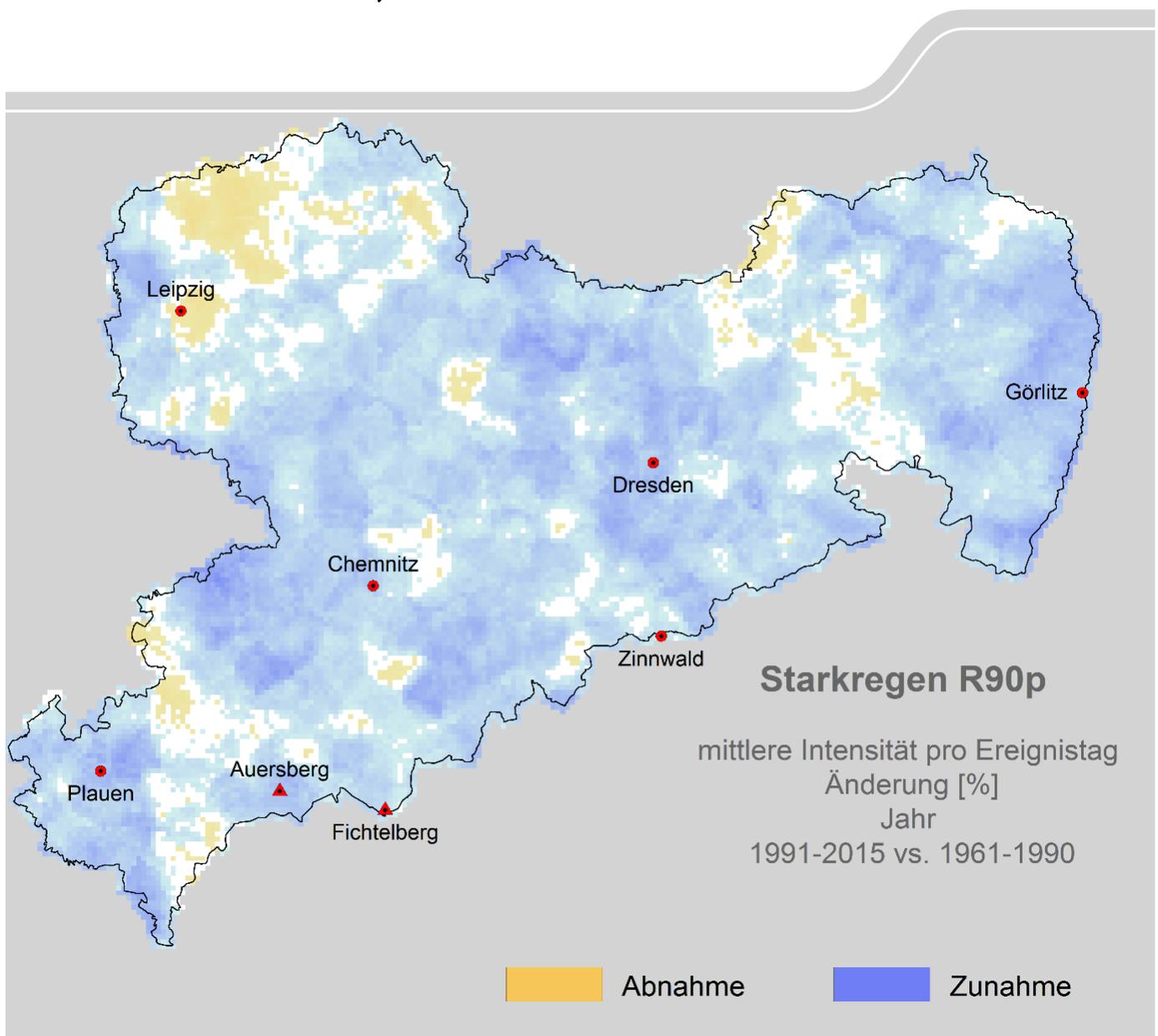


Starkregenereignisse von 1961 bis 2015

Schriftenreihe, Heft 5/2017



Analyse von Starkregenereignissen von 1961 bis 2015 für den Freistaat Sachsen

Prof. Dr. Christian Bernhofer, Andrea Schaller, Thomas Pluntke

Inhalt

1	Einleitung	8
2	Material und Methoden	9
2.1	Datengrundlage.....	9
2.2	Methoden	9
3	Ergebnisse	11
3.1	Überblick	11
3.2	Regenhöhe.....	12
3.3	Überschreitungstage	13
3.4	Mittlere Intensität der Ereignisse.....	16
3.5	Auftrittshäufigkeit.....	25
3.6	Kerngebiete der Änderung.....	30
3.7	Auftrittshäufigkeit – Transekte	34
4	Zusammenfassung und Ausblick	44
	Literaturverzeichnis	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Planungsregionen, Landkreise und kreisfreie Städte des Freistaates Sachsen.....	11
Abbildung 2:	Starkregen R90p, R95p – Regenhöhe für 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	13
Abbildung 3:	Starkregen R90p – Überschreitungstage für 1961–1990,1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	14
Abbildung 4:	Starkregen R95p – Überschreitungstage für 1961–1990,1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	15
Abbildung 5:	Box-Whisker-Plot für die flächenhafte Verteilung von Starkregen R90p, R95p – Überschreitungstage für Sachsen.....	16
Abbildung 6:	Starkregen R90p – mittlere Intensität für 1961–1990,1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	18
Abbildung 7:	Starkregen R90p – mittlere Intensität für die Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 für Sachsen, Kalenderjahr.....	19
Abbildung 8:	Starkregen R90p – mittlere Intensität für die Änderung der Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 gegenüber 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	20
Abbildung 9:	Starkregen R95p – mittlere Intensität für 1961–1990,1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	21
Abbildung 10:	Starkregen R95p – mittlere Intensität für die Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 für Sachsen, Kalenderjahr.....	22
Abbildung 11:	Starkregen R95p – mittlere Intensität für die Änderung der Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 gegenüber 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	23
Abbildung 12:	Box-Whisker-Plot für die flächenhafte Verteilung von Starkregen R90p, R95p – mittlere Intensität für Sachsen, Kalenderjahr.....	25
Abbildung 13:	Starkregen R90p – Auftrittshäufigkeit für die Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden.....	27
Abbildung 14:	Starkregen R95p – Auftrittshäufigkeit für die Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden.....	28
Abbildung 15:	Box-Whisker-Plot für die flächenhafte Verteilung von Starkregen R90p, R95p – Auftrittshäufigkeit für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden.....	29
Abbildung 16:	Kerngebiete der Änderung von Starkregen R90p, R95p – Überschreitungstage für die Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	31
Abbildung 17:	Kerngebiete der Änderung für Starkregen R90p, R95p – mittlere Intensität für die Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	31
Abbildung 18:	Kerngebiete der Änderung für Starkregen R90p, R95p – mittlere Intensität für die Änderung der Dekaden gegenüber 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr.....	32
Abbildung 19:	Kerngebiete der Änderung von Starkregen – Auftrittshäufigkeit R90p, R95p – für die Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden.....	33
Abbildung 20:	Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt Nord-Süd in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte.....	36
Abbildung 21:	Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R95p für das Transekt Nord-Süd in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte.....	37
Abbildung 22:	Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt West-Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte.....	38
Abbildung 23:	Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R95p für das Transekt West-Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte.....	39
Abbildung 24:	Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt Zentral in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte.....	40
Abbildung 25:	Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R95p für das Transekt Zentral in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte.....	41

Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte	42
Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R95p für das Transekt Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der Ergebnisse für Starkregen R90p, R95p	12
Tabelle 2:	Starkregen R90p und R95p – durchschnittliche Anzahl der Überschreitungstage und deren Änderung gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr	16
Tabelle 3:	Starkregen R90p und R95p – durchschnittliche mittlere Intensität und deren Änderung gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr	24
Tabelle 4:	Starkregen R90p und R95p – durchschnittliche Änderung der Auftrittshäufigkeit 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden	29

Abkürzungsverzeichnis

AHfk	Auftrittshäufigkeit
ReKIS	Regionales Klimainformationssystem
RaKliDa	Rasterklimadaten
R90p	Niederschlagsereignisse mit einer Niederschlagshöhe > 90. Perzentil
R95p	Niederschlagsereignisse mit einer Niederschlagshöhe > 95. Perzentil
VP I	Vegetationsperiode I (April bis Juni)
VP II	Vegetationsperiode II (Juli bis September)
WMO	World Meteorological Organization

1 Einleitung

Der Freistaat Sachsen betreibt seit vielen Jahren intensive Forschungen zu den regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels. Die vom SMUL herausgegebene Publikation „Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse“ (BERNHOFER et al. 2008) stellt einen Meilenstein zu dieser Thematik dar und bildete die Grundlage für zahlreiche weitere Projekte. Seit dem vom SMUL 2011 initiierten Fachgespräch zu wetterbedingten Extremen wurde das Starkniederschlagsverhalten zu einem Schwerpunktthema. Der Klimawandel geht einher mit dem Risiko der Zunahme witterungsbedingter Extreme. Die Änderungen können mit ausgewählten Verfahren sichtbar gemacht werden. Die wichtigsten methodischen Grundlagen dafür wurden in dem Projekt „Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen“ (BERNHOFER et al. 2015a) erarbeitet. Dabei wurden in der Vegetationsperiode I (April bis Juni) tendenziell abnehmende Niederschlagssummen festgestellt. In der Vegetationsperiode II (Juli bis September) wurden hingegen zunehmende Niederschlagssummen gemessen, die aber einen deutlich erhöhten Starkregenanteil haben. Das Projekt „Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit“ (BERNHOFER et al. 2015b) ergänzte die Starkniederschlagsanalyse für das 80., 90., 95. und 99. Perzentil. Von 1961 bis 2010 wurden Änderungen der Auftrittshäufigkeit von Starkregen aller vier Perzentile insbesondere im Jahresverlauf festgestellt. Die räumlichen Verteilungsmuster von Starkregen und die Veränderungen zwischen den Klimanormalperioden (1961–1990 und 1980–2010) sind dabei für alle betrachteten Perzentile weitgehend ähnlich, jedoch mit unterschiedlich stark ausgeprägter Amplitude. Räumlich hoch aufgelöste Rasterdaten ermöglichten es, flächenhafte Aussagen für den Zeitraum 1961–2010 zu treffen.

Die Aktualität des Themas Starkregen bezeugt das Auftreten zahlreicher schwerer Starkregenereignisse von Ende Mai bis Anfang Juni 2016. Es wird deutlich, dass die hohe klimatische Dynamik der letzten Jahrzehnte eine Fortführung und Verstärkung der Datenprüfung und -analyse erfordert. Damit können aktuelle Tendenzen, Risiken und Chancen erfasst und Anpassungs- und Mitigationsmaßnahmen besser geplant werden.

Niederschlagszeitreihen auf Basis gemessener Werte können aufgrund der stark räumlich und zeitlich schwankenden Ausprägung des Elements kaum vollständig das Varianzspektrum abdecken (FRANKE 2009). Die bisherigen Analysen wurden für den Zeitraum 1961–2010 durchgeführt. Die Zeitreihen können nun um fünf Jahre ergänzt werden und erhöhen somit die Zuverlässigkeit und Aktualität der Analysen. Die Starkniederschlagsereignisse dieses Jahres verstärken die Relevanz des Themas.

Die markantesten Veränderungen im Auftreten von Starkregenereignissen wurden bisher für Südwest- und Nordostsachsen, für die Kammlagen und den Großraum Leipzig festgestellt (BERNHOFER et al. 2015a). Für die Klimafolgenforschung und die -anpassung sind folglich flächenhaft differenzierte, regionale Analysen von besonderem Interesse.

Ziel dieser Studie ist die Fortschreibung der Analyse bisher bewährter Starkregenindizes mit einer erweiterten Datenbasis von 1961 bis 2015. Im Fokus steht dabei die Analyse von Kerngebieten der Änderung des Starkregenverhaltens.

2 Material und Methoden

2.1 Datengrundlage

Die Datenbasis wurde analog zu den vorangegangenen Projekten „Analyse der Klimaentwicklung“ und „Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit“ (BERNHOFER et al. 2015a und 2015b) erzeugt und um fünf Jahre bis 2015 erweitert. Die Datengrundlage bilden korrigierte tägliche Niederschlagssummen für den Zeitraum 01.01.1961–31.12.2015 (Quelle: Deutscher Wetterdienst und Tschechischer Hydro-Meteorologischer Dienst). Es handelt sich um Zeitreihen mit Tagessummen für den Niederschlag aus dem Klima(KL)- und Niederschlagsmessnetz (RR) für die erweiterte Region Sachsens. Aus diesen Rohdaten wurden am Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, konsistente, homogene Datensätze erzeugt.

Eine flächenhafte Verteilung des Niederschlags wurde mit ReKIS (Regionales Klimainformationssystem; www.rekis.org) mittels Interpolation erreicht. Das webbasierte Interpolationstool RaKliDa (Rasterklimadaten) generiert Rasterdaten aus punktuell gemessenen Zeitreihen (BERNHOFER et al. 2009). Zusätzlich wird ein digitales Höhenmodell aus SRTM-Fernerkundungsdaten (Shuttle Radar Topography Mission) verwendet. In Sachsen wird die hohe räumliche Variabilität des Niederschlags durch die Abhängigkeit zur Seehöhe und durch kleinräumige Luv- und Lee-Effekte verursacht. Das Interpolationsverfahren wird maßgeblich danach ausgewählt, dass die verteilungsrelevanten Abhängigkeiten erfasst werden. Für tägliche Niederschlagssummen verwendet das RaKliDa-Tool beispielsweise das Indikator-Kriging, um inselhafte Niederschläge adäquat erfassen zu können. Aus observierten punktuellen Zeitreihen wurden tägliche Niederschlagsfelder mit einer Auflösung von 1 x 1 km für Sachsen generiert. Das Tool ExtRa (Programm-gesteuerte Extrahierung von Rasterzellen-bezogenen Zeitreihen [FRANKE 2013]) extrahiert aus dem RaKliDa-Output (tägliche Niederschlagsfelder) Rasterzellen bezogene Zeitreihen. Für Sachsen wurden damit für ein 1 x 1 km-Raster Zeitreihen erzeugt. In der Summe stehen Zeitreihen für 19.574 Pseudostationen Sachsens für den Zeitraum 01.01.1961–31.12.2015 zur Verfügung (BERNHOFER et al. 2015a). Die Qualität der interpolierten Zeitreihen ist abhängig von der Anzahl der Stützstellen, also den observierten Zeitreihen. Für weitere Details bezüglich der Datengrundlage wird auf BERNHOFFER et al. (2015a, 2015b) verwiesen.

Es können scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten. Dies wird durch die Datengrundlage verursacht, weil nicht immer die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen gegeben ist. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz eine generell höhere Stationsdichte. Daher ist bei der Bewertung der Abbildungen von einem Gesamteindruck auszugehen.

2.2 Methoden

Für die Fortschreibung der Starkregenanalyse wurde Starkregen hinsichtlich der Regenhöhe, der Überschreitungstage und der mittleren Intensität der Ereignisse betrachtet. Die Auftrittshäufigkeit von Starkregen wurde für die Fläche und im zeitlichen Verlauf für Transekte berechnet und dargestellt. Die Kerngebiete der Änderung wurden für alle flächenbezogenen Ergebnisse bestimmt. Für alle Analysen wurden die Niederschlagsindizes R90p und R95p ausgewählt. Die Indizes werden in Anlehnung an die WMO-Indizes R95pTOT und R99pTOT definiert. Sie sind Perzentil basiert, folglich ist die Grundlage die Berechnung des 90. Perzentils bzw. des 95. Perzentils. Die Begriffe Starkregen und Starkniederschlag werden in diesem Bericht synonym verwendet.

Basis aller Analysen ist die WMO-Referenzperiode 1961–1990. Des Weiteren wurden die Klimanormalperiode 1981–2010 und der Zeitraum 1991–2015 sowie ggf. die einzelnen Dekaden analysiert.

Starkregen R90p/R95p – Regenhöhe

Die Regenhöhe, synonym Regenmenge (Menge), wird für jedes Perzentil aus der Referenzperiode 1961–1990 bestimmt. Für Starkregen R90p wird beispielsweise der Wert des 90. Perzentils aus den Niederschlags-tagen (Tage mit Niederschlag ≥ 1 mm) für jede Rasterzelle bestimmt (das 95. Perzentil wurde analog ermit-telt). Diese Werte dienen als Schwellenwerte für die nachfolgenden Analysen.

Starkregen R90p/R95p – Überschreitungstage

Die Basis für die Überschreitungstage sind die Regenhöhen. Es wird die durchschnittliche jährliche Anzahl der Überschreitungstage, an denen die Regenhöhe R90p bzw. R95p überschritten wird, bestimmt. Die Über-schreitungstage werden für die Zeiträume 1961–1990, 1981–2010 und 1991–2015 berechnet. Zusätzlich wird die prozentuale Änderung der beiden Zeiträume gegenüber dem Referenzzeitraum 1961–1990 bestimmt.

Starkregen R90p/R95p – mittlere Intensität

Die mittlere Intensität eines Starkregenereignisses R90p/R95p wird aus dem Quotienten der Niederschlags-summe und der Anzahl der Überschreitungstage ermittelt. Die mittlere Intensität wurde für die Zeiträume 1961–1990, 1981–2010, 1991–2015 und für die Dekaden 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010 und 2011–2015 berechnet. Die prozentualen Änderungen der analysierten Zeiträume wurden gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 bestimmt.

Starkregen R90p/R95p – Auftrittshäufigkeit

Die Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen R90p und R95p wurde im zeitlichen Verlauf für den Zeitraum 1961–2015 berechnet. Diese wird einerseits als prozentuale Änderung für 1991–2015 vs. 1961–1990 für die Fläche dargestellt. Andererseits wird der zeitliche Verlauf anhand von Transekten visualisiert. Die Auftrittshäu-figkeit wird für die Jahreszeiten und die Vegetationsperiode I (April–Juni) und die Vegetationsperiode II (Juli–September) bestimmt. Die Auftrittshäufigkeit wird mit einer nicht-parametrischen Kernschätzung berechnet. Bei dieser Methode wird der zeitliche Verlauf als inhomogener Poisson-Prozess aufgefasst. Aufgrund der Komplexität und des Umfangs der Methodik wird diese hier nicht dargestellt, sondern auf SCHALLER (2013) verwiesen. Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „Analyse der Klimaentwicklung“ (BERNHOFER et al. 2015a) an der TU Dresden angefertigt.

Starkregen R90p/R95p – Kerngebiete der Änderung

Die Kerngebiete der Änderung werden für die Überschreitungstage, die mittlere Intensität und die Auftrittshäu-figkeit separat ermittelt. Dafür werden die Änderungskarten von R90p und R95p des gleichen Zeitraums mitei-ander verschnitten. Jede Rasterzelle wird auf ihre prozentuale Änderung hin analysiert. Zeigen beide Perzentile in die gleiche Richtung (Zunahme bzw. Abnahme) an, dann wird die Rasterzelle entsprechend mit einer Zunahme bzw. einer Abnahme visualisiert. Zeigen die Perzentile keine Änderungen oder verschiedene Richtungen der Änderung an, wird die Rasterzelle weiß dargestellt. Die in den ursprünglichen Karten bereits weißen Flächen um den Unsicherheitsbereich Null herum bleiben als weiße Flächen erhalten.

Ergebnisdarstellung

Die Box-Whisker-Plots zeigen die flächenhafte Verteilung aller Pseudostationen. Im Box-Whisker-Plot visuali-siert die Box die Werte zwischen dem 25. und dem 75. Perzentil. Die Box umfasst somit 50 % der Daten, dies entspricht dem Interquartilsabstand. Das 50. Perzentil entspricht dem Median (mittlerer fester Balken). Zusätz-lich wird mit den Kreuzen das 10. und 90. Perzentil dargestellt. Des Weiteren werden das Minimum und das Maximum gezeigt.

3 Ergebnisse

3.1 Überblick

Für den Freistaat Sachsen wurde Starkregen hinsichtlich der Regenhöhe, der Überschreitungstage, der mittleren Intensität und der Auftrittshäufigkeit für den Zeitraum 1961–2015 analysiert. Die Kerngebiete der Änderung wurden aus diesen Ergebnissen abgeleitet. Des Weiteren wurde der zeitliche Verlauf der Auftrittshäufigkeit für Transekte dargestellt. Alle Ergebnisse wurden für Starkregen R90p (90. Perzentil) und Starkregen R95p (95. Perzentil) generiert. Im Fokus liegt die Analyse der Änderung der Klimanormalperiode 1981–2010, bzw. des Zeitraums 1991–2015 gegenüber der Referenzperiode 1961–1990.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die erzeugten Ergebnisse, die betrachteten Zeiträume und Bezugszeiträume.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse exemplarisch für den Freistaat Sachsen gezeigt. Nach den in Abbildung 1 dargestellten Planungsregionen und Landkreisen erfolgt die flächenhafte Differenzierung der Ergebnisse (siehe www.rekis.org).

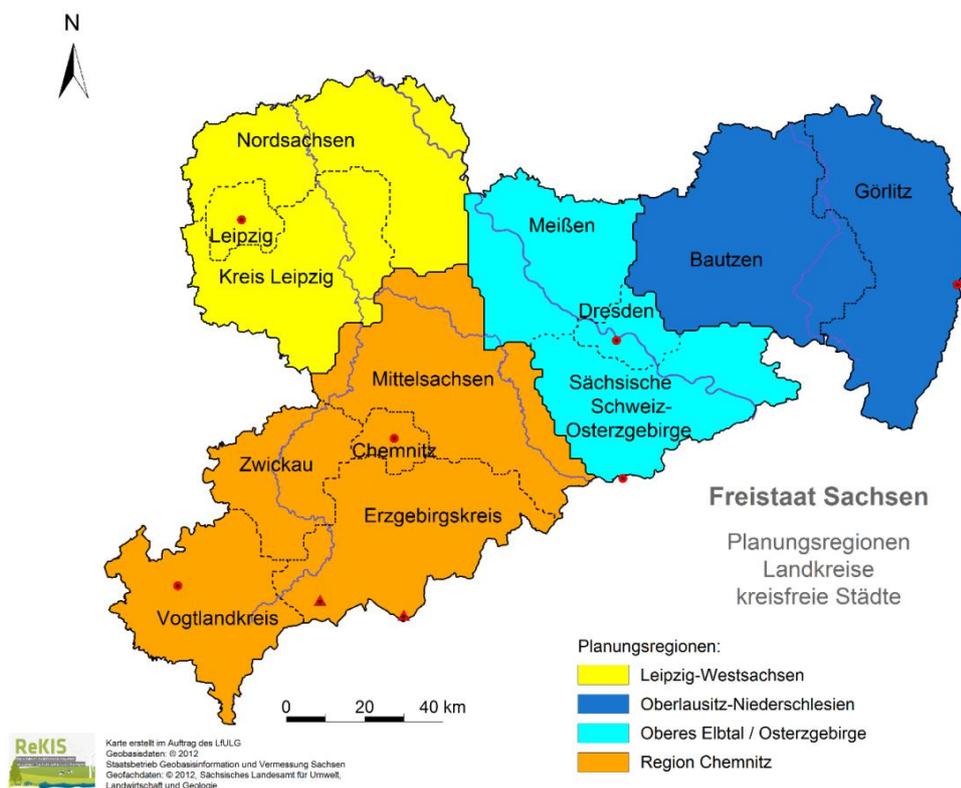


Abbildung 1: Planungsregionen, Landkreise und kreisfreie Städte des Freistaates Sachsen

Tabelle 1: Übersicht der Ergebnisse für Starkregen R90p, R95p

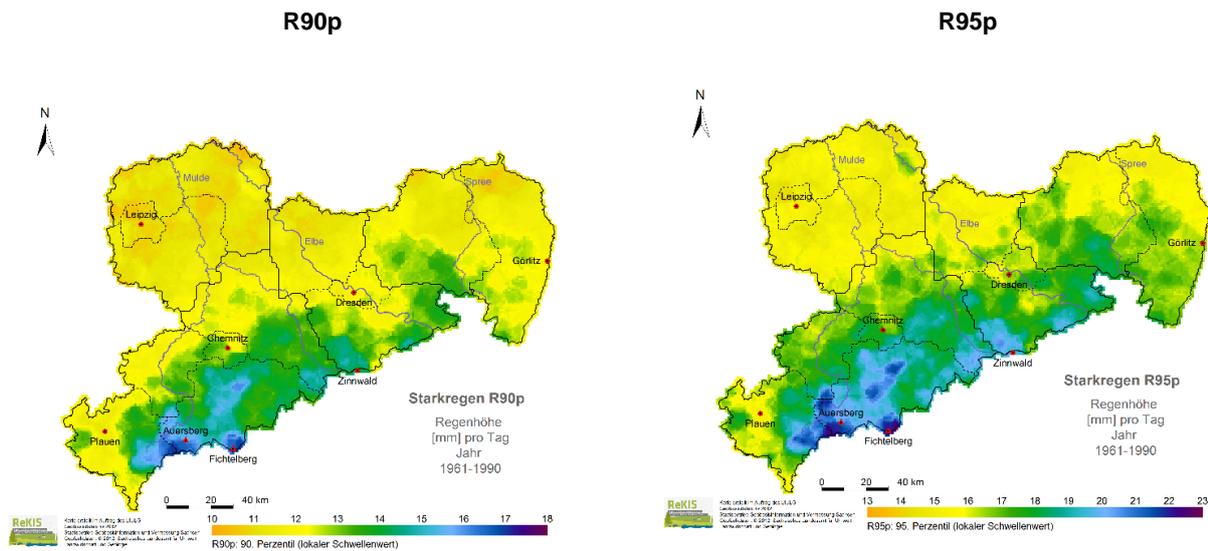
Kapitel	Indizes	Einheit	Zeitraum	Bezugszeitraum
3.2	Regenhöhe	mm	1961-1990	Kalenderjahr
3.3	Überschreitungstage	d	1961-1990	Kalenderjahr
		d	1981-2010	Kalenderjahr
		d	1991-2015	Kalenderjahr
		%	1981-2010 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		%	1991-2015 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
3.4	Mittlere Intensität	mm/Ereignis	1961-1990	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	1981-2010	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	1991-2015	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	1961-1970	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	1971-1980	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	1981-1990	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	1991-2000	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	2001-2010	Kalenderjahr
		mm/Ereignis	2011-2015	Kalenderjahr
		%	1981-2010 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		%	1991-2015 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		%	1961-1970 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		%	1971-1980 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		%	1981-1990 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		%	1991-2000 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
%	2001-2010 vs. 1961-1990	Kalenderjahr		
%	2011-2015 vs. 1961-1990	Kalenderjahr		
3.5	Auftrittshäufigkeit	%	1991-2015 vs. 1961-1990	Jahreszeiten, Vegetationsperioden
3.6	Kerngebiete der Überschreitungstage	-	1981-2010 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	1991-2015 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
	Kerngebiete der mittleren Intensität	-	1981-2010 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	1991-2015 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	1961-1970 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	1971-1980 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	1981-1990 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	1991-2000 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	2001-2010 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
		-	2011-2015 vs. 1961-1990	Kalenderjahr
Kerngebiete der Auftrittshäufigkeit	-	1991-2015 vs. 1961-1990	Jahreszeiten, Vegetationsperioden	
	-	1991-2015 vs. 1961-1990	Jahreszeiten, Vegetationsperioden	
3.7	Transekte	d/Bezugszeitraum	1961-2015	Jahreszeiten, Vegetationsperioden

3.2 Regenhöhe

Die Regenhöhe der WMO-Referenzperiode ist die Basis der nachfolgenden Niederschlagsindizes. Die lokal unterschiedlichen Ausprägungen der Höhe eines Starkniederschlags R90p/R95p zeigt Abbildung 2.

Die Regenhöhe (synonym Regenmenge) folgt annähernd der Geländehöhe, was sich in einem Süd-Nord-Gradienten manifestiert. Zusätzlich ist durch Luv-Lee-Effekte ein deutlicher West-Ost-Gradient erkennbar. Aufgrund des perzentilbasierten Ansatzes sind die Regenhöhen für R90p niedriger als für R95p. Die maximalen Regenhöhen treten in den Kammlagen des Westerzgebirges auf.

Regenhöhe



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 2: Starkregen R90p, R95p – Regenhöhe für 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

3.3 Überschreitungstage

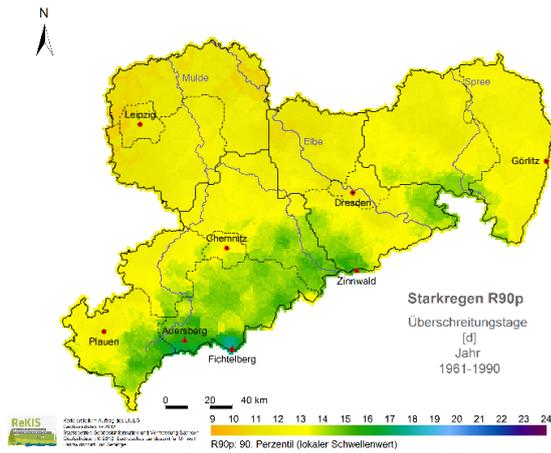
Die Überschreitungstage von Starkregen R90p und R95p werden für die Referenzperiode und die beiden 30-jährigen Zeiträume in Abbildung 3 und Abbildung 4 gezeigt. Des Weiteren werden die prozentualen Änderungen gegenüber der Referenzperiode dargestellt. In

Tabelle 2 werden deren Flächenmittel und die durchschnittlichen Änderungen für Sachsen aufgeführt. Die flächenhafte Verteilung der Änderungen wird in Abbildung 5 mit Box-Whisker-Plots dargestellt.

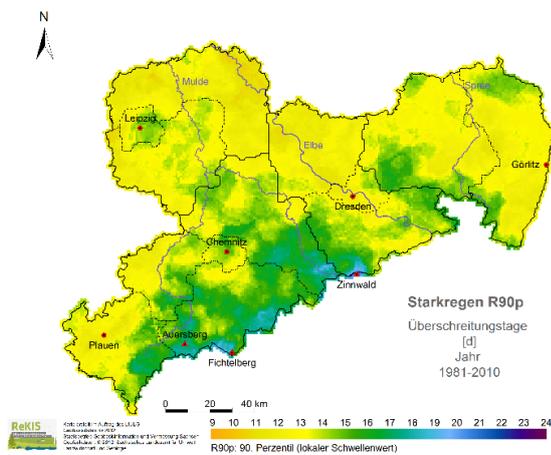
Für die Überschreitungstage ist eine flächendeckende Zunahme festzustellen. Die Region Leipzig und die Kammlagen des Erzgebirges zeigen besonders starke Zunahmen gegenüber der Referenzperiode, vor allem für den Zeitraum 1991–2015. Die Abnahme der Überschreitungstage kann in den Leelagen der Mittelgebirge, unter anderem im Vogtlandkreis, in Nordsachsen im Verlauf der Elbe und in Teilen der Region Oberlausitz-Niederschlesien beobachtet werden. Die Zunahmen sind für Starkregen R95p höher als für R90p.

Überschreitungstage - R90p

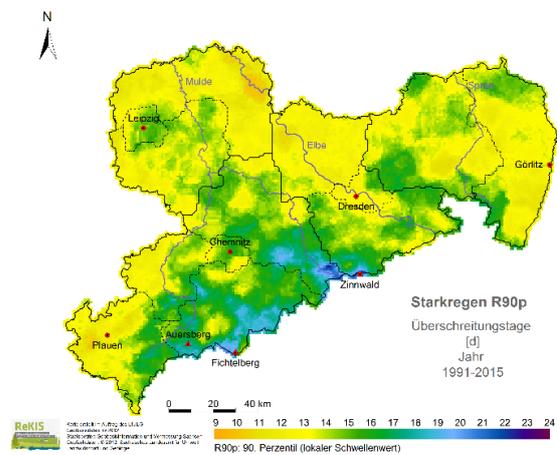
1961-1990



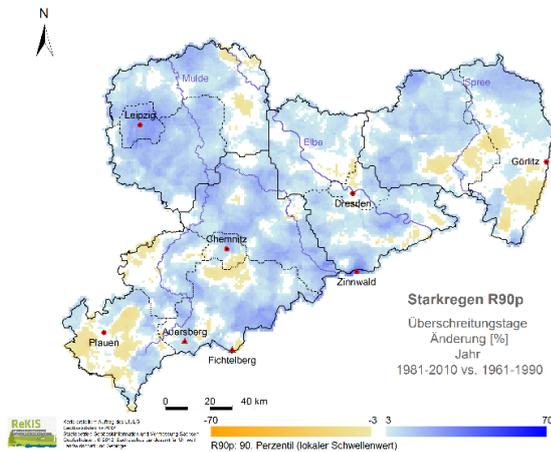
1981-2010



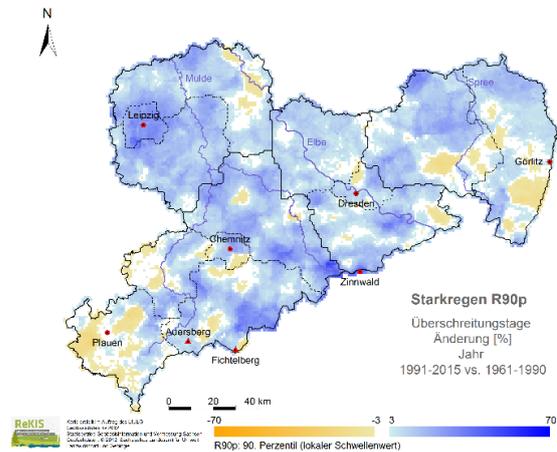
1991-2015



Änderung 1981-2010 vs. 1961-1990



Änderung 1991-2015 vs. 1961-1990

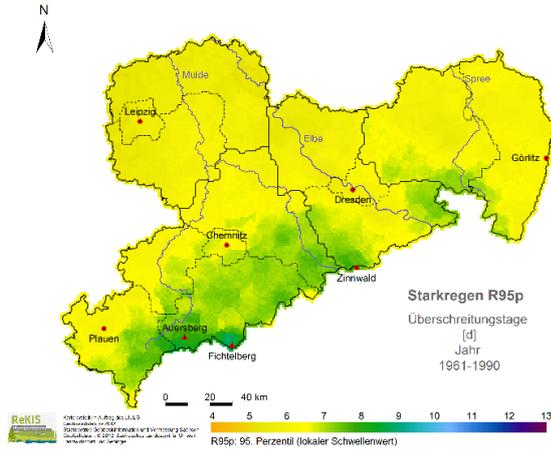


Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

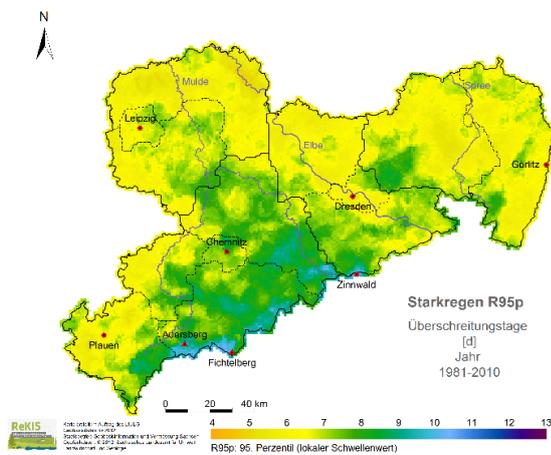
Abbildung 3: Starkregen R90p – Überschreitungstage für 1961–1990, 1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Überschreitungstage - R95p

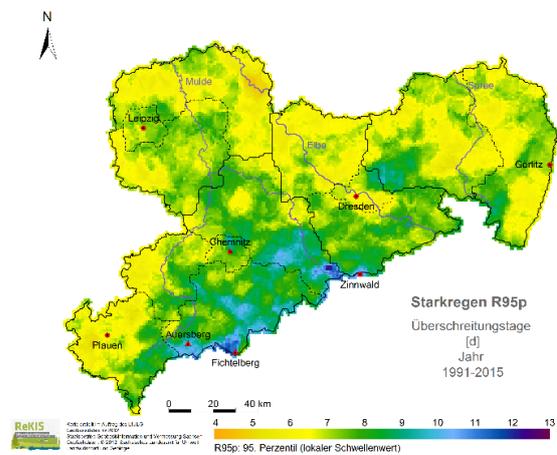
1961-1990



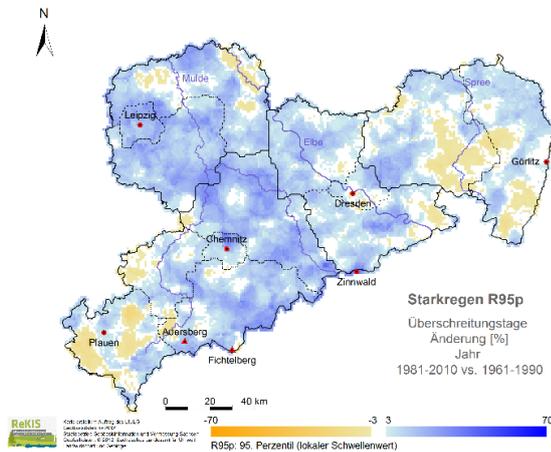
1981-2010



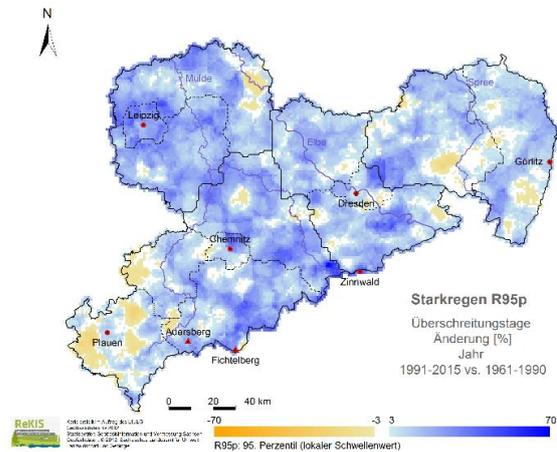
1991-2015



Änderung 1981-2010 vs. 1961-1990



Änderung 1991-2015 vs. 1961-1990



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 4: Starkregen R95p – Überschreitungstage für 1961–1990, 1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Tabelle 2: Starkregen R90p und R95p – durchschnittliche Anzahl der Überschreitungstage und deren Änderung gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Zeitraum	R90p Überschreitungstage Zeitraum [d]	R90p Überschreitungstage Änderung 1961-1990 [%]	R95p Überschreitungstage Zeitraum [d]	R95p Überschreitungstage Änderung 1961-1990 [%]
1961 – 1990	12,8	-	6,4	-
1981 – 2010	13,6	6,4	6,9	8,2
1991 – 2015	14,0	9,4	7,2	13,3

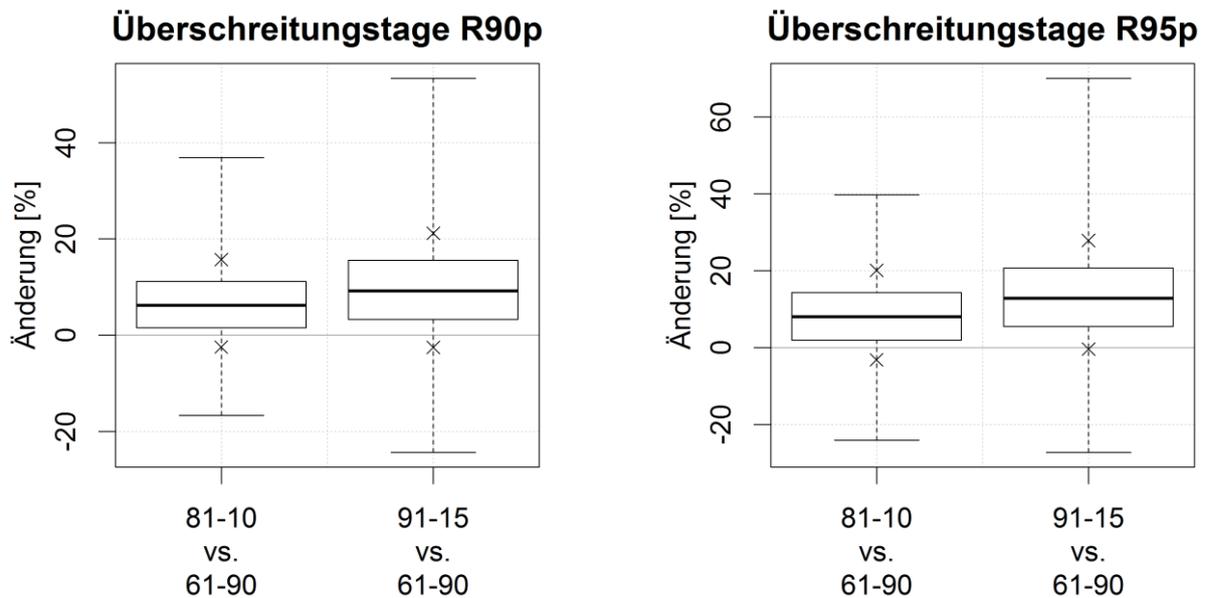


Abbildung 5: Box-Whisker-Plot für die flächenhafte Verteilung von Starkregen R90p, R95p – Überschreitungstage für Sachsen

3.4 Mittlere Intensität der Ereignisse

Die mittlere Intensität von Starkregen wird für die Referenzperiode und die Zeiträume 1981–2010 und 1991–2015 sowie deren Änderung gegenüber der Referenzperiode für beide Perzentile dargestellt (Abbildung 6, Abbildung 9). Die Ergebnisse werden für die Dekaden (Abbildung 7, Abbildung 10) dargestellt und die Änderung der Dekaden gegenüber der Referenzperiode (Abbildung 8, Abbildung 11). In Tabelle 3 werden deren Flächenmittel und die durchschnittlichen Änderungen für Sachsen aufgeführt. Abbildung 12 visualisiert die flächenhafte Verteilung der Änderungen mit Box-Whisker-Plots.

Im Flächenmittel kann eine geringe Zunahme der mittleren Intensität von Starkregenereignissen für das Kalenderjahr festgestellt werden. Allerdings treten teilweise auf engstem Raum sehr verschieden hohe Zu- und Abnahmen der mittleren Intensität auf.

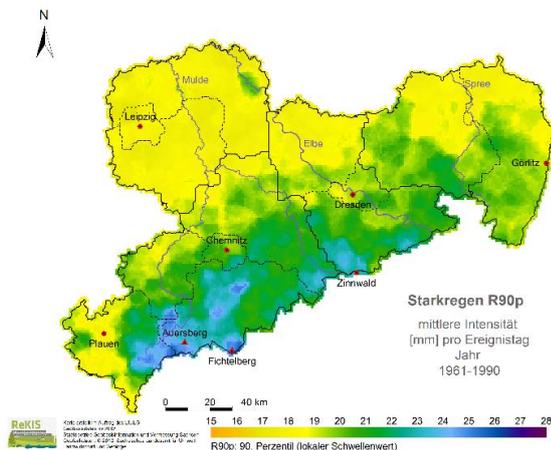
Die höchsten mittleren Intensitäten traten am Erzgebirgskamm um den Fichtelberg und den Auersberg auf. Die Zunahmen der mittleren Intensität zeigen sich vor allem in den Luvlagen und die Abnahmen in den Leelagen. Besonders deutlich ist dieses Muster für das 95. Perzentil für 1991–2015 vs. 1961–1990 zu beobachten.

Die Zunahmen zeigen sich unter anderem in den Landkreisen Zwickau, Meißen sowie den kreisfreien Städten Dresden und Chemnitz. Die Abnahmen sind unter anderem in der Region Leipzig-West-sachsen, in Teilen der Region Chemnitz und dem Landkreis Bautzen festzustellen.

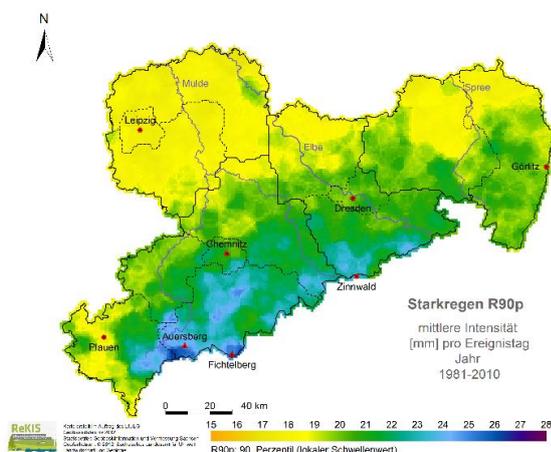
Im Verlauf der Dekaden können deutliche Unterschiede der mittleren Intensität von Starkregenereignissen beobachtet werden. Die maximalen Intensitäten traten dabei 1971–1980 am westlichen Erzgebirgskamm auf. Die flächendeckend höchsten Zunahmen sind für 2011–2015 festzustellen. Die maximalen Intensitäten erstrecken sich über das gesamte Erzgebirge bis in die Lausitz. Die nahezu flächendeckende Zunahme der Intensität für 2011–2015 vs. 1961–1990 zeigt lokale Maxima im Hügel- und Tiefland Sachsens.

Mittlere Intensität - R90p

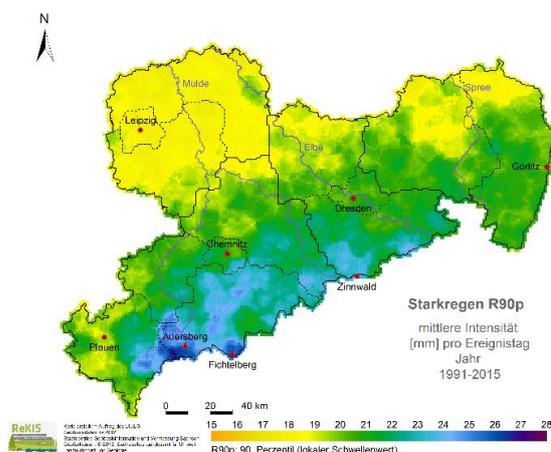
1961-1990



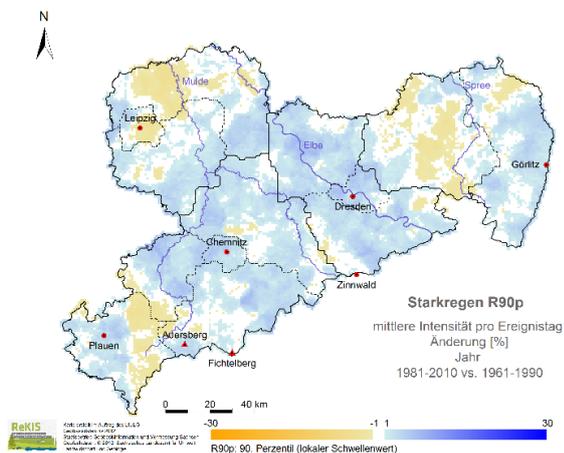
1981-2010



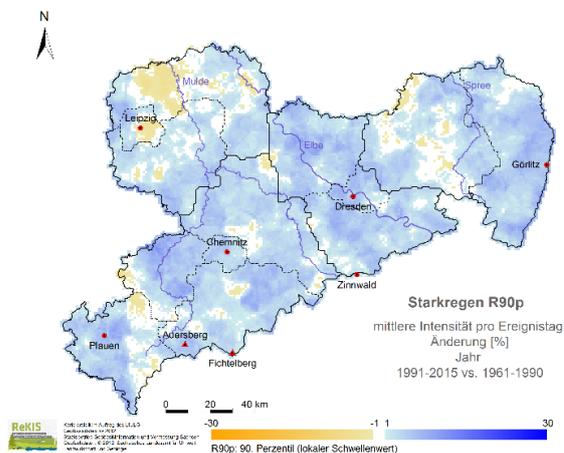
1991-2015



Änderung 1981-2010 vs. 1961-1990



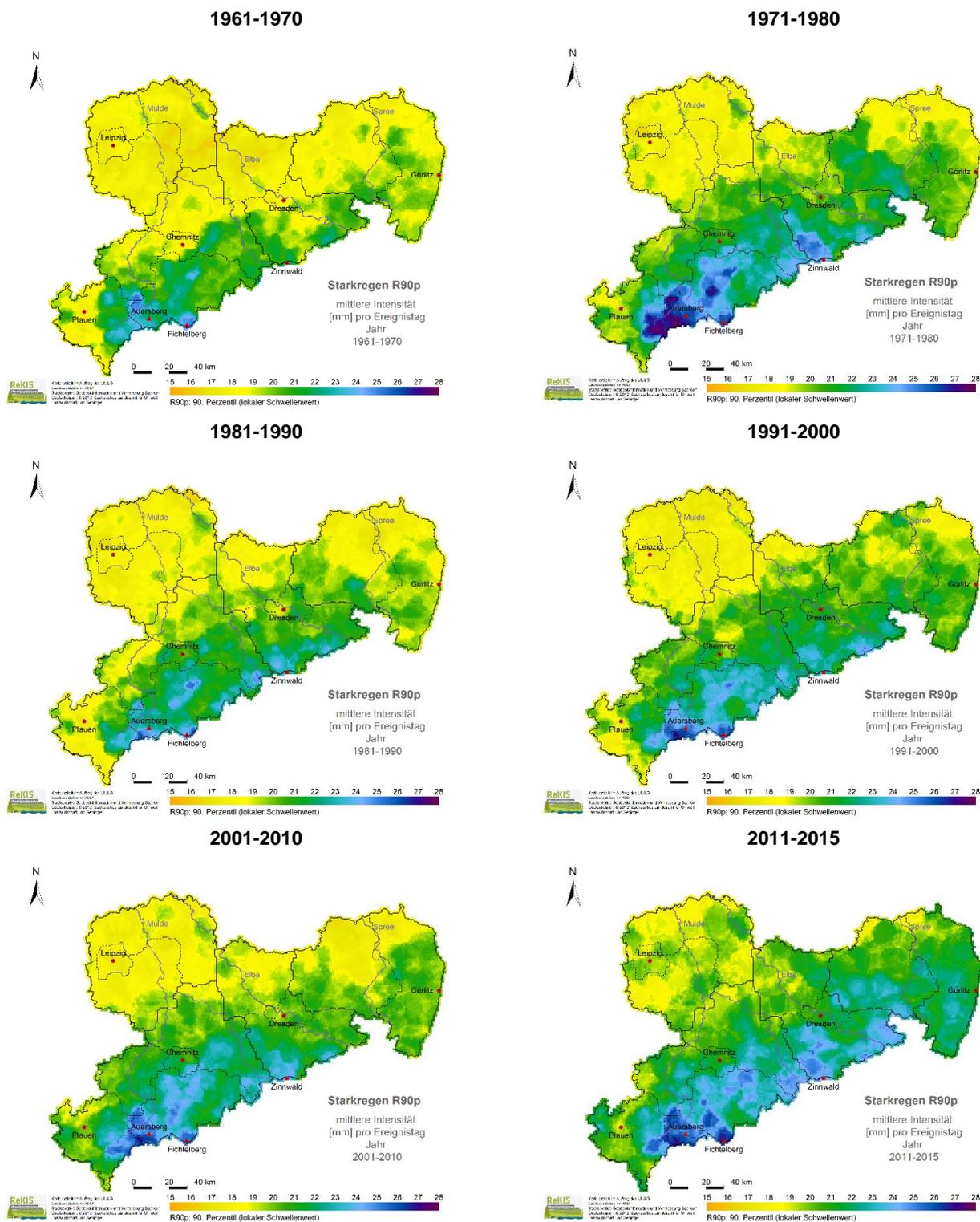
Änderung 1991-2015 vs. 1961-1990



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.

Abbildung 6: Starkregen R90p – mittlere Intensität für 1961–1990, 1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

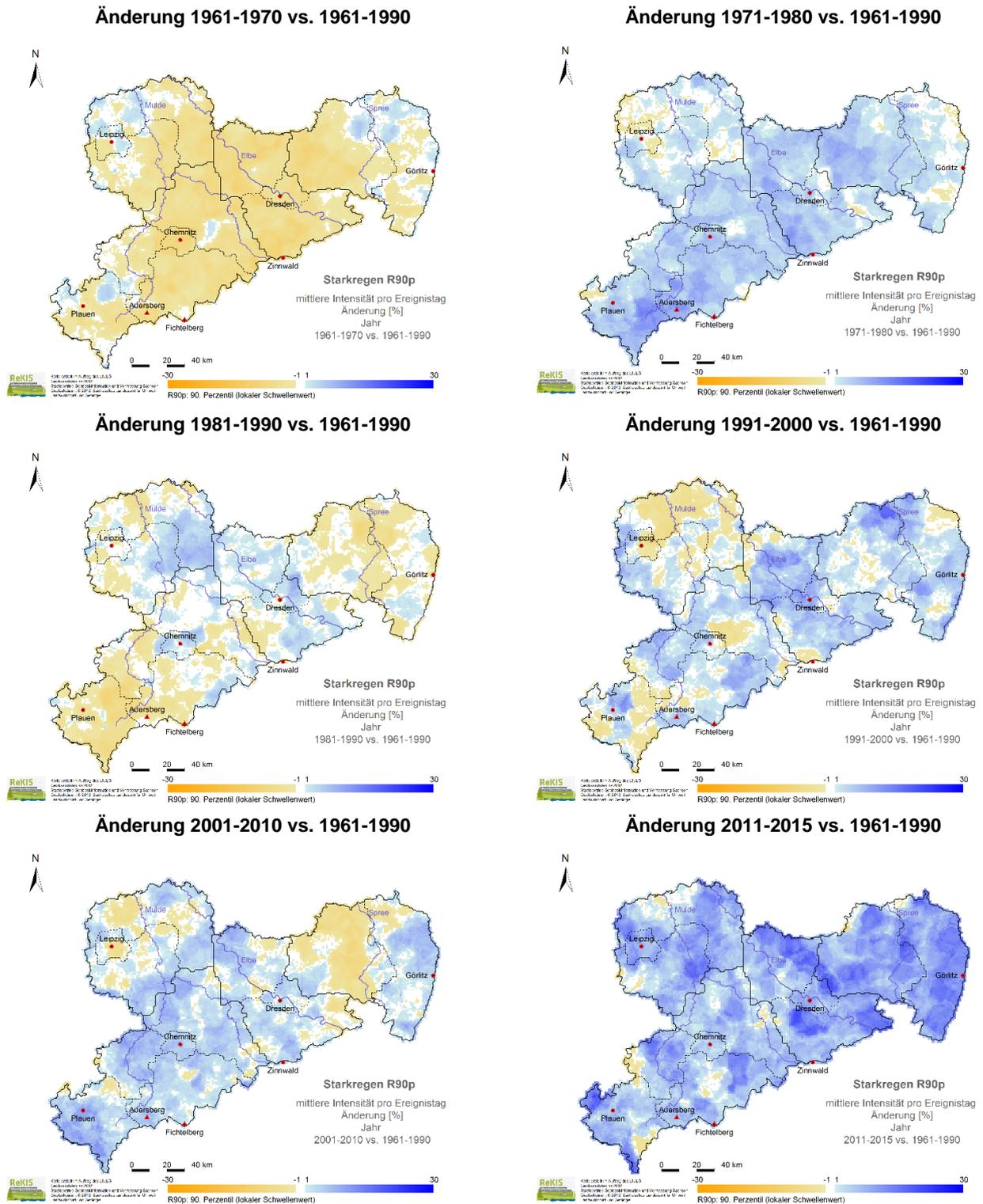
Mittlere Intensität - R90p



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 7: Starkregen R90p – mittlere Intensität für die Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 für Sachsen, Kalenderjahr

Mittlere Intensität - R90p

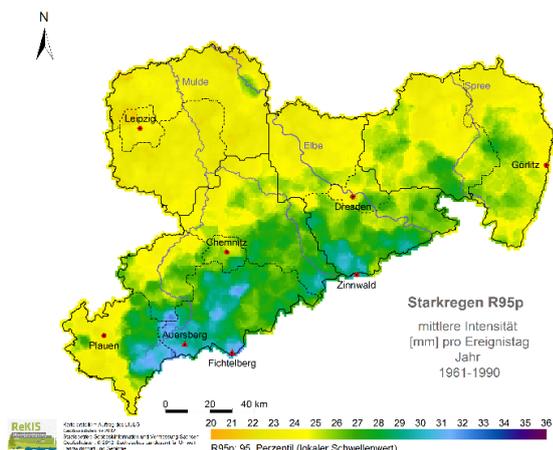


Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

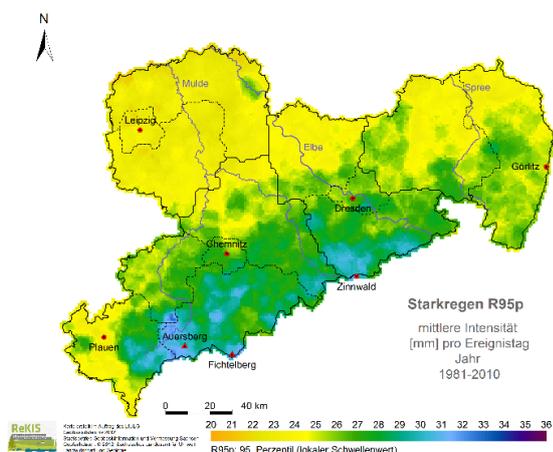
Abbildung 8: Starkregen R90p – mittlere Intensität für die Änderung der Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 gegenüber 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Mittlere Intensität - R95p

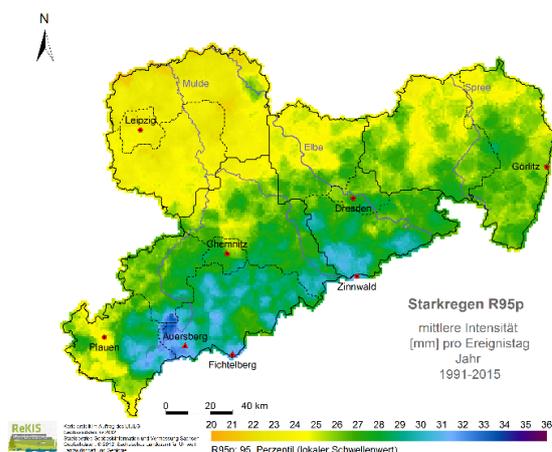
1961-1990



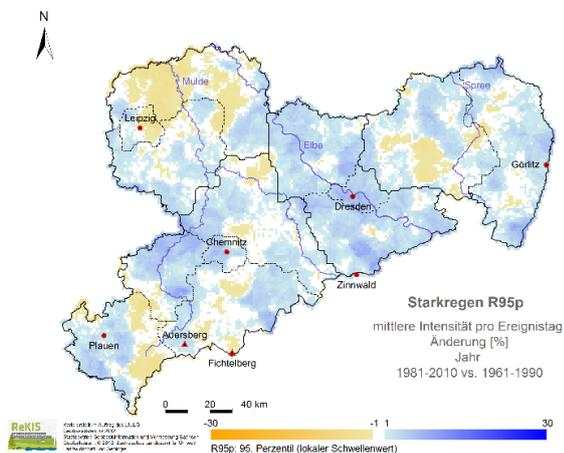
1981-2010



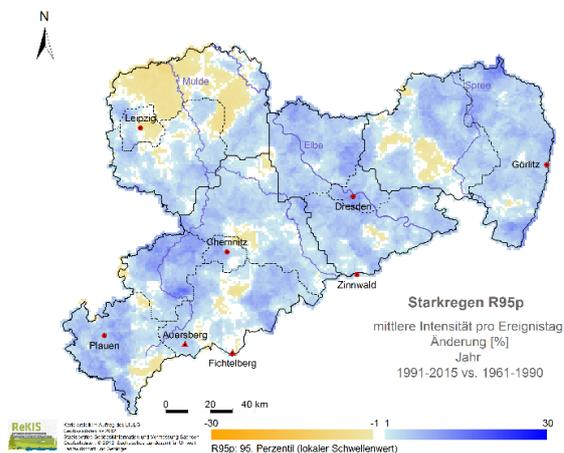
1991-2015



Änderung 1981-2010 vs. 1961-1990



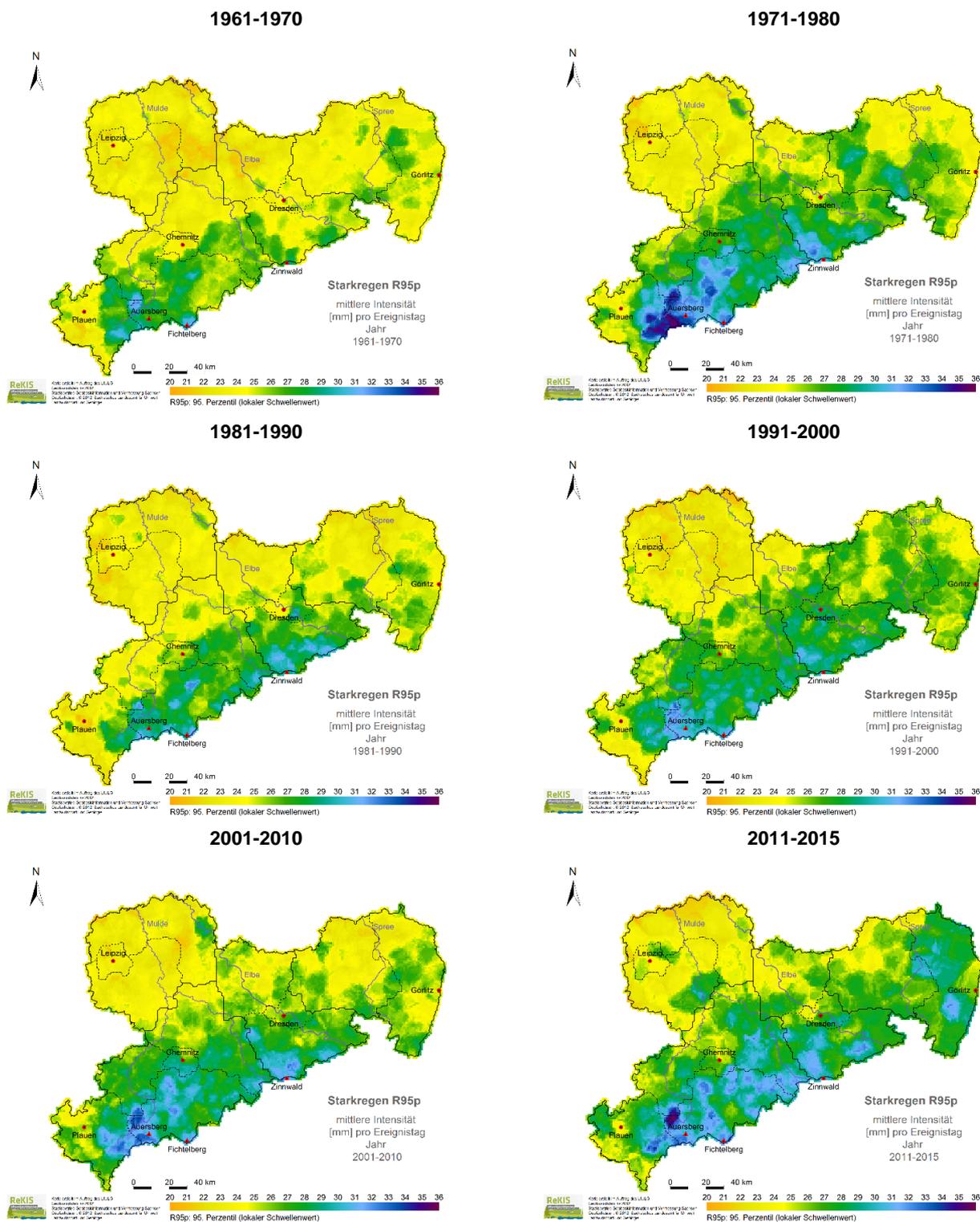
Änderung 1991-2015 vs. 1961-1990



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.

Abbildung 9: Starkregen R95p – mittlere Intensität für 1961–1990, 1981–2010, 1991–2015, Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Mittlere Intensität - R95p

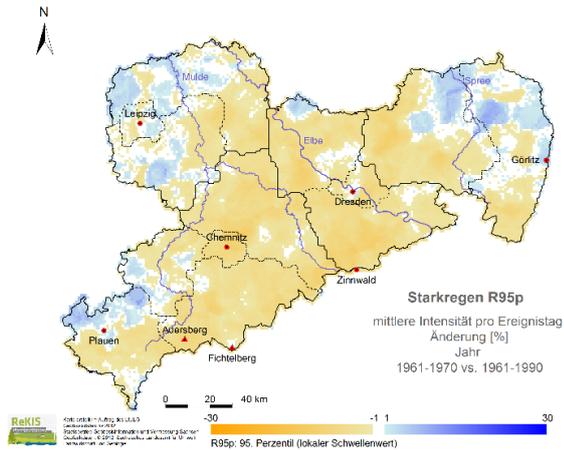


Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

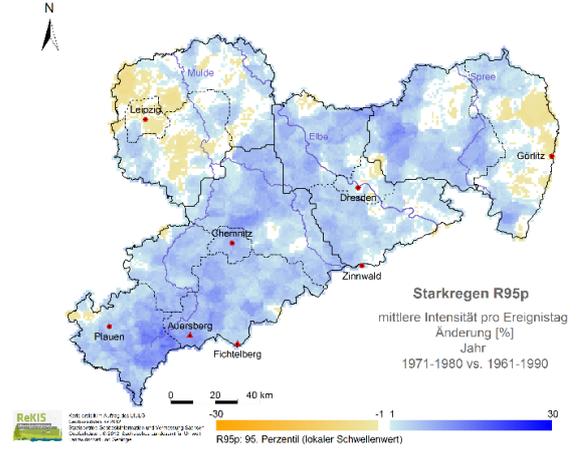
Abbildung 10: Starkregen R95p – mittlere Intensität für die Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 für Sachsen, Kalenderjahr

Mittlere Intensität – R95p

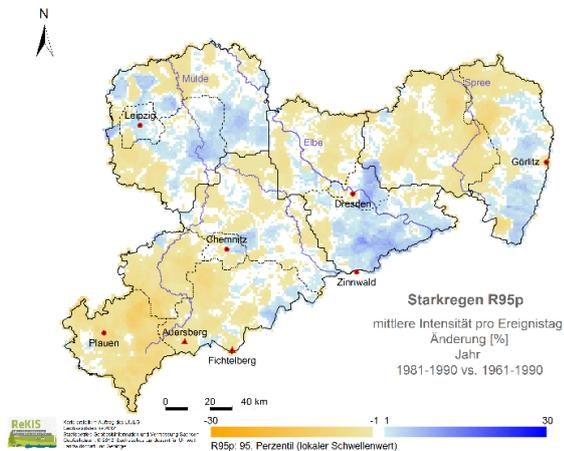
Änderung 1961-1970 vs. 1961-1990



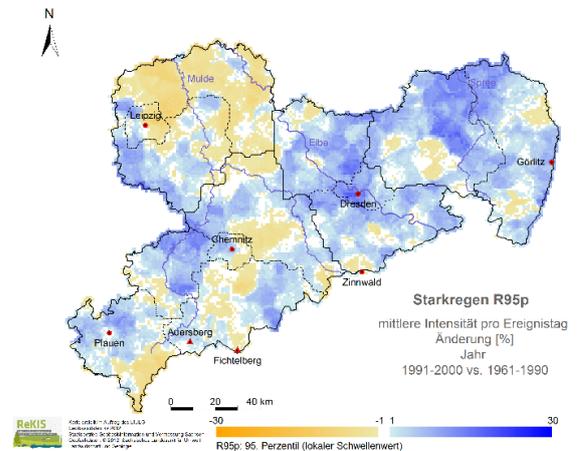
Änderung 1971-1980 vs. 1961-1990



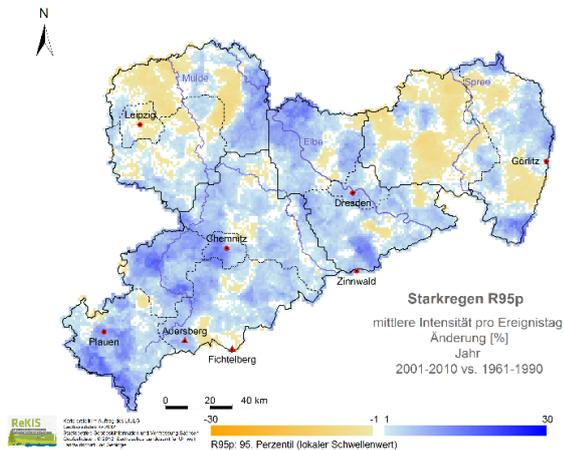
Änderung 1981-1990 vs. 1961-1990



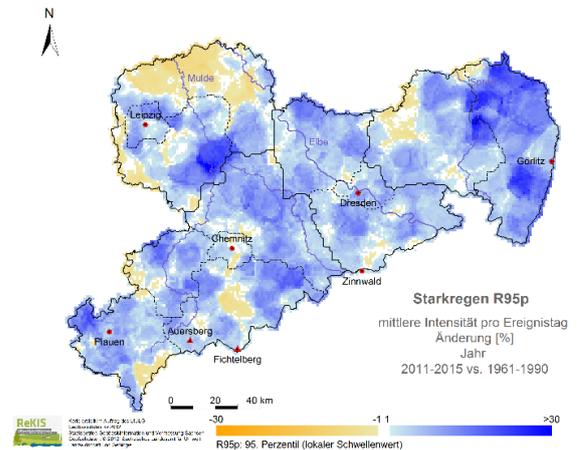
Änderung 1991-2000 vs. 1961-1990



Änderung 2001-2010 vs. 1961-1990



Änderung 2011-2015 vs. 1961-1990



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 11: Starkregen R95p – mittlere Intensität für die Änderung der Dekaden 1961–1970, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2015 gegenüber 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Tabelle 3: Starkregen R90p und R95p – durchschnittliche mittlere Intensität und deren Änderung gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Zeitraum	R90p mittlere Intensität Zeitraum [d]	R90p mittlere Intensität Änderung 1961-1990 [%]	R95p mittlere Intensität Zeitraum [d]	R95p mittlere Intensität Änderung 1961-1990 [%]
1961 – 1990	19,7	-	25,2	-
1981 – 2010	20,0	1,4	25,5	1,6
1991 – 2015	20,3	3,3	26,0	3,4
1961 – 1970	19,0	-3,2	24,4	-2,7
1971 – 1980	20,4	3,6	26,1	3,6
1981 – 1990	19,6	-0,3	24,9	-1,1
1991 – 2000	20,2	2,4	25,8	2,7
2001 – 2010	20,1	2,1	25,9	2,8
2011 - 2015	21,2	7,7	26,7	6,1

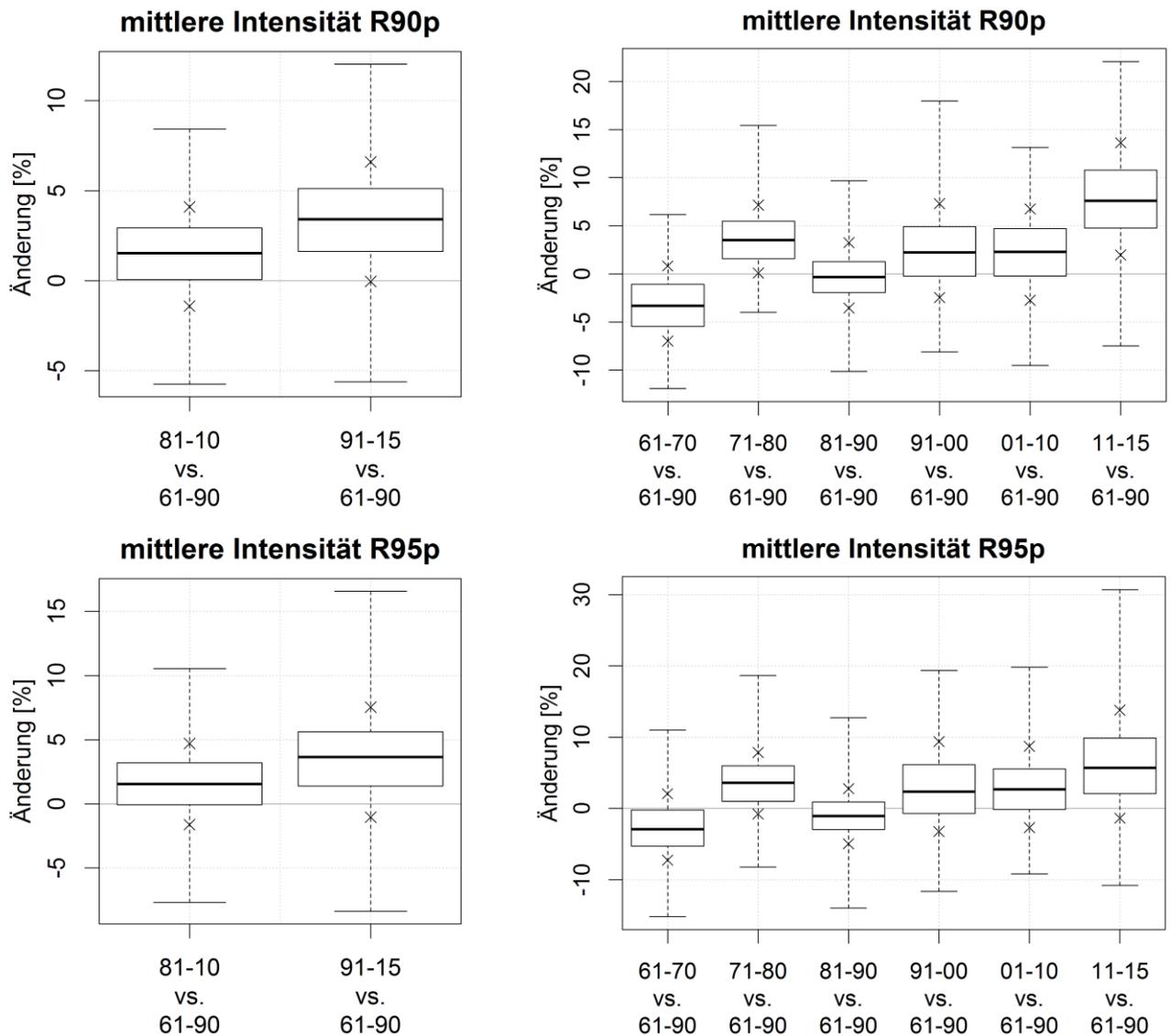


Abbildung 12: Box-Whisker-Plot für die flächenhafte Verteilung von Starkregen R90p, R95p – mittlere Intensität für Sachsen, Kalenderjahr

3.5 Auftrittshäufigkeit

Die Auftrittshäufigkeit wird für den Zeitraum 1961–2015 bestimmt und flächenhaft für 1991–2015 vs. 1961–1990 visualisiert. In Abbildung 13 und Abbildung 14 werden die Ergebnisse der Jahreszeiten und Vegetationsperioden dargestellt.

Tabelle 4 enthält das Flächenmittel der prozentualen Änderung der Auftrittshäufigkeit für Starkregen R90p und R95p. Die flächenhafte Verteilung wird in Abbildung 15 mit Box-Whisker-Plots veranschaulicht.

Im Frühling sind die Entwicklungen in Sachsen heterogen mit insgesamt abnehmender Tendenz. Auf dem Erzgebirgskamm und im Großraum Dresden können Zunahmen festgestellt werden. Im Flächenmittel sind die Abnahmen für R95p (- 16 %) stärker als für R90p (- 8 %).

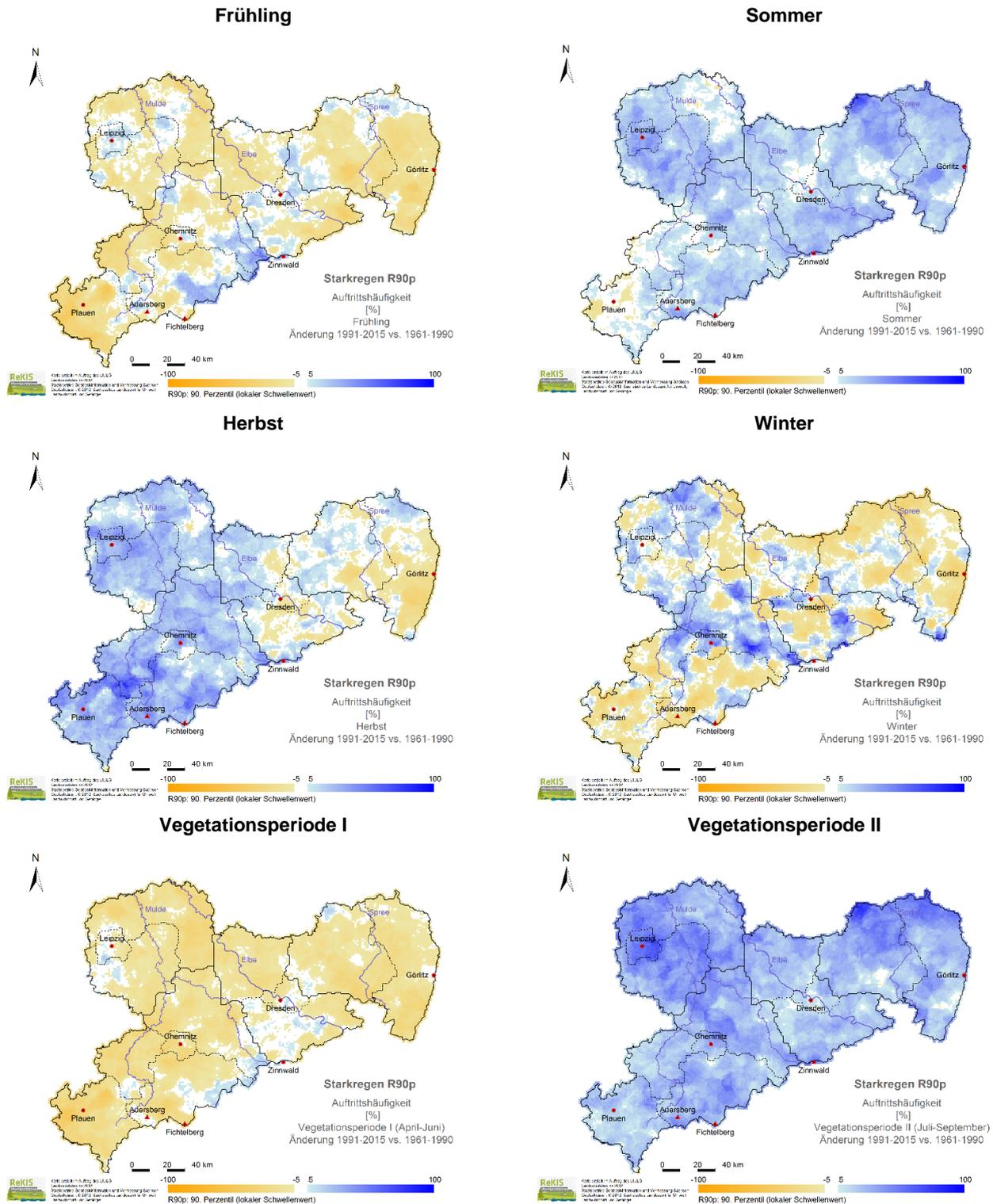
Deutliche Zunahmen der Auftrittshäufigkeit wurden im Sommer nahezu flächendeckend (mit Ausnahme des Vogtlandkreises) beobachtet. Für R95p sind Zunahmen im Flächenmittel von + 25 % und für R90p von + 16 % bestimmt worden.

Der Herbst zeigt eine deutliche Zweiteilung Sachsens mit Zunahmen im Westen und Abnahmen im Osten. Die Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge kann als Übergangsbereich angesehen werden. Die höchsten Zunahmen sind für R95p in den Kammlagen zu finden. Im Flächenmittel ist eine Abnahme festzustellen.

Ein sehr heterogenes Verteilungsmuster zeigt der Winter. Kleinräumige Zu- und Abnahmen liegen nahe beieinander und weisen eine hohe Amplitude auf. Für R95p ist die Abnahme im Flächenmittel mit – 9 % wesentlich deutlicher als für R90p mit – 1 %.

In der Vegetationsperiode I ist eine flächendeckende Abnahme (- 14 % für R90p und R95p) der Auftrittshäufigkeit festzustellen und eine deutliche Zunahme in der Vegetationsperiode II. Die stärksten Zunahmen sind in der Region Leipzig-Westsachsen zu beobachten mit nahezu einer Verdopplung der Ereignisse. Im Flächenmittel nimmt die Auftrittshäufigkeit von R90p um + 28 % und R95p um + 35 % zu.

Auftrittshäufigkeit - R90p



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 13: Starkregen R90p – Aufttrittshäufigkeit für die Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden

Tabelle 4: Starkregen R90p und R95p – durchschnittliche Änderung der Auftrittshäufigkeit 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden

Zeitraum	R90p Auftrittshäufigkeit Änderung 1991-2015 vs. 1961-1990 [%]	R95p Auftrittshäufigkeit Änderung 1991-2015 vs. 1961-1990 [%]
Frühling	-8	-16
Sommer	16	25
Herbst	13	12
Winter	-1	-9
Vegetationsperiode I	-14	-14
Vegetationsperiode II	28	35

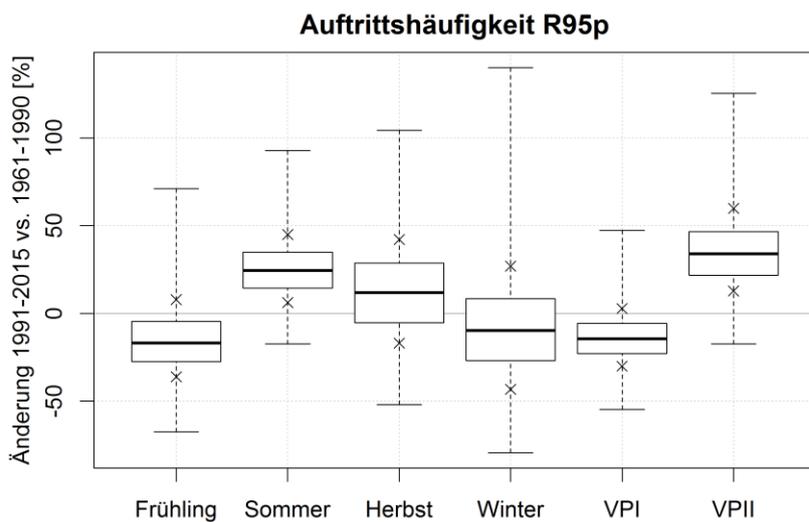
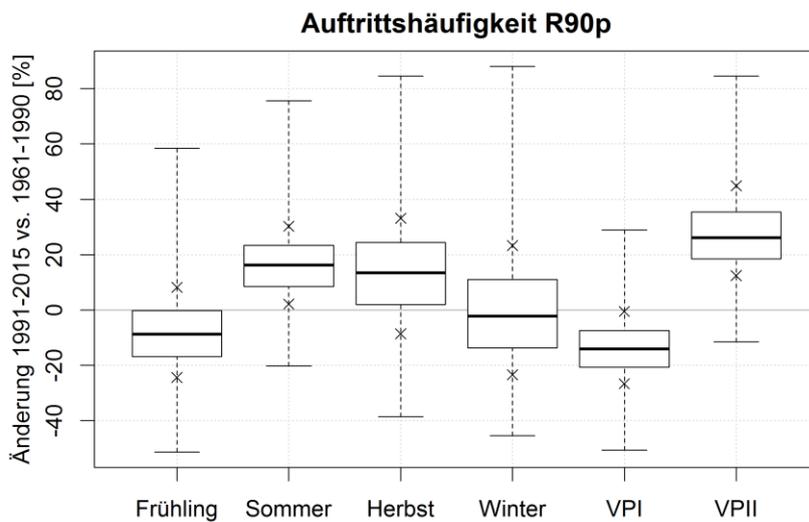


Abbildung 15: Box-Whisker-Plot für die flächenhafte Verteilung von Starkregen R90p, R95p – Auftrittshäufigkeit für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden

3.6 Kerngebiete der Änderung

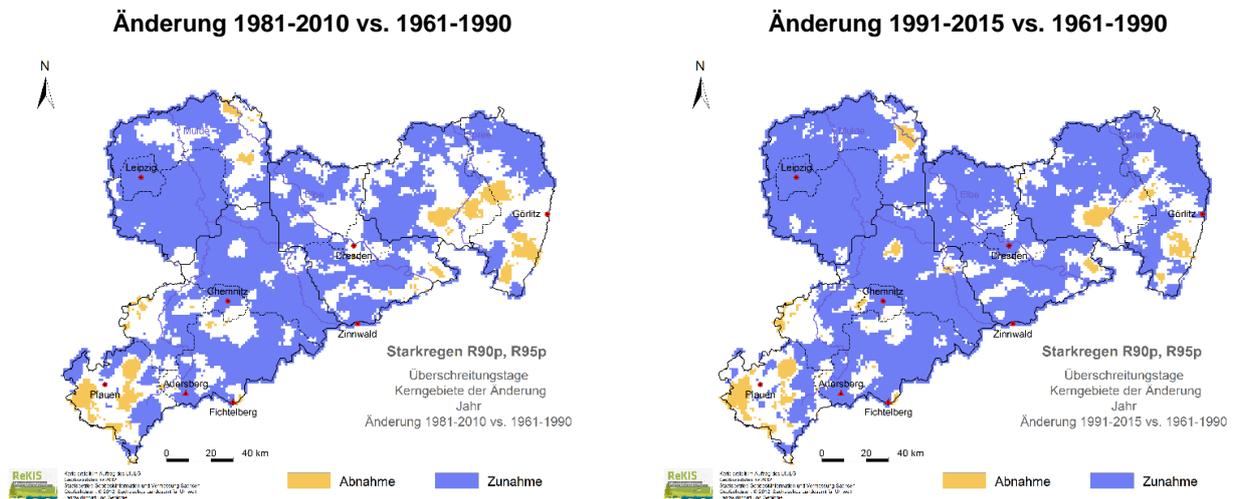
Die Identifizierung und Visualisierung von Kerngebieten der Änderung des Starkniederschlagsverhaltens soll einen schnellen Überblick zu besonders oder weniger betroffenen Regionen ermöglichen. Die Kerngebiete werden aus den Ergebnissen der Kapitel 3.3 bis 3.5 bestimmt. Für jeden Index werden für den gleichen Zeitraum die Änderungskarten von R90p und R95p miteinander verschnitten. Im Ergebnis werden Kerngebiete für die Überschreitungstage (Abbildung 16), die mittlere Intensität (Abbildung 17 und Abbildung 18) und die Auftrittshäufigkeit (Abbildung 19) dargestellt. Die Kerngebiete visualisieren somit die perzentilübergreifenden räumlichen Veränderungen der jeweiligen Indizes.

Für die Überschreitungstage zeigen die Kerngebiete der Änderung für beide Zeiträume ein nahezu einheitliches Muster, eine Zunahme. Abnahmen sind vor allem im Vogtland, in Teilen der Lausitz und Nordsachsen zu finden. Weiße Flächen deuten darauf hin, dass die Ergebnisse der beiden Perzentile sich widersprechen oder sich keine klare Änderung in einem der beiden Perzentile manifestierte (Unsicherheitsbereich).

Die Kerngebiete der mittleren Intensitätsänderungen visualisieren die stärksten Abnahmen in der Planungsregion Leipzig-West Sachsen und im Vogtland sowie in Teilen der Region Oberlausitz-Niederschlesien. Die dekadische Analyse verdeutlicht, dass es Zeiten mit Abnahmen (1961–1970), von räumlich sehr heterogenen Änderungen und von klaren Zunahmen gibt. Zu letzteren gehört am eindeutigsten die Periode 2011–2015.

Die Kerngebiete der Änderung der Auftrittshäufigkeit werden für die Jahreszeiten visualisiert. Deutlich können übereinstimmende Verteilungsmuster erkannt werden. Im Frühling sind nahezu flächendeckende Abnahmen (mit Ausnahme des Erzgebirgskamms und dem Dresdner Umland) zu erkennen. Dieses Muster ist in der Vegetationsperiode I noch stärker von Abnahmen geprägt. Im Sommer sind fast flächendeckend Zunahmen der Auftrittshäufigkeit festzustellen (Abnahmen im Vogtlandkreis). In der Vegetationsperiode II treten ausschließlich Zunahmen auf. Im Herbst zeigt sich deutlich die Zweiteilung mit Zunahmen im Westen und Abnahmen im Osten. Das heterogene Verteilungsmuster im Winter ist deutlich ausgeprägt. Die Kerngebiete der Änderung zeigen deutlich regional unterschiedliche Ausprägungen.

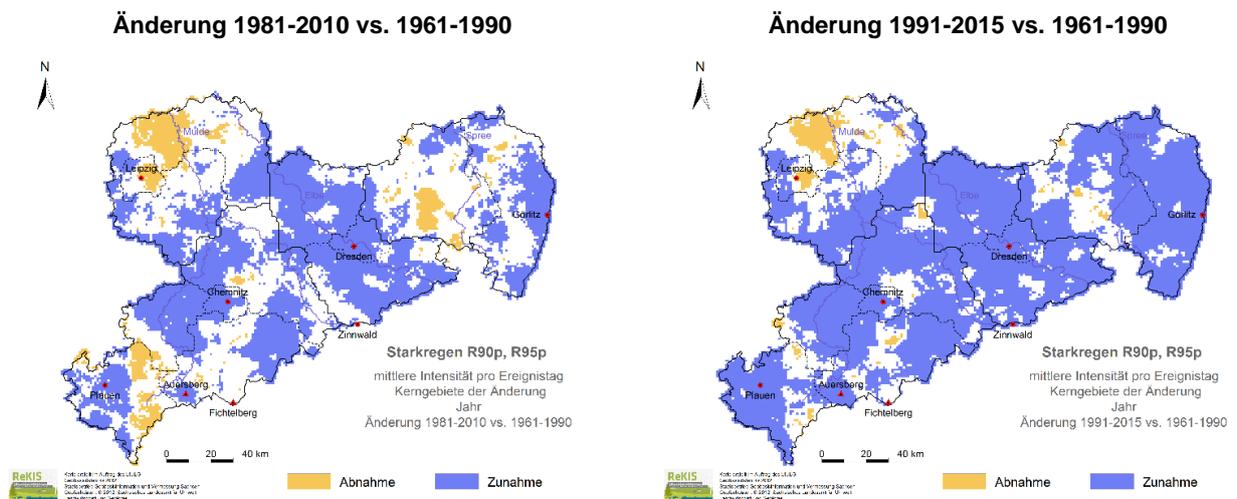
Kerngebiete der Änderung - Überschreitungstage R90p, R95p



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 16: Kerngebiete der Änderung von Starkregen R90p, R95p – Überschreitungstage für die Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

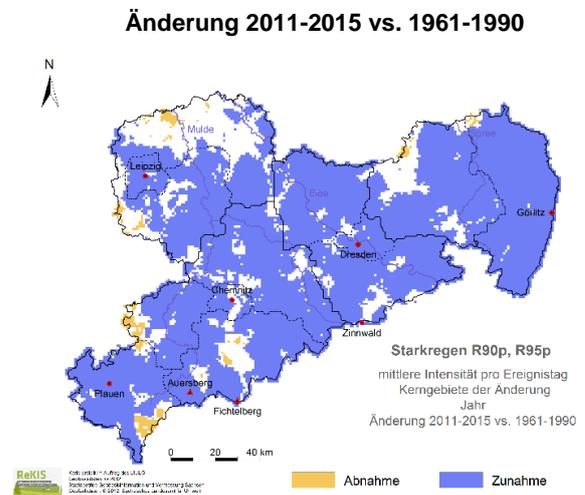
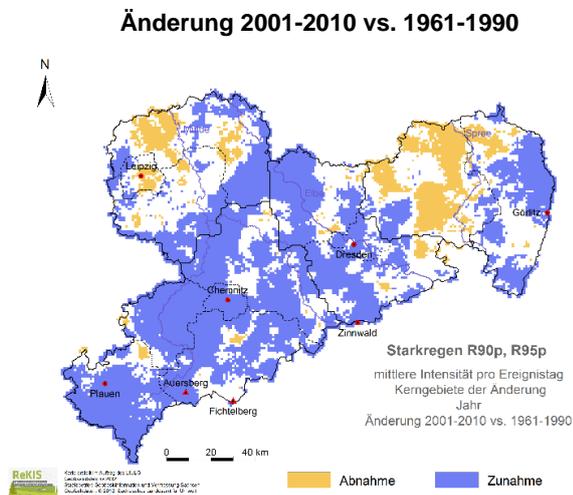
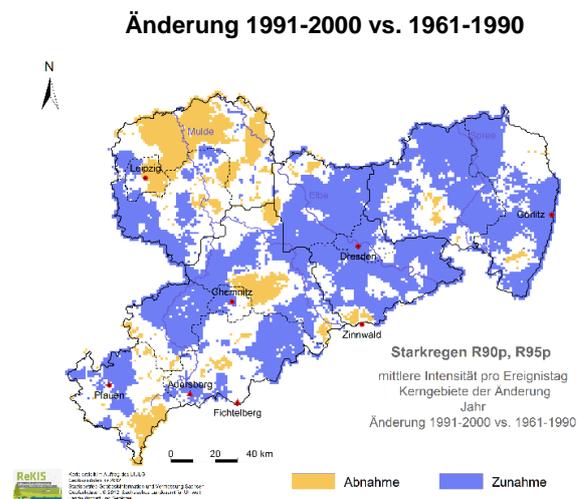
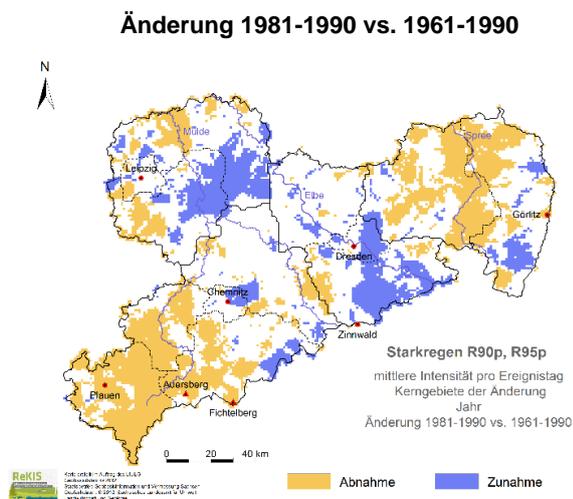
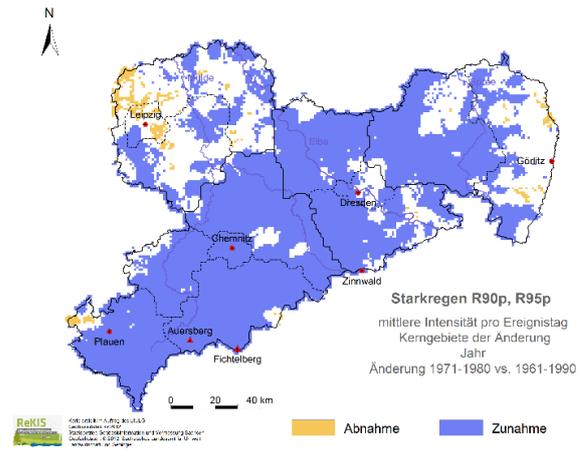
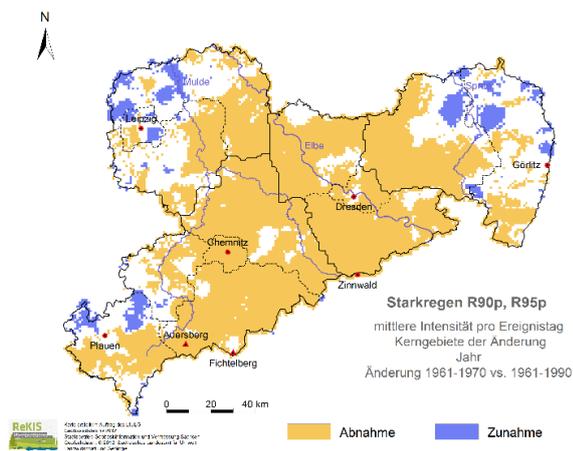
Kerngebiete der Änderung – mittlere Intensität R90p, R95p



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 17: Kerngebiete der Änderung für Starkregen R90p, R95p – mittlere Intensität für die Änderung 1981–2010 vs. 1961–1990 und Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Kerngebiete der Änderung – mittlere Intensität R90p, R95p



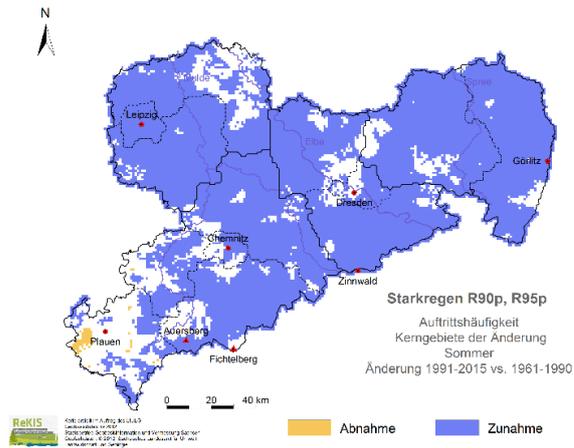
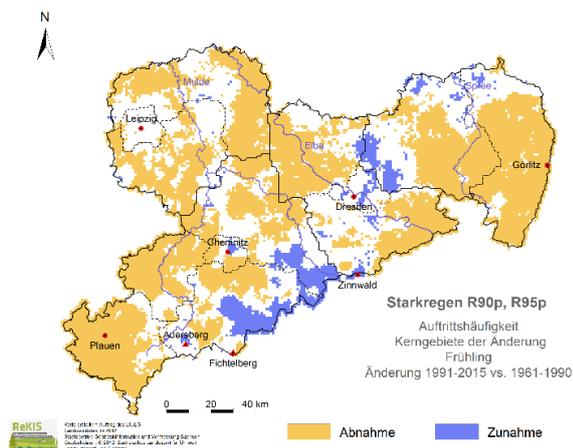
Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 18: Kerngebiete der Änderung für Starkregen R90p, R95p – mittlere Intensität für die Änderung der Dekaden gegenüber 1961–1990 für Sachsen, Kalenderjahr

Kerngebiete der Änderung – Auftrittshäufigkeit R90p, R95p

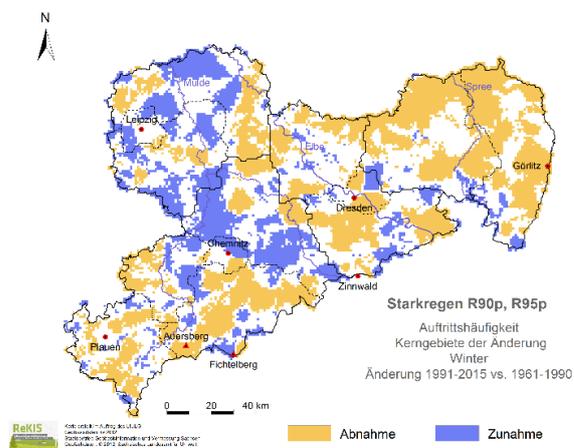
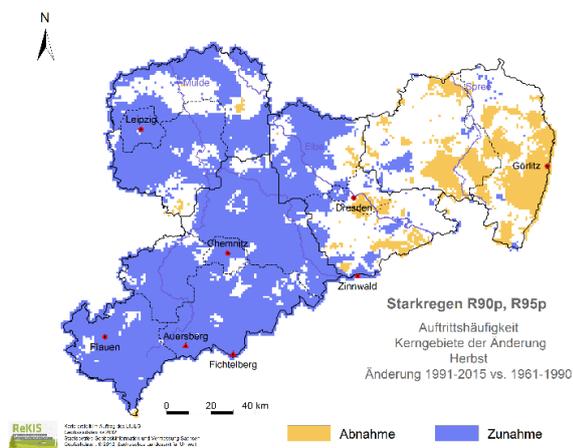
Frühling

Sommer



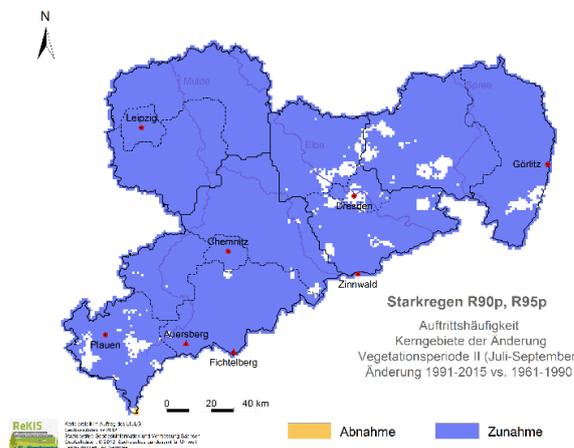
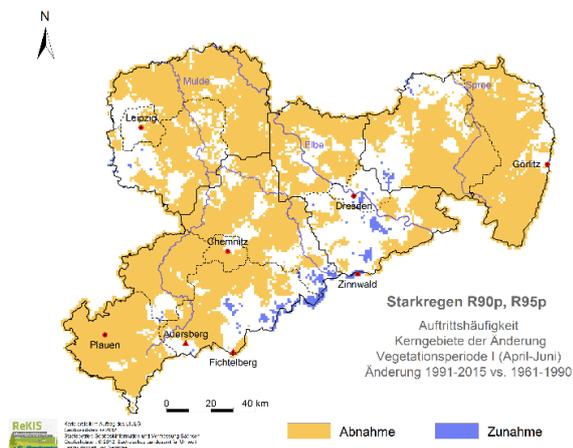
Herbst

Winter



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 19: Kerngebiete der Änderung von Starkregen – Auftrittshäufigkeit R90p, R95p – für die Änderung 1991–2015 vs. 1961–1990 für Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden

3.7 Auftrittshäufigkeit – Transekte

Die Transekte ermöglichen es, den zeitlichen Verlauf der Auftrittshäufigkeit von Starkregen zu analysieren. Im Gegensatz zu den bisherigen Analysen werden hier 1 km breite Streifen durch Sachsen betrachtet. Der zeitliche Verlauf der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen wird für die Transekte Nord-Süd, West-Ost, Zentral und Ost (Abbildung 20 bis Abbildung 27) für 1961–2015 visualisiert. Für die Indizes R90p und R95p wird der zeitliche Verlauf für die Jahreszeiten und die Vegetationsperioden dargestellt. Zusätzlich wird die Lage der Transekte innerhalb Sachsens dargestellt. Den Nord-Süd-Verlauf Sachsens stellen die Transekte Nord-Süd, Zentral und Ost dar. Sie umfassen alle in Sachsen vorhandenen naturräumlichen Haupteinheiten. Dabei repräsentiert das Transekt Nord-Süd die maximale Nord-Süd-Ausdehnung Sachsens mit dem maximalen Höhenunterschied. Am südlichen Ende des Nord-Süd-Transektiv liegt die Station Fichtelberg (Westerzgebirge). Das Transekt Zentral repräsentiert den zentralen Nord-Süd-Verlauf durch Sachsen und gibt einen Einblick auf die erweiterte Region Dresden. Es läuft durch die Station Zinnwald-Georgenfeld (Osterzgebirge). Der Transekt Ost geht durch die Station Löbau/Spree und visualisiert das Starkniederschlagsverhalten im Osten Sachsens. Das Transekt West-Ost stellt den Verlauf von West nach Ost durch die Station Görlitz dar.

Bei den Transektabbildungen zeigt die x-Achse den zeitlichen Verlauf der Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen R90p und R95p an und die y-Achse den räumlichen Verlauf des jeweiligen Transekts. Alle Transekte im Nord-Süd Verlauf zeigen die y-Achse von oben (Norden) nach unten (Süden). Für den Transekt West-Ost ist der Verlauf von oben (Westen) nach unten (Osten) zu interpretieren. Beispielsweise visualisiert der untere Rand des Transekts West-Ost den zeitlichen Verlauf der Starkniederschlagsverhältnisse der Region Görlitz. Bei der Interpretation der Abbildungen ist methodikbedingt der Fokus auf den Verlauf der Auftrittshäufigkeit zu legen, für einzelne Jahre dürfen keine Werte ausgelesen werden.

Im Folgenden werden die markantesten Änderungen durch die Erweiterung des Datensatzes um fünf Jahre bis 2015 perzentilübergreifend erläutert. Eine ausführliche Erläuterung der Ergebnisse für 1961–2010 ist in BERNHOFER et al. (2015a, 2015b) zu finden.

Das Transekt Nord-Süd zeigt für den Frühling, die Vegetationsperiode I und den Herbst zunehmende Auftrittshäufigkeiten vor allem in den Kammlagen. Im Sommer sind deutliche Zunahmen in den Berg- und Kammlagen festzustellen. In der Vegetationsperiode II ist für das gesamte Transekt eine Zunahme der Auftrittshäufigkeit zu erkennen mit auffällig hohen Zunahmen in den Berglagen. Im Winter entwickelt sich ein starker Nord-Süd-Gradient mit einer hohen Anzahl an Starkregenereignissen in den Kammlagen.

Für den gesamten Transekt Zentral kann für die letzten fünf Jahre eine deutliche Zunahme in nahezu allen Bezugszeiträumen erkannt werden. Besonders stark sind die Zunahmen im Sommer und in beiden Vegetationsperioden.

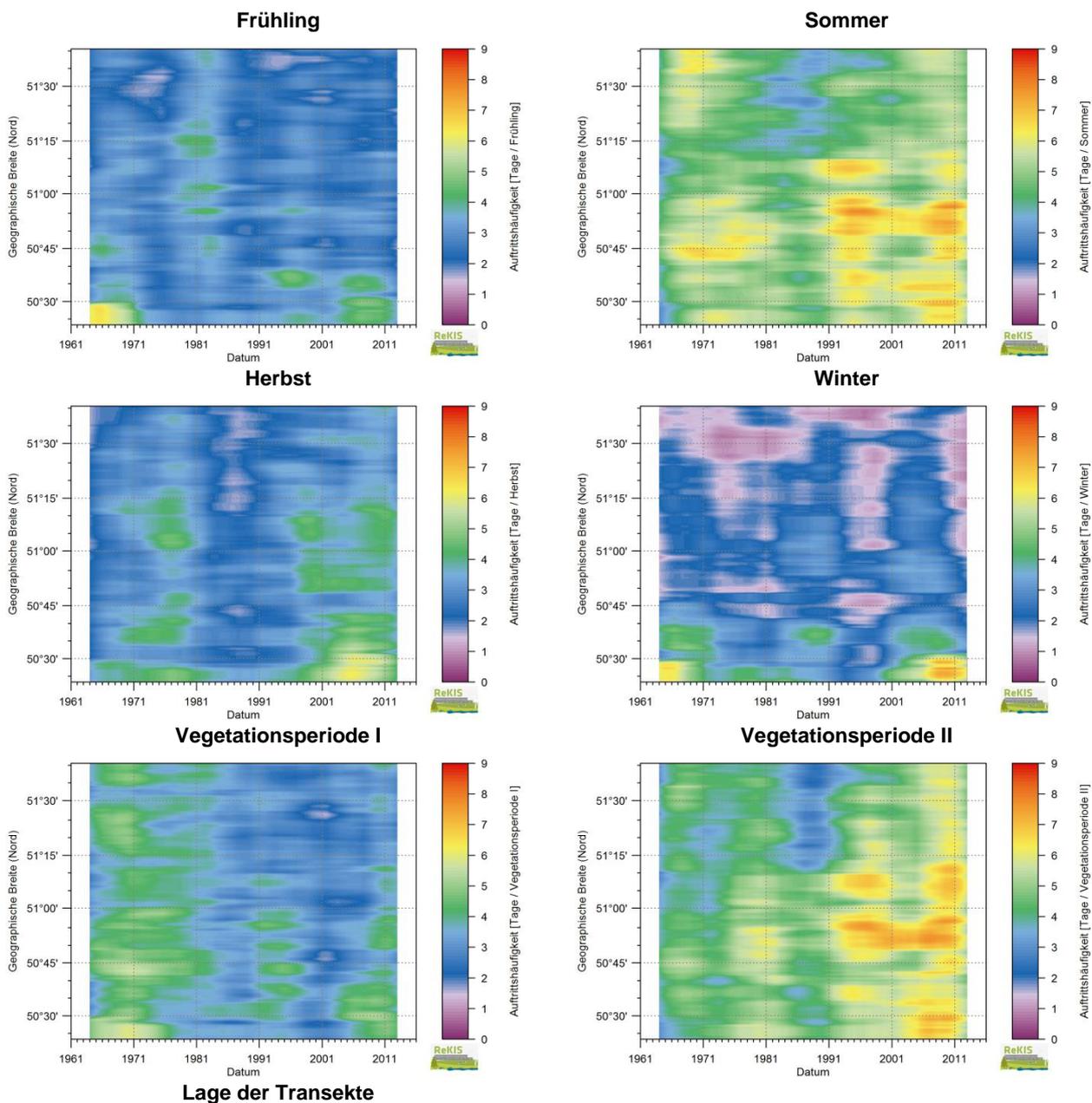
Im Transekt Ost können deutliche Zunahmen in der Vegetationsperiode II festgestellt werden. Die Entwicklung von Süd-Nord-Gradienten ist besonders im Sommer deutlich zu erkennen.

Das Transekt West-Ost zeigt im Sommer einen starken West-Ost-Gradienten mit einer starken Zunahme der Auftrittshäufigkeit im Osten. Im Herbst ist vor allem für Starkregen R90p die Zweiteilung mit abnehmenden Auftrittshäufigkeiten im Osten und Zunahmen im Westen festzustellen.

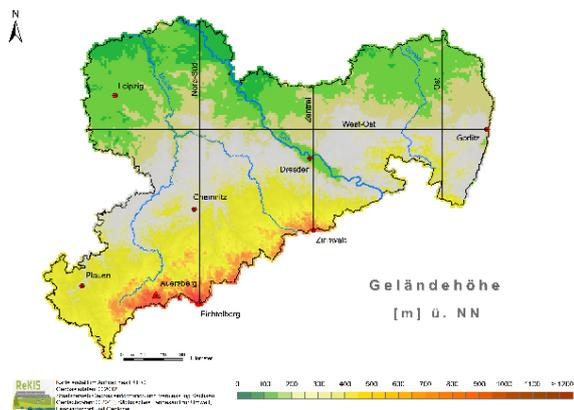
Die Transektgrafiken zeigen eine Periodizität, sprich eine Variabilität in der zeitlichen Entwicklung. Diese tritt unabhängig von den Klimanormalperioden in allen betrachteten Zeiträumen jedoch unterschiedlich stark aus-

geprägt auf. Die Erweiterung des Datensatzes zeigt für die letzten Jahre die Periodizität besonders eindrücklich. Die Bezugszeiträume mit den häufigsten Starkniederschlagsereignissen, Sommer und Vegetationsperiode II, zeigen die Periodizität besonders eindrücklich. Die auftretende Periodizität verdeutlicht, dass Veränderungen im Auftreten von Starkniederschlagsereignissen vor dem Hintergrund der natürlichen Variabilität des Elements Niederschlag zu bewerten sind. Weitere Untersuchungsergebnisse zur Auftrittshäufigkeiten von Starkniederschlägen sind in SCHALLER (2013) ausführlich diskutiert.

Transekt Nord-Süd – R90p



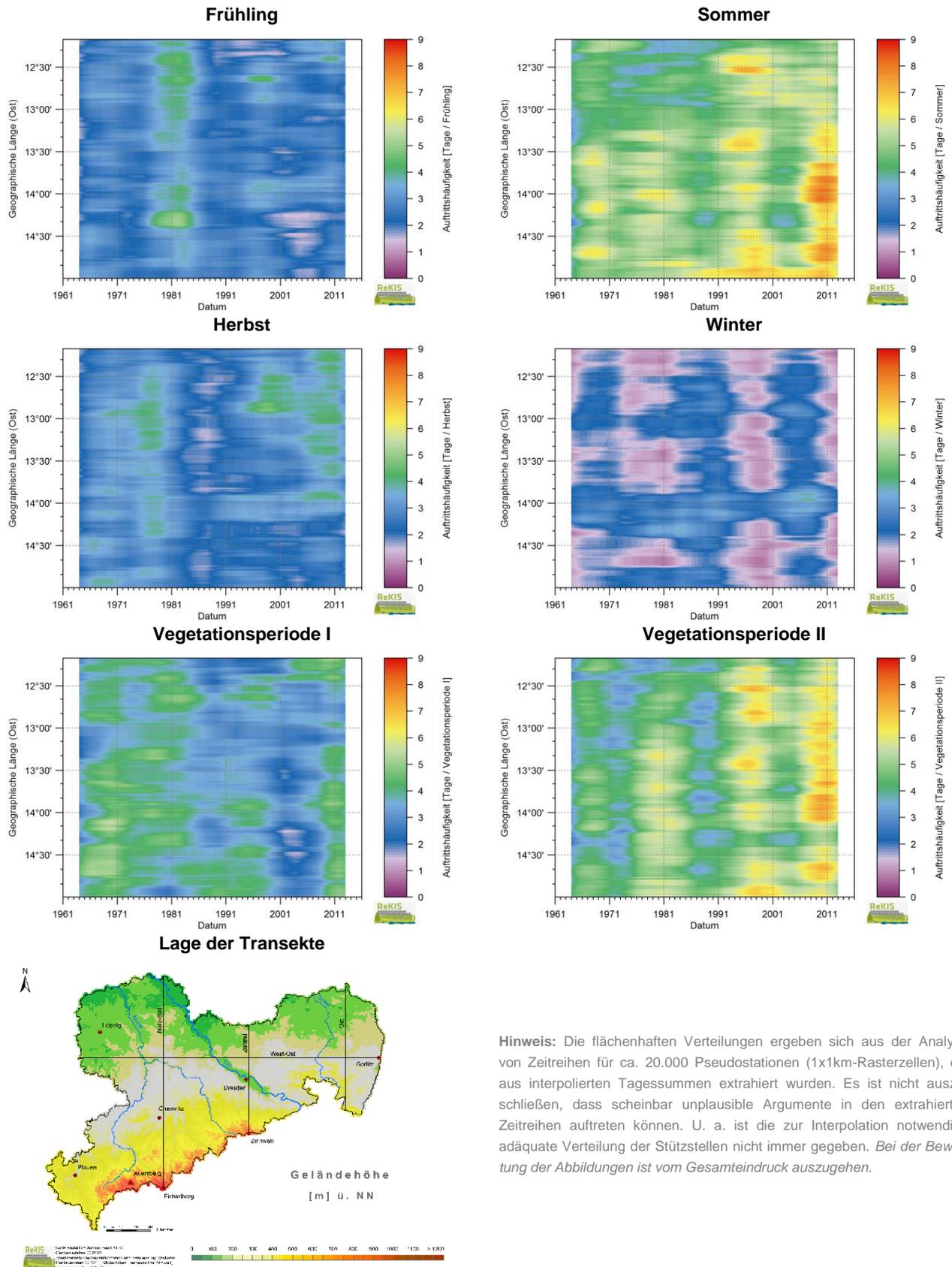
Lage der Transekte



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt Nord-Süd in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte

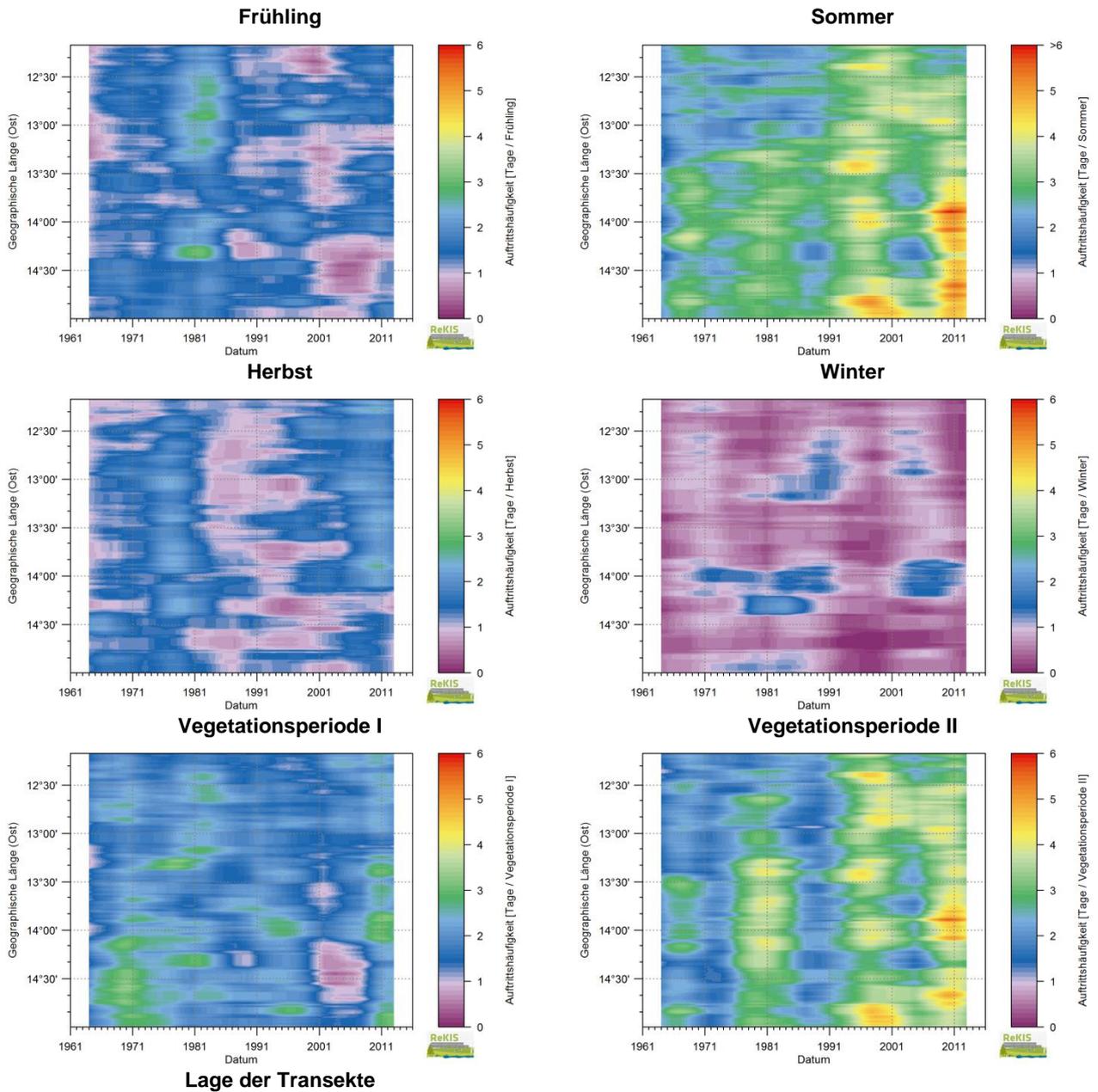
Transekt West-Ost – R90p



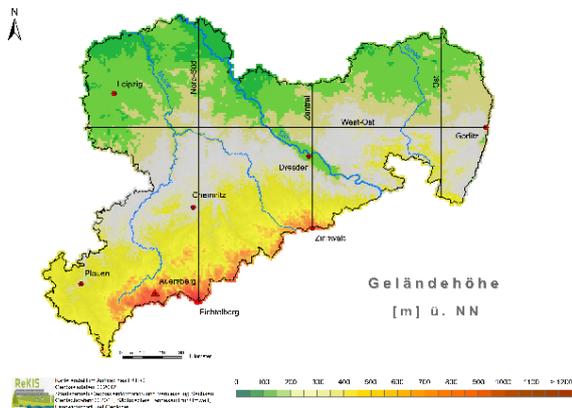
Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt West-Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte

Transekt West-Ost – R95p



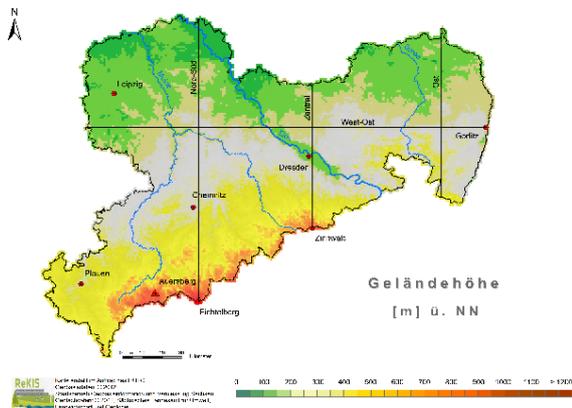
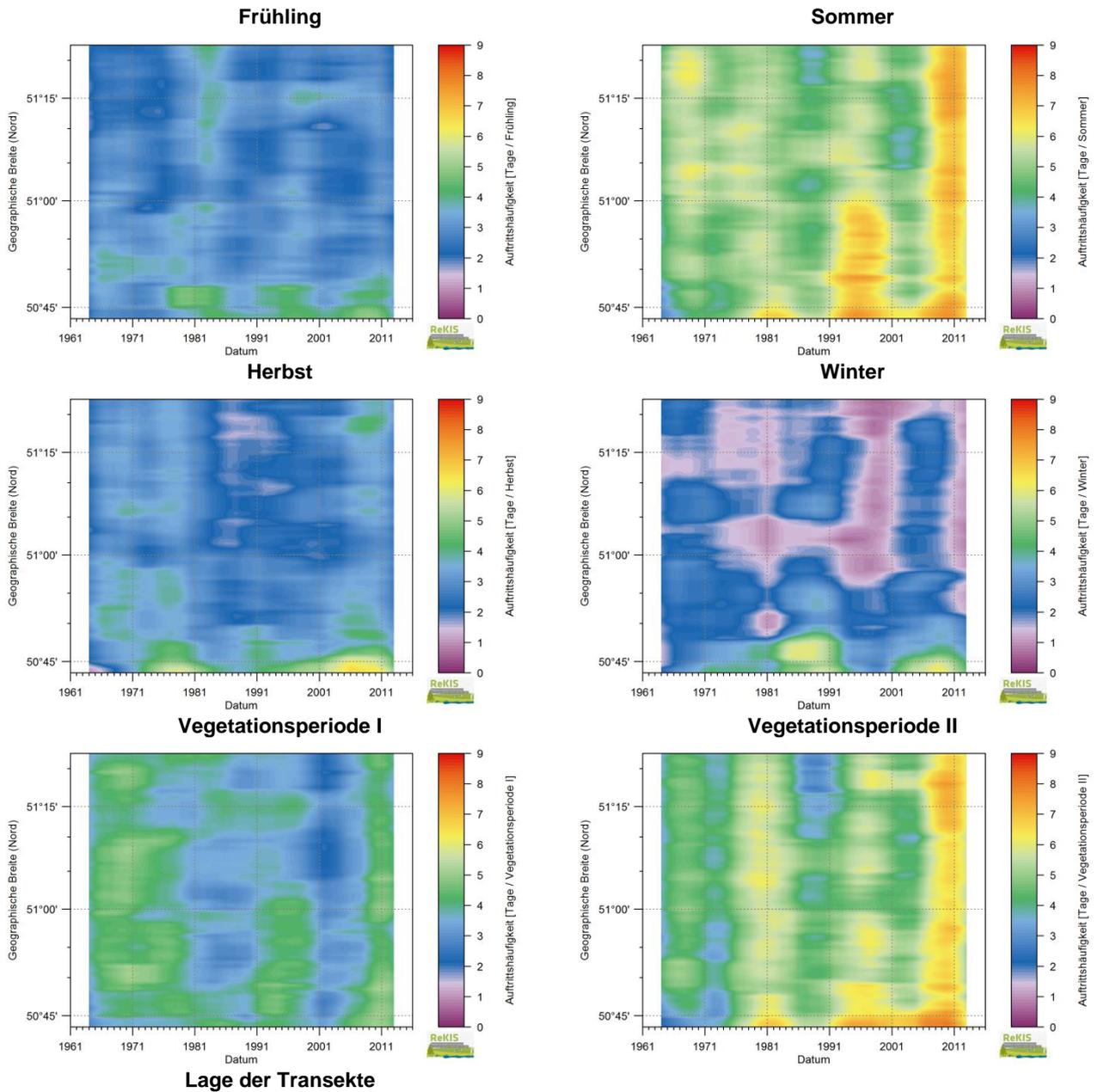
Lage der Transekte



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R95p für das Transekt West-Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte

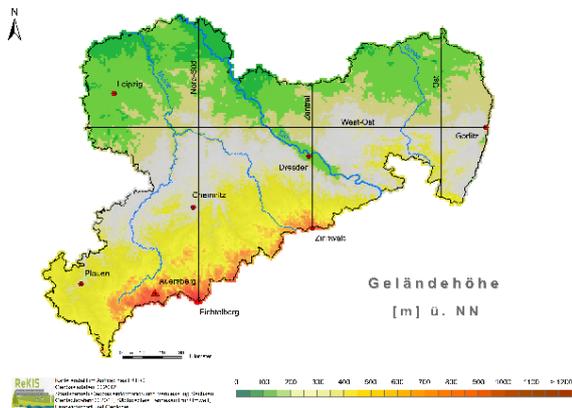
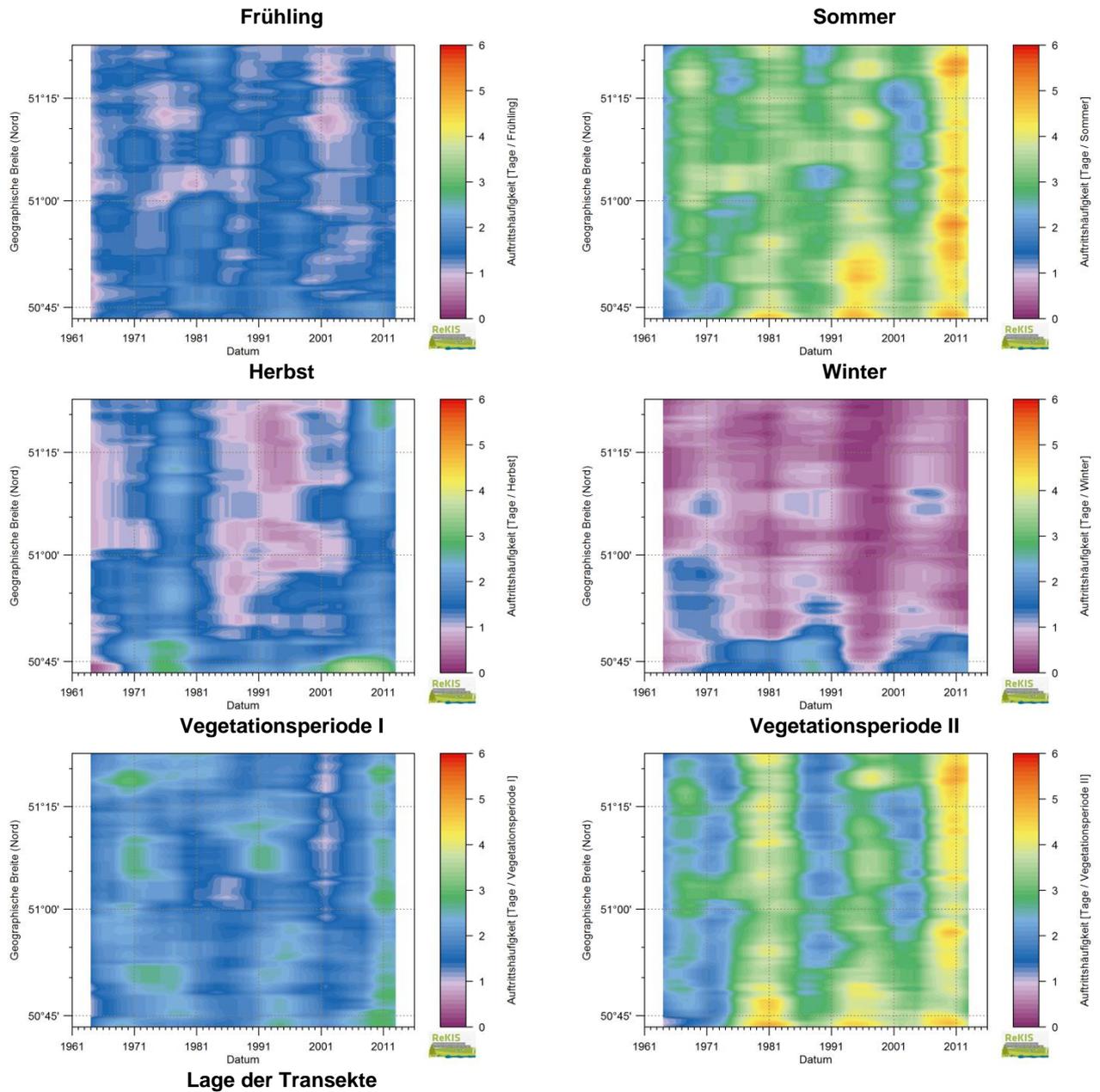
Transekt Zentral – R90p



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt Zentral in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte

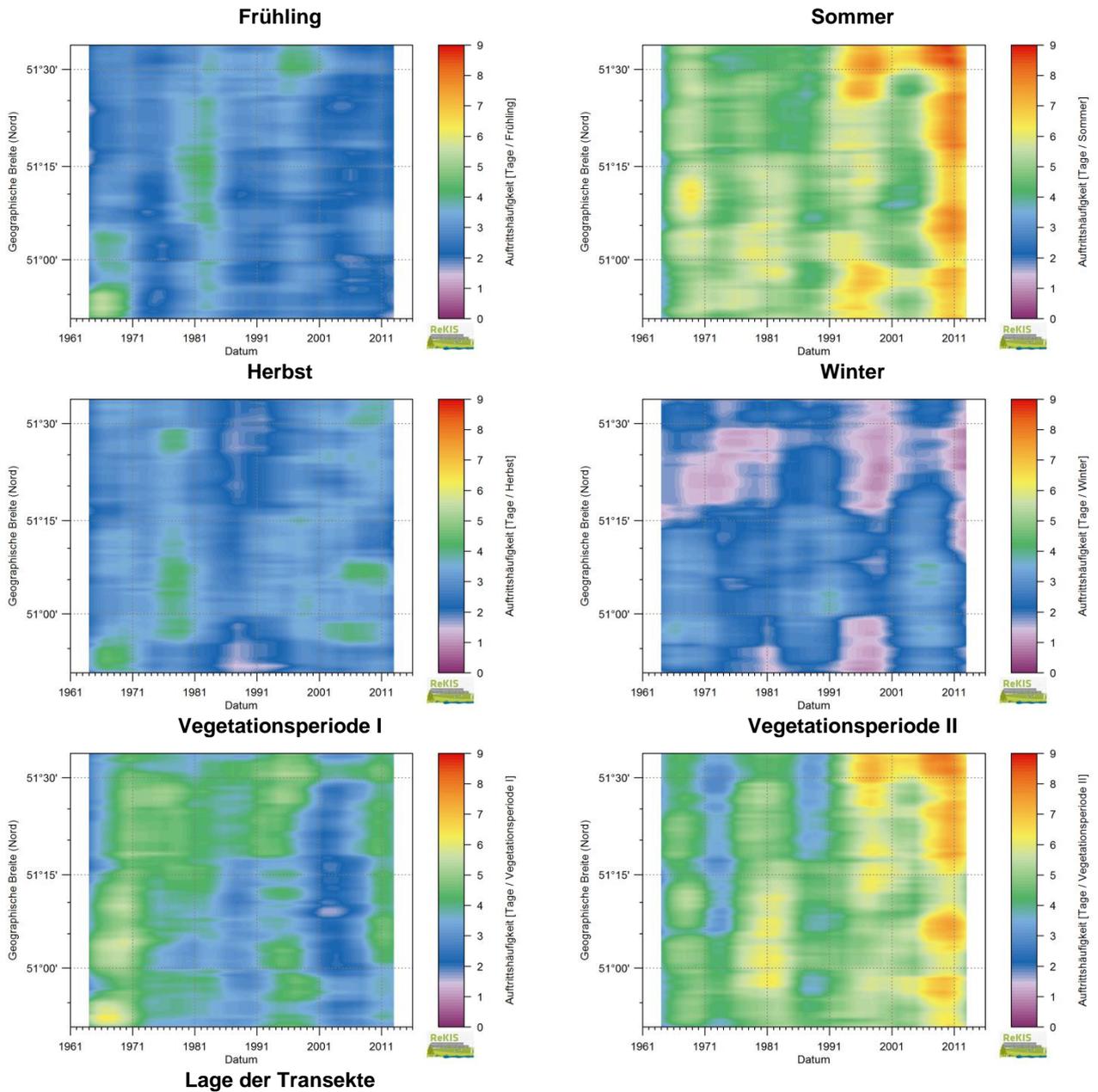
Transekt Zentral – R95p



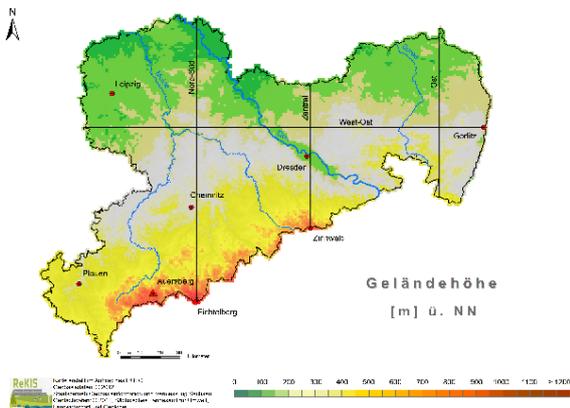
Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R95p für das Transekt Zentral in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte

Transekt Ost – R90p



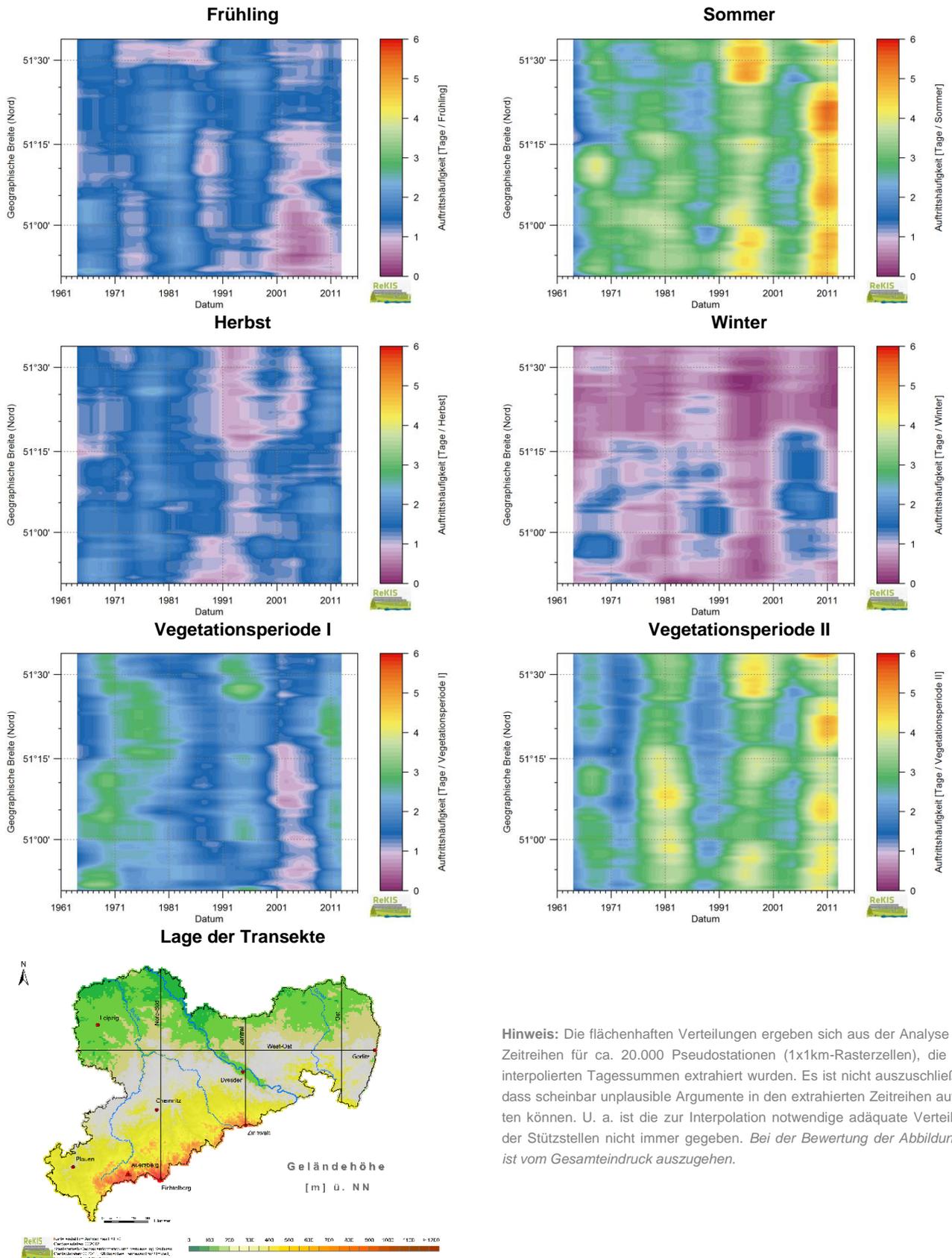
Lage der Transekte



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R90p für das Transekt Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte

Transekt Ost – R95p



Hinweis: Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tagessummen extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf (1961–2015) der Auftrittshäufigkeit von Starkregen R95p für das Transekt Ost in Sachsen, Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II, Lage der Transekte

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Bericht ist eine Fortschreibung der Publikationen „Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen“ (BERNHOFER et al. 2015a) und „Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit“ (BERNHOFER et al. 2015b) mit einer erweiterten Datenbasis bis 2015. Schwerpunkt ist die Analyse verschiedener Starkniederschlagsindizes für 1961–2015. Im Fokus stehen die Kerngebiete der Änderungen von Starkniederschlagsereignissen.

In Anlehnung an die WMO-Indizes wurden die Starkniederschlagsindizes R90p und R95p betrachtet, die auf dem 90. bzw. 95. Perzentil der Niederschlagstage basieren. Demnach wurden die größten 10 % der vorhandenen Messwerte in die Untersuchungen einbezogen (analog R95p: 15 %). Im Allgemeinen werden die Ergebnisse für Starkregen R90p und R95p gemeinsam genannt, auf unterschiedliche Ergebnisse wird explizit hingewiesen.

Die Starkniederschlagsindizes wurden für die Referenzperiode 1961–1990, für die Klimanormalperiode 1981–2010, den Zeitraum 1991–2015 und ggf. für Dekaden betrachtet. Im Folgenden werden vor allem die Änderungen gegenüber der Referenzperiode dargestellt.

Im Vergleich zu Vorgängerstudien zeigt sich eine Verstärkung der Signale durch die Erweiterung der Datenbasis um fünf Jahre. Die Anzahl der Starkniederschlagsereignisse und deren mittleren Intensität nehmen für beide Perioden im Vergleich zur Referenzperiode zu. Für den aktuellen Zeitraum 1991–2015 konnte eine weitere Zunahme beobachtet werden. Die prozentualen Änderungen für Starkregen R95p sind für die meisten Indizes stärker als für R90p.

Die Verteilungsmuster der Regenhöhe, der Anzahl der Überschreitungstage und der mittleren Intensität von Starkregenereignissen zeigen einen Süd-Nord Gradienten (Höhenabhängigkeit) und einen West-Ost Gradienten (Luv-Leelage).

Für das Kalenderjahr ist eine flächendeckende Zunahme der Tage mit Starkregenereignissen zu beobachten. Starke Zunahmen sind in der Region Leipzig und in den Kammlagen des Erzgebirges vor allem für den Zeitraum 1991–2015 festzustellen. Abnahmen der Überschreitungstage treten in den Leelagen der Mittelgebirge – unter anderem im Vogtlandkreis –, in Nordsachsen im Verlauf der Elbe und in Teilen der Region Oberlausitz-Niederschlesien auf.

Die mittlere Intensität eines Starkregenereignisses nimmt im Flächenmittel geringfügig zu, zeigt aber kleinräumig stärkere Zu- und Abnahmen. Die höchsten Intensitäten traten am Erzgebirgskamm um den Fichtelberg und den Auersberg auf. Die Zunahmen der Intensität zeigen sich vor allem in den Luvlagen und die Abnahmen in den Leelagen. Im Verlauf der Dekaden können deutliche Unterschiede der mittleren Intensität von Starkregenereignissen beobachtet werden. Die flächendeckend höchsten Zunahmen sind für 2011–2015 festzustellen.

Die Auftrittshäufigkeit von Starkregen ermöglicht es, Veränderungen im Jahresverlauf festzustellen. Im Frühling sind die Entwicklungen in Sachsen heterogen mit insgesamt abnehmender Tendenz. Deutliche Zunahmen der Auftrittshäufigkeit wurden im Sommer nahezu flächendeckend beobachtet. Der Herbst zeigt eine deutliche Zweiteilung Sachsens mit Zunahmen im Westen und Abnahmen im Osten, wobei die Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge den Übergangsbereich darstellt. Ein sehr heterogenes Verteilungsmuster zeigt der Winter. Kleinräumige Zu- und Abnahmen liegen nahe beieinander und weisen eine hohe Amplitude auf. In der Vege-

tationsperiode I ist eine flächendeckende Abnahme der Auftrittshäufigkeit festzustellen und eine deutliche Zunahme in der Vegetationsperiode II. Die Transekte zeigen den zeitlichen Verlauf der Auftrittshäufigkeit von Starkregen. Die Erweiterung des Datensatzes zeigt deutliche Änderungen. Die Auftrittshäufigkeit nimmt in allen Transekten im Nord-Süd-Verlauf zu. Die stärksten Zunahmen sind in den Berg- und Kammlagen vor allem in den Sommermonaten zu finden. Dabei sind Niveauverschiebungen und die Entwicklung von Gradienten zu identifizieren. Die Periodizität zeigt sich in den hinzugenommenen Zeitraum besonders eindrücklich.

Die Kerngebiete der Änderung zeigen weitgehend einheitliche Zu- und Abnahmen für beide Niederschlagsperzentile. Die Zunahmen der Überschreitungstage und der mittleren Intensität sind für 1991–2015 höher als für 1981–2010. Es konnten unterschiedliche regionale Veränderungen beobachtet werden:

- In der Region Leipzig-Westsachsen konnten mehr Tage mit Starkregen beobachtet werden mit teils abnehmender Intensität. Die Auftrittshäufigkeit nimmt vor allem im Sommer, speziell in der Vegetationsperiode II, zu.
- Im Vogtlandkreis gab es weniger Tage mit Starkregen bei zunehmender Intensität der Ereignisse. Im Jahresverlauf fanden häufiger Starkregenereignisse im Sommer, Vegetationsperiode II und Herbst statt, in allen anderen Zeiträumen fanden seltener Starkregenereignisse statt.
- Im Erzgebirgskamm ist eine Zunahme der Anzahl der Starkregenereignisse und deren Intensität zu beobachten. Diese Region zeigt im Frühling und der Vegetationsperiode I eine Häufung der Starkregenereignisse im Gegensatz zu den meisten anderen Regionen.
- In der Lausitz wurden weniger Starkregenereignisse beobachtet. Die mittlere Intensität der Ereignisse nahm 2011–2015 besonders stark zu.

Aus den dekadischen Analysen wurde ein flächenhaft differenziertes Schwankungsverhalten im Auftreten und der mittleren Intensität von Starkregenereignissen sichtbar, das aber seit Beginn der 1990er-Jahre und hier insbesondere in den Sommermonaten von einer Niveauverschiebung begleitet wird. Diese Verschiebung geht mit einer Überlagerung des Schwankungsverhaltens durch zunehmende Erwärmung einher. Der Temperatureffekt liefert einen deutlichen Hinweis auf die Intensivierung des konvektiven Starkregengeschehens.

Die Ergebnisse bestätigen prinzipiell die Vorgängeranalysen. Jedoch hat sich die Änderung der Starkniederschlagscharakteristika in den letzten fünf Jahren beschleunigt. Aufgrund dieser Dynamik ist eine stetige Fortführung dieser Art von Analysen empfehlenswert.

Literaturverzeichnis

- BERNHOFER, C.; GOLDBERG, V.; FRANKE, J.; HÄNTZSCHEL, J.; HARMANSA, S.; PLUNTKE, T.; GEIDEL, K.; SURKE, M.; PRASSE, H.; FREYDANK, E.; HÄNSEL, S.; MELLENTIN, U.; KÜCHLER, W. (2008): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.) SMUL, Dresden.
- BERNHOFER, C.; FRANKE, J.; KURBJUHN, C.; HUPE, F. (2009): Ableitung von Rasterdaten aus gemessenen und projizierten Klimazeitreihen für den Freistaat Sachsen. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 102 S.
- BERNHOFER, C.; FRANKE, J.; DONIX, T.; KÖRNER, P.; FISCHER, S.; SCHALLER, A.; KIRSTEN, L.; PRASSE, H.; KOSTROWSKI, D. (2015a): Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des LfULG, Schriftenreihe des LfULG, Heft 3/2015; <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23868>.
- BERNHOFER, C.; HÄNSEL, S.; SCHALLER, A.; PLUNTKE, T. (2015b): Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Schriftenreihe des LfULG, Heft 7/2015; <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/24200>
- FRANKE, J. (2009): Risiken des Klimawandels für den Wasserhaushalt – Variabilität und Trend des zeitlichen Niederschlagsspektrums. Dissertation, Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, 102 S.
- FRANKE, J. (2013): ExtRa – Programm-gesteuerte Extrahierung von Rasterzellen-bezogenen Zeitreihen aus (Bay)RaKliDa-Output. Dokumentation, Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, 12 S.
- SCHALLER, A. (2013): Untersuchungen zu geänderten Starkniederschlägen aus gemessenen und modellierten Niederschlagszeitreihen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, 137 S.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Prof. Dr. Christian Bernhofer, Andrea Schaller, Thomas Pluntke
Technische Universität Dresden
Fakultät Umweltwissenschaften/Institut für Hydrologie und Meteorologie
Professur für Meteorologie
Pienner Str. 23, 01737 Tharandt
Telefon: + 49 351 463-31343 oder -31340
Telefax: + 49 351 463-31302
E-Mail: meteorologie@tu-dresden.de

Redaktion:

Dr. Johannes Franke
LfULG; Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/Referat Klima, Luftqualität
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-5116
Telefax: + 49 351 2612-5199
E-Mail: johannes.franke@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

11.05.2017

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.