

Klimawandel in Sachsen-Anhalt

Monitoringbericht 2020



SACHSEN-ANHALT

Klimawandel in Sachsen-Anhalt

Monitoringbericht 2020

Herausgegeben durch das
Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie
des Landes Sachsen-Anhalt



SACHSEN-ANHALT



Prof. Dr. Claudia Dalbert,
Ministerin für
Umwelt, Landwirtschaft
und Energie.
(Foto: R. Kurzeder)

Wir spüren die Auswirkungen der Klimakrise in Sachsen-Anhalt schon heute: starke Stürme, Schlammlawinen, Sturzfluten oder die aktuellen Dürren mit der extremen Hitze. Erhebliche Schäden sind die Folge und treffen vor allem die Land- und Forstwirtschaft, die Wälder, den Wasserhaushalt und letztlich alle Bereiche der Gesellschaft.

Es ist jetzt an der Zeit, dass wir uns auf das sich wandelnde Klima einstellen und Vorsorge treffen.

Extremwetterereignisse lassen uns die Klimakrise direkt spüren. Gleichzeitig zeigen uns statistische Daten objektiv die Änderungen des Klimas an. Hierzu werden Indikatoren verwendet.

Im nachfolgenden Monitoringbericht kann nachgelesen werden, welche Veränderungen bereits eindeutig eingetreten sind und, wenn möglich, welche Schlussfolgerungen und Konsequenzen daraus zu ziehen sind. Es wird aber auch deutlich, wo die Entwicklung noch nicht ganz absehbar ist und weitere Beobachtungen und Zeitreihen erforderlich sind.

Die Klimakrise erfordert, Anpassungen in allen gesellschaftlichen Bereichen vorzunehmen. Gleichzeitig wollen wir alle Möglichkeiten ausschöpfen und uns gemeinsam anstrengen, um das Klima zu schützen. Jeder ist gefordert, zur Verringerung der Treibhausgasemissionen beizutragen. Nur so können wir unseren Enkelkindern eine lebenswerte Erde hinterlassen.

A handwritten signature in blue ink that reads "C. Dalbert". The signature is fluid and cursive, with a large initial "C" and "D".

1	Klimawandel-Monitoring im Land Sachsen-Anhalt	5
2	Indikatorensystem Sachsen-Anhalt	7
2.1	Stand, Auswahl und Anwendung der Klimafolgen-Indikatoren	7
2.2	Übersicht der Klimawandelindikatoren Sachsen-Anhalt	9
2.3	Räumliche Gliederung	11
3	Klimaentwicklung in Sachsen-Anhalt (A)	13
3.1	In allen Regionen ist es spürbar wärmer geworden	13
3.2	Temperaturrextreme haben zugenommen	16
3.3	Trockenere Sommer – feuchtere Winter	20
3.4	Die Bodenfeuchte geht in den meisten Regionen zurück	24
3.5	Immer weniger Schnee im Harz	28
3.6	Es wird früher frostfrei	30
3.7	Die Apfelblüte setzt früher ein	32
3.8	Die Vegetationsperiode wird länger	34
4	Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt	36
4.1	Wasser (B)	36
4.1.1	Mit sinkenden Grundwasserständen muss gerechnet werden	36
4.1.2	Der Mittlere Abfluss der Fließgewässer verringert sich leicht	38
4.1.3	Die Hochwasserabflüsse schwanken stark – Extreme sind jedoch selten	40
4.1.4	Die Niedrigwasserabflüsse schwanken stark und nehmen tendenziell leicht ab	42
4.2	Boden (C)	44
4.2.1	Temperaturzunahme führt zu längeren Wachstumsprozessen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen	44
4.2.2	Sinkender Bodenwasservorrat erfordert Anpassungsmaßnahmen	46
4.3	Landwirtschaft (D)	48
4.3.1	Qualität von Winterweizen weiterhin auf gutem Niveau	48
4.3.2	Erhöhte Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen	50
4.4	Forstwirtschaft (E)	52
4.4.1	Die Waldbrandgefahr steigt	52
4.4.2	Höhere Temperaturen und häufigere Extremwetterereignisse gefährden die Vitalität unserer Wälder	54
4.4.3	Umverteilung zu besseren Humusformen hilft den Wäldern	56
4.4.4	Für die Wälder steigt in den Tieflandregionen die Gefahr von Trockenstress	58
4.5	Biodiversität (F)	60
4.5.1	Submediterrane Orchideenarten breiten sich nach Nordosten aus	60
4.6	Infrastruktur (G)	62
4.6.1	Ausbau der erneuerbaren Energien bewirkt zunehmende Diversifizierung der Energieerzeugung	62
4.6.2	Wärmebelastung in Großstädten nimmt zu	64
4.6.3	Sommerlicher Wärmeinseleffekt ist nur schwach ausgebildet	66
4.6.4	Mildere Winter führen zu geringerem Heizenergiebedarf	68
4.6.5	Schiffbarkeit der Elbe ist durch längere Trockenperioden gefährdet	70
	Glossar	73
	Tabellenverzeichnis	75
	Abbildungsverzeichnis	76

1 Klimawandel-Monitoring im Land Sachsen-Anhalt

Die Extremwetterereignisse der vergangenen Jahre sowie die Änderungen klimatischer Kenngrößen (z. B. die Anzahl der Heißen Tage und der Tropennächte) zeigen, welche Richtung die Folgen des Klimawandels einschlagen können. Anhand von Indikatoren lassen sich diese klimatischen Veränderungen auf eine objektive Stufe stellen und statistisch nachweisen. Für die Ausrichtung von Anpassungsmaßnahmen ist das von großer strategischer Bedeutung, damit diese zielgenau definiert und erfolgreich umgesetzt werden können.

Im gleichen Maß bedeutsam sind die Beobachtung und perspektivisch die Auswertung der Wirkung von Anpassungsmaßnahmen. Damit können die Rahmenbedingungen für strategische Entscheidungen besser bestimmt und weiterentwickelt werden.

Die Landesregierung von Sachsen-Anhalt sieht sich in der Verantwortung, alle Bereiche der Gesellschaft an die Folgen der Klimaveränderungen anzupassen. Seit 2010 gibt es deshalb eine Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Anpassungsstrategie¹). Diese wird regelmäßig fortgeschrieben, letztmalig erfolgte das in 2019. Die Anpassungsstrategie beschreibt die Situation im Land und analysiert die unterschiedlichen Sektoren, die vom Klimawandel betroffen sind. Es werden sowohl Ziele als auch Maßnahmen zur Anpassung für die betroffenen Sektoren benannt.

Die Erstellung, Aktualisierung und Fortschreibung übernahm die fach- und ressortübergreifende Arbeitsgruppe Klima des Landes Sachsen-Anhalt (AG Klima) unter Federführung des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (MULE). Dabei wurde der Öffentlichkeit jeweils die Möglichkeit zur schriftlichen Stellungnahme eingeräumt.

Die AG Klima erstellt auch **Umsetzungsberichte** zur Anpassungsstrategie.

Im Rahmen der weiteren Fortschreibung der Strategie werden die Maßnahmen an die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse, Erfahrungen und Erfordernisse angepasst. Dazu ist es notwendig, Veränderungen zu beobachten, zu messen und auszuwerten. Indikatoren bieten eine wirksame Möglichkeit, komplizierte Sachverhalte mit messbaren Ersatzgrößen zu beschreiben und Anpassungsmaßnahmen festzulegen.

In Abstimmungen mit den Vertreterinnen und Vertretern der AG Klima wurden für Sachsen-Anhalt Indikatoren identifiziert und definiert (2.1 Stand, Auswahl und Anwendung der Klimawandelindikatoren). Das bisher aufgestellte Indikatoren-Set ist nicht als starres System gedacht, sondern kann bei Bedarf angepasst werden.

Die Indikatoren werden vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) in Abstimmung mit den Fachbehörden des Landes erarbeitet und in jeweils einem Kennblatt aufbereitet. Erforderliche Aktualisierungen werden je nach Datenlage, zumeist jährlich, vorgenommen. Die Veröffentlichung der Indikatoren erfolgt in der Internet-Präsenz des LAU.²

Die Kennblätter bilden die Grundlage für den vorliegenden Monitoringbericht. In diesem Bericht werden die Ergebnisse des Klimawandel-Monitorings beschrieben, bewertet und es werden Schlussfolgerungen für weitere Anpassungsmaßnahmen gezogen.

¹ Strategie des Landes zur Anpassung an den Klimawandel

² <https://lau.sachsen-anhalt.de/analytik-service/indikatoren-nachhaltigkeit/klimafolgen-indikatoren-fuer-sachsen-anhalt/>

Der Monitoringbericht soll in regelmäßigen Abständen erstellt werden. Er dient auch der Fortschreibung der Anpassungsstrategie im Lichte neuester Erkenntnisse.

Wichtig ist die Feststellung: Die Anpassung an den Klimawandel ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, wobei die Politik nur den Rahmen setzen kann. Die Anpassung sollte überall erfolgen, durch jede Kommune, jeden Verein, jedes Unternehmen und jeden Einzelnen. Auch hierfür bietet der Monitoringbericht Unterstützung.



Strategie des Landes zur Anpassung an den Klimawandel (Fortschreibung 2019).

2 Indikatorensystem Sachsen-Anhalt

2.1 Stand, Auswahl und Anwendung der Klimafolgen-Indikatoren

Als Grundlage für das Indikatorensystem Sachsen-Anhalt wurden genutzt:

- das Indikatorensystem der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS),
- die bereits vorhandenen Indikatorensysteme anderer Bundesländer und
- die in Sachsen-Anhalt bereits vorhandenen Indikatorensysteme einzelner Sektoren (u. a. Landwirtschaft, Wasser, Forst).

Die ausgewählten Indikatoren mussten dabei folgende Kriterien erfüllen:

- eine kurzfristige, aber auch dauerhafte gesicherte Datenverfügbarkeit,
- das Vorhandensein langer Zeitreihen,
- eine hohe Aussagekraft für das Land Sachsen-Anhalt und
- einen möglichen Mehrwert für die jeweiligen Sektoren.

Unter Federführung des MULE haben Fachexpertinnen und -experten des LAU und der Landesbehörden zunächst Indikatoren aus sieben Kategorien ausgewählt:

Tabelle 1:

Übersicht über die Kategorien der Klimafolgenindikatoren Sachsen-Anhalt

	Kategorie
(A)	Klima
(B)	Wasser
(C)	Boden
(D)	Landwirtschaft
(E)	Forstwirtschaft
(F)	Biodiversität
(G)	Infrastruktur

Ziel ist es, mittels der Indikatoren

- den Klimawandel in seinem Ausmaß und seiner Dynamik zu beschreiben (State-Indikatoren),
- die Folgen des Klimawandels auf Umwelt, Natur und Gesellschaft zeitlich und räumlich zu dokumentieren (Impact-Indikatoren) und
- die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen und -strategien nachvollziehbar zu machen (Response-Indikatoren).

Die State-Indikatoren beschreiben anhand ausgewählter Kenngrößen von Temperatur und Niederschlag die Veränderungen des Klimas in Sachsen-Anhalt. Sie sind im Abschnitt 3 Klimaentwicklung in Sachsen-Anhalt erfasst.

Den größten Raum nehmen im Bericht die Impact-Indikatoren im Abschnitt 4 Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt ein. Sie dienen der Darstellung und Bewertung der Klimawandelfolgen für verschiedene Handlungsfelder.

Response-Indikatoren sollen in Zukunft Auskunft über den Anpassungsprozess in den einzelnen Handlungsfeldern geben. Ihre Erarbeitung wird erst im Zuge der Fortschreibung des Monitoringberichts erfolgen.

In einem ersten Schritt wurden durch das LAU Kennblätter für ausgewählte Indikatoren erstellt, die im Internet veröffentlicht sind und regelmäßig aktualisiert werden¹.

Die Kennblätter beinhalten neben der ausführlichen Beschreibung der Indikatoren langjährige und regelmäßig aktualisierte Zeitreihen für ausgewählte repräsentative Klimastationen des Landes (siehe: 2.3 Räumliche Gliederung). Diese werden durch Diagramme visualisiert und kommentiert.

Zur Erfassung des Klimas und seiner Änderungen ist es nach den Empfehlungen der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) üblich, Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahren zu bilden. Wenn die Datenlage es erlaubte, wurden deshalb für die Indikatoren Mittelwerte der folgenden meteorologischen 30-Jahres-Zeiträume herangezogen:

- 1961 bis 1990 als Referenzwert
- 1991 bis zum aktuellen Jahr (entsprechend der Datenverfügbarkeit).

Der Einfachheit halber werden im Nachfolgenden beide Zeiträume als 30-Jahreszeiträume bezeichnet – ungeachtet dessen, dass es sich bei dem zweiten Zeitraum um einen unvollständigen 30-Jahreszeitraum handelt.

Eine Ausnahme bilden beispielsweise die Indikatoren der Kategorie (B) Wasser, da dort die Messungen an den ausgewählten Pegeln teilweise erst nach 1961 begonnen haben. Somit konnten mitunter nur unvollständige 30-jährige Referenzzeiträume gebildet werden. Zur Vergleichbarkeit wurde für die Kategorie Wasser wie folgt verfahren:

1. Für den Monitoringbericht wurde, wie in allen anderen Kapiteln, durchgehend der Referenzzeitraum zugrunde gelegt, auch wenn er sich auf eine unvollständige Zeitreihe bezieht.
2. In den zugehörigen Indikatoren-Kennblättern wurden darüber hinaus weitere vollständige 30-jährige Zeitreihen dargestellt.

Mehrere Indikatoren greifen auf die Vegetationsperiode zurück. Die Vegetationsperiode wird allgemein als derjenige Zeitraum des Jahres definiert, in dem die Pflanzen photosynthetisch aktiv sind und wachsen, blühen und fruchten. Eine einheitliche Definition der Vegetationsperiode auf Basis meteorologischer Parameter ist aufgrund der verschiedenen Klimaräume und der differenzierten Sensibilität von Kulturarten kaum möglich. Deshalb werden im Monitoringbericht mehrere Vegetationsperioden betrachtet (siehe: Glossar).

¹ <https://lau.sachsen-anhalt.de/analytik-service/indikatoren-nachhaltigkeit/klimafolgen-indikatoren-fuer-sachsen-anhalt/>

2.2 Übersicht der Klimawandelindikatoren Sachsen-Anhalt

Nachfolgend sind die durch die Arbeitsgruppe Klima des Landes Sachsen-Anhalt definierten Indikatoren aufgelistet. Sie lassen sich, wie oben bereits erwähnt, in verschiedene Kategorien einteilen. Diese Kategorien spiegeln sich auch in der schematischen Indikatornummerierung wider.

Tabelle 2:
Übersicht der
Klimawandel-
indikatoren
Sachsen-Anhalt

Kategorie/ Indikationsnummer	Indikatorbezeichnung
Klima A 1	Temperatur (Jahr/Sommer/Winter)
Klima A 2	Temperaturkentage
Klima A 3	Niederschlag (Jahr/Sommer/Winter; Niederschlagsextreme)
Klima A 4	Bodenfeuchte
Klima A 5	Natürliche Schneedecke Harz
Klima A 6	Beginn und Ende Frostfreiheit
Klima A 7	Blühbeginn Apfel
Klima A 8	Dauer Vegetationsperiode
Klima A 9*	Hitzewarntage
Wasser B 1	Grundwasserstand
Wasser B 2*	Grundwasserneubildung
Wasser B 3	Mittlerer Abfluss (MQ)
Wasser B 4	Mittlerer Hochwasserabfluss (MHQ)
Wasser B 5	Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ)
Wasser B 6*	Wassertemperatur stehender Gewässer
Wasser B 7*	Anzahl eisfreier Tage stehender Gewässer
Wasser B 8*	Schichtungsverhalten von Talsperren
Boden C 1	Bodentemperatur
Boden C 2	Bodenwasservorrat
Boden C 3*	Entwicklung Humusgehalt

Kategorie/ Indikationsnummer	Indikatorbezeichnung
Landwirtschaft D 1*	Schaderregerbefall
Landwirtschaft D 2	Qualität von Ernteprodukten
Landwirtschaft D 3	Beregnungsbedürftigkeit
Forstwirtschaft E 1*	Wuchsverhalten einheimischer und eingeführter Baumarten
Forstwirtschaft E 2*	Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten
Forstwirtschaft E 3	Waldbrandgefährdung
Forstwirtschaft E 4	Waldzustand
Forstwirtschaft E 5	Entwicklungszyklen von forstwirtschaftlich relevanten Insekten
Forstwirtschaft E 6	Entwicklung Humusvorrat in forstlichen Böden
Forstwirtschaft E 7	Standortswasserbilanz
Biodiversität F 1	Arealveränderungen klimasensitiver Arten
Biodiversität F 2*	Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzen
Infrastruktur G 1	Diversifizierung der Elektrizitätserzeugung
Infrastruktur G 2	Wärmebelastung in Städten
Infrastruktur G 3	Sommerlicher Wärmeinseleffekt
Infrastruktur G 4	Spezieller Energieverbrauch privater Haushalte für Raumwärme
Infrastruktur G 5	Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen

* Diese Indikatoren sind zum Stand der Herausgabe dieses Monitoringberichts noch in Erarbeitung. Sie sollen jedoch in zukünftige Berichte einbezogen werden.

2.3 Räumliche Gliederung

Sachsen-Anhalt ist durch verschiedene Naturräume gekennzeichnet. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, ist zur Betrachtung der Indikatoren A1, A2, A3, A4, A6, C1, C2 und D3 eine regionalspezifische Differenzierung vorgenommen worden. Dazu wurde Sachsen-Anhalt in verschiedene Naturräume aufgeteilt und jeweils eine Klimastation repräsentativ ausgewählt (Abbildung 1).

Abbildung 1:

Physische Karte von Sachsen-Anhalt mit räumlicher Gliederung und den diese Räume repräsentierenden Messstationen. (Darstellung: LAU).



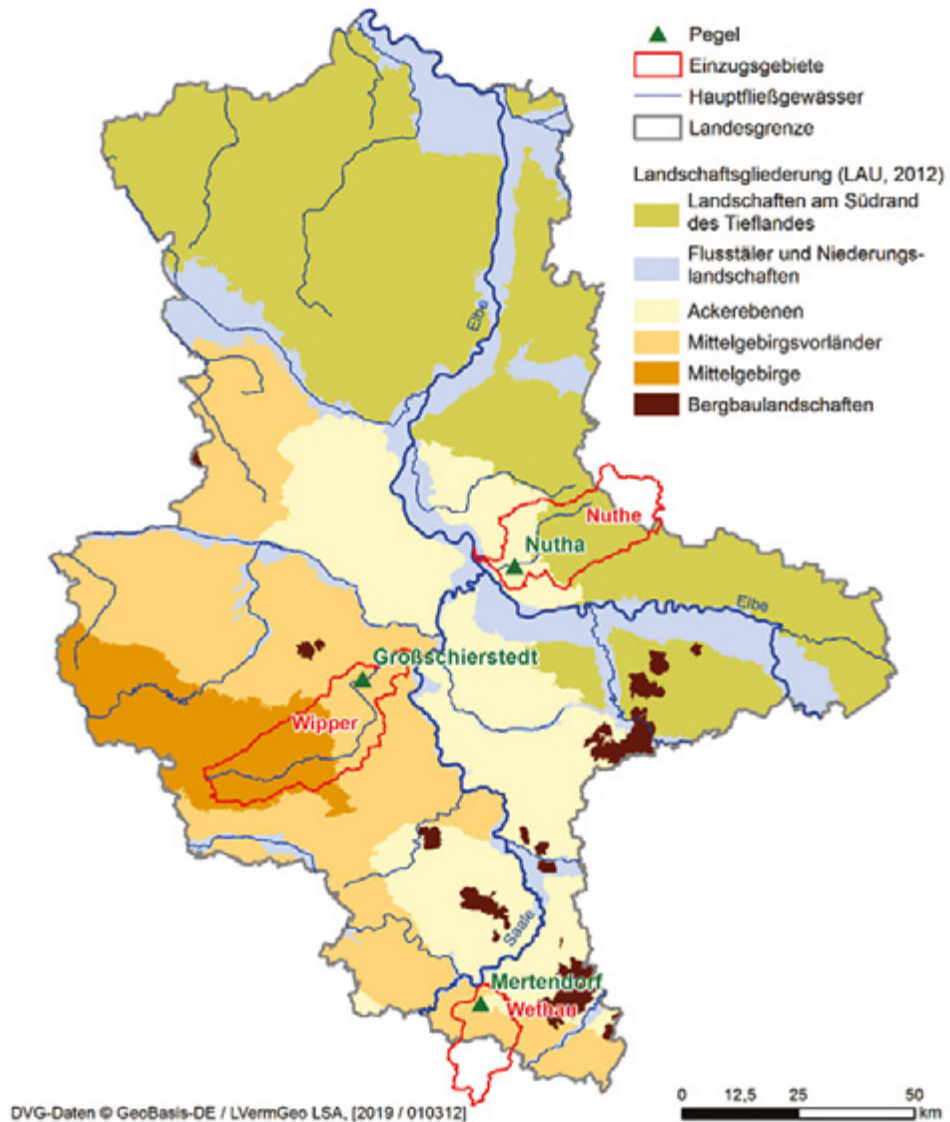
- Nördliches Sachsen-Anhalt: Station Gardedelegen
- Östliches Sachsen-Anhalt: Station Wittenberg
- Südliches Sachsen-Anhalt: Station Bad Lauchstädt
- Börde: Station Bernburg
- Oberharz: Station Brocken
- Unterharz: Station Harzgerode

Die Farben der Stationsfähnchen in Abbildung 1 entsprechen denen in den Diagrammen.

Für die Indikatoren B3, B4 und B5 wurde aus den drei in Sachsen-Anhalt vorkommenden geologischen Räumen Tiefland, Mittelgebirgsvorland und Mittelgebirge jeweils ein repräsentativer Pegelstandort ausgewählt (Abbildung 2).

Abbildung 2:

Landschaftsgliederung Sachsen-Anhalts mit den diese Räume repräsentierenden Pegeln.
(Karte: LVermGeo LSA, Darstellung: LHW).



Auch bei dem Indikator B1 ist aus den drei in Sachsen-Anhalt vorkommenden Grundwasserlandschaften jeweils eine repräsentative Grundwassermessstelle ausgewählt worden (Darstellung im Anhang zum Kennblatt des Indikators B1 Grundwasserstand).

Bei allen anderen Indikatoren wurde auf eine räumliche Gliederung entweder verzichtet (beispielsweise dann, wenn lediglich die Landesmittelwerte zur Verfügung standen) oder sie wurde der Aussagefähigkeit des Indikators angepasst (beispielsweise beim Indikator A5 Natürliche Schneedecke im Harz).

3 Klimaentwicklung in Sachsen-Anhalt (A)

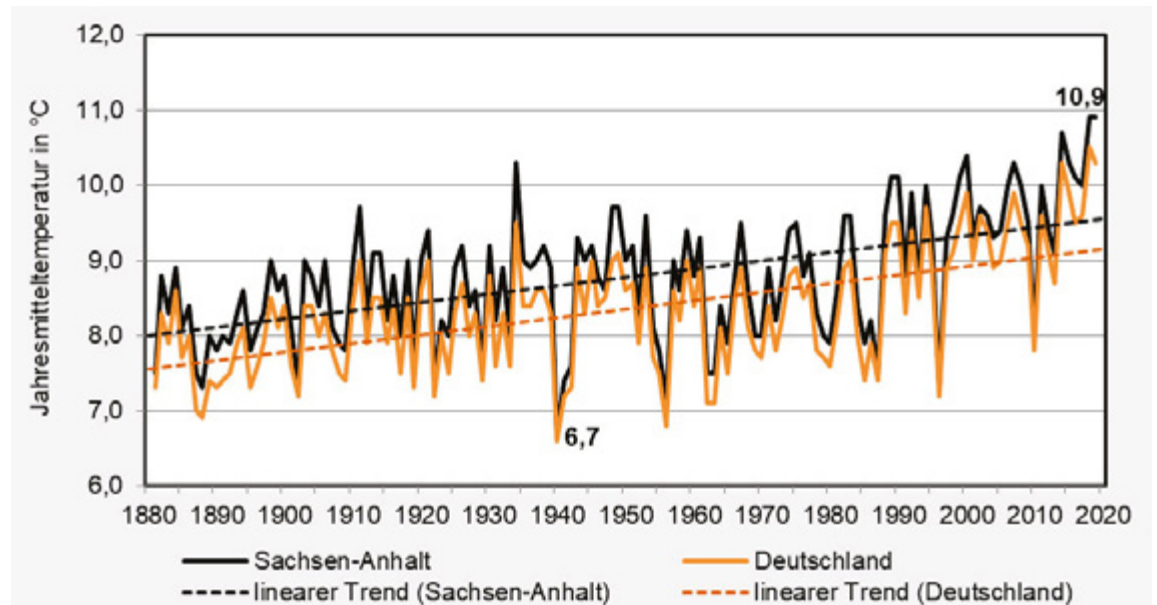
3.1 In allen Regionen ist es spürbar wärmer geworden

Die bodennahe Lufttemperatur gehört zu den auffälligsten Indikatoren des Klimawandels. Sie charakterisiert die thermischen Bedingungen der bodennahen Atmosphäre.

Das Jahresmittel der Lufttemperatur ist von 1881 bis 2019 sowohl im Flächenmittel von Deutschland als auch im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt signifikant um 1,5 Grad angestiegen (Abbildung 3).

Abbildung 3:

Jahresmitteltemperatur für Sachsen-Anhalt und Deutschland im Zeitraum 1881 bis 2019. (Datenquelle: DWD, Darstellung: LAU).



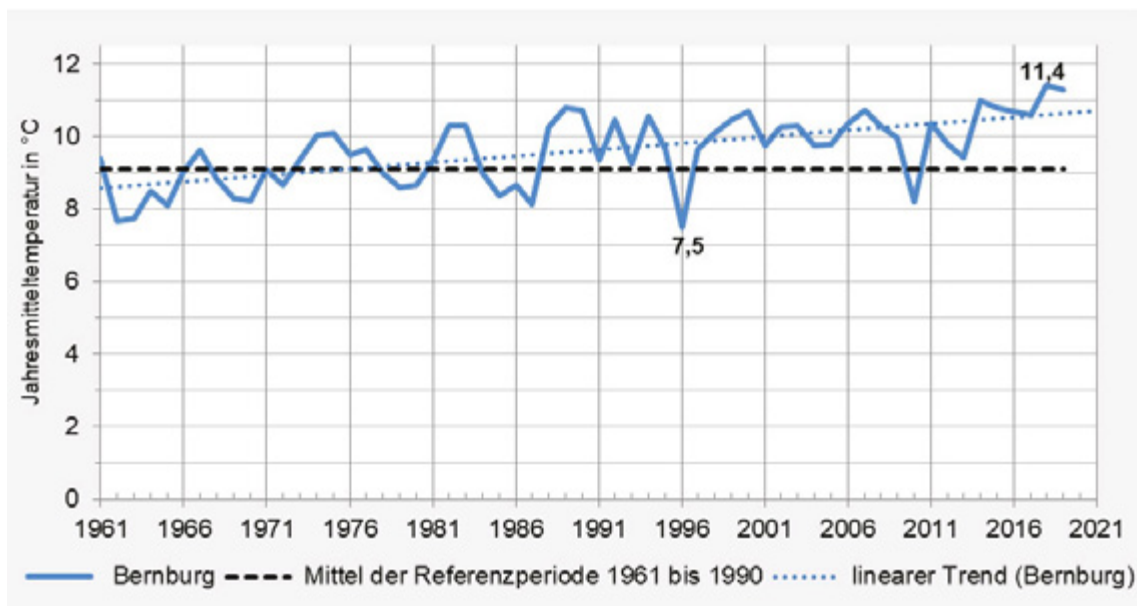
Die in Abbildung 4: Jahresmittel der Temperatur im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Bernburg 3 gegenüber gestellten Temperaturverläufe von Deutschland und Sachsen-Anhalt zeigen über den gesamten Zeitraum merkliche Schwankungen. So gab es schon immer sowohl wärmere als auch kältere Jahre. Auffallend sind zudem die im Vergleich zu Deutschland etwas höheren Temperaturen in Sachsen-Anhalt von durchschnittlich +0,4 °C. Der mit 10,9 °C höchste Jahresmittelwert für Sachsen-Anhalt wurde erst in den Jahren 2018 und 2019 gemessen. Das kälteste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnung war 1940 mit 6,7 °C Mitteltemperatur.

Für die im Indikator A1 Temperatur erfolgte regionale Betrachtung von Sachsen-Anhalt wurden aufgrund der Datenverfügbarkeit die Jahresmittel für den Zeitraum von 1961 bis 2019 (58 Jahre) zugrunde gelegt.

Die ausgewählten sechs Stationen (siehe: 2.3 Räumliche Gliederung) zeigen alle ähnliche Verläufe der Jahresmitteltemperaturen. Beispielhaft soll deshalb nur die Entwicklung an der im Tiefland in der landwirtschaftlich bedeutsamen Magdeburger Börde gelegenen Station Bernburg detaillierter betrachtet werden (Abbildung 4).

Abbildung 4:

Jahresmittel der Temperatur im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Bernburg in Grad Celsius. (Datenquelle: DWD)



Zu erkennen sind wiederum die jährlichen Schwankungen, die die natürliche Variabilität der Temperatur abbilden. Sie erstrecken sich über eine Bandbreite von 7,5 °C im kältesten Jahr 1996 bis 11,4 °C im wärmsten Jahr 2018. Auch in Bernburg zeichnet sich der Trend zu höheren Temperaturen deutlich ab. Seit 1996 lag das Jahresmittel mit Ausnahme des Jahres 2010 immer über dem Mittel der Referenzperiode von 1961 bis 1990 (9,1 °C). Abbildung 4: Jahresmittel der Temperatur im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Bernburg lässt für den Zeitraum von 1961 bis 2019 eine lineare Erhöhung der Temperatur um etwa 2 Grad erkennen.

Es gab aber auch Zeiten der Stagnation der Erwärmung bzw. kürzere Zeiträume, in denen die Temperatur leicht zurückgegangen war. Dieser stärkere Anstieg der Temperatur im Vergleich zur landes- bzw. bundesweiten Betrachtung in Abbildung 3: Jahresmittlertemperatur für Sachsen-Anhalt und Deutschland im Zeitraum 1881 bis 2019. könnte zum einen an der Wahl einer Einzelstation im Vergleich zum räumlichen Mittel mehrerer Stationen liegen. Es kann jedoch auch aufzeigen, dass sich die Temperaturzunahme in den letzten 58 Jahren im Vergleich zu den letzten 138 Jahren beschleunigt hat.

Über die oben betrachteten Zeitreihen und deren Trends hinaus ist es üblich, zur Erfassung des Klimas und seiner Änderungen Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahren zu bilden. Dadurch ist es möglich, den Effekt kurzzeitiger Witterungsschwankungen aus der Betrachtung auszuschließen.

Für die im Indikator A1 ausgewählten sechs Stationen wurden dafür die Temperaturmittel zweier Zeiträume gegenübergestellt (Tabelle 3): der Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 und der noch nicht ganz vollständige Zeitraum von 1991 bis 2019.

Im Vergleich zeigt sich landesweit der Temperaturanstieg weitgehend einheitlich. Er liegt zwischen +0,9 Grad und +1,1 Grad. Dabei sind die aufgrund ihrer Höhenlage niedrigeren Temperaturen im Ober- und Unterharz erkennbar.

Bei jahreszeitlich getrennter Betrachtung der Temperaturanstiege sind im Sommerhalbjahr höhere Zunahmen als im Winterhalbjahr zu erkennen. Die höchsten Temperaturzunahmen weisen dabei in beiden Zeiträumen die nördlichen und östlichen Landesteile auf.

Tabelle 3:

Arithmetische Tagesmittel der Temperatur zweier meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume in Grad Celsius.
(Datenquelle: DWD, UFZ)

	Tagesmittel der Temperatur im Jahr		Tagesmittel der Temperatur im Sommerhalbjahr		Tagesmittel der Temperatur im Winterhalbjahr	
	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019
Gardelegen	8,5	9,6	12,3	13,6	4,7	5,7
Bernburg	9,1	10,1	13,1	14,2	5,1	6,0
Wittenberg	8,8	9,9	12,8	14,2	4,6	5,6
Bad Lauchstädt	9,0	9,9	12,9	14,0	5,0	5,9
Harzgerode	6,9	7,8	10,5	11,7	3,2	4,0
Brocken	2,9	3,9	5,6	7,1	0,1	0,8

Ein ähnliches Bild zeigt sich im Vergleich der beiden (in Tabelle 3 jedoch nicht erfassten) Flächenmittel von Sachsen-Anhalt und Deutschland. Im Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 lag die Jahresmitteltemperatur für Sachsen-Anhalt noch bei 8,7 °C (Deutschland: 8,2 °C), im noch nicht ganz vollständigen 30-Jahres-Zeitraum von 1991 bis 2019 bereits bei 9,7 °C (Deutschland: 9,3 °C).

Um den nicht mehr vermeidbaren Folgen des Klimawandels zu begegnen gilt es, neben dringend notwendigen Klimaschutzmaßnahmen auch geeignete Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu initiieren. Hiervon sind nahezu alle Lebensbereiche betroffen, sei es die menschliche Gesundheit, die Land- und Forstwirtschaft, oder auch das Bauwesen, der Verkehr und andere.

Fazit zum Indikator A1 Temperatur

Seit 1880 ist in Sachsen-Anhalt ein signifikanter Temperaturanstieg im Mittel um 1,5 Grad zu verzeichnen.

- Sowohl die Sommerhalbjahre als auch die Winterhalbjahre sind wärmer geworden.
- Die höchsten Temperaturzunahmen weisen die nördlichen und östlichen Landesteile auf.

Am deutlichsten ist der Temperaturanstieg in den letzten Jahrzehnten ausgefallen.

3.2 Temperaturextreme haben zugenommen

Die Betrachtung der temperaturbedingten Wetterextreme lässt den Klimawandel besonders greifbar werden.

Im Indikator A2 Temperaturkentage sind die folgenden Ereignistage jahresweise für die ausgewählten sechs Klimastationen für den Zeitraum ab 1961 ermittelt worden. Hierzu zählen:

- Heiße Tage (Tage mit einem Maximum der Lufttemperatur $\geq 30,0$ °C)
- Sommertage (Tage mit einem Maximum der Lufttemperatur $\geq 25,0$ °C)
- Tropennächte (Nächte mit einem Minimum der Lufttemperatur $\geq 20,0$ °C)
- Frosttage (Tage mit einem Minimum der Lufttemperatur $< 0,0$ °C).

In Tabelle 4 wurden die arithmetischen Mittel dieser vier Lufttemperaturereignistage der beiden meteorologischen 30-Jahres-Zeiträume für alle sechs untersuchten Stationen einander gegenübergestellt.

Tabelle 4:

Arithmetisches Mittel der jährlichen Anzahl von Temperaturkentagen zweier meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume. (Datenquelle: DWD, UFZ)

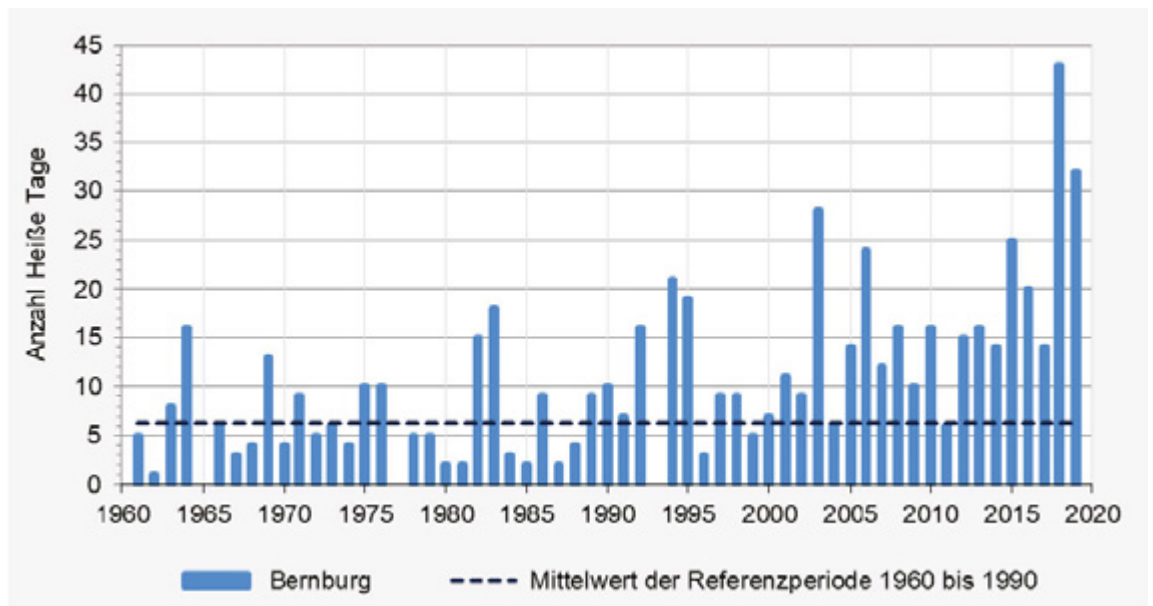
	Heiße Tage		Sommertage		Tropennächte		Frosttage	
	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019
Gardelegen	6,5	12,7	33,1	47,0	0,2	0,1	89,6	86,7
Bernburg	5,9	14,7	34,3	54,6	0,2	0,3	77,8	74,6
Wittenberg	8,5	14,3	40,0	51,7	0,2	1,0	86,3	79,0
Bad Lauchstädt	6,7	12,1	35,8	48,5	0,1	0,4	79,4	75,8
Harzgerode	1,2	4,2	15,9	24,4	0,0	0,0	116,6	112,4
Brocken	0,0	0,0	0,1	1,3	0,0	0,1	167,8	157,4

Heiße Tage sind in den Tieflandregionen Sachsen-Anhalts ein jährlich auftretendes Phänomen. In dem 30-Jahres-Zeitraum 1961 bis 1990 wurden an den ausgewählten vier Stationen im Tiefland (siehe: 2.3 Räumliche Gliederung) durchschnittlich zwischen sechs und neun Tage im Jahr als heiße Tage registriert. Im Folgezeitraum ab 1991 hat sich die Anzahl deutlich erhöht, in einigen Tieflandsregionen sogar verdoppelt.

Bei der jährlichen Anzahl der Heißen Tage konnten für die vier betrachteten Tieflandstationen ähnliche Verläufe festgestellt werden. Beispielhaft soll deshalb nur die Entwicklung an der Station Bernburg detaillierter betrachtet werden (Abbildung 5). Für die weiteren Stationen erfolgt die grafische Darstellung im Kennblatt des Indikators.

Abbildung 5:

Anzahl Heißer Tage im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Bernburg (Datenquelle: DWD)



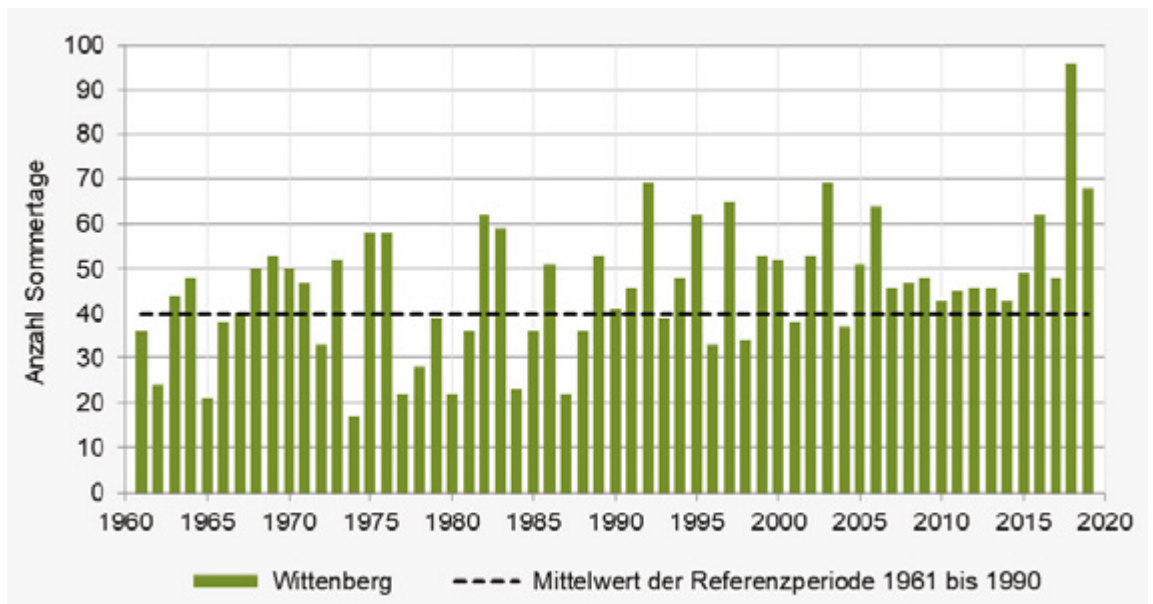
Auffallend ist, dass in Bernburg die Anzahl Heißer Tage seit den 1990er Jahren stark zugenommen hat. Seit dem Beginn der 2000er Jahre lag sie fast in jedem Jahr über dem Durchschnitt der Referenzperiode. Einzelne Jahre können sehr extrem ausfallen. So kam es beispielsweise im Jahr 2018 gegenüber dem langjährigen Mittelwert zu einer Verfünffachung der Anzahl der Tage mit Temperaturen von mindestens 30 °C. In den unteren Harzlagen gehörte im Zeitraum 1961 bis 1990 ein Heißer Tag im Jahr zur Normalität. In der Zeit ab 1991 hat sich die Anzahl dort sogar vervierfacht. In den oberen Harzlagen traten Heiße Tage jedoch bisher noch nicht auf.

Sommertage konnten im Tiefland Sachsen-Anhalts im Zeitraum 1961 bis 1990 an etwa zehn Prozent aller Tage eines Jahres zwischen Mai und September beobachtet werden. Im Osten des Landes wurden geringfügig mehr Sommertage als in den anderen Tieflandregionen gezählt. An der Station Wittenberg lag beispielsweise zum Beginn des Beobachtungszeitraums in den 1960er Jahren die Anzahl der Sommertage noch im Bereich von 20 bis 50 Tagen (Abbildung 6). In den letzten zehn Jahren wurden hingegen bereits regelmäßig über 40 Sommertage (dem Durchschnitt der Referenzperiode) gezählt, im Jahr 2018 sogar knapp 100.

Die deutliche Zunahme von durchschnittlich 40 Sommertagen in der Referenzperiode auf durchschnittlich 52 Sommertage in der aktuellen Periode an der Station Wittenberg spiegelt die bereits eingetretenen klimatischen Veränderungen wider. Dabei haben sich regionale Unterschiede im Tiefland in den letzten Jahren weitgehend angeglichen, so dass im Osten Sachsen-Anhalts nun etwa 50 Tage als Sommertage erwartet werden dürfen. Außerdem vergrößert sich der Zeitraum ihres Auftretens teilweise bis in den Oktober.

Abbildung 6:

Anzahl Sommertage im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Wittenberg. (Datenquelle: DWD)

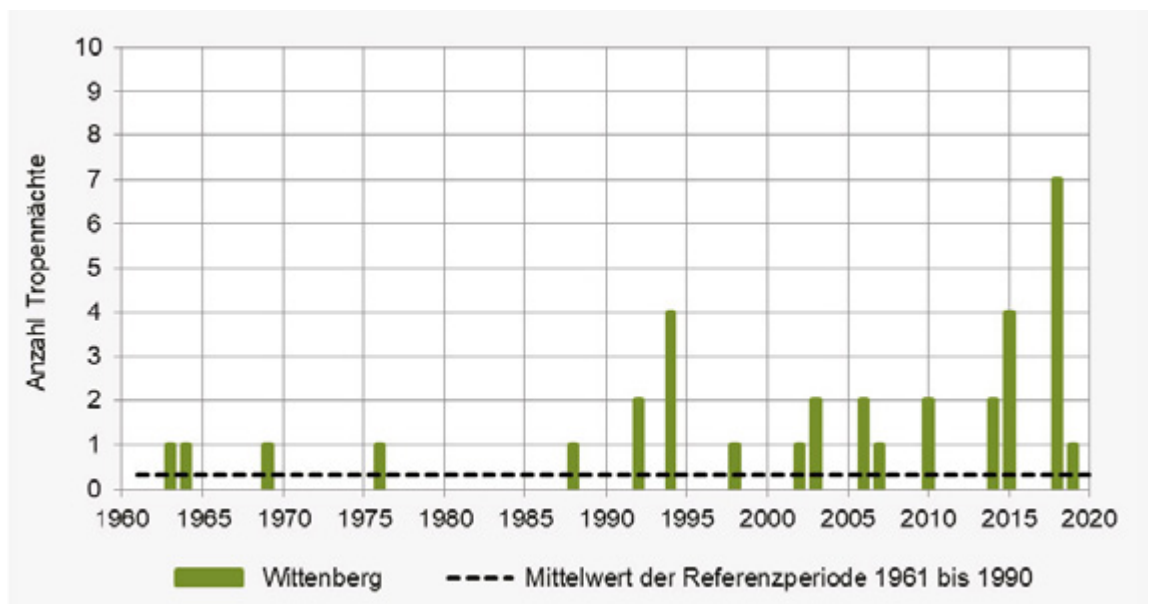


Die Anzahl der Tropennächte hat seit den 90er Jahren ebenfalls zugenommen (Abbildung 7). Sie traten in Sachsen-Anhalt bislang aber nur in den Sommermonaten Juni, Juli und August auf und kamen dabei längst nicht jedes Jahr vor. Im Tiefland konnten Tropennächte im Zeitraum von 1961 bis 1990 im Mittel nur ein- bis zweimal je Jahrzehnt gezählt werden.

Mit Ausnahme der nördlichen Landesteile zeigte der Folgezeitraum ab 1991 insbesondere

Abbildung 7:

Anzahl der Tropennächte im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Wittenberg. (Datenquelle: DWD)



im letzten Jahrzehnt eine deutliche Zunahme der Anzahl der Tropennächte. Dabei erlebten die östlichen Landesteile nach 1991 schon zwei Jahre mit vier und ein Jahr mit sieben Tropennächten.

Im Unterharz wurden seit 1961 keine Tropennächte festgestellt. Anders im Oberharz: dort können einzelne Tropennächte im Jahr erlebt werden. Das geschieht immer dann, wenn sehr warme Höhenwarmluft in die Region geführt wird. Seit 1991 konnte das bereits in mehreren Jahren beobachtet werden.

Frosttage traten in den Tieflandregionen im Zeitraum von 1961 bis 1990 in unterschiedlicher Anzahl auf (siehe: Kennblatt des Indikators A2 Temperaturkenntage). Im Bereich der Börde und im südlichen Sachsen-Anhalt wurden im Referenzzeitraum zwischen 77 und 80 Frosttage im Jahr gezählt, im Norden und Osten des Landes 85 bis 90 Frosttage. Im Folgezeitraum ab 1991 konnte im Durchschnitt im Tiefland ein Rückgang von einem bis zu sechs Tagen beobachtet werden, wobei der Rückgang in den nördlichen und östlichen Regionen etwas stärker ausfällt. Im Unterharz waren aufgrund der Höhenlage von 1961 bis 1990 etwa 115 bis 120 Frosttage normal. In dem nachfolgenden Zeitraum sind es etwa fünf Tage weniger. Im Oberharz ist der Rückgang von etwa 168 auf 158 Tage im Jahr ca. doppelt so hoch wie im Unterharz.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Sachsen-Anhalt trotz regionaler Unterschiede in der Anzahl der Temperaturkenntage insgesamt ein Trend zu einer deutlichen Erhöhung der Heißen Tage, der Sommertage und der Tropennächte sowie eine Abnahme der Anzahl der Frosttage zu erkennen ist. Die verstärkte Hitzebelastung im Sommerhalbjahr lässt eine steigende gesundheitliche Belastung der Bevölkerung erwarten. Auch andere Lebensbereiche sind insbesondere von der Erhöhung der Anzahl Heißen Tage und der Ausweitung des Auftrittszeitraums der Sommertage teilweise bis in den Oktober hinein betroffen und müssen sich dementsprechend anpassen. Die Verringerung der Frosttage hat unter anderem Auswirkungen auf die Landwirtschaft, so zum Beispiel in Bezug auf das Auftreten von Schaderreger.

Fazit zum Indikator A2 Temperaturkenntage

Temperaturbedingte Ereignistage haben sich unterschiedlich entwickelt.

- Die Anzahl Heißen Tage ist seit den 90er Jahren stark gestiegen und hat sich seit 1961 in den Tieflandregionen sogar verdoppelt.
- Jährlich muss mit etwa 50 Sommertagen gerechnet werden. Diese können teilweise bis in den Oktober hinein auftreten.
- Im letzten Jahrzehnt hat die Anzahl der Tropennächte zugenommen.

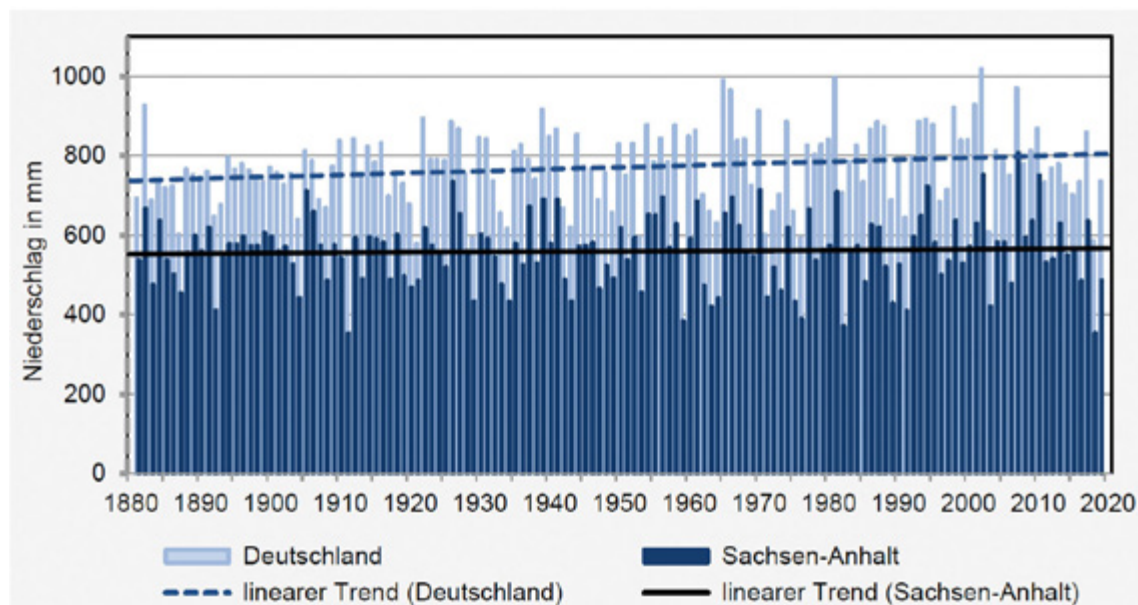
Die Anzahl der Frosttage ist leicht zurückgegangen.

3.3 Trockenere Sommer – feuchtere Winter

Sachsen-Anhalt ist ein vergleichsweise trockenes Bundesland. Während in der Bundesrepublik Deutschland das Jahresmittel des Niederschlags im Beobachtungszeitraum von 1881 bis 2019 bei 771 mm lag, betrug der durchschnittliche Jahresniederschlag in Sachsen-Anhalt nur 560 mm. Das entspricht weniger als drei Viertel des mittleren Jahresniederschlags der gesamten Bundesrepublik (Abbildung 8).

Abbildung 8:

Jahresniederschlag in Sachsen-Anhalt und Deutschland im Zeitraum 1881 bis 2019. (Datenquelle: DWD, Darstellung: LAU)



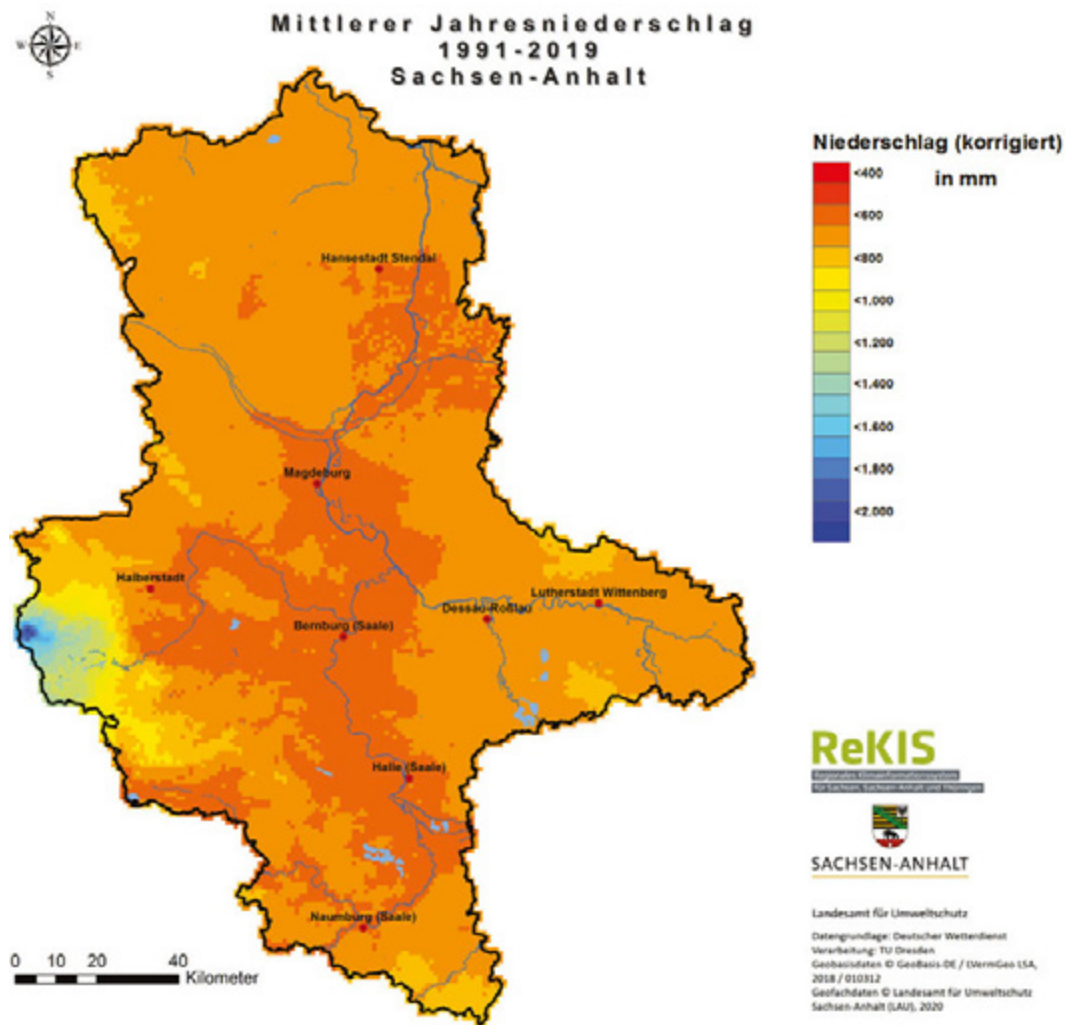
Der Indikator A3 Niederschlag zeigt, dass im Gegensatz zur Entwicklung in Deutschland mit leicht steigender Tendenz für Sachsen-Anhalt im langjährigen Mittel nahezu keine Veränderung hinsichtlich der Höhe der Jahresniederschläge festgestellt werden kann. Die Niederschlagsänderungen sind somit weniger ausgeprägt als die Temperaturänderungen. Für Sachsen-Anhalt lässt sich kein statistisch signifikanter Trend über den gesamten Betrachtungszeitraum ableiten. Der höchste Jahresniederschlag seit Beginn der Aufzeichnungen fiel in Sachsen-Anhalt im Jahr 2007 mit 806 mm. In den beiden Jahren 1911 und 2018 fielen lediglich 353 mm Niederschlag.

Im Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 lag der Jahresniederschlag in Sachsen-Anhalt bei 548 mm (Deutschland 789 mm), im Zeitraum 1991 bis 2019 bei 577 mm (Deutschland 794 mm).

Große Teile Sachsen-Anhalts gehören zum Mitteldeutschen Trockengebiet und damit zu einer der niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands. Besonders trocken sind die im Regenschattenbereich des Harzes liegenden Regionen, insbesondere die der Magdeburger Börde. Lediglich in der Harzregion sind höhere jährliche Niederschlagssummen zu verzeichnen (Abbildung 9).

Abbildung 9:

Mittlerer Jahresniederschlag in Sachsen-Anhalt im 30-Jahres-Zeitraum von 1991 bis 2019. (Datenquelle: ReKIS, Eigene Darstellung LAU)



Niederschläge treten nicht über das gesamte Jahr hinweg gleichmäßig auf. Sie verhalten sich nicht nur räumlich verschieden, sondern haben auch einen jahreszeitlich schwankenden Verlauf. Die differenzierte räumliche und jahreszeitliche Betrachtung gibt Aufschluss über die Variabilität der Niederschläge und zeigt gegebenenfalls gesonderte Entwicklungen auf (Tabelle 5).

Tabelle 5:

Arithmetische Mittel des Niederschlags zweier meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume in Millimeter. (Datenquelle: DWD, UFZ)

	Niederschlag im Jahr		Niederschlag im Sommerhalbjahr		Niederschlag im Winterhalbjahr	
	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019
Gardelegen	562	538	317	291	243	249
Bernburg	467	518	281	298	185	222
Wittenberg	563	563	307	300	255	266
Bad Lauchstädt	470	487	288	292	181	198
Harzgerode	600	594	338	322	261	274
Brocken	1767	1799	798	768	966	1043

Zeigen die Tieflandstationen ein weitestgehend einheitliches Bild bei der Niederschlagshöhe, so fällt im Oberharz etwa die dreifache Niederschlagsmenge im Vergleich zu den Tieflandstationen. Vergleicht man die beiden 30-jährigen Zeiträume miteinander, so sind in manchen Regionen Zunahmen erkennbar, andere zeigen hingegen leichte Abnahmen. Um verlässliche Trendaussagen treffen zu können, ist die Analyse längerer Zeiträume notwendig.

Die Jahresniederschlagsmengen variieren in allen Regionen Sachsen-Anhalts zwischen trockenen und feuchten Jahren stark. Bernburg verzeichnete beispielsweise im Jahr 1982 lediglich 245 mm Niederschlag, 2010 jedoch 786 mm. In den oberen Harzlagen lag die Spannweite der Jahressumme der Niederschläge zwischen 1050 mm (1963) und 2725 mm (2007). Dies zeigt die hohe natürliche Schwankungsbreite, die in allen Regionen des Landes gemessen werden kann. Für die Höhe der Jahresniederschläge ist noch kein Trend erkennbar.

Unterteilt man die Niederschlagssummen nach Sommer- und Winterhalbjahr, wird eine deutliche zeitliche Differenzierung der Niederschlagsverteilung sichtbar.

Im Sommerhalbjahr (März bis August) fallen etwa zwei Drittel der Jahressumme des Niederschlags. Eine große Spannweite zwischen trockenen und feuchten Jahren kann auch hier erkannt werden. Mit Ausnahme der Börderegion und der östlichen Landesteile ist in allen anderen Gebieten beim Sommerniederschlag über den gesamten Zeitraum seit 1961 bis heute ein leichter Rückgang festzustellen. Aufgrund der großen Streuung kann bei diesen Tendenzen jedoch keine statistische Signifikanz festgestellt werden. Einzelne Monate hingegen zeigen schwach signifikante Abnahmen der Niederschlagssumme.

Die etwa ein Drittel der Jahressumme ausmachenden Niederschläge des Winterhalbjahres (September bis Februar) nehmen seit 1961 in allen Regionen des Landes leicht zu. Aber auch hierbei ist der Nachweis der statistischen Signifikanz dieser Änderung beschränkt auf einzelne Monate.

Mit Hilfe von Perzentilen kann das Niederschlagsverhalten bewertet werden. Dabei werden alle Werte der Größe nach geordnet. Die geringsten 15 Prozent der Wertespanne (15. Perzentil) repräsentieren dabei ungewöhnlich niederschlagsarme Verhältnisse, während die höchsten 15 Prozent der Wertespanne (85. Perzentil) ungewöhnlich hohe Niederschlagssummen zeigen.

Im Winterhalbjahr (September bis Februar des Folgejahres) verschiebt sich die Grenze für geringen Niederschlag (15. Perzentil) fast im gesamten Land hin zu höheren Werten (Tabelle 6). Das heißt, dass sehr trockene Winter seltener werden.

Im Sommerhalbjahr (März bis August) zeigen sich hingegen unterschiedliche Tendenzen zwischen den Regionen. Im nördlichen und östlichen Sachsen-Anhalt sowie im Ober- und Unterharz werden die niederschlagsarmen Sommer noch trockener. Im südlichen

Sachsen-Anhalt und in der Börde kommt es hingegen zu einer leichten Verringerung der ungewöhnlich niederschlagsarmen Verhältnisse.

Tabelle 6:

Niederschlagshöhe des 15. Perzentils in Millimeter im Vergleich von zwei 30-jährigen Zeiträumen. (Datenquelle: DWD, UFZ)

	Niederschlag im Jahr		Niederschlag im Sommerhalbjahr		Niederschlag im Winterhalbjahr	
	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019
Bad Lauchstädt	361	405	202	218	133	157
Bernburg	349	423	219	224	138	167
Brocken	1449	1479	626	559	753	825
Gardelegen	467	429	246	224	207	205
Harzgerode	479	459	272	247	196	220
Wittenberg	453	441	241	229	186	219

Auch für das 85. Perzentil, der Grenze für hohen Niederschlag, ist im Winterhalbjahr (September bis Februar des Folgejahres) fast im ganzen Land eine Zunahme zu erkennen (Tabelle 7). Das bedeutet, dass sehr feuchte Winter häufiger zu erwarten sind. Dabei werden diese Niederschläge aufgrund höherer Wintertemperaturen immer seltener als Schnee fallen. Feuchte Sommer werden hingegen seltener auftreten.

Tabelle 7:

Niederschlagshöhe des 85. Perzentils in Millimeter im Vergleich von zwei 30-jährigen Zeiträumen. (Datenquelle: DWD, UFZ)

	Niederschlag im Jahr		Niederschlag im Sommerhalbjahr		Niederschlag im Winterhalbjahr	
	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019
Bad Lauchstädt	566	602	375	333	227	235
Bernburg	581	628	351	380	227	273
Brocken	2083	2139	1014	1013	1125	1221
Gardelegen	660	645	379	362	284	316
Harzgerode	788	716	431	368	313	345
Wittenberg	673	663	373	356	311	306

Fazit zum Indikator A3 Niederschlag

- Langjährige Veränderungen in der Höhe der Jahresniederschläge sind bisher nicht erkennbar.
- Es gibt eine hohe räumliche und jahreszeitliche Variabilität der Niederschläge.
- Die Niederschläge im Sommerhalbjahr nehmen leicht ab, im Winterhalbjahr leicht zu.
- Trockene Winter werden seltener, sehr feuchte häufiger.
- Feuchte Sommer werden seltener.

3.4 Die Bodenfeuchte geht in den meisten Regionen zurück

Eine Aussage darüber, wie gut Pflanzen ihren Wasserbedarf aus dem Bodenwasserspeicher decken können, liefert die Bodenfeuchte. Sie ist insbesondere für die Land- und Forstwirtschaft von großer Bedeutung und wird in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (%nFK) angegeben. Generell gilt für die Bodenfeuchtwerte:

Tabelle 8:

Auswirkungen der Bodenfeuchte auf das Pflanzenwachstum in Prozent nutzbarer Feldkapazität (Datenquelle: DWD, UFZ)

ab 80 %nFK:	Übersorgung und Sauerstoffmangel
50 bis 80 %nFK:	optimale Bodenfeuchte für das Pflanzenwachstum
30 bis 50 %nFK:	noch ausreichende Wasserversorgung – die Pflanzen reduzieren ihre Leistungen
unter 30 %nFK:	Pflanze steht unter Wasserstress, mit Ertragseinbußen ist zu rechnen (es herrscht Bodendürre)

Für den Indikator A4 Bodenfeuchte wurde eine kurzgehaltene, grasbedeckte Bodenoberfläche gewählt. Bei Verwendung anderer Pflanzen kann es je nach Entwicklungsstand zu Unterschieden im Hinblick auf den Vergleich mit dem Grasbewuchs kommen.

Das Pflanzenwachstum ist stark durch die Tagesmitteltemperatur ($\geq 5\text{ °C}$) und das pflanzenverfügbare Wasser im Boden beeinflusst. Niedrige Wasservorräte im Boden können einerseits durch fehlende oder geringe Niederschläge hervorgerufen werden, andererseits aber auch durch hohe Verdunstungsraten der Pflanzen. Gerade im Sommer führen steigende Temperaturen zu einer höheren Verdunstung und damit zu einer zusätzlichen Austrocknung der Böden.

Die Bodenfeuchte zum Beginn der Vegetationsperiode 1 (01.04. bis 30.06) liegt (bezogen auf ein Tiefenintervall von einem Meter) in Sachsen-Anhalt im Mittel auf einem Niveau, das eine sehr gute Wasserversorgung zeigt (Tabelle 9)

Tabelle 9:

Arithmetische Mittel der Bodenfeuchte zum Beginn der Vegetationsperiode 1 (01.04.) in Prozent der nutzbaren Feldkapazität. (Datenquelle: DWD, UFZ)

	1961 - 1990	1991 - 2019
Bad Lauchstädt	84,6	78,6
Bernburg	82,6	83,8
Brocken	97,7	96,4
Gardelegen	91,3	86,3
Harzgerode	93,7	89,9
Wittenberg	89,4	87,0

Mit welcher Bodenfeuchte die Vegetation in das Jahr startet, ist von großer Bedeutung für die Pflanzenentwicklung. In der vergleichenden Betrachtung der beiden 30-Jahres-Zeiträume hat sich diese nur unwesentlich geändert. Allerdings gibt es auch Einzeljahre, die mit Ausnahme der oberen Harzlagen mit einer deutlich geringeren Bodenfeuchte in die Vegetationsperiode starten. Im Norden und Osten des Landes deutet sich, ausgelöst durch

die allgemein geringere Wasserspeicherfähigkeit der Böden, eine Verschiebung hin zu suboptimalen Werten an.

Zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06) erreicht die Bodenfeuchte in einer Schicht bis 1 m Tiefe unter Gras in allen Regionen Sachsen-Anhalts, ausgenommen die oberen Harzlagen, im Zeitraum von 1961 bis 1990 noch optimale Versorgungsgrade von mehr als 50 Prozent der nutzbaren Feldkapazität (Tabelle 10). Es zeigt sich jedoch, dass sich im Mittel in der nachfolgenden Periode sowohl im Norden als auch im Osten und Süden Sachsen-Anhalts suboptimale Verhältnisse eingestellt haben. Im extrem trockenen Fall sinkt die Bodenfeuchte in der genannten Schicht sogar in den Bereich unter die Grenze zur Bodendürre. Im Osten des Landes sank 2018 der Wert sogar bis zum Permanenten Welkepunkt ab, im Süden geschah das 2019.

Tabelle 10:

Arithmetische Mittel der Bodenfeuchte zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.) in Prozent der nutzbaren Feldkapazität. (Datenquelle: DWD, UFZ)

	1961 - 1990	1991 - 2019
Bad Lauchstädt	57,1	42,6
Bernburg	61,2	50,3
Brocken	89,9	86,6
Gardelegen	57,3	46,9
Harzgerode	68,2	57,5
Wittenberg	52,3	44,4

Das Ende der Vegetationsperiode 2 (30.09.) ist in einer Schicht bis 1 m Tiefe unter Gras im Mittel durch eine Bodenfeuchte an der unteren Grenze des Optimums gekennzeichnet (Tabelle 11). Diese ist im Vergleich der beiden betrachteten Zeiträume nahezu konstant. Sowohl im Zeitraum 1961 bis 1990 als auch im Zeitraum 1991 bis 2019 gab es mehrfach eine minimale Bodenfeuchte, die im Bereich unter der Bodendürregrenze oder gar im Bereich des Permanenten Welkepunktes lag. Gerade am Ende der Vegetationsperiode 2 gibt es in den Tieflandregionen und im Unterharz eine maximale Schwankungsbreite. Aber auch im Oberharz nimmt die Schwankungsbreite in den letzten Jahren tendenziell zu.

Tabelle 11:

Arithmetische Mittel der Bodenfeuchte zum Ende der Vegetationsperiode 2 (30.09) in Prozent der nutzbaren Feldkapazität. (Datenquelle: DWD, UFZ)

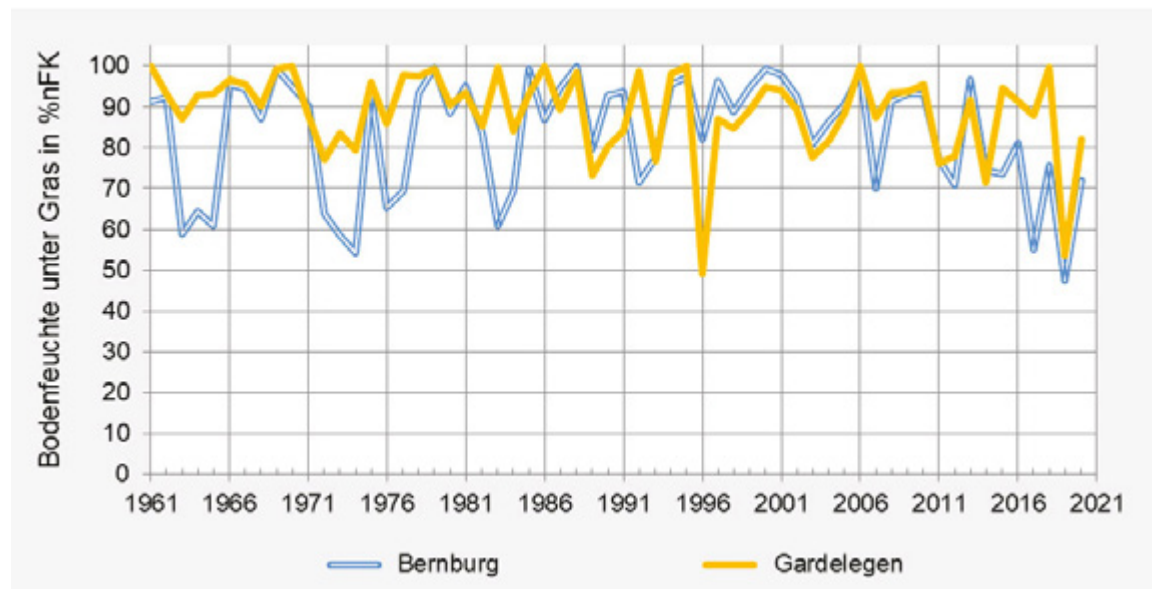
	1961 - 1990	1991 - 2019
Bad Lauchstädt	48,6	45,7
Bernburg	53,3	52,4
Brocken	95,4	92,5
Gardelegen	54,9	47,1
Harzgerode	57,7	57,9
Wittenberg	49,4	47,9

Einen großen Einfluss auf die Bodenfeuchte hat auch die Art des Bodens. Ein schwerer Boden, wie beispielsweise der Lößlehm Boden der Magdeburger Börde, kann mehr pflanzenverfügbares Wasser speichern und somit längere Trockenperioden überbrücken. Ein leichter Boden, wie der sandig-lehmige Boden in der Altmark, hat keine so große Speicherfähigkeit und neigt somit schneller zur Bodendürre. Diese Entwicklung soll an zwei Abbildungen graphisch veranschaulicht werden. Dabei repräsentiert die Station Bernburg die Region der Magdeburger Börde, die Station Gardelegen das nördliche Sachsen-Anhalt mit der Altmark.

Über den gesamten Zeitraum von 1961 bis 2020 liegt die Bodenfeuchte am Beginn der Vegetationsperiode 1 (01.04.) an beiden Standorten im optimalen Bereich, in Einzeljahren sogar bei 100 %nFk. Das tritt an der Station Gardelegen häufiger auf als an der Station Bernburg.

Abbildung 10:

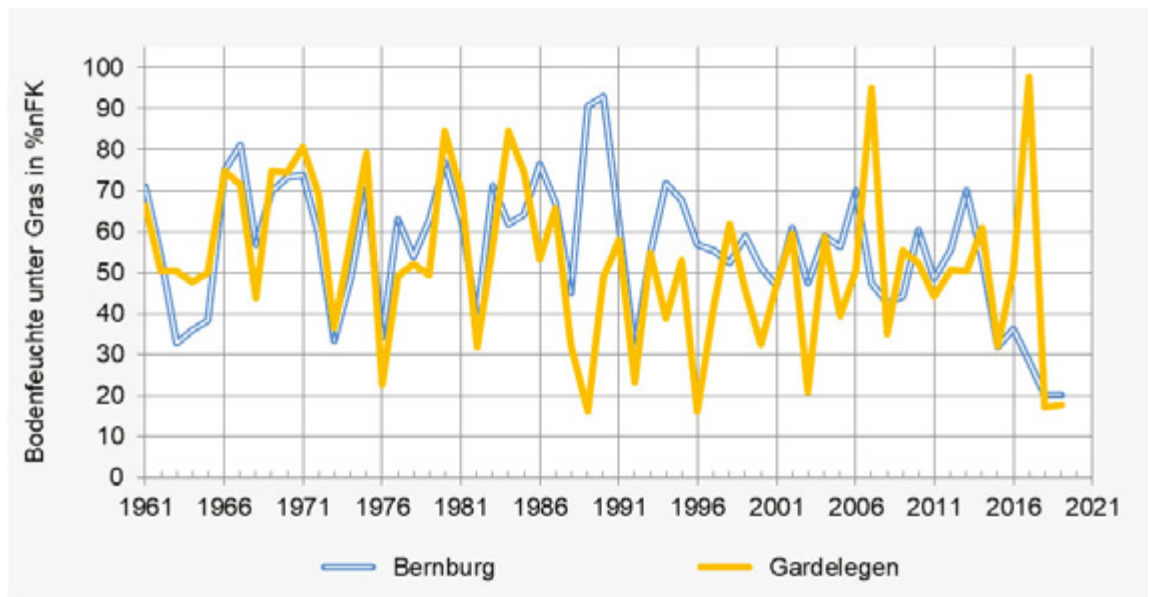
Bodenfeuchte unter Gras zum Beginn der Vegetationsperiode 1 (01.04.) an den Stationen Bernburg und Gardelegen. (Datenquelle: DWD)



Bei den sandigen Böden der Altmark liegen die Ausgangswerte fast über den gesamten Zeitraum seit 1961 etwas über denen der schweren Böden der Magdeburger Börde. Bereits zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.) (Abbildung 11: Bodenfeuchte unter Gras zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.) an den Stationen Bernburg und Gardelegen.) kehrt sich das Verhältnis jedoch um. Während sich die Bodenfeuchte der schweren, lehmigen Böden (mit Ausnahme der Dürrejahre 2018 und 2019) noch an der Grenze des optimalen Bereichs befindet, liegt sie bei den leichten, sandigen Böden bereits in der Mehrzahl der Jahre im suboptimalen Bereich. Die sandigen Böden der Altmark zeigen außerdem von Jahr zu Jahr eine deutlich größere Schwankungsbreite der Bodenfeuchte im Vergleich zu den lehmigen Böden der Magdeburger Börde. Das unterstreicht die bessere Speicherfähigkeit des Lößlehms gegenüber dem Sandboden.

Abbildung 11:

Bodenfeuchte unter
Gras zum Ende der
Vegetationsperiode 1
(30.06.) an den Stationen
Bernburg und
Gardelegen.
(Datenquelle: DWD)



Aufgrund der im Indikator A4 Bodenfeuchte aufgezeigten Entwicklungen sind Anpassungen der Produktionsweise und des Sortenspektrums in der Land- und Forstwirtschaft erforderlich. Ebenso ist das Wassermanagement in der Fläche zu betrachten und gegebenenfalls anzupassen.

Fazit zum Indikator A4 Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte geht in den meisten Regionen zurück, so dass es zunehmend Bodendürreereignisse gibt.

- Die zum Beginn der Vegetationsperiode vorhandene gute Bodenfeuchte ist in den Tieflandregionen zumeist bereits zu Sommerbeginn deutlich reduziert.
- Von zunehmender Bodentrockenheit waren die nördlichen, östlichen und südlichen Landesteile insbesondere in den Sommermonaten der letzten Jahre betroffen.
- Durch die teilweise sehr geringe Bodenfeuchte zum Ende der Vegetationsperiode 1 kommt es zum Beginn der Vegetationsperiode 2 im Tiefland bereits zu suboptimalen Bedingungen.
- Es sind Anpassungen im Sortenspektrum und den Produktionsweisen der Flächennutzer erforderlich.

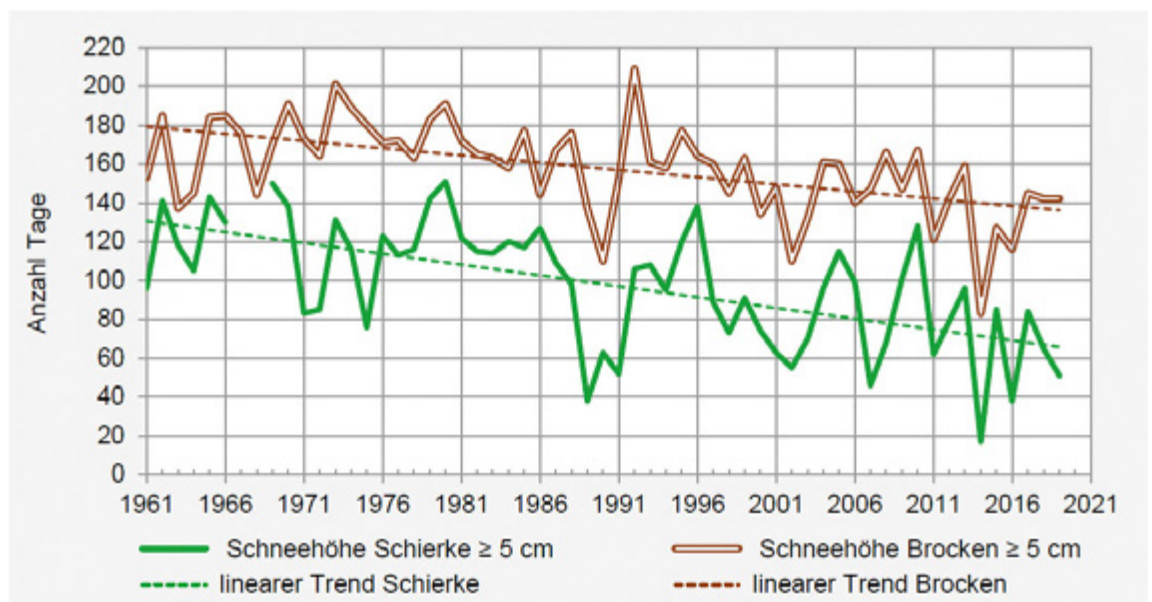
3.5 Immer weniger Schnee im Harz

Die Schneehöhe liefert einen Hinweis auf das in einer Schneedecke gespeicherte Wasser. Dies hat insbesondere eine Bedeutung für den Hochwasserschutz, die Trinkwasserversorgung und den Wintersporttourismus. Die Schneehöhe sowie die Anzahl der Schneedeckentage hängen einerseits von der Temperatur, andererseits auch von der Niederschlagsmenge ab. Der im Zuge des Klimawandels zu erwartende Anstieg der Temperatur kann zu einem Rückgang der Schneehöhe und der Schneedeckentage führen.

Für die Betrachtung der natürlichen Schneedecke im Harz ab 500 m Höhenlage wurden im Indikator A5 Schneedecke Harz Daten der beiden Wetterstationen Brocken und Schierke ausgewertet (Abbildung 12). Es wurden dabei nur Tage gezählt, an denen die Schneedecke mindestens fünf Zentimeter betrug.

Abbildung 12:

Anzahl der Tage eines Jahres, an denen die Schneehöhe an den Stationen Brocken und Schierke mindestens 5 cm betrug. (Datenquelle: DWD)



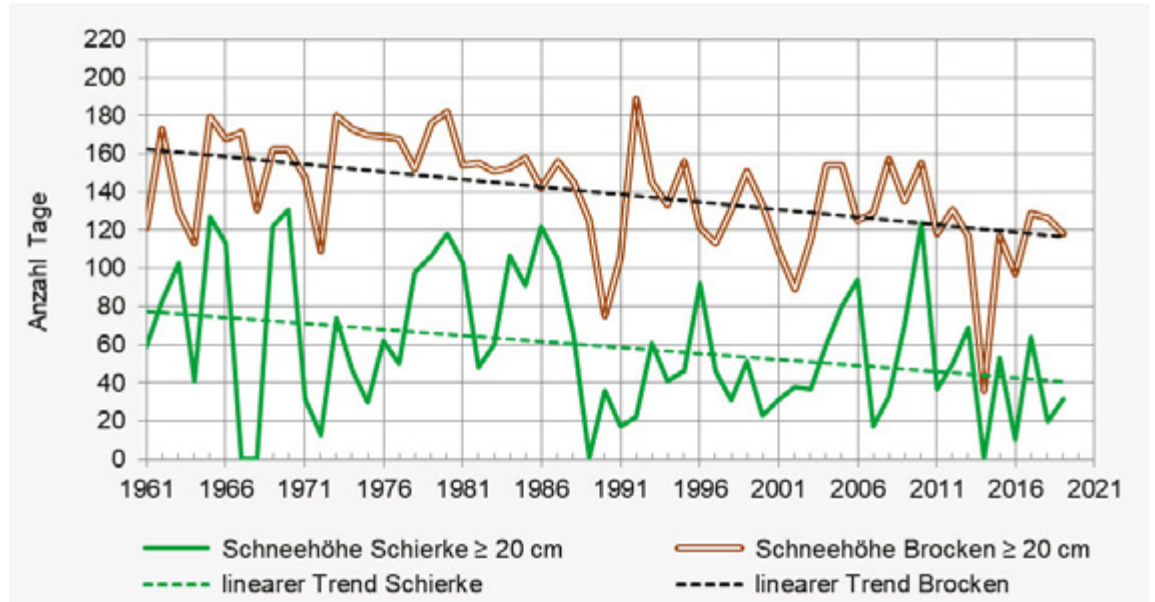
Grundsätzlich treten sehr starke Schwankungen zwischen den Jahren auf. Tendenziell (lineare Regression) zeichnet sich aber seit dem Jahr 1961 bis zum Jahr 2019 eine deutliche Abnahme der Tage mit einer Schneehöhe von mindestens fünf Zentimetern ab. An der Wetterstation Brocken fiel die Anzahl dieser Tage von durchschnittlich 180 auf unter 140 Tage pro Jahr. Das bedeutet einen Rückgang um mehr als 40 Tage. An der Station Schierke war der Rückgang noch deutlicher. Hier ging die Anzahl der Tage um 60 Tage von durchschnittlich 130 auf durchschnittlich 70 Tage pro Jahr zurück. Unter den Bedingungen des Klimawandels ist mit einem weiteren Rückgang zu rechnen.

Der signifikante Rückgang der Tage mit einer Schneehöhe von mindestens fünf Zentimeter sowie die sehr wechselhafte Schneesituation im Beobachtungszeitraum haben erhebliche Auswirkungen auf den Wintertourismus. Fehlt eine ausreichende Schneeeauflage, dann fehlt die Grundlage für den schneegebundenen Tourismus. Welche Schneeeauflage notwendig ist, hängt einerseits von der jeweiligen Aktivität, andererseits

aber auch vom Gelände ab. Um nordischen Skisport betreiben zu können, sind Schneehöhen von mindestens 15 bis 20 cm erforderlich (Abbildung 13).

Abbildung 13:

Anzahl der Tage eines Jahres, an denen die Schneehöhe an den Stationen Brocken und Schierke mindestens 20 cm betrug. (Datenquelle: DWD)



Für den Wintersport muss in Zukunft mit deutlichen Einschränkungen gerechnet werden. Bereits gegenwärtig werden jährlich in Schierke nur noch rund 40 Tage mit einer Schneehöhe von mindestens 20 cm erreicht, am Brocken nur noch knapp 120 Tage. Die Tendenz ist fallend. Es gab bereits vereinzelt Jahre, in denen diese Schneehöhe in Schierke überhaupt nicht oder nur an wenigen Tagen erreicht worden ist. Deshalb sollten und werden zunehmend Alternativangebote für den Tourismus in der Harzregion in den Fokus rücken.

Fazit zum Indikator A5 Natürliche Schneedecke im Harz

Trotz natürlicher Schwankungen zwischen den Jahren zeichnet sich eine deutliche Abnahme der Tage mit einer Schneehöhe von mindestens fünf bzw. 20 Zentimeter im Harz ab. Das hat erhebliche Auswirkungen auf den Wintertourismus. Alternativangebote für Touristen sind deshalb zu entwickeln.

3.6 Es wird früher frostfrei

Der Zeitraum zwischen Beginn und Ende der Frostfreiheit ist im Pflanzenbau gleichzusetzen mit der ackerbaulichen Vegetationsperiode. Veränderungen dieses Zeitraumes bringen auch Änderungen für die Landwirtschaft mit sich, insbesondere den Obst- und Gartenbau. Daraus können sich Chancen und/oder Risiken ergeben.

Tabelle 12:

Arithmetische Mittel meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume für Beginn und Ende der Frostfreiheit.
(Datenquelle: DWD, UFZ)

	Beginn der Frostfreiheit (Tag seit Beginn des Jahres)			Ende der Frostfreiheit (Tag seit Beginn des Jahres)		
	1961 - 1990	1991 - 2019	Differenz	1961 - 1990	1991 - 2019	Differenz
Bad Lauchstädt	82	75	-7	327	331	+4
Bernburg	82	75	-7	327	331	+4
Brocken	131	117	-14	294	292	-2
Gardelegen	86	76	-10	325	327	+2
Harzgerode	94	92	-2	314	318	+4
Wittenberg	83	75	-8	325	328	+3

Der **Beginn der Frostfreiheit** liegt im Tiefland Sachsen-Anhalts frühestens um den 20. Februar, im Harz spätestens Ende April. Die Frostfreiheit startet im Mittel in der letzten Märzdekade. Seit 1961 ist im ganzen Land ein signifikanter Trend zu einem früheren Beginn erkennbar. Vergleicht man die Referenzperiode von 1961 bis 1990 mit der aktuellen Periode seit 1991, so fällt der frühere Beginn im Tiefland mit 7 bis 10 Tagen sehr deutlich aus (Tabelle 12 – orange bedeutet früherer, blau späterer Beginn). In den oberen Harzlagen ist ein früherer Beginn vom Ende der ersten Maidekade in die letzte Aprildekade hinein zu beobachten. In den unteren Harzlagen zeigen sich derzeit keine signifikanten Veränderungen.

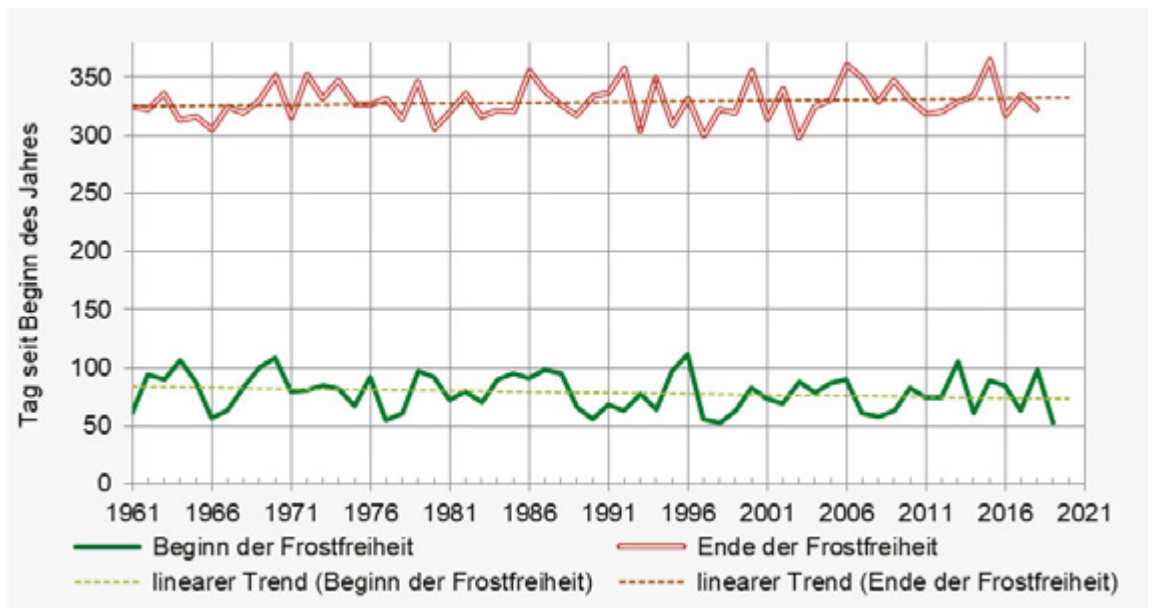
Das **Ende der Frostfreiheit** und damit das Ende der Vegetationsperiode wird im Mittel im Tiefland um den 20. November verzeichnet. Hier gibt es eine schwache Tendenz zu einem späteren Ende, die jedoch statistisch noch nicht abgesichert ist. In den unteren Harzlagen ist der Termin um den 10. November und im Oberharz um den 20. Oktober. Auch hier können noch keine statistisch abgesicherten Tendenzen gesehen werden.

Alle Tieflandstationen weisen ähnliche Verläufe des jährlichen Beginns und Endes der Frostfreiheit auf, wie die Auswertungen für den Indikator A6 Beginn und Ende der Frostfreiheit zeigen. Beispielhaft wird deshalb die Entwicklung an der im Tiefland gelegenen Station Bernburg detaillierter betrachtet (Abbildung 14).

Für die weiteren Stationen (siehe: 2.3 Räumliche Gliederung) findet sich die grafische Darstellung im Kennblatt des Indikators.

Abbildung 14:

Tag des Beginns und des Endes der Frostfreiheit seit Jahresbeginn in Bernburg. (Datenquelle: DWD)



Auffallend sind die natürlichen Schwankungen des jährlichen Beginns und Endes der Frostfreiheit über den gesamten beobachteten Zeitraum. Trotz der erkennbaren Schwankungen beginnt die Frostfreiheit in Bernburg tendenziell früher und endet später. Im Mittel tritt die Frostfreiheit um den 19. März ein. Aktuell ist ein früherer Beginn um acht Tage gegenüber den 60er Jahren erkennbar. Die Frostfreiheit endet in Bernburg im Mittel um den 25. November, vereinzelt sogar erst Ende Dezember. Gegenwärtig ist ein späteres Ende um vier Tage gegenüber den 60er Jahren erkennbar. Die Dauer der ackerbaulichen Vegetationsperiode hat sich damit über den gesamten Zeitraum in Bernburg im Mittel um zwölf Tage erhöht.

Die Verlängerung der ackerbaulichen Vegetationsperiode eröffnet Möglichkeiten für ein verändertes Arten- und Sortenspektrum im Pflanzenbau. Der frühere Beginn der Vegetationszeit birgt allerdings auch die Gefahr von Einbußen durch Spätfröste. Die aufgrund ihrer Höhenlage bisher benachteiligte untere Harzregion wird zunehmend günstigere klimatische Rahmenbedingungen für den Ackerbau bekommen.

Fazit zum Indikator A6 Beginn und Ende der Frostfreiheit

Durch einen früheren Beginn der Frostfreiheit hat sich die Dauer der ackerbaulichen Vegetationsperiode im Mittel um 10 Tage verlängert. Daraus ergeben sich sowohl Chancen als auch Risiken für die Landwirtschaft sowie den Obst- und Gartenbau.

3.7 Die Apfelblüte setzt früher ein

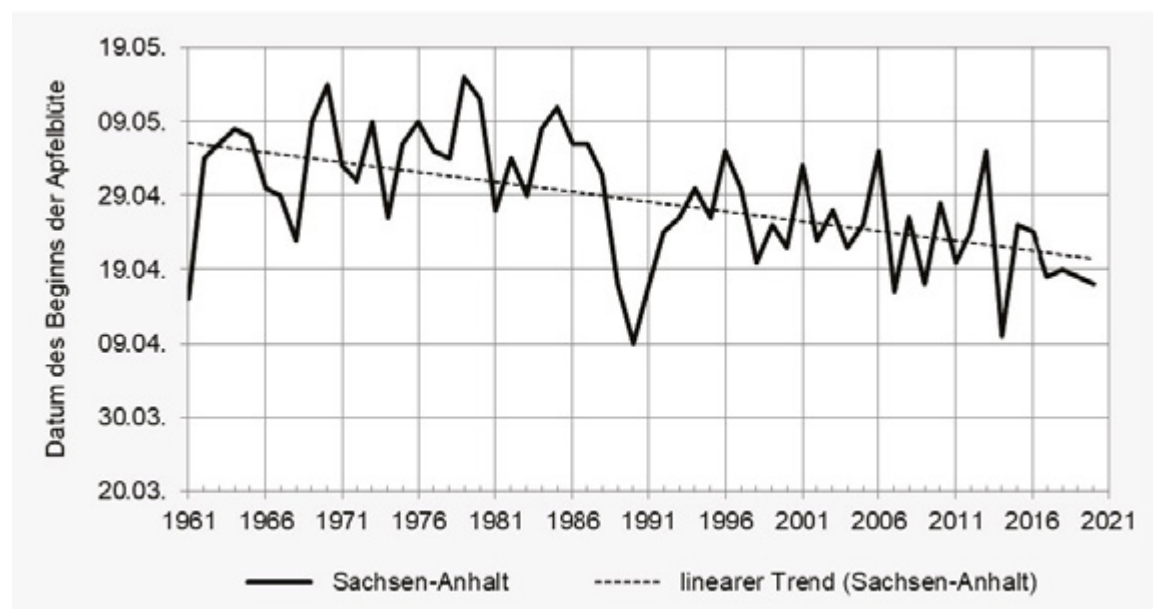
Die Phänologie erfasst die wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Pflanzen, also die Eintrittszeiten charakteristischer Vegetationsstadien (Phasen). Aus den Eintrittszeiten phänologischer Phasen kann der Einfluss veränderter Umweltbedingungen, vor allem Änderungen von Witterung und Klima, auf die Vegetationsentwicklung ermittelt werden.

Der im Indikator A7 Blühbeginn des Apfels erfasste Beginn der Apfelblüte zeigt den Eintritt des Vollfrühlings an.

Da der Apfel als Dauerkultur nicht von einer vorherigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung abhängig ist, zeigt sich am Zeitpunkt des Blühbeginns des Apfels ein deutlicher Zusammenhang zu klimatischen Faktoren. Dabei wird deutlich, dass der Blühbeginn in unmittelbarem Zusammenhang mit der Wärmesumme steht, die in den ersten Monaten des neuen Jahres erzielt wird.

Abbildung 15:

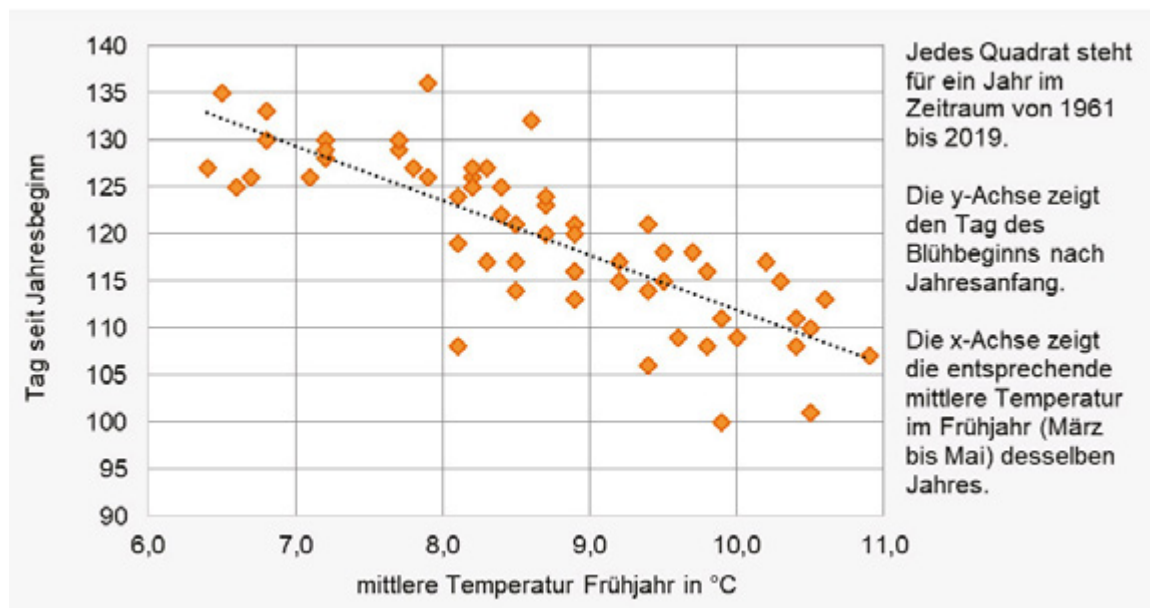
Tag des Beginns der Apfelblüte in Sachsen-Anhalt. (Datenquelle: DWD)



Der Beginn der Apfelblüte hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verfrüht. Es kann von einer Verfrüfung von einem Tag aller vier Jahre ausgegangen werden (Abbildung 15). Damit tritt die Blüte des Apfels aktuell im Durchschnitt etwa zwei Wochen früher ein als zu Beginn des Betrachtungszeitraumes im Jahr 1961. Diese Veränderungen stehen in Wechselbeziehung zu höheren Frühjahrstemperaturen, wie Abbildung 16 beispielhaft zeigt.

Abbildung 16:

Wechselbeziehung zwischen Blühbeginn der Apfelblüte und dem Temperaturmittel des Frühjahrs.
(Datenquelle: DWD, eigene Darstellung LAU)



Der Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Beginn der Apfelblüte ist signifikant. Höhere Temperaturen in den Frühjahrsmonaten März bis Mai führen zu einer früheren Apfelblüte. Dies konnte insbesondere am Ende des Betrachtungszeitraums beobachtet werden. Die dadurch entstehende Verlängerung der Vegetationszeit kann bei einigen Sorten zu einer Erhöhung des Zuckergehalts führen. Außerdem können neue Apfelsorten angebaut werden. Wegen der früheren Obstblüte steigt aber auch die Gefahr, dass die Bäume bei Spätfrösten Schaden nehmen. Ernteauffälle sind dadurch wahrscheinlich. Dem muss durch besondere Schutzmaßnahmen, beispielsweise durch Beregnung der Blüten bei Frostgefahr, entgegengewirkt werden. Während Apfelschädlinge in normalen Sommern nur eine Larvengeneration entwickeln, könnte sich nun möglicherweise eine zweite entwickeln.

Fazit zum Indikator A7 Blühbeginn Apfel

Der Beginn der Apfelblüte hat sich seit den 1960er Jahren alle vier Jahre um etwa einen Tag verfrüht. Spätfröste und eine größere Anzahl von Apfelschädlingen können jedoch zu Ernteverlusten führen.

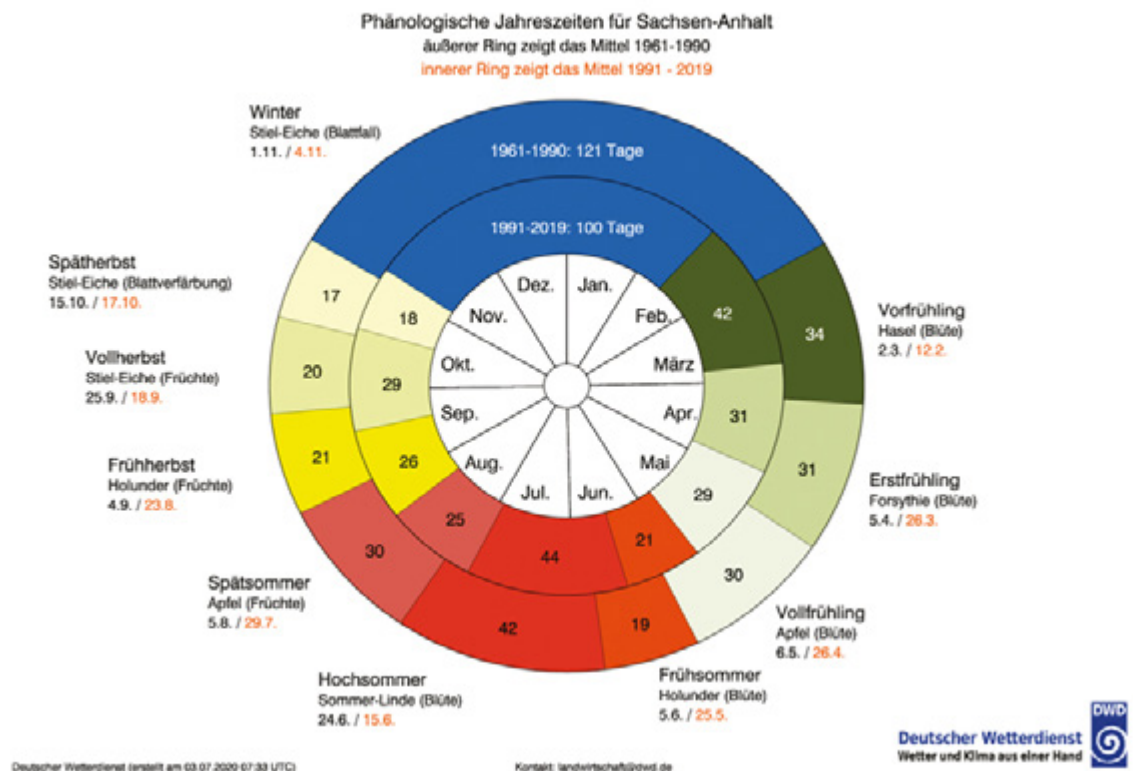
3.8 Die Vegetationsperiode wird länger

Analog zur Apfelblüte können weitere phänologische Phasen und deren Entwicklung aufgrund veränderter Witterungs- und Klimabedingungen betrachtet werden. Insbesondere die Frühlingsphasen mit Vor-, Erst-, und Vollfrühling zeichnen sich durch eine starke Wechselbeziehung mit der Temperatur aus. Für sie sind die Temperaturen der vorausgehenden zwei bis drei Monate maßgeblich. Der Eintritt der Herbstphasen wird dagegen von zahlreichen anderen Faktoren mitbestimmt, wie beispielsweise der Niederschlagsmenge im Sommer.

Die Vegetationsperiode beginnt mit dem Kalendertag des Blühbeginns der Gemeinen Hasel und endet mit dem Kalendertag des beginnenden Blattfalls der Stiel-Eiche. Veränderungen sind gut in der Phänologischen Uhr erkennbar (Abbildung 17).

Abbildung 17:

Veränderungen der phänologischen Jahreszeiten für Sachsen-Anhalt im Mittel von 1991 bis 2019 im Vergleich zum Mittel von 1961 bis 1990. (Datenquelle: DWD)

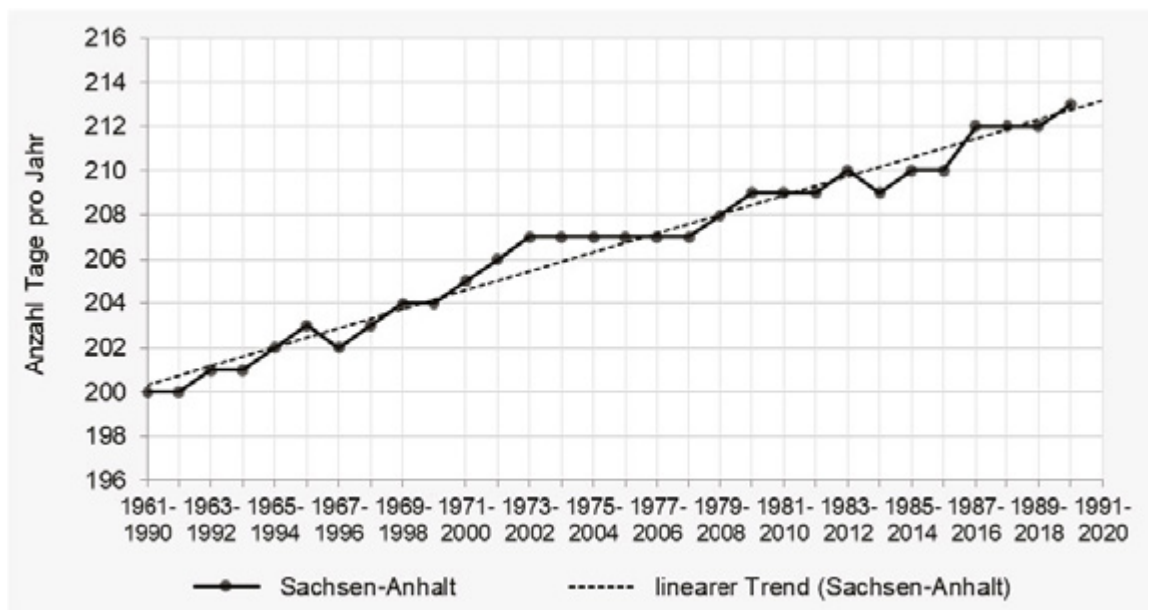


Der Vorfrühling tritt im aktuellen Zeitraum von 1991 bis 2019 gegenüber dem Zeitraum von 1961 bis 1990 früher ein. Der Spätherbst endet hingegen später. Die Vegetationsperiode ist somit in Sachsen-Anhalt länger geworden.

Eine Interpretation der Verschiebungen jahreszeitlicher Zyklen kann nur über die Betrachtung größerer Zeiträume zu gesicherten Ergebnissen führen. Deshalb wurden für den Indikator A8 Dauer der Vegetationsperiode die phänologischen Daten ebenso wie die klimatischen Daten über Zeiträume von 30 Jahren gemittelt (Abbildung 18).

Abbildung 18:

Dauer der Vegetationsperiode gemittelt über gleitende 30-Jahreszeiträume. (Datenquelle: DWD)



Es wird erkennbar, dass sich der Zeitraum zwischen dem Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr und dem Ende im Herbst um 13 Tage verlängert hat. Diese Veränderungen sind Ausdruck der Anpassungsfähigkeit von Pflanzen an das veränderte Klima. Sie können aber auch weitergehende Folgen für die biologische Vielfalt haben, wie beispielsweise die Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten oder Arealverschiebungen und Neuansiedlungen.

Fazit zum Indikator A8 Dauer der Vegetationsperiode

Die Vegetationsperiode hat sich in den zurückliegenden Jahrzehnten um 13 Tage verlängert. Diese Verlängerung geht hauptsächlich auf den früheren Vegetationsbeginn zurück und zeigt sich weniger am Ende der Vegetationsperiode. Sie ist im Wesentlichen gekoppelt an den Anstieg der Lufttemperatur im Winter und im Frühjahr.

4 Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

4.1 Wasser (B)

4.1.1 Mit sinkenden Grundwasserständen muss gerechnet werden

Die Entwicklung des Grundwasserstandes gibt Rückschluss auf die Verfügbarkeit und Menge des Grundwassers. Die langjährige Entwicklung hängt dabei von einer Vielzahl unterschiedlicher Einflussgrößen ab. Insbesondere spiegelt sie die zeitlich verzögerte Reaktion des Grundwassers auf klimatische Ereignisse wider. Ändern sich die klimatischen Rahmenbedingungen, hat dies Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung.

Für die Beobachtung der Entwicklung wurden für den Indikator B1 Grundwasserstand drei Grundwassermessstellen in unterschiedlichen Großräumen (siehe 2.3 Räumliche Gliederung) ausgewählt. Sie besitzen jeweils eine lange Beobachtungsreihe und sind weitgehend durch den Menschen unbeeinflusst.

Tabelle 13:

Langjähriger Mittlerer Grundwasserstand für ausgewählte Zeiträume in Zentimeter unter Messpunkt. (Datenquelle: LHW)

	1961 - 1990 (oder ab Beginn der Messung)	1991 - 2019
Altmersleben-Butterhorst (nahe Kalbe/M.)	180	181
Piesdorf (nahe Könnern)	441*	427
Walbeck (nahe Hettstedt)	285*	305

* 1970 bis 1990

Bei den ausgewählten drei Messstellen aus unterschiedlichen Grundwasserlandschaften lassen sich im Vergleich der Referenzperiode (wegen des späteren Messbeginns teilweise verkürzt) zum aktuellen, noch unvollständigen 30-jährigen Zeitraum (Tabelle 13) keine signifikanten Trends nachweisen. In den im Indikator Kennblatt zusätzlich dargestellten Verläufen des Mittleren jährlichen Grundwasserstandes sind nur in unterschiedliche Richtungen gehende Tendenzen erkennbar. Gleiches kann auch über die im Indikator Kennblatt gestaffelt dargestellten 30-jährigen Zeiträume gesagt werden. Lediglich in unterschiedliche Richtungen gehende Tendenzen sind bei den Messungen erkennbar:

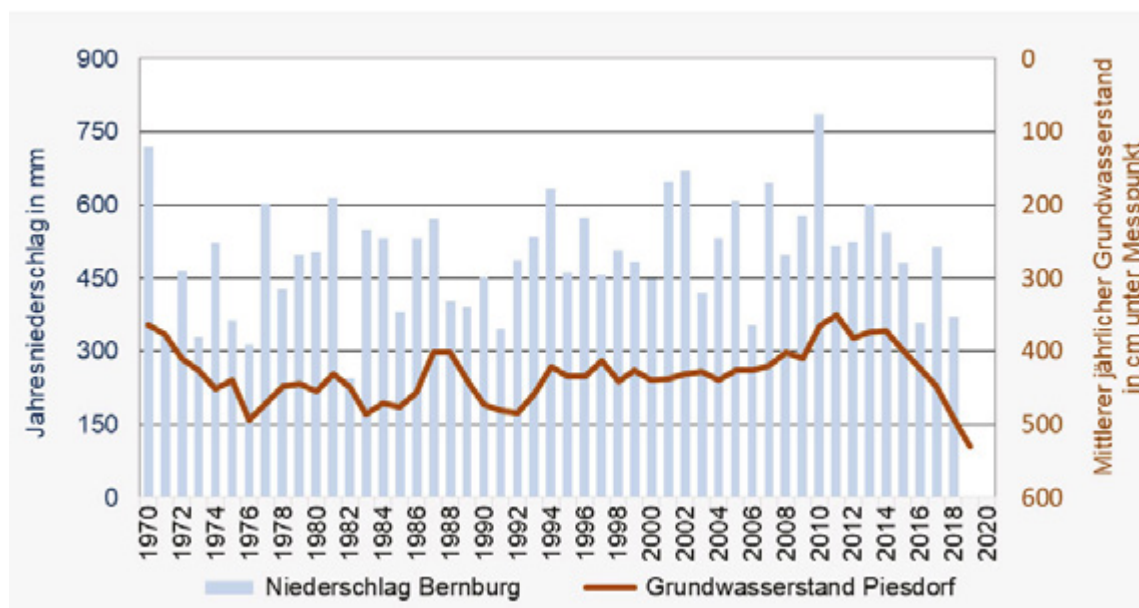
- eine Tendenz zu einem stagnierenden Verlauf des Grundwasserstandes zeigt die Messstelle Altmersleben-Butterhorst
- eine Tendenz zu einem leichten Grundwasseranstieg zeigt die Messstelle Piesdorf
- eine Tendenz zu einem leichten Grundwasserabfall zeigt die Messstelle Walbeck.

Dabei ist zu beachten, dass an allen drei Messstellen nur die Entwicklung des Grundwasserstandes im unmittelbaren Umkreis der jeweiligen Messstelle beobachtet werden kann. In der Umgebung des Messpunktes kann der Grundwasserstand jedoch durch sich ändernde bodenkundliche, geohydrologische und meteorologische Verhältnisse variieren. Die dargestellten Verläufe des Grundwasserstandes spiegeln daher nicht die Entwicklung in der jeweiligen Grundwasserlandschaft wider, sondern sind lediglich Beispiele.

Anders als die Messstellen Altmersleben-Butterhorst und Walbeck zeigt die Messstelle Piesdorf neben dem beobachteten leichten Grundwasseranstieg auch einen sichtbaren Zusammenhang zu den Niederschlagsverhältnissen der Region (Abbildung 19).

Abbildung 19:

Zusammenhang der Mittlere jährlichen Grundwasserstände an der Messstelle Piesdorf und der jährlichen Niederschläge an der benachbarten Klimastation Bernburg. (Datenquelle: LHW, DWD)



Auffallend ist die zeitlich verzögerte Reaktion des Grundwasserstandes an der Messstelle Piesdorf auf die Niederschlagsverhältnisse an der benachbarten Station Bernburg. Eine Verzögerung bis zu einem Jahr und mehr kann beobachtet werden. So sank der Grundwasserstand in Piesdorf 2019 in Folge der abnehmenden Niederschläge nach 2013, trotz des feuchteren Jahres 2017, auf den niedrigsten Stand der letzten 50 Jahre. Für die Grundwasserneubildung, also den Anstieg des Grundwasserstandes, ist nicht nur entscheidend wieviel, sondern auch wann der Niederschlag fällt. Niederschläge im Sommer führen aufgrund der hohen Verdunstung zu weniger Grundwasserneubildung als Niederschläge im Winter.

Insgesamt ist aus den beispielhaft untersuchten Messstellen kein einheitlicher Trend für Sachsen-Anhalt erkennbar. Aus sinkenden oder steigenden Grundwasserständen können sich Auswirkungen auf grundwasserabhängige Landökosysteme (Umweltaspekt) sowie u. a. die landwirtschaftliche Nutzung und das Bauwesen (wirtschaftlicher Aspekt) ergeben. Steigende Grundwasserstände könnten zu Vernässungserscheinungen und sinkende Grundwasserstände zu teilweise austrocknenden Böden (z. B. Moorböden) führen.

Fazit zum Indikator B1 Grundwasserstand

Die beispielhaft untersuchten Grundwassermessstellen lassen noch keinen einheitlichen Trend auf die Grundwasserentwicklung im gesamten Land erkennen. Tiefergehende Untersuchungen sind dafür notwendig. Erkennbar ist jedoch eine zeitlich verzögerte Reaktion des Grundwassers auf Witterungsereignisse.

4.1.2 Der Mittlere Abfluss der Fließgewässer verringert sich leicht

Der Mittlere Abfluss (MQ) stellt eine wichtige hydrologische Kenngröße dar. So wirkt sich eine langfristige Veränderung des Mittleren Abflusses insbesondere auf die Gesamt-ökosysteme eines Fließgewässers aus.

Der Abfluss unterliegt den Einflüssen der Klimaveränderung. Relevante Klimafaktoren sind dabei in erster Linie der Niederschlag und die Temperatur.

Für die Beobachtung der Entwicklung wurden für den Indikator B3 Mittlerer Abfluss drei Pegel an Fließgewässern nach den folgenden Kriterien ausgewählt (siehe 2.3 Räumliche Gliederung):

- die Einzugsgebiete liegen in unterschiedlichen Landschaftsräumen und ganz oder größtenteils in Sachsen-Anhalt
- sie besitzen eine lange Beobachtungsreihe
- sie sind nur gering menschlich beeinflusst.

Tabelle 14:

Langjähriger Mittlerer Abfluss für ausgewählte Zeiträume in Kubikmeter je Sekunde.
(Datenquelle: LHW)

	1961 - 1990 (oder ab Beginn der Messung)	1991 - 2019
Pegel Nutha (Nuthe)	1,64*	1,50
Pegel Mertendorf (Wethau)	1,18**	0,71
Pegel Großschießstedt (Wipper)	2,49	2,26

* 1972 bis 1990; **1963 bis 1990

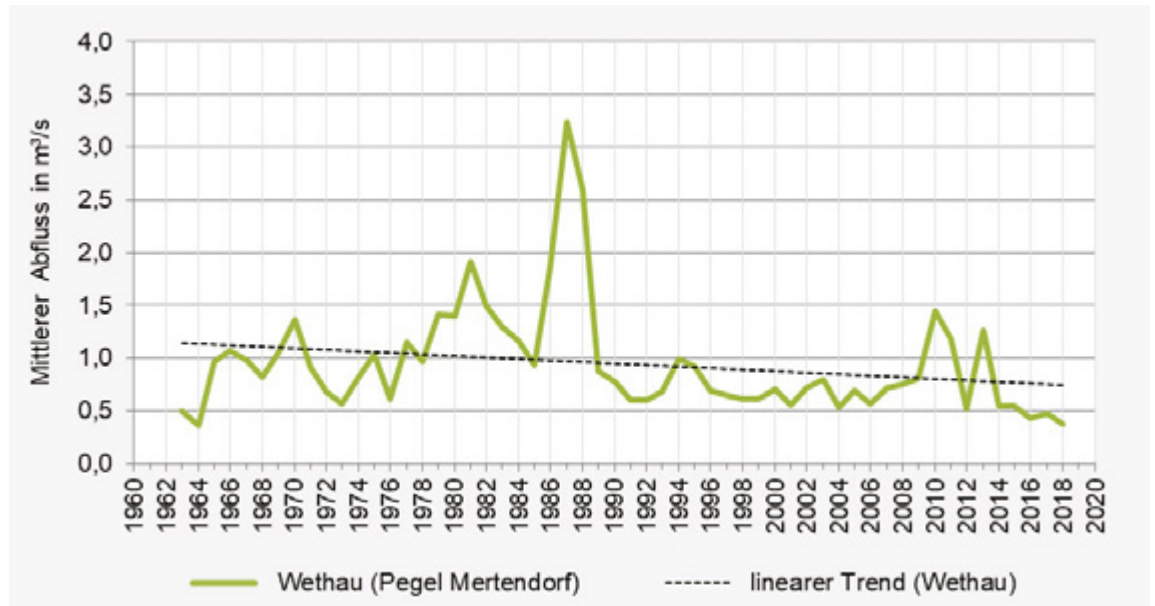
Mit Ausnahme des Pegels Mertendorf zeigen die langjährigen Reihen der Mittleren jährlichen Abflüsse an den anderen beiden ausgewählten Messstellen im Vergleich der Referenzperiode (wegen des späteren Messbeginns teilweise verkürzt) zum aktuellen, noch unvollständigen 30-jährigen Zeitraum, lediglich eine Tendenz zu einer leichten Verringerung (Tabelle 14). Die deutliche Abnahme am Pegel Mertendorf ist durch den erhöhten Abfluss von Mitte der 1970er bis Ende der 1980er Jahre beeinflusst, der bei der Mittelwertbestimmung nur in die Referenzperiode eingeflossen ist. Schon bei den für das Indikatorkennblatt anders gewählten 30-jährigen Zeiträumen fällt die Abnahme deutlich moderater aus.

Es ist zu beachten, dass für die Entwicklung des Mittleren Abfluss an den drei Messstellen nur das Einzugsgebiet des Fließgewässers oberhalb des Pegels maßgebend ist. Dieser ist durch das Abflussregime beeinflusst, welches durch die klimatologischen, geologischen, bodenkundlichen, geomorphologischen, ökologischen und menschlichen Umweltfaktoren des betrachteten Einzugsgebietes bedingt wird. Die einzelnen Faktoren sind häufig miteinander gekoppelt und variieren sowohl entlang eines Fließgewässers als auch zwischen den Einzugsgebieten verschiedener Fließgewässer. Die im Indikator dargestellten Verläufe spiegeln daher nicht die Entwicklung des gesamten jeweiligen Landschaftsraums wider, sondern sind als Beispiel zu verstehen.

Längere Phasen mit erhöhtem oder verringertem Abfluss können nur an dem im Süden Sachsen-Anhalts gelegenen Pegel Mertendorf (Wethau) erkannt werden (Abbildung 20). Im Zeitraum von Ende der 1970er bis Ende der 1980er Jahre war der Mittlere jährliche Abfluss erhöht, während danach bis 2009 eine längere, eher trockene Periode folgte. An den Pegeln Großschieerstedt (Wipper) und Nutha (Nuthe) können keine solchen länger anhaltenden Phasen nachgewiesen werden.

Abbildung 20:

Mittlerer jährlicher Abfluss der Wethau am Pegel Mertendorf. (Datenquelle: LHW)



Da der Mittlere Abfluss MQ nur ein statistischer Wert ist, können keine Aussagen darüber getroffen werden, wie der innerjährliche Verlauf des Abflusses in den entsprechenden Jahren gewesen ist und wie die leichte Tendenz zu einem Rückgang zu erklären ist. Für die Abflussbildung im Gewässer ist nicht nur die Niederschlagssumme entscheidend, sondern auch die räumliche und zeitliche Verteilung des Niederschlags. Aber auch andere Faktoren haben Auswirkungen auf die Abflussbildung: beispielsweise die jahreszeitliche Bodenbedeckung und die Vorsättigung der Böden. Für statistisch zuverlässige Aussagen über das Trendverhalten sind daher weiterführende Untersuchungen notwendig. Dazu sind möglichst lange Zeitreihen erforderlich, die mindestens 60 bis 70 Beobachtungsjahre umfassen sollten. Für kürzere Zeitspannen sind eventuell auftretende Trends als eher zufällig zu bewerten und daher in der Regel nur wenig aussagekräftig. Zuverlässige Aussagen sind jedoch für nachhaltige, zukunftsorientierte Planungen und Bewertungen von besonderer Bedeutung. Aus ihnen wird ersichtlich, wie sich das Abflussgeschehen infolge des Klimawandels zukünftig verändern könnte.

Fazit zum Indikator B3 Mittlerer Abfluss

Die Mittleren jährlichen Abflüsse an den drei ausgewählten Pegeln lassen eine Tendenz zu einem leichten Abfall über den Gesamtzeitraum erkennen. Ein signifikanter Einfluss der Klimaänderungen auf den mittleren Abfluss kann noch nicht beobachtet werden.

4.1.3 Die Hochwasserabflüsse schwanken stark – Extreme sind jedoch selten

Eine weitere wichtige hydrologische Kenngröße ist der Mittlere Hochwasserabfluss (MHQ). So wie alle hydrologischen Kenngrößen unterliegt auch er den Einflüssen der Klimaveränderung. Relevante Klimafaktoren sind dabei in erster Linie der Niederschlag und die Temperatur.

Veränderungen der Hochwasserabflüsse können einen Einfluss auf Planung und Bau von Hochwasserschutzanlagen (z.B. Deicherhöhung), Steuerung von Talsperren und Rückhaltebecken, Schadstoffbelastung und Ökosysteme des Fließgewässers haben.

Die Untersuchungen erfolgten an denselben drei Pegeln wie beim Mittleren Abfluss (siehe Abschnitt 4.1.2). Auch die Auswahlkriterien wurden umfassend im genannten Abschnitt erläutert.

Tabelle 15:

Langjähriger Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss für ausgewählte Zeiträume in Kubikmeter je Sekunde.
(Datenquelle: LHW)

	1961 - 1990 (oder ab Beginn der Messung)	1991 - 2019
Pegel Nutha (Nuthe)	5,49*	5,39
Pegel Mertendorf (Wethau)	8,95**	12,10
Pegel Großschießstedt (Wipper)	15,10	18,00

* 1972 bis 1990; **1963 bis 1990

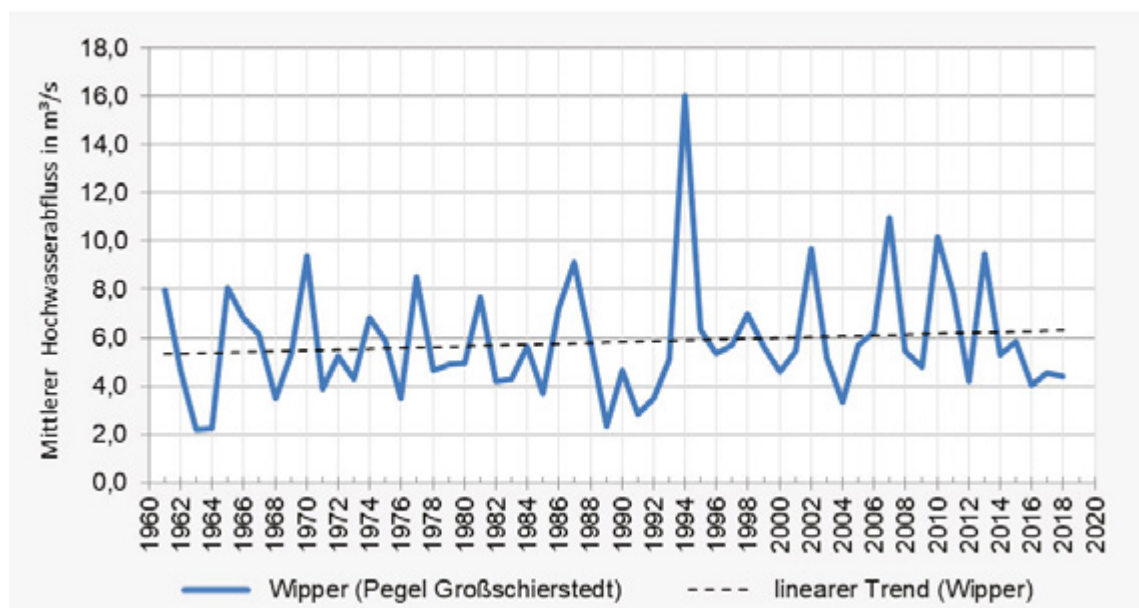
Die langjährigen Mittel der Mittleren jährlichen Hochwasserabflüsse zeigen an den drei ausgewählten Pegeln im Vergleich der Referenzperiode (wegen des späteren Messbeginns teilweise verkürzt) zum aktuellen, noch unvollständigen 30-jährigen Zeitraum, keine einheitliche Tendenz (Tabelle 15). Auch bei den im Kennblatt B4 Mittlerer Hochwasserabfluss nach anderen Kriterien ausgewählten 30-jährigen Zeiträumen spiegelt sich das wider.

Bereits im Abschnitt 4.1.2 wurde erläutert, dass an den ausgewählten Messstellen für die Entwicklung des Mittleren Hochwasserabflusses nur das Einzugsgebiet des Fließgewässers oberhalb der Pegel maßgeblich ist. und dass die dargestellten Verläufe nicht die Entwicklung des gesamten jeweiligen Landschaftsraums widerspiegeln, sondern als Beispiel zu verstehen sind.

Das Hochwassergeschehen ist von Jahr zu Jahr an den drei ausgewählten Pegeln sehr unterschiedlich ausgeprägt, wie die im Indikator erfassten Zeitreihen verdeutlichen. Am Pegel Großschießstedt (Wipper) sticht besonders das Jahr 1994 hervor (Abbildung 21). Im April 1994 wurde dort der Höchste Abfluss (HHQ) verzeichnet, der sich aufgrund seines hohen Abflusses auch stark auf den Mittleren Hochwasserabfluss 1994 auswirkte. Außer dem extremen und über die normale Schwankungsbreite hinausgehenden Hochwasserabfluss im Jahr 1994 sind an der Station Großschießstedt keine weiteren größeren Hochwasserabflüsse erkennbar.

Abbildung 21:

Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss der Wipper am Pegel Großschieerstedt. (Datenquellen: LHW)



Ein einzelnes Hochwasser lässt sich ähnlich wie andere Extremereignisse nicht allein und ausschließlich mit dem Klimawandel erklären. Die zunehmende Erwärmung und die damit einhergehende Erhöhung des Starkregenpotentials könnten aber den Hochwasserabfluss künftig erhöhen. Auch der menschliche Einfluss, beispielsweise die zunehmende Flächenversiegelung und die Eindeichung der Flussläufe, kann zu einer Erhöhung beitragen.

Fazit zum Indikator B4 Mittlerer Hochwasserabfluss

An den drei ausgewählten Pegeln lassen sich keine einheitlichen Tendenzen des Mittleren jährlichen Hochwasserabflusses über den gesamten Zeitraum erkennen. Von Jahr zu Jahr schwankt dieser teilweise erheblich, Extreme sind jedoch selten. So ist in niederschlagsreichen Jahren auch der Mittlere Hochwasserabfluss erhöht. Dieser Anstieg kann aber nicht allein auf den Klimawandel zurückgeführt werden, sondern kann auch weitere menschliche Ursachen haben.

4.1.4 Die Niedrigwasserabflüsse schwanken stark und nehmen tendenziell leicht ab

Auch der Mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) ist eine wichtige hydrologische Kenngröße. Wie auch die in den vorherigen Abschnitten dargelegten hydrologischen Kenngrößen unterliegt der Mittlere Niedrigwasserabfluss den Einflüssen der Klimaveränderung, dabei in erster Linie dem Niederschlag und der Temperatur.

Niedrigwasser haben sowohl ökologische als auch ökonomische Auswirkungen. Veränderungen der Niedrigwasserabflüsse beeinflussen insbesondere aquatische Ökosysteme, Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie Land-, Forst- und Energiewirtschaft, Schifffahrt, Fischerei und Tourismus.

Die Untersuchungen erfolgten an denselben drei Pegeln wie beim Mittleren Abfluss (siehe Abschnitt 4.1.2). Auch die Auswahlkriterien wurden umfassend im genannten Abschnitt erläutert.

Tabelle 16:

Langjähriger Mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss für ausgewählte Zeiträume in Kubikmeter je Sekunde.
(Datenquelle: LHW)

	1961 - 1990 (oder ab Beginn der Messung)	1991 - 2019
Pegel Nutha (Nuthe)	0,61*	0,50
Pegel Mertendorf (Wethau)	0,47**	0,28
Pegel Großschiebstedt (Wipper)	0,72	0,54

* 1972 bis 1990; **1963 bis 1990

Die Mittleren jährlichen Niedrigwasserabflüsse an den drei ausgewählten Messstellen lassen im Vergleich der Referenzperiode (wegen des späteren Messbeginns teilweise verkürzt) zum aktuellen, noch unvollständigen 30-jährigen Zeitraum eine Tendenz zu einem Abfall über den Gesamtzeitraum erkennen. Am Pegel Mertendorf (Wethau) sinkt der Wert sogar um ca. 40 %. Signifikante Trends können jedoch nicht nachgewiesen werden (Tabelle 16).

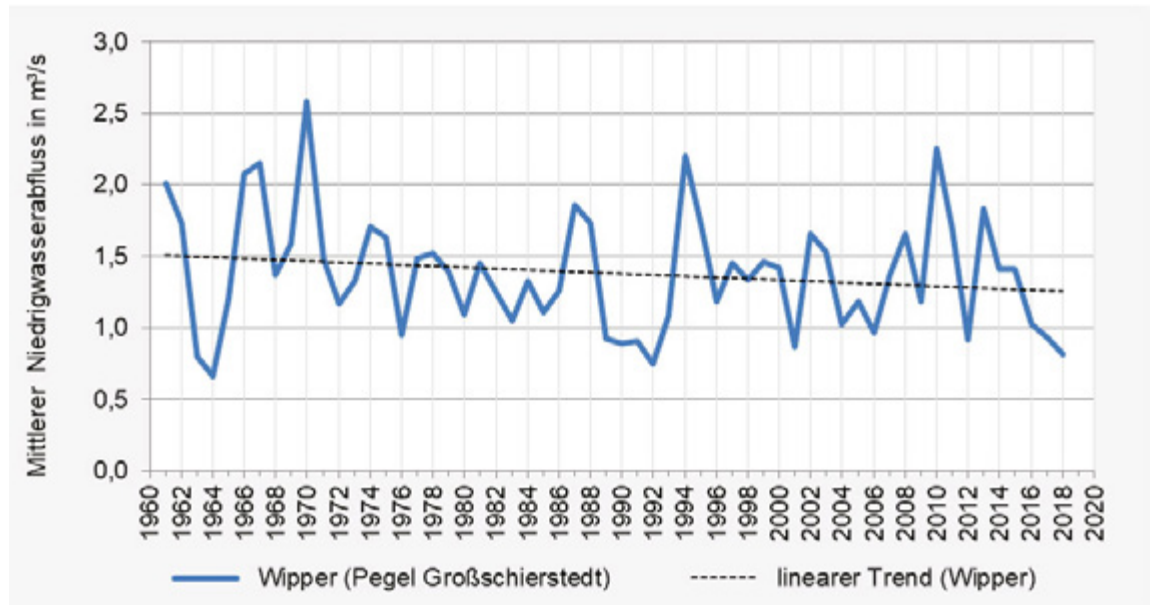
Auch hier spiegeln die dargestellten Verläufe des Mittleren Niedrigwasserabflusses (so wie in 4.1.2 ausführlich erläutert) nicht die Entwicklung des gesamten jeweiligen Landschaftsraums wider, sondern sind nur als Beispiel zu verstehen. Auch hier ist für die beobachtete Entwicklung des Mittleren Niedrigwasserabflusses an den ausgewählten Messstellen das Einzugsgebiet der Fließgewässer oberhalb der Pegel maßgebend.

Die im Indikator B5 Mittlerer Niedrigwasserabfluss erfassten Zeitreihen der drei Pegel verdeutlichen, dass das Niedrigwassergeschehen von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Am Pegel Mertendorf (Wethau) zeigten sich beispielsweise im Zeitraum von Ende der 1970er bis Ende der 1980er Jahre relativ hohe jährliche Niedrigwasserabflüsse, während danach bis 2007 eine längere Periode mit vergleichsweise niedrigen

jährlichen Niedrigwasserabflüssen folgte. An den Pegeln Großschieerstedt (Wipper) und Nutha (Nuthe) können keine solchen länger anhaltenden Phasen nachgewiesen werden.

Abbildung 22:

Mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss der Wipper am Pegel Großschieerstedt. (Datenquellen: LHW)



Weiterhin zeigen diese eine wesentlich intensivere Schwankung der Niedrigwasserabflüsse im Vergleich zur Wethau.

Anders als beim Mittleren Hochwasserabfluss (vgl. Abbildung 21) sind am Pegel Großschieerstedt (Wipper) keine extremen Niedrigwasserabflüsse erkennbar (Abbildung 22). Länger anhaltende Trockenphasen, in denen nur wenig oder kein Niederschlag fällt und eine erhöhte Verdunstung herrscht, verschärfen den Niedrigwasserabfluss. So kommt es immer wieder zu Jahren mit ausgeprägtem Niedrigwasser. Mit der Anlage von Wasserspeichern könnte dem u. a. entgegengewirkt werden.

Fazit zum Indikator B5 Mittlerer Niedrigwasserabfluss

Der mittlere jährliche Niedrigwasserabfluss schwankt von Jahr zu Jahr. An den drei ausgewählten Pegeln lassen sich Tendenzen zu einer Verringerung des Niedrigwasserabflusses über den Gesamtzeitraum erkennen. In niederschlagsarmen Jahren ist auch der mittlere Niedrigwasserstand verringert.

4.2 Boden (C)

4.2.1 Temperaturzunahme führt zu längeren Wachstumsprozessen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen

Für den Beginn, die Dauer und das Ende von Wachstumsprozessen landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten und die Mobilisierung von Nährstoffen im Boden sollte die Temperatur im Erdboden über 5 °C liegen. Entscheidenden Einfluss auf die Bodentemperatur haben sowohl die Vegetation auf dem Boden als auch die Strahlungsenergie, die Niederschläge und die Verdunstungsprozesse.

Für den Indikator C1 Bodentemperatur soll mit Hilfe der zeitlichen Entwicklung abgeschätzt werden, ob die Wachstums- und die Nährstoffmobilisierungsprozesse im Boden zeitlichen Veränderungen unterliegen. Damit können die Auswirkungen auf die Durchführung landwirtschaftlicher Tätigkeiten bewertet werden.

An der Station Magdeburg wurden für den Indikator die Tagesmittelwerte der Temperatur im unbewachsenen Boden in einer Bodentiefe von 10 cm bestimmt. Anschließend wurde ermittelt, an welchem Tag des Jahres die Temperatur im Frühjahr die 5 °C-Marke überschritten und wann sie diese im Herbst unterschritten hat. Dies geschieht einerseits als Referenz gemittelt für den Zeitraum 1961 bis 1990 und andererseits gemittelt für den Zeitraum 1991 bis zum aktuellen Jahr, bis der 30-jährige Zeitraum 2020 abgeschlossen ist (Tabelle 17).

Tabelle 17:

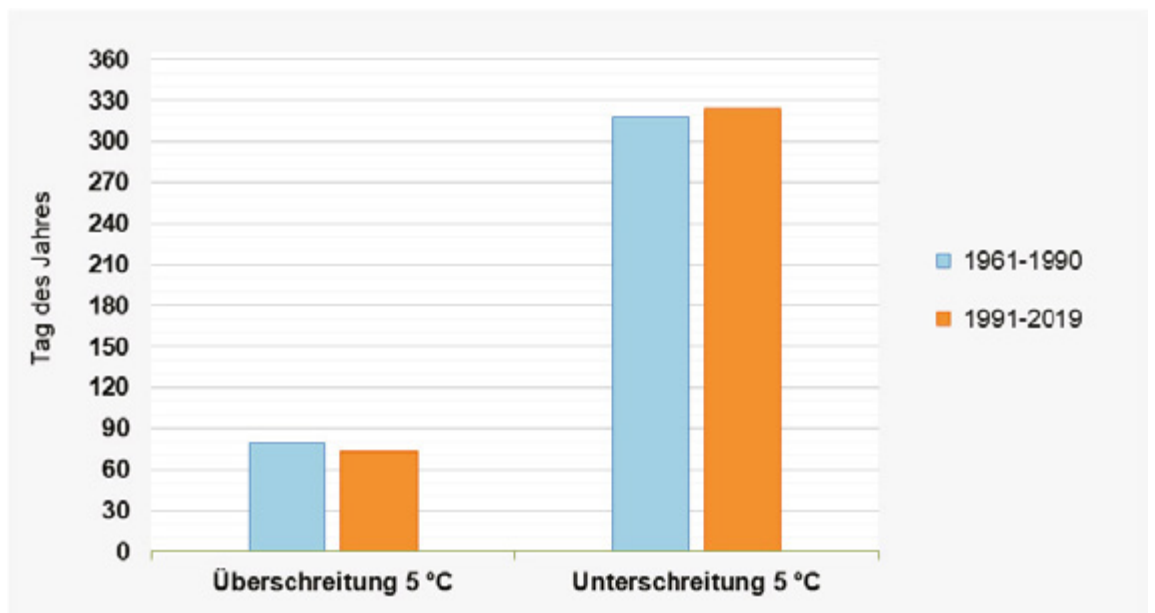
Tag des Jahres der Über- bzw. Unterschreitung einer Bodentemperatur von 5 °C in 10 cm Tiefe an der Station Magdeburg. (Datenquelle: DWD)

	1961 - 1990	1991 - 2019
Überschreitung 5 °C	19. März	13. März
Unterschreitung 5 °C	13. November	19. November
Dauer	240 Tage	252 Tage

Die Bodentemperatur verhält sich im Klimawandel ähnlich wie die Lufttemperatur, folgt dieser mit einem gewissen Zeitversatz und kann in den oberen Bodenschichten sogar eine größere Amplitude aufweisen. In tieferen, hier nicht betrachteten Schichten flacht die Amplitude ab und der Zeitversatz zur Lufttemperatur vergrößert sich. In der vorliegenden Auswertung für 10 cm Tiefe (Abbildung 23) zeigt sich im Frühjahr ein früheres Überschreiten der 5 °C-Marke um 6 Tage und liegt dann im Mittel schon vor Mitte März. Die gebremste herbstliche Abkühlung löst ein späteres Unterschreiten der 5-°C-Marke ebenfalls um 6 Tage im Vergleich der Perioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2019 aus. Damit stehen im Durchschnitt 12 Tage im Jahr mehr zur Verfügung.

Abbildung 23:

Tag seit Jahresbeginn
der Über- bzw.
Unterschreitung von
5 °C in 10 cm Tiefe an
der Station Magdeburg.
(Datenquelle: DWD)



Fazit zum Indikator C1 Bodentemperatur

Die Bodentemperatur folgt mit einem geringen Zeitversatz der Lufttemperatur. Durch ein früheres Überschreiten der 5 °C-Marke in 10 cm Tiefe um 6 Tage im Frühjahr und ein späteres Unterschreiten der 5 °C-Marke ebenfalls um 6 Tage im Herbst stehen im Durchschnitt 12 Tage im Jahr mehr für Wachstums- und Nährstoffmobilisierungsprozesse zur Verfügung.

4.2.2 Sinkender Bodenwasservorrat erfordert Anpassungsmaßnahmen

Der Bodenwasservorrat in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (%nFK) beschreibt den Füllstand des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers (nutzbare Feldkapazität) unter Berücksichtigung der bodenbezogenen Standorteigenschaften. Der Bodenwasservorrat liefert somit eine Aussage, wie gut die Pflanzen ihren Wasserbedarf aus dem Bodenspeicher decken können.

Im Indikator C2 Bodenwasservorrat wurden auf Grundlage modellierter Tageswerte die Entwicklungen des Bodenwasserhaushalts für ausgewählte Stationen (siehe 2.3 Räumliche Gliederung - ohne Oberharz) für zwei landwirtschaftliche Kulturen betrachtet: einer Sommerung (Zuckerrübe) und einer Winterung (Winterweizen). Beispielhaft soll in Tabelle 18 die Entwicklung des Bodenwasserhaushalts unter Winterweizen zu drei für die Landwirtschaft bedeutsamen Zeitpunkten betrachtet werden: Beginn der Vegetationsperiode 1 (VP1), Ende der Vegetationsperiode 1 und Ende der Vegetationsperiode 2 (VP2).

Tabelle 18:

Arithmetische Mittel des Bodenwasserhaushalts unter Winterweizen zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Vegetationsperiode für zwei meteorologische 30-Jahres-Zeiträume in Prozent nutzbarer Feldkapazität (%nFK). (Datenquelle: DWD)

Zeitpunkt	Beginn VP1 (01.04.)		Ende VP1 (30.06.)		Ende VP2 (30.09.)	
	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019	1961 - 1990	1991 - 2019
30-jähriger Zeitraum						
Bad Lauchstädt	83,7	76,5	49,7	34,6	47,5	44,0
Bernburg	80,5	81,5	56,6	46,5	52,2	50,7
Gardelegen	90,8	85,9	50,4	40,2	52,7	45,4
Harzgerode	93,6	89,7	63,6	52,7	57,3	57,0
Wittenberg	88,9	86,7	44,0	36,7	47,5	46,6

Ein Bodenwassergehalt von 80 %nFK und mehr signalisiert eine Überversorgung, die bremsend auf die Pflanzenentwicklung wirkt. Werte von 50 bis 80 %nFK sind optimal. Werte zwischen 30 und 50 %nFK sind zu gering, die Pflanzen reduzieren ihre Leistung. Unterhalb von 30 %nFK können die Pflanzen ihren Wasserbedarf nur noch sehr schwer decken und es kommt zu Wachstums- und Reproduktions-Einschränkungen. Unterhalb von 20 %nFK spricht man von Bodendürre (siehe Tabelle 18).

Zu Beginn der Vegetationsperiode 1 (01.04.) ist der Bodenwasservorrat bei allen Stationen im Mittel gut gefüllt. Während der letzten Jahre konnte jedoch eine Abnahme beobachtet werden, 2018 und 2019 sogar unter die Grenze des Optimalbereichs. Für die Folgeentwicklung der Fruchtarten kann das Trockenstress auslösen. Insbesondere die Zuckerrübe ist davon betroffen, die in dieser Zeit ihre Jugendentwicklung mit einem kleinen Wurzelapparat durchläuft, der nicht auf ggf. tiefer liegende Wasservorräte zugreifen kann.

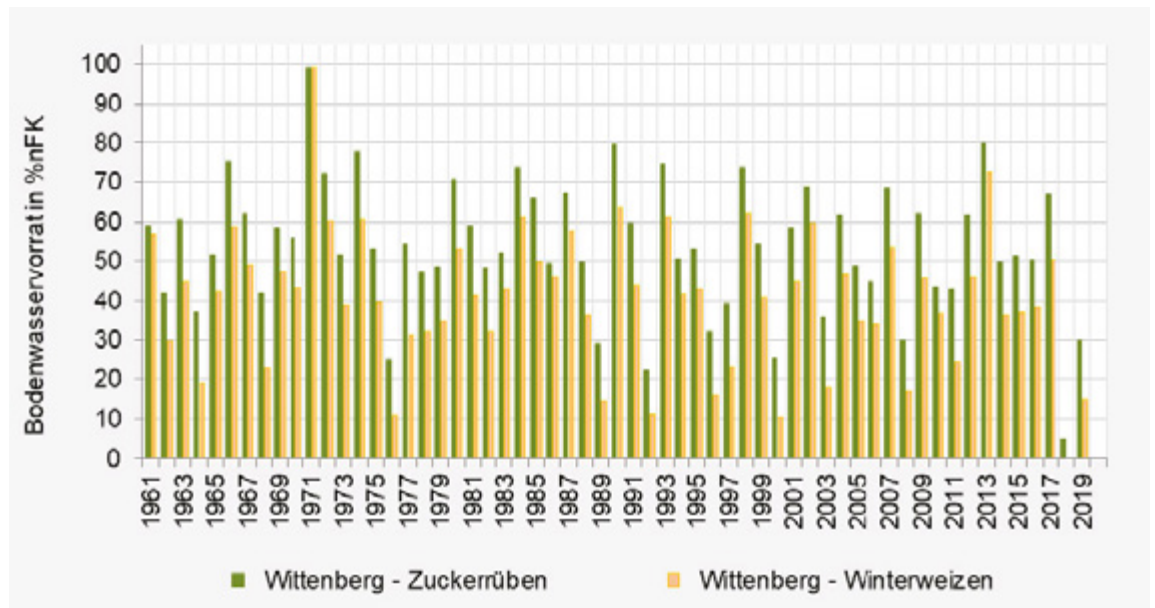
Zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.) zeigen die Bodenwasservorräte im Mittel Werte im unteren Optimalbereich mit einer abnehmenden Tendenz. In den letzten Jahren sanken sie sogar regelmäßig in den suboptimalen Bereich. In den Jahren 2018 und 2019

war im Osten und Süden des Landes der pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat aufgebraucht bzw. am Rand der Bodendürre angelangt. Für den Winterweizen führten Werte unter 30 Prozent der nutzbaren Feldkapazität zu erkennbaren Ertragseinbußen.

Die Zuckerrübe ist zwar auch unter Trockenstress, hat aber ein besseres Kompensationsvermögen. Ausreichende Niederschläge in den nachfolgenden Monaten können den Bodenwasservorrat wieder steigen lassen und die Ertragsdepression besser abfedern (Abbildung 24).

Abbildung 24:

Bodenwasservorrat unter Zuckerrüben und Winterweizen in einer Schicht bis einem Meter Tiefe zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.) an der Station Wittenberg. (Datenquelle: DWD)



Zum Ende der Vegetationsperiode 2 (30.09.) sind die Bodenwasservorräte in der Regel sehr beansprucht und liegen im Mittel an der unteren Grenze der optimalen Wasserversorgung. In einzelnen Jahren verhindert das Niederschlagsgeschehen in dieser Periode ein stärkeres Absinken des Bodenwasservorrats. In diesem Fall profitiert die Zuckerrübe, die zwischen September und Dezember geerntet wird. Tendenziell gibt es jedoch trockenere Bedingungen. Diese führen bis in den Bereich der Bodendürre oder sogar bis zur vollständigen Entleerung der pflanzenverfügbaren Bodenwasservorräte. Dieser Zustand wirkt sich bei der Zuckerrübe auf den Ertrag aus. Für den zu diesem Zeitpunkt zur Neuaussaat anstehenden Winterweizen hat das Folgen für das Auflaufen und die Jugendentwicklung.

Die Veränderungen bei den Bodenwasservorräten erfordern zusätzliche Maßnahmen, z. B. Zusatzbewässerungen oder Drainagen sowie technologische Anpassungen in der Pflanzenproduktion, beispielsweise eine Umstellung der Bodenbearbeitung.

Fazit zum Indikator C2 Bodenwasservorrat

Tendenziell sinkt der Bodenwasservorrat über die Vegetationszeit. In den letzten Jahren kam es dabei wiederholt zur Bodendürre. Veränderte Bodenwasservorräte verlangen Anpassungsmaßnahmen im Pflanzenbau und im Wassermanagement.

4.3 Landwirtschaft (D)

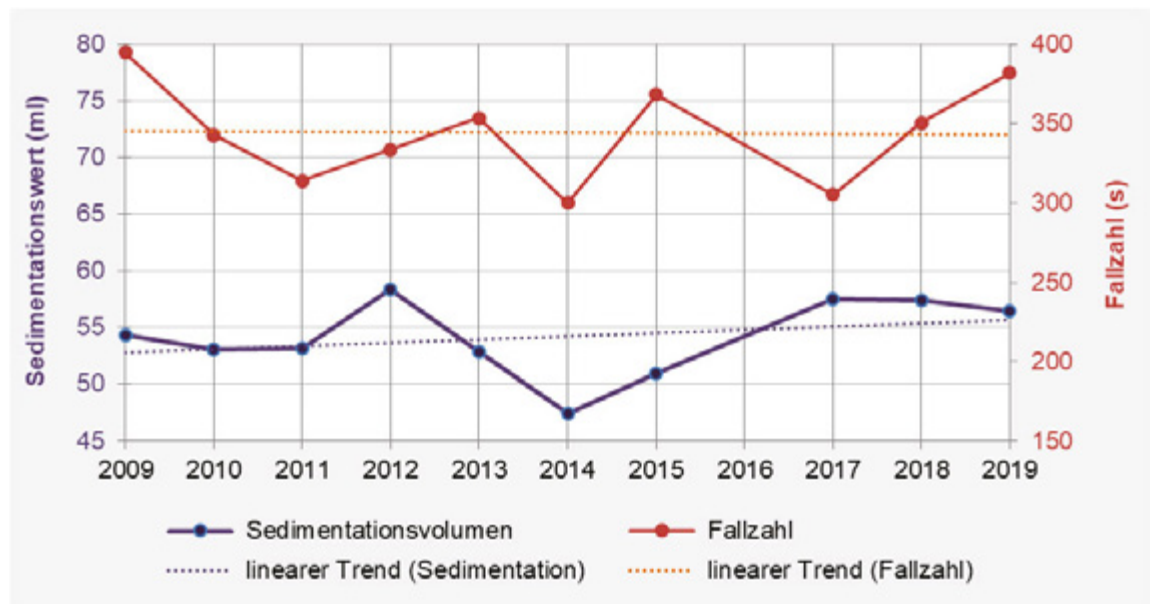
4.3.1 Qualität von Winterweizen weiterhin auf gutem Niveau

Weizen ist mit einem Anteil von ca. 60 % an der landwirtschaftlichen Nutzfläche die Hauptkultur in Sachsen-Anhalt. Die Sicherstellung einer hohen Weizenqualität und der daraus gewonnenen Produkte hat daher eine große wirtschaftliche Bedeutung. Der bereits messbare Temperaturanstieg und die jahreszeitlichen Veränderungen im Niederschlagsverhalten können sich sowohl auf das Erwirtschaften stabiler Ernteerträge als auch die Qualität des Weizens auswirken. Dadurch werden die Backeigenschaften und somit die Verwertbarkeit von Weizenmehl beeinflusst.

Zur Ermittlung der Veränderungen der Backqualität des Weizenmehls wurden im Indikator D2 Qualität von Ernteprodukten zum einen die Stärkebeschaffenheit (Fallzahl) und zum anderen die Proteinqualität (Sedimentationswert) von Winterweizen im vergangenen 10-Jahres-Zeitraum ab 2009 untersucht (Abbildung 25).

Abbildung 25:

Entwicklung der Backqualität von Winterweizen für Sachsen-Anhalt seit 2009. (Datenquelle: LLG)



Der Stärkegehalt im Weizen bestimmt maßgeblich die Backfähigkeit des Mehls. Die Stärke im Mehl führt zu einer „Verkleisterung“ des Teigs. Als einfache und schnelle Methode zur Prüfung der Backfähigkeit von Getreidemehl bedient man sich der Ermittlung der Fallzahl. Je geringer die Fallzahl ist, desto geringer ist die Weizenqualität. Bei einer Fallzahl unter 220 Sekunden gilt Weizen als eingeschränkt bis nicht backfähig (Interventionsgrenze).

Die Höhe der Fallzahl wird vor allem durch die Witterung im Reife- und Erntezeitraum bestimmt. Bei feuchtem Wetter und bei starkem Temperaturrückgang kann die Fallzahl stark abfallen. Ungünstig sind weiterhin große Hitze während der Kornfüllungsphase und generell schnelle Temperaturwechsel.

Über die vergangenen zehn Jahre zeigt der Indikatorverlauf der Fallzahlen generell gute Werte. Die Fallzahlen lagen deutlich über der Interventionsgrenze von 220 Sekunden. Der lineare Trend für Sachsen-Anhalt ist auf gleichbleibend hohem Niveau. Witterungsbedingte Einflüsse zeigen sich in unterschiedlichen Fallzahlen der Jahre, lassen jedoch keine Rückschlüsse auf einen bestimmten Trend erkennen.

Der Sedimentationswert ist ein Maß für die Proteinmenge und die Proteinqualität. Er bestimmt die Funktionalität des kleberbildenden Eiweißes und damit auch die Backqualität des Getreidemehls. Klebereiweiß (umgangssprachlich Gluten) ist eine Mischung von Proteinen.

Die besondere Wertigkeit des Weizens für die Verwendung in Brot und Backwaren beruht auf einem hohen Gehalt an Klebereiweiß. Je geringer dieser ist, desto geringer ist die Weizenqualität. Bei einem Sedimentationswert unter 22 Milliliter ist Weizen schlecht backfähig (Interventionsgrenze). Unter ungünstigen Witterungseinflüssen (Hitzestress) kann es zu einer abweichenden Funktionalität des kleberbildenden Eiweißes kommen. In der Regel sinkt dann der Sedimentationswert.

Der Indikatorverlauf der letzten zehn Jahre zeigt für Sachsen-Anhalt nur sehr geringe Schwankungen. Diese bewegten sich deutlich über der Interventionsgrenze von 22 Milliliter. Die Proteinqualität des Winterweizens ist im Landesmittel über den gesamten zurückliegenden 10-Jahres-Zeitraum leicht gestiegen. Damit ist durchweg eine gute Backqualität des Getreidemehls aus Winterweizen zu verzeichnen.

Veränderungen der Qualitätsparameter durch den Klimawandel sind bei den relativ kurzen Zeitreihen noch nicht erkennbar. Züchterische Fortschritte überlagern offensichtlich die witterungsbedingten Effekte.

Fazit zum Indikator D2 Qualität von Ernteprodukten

Im zurückliegenden Zeitraum ab 2009 unterlag die Backqualität des Winterweizens zwar witterungsbedingten jährlichen Schwankungen, sie hat sich jedoch im Mittel kaum verändert. Sowohl die Backqualität als auch die Backfähigkeit des Winterweizens zeigen durchgängig ein gutes Niveau.

4.3.2 Erhöhte Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen

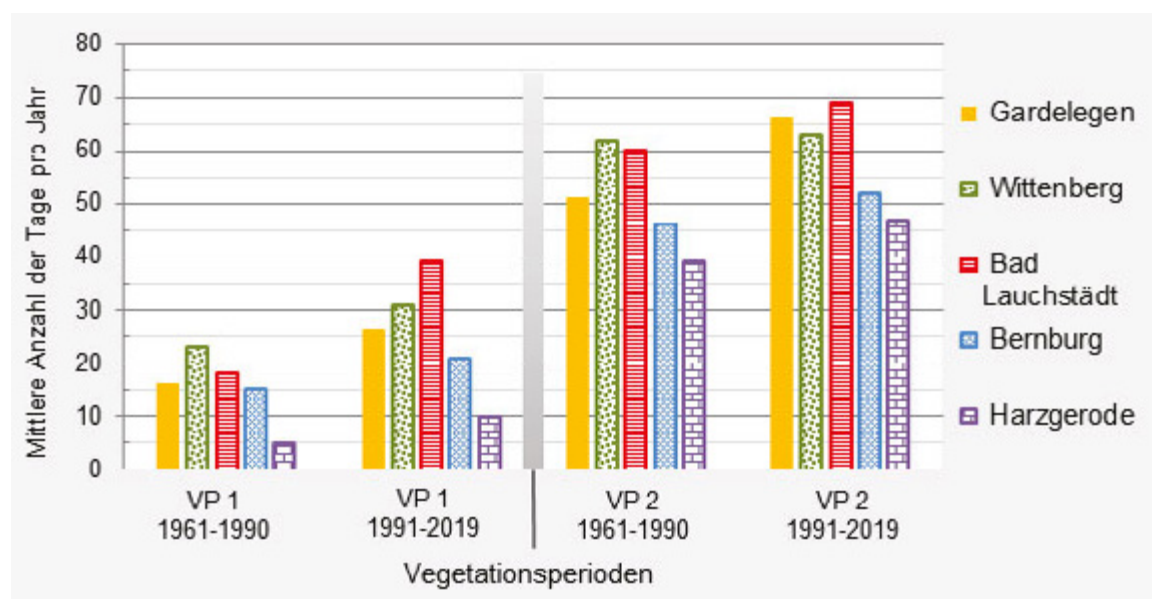
Für hohe und stabile Erträge in der Landwirtschaft ist eine ausreichende Wasserversorgung Grundvoraussetzung. Wenn die Niederschläge dafür nicht ausreichen, um diese zu garantieren, ist eine zusätzliche Bewässerung notwendig, damit qualitativ hochwertige landwirtschaftliche Produkte erzeugt werden können.

Im Indikator D3 Beregnungsbedürftigkeit wurde die Beregnungsbedürftigkeit von Winterweizen, Zuckerrüben und Gras in den beiden landwirtschaftlichen Vegetationsperioden VP 1 (April bis Juni) und VP 2 (Juli bis September) für ausgewählte Stationen (siehe 2.3 Räumliche Gliederung - ohne Oberharz) untersucht.

Die Aussaat von **Winterweizen** erfolgt ab September, da Winterweizen den Kältereiz benötigt, um im folgenden Frühjahr Blüten und Samen zu entwickeln. Nach den Wintermonaten kann er im Folgejahr in der VP 1 noch von einer ausreichenden Winterfeuchtigkeit und seiner dann erreichten maximalen Durchwurzelungstiefe profitieren. Deshalb verändert sich die Beregnungsbedürftigkeit im Vergleich der beiden 30-jährigen Zeitabschnitte in großen Teilen des Landes auch nur geringfügig (Abbildung 26). Lediglich im Süden Sachsen-Anhalts ist infolge der naturräumlichen Gegebenheiten eine stärkere Zunahme festzustellen.

Abbildung 26:

Entwicklung der mittleren jährlichen Anzahl der Tage mit Beregnungsbedürftigkeit des Winterweizens über zwei 30-jährige Zeitabschnitte in den beiden Vegetationsperioden. (Datenquelle: DWD)



Erst in der VP 2 kommt es zu einer erhöhten Beregnungsbedürftigkeit, welche im nördlichen Sachsen-Anhalt stärker zunimmt als in den anderen Landesteilen. Auch das lässt sich auf die natürlichen Gegebenheiten zurückführen.

In der Regel wird der Winterweizen in der ersten Hälfte der VP 2 geerntet. Damit verringert sich in der zweiten Hälfte der VP 2 der durchwurzelte Raum für die neu ausgesäten Winterweizenbestände und die Beregnungsbedürftigkeit steigt deutlich an.

Auch die Zuckerrübe, eine im Frühjahr ausgesäte Kultur mit langer Vegetationsperiode, kann in der ersten Vegetationsperiode auf einen gut gefüllten Bodenwasserspeicher zurück-greifen. In dieser Phase ist ihr Wurzelapparat jedoch noch gering ausgeprägt. So kann die Zuckerrübe auch nur aus einer vergleichsweise dünnen Bodenschicht Wasser erschließen. Diese Bodenschicht unterliegt den Änderungen im Verdunstungsverhalten stärker als tiefere Schichten, so dass dadurch die Beregnungsbedürftigkeit in diesem Zeitabschnitt zunimmt. In der VP 2 wächst die Zuckerrübenwurzel sehr stark, erschließt sich mithin schnell tiefere Bodenschichten und kann das dort vorhandene Wasser sehr gut nutzen. Dazu kommt, dass es in der VP 2 tendenziell zu etwas höheren Niederschlags-summen kommt.

Der Bodenwassergehalt unter Gras verhält sich zunächst in der VP 1 sehr ähnlich dem unter Winterweizen. Erst in der VP 2 zeigen sich Unterschiede. Diese sind insbesondere dadurch zu erklären, dass das hier als Dauerkultur betrachtete Gras auch in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode auf tiefere Bodenschichten zugreifen kann. Das ist bei neu angesätem Winterweizen nicht möglich.

Im Hinblick auf bereits beobachtete Klimatrends können sich die abnehmenden Früh- und Sommerniederschläge künftig verstärkt negativ auf eine ausreichende Wasserversorgung auswirken. Sommerniederschläge treten zudem vermehrt als Starkregenereignisse auf und verschlechtern dadurch die Pflanzenverfügbarkeit. Unter anderem mit dem Anbau trockenresistenter Sorten kann die Landwirtschaft darauf reagieren.

Fazit zum Indikator D3 Beregnungsbedürftigkeit

Alle drei landwirtschaftlichen Leitkulturen Winterweizen, Zuckerrüben und Gras profitieren zum Beginn der Vegetationsperiode 1 noch von einer ausreichenden Winterfeuchtigkeit. In der Vegetationsperiode 2 zeigt sich schon in der Ausgangssituation ein erhöhter Wert der Beregnungsbedürftigkeit, der insbesondere beim Winterweizen noch zunimmt. Änderungen des Niederschlagsverhaltens, insbesondere längere trockene Phasen, können zukünftig die Beregnungsbedürftigkeit erhöhen.

4.4 Forstwirtschaft (E)

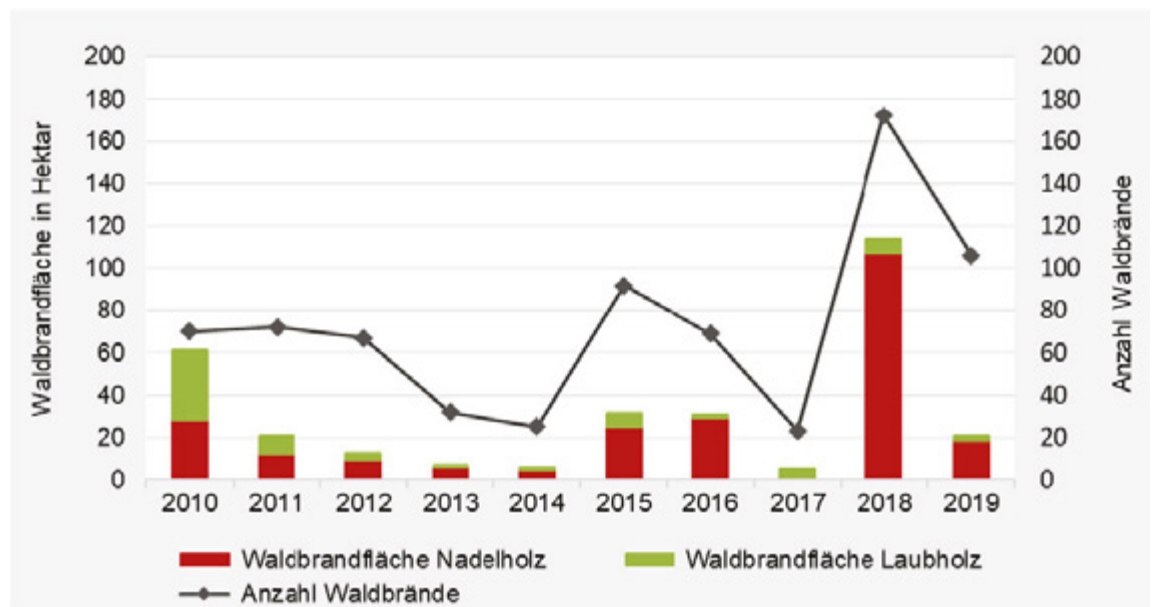
4.4.1 Die Waldbrandgefahr steigt

Etwa ein Viertel der Fläche Sachsen-Anhalts ist mit Wald bedeckt. Davon sind 39 % reine Nadelwälder. Die klassische Baumart ist die Kiefer. In der Baumartenverteilung nimmt sie einen Flächenanteil von 47 % ein.

Als Folge des Klimawandels haben auch die Risiken für den Wald zugenommen. Höhere Temperaturen in Verbindung mit Frühjahrs- und Sommertrockenheit sowie häufigere Extremwetterereignisse können zu einer Erhöhung der Waldbrandgefahr führen. Die beiden Extremjahre 2018 und 2019 mit ihren langanhaltenden Dürren und den überdurchschnittlich hohen Temperaturen gaben bereits einen Hinweis darauf, in welche Richtung sich die Waldbrandsituation entwickeln könnte (Abbildung 27). Besonders gefährdet sind dabei die Kiefernbestände, die großflächig im Norden und Osten Sachsen-Anhalts vorkommen.

Abbildung 27:

Anzahl der jährlichen Waldbrände in Sachsen-Anhalt und die davon betroffene Fläche, getrennt nach Nadelholz und Laubholz (Quelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung)



Um das witterungsbedingte Waldbrandgeschehen für Sachsen-Anhalt zu analysieren, wurde deshalb für den Indikator E3 Waldbrandgefährdung der kanadische Fire Weather Index (FWI) herangezogen. Er kann auch klimatologisch relevante, rückblickende Zeiträume (30 Jahre) abdecken.

In Tabelle 19 wurden für die Zeiträume 1961 bis 1990 und 1991 bis 2019 jeweils die mittlere Anzahl der Tage mit geringer (Waldbrandgefahrenstufe 1), mittlerer (Waldbrandgefahrenstufen 2 und 3) und hoher Waldbrandgefahr (Waldbrandgefahrenstufen 4 und 5) für verschiedene Regionen erfasst.

Der Vergleich der arithmetischen Mittel zeigt weitestgehend einheitliche Tendenzen an allen Stationen. So hat sich die Anzahl der Tage mit geringer Waldbrandgefährdung in allen Regionen verringert. Dem gegenüber vergrößerte sich in den Tieflandregionen die

hohe Waldbrandgefahr im gleichen Maß, während die mittlere Gefährdung nahezu unverändert blieb. Etwas anders stellt sich die Situation in den oberen Harzlagen dar. Hier erhöhte sich die mittlere Waldbrandgefahr. Die hohe Gefahr, die ohnehin nur geringe Werte zeigt, veränderte sich im Mittel kaum.

Tabelle 19:

Arithmetische Mittel der Tage des Jahres mit geringer, mittlerer und hoher Waldbrandgefahr für zwei ausgewählte meteorologische 30-Jahres-Zeiträume (Datenquelle: DWD)

Region (Station)	1961 - 1990			1991 - 2019		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
nördliches Sachsen-Anhalt (Gardelegen)	129,4	84,2	31,4	111,6	83,9	49,5
Bördegebiete (Magdeburg)	126,7	90,9	27,4	112,7	92,5	39,8
Harz (obere Lagen) (Brocken)	210,0	29,6	5,4	202,4	35,5	7,0
Harz (untere Lagen) und südliches Sachsen-Anhalt (Artern)	117,3	92,5	35,2	101,9	95,3	47,8
östliches Sachsen-Anhalt (Wittenberg)	131,8	82,0	31,2	113,2	84,0	47,9

Die Kenntnis der Waldbrandgefährdung ist für den Schutz des Waldes von großer Bedeutung. Veränderungen zeigen an, wo ggf. Waldschutzmaßnahmen angepasst werden müssen. Ferner können Änderungen der Waldbrandgefährdung Änderungen im Bereich des Brand-, Rettungs- und Katastrophenschutzes erforderlich machen.

Fazit zum Indikator E3 Waldbrandgefährdung

In Sachsen-Anhalt lässt sich ein steigender Trend der Waldbrandgefährdung beobachten. Mit zunehmend höheren Temperaturen und länger anhaltenden Dürreperioden erhöht sich auch das Waldbrandrisiko. Besonders gefährdet sind die Kiefernbestände im Norden und Osten von Sachsen-Anhalt.

4.4.2 Höhere Temperaturen und häufigere Extremwetterereignisse gefährden die Vitalität unserer Wälder

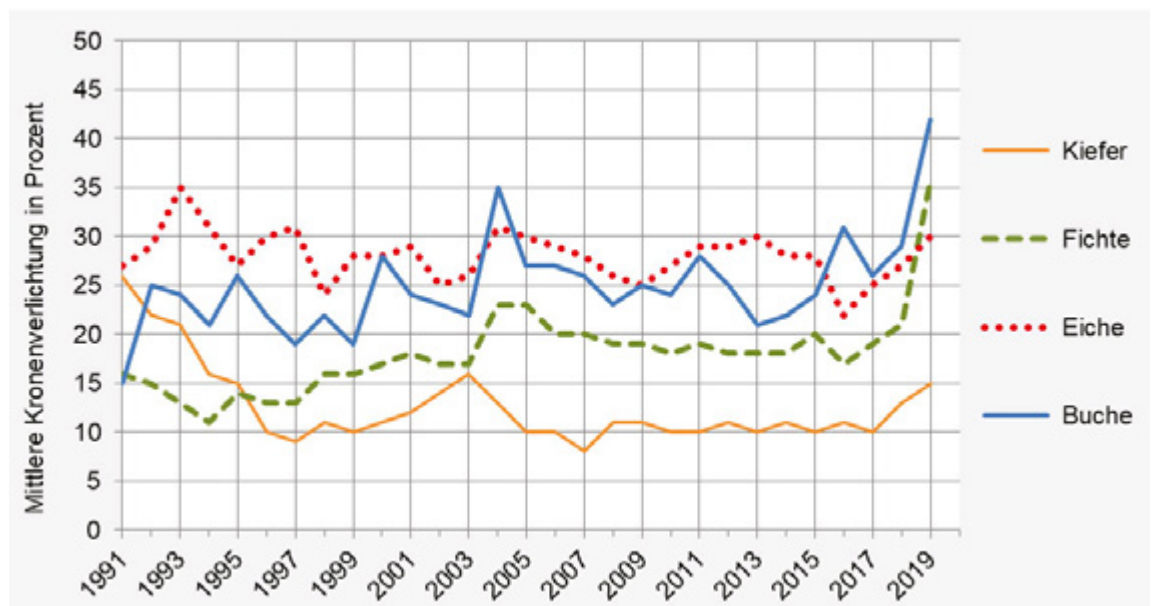
Sachsen-Anhalt ist mit 26 % bewaldeter Fläche ein vergleichsweise waldarmes Land. Die heimischen Wälder sind etwa zur Hälfte von der Hauptbaumart Kiefer geprägt. Danach folgen mit Anteilen von 13 % die Eiche und mit 10 % die Fichte.

Als Folge des Klimawandels haben die Risiken für den Wald zugenommen. Bäume reagieren auf die Umwelteinflüsse mit Änderungen in der Belaubungsdichte und der Verzweigungsstruktur bis hin zum Absterben. Dies wird im Indikator E4 Waldzustand ausgewertet. Grunddaten dafür liefern die als Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Sachsen-Anhalt durchgeführten jährlichen Waldzustandserhebungen (WZE).

Die Kronenverlichtung wird unabhängig von den Ursachen bewertet, lediglich mechanische Schäden gehen nicht in die Berechnung der Ergebnisse der WZE ein. Im Zeitraum von 1994 bis 2017 lag die mittlere Kronenverlichtung fast durchgehend unter 20 %. Nur 2004 stieg der Wert infolge des Trockenjahres 2003 auf 20 % an. 2019 wies die WZE eine mittlere Kronenverlichtung von 26 % aus. Dies war der höchste Wert seit 1991.

Abbildung 28:

Mittlere jährliche Kronenverlichtung der Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Eiche und Buche in Prozent. (Datenquelle: NW-FVA)



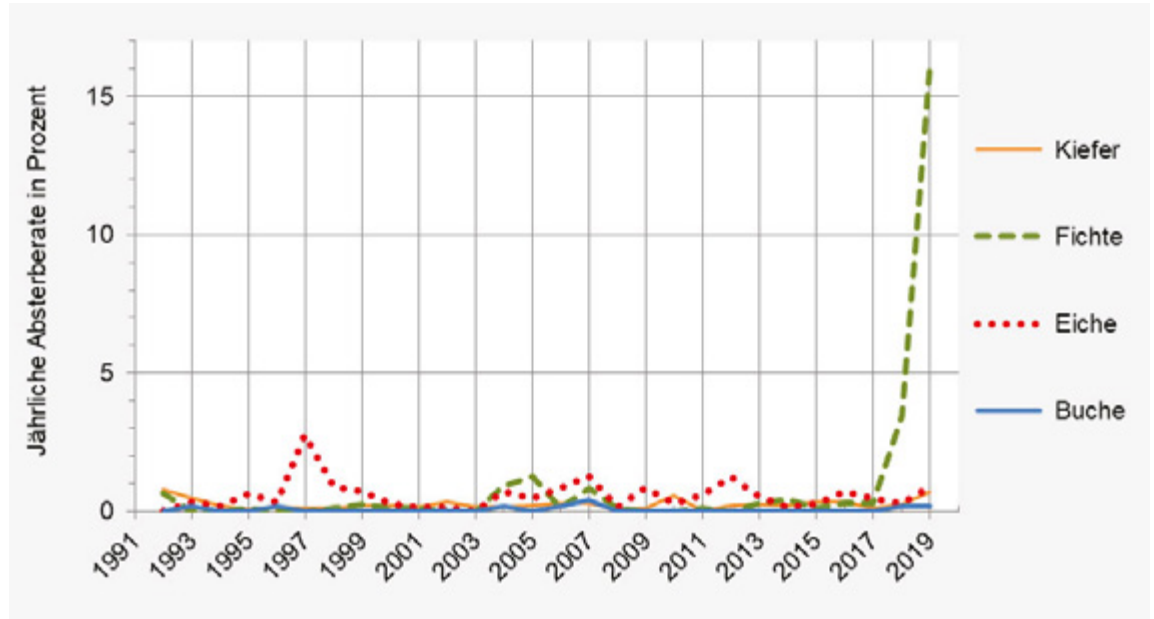
Die Entwicklung der Kronenverlichtung wird bei Kiefer, Fichte und Eiche durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst. Bei der Buche sind die Schwankungen von Jahr zu Jahr auffällig (Abbildung 28). Der Kronenzustand der Kiefer ist insgesamt markant besser als der von Fichte, Eiche und Buche. 2018 und 2019 erfolgte ein sprunghafter Anstieg der Verlichtungswerte. Die extreme Witterung 2018 und 2019 hat zu erheblichen Schäden in den Wäldern von Sachsen-Anhalt geführt. Ein maßgeblicher, sich gegenseitig verstärkender Einfluss ging von einer Abfolge von Stürmen, Trockenphasen sowie Borkenkäferbefall aus.

Besonders vor dem Hintergrund der prognostizierten Klimaänderungen gilt die jährliche **Absterberate** als ein wichtiger Indikator für die Vitalitätsrisiken des Waldes. Höhere Temperaturen in Verbindung mit Frühjahrs- und Sommertrockenheit sowie

häufige Extremwetterereignisse führen zur Gefährdung der Vitalität mit flächigem Absterben von Wäldern, zu einer Erhöhung der Waldbrandgefahr sowie zu einer Erhöhung von Sturmschäden. Schadorganismen, wie beispielsweise Insekten und Pilze, vermehren sich in den geschwächten Wäldern massiv und führen zu Ertrags- und Biodiversitätsverlusten.

Abbildung 29:

Jährliche Absterberate der Stichprobenbäume seit der letzten Erhebung der Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Eiche und Buche in Prozent (Datenquelle: NW-FVA)



Im Zeitraum 1992 bis 2017 lag die Absterberate aller Baumarten durchgehend unter 1 % (Abbildung 29). 2018 überstieg sie mit 1,3 % den Mittelwert der Zeitreihe (0,5 %). 2019 folgte ein außerordentlich hoher Wert (4,2 %). Während bei Kiefer, Eiche und Buche der Anteil abgestorbener Bäume 2019 nur leicht erhöht war, musste bei der Fichte 2019 dagegen ein Extremwert (16 %) festgestellt werden.

Die extremen Witterungsbedingungen der Jahre 2018 und 2019 haben vor allem für die Fichte zu einem Schadensausmaß geführt, wie es seit Jahrzehnten nicht beobachtet worden ist. Durch Stürme und Trockenphasen waren die Vermehrungsbedingungen für Borkenkäfer besonders günstig. In der Folge entstanden in den Wäldern strukturelle Störungen wie Lücken, Blößen und ausgedehnte Freiflächen.

Bei der Eiche traten überdurchschnittliche Absterberaten jeweils im Anschluss an Perioden mit starkem Insektenfraß auf. Am höchsten war die Absterberate der Eiche 1997.

Fazit zum Indikator E4 Waldzustand

Bei Extremwettertemperaturen und länger anhaltenden Dürreperioden steigt die Waldbrandgefahr (Waldbrandrisiko). Aufgrund langanhaltender Trockenheit, großer Hitze und häufiger Stürme sowie durch anschließenden Schädlingsbefall erfolgte ein sprunghafter Anstieg sowohl der Verlichtungswerte als auch der Absterberate. Von den Extremwetterereignissen 2018/2019 war in besonderem Maß die Fichte betroffen. Im Anschluss an Perioden mit starkem Insektenfraß verzeichneten Eichen größere Ausfälle.

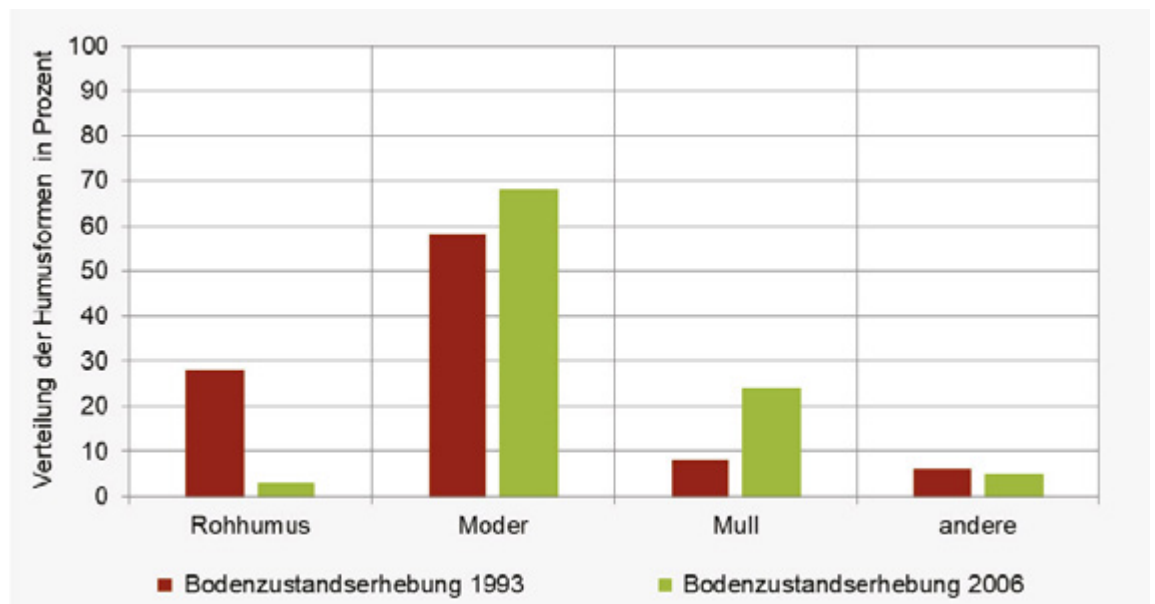
4.4.3 Umverteilung zu besseren Humusformen hilft den Wäldern

Der Indikator E6 Humusvorrat untersucht die Entwicklung des Humusvorrats in forstlichen Böden. Als Datenquelle dienen die Bodenzustandserhebungen (BZE) im Wald, die in Sachsen-Anhalt 1993 und 2006 durchgeführt worden sind. Eine weitere BZE ist ab 2022 geplant.

Aufbau, Mächtigkeit und Zusammensetzung von Humus sind wesentliche standörtliche Bedingungen für das Waldwachstum. Klimatische Faktoren wie Temperatur und Niederschlag steuern die Auf- und Abbaubedingungen von Humus. Außerdem sind Mächtigkeit, Qualität und Verteilung der organischen Substanz, also des Humus, wichtige Indikatoren für die Situation des Kohlenstoffs im Waldboden. Dabei wird nach aufliegenden Humusformen und organischer Substanz im Mineralboden unterschieden.

Abbildung 30:

Vergleich der prozentualen Verteilung der Humusformen bei der BZE 1993 mit der Verteilung bei der BZE 2006. (Datenquelle: NW-FVA)



Die in Abbildung 30 erkennbaren Umverteilungen der Humusformen vom Rohhumus zu Moder und vom Moder zu Mull deuten auf günstigere Zersetzungsbedingungen zum Zeitpunkt der BZE II im Vergleich zur BZE I hin, wie sie z. B. durch höhere Temperaturen im Zuge des Klimawandels bei gleichbleibender Feuchte möglich sind. Weiterhin könnten Stickstoffeinträge und auch Flugascheeinträge die Mineralisationsraten erhöht und damit die Umverteilung zu besseren Humusformen begünstigt haben.

Die Ergebnisse der beiden Bodenzustandserhebungen im Wald Sachsen-Anhalts belegen außerdem eine deutliche und signifikante Zunahme der Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus und im Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe (Tabelle 20).

Tabelle 20:

Mittlere Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage und im Mineralboden bis 30 cm Tiefe in Tonnen je Hektar. (Datenquelle: NW-FVA)

	BZE 1993	BZE 2006
Humusauflage	15,0	23,8
Mineralboden 0-5 cm Tiefe	17,1	23,0
Mineralboden 5-10 cm Tiefe	8,0	14,3
Mineralboden 10-30 cm Tiefe	23,8	28,3

Die jährliche Speicherrate liegt in Sachsen-Anhalt mit durchschnittlich 1,8 Tonnen je Hektar deutlich über dem Mittelwert in Deutschland (0,75 Tonnen je Hektar). Damit kann der Waldboden für diesen Zeitraum als bedeutende Kohlenstoffsенке angesehen werden. Auch dies könnte im Zusammenhang mit den durch den Klimawandel steigenden Temperaturen stehen.

Die bislang vorliegenden Ergebnisse zur Höhe der Kohlenstoffvorräte müssen aufgrund erheblicher Variabilitäten in Waldböden und Unsicherheiten bei der Quantifizierung mit großer Vorsicht interpretiert werden. Die ermittelten Veränderungen seit der BZE I beruhen auf einer einheitlichen Berechnungsbasis und sind daher als gesichert anzunehmen.

Fazit zum Indikator E6 Entwicklung Humusvorrat in forstlichen Böden

Die Umverteilungen der Humusformen Mull, Moder und Rohhumus deuten auf günstigere Zersetzungsbedingungen 2006 im Vergleich zu 1993 hin. Die Ergebnisse der beiden Bodenzustandserhebungen belegen außerdem eine deutliche und signifikante Zunahme der Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus und im Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe.

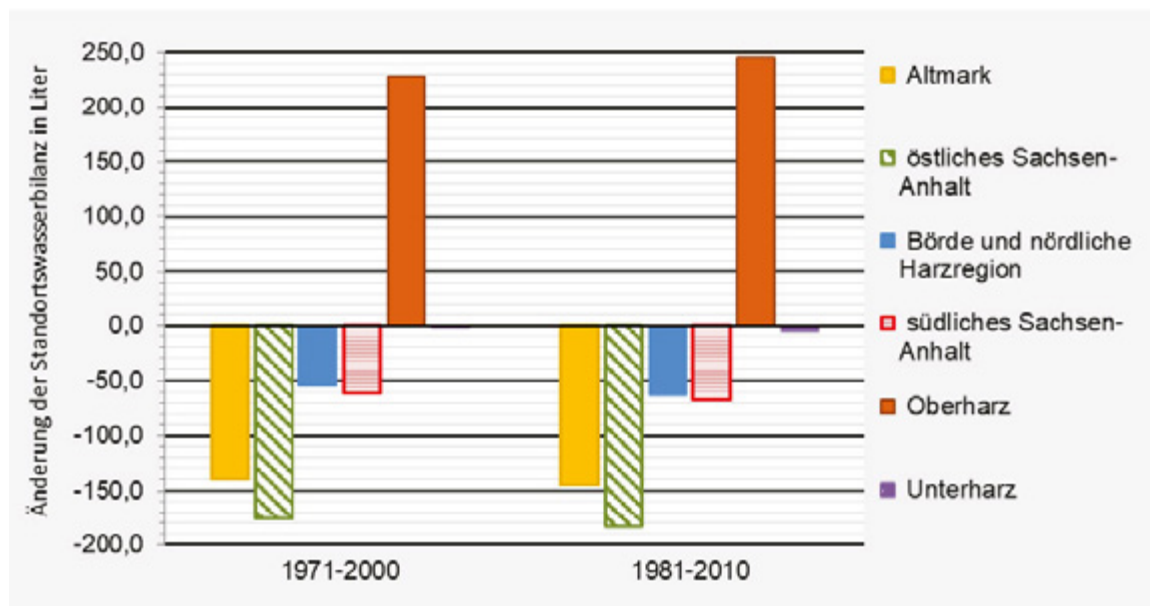
4.4.4 Für die Wälder steigt in den Tieflandregionen die Gefahr von Trockenstress

Für die Erhaltung der Wälder und die Sicherung der forstlichen Erträge ist eine ausreichende Wasserversorgung der Bestände von ausschlaggebender Bedeutung. Dabei kommt der Vegetationsperiode eines Jahres besondere Bedeutung zu. Zeigen sich hier Veränderungen hin zu einem geringeren Wasserangebot, steigt die Gefahr von Trockenstressbedingungen, die die Vitalität und das Wachstum der Bestände beeinträchtigen können. Eine abnehmende Standortwasserbilanz kann ein Signal geben, um gegebenenfalls Anpassungsmaßnahmen (wie beispielsweise Waldumbau oder Waldpflegemaßnahmen) auszulösen.

Aufgrund der langen Produktionszeiträume in der Forstwirtschaft wurden im Indikator E7 Standortwasserbilanz 30-Jahres-Zeiträume gewählt. Als Basis dienen die jeweiligen Mittel der Standortwasserbilanz ausgewählter Regionen Sachsen-Anhalts in der Referenzperiode 1961 bis 1990. Anschließend wurden die Mittelwerte der Standortwasserbilanz der in Zehn-Jahresschritten folgenden 30-jährigen Zeiträume (1971 bis 2000, 1981 bis 2010) mit den Mittelwerten der Referenzperiode verglichen (Abbildung 31: Änderung des Mittelwerts der Standortwasserbilanz zweier 30-jähriger Zeiträume gegenüber dem des Referenzzeitraums 1961 bis 1990)

Abbildung 31:

Änderung des Mittelwerts der Standortwasserbilanz zweier 30-jähriger Zeiträume gegenüber dem des Referenzzeitraums 1961 bis 1990
(Datenquelle: NW-FVA/DWD)



Die Standortwasserbilanz ist in der Vegetationsperiode infolge der hohen Verdunstungsraten in Sachsen-Anhalt überwiegend negativ. Das Defizit in der Standortwasserbilanz kann als Maß für die Trockenheit interpretiert werden.

Für die Tieflandgebiete Sachsen-Anhalts werden bereits heute im Mittel hohe negative Standortswasserbilanzen berechnet. Die Defizite reichen von rund 50 Liter in der Börde und in der nördlichen Harzregion bis zu rund 180 Liter im östlichen Sachsen-Anhalt. Für Buche und Fichte besteht unter heutigen Klimabedingungen in diesen Regionen bereits ein hohes Trockenstressrisiko, so dass mit erhöhten Vitalitäts- und Wachstumseinbußen zu rechnen ist. Im Vergleich der beiden Zeiträume 1971 bis 2000 mit 1981 bis 2010 sind die Veränderungen nur gering. Dies liegt darin begründet, dass trotz steigender Temperaturen (und damit einem höheren Verdunstungsanspruch) auch die Niederschläge in der Vegetationsperiode leicht zugenommen hatten. Erst für den Zeitraum 1991 bis 2020 sind stärkere Veränderungen aufgrund der außergewöhnlich lang anhaltenden Trockenheit ab April 2018 zu erwarten.

Die Standortswasserbilanz in der Harzregion ist hingegen ausgeglichen (Unterharz) oder sogar deutlich positiv (Oberharz). Aufgrund der Höhenlage ist das Klima in beiden Regionen im Vergleich zum Tiefland deutlich kühler und niederschlagsreicher.

Fazit zum Indikator E7 Standortswasserbilanz

Im Tiefland Sachsen-Anhalts hat sich die Standortswasserbilanz gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 bis 1990 aufgrund höherer Verdunstung negativ entwickelt. Die Gefahr von Trockenstressbedingungen ist gestiegen. Deshalb werden Anpassungsmaßnahmen, wie z. B. Waldumbau oder Durchforstungsmaßnahmen, notwendig.

In der Harzregion ist die Standortswasserbilanz entweder ausgeglichen (Unterharz) oder deutlich positiv (Oberharz).

4.5 Biodiversität (F)

4.5.1 Submediterrane Orchideenarten breiten sich nach Nordosten aus

Mit Hilfe von Bioindikatoren, die besonders empfindlich auf Veränderungen von Klimaparametern reagieren, sollen langfristig mögliche Auswirkungen des Klimawandels beobachtet werden. Durch die Anlage und Betreuung von Dauerbeobachtungsflächen in Populationen submediterran verbreiteter Orchideenarten erfasst der Arbeitskreis Heimische Orchideen Sachsen-Anhalt e. V. (AHO) seit 2008 die Populationsentwicklung ausgewählter Orchideenarten. Die permanenten Kartierungen in Sachsen-Anhalt durch den AHO lassen mittelfristig Rückschlüsse auf Arealveränderungen der betreffenden Arten zu.

Die für das Monitoring ausgewählten Orchideenarten Ohnsporn (*Aceras anthropophorum*), Bienen-Ragwurz (*Ophrys apifera*) und Spinnen-Ragwurz (*Ophrys sphegodes*) erreichen in Sachsen-Anhalt jeweils ihre äußerste nordöstliche Arealgrenze und zeichnen sich durch ihr sehr ähnliches, atlantisch-submediterranes Verbreitungsgebiet aus. Trotz der noch kurzen Beobachtungszeit sind Änderungen bei Arealen erkennbar, jedoch noch keine statistisch gesicherten Trendaussagen möglich.

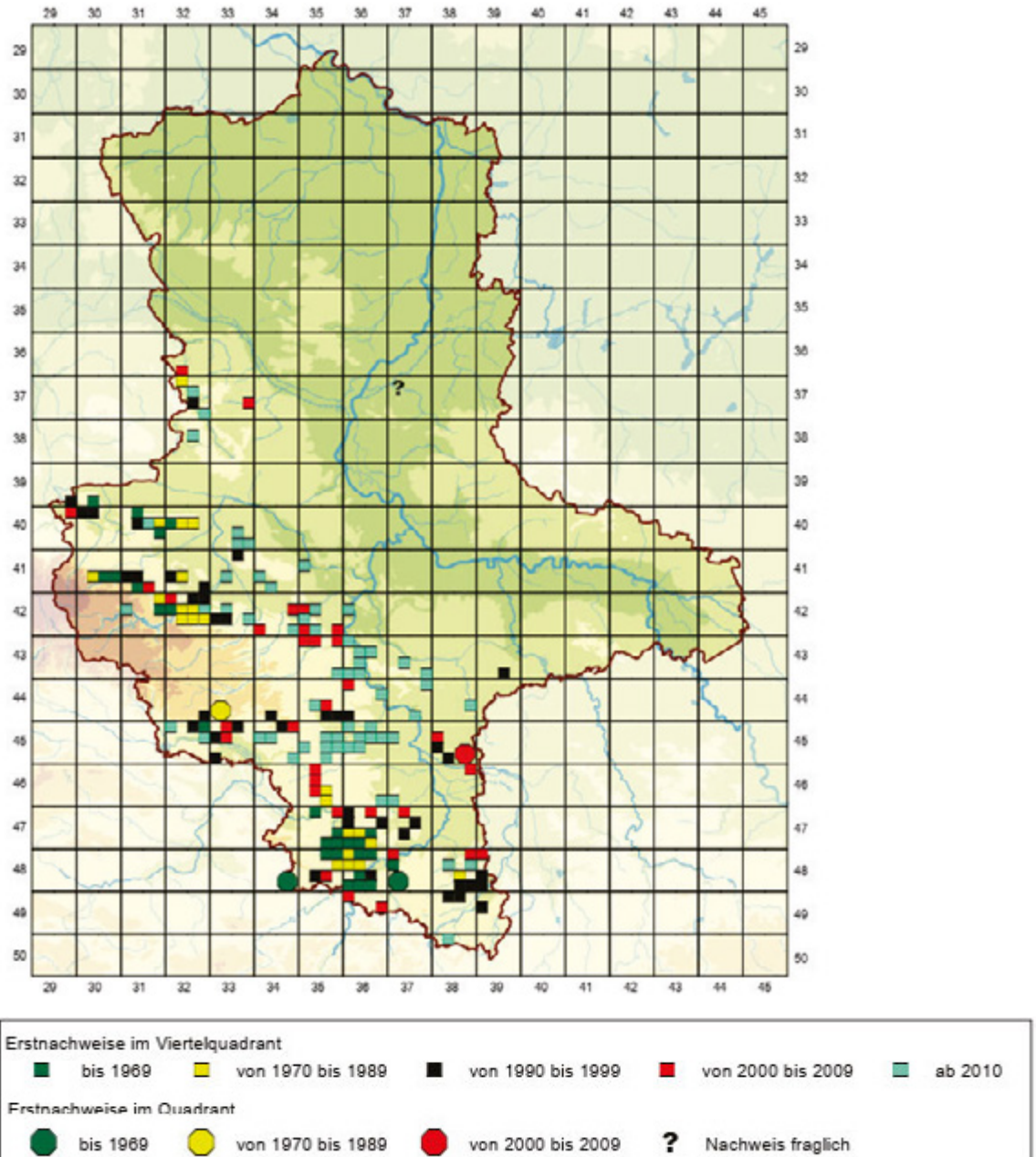
Eine seit Jahren anhaltende Arealerweiterung konnte bei der Bienen-Ragwurz beobachtet werden. Die in Abbildung 32 dargestellten Erstnachweise zeigen eine Ausbreitungstendenz vor allem in nordöstliche und östliche Richtung. Inzwischen ist das östliche Harzvorland (als Teil des Mitteldeutschen Trockengebietes) in weiten Teilen besiedelt und die Art dringt zunehmend auch in die Porphyrlandschaft um Halle ein. Hierbei handelt es sich nicht um sporadische Einzelvorkommen, vielmehr können auch Populationen mit mehreren Tausend Individuen aufgebaut werden. Damit hat sich in den letzten 25 Jahren die nordöstliche Arealgrenze in Sachsen-Anhalt um ca. 50 km nach Osten verschoben.

Eine zu Beginn des Beobachtungszeitraums vermutete kontinuierliche Ausbreitung der Spinnen-Ragwurz in nordöstliche Richtung lässt sich in den letzten zehn Jahren nicht bestätigen. Vielmehr ist eine Stagnation der Ausbreitung bei gleichzeitiger Populationsentwicklung auf hohem Niveau zu verzeichnen, die in einer Verdichtung der Vorkommen innerhalb ihrer bisherigen Arealgrenzen und einem signifikanten Individuenzuwachs ihren Ausdruck findet.

Die Bestandssituation des Ohnsporns hat sich in Sachsen-Anhalt in den letzten Jahrzehnten nicht wesentlich verändert. Mit einem Vorkommen bei Großheringen (Thüringen) hat diese Orchideenart inzwischen im Süden die unmittelbare Grenze zu Sachsen-Anhalt erreicht. Die äußerste nordöstliche Arealgrenze bildet das isolierte Vorkommen bei Grockstädt am Rand der Querfurter Platte.

Abbildung 32:

Erstnachweise des
Bienen-Ragwurz
(*Ophrys apifera*)
seit 1969 im
Messtischblatt-Viertel-
quadrant
(Quelle: Arbeitskreis
Heimische Orchideen
Sachsen-Anhalt e. V.,
verändert durch LAU,
Stand November 2017)



Fazit zum Indikator F1 Arealveränderungen klimasensitiver Arten

- Die nordöstliche Arealgrenze der Bienen-Ragwurz hat sich in den letzten 25 Jahren um ca. 50 km nach Osten verschoben.
- Die Arealerweiterung der Spinnen-Ragwurz stagnierte in den letzten Jahren.

Der Ohnsporn hat im Süden die Grenze zu Sachsen-Anhalt erreicht.

4.6 Infrastruktur (G)

4.6.1 Ausbau der erneuerbaren Energien bewirkt zunehmende Diversifizierung der Energieerzeugung

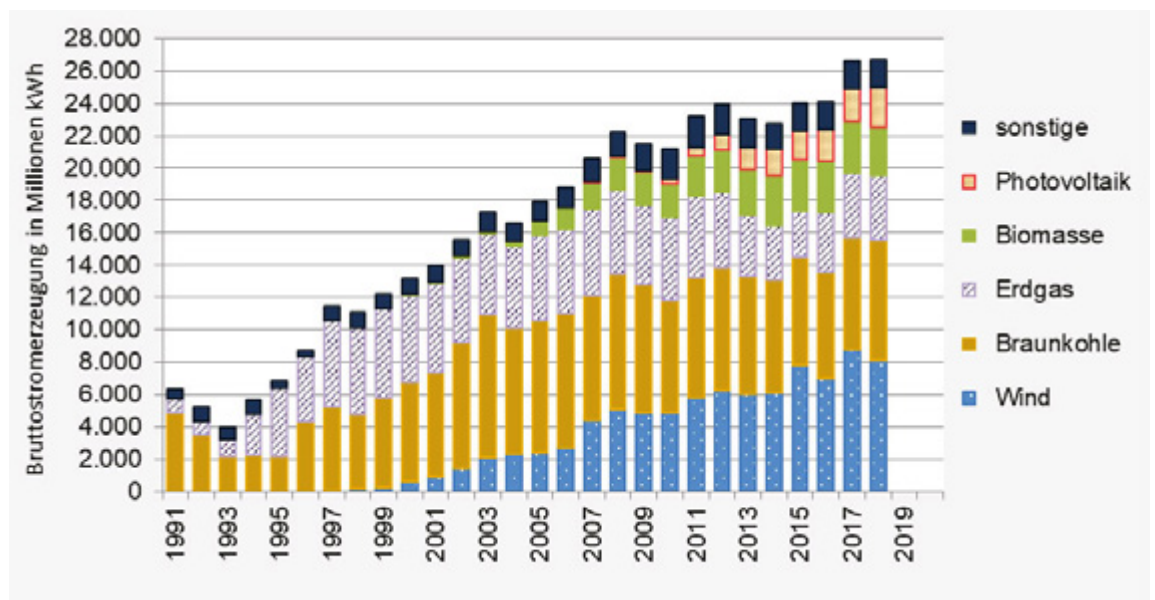
Die fortschreitende Veränderung von Temperatur und Niederschlag sowie das häufigere Auftreten von Extremwetterereignissen können in sehr unterschiedlicher Weise die Versorgungssicherheit im Energiesystem beeinträchtigen. Bei fossilen Kraftwerken betrifft das beispielsweise Rohstoffgewinnung und -transport sowie die Verfügbarkeit von Kühlwasser. Bei den erneuerbaren Energiequellen sind Veränderungen in der land- und forstwirtschaftlichen Biomassegewinnung, die Betriebssicherheit und der Ertrag von Wind- und Photovoltaikanlagen oder Betriebseinschränkungen von Wasserkraftanlagen bei Hoch- und Niedrigwasser möglich.

Dem Indikator G1 Elektrizitätserzeugung liegt die Annahme zugrunde, dass eine zunehmende Diversifizierung (und Dezentralisierung) sowie der damit verbundene Umbau der Versorgungsstrukturen (Netze und Speicher) zu einer Sicherstellung der Versorgungssicherheit führen können.

Die energie- und Klimaschutzpolitischen Weichenstellungen der vergangenen Jahre haben eine hohe Dynamik in der Energiewirtschaft ausgelöst und Bewegung in die Zusammensetzung der verwendeten Energieträger gebracht. Das gilt besonders für die Stromerzeugung, bei der in Sachsen-Anhalt die Nutzung erneuerbarer Energien sehr stark und mit signifikantem Trend zunahm. Mit ihrem Zuwachs führte sie zu einer stark steigenden Bruttostromerzeugung des Landes (Abbildung 33).

Abbildung 33:

Bruttostromerzeugung
nach Energieträgern
und Jahren in Millionen
Kilowattstunden
(Datenquelle:
Statistisches Landesamt
Sachsen-Anhalt/
Länderarbeitskreis
Energiebilanzen)



Die deutlichste Steigerung gab es seit Beginn der 2000er Jahre mit dem Ausbau der Windenergie, einige Jahre später auch bei der Stromerzeugung aus Biomasse. Die Photovoltaik spielt für den Strommix in Sachsen-Anhalt erst nach 2010 eine nennenswerte Rolle. Der prozentuale Anteil von Braunkohle und Erdgas als Energieträger geht aufgrund der Zunahme der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energien zurück. Die absolut erzeugte Strommenge aus diesen beiden Quellen veränderte sich hingegen bislang nur in geringem Umfang. Sachsen-Anhalt hat sich damit von einem Netto-Importeur zu einem Netto-Exporteur von Strom gewandelt.

Im Ergebnis ist die Stromerzeugung heute auf mehr Schultern verteilt als Anfang der 1990er Jahre. So führte der Zuwachs der erneuerbaren Energieträger zu einem stärker diversifizierten Energieträgermix. Es ist davon auszugehen, dass eine breitere Streuung der Risiken die Anpassung an den Klimawandel unterstützen kann. Die bisherige Diversifizierung steht zudem in Übereinstimmung mit den Zielen von Energiewende und Klimaschutz.

Um die Risiken für Zuverlässigkeit und Qualität des Energieversorgungssystems insgesamt gering zu halten, sind eine Senkung des absoluten Endenergieverbrauchs und eine risikomindernde räumliche Verteilung von Energieinfrastrukturen wichtige Bausteine.

Fazit zum Indikator G1 Diversifizierung der Elektrizitätserzeugung

Der Ausbau erneuerbarer Energien hat seit Beginn der 2000er Jahre stark zugenommen und zu einer stark steigenden Bruttostromerzeugung sowie zu einem stärker diversifizierten Energieträgermix geführt. Die breitere Streuung kann die Risiken der Anpassung an den Klimawandel vermindern helfen.

4.6.2 Wärmebelastung in Großstädten nimmt zu

Die in den beiden Großstädten des Landes, Magdeburg und Halle, lebende und arbeitende Bevölkerung ist von der klimatischen Erwärmung besonders betroffen. Eine hohe Bebauungs- und Bevölkerungsdichte und die damit verbundene hohe Flächenversiegelung sowie hoch komplexe Infrastruktur- und Versorgungssysteme führen zu einer speziellen stadtklimatischen Situation.

Im Indikator G2 Wärmebelastung in Städten wird diese am Beispiel der Stadt Magdeburg untersucht. Zu beachten ist jedoch, dass hierfür Daten von einer Klimastation des DWD bezogen werden, die nicht im am dichtesten bebauten Zentrum der Stadt Magdeburg, sondern am südwestlichen Stadtrand liegt und deshalb etwas geringer vom städtischen Wärmeinseleffekt beeinflusst ist.

Es wurden für diesen Indikator die aus der Lufttemperatur abgeleiteten Kenntage Heiße Tage und Tropennächte ausgewählt. Sie charakterisieren in besonderer Weise die vom Menschen als extrem empfundene thermische Belastung durch hohe Temperaturwerte am Tag, aber auch in der nächtlichen Regenerationszeit. Veränderungen dieser Bedingungen sind im zeitlichen Verlauf ablesbar.

Tabelle 21:

Arithmetische Mittel der Anzahl der Heißen Tage sowie der Tropennächte an der Klimastation Magdeburg für zwei ausgewählte meteorologische 30-Jahres-Zeiträume. (Datenquelle: DWD)

	Heiße Tage 1961 - 1990	Heiße Tage 1991 - 2019	Tropennächte 1961 - 1990	Tropennächte 1991 - 2019
Magdeburg	7	11,9	0,1	0,3

Die Wärmebelastung in der Stadt Magdeburg nahm erkennbar zu (Tabelle 21). Die Anzahl der Heißen Tage stieg von durchschnittlich sieben Tagen jährlich in der Periode von 1961 bis 1990 auf über elf Tage im Zeitraum von 1991 bis 2019.

Bei den sehr seltenen Tropennächten ist ebenso eine Zunahme erkennbar. Gegenüber den ersten Jahrzehnten der Betrachtung, in denen eine Tropennacht nur etwa aller zehn Jahre registriert wurde, zeigt sich eine häufigere Wiederkehr dieser Ereignisse im nachfolgenden Zeitabschnitt von 1991 bis 2019. Es konnte bereits eine Wiederkehrtrate von einer Tropennacht im Durchschnitt aller drei Jahre ermittelt werden. Man kann davon ausgehen, dass die Anzahl der Heißen Tage und der Tropennächte im unmittelbaren Zentrum von Magdeburg noch höher ist.

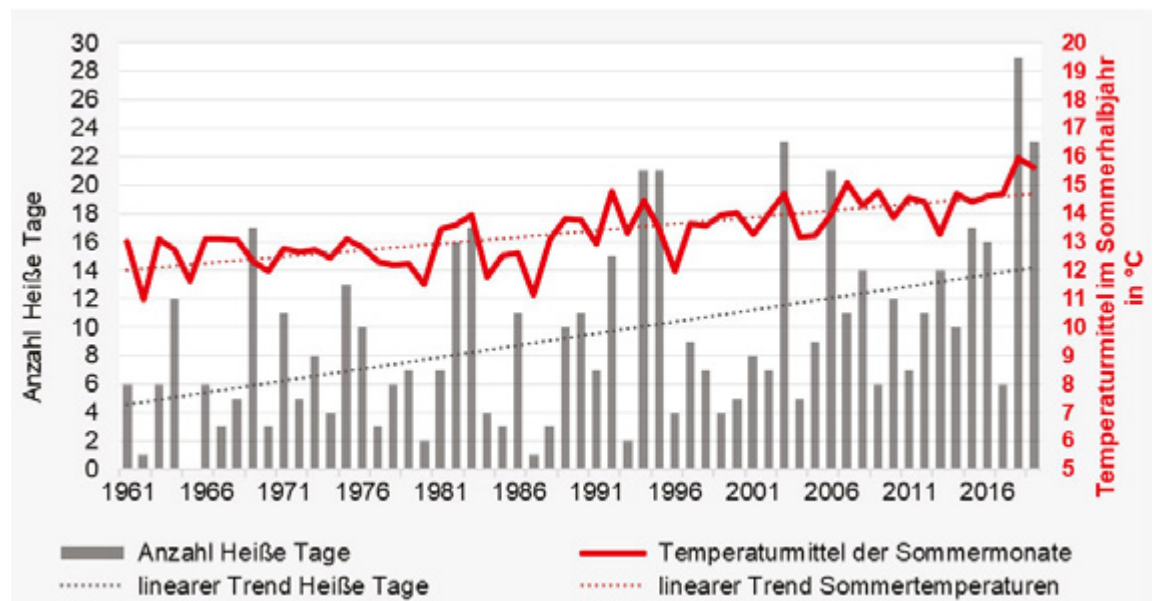
Die Bevölkerung in den beiden Großstädten Magdeburg und Halle ist besonders an den Tagen des Jahres einer erhöhten Wärmebelastung ausgesetzt, an denen sich die innerstädtischen Bereiche tagsüber stark erhitzen und nachts nicht ausreichend abkühlen können. Verstärkt trat das in den Jahren nach 2000 auf, wie das Beispiel Magdeburg zeigt (Abbildung 34). Deutlich erkennbar sind die Zunahmen sowohl der jährlichen Anzahl Heißen Tage als auch der Temperaturmittel im Sommerhalbjahr in den zurückliegenden beiden Jahrzehnten.

Über den gesamten Zeitraum von 1961 bis 2019 sind an der Station Magdeburg die Temperaturmittel der Sommerhalbjahre von durchschnittlich etwa 12 Grad am Anfang auf knapp 15 Grad am Ende des Beobachtungszeitraumes gestiegen. Im gleichen Zeitraum erhöhte sich die durchschnittliche jährliche Anzahl Heißer Tage von knapp fünf auf über zwölf Tage.

Über den gesamten Beobachtungszeitraum bedeutet das für Magdeburg eine Temperaturzunahme von etwa drei Grad im Sommerhalbjahr und eine Zunahme der jährlichen Anzahl Heißer Tage um durchschnittlich neun Tage. Mit einer weiteren Zunahme ist zu rechnen.

Abbildung 34:

Zusammenhang zwischen der jährlichen Anzahl Heißer Tage und dem Temperaturmittel im Sommerhalbjahr an der Station Magdeburg. (Datenquelle: DWD)



Veränderungen des Stadtklimas sind insbesondere für den Gesundheitsschutz, die Stadtplanung und die Katastrophenvorsorge von hoher Relevanz. Die erhöhte Hitzebelastung durch den städtischen Wärmeinseleffekt kann vor allem für ältere, aber auch gesundheitlich vorbelastete Personen sowie für Kleinkinder gefährlich sein.

Fazit zum Indikator G2 Wärmebelastung in Städten

Das jährliche Temperaturmittel des Sommerhalbjahres ist in Magdeburg um etwa drei Grad gestiegen. Die Anzahl der Heißen Tage im Jahr erhöhte sich im Mittel um neun Tage, die Anzahl der Tropennächte geringfügig.

4.6.3 Sommerlicher Wärmeinseleffekt ist nur schwach ausgebildet

Die klimatischen Verhältnisse in Großstädten unterscheiden sich oft deutlich vom Klima des ländlichen Umlandes. So treten heiße Tage und Tropennächte deutlich häufiger in städtischen Siedlungen als im Umland auf. Es entstehen dort „städtische Wärmeinseln“. Neben der Lage der Stadt ist die Höhe der Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffektes vor allem von der Größe der Stadt, der Art der Bebauung, dem Grad der Versiegelung und dem Grünflächenanteil abhängig.

Mit dem Indikator G3 Sommerlicher Wärmeinseleffekt werden die thermischen Unterschiede zwischen städtischen (urbanen) und ländlichen (ruralen) Regionen untersucht. Dafür wurden die Differenzen der Tagesminimumtemperaturen der beispielhaft ausgewählten Klimastationen Magdeburg (urbane Region) und Bernburg (rurale Region) gebildet. Für die Sommermonate Juni bis August sind diese anschließend in drei Klassen eingeordnet worden:

- Klasse 1: Tage mit einer Abweichung von ein bis drei Grad zwischen beiden Stationen.
- Klasse 2: Tage mit einer Abweichung von vier bis sechs Grad zwischen beiden Stationen.
- Klasse 3: Tage mit einer Abweichung von mehr als sechs Grad zwischen beiden Stationen.

Im Ergebnis wird ein Hinweis auf Veränderungen der Belastungssituationen im urbanen Raum durch die thermische Beeinflussung aufgrund von Bebauung erwartet.

Tabelle 22:

Durchschnittliche Anzahl der Tage der Monate Juni bis August mit einer Differenz der Tagesminimumtemperaturen zwischen den Stationen Magdeburg und Bernburg für zwei meteorologische 30-Jahres-Zeiträume. (Datenquelle: DWD)

	1961 - 1990	1991 - 2019
Klasse 1 (1 bis 3 Grad)	8,9	20,6
Klasse 2 (4 bis 6 Grad)	0,3	0,4
Klasse 3 (mehr als 6 Grad)	0,0	0,0

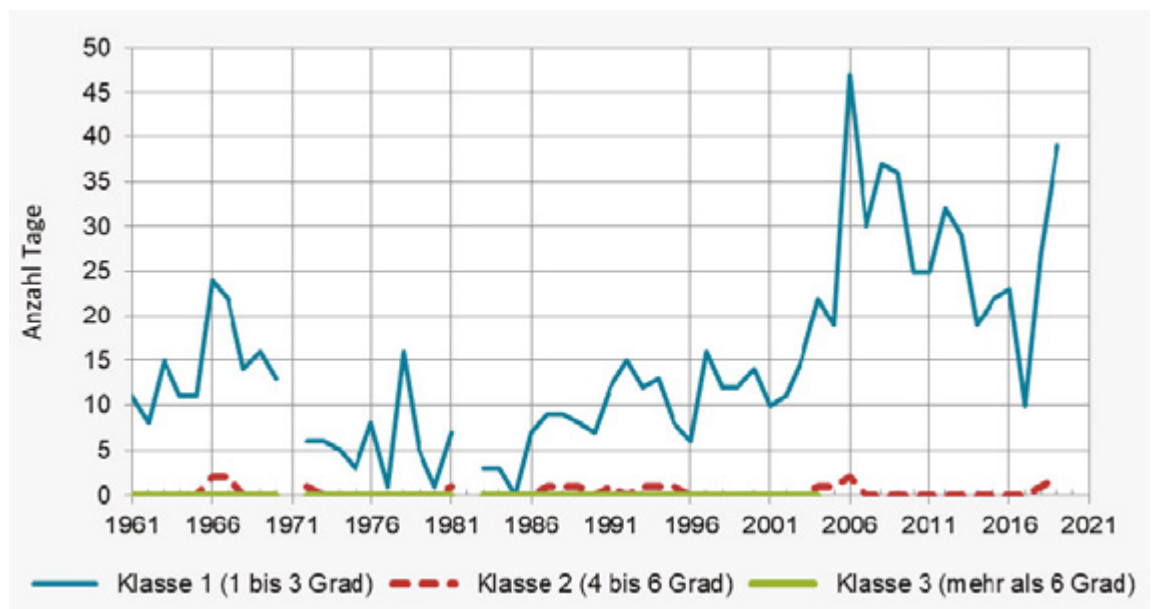
Aus Tabelle 22 wird ersichtlich, dass sich während der Sommermonate von Juni bis August zwischen Bernburg und Magdeburg nur ein vergleichsweise geringer städtischer Wärmeinseleffekt ausbildet. Dies zeigt sich darin, dass Temperaturdifferenzen zwischen den täglichen Minimumtemperaturen von mehr als drei Grad (Klasse 2 und Klasse 3) fast gar nicht auftreten. Allerdings hat sich die Anzahl der Tage mit einer Temperaturdifferenz von ein bis drei Grad (Klasse 1) im Vergleich beider 30-Jahres-Zeiträume mehr als verdoppelt.

Betrachtet man jedoch den Verlauf des jährlichen Wärmeinseleffekts (Abbildung 35), so ist zu erkennen, dass einige besonders warme Jahre dabei herausragen. Am deutlichsten wird das im Jahr 2006, wo sich an mehr als der Hälfte aller Tage der Sommermonate ein, wenn auch nur relativ geringer, Wärmeinseleffekt ausbildete. Generell deutet sich seit der Jahrtausendwende eine tendenzielle Zunahme an, aber auch dies zunächst nur in der Klasse 1 mit Differenzen zwischen 1 und 3 Grad. Abweichungen über 3 Grad zwischen den beiden Stationen treten bislang nur vereinzelt und auch nicht in jedem Jahr auf.

Dass der sommerliche Wärmeinseleffekt in Sachsen-Anhalt nicht stärker in Erscheinung tritt, liegt einerseits an der Höhenstruktur, die einen guten Luftaustausch gestattet, andererseits aber auch in der vergleichsweise geringen Größe der städtischen Siedlungen und Ballungsräume.

Abbildung 35:

Klassifizierte Differenz der Anzahl der Tage der Monate Juni bis August der Tagesminimumtemperaturen zwischen den Stationen Magdeburg und Bernburg. (Datenquelle: DWD)



Um einer Verstärkung des sommerlichen Wärmeinseleffektes durch den Klimawandel vorzubeugen, muss vor allem einer weiteren Aufheizung der städtischen Siedlungsgebiete vorgebeugt werden. Dies kann beispielsweise durch eine geeignete Architektur, die Vermeidung einer großflächigen Versiegelung und die Gewährleistung der Frischluftzufuhr über unverbaute Frischluftschneisen erfolgen.

Fazit zum Indikator G3 Wärmeinseleffekt

Ein sommerlicher Wärmeinseleffekt ist bislang nur gering ausgebildet. Er zeigt sich in den Sommermonaten fast ausschließlich mit Differenzen der Temperaturminima von 1 bis 3 Grad. Seit der Jahrtausendwende deutet sich eine tendenzielle Zunahme des Wärmeinseleffektes an, aber auch dies zunächst nur in der Klasse der Differenzen zwischen 1 und 3 Grad, wobei die besonders warmen Jahre herausragen.

4.6.4 Mildere Winter führen zu geringerem Heizenergiebedarf

Der größte Teil des Endenergieverbrauchs privater Haushalte entfällt auf das Heizen des Wohnraums. Veränderungen im Verbrauch lassen sowohl einen Rückschluss auf klimatische Einflüsse als auch auf die Auswirkung energetischer Sanierungs- beziehungsweise Modernisierungsmaßnahmen zu.

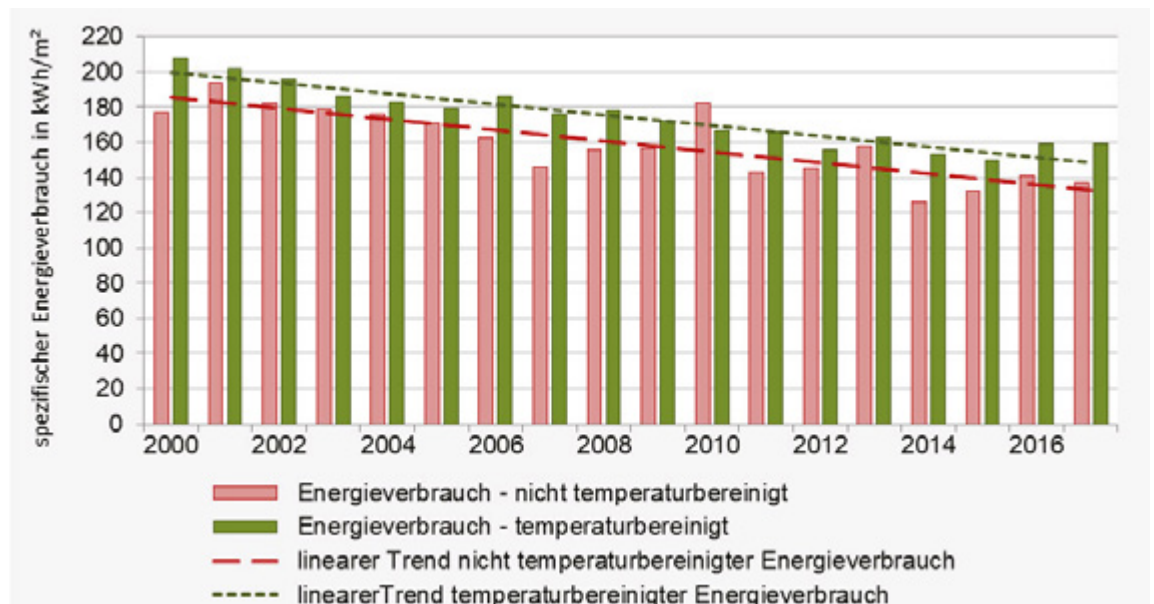
Im Indikator G4 Raumwärme wird der spezifische Energieverbrauch privater Haushalte für Raumwärme bezogen auf die Wohnfläche dargestellt. Dabei werden auch Entwicklungen, die zu einer höheren Energieeffizienz geführt haben, wie beispielsweise eine energetische Sanierung in Bestandsgebäuden oder auch höhere Standards im Neubau, berücksichtigt.

Um die Entwicklung des Energieverbrauchs auch unabhängig vom Einfluss der Temperaturschwankungen darstellen zu können, wurden die Zeitreihen zusätzlich einer Temperaturbereinigung unterzogen. An der erfolgten Bereinigung der Werte sieht man, in welchem Maß mildere Temperaturen zu einem geringeren Heizenergiebedarf beigetragen haben. Im Ergebnis wird so ein Energieverbrauch modelliert, der sich ergeben hätte, wenn die jährlichen Durchschnittstemperaturen konstant dem langjährigen Mittel entsprochen hätten.

Um den Einfluss der Temperatur auf den Energieverbrauch der privaten Haushalte kenntlich zu machen, werden in Abbildung 36 sowohl der nicht temperaturbereinigte wie auch der temperaturbereinigte spezifische Energieverbrauch, jeweils bezogen auf die Wohnfläche, nebeneinander dargestellt.

Abbildung 36:

Energieverbrauch privater Haushalte für Raumwärme in Sachsen-Anhalt bezogen auf die Wohnfläche. (Datenquelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt)



Es ist erkennbar, dass mit Ausnahme des Jahres 2010 für alle Jahre seit 2000 eine Temperaturbereinigung „nach oben“ durchgeführt worden ist. Das bedeutet, dass in fast allen Jahren – gemessen an den langjährigen Bedingungen – der Heizenergiebedarf durch mildere Außentemperaturen im Winter gesunken ist. Der Trend zu höheren Wintertemperaturen führt auch zu einer Verringerung des Brennstoffverbrauchs für Raumwärme. So lag der Energieverbrauch im Jahr 2010 (mit Wintertemperaturen um mehr als zwei Grad unter dem langjährigen Mittel) um rund 20 % über dem Wert von 2007 (mit Wintertemperaturen etwa vier Grad über dem langjährigen Mittel).

Eine höhere Energieeffizienz im Gebäudebereich führte zusätzlich zu sinkenden Energiebedarfen.

Anhand der Daten lässt sich abschätzen, dass die milderen Temperaturen in dem 17-jährigen Betrachtungszeitraum durchschnittlich einen geringeren Heizenergiebedarf von etwa 14 kWh/m² gegenüber dem langjährigen Mittel bedingt haben. Der Effekt der höheren Effizienz, z. B. durch Brennwertheizungen und hohe Standards im Neubau, kann anhand der Steigung der Trendgeraden auf etwa 50 kWh/m² geschätzt werden. Die stagnierenden Werte in den jüngeren Jahren unterstreichen allerdings, dass zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands im Jahr 2050 die Bemühungen intensiv weitergeführt werden müssen.

Der Indikator berücksichtigt somit nicht nur die Anpassung an den Klimawandel, sondern beinhaltet auch Informationen zur Transformation hin zu einem energieeffizienten Wärmesektor, der für den Klimaschutz und perspektivisch für eine klimaneutrale Wohninfrastruktur hoch relevant ist.

Fazit zum Indikator G4 Raumwärme

Der Bedarf an Heizenergie ist in den letzten Jahren bedingt durch mildere Außentemperaturen im Winter kontinuierlich gesunken. Gleichzeitig führte die höhere Energieeffizienz im Gebäudebereich zu sinkenden Energiebedarfen.

4.6.5 Schiffbarkeit der Elbe ist durch längere Trockenperioden gefährdet

Die Nutzbarkeit der Binnenschifffahrtsstraßen hängt entscheidend von der meteorologischen und hydrologischen Situation im jeweiligen Flusseinzugsgebiet der Wasserstraße ab. Wichtigste Größe ist das Wasserdargebot. Seine Höhe und jahreszeitliche Verteilung bestimmen die Abfluss- und Wasserstandsverhältnisse und somit auch die mitunter stark variierenden Wasserstände. Hoch- und Niedrigwasser können dabei gleichermaßen zu Einschränkungen der Binnenschifffahrt führen.

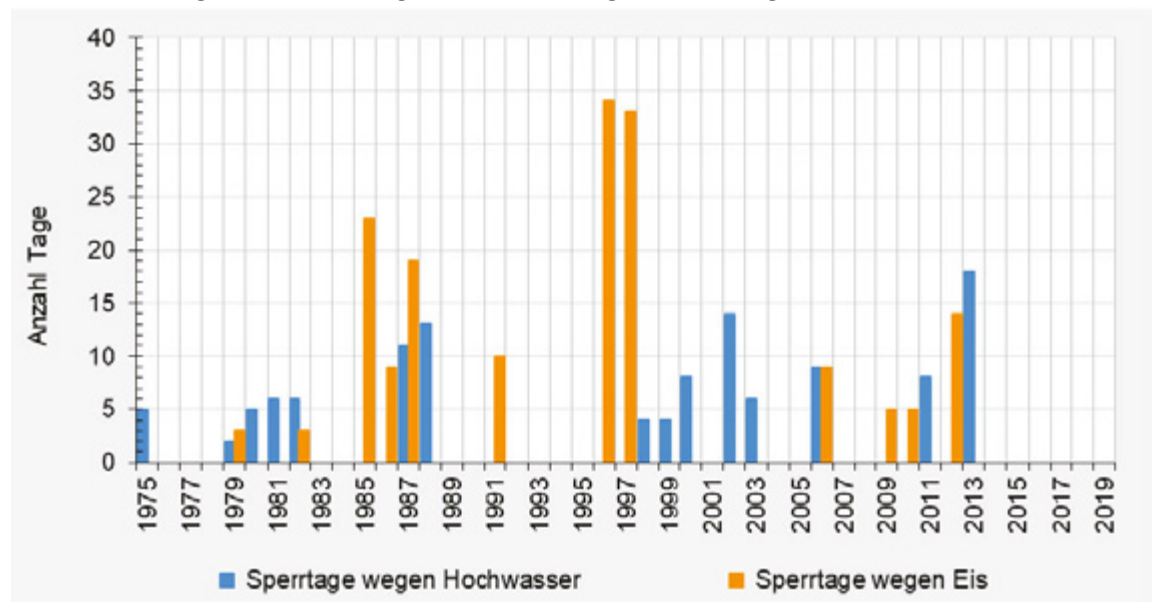
Im Zuge des Klimawandels könnte es zur Zunahme der Häufigkeit und der Länge der Einschränkungen der Schifffahrt kommen.

Beispielsweise könnten länger andauernde Trockenperioden, so wie in den letzten Jahren, vermehrt zu tage- oder sogar wochenlangen Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser führen. Hingegen ist mit Einschränkungen durch winterlichen Eisgang zukünftig eher weniger zu rechnen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Niedrigwasser eine Schifffahrt in der Regel mit Einschränkungen (z. B. mit geringerer Zuladung) noch möglich ist, wohingegen die Wasserstraßen bei einer Überschreitung des Höchsten Schifffahrtswasserstands oder bei stärkerem Eisgang ganz für die Schifffahrt gesperrt werden müssten.

Im Indikator G5 Schiffbarkeit wurden auf dem vom Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg betreuten Elbeabschnitt 5 zwischen Saalemündung und Einfahrt zum Industriehafen Magdeburg die Tage erfasst, an denen die Schifffahrt wegen Hochwasser, Eis oder Niedrigwasser nur eingeschränkt oder gar nicht möglich war.

Abbildung 37:

Anzahl der Sperrtage für die Elbeschifffahrt wegen Hochwasser oder Eis auf dem Elbeabschnitt 5. (Quelle: Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg)



Im Beobachtungszeitraum aufgetretene Extremwetterereignisse zeigten, wie sehr die Elbeschifffahrt von Wetter und Witterung abhängig ist.

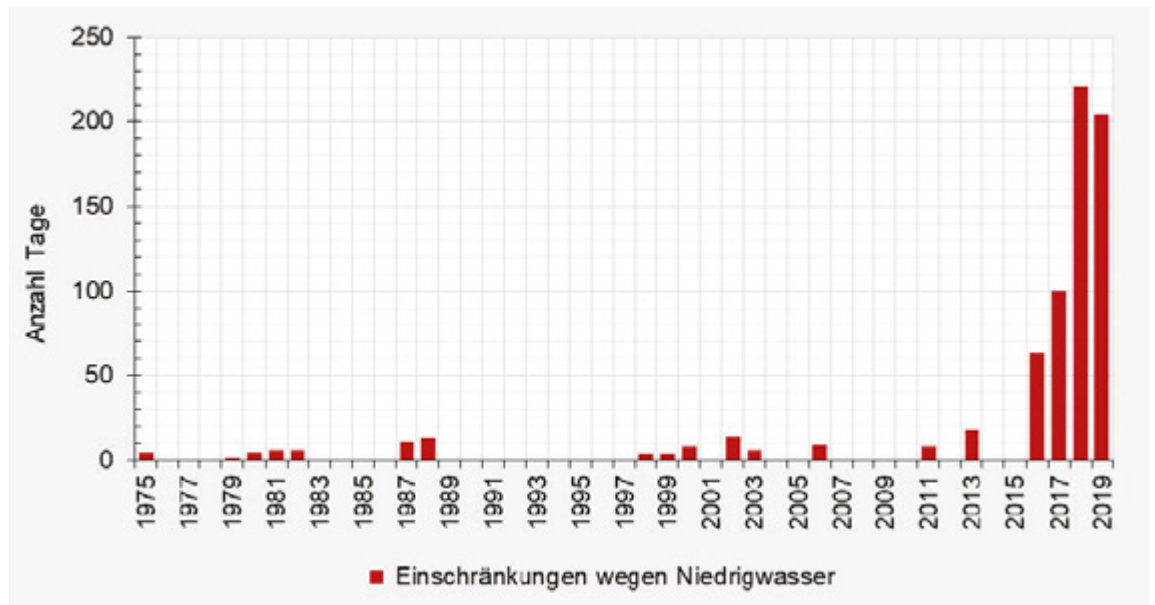
Sperrungen wegen Hochwasser wurden immer wieder verzeichnet (Abbildung 37). Sie waren zumeist auf nur einige Tage beschränkt. Oft wurde die Sperrung durch extreme Niederschläge im Einzugsgebiet der Elbe und ihrer Nebenflüsse verursacht, wie

beispielsweise in den Jahren 2002 und 2013. In beiden Jahren wurde die Elbeschifffahrt über mehr als zwei Wochen wegen Überschreitung des Höchsten Schifffahrtswasserstands eingestellt.

Anders verhält es sich bei der Beeinträchtigung der Schifffahrt auf der Elbe wegen Eis (Abbildung 38). Zu einer längeren Sperrung kam es zuletzt nach der Kältewelle 1996/1997. Danach traten Sperrungen aus diesem Grund seltener und nur über kürzere Zeiträume auf, zuletzt in der Kältewelle 2012. Insgesamt ist bei der Beeinträchtigung der Schifffahrt durch Eisgang eine abnehmende Tendenz zu erkennen.

Abbildung 38:

Anzahl der Tage mit Einschränkungen der Schifffahrt der Elbe durch Niedrigwasser auf dem Elbeabschnitt 5. (Quelle: Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg)



Eine Beeinträchtigung der Elbeschifffahrt wegen Niedrigwasser war vor den 2000er Jahren noch ein seltenes Ereignis (Abbildung 38). Erst in den vergangenen Jahren kam die Schifffahrt auf der Elbe mehrfach zwischen Mai und Spätherbst, teilweise sogar darüber hinaus, über Wochen zum Erliegen. So waren es 100 Tage im Jahr 2017, 2018 und 2019 sogar jeweils über 200 Tage. Auch wenn es nicht sofort zu einer vollständigen Sperrung des Elbeabschnitts kam, so musste sich die Schifffahrt zumindest auf starke Einschränkungen hinsichtlich der Abladetiefe und somit auch der transportierten Tonnage einstellen.

Fazit zum Indikator G5 Schifffahrt der Binnenwasserstraßen

Eine Beeinträchtigung der Schifffahrt der Elbe aufgrund von Extremwetterereignissen trat in der Vergangenheit immer wieder auf.

- Beeinträchtigungen durch Hochwasser wurden immer wieder verzeichnet und müssen auch künftig erwartet werden.
- Beeinträchtigungen durch Eis nehmen tendenziell ab.

Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser traten erst im letzten Jahrzehnt gehäuft auf. Mit ihnen ist künftig verstärkt zu rechnen.

Abflussregime:

Charakteristischer mittlerer Jahresgang des Abflusses.

Absterberate:

Die jährliche Absterberate gibt den prozentualen Anteil der seit der letzten Erhebung abgestorbenen Stichprobenbäume (nur stehende tote Bäume) an.

Bodenfeuchte:

Füllstand des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers (nutzbare Feldkapazität) unter Berücksichtigung der bodenbezogenen Standorteigenschaften in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (%nFK).

Diversifizierung:

Weiterentwicklung wirtschaftlicher Aktivitäten in Richtung einer höheren Vielfalt des Aktivitätsspektrums.

Fallzahl:

Wert zur Bestimmung der Aktivität der stärkeabbauenden Enzyme im Getreidekorn.

Fire Weather Index (FWI):

Der kanadische Waldbrand Wetter Index (FWI) basiert auf der kontinuierlichen Messung von Temperatur, relativen Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und des 24h-Niederschlags (von 12.00 Uhr bis 12.00 Uhr). Er besteht aus sechs Komponenten, die die Auswirkungen von Feuchtigkeit und Wind auf das Feuerverhalten berücksichtigen.

Frostfreiheit:

Der Beginn der Frostfreiheit wird als siebenter Tag einer Periode mit einem Tagesmittel der Lufttemperatur von

mindestens 4,5 °C festgelegt, die frühestens am 15. Februar eines Jahres beginnt. Das Ende wird durch den ersten Tag, der im Herbst ein negatives Tagesmittel der Lufttemperatur zeigt markiert. Sollte es nicht zu einem solchen Tag kommen, wird das Ende der Frostfreiheit auf den letzten Tag des Kalenderjahres festgelegt.

Frosttage:

Tage mit einem Minimum der Lufttemperatur unter 0,0 °C.

Heiße Tage:

Tage mit einem Maximum der Lufttemperatur von mindestens 30,0 °C.

Höchster Schifffahrtswasserstand (HSW):

Festlegung des Wasserstandes, welcher beim Erreichen bzw. Überschreiten an den einzelnen Richtpegeln für den jeweiligen Streckenabschnitt eine Einstellung der Schifffahrt ganz oder teilweise zur Folge hat. Für die Elbestrecke 5 im Bereich von km 314,5 bis 332,8 gilt als Richtpegel Magdeburg Strombrücke von 550 cm.

Humus:

Gesamtheit der von abgestorbenen Pflanzenteilen und Tiersubstanzen abstammenden organischen Stoffe auf und im Boden.

Humusformen:

Die Humusformen kennzeichnen Zersetzertätigkeit und Mineralisationsraten. Die höchsten Umsetzungsraten werden beim Mull erreicht, mittlere Raten beim Moder und gehemmte Zersetzertätigkeit zeigt sich beim Rohhumus.

Indikatoren:

Messbare Ersatzgrößen, die die Auswirkungen des Klimawandels veranschaulichen.

Interventionsgrenze:

Wert, ab dem eine von außen initiierte Einflussnahme auf das System erfolgen sollte, damit Verluste vermieden werden.

Kronenverlichtung:

Die mittlere Kronenverlichtung wird als arithmetischer Mittelwert der in 5 %-Stufen erhobenen Kronenverlichtung der Einzelbäume gebildet.

Mittlerer Abfluss (MQ):

Der mittlere Abfluss (MQ) ist eine statistische Größe des Wasserhaushalts von Fließgewässern. Er gibt den langjährigen durchschnittlichen Abfluss an einem Fluss oder Bach an.

Mittlerer Hochwasserabfluss (MHQ):

Der mittlere jährliche Hochwasserabfluss (MHQ) ist das arithmetische Mittel der jeweils größten gemessenen Abflüsse jedes Monats des Kalenderjahres an einem Pegel.

Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ):

Der mittlere jährliche Niedrigwasserabfluss MNQ ist das arithmetische Mittel der jeweils kleinsten gemessenen Abflüsse jedes Monats des Kalenderjahres an einem Pegel.

Nutzbare Feldkapazität:

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet die Differenz aus Feldkapazität und Welkepunkt ($nFK = FK - WP$, in mm/dm Bodenschicht). Nur diese Wassermenge steht der Pflanze zur Verfügung.

Permanenter Welkepunkt:

Austrocknungsgrad eines Bodens, der bei einem Wassergehalt erreicht wird, bei dessen Unterschreitung die meisten Pflanzen irreversibel welken.

Phänologie:

Lehre von den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Pflanzen. Es werden die Eintrittszeiten charakteristischer Vegetationsstadien (Phasen) beobachtet und festgehalten. Diese stehen in enger Beziehung zur Witterung und zum Klima.

Phänologische Uhr:

Darstellung, die die natürlichen Jahreszeiten – und somit den zeitlichen Vegetationsablauf, wie er im Mittel für ein bestimmtes Gebiet erwartet werden kann – beschreibt.

Schneedeckentage:

Tage, an denen eine Schneedecke (Schneebedeckungsgrad $> 0,5$) zu einem festgesetzten Termin vorhanden ist.

Schneehöhe:

Senkrecht zum Erdboden gemessene Höhe einer Decke aus festen Niederschlägen (Schnee, Graupel, Hagel oder Schneegriesel).

Sedimentationswert:

Quellvermögen der Eiweißstoffe von Weizenmehlen.

Signifikanz:

Eine Änderung von Indikatoren ist dann statistisch signifikant, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um eine zufällige Änderung aufgrund der natürlichen Variabilität handelt, vernachlässigbar gering ist.

Sommerhalbjahr:

Monate März bis August eines Jahres.

Sommertage:

Tage mit einem Maximum der Lufttemperatur von mindestens 25,0 °C.

Standortswasserbilanz:

Die Standortswasserbilanz wird im Forst als Summe der Klimatischen Wasserbilanz (ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag und potentieller Verdunstung für eine einheitliche Grasbedeckung) in der Vegetationsperiode und dem pflanzenverfügbaren Bodenwasser bis ein Meter Bodentiefe gebildet.

Trockenstress:

Defizite in der Wasserversorgung von Pflanzen, die groß genug sind, normale Lebens- und Wachstumsfunktionen zu beeinträchtigen.

Tropennächte:

Nächte mit einem Minimum der Lufttemperatur von mindestens 20,0 °C nach 20 Uhr gesetzlicher Zeit.

Vegetationsperiode:

Die Vegetationsperiode (Synonym für Vegetationszeit) wird allgemein definiert als derjenige Zeitraum des Jahres, in dem die Pflanzen photosynthetisch aktiv sind, d. h. wachsen, blühen und fruchten. Es wird z. B. unterschieden in: - klimatisch definierte Vegetationsperiode (Beginn der Wachstumszeit mit einem Tagesmittel der Temperatur von mindestens +5 °C bis zu dem Zeitabschnitt des Jahres, zu dem an fünf aufeinanderfolgenden Tagen die Tagesmitteltemperatur von +5 °C unterschritten wird) - phänologische Vegetationsperiode (Zeitraum zwischen Blühbeginn der Salweide bis zur Blattverfärbung der Stiel-Eiche) - landwirtschaftliche Vegetationsperiode (entspricht der phänologischen Vegetationsperiode), sie untergliedert sich in Vegetationsperiode 1 (April bis Juni) und Vegetationsperiode 2 (Juli bis September).

Winterhalbjahr:

Monate September bis Februar des Folgejahres.

Tabelle 1:	Übersicht über die Kategorien der Klimafolgenindikatoren Sachsen-Anhalt	Seite 7
Tabelle 2:	Übersicht der Klimawandelindikatoren Sachsen-Anhalt	Seite 9
Tabelle 3:	Arithmetische Tagesmittel der Temperatur zweier meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume in Grad Celsius	Seite 15
Tabelle 4:	Arithmetisches Mittel der jährlichen Anzahl von Temperaturkenntagen zweier meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume	Seite 16
Tabelle 5:	Arithmetische Mittel des Niederschlags zweier meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume	Seite 21
Tabelle 6:	Niederschlagshöhe des 15. Perzentils in Millimeter im Vergleich von zwei 30-jährigen Zeiträumen	Seite 23
Tabelle 7:	Niederschlagshöhe des 85. Perzentils in Millimeter im Vergleich von zwei 30-jährigen Zeiträumen	Seite 23
Tabelle 8:	Auswirkungen der Bodenfeuchte auf das Pflanzenwachstum in Prozent nutzbarer Feldkapazität	Seite 24
Tabelle 9:	Arithmetische Mittel der Bodenfeuchte zum Beginn der Vegetationsperiode 1 (01.04.)	Seite 24
Tabelle 10:	Arithmetische Mittel der Bodenfeuchte zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.)	Seite 25
Tabelle 11:	Arithmetische Mittel der Bodenfeuchte zum Ende der Vegetationsperiode 2 (30.09)	Seite 25
Tabelle 12:	Arithmetische Mittel meteorologischer 30-Jahres-Zeiträume für Beginn und Ende der Frostfreiheit	Seite 30
Tabelle 13:	Langjähriger Mittlerer Grundwasserstand für ausgewählte Zeiträume	Seite 36
Tabelle 14:	Langjähriger Mittlerer Abfluss für ausgewählte Zeiträume	Seite 38
Tabelle 15:	Langjähriger Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss für ausgewählte Zeiträume	Seite 40
Tabelle 16:	Langjähriger Mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss für ausgewählte Zeiträume	Seite 42
Tabelle 17:	Tag des Jahres der Über- bzw. Unterschreitung einer Bodentemperatur von 5 °C in 10 cm Tiefe an der Station Magdeburg	Seite 44
Tabelle 18:	Arithmetische Mittel des Bodenwasserhaushalts unter Winterweizen zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Vegetationsperiode für zwei meteorologische 30-Jahres-Zeiträume	Seite 46
Tabelle 19:	Arithmetische Mittel der Tage des Jahres mit geringer, mittlerer und hoher Waldbrandgefahr für zwei ausgewählte meteorologische 30-Jahres-Zeiträume	Seite 53
Tabelle 20:	Mittlere Kohlenstoffvorräte in der Humusaufgabe und im Mineralboden bis 30 cm Tiefe in Tonnen je Hektar	Seite 57
Tabelle 21:	Arithmetische Mittel der Anzahl der Heißen Tage sowie der Tropennächte an der Klimastation Magdeburg für zwei ausgewählte meteorologische 30-Jahres-Zeiträume	Seite 64
Tabelle 22:	Durchschnittliche Anzahl der Tage der Monate Juni bis August mit einer Differenz der Tagesminimumtemperaturen zwischen den Stationen Magdeburg und Bernburg für zwei meteorologische 30-Jahres-Zeiträume	Seite 66

Abbildung 1:	Physische Karte von Sachsen-Anhalt mit räumlicher Gliederung und den diese Räume repräsentierenden Messstationen	Seite 11
Abbildung 2:	Landschaftsgliederung Sachsen-Anhalts mit den diese Räume repräsentierenden Pegeln	Seite 12
Abbildung 3:	Jahresmitteltemperatur für Sachsen-Anhalt und Deutschland im Zeitraum 1881 bis 2019	Seite 13
Abbildung 4:	Jahresmittel der Temperatur im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Bernburg	Seite 14
Abbildung 5:	Anzahl Heißer Tage im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Bernburg	Seite 17
Abbildung 6:	Anzahl Sommertage im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Wittenberg	Seite 18
Abbildung 7:	Anzahl der Tropennächte im Zeitraum 1961 bis 2019 an der Station Wittenberg	Seite 18
Abbildung 8:	Jahresniederschlag in Sachsen-Anhalt und Deutschland im Zeitraum 1881 bis 2019	Seite 20
Abbildung 9:	Mittlerer Jahresniederschlag in Sachsen-Anhalt im 30-Jahres-Zeitraum von 1991 bis 2019	Seite 21
Abbildung 10:	Bodenfeuchte unter Gras zum Beginn der Vegetationsperiode 1 (01.04.) an den Stationen Bernburg und Gardelegen	Seite 26
Abbildung 11:	Bodenfeuchte unter Gras zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.) an den Stationen Bernburg und Gardelegen	Seite 27
Abbildung 12:	Anzahl der Tage eines Jahres, an denen die Schneehöhe an den Stationen Brocken und Schierke mindestens 5 cm betrug	Seite 28
Abbildung 13:	Anzahl der Tage eines Jahres, an denen die Schneehöhe an den Stationen Brocken und Schierke mindestens 20 cm betrug	Seite 29
Abbildung 14:	Tag des Beginns und des Endes der Frostfreiheit seit Jahresbeginn in Bernburg	Seite 31
Abbildung 15:	Tag des Beginns der Apfelblüte in Sachsen-Anhalt	Seite 32
Abbildung 16:	Wechselbeziehung zwischen Blühbeginn der Apfelblüte und dem Temperaturmittel des Frühjahrs	Seite 33
Abbildung 17:	Veränderungen der phänologischen Jahreszeiten für Sachsen-Anhalt im Mittel von 1991 bis 2019 im Vergleich zum Mittel von 1961 bis 1990	Seite 34
Abbildung 18:	Dauer der Vegetationsperiode gemittelt über gleitende 30-Jahreszeiträume	Seite 35
Abbildung 19:	Zusammenhang der Mittleren jährlichen Grundwasserstände an der Messstelle Piesdorf und der jährlichen Niederschläge an der benachbarten Klimastation Bernburg	Seite 37
Abbildung 20:	Mittlerer jährlicher Abfluss der Wethau am Pegel Mertendorf	Seite 39

Abbildung 21:	Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss der Wipper am Pegel Großschieerstedt	Seite 41
Abbildung 22:	Mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss der Wipper am Pegel Großschieerstedt	Seite 43
Abbildung 23:	Tag seit Jahresbeginn der Über- bzw Unterschreitung von 5 °C in 10 cm Tiefe an der Station Magdeburg	Seite 45
Abbildung 24:	Bodenwasservorrat unter Zuckerrüben und Winterweizen in einer Schicht bis einem Meter Tiefe zum Ende der Vegetationsperiode 1 (30.06.) an der Station Wittenberg	Seite 47
Abbildung 25:	Entwicklung der Backqualität von Winterweizen für Sachsen-Anhalt seit 2009	Seite 48
Abbildung 26:	Entwicklung der mittleren jährlichen Anzahl der Tage mit Beregnungsbedürftigkeit des Winterweizens über zwei 30-jährige Zeitabschnitte in den beiden Vegetationsperioden	Seite 50
Abbildung 27:	Anzahl der jährlichen Waldbrände in Sachsen-Anhalt und die davon betroffene Fläche, getrennt nach Nadelholz und Laubholz	Seite 52
Abbildung 28:	Mittlere jährliche Kronenverlichtung der Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Eiche und Buche	Seite 54
Abbildung 29:	Jährliche Absterberate der Stichprobenbäume seit der letzten Erhebung der Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Eiche und Buche	Seite 55
Abbildung 30:	Vergleich der prozentualen Verteilung der Humusformen bei der BZE 1993 mit der Verteilung bei der BZE 2006	Seite 56
Abbildung 31:	Änderung des Mittelwerts der Standortwasserbilanz zweier 30-jähriger Zeiträume gegenüber dem des Referenzzeitraums 1961 bis 1990	Seite 58
Abbildung 32:	Erstnachweise des Bienen-Ragwurz (<i>Ophrys apifera</i>) seit 1969 im Messtischblatt-Viertelquadrant	Seite 61
Abbildung 33:	Bruttostromerzeugung nach Energieträgern und Jahren	Seite 62
Abbildung 34:	Zusammenhang zwischen der jährlichen Anzahl Heißer Tage und dem Temperaturmittel im Sommerhalbjahr an der Station Magdeburg	Seite 65
Abbildung 35:	Klassifizierte Differenz der Anzahl der Tage der Monate Juni bis August der Tagesminimumtemperaturen zwischen den Stationen Magdeburg und Bernburg	Seite 67
Abbildung 36:	Energieverbrauch privater Haushalte für Raumwärme in Sachsen-Anhalt bezogen auf die Wohnfläche	Seite 68
Abbildung 37:	Anzahl der Sperrtage für die Elbeschifffahrt wegen Hochwasser oder Eis auf dem Elbeabschnitt 5	Seite 70
Abbildung 38:	Anzahl der Tage mit Einschränkungen der Schifffbarkeit der Elbe durch Niedrigwasser auf dem Elbeabschnitt 5	Seite 71

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie
des Landes Sachsen-Anhalt (MULE)

Leipziger Straße 58
39112 Magdeburg

Tel.: +49 391 567-1949

Fax: +49 391 567-1964

E-Mail: poststelle@mule.sachsen-anhalt.de

Internet: <https://mule.sachsen-anhalt.de/>

Erstellt durch:

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)
in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für
Umwelt, Landwirtschaft und Energie
des Landes Sachsen-Anhalt (MULE) und
der fach- und ressortübergreifenden Arbeitsgruppe
Klima des Landes Sachsen-Anhalt (AG Klima)

Reideburger Straße 47
06116 Halle (Saale)

Abschlussdatum: 30.11.2020

Redaktion: Unglaube, M.; Wollmert, A.

Redaktionsschluss: 05.11.2020

Meteorologische Daten:

Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach

Foto Titelseite:

Manuel Pape

Web-Link der Publikation:

www.klimawandel.sachsen-anhalt.de