

I-Fw-1 Waldklimaentwicklung

Basisinformationen

Inhalt	Veränderungen der klimatischen Bedingungen in sächsischen Wäldern.
Klimawirkung	Im Tiefland und im überwiegenden Teil des Hügellands wurden während der forstlichen Vegetationszeit bereits Verdunstungspotenziale festgestellt, welche die zur Verfügung stehenden Niederschläge überschreiten. Die mit der Temperaturerhöhung eingehende Verlängerung der Vegetationszeit verschärft die Situation. Beide Faktoren im Zusammenspiel entscheiden über die Ausprägung der vorherrschenden Vegetation. Neben den Konsequenzen für die Forstwirtschaft, verändert sich mit dem Waldklima auch das Potenzial der natürlichen Vegetation.

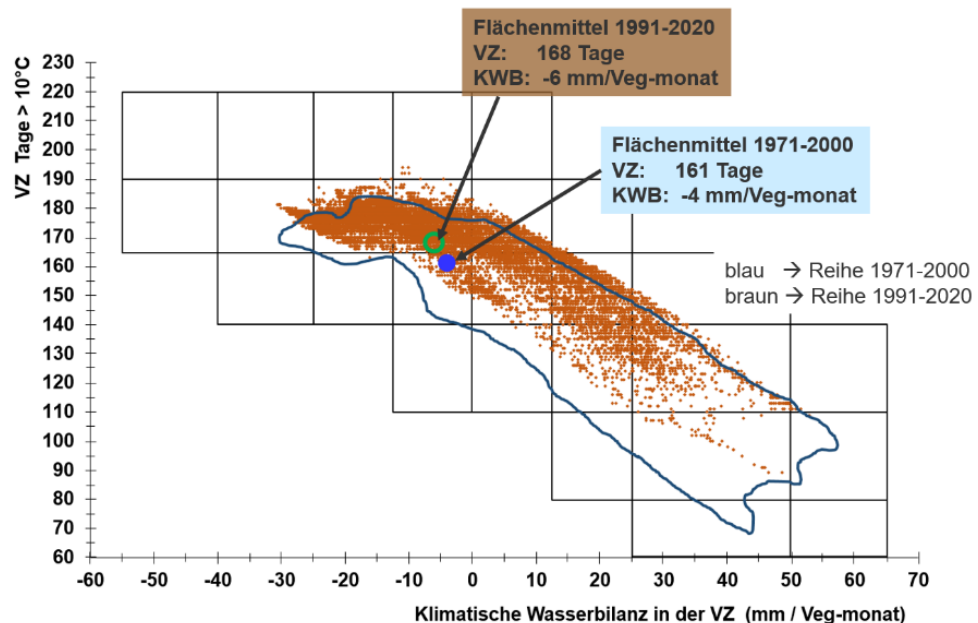
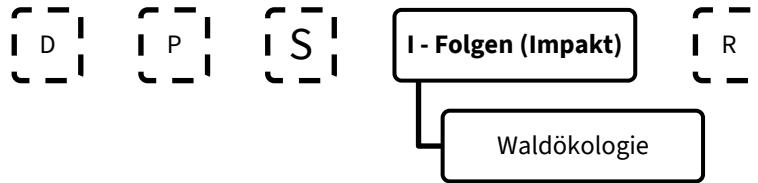


Abbildung 1: Werteveränderung der Forstlichen Vegetationszeit und zugehöriger Klimatischer Wasserbilanz in Sachsen (1x1 km-Raster) 1971-2000 versus 1991-2020

Inhaltsbeschreibung	Auf Grundlage von Tageswerten werden die forstliche Vegetationszeit und die dazugehörige klimatische Wasserbilanz betrachtet. Aus beiden ergibt sich die Ausprägung der forstlichen Klimagliederung. Die Auswertung zeigt das Entwicklungspotenzial für derzeitige und künftige Leitwaldgesellschaften.
Befund	Das Waldklima wird zunehmend trockener und wärmer.
Inhaltlicher Rahmen	Sächsisches Klimafolgenmonitoring (Klimaentwicklung in Sachsen - Klima - sachsen.de)
Weitere Indikatoren im Handlungsfeld	I-Fw-2 Waldbrandrisiko, I-Fw-3 Insektenkalamitäten

Einordnung und Systematik



DPSIR-Schema

Präambel	Es besteht die Möglichkeit von inhaltlichen und methodischen Abweichungen der Indikatoren im sächsischen Klimafolgenmonitoring von denen anderer Monitoringsysteme. Grund dafür sind unter anderem die Indikatorherleitung und die verwendete Datengrundlage. Entsprechende Indikatoren sind dadurch nur bedingt mit denen anderer Monitoringsysteme vergleichbar.
Bund	<u>FW-I-1 Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreserven (Monitoring der deutschen Anpassungsstrategie (DAS Monitoring))</u> A 2.2: Dauer der Vegetationsperiode (Länderinitiative Kernindikatoren)
Andere Bundesländer	A1 <u>Temperatur (Sommer/Winter/Niederschlagshöhe) (LAU Sachsen-Anhalt)</u> S-TP <u>Temperatur (Zweiter Monitoringbericht Thüringen LUBN)</u>
Sachsen	Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021 Maßnahmeplan zur Umsetzung des EKP 2021, Nummer 9.0 [3] <u>Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen</u>
Thematischer Bezug	Jahresrückblick „Wetter trifft Klima“ (LfULG Sachsen) Waldzustandsbericht 2023 (Staatsbetrieb Sachsenforst) 6. Forstbericht der Sächsischen Staatsregierung

Materialien und Methoden

Indikator	Dauer der forstlichen Vegetationszeit in Tagen (d) Klimatische Wasserbilanz in der forstlichen Vegetationszeit in Millimetern pro Vegetationsmonat (mm/Vm)
-----------	---

Berechnungsvorschrift	<u>Forstliche Vegetationszeit in Tagen</u> Der mittlere Jahresgang der Temperatur wird auf der Basis der Tagewerte über ein dreitägiges Mittel geglättet. Ausgehend von der Jahresmitte am 15. Juli (Day-Of-Year [DOY] = 196) werden Beginn und Ende der forstlichen Vegetationsperiode als zusammenhängende Tage mit einer Mitteltemperatur > 10°C bestimmt. Die Anzahl der Tage von Beginn bis zum Ende der Periode ergibt die forstliche Vegetationszeitlänge in Tagen.
-----------------------	---

Tabelle 1: Klassen der Vegetationszeitlänge der forstlichen Klimagliederung und deren Ausprägung [2,3]

Vegetationszeitlänge in Tagen

<80	80 – 110	110 – 140	140 – 165	165 – 190	>190
Eiskalt	Winterkalt	Mäßig kühl	Mäßig warm	Sommerwarm	Submediterrann

Klimatische Wasserbilanz in der forstlichen Vegetationszeit

Ermittlung der mittleren Jahresgänge auf Basis der Monatssummen für den Korrigierten Niederschlag (RK) und die Grasreferenzverdunstung (GR). [3]

Summierung der Monatswerte RK bzw. GR für die exakte Länge der forstlichen Vegetationszeit VZ (Beginn bis Ende der VZ) unter anteiliger (%) Verrechnung für die unvollständigen Vegetationszeit-Monate. Die Klimatische Wasserbilanz KWB_{VZ} wird als Differenz aus Niederschlag und Grasreferenzverdunstung auf einen 30-Tage-Vegetationsmonat normiert.

$$KWB_{VZ} = \frac{(\sum RK_{VZ} - \sum GR_{VZ}) * 30}{VZ}$$

Berechnung der Grasreferenzverdunstung nach der FAO-Standard⁵

$$GR = \frac{(R_g + 93 * k) * (T + 22)}{165 * (T + 123) * (1 + 0,00019 * h)}$$

GR: Grasreferenzverdunstung in mm d⁻¹

R_g : Globalstrahlung in J cm²

T: Tagesmittel der Lufttemperatur in °C

k: Küstenfaktor (0,5 an der Küste, 1 im Binnenland)

h: Seehöhe in m (für h > 600 m wird h = 600 m gesetzt)

Tabelle 2: Klassen der Klimatischen Wasserbilanz in der forstlichen Vegetationszeit [3]

mm/Vegetationsmonat	Ausprägung
<-40	sommerdürre
-40 bis -25	extrem sommertrocken
-25 bis -12,5	stark sommertrocken
-12,5 bis 0	mäßig trocken
0 bis 12,5	mäßig frisch
12,5 bis 25	sehr frisch
25 bis 50	feucht
>50	sehr feucht

Trendanalyse

Klimaprojektion auf Basis des Mitteldeutschen Kernensembles (Rekis)

Die Länge der forstlichen Vegetationszeit wird durch das Temperaturniveau im Jahresgang gesteuert. Mit fortschreitender Erwärmung verlängert sich die Vegetationszeit. Je länger diese anhält, umso länger erfolgen in den Pflanzen intensive physiologische Stoffwechselvorgänge statt, die auch mit Wachstum und Biomasseproduktion verbunden sind. Hierfür sind ausreichende Bodenfeuchteverhältnisse essentiell. Mit der Verlängerung der Vegetationszeit erhöhen sich auch der Gesamtwasserbedarf und -verbrauch der Pflanzen innerhalb der Vegetationsperiode.

Die klimatische Wasserbilanz ist ein Indikator für die Auswirkungen des Klimas auf die Bodenfeuchteverhältnisse in terrestrischen (sickerwassergeprägten)

Waldökosystemen. Besonders in der Vegetationsperiode sind die Pflanzen auf verfügbares Wasser im Boden angewiesen. Ist die klimatische Wasserbilanz niedrig oder bei einem Verdunstungsanspruch der Atmosphäre, der durch die realen Niederschläge nicht gedeckt werden kann, sogar negativ – so ist Trockenstress wahrscheinlich.

Aus der Kombination von forstlicher Vegetationszeitlänge und Klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationszeit ergibt sich die Matrix der dynamischen forstlichen Klimagliederung.

Vegetationszeitlänge [Tage/Jahr]	sub-mediterran	190 - 220	VIII sommerdürre bis stark sommertrocken & submediterran			VII mäßig trocken bis mäßig frisch & submediterran				
			[50]	[51]	[52]	[53]	[54]	[55]	[56]	[57]
	sommer-warm	165 - 190	[41] [42] VI sommerdürre bis stark sommertrocken & sommerwarm bis mäßig warm			[43] [44] V mäßig trocken bis sehr frisch & sommerwarm bis mäßig warm		[45]	[46]	[47]
			[40]							
	mäßig warm	140 - 165	[30]	[31] [32]			[33] [34]	III sehr frisch bis feucht & mäßig warm		
									[35] [36] [37]	
	mäßig kühl	110 - 140	[20]	[21]	[22]	IV mäßig trocken bis mäßig frisch & mäßig kühl		II sehr frisch bis sehr feucht & mäßig kühl		
					[23]	[24]	[25]	[26]	[27]	
winterkalt	80 - 110	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	I sehr frisch bis sehr feucht & winterkalt			
							[15]	[16]	[17]	
eiskalt	<80		[01]	[02]	[03]	[04]	0 sehr frisch bis sehr feucht & eiskalt			
							[05]	[06]	[07]	
			< -40	-40 ... -25	-25 ... -12,5	-12,5 ... 0	0 ... 12,5	12,5 ... 25	25 ... 50	>50
			sommer-dürre	extrem sommer-trocken	stark sommer-trocken	mäßig trocken	mäßig frisch	sehr frisch	feucht	sehr feucht
Klimatische Wasserbilanz [mm/Vegetationsmonat]										

Abbildung 2: Matrix der dynamischen forstlichen Klimagliederung. [Quelle]

Klimaklassen (mit zweistelligen Ziffernsymbolen), denen im mesotrophen unvernässten Standortsspektrum aufgrund ähnlicher ökologischer Eigenschaften gleichartige *Leitwaldgesellschaften* (siehe Glossar) zugeordnet werden können, sind zu Klimastufen (mit römischen Ziffern) zusammengefasst. Diese Klimastufen bilden die klimaökologische Grundlage für die Bewertung forstlicher Standorte bei waldbaulichen Planungen und forstlichen Pflegemaßnahmen.

Einschränkungen in der Interpretierbarkeit

Der Indikator stellt die sich langfristig entwickelnden Verhältnisse der klimatischen Wasserbilanz in der forstlichen Vegetationszeit dar. Kurzfristig auftretende extreme Witterungsereignisse und –perioden (wie beispielsweise Starkregen oder Dürre), welche gleichwohl für die Ökosysteme prägnanten Einfluss haben, sind mit dem Indikator nicht abbildbar.

Klimafolgenmonitoring

Datengrundlage	Klimareferenzdatensatz 1961 – 2020 m 1 km x 1 km Raster Mitteldeutsches Kernensemble (Stand 2021) im 12 km x 12 km Raster
Zeitliche Auflösung	Tag
Datenverfügbarkeit	Kooperation von Sachsenforst (SBS) und FZK beim LfULG: Berechnung der spezifischen Rasterdaten für Vegetationszeit und zugehöriger Klimatischer Wasserbilanz für SBS durch das FZK
Ausblick	Dekadische Fortschreibungen und Evaluierungen am Ende der 10jährigen Messreihen im Abgleich mit den Herausforderungen, die sich an die Forstliche Klimagliederung als strategisch – waldbauliches Steuerungsinstrument ergeben haben. Harmonisierung der klimatischen Zeiträume mit anderen Indikatoren. Fortschreibung der Forstlichen Klimagliederung]

Auswertung und Darstellung

Befund Das Waldklima wird zunehmend trockener und wärmer.

Ergebnisbeschreibung Vegetationszeitlänge

In der Referenzperiode **1971 – 2000** (s. Abb. 3) zeigte sich die mittlere Vegetationszeitlänge im sächsischen Tiefland und dem überwiegenden Teil des Hügellandes als sommerwarm. Nur im Wuchsbezirk Ostlausitzer Vorberge und den Räumen Nossen, Pulsnitz-Bischofswerda sowie vereinzelt Regionen (wie beispielsweise in den höher gelegenen Bereichen der Dahleener Heide) war es mäßig warm. In der Standortsregion Mittelgebirge war es im Vogtland, dem Oberlausitzer Bergland und den unteren Lagen des Erzgebirges überwiegend mäßig warm. Großen Teilen der mittleren und höheren Lagen des Erzgebirges konnte die Vegetationszeitlänge „mäßig kühl“ zugeordnet werden. Die winterkalten Bereiche beschränkten sich auf die Kammlagen und deren Umfeld. Lediglich auf dem Fichtelberg gab es kleinflächig als eiskalt charakterisierte Vegetationszeitlängen.

Für die Bezugsperiode **1991 – 2020** (s. Abb. 4) sind das Tiefland und nahezu das gesamte Hügelland der sommerwarmen Vegetationszeitlänge zuzuordnen. Es verschwanden die früher mäßig warmen Gebiete im Tiefland und die eiskalte Enklave auf dem Fichtelberg. Darüber hinaus erstrecken sich die sommerwarmen Bereiche nun auch bis in das Untere Vogtland und Elbsandsteingebirge. Im Erzgebirgsvorland haben sich Vegetationszeitlängen mäßig warmer Regionen nach Süden bis weit in die mittleren Berglagen ausgebreitet. Bis auf das Fichtelberggebiet sind die Hoch- und Kammlagen durch mäßig kühle Vegetationszeitlängen beherrscht.

Für die 30-jährige Bezugsperiode 1971 - 2000 betrug das sächsische Flächenmittel der Vegetationszeitlänge (s. Abb. 1) 161 Tage. Mit der Periode 1991 - 2020 verlängerte sich das Flächenmittel um 7 Tage innerhalb von 20 Jahren. Der Vergleich der Klimaperioden zeigt deutlich eine Ausdehnung der Vegetationszeitlängen, die sich südlicheren Klimaregionen annähern. Besonders deutlich wird diese Tendenz in der Dekade **2011 – 2020** (s. Abb. 7). Aufgrund des erhöhten Temperaturniveaus treten nun in den Räumen Delitzsch-Leipzig und Riesa-Großenhain erstmals Vegetationszeitlängen submediterranen Charakters mit mehr als 190 Vegetationszeittagen auf (s. Abb. 1).

Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationszeit (KWB_{vz})

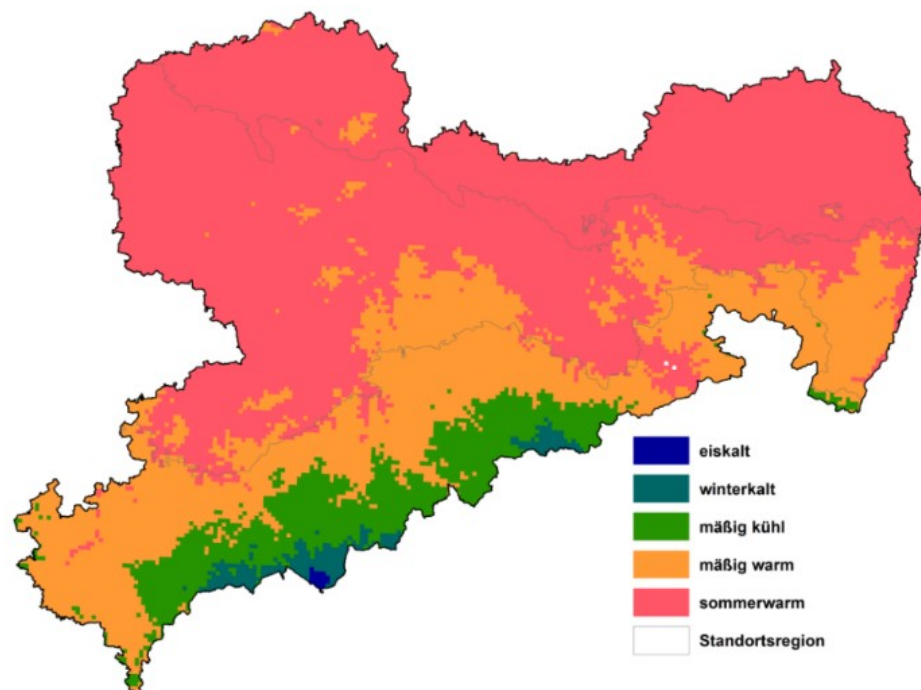
Die Verteilung der klimatischen Wasserbilanz während der forstlichen Vegetationszeit ist in Sachsen durch die Topografie stark gegliedert. Im 30-jährigen Mittel

der Referenzperiode **1971 - 2000** (s. Abb. 7) galt das Tiefland als überwiegend stark sommertrocken mit einzelnen extrem sommertrockenen Gebieten. Ebenso herrschten im Hügelland nördlich einer Linie Frohburg-Bad Lausick-Meißen-Radeburg und in der Dresdener Elbtalweitung stark sommertrockene Verhältnisse. Im restlichen Hügelland dominierten mäßig trockene Bedingungen, die im Erzgebirgsvorland zwischen Zwickau und Chemnitz in mäßig frische Verhältnisse übergingen, welche sich auch im Unteren Vogtland fortsetzten.

Die unteren Lagen der Standortsregion Mittelgebirge einschließlich des Oberen Vogtlandes waren durch eine mäßig frische KWB_{VZ} geprägt. Im Erzgebirge waren mit ansteigender Höhe daran anschließend sehr frische bis feuchte Gebiete vorherrschend. Allein in der Hoch- und Kammlagen zwischen Carlsfeld und Johanngeorgenstadt war es mitunter sehr feucht.

In der Periode **1991 - 2020** (s. Abb. 8.) erweiterten sich die stark sommertrockenen Gebiete in Teilen der Lausitz und der Elbtalzone. Nahezu der gesamte Nordwestsächsische Raum von Schkeuditz bis Riesa wurde großflächig noch trockener und weist nun (bis auf die Dübener und Dahleener Heide) eine extrem sommertrockene KWB_{VZ} aus.

Im Erzgebirge verschwand die Ausprägung sehr feucht auch in den Hoch- und Kammlagen und die Bereiche mit einer sehr frischen KWB_{VZ} erweiterten sich zu Lasten vormals feuchter Verhältnisse. Für die 30-jährige Bezugsperiode 1971 - 2000 betrug das sächsische Flächenmittel der KWB_{VZ} pro Vegetationsmonat -4 mm (s. Abb. 1). Mit der Periode 1991 - 2020 verringerte sich das Flächenmittel um 2 mm auf -6 mm pro Vegetationsmonat. Betrachtet man die gemittelte KWB_{VZ} der letzten Dekade **2011 - 2020** (s. Abb. 9) wird das beschleunigte Voranschreiten der Klimaentwicklung deutlich. In diesem Zeitraum vergrößerte sich der extrem sommertrockene Bereich in Nordwestsachsen deutlich. Im Erzgebirge wandelten sich sehr frische bis feuchte Gebiete großflächig in Bereiche mit mäßig frischer KWB_{VZ} .



Abbildungen

Abbildung 3 Forstliche Vegetationszeitlänge von 1970 – 2000 in Sachsen

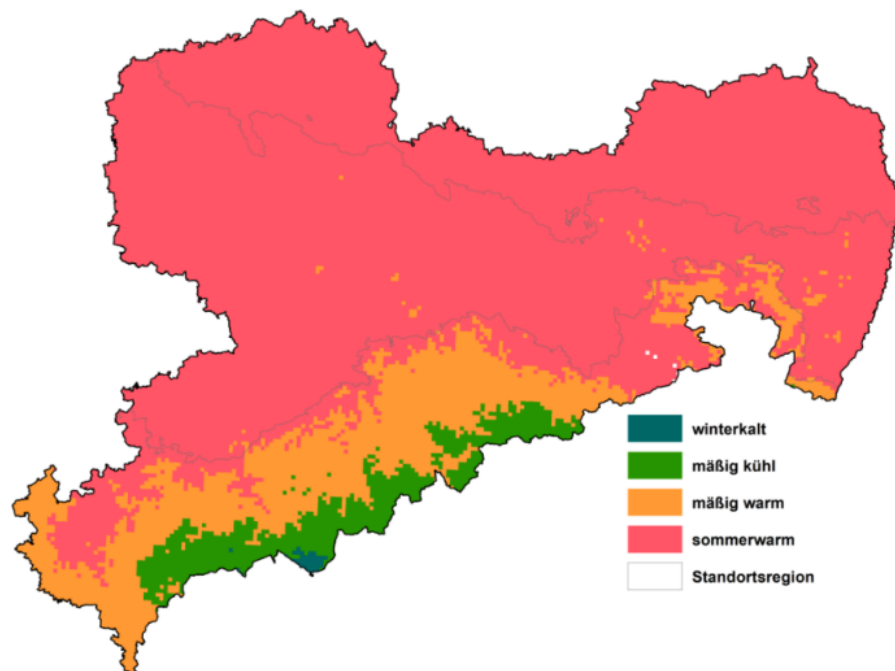


Abbildung 4: Forstliche Vegetationszeitlänge von 1991 – 2020 in Sachsen

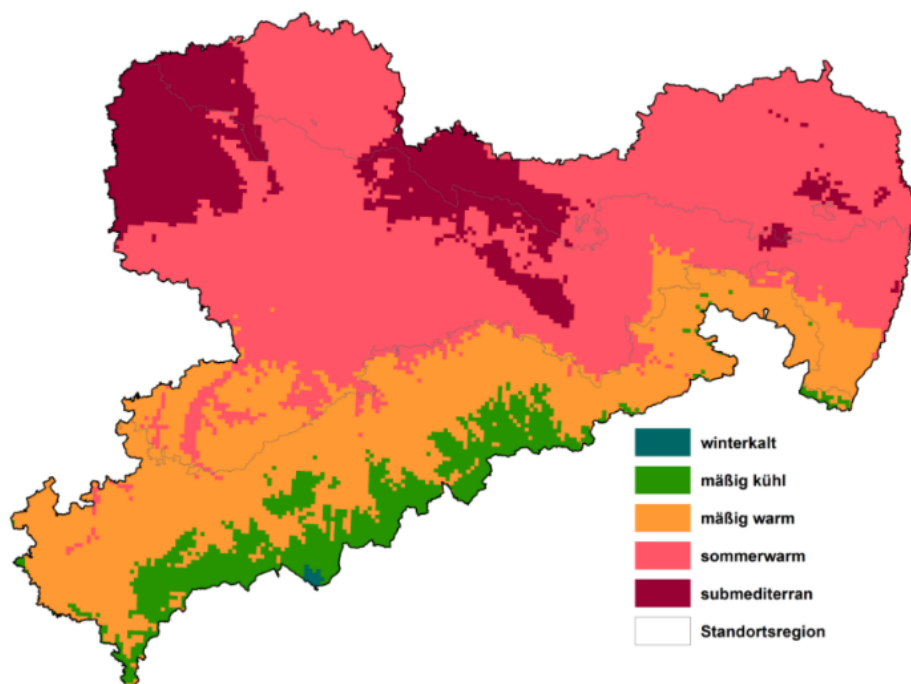


Abbildung 5: Forstliche Vegetationszeitlänge von 2011 – 2020 in Sachsen

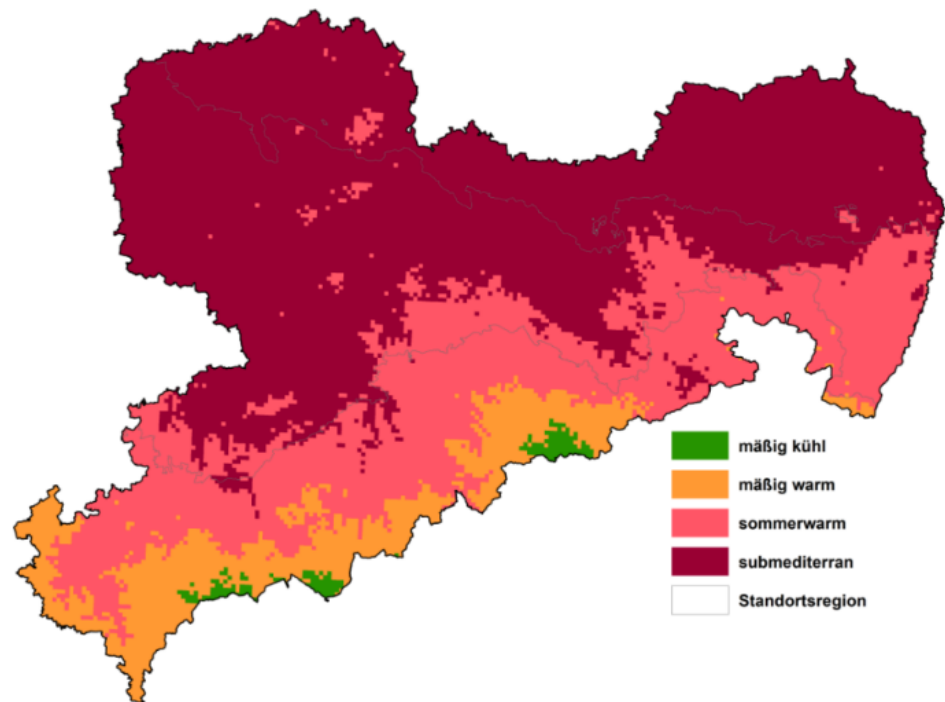


Abbildung 6: Forstliche Vegetationszeitlänge in Sachsen RCP8.5-Projektion für 2041-2070 [unter Verwendung eines moderaten Simulationslaufes]

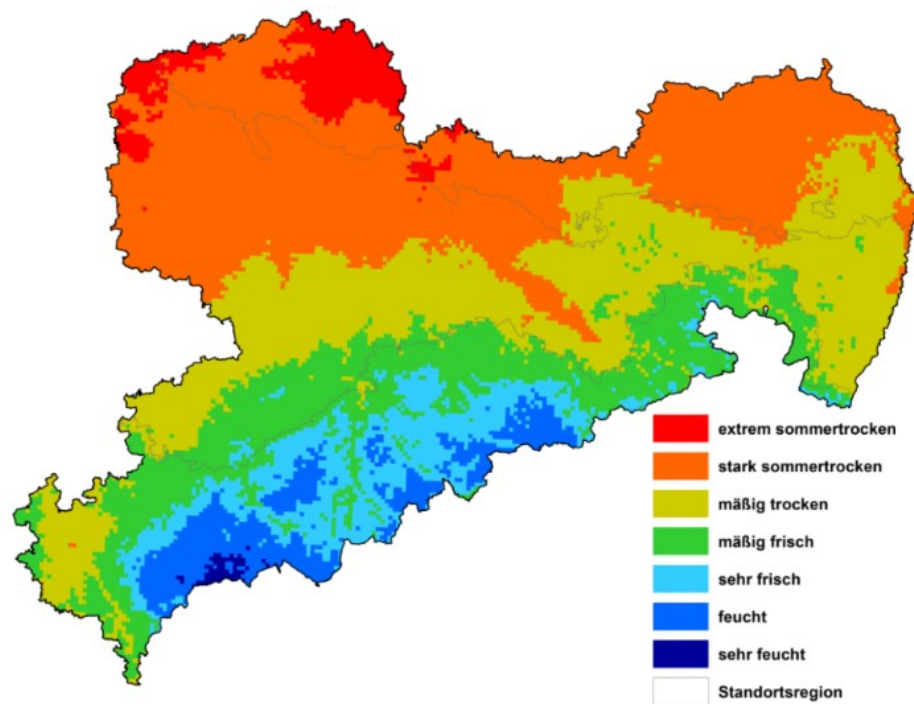


Abbildung 7: Klimatische Wasserbilanz in der Forstlichen Vegetationszeit in Sachsen von 1971 – 2000

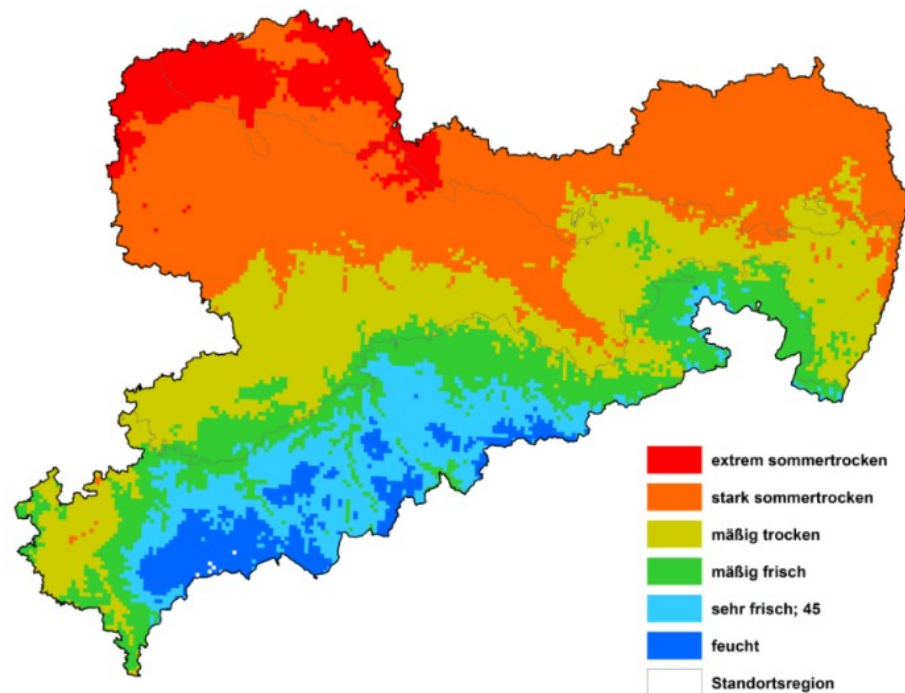


Abbildung 8: Klimatische Wasserbilanz in der Forstlichen Vegetationszeit in Sachsen von 1991 – 2020

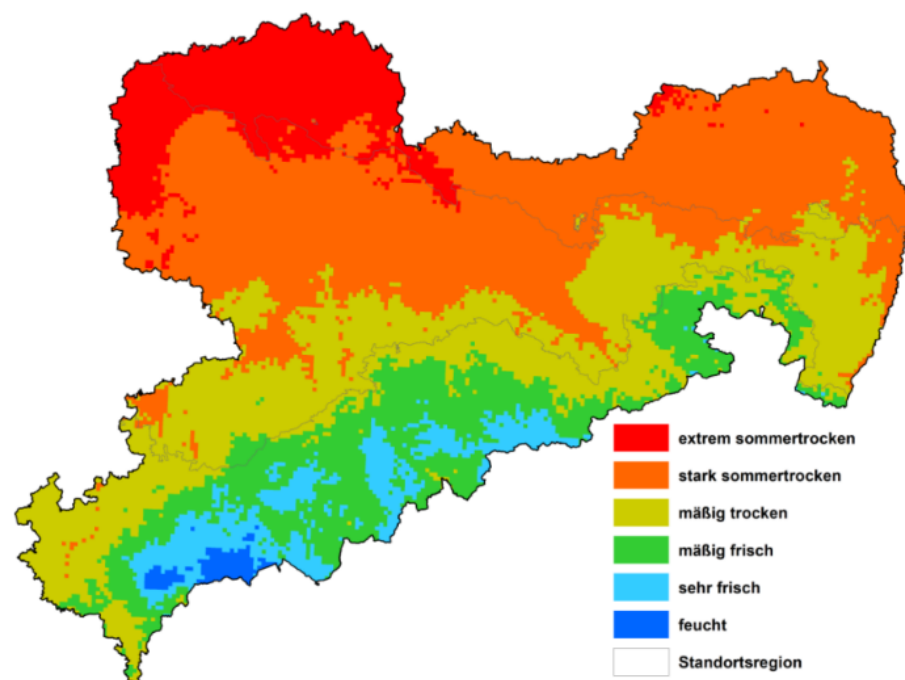


Abbildung 9: Klimatische Wasserbilanz in der Forstlichen Vegetationszeit in Sachsen von 2011 – 2020

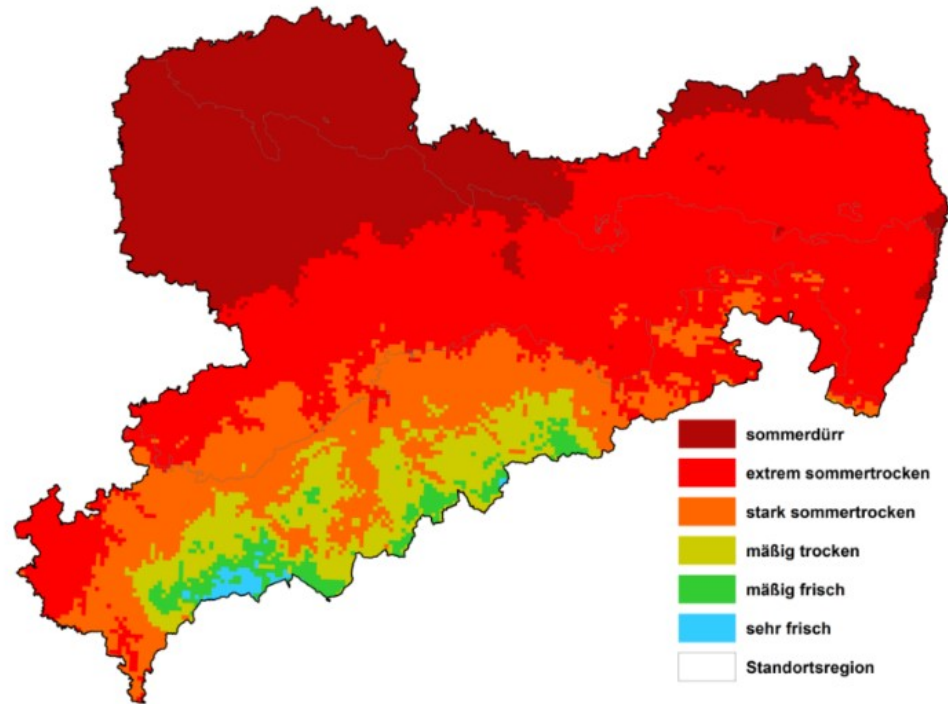


Abbildung 10: Klimatische Wasserbilanz in der Forstlichen Vegetationszeit in Sachsen RCP8.5-Projektion für 2041-2070 [unter Verwendung eines moderaten Simulationslaufes]

Entwicklung

Tabelle 3: Sächsische Flächenmittelwerte aus den Rasterdaten 1 x 1 km

	1971 - 2000	1991 - 2020	2011 - 2020	2041 - 2070
KWB	-4 mm/VZ-mon	-6 mm/VZ-mon	-10 mm/VZ-mon	-31 mm/VZ-mon
VZ	161 Tage	168 Tage	170 Tage	185 Tage

Die Projektion **des RCP8.5-Szenarios für 2041 - 2070** (s. Abb. 8) zeigt potenziell eine weitere Verschiebung der KWB hin zu noch trockeneren Bedingungen. So muss in Nordwestsachsen nördliche einer Linie Frohbürg-Großenhain mit sommerdürren Verhältnissen bei KWB_{VZ} unter – 40 mm pro Vegetationsmonat gerechnet werden. Im restlichen Tief- und Hügelland, den überwiegenden Teilen des Lausitzer Berglandes und Elbsandsteingebirges sowie im westlichen Vogtland sind extrem sommertrockene Verhältnisse wahrscheinlich. Auch im Erzgebirge sind bis weit in die mittleren Berglagen hinein angespannte Wasserverhältnisse mit stark sommertrockenen bis mäßig trockenen KWB_{VZ} zu erwarten. Auf ausgeglichene Wasserbilanzen in der Vegetationszeit im mäßig frischen bis sehr frischen Rahmen weist die Projektion mittelfristig nur noch für die Hoch- und Kammlagen und begünstigte Bereich der mittleren Lagen aus.

Literaturverzeichnis

1. RUBNER K, 1953: DIE PFLANZENGEOGRAPHISCHEN GRUNDLAGEN DES WALDBAUS, NEUMANNVERLAG RADEBEUL UND BERLIN, 4. AUFLAGE
2. SCHLUTOW A, 2022; ABLEITUNG VON KLIMAWANDELANGEPASSTEN LEITWALDGESELLSCHAFTEN FÜR DIE WÄLDER IM FREISTAAT SACHSEN. –FORSCHUNGSBERICHT IM AUFTRAG DES SBS
3. GEMBALLA R, EISENHAEUER DR, 2016: VON DER ZONALEN, QUASISTABILEN ZUR DYNAMISCHEN FORSTLICHEN KLIMAGLIEDERUNG. IN: EICHHORN J, GUERICKE M, EISENHAEUER DR, 2016: WALDBAULICHE KLIMAAANPASSUNG IM REGIONALEN FOKUS. KLIMZUG BAND 10. OEKOM MÜNCHEN

4. GEMBALLA R, SCHLUTOW A, 2007; ÜBERARBEITUNG DER FORSTLICHEN KLIMAGLIEDERUNG SACHSENS. – AFZ-DERWALD 15/2007: 822–826
5. ALLAN R, PEREIRA L, SMITH M, 1998: CROP EVAPOTRANSPIRATION-GUIDELINES FOR COMPUTING CROP WATER REQUIREMENTS-FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 56QUELLE

Glossar

Unter „**Leitwaldgesellschaft**“ wird hier modellhaft die Pflanzengemeinschaft verstanden, die evolutionär an die gegebenen Standort- und Klimaverhältnisse am besten angepasst ist. In ihr hat sich, nach einer teils Jahrtausende langen evolutionären Anpassung, ein dynamisch-stabiles Konkurrenz-Gleichgewicht der Populationen untereinander und zur vergesellschafteten Fauna herausgebildet, welches sich bei Störungen selbst regenerieren kann. Damit wird sie von den hochsteten standorttreuen ökologischen Artengruppen gebildet. Leitwaldgesellschaften können deshalb als quasinatürliche Stamm-Vegetationsgesellschaften und Abbilder ökologisch standortangepasster und konkurrenzstabiler Biozönoson Hinweisgeber für forstwirtschaftliche Zielstellungen des Waldumbaus sein.

Autor: Rainer Gemballa; Staatsbetrieb Sachsenforst

Abteilung 4 ; Referat 43 ; Telefon: 03501 542-121; E-Mail: Rainer.Gemballa@smekul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 31.01.2025:
Startseite - Staatsbetrieb Sachsenforst - sachsen.de

Autor: Katrin Hermasch, Florian Kerl; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie;

Abteilung 5; Referat 55; Telefon: 0351 2612-5503; E-Mail: FachzentrumKlima@lfulg.sachsen.de; Redaktionsschluss: 30.01.2025:
www.lfulg.sachsen.de