

Extremwetterereignisse und ihre Folgen für Sachsen-Anhalt

unter den Bedingungen des Klimawandels



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für
Umwelt, Landwirtschaft
und Energie

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie
des Landes Sachsen-Anhalt (MULE)
Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Leipziger Straße 58
39112 Magdeburg
Tel.: +49 391 567 1950
Fax: +49 391 567 1964
E-Mail: pr@mule.sachsen-anhalt.de
Internet: www.mule.sachsen-anhalt.de

Erstellt durch:

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)
Reideburger Straße 47
06116 Halle (Saale)
Abschlussdatum: Dezember 2019
Redaktion: Unglaube, M.; Ehlert, I.; Eichhorn, M.; Struve, S.
Redaktionsschluss: Halle (Saale), November 2019

1. Auflage Januar 2020

Meteorologische Daten:

Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach

Satz:

Satzstudio Borngräber, Dessau-Roßlau

Web-Link der Publikation:

www.lau.sachsen-anhalt.de/wir-ueber-uns-publikationen/fachpublikationen/

Vorwort

Extremwetterereignisse sind Bestandteile des Klimas. Doch sie werden häufiger und heftiger. Das ist eine Auswirkung der Klimakrise.

Der Weltklimarat IPCC hat in seinem Sonderbericht zum „Management des Risikos von Extremwetterereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel“ (SREX) darauf verwiesen, dass es bereits zu Veränderungen bei Intensität, Länge, Häufigkeit und räumlicher Ausdehnung einiger Extreme gekommen ist. Für die Zukunft werden verstärkt Änderungen der Extremwetterereignisse vorhergesagt, die hauptsächlich auf den menschlich gemachten Klimawandel zurückzuführen sind.

Die Auswirkungen der Klimakrise sind jetzt schon spürbar. Gegenüber dem langjährigen Mittel war es 2018 deutschlandweit zu warm, zu trocken und zu sonnenscheinreich. Das Jahr 2018 wird uns allen deshalb als ein Jahr der Extreme in Erinnerung bleiben.

Sachsen-Anhalt war in diesem Extremjahr das trockenste Bundesland in Deutschland. Zwischen April und November 2018 fiel landesweit kaum nennenswerter Niederschlag. Die anhaltend hohen Temperaturen förderten die Verdunstung. Eine ausgedehnte Bodendürre breitete sich aus. Die Erträge in der Landwirtschaft gingen so weit zurück, dass von einer Naturkatastrophe gesprochen werden musste.

Auch die Auswirkungen auf die Gewässer waren sichtbar. Wegen des historischen Wassertiefstandes war auf der Elbe über Monate hinweg keine Schifffahrt möglich. Teiche und Bäche trockneten aus, wertvolle Biotope gingen verloren.

Besonders betroffen von diesem Extremwetter waren unsere Wälder. Erst kam es im Januar 2018 durch den Orkan Friederike zu großflächigen Waldverlusten, danach litten die Bäume aufgrund der



lang anhaltenden Dürre unter Trockenstress. Forstschädlinge wie der Borkenkäfer fanden anschließend ideale Bedingungen vor und verursachten in einigen Regionen massive Folgeschäden.

Extreme Wetterereignisse werden in Sachsen-Anhalt immer wieder auftreten und dabei auch volkswirtschaftlichen und persönlichen Schaden hinterlassen. Das Wissen darüber, welche Extremereignisse unter den Bedingungen des Klimawandels in Zukunft wie oft eintreten können, welche Regionen Sachsen-Anhalts besonders betroffen sein könnten und welche Folgen zu erwarten wären, hilft bei der Auswahl gezielter Vorsorgemaßnahmen. Dafür soll die vorliegende Broschüre der breiten Öffentlichkeit eine Hilfe sein.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Der Begriff „Extremwetterereignisse“	5
1.2	Einfluss der globalen Temperaturänderung auf die Extremwetterereignisse	7
2	Das Jahr 2018 – geprägt von Wetterextremen	9
3	Temperaturextreme	12
3.1	Hitzewellen	12
3.2	Tropennächte	15
3.3	Kälteextreme	16
4	Niederschlagsextreme	17
4.1	Starkregen	17
4.2	Dürreperioden	20
5	Hoch- und Niedrigwasser	22
5.1	Hochwasser	22
5.2	Niedrigwasser	26
6	Windextreme	29
6.1	Starkwind	29
6.2	Winderosion	33
6.3	Windbruch und Windwurf	35
7	Gewitter	37
7.1	Konvektive Unwetter	37
7.2	Starkniederschlags- und Sturzflutpotential bei konvektiven Unwettern .	40
7.3	Hagelpotential bei konvektiven Unwettern	42



1 Einleitung

1.1 Der Begriff „Extremwetterereignisse“

Meteorologische Extremwetterereignisse und deren Auswirkungen können seit Beginn der Wetteraufzeichnung verzeichnet werden. Sie treten überall auf der Welt auf. Dabei kann eine meteorologische Erscheinung an einem Ort als extrem bezeichnet werden, die für eine andere Region der Erde als normal gilt. Über mehrere Tage anhaltende Temperaturhöchstwerte von über 35 °C, wie im Sommer 2018, entsprechen in Sachsen-Anhalt einer extremen Witterung. Für große Teile Afrikas sind solche Werte über einen längeren Zeitraum jedoch normal.

Eine meteorologische Erscheinung wird demnach dann zu einem extremen Ereignis, wenn sie in einer bestimmten Region sehr deutlich von langjährigen Mittelwerten abweicht oder einen

bestimmten Grenzwert überschreitet. Extremwetterereignisse kommen sehr selten vor. Es mangelt daher oftmals an einer umfangreichen und belastbaren Datenbasis für ausreichend lange Zeiträume. Aufgrund dieser Tatsache lassen sich nur bedingt gesicherte Trendausagen ableiten.

Es sind nicht nur die meteorologischen Erscheinungen, wie Starkregen oder anhaltende Trockenheit, die als Extremereignisse bezeichnet werden können. Auch deren Auswirkungen auf die nichtatmosphärische Umwelt werden in dieser Broschüre betrachtet. So können Stark- und Dauerniederschläge zu Hochwasser führen. Langanhaltende Witterungsphasen ohne Niederschlag in Verbindung mit Hitze können für Bodentrockenheit und Dürre sorgen.



Die weit über die Ufer
getretene Elbe glich 2002
im Raum Magdeburg
eher einem See als
einem Fluss.

Zumeist sind es die wirtschaftlichen Folgen und Schäden eines eingetretenen Ereignisses, die uns Menschen veranlassen, es als extrem zu bezeichnen. So wie im August 2002, als ein von Südeuropa hereinziehendes Tiefdruckgebiet tagelange, starke Regenfälle brachte, aus denen sich in Mitteldeutschland eine Jahrhundertflut mit verheerenden Schäden entwickelte.

Ursache dieser katastrophalen Überschwemmungen an Elbe und Mulde sowie einigen ihrer Nebenflüsse war eine außergewöhnliche Wetterlage. Ein sich von Südeuropa nach Norden verlagerndes langsam ziehendes Tiefdruckgebiet (Vb-Tief) brachte erst in den Alpen, danach auch über Böhmen und Sachsen extreme Niederschläge. So registrierte der Deutsche Wetterdienst im Erzgebirge (Zinnwald-Georgenfeld) am Morgen des 13. August 2002 mit einer 24-stündigen Regensumme von 312 Liter pro Quadratmeter (entspricht 312 mm) die größte Tagesregenmenge seit Beginn

der Wetteraufzeichnungen. Die Folge davon waren schnell ansteigende Pegel von Elbe und Mulde. Die sich rasch stromabwärts bewegende Flutwelle brachte große Überschwemmungen mit sich.

Waren die Menschen im Oberlauf der beiden Flüsse und ihrer Nebenflüsse dieser Flut noch weitgehend hilflos ausgeliefert, konnten durch kurzfristig durchgeführte Schutzmaßnahmen die Menschen am Unterlauf der Elbe größtenteils geschützt werden. Zurück blieb nach Angaben des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge in Deutschland ein Schaden von 11,6 Milliarden Euro, davon in Sachsen-Anhalt 1,2 Milliarden Euro.

Nur elf Jahre später, im Jahr 2013, gab es das nächste Jahrhunderthochwasser an der Elbe. Diesmal war man besser darauf vorbereitet, weil die Erfahrungen aus dem Hochwasser von 2002 zu gezielten

Schutzmaßnahmen geführt hatten. So wurde beispielsweise mit Deichrückverlegungen begonnen und es wurden Flutungspolder geschaffen.

Extremwetterereignisse richten oft hohe Schäden an und gefährden die öffentliche Ordnung sowie das öffentliche Leben. Deshalb ist die Vorsorge von großer wirtschaftlicher und sozialer Bedeutung. Die vorliegende Broschüre möchte die Leserinnen und Leser für diese Ereignisse und ihre oft gravierenden Folgen sensibilisieren. Dabei werden sowohl die Ursachen und Auswirkungen ausgewählter Extremereignisse, wie auch das Gefährdungspotenzial in der Gegenwart anschaulich erläutert. Des Weiteren werden mögliche Entwicklungen von Extremwetterereignissen unter den Bedingungen des Klimawandels für Sachsen-Anhalt aufgezeigt. Das Auftreten von extremen Einzelereignissen stellt nicht den Klimawandel dar. Jedoch kann sich unter dem Einfluss des Klimawandels das Risiko solcher Ereignisse verändern.

1.2 Einfluss der globalen Temperaturänderung auf die Extremwetterereignisse

Wie sich der Klimawandel schon heute bemerkbar macht, zeigt ein Blick auf die Temperaturentwicklung der vergangenen Jahrzehnte.

Langjährige Messungen des Deutschen Wetterdienstes belegen eine Temperaturzunahme in den letzten Jahrzehnten. Für Deutschland und Sachsen-Anhalt wurde ein Anstieg der Jahresmitteltemperaturen im langjährigen Vergleich (1989 bis 2018 gegenüber 1961 bis 1990)

von rund einem Kelvin (entspricht 1 °C) ermittelt. Der Trend ab 1881 bis heute zeigt sogar einen Temperaturanstieg von +1,5 °C (Abbildung 1).

Die global festgestellten Temperaturänderungen sind nicht weniger alarmierend. Seit Beginn der Wetteraufzeichnungen lagen die weltweit wärmsten 20 Jahre alle innerhalb der letzten 22 Jahre. Das heißt, fast jedes Jahr seit 1997 gehört zu den 20 wärmsten jemals gemessenen Jahren.

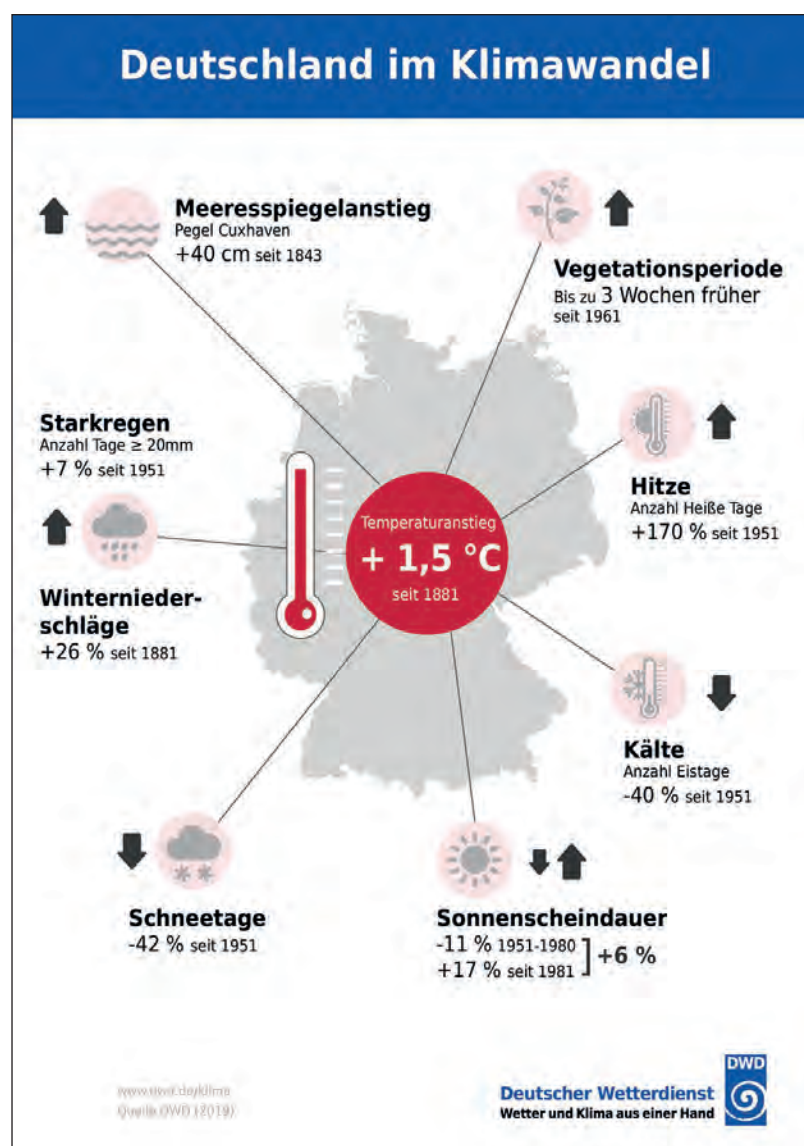


Abbildung 1: Fakten zum Klimawandel in Deutschland von 1881 bis heute.

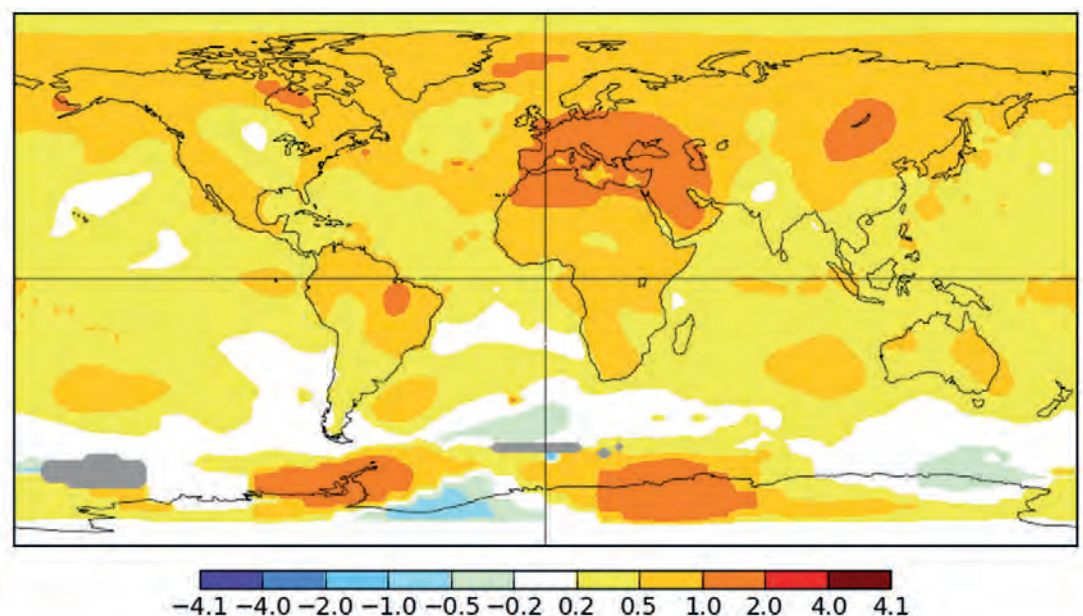
Die Abbildung 2 zeigt die Abweichung der Mitteltemperaturen der Sommer 1989 bis 2018 von der klimatologischen Referenzperiode 1961 bis 1990. Es zeigt sich, dass es nicht nur in Europa überdurchschnittlich warm war, sondern auch global die Temperaturen um 0,45 Kelvin über dem langjährigen Mittel lagen.

Diese Veränderung der mittleren Verhältnisse, hier beispielhaft für den Sommer gezeigt, kann auch zu einer Veränderung der Art, der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen führen. Die globale Erwärmung findet in besonderem Maße über den arktischen Gebieten statt. Geringere Temperaturunterschiede zwischen der Arktis und den mittleren Breiten sowie den Subtropen können zu einer Verlangsamung der Zirkulation der Atmosphäre führen. Lang anhaltende Wetterlagen und somit auch Wetterextreme wie Hitzewellen oder Starkniederschlagsereignisse können die Folge sein.

Ob der menschengemachte Klimawandel direkt für eine Veränderung von Extremereignissen verantwortlich gemacht werden kann, ist aktueller Forschungsgegenstand. Exakte Aussagen, die diese Annahmen bestätigen, stehen insbesondere für Niederschlags- und Windextreme noch aus.

Als praktisch gesichert gilt, dass die Häufigkeit, Dauer und Intensität von einzelnen Temperaturextremen zugenommen hat und weiter zunehmen wird. Für den Niederschlag liegen solche eindeutigen Aussagen insbesondere für die Zukunft bisher noch nicht vor. Jedoch ist auch hier zu erwarten, dass die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen und deren Anteil am Gesamtniederschlag zunehmen wird. Hinsichtlich der Entwicklung von außertropischen Windextremen (Stürme) lassen sich für die Zukunft noch keine gesicherten Aussagen treffen.

Abbildung 2:
Abweichung der langjährigen Temperaturmittel der Sommer 1989 bis 2018 gegenüber dem langjährigen Temperaturmittel der Sommer 1961 bis 1990 (in Kelvin).



2 Das Jahr 2018 – geprägt von Wetterextremen



Elbe-Pegel-Magdeburg am 19. September 2018.

Dabei begann das Jahr 2018 im Hinblick auf das Wetter in Sachsen-Anhalt fast normal: Reichliche Niederschläge und häufig stürmisch – jedoch auch ungewöhnlich mild. Mehrere Orkantiefs querten das Land, wobei das Orkantief Friederike am 18. Januar 2018 beträchtliche Schäden anrichtete. In Folge des Sturms kam es auf dem durch den Regen aufgeweichten Boden gebietsweise zu großflächigem Windwurf und Windbruch in den Wäldern. Als zum Monatswechsel von Februar auf März die Menschen mit dem Frühling rechneten, zeigte sich noch einmal der Winter mit zwei markanten Kaltluftteinbrüchen. Am 17. März türmte laut Mitteilung des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

starker Wind die weiße Pracht vor allem im Landkreis Anhalt-Bitterfeld meterhoch auf. In Quedlinburg wurde vom DWD eine Schneehöhe von 20 cm gemessen.

19. September 2018: Der Domfelsen in Magdeburg liegt schon seit Tagen frei. Nur noch kniehohes Wasser in der Mitte der Elbe, dort wo im Jahresmittel 1,89 m normal sind. Auf der Anzeigetafel am Pegel Magdeburg-Strombrücke werden 45 cm angezeigt. Der Pegelstand hat an diesem Nachmittag seinen neuen historischen Tiefststand erreicht.

Tabelle 1:
Vergleich meteorologischer Daten der Sommermonate 2018 mit dem langjährigen Mittel der Referenzperiode 1961 bis 1990.

	20,2 °C	16,9 °C
	65 mm	174 mm
	830 Stunden	610 Stunden

Anfang April schaltete dann das Wetter innerhalb weniger Tage von Winter auf Sommer um. Nachdem am 21. März an der Station Wittenberg noch eine Minimaltemperatur im Frostbereich gemessen wurde, übersprang das Thermometer 14 Tage später die 20 °C-Marke. Die vom DWD bereitgestellten Messdaten ergaben, dass in Sachsen-Anhalt in den Folgemonaten Juni bis August deutlicher als in den anderen Bundesländern Hitze, Dürre und Sonnenscheinreichtum herrschten. Die Abweichungen zu den langjährigen

Werten der Sommermonate in Sachsen-Anhalt waren unverkennbar (Tabelle 1).

Kein Ort Deutschlands war in diesem Sommer heißer als Bernburg an der Saale. Am 31. Juli kletterte hier die Temperatur auf den Höchstwert von 39,5 °C. An insgesamt zwölf Tagen zeigte das Thermometer in Bernburg über 35 °C. Von Juni bis August konnte man dort 74 und seit April sogar 98 Sommertage mit mehr als 25 °C zählen. In Köthen, nördlich von Halle, stieg die Temperatur 33 Tage hintereinander (vom

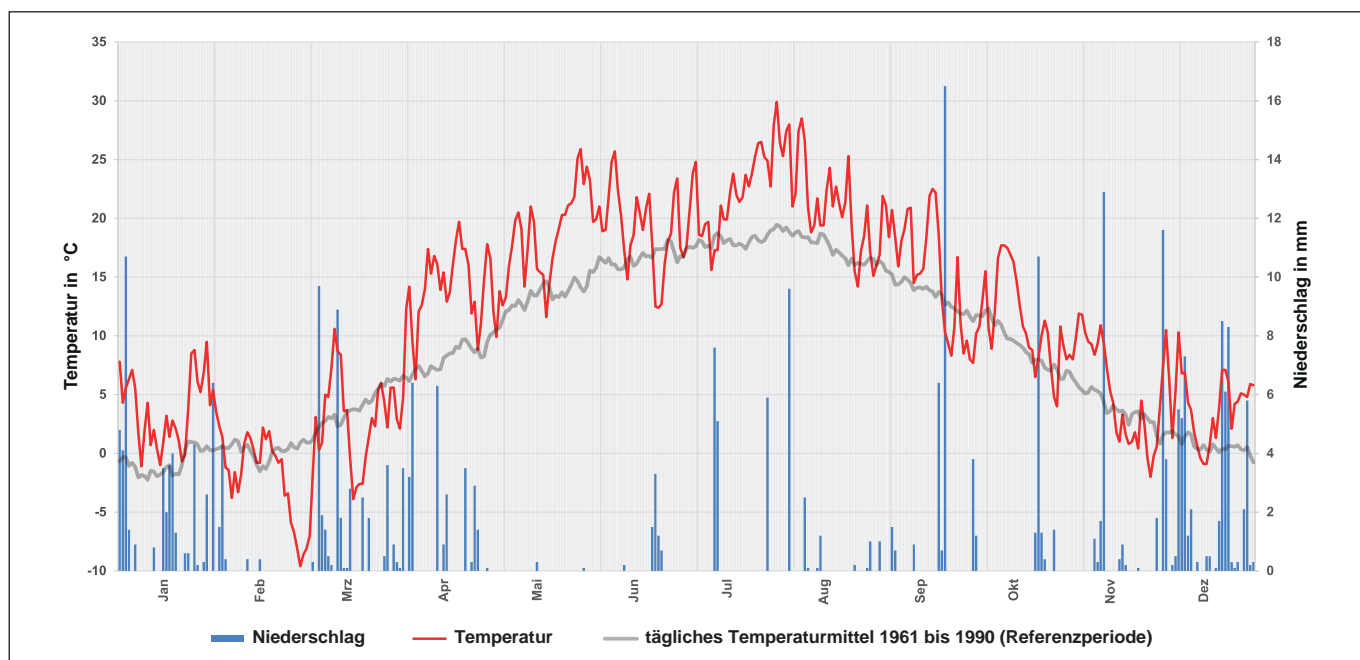


Abbildung 3: Beispielhafter Verlauf der Tagesmitteltemperatur und der Tagesniederschlagssumme an der Station Wittenberg im Jahr 2018 sowie Mittel der täglichen Temperatur der Referenzperiode 1961 bis 1990.



Der Wald bei Serno
nach dem Waldbrand
im Juli 2018.

12. Juli bis zum 13. August) über 25 °C und in Wittenberg fiel von Mai bis August nur 42,5 mm statt der sonst üblichen 232 mm Niederschlag (Abbildung 3).

Ursache für diese Witterungsanomalie mit unterdurchschnittlichen Regenmengen (Dürre), überdurchschnittlichen Temperaturen (auch Hitzewellen) und überdurchschnittlich vielen Sonnenstunden war eine blockierende Omega-Wetterlage. Diese im Sommer 2018 sehr langzeitstabile, heiße Hochdruckwetterlage erstreckte sich über große Teile der Nordhalbkugel und veränderte sich dabei über einen sehr langen Zeitraum kaum.

Durch den Klimawandel steigt künftig das Risiko, dass sich die Temperaturdifferenz zwischen den Polen und den Subtropen verringert. Dies könnte zu einer Abschwächung des Jetstreams (Starkwindband in der Höhe/oberen Troposphäre) und folglich auch der Westwinddrift führen. Dadurch könnte sich unter anderem die Wahrscheinlichkeit für das Ausbilden stabiler Wetterlagen in Europa erhöhen, was im Sommer entweder zu überdurch-

schnittlich viel Regen führt oder – wie im vorliegenden Fall – zu anhaltender Trockenheit und Hitze.

Die Folgen dieses Hitzesommers waren katastrophal. Ausbleibende Niederschläge haben zu großen Ernteverlusten geführt, die bei Getreide um etwa ein Drittel, bei Silomais sogar um 44 Prozent unter den Werten der vorangegangenen drei Jahre lagen. Die Ertragseinbußen in Sachsen-Anhalt waren die höchsten in Deutschland.

Zusammen mit Hitze und Windwurf wurden die Wälder massiv geschädigt. Die Waldbrandgefahr stieg extrem. Im Fläming, zwischen Serno bei Coswig und Stackelitz, standen 60 Hektar Wald in Flammen – der größte Waldbrand in Sachsen-Anhalt seit 18 Jahren.

Die Menschen erlebten die bis dahin längste gemessene Hitzeperiode. Sommerlich warme Tage mit viel Sonnenschein und Dürre zogen sich bis in den November hin. Erst im Dezember ging die meteorologische Dürre mit ergiebigen Niederschlägen zu Ende, setzte sich aber nur wenige Monate später fort.

3 Temperaturextreme

3.1 Hitzewellen



Eine ausgeprägte Hitzewellen gab es im August 2003 in Sachsen-Anhalt.

13. August 2003: Erneut überschritten die Temperaturen in Sachsen-Anhalt die 30 °C-Marke, nun schon die zweite Woche in Folge. Bereits seit Anfang August schwitzt ganz Europa. Die Wassertemperaturen von Nord- und Ostsee steigen auf Mittelmeerniveau an. Die Hitzewelle erreicht an zahlreichen Orten Westeuropas Temperaturhöchstwerte von über 40 °C.

Die Auswirkungen dieser Hitzewelle waren gravierend: Viele Menschen litten unter den unerträglichen Temperaturen. Selbst in den Nächten kühlte sich die Luft in zahlreichen Großstädten nicht unter 25 °C ab, ein kühlender Luftzug fehlte oft vollständig. So war ein Durchlüften und Abkühlen der überhitzten Räume fast unmöglich. Der in vielen Medien gefeierte „Supersommer 2003“ entwickelte sich im August 2003 zu einer der größten Naturkatastrophen der Gegenwart in Westeuropa: Wälder brannten, Flüsse trockneten aus und vermutlich bis zu 70.000 Menschen starben infolge der Hitzebelastung.

Nicht nur das Jahr 2003 war außergewöhnlich warm. Auch in anderen Jahren gab es – wenn auch nicht so ausge-

prägt – länger anhaltende Hitzeperioden (Hitzewellen).

Von Hitzewellen wird immer dann gesprochen, wenn an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen die Tageshöchsttemperatur 30 °C erreicht oder überschritten wird. Hitzewellen sind besonders eindruckliche Temperaturextreme, da deren Auswirkungen für den Menschen direkt spürbar sind.

Mit der globalen Erwärmung treten auch vermehrt Temperaturextreme auf. Am 25. Juli 2019 wurde in Lingen im Emsland 42,6 °C gemessen und damit der aktuelle Temperaturrekord für Deutschland 2019 übertroffen. Mit 29,7 °C wurde auch auf dem Brocken im Jahr 2019 ein neuer Allzeitrekord aufgestellt.

Vergleicht man die Mittelwerte verschiedener Temperaturgrößen (Tagestiefst-, Tagesmittel- und Tageshöchsttemperatur) des Referenzzeitraumes 1961 bis

1990 mit denen der letzten Jahrzehnte, so zeigen sich bereits Veränderungen (Beobachteter Klimawandel (2018)). In Abbildung 4 wird dieser Zusammenhang exemplarisch am Beispiel der Station Wittenberg anhand der Tageshöchsttemperaturen für 2018 dargestellt. Die Tageshöchsttemperaturen von 2018 (grau) werden dabei den langjährigen mittleren Tageshöchsttemperaturen von 1961 bis 1990 (rot) gegenüber gestellt. Ergänzt werden diese durch die Verläufe der langjährigen Tagesmitteltemperatur (grün), der Tagestiefsttemperatur (blau) für den Zeitraum von 1961 bis 1990 und dem Trend für 2018 (schwarz). Es ist erkennbar, dass die Tageshöchsttemperaturen in Wittenberg im Jahr 2018 nahezu das ganze Jahr hinweg deutlich über den langjährigen Tageshöchsttemperaturen für 1961 bis 1990 liegen.

In Sachsen-Anhalts größten Städten Halle und Magdeburg hat sich in den vergangenen Jahren die maximale Dauer

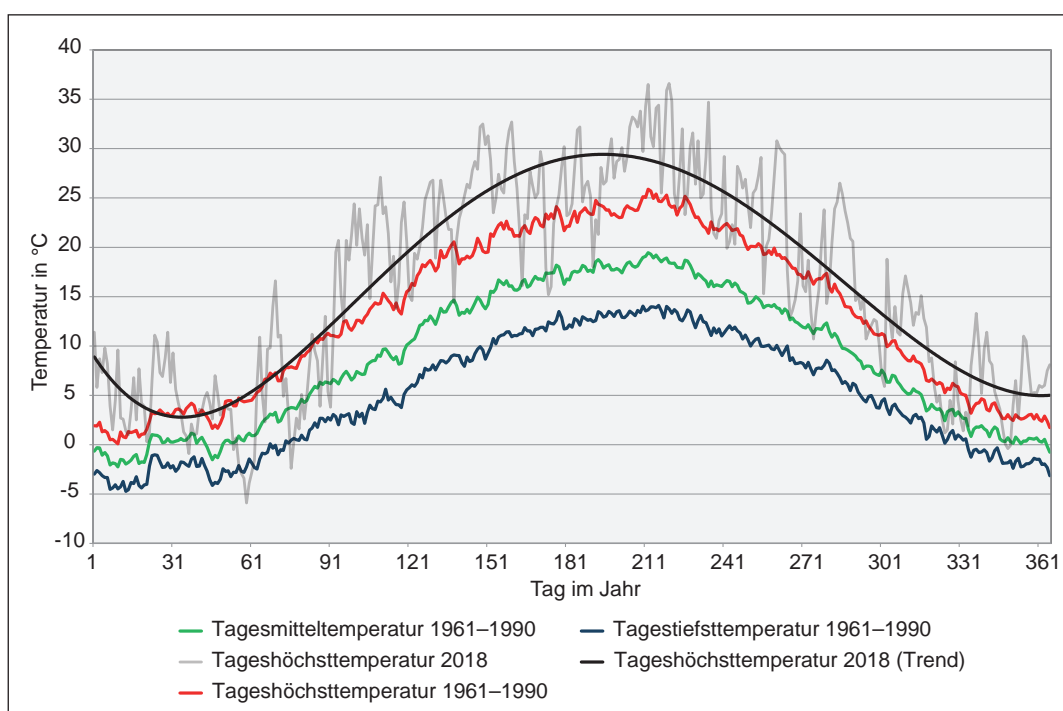


Abbildung 4:
Langjährige Temperatur-
mittel sowie Tages-
höchsttemperaturen
für 2018 der Station
Wittenberg.

In Sachsen-Anhalts großen Städten – hier Halle (Saale) – wirken sich Temperaturextreme aufgrund des Stadtklimaeffektes besonders aus.

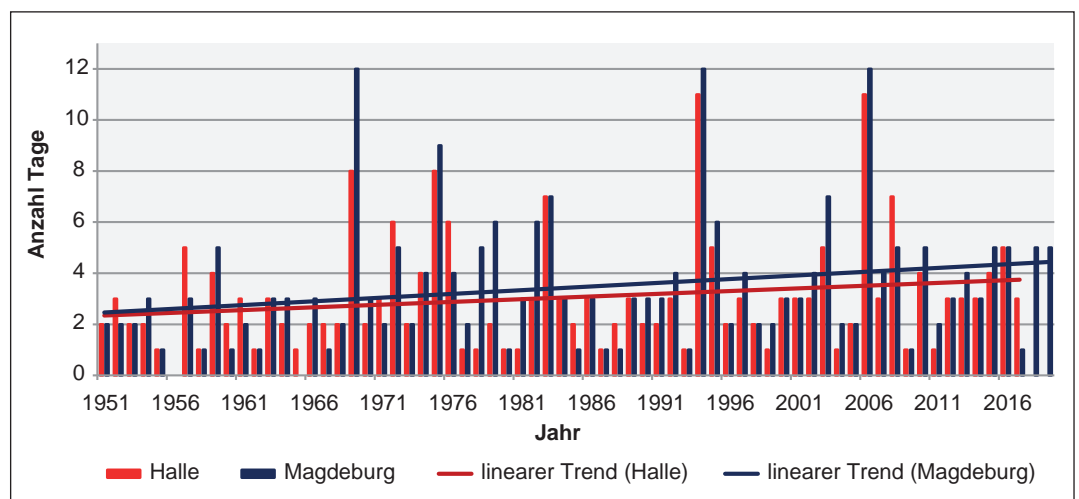


von Hitzeperioden bereits deutlich erhöht (Abbildung 5). Gab es in den 1950er Jahren im Mittel noch Hitzeperioden mit einer maximalen Dauer von zwei bis drei Tagen, so stieg die Maximaldauer zu Beginn der 2000er Jahre auf durchschnittlich vier Tage an. Es traten sogar mehrfach Hitzeperioden mit einer Dauer von fünf und mehr Tagen auf. Für den Menschen sind die Auswirkungen im ohnehin warmen Sommer von beson-

derer Bedeutung und können zu einer Belastung werden.

Langjährige Messdaten zeigen sowohl eine Zunahme von heißen Tagen (Maximaltemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$) als auch eine Zunahme der Häufigkeit und der Dauer von Hitzewellen für die Vergangenheit. Für die Zukunft ist mit einer weiteren Verstärkung dieser Temperaturextreme zu rechnen.

Abbildung 5: Maximale Dauer der Hitzeperioden für die Station Halle (1951 bis 2017) und Magdeburg (1951 bis 2019).





3.2 Tropennächte

Von einer Tropennacht ist die Rede, wenn die Temperatur nachts nicht unter 20 °C fällt. Diese Ereignisse sind in unseren Breiten sehr selten. An den meisten Wetterstationen in Sachsen-Anhalt tritt im Mittel weniger als eine Tropennacht pro Jahr auf. Insbesondere in den Sommern der Jahre 2018 (Abbildung 6) und 2019 konnten viele Tropennächte registriert werden. Dies gilt im Besonderen für die ohnehin im Vergleich zum Umland wärmeren Städte.

Bleiben die Temperaturen nachts erhöht, kommt es zur Belastung des Kreislaufs. Viele Menschen schlafen dann schlechter und sind folglich weniger ausgeruht. Erholsamer Schlaf ist jedoch wichtig für die Gesundheit.

Unter dem Aspekt des Klimawandels ist mit einer Zunahme von Tropennächten für die Zukunft zu rechnen.

Tropennächte können sich negativ auf die Schlafqualität auswirken.

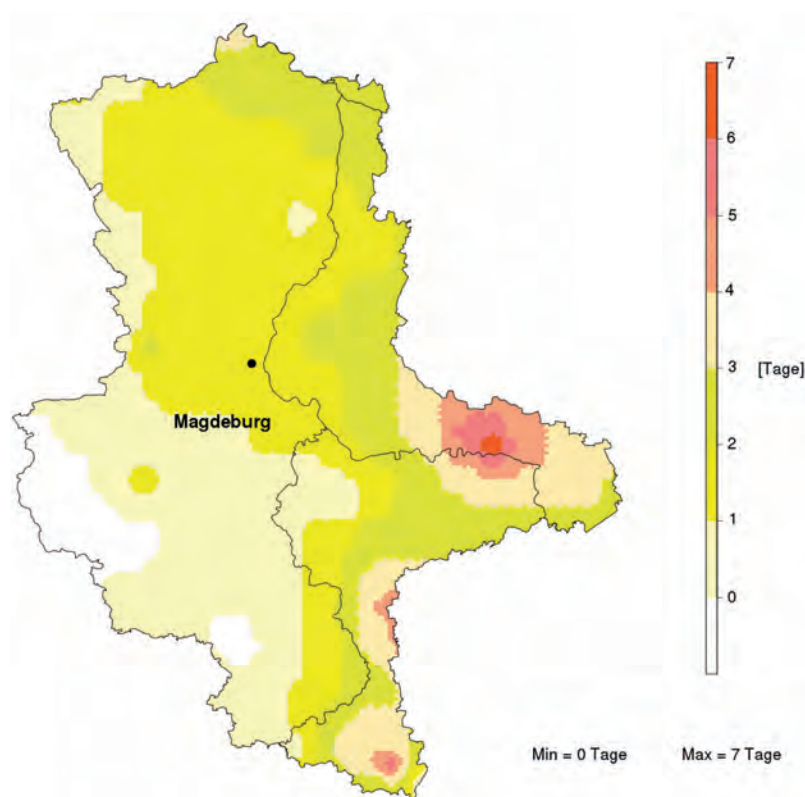


Abbildung 6:
Anzahl der Tropennächte
in Sachsen-Anhalt 2018.

Führt uns der Klimawandel in eine schnee-arme Zukunft?



3.3 Kälteextreme

In der Vergangenheit konnten Kälteextreme in Deutschland sowie Sachsen-Anhalt mehrfach beobachtet werden. Die niedrigste jemals in Deutschland registrierte Temperatur mit minus 37,8 °C wurde am 12.02.1929 in Wolznach-Hüll (Bayern) gemessen. Auf dem Brocken – gewöhnlich auf Grund seiner Höhenlage der kälteste Ort Sachsen-Anhalts – wurden am 1. Februar 1956 immerhin minus 28,4 °C gemessen.

Im Gegensatz zu den Hitzerekorden liegen diese Extremwerte bereits einige Zeit zurück. Dies kann als ein weiteres Anzeichen für den aktuellen Erwärmungstrend angesehen werden. In Zukunft können trotzdem kalte Winter oder Kälteperioden auftreten. Durch den Klimawandel ist jedoch mit einem Rückgang von Kältewellen und Temperaturminima zu rechnen. Milde Winter werden damit wahrscheinlicher.

Für die Pflanzen- und Tierwelt spielt Kälte, oder besser das Ausbleiben von

Kälte, eine wichtige Rolle. Treten diese Veränderungen dauerhaft auf, kommt es zu Anpassungsproblemen in der Flora und Fauna. In den letzten Jahren konnte beobachtet werden, dass sich nicht mehr alle Störche auf den Weg nach Afrika machen. Die Pollensaison beginnt aufgrund der ausbleibenden Kälte häufig bereits kurz nach Weihnachten mit der Blüte der Haselnuss. Auch viele Obstbäume blühen früher.

Das Ausbleiben von Kälteperioden kann auch für den Menschen nachteilige Auswirkungen haben. Im Jahr 2017 kam es aufgrund von Spätfrösten zu hohen Ernteaussfällen bzw. konnten Erträge nur mit sehr hohem Aufwand gesichert werden. Aus klimatologischer Sicht sind Spätfröste nicht ungewöhnlich. Bis in den Mai hinein muss mit ihrem Auftreten gerechnet werden. Dadurch, dass es mit der Temperaturerhöhung zu einem verfrühten Vegetationsbeginn kommt, kann die weit fortgeschrittene Vegetation durch die Spätfröste erheblichen Schaden nehmen.

4 Niederschlagsextreme

4.1 Starkregen



19. Mai 2017: Am Abend erreichte eine Gewitterfront mit Sturmböen und Starkregen die Stadt Querfurt. Innerhalb kürzester Zeit regnete es knapp 50 Liter pro Quadratmeter (entspricht 50 mm). Die Abwassersysteme und der Boden konnten diese Wassermassen nicht aufnehmen. Besonders schwer traf es den Querfurter Ortsteil Zingst.

Als Starkregen wird eine selten auftretende, hohe Niederschlagsmenge innerhalb kurzer Zeit bezeichnet. Ab wann Niederschlag als stark bezeichnet werden kann, hängt von der Lage und der Klimazone des betroffenen Gebietes ab. Daher gibt es keine einheitliche,

starre Definition von Starkregen. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) warnt ab einer zu erwartenden Niederschlagsmenge von

- 15 mm pro Stunde vor Starkregen (Warnung vor „Markantem Wetter“),
- ab 25 mm pro Stunde vor heftigem Starkregen („Unwetterwarnung“) und
- ab 40 mm pro Stunde vor extrem heftigem Starkregen.

Starkregen kann aber auch mehrere Stunden und – jedoch seltener – Tage (z. B. während einer Vb-Wetterlage) andauern.

Eine weitere Möglichkeit zur Einstufung bietet die Betrachtung der Wiederkehrrate von Starkregenereignissen (Abbil-

Starkregen kann zu Behinderungen im Straßenverkehr führen.

Abbildung 7:
Einstündige Nieder-
schlagshöhen für ein
Starkregenereignis mit
einer Wiederkehrzeit von
50 Jahren bzw einem Jahr.

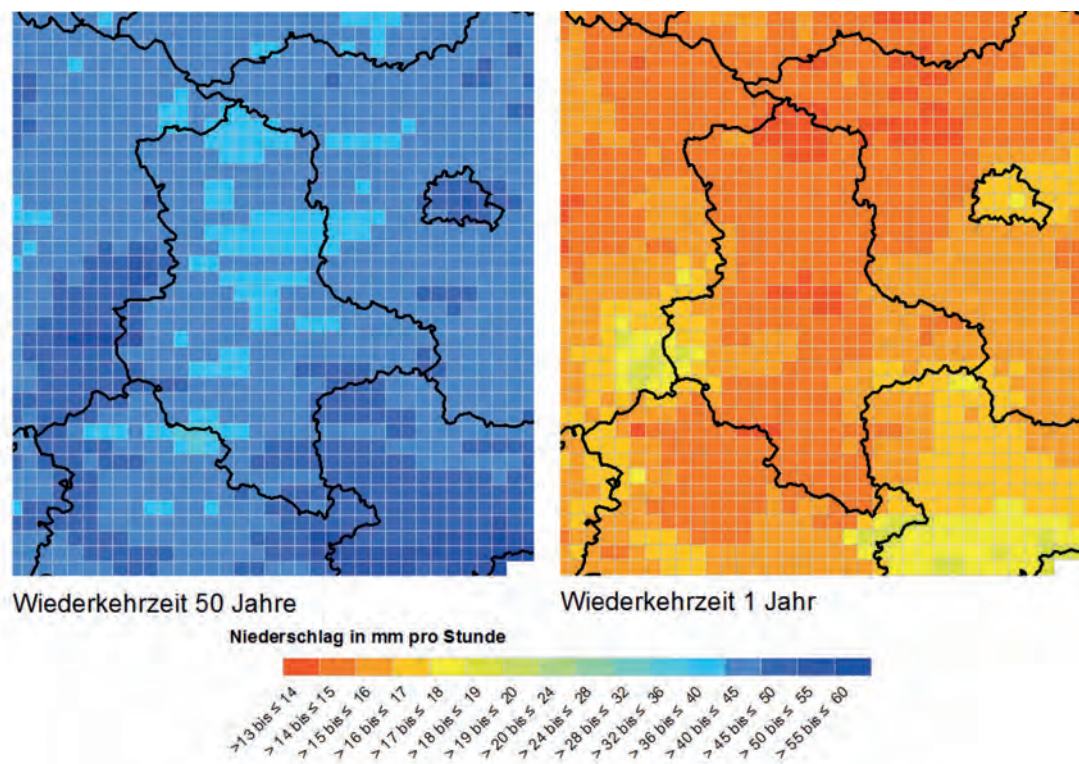


Abbildung 7). So kann für einen bestimmten Ort ermittelt werden, welche Niederschlagshöhe innerhalb einer definierten Zeitspanne (beispielsweise innerhalb von 50 Jahren) einmal auftritt. Dazu stellt der DWD den Datensatz KOSTRA zur Verfügung. Dieser liefert Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Starkregen verschiedener Andauer.

Die Abbildungen zeigen zwei verschiedene Wiederkehrzeiten, in denen eine bestimmte Niederschlagsmenge innerhalb einer Stunde in einem Gebiet

jeweils einmal auftritt. In der linken Abbildung wurde als Wiederkehrzeit ein Zeitraum von 50 Jahren gewählt, für die rechte Abbildung hingegen ein Jahr. Deutlich zeigt sich dabei die Abhängigkeit von der Topographie. Höher gelegene Regionen, wie der Harz, begünstigen das Auftreten von Starkregen.

Die Tabelle 2 stellt die Werte der Niederschlagsmengen unterschiedlicher Wiederkehrzeiten im Oberharz und dem östlich und nordöstlich im Regen-

Tabelle 2: Niederschlagsmengen unterschiedlicher Wiederkehrzeiten.

	Oberharz	mitteledeutsches Trockengebiet
Wiederkehrzeit 50 Jahre	50 bis 60 mm	36 bis 45 mm
Wiederkehrzeit 1 Jahr	17 bis 19 mm	13 bis 15 mm

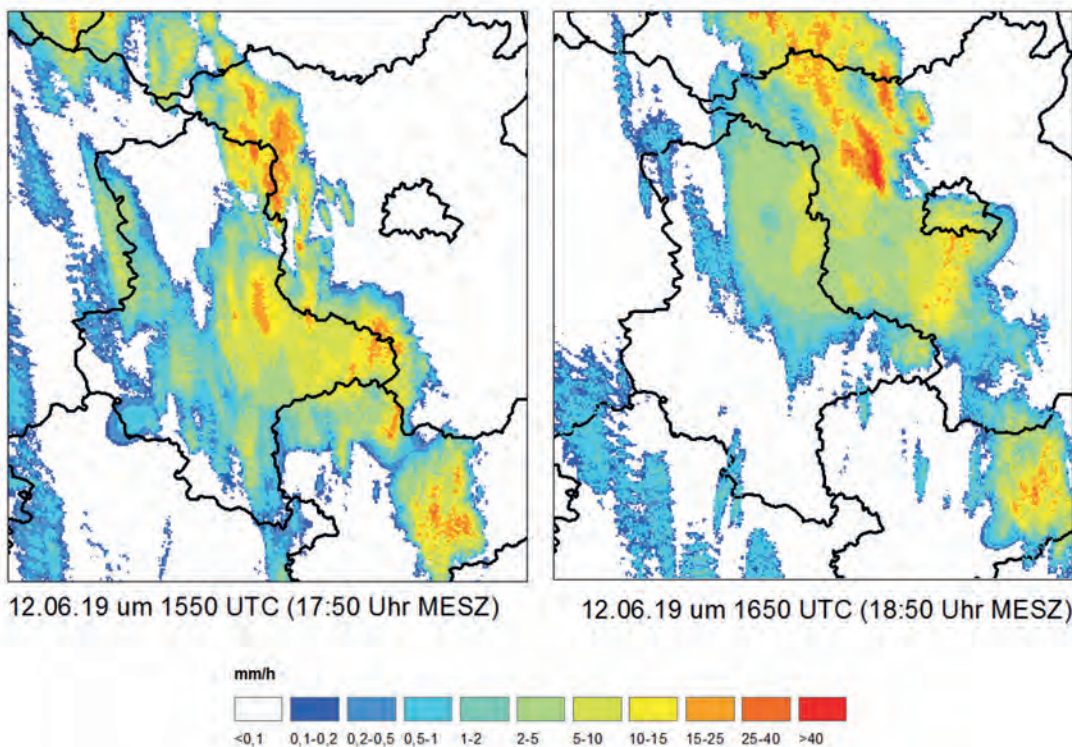


Abbildung 8:
An Bodenmessungen
angeeichte einstündige
Niederschlags-Radar-
daten am 12.06.2019
zu zwei verschiedenen
Zeitpunkten.

schatten des Harzes gelegenen mittel-deutschen Trockengebiet gegenüber.

Problematisch bei der Messung von Starkniederschlag ist, dass dieser zumeist sehr kleinräumig fällt. Die Messstationen, welche punktuelle Daten liefern, können also entweder von Starkregenereignissen getroffen werden oder nicht. Deshalb ist es möglich, dass nicht alle diese Ereignisse von Messstationen erfasst werden. Aus diesem Grund wird immer mehr auf die Nutzung der Messungen von Niederschlagsradaren gesetzt. Um mögliche Messfehler zu kompensieren, werden innerhalb des

RADOLAN-Verfahrens (Radar-Online-Aneichung) des DWD die Messungen der Niederschlagsradare mit den an den Niederschlagsstationen gemessenen Daten kombiniert. Das Ergebnis sind flächendeckende Daten, wie die im Beispiel vom 12.06.2019 (Abbildung 8).

Vergleicht man beide Abbildungen, ist zu erkennen, wie die Niederschlagszelle von Süd-West nach Nord-Ost innerhalb einer Stunde zog. Örtlich wurden mit 15 bis 40 mm in der Stunde die Niederschlagsmengen, die einer Wiederkehrzeit von einem Jahr entsprechen (13–15 mm pro Stunde), erreicht bzw. übertroffen.



Dürre kann die Bodenqualität negativ beeinflussen.

4.2 Dürreperioden

Im Jahr 2018 wurde erstmalig seit 1976 wieder eine großflächige Dürre in Sachsen-Anhalt beobachtet. Ursache waren die extremen Wetterbedingungen mit gleichzeitiger Hitze und Trockenheit. In Sachsen-Anhalt belegt das Jahr 2018 Platz 1 sowohl der trockensten (gemeinsam mit 1911) als auch der wärmsten Jahre seit 1881. Mit 352,5 Liter pro Quadratmeter (entspricht 352,5 mm) Jahresniederschlag fielen, verglichen mit der Referenzperiode 1961 bis 1990, nur knapp 65 Prozent des Niederschlags. Die Durchschnittstemperatur war mit 10,9 °C um 2,2 °C höher im Vergleich zur Referenzperiode.

Je nach Dauer, Ausprägung und Auswirkung können verschiedene Arten von Dürre unterschieden werden:

- meteorologische Dürre (ein bis zwei Monate trockener als üblich),

- landwirtschaftliche Dürre (Ernteeinbußen durch Trockenheit, die länger als zwei Monate anhält),
- hydrologische Dürre (Sinken des Grundwasserstands und der Pegel, ab vier Monate Trockenheit),
- sozio-ökonomische Dürre (Wassermangel ab einem Jahr, der sich auf die (Trink-)Wasserversorgung der Bevölkerung auswirkt).

Das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) stellt durch hydrologische Modelle, welche die Niederschlagsmessdaten des DWD nutzen, den Zustand des Bodens hinsichtlich seiner Trockenheit fortlaufend dar. Die fünf Klassen der Trockenheit („ungewöhnlich trocken“ bis hin zu „außergewöhnliche Dürre“) geben nicht die absolute Trockenheit des Bodens an. Vielmehr bezieht sich die Dürredefinition auf den langjährigen Mittelwert des Zustandes von 1951 bis

2015. Das heißt, bei außergewöhnlicher Dürre ist der Boden viel trockener als im langjährigen Mittel.

Am 31. August 2018, zum Ende des meteorologischen Sommers, zeigte sich insbesondere im Osten Deutschlands eine außergewöhnliche Bodendürre (Abbildung 9). Die Bodentrockenheit des Gesamtbodens (bis ca. 1,8 m Tiefe) baute sich bereits ab Ende April 2018 auf.

Seit April 2018 gab es in Sachsen-Anhalt nur drei Monate (Dezember 2018, Januar 2019 und März 2019) mit Niederschlag, der im landesweiten Mittel über dem des langjährigen Mittels (1961 bis 1990) lag. Dieser Niederschlag reichte aber zu keinem Zeitpunkt aus, um den Wassermangel im Boden auszugleichen. Die Bodentrockenheit, die sich im Jahr 2018 aufbaute, bestand bis zum Beginn des Herbstes 2019 weiterhin.

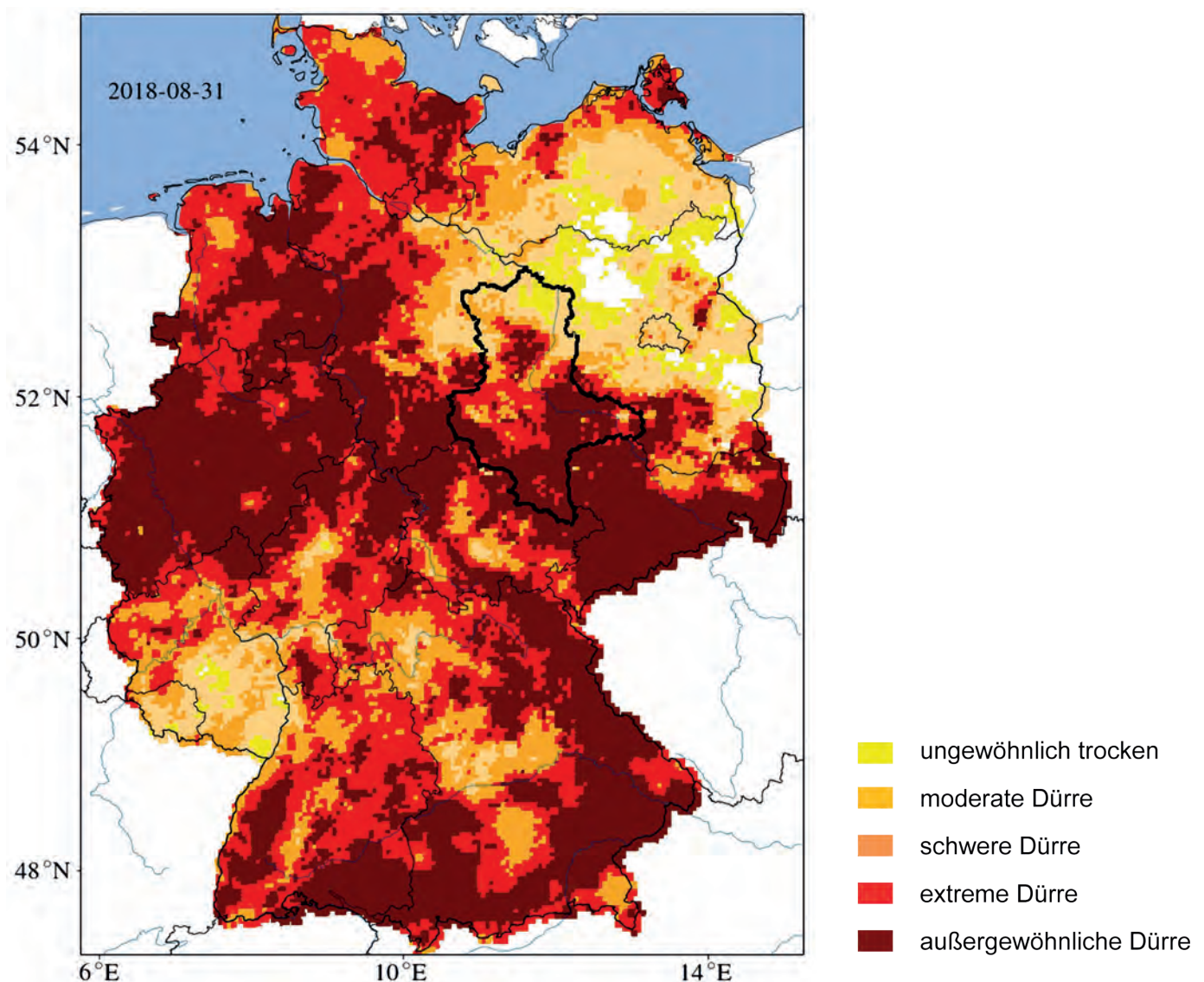


Abbildung 9: Bodentrockenheit des Gesamtbodens (bis ca. 1,8 m Tiefe) am 31.08.2018.

5 Hoch- und Niedrigwasser



Deichbruch an der Elbe
bei Fischbeck im Landkreis Stendal.

09. Juni 2013: Die Hochwasserlage an der Elbe hat sich in den Morgenstunden in Magdeburg dramatisch zugespitzt. Die Spitze des etwa 40 km langen Hochwasserscheitels hat jetzt den Stadtrand erreicht. Alle Stadtteile östlich der Elbe sind in kürzester Zeit geräumt worden. 23.000 Einwohner Magdeburgs mussten ihre Häuser verlassen.

5.1 Hochwasser

Tagelanger, großflächiger Dauerregen im Elbeeinzugsgebiet führte nur elf Jahre nach dem Jahrhunderthochwasser des Jahres 2002 erneut zu einer weiträumigen Überflutung der Elbaue. Durch das zeitgleiche Hochwasser an Mulde und Saale kam es im Mündungsbereich der beiden Flüsse in die Elbe zu einem dramatischen Anstieg des Elbepegels. Am 9. Juni wurde mit 7,47 Meter ein neuer historischer Höchstwert am Elbe-Pegel Magdeburg-Strombrücke

gemessen. Erst nach der kontrollierten Flutung der Havelpolder und dem ungewollten Deichbruch bei Fischbeck reduzierte sich die Wasserführung der Elbe. Dies führte zu einer Entspannung der Hochwasserlage am Unterlauf des Flusses.

Hochwasser sind grundsätzlich natürlich auftretende Ereignisse. Sie bezeichnen den Zustand von Gewässern, bei dem der aktuelle Wasserstand deutlich über dem durchschnittlichen liegt. Hochwasser gehören zum charakteristischen Abflussverhalten von Flüssen.

Beispielhaft soll der Hochwasserstand der Elbe am Pegel Magdeburg-Strombrücke betrachtet werden.

Abbildung 10 zeigt, dass eine periodische Häufung von Hochwasser der Elbe für Sachsen-Anhalt nicht ungewöhnlich ist. Die jährlichen Abflusshöchstwerte HQ (blau) unterliegen dabei einer großen Schwankungsbreite. Zum Vergleich ist noch der mittlere jährliche Abfluss

MQ für den gesamten Zeitraum (rot) dargestellt. Es ist erkennbar, dass das Hochwasser von 2013 die mittlere Abflussmenge um mehr als das 9-fache, das Hochwasser von 2002 immerhin noch um das etwa 7,5-fache überschritt.

Schon seit Jahrtausenden siedelten sich Menschen bevorzugt an Flussläufen an. Sie nutzen diese zur Bereitstellung von Trinkwasser, als Antriebsquelle (z. B. für Getreide- und Sägemühlen) und als Transportweg. Darüber hinaus zeichnen sich Flusstäler gegenüber ihrer Umgebung oft durch fruchtbare Böden und mildere Temperaturen aus.

Im Zuge der intensiven Besiedlung kam es häufig zur Umgestaltung der Fließgewässer. Um weitere Nutzflächen zu gewinnen, wurden Flüsse eingedeicht, Altarme trockengelegt und Flussläufe begradigt. Die zur Pufferung der Hochwasser wichtigen Auen stehen damit als natürlicher Überschwemmungsraum seltener zur Verfügung. Die Auswirkungen solcher Maßnahmen in Kombination mit den Auswirkungen des Klimawandels

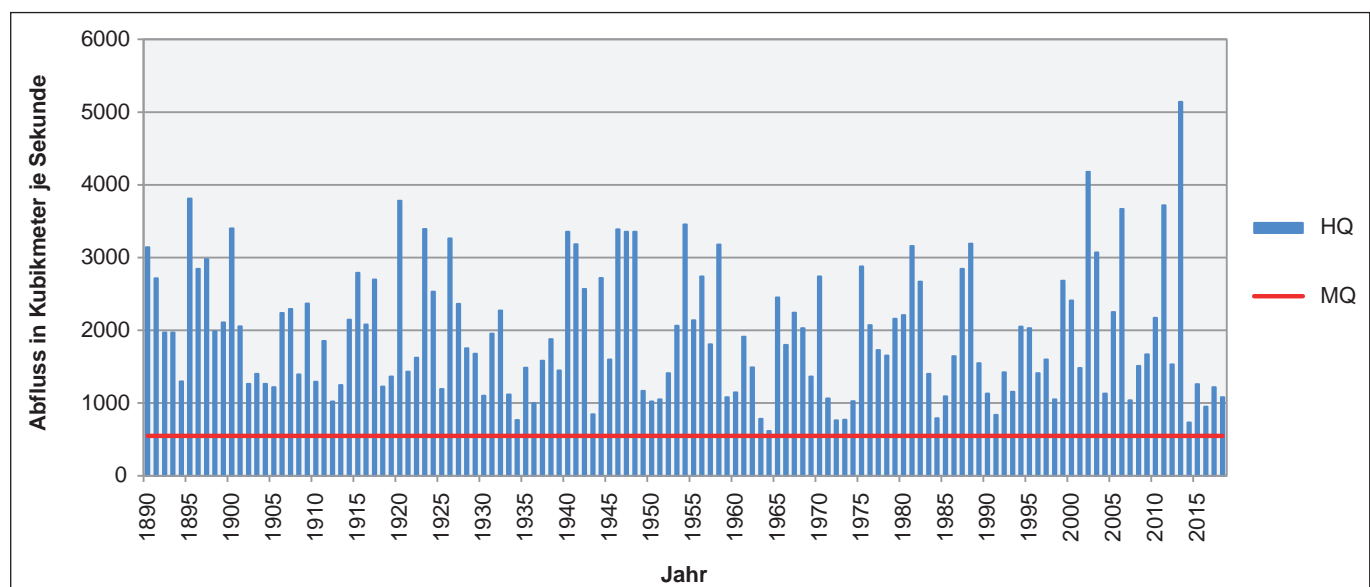


Abbildung 10: Jährliche Abflusshöchstwerte der Elbe am Pegel Magdeburg-Strombrücke im Zeitraum 1890 bis 2018.

Das Pretziener Wehr zum Schutz der Städte Magdeburg und Schönebeck vor Hochwasser der Elbe.



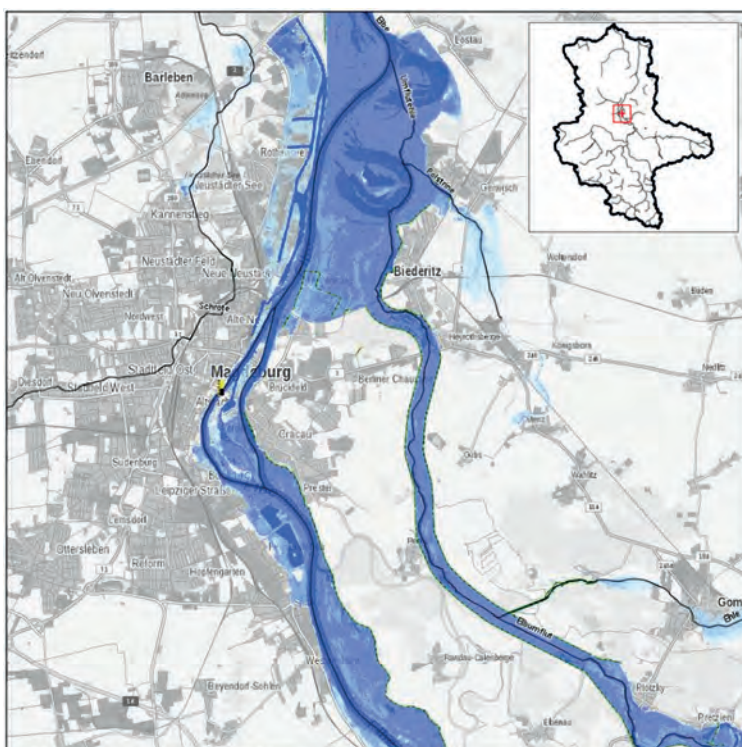
wurden insbesondere in den letzten Jahrzehnten deutlich: die Hochwasser sind extremer geworden.

Die Entstehung von Hochwassern sowie ihre Ausbreitung hängen von einem Zusammenspiel verschiedener Faktoren ab. Dazu zählen vor allem zwei natürliche Faktoren:

1. hohe Niederschläge durch langanhaltenden, großflächigen Dauerregen oder durch kurzzeitigen Starkregen sowie

2. verminderte Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens (z. B. durch hohe Sättigung nach der Schneeschmelze im Frühjahr, der Versiegelung des Bodens durch Frost im Winter oder der Versiegelung des Bodens durch Austrocknung im Sommer).

Ein Teil der Niederschläge versickert im Boden, ein weiterer Teil verdunstet entweder am Boden oder durch die Vegetation. Der Rest fließt dann oberflächlich in Richtung der Flussläufe ab und kann zu Hochwasser führen.



Legende

- Fließgewässer
- Anschlaglinie HQ Extrem
- Deiche, Wände
- ▨ Polder und Rückhaltebecken
- ⬮ Pegel
- Gewässerstationierung

Wassertiefe

	< 0.5m
	0.5 - 1.0m
	1.0 - 2.0m
	2.0 - 4.0m
	> 4.0m

Abbildung 11: Hochwassergefährdungskarte für Magdeburg am 23.09.2019.

Die Bedrohung durch Hochwasser wird durch Hochwassergefährdungs- und -risikoanalysen ermittelt. Dabei werden einerseits landschaftliche Faktoren berücksichtigt (z. B. die Größe des Flusseinzugsgebietes und die Bodenbeschaffenheit), andererseits aber auch die durch menschliches Handeln verursachten Faktoren (z. B. Landnutzung, Siedlungsstruktur). Auch die zukünftige Klimaentwicklung kann in die Darstellung einfließen.

In Abbildung 11 soll das Ergebnis der Analyse an einer Hochwassergefährdungskarte für ein Hochwasser mit der Eintrittswahrscheinlichkeit aller 100 Jahre für Magdeburg gezeigt werden.

Hochwassergefährdungskarten stellen das mögliche Ausmaß von Überschwemmungen (Fläche, Wassertiefe) dar. Gut zu sehen ist, dass sich südlich von Magdeburg die starke Hochwassergefähr-

dung durch ein Jahrhunderthochwasser auf Elbe und Elbe-Umflutkanal aufteilt, sobald das Pretziener Wehr geöffnet ist. Erst an der Mündung des Umflutkanals in die Elbe kommt es zu einem Rückstau, der die Elbaue im nordöstlichen Teil Magdeburgs weiträumig überflutet. Die Hochwassergefährdung für Magdeburgs Zentrum kann durch diese Maßnahme deutlich gemindert werden.

Für politische Entscheidungen sind besonders die Hochwasserrisikokarten bedeutsam. Sie bilden die Anzahl der potenziell betroffenen Einwohner, die betroffenen Flächen nach der Art ihrer Nutzung sowie besonders gefährdete Objekte und Schutzgebiete ab. Mit ihrer Hilfe können sowohl Informationen über die zu erwartenden Risiken und Betroffenheiten dargestellt, als auch Schutzmaßnahmen bezüglich ihrer Auswirkung abgewogen werden (Abbildung 12).

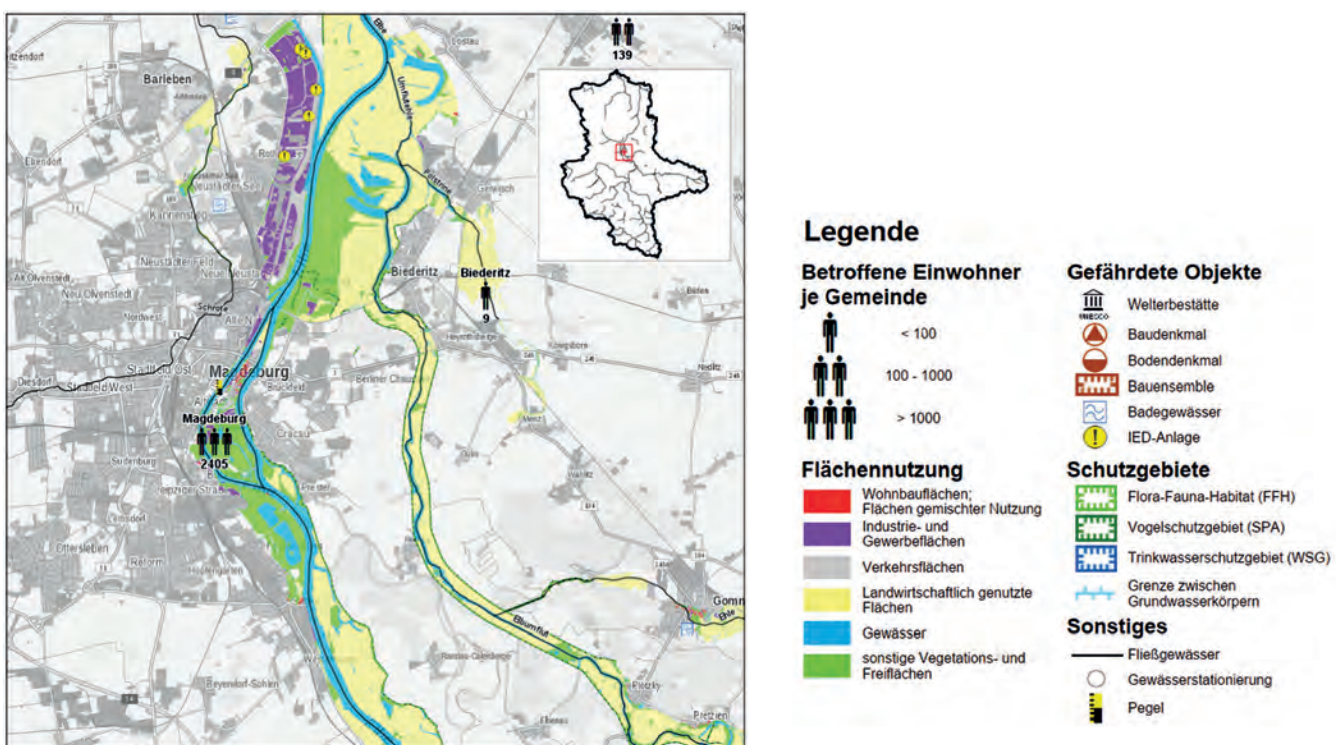


Abbildung 12: Hochwasserrisikokarte für Magdeburg am 23.09.2019.



Niedrigwasser am
Domfelsen im
September 2018.

5.2 Niedrigwasser

Im Juni 2018 kam die Schifffahrt auf der Elbe fast zum Erliegen. Für viele Touristen wurde aus einer gebuchten Flusskreuzfahrt deshalb eine Busreise.

Auch Niedrigwasser gehören zum natürlichen Abflussverhalten von Fließgewässern. Bei Niedrigwasser liegt der aktuelle Wasserstand deutlich unter dem durchschnittlichen Pegel. Niedrigwasser an Fließgewässern sind die Folge von meteorologischer Dürre, also dem länger anhaltenden Ausbleiben von Niederschlägen im Einzugsgebiet der Flüsse.

Auch hier zeigt das Beispiel des Elbe-Pegels Magdeburg-Strombrücke, dass eine periodische Häufung von Niedrigwassern der Elbe für Sachsen-Anhalt nicht ungewöhnlich ist (Abbildung 13). Der niedrigste jährliche Abfluss NQ (gelb) unterliegt ebenso wie der höchste

jährliche Abfluss einer großen Schwankungsbreite. Zum Vergleich ist auch hier der mittlere jährliche Abfluss MQ für den gesamten Zeitraum (rot) dargestellt. Es ist erkennbar, dass das Niedrigwasser von 2018 zu den historisch niedrigsten der vergangenen 128 Jahre gehörte.

Die in der Abbildung 13 dargestellten Daten zum Abfluss am Elbe-Pegel Magdeburg-Strombrücke lassen zunächst keinen Trend zur Häufung von Niedrigwasser erkennen. Anders sieht es aus, wenn man sich die Einschränkungen der Schifffbarkeit der Elbe durch Niedrigwasser im langjährigen Vergleich anschaut (Abbildung 14). Hier lässt sich zumindest eine Häufung der Beeinträchtigung der Schifffahrt in den Jahren 2016 bis 2018 feststellen.

Neben den beschriebenen Auswirkungen auf die Flussschifffahrt haben

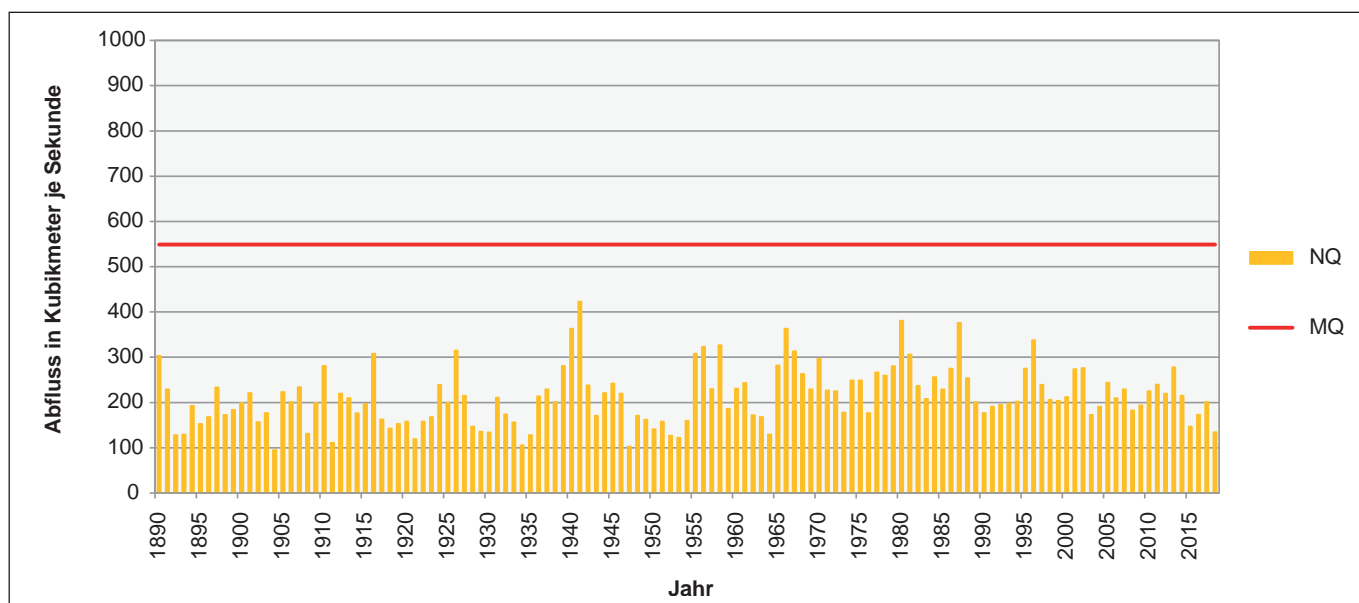


Abbildung 13: Niedrigster jährlicher Abfluss der Elbe am Pegel Magdeburg-Strombrücke im Zeitraum von 1890 bis 2018.

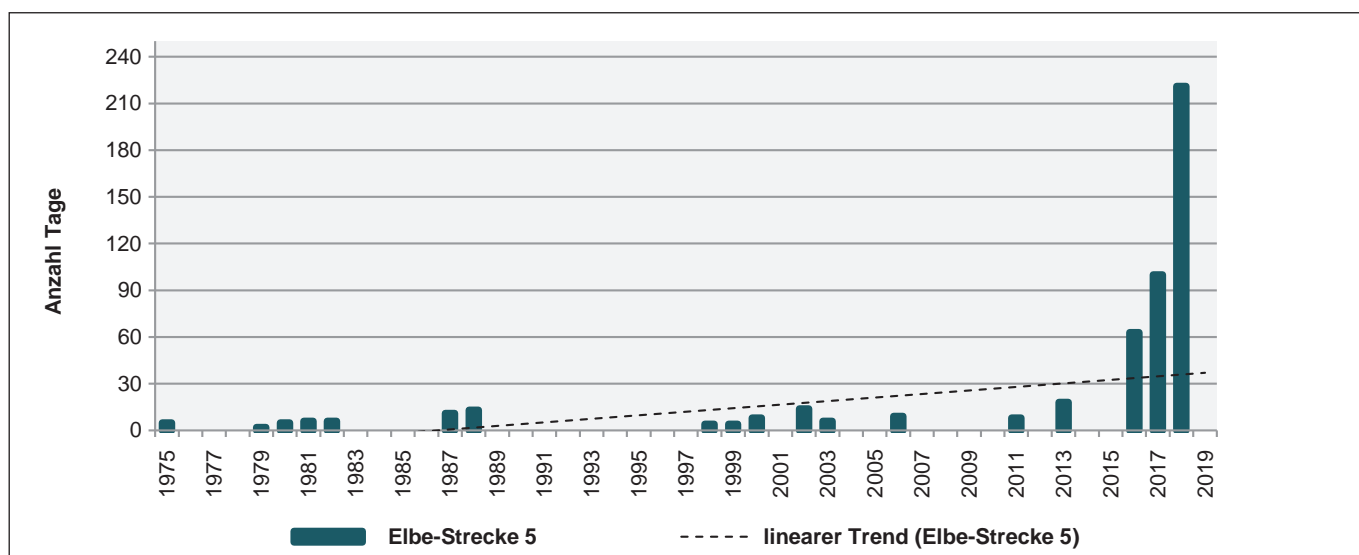


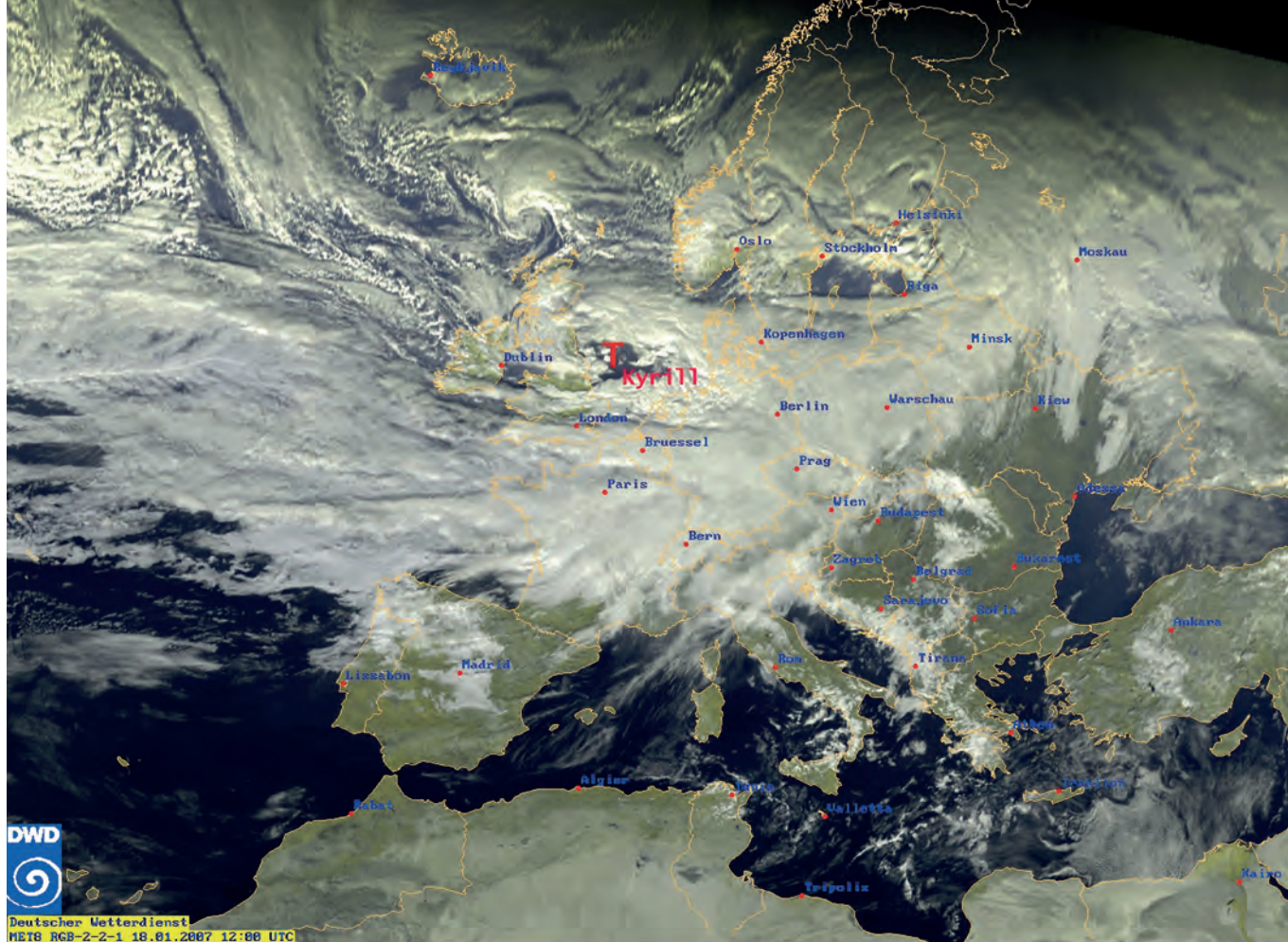
Abbildung 14: Jährliche Anzahl der Tage mit einer Beeinträchtigung der Schifffahrt wegen Niedrigwasser auf der Elbe-Strecke 5 (Saalemündung bis Industriehafen Magdeburg).

Niedrigwasser in Flüssen auch Auswirkungen auf die im Fluss lebenden Organismen und angrenzenden Ökosysteme. Bei niedrigen Pegelständen im Sommer steigt die Wassertemperatur schneller an, wodurch der Sauerstoff-

gehalt des Wassers sinkt. Dies kann zu massenhaftem Fischsterben führen, wie im Jahrhundertssommer von 2003. Auch in den angrenzenden Auen kann es durch die langanhaltende Trockenheit zu Schäden an Flora und Fauna kommen.



Die Saaleschleife bei Salzmünde – ein im 9. Jahrhundert bevorzugter Siedlungsraum.

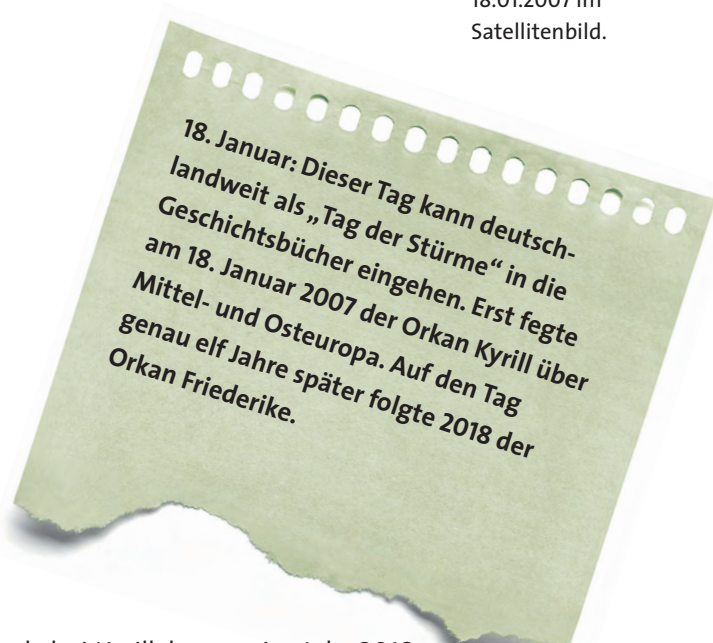


Wettersituation am
18.01.2007 im
Satellitenbild.

6 Windextreme

6.1 Starkwind

Der Orkan Kyrill war der stärkste Orkan seit dem Jahrhundertsturm Lothar im Jahr 1999. Das besondere Merkmal von Kyrill war die große betroffene Fläche. So gab es in ganz Deutschland verbreitet orkanartige Böen. Die größten Schäden traten entlang der Kaltfront auf, an der sich eine sehr aktive Gewitterlinie bildete. Am stärksten von den Orkanböen betroffen waren die Gebirge, der gesamte Küstenbereich, der Osten Deutschlands, die Kölner Bucht und der Südosten Bayerns. Es wurden Böen um 120 km/h, auf dem Brocken sogar 199 km/h gemessen. Besonders schwer traf es die Lutherstadt Wittenberg: Dort hinterließ ein von Westen kommender und parallel zur Elbe ziehender Tornado eine Schneise der Verwüstung.



18. Januar: Dieser Tag kann deutschlandweit als „Tag der Stürme“ in die Geschichtsbücher eingehen. Erst fegte am 18. Januar 2007 der Orkan Kyrill über Mittel- und Osteuropa. Auf den Tag genau elf Jahre später folgte 2018 der Orkan Friederike.

Anders als bei Kyrill, kam es im Jahr 2018 bei Friederike zu den stärksten Böen in einem nur etwa 200 km breiten Streifen von Nordrhein-Westfalen bis Sachsen. Auf relativ kleinem Raum richteten diese extremen Böen verheerende Schäden an. Auf dem Brocken wurden Windspitzen von 204 km/h gemessen. Die Folgen dieses Orkans waren vor allem wegen

Beaufort-grad	Bezeichnung	Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über freiem Gelände		Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland
		m/s	km/h	
0	Windstille	0 – 0,2	< 1	Rauch steigt senkrecht auf
1	leiser Zug	0,3 – 1,5	1 – 5	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches
2	leichte Brise	1,6 – 3,3	6 – 11	Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich
3	schwache Brise schwacher Wind	3,4 – 5,4	12 – 19	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel
4	mäßige Brise mäßiger Wind	5,5 – 7,9	20 – 28	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier
5	frische Brise frischer Wind	8,0 – 10,7	29 – 38	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen
6	starker Wind	10,8 – 13,8	39 – 49	starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Telegrafentelegraphenleitungen pfeifen im Wind
7	steifer Wind	13,9 – 17,1	50 – 61	fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich
8	stürmischer Wind	17,2 – 20,7	62 – 74	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	Sturm	20,8 – 24,4	75 – 88	Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben abgehoben)
10	schwerer Sturm	24,5 – 28,4	89 – 102	Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern
11	orkanartiger Sturm	28,5 – 32,6	103 – 117	Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden
12	Orkan	ab 32,7	ab 118	schwere Verwüstungen

Tabelle 3: Beaufort-Skala zur Klassifizierung der Windgeschwindigkeiten.

des durch den Regen aufgeweichten Bodens enorm. Es kam zu großflächigen Sturmschäden an Bäumen.

Wind ist eine Ausgleichsströmung von Luftdruckunterschieden. Diese erfolgt immer vom hohen Luftdruck (Hoch) zum tiefen Luftdruck (Tief). Je größer die Druckunterschiede sind, desto stärker weht der Wind.

Einen Einfluss auf die Windgeschwindigkeit hat auch die Rauigkeit der Oberfläche, über die der Wind weht. Weitgehend ebene Landschaften, beispielsweise die ländlich geprägten Gebiete der Magdeburger Börde oder der Altmark, bremsen den Wind nur wenig. Städte, die über eine Vielzahl unterschiedlich hoher Gebäude verfügen, bremsen die Luftbewegungen stärker. Auch nimmt mit zunehmender Höhe die bremsende Wirkung der Erdoberfläche ab, so dass die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt. Deshalb erfolgen Windmessungen nicht in Bodennähe, sondern in zehn Meter über dem Erdboden.

Durch die exponierte Lage des Brockens werden hier regelmäßig die höchsten Windgeschwindigkeiten in Sachsen-Anhalt gemessen. Seit dem 24.11.1984 steht nach Messung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der Rekord auf dem Brocken bei 263 km/h.

Zur Angabe der Windstärke wird die Beaufort-Skala genutzt (Tabelle 3). Diese ordnet Windgeschwindigkeiten nach Auswirkungen auf die Umgebung ein. Sie reicht von Stärke 0 (Windstille) bis Stärke 12 (Orkan). Ab einer Windgeschwindigkeit von 39 km/h (Windstärke 6 nach Beaufort) spricht man von



Ein Windsack zeigt die Windrichtung und -stärke an.

Starkwind, ab 75 km/h (Windstärke 9 nach Beaufort) von Sturm und ab 118 km/h (Windstärke 12 nach Beaufort) von einem Orkan.

Die durch Starkwind angerichteten Schäden gehören jedes Jahr zu den größten Elementarschäden für Versicherungen. Diese bezeichnen mit dem



Der Brocken im Harz ist durch seine exponierte Lage besonders sturmgefährdet.

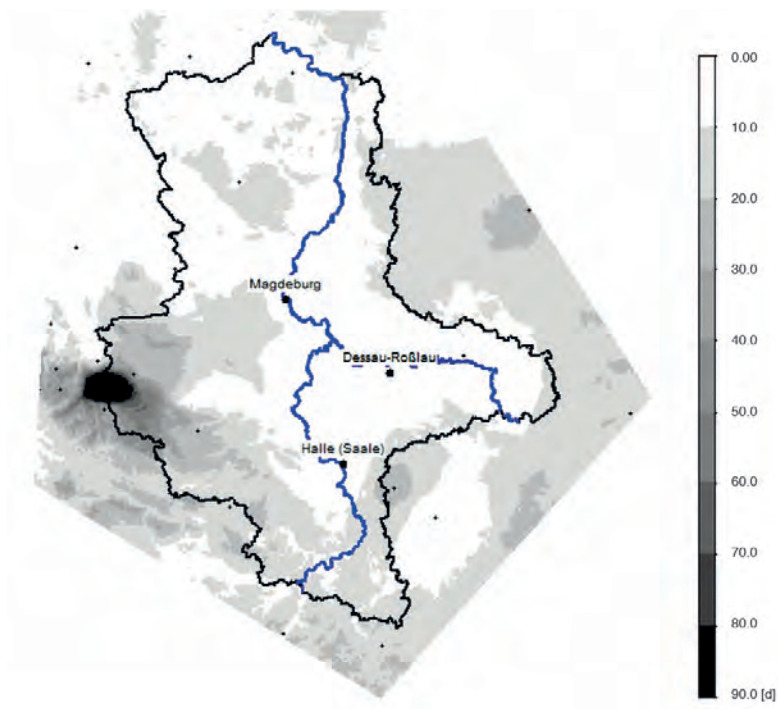


Abbildung 15: Häufigkeit der Starkwindtage in der Gegenwart.

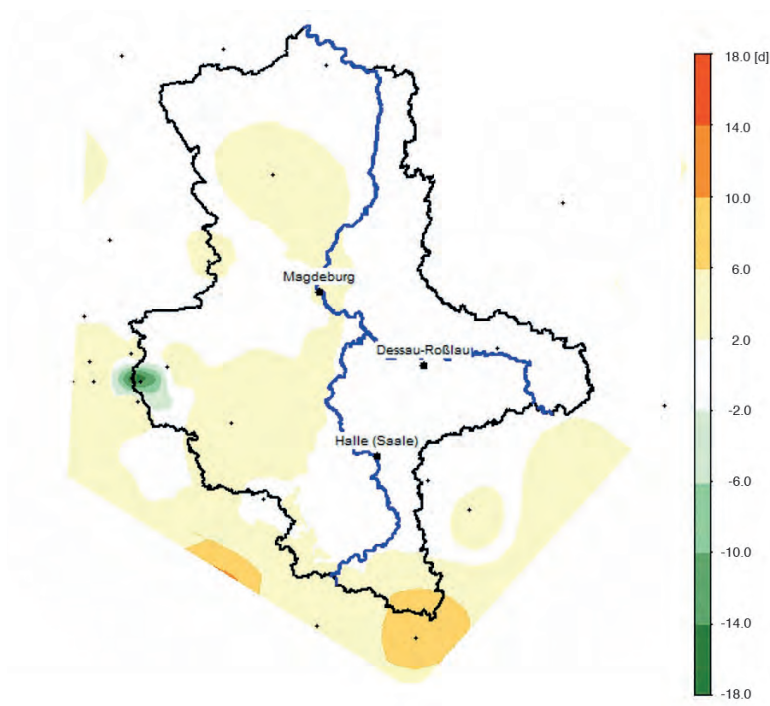


Abbildung 16: Änderungssignale der Anzahl der Starkwindtage 2071 bis 2100 gegenüber der Gegenwart (WETTREG2010).

Begriff „Elementarschaden“ die Schäden, die durch das Wirken der Natur hervorgerufen werden. Elementarschäden sind nicht vorhersehbar und können jeden Haus- und Grundstückseigentümer treffen.

Die meisten durch Starkwind verursachten Elementarschäden entstehen durch kurzzeitige Windböen. Diese Windspitzen können um bis zu dreimal höher als die mittlere Windgeschwindigkeit sein. Bereits eine geringe Zunahme der Geschwindigkeit einer Böe vervielfacht die Schäden an Gebäuden, aber auch an Waldbeständen.

In Sachsen-Anhalt ist besonders die Harzregion gefährdet, am stärksten der Oberharz. Hier ist jeder vierte Tag ein Starkwindtag. Nach Norden und Osten hin nimmt die Starkwindgefährdung in Sachsen-Anhalt deutlich ab (Abbildung 15).

Nach heutigem Kenntnisstand wird sich durch den Klimawandel auch die Sturmaktivität verändern. Das zukünftig zu erwartende regionale Sturmschadenrisiko hängt davon ab, wie die großräumigen Wettersysteme auf die Temperaturzunahme reagieren. So kann es zu Abnahmen der Starkwindtage im Oberharz um etwa 25 Prozent, in der Region westlich der Elbe bis zum Harz zu einer leichten Zunahme der Starkwindtage kommen (Abbildung 16). Dies zeigen Modelluntersuchungen.

6.2 Winderosion

Wärme und Trockenheit prägten im Jahr 2011 das Aprilwetter in Deutschland. Auf zahlreichen Äckern konnte deshalb die Feldbestellung noch nicht vorgenommen werden. Somit fehlte die schützende Bodenbedeckung, als das Tief Joachim im Norden und Osten für stürmisches Wetter sorgte. Die Station Magdeburg meldete am 8. April Windspitzen bis zur Windstärke 7. Vielerorts gab es Windverwehungen mit stark eingeschränkter Sicht durch den aufgewirbelten Staub der unbestellten Felder.

Winderosion entsteht durch Aufwirbelung, Transport und Ablagerung von Bodenmaterial, ausgelöst durch starken Wind. Mehrere Faktoren beeinflussen diesen Prozess. Einerseits muss der Boden feinkörnig sein, wie beispielsweise Sand oder Löß. Dazu kommen andererseits bestimmte Wetterbedingungen: Zur Winderosion kann es ab einer Windgeschwindigkeit von 6 m/s (Windstärke 4 nach Beaufort) bei abgetrockneter Oberfläche kommen. Der dritte wichtige Einflussfaktor ist die Bewirtschaftung durch den Menschen. Für Winderosion sind vor allem Landschaften mit geringem Bewuchs anfällig. Diese gibt es dort, wo ausgedehnte, gering bewachsene Ackerflächen nur von wenigen Hecken und Bäumen begrenzt werden. Ausgehend von den natürlichen Faktoren liegen die besonders winderosionsgefährdeten Gebiete Sachsen-Anhalts im Norden und Osten des Landes: in der Altmark, im Fläming und in der Dübener Heide (Abbildung 17).

Für die Zukunft ist unter den Bedingungen des Klimawandels mit dem



Staubsturm auf der A14 am 08.04.2011.

8. April 2011: In den Mittagsstunden kam es auf der A19 in Mecklenburg-Vorpommern zu einer Massenkarambolage mit mehr als 40 Fahrzeugen. Auslöser war offensichtlich ein Sandsturm. Am Nachmittag führte der böig auffrischende Wind auch entlang der A14 bei Schönebeck zu Lößverwehungen. Die Sichtweite lag teilweise unter zehn Meter. Rechtzeitige Verkehrswarnungen halfen, eine ähnliche Katastrophe wie am Vormittag auf der A19 zu verhindern.

Risiko der Zunahme von Winderosion zu rechnen. Steigenden Temperaturen in Verbindung mit Dürreperioden und häufiger auftretenden Starkwindereignissen werden das künftige Winderosionsrisiko erhöhen.

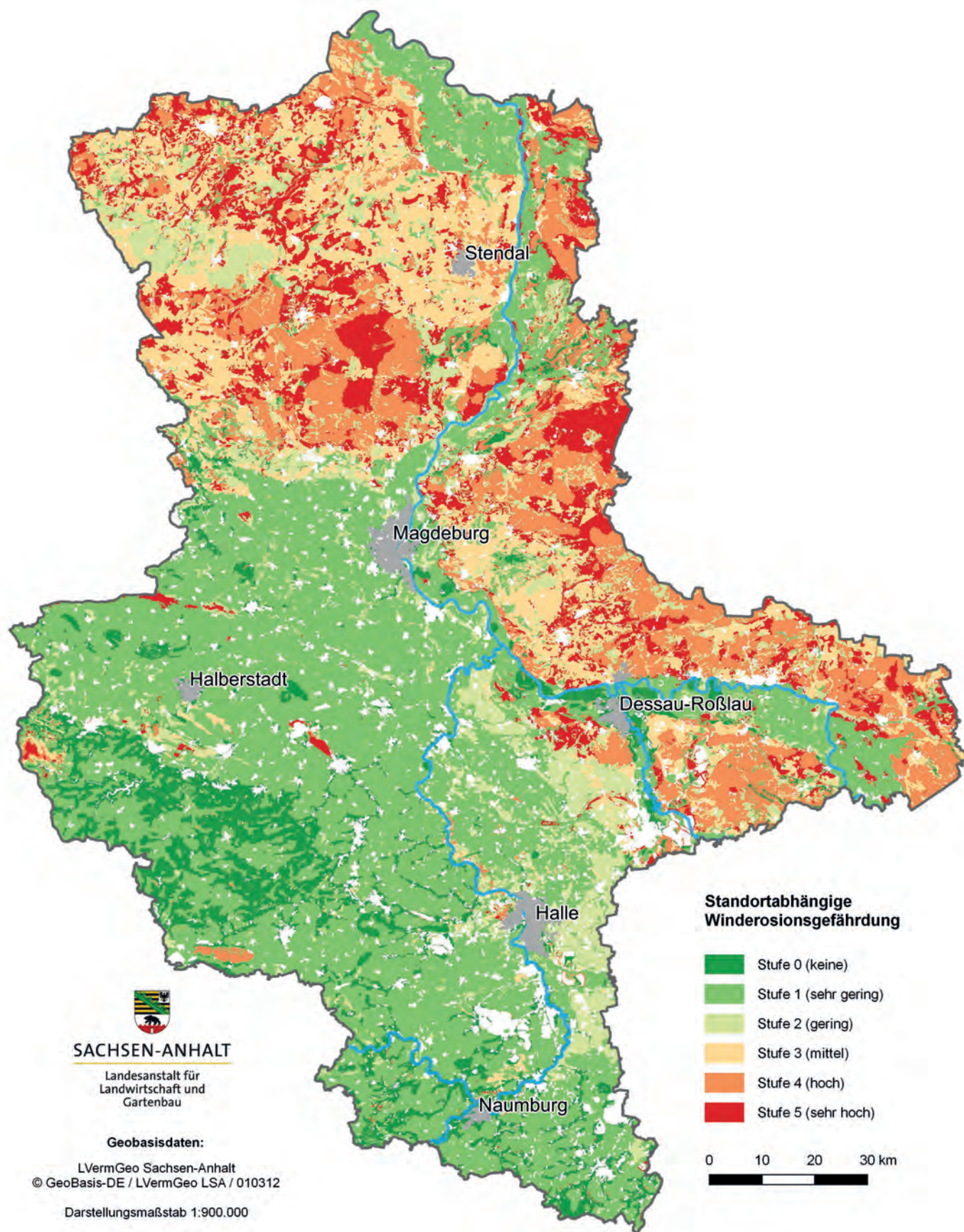


Abbildung 17: Standortabhängige Winderosionsgefährdung in Sachsen-Anhalt.

6.3 Windbruch und Windwurf

Als im Januar 2018 das Orkantief Friederike über Deutschland zog, kam es im Harz auf dem Brocken zu Spitzengeschwindigkeiten bis 204 km/h. Landesweit wurden, mit Ausnahme des äußersten Nordens von Sachsen-Anhalt, noch Windgeschwindigkeiten von über 90 km/h (schwerer Sturm) gemessen. Der Sturm richtete insbesondere in den Wäldern erhebliche ökologische und wirtschaftliche Schäden an. In Sachsen-Anhalt betrug die Schadholzmenge rund zwei Millionen Kubikmeter und damit ein Drittel mehr als elf Jahre zuvor beim

Orkan Kyrill. Betroffen waren 86 Prozent Nadelhölzer: im Harz vorwiegend Fichten und in den anderen Regionen Kiefern.

Stürme mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 130 km/h können großflächige Schäden durch Windbruch und Windwurf in den Wäldern verursachen. Wird ein Baum durch den Sturm zu weit gebogen, dann bricht er. Man spricht von Windbruch. Dabei halten die Wurzeln diesen Belastungen stand und verbleiben im Boden.



Am Brocken (Harz) sind deutlich die Spuren zweier Orkane, aber auch von Trockenheit und anschließendem Borkenkäferbefall zu erkennen.

Folgen eines Sommersturms im Naturschutzgebiet Schleesen (Zerbst/Anhalt) 2013.



Ein Teil des Stammes ragt noch in die Höhe. Wird jedoch der Baum mitsamt seinen Wurzeln umgerissen, dann spricht man von Windwurf.

Die Windstärke bestimmt zwar maßgeblich die Schadenswirkung, aber auch andere Faktoren können diese beeinflussen. So sind beispielsweise Bergkuppen und in der Hauptwindrichtung geneigte Hanglagen besonders anfällig gegenüber Starkwind. Hohe und alte Bäume sind stärker gefährdet als ein noch junger Wald. Das Gefährdungspotential ist außerdem auf kiesig-sandigen Böden oder solchen mit geringer Mächtigkeit erhöht. Aber auch die Artenzusammensetzung beeinflusst das Risiko gegenüber Windwurf. Fichten sind als Flachwurzler besonders anfällig für die Entwurzelung durch starken Wind.

Windbruch und Windwurf führen über die ökologischen, direkten Schäden hinaus zu indirekter Gefährdung für den Waldbestand. So bieten Fichten-Windwurfflächen ideale Voraussetzungen für die Vermehrung von Borkenkäfern.

Angesichts des Klimawandels muss in der Zukunft mit einer möglichen Erhöhung des Gefährdungspotentials durch Stürme gerechnet werden. Dadurch steigt auch die Windwurf- und Windbruchgefahr für Bäume und ganze Wälder. Zusätzlich kann Dürrestress die Vitalität der Wälder belasten. Das erhöht die Herausforderungen für die Waldwirtschaft, mit einer geeigneten Waldbewirtschaftung zumindest das Ausmaß dieser Schäden künftig zu vermindern.



7 Gewitter

7.1 Konvektive Unwetter

Als beeindruckende, dunkle Wand nähert sie sich: die heranziehende Gewitterfront. Erste Blitze sind am Horizont sichtbar, Sturmböen wehen über das Land, Niederschlagsstreifen sind bereits erkennbar.

So erleben wir mehrmals im Jahr, überwiegend im Sommer, Gewitter. Sie können entstehen, wenn warme und feuchte Luft vom Boden schnell aufsteigt, sich dabei abkühlt und der Wasserdampf kondensiert. Dadurch wird die vertikale Bewegung nach oben, die Konvektion, nochmals beschleunigt. Sind diese Gewitter mit heftigen Starkniederschlägen, Hagelschlag und stürmischen Fallböen verbunden, spricht man von konvektiven Unwettern. Die Fallböen können ähnliche Schäden verursachen wie Tornados. Eine solche Wettersitua-

Konvektive Gewitterzellen können große Regenmengen in kurzer Zeit mit sich bringen.

7. Juli 2015: In den Abendstunden zog eine relativ kleinräumige, allerdings äußerst schwere Gewitterzelle auf Halle (Saale) zu. Sturmböen mit Geschwindigkeiten bis 115 km/h zogen über die Stadt. Im Norden kippten Bäume auf die Oberleitung der Straßenbahn. Werbeaufsteller und Stühle wurden über den Marktplatz geweht. In den nordwestlichen Stadtteilen wurden mehrfach Dächer abgedeckt, in Lettin zerstörte der Sturm eine Stallung komplett.

tion ergab sich beispielsweise am 7. Juli 2015 im Nordwesten von Halle (Saale).



Mit Spitzengeschwindigkeiten von über 140 km/h richtete am 07.07.2015 ein Downburst (Fallböe) im Nordwesten von Halle im Ortsteil Lettin große Schäden an einer Stallung an.

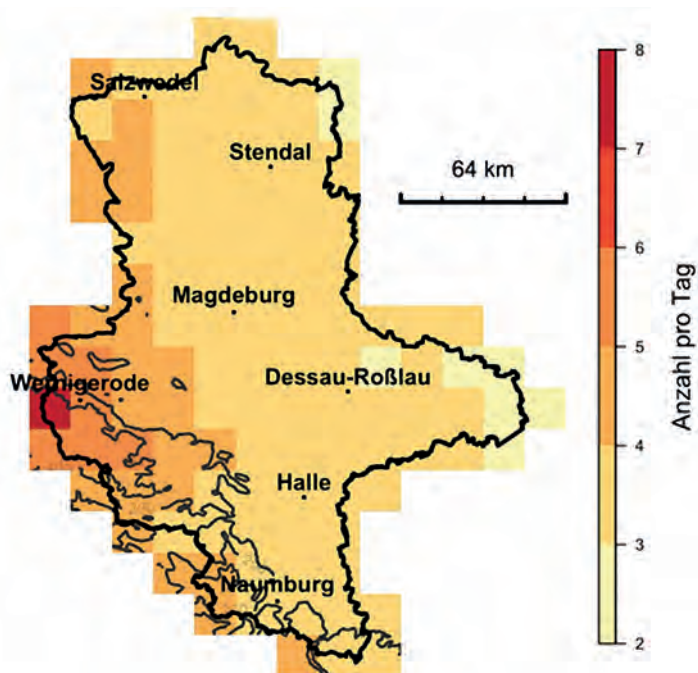


Abbildung 18: Anzahl der Gewitterzellen je konvektiv extremen Tag im Zeitraum 1979 bis 2014.

Betrachtet man die Anzahl der Zellen, die je konvektiv extremen Tag auftreten, ist eine Abnahme von West nach Ost erkennbar (Abbildung 18). Die meisten Gewitterzellen je konvektiv extremen Tag konnten im Zeitraum von 1979 bis 2014 für den Harz nachgewiesen werden.

Für etwa drei Viertel dieser konvektiv extremen Tage in Sachsen-Anhalt ist eine feuchte Südwestwetterlage verantwortlich. Sie tritt im Sommerhalbjahr an etwa 30 Prozent aller Tage in diesem Zeitraum auf.

Unter der Annahme, dass die Treibhausgasentwicklung weiter wie bisher

verläuft, kann es zum Ende dieses Jahrhunderts zu einer Zunahme von durchschnittlich neun bis zu 20 konvektiv extreme Tage pro Jahr kommen. Dies ergab eine im Auftrag des Landes Sachsen-Anhalt durchgeführte Studie zur Bestimmung des atmosphärischen Konvektionspotentials der Goethe-Universität Frankfurt am Main.

Laut der Studie ist das Gefährdungspotenzial dieser Unwetter u. a. durch Blitzeinschläge, Starkregen, Sturzfluten und Hagel in einem breiten Streifen nordöstlich des Harzes über Magdeburg bis Stendal und in der hügeligen Grenzregion zu Thüringen größer als am nördlichen und südöstlichen Rand des Landes (Abbildung 19).

Bis zum Ende dieses Jahrhunderts kann es in allen Landesteilen zu einer deutlichen Zunahme der Gefährdung kommen (Abbildung 20). Die höchste Gefährdungszunahme ist dabei nach den Erkenntnissen der Konvektionspotenzialstudie (2017) in den südlicheren Landesteilen (von Zeitz, Naumburg über Halle bis Dessau-Roßlau) zu erwarten (bis zum 3-fachen der Gegenwart). Um Wernigerode und Stendal hingegen wird die Gefährdungszunahme etwas geringer ausfallen (etwa das 1,75- bis 2-fache der Gegenwart).

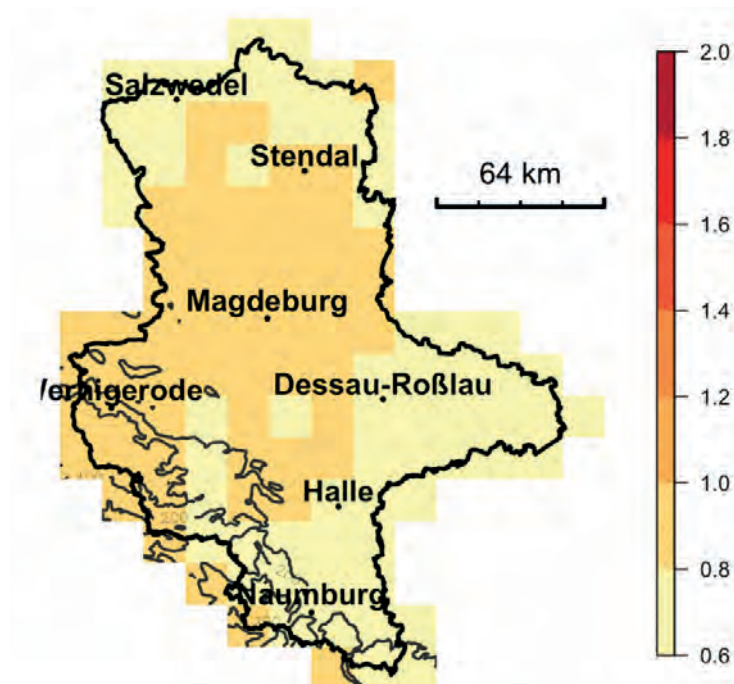


Abbildung 19: Konvektive Gefährdung im Zeitraum 1972 bis 2005 normiert auf die maximale Gefährdung dieses Zeitraums.

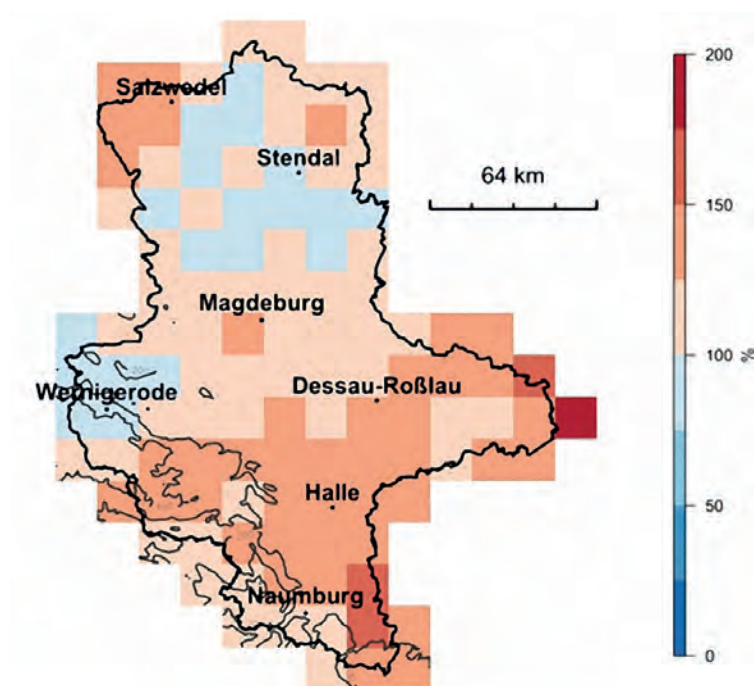


Abbildung 20: Relative Gefährdungsänderung für den Zeitraum 2071 bis 2100 im Vergleich zum Zeitraum 1972 bis 2005 in Prozent unter der Annahme des Klimaszenarios RCP8.5.



Zwischen Reinsdorf und Karsdorf entwickelte sich am 19.05.2017 eine Schlammlawine.

19. Juli 2017: Das schwere Unwetter, das am Abend über den südlichen Saalekreis gezogen ist, hinterließ starke Verwüstungen. Innerhalb kurzer Zeit fielen bis zu 50 Liter Niederschlag pro Quadratmeter. Besonders schwer traf es den Querfurter Ortsteil Zingst. Dort raste eine Schlammlawine durch den Ort. In zahlreichen Vorgärten, aber auch in Häusern und Kellern sammelte sich der Schlamm. Straßen waren zeitweise unpassierbar.

7.2 Starkniederschlags- und Sturzflutpotential bei konvektiven Unwettern

In flachen Gebieten führt der Starkregen eher zu lokal begrenzten Überschwemmungen, die umso heftiger sind, je größer die Starkregenmenge ist. Besitzt die betroffene Region ein landschaftliches Gefälle, beginnen die Wassermassen mit größer werdender Geschwindigkeit talwärts zu fließen. Man spricht von einer Sturzflut, wenn sich durch hohe Fließgeschwindigkeit eine sehr große Kraft und Wucht entwickelt. Diese kann hohe Sachschäden verursachen, Menschen in Lebensgefahr bringen und zu Hangrutschungen führen. Dabei sucht sich das Wasser Fließwege, die vorher undenkbar waren.

In vegetationsarmen landwirtschaftlichen Gebieten wird durch eine Sturzflut oft auch die oberste Bodenschicht mitgerissen. Die Sturzflut wird zu einer



Im September 2011 rollte innerhalb von neun Tagen zweimal eine Schlammlawine durch Riestedt.

Schlammlawine. Sind nicht bereits vorher entsprechende Schutzeinrichtungen gebaut worden, dann ist die Schlammlawine kaum aufzuhalten.

Sieht man sich die Ergebnisse der Studie der Goethe-Universität Frankfurt am Main an, kann man erkennen, dass die möglichen Gefahren aus Sturzfluten zum Ende des Jahrhunderts zunehmen könnten (unter der Annahme, dass sich die Entwicklung der weltweiten Treibhausgasemissionen unverändert fortsetzt). Dies lässt häufigere und stärkere Sturzflutereignisse erwarten, jedoch nicht für alle Teile Sachsen-Anhalts gleichermaßen (Abbildung 21). Besonders gefährdet könnten in Zukunft die Landesteile südlich von Magdeburg sein. Dort ist eine Erhöhung des Sturzflutpotenzials um 20 bis 50 Prozent zu erwarten.

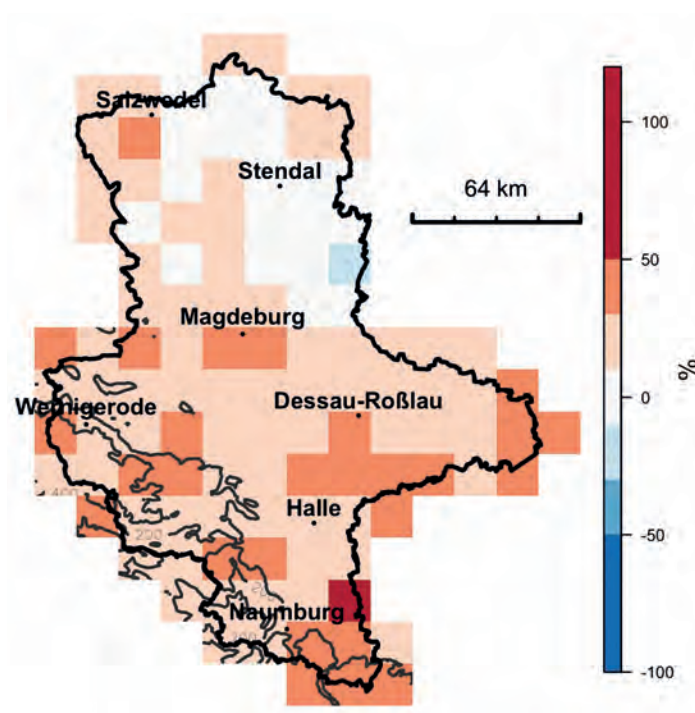


Abbildung 21: Prozentuale Änderung des Sturzflutpotenzials für die Zukunft (2071 bis 2100, RCP8.5) im Vergleich zur Gegenwart (1972 bis 2005).

Peißen bei Bernburg nach dem Hagelgewitter vom 11.09.2011.



11. September 2011: Am frühen Sonntagabend erreichte eine ungewöhnlich große Gewitterzelle aus Südwesten kommend Sachsen-Anhalt. Mit Orkanböen, Sturzfluten und Hagel fegte sie über Könnern und Bernburg hinweg. In Peißen, südlich von Bernburg, prasselten Hagelkörner so groß wie Hühnereier nieder. Innerhalb nur weniger Minuten wurden rund 90 Prozent aller Dächer in der Gemeinde durch den Hagelschlag beschädigt.

7.3 Hagelpotential bei konvektiven Unwettern

Je nach Intensität kann ein Gewitter neben heftigen Windböen und Starkregen auch mit Hagel verbunden sein. Als Hagel wird Niederschlag in Form von Eiskugeln oder Eisklumpen ab einer Größe von 0,5 cm Durchmesser bezeichnet. Im Extremfall können über 5 cm Durch-

messer erreicht werden. Die in Peißen im Jahr 2011 aufgetretenen Eisklumpen maßen sogar 7 cm.

Hagel entsteht in konvektiven Zellen mit starken Auf- und Abwinden. Eine solche Wolke ist der Cumulonimbus, die typische Gewitterwolke mit großer vertikaler Ausdehnung.

Durch die wiederholte Auf- und Abwärtsbewegung innerhalb der Gewitterzelle sowie das Aufeinandertreffen von gefrorenen Tropfen und unterkühltem Wasser bildet sich Hagel.

Dieser wächst bis zu einer gewissen Größe heran, bis das Hagelkorn zu schwer wird und sich nicht mehr durch die Aufwinde in der Luft halten kann.

Es fällt als Niederschlag zu Boden.

Aufgrund des großen Gewichts und der hohen Fallgeschwindigkeit (Hagel kann bei einem Durchmesser von zwei Zentimetern eine Geschwindigkeit von ca. 70 km/h erreichen) kann es zu Glasbruch, Schäden an Autos und sogar Gebäuden kommen.



Cumulonimbus – die typische Gewitterwolke.

Aufgrund der Kleinräumigkeit der Hagelgewitter ist eine Wettervorhersage schwer möglich. So sind die Zugbahnen von Gewitterzellen nicht genau vorherzusagen. An welchem Ort der Hagel fällt, ist daher oft erst direkt vor oder bei Eintreten des Hagelereignisses zu erkennen.

In Sachsen-Anhalt sind alle Regionen etwa gleich für Hagelschlag gefährdet. Lediglich der Oberharz besitzt ein höheres Hagelpotenzial. Nach der Studie der Goethe-Universität Frankfurt am Main ist es möglich, dass sich die Gefährdung durch Hagelereignisse auch zukünftig nicht wesentlich verändert (Abbildung 22). Dieses Ergebnis setzt die Annahme voraus, dass sich die Treibhausgasemissionen weiter ungebremsst entwickeln. Zwar nimmt die Anzahl der konvektiven Tage zu, aber das mittlere Hagelpotenzial an den einzelnen extrem konvektiven Tagen nimmt in den meisten Regionen zum Ende des

Jahrhunderts ab. So kann es zu einer Halbierung der Hagelgefährdung pro konvektiv extremen Tag in weiten Teilen des Landes kommen.

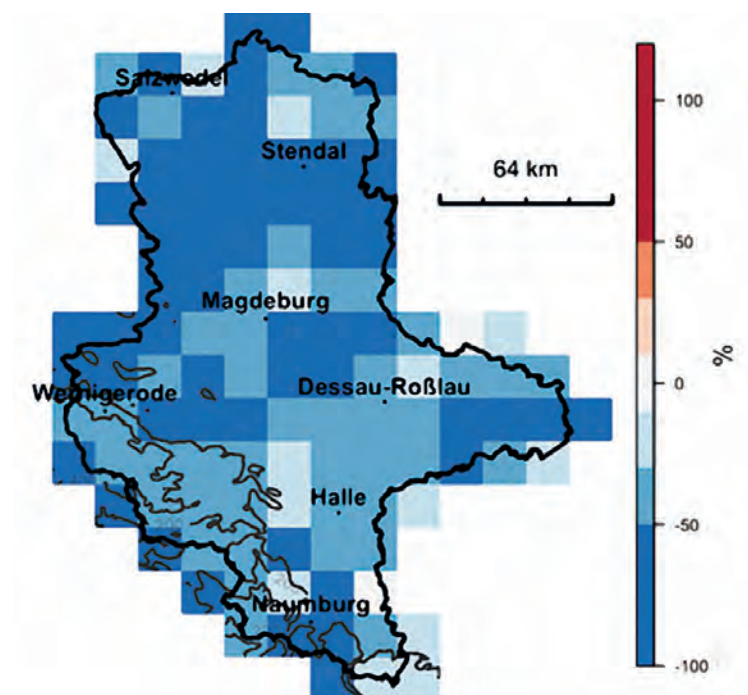


Abbildung 22: Prozentuale Änderung des Hagelpotentials in der Zukunft (2071 bis 2100, RCP8.5) im Vergleich zur Gegenwart (1972 bis 2005).

Fotos

Titel	© valdezrl – stock.adobe.com
Seite 3	© R. Kurzeder
Seite 5	Twister © James Thew – stock.adobe.com
Seite 6	Die weit über die Ufer getretene Elbe glich 2002 im Raum Magdeburg eher einem See als einem Fluss. © Jens Wolf
Seite 9	Elbe-Pegel-Magdeburg am 19.09.2018. © Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Seite 11	Der Wald bei Serno nach dem Waldbrand im Juli 2018. © W. Paul (Landesforstbetrieb Sachsen-Anhalt)
Seite 12	Eine ausgeprägte Hitzewellen gab es im August 2003 in Sachsen-Anhalt. © kieferpix – stock.adobe.com
Seite 14	In Sachsen-Anhalts großen Städten – hier Halle (Saale) – wirken sich Temperaturextreme aufgrund des Stadtklimaeffektes besonders aus. © Pixabay
Seite 15	Tropennächte können sich negativ auf die Schlafqualität auswirken. © terovesalainen – stock.adobe.com
Seite 16	Führt uns der Klimawandel in eine schneearme Zukunft? © fotoduets – stock.adobe.com
Seite 17	Starkregen kann zu Behinderungen im Straßenverkehr führen. © Animaflora PicsStock – stock.adobe.com
Seite 20	Dürre kann die Bodenqualität negativ beeinflussen. © pixabay
Seite 22	Deichbruch an der Elbe bei Fischbeck im Landkreis Stendal. © Jens Wolf
Seite 24	Das Pretziener Wehr zum Schutz der Städte Magdeburg und Schönebeck vor Hochwasser der Elbe. © Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Seite 26	Niedrigwasser am Dornfelsen im September 2018. © Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Seite 28	Die Saaleschleife bei Salzmünde – ein im 9. Jahrhundert bevorzugter Siedlungsraum. © M. Unglaube
Seite 29	Wettersituation am 18.01.2007 im Satellitenbild. Quelle: DWD
Seite 31	Ein Windsack zeigt die Windrichtung und -stärke an. © by-studio – stock.adobe.com
Seite 31	Der Brocken im Harz ist besonders sturmgefährdet. © M. Unglaube
Seite 33	Staubsturm auf der A14 am 08.04.2011. © Hendrik Helbig
Seite 35	Am Brocken (Harz) sind deutlich die Spuren zweier Orkane, aber auch von Trockenheit und anschließendem Borkenkäferbefall zu erkennen. © André Franke – stock.adobe.com
Seite 36	Folgen eines Sommersturms im Naturschutzgebiet Schleesen (Zerbst/Anhalt) 2013. © W. Paul
Seite 37	Konvektive Gewitterzellen können große Regenmengen in kurzer Zeit mit sich bringen. © Christian Senft – stock.adobe.com
Seite 38	Mit Spitzengeschwindigkeiten von über 140 km/h richtete am 07.07.2015 ein Downburst (Fallböe) im Nordwesten von Halle im Ortsteil Lettin große Schäden an einer Stallung an. © M. Unglaube/LAU
Seite 40	Zwischen Reinsdorf und Karsdorf entwickelte sich am 19.05.2017 eine Schlammlawine. www.frontgewitter.de
Seite 41	Im September 2011 rollte innerhalb von neun Tagen zweimal eine Schlammlawine durch Riestedt. © Amt für Brand- und Katastrophenschutz des Landkreises Mansfeld-Südharz
Seite 42	Peißen bei Bernburg nach dem Hagelgewitter vom 11.09.2011. © bbglive.de
Seite 43	Cumulonimbus – die typische Gewitterwolke. © Pixabay

Tabellen

Tabelle 1:	Vergleich meteorologischer Daten der Sommermonate 2018 mit dem langjährigen Mittel der Referenzperiode 1961 bis 1990	10
Tabelle 2:	Niederschlagsmengen unterschiedlicher Wiederkehrzeiten	18
Tabelle 3:	Beaufort-Skala zur Klassifizierung der Windgeschwindigkeiten. Quelle: DWD	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Fakten zum Klimawandel in Deutschland von 1881 bis heute. Quelle: © Deutscher Wetterdienst (DWD)	7
Abbildung 2:	Abweichung der langjährigen Temperaturmittel der Sommer 1989 bis 2018 gegenüber dem langjährigen Temperaturmittel der Sommer 1961 bis 1990 (in Kelvin). Quelle: National Aeronautics and Space Administration, NASA (verändert).	8
Abbildung 3:	Beispielhafter Verlauf der Tagesmitteltemperatur und der Tagesniederschlagssumme an der Station Wittenberg im Jahr 2018 sowie Mittel der täglichen Temperatur der Referenzperiode 1960 bis 1990. Quelle: DWD, Abbildung: Eigene Darstellung	10
Abbildung 4:	Langjährige Temperaturmittel sowie Tageshöchsttemperaturen für 2018 der Station Wittenberg. Quelle: DWD, Abbildung: Eigene Darstellung.	13
Abbildung 5:	Maximale Dauer der Hitzeperioden für die Station Halle (1951 bis 2017) und Magdeburg (1951 bis 2019). Quelle: DWD, Abbildung: Eigene Darstellung	14
Abbildung 6:	Anzahl der Tropennächte in Sachsen-Anhalt 2018. Quelle: Deutscher Klimaatlas (DWD), verändert	15
Abbildung 7:	Einstündige Niederschlagshöhen für ein Starkregenereignis mit einer Wiederkehr- zeit von 50 Jahren bzw einem Jahr. Quelle: DWD, Kostra 2010R; sowie Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2011	18
Abbildung 8:	An Bodenmessungen angeeichte einstündige Niederschlags-Radardaten am 12.06.2019 zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Quelle: Deutscher Wetterdienst sowie Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2011	19
Abbildung 9:	Bodentrockenheit des Gesamtbodens (bis ca. 1,8 m Tiefe) am 31.08.2018. Quelle: Dürremonitor Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)	21
Abbildung 10:	Jährliche Abflusshöchstwerte der Elbe am Pegel Magdeburg-Strombrücke im Zeitraum 1890 bis 2018. Quelle: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Abbildung: Eigene Darstellung	23
Abbildung 11:	Hochwassergefährdungskarte für Magdeburg am 23.09.2019. Quelle: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt	24
Abbildung 12:	Hochwasserrisikokarte für Magdeburg am 23.09.2019. Quelle: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt	25
Abbildung 13:	Niedrigster jährlicher Abfluss der Elbe am Pegel Magdeburg-Strombrücke im Zeitraum von 1890 bis 2018. Quelle: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt; Abbildung: Eigene Darstellung	28
Abbildung 14:	Jährliche Anzahl der Tage mit einer Beeinträchtigung der Schifffahrt wegen Niedrigwasser auf der Elbe-Strecke 5 (Saalemündung bis Industriehafen Magdeburg). Quelle: Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Magdeburg, Abbildung: Eigene Darstellung	28
Abbildung 15:	Häufigkeit der Starkwindtage in der Gegenwart. Quelle: Klimafolgenstudie (2012)	32
Abbildung 16:	Änderungssignale der Anzahl der Starkwindtage 2071 bis 2100 gegenüber der Gegenwart (WETTREG2010). Quelle: Klimafolgenstudie (2012)	32
Abbildung 17:	Standortabhängige Winderosionsgefährdung in Sachsen-Anhalt. Quelle: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt	34
Abbildung 18:	Anzahl der Gewitterzellen je konvektiv extremen Tag im Zeitraum 1979 bis 2014. Quelle: Konvektionspotenzialstudie (2017)	38
Abbildung 19:	Konvektive Gefährdung im Zeitraum 1972 bis 2005 normiert auf die maximale Gefährdung dieses Zeitraums. Quelle: Konvektionspotenzialstudie (2017)	39
Abbildung 20:	Relative Gefährdungsänderung für den Zeitraum 2071 bis 2100 im Vergleich zum Zeitraum 1972 bis 2005 in Prozent unter der Annahme des Klimaszenarios RCP8.5. Quelle: Konvektionspotenzialstudie (2017)	39
Abbildung 21:	Prozentuale Änderung des Sturzflutpotentials für die Zukunft (2071 bis 2100, RCP8.5) im Vergleich zur Gegenwart (1972 bis 2005). Quelle: Konvektionspotenzialstudie (2017)	41
Abbildung 22:	Prozentuale Änderung des Hagelpotentials in der Zukunft (2071 bis 2100, RCP8.5) im Vergleich zur Gegenwart (1972 bis 2005). Konvektionspotenzialstudie (2017)	43

Quellenverzeichnis

Die im Rahmen der Erarbeitung dieser Broschüre verwendeten Informationen und Daten sind den hier nachfolgend dargestellten Quellen entnommen. (Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.)

Beobachteter Klimawandel (2018): Beobachteter Klimawandel in Sachsen-Anhalt, Broschüre des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt, URL: https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Klima/Fachberichte_Klima/Dateien/Beobachteter_Klimawandel_in_Sachsen-Anhalt_Broschuere_2018.pdf (letzter Aufruf: 11/2019)

Bodenerosion (2019): Vom Winde verweht – Bodenerosion durch Wind – Entstehen, Prozesse, Schäden, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Stand 08/2019, URL: https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Boden/_Texte/Bodenerosion%20durch%20Wind.html

Bodenerosion und Sturzfluten (2018): Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten, Schriftenreihe der LLG Heft 1/2018; URL: https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/agrarökologie/18_erosionsleitfaden.pdf (letzter Aufruf: 11/2019)

Das Salzlandmagazin, URL: <https://www.bbglive.de/2015/09/02/geschichte-des-unwetter-vom-11-september-im-fernsehen/> (letzter Aufruf: 11/2019)

Deutscher Klimaatlas: Deutscher Wetterdienst (DWD), URL: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html (letzter Aufruf: 11/2019)

Deutschlandwetter (2018): Deutschlandwetter im Jahr 2018; Pressemitteilung des Deutschen Wetterdienstes vom 28.12.2018: URL: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228_deutschlandwetter_jahr2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (letzter Aufruf: 11/2019)

Deutschlandwetter Sommer (2018): Deutschlandwetter im Sommer 2018, Pressemitteilung des Deutschen Wetterdienstes vom 30.08.2018: URL: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180830_deutschlandwetter_sommer.html?nn=636156 (letzter Aufruf: 11/2019)

Hochwasser (2013): Das Hochwasser 2013 – Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland, Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e. V., Schriftenreihe (Heft 53), URL: https://www.dkkv.org/fileadmin/user_upload/Veroeffentlichungen/Publikationen/DKKV_53_Hochwasser_Juni_2013.pdf (letzter Aufruf: 11/2019)

Klimaanalyse (2014): Klimaanalyse Sachsen-Anhalt für den Zeitraum 1951-2014 auf Basis von Beobachtungsdaten, Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Nr.: 1/2016, URL: https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Wir_ueber_uns/Publikationen/Berichte_des_LAU/Dateien/Berichte_LAU_2016_1_09_12_2016.pdf (letzter Aufruf: 11/2019)

Klimafolgenstudie (2012): Klimafolgenstudie 2012 – Klimadiagnose und Klimaprojektion, Extremereignisse, Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Nr.: 4/2013, URL: https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Wir_ueber_uns/Publikationen/Berichte_des_LAU/Dateien/Berichte_LAU_2013_4.pdf (letzter Aufruf: 11/2019)

Konvektionspotenzialstudie (2017): Bestimmung des atmosphärischen Konvektionspotenzials über Sachsen-Anhalt, Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Nr.: 1/2017, URL: https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Wir_

ueber_uns/Publikationen/Berichte_des_LAU/Dateien/Bericht_des_LAU_2017_1.pdf
(letzter Aufruf: 11/2019)

Lexikon der Geografie, URL: www.spektrum.de/lexikon/geographie (letzter Aufruf: 11/2019)

Starkregen und Sturzfluten: Starkregen und Sturzfluten – Was tun?, Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt, URL: https://mule.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/MLU/02_Umwelt/Wasser/00_Startseite_Wasser/MULE_Starkregen_web_0816.pdf (letzter Aufruf: 11/2019)

UnwetterZentrale, URL: www.unwetterzentrale.de (letzter Aufruf: 11/2019)

Waldzustandsbericht (2018): Waldzustandsbericht 2018 Sachsen-Anhalt, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, URL: https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Sachgebiet/Waldzustand_Boden/WZE-Berichte/WZB2018_Sachsen-Anhalt_Internet.pdf (letzter Aufruf: 11/2019)

Wetter.de, URL: www.wetter.de

Wetterlexikon, Deutscher Wetterdienst (DWD), URL: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/lexikon_node.html (letzter Aufruf: 11/2019)

Wikipedia, URL: www.wikipedia.org

