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung Krankheitsübertragender Tiere beziehungsweise die Ausbreitung von meldepflichtigen Infektionskrankheiten.

Definition und Berechnungsverfahren:

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 wird die Anzahl der Neuerkrankungen an Borreliose und Lyme Borreliose als Inzidenz angege-

ben. Das bedeutet, dass die Anzahl der Erkrankungen auf 100.000 Einwohner bezogen wird. Grundlage für die Inzidenzberechnung ist die von den Statistischen Landesämtern bekannt gegebene Stichtagsbevölkerung zum 31. Dezember 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. Mai 2007 wurden alle Borreliose-Meldungen an das Landesgesundheitsamt übermittelt. Seit 1. Juni 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 labor-diagnostischen Nachweis berücksichtigen.

Die Vollständigkeit der Meldedaten wird unter anderem durch die Meldedisziplin der ambulant oder stationär behandelnden Ärztinnen und Ärzte sowie der labor-diagnostischen Einrichtungen beeinflusst. Die Daten werden kontinuierlich erhoben.

Hinweise zur Interpretation:

Im Land Brandenburg besteht seit 1996 eine Meldepflicht für die Erkrankung mit 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 (krankheits-übertragende Tiere) durch veränderte Landnutzung, Klima et cetera.

Infrastrukturindikatoren

I-1 Verkehrsleistung

I-2 ÖPNV-Nutzung

I-3 Heiztage

I-1 Verkehrsleistung

Grafik:

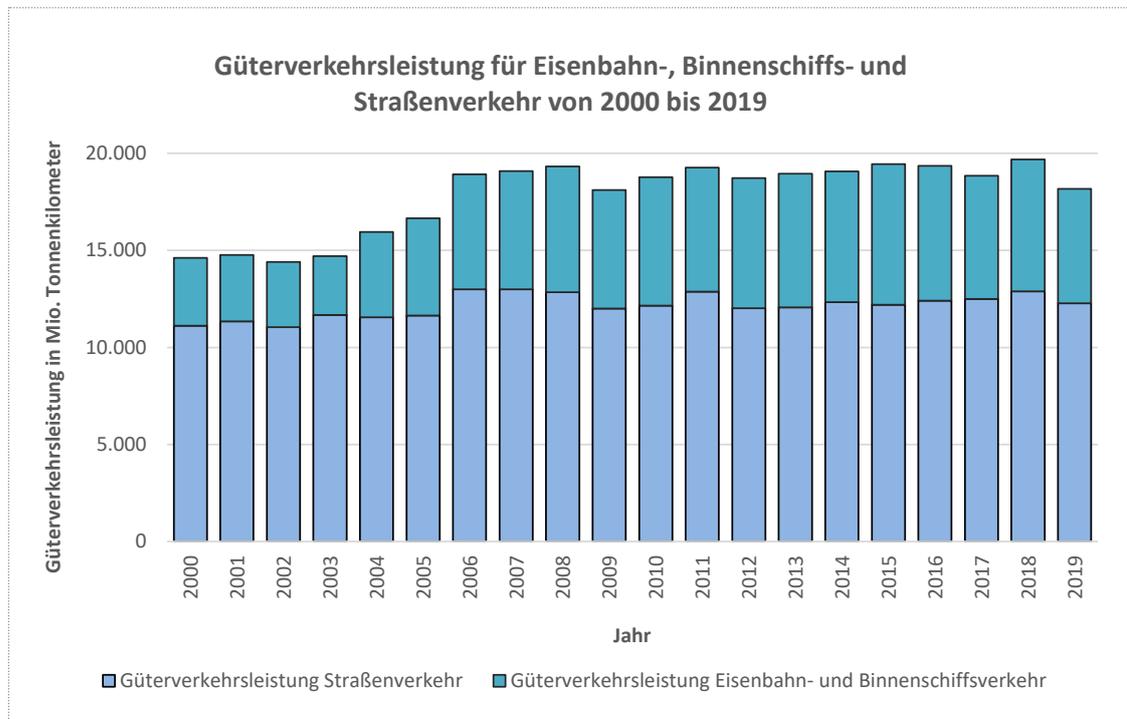


Abbildung 37: Güterverkehrsleistung in Mio. Tonnenkilometer (tkm) pro Jahr für Eisenbahn-, Binnenschiffs- und Straßenverkehr in Brandenburg von 2000 bis 2019

Bedeutung:

Die dargestellte Relation von Verkehrsleistungen des Güterverkehrs per Schiene und Wasserstraße zum insgesamt erfassten Güterverkehr spiegelt in der Tendenz die Höhe der Umweltbeeinträchtigungen wider. Eine Veränderung zu Gunsten des energie- und schadstoffärmeren Schienen- und Binnenschiffsverkehrs kann in der Regel mit einer Verringerung 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 der Güter auf Eisenbahnen und Schiffe ist eine Maßnahme zum Klimaschutz und somit eine Anpassungsmaßnahme.

Definition und Berechnungsverfahren:

Der Indikator zeigt die jährlichen Verkehrsleistungen der von Brandenburg ausgehenden Transporte, unabhängig vom Ort der erbrachten Leistung. Die Verkehrsleistung entspricht dem Produkt aus der transportierten Menge in Tonnen (t) und der Entfernung in Kilometern (km). Im Eisenbahnverkehr wird die nach dem Tarif festgelegte Transportleistung (Tarif-tkm) erfasst.

Für Brandenburg bleiben Verkehrsleistungen von im Ausland zugelassenen beziehungsweise registrierten Fahrzeugen (Transitverkehr, Kabotage-Fahrten), der Luftfrachtverkehr, der Rohrleitungsverkehr, im Straßengüterverkehr der gesamte Wirtschaftsverkehr (Fahrzeuge kleiner 3,5 Tonnen Nutzlast), der landwirtschaftliche und militärische Verkehr sowie die im Ausland

beginnenden grenzüberschreitenden Verkehrsleistungen im Schienen-, Straßen- und Binnenschiffsverkehr unberücksichtigt.

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

Datenquelle:

Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
(AK UGRdL), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB), Statistisches Bundesamt, Kraftfahrt-Bundesamt, Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) LIKI Indikator C3

I-2 ÖPNV-Nutzung

Grafik:

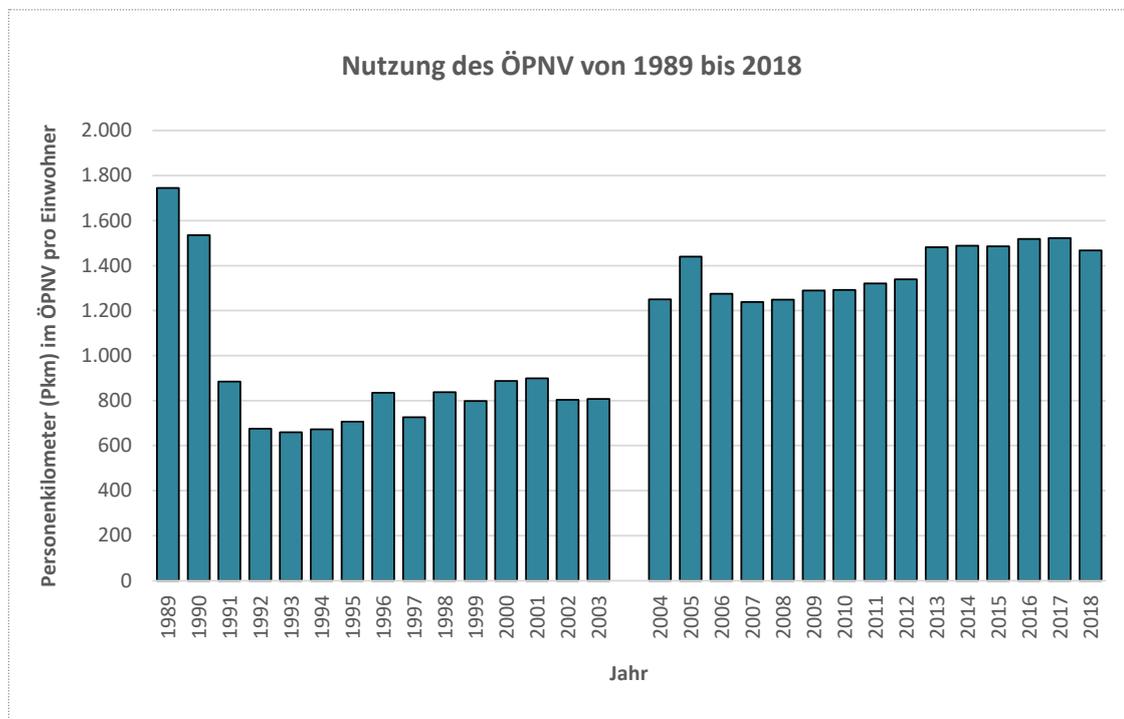


Abbildung 38: Nutzung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) in Personenkilometer (Pkm) pro Einwohner in Brandenburg von 1989 bis 2018, der Indikator ist für die Jahre bis 2003 nur bedingt mit denen ab 2004 vergleichbar, da sich die Datenerfassungsmethode geändert hat.

Bedeutung:

Die Nutzung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) wird mit der Strecke, die jeder Einwohner im Jahr zurücklegt bestimmt. Eine Zunahme der Nutzung des ÖPNV kann mit einer Abnahme des motorisierten Individualverkehrs zusammenhängen, dies kann jedoch nur im direkten Vergleich dieser Daten überprüft werden. Eine Veränderung zu Gunsten energie- und schadstoffärmerer Verkehrsmittel geht dabei mit einer Verminderung der Umweltbelastung einher.

Die Verlagerung von motorisiertem Individualverkehr auf den ÖPNV gilt als Maßnahme zum Klimaschutz und allgemein als Anpassungsmaßnahme.

Definition und Berechnungsverfahren:

Bis einschließlich 2003 wird für den 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 neun Sitzplätzen, einschl. Fahrersitz) und/oder schienengebundene Verkehrsmittel verfügen. Nicht erfasst wurden 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. Februar 2004 gemäß §1 Nr.7 im Rahmen des Öffentlichen Personenverkehrs den Linienverkehr innerhalb des Bundeslandes mit Eisenbahnen, Straßenbahnen und Omnibussen. Als für den Indikator wesentlichste Neuerung gegenüber der Zeitreihe bis 2003 wird nun der Eisenbahnverkehr (inklusive des S-Bahnverkehrs) mitberücksichtigt. 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.

Datenquelle:

Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS BB), Statistisches Bundesamt, Kraftfahrt-Bundesamt, Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) LIKI Indikator C3

I-3 Heiztage

Grafik:

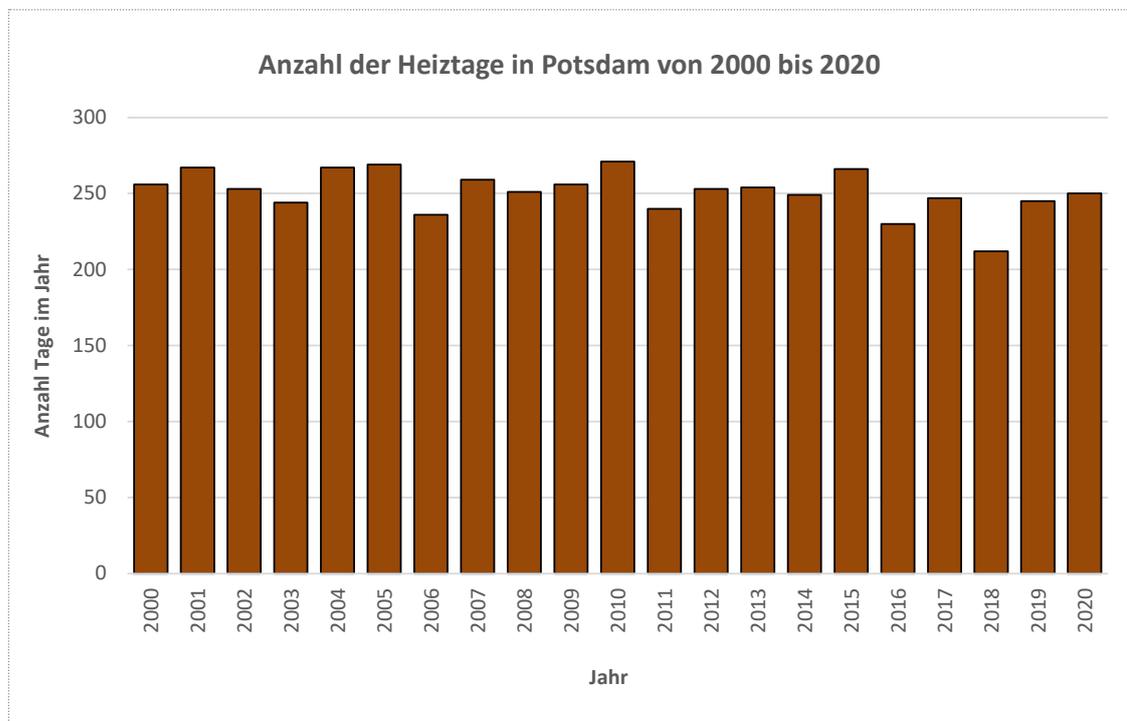


Abbildung 39: Anzahl der Heiztage im Jahr in Potsdam von 2000 bis 2020, also die Anzahl der Tage im Jahr an denen die Außentemperatur unterhalb von 15 Grad Celsius liegt

Bedeutung:

Die die Heiztage sind ein Indiz für die Notwendigkeit der Beheizung von Wohnräumen in Abhängigkeit von den Wetter- beziehungsweise den klimatischen Bedingungen. Dabei wird angenommen (nach der deutschen VDI-Richtlinie), dass ab einer Außentemperatur von unter 15 Grad Celsius, die Heizungsanlage eingeschaltet wird um eine Innentemperatur von 20 Grad Celsius zu erreichen. Die Anzahl dieser Tage im Jahr, an denen die Außentemperatur unter 15 Grad Celsius liegt, sind die Heiztage.

Mit veränderten, langfristig steigenden Durchschnittstemperaturen durch den Klimawandel wird eine Verringerung der Heiztage angenommen. Objektspezifische Einflussgrößen wie die Gebäudesanierung werden bei diesem Indikator nicht erfasst.

Dieser Indikator stellt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Heiztage in Brandenburg dar.

Definition und Berechnungsverfahren:

Heiztage können nur ortsbezogen berechnet werden, da sie von den klimatischen Bedingungen und den Gebäudetypen abhängig sind. Für die Berechnung des Indikators wird von Bestandgebäuden (kein Niedrigenergiehaus oder ähnliches) ausgegangen. Für das Land Brandenburg bildet die Station Potsdam einen guten Durchschnittswert der Temperatur innerhalb des Landes ab. Als Heiztage werden die Tage bezeichnet, an denen die mittlere Außentemperatur unter die festgelegte Heizgrenze von 15 Grad Celsius sinkt.

Die jährlichen Heizgradtage (HGT) (oder die Heizgradstunden) für den Standort eines Ge-

bäudes 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. Die Heizgradtage werden nach der Norm VDI 3807 und DIN V 4108-6 berechnet. So spiegeln die Heizgradtage die Heizlast eines konkreten Gebäudes wider, wobei auch die spezifische Wärmedämmung unter anderem berücksichtigt wird. Eine verwandte Größe ist die Gradtagszahl (GTZ). Die Gradtagszahl gibt den Temperaturunterschied eines Tages zwischen der Außentemperatur und einer Innentemperatur von zum Beispiel 20 Grad Celsius an.

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): www.gesundheitsplattform.brandenburg.de (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (2008): Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf die CO₂-Freisetzung aus Böden ausgewählter hessischer Dauerbeobachtungsflächen. Abschlussbericht. Wettberg. www.Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie.pdf (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- 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., Conrad, 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: 28.07.2020)
Länderinitiative Kernindikator A3
(letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- Länderinitiative Kernindikatoren A4 – Erneuerbare Energien Brandenburg (Stand: 10.08.2020)
Länderinitiative Kernindikator A4
(letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- Länderinitiative Kernindikatoren B3 – Naturschutzflächen (Stand: 18.08.2020)
Länderinitiative Kernindikator B3
(letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- Länderinitiative Kernindikatoren B6 – Stickstoffüberschuss (Stand:31.05.2020)
Länderinitiative Kernindikator B6
(letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- Länderinitiative Kernindikatoren C3 – Verkehrsleistung (Stand: 28.07.2020)
Länderinitiative Kernindikator C3
(letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- Länderinitiative Kernindikatoren D1 – Flächeninanspruchnahme (Stand: 22.01.2020)
Länderinitiative Kernindikator D1
(letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- Lange, M. (2014): Indikatoren-Factsheet: Mengenmäßiger Grundwasserzustand. Indikatoren für die Deutsche Anpassungsstrategie. Umweltbundesamt / KomPass. Dessau-Roßlau.
www.Umweltbundesamt.de/Indikatoren-Factsheet.pdf (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- 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
Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland
(letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- 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 (Blaualgen) und -toxine „Wasserblüte“ Cyanobakterien und -toxine (letztes Abrufdatum 20.01.2021)
 - 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. Umweltbundesamt Monitoringbericht (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
 - 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. Regionaler Waldbericht Brandenburg (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
 - 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. Umweltbundesamt Factsheet Hitzetote (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
 - 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 Stickstoff Flächenbilanz (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
 - 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).
www.hydbos.de (letztes Abrufdatum: 20.01.2021)
- 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).

**Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz
des Landes Brandenburg**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Henning-von-Tresckow-Straße 2-13, Haus S,
14467 Potsdam

Telefon: +49 (0)331 866-7237

E-Mail: bestellung@mluk.brandenburg.de

Internet: mluk.brandenburg.de

agrар-umwelt.brandenburg.de

