



Klima und Umwelt
Agrarmeteorologie
Kärnerstr. 68, 04288 Leipzig
www.dwd.de

Abteilung 5 – Klima, Luft, Lärm, Strahlen
Fachzentrum Klima
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
www.lfulg.sachsen.de

Kap. 1: F. Böttcher

Kap. 2: Dr. Franke, D. Rumpf, U. Schreiber
Kap. 3: Dr. Philipp, Dr. Weißbach, P. Walther,
Dr. Julich, A. Sohr, B. Siemer, Dr. Börke,
U. Mellentin (A4) und J. Drewlow,
U. Winkler (LTV) sowie A. Winkler,
S. Werisch (BfUL)
Kap. 4: Dr. Eisenhauer, A. Peters (SBS)
Kap. 5: D. Zederer, M. Sacher, Dr. Karalus,
M. Panicke, Dr. Schmidt
Kap. 6: M. Meltzer, F. Tränkner
Kap. 7: A. Pausch, U. Wolf, Dr. Bastian

Wetter trifft auf Klima

Jahresrückblick 2021

Fachbeitrag

Inhalt

1.	Klimatologische Einordnung global, in Europa und Deutschland, sowie zur phänologischen Entwicklung in Deutschland und Sachsen	2
2.	Klimatologische Einordnungen und langfristige Klimaänderungen in Sachsen	7
3.	Auswirkungen der Witterung auf die Ressource Wasser	14
4.	Auswirkungen der Witterung auf die Waldentwicklung	37
5.	Auswirkungen der Witterung auf die Landwirtschaft	43
6.	Auswirkungen der Witterung auf den Wein- und Gartenbau	49
7.	Auswirkungen der Witterung auf die Luftqualität	56

Redaktionelle Bearbeitung: Dr. Johannes Franke, Katja Rühle (Fachzentrum Klima, LfULG)
E-Mail: johannes.franke@smekul.sachsen.de
Telefon: 0351 2612-5501
Redaktionsschluss: 25.01.2022

1. Klimatologische Einordnung global, in Europa und Deutschland, sowie zur phänologischen Entwicklung in Deutschland und Sachsen

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) fasst die meteorologischen Bedingungen des Jahres 2021 wie folgt zusammen:

„Rekordverdächtige Hitze und Regenfälle, verheerende Brände und lähmende Dürre gehörten zu den extremen Wetter-, Klima- und Wasserereignissen des Jahres 2021 mit Auswirkungen auf die Menschen sowie Wirtschaft und Umwelt, die das Kalenderjahr bei weitem überdauern werden.“

Nach Angaben der WMO sind die letzten sieben Jahre die sieben wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen. Ein abkühlendes La Niña-Ereignis zu Beginn und Ende des Jahres 2021 hatte einen kurzlebigen und geringen abkühlenden Effekt auf die globalen Temperaturen, kehrte den langfristigen Erwärmungstrend als Folge der Rekord-Treibhausgaskonzentrationen durch menschliche Aktivitäten aber nicht um.

Die kombinierten Auswirkungen der natürlichen Klimavariabilität und des Klimawandels zeigten sich im Laufe des Jahres 2021 und die WMO beschreibt folgende besonders bemerkenswerte Ereignisse.

- Dem Taifun Rai, der am 16. Dezember auf den Philippinen in der höchsten Klassifizierungsstufe 5 auf Land traf, fielen mehrere hundert Menschen zum Opfer und weit verbreitete Verwüstungen wurden angerichtet, die selbst in einem Land, das regelmäßig von tropischen Wirbelstürmen heimgesucht wird, als außergewöhnlich einzustufen sind. Steigende Meeresspiegel und intensivere Niederschlagsmuster haben die Auswirkungen erhöht.
- Eine Hitzewelle ließ Ende Juni in Kanada und angrenzenden Teilen des Nordwestens der USA die Lufttemperatur in British Columbia auf fast 50 °C steigen, verursachte Hunderte von hitzebedingten Todesfällen und schürte verheerende Brände. Die gleiche Region wurde dann im November von außergewöhnlichen Regenfällen und Überschwemmungen heimgesucht.
- Im Death Valley, Kalifornien, wurden im Juli während einer von mehreren Hitzewellen im Südwesten der USA 54,4 °C erreicht.
- Viele Teile des Mittelmeers erlebten im August Rekordtemperaturen. Sizilien erreichte mit 48,8 °C einen vorläufigen Europarekord. Große Waldbrände ereigneten sich in vielen Teilen der Region, wobei Algerien, die Südtürkei und Griechenland besonders stark betroffen waren.
- Extreme Regenfälle trafen die chinesische Provinz Henan vom 17. bis 21. Juli. Die Stadt Zhengzhou verzeichnete am 20. Juli 201,9 mm Niederschlag in einer Stunde. Das ist als Tagesniederschlag ein chinesischer Rekord. Insgesamt fielen in Zhengzhou während der genannten fünf Tage 720 mm Niederschlag. Das ist mehr als eine mittlere Jahressumme.
- Westeuropa erlebte Mitte Juli einige der schwersten Überschwemmungen seit Beginn der Aufzeichnungen. Teile Deutschlands und Belgiens erhielten am 14. und 15. Juli über einem weiten Gebiet 100 bis 150 mm über bereits gesättigten Boden, was zu Überschwemmungen und Erdbeben und mehr als 200 Todesfällen führte.
- Anhaltend überdurchschnittliche Niederschläge in der ersten Jahreshälfte in Teilen des nördlichen Südamerikas, insbesondere im nördlichen Amazonasbecken, führten zu

erheblichen und langlebigen Überschwemmungen in der Region. Der Rio Negro in Manaus (Brasilien) erreichte den höchsten Stand seit Beginn der Aufzeichnungen.

- Überschwemmungen trafen auch Teile Ostafrikas, wobei der Südsudan besonders stark betroffen ist.
- Erhebliche Dürren betrafen einen Großteil des subtropischen Südamerikas im zweiten Jahr in Folge. Die Niederschläge lagen in weiten Teilen Südbrasilens, Paraguays, Uruguays und Nordargentinens deutlich unter dem Durchschnitt.
- Die fortbestehende Dürre trug auch zu einer humanitären Krise in Teilen des Horns von Afrika, einschließlich Somalias, und im Süden Madagaskars bei.

Der weltweite Überblick zeigt, dass 2021 eine global gemittelte Abweichung der Jahresmitteltemperatur von 0,75 K aufwies (siehe Abbildung 1), und das, obwohl eine abkühlende Wirkung von La Niña-Ereignissen festgestellt werden konnte.

Aus Sicht der Munich RE löste 2021, ähnlich wie 2005 und 2011, weltweit die zweithöchsten Versicherungsleistungen nach dem Jahr 2017 aus, das seinerzeit von einer besonderen Häufung tropischer Wirbelstürme geprägt war. Demgegenüber teilte der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) mit, dass 2021 insbesondere aufgrund der Schäden im Umfeld der Überschwemmungskatastrophe das teuerste Jahr für die Versicherungswirtschaft in Deutschland war.

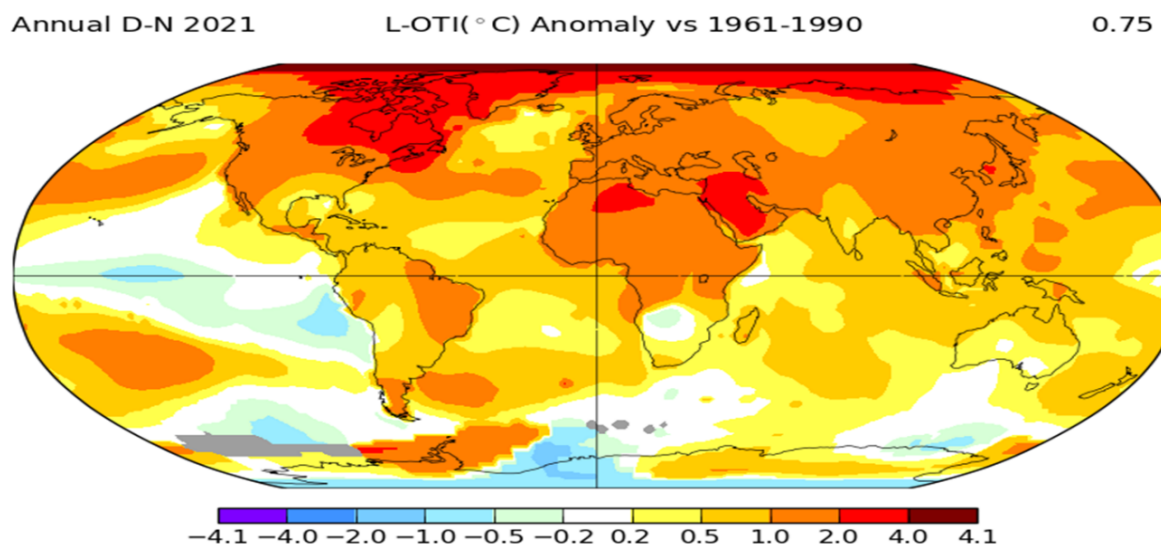


Abbildung 1: Abweichung der Jahresmitteltemperatur zwischen Dezember 2020 und November 2021 (Quelle: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/>)

In Europa, speziell in Mitteleuropa, war nur das Frühjahr etwas kühler als der Durchschnitt (siehe Abbildung 2). In den anderen Jahreszeiten wurden erneut übernormale Temperaturbedingungen registriert.

Hinsichtlich der Jahressumme des Niederschlages liegen die Werte in Europa um den Normalwert. Einige Regionen sind niederschlagsarm gewesen. Dazu gehörten Gebiete in Griechenland und der Türkei. Dort war die Niederschlagsarmut schon aus dem Winter mit in die erste Jahreshälfte übertragen worden und führte dann in Kombination mit Hitzewellen zu den beschriebenen Waldbrandereignissen.

Die Sonnenscheindauer variierte in Europa zwischen 75 und 125 % der Normalwerte, wobei sich die geringeren Werte in einem Streifen von Westpolen über die Nordhälfte Deutschlands und die Nordsee bis nach Südostengland zogen, sowie Teile des Nordostatlantiks einnahmen. Jahreszeitlich ist die räumliche Verteilung im Winter sehr ungleichmäßig gewesen. Während im Frühling eher die zentralen und östlichen Teile Europas geringe Sonnenscheindauern zeigten, waren es im Sommer eher die westlichen Teile, wobei Schottland, Wales und Irland davon abwichen. Im Herbst zeigte sich die Sonne in Nordeuropa unterdurchschnittlich, während insbesondere nach Südosten hin deutlich mehr Sonnenschein gemessen werden konnte.

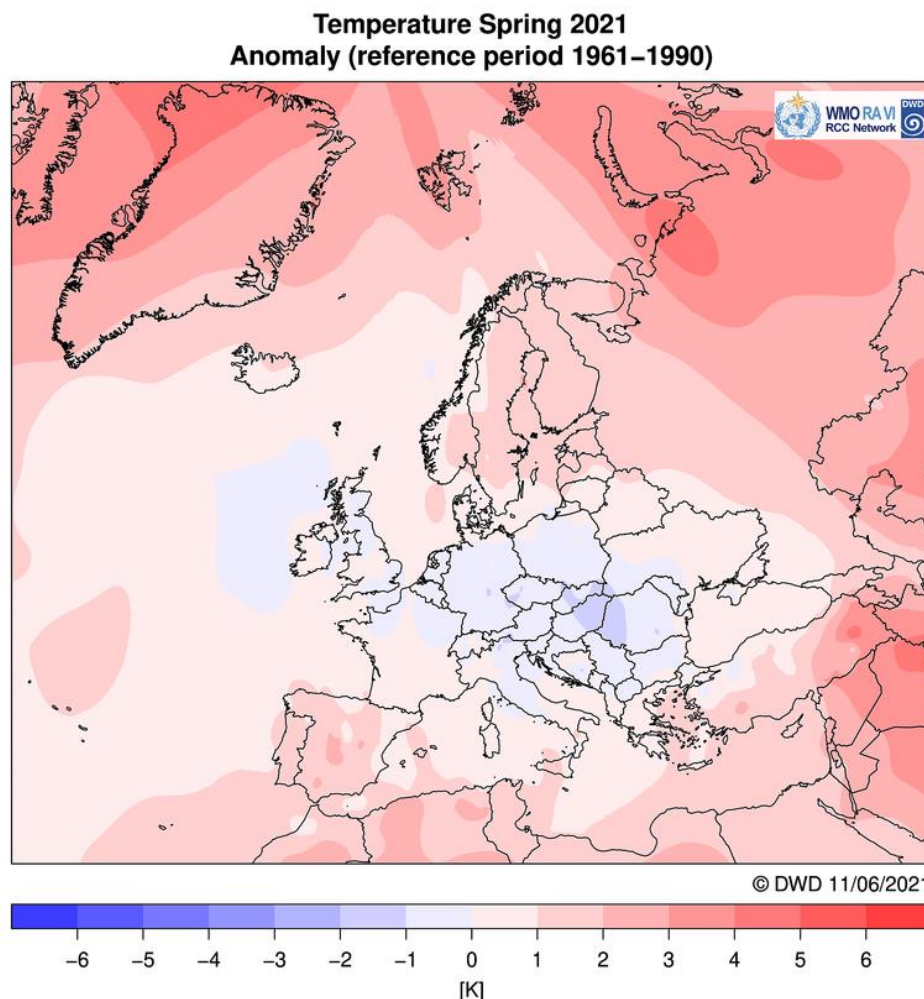


Abbildung 2: Temperaturabweichung im Frühling 2021 in Europa bezogen auf die Klimanormalperiode 1961-1990

In Deutschland war die Lufttemperatur 2021 zum elften Mal in Folge wärmer als im Mittel 1961-1990. Drei Monate (April, Mai, August) waren kühler als die vieljährigen Monatsmittel 1961-1990 und 1991-2020, der Januar 2021 war kühler als das Januarmittel 1991-2020 sowie wärmer als das Januarmittel 1961-1990. Der Juni 2021 hatte mit +3,6 K Abweichung die höchste Anomalie der Monatsmittelwerte und ordnete sich als drittwärmster Juni seit 1881 als sehr warmer Juni ein. Dementsprechend waren der Winter 2020/2021 sowie Sommer und Herbst 2021 wärmer als die jeweiligen vieljährigen Mittel der Jahreszeiten (sowohl im Vergleich zu 1961-1990 wie auch für 1991-2020), der Frühling 2021 jedoch kühler als das vieljährige Mittel der Frühlingsmonate. Bei den klimatologischen Kennzahlen „Frosttage“ (Anzahl Tage mit $T_{min} < 0\text{ °C}$) und „Eistage“ (Anzahl Tage mit $T_{max} < 0\text{ °C}$) fallen trotz der intensiven Kältewelle im Februar die niedrigen Platzierungen im Jahr 2021 auf. Aufgrund des milden Winters 2020/2021 und dem sehr milden Dezember 2021 gab es deutschlandweit 89 Frosttage und 16 Eistage, beide Kennwerte lagen unter den vieljährigen Mitteln 1961-1990. Im Gebietsmittel für Deutschland gab es 2021 37 „Sommertage“ (Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 25\text{ °C}$) und 5 „Heiße Tage“ (Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 30\text{ °C}$). Das diese Kennzahlen 2021 zumindest leicht über den vieljährigen Mitteln liegen ist bei einem zu kühlen August hauptsächlich auf den sehr warmen Juni zurückzuführen.

Weitere außergewöhnliche thermische Witterungsereignisse waren eine intensive Kältewelle im Februar, auf die eine sehr milde Phase mit regional fast sommerlichen Temperaturen folgte, ein relativ kühles Frühjahr sowie ein ausgesprochen mildes Jahresende.

Die Sonnenscheindauer lag etwa 5 % über dem Durchschnittswert. Auffällig waren insbesondere die Starkregenereignisse. Mit einem Gebietsmittelwert des Niederschlags von 801 mm für das gesamte Jahr traf die Niederschlagsmenge fast genau den vieljährigen Mittelwert 1961-1990, der bei 789 mm liegt. Im Jahresverlauf wiesen 5 Monate überdurchschnittliche Niederschlagsmengen auf, darunter insbesondere die Sommermonate und 6 Monate unterdurchschnittliche Niederschläge, darunter auch der April, der damit die Folge der trockenen Aprilmonate der Vorjahre fortsetzt.

Bemerkenswert war 2021 aus klimatologischer Sicht aufgrund intensiver Starkniederschlagsereignisse, unter anderem im Juli mit ausgeprägten Überschwemmungen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Das Ausmaß der dortigen Schäden wurden maßgeblich durch die Geländegestaltung und die vorher schon hohen Bodenwassergehalte begünstigt. Die drei Wochen vor dem Hochwasserereignis waren in ganz Deutschland von wiederkehrenden Niederschlagsereignissen geprägt, die die Böden regional bereits gut gefüllt haben. Während in Rheinland-Pfalz und in Südwestfalen die Böden regional kaum noch Wasser aufnehmen konnten, – hier konnten bis zur Füllung der Bodenwasservorräte teilweise weniger als 10 l/m^2 im Boden aufgenommen werden, – verfügten die Böden im Südwesten von Nordrhein-Westfalen noch über ein freies Speichervermögen von 75 l/m^2 und waren damit noch bedingt aufnahmefähig. Ähnlich viel freier Speicher stand in Ostachsen und Südostbayern zur Verfügung, denn auch hier sorgte das Tief „Bernd“ bei seinem Abzug in Richtung Osten für Starkniederschläge, die regional zu Hochwasser führten, aber bei Weitem nicht die Dimensionen der Ereignisse in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen annahmen.

Die phänologische Entwicklung

Das phänologische Jahr startete 2021 am 10.02. mit dem Vorfrühling fast genau zum mittleren Termin. Auch der Erstfrühling folgte diesem Schema. Ab dem Vollfrühling und insbesondere dann zum

Frühsommer zeigte sich aufgrund der geringen Temperaturen in dieser Zeit eine deutliche Verzögerung der Entwicklungen in der Pflanzenwelt. Im Mittel über ganz Deutschland summierte sich die Verzögerung auf 9 Tage. Der Entwicklungsrückstand verringerte sich zwar im Laufe des Jahres bis zum Herbst, aber erst beim Eintritt des Spätherbstes und des phänologischen Winters war die Verspätung auf nur noch zwei Tage verringert gewesen. Die phänologische Entwicklung 2021 ist in Sachsen ein Spiegel der deutschlandweiten Situation mit einem Unterschied: In Sachsen startete der vom Stäuben der Hasel geprägte Vorfrühling mit 4 Tagen Verspätung, gegenüber dem langjährigen Mittel (siehe Abbildung 3). Dieser anfängliche Rückstand ist eine Folge der Dauerfrostperiode im Februar gewesen, die verbunden mit einer großflächigen Schneebedeckung war.

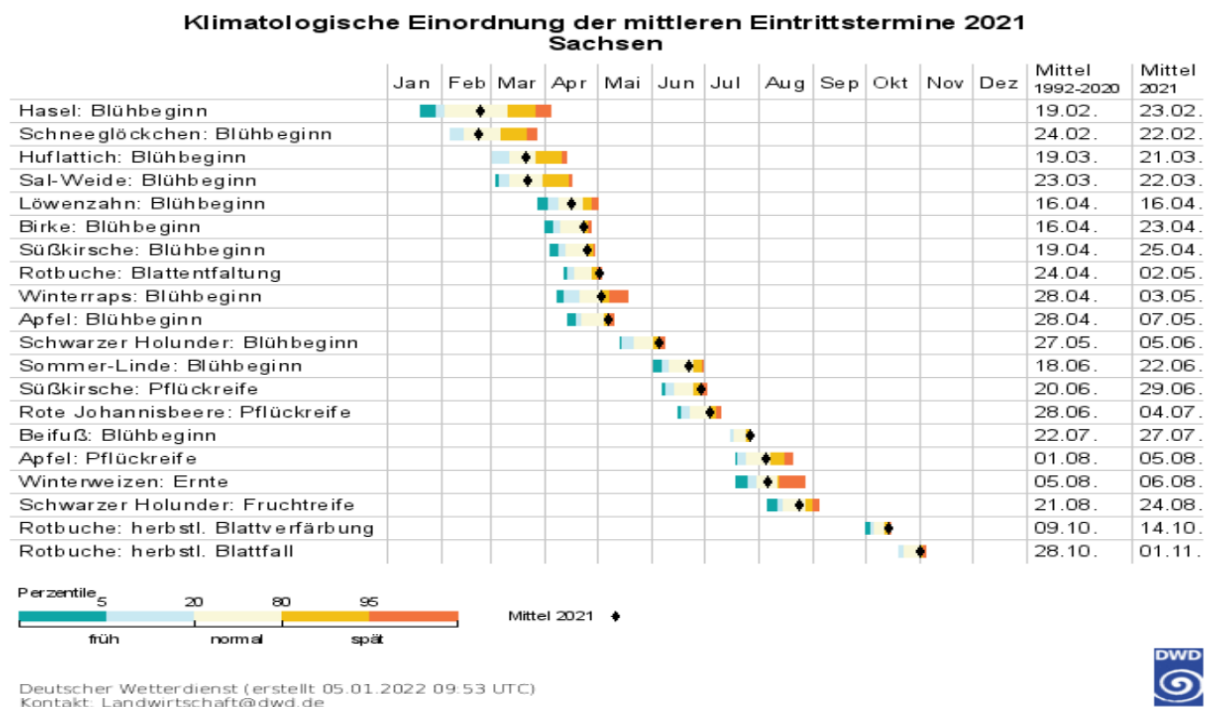


Abbildung 3: Klimatologische Einordnung der phänologischen Entwicklung in Sachsen im Jahr 2021

Für diesen Abschnitt wurden neben eigenen Auswertungen folgende Quellen benutzt:

- <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts>
- <https://public.wmo.int/en/media/news/2021-meeting-challenge-of-extreme-weather>
- https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_s_tarkniederschlaege_tief_bernd.pdf?_blob=publicationFile&v=10
- https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20220104_bericht_ja_hr2021.pdf?_blob=publicationFile&v=4
- <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2022/natural-disaster-losses-2021.html>

2. Klimatologische Einordnungen und langfristige Klimaänderungen in Sachsen

Klimaänderungen werden durch den Vergleich von Statistiken 30-jähriger Klimanormalperioden analysiert. Hierbei ist der Zeitraum 1961 bis 1990 laut WMO als Klima-Referenzperiode zur Bewertung längerfristiger Klimaänderungen fixiert. Die Einordnung in gegenwärtige Klimabedingungen wird wiederum anhand der aktuellen Bezugsperiode vorgenommen, welche sich nach messtechnischer Erfassung der darauffolgenden 10 Jahre ändert. Die gegenwärtig aktuelle Bezugsperiode ist der 30-jährige Mittelungszeitraum 1991 bis 2020 und die nächste 2001 bis 2030. Prinzipiell unterliegen längerfristige Klimaänderungen kurzfristigeren [(multi-)dekadischen, "Von-Jahr-zu-Jahr"] Schwankungen. Dekadische Schwankungen werden über die Abfolge von 10-jährigen Mittelungszeiträumen (... , 1881-1890, ..., 1961-1970, ..., 2011-2020, ...) erfasst und können auch als klimatologische Tendenz interpretiert werden.

Dieses Kapitel ordnet das Jahr 2021 klimatologisch ein, ergänzt um eine jahresübergreifende Betrachtung seit 2011 und zeigt den längerfristigen Klimatrend von 1881 bis 2100 aus Beobachtungs- und Klimaprojektionsdaten für Sachsen. Ausgerichtet sind die Analysen an der Bilanzierung der atmosphärischen Bedingungen als Treiber im Wasserhaushalt. Anzumerken ist, dass der Niederschlag im Vergleich zur Temperatur eine raumzeitlich sehr heterogene diskontinuierliche Größe ist, was den Umgang mit diesem wichtigen Klimaelement generell schwierig macht.

Klimatologische Einordnung des Jahres 2021

In Abbildung 4 sind die Abweichungen der Jahresmitteltemperatur (in Kelvin, K) und des Jahresniederschlages (in %) für 2021 gegenüber 1961-1990 (Klima-Referenzperiode), 1991-2020 (aktueller Bezugszeitraum) und der Dekade 2011-2020 dargestellt.

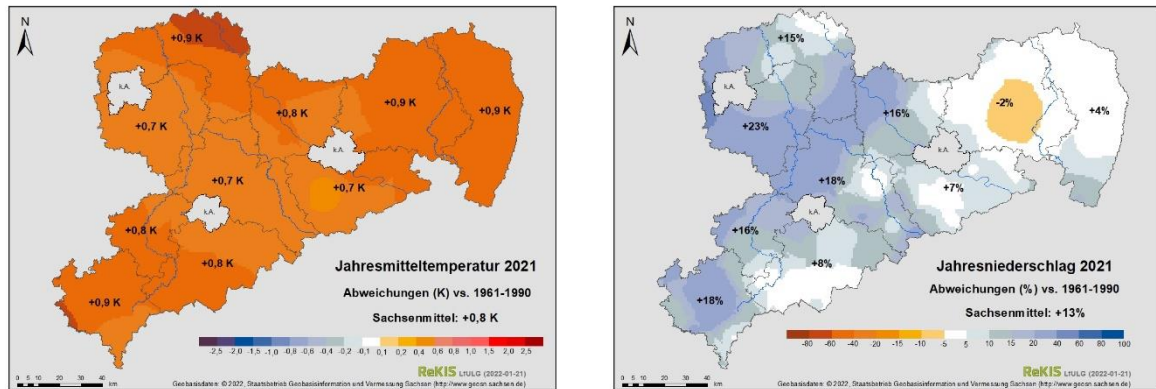
Nach den drei wärmsten Jahren 2018, 2019 und 2020 (seit 1881) wurde 2021 mit +0,8 K im Vergleich zur Referenzperiode als «zu warm» eingestuft. Damit setzt sich der längerfristige Erwärmungstrend auch in Sachsen etwas reduziert fort. Der Jahresniederschlag war hier im Flächenmittel um ca. +13 % höher. Eingeordnet in die gegenwärtigen Klimabedingungen (1991-2020) war das Jahr 2021 um -0,2 K kühler und um ca. +11 % niederschlagsreicher. Vor dem Hintergrund der vorangegangenen Trockenjahre war die Konstellation mit -0,8 K kühler und um ca. +19 % niederschlagsreicher (vs. 2011-2020) für das Jahr 2021 günstig.

Die Bilanzierung der atmosphärischen Bedingungen als Treiber im Wasserhaushalt erfolgt anhand der klimatischen Wasserbilanz. Diese gibt das potentielle Wasserdargebot an und berechnet sich aus dem Niederschlag (Gewinngröße) abzüglich der potentiellen Verdunstung (Verlustgröße). Die potentielle Verdunstung gibt das atmosphärische Sättigungsdefizit an und beschreibt somit den „Durst“ der Atmosphäre. Die Quantifizierung erfolgt hier mittels der Gras-Referenzverdunstung. Der Niederschlag wird hier um den windbedingten Messfehler korrigiert verwendet.

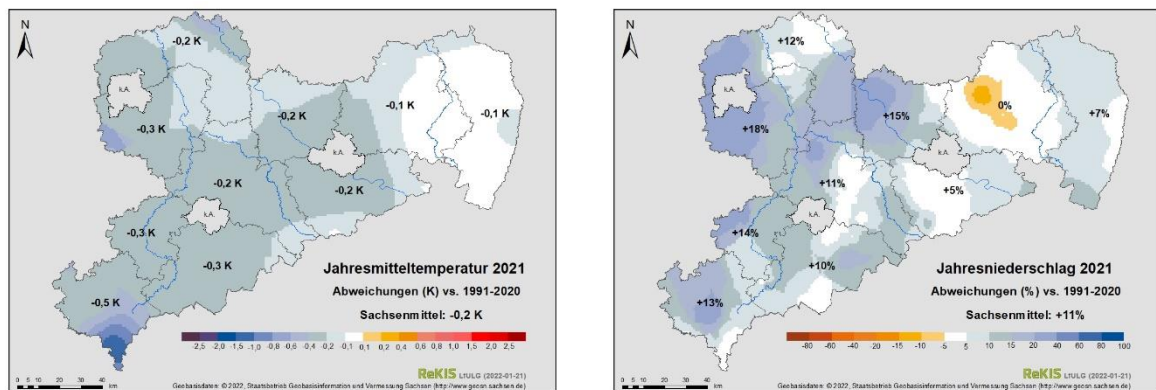
Tabelle 1 zeigt die Ausprägung der voran genannten Größen (in l/m² bzw. mm) für das Jahr 2021 und deren Abweichungen (in %) gegenüber der Referenzperiode 1961-1990, dem Bezugszeitraum 1991-2020 und der Dekade 2011-2020.

In Anbetracht der vorangegangenen Trockenjahre muss die um ca. +54 % (vs. 2011-2020) verbesserte klimatische Wasserbilanz hervorgehoben werden, die sich aus einem ca. +19 % höheren Niederschlagsangebot und einem um ca. -7 % abgeminderten Verdunstungsverlust ergibt.

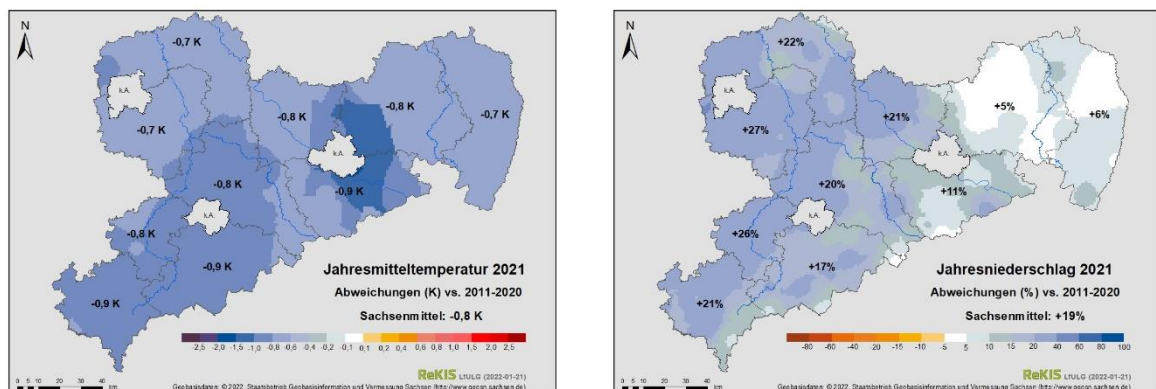
Auf die klimatische Wasserbilanz wird weiter in Kapitel 3 „Wasserhaushaltliche Einordnung“ eingegangen.



Abweichung vs. 1961-1990



Abweichung vs. 1991-2020



Abweichung vs. 2011-2020

Abbildung 4: Abweichungen der Jahresmitteltemperatur (K) und des Jahresniederschlages (%) für 2021 vs. 1961-1990, 1991-2020 und 2011-2020 in Sachsen und den sächsischen Landkreisen (ohne kreisfreie Städte)

Tabelle 1: Korrigierter Niederschlag, Gras-Referenzverdunstung und Klimatische Wasserbilanz (l/m²) für 2021 und deren Abweichungen (%) vs. 1961-1990, 1991-2020 und 2011-2020 in Sachsen, Jahr

korrigierter Niederschlag	Gras-Referenzverdunstung	Klimatische Wasserbilanz
<p>Korrigierter Niederschlag 2021 Sachsenmittel: 860 l/m²</p>	<p>Gras-Referenzverdunstung 2021 Sachsenmittel: 560 l/m²</p>	<p>Klimatische Wasserbilanz 2021 Sachsenmittel: 300 l/m²</p>
2021: 860 l/m ²	2021: 560 l/m ²	2021: 300 l/m ²
Abweichung (%) vs. 1961-1990		
+13 %	+4 %	+24 %
Abweichung (%) vs. 1991-2020		
+11 %	-3 %	+30 %
Abweichung (%) vs. 2011-2020		
+19 %	-7 %	+54 %

Abbildung 5 zeigt eine zusammenfassende Übersicht zur klimatologischen Einordnung der Wetter-/Witterungsabfolge für 2021 anhand der Elemente Lufttemperatur, Niederschlag und Sonnenstunden auf der Basis von Jahres-, Jahreszeiten- und Monatswerten. Die farblichen Hervorhebungen betreffen die Randbereiche der Verteilungen über die jeweiligen Abweichungen seit Datenverfügbarkeit und zielen auf das Sichtbarmachen von Extremen in den unterschiedlichen Zeitskalen Monat, Jahreszeit und Jahr ab.

Im Jahr 2021 hat sich der wechselhafte Wetter-/Witterungsablauf aus dem Vorjahr mit teilweise sehr ausgeprägten "Von-Monat-zu-Monat"-Schwankungen bei der Lufttemperatur, dem Niederschlag und den Sonnenstunden fortgesetzt. Hervorzuheben ist hier insbesondere die gesamte Vegetationsperiode (April bis September) und auch die zu unauffälligen Jahreszeiten gehörenden Monate, so der Winter 2020/21 («zu niederschlagsarm»/«zu sonnenreich» im Dezember 2020 vs. «zu niederschlagsreich»/«viel zu sonnenarm» im Januar 2021).

Für die Temperatur ist der Übergang von den beiden «zu kalten» Frühjahrsmonaten April (-1,8 K) und Mai (-1,4 K) hin zum «extrem zu warmen» Juni (+3,7 K), gefolgt vom «zu warmen» Juli (+1,6 K) hervorzuheben. Der Sprung von Mai auf Juni ist hier größer 5 K. Für den Niederschlag besteht hier eine Analogie derart, dass dem «zu niederschlagsreichen» Juli (+77 %) und «extrem zu niederschlagsreichen» August (+79 %) der «viel zu niederschlagsarme» September (-49 %) und «zu niederschlagsarme» Oktober (-53 %) folgt. Der Sommer 2021 war mit +1,6 K «viel zu warm» und mit +51 % «viel zu niederschlagsreich» und der Herbst 2021 mit +1,0 K «zu warm» und mit -28 % «zu niederschlagsarm».

Zeitbezug	Winter 2020/21			Frühjahr			Sommer			Herbst			
Lufttemperatur	1,4K			-0,7K			1,6K			1,0K			
Niederschlag	1%			-6%			51%			-28%			
Sonnenstunden	20%			6%			2%			6%			
Zeitbezug	Dez'20	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Lufttemperatur	2,6K	1,0K	0,7K	1,1K	-1,8K	-1,4K	3,7K	1,6K	-0,5K	1,7K	0,5K	0,9K	1,7K
Niederschlag	-58%	-54%	7%	-21%	-38%	42%	-2%	77%	79%	-49%	-53%	18%	40%
Sonnenstunden	57%	-36%	41%	27%	-2%	-7%	28%	0%	-21%	8%	30%	-21%	-11%
Zeitbezug	Jahr												
Lufttemperatur	0,8K												
Niederschlag	13%												
Sonnenstunden	3%												

Lufttemperatur:		5	10	20	80	90	95
Perzentil (%)							
Eigenschaft		extrem zu kalt	viel zu kalt	zu kalt	zu warm	viel zu warm	extrem zu warm
Niederschlag:		5	10	20	80	90	95
Perzentil (%)							
Eigenschaft		extrem zu niederschlagsarm	viel zu niederschlagsarm	zu niederschlagsarm	zu niederschlagsreich	viel zu niederschlagsreich	extrem zu niederschlagsreich
Sonnenstunden:		5	10	20	80	90	95
Perzentil (%)							
Eigenschaft		extrem zu sonnenarm	viel zu sonnenarm	zu sonnenarm	zu sonnenreich	viel zu sonnenreich	extrem zu sonnenreich

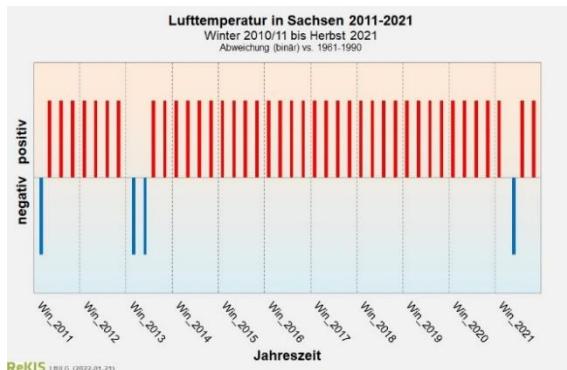
Abbildung 5: Zusammenfassende klimatologische Einordnung des Jahres 2021 vs. 1961-1990 in Sachsen (oben, Datenzeitraum: 1881 bis 2021, Hinweis: scheinbare Inkonsistenzen in den Zahlenangaben beruhen auf Rundungsungenauigkeiten, maßgebend sind die Größenordnungen) sowie verwendete Perzentile und deren Einstufung (unten)

Jahresübergreifende Einordnung seit 2011 und langfristige Klimaänderungen von 1881 bis 2100

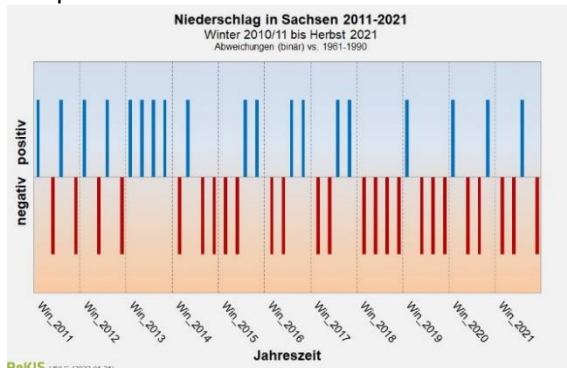
Mit der mehrjährigen Witterungsabfolge auf Basis von Jahreszeiten können Risiken aus der kumulativen Wirkung, gar neuartige Extreme, im System Boden-Pflanze-Atmosphäre eingeschätzt bzw. sichtbar gemacht werden. Dies erfolgt hier vor dem Hintergrund der vorausgegangenen Trockenheit und der für 2021 als günstig eingeschätzten Bilanzierung der atmosphärischen Bedingungen (klimatische Wasserbilanz, s. o.).

Neben der Temperatur und dem Niederschlag wird hierzu auch der Index nach *de Martonne* verwendet. Der *de Martonne*-Index dM zielt auf die pflanzenphysiologische Wirkung des Niederschlags ab und liefert ein einfaches Maß für die Trockenheit eines Lebensraumes. Er kombiniert Temperatur TM (°C) und Niederschlag RR (mm bzw. l/m²) und berechnet sich mit $dM = RR / (TM + 10)$. Die Temperatur fungiert hier als Ersatzgröße (Proxy) für die Verdunstung. Der *de Martonne*-Index harmonisiert mit der klimatischen Wasserbilanz und kann als atmosphärische Rahmenbedingungen für Feuchte- und Trockenphasen interpretiert werden. Aufgrund der geringen Datenanforderung lassen sich vergleichsweise lange Zeitreihen berechnen und hinsichtlich des längerfristigen Klimatrends bewerten.

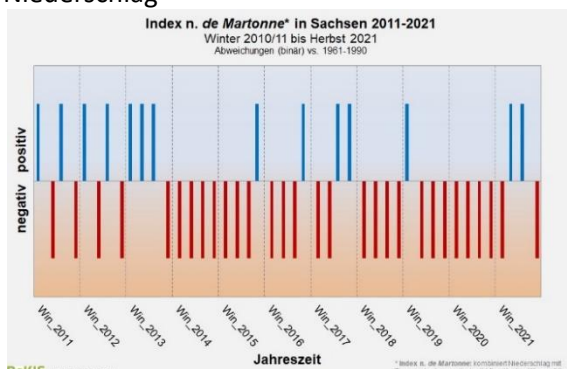
Abbildung 6 zeigt die Witterungsabfolge anhand von Abweichungen (binär) der Temperatur, dem Niederschlag und dem *de Martonne*-Index für aufeinanderfolgende Jahreszeiten von Winter 2010/11 bis Herbst 2021 in Sachsen gegenüber 1961-1990.



ReKIS URL.G (2022-01-21)
Temperatur



ReKIS URL.G (2022-01-21)
Niederschlag



ReKIS URL.G (2022-01-21)
de Martonne-Index

Abbildung 6: Witterungsabfolge für Temperatur (oben), Niederschlag (Mitte) und de Martonne-Index (unten) von Winter 2010/11 bis Herbst 2021 in Sachsen – Abfolge positiver und negativer Abweichungen (binär) vs. 1961-1990

Die Abfolge wärmerer und kühlerer Jahreszeiten zeigt das zunehmend höhere thermische Niveau. Seit 1881 sind die 31 aufeinanderfolgenden Jahreszeiten von Sommer 2013 bis Winter 2020/21 der längste Abschnitt, in dem durchgehend alle Jahreszeiten über ihrem Referenzwert lagen. Durch das Frühjahr 2021 deutet sich lediglich eine Unterbrechung an.

Die Abfolge niederschlagsärmerer und -reicherer Jahreszeiten zeigt auf den ersten Blick keine vergleichbare Entwicklung wie die Temperatur an. Allerdings ist eine Häufung niederschlagsärmerer Abschnitte seit Winter 2013/14 erkennbar.

Der Verlauf des *de Martonne*-Index zeigt, dass seit Herbst 2013 gehäuft atmosphärische Bedingungen auftraten, die einen Aufbau bzw. die Ausprägung von Trockenheit begünstigen bzw. vorantreiben. Sichtbar wurden die Auswirkungen aber erst 2018.

In der Bilanz über die Jahre 2018, 2019 und 2020 stand dem 18%igen Niederschlagsdefizit (ca. -400 l/m²) ein 17 % höheres Sättigungsdefizit der Atmosphäre (ca. +325 l/m²) gegenüber. Demnach fehlten in der atmosphärischen Bilanz ca. 800 l/m² Wasser. Die Wirkung des Niederschlagdefizites von -400 l/m² verschärfte sich durch die potentielle Verdunstung auf ca. -800 l/m². Neben der Größenordnung war insbesondere die Andauer dieses Zustandes mit erheblichen Risiken für das System Boden-Pflanze-Atmosphäre verbunden.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der Wirkung des in der Jahresbilanz günstigen potentiellen Wasserdargebotes (höheres Niederschlagsdargebot bei niedrigerem Temperaturniveau) hinsichtlich des "Langzeitgedächtnisses" der vorangegangenen Trockenjahre? Es ist davon auszugehen, dass hier auch der teilweise ausgeprägt wechselhafte Wetter-/Witterungsablauf im Jahr 2021 Einfluss hatte.

Zur konsistenten Abbildung des langfristigen Klimatrends sind in Abbildung 7 die Abfolge von Abweichungen der bereits in Abbildung 6 gezeigten Klimagrößen für 30-jährige Klimanormalperioden, ergänzt mit 10-jährigen Dekaden im Zeitraum 1881 bis 2100 dargestellt. Neben Beobachtungen bilden hier auch die Klimaprojektionsdaten des [Mitteldeutschen Kernensembles \(MDK, v1.0\)](#) die Grundlage.

Für die Temperatur ist davon auszugehen, dass sich der Erwärmungstrend seit der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts im Laufe des 21. Jahrhunderts zwischen +1,3 K (RCP2.6) und +4,2 K (RCP8.5) für 2051-2080 gegenüber 1961-1990 weiter fortsetzt. Für den Niederschlag existiert kein der Temperatur vergleichbarer Befund, was auch den Umgang damit erschwert. Deutlich wird dies durch den Vorzeichenwechsel innerhalb des Entwicklungskorridors, was für die Klimanormalperiode 2051 bis 2080 eine Spanne von -10 % bis +15 % bedeutet. Die Kombination des Niederschlag- und Temperatursignals durch den *de Martonne*-Index verdeutlicht einen entscheidenden Einfluss durch den Grad der Erwärmung. Es ist von klimatologisch relevanten Trockenphasen auf unterschiedlichen Zeit- und somit auch Raumskalen im Laufe des 21. Jahrhunderts auszugehen.

Kernthesen zum längerfristigen Klimatrend

Die hohe natürliche Variabilität in der regionalen Klimaentwicklung ist zunehmend von einem Erwärmungstrend überlagert, was komplexe Auswirkungen zur Folge hat.

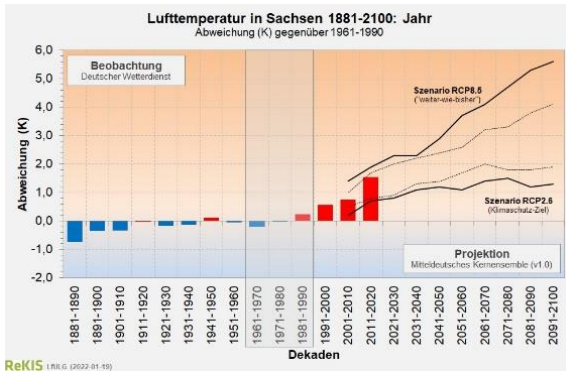
Das Risiko im Auftreten witterungsbedingter Extreme hat sich erhöht, auch deren gleichzeitiges und/oder länger anhaltendes Auftreten.

Die Änderungen im Temperatur- und Niederschlagsregime begünstigen zunehmend den Aufbau bzw. die Ausprägung von Trockenheit. Hierbei

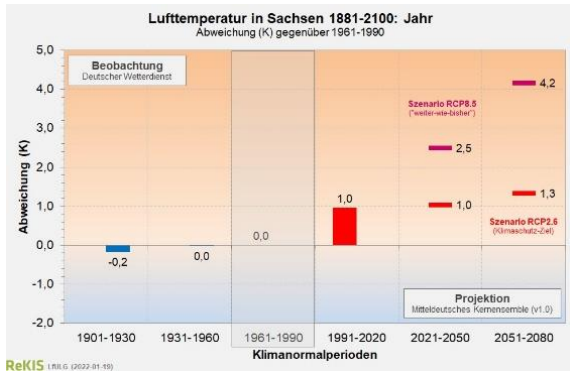
- treten längerfristige Niederschlagsdefizite und kurzfristige -überschüsse gleichzeitig auf;
- verstärken hohe Temperaturen die Wirkung eines Niederschlagdefizites infolge der Verdunstung;
- schreitet die gemessene Temperaturentwicklung im Vergleich zur projizierten schneller voran!

Aus der Analyse der Klimaprojektionsdaten des Mitteldeutschen Kernensembles geht hervor, dass von einer Fortsetzung der bereits beobachteten Entwicklung zumindest in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts auszugehen ist. Anschließend wird hier der zukünftig eingeschlagene Temperaturpfad entscheidend sein.

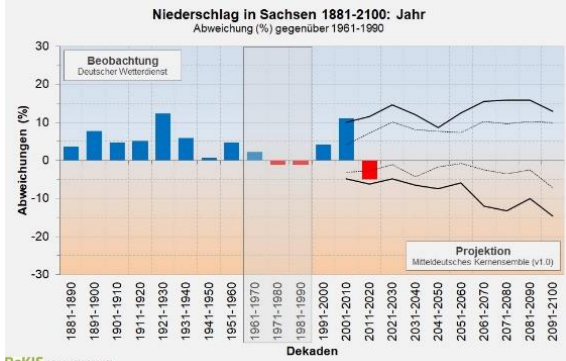
Ein zunehmend wärmeres Temperaturregime beeinflusst auch die Niederschlagsart. Die [Starkregenanalyse Sachsen](#) hatte zum Ergebnis, dass ca. 70 % der Fläche Sachsens von Zunahmen im jährlichen Auftreten von Starkregenereignissen und deren mittlerer Intensität betroffen sind. Dies ist entscheidend durch die starken und weitgehend flächendeckenden Zunahmen in den Sommermonaten begründet. Hieraus ergab sich ein deutlicher Hinweis auf die Intensivierung des konvektiven Starkregengeschehens, was mit der [Konvektionsstudie Sachsen](#) bestätigt werden konnte. Generell ist von einer Zunahme der Gefährdung durch hochreichende Konvektion und ihrer Begleiterscheinungen im 21. Jahrhundert auszugehen. Abschließend sei erwähnt, dass der Niederschlag bei höheren Temperaturen im Winter, sofern es ihn gibt, eher als Regen denn als Schnee fällt bzw. die Schneedecke einen höheren Flüssigwassergehalt aufweist. ([Schneeklimatologie Sachsen](#))



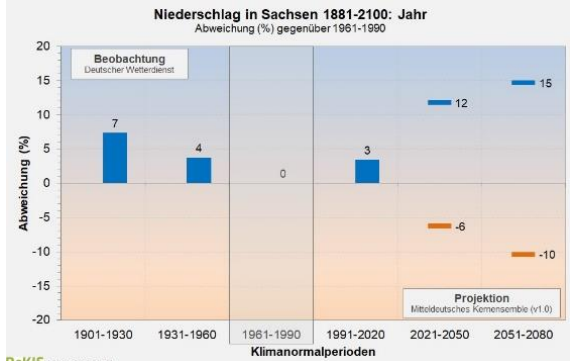
ReKIS I.RL.G. (2022-01-19)
Temperatur



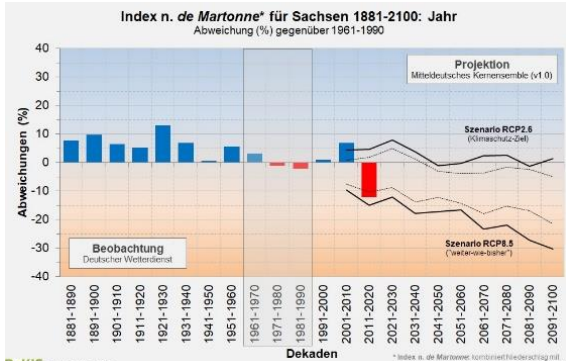
ReKIS I.RL.G. (2022-01-19)



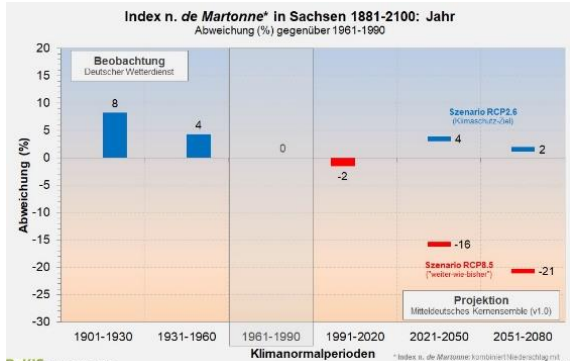
ReKIS I.RL.G. (2022-01-19)
Niederschlag



ReKIS I.RL.G. (2022-01-19)



ReKIS I.RL.G. (2022-01-19)
de Martonne-Index



ReKIS I.RL.G. (2022-01-19)

Abbildung 7: Temperatur, Niederschlag und de-Martonne-Index von 1881 bis 2100 in Sachsen: Abweichungen mittlerer Jahreswerte vs. 1961-1990 für Dekaden (links) und Klimanormalperioden (rechts) (1881-2020 Beobachtungsdaten, 2001-2100 Klimaprojektionsdaten, Mitteldeutsches Kernensembles, Hinweis: Entwicklungskorridor durch 10- und 90-Perzentil dargestellt)

3. Auswirkungen der Witterung auf die Ressource Wasser

Hinweis: Die folgenden Auswertungen beziehen sich teilweise auf das Kalenderjahr, teilweise auf das Hydrologische Jahr (oder „Abflussjahr“), welches vom November des Vorjahres bis zum Oktober des Betrachtungsjahres reicht. Diese Zeiteinteilung ist in der Hydrologie für Mitteleuropa gebräuchlich, da hier im November typischerweise die Phase der Grundwasserneubildung einsetzt.

Wasserhaushaltliche Einordnung

Nach drei Jahren mit ausgeprägtem Niederschlagsdefizit in Sachsen hatte das Kalenderjahr 2021 eine leicht positive Niederschlagsbilanz aufzuweisen. Vor allem der August und Juli, aber insbesondere die Periode von Mai bis August war ausgesprochen nass. Dem gegenüber waren die Monate September bis zum Jahresende deutlich zu trocken. Diese starken Wechsel prägten das Jahr 2021.

Für die Kalenderjahre und gegenüber der Klimareferenzperiode 1961 bis 1990 betragen die Defizite/Abweichungen beim Niederschlag 2018 ca. -33 %, 2019 ca. -13 %, 2020 rund -10 % und 2021 ca. +12 %. Damit hat sich das in den vergangenen Jahren aufgebaute Niederschlagsdefizit 2021 erstmals wieder leicht verringert. Somit fehlt insgesamt aber im Sachsen-Mittel seit Anfang 2018 immer noch knapp ein halber Jahresniederschlag.

Ein wichtiger Kennwert zur Bewertung des Wasserhaushalts ist die sogenannte Klimatische Wasserbilanz (KWB). Sie ist die Differenz aus der Niederschlagssumme und der potentiellen Verdunstung. Die potentielle Verdunstung ist dabei ein Maß für die unter optimalen Verdunstungsbedingungen und maximaler Wasserverfügbarkeit mögliche Verdunstung über Gras. Die tatsächliche Verdunstung ist in der Regel kleiner als die potentielle Verdunstung.

Grundsätzlich ist in Sachsen die KWB im Jahres- und Flächenmittel positiv – es fällt also mehr Niederschlag, als potentiell verdunstet. Dieses „Plus an Niederschlag“ lässt sich für Sachsen im mehrjährigen (1991 – 2020) Flächenmittel der Jahressumme mit circa +223 mm (bzw. l/m²) beziffern.

Im Abflussjahr (November bis Oktober) 2018 betrug die KWB hingegen im Flächenmittel circa -220 mm, im Abflussjahr 2019 ca. -20 mm. Im Abflussjahr 2020 blieb die KWB mit lediglich circa +20 mm auch deutlich unter dem Durchschnittswert der Bezugsperiode. Im Abflussjahr 2021 war die Summe der KWB im Flächenmitte mit ca. +211 mm positiv und lag damit erstmals seit 2018 wieder in der Größenordnung des Normalwertes.

Mit Blick auf die monatlichen Abweichungen von der mittleren KWB der mehrjährigen Bezugsperiode 1991 – 2020, war 2021 besonders die Variabilität der KWB von Monat zu Monat gekennzeichnet. Während beispielsweise der November 2020 eine deutlich negative Bilanz hatte, fiel der August 2021 durch seine positive Abweichung gegenüber dem Wert des Bezugszeitraums auf (siehe Abbildung 8).

Hinweis: Bei negativen KWB-Werten ist es nicht so, dass der verfügbare Niederschlag ausschließlich für die Verdunstung aufgebraucht wird. Vor allem bei schlechter Wasserverfügbarkeit ist die tatsächliche Verdunstung sehr viel geringer als die potentielle Verdunstung. So gelangt also auch ein – wenn auch unterdurchschnittlicher – Anteil des Niederschlags zum Abfluss oder ins Grundwasser.

Abfluss und Grundwasserneubildung sind damit gegenüber den typischen Verhältnissen reduziert, was unter anderem zu Niedrigwasser führt, da bei länger andauerndem Trockenwetter der Abfluss in den Fließgewässern in der Regel aus dem Grundwasser gespeist wird.

Klimatische Wasserbilanz Nov 2020 - Okt 2021 Abweichung der Monatssummen [mm] zum Monatsmittel [mm] 1991-2020

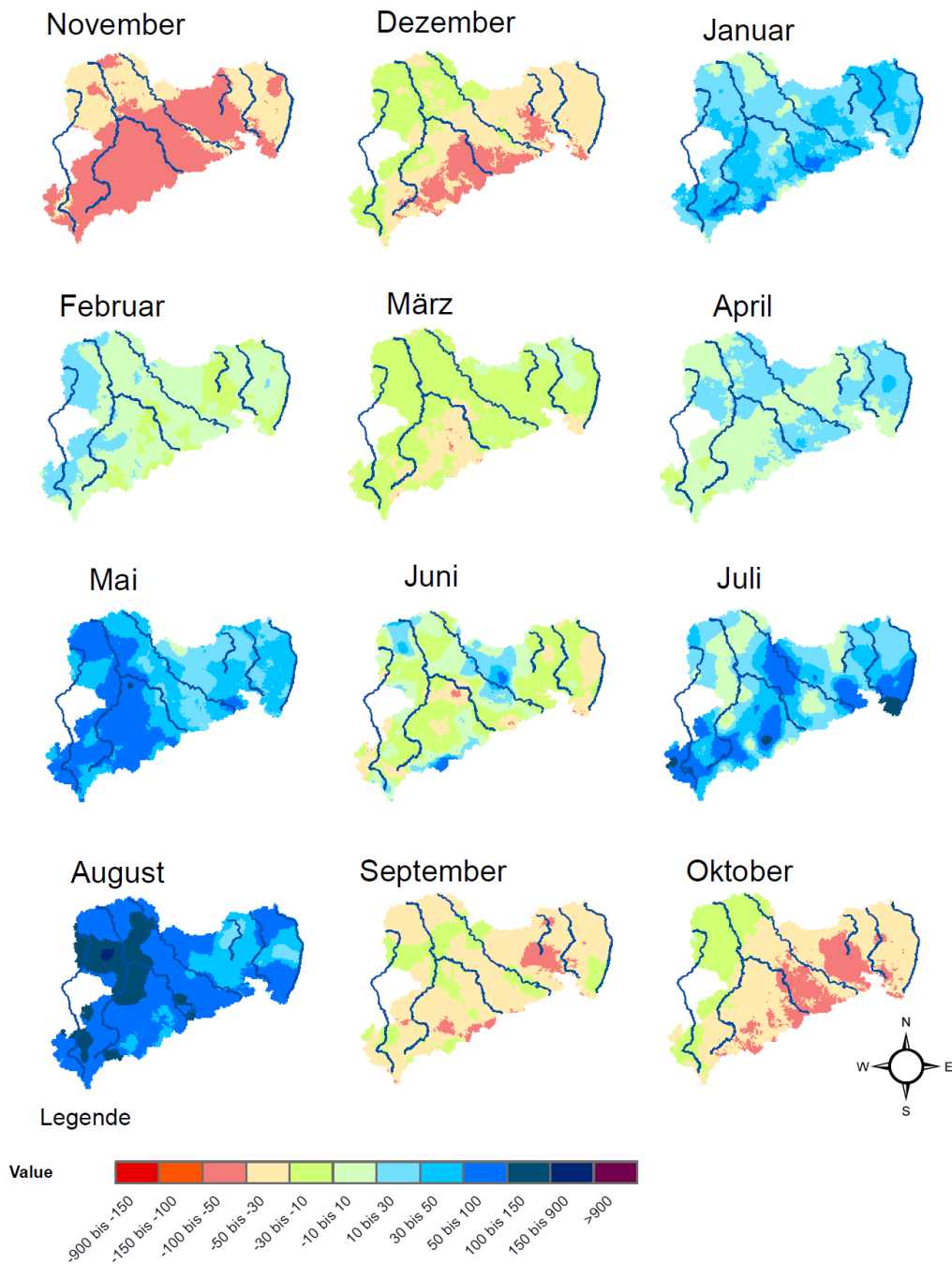


Abbildung 8: Monatliche Abweichung der Klimatischen Wasserbilanz für das Abflussjahr 2021 (Nov. 2020 bis Okt. 2021) von den mittleren KWB-Werten der Bezugsperiode 1991 bis 2020; Angabe in mm.

Entwicklung der Bodenfeuchte an ausgewählten Standorten

Dargestellt sind die Auswertungen der Messungen an vier Boden-Dauerbeobachtungsflächen („BDF“) des LfULG (siehe Abbildung 9):

- BDF **Köllitsch**: Vega aus Auensediment (Elbaue Nordsachsen)
- BDF **Schmorren**: Parabraunerde-Tschernosem aus Lösslehm (Mittelsächsisches Lösshügelland)
- BDF **Hilbersdorf**: Braunerde aus Lösslehm über Gneis (Östlicher Erzgebirgsnordrand)
- BDF **Lippen**: Regosol aus Kippsand (Senftenberger Heide- und Seengebiet)

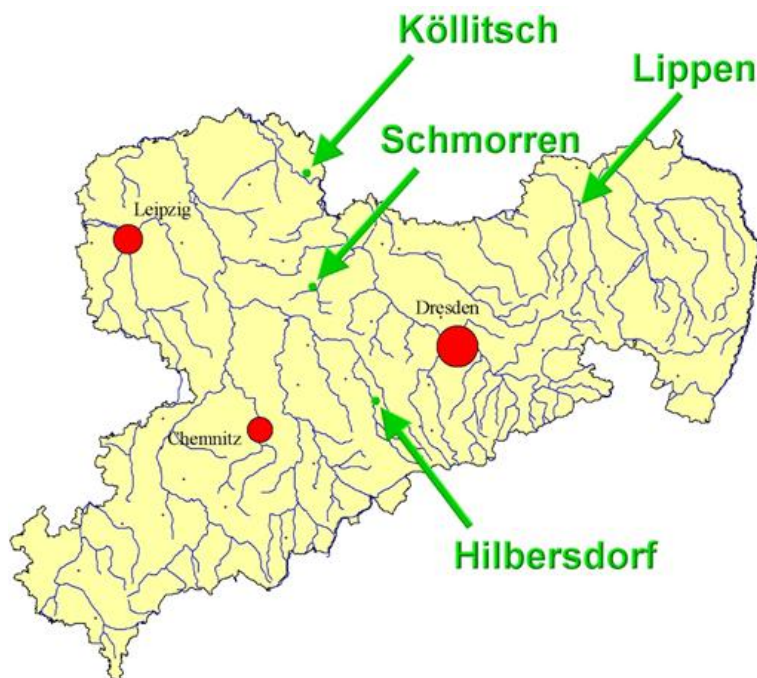


Abbildung 9: Lage der betrachteten Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Sachsen.

Die aufeinanderfolgenden Trockenjahre 2018, 2019 und 2020 haben in den pflanzenverfügbaren Wasservorräten der Böden Sachsens ein großes Defizit verursacht. Der absinkende Trend der Bodenfeuchten war, vor allem in tieferen Bodenschichten, bis in das Jahr 2021 hinein sichtbar. Die absoluten pflanzenverfügbaren Wasservorräte wiesen jedoch im deutlich feuchteren Sommer 2021 geringere und kürzere Defizitphasen auf als in den Vorjahren. Die Bodenwasservorräte waren vergleichsweise stabil über die Vegetationsperiode verfügbar, wenn auch auf niedrigerem Niveau als in der Messperiode vor den Trockenjahren 2018 bis 2020.

Die Auffüllung des Wasservorrats im Boden erfordert entweder eine langsame Schneeschmelze oder aber einen Landregen, weil nur dann das Wasser in den Boden einsickern kann. Starkregen führt fast ausschließlich zu Oberflächenabfluss und Bodenerosion.

Der Auffüllstand des Wasserspeichers im Boden erreicht seinen höchsten Punkt üblicherweise zu Beginn des Frühjahrs nach der Schneeschmelze. Bleiben Winterniederschläge und Schnee aus, starten

die Böden mit einem deutlich niedrigeren Wasservorrat in das Frühjahr. So stiegen auch in den Wintern seit 2018 die Bodenwasservorräte an, konnten jedoch nicht das große Defizit der Sommermonate ausgleichen.

Im August bis Oktober der Jahre 2018, 2019 und 2020 erreichte die Bodenfeuchte aufgrund der langanhaltenden Trockenheit an allen vier BDF-Flächen absolute Minima (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11) und sank auf den BDF Hilbersdorf und Köllitsch zeitweise fast bis auf den permanenten Welkepunkt ab. In dieser Situation kann die Pflanze die im Boden noch verbliebene Restfeuchte nicht mehr aufnehmen. Ohne zeitnahen Regen verdorrt sie.

Die Niederschläge im Winter 2020/2021 sowie Frühjahr und Sommer 2021 führten zum Wiederanstieg der Bodenfeuchten in allen Bodentiefen. Das sommerliche Defizit der Wasservorräte fiel im Jahr 2021 an allen Messstationen deutlich geringer aus und wurde teilweise bereits im Spätsommer wieder aufgefüllt (Abbildung 10). Vor allem in tieferen Bodenschichten erreichten die Bodenfeuchten jedoch noch nicht das Niveau der Werte von vor 2018 (Abbildung 11). Der Trend sinkender Bodenfeuchten der letzten Jahre hat sich vor allem an der BDF Köllitsch im Jahre 2021 fortgesetzt.

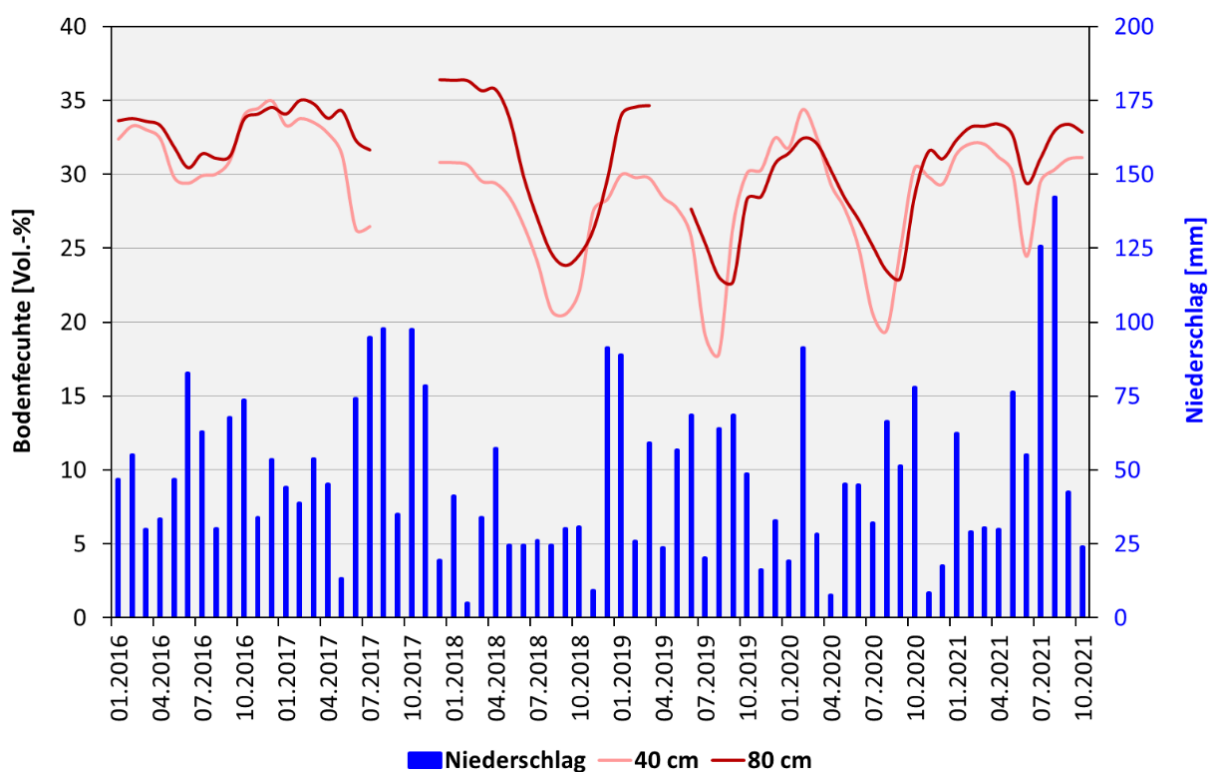


Abbildung 10: BDF Hilbersdorf – Verlauf der Bodenfeuchten (Monatsmittel in Vol.-%) in verschiedenen Bodentiefen und der Niederschläge (Monatssummen in mm) von Januar 2016 bis Oktober 2021.

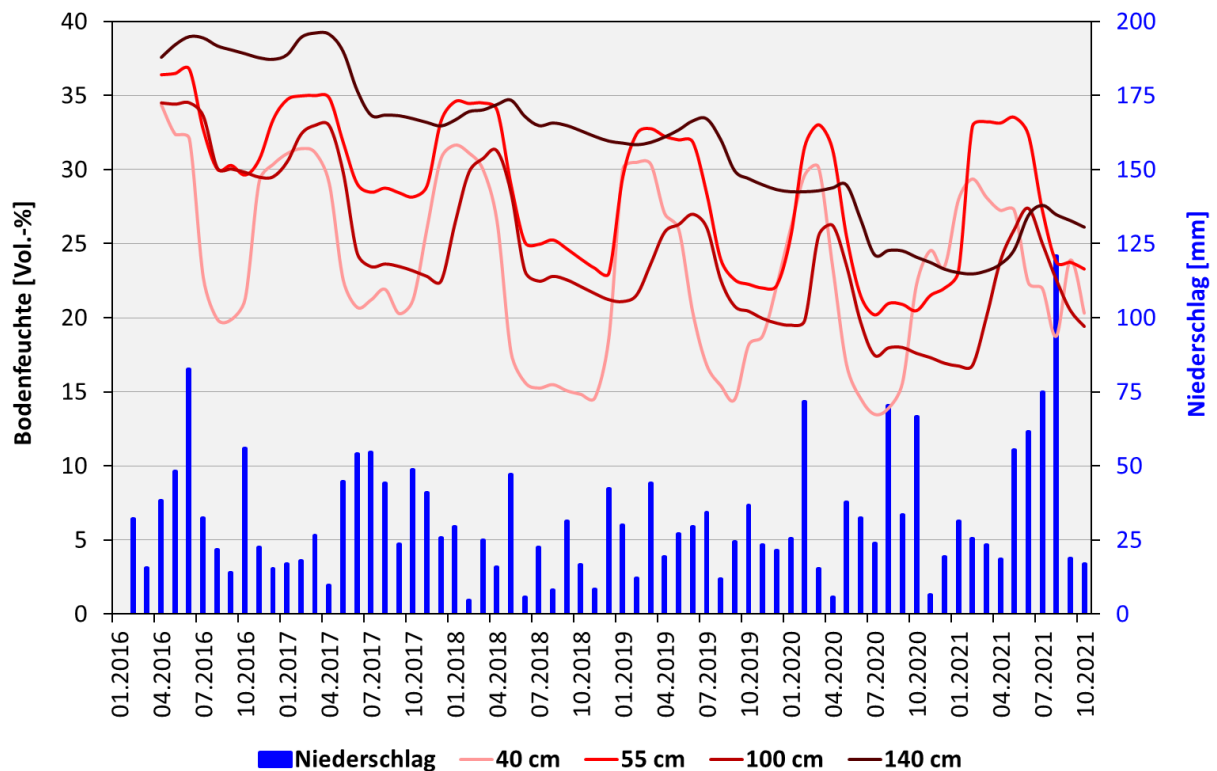


Abbildung 11: BDF Köllitsch – Verlauf der Bodenfeuchten (Monatsmittel in Vol.-%) in verschiedenen Bodentiefen und der Niederschläge (Monatssummen in mm) von Januar 2016 bis Oktober 2021.

In normal feuchten Jahren liegt der Auffüllstand des verfügbaren Wasserspeichers im effektiven Wurzelraum je nach Jahreszeit und Bodenart zwischen 40 und 80 % und kann in extremen Trockenzeiten (meist zum Ende des Sommers) bis unter 10 % absinken (Sandböden). Der effektive Wurzelraum ist abhängig von der Bodenart sowie Dichte des Bodens und bezieht sich auf die Bodenzone, in der die Wurzeln einjähriger landwirtschaftlicher Nutzpflanzen den verfügbaren Wasservorrat voll ausschöpfen können.

In den Sommern 2018 bis einschließlich 2020 sank dieser Auffüllstand deutlich ab: im Lössboden (Schmorren) auf 51 %, in lehmig-sandigen/-schluffigen Böden (Köllitsch/Hilbersdorf) auf 20 bis 30 % und im Sandboden (Lippen) auf nur noch 7 % des maximal verfügbaren Wasserspeichers. Im Sommer 2021 lag der Auffüllstand im Lössboden durchgängig über 60 %, in den sandigen und lehmigen Substraten kurzzeitig bei 35 %, aber überwiegend über 50 %.

Der absolute pflanzenverfügbare Wasservorrat im effektiven Wurzelraum ist in den extremen Trockenperioden seit 2016 kontinuierlich gesunken (Abbildung 12), beispielsweise im Lössboden um ca. 40 mm (bzw. l/m²). Zwar wurde das bisherige Minimum der Messungen an den BDF aus dem Dürrejahres 2003 nicht erreicht, deutlich ausgeprägter war jedoch die Dauer der sommerlichen Wasserdefizite über jeweils mehrere Monate.

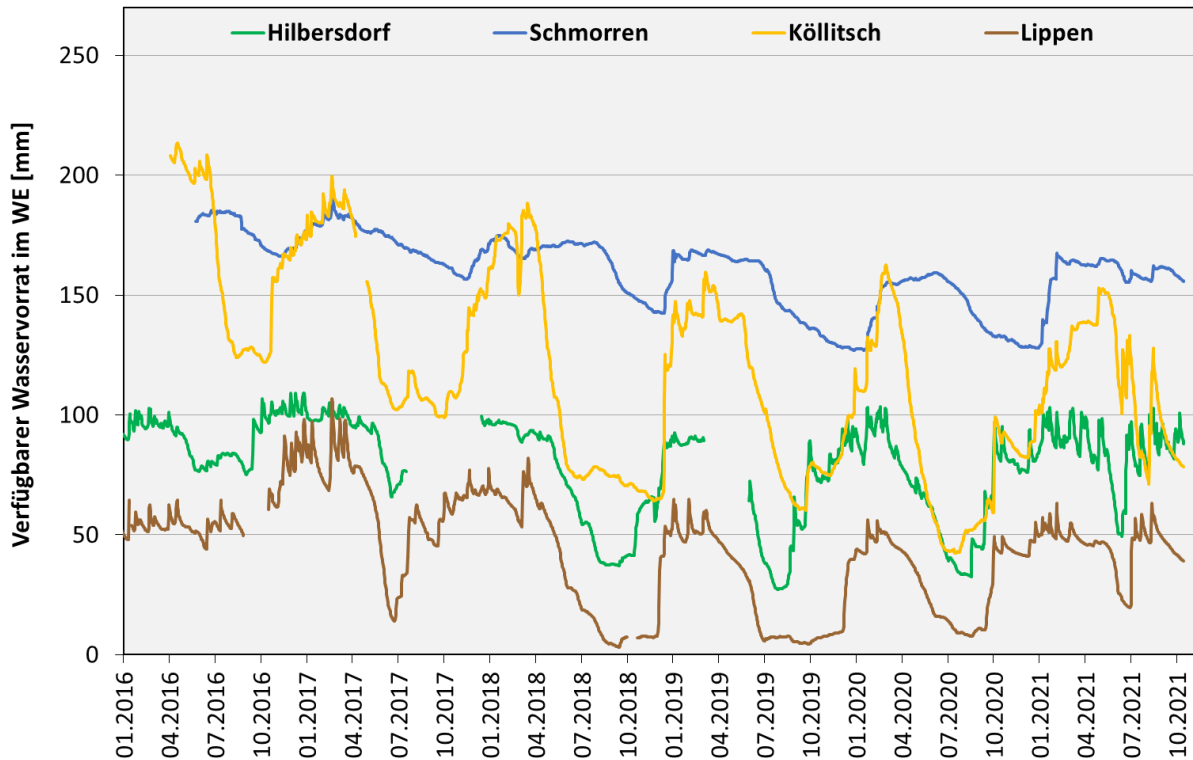


Abbildung 12: Aktuell pflanzenverfügbarer Wasservorrat (Tagesmittel) im effektiven Wurzelraum (WE) in mm (=l/m²) an den BDF-Stationen Hilbersdorf (grün, WE = 8 dm), Schmorren (blau, WE = 11 dm), Köllitsch (gelb, WE = 9 dm) und Lippen (braun, WE = 6 dm)

Eine dünne Schicht Boden von nur 1 cm Mächtigkeit kann bei Sandböden rund 0,5 bis 1 mm und bei Lössböden ca. 2 bis 3 mm Wasser speichern. Entsprechend dieser unterschiedlichen Wasserspeicherkapazitäten weist der Lössboden (Schmorren), trotz kontinuierlicher Reduzierung der Werte in den letzten Jahren, noch immer sehr hohe absolute verfügbare Wasservorräte auf.

In sandigen und lehmigen Böden mit geringerem Wasserspeichervermögen (Köllitsch, Lippen, Hilbersdorf) haben sich die Wasservorräte im Jahr 2021 im Vergleich zum negativen Trend der Vorjahre stabilisiert. Der absolute Vorrat an pflanzenverfügbarem Wasser lag dennoch, vor allem in den Sandböden, auf einem geringeren Niveau als im langjährigen Mittel vor 2018.

Aktuell (Stand: Anfang November 2021) befinden sich ca. 156 mm an pflanzenverfügbarem Wasser im effektiven Wurzelraum der untersuchten Lössböden. Im Vergleichszeitraum 2016 waren es etwa 167 mm. In sandigen Substraten sind Anfang November nur ca. 78 mm (Köllitsch) bzw. 39 mm (Lippen) an pflanzenverfügbarem Wasser im effektiven Wurzelraum vorhanden. In den Jahren 2016 wurden Anfang November hingegen 156 bzw. 63 mm gemessen. Der lehmig-schluffige Boden (Hilbersdorf) liegt aktuell bei 88 mm pflanzenverfügbarem Wasser im Vergleich zu 101 mm im Vergleichszeitraum 2016.

Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung am Standort Brandis (Lysimeterstation BfUL)

Die nachfolgenden Analysen basieren auf den Untersuchungen verschiedener Bodentypen unter einheitlicher landwirtschaftlicher Nutzung und identischem Klima an der Lysimeterstation Brandis. Im

aktuellen Untersuchungsjahr wurde in Brandis Winterweizen angebaut. Die untersuchten Bodengruppen decken ein breites hydrologisches Spektrum ab und sind vor allem für den Nordwesten Sachsens repräsentativ. Tabelle 2 enthält die wesentlichen bodenhydrologischen Eigenschaften der Böden. Die in Brandis beobachteten Sickerwassermengen und Bodenwasserspeicherdefizite des hydrologischen Jahres 2021 (11/2020 bis 10/2021) werden nachfolgend mit den historischen Beobachtungen im Referenzzeitraum 1981 bis 2010 verglichen.

Tabelle 2: Einteilung der untersuchten Bodengruppen (Gr.) in Klassen von Pedohydrotopen (PH) mit Beschreibung der Böden und Angaben zur mittleren Feldkapazität (FK) und der maximalen Feldkapazität (FK_{max}) der Wurzelzone, sowie den mittleren jährlichen Sickerwassermengen (Referenzzeitraum 1981 – 2010) und dem vertikalen Verlagerungsrisiko des Wassers (VR).

PH	Beschreibung	Gr.	FK (FK _{max}) (mm)	Sw (mm/a)	VR
a	kiesige Mittel- und Grobsande ohne bindige Deckschichten	5	58 (70)	191	mittel
b	gebänderte Mittel- und Feinsande über Sanden und Kiesen	4 8	109 (145)	135	gering
c	Geschiebelehm (-mergel) über Sanden oder Kiesen	1; 7 11	120 (185)	102	gering – sehr gering
d	mächtige Lössschichten über Sanden, Kiesen oder Geschiebelehm/-mergel	9 10	275 (445)	20	sehr gering

Das hydrologische Jahr 2020 endete mit teils überdurchschnittlichen Bodenwasserspeicherdefiziten auf allen Bodentypen. Deren Auffüllung dauerte auf den sehr leichten Böden (Pedohydrotop a) bis in den Januar 2021, auf den leichten und mittleren Böden bis in den Februar. Auf allen Böden war somit im Vergleich zum Referenzzeitraum ein verspätetes Einsetzen der Sickerwasserperiode zu beobachten. Nach unterdurchschnittlichen Sickerwassermengen auf den leichten und mittleren Böden im Januar wurden im Februar überdurchschnittliche Sickerwassermengen auf diesen Böden beobachtet. In den Monaten März, April und Mai kam es mit Ausnahme der schweren Böden zu mittleren Sickerwassermengen auf allen fast allen Böden. Bedingt durch den verspäteten Beginn und die eher durchschnittliche Dynamik, konnte in der eigentlichen Grundwasserneubildungsperiode (in Brandis von Dezember bis Mai) auf allen Böden nur ein unterdurchschnittlicher Sickerwasseranfall festgestellt werden.

Im weiteren Jahresverlauf kam es nach der Ernte im August zu deutlich überdurchschnittlichen Niederschlägen in deren Folge eine außergewöhnlich hohe Sickerwasserbildung in den Monaten August und September auf den leichten und mittleren Böden beobachtet werden konnte. Auf den meisten Böden konnten diese hohen Sickerwassermengen im Spätsommer die Defizite aus dem Frühjahr kompensieren (Abbildung 13). Deutlich unterdurchschnittliche Sickerwassermengen konnten nur auf den Böden der Gruppe 11 beobachtet werden. Auf den schweren Böden kam es bedingt durch sehr hohe Bodenwasserspeicherdefizite zum Ende des hydrologischen Jahres 2020 und im gesamten Verlauf des Jahres 2021 zu keiner Sickerwasserbildung. Eine ausbleibende Sickerwasserbildung wurde auf diesen Böden bereits in der Vergangenheit beobachtet, dennoch ist mehrjährig anhaltende Sickerwasserslosigkeit (Gruppe 9: 7 Jahre; Gruppe 10: 5 Jahre) auch auf den schweren Lößböden außergewöhnlich.

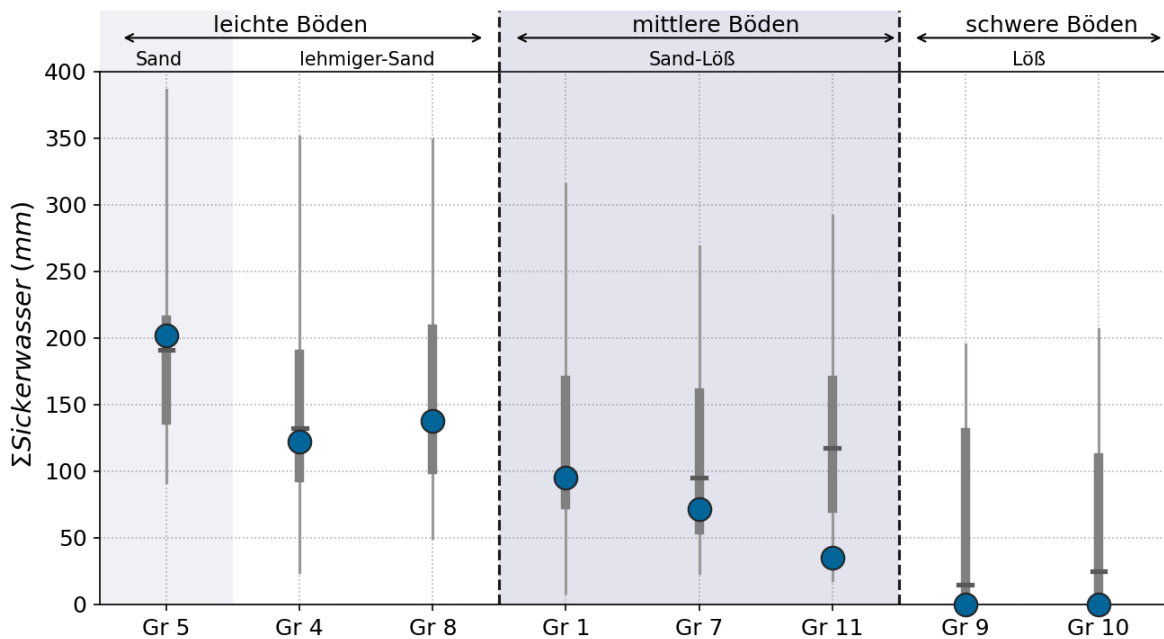


Abbildung 13: Verlauf der in der Lysimeterstation Brandis beobachteten Jahressummen der jährlichen Sickerwassermengen für 8 verschiedene Bodengruppen im hydrologischen Jahr 2021. Die grauen Boxplots repräsentieren die im Referenzzeitraum 1981 – 2010 beobachteten Verteilungen der jeweiligen jährlichen Größen und dienen der statistischen Einordnung.

Die mittleren Bodenwasserspeicherdefizite der acht untersuchten Bodengruppen für das aktuelle hydrologische Jahr sind in Abbildung 14 dargestellt. Aus bodenhydrologischer Sicht ist nach den drei sehr trockenen Jahren 2018, 2019 und 2020 das hydrologische Jahr 2021 als durchschnittliches Jahr zu charakterisieren. Die mittleren jährlichen Bodenwasserspeicherdefizite sind auf allen leichten und mittleren Böden als durchschnittlich bis leicht unterdurchschnittlich einzustufen und liegen auf Höhe der jeweiligen 50er-Perzentile des Referenzzeitraums oder leicht darüber. Diese Situation ergibt sich vor allem aus der ungewöhnlichen Auffüllung der Bodenwasserspeicher im Mai des aktuellen Jahres und der ebenfalls ungewöhnlichen Auffüllung im August 2021. Dadurch kam es im Verlauf der Vegetationsperiode nicht erst zu hohen Bodenwasserspeicherdefiziten und die typische sommerliche Zehrung wurde auf den leichten und mittleren Böden durch die hohen Niederschlagsmengen im August 2021 vollständig ausgeglichen.

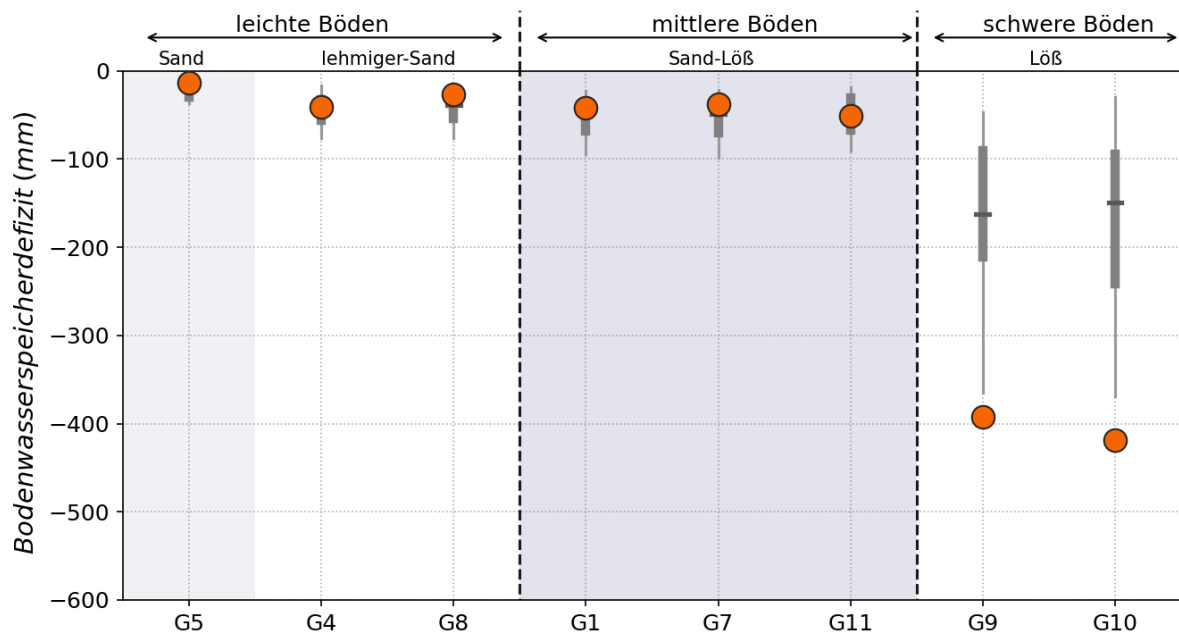


Abbildung 14: Verlauf der in der Lysimeterstation Brandis beobachteten mittleren jährlichen Bodenwasserspeicherzehrungen für 8 verschiedene Bodengruppen im hydrologischen Jahr 2021. Die grauen Boxplots repräsentieren die im Referenzzeitraum 1981 – 2010 beobachteten Verteilungen der jeweiligen jährlichen Größen und dienen der statistischen Einordnung.

Trotz der günstigen meteorologischen Randbedingungen des hydrologischen Jahres 2021 ist das Bodenwasserspeicherdefizit auf den schweren Lößböden der Gruppen 9 und 10 noch immer überdurchschnittlich stark ausgeprägt. Die Bodenwasserspeicher dieser tiefgründigen Lößböden sind so groß, dass sich Defizite ausbilden können, die durch die Winterniederschläge nur teilweise aufgefüllt werden können. Auf diese Weise können Bodenwasserspeicherdefizite in Folgejahren fortbestehen und sich akkumulieren. Die aktuellen Bodenwasserspeicherdefizite der schweren Lößböden haben mittlerweile ein Niveau erreicht, bei dem auch ein überdurchschnittlich feuchter Winter nicht zu einer Auffüllung ausreicht.

Auswirkungen auf das Grundwasser

Die Jahre 2018 bis 2020 brachten für ganz Sachsen Rekordtiefststände für das Grundwasser. In 2021 stiegen die Grundwasserstände dann wieder deutlich an (Abbildung 15). Der Betrag des Anstieges in 2021 ist fast gleich mit dem Betrag der Jahre 1987 und 1994, mit denen ebenfalls Grundwasserdürren zu Ende gingen. Der Unterschied ist, dass mit den historisch tiefen Grundwasserständen in 2020 der mittlere Grundwasserstand in 2021 weiterhin unterhalb des vieljährigen mittleren Grundwasserstandes (im Bereich des 15er-Perzentils) verbleibt.

Seit 1970 wurde der mittlere jährliche Grundwasserstand von 2021 nur in den Jahren 1991 bis 1993 und 2019/2020 unterschritten. Da die Grundwasserstände in Sachsen in 2018 bis 2020 auf historisch tiefem Niveau lagen, kann der aus dem erhöhten Niederschlag in 2021 resultierende Anstieg für einen vollständigen Ausgleich diesmal nicht mehr ausreichen. Die Episode 2018 – 2021 zeigt exemplarisch, wie geänderte klimatische Bedingungen die Intensität von Grundwasserdürren in Sachsen erhöhen

und die nachhaltige Erholung der Grundwasserstände in Nassjahren dadurch erschwert wird. Somit könnten bei einem eventuell ausgeprägten Niederschlagsdefizit in 2022 auch schnell wieder sehr tiefe Grundwasserstände erreicht werden.

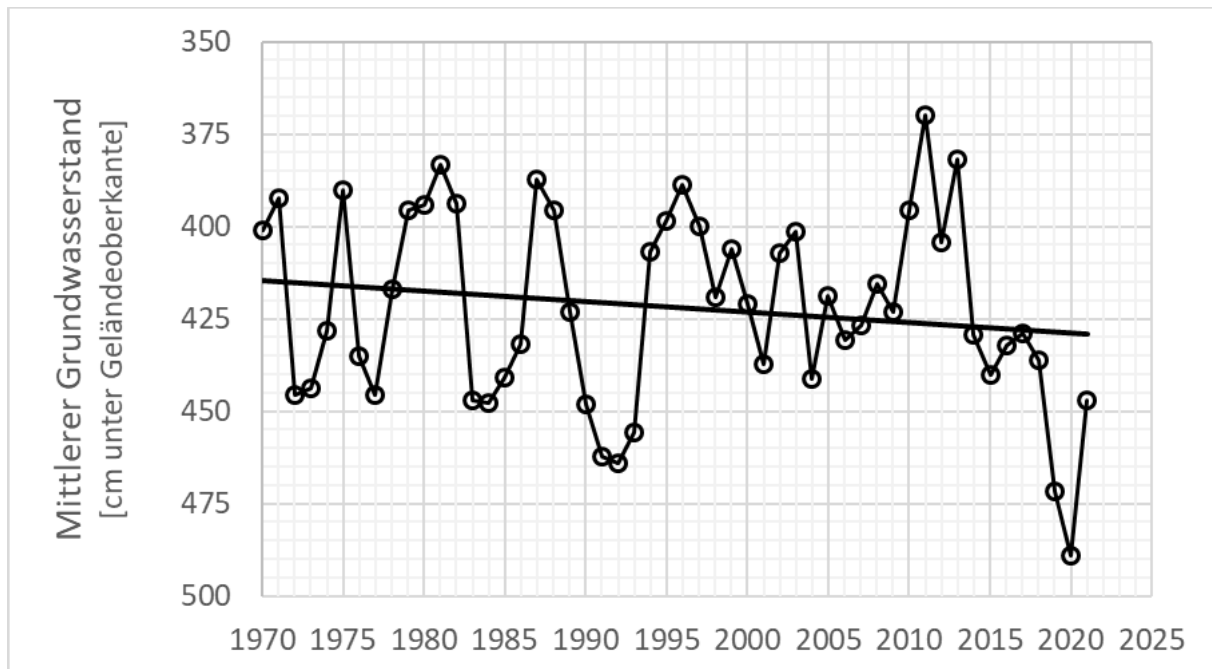


Abbildung 15: Jahresmittelwert der Grundwasserstände von 106 repräsentativen Messstellen in ganz Sachsen mit linearem Trend im Zeitraum von 1970 bis 2021 (Abflussjahr von 01.11. bis 31.10., vereinzelt Fehljahre).

Die folgende Abbildung 16 zeigt den monatlichen Verlauf des über ganz Sachsen gemittelten Grundwasserstandes der letzten Jahre im Vergleich zu den mehrjährigen Verläufen seit 1970. Letztere sind durch die schwarz gestrichelten bzw. grauen Bereiche gekennzeichnet. Alles, was im grauen Bereich ist, kann als normal gelten. Deutlich zu erkennen ist, dass ab Mai 2018 die Grundwasserstände aus dem Normalbereich (mehrjähriger Quantilsbereich Q25 – Q75) heraustreten und ab August 2021 in diesen wieder eintreten. Insofern kann die mehrjährige extreme Grundwasserdürre auf diesen Zeitraum eingegrenzt werden. Die Auswertung wurde an ca. 100 repräsentativen, anthropogen nicht beeinflussten Messstellen vorgenommen und wird laufend aktualisiert. Ein aktualisierte Version dieser Grafik auch für aktuelle Monate kann jeweils unter wasser.sachsen.de/grundwasserstaende.html abgerufen werden.

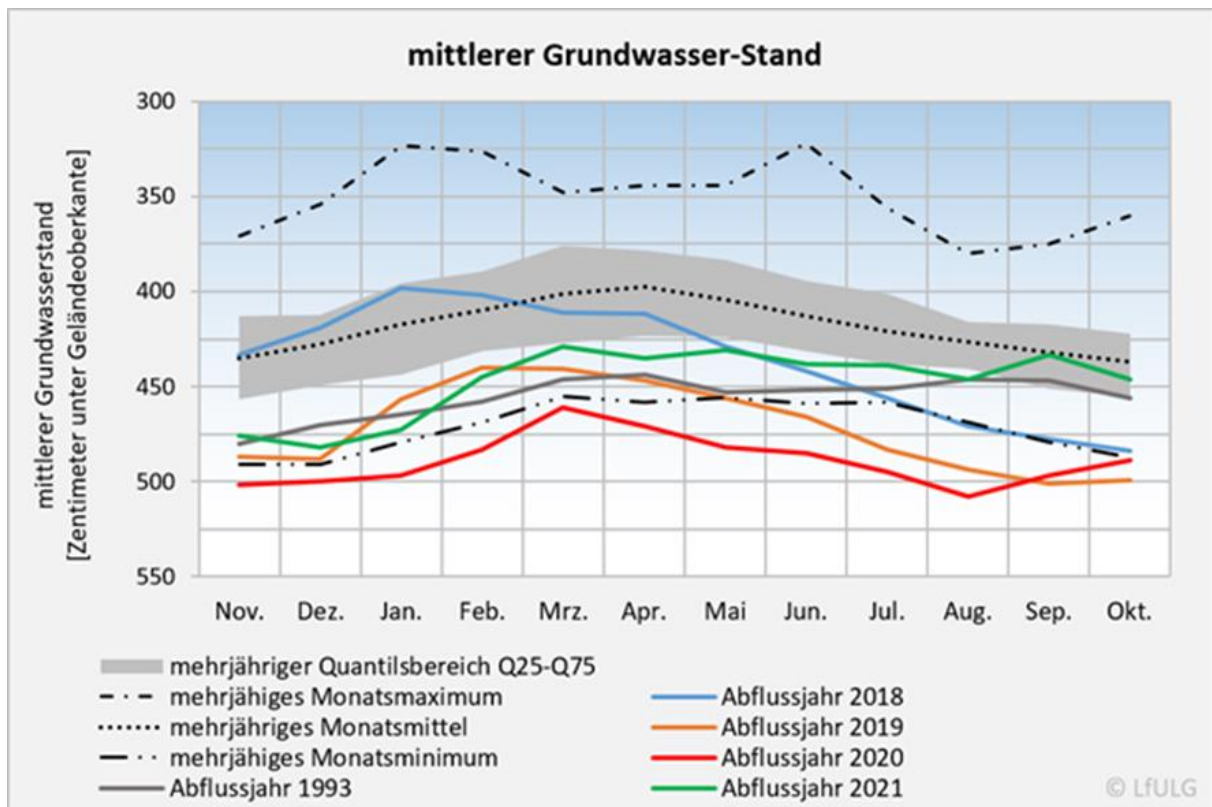


Abbildung 16: Monatswerte von Grundwasserständen in ganz Sachsen im mehrjährigen Mittel 1970 bis 2017 (grauer Bereich und schwarze Linien) im Vergleich mit den Einzeljahren 2018, 2019, 2020 und 2021. Das Abflussjahr beginnt am 01.11. des Vorjahres und endet am 31.10. des Jahres. Datenauswahl: ca. 100 repräsentative Messstellen, vereinzelt Fehljahre, Auswertezeitraum 1970 bis aktuell.

In Bezug auf die Aussage der stärksten beobachteten Grundwasserdürre wird hier eine Auswertung in Anlehnung an den Standardisierten Niederschlagsindex SPI mit dem Standardisierten Grundwasserindex SGI vorgenommen (Bloomfield und Marchant, 2013; Yeh und Chang, 2019). Dabei erfolgt eine Standardisierung (Z-Transformation) des langjährigen Monatsmittels und des aktuellen Monatsmittels. Nachfolgende Abbildung 17 zeigt den langjährigen Verlauf des SGI an sächsischen Grundwassermessstellen seit 1918. Werte und Perioden unter null geben trockene Grundwasserverhältnisse (rosa Bereiche), Werte über Null feuchte Grundwasserverhältnisse (blaue Bereiche) wider. Werte kleiner -1 bedeuten eine Grundwasserdürre.

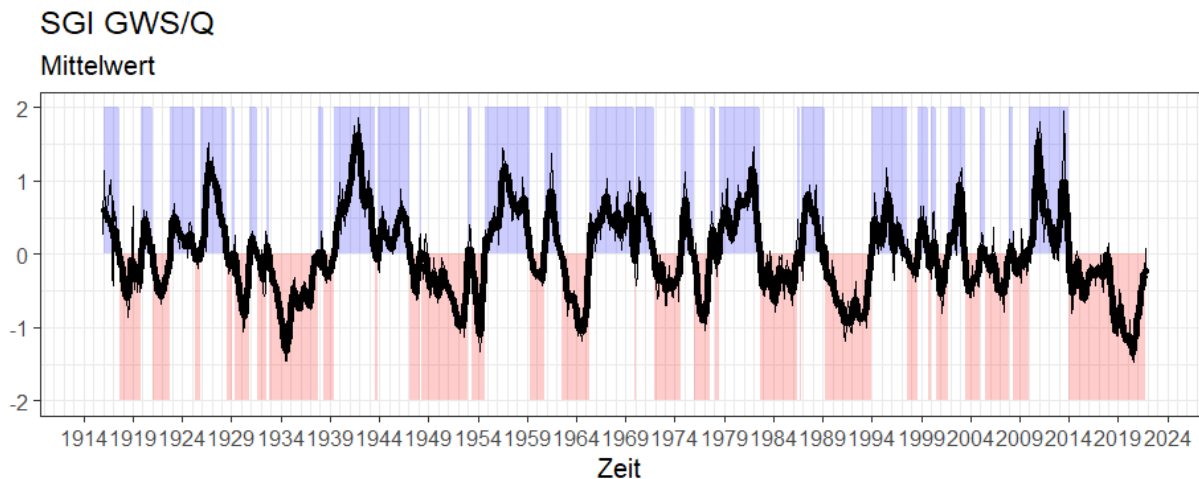


Abbildung 17: SGI der Zeitreihe 1916 bis 2021 (GWS - Grundwasserstand ; Q – Quellschüttung).

Aus der Grafik kann geschlussfolgert werden, dass a) in der Betrachtung der Überlagerung von Dauer und Stärke eine solche Grundwasserdürre wie 2018 bis 2020 bislang nicht beobachtet wurde und b) die Grundwasserdürre bereits nach dem Hochwasser 2013 einsetzte und sich ab 2018 zu einer extremen Grundwasserdürre verstärkte. Zu beachten ist dabei weiterhin, dass im Zeitraum 2018 bis 2020 einzelne Messstellen einen extrem negativen SGI deutlich unter -2 aufwiesen, dies aber durch die Mittelwertbildung hier nicht erkennbar wird.

Auswirkungen auf die Öffentliche Wasserversorgung und den Brunnenbau

Die Witterung des Jahres 2021 hatte aufgrund der seit 2018 andauernden Grundwasserdürre in Verbindung mit weiterhin überdurchschnittlich hohen Verdunstungsraten keinen unmittelbaren und wesentlichen Anstieg der Grundwasserstände zur Folge. Wie in den Jahren zuvor konnte die aus Grundwasserressourcen erfolgende öffentliche Trinkwasserversorgung dennoch durchgängig in der geforderten Qualität und Menge sichergestellt werden. Durch eine gesamtheitliche Speicherbewirtschaftung und hohe Niederschlagsmengen bewegten sich die Füllstände der Talsperren meist am Stauziel. Damit konnten auch die Rohwassermengen aus den Trinkwassertalsperren, aus denen knapp 40 % der Wasserentnahmen für die öffentliche Trinkwasserversorgung stammen, 2021 fast ohne Einschränkungen bereitgestellt werden.

Die seit 2018 anhaltende Trockenperiode hat jedoch gezeigt, dass die Eigenwasserversorgungsanlagen der privaten dezentralen Versorgungsstrukturen unter solchen Umständen stark betroffen sind und zeitweise eine Notversorgung durch die öffentlichen Aufgabenträger erfolgen musste. Laut Bericht des Statistischen Landesamtes des Freistaates Sachsen betrug der Anschlussgrad in Sachsen Ende des Jahres 2019 99,4 %, d.h. 25.163 Einwohner waren ohne Anschluss an die öffentliche Wasserversorgung. Die Aufgabenträger sind dazu angehalten, die gesetzliche Versorgungspflicht (nach § 43 des Sächsischen Wassergesetzes – SächsWG) und die Möglichkeiten der Wasserversorgung für Ortslagen mit überwiegend privater Wasserversorgung zu überprüfen.

Das Sächsische Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) unterstützt die Aufgabenträger der öffentlichen Wasserversorgung bei der Erweiterung der

öffentlichen Trinkwasserinfrastrukturen im ländlichen Raum mit einem bis zum 31. Dezember 2023 befristeten Sonderprogramm (Förderrichtlinie Sonderprogramm öffentliche Trinkwasserinfrastruktur – RL öTIS/2019, Fördersatz bis 65 %). Seit dem ersten Aufruf zur Einreichung von Förderanträgen am 3. April 2019 folgten ein zweiter Aufruf am 1. Oktober 2020 und ein dritter Aufruf am 26. Juli 2021. Im Zuge der drei Aufrufe konnten bereits 94 Anträge von öffentlichen Aufgabenträgern bewilligt werden. Mit den ausgereichten Fördermittelbescheiden können 2.838 Grundstücke mit rund 7.210 Einwohnern einen Anschluss an die öffentliche Wasserversorgung erhalten. Die Aufteilung der Anträge auf die einzelnen Aufrufe sowie die bereits umgesetzten Erschließungsmaßnahmen können Abbildung 18 entnommen werden. Für sechs Anträge zur Trinkwassererschließung von insgesamt 61 Grundstücken mit 165 Einwohnern aus dem 3. Aufruf steht eine Bewilligung hingegen noch aus. Informationen zu Konditionen, Verfahrensablauf sowie die Antragsformulare finden sich auf den Seiten der Sächsischen Aufbaubank unter www.sab.sachsen.de/Trinkwasserversorgung.

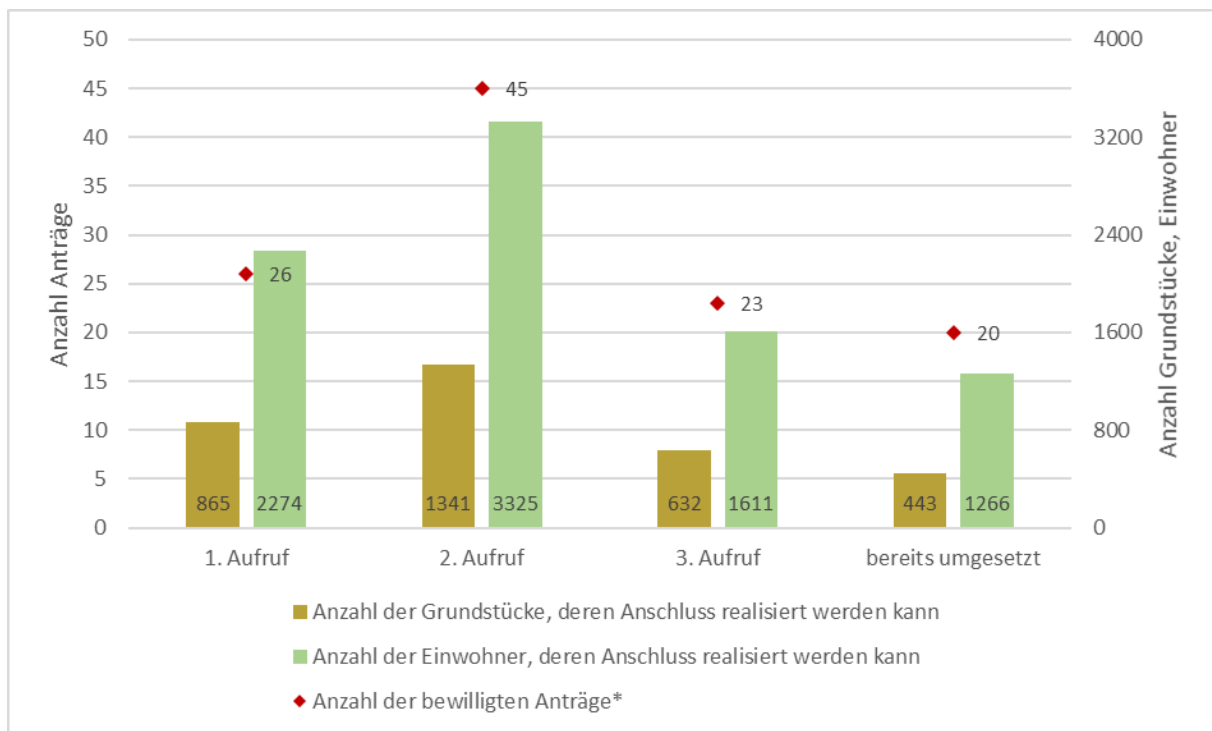


Abbildung 18: Sachstand der Maßnahmenanträge zu den Aufrufen der Richtlinie öTIS (Quelle: FÖMISAX, Stand: Dezember 2021); *bewilligte, aber zurückgezogene Anträge aufgrund fehlender Eigenbeteiligung von Grundstückseigentümern werden nicht mitgezählt.

Grundsätze und Handlungsbedarfe zur langfristigen Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung im Freistaat Sachsen unter Berücksichtigung der demografischen und klimatischen Entwicklungen werden in der „Grundsatzkonzeption öffentliche Wasserversorgung 2030 für den Freistaat Sachsen“ formuliert.

Der Brunnenbau im privaten Rahmen ist zunächst ein verfahrensfreies Bauvorhaben. Die Brunnenbohrung muss allerdings wie auch sonstige Bohrungen, die in das Grundwasser hineinreichen, bei den zuständigen Behörden (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und untere Wasserbehörden) angezeigt werden („Bohranzeige“). Die in Abbildung 19 dargestellte

Auswertung zeigt, dass in Folge der Trockenperiode die Anzeigen zu Brunnenbohrungen seit 2018 im Vergleich zu den Vorjahren um ein Vielfaches angestiegen sind. Da Grundwasserentnahmen in geringen Mengen erlaubnisfrei sind, ist allerdings keine Aussage über aktuell in Betrieb befindliche Brunnen möglich.

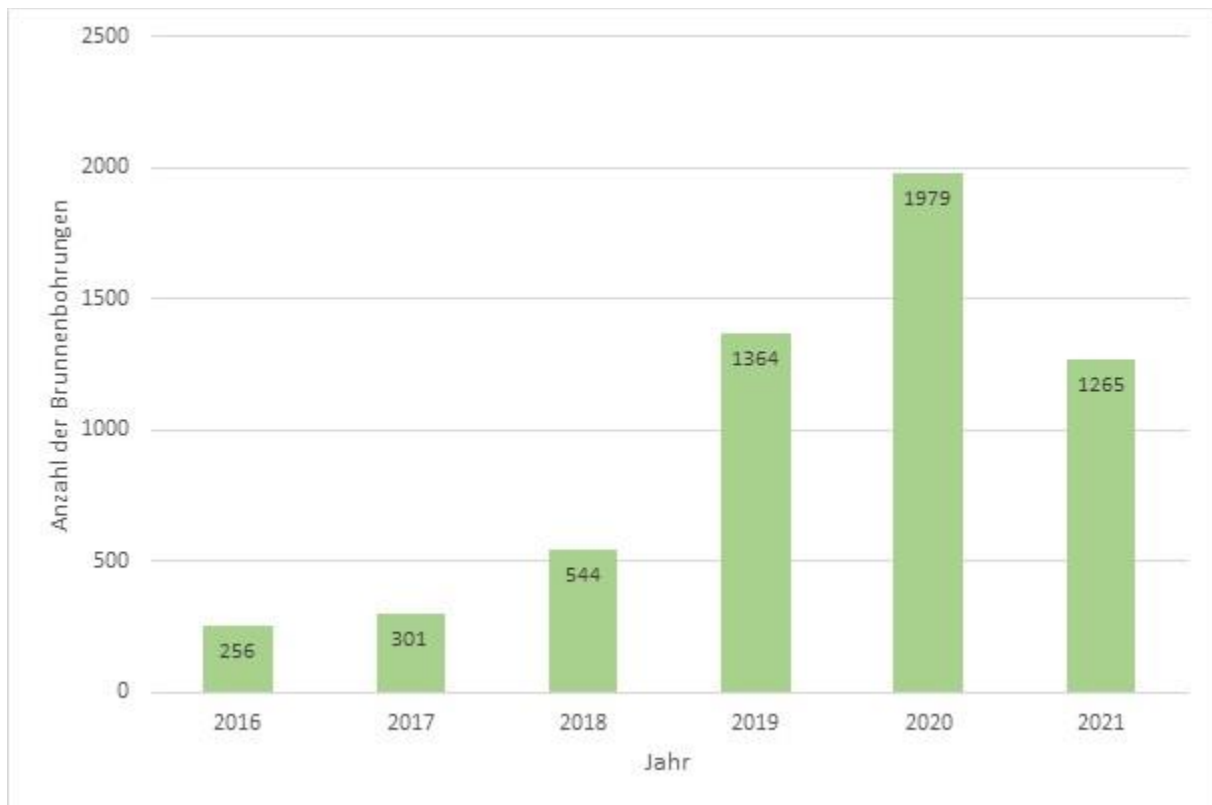


Abbildung 19: Entwicklung der Bohranzeigen zum Brunnenbau seit 20161.

Literatur:

- Bloomfield, J. P. and Marchant, B. P.: Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 4769–4787 (2013). <https://doi.org/10.5194/hess-17-4769-2013>
- Yeh, Hsin-Fu and Chang, Chia-Fu: Using Standardized Groundwater Index and Standardized Precipitation Index to Assess Drought Characteristics of the Kaoping River Basin, Taiwan. *Water Resources* 46, 670–678 (2019). <https://doi.org/10.1134/S0097807819050105>

Wasserführung in den Fließgewässern

Das Abflussjahr 2021 (November 2020 bis Oktober 2021) war deutlich zu warm, zu trocken und überdurchschnittlich sonnig. Eingeläutet wurde es von einem markant zu trockenem November, gefolgt von einem deutlich zu trockenem Dezember. Die Folgemonate bis zum August waren danach oft zu

¹Enthalten sind Brunnenbohranzeigen zu jeglichem Zweck (private, betriebliche, öffentliche Wasserversorgung etc.)

nass, mit Ausnahme vom März und April. Das Niederschlagsdargebot im Juni 2021 entsprach dem langjährigen Mittel (Referenzperiode: 1991 bis 2020). Im Gegensatz zu den Abflussjahren 2019 und 2020 in denen fast alle Monate zu warm waren, herrschte im Abflussjahr 2021 ein Wechselspiel zwischen deutlich zu warmen und zu kalten Monaten.

Im Abflussjahr 2021 lagen die Jahresmittelwerte der Durchflüsse an den Pegeln der sächsischen Fließgewässer meist bei 75 bis 105 % vom mittleren Durchfluss MQ(Jahr). Im Flussgebiet Nebenflüsse der mittleren Elbe bewegten sie sich auf niedrigerem Niveau bei 45 bis 65 % des MQ(Jahr). Die Niedrigwassersituation in den sächsischen Fließgewässern war in diesem Abflussjahr nicht so ausgeprägt wie in den drei vorangegangenen Abflussjahren. Das zeigt auch die Abbildung 20, in welcher der Anteil der sächsischen Pegel mit einer Wasserführung kleiner/gleich des Niedrigwasser-Schwellenwertes MNQ für die Kalenderjahre 2018 bis 2021 dargestellt ist.

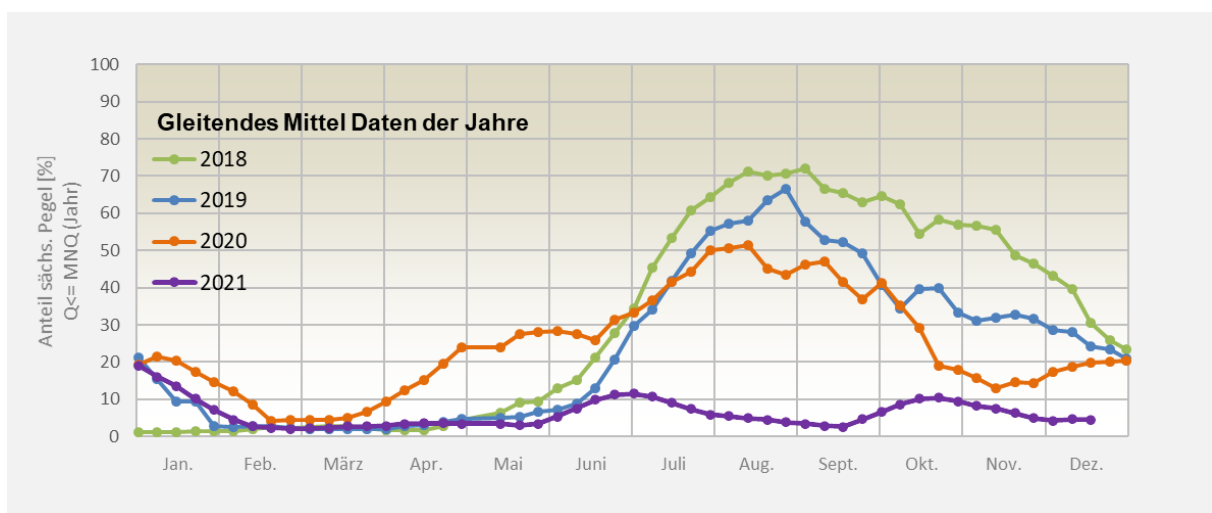


Abbildung 20: Anteil sächsischer Pegel mit einer Wasserführung kleiner/gleich des Niedrigwasser-Schwellenwertes MNQ für die Kalenderjahre 2018 bis 2020; es handelt sich um eine wöchentlich aktualisierte Stichtags-Auswertung der Werte von 146 Messstellen.

Zu Beginn des Kalenderjahres wurden noch an 20 % der 146 ausgewerteten Pegeln Durchflüsse kleiner oder gleich MNQ(Jahr) beobachtet. Im weiteren Verlauf des Abflussjahres bewegte sich der Anteil der sächsischen Pegel im Niedrigwasser meist unter 15 % aller ausgewerteten Messstellen.

Im Februar, Mai, Juli und August kam es zu lokalen Hochwasserereignissen. Insbesondere in den Oberläufen und kleineren Fließgewässern gab es Mitte Juli schwere Überschwemmungen. Dabei stiegen an den Pegeln der Hauptgewässer die Scheiteldurchflüsse jedoch selten über den mittleren langjährigen Hochwasserdurchfluss MHQ(Jahr).

Beim Vergleich der MQ-Werte ausgewählter repräsentativer Pegel für die Jahre 2018 bis 2020 zeigt sich, dass die niedrigsten mittleren Jahresdurchflüsse im Abflussjahr 2020 registriert wurden. Die MQ-Werte im Abflussjahr 2021 weisen aus, dass sich die Abflusssituation 2021 erholt hat und wieder in der Größenordnung der MQ-Werte der langjährigen Reihe liegen (siehe Abbildung 21). Bei dieser Auswertung werden (im Gegensatz zu Abbildung 20) alle aufgetretenen Messungen mit einbezogen (also auch Werte im Mittel- und Hochwasserbereich).

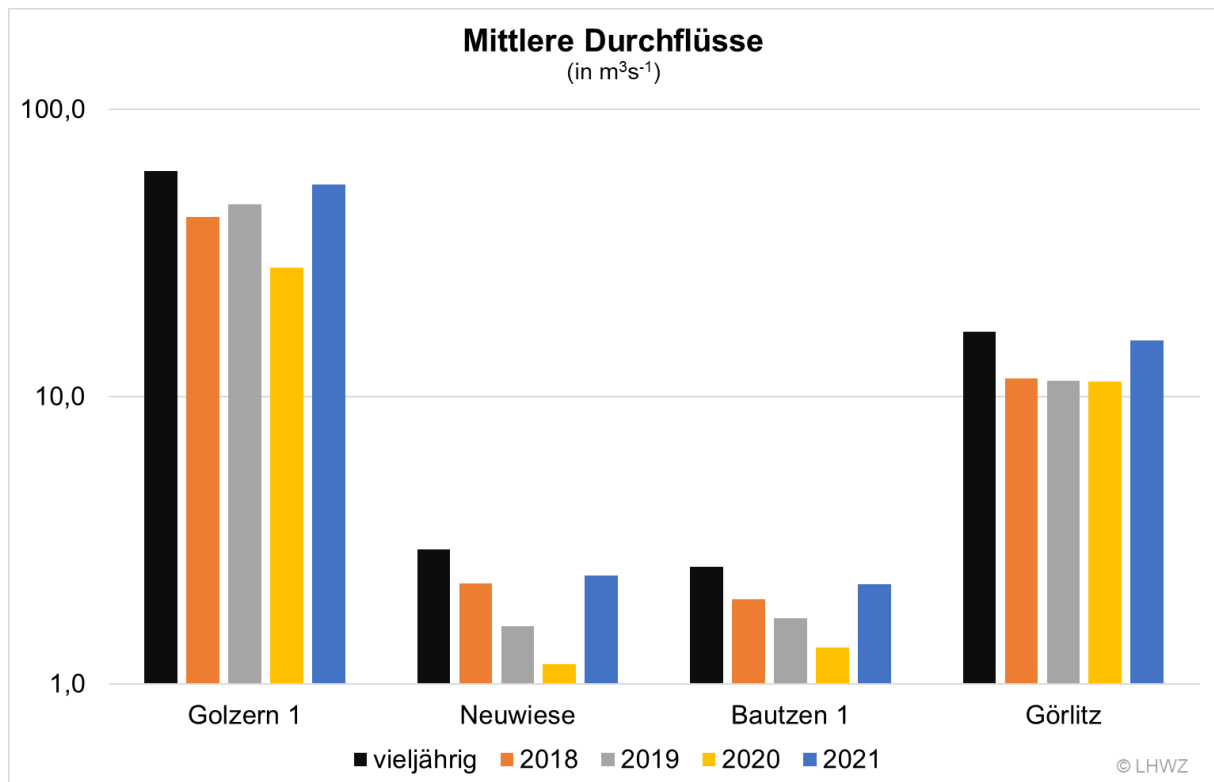


Abbildung 21: Mittlere Jahresdurchflüsse für ausgewählte Pegel für die Abflussjahre 2018 bis 2020 im Vergleich zum langjährigen Mittelwert; für die Abflusssummen (Füllen) ergibt sich relativ dasselbe Bild.

Dazu sind die folgenden Punkte zu bemerken:

- In den Kalenderjahren 2018 bis einschließlich 2020 lag die Wasserführung flächendeckend deutlich unter dem langjährigen Durchschnitt; es war also weniger Wasser in den Fließgewässern als üblich.
- Verbreitet war hinsichtlich der mittleren Wasserführung bzw. der Gesamtabflussmengen nicht das niederschlagsärmste Jahr 2018, sondern 2020 der Negativ-Spitzenreiter. Das ist eine direkte Konsequenz aus der Abhängigkeit der Wasserführung bei Trockenwetter von den Grundwasserständen.

Zur Elbe

Für die Elbe folgte den abflussarmen Jahren von 2014 bis 2020 nunmehr ein etwas abflussreicheres Jahr 2021 (Abbildung 22). Die Jahresmittelwerte der Durchflüsse der sächsischen Elbepegel erreichten im Abflussjahr 2021 90 bis 105 % des langjährigen Mittels, MNQ(Jahr) wurde 2021 an keinem der sächsischen Elbepegeln unterschritten („kein Niedrigwasser“).

Das Abflussgeschehen der Elbe in Sachsen war 2021 erstmals nach 2013 wieder durch kleinere Hochwasser geprägt. Im Februar kam es zu zwei Schneeschmelzhochwassern in der ersten und der dritten Februarwoche. Die erste Hochwasserwelle Anfang Februar war das größere Ereignis und es wurden die höchsten Wasserstände und Durchflüsse des Abflussjahres sowie der letzten sieben Jahre registriert. Die Wasserstände bewegten sich dabei maximal im Bereich des Richtwertes der

Alarmstufe 1, die Scheiteldurchflüsse lagen deutlich unter dem langjährigen Hochwasserdurchfluss MHQ(Jahr).

Auch Mitte Mai und im Juli liefen kleinere Hochwasserwellen ab. Im Zeitraum vom 21.06.2021 bis 23.06.2021 wurden die niedrigsten Wasserstände und Durchflüsse im Abflussjahr 2021 registriert, MNQ(Jahr) wurde jedoch an keinem der sächsischen Elbepegeln unterschritten. Ab August bis zum Ende des Abflussjahres bewegten sich die Durchflüsse an den Pegeln wieder auf niedrigem Niveau und nur zeitweise wurden die monatstypischen Werte erreicht.

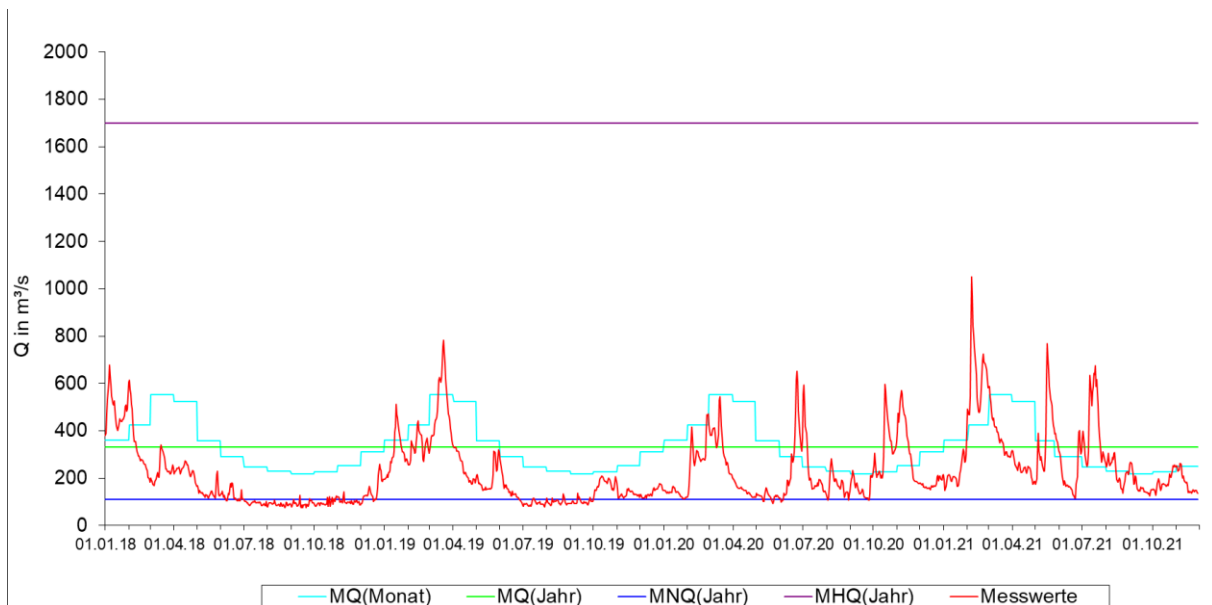


Abbildung 22: Durchflussganglinie für den Pegel Dresden / Elbe von Anfang 2018 bis Ende 2021.

Hinweis: Weitere Details und tieferegehende Auswertungen sind in den vom LHWZ herausgegebenen „Hydrologischen Wochen- und Monatsberichten“ zu finden (siehe umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/lhwz/hydrologische-wochen-und-monatsberichte.html).

Details zur Bewirtschaftung der Trinkwassertalsperren

Talsperrenbewirtschaftung und Wasserbereitstellung aus Talsperren

Insgesamt etwa 40 % des Rohwasserbedarfes der sächsischen Trinkwasserversorgung werden aus Talsperrenwasser gedeckt. Regional bestehen dabei natürlich große Unterschiede. Besonders hoch ist der Anteil des Talsperrenwassers mit ca. 80 % im mittleren und westlichen Erzgebirge. Die Rohwasserbereitstellung aus Talsperren war in Sachsen auch im Jahr 2021 jederzeit uneingeschränkt gesichert. Dabei bewährte sich die Vernetzung der Talsperren über Grenzen von Versorgungsgebieten hinaus, da die dadurch mögliche Verbundbewirtschaftung zum Ausgleich zwischen Überschuss- und Defizitgebieten genutzt werden konnte.

Die beobachteten Jahresniederschläge an den Talsperren lagen im Jahr 2021 im Bereich der langjährigen Mittelwerte, in den Kammlagen auch teilweise deutlich darüber. In den Wintermonaten

Januar und Februar bildete sich eine Schneedecke aus. Vor allem in den Kammlagen, in denen die Einzugsgebiete der Trinkwassertalsperren liegen, akkumulierten sich große Wasservorräte in der Schneedecke. Der Abtauprozess verlief bis Ende Februar moderat mit erhöhter Wasserführung in den Fließgewässern; es wurde kein kritisches Hochwasserniveau erreicht.

Die mit der Schneeschmelze einhergehenden erhöhten Talsperrenzuflüsse wurden in die Stauräume eingespeichert und trugen so zur Erhöhung der Talsperrenfüllungen bis hin zum Stauziel bei. In Abbildung 23 ist für den Zeitraum der markanten mehrjährigen Trockenperiode seit dem Jahr 2018 die Entwicklung der Talsperrenfüllungen für einige ausgewählte Trinkwassertalsperren dargestellt.

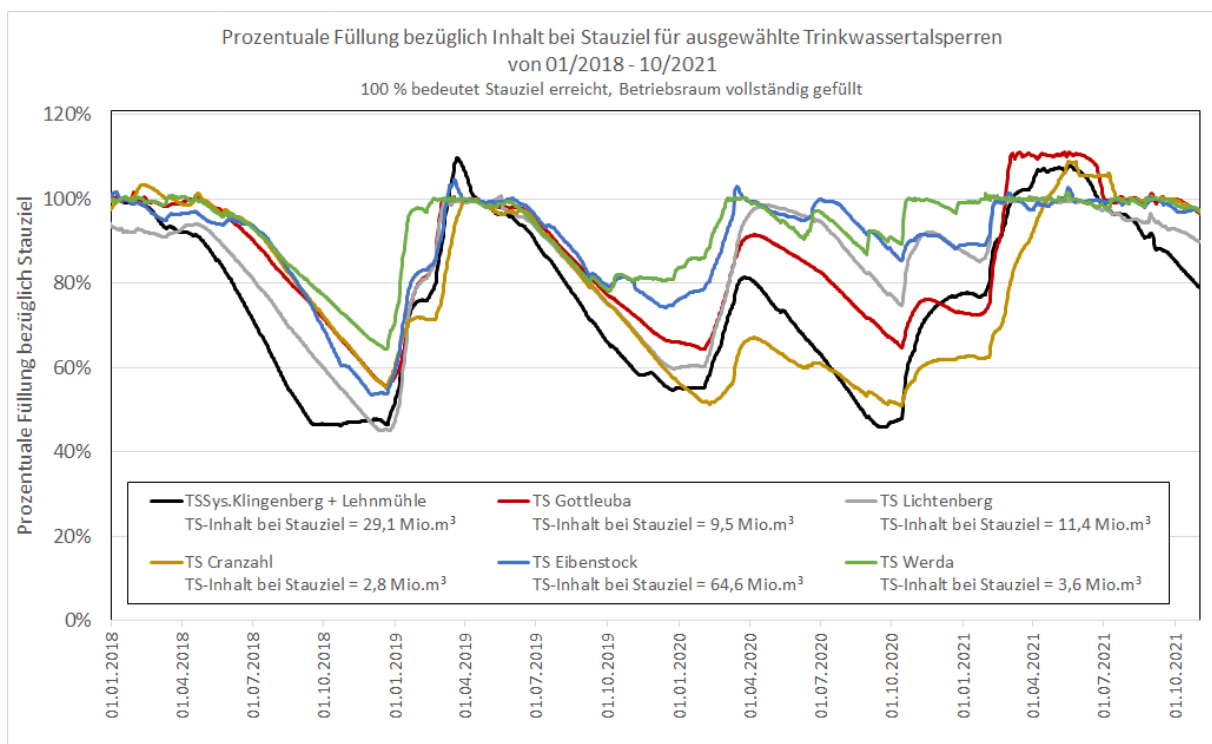


Abbildung 23: Prozentuale Füllung bezüglich Inhalt bei Stauziel für ausgewählte Trinkwassertalsperren der LTV im Zeitraum 01/2018 bis 10/2021.

Im Ergebnis der Auswertungen und Schlussfolgerungen aus der Trockenperiode 2018 bis 2020 für die Optimierung der Talsperrenbewirtschaftung wurden einige ausgewählte Trinkwassertalsperren im Frühjahr 2021 über das Stauziel hinaus, mit Talsperren-Inhalten von bis zu 110 % bezogen auf das Stauziel, eingestaut (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24). Dieser temporäre Einstau des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräume in der hochwasserrisikoarmen Zeit bis in den Monat Juni hinein war wasserbehördlich genehmigt; Vorkehrungen zum zügigen „Freifahren“ der gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräume bei Starkregenwarnungen wurden getroffen. Das zusätzlich eingespeicherte Wasser wurde geregelt an die jeweiligen Wasserwerke der Vertragspartner abgegeben und kam damit der Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung zugute.

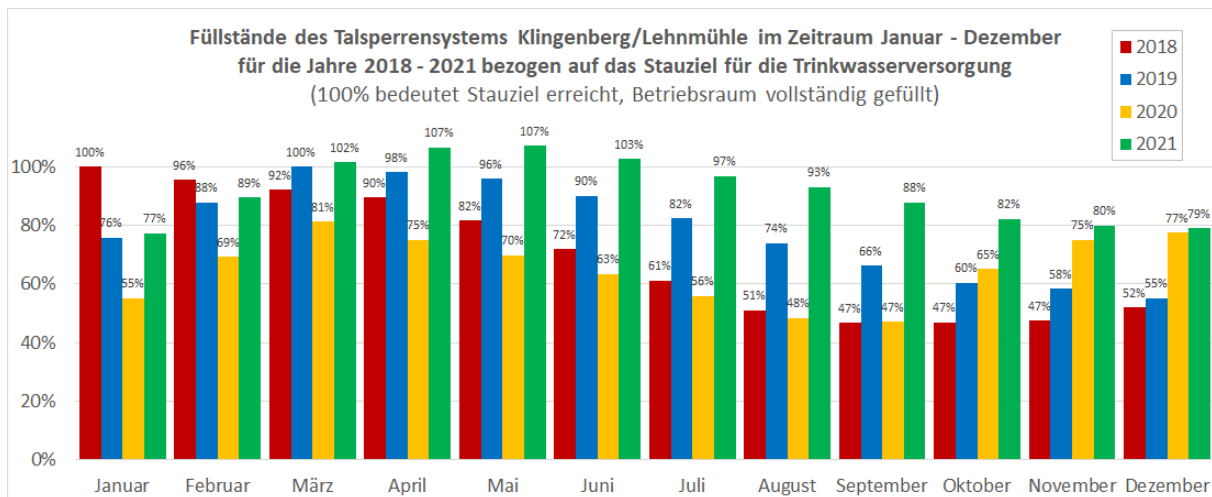


Abbildung 24: Vergleich der Füllstände des Talsperrensystems Lehnmühle-Klingenberg bezogen auf das Stauziel für die Jahre 2018 bis 2021 (sanierungsbedingte Teilabsenkung der TS Lehnmühle ab Juli 2021).

Anfang des Jahres 2021 befanden sich die Talsperrenfüllungen von lediglich zwei der 25 Trinkwassertalsperren (Cranzahl und Altenberg) noch im Bereich der Grenzhalt für die Ausrufung der sog. Bereitstellungsstufe 1 (Drosselung der Entnahme-Mengen). Daraus resultierten allerdings keine Einschränkungen bezüglich der vertraglich vereinbarten Rohwasserbereitstellung. Auch an diesen beiden Talsperrenstandorten entspannte sich die Lage mit Einsetzen der Schneeschmelze; die erhöhten Talsperrenzuflüsse konnten eingespeichert werden und ab Ende Februar waren alle Trinkwassertalsperren gut gefüllt. Besondere Regelungen nach Bereitstellungsstufen gab es danach im weiteren Jahresverlauf 2021 nicht.

Bei der Flussgebietsbewirtschaftung im Lausitzer Raum kommt den Brauchwassertalsperren Bautzen und Quitzdorf eine zentrale Bedeutung zu. Durch die Trockenjahre von 2018 bis 2020 konnten die beiden Brauchwassertalsperren Bautzen und Quitzdorf im Jahr 2020 bis zum Beginn der Bewirtschaftungsperiode nicht wieder bis zum Stauziel gefüllt werden. Um gegenzusteuern, wurden bereits im Sommerhalbjahr 2020 Maßnahmen getroffen, die die Wasserressourcen insbesondere der TS Bautzen schonen sollten. Durch diese Maßnahmen und das feuchtere Winterhalbjahr 2020/2021 haben beide Talsperren ihr Stauziel bis Ende April 2021 erreichen können.

Wie schon 2020 konnte auch 2021 beispielsweise im Einzugsgebiet der TS Quitzdorf ein leichter Niederschlagsüberschuss festgestellt werden. Im Jahr 2020 wurde dieser Überschuss nicht abflusswirksam und das Durchflussdefizit am Zuflusspegel der TS Quitzdorf war mit 11,5 Mio. m³ vergleichbar mit den niederschlagsärmeren Jahren 2018 und 2019. Das in Jahr 2021 festgestellte Durchflussdefizit betrug trotz der zu 2020 vergleichbaren Niederschläge nur noch 3 Mio. m³. Es ist also ein deutlich größerer Anteil des Niederschlags in den Abfluss übergegangen. Dieser Umstand resultiert u.a. auch aus der im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren geringeren mittleren Lufttemperatur und der daraus folgenden geringeren Gebietsverdunstung.

Zusätzlich dazu ist der Betriebsraum der TS Bautzen und TS Quitzdorf bereits im Dezember 2021 deutlich weiter gefüllt als zum entsprechenden Zeitpunkt in den Jahren 2018 bis 2020 (siehe Abbildung 25). Es kann daher aktuell davon ausgegangen werden, dass an den in Rede stehenden Talsperren auch im Jahr 2022 das Stauziel zu Beginn der Bewirtschaftungsperiode erreicht werden wird.

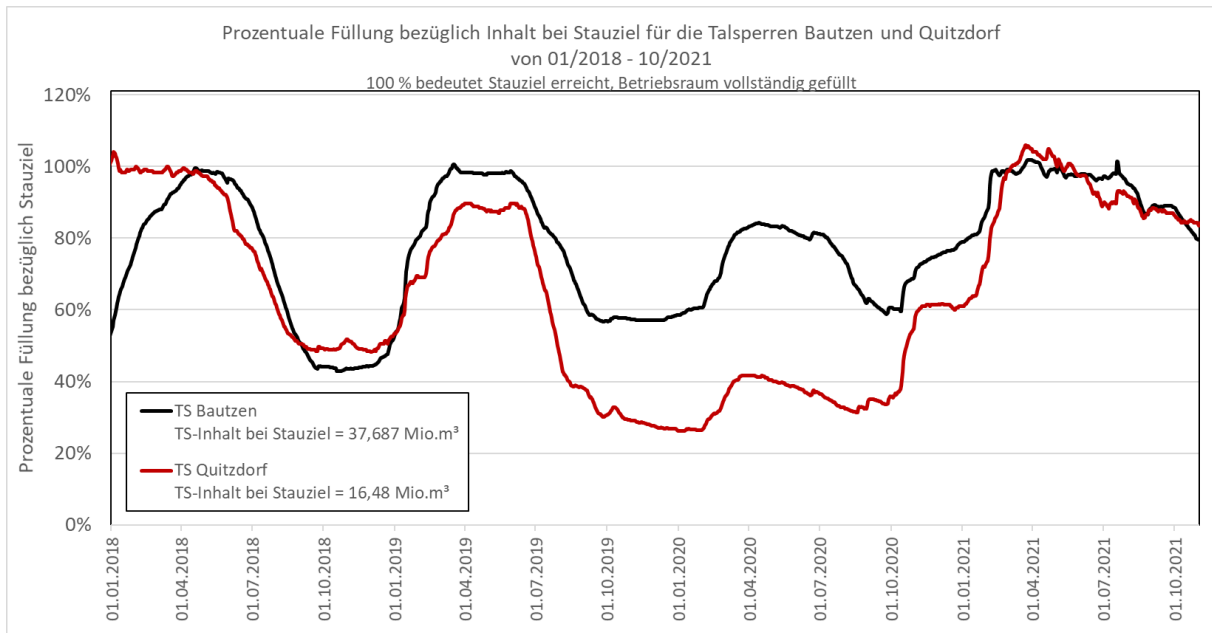


Abbildung 25: Prozentuale Füllung bezüglich Inhalt bei Stauziel der Brauchwassertalsperren Bautzen und Quitzdorf im Zeitraum 01/2018 bis 10/2021.

Talsperrenzuflüsse, Wasserdargebot

Bei einer Vielzahl der sächsischen Talsperren konnte nach der langanhaltenden Trockenheit der Vorjahre im Jahr 2021 bezüglich der beobachteten Talsperrenzuflüsse eine Entspannung des Wasserhaushaltes festgestellt werden. In Abbildung 26 ist zu sehen, dass die Talsperrenzuflüsse im Jahr 2021 größtenteils nahe oder sogar über dem langjährigen Mittelwert lagen. Lediglich an den Stauanlagen im Tiefland, speziell im Leipziger Raum und in der Lausitz, setzt sich das Wasserdefizit aus den Vorjahren auch 2021 fort.

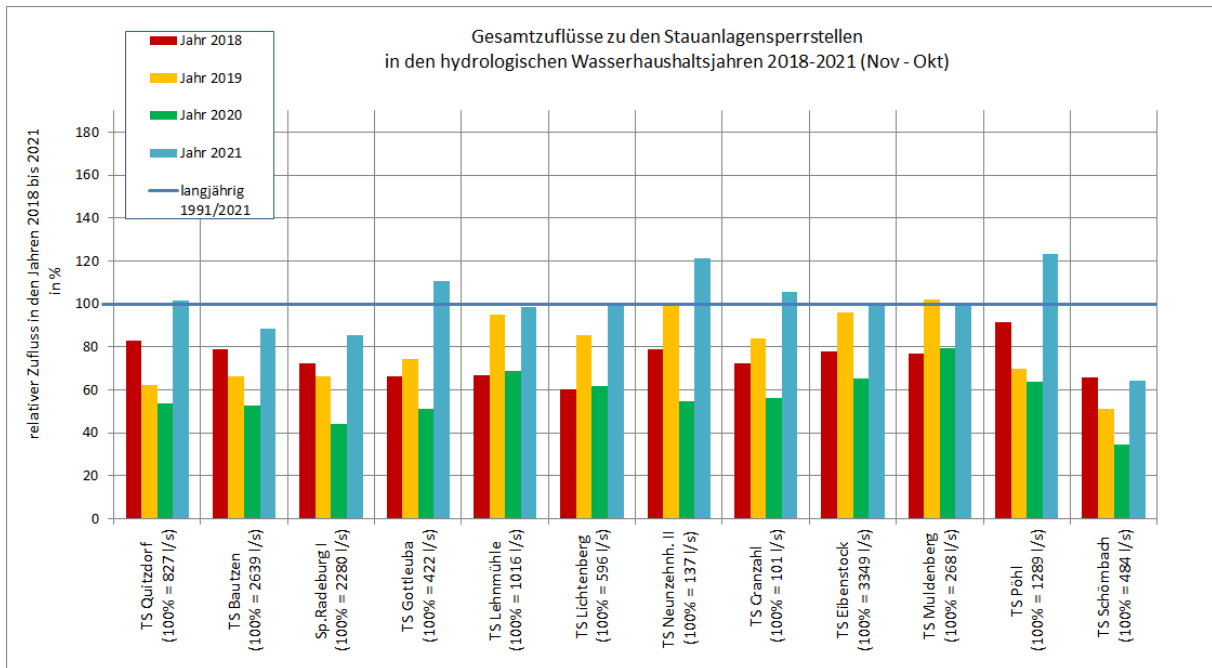


Abbildung 26: Gesamtzuflüsse zu den Stauanlagensperrstellen in den hydrologischen Jahren 2018 – 2021.

Insbesondere die Monate Mai, Juli und August 2021 waren sehr feuchte Monate, wodurch die langjährigen Mittelwerte des Talsperrenzuflusses für das Sommerhalbjahr deutlich überschritten wurden. Abbildung 27 zeigt die Zuflussverhältnisse im hydrologischen Sommerhalbjahr 2021; auch hier ist die unterschiedliche Wasserhaushaltssituation im Bergland (z. B. Talsperre Neunzehnhain II, Talsperre Pöhl) und im Tiefland (z. B. Talsperre Schömbach) ersichtlich.

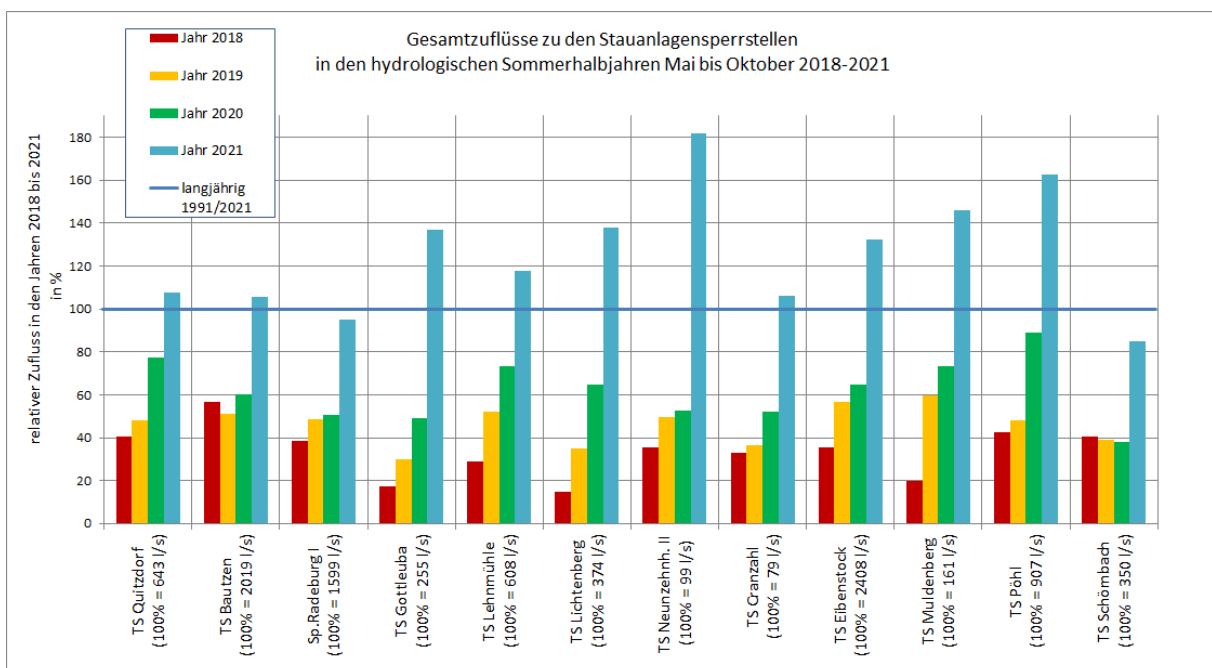


Abbildung 27: Gesamtzuflüsse zu den Stauanlagensperrstellen im hydrologischen Sommerhalbjahr der Jahre 2018 – 2021.

Talsperrenbewirtschaftung während der Hochwassersituation im Juli 2021

Vom 13.07. bis 14.07.2021 trat Hochwasser schwerpunktmäßig im Raum Vogtland und Westsachsen mit beobachteten Tagesniederschlagsmengen von 40 bis 60 Litern pro Quadratmeter auf. Wenige Tage später, vom 17.07. bis 18.07., trafen innerhalb von zwei Tagen große Regenmengen von mehr als 100 Litern pro Quadratmeter den Raum Ostsachsen.

In der LTV wurden im Vorfeld des Hochwasserereignisses die Niederschlagsprognosen des Deutschen Wetterdienstes gesichtet und bewertet sowie Steuerhandlungen an Talsperren abgeleitet, wie z. B. das operative „Freifahren“ von zusätzlichem Hochwasserrückhalteraum in der Talsperre Pirk. Betroffene Stauanlagen und die Talsperrenmeldezentrale werden im Hochwasserfall rund um die Uhr personell besetzt und es werden entsprechende Bereitschaftsdienste organisiert.

Während des Hochwasserereignisses wurde in den Stauanlagen Wasser zum Schutz der Unterlieger zurückgehalten. Hierzu wurden die Hochwasserrückhalteräume bestimmungsgemäß eingestaut. Es bestand an allen Stauanlagen noch Potential zum Hochwasserrückhalt im sogenannten gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum; ein Anspringen der Hochwasserentlastungen trat nicht auf.

In Abbildung 28 ist die Bewirtschaftung der Talsperre Dröda und in Abbildung 29 die Bewirtschaftung der Talsperre Bautzen während des Hochwassers im Juli 2021 dargestellt. Deutlich sichtbar ist jeweils die signifikante Kappung des Zuflussscheitels und die damit verbundene Transformation in deutlich niedrigere Wildbettabgaben sowie der Einstau von Hochwasservolumen in den gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum. Der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum wird dabei in den Stauanlagen zur Afnahme von Hochwasser stets freigehalten.

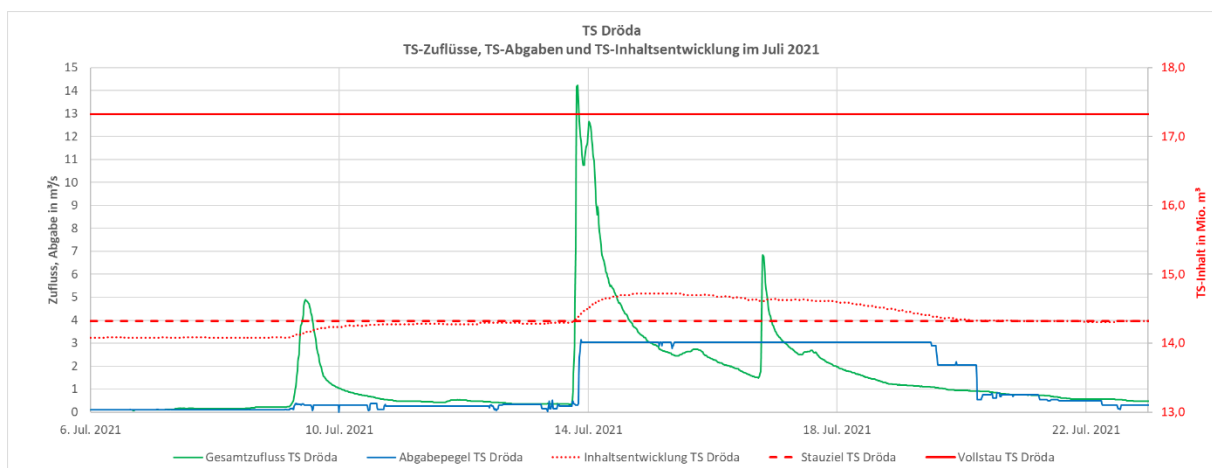


Abbildung 28: Bewirtschaftung der Talsperre Dröda am Feilebach (Weiße Elster) während des Hochwassers im Juli 2021.

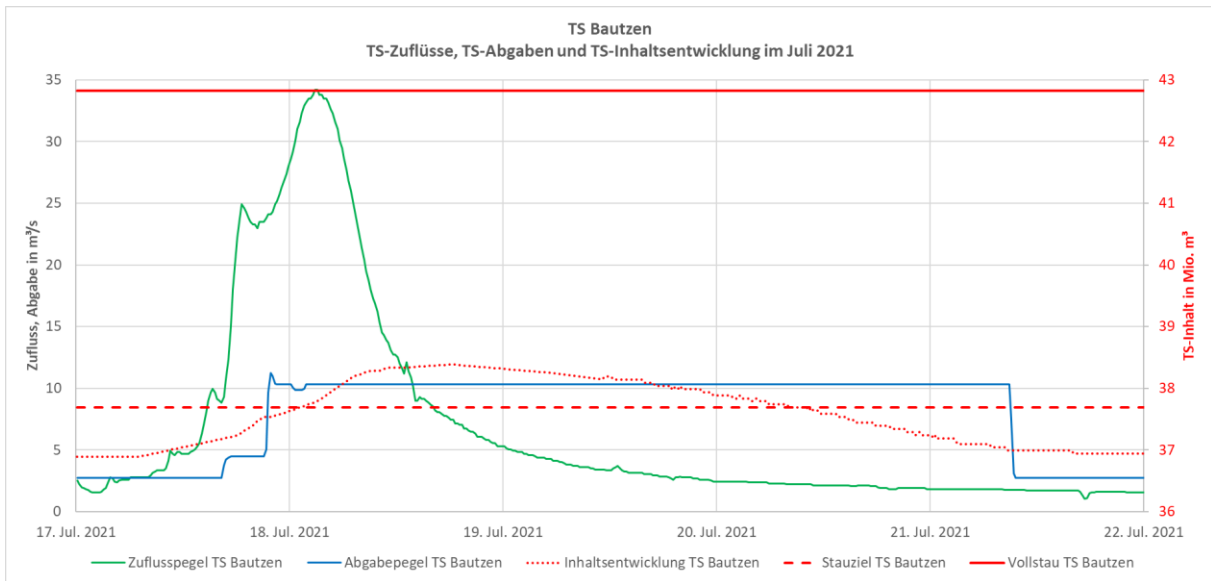


Abbildung 29: Bewirtschaftung der Talsperre Bautzen an der Spree während des Hochwassers im Juli 2021.

4. Auswirkungen der Witterung auf die Waldentwicklung

Im zurückliegenden (hydrologischen) Jahr war insgesamt ein günstiger Witterungsverlauf für das Waldwachstum zu verzeichnen. Die Temperaturen lagen fast durchweg über dem langjährigen Mittel. Extreme traten nur vereinzelt auf. Die Summe der Niederschläge bewegte sich im Bereich des langjährigen Mittels. Demgegenüber ist die hohe Anzahl von Starkniederschlägen ein Indikator für den realen Klimawandel.

Die Folge dieser Niederschlagsereignisse sind ein hoher Anteil des schnellen Oberflächenabflusses und damit ein hohes Risiko von:

- Bodenerosion bis zu Hangrutschungen bei entsprechender Reliefenergie,
- Hochwasserereignissen, die im Juli lokal bis regional Realität waren,
- eine eingeschränkte Infiltration in den Bodenspeicher und damit eine geringere ökophysiologische Wirksamkeit,
- eine eingeschränkte ausgleichende Wirkung auf den Landschaftswasserhaushalt.

Besonders kritisch wirken häufige Starkniederschläge in Verbindung mit großflächigen Systemeintritten in Fichten-Forsten vor allem dann, wenn der schnelle Oberflächenabfluss nicht durch eine zweite Baum- und/oder Verjüngungsschicht gepuffert wird. Diese Situation ist in weiten Teilen des Oberlausitzer Berglandes und des Elbsandsteingebirges gegeben und führte zu lokalen Hochwasserereignissen. Modellierungen des Gebietsabflusses für unterschiedliche Bewaldungs- und Waldschadensszenarien, die nach dem Hochwasserereignis 2002 durch das Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft, Sachsenforst, mit dem Expertenteam von HYDROCONSULT durchgeführt worden sind, wurden durch die aktuellen Ereignisse prinzipiell bestätigt. Diese Modellierungsergebnisse waren vor 20 Jahren eines der wesentlichen Argumente, die Kunstverjüngungsfläche im Staatswald zu Gunsten standortgerechter Baumarten von ca. 650 ha/a (2002) auf ca. 1.300 ha/a (2006 – 2017) faktisch zu verdoppeln.

Kritische Einwirkungen des Witterungsverlaufes auf die Waldvegetation traten nur lokal bis regional sowie in eher geringer Intensität auf (siehe Tabelle 3).

Die zum Teil ergiebigen Niederschläge führten bis zu einer Tiefe von 60 cm tendenziell zu einer Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers. Da es sich hierbei um den Teil des Bodenraumes handelt, der i. d. R. am intensivsten durchwurzelt ist, folgen daraus ökophysiologisch günstige Bedingungen für die Regeneration der Waldvegetation nach den Trockenjahren 2016 – 2020.

Tatsache ist aber auch, dass diese Entwicklung vor allem in den von der vorausgehenden Trockenheit am stärksten betroffenen Regionen Sachsens bisher nicht ausgereicht hat, um die Widerstandsfähigkeit von Fichte, Kiefer, Lärche, Buche und Eiche gegenüber dem nach wie vor hohen Befallsdruck von rinden- und holzbrütenden Insekten wirksam zu erneuern. Hierfür bedarf es mehrerer aufeinanderfolgender Vegetationsperioden, in denen der Witterungsverlauf etwa dem langjährigen Mittel entspricht (1971 – 2000).

Tabelle 3: Übersicht über Wetterereignisse und Witterungsanomalien die zwischen August 2019 und Juli 2020 aufgetreten sind.

	abiotischer Schaden	Schwellwerte	kritische Wetter- / Witterungsanomalie
Gruppe 1	Sturm	schwerer, orkanartiger Sturm mit Windspitzen über 25 m/s; Orkan >32 m/s	Keine Ereignisse
	Hagel / Starkniederschlag	Niederschlag > 20 mm/Tag	an allen Stationen durchschnittlich 8,3 Ereignisse, Schwerpunkte ab Mai 2021
	Intensiver Schneefall	20 bis 60 cm bei Temperaturen um 0 °C	k.A.
Gruppe 2	Frost- / Spätfrost	Tagesminima der Temperatur nach Austrieb < -2 °C	keine Spätfröste
	Hitze / Strahlung	Tagesmaxima der Temperatur > 35 °C	an 10 Stationen insgesamt 20 Tage
Gruppe 3	Trockenheit	innerhalb der Vegetationsperiode mehr als 10 Tage mit Bodenfeuchte < 50 % der nFK	2020 noch teilweise; 2021 nur im westsächsischen Tiefland
	Dürre	innerhalb der Vegetationsperiode sinkt Bodenfeuchte < 20 % der nFK	2020 noch teilweise; 2021 keine Unterschreitung
	Staunässe	innerhalb der Vegetationsperiode mehr als 10 Tage mit Bodenfeuchte > 100 % der nFK	kurzzeitig, lokal begrenzt

Gegenwärtig ist auch weiterhin von einer kritischen Waldschutzsituation und einem hohen Risiko von großflächigen Einbrüchen der Forst-Ökosysteme und der damit einhergehenden landschaftsökologisch bedeutenden Ökosystemleistungen auszugehen. Im Fall einer Realisierung der mittel- bis langfristigen Waldschutzprognose sind zudem langfristig wirksame Veränderungen im Niveau wie auch in der Struktur der Holzbereitstellung in den nächsten Jahrzehnten zu erwarten. Prinzipiell würde das eine deutliche Reduzierung der nachhaltig jährlich nutzbaren Holzmenge bei einer gleichzeitigen Verschiebung der Nutzungsstruktur zu Gunsten schwächer dimensionierter Holzsortimente bedeuten. **Strategisches Ziel** sollte es daher bleiben, den **Systemübergang** von Fichten- und Kieferforsten zu standortgerechten Kulturwäldern möglichst planmäßig weiter zu gestalten und dabei großflächige funktionale Einbrüche von Fichten- und Kiefernforsten zu begrenzen.

Jährliche Betrachtungen haben in diesem Zusammenhang einen gewissen Indikationswert. Maßgeblich ist jedoch der langfristige Trend in der Ausprägung von klimatischen Standortfaktoren in Verbindung mit der Häufung und Intensität von Extremereignissen.

Der entscheidende Witterungsfaktor bleibt weiterhin der **Niederschlag**. Seine vegetationsphänologische Einordnung erfolgt mit dem „hydrologischen Jahr“, welches im November beginnt und mit dem Oktober des Folgejahres endet. Die Wintermonate 2020 – 21 bewirkten auch im sächsischen Tief- und Hügelland, dass sich der Bodenwasserspeicher tendenziell auffüllen konnte. In den oberen Lagen des Westerzgebirges blieb die Situation insgesamt entspannt.

Die überwiegend im Frühjahr 2021 gefallenen Niederschläge entsprachen auch im Tief- und Hügelland bis in den August hinein dem Wasserverbrauch der Vegetation.

Kritisch wirkt bei der zeitlichen Verteilung und der Intensität von Niederschlägen der bereits erwähnte hohe Anteil von Starkregenereignissen. In den letzten 10 Jahren wurde eine ähnliche Situation nur 2012/13 registriert (Abbildung 30).

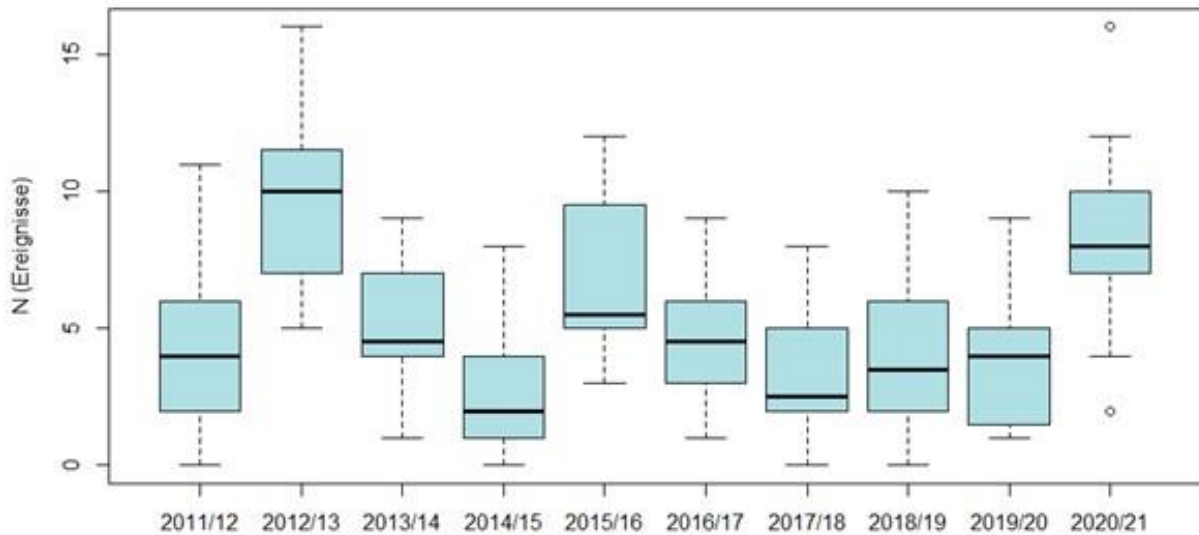


Abbildung 30: Starkniederschläge (>20mm / Tag) im Berichtszeitraum (Werte aller Stationen)

Insgesamt entspricht das **hydrologische Jahr 2020/21** im Februar dem langjährigen Mittel, überschreitet dieses dann und erreicht Ende Juli ein Niveau, welches der nassen Vegetationsperiode des Jahres 2010 entspricht (siehe Abbildung 31).

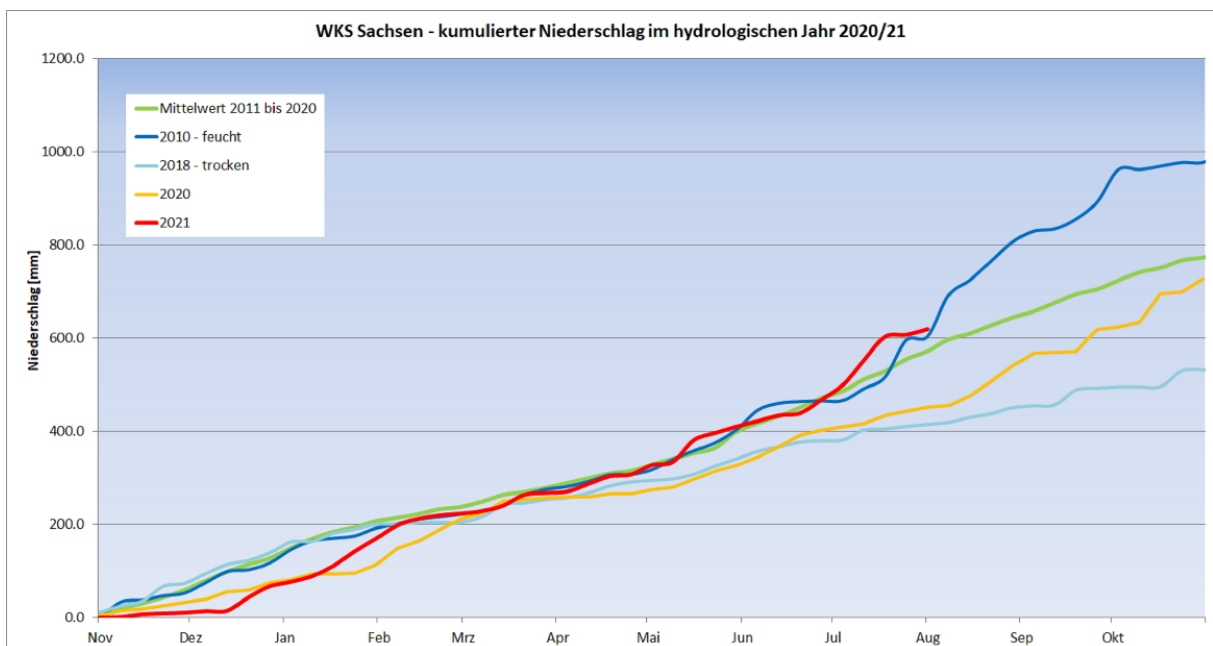


Abbildung 31: Auflaufende Summe des Niederschlages ab November des Vorjahres (= Ende der letzten Vegetationszeit); Vergleich des aktuellen Jahres mit 2010 als feuchtes Jahr und 2018, 2019, 2020 als trockene Jahre

Bei der **Jahresmitteltemperatur** setzt sich der Trend der letzten Jahre fort. Im Berichtszeitraum war es im Vergleich zur Klimanormalperiode 1971 - 2000 mit Abweichungen zwischen -1,6 bis 4,2 °K vom langjährigen Mittel insgesamt um 1,3°K zu warm. Ausnahmen waren nur der kühle April und Mai.

Die **klimatische Wasserbilanz (KWB)** ist eine der Eingangsgrößen zur Einschätzung der ökophysiologischen Verhältnisse. Sie wird auf Basis der Referenzverdunstung über Gras berechnet.

Die KWB verläuft 2021 überwiegend positiv, d. h. das Wasserangebot lag zumeist über der Verdunstung einer Grasoberfläche. Der Mai zeichnet sich gegenüber der Verdunstung durch einen auffallenden Niederschlagsüberschuss aus, im Juli wird die negative KWB aus dem Juni ausgeglichen (siehe Abbildung 32).

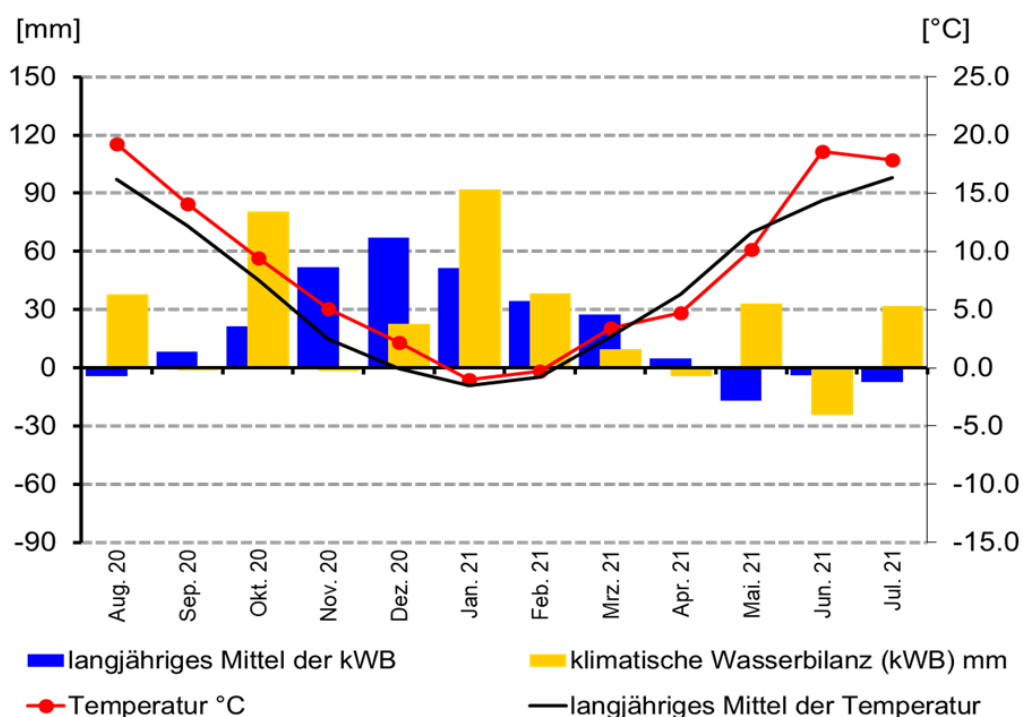


Abbildung 32: Witterungsverlauf von August 2020 bis Juli 2021 - Monatsmittel der Lufttemperaturen und die klimatische Wasserbilanz aller Waldklimastationen

Die klimatische Wasserbilanz beeinflusst das Maß der Infiltration von Niederschlägen in den Bodenraum und damit die **Bodenfeuchte**, die letztendlich auch die **Wasserversorgung der Waldbäume** maßgeblich beeinflusst.

Die **generelle** Tendenz des Bodenwasserhaushalts zur Trockenheit bis Dürre hielt während der Vegetationsperiode 2021 nicht an. Im Tief- und Hügelland war die nutzbare Feldkapazität ab Dezember/Januar 2020 optimal aufgefüllt, fällt aber im Juni und nach einem kurzen Maximum auch im Juli in den trockenen Bereich ab. Diese Entwicklung ist jedoch in den genannten Standortsregionen normal.

Differenzierter verläuft der Gang der Bodenfeuchte in der Standortsregion Mittelgebirge. In den oberen Lagen des Westerzgebirges bleibt die Bodenfeuchte im optimalen bis feuchten Bereich, während sich im Osterzgebirge ein Trend aus dem Optimalbereich heraus in Richtung Trockenheit abzeichnet. Diese Entwicklung trifft auch für das Oberlausitzer Bergland zu und korrespondiert in beiden Naturräumen mit der aktuellen Waldschutzsituation – einer hohen Anfälligkeit der Fichte für Borkenkäferbefall.

Um die Wirkung des Ganges der Bodenfeuchte auf die Waldvegetation abschließend einschätzen zu können, ist eine Betrachtung der Beziehung zwischen Temperatur und Niederschlag zweckmäßig.

Im Bezug zur Klimanormalperiode 1971 - 2000 liegen alle Monate bis auf April und Mai in einem warm-trockenen bis warm-feucht geprägten klimatischen Wirkungsgefüge (Abbildung 33).

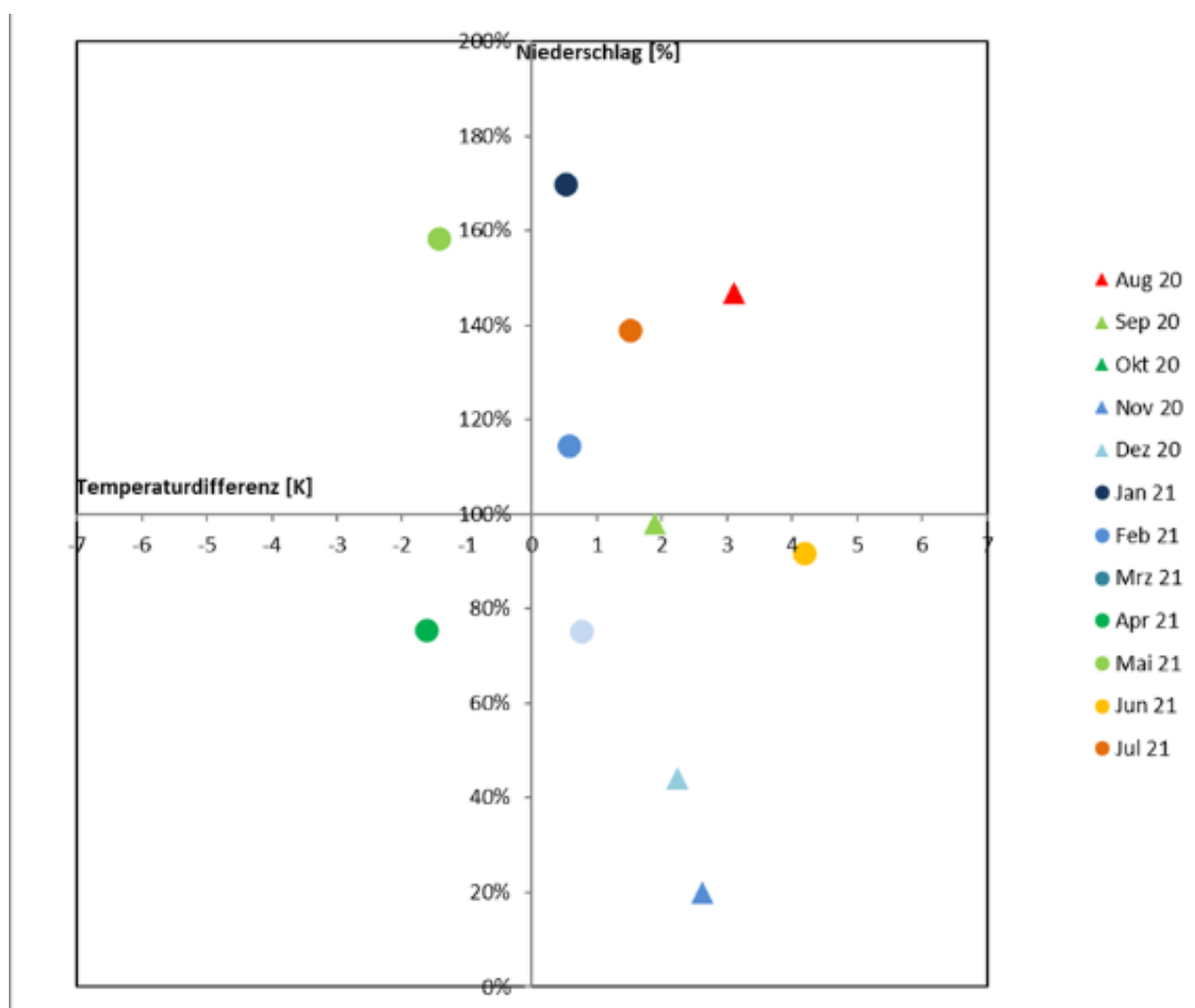


Abbildung 33: Abweichung der Niederschlagssumme und der Mitteltemperatur von den klimatischen Vergleichswerten 1971-2000 im Zeitraum August 2020 bis Juli 2021 (Monatsmittel aller 21 Waldklimastationen)

Regionale Unterschiede zeigen von der westlichen zur östlichen Standortsregion Mittelgebirge wie auch in Richtung des Löß-Hügel- und pleistozän geprägten Tieflands einen Gradienten von einem warm-feuchten zu einem warm-trockenen Witterungsverlauf (siehe Abbildung 34).

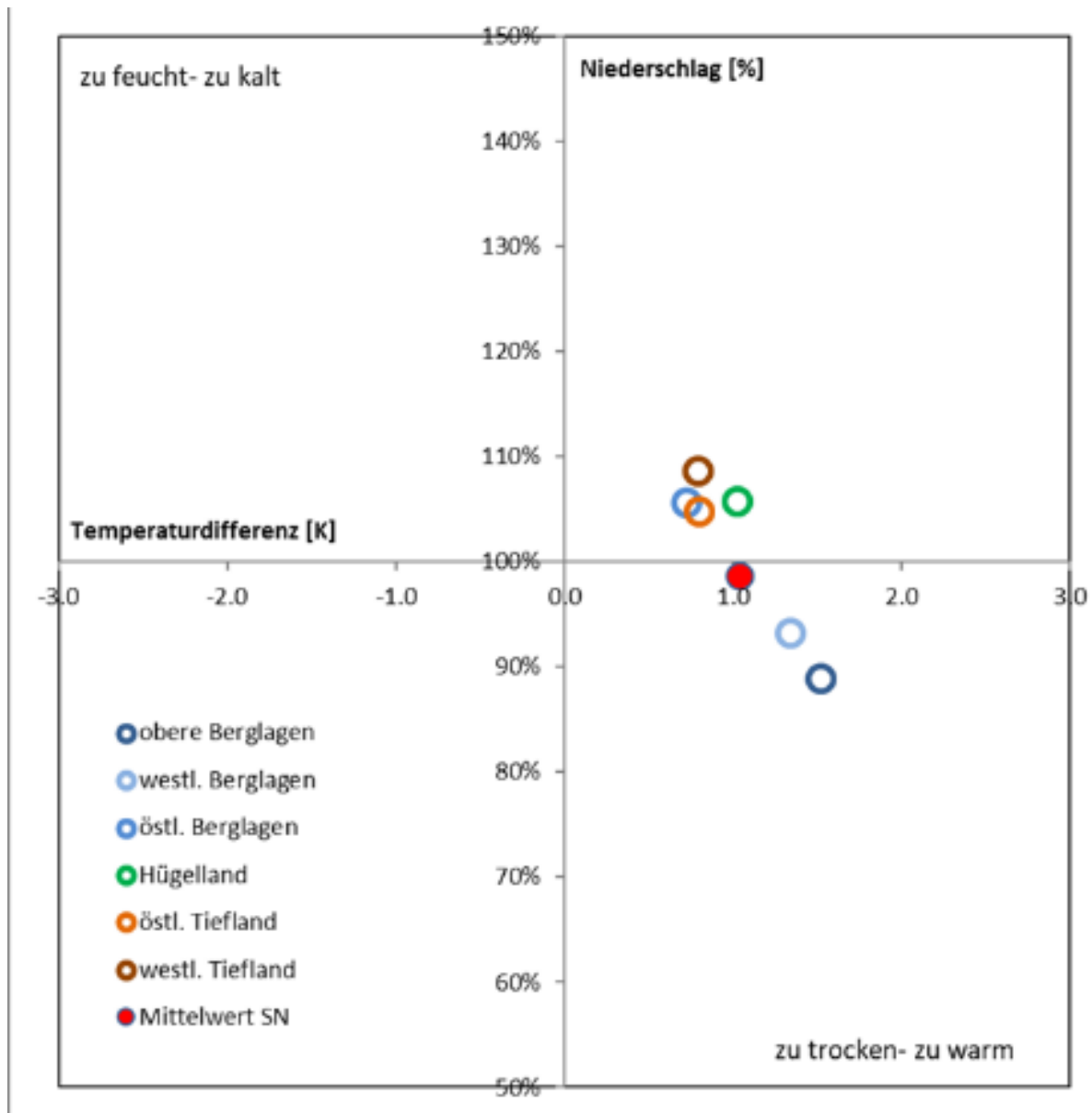


Abbildung 34: Abweichungen der Niederschlagssumme und der Mitteltemperatur von den klimatischen Vergleichswerten 1971-2000 im Zeitraum August 2020 bis Juli 2021 nach Regionen

Für die Abschätzung von Veränderungen des Beziehungsgefüges zwischen Standorten (Biotopen) und Wald-Lebensgemeinschaften (Biozönosen) ist die mittel- und langfristige Waldschutzprognose auf der Grundlage des Waldzustandes, seiner Entwicklungspotenziale und von regionalisierten Klimaprojektionen ein relevanter Indikator, der durch das gegenwärtige räumliche Muster der Waldschäden bestätigt wird. Dem entspricht bisher eine standörtlich differenzierte Intensität des Waldumbaus.

5. Auswirkungen der Witterung auf die Landwirtschaft

Allgemeine Einschätzung

Nach den Trockenjahren 2018-2020 glichen sich die Niederschlagsmengen im Jahr 2021 wieder stärker dem langjährigen Mittel an. Dennoch waren die Niederschläge auch im Jahr 2021 räumlich und zeitlich wieder sehr heterogen verteilt. Während insbesondere im Mai, Juli und August vielerorts überdurchschnittliche Niederschläge (häufig auch Starkniederschläge) fielen, betrug die Niederschlagssummen im September und Oktober weniger als 50% des langjährigen Mittels. In Nordsachsen blieben die Niederschläge auch im Jahr 2021 bis zum Ende der Vegetationsperiode ca. 15 % hinter dem langjährigen Mittel zurück.

In der südlichen Hälfte Sachsens sind die Wasservorräte in den Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung in der Bodentiefe von 0 bis 2 Metern weitgehend aufgefüllt. In Nord- und Nordostsachsen sowie in der Lommatzcher Pflege reichten die Niederschläge 2021 jedoch erneut nicht überall aus, um die Böden unterhalb von 1 m Bodentiefe zu durchfeuchten. Dennoch ist die Ausgangslage für die Landwirtschaft zu Beginn des Jahres 2022 günstiger als sie zu Beginn des Jahres 2021 war.

Trotz der höheren Wasserverfügbarkeit blieben die Raps- und Getreideerträge im Jahr 2021 in Sachsen insgesamt hinter den Erwartungen zurück. Nachdem das kalte Frühjahr zunächst zu einer verzögerten Pflanzenentwicklung geführt hatte, traf die darauffolgende Hitzeperiode die Bestände in der sensiblen Kornfüllungsphase. Hohe Niederschläge im Juli führten dann verbreitet zu Lagerschäden und zu einer teilweise erheblich verzögerten Ernte. Im Gegensatz dazu profitierte Silomais von den Witterungsbedingungen und lieferte teilweise sehr hohe Biomasseerträge.

Regional auftretende Starkniederschlagsereignisse führten nicht nur zu Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen, sondern verursachten mancherorts auch erhebliche Bodenabträge durch Wassererosion.

Winterweizen

Nach termingerechter Aussaat des Winterweizens 2020 etablierten sich bis zur Vegetationsruhe optisch gute Bestände. Der Winter war durch einen Wechsel aus wärmeren und kälteren Phasen gekennzeichnet. Eine Frostperiode Anfang Februar 2021 mit Temperaturen bis unter -20 °C führte aufgrund von Schneebedeckung zu keinen nennenswerten Frostschäden.

Kühle Bedingungen im April (häufige Nachtfröste und geringe Niederschlagsmengen) sowie im Mai (auf den meisten Standorten mit verbreitet reichlicheren Niederschlägen) förderten vorerst ein verhaltenes, aber gleichmäßiges Wachstum. Blattseptoria war bereits frühzeitig auf den unteren Blattetagen festzustellen. Ende Mai waren meist sehr gut entwickelte Weizenbestände mit häufig überdurchschnittlich hohen Bestandesdichten zu verzeichnen. Diese erreichten deutlich später als im Vorjahr das Stadium des Ährenschiebens und der Blüte. Der Entwicklungsrückstand wurde durch eine mehrtägige Hitzeperiode im Juni nahezu aufgeholt. Der Befall mit Blattkrankheiten nahm bei vorhandener Feuchtigkeit und steigenden Temperaturen zum Monatswechsel Mai/Juni vor allem auf den besseren Böden zu. Dominierende Krankheit war 2021 meist Blattseptoria. Vereinzelt waren Mehltau und Gelbrost standort- und sortenabhängig von Bedeutung. Auch einzelne Praxisschläge

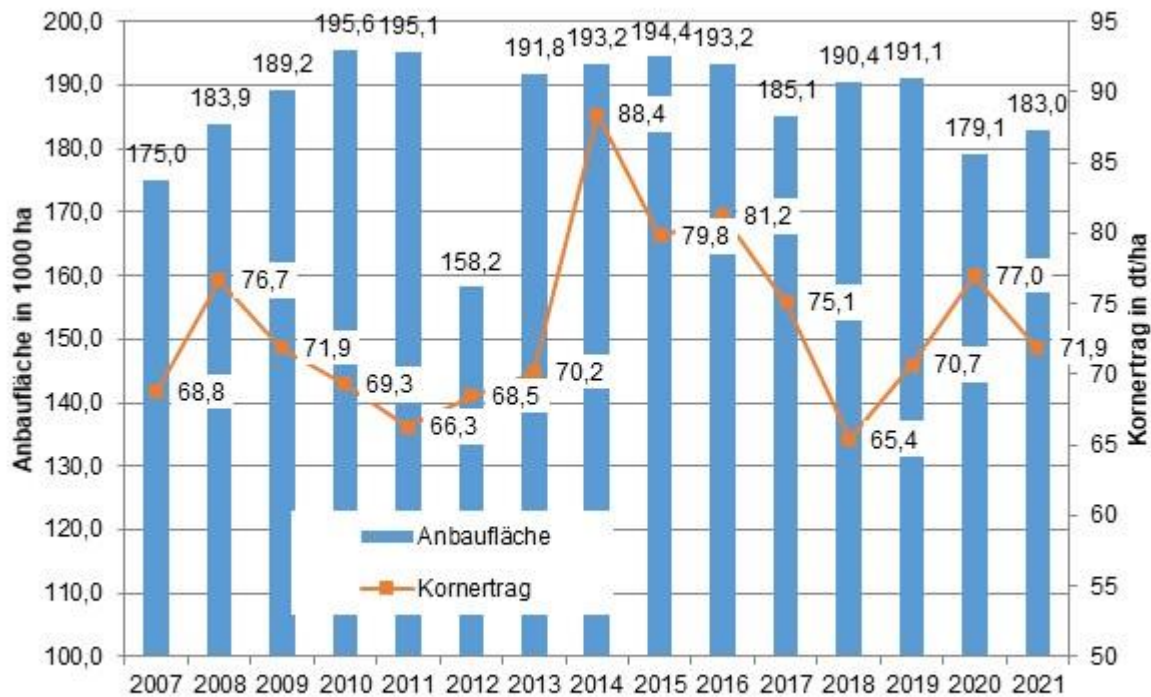
zeigten Anfang Juni Gelbrostnester. Zum Zeitpunkt der Weizenblüte herrschten teilweise Infektionsbedingungen für Fusarium. Mitte Juni waren bereits auf Standorten mit Niederschlagsdefizit und Böden mit geringerem Wasserhaltevermögen deutlicher Trockenstress zu erkennen.

Zum Monatswechsel Juni/Juli begann eine wechselhafte Witterungsperiode mit mäßig warmen Bedingungen, die sich bis in den August hinzog. Niederschläge, z. T. mit hoher Intensität, führten nun verbreitet zu Lager (Abbildung 35). Es kam zu einer verzögerten Ernte, die witterungsbedingt immer wieder unterbrochen werden musste. Einige Weizenflächen konnten erst Anfang September geerntet werden.

Die Durchschnittserträge in Sachsen unterschreiten laut Erntevorschätzung des Statistischen Landesamtes mit 71,9 dt/ha das Niveau des Vorjahres um 6,7 % (Abbildung 36). Bei verspätet geernteten Beständen ist von sinkenden Fallzahlen auszugehen.



Abbildung 35: Ausgedehnte Lagerbildung in einem Winterweizenbestand aufgrund hoher Niederschläge im Juli 2021. (12.07.2021, Roda, © M. Grunert, LfULG)



**Abbildung 36: Anbaufläche und mittlerer Kornertrag von Winterweizen in Sachsen 2007 – 2021 (vorläufig),
Datenquelle: Statistisches Landesamt**

Wintergerste

Die Wintergerste konnte bei meist günstigen Boden- und Witterungsbedingungen termingerecht Ende September 2020 gedreht werden. Nach regional differenzierten Aufgangsbedingungen etablierten sich bis zur Vegetationsruhe optisch meist gute Bestände mit ausreichender Bestockung. Blattlausflug erforderte im Herbst entsprechende Bekämpfungsmaßnahmen. Der Winter mit einem Wechsel aus wärmeren und kälteren Phasen (bis -20 °C Anfang Februar 2021) führte aufgrund von Schneebedeckung in den Frostphasen zu keinen nennenswerten Auswinterungsschäden. Ausgangs des Winters musste auf einigen Mittelgebirgsstandorten in begrenztem Umfang Schneeschimmel festgestellt werden.

Zu Beginn des Schossens wurde das durch den erhöhten Blattlausbefall im Herbst verursachte Gerstengelverzweigungsvirus in einzelnen Praxisbeständen festgestellt. Witterungsbedingt waren Wachstumsreglermaßnahmen regional nicht oder nicht zum optimalen Zeitpunkt möglich. Die kühlen Bedingungen im Frühjahr förderten vorerst ein verhaltenes, aber gleichmäßiges Wachstum der Wintergerste, was zum einen die Bestockung/Bestandesdichte begünstigte. So wurden, bezogen auf einzelne Löß-Standorte, 25 bis über 30 % mehr Körner je m^2 ermittelt als in den drei Jahren zuvor. Zum anderen führte das zu einem späteren Ährenschieben als in den Vorjahren.

Der Befall mit Blattkrankheiten verstärkte sich erst zum Monatswechsel Mai/Juni mit steigenden Temperaturen. Mehltau, Netzflecken, Rhynchosporium und Zwergrost, aber auch Ramularia traten mit regionalen und sortenabhängigen Unterschieden auf. Gleichzeitig beschleunigte sich in dieser Periode die Entwicklung der Gerste durch die nun höheren Temperaturen. Neben der vor allem auf D-Süd-

Standorten ausgeprägten Trockenheit im Juni wirkte sich die Hitzephase in der zweiten Monatsdekade negativ auf die Kornfüllung aus.

Bis zu diesem Zeitpunkt war in den vergleichsweise langstrohigen Beständen nur vereinzelt Lager festzustellen. Nach diesen hochsommerlichen Tagen setzte eine mäßig warme, niederschlagsreiche Periode ein. Verbreitet führten nun Starkniederschläge und Wind zu starkem Halmknicken bzw. Lager in vielen Gerstenbeständen.

Halmknicken, Lager und häufige Niederschläge in der Ernteperiode verzögerten und erschwerten 2021 die Ernte der Wintergerste, die meist einige Tage später als in den Vorjahren erfolgte.

Im Ergebnis wurden häufig sehr niedrige Tausendkornmassen und Hektolitergewichte festgestellt. Die mangelhafte Kornausbildung ist vermutlich auf einen Komplex von Ursachen zurückzuführen. Die hohe Anzahl „angelegter Körner“ konnte durch die Hitze in der zweiten Junidekade in Verbindung mit Nährstoffversorgungsproblemen sowie höherem Krankheitsdruck in der Reifephase (z. B. regional *Ramularia*) nicht bis zur normalen Größe ausgebildet werden. Dennoch liegt der Durchschnittsertrag in Sachsen laut Erntevorschätzung des Statistischen Landesamtes mit 77 dt/ha um ca. 12 % höher als im Vorjahr.

Winterraps

Relativ niedrige Temperaturen im April 2021 führten beim Winterraps zu einer deutlichen Entwicklungsverzögerung. Blühbeginn war auf den Löss-Standorten meist erst Ende April und damit 10-14 Tage später als in den Vorjahren. Auf den Verwitterungsstandorten begann die Rapsblüte meist erst Mitte Mai und damit 17-20 Tage später als in den Vorjahren. Häufige Niederschläge im Mai trugen zu günstigen Infektionsbedingungen für *Sklerotinia sclerotiorum* bei, dem Erreger der Weißstängeligkeit. Die trocken-warme Phase im Juni hatte eine deutliche Entwicklungsbeschleunigung zur Folge, so dass die Reife des Winterraps in der ersten Julidekade auf den Löss-Standorten bzw. Mitte Juli auf den Verwitterungsstandorten stattfand. Die Verspätung im Vergleich zu den Vorjahren lag nur noch bei 4-5 Tagen auf den Löss-Standorten bzw. 5-8 Tagen auf den Verwitterungsstandorten.

Häufige und teilweise intensive Niederschläge im Juli und August verzögerten und beeinträchtigten die Rapserte erheblich. Insbesondere in höheren Lagen zog sich der Drusch des Winterraps bis weit in den August hinein.

Für Sachsen wird vom Statistischen Landesamt für den Winterraps ein voraussichtlicher Ertrag von 33 dt/ha angegeben. Im Vergleich zum Vorjahr 2020 ist damit ein Minderertrag von 7,4 % zu verzeichnen, im Vergleich zum zehnjährigen Mittel liegt das Minus bei 4 % (Abbildung 37).

Auch die Neuaussaat des Rapses war durch die überdurchschnittlichen Niederschläge im August 2021 erschwert. Vielerorts war wegen der feuchten Bodenbedingungen eine Bestellung zu den üblichen Aussatterminen zwischen dem 20. und 30. August nicht möglich. Insbesondere in Mittelsachsen verzögerte sich die Rapsbestellung erheblich und machte Spätsattermine bis Mitte September erforderlich. Aufgrund der insgesamt milden Herbstwitterung erreichten die meisten der spät gesäten Rapsbestände aber bis Ende November eine ausreichende Vorwinterentwicklung.

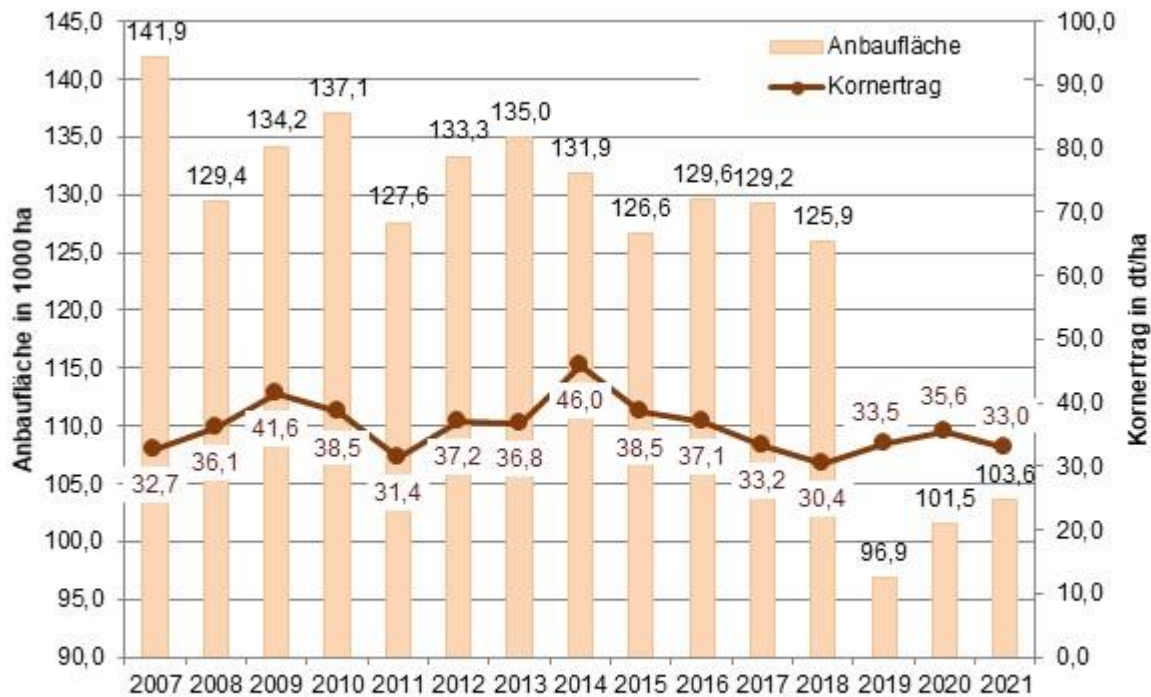


Abbildung 37: Anbaufläche und mittlerer Kornertrag von Wintertraps in Sachsen 2007 – 2021, Datenquelle: Statistisches Landesamt

Kartoffeln

Im April 2021 bestanden aufgrund trockener Witterung meist günstige Bedingungen für das Auspflanzen der Kartoffeln. Relativ niedrige Temperaturen im April und Mai führten zu einer zögerlichen Anfangsentwicklung. Die Niederschlagsmengen differierten ab Juni regional stark. Insgesamt war die Wasserversorgung für die Kartoffeln aber deutlich besser als in den Vorjahren. Auf Standorten mit hohen Regenmengen kam es teilweise zu einem starken Befallsdruck mit Krautfäule (*Phytophthora infestans*). Mitunter waren die Schläge nicht befahrbar, so dass der Einsatz von Fungiziden gegen diese Krankheit nicht immer termingerecht durchgeführt werden konnte.

Die vielerorts häufigen Niederschläge im August beeinträchtigten die Ernte der sehr frühen und frühen Sorten. Die ebenfalls durch *Phytophthora infestans* verursachte Braunfäule der Knollen trat deutlich stärker in Erscheinung als in den Vorjahren, sodass mit krankheitsbedingten Lagerverlusten gerechnet werden muss. In Sachsen wird von einem Knollenertrag von 401 dt/ha ausgegangen (Quelle: Statistisches Landesamt). Dies entspricht etwa dem zehnjährigen Mittel. Im Vergleich zu 2020 ist ein Mehrertrag von 17 % zu verzeichnen. Die Stärkegehalte in den Ernteknollen fielen 2021 meist geringer aus als in trockeneren und strahlungsintensiveren Vorjahren.

Mais

Aufgrund der niedrigen Temperaturen im April 2021 wurde die für die Maisaussat angestrebte Bodentemperatur von mindestens 8 °C nicht überall erreicht. Dennoch führten viele Betriebe die Aussaat Ende April unter günstigen Bodenfeuchtebedingungen durch, andere Betriebe entschieden

sich hingegen für eine spätere Aussaat. Im Mai fielen sehr üppige Niederschläge bei geringen Temperaturen. Dementsprechend zeigten sich zögerliche und unvollständige Feldaufgänge auf den meisten Standorten. In den folgenden Wochen wirkten die Pflanzen wenig vital.

Mai und Juni zeigten sich weiterhin eher kühl und feucht. Die Bestände waren Ende Juni aber auf allen Standorten sehr gut entwickelt. Im Juli hielten die feuchten Bedingungen bei durchschnittlichen Temperaturen an. Dadurch entwickelten sich bis August auf allen Standorten sehr üppige Bestände (Abbildung 38). Im August setzte sich diese Witterung fort. Die Wärmesumme blieb jedoch Ende August unter denen der Vorjahre.

Anfang September kam es zu wärmeren Bedingungen und vorerst keinen weiteren Niederschlägen, wodurch die Bestände zügig abreiften aber zur Ernte noch sehr vital dastanden. Es konnten hohe Biomasseerträge realisiert werden. Die Kolbenentwicklung war 2021 als gut zu bewerten.



Abbildung 38: Üppiger Silomaisbestand 2021. (31.08.2021, Striegistal-Marbach, © M. Grunert, LfULG)

6. Auswirkungen der Witterung auf den Wein- und Gartenbau

In Sachsen wird derzeit auf einer Fläche von 8500 ha Gartenbau und Weinbau betrieben (Abbildung 39). Im Obstbau stellt der Apfel mit ca. 2300 ha die Hauptkultur dar. Neben Apfel sind die wichtigsten Kulturen die Sauerkirsche (422 ha) und die Erdbeere (350 ha).



Abbildung 39: Verteilung der Anbauflächen im sächsischen Garten- und Weinbau

Der Gemüsebau im Freistaat Sachsen wird auf einer Anbaufläche von rund 4.000 ha betrieben. Der Schwerpunkt liegt im Anbau von Feldgemüse (Markerbsen, Buschbohnen, Spinat) für die industrielle Verarbeitung. Im Frischmarktbereich dominieren Speisezwiebeln, Spargel sowie verschiedene Kohllarten. Der ökologische Gemüsebau nimmt mit einer Fläche von rund 1000 ha einen Anteil von ca. 25 % an der Gesamtfläche ein. Davon entfallen fast 900 ha auf den Anbau von ökologischen Markerbsen und Buschbohnen für die Verarbeitungsindustrie.

Mit etwa 500 ha bestockter Fläche zählt Sachsen als kleinstes Weinanbaugebiet Deutschlands.

Auswirkungen auf den Weinbau

Das Weinjahr 2021 begann mit einem zu warmen Januar. Die Niederschlagsmenge war jedoch mit 63 mm Niederschlag deutlich höher als sonst üblich. Im Februar entsprachen die Temperaturen und auch die Niederschläge in etwa den langjährigen Mittelwerten. Am 10. Februar 2021 wurden in Dresden-Pillnitz die tiefsten Nachttemperaturen des gesamten Winters mit $-22,2^{\circ}\text{C}$ gemessen. Winterfrostschäden traten trotz der niedrigen Temperaturen im Weinanbaugebiet Sachsen nicht auf. Im März lagen die Temperaturen über dem langjährigen Mittel. Erfreulicher Weise konnte in der

Summe aller Wintermonate ein Niederschlagüberschuss gegenüber dem langjährigen Mittel erreicht werden, so dass das große Niederschlagdefizit der letzten 3 Jahre zumindest im Oberbodenbereich zum Teil wieder ausgeglichen werden konnte. Sehr wechselhaft und so kalt (4 K unter den Durchschnittswerten) wie schon seit mehreren Jahrzehnten nicht mehr, zeigte sich der April mit insgesamt 15 Frostnächten. Der Austrieb begann daher je nach Lage erst Anfang Mai. Die Spätfröste nach dem Austrieb richteten in Sachsen im Gegensatz zu anderen Weinanbaugebieten nur sehr geringe Schäden an.

Auch der Mai präsentierte sich viel zu kalt (3 K unter den Durchschnittswerten), jedoch mit ausreichenden Niederschlägen. So war es nicht verwunderlich, das Ende Mai die Entwicklung der Reben ca. 2 Wochen hinter dem eines Normaljahres lag. Ausreichende Niederschläge und deutlich höhere Temperaturen sowie überdurchschnittliche Sonnenstunden führten dann im Juni zu einem Wachstumsschub der Reben, der viele Betriebe bezüglich der Weinbergarbeiten an die äußersten Grenzen des Machbaren brachte.

Die Blüte der Reben begann um den 20. Juni und war meist Anfang Juli abgeschlossen. Die teilweise feuchte Witterung in dieser Zeit hatte ein verzögertes Abwerfen der Blütenköppchen zur Folge. Größere Verrieselungen traten nur vereinzelt auf.

Die hohen Niederschläge im Zeitraum von Mitte Juni bis Mitte Juli in Verbindung mit einer hohen Luftfeuchtigkeit sorgten für einen hohen Infektionsdruck durch Oidium und Peronospora. Nur durch einen intensiven Pflanzenschutz in Verbindung mit einer optimalen Laubarbeit konnte dem Pilzdruck Einhalt geboten werden, was jedoch nicht allen Winzern gelang.

Die ausreichende Wasserversorgung und gute Befruchtungsrate ließ in den meisten Anlagen sehr kompakte Trauben entstehen. Hier war es besonders wichtig, durch eine vorausschauende Entblätterung, für eine gute Durchlüftung der Traubenzone zu sorgen und somit den Botrytisbefall entgegenzuwirken.

Auch in Sachsen traten aufgrund von hohen Temperaturen im Zeitraum Mitte August je nach Hangneigung und Ausrichtung der Zeilen, teilweise Sonnenbrandschäden an gefährdeten Rebsorten auf, die letztendlich aber nur zu geringen Ertragsverlusten führten.

Der Kräuselmilbenbefall spielte im Weinjahr 2021 erneut nur eine untergeordnete Rolle. Bedingt durch den Witterungsablauf ab Mitte August mit moderaten sommerlichen Temperaturen und häufigen Niederschlägen wurden an den Fallenstandorten zur Überwachung der Kirschessigfliege im Vergleich zu den Vorjahren deutlich höherer Fänge beobachtet. Dieses höhere Ausgangspotential war verantwortlich, dass bereits ab dem 25. August in den Fruchtproben erste Eiablagen festgestellt wurden. Der frühe und hohe Befallsdruck sowie eine deutlich verzögerte Reifeentwicklung der Trauben gegenüber den Vorjahren rechtfertigte in diesem Jahr den Einsatz von Pflanzenschutzmaßnahmen gegen die Kirschessigfliege.

Hagelereignisse traten nur vereinzelt und lokal begrenzt auf. Betroffen waren vor allem Rebflächen der rechten Elbseite insbesondere Gebiete in der Stadt Coswig und Weinböhlen.

Die niedrigen Tages- und Nachttemperaturen Ende August und Anfang September in Verbindung mit einem teilweise hohen Behang sowie den reichlichen Niederschlägen im August waren Gründe für einen verzögerten Reifeverlauf und Säureabbau.

Die Hauptlese startete daher erst Ende der 37. Kalenderwoche und wurde maßgeblich durch die drohenden Ernteverluste durch Botrytis vorgegeben. Um eine hohe Gesamtreife des Lesegutes zu erzielen, war oft das Herausschneiden von angefaulten und teilweise mit Falschem Mehltau befallenen Trauben oder Traubenteilen erforderlich. Besonders wichtig war diese qualitätsverbessernde Maßnahme bei den Rotweinsorten, um sortentypische und farbstoffreiche Weine erzielen zu können. Um gleiche Reifegrade mit hohen Qualitäten zu erhalten, waren nicht selten selektive Erntegänge erforderlich. Die Hauptlese im Anbaugebiet war Ende der 43. Kalenderwoche weitestgehend abgeschlossen. Nach bisherigem Stand ist von einer voraussichtlichen Erntemenge im Jahr 2021 von rund 22.500 hl auszugehen. Das Ergebnis liegt damit leicht über der Erntemenge von 21.187 hl des Vorjahres, aber noch unter dem einer Durchschnittsernte (siehe Abbildung 40).

Der starke Botrytisbefall, hervorgerufen durch das Abquetschen der Beeren, insbesondere bei den frühreifen Sorten sowie Ausfälle durch Oidium und Peronospora, haben ein anfangs erwartetes höheres Ernteergebnis verhindert. Die Ertragsresultate der einzelnen Betriebe sind je nach Erfolg der Pflanzenschutzmaßnahmen von sehr niedrig bis zufriedenstellend zu bewerten.

Abgesehen von den höheren Säureausgangswerten, was als Herausforderung an die Kellermeister anzusehen ist, ist der Jahrgang qualitativ als gut einzuschätzen.

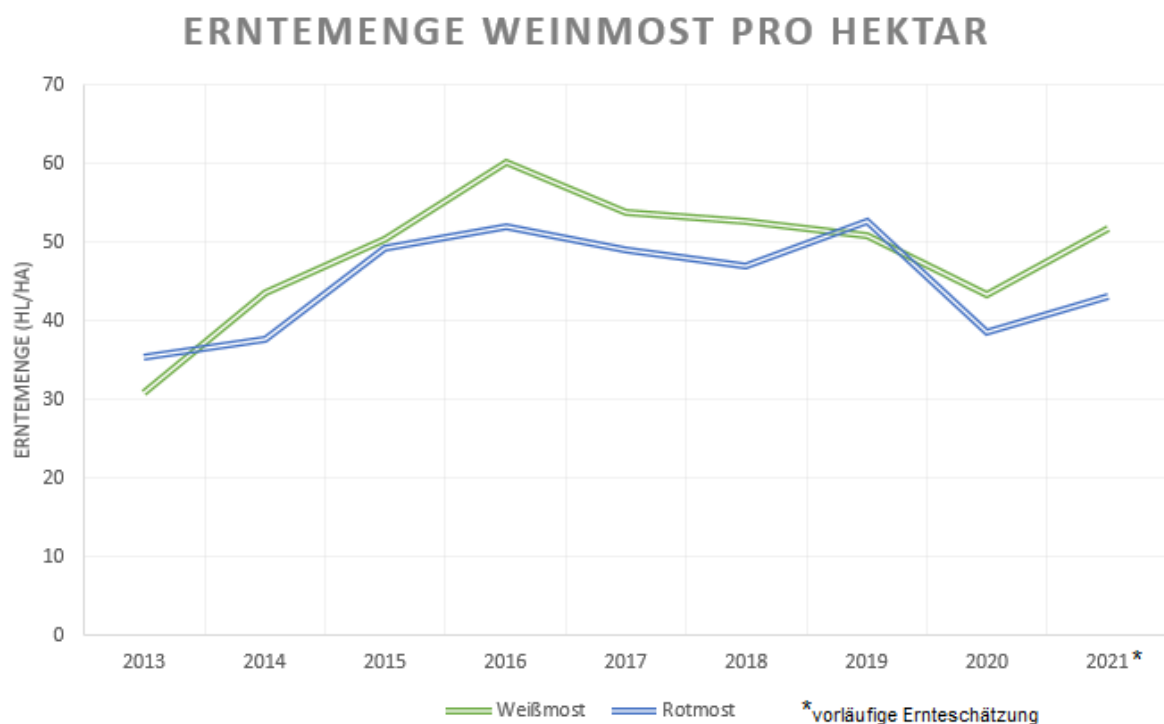


Abbildung 40: Erntemenge von Weißmost und Rotmost in Sachsen (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen)

Auswirkungen auf den Gartenbau

Nach den außergewöhnlichen Vegetationsjahren 2018, 2019 und 2020 mit erheblicher Dürre und massiven Ernteaufschlägen in allen Bereichen der sächsischen Landwirtschaft kann das Anbaujahr 2021 als durchschnittliches Jahr bezeichnet werden. Die ergiebigen Niederschläge im Jahresverlauf haben

auch in Sachsen zu einem teilweisen Wiederauffüllen der natürlichen Bodenwasservorräte geführt und somit die Folgen der letzten drei Dürrejahre abgemildert.

Im Obstbau verzeichnen wir seit 30 Jahren einen immer früheren Blühbeginn des Apfels (Messung Versuchsstation Dresden-Pillnitz) aufgrund der kontinuierlich steigenden Durchschnittstemperaturen. Entgegen dieses Trends wurde im Jahr 2021 der späteste Blühbeginn seit 30 Jahren am 09. Mai gemessen (siehe Abbildung 41). Aufgrund dessen wurden keine Blüten durch Frost geschädigt. Im Jahresverlauf verhalfen ergiebige Niederschläge zu guten Fruchtqualitäten. Die Erträge waren mit geschätzten 285 dt Äpfeln pro ha jedoch im Vergleich des Mittels der letzten 7 Jahre (310 dt/ha) erneut unterdurchschnittlich (siehe Abbildung 42).

Auch im sächsischen Gemüsebau erholte man sich von den letzten drei Dürrejahren und verzeichnete bei den Hauptkulturen Erbse, Bohne, Zwiebel und Möhre durchschnittliche Erträge (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44).

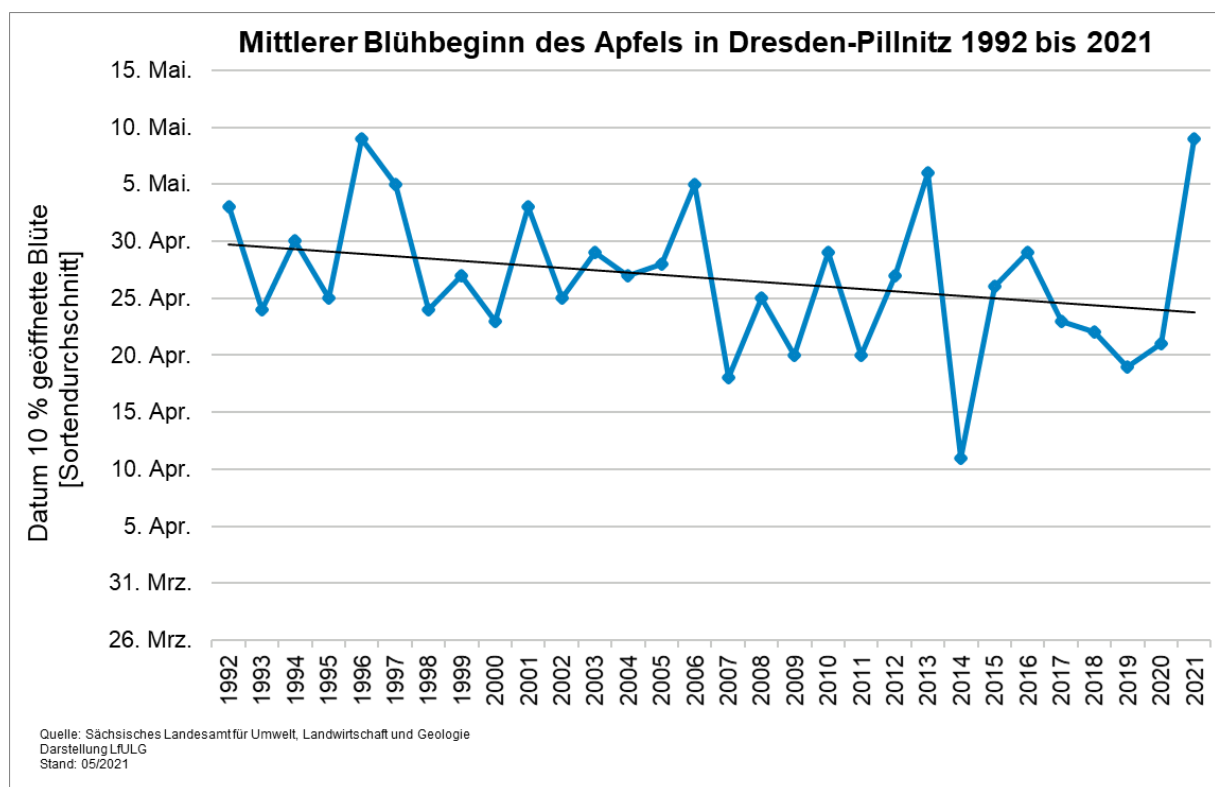


Abbildung 41: Durchschnittlicher Blühbeginn des Apfels auf der Versuchsstation in Dresden-Pillnitz

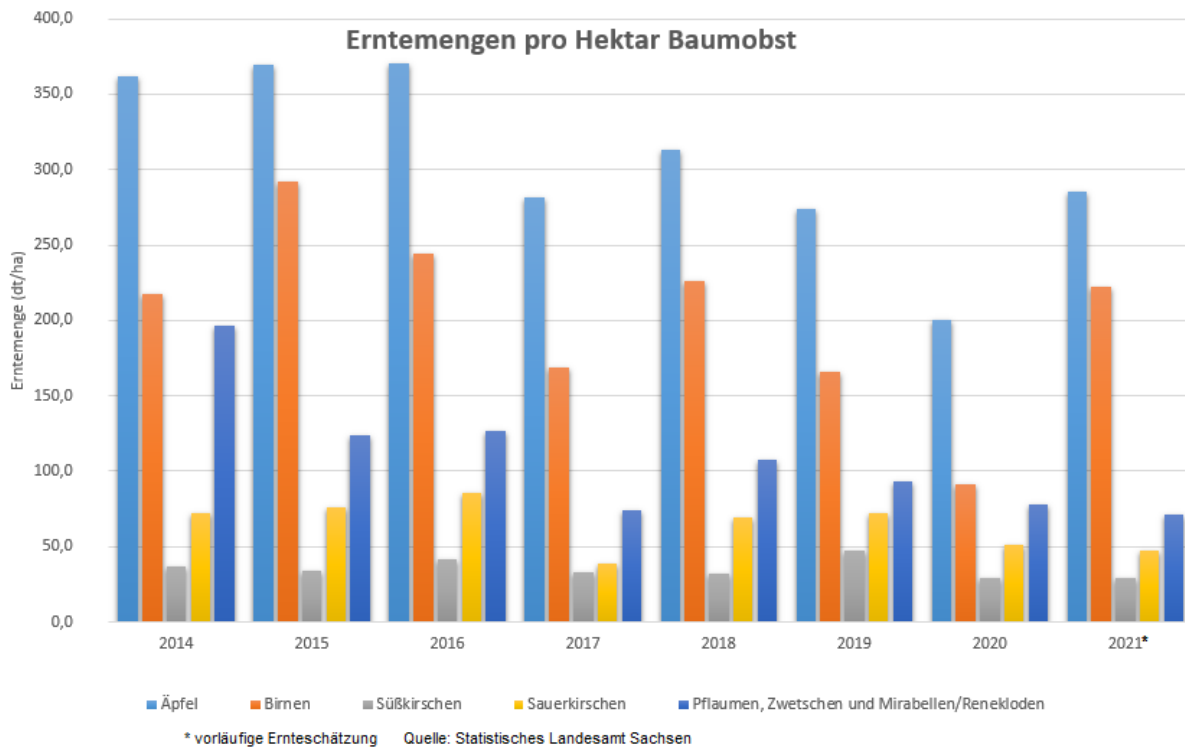


Abbildung 42: Erntemengen von in Sachsen kultivierten Baumobstarten (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen)

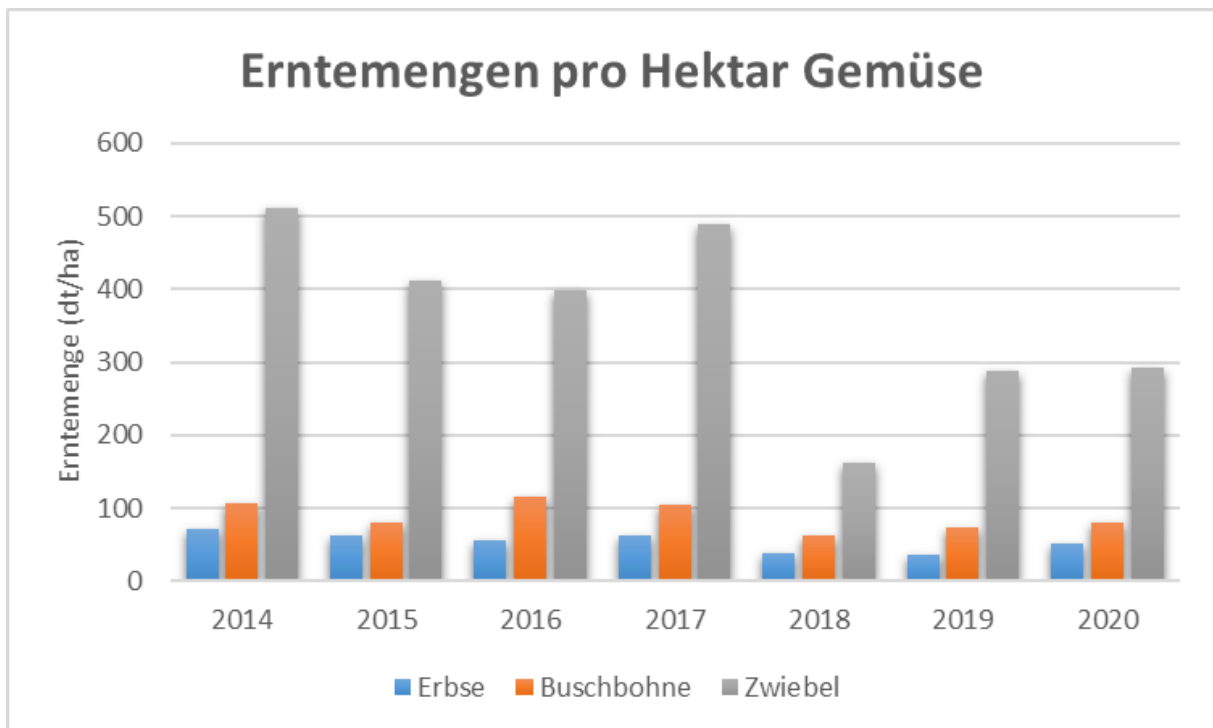


Abbildung 43: Erntemengen der wichtigsten Gemüsearten in Sachsen (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen)

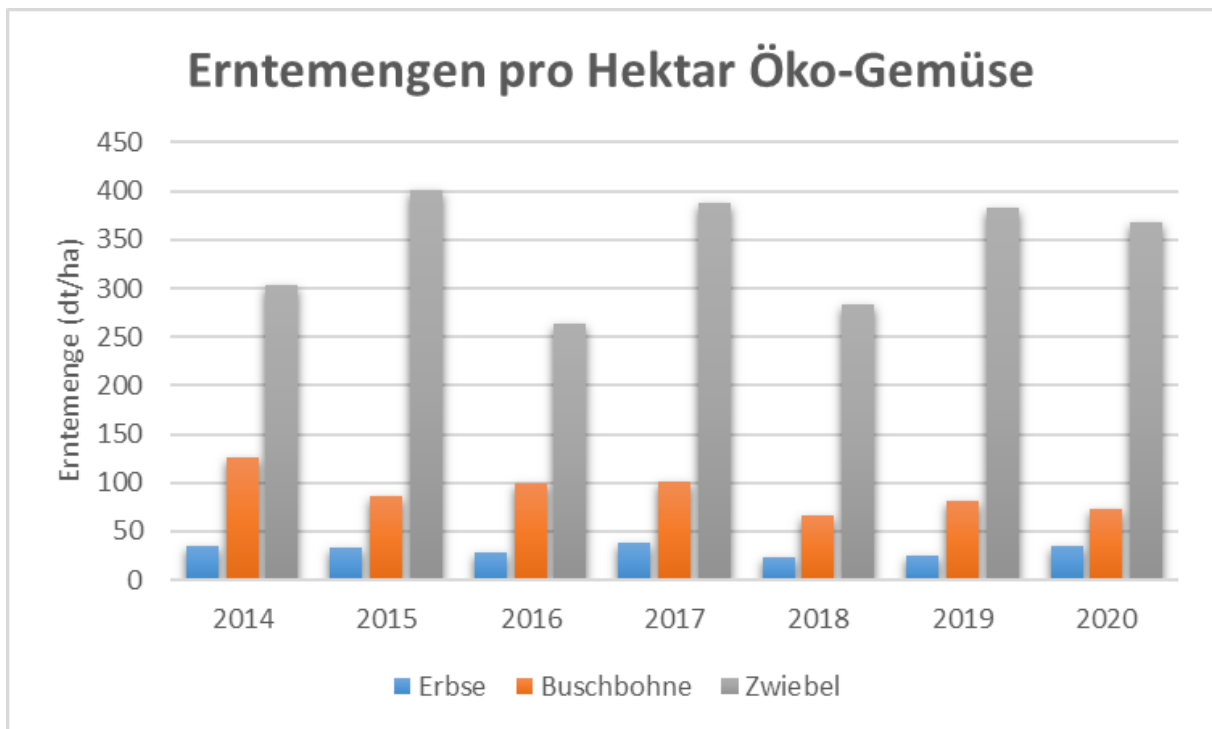


Abbildung 44: Erntemengen der wichtigsten Öko-Gemüsearten in Sachsen (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen)

Fazit

Auf Basis der letzten Jahre lassen sich folgende Zukunftstrends und Entwicklungstendenzen für den sächsischen Garten- und Weinbau ableiten:

- Aufgrund der stetigen Erhöhung der Durchschnittstemperatur und einhergehender Ausdehnung der Vegetationsperiode wird der Anbau von Sorten begünstigt, die vorher unter unseren klimatischen Verhältnissen nicht produziert werden konnten.
- Milde Winter und damit verbundene hohe Bodentemperaturen führen zu Mineralisierung von Stickstoff und zu einem Überangebot im Winter; die für einige Dauerkulturen wichtige Winterruhe ist nicht gegeben.
- Das Ausbleiben der Übergangsjahreszeiten, vor allem das Ausbleiben des meteorologischen Frühlings führt zu einem sehr zeitigen Entwicklungsbeginn; der damit verbundene frühere Blühbeginn führt zu einem erhöhten Risiko von Frostschäden.
- Niederschlagsarme Winter, Wärme- und Trockenperioden im April und Mai führen z.B. bei Markerbsen immer häufiger zu Trockenschäden infolge zu geringer Wasserverfügbarkeit aus dem Boden.
- Sommerliche Hitzeperioden mit extrem hohen Temperaturen und Trockenheit führen zu erheblichen Qualitätseinbußen durch Sonnenbrandschäden im Obst- und Weinbau, bei Speisewiebeln oder auch zu Ozonschäden bei Buschbohnen. Wassermangel reduziert signifikant die Produktqualität. Ein sicherer Anbau der meisten gartenbaulichen Kulturen wird nur noch mit Zusatzbewässerung möglich sein. Hier zeigt sich allerdings, dass in den

Anbaugeländen nicht immer ausreichend Wasser für die Beregnung zur Verfügung steht oder durch behördliche Verfügungen in extremen Trockenphasen die Zusatzbewässerung gartenbaulicher Kulturen nicht erlaubt ist.

- Stark wechselnde Witterungsverläufe während der Vegetation führen zu Stress und zu Problemen in der Kulturführung und -terminierung, zu krankheitsanfälligen Beständen und Ertragseinbußen.
- Extreme Wetterereignisse (Starkregen, Hagel, Sturm) führen teilweise zum vollständigen Verlust der Ernte und erfordern sehr kostenintensive Schutzmaßnahmen (z.B. Hagelschutznetze, Regenschutz bei Süßkirschen).
- Die schrittweise Veränderung des Klimas führt zum verstärkten Auftreten von schwer bekämpfbaren Krankheiten und Schädlingen. Besonders bei Apfelschorf und Mehltau, Mehltapilzen und Fusariosen bei verschiedenen Gemüsearten sowie Viruserkrankungen ist eine starke Zunahme zu beobachten. Mit dem Auftreten der Kirschessigfliege werden der Weinbau sowie der Anbau von Weichobst vor neue Herausforderungen gestellt. Ähnlich verhält es sich bei Apfel mit der marmorierten Baumwanze.

7. Auswirkungen der Witterung auf die Luftqualität

Die durch den Klimawandel bedingten Änderungen der Witterung sind sowohl mit positiven als auch mit negativen Folgen für die Luftqualität verbunden. Wichtige meteorologische Größen sind insbesondere die Temperaturverläufe im Winter (Dezember bis Februar) und im Sommerhalbjahr (März bis Oktober). Die Witterung ist ein wichtiger Faktor nicht nur für den Ausstoß, sondern auch für Ausbreitung und damit Verdünnung von Luftschadstoffen. Hohe Konzentrationen von Feinstaub PM₁₀ und damit verbunden auch Überschreitungen des Tagesgrenzwertes von 50 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft treten vor allem in der kalten Jahreszeit auf.

In milden Wintern wird weniger Energie für Gebäudeheizungen benötigt. Kraftfahrzeugmotoren erreichen schneller die optimale Betriebstemperatur. Deshalb werden weniger Luftschadstoffe aus Schornsteinen und Auspuffanlagen ausgestoßen. Inversionswetterlagen, die ungünstige Ausbreitungsbedingungen für Luftschadstoffe darstellen, sind in milden Wintern seltener. In der Folge werden niedrigere Konzentrationen von verbrennungsbedingten Luftschadstoffen, insbesondere Feinstaub, aber auch Stickstoffdioxid registriert.

Insgesamt war der Winter 2020/2021 mit durchschnittlich +0,8 °C etwas zu warm. In der ersten Februarhälfte gab es eine ausgeprägte Kälteperiode.

Auswirkung auf die PM₁₀-Konzentrationen

Die PM₁₀-Jahresmittelwerte 2021 sind mit denen des Vorjahres vergleichbar. Seit über 20 Jahren gibt es einen deutlichen Trend zu geringeren Konzentrationen. Ursachen sind u.a. die Wirkungen der Maßnahmen in den Luftreinhalteplänen. Begünstigt wird der Trend durch die seit 2013/14 zu warmen Winter und die rückgängigen Ostwetterlagen in der kalten Jahreszeit, die oftmals vorbelastete Luftmassen nach Sachsen transportierten. Auch die infolge der Corona-Pandemie geringere Mobilität unterstützt seit 2020 den Trend zu niedrigeren Konzentrationen.

Der PM₁₀-Tagesgrenzwert von 50 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft (bei 35 zulässigen Überschreitungen je Station im Jahr) wird seit 2015 sachsenweit eingehalten. 2021 gab es in Sachsen insgesamt 47 Einzelüberschreitungen², im Vorjahr 23.

Ursache von 35 dieser Einzelüberschreitungen 2021 war eine Saharastaubepisode.

Wetterphänomen im Februar: Saharastaub

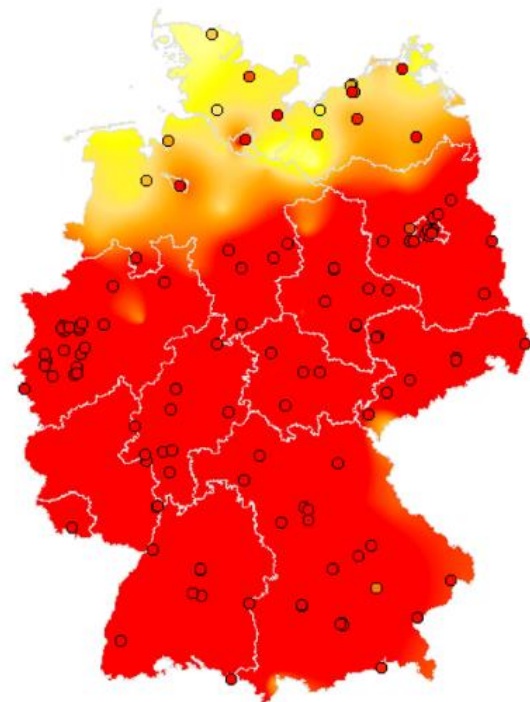
Wüstensand aus der Sahara wurde Anfang Februar durch starke Winde nach Europa getragen. Aus Norden strömte Kaltluft nach Europa. Das hatte zur Folge, dass Schneeflocken mit Saharastaub versetzt wurden. Es fiel sogenannter Blutschnee, der hier in Sachsen am 7. Februar eine leicht gelbliche bis ockerfarbene Färbung annahm. Im Schnee waren deutlich verschieden gefärbte Schichten erkennbar.

² Einzelüberschreitungen: Summe der Überschreitungen des PM₁₀-Tagesgrenzwertes aller Stationen im Jahr

Im Gegensatz zur Saharastaubepisode Anfang Februar führte Saharastaub zwischen dem 23. und 26. Februar 2021 ohne Niederschlag zu deutlich höheren Feinstaubkonzentrationen. Der Höhepunkt wurde in Sachsen am 25. Februar erreicht. An diesem Tag kam es zu einer nahezu flächendeckenden Überschreitung des PM₁₀-Tagesgrenzwertes. Der Saharastaub beeinflusste deutlich die Sicht und führte zu einer außergewöhnlichen Himmelfärbung (Abbildung 45).



Foto: A. Pausch (LfULG, R51)



Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 45: links: Dresden 24 Februar: Saharastaub beeinträchtigt die Sicht, rechts: Deutschlandkarte mit Tagesmittel der Feinstaubkonzentration (PM₁₀) am 25.02.2021

Auswirkung von Niederschlagsarmut auf die PM₁₀-Konzentrationen (2000-2021)

Längere Episoden ohne Niederschlag haben ebenfalls einen deutlichen Einfluss auf die PM₁₀-Konzentrationen. Ergiebige Niederschläge führen zu einer Auswaschung des Feinstaubes aus der Atmosphäre, trockene Tage zu einer Anreicherung. Für die folgende Abbildung wurde untersucht, wie sich unterschiedlich lange Trockenzeiten (Tage ohne Niederschlag bzw. mit einem Niederschlag kleiner 1 mm, werden in Folge kurz als Tage ohne Niederschlag bezeichnet) auf die PM₁₀-Konzentrationen auswirken. Dazu wurden die Tage mit einem Niederschlag größer gleich 1 mm mit einer Null gekennzeichnet und jeder folgende Tag ohne Niederschlag als 1., 2., ..., 10. Trockentag bezeichnet. Ab dem 10. Trockentag erhielten die folgenden Tage ebenfalls die 10 als Kennzeichnung, um zu

verhindern, dass die seltenen langen Trockenzeiten die Auswertung verzerren. Von den PM₁₀-Konzentrationen der Tage mit dem gleichen Abstand zum letzten Niederschlag wurden anschließend Boxplots getrennt für die Jahreszeiten erstellt (Abbildung 46).

Im Ergebnis zeigt sich, dass die niedrigsten Konzentrationen im Mittel am Tag des Niederschlagsereignisses und am Folgetag (Tage 0 und 1) auftreten. Ob der Tag 0 niedriger ist als Tag 1, hängt entscheidend davon ab, wann das Niederschlagsereignis eingetreten ist und wie das Konzentrationsniveau davor war. Bei einem hohen Konzentrationsniveau und spätem Eintreten des Niederschlags kann der Tagesmittelwert am Tag 0 noch deutlich höher sein als am Tag 1. Sehr gut sind die Unterschiede des jahreszeitlichen Konzentrationsniveaus zu erkennen. Erwartungsgemäß ist das Konzentrationsniveau im Winter am höchsten. Auch die durchschnittlichen täglichen Steigerungen von Tag zu Tag fallen im Winter am höchsten aus und erreichen mit ca. 40 µg/m³ am 5. Tag auch den höchsten Wert in allen Jahreszeiten. Ab dem 6. Tag steigen die Konzentrationen kaum noch. Das ist ein Indiz, dass Emission und Deposition der Partikel ein Gleichgewicht erreichen. Die Schwankungen im Konzentrationsniveau ab dem 6. Tag resultieren aus statistischen Effekten, da mit zunehmender Trockenheitsdauer die Anzahl der verfügbaren Tage geringer wird.

Diese Aussagen sind auf niedrigerem Niveau auch in den anderen Jahreszeiten zu erkennen. Am schwächsten ist der Effekt der Steigerung des Konzentrationsniveaus im Sommer zu beobachten. Betrachtet man die Mittelwerte (rote Punkte in den Boxplots) sind die durch statistische Effekte verursachten Schwankungen kaum noch zu erkennen. Im Gegensatz zu den Medianen ist hier außer im Winter eine Steigerung der Mittelwerte der PM₁₀-Konzentrationen bis zum Tag 10 zu erkennen. Ursache dafür ist der stärkere Einfluss der hohen Konzentrationswerte auf den Mittelwert als auf den Median.

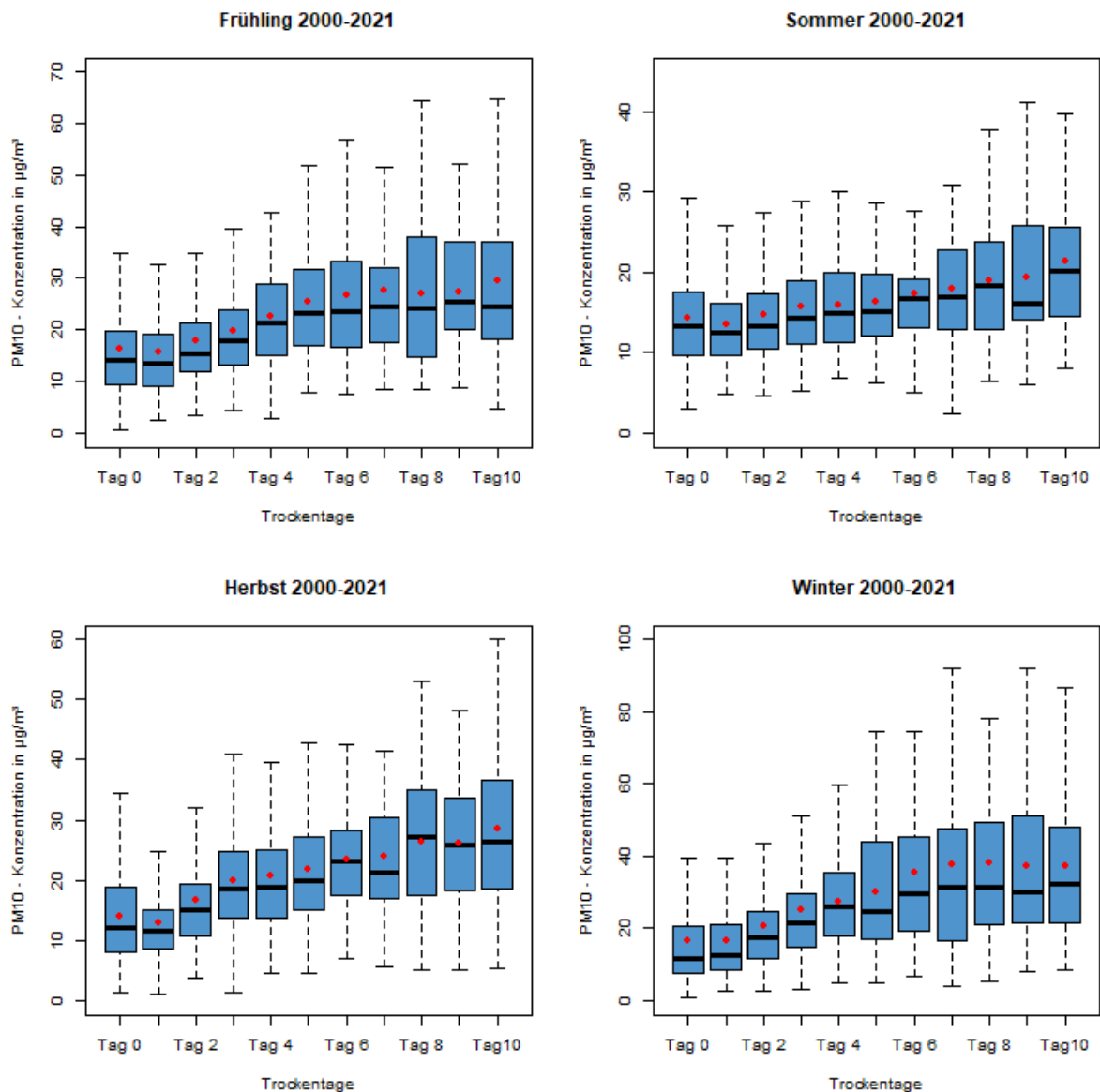


Abbildung 46: Boxplots der jahreszeitlichen PM₁₀-Konzentrationen von 2000 bis 2021 entsprechend der Anzahl der trockenen Tage nach einem Niederschlag ≥ 1 mm für die Messstation Radebeul-Wahnsdorf (Median: schwarze Linie, Mittelwert: roter Punkt)

Auswirkung auf Stickoxide-Konzentrationen

Die Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentrationen 2021 sind mit denen des Vorjahres vergleichbar. Seit über 20 Jahren gibt es einen deutlichen Trend zu geringeren Konzentrationen (Abbildung 47). Ursachen sind u.a. die Wirkungen der Maßnahmen in den Luftreinhalteplänen. Als ebenfalls hauptsächlich verbrennungsbedingter Luftschadstoff reduzieren milde Winter die Schadstoffkonzentrationen der Stickoxide. Eine gute Durchlüftung mit erhöhten Windgeschwindigkeiten führt ebenfalls zu niedrigeren Konzentrationen. Im Gegensatz zu Feinstaub spielt aber hier Ferneintrag eine untergeordnete Rolle. Pandemie-bedingte Einschränkungen führten dagegen seit 2020 stärker als bei Feinstaub zu niedrigeren Konzentrationen.

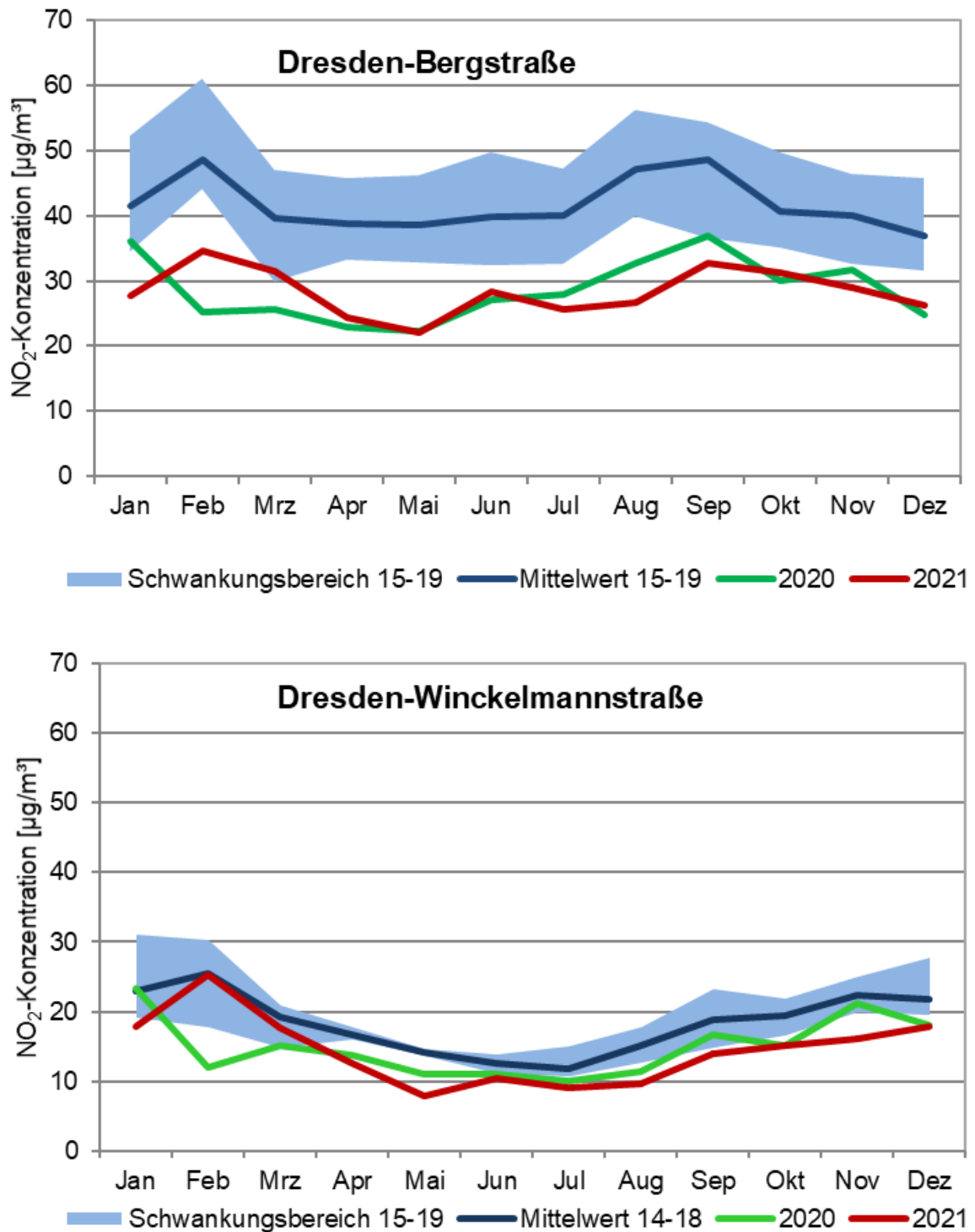


Abbildung 47: NO₂-Monatsmittelwerte an der verkehrsnahen Luftgüte-Messstation Dresden-Bergstraße (oben) und an der städtischen Hintergrundstation Dresden-Winckelmannstraße (unten) 2015 bis 2021

Die Klimaprojektionen lassen eine Fortsetzung der zu warmen Winter erwarten. Trotzdem können weiterhin einzelne kalte Winter oder längere Kälteepisoden auftreten, die erneute hohe Konzentrationen von Luftschadstoffen begünstigen.

Auswirkung auf die Ozonkonzentrationen

Hohe Ozonkonzentrationen entstehen bei länger anhaltenden Hochdruckwetterlagen mit Temperaturen über 30 °C und intensiver Sonneneinstrahlung durch chemische Reaktionen aus den Vorläufersubstanzen Stickstoffdioxid und flüchtigen Kohlenwasserstoffverbindungen.

Das Sommerhalbjahr 2021 war gegenüber der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 nur geringfügig zu warm. Die Anzahl der Sonnenstunden lag mit Ausnahme vom Juni unter dem Referenzwert. Niederschläge verteilten sich ungleich. Während der April mit -38 % zu trocken war, waren die Monate Mai, Juli und August zum Teil über 70 % niederschlagsreicher als der Referenzwert.

An den Stationen des Luftmessnetzes wurden von April bis September an 23 Tagen Höchsttemperaturen über 30 °C gemessen (zum Vergleich: 2018 an 58, 2019 an 48 und 2020 an 42 Tagen).

Diese meteorologischen Bedingungen führten zu einer geringeren Ozonbelastung als in den Vorjahren.

- Der Schwellenwert zur Information der Öffentlichkeit über kurzfristige akute Ozonbelastungen (180 µg/m³ als Stundenmittelwert) wurde 2021 nur an einem Tag, am 20. Juni, an der Station Zinnwald mit 180,5 µg/m³ knapp überschritten.
- Der gesetzliche Ozon-Zielwerte zum Schutz der Gesundheit (vgl. 39. BImSchV) wurde 2021 erstmals eingehalten.
- Der gesetzliche Ozon-Zielwerte zum Schutz der Vegetation (5-Jahresmittelwert, vgl. 39. BImSchV) wurde 2021 an einer Station auf dem Erzgebirgskamm überschritten. Dieser Zielwert, nur für das Jahr 2021 berechnet, wurde sachsenweit eingehalten.
- Die Langfristzielwerte werden in ganz Sachsen überschritten.

Die lange Ozon-Messreihe von der Luftgütemessstation in Radebeul-Wahnsdorf (Abbildung 48) zeigt ab Anfang der 70er Jahre bis Ende der 90er Jahre einen deutlichen Anstieg der Ozonkonzentrationen im Jahresmittel (ca. 1 µg/m³ pro Jahr). Danach schwankt das hohe Niveau im Wesentlichen nur witterungsbedingt. Der Jahresverlauf der Ozonkonzentration an der Station Radebeul-Wahnsdorf seit 1974 verdeutlicht, dass der Konzentrationsanstieg seit Mitte der 70er Jahre gleichmäßig über das Jahr verteilt ist.

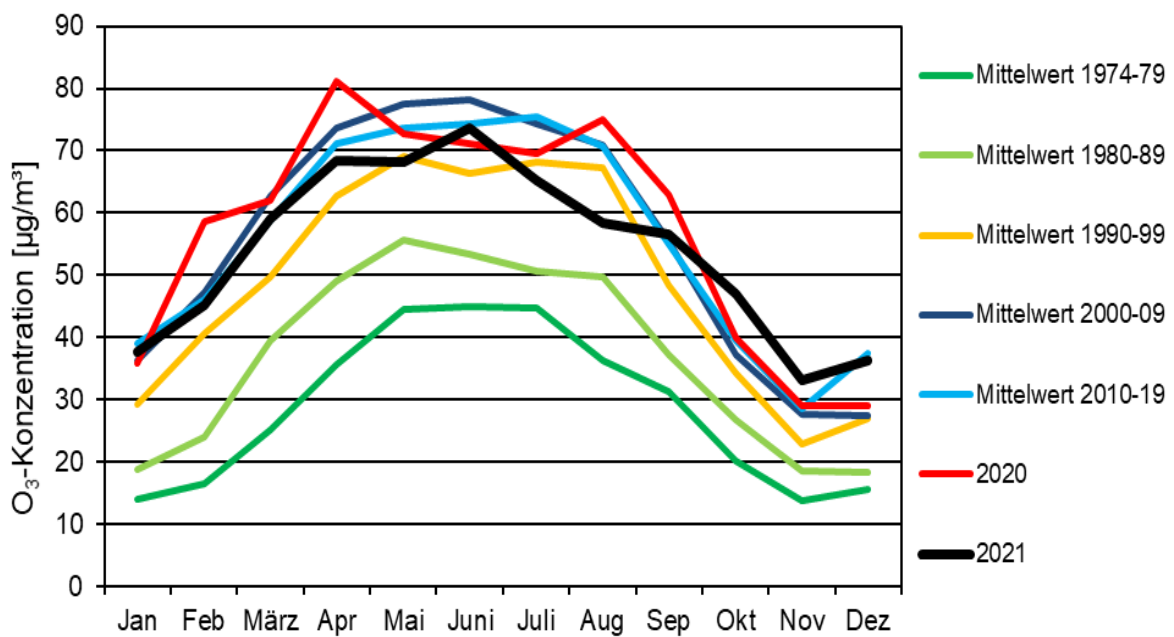
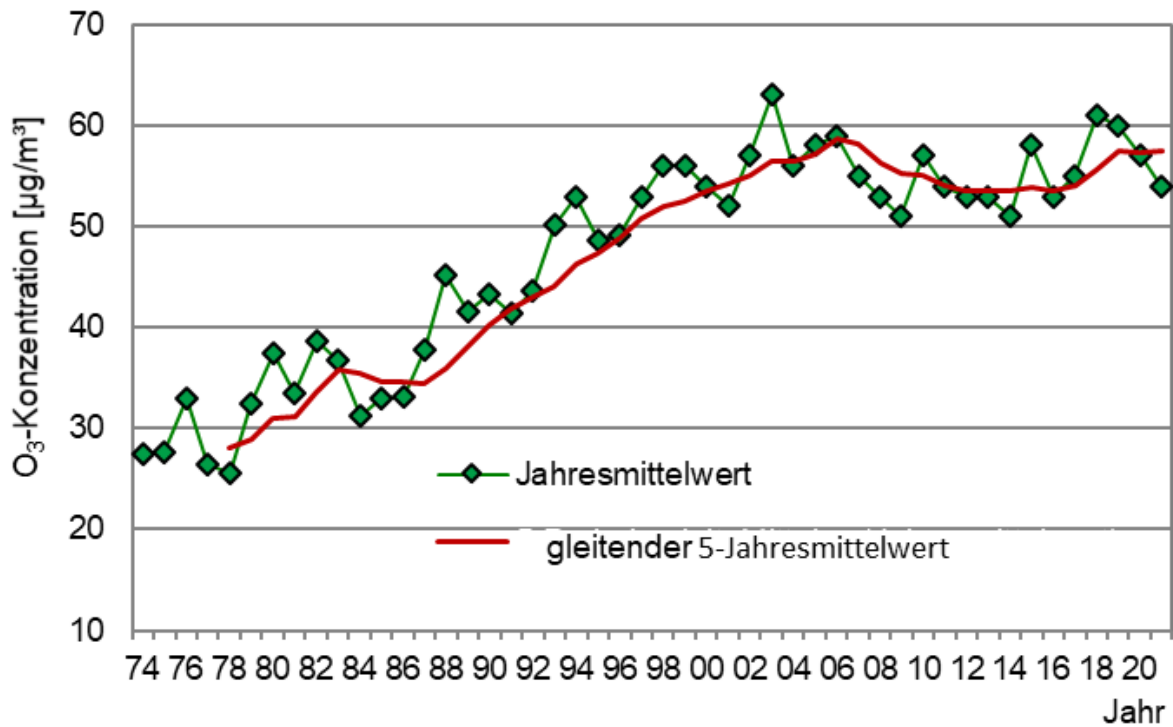


Abbildung 48: Entwicklung der Ozonkonzentration an der Station Radebeul-Wahnsdorf seit 1974 (oben) und Jahresgang der Ozonkonzentration in Radebeul-Wahnsdorf (unten)

Trotz der für 2021 günstigen Bedingungen lassen die Klima-Projektionen für die Zukunft keine Entspannung bei der Ozonproblematik erwarten. Die meteorologischen und sonstigen Bedingungen für Ozonbildung und -abbau sind äußerst komplex, es gibt noch erheblichen Forschungsbedarf. Verschiedene Institutionen, auch das LfULG, beschäftigen sich damit. Weitere Informationen sind z. B. unter [Ozonbelastung in Sachsen - sachsen.de](https://www.sachsen.de/ozonbelastung) zu finden.