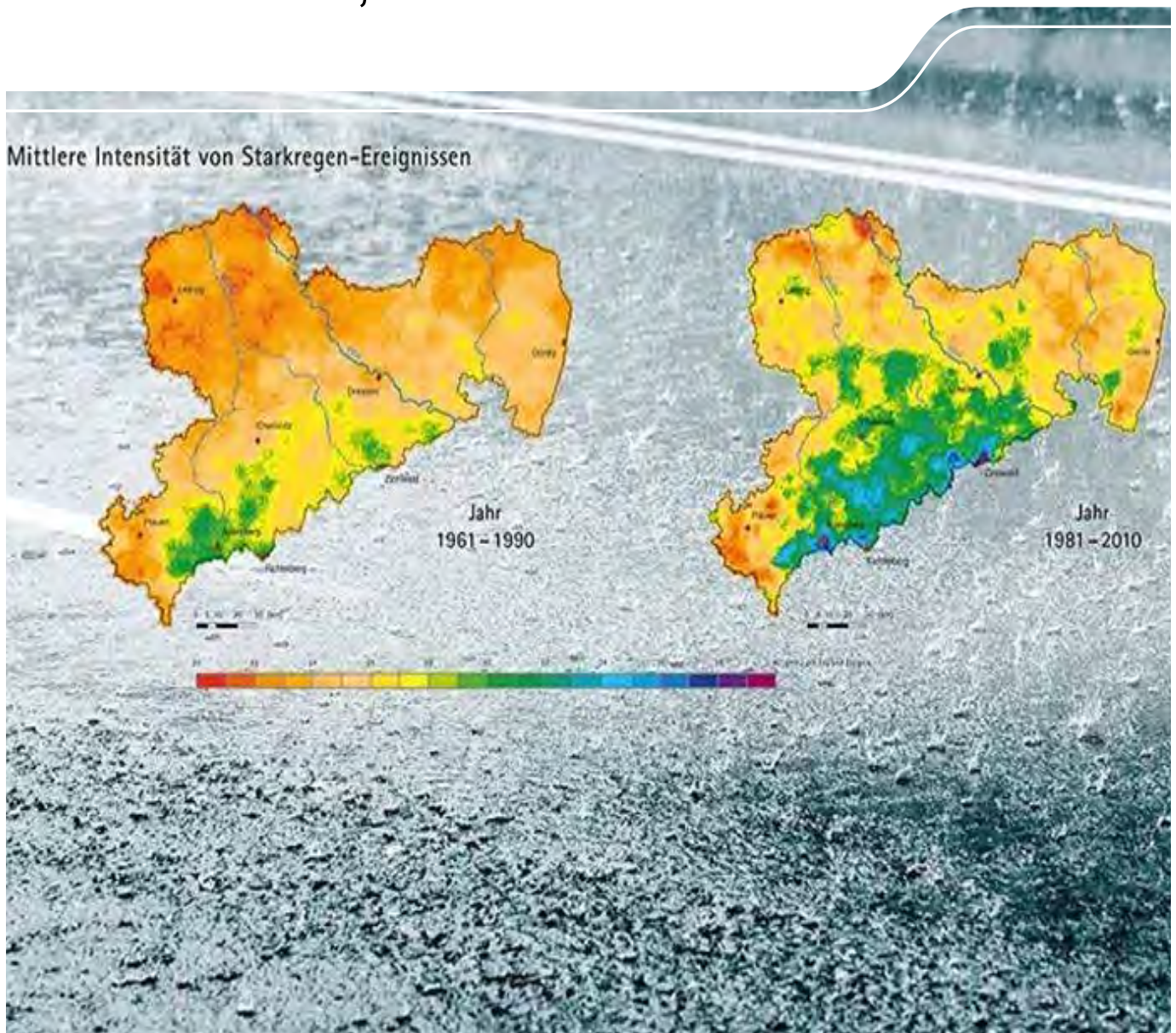


# Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen

Schriftenreihe, Heft 3/2015



# Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen

Prof. Dr. Christian Bernhofer, Dr. Johannes Franke, Stefanie Fischer,  
Lynne Kirsten, Philipp Körner, Dorothe Kostrowski, Heiko Prasse,  
Andrea Schaller, Tobias Donix



<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Meteorologische Datenbasis .....</b>	<b>12</b>
2.1	Grunddaten .....	12
2.2	Berechnung abgeleiteter und komplexer Klimagrößen für Tageswerte .....	13
2.2.1	Korrektur des windbedingten Messfehlers für den Niederschlag .....	13
2.2.2	Ableitung der Globalstrahlung aus der Sonnenscheindauer .....	13
2.2.3	Berechnung der potenziellen Verdunstung .....	14
2.2.4	Berechnung der klimatischen Wasserbilanz .....	14
2.3	Aufbereitung von Stundendaten .....	15
2.3.1	Datenverfügbarkeit und Plausibilität .....	15
2.3.2	Windmessungen .....	15
2.3.3	Darstellung der koordinierten Weltzeit UTC .....	16
<b>3</b>	<b>Methodik der Datenverarbeitung .....</b>	<b>18</b>
3.1	Erzeugung von GIS-kompatiblen Rasterdaten .....	18
3.2	Erzeugung von Zeitreihen für 1 x 1-km-Rasterzellen .....	18
3.3	WMO-Indizes .....	23
3.4	Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Starkniederschläge .....	25
3.5	Mittelungs- und Bezugszeiträume .....	26
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>27</b>
4.1	Flächenhafte Darstellungen für Klimaelemente .....	27
4.1.1	Temperatur .....	27
4.1.2	Niederschlag .....	51
4.1.3	Relative Sonnenscheindauer .....	60
4.2	Flächenhafte Darstellungen für abgeleitete Klimagrößen .....	68
4.2.1	Globalstrahlung .....	68
4.2.2	Potenzielle Verdunstung .....	77
4.2.3	Klimatische Wasserbilanz .....	85
4.3	Flächenhafte Darstellungen des Extremwertverhaltens für Klimaelemente .....	94
4.3.1	WMO-Indizes .....	94
4.3.2	Auftrittshäufigkeiten für Starkniederschläge .....	107
4.4	Stationsbezogene Analyse von Stundendaten für Klimaelemente .....	114
4.4.1	Mittlere Tagesgänge .....	114
4.4.2	Schwankungsverhalten .....	128
4.4.3	Überschreitungswahrscheinlichkeiten .....	141
4.4.4	Windklimatologie .....	149
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>152</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>156</b>
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>157</b>

Abb. 2.3.2-1:	Mittlerer Jahresgang der Windgeschwindigkeit (m/s) für inkonsistente Messhöhen und normiert auf eine Höhe von 10 m über Geländeoberfläche. Die exemplarisch dargestellten Monatsmittelwerte basieren auf Stundendaten der Station Fichtelberg. ....	16
Abb. 2.3.3-1:	Jahresgang Tageslänge sowie Sonnenauf- und Sonnenuntergang. Die Zeitangaben beziehen sich auf UTC-Sonnenzeit und die Treppenfunktion zeigt die auf- und abgerundete Zeit auf volle Stunden. ...	17
Abb. 2.3.3-2:	Jahresgang von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang nach koordinierter Weltzeit UTC für mittlere Ortszeit (MOZ) und wahre Ortszeit (WOZ). ....	18
Abb. 3.2-1:	Korrelation zwischen lagekorrespondierendem RaKliDa-Input und RaKliDa-Output .....	20
Abb. 3.2-2:	Abweichung mittlerer Jahresgänge auf Basis von Monatssummen (aus Tagessummen aggregiert) zwischen RaKliDa-Input und RaKliDa-Output, dargestellt ist der Unterschied (Output minus Input) als prozentualer Anteil des Inputs, Auswahlkriterium: 100%ige Datenverfügbarkeit bei Input .....	21
Abb. 3.2-3:	Raum-zeitlicher Zusammenhang des RaKliDa-Outputs mittels distanzabhängiger Korrelationsanalyse: Zeitreihenkorrelation zwischen Rasterzellenpaaren (a bis e), Anzahl von Rasterzellenpaaren (f) .....	22
Abb. 4.1.1.1-1:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	29
Abb. 4.1.1.1-2:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	30
Abb. 4.1.1.1-3:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	31
Abb. 4.1.1.1-4:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	32
Abb. 4.1.1.1-5:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	33
Abb. 4.1.1.1-6:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahr .....	34
Abb. 4.1.1.1-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen .....	34
Abb. 4.1.1.2-1:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	37
Abb. 4.1.1.2-2:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	38
Abb. 4.1.1.2-3:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	39
Abb. 4.1.1.2-4:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	40
Abb. 4.1.1.2-5:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	41
Abb. 4.1.1.2-6:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahr .....	42
Abb. 4.1.1.2-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen .....	42
Abb. 4.1.1.3-1:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	45
Abb. 4.1.1.3-2:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	46
Abb. 4.1.1.3-3:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	47
Abb. 4.1.1.3-4:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	48
Abb. 4.1.1.3-5:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	49
Abb. 4.1.1.3-6:	Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahr .....	50
Abb. 4.1.1.3-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen .....	50
Abb. 4.1.2-1:	Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	54
Abb. 4.1.2-2:	Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	55
Abb. 4.1.2-3:	Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	56

Abb. 4.1.2-4:	Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	57
Abb. 4.1.2-5:	Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	58
Abb. 4.1.2-6:	Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahr .....	59
Abb. 4.1.2-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für den korrigierten Niederschlag RK (mm) in Sachsen .....	59
Abb. 4.1.3-1:	Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer relSD (%) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	62
Abb. 4.1.3-2:	Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer relSD (%) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	63
Abb. 4.1.3-3:	Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer relSD (%) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	64
Abb. 4.1.3-4:	Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer relSD (%) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	65
Abb. 4.1.3-5:	Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer relSD (%) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	66
Abb. 4.1.3-6:	Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer relSD (%) in Sachsen für Dekaden, Jahr .....	67
Abb. 4.1.3-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die relative Sonnenscheindauer relSD (%) in Sachsen .....	67
Abb. 4.2.1-1:	Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m <sup>2</sup> ) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	71
Abb. 4.2.1-2:	Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m <sup>2</sup> ) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	72
Abb. 4.2.1-3:	Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m <sup>2</sup> ) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	73
Abb. 4.2.1-4:	Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m <sup>2</sup> ) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	74
Abb. 4.2.1-5:	Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m <sup>2</sup> ) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	75
Abb. 4.2.1-6:	Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m <sup>2</sup> ) in Sachsen für Dekaden, Jahr .....	76
Abb. 4.2.1-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Globalstrahlung GS (kWh/m <sup>2</sup> ) in Sachsen .....	76
Abb. 4.2.2-1:	Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	79
Abb. 4.2.2-2:	Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	80
Abb. 4.2.2-3:	Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	81
Abb. 4.2.2-4:	Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	82
Abb. 4.2.2-5:	Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	83
Abb. 4.2.2-6:	Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahr .....	84
Abb. 4.2.2-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die potenzielle Verdunstung ET (mm) in Sachsen .....	84
Abb. 4.2.3-1:	Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten .....	88
Abb. 4.2.3-2:	Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	89
Abb. 4.2.3-3:	Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr .....	90
Abb. 4.2.3-4:	Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten .....	91



Abb. 4.2.3-5:	Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre .....	92
Abb. 4.2.3-6:	Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahr.....	93
Abb. 4.2.3-7:	Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die klimatische Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen .....	93
Abb. 4.3.1.1-1:	Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961–1990 und 1981–2010, Jahressumme .....	96
Abb. 4.3.1.1-2:	Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Ereignistage) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961–1990 und 1981–2010, Jahressumme .....	97
Abb. 4.3.1.1-3:	Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahressumme.....	98
Abb. 4.3.1.1-4:	Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme .....	99
Abb. 4.3.1.1-5:	Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Ereignistage) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme .....	100
Abb. 4.3.1.1-6:	Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme .....	101
Abb. 4.3.1.2-1:	Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahressumme.....	103
Abb. 4.3.1.2-2:	Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden, Intensivität) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahresmittel.....	104
Abb. 4.3.1.2-3:	Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme .....	105
Abb. 4.3.1.2-4:	Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden, Intensivität) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahresmittel .....	106
Abb. 4.3.2-1:	Flächenhafte Verteilung von Starkniederschlagsereignissen R95p in Sachsen für die Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahr: Regenhöhen von Starkniederschlagsereignissen R95p (mm) (oben), kumulative Überschreitungstage von Starkniederschlagsereignissen R95p (d) (Mitte), mittlere Intensität pro Starkniederschlagsereignis R95p (mm) (unten).....	111
Abb. 4.3.2-2:	Flächenhafte Verteilung für die Änderung (%) der Überschreitungswahrscheinlichkeit von Starkniederschlagsereignissen R95p in Sachsen für 1981-2010 vs. 1961-1990, Jahreszeiten und Vegetationsperioden (Isolinien: Regenhöhen Starkniederschlagsereignis R95p in mm); Box-Whisker-Plot zu den flächenhaften Verteilungen .....	112
Abb. 4.3.2-3:	Zeitlicher Verlauf (1961-2010) der Überschreitungswahrscheinlichkeit (d-1) von Starkniederschlagsereignissen R95p für die Transekte West-Ost, Nord-Süd, Zentral und Ost in Sachsen, Sommer und Vegetationsperioden I und II; Lage der Transekte .....	113
Abb. 4.4.1-1a:	Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (TM in °C) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien) .....	116
Abb. 4.4.1-1b:	Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (in °C) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991–2000 (durchgehend) und 2001–2010 (strichliert).....	117
Abb. 4.4.1-2a:	Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) der Sonnenscheindauer (SD in min) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien) .....	120
Abb. 4.4.1-2b:	Mittlerer Tagesgang der Sonnenscheindauer (in min) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991–2000 (durchgehend) und 2001–2010 (strichliert).....	121
Abb. 4.4.1-3a:	Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (RF in %) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien) .....	123
Abb. 4.4.1-3b:	Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (in %) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert).....	124
Abb. 4.4.1-4a:	Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (FF in m/s) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien) .....	127

Abb. 4.4.1-4b:	Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (in m/s) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen (die Skalierung der Stationen Fichtelberg und Zinnwald-Georgenfeld weicht von den anderen Stationen ab), 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert).....	128
Abb. 4.4.2-1a:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Lufttemperatur (in °C) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien).....	131
Abb. 4.4.2-1b:	Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Lufttemperatur (in °C) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert) .....	132
Abb. 4.4.2-2a:	Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Sonnenscheindauer (in min) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien).....	134
Abb. 4.4.2-2b:	Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Sonnenscheindauer (SD in min) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert).....	135
Abb. 4.4.2-3a:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der relativen Feuchte (in %) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien).....	137
Abb. 4.4.2-3b:	Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der relativen Feuchte (in %) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert) .....	138
Abb. 4.4.2-4a:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Windgeschwindigkeit (in m/s) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien).....	140
Abb. 4.4.2-4b:	Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Windgeschwindigkeit (in m/s) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert) .....	141
Abb. 4.4.3-1:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Regenhöhen $\geq 0,1$ mm pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts) .....	144
Abb. 4.4.3-2:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) stündlicher Lufttemperaturen (°C) an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts) .....	146
Abb. 4.4.3-3:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) für Windgeschwindigkeiten $\geq 0,1$ m/s pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts) .....	148
Abb. 4.4.4-1:	Windrosen für sächsische Messstationen für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahr .....	151
Abb. Z1:	Mittlere Anzahl von Sommertagen ( $T_{max} > 25$ °C) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 28 Tage), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 35 Tage, d. h. +25 %).....	153
Abb. Z2:	Mittlere Intensität (mm) pro Starkregenereignis (R95p) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 24,8 mm), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 27,2 mm, d. h. +10 %) .....	154
Abb. Z3:	Änderung der Auftretenswahrscheinlichkeit ÜWKT (%) von Starkregenereignissen (R95p) 1981-2010 vs. 1961-1990 in Sachsen, links: Vegetationsperiode I (Flächenmittel: -15 %), rechts: Vegetationsperiode II (Flächenmittel: +18 %); Isolinien: Menge (mm) pro Tag für R95p, 1961-1990 .....	154
A 4.4.1-1a:	Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	157
A 4.4.1-1b:	Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	158
A 4.4.1-2a:	Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	159
A 4.4.1-2b:	Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	160
A 4.4.1-3a:	Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	161
A 4.4.1-3b:	Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	162
A 4.4.1-4a:	Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	163
A 4.4.1-4b:	Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	164
A 4.4.2-1a:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	165

A 4.4.2-1b:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	166
A 4.4.2-2a:	Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) des Schwankungsverhaltens der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	167
A 4.4.2-2b:	Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) des Schwankungsverhaltens der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	168
A 4.4.2-3a:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	169
A 4.4.2-3b:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	170
A 4.4.2-4a:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	171
A 4.4.2-4b:	Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	172
A 4.4.3-1a:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Regenhöhen $\geq 0,1$ mm pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten .....	173
A 4.4.3-1b:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Regenhöhen $\geq 0,1$ mm pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Vegetationsperioden .....	174
A 4.4.3-2a:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) stündlicher Lufttemperaturen (°C) an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten.....	175
A 4.4.3-2a:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) stündlicher Lufttemperaturen (°C) an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten.....	176
A 4.4.3-3a:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Windgeschwindigkeiten $\geq 0,1$ m/s pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten .....	177
A 4.4.3-3b:	Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Windgeschwindigkeiten $\geq 0,1$ m/s pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Vegetationsperioden .....	178
A 4.4.4-1a:	Windrosen für die Messstation Leipzig/Halle für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	179
A 4.4.4-1b:	Windrosen für die Messstation Leipzig-Holzhausen für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	180
A 4.4.4-1c:	Windrosen für die Messstation Görlitz für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	181
A 4.4.4-1d:	Windrosen für die Messstation Dresden-Klotzsche für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	182
A 4.4.4-1e:	Windrosen für die Messstation Chemnitz für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	183
A 4.4.4-1f:	Windrosen für die Messstation Plauen für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre .....	184
A 4.4.4-1g:	Windrosen für die Messstation Fichtelberg für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	185
A 4.4.4-1h:	Windrosen für die Messstation Zinnwald-Georgenfeld für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre.....	186
A 4.4.4-2a:	Windrosen für die Messstation Leipzig/Halle für 1991-2000, Monate .....	187
A 4.4.4-2b:	Windrosen für die Messstation Leipzig-Holzhausen für 1991-2000, Monate.....	188
A 4.4.4-2c:	Windrosen für die Messstation Görlitz für 1991-2000, Monate.....	189
A 4.4.4-2d:	Windrosen für die Messstation Dresden-Klotzsche für 1991-2000, Monate.....	190



A 4.4.4-2e:	Windrosen für die Messstation Chemnitz für 1991-2000, Monate.....	191
A 4.4.4-2f:	Windrosen für die Messstation Plauen für 1991-2000, Monate.....	192
A 4.4.4-2g:	Windrosen für die Messstation Fichtelberg für 1991-2000, Monate .....	193
A 4.4.4-2h:	Windrosen für die Messstation Zinnwald-Georgenfeld für 1991-2000, Monate.....	194

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1-1:	Übersicht zur verwendeten meteorologischen Datengrundlage .....	12
Tab. 2.2.1-1:	Koeffizienten der Niederschlags-Korrekturfunktion in Abhängigkeit von der Niederschlagsart, der Horizontabschirmung und der Geschütztheit der Messstation (aus RICHTER 1995) .....	13
Tab. 2.2.1-2:	Grenzwerte der Lufttemperatur (TM) zur Unterscheidung von Niederschlagsarten .....	13
Tab. 2.3.1-1:	Einteilung der Stationen .....	15
Tab. 3.5-1:	Darstellung verwendeter Bezugszeiträume.....	26
Tab. 4.3.2-1:	Anzahl der Überschreitungstage für Starkniederschlagsereignisse R95p für 30 Jahre (kumulativ, 1961–1990) und Durchschnitt pro Jahr .....	107
Tab. Z1:	Flächenmittel für Klimaelemente und -größen nach Mittelungszeiträumen in Sachsen .....	153

# 1 Einleitung

Seit ca. 15 Jahren betreibt der Freistaat Sachsen eine intensive Erforschung der regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels. Begleitet wurde dies durch eine Vielzahl von wissenschaftlichen Projekten. Stellvertretend ist in diesem Zusammenhang die vom SMUL herausgegebene Publikation „Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse“ (BERNHOFER et al. 2008) zu nennen. Die vorliegende Arbeit hat eine inhaltliche, methodische und zeitliche Fortschreibung dieser Publikation zum Anliegen, wobei die Grundlage eine erweiterte (so mit verbesserte) Datenbasis bildet.

Mit dem Abschluss der aktuellen Klimanormalperiode 1981–2010 und den intensiven Bemühungen des Deutschen Wetterdienstes zur digitalen Bereitstellung historischer Messreihen existiert für den Zeitraum 1961–2010 ein erweiterter Datensatz aus Tageswerten, dessen klimatologische Auswertung zum verbesserten Verständnis rezenter Klimavariabilität im Freistaat Sachsen beiträgt. Neben dem Vergleich der Klimanormalperioden 1961–1990 und 1981–2010 trägt die dekadische Variabilität (1961–1970, ..., 2001–2010) zu einem verbesserten Verständnis der Nichtlinearität des Klimas und seiner Änderungen bei.

Im Dezember 2011 fand auf Initiative des SMUL ein Fachgespräch zu wetterbedingten Extremen statt. Aus dem entwickelten Fragenkatalog wurde der Aspekt Starkniederschlagsverhalten herausgegriffen und bearbeitet. Die flächenhaften Aussagen hierzu konnten auf der Grundlage hoch aufgelöster Rasterdaten erreicht werden. Für eine internationale Vergleichbarkeit wurden weiterhin bestimmte WMO-Indizes für Sachsen flächenhaft berechnet.

Infolge der auf den Zeitraum 1991–2010 begrenzten Verfügbarkeit von Stundendaten konnte für diese 20 Jahre ein breiteres Methodenspektrum verwendet werden, das bereits mit zahlreichen neuen Einsichten verbunden ist.

Die erzielten Ergebnisse zur rezenter Klimavariabilität sind stets vor dem Hintergrund einer geänderten atmosphärischen Zirkulation zu bewerten. Neben geänderter Aufttrittshäufigkeiten für Wetterlagen ist hier auch eine geänderte Charakteristik innerhalb von Wetterlagen ausschlaggebend.

Die vorliegende Arbeit enthält eine zu Kernaussagen komprimierte Zusammenfassung.

Zur Darstellung der flächenhaften Verteilungen für Klimaelemente und -größen (Kapitel 4.1, 4.2) wurden die Legenden (Farbkreise) so gewählt, dass die Unterschiede zwischen innerjährlichen Bezugszeiträumen (z. B. Jahreszeiten) vordergründig visuell zugänglich sind. Dies kann in Einzelfällen zu Einschränkungen bei der Betrachtung von Bezugszeiträumen für Mittelungszeiträume (Klimanormalperioden, Dekaden) führen. Daher sind die flächenhaften Verteilungen zusätzlich als Box-Whisker-Plots abgebildet, die den Wertebereich und die Werteverteilung grafisch darstellen.



# 2 Meteorologische Datenbasis

## 2.1 Grunddaten

Die Grunddaten für die vorliegende Arbeit bestehen aus gemessenen Zeitreihen mit Tages- und Stundenwerten für Klimaelemente.

Der Datensatz mit Tageswerten steht über das Regionale Klimainformationssystem ReKIS ([www.rekis.org](http://www.rekis.org); BERNHOFER et al. 2013) zur Verfügung und wurde von dort bezogen. Die Rohdaten lieferte der Deutsche Wetterdienst ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)) auf der Grundlage einer bestehenden Vereinbarung mit dem Freistaat Sachsen. Die Daten sind mit Zeitreihen grenznaher tschechischer Messstationen ergänzt, welche vom Tschechischen Hydro-Meteorologischen Dienst (*engl.* CHMI, [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)) zur Verfügung gestellt wurden. Die Zeitreihen sind auf Plausibilität der Wertebereiche und auf Homogenität geprüft (BERNHOFER et al. 2013). Im ReKIS-Portal für den Daten-Download steht eine Dokumentation der Datenverfügbarkeit zur Verfügung. Dargestellt sind hier die Anzahl von Messstationen für Klimaelemente und abgeleiteter bzw. komplexer Klimagrößen in Tages-schritten. In Kapitel 2.2 sind die Berechnungsvorschriften zur Ableitung von Klimagrößen aufgeführt.

Die Zeitreihen mit 1-h-Werten wurden vom Deutschen Wetterdienst über das Portal WebWerdis (<https://werdis.dwd.de/werdis>) bezogen. In Kapitel 2.3 wird die Aufbereitung inkl. Datenverfügbarkeit des Datensatzes besprochen.

In Tabelle 2.1-1 sind die verwendeten Grunddaten inkl. des Datenverfügungszeitraums dargestellt.

**Tab. 2.1-1: Übersicht zur verwendeten meteorologischen Datengrundlage**

Element	Symbol	Einheit	Tageswerte	Stundenwerte	Messung
Lufttemperatur Maximum	TX				
Lufttemperatur Mittel	TM	(°C)	01.01.1961 – 31.12.2010	01.01.1991 – 31.12.2010	2 m ü. EOF
Lufttemperatur Minimum	TN				
relative Luftfeuchte	RF	%		01.01.1991 – 31.12.2010	
Niederschlag, korrigiert	RK	(mm)	01.01.1961 – 31.12.2010		1 m ü. EOF
Niederschlag	RR			01.01.1991 – 31.12.2010	
Sonnenscheindauer	SD	(h)	01.01.1961 – 31.12.2010		im Tages- und Jahresgang unbeschattet
Bedeckungsgrad	NN	(Achtel)		01.01.1991 – 31.12.2010	
Windgeschwindigkeit	FF	(m/s)			10 m ü. EOF
Windrichtung	FD	(deg)			

## 2.2 Berechnung abgeleiteter und komplexer Klimagrößen für Tageswerte

### 2.2.1 Korrektur des windbedingten Messfehlers für den Niederschlag

Bei der Messung des Niederschlages treten Verluste unterschiedlichen Ursprungs auf. Einen großen Anteil daran hat der windbedingte Messfehler. Dieser wurde für Tagessummen nach RICHTER (1995) korrigiert. Die Korrektur empfiehlt sich insbesondere für wasserhaushaltsrelevante Untersuchungen. Der korrigierte Niederschlag  $RK$  berechnet sich, unter Verwendung der in den Tabellen 2.2.1-1 und 2.2.1-2 angegebenen Parameter, durch

$$RK = RR + b \cdot RR^\epsilon \quad (\text{mm}).$$

$RR$  gemessener Niederschlag (mm)  
 $b, \epsilon$  Koeffizienten <sup>1</sup> der Korrekturfunktion

**Tab. 2.2.1-1: Koeffizienten der Niederschlags-Korrekturfunktion in Abhängigkeit von der Niederschlagsart, der Horizontabschirmung und der Geschützttheit der Messstation (aus RICHTER 1995)**

Horizontabschirmung N	Koeffizient b				Koeffizient $\epsilon$
	2°	5°	9,5°	16°	
effektive Horizontabschirmung <sup>2</sup> N'	$\leq 3^\circ$	$3^\circ < H' \leq 7^\circ$	$7^\circ < H' \leq 12^\circ$	$> 12^\circ$	
Stationslage	frei	leicht geschützt	mäßig geschützt	stark geschützt	
<b>Niederschlagsart <sup>3</sup></b>					
Regen (Sommerhalbjahr)	0,345	0,31	0,28	0,245	0,38
Regen (Winterhalbjahr)	0,34	0,28	0,24	0,19	0,46
Mischniederschlag	0,535	0,39	0,305	0,185	0,55
Schnee	0,72	0,51	0,33	0,21	0,82

**Tab. 2.2.1-2: Grenzwerte der Lufttemperatur (TM) zur Unterscheidung von Niederschlagsarten**

Niederschlagsart	Lufttemperatur TM (°C)	
	für Deutschland	für Sachsen
Regen	TM > 3,0	TM > 3,0
Mischniederschlag	$3,0 \leq TM \leq -0,7$	$3,0 \leq TM \leq -0,4$
Schnee	TM < -0,7	TM < -0,4

### 2.2.2 Ableitung der Globalstrahlung aus der Sonnenscheindauer

Die Globalstrahlung  $GS$  wurde aus der Sonnenscheindauer  $SD$  nach ANGSTRÖM (aus DVWK 1996, 2002) abgeleitet. Das Verhältnis von  $SD$  zu  $S_0$  gibt die relative Sonnenscheindauer  $relSD$  an (s. Kap. 4.1.3).

<sup>1</sup> abhängig von Niederschlagsart, Horizontabschirmung und Geschützttheit der Messstation

<sup>2</sup> effektive Horizontabschirmung N', d. h. N gewichtet mit der Windrichtungsverteilung bei Niederschlagsereignissen

<sup>3</sup> Abschätzung der Niederschlagsart mittels Grenzwerten für TM (Lufttemperatur)

$$GS = R_{ex} \cdot \left( a + b \cdot \frac{SD}{S_0} \right) \quad (\text{J/cm}^2)$$

Koeffizienten  $a = 0,19$  und  $b = 0,55$

$SD$  gemessene Sonnenscheindauer (h)

$S_0$  astronomisch mögliche Sonnenscheindauer (h)

$R_{ex}$  extraterrestrische Strahlung ( $\text{J/cm}^2$ )

$$S_0 = 12,3 + \sin \zeta \cdot \left( 4,3 + \frac{\varphi - 51,0}{6} \right)$$

$$R_{ex} = 2425 + 1735 \cdot \sin \zeta + 44 \cdot (\varphi - 51,0) \cdot (\sin \zeta - 1)$$

$$\zeta = 0,0172 \cdot JT - 1,39$$

$\zeta$  Datumsfunktion

$\varphi$  geografische Breite (Dezimalgrad)

$JT$  Tag des Jahres (1 ... 365)

In der vorliegenden Arbeit wird die Globalstrahlung  $GS$  in der Einheit ( $\text{kWh/m}^2$ ) geführt. Die Umrechnung erfolgt durch

$$(\text{kWh/m}^2) = (\text{J/cm}^2) / 360.$$

### 2.2.3 Berechnung der potenziellen Verdunstung

Für die potenzielle Verdunstung  $ET$  existieren mehrere Ansätze mit unterschiedlicher Parameteranzahl. Unter Berücksichtigung der resultierenden Datenverfügbarkeit wurde hier der Ansatz nach Turc-Wendling (aus DVWK 1996, 2002) verwendet.

$$ET = \frac{(GS + 93 \cdot f_k) \cdot (T + 22)}{150 \cdot (T + 123)} \quad (\text{mm})$$

$$\text{mit: } T = \frac{(TX + TN)}{2}$$

$GS$  Globalstrahlung ( $\text{J/cm}^2$ )

$TX$  Lufttemperatur\_Max ( $^{\circ}\text{C}$ )

$TN$  Lufttemperatur\_Min ( $^{\circ}\text{C}$ )

$f_k$  Küstenfaktor (im Küstenbereich von 50 km Breite als Mittelwert  $f_k = 0,6$ , sonst  $f_k = 1$ )

### 2.2.4 Berechnung der klimatischen Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz  $KWB$  wird auch als potenzielles Wasserdargebot bezeichnet und stellt eine integrative Wasserhaushaltsgröße dar. Die Berechnung erfolgt aus dem korrigierten Niederschlag (s. Kap. 2.2.1) und der potenziellen Verdunstung (s. Kap. 2.2.3).

$$KWB = RK - ET \quad (\text{mm})$$

*RK* korrigierter Niederschlag (mm)

*ET* potentielle Verdunstung (mm)

## 2.3 Aufbereitung von Stundendaten

### 2.3.1 Datenverfügbarkeit und Plausibilität

Für Sachsen wurden die stündlich aufgelösten Zeitreihen der Klimaelemente an den in Tabelle 2.3.1-1 aufgeführten Messstationen ausgewertet. Darüber hinaus wurden auch außerhalb Sachsens liegende Messstationen einbezogen.

**Tab. 2.3.1-1: Einteilung der Stationen**

Station	Seehöhe [m ü. NN]	Naturraum
Leipzig-Halle	131	Tiefland
Leipzig Holzhausen	138	
Görlitz	238	Mittelgebirgsvorland
Dresden-Klotzsche	227	
Chemnitz	418	unteres Bergland
Plauen	386	
Fichtelberg	1213	Kamm- und Gipfellagen
Zinnwald-Georgenfeld	877	

In einem ersten Schritt wurden die Stundendaten auf Plausibilität in den Wertebereichen der Klimaelemente untersucht. Als Fehlwerte gekennzeichnete Werte der Sonnenscheindauer, welche eindeutig vor Sonnenaufgang und nach Sonnenuntergang lagen (in der Nacht), wurden durch den Wert 0 ersetzt. Die Zeitschritte der Datensätze beziehen sich auf die koordinierte Weltzeit UTC, was bei der Analyse mittlerer Tagesgänge, insbesondere bei der Sonnenscheindauer, zu beachten ist (s. Kap. 2.3.3). In einem zweiten Schritt wurde die Datenverfügbarkeit für Mittelungs- und Bezugszeiträume (s. Kap. 3.5) analysiert.

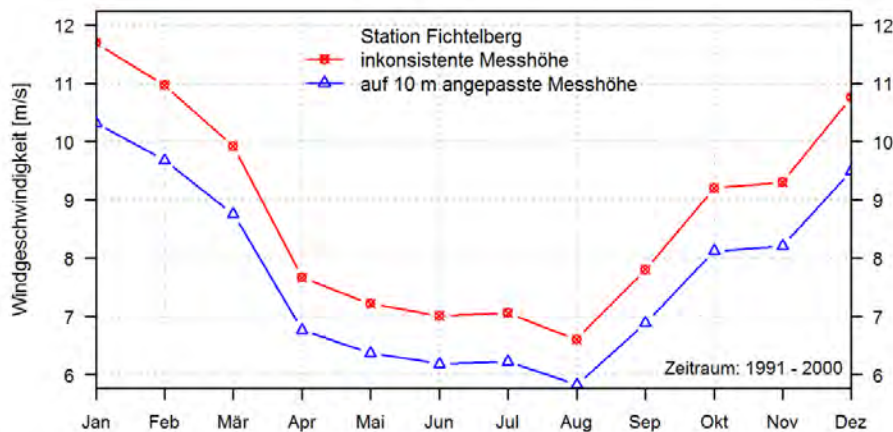
### 2.3.2 Windmessungen

Aufgrund inkonsistenter Messhöhen für die Windgeschwindigkeit wurden diese auf die standardisierte Messhöhe von 10 m über der Geländeoberfläche umgerechnet. Dies erfolgte unter Annahme eines logarithmischen Windprofils.

$$FF(h_1) = FF(h_2) \cdot \frac{\ln\left(\frac{h_1 - d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_2 - d}{z_0}\right)}$$

Dabei ist  $FF$  die Windgeschwindigkeit, welche als Messung in der Höhe  $h_1$  vorliegt und auf eine Höhe von  $h_2 = 10$  m umgerechnet wird. Im gewählten Ansatz wird eine Rauigkeitshöhe  $z_0$  von 0,02 m (entspricht einem Wert für Gras) und eine Verdrängungshöhe  $d$  von 0,1 m verwendet. In Abbildung 2.3.2-1 ist der Unterschied

im mittleren Jahrgang für berechnete Monatsmittelwerte exemplarisch für die Messstation Fichtelberg dargestellt.



**Abb. 2.3.2-1: Mittlerer Jahrgang der Windgeschwindigkeit (m/s) für inkonsistente Messhöhen und normiert auf eine Höhe von 10 m über Geländeoberfläche. Die exemplarisch dargestellten Monatsmittelwerte basieren auf Stundendaten der Station Fichtelberg.**

### 2.3.3 Darstellung der koordinierten Weltzeit UTC

Die koordinierte Weltzeit (engl.: Coordinated Universal Time, kurz UTC) entspricht einer Referenzzeit, welche anders als die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) nicht in Sommer- und Winterzeit unterscheidet. Zeiten verschiedener Zeitzonen der Erde lassen sich anhand der UTC ableiten. So entspricht die Zeit mitteleuropäischer Staaten (z. B. Deutschland) der UTC plus eine (Winterzeit) bzw. zwei zusätzliche Stunden (Sommerzeit).

### Berechnung der mittleren Tageslänge unter Nutzung der Sonnenzeit

Die Zeitspanne zwischen solarer Mittagszeit bis zum Erreichen einer bestimmten Horizzonhöhe  $h$  kann für einen Ort der geografischen Breite  $\varphi$  und in Abhängigkeit des jeweiligen Tages im Jahr mit Hilfe der unten genannten Formeln berechnet werden (alle Winkelangaben in Bogenmaß). Dabei ist  $\delta$  die Deklination der Sonne, welche vereinfacht den Breitengrad angibt, in welchem die Sonne in Abhängigkeit des Kalendertages DOY im Zenit steht.

$$\delta = 0,4095 \cdot \sin(0,016906 \cdot [DOY \cdot 80,086])$$

$$\Delta t = 12 \cdot \frac{\cos^{-1} \left( \frac{\sin(h) - \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta)} \right)}{\pi}$$

### Berechnung des Zeitpunktes von Sonnenauf- und Sonnenuntergang

Zur Berechnung des Zeitpunktes von Sonnenauf- und Sonnenuntergang wird mit einer geometrischen Horizzonhöhe  $h$  von -50 Bogenminuten gerechnet, die einem Winkel von -0,0145 rad entspricht ( $-50/60^\circ = -0,833^\circ$ ). Die gewählte Horizzonhöhe berücksichtigt die Beugung des Lichtes in der Atmosphäre, besonders während der Dämmerung, wenn die Sonne rein geometrisch schon untergegangen ist. Somit ergibt sich die Uhrzeit des Sonnenaufgangs aus der Differenz von solarer Mittagszeit und  $\Delta t$  und die Uhrzeit des Sonnenuntergangs aus der Summe von Mittagszeit und  $\Delta t$ . Zu beachten ist hier, dass in wahre und mittlere Ortszeit unterschieden werden kann. Die wahre Ortszeit entspricht dabei dem Lauf der Sonne. Weil die Zeit zwischen zwei Mittagern bzw. die Länge jedes Tages exakt 24 Stunden betragen soll, es jedoch solch eine exakte Re-

gelmäßigkeit in der Erdumlaufbahn und -rotation nicht gibt, wird zusätzlich in mittlere Ortszeit (MOZ) unterschieden. Die Abweichung der wahren Sonnenzeit zur gleichmäßigen mittleren Ortszeit kann bis zu 15 Minuten betragen. Die unten angegebene Näherungsformel der Zeitgleichung (ZG) dient der Berechnung der Abweichung zwischen wahrer und mittlerer Ortszeit. Sie ist Resultat einer Parameteroptimierung an die Zeitreihe 2008-2027 nach BARMETTLER (2013).

$$ZG = WOZ - MOZ = -0,171 \cdot \sin(0,0337 \cdot DOY + 0,465) - 0,1299 \cdot \sin(0,01787 \cdot DOY - 0,168)$$

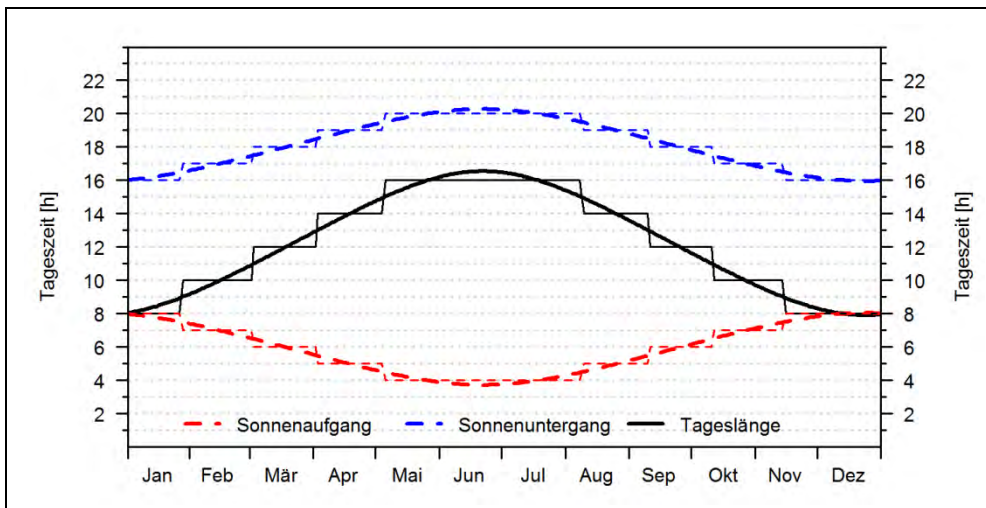
$$\text{Sonnenaufgang (WOZ)}[h] = 12 - \Delta t$$

$$\text{Sonnenaufgang (MOZ)}[h] = \text{Sonnenaufgang (WOZ)} + ZG$$

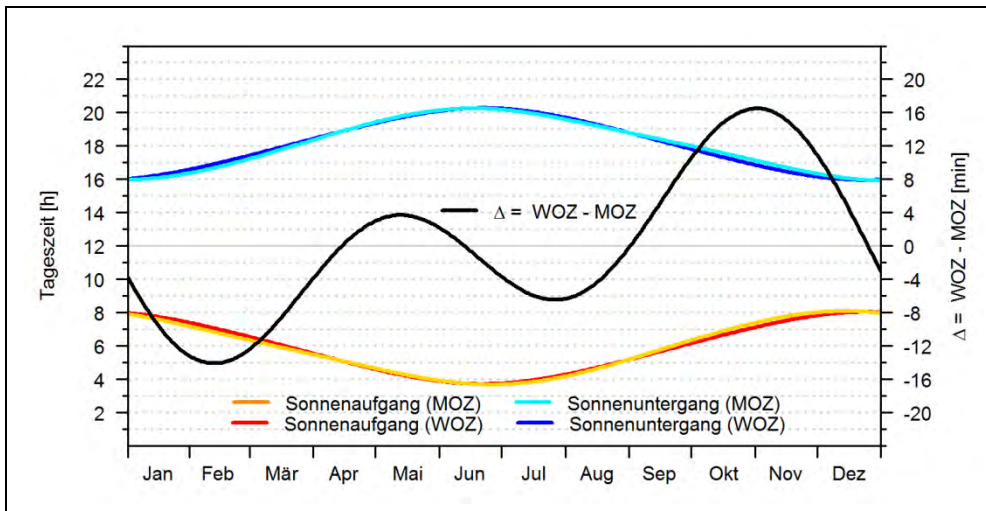
$$\text{Sonnenuntergang (WOZ)} [h] = 12 + \Delta t$$

$$\text{Sonnenuntergang (MOZ)}[h] = \text{Sonnenuntergang (WOZ)} + ZG$$

Weil die Auflösung der genutzten Daten nur die volle Stunde betrifft, wurden die Ergebnisse entsprechend auf bzw. abgerundet, wie anhand der Stufenfunktion in Abbildung 2.3.3-1 zu sehen ist. Die Ergebnisse beziehen sich wie die Messdaten auf die koordinierte Weltzeit UTC, die anders als die in Sachsen verwendete mitteleuropäische Zeit (MEZ) nicht zwischen Sommer- und Winterzeit unterscheidet. Es ist möglich, dass sich die Datengrundlage sowohl auf die mittlere als auch die wahre Ortszeit bezieht. Bei einem Vergleich des Tagesverlaufes der Sonnenscheindauer für verschiedene Zeiträume sollte daher darauf geachtet werden, dass mögliche Abweichungen auch aus unterschiedlichen Zeitbezügen resultieren können. Den jahreszeitlichen Verlauf von Tageslänge, Sonnenauf- und Sonnenuntergang sowie die Abweichungen zwischen WOZ und MOZ zeigen Abbildung 2.3.3-1 und Abbildung 2.3.3-2:



**Abb. 2.3.3-1: Jahresgang Tageslänge sowie Sonnenauf- und Sonnenuntergang. Die Zeitangaben beziehen sich auf UTC-Sonnenzeit und die Treppenfunktion zeigt die auf- und abgerundete Zeit auf volle Stunden.**



**Abb. 2.3.3-2: Jahresgang von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang nach koordinierter Weltzeit UTC für mittlere Ortszeit (MOZ) und wahre Ortszeit (WOZ).**

### 3 Methodik der Datenverarbeitung

#### 3.1 Erzeugung von GIS-kompatiblen Rasterdaten

Die in den Kapiteln 4.1 und 4.2 diskutierten flächenhaften Verteilungen für Klimaelemente und abgeleiteten bzw. komplexen Klimagrößen wurden mittels Residuen-Interpolation von räumlichen Stichproben (Stützstellen) erzeugt (s. BERNHOFER et al. 2013). Die erzeugten Rasterdaten wurden in das GIS-kompatible Grid-Ascii-Format (\*.asc) geschrieben. Den flächenhaften Verteilungen liegt ein 1 x 1-km-Raster zu Grunde. Datengrundlage sind Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Das Interpolationsverfahren verwendet die zeitlich aggregierte Datengrundlage (s. Kap. 3.5) als Stützstellen, wobei hierfür nur Werte mit einer 90 %-(Mittelwertbildung, z. B. Temperatur) bzw. 95 %-(Summierung, z. B. Niederschlag) Datenverfügbarkeit verwendet wurden.

Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.

#### 3.2 Erzeugung von Zeitreihen für 1 x 1-km-Rasterzellen

Ziel der vorliegenden Arbeit war u. a., WMO-Indizes (s. Kap. 3.3, 4.3.1) und das Starkniederschlagsverhalten (s. Kap. 3.4, 4.3.2) flächenhaft für Sachsen zu untersuchen. Hierfür wurden Zeitreihen mit Tageswerten für 1 x 1-km-Rasterzellen (sog. Pseudostationen) mittels Interpolation erzeugt.

In einem ersten Schritt wurden für den Zeitraum 1961–2010 GIS-kompatible Rasterdaten mittels des Web-basierten Interpolations-Tools RaKliDa ([www.rekis.org](http://www.rekis.org); BERNHOFER et al. 2013) für Tagesschritte erzeugt. Für



den korrigierten Niederschlag RK steht dieser Rasterdatensatz, inkl. Dokumentation, über das Regionale Klimainformationssystem ReKIS ([www.rekis.org](http://www.rekis.org); BERNHOFER et al. 2013) zur Verfügung. Am Ende des Kapitels sind Ergebnisse von Plausibilitätstests für diesen Datensatz aufgeführt. Als Interpolationsmethode für RK wurde das Indikator-Kriging angewendet. Die Methode war so konfiguriert, dass die Niederschlagsfelder mit Regenmengen  $\geq 0,1$  mm mit einer Wahrscheinlichkeit  $\geq 75$  % ausgewiesen wurden. Die Datengrundlage zur Berechnung der temperaturabgeleiteten WMO-Indizes wurde mittels der Residuen-Interpolation (BERNHOFER et al. 2013) erzeugt.

In einem zweiten Schritt wurden aus den chronologischen Grid-Ascii-Daten Zeitreihen mit Tageswerten im Zeitraum vom 01.01.1961 bis 31.12.2010 für lagekongruente Rasterzellen (Pseudostationen) extrahiert. Die flächenhaften Aussagen für Sachsen setzen sich demnach aus den jeweiligen Berechnungsergebnissen aus den Zeitreihen von ca. 20.000 Pseudostationen zusammen. Für die Extrahierung wurde das Extrahierungstool ExtRa (FRANKE 2013) verwendet.

Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. Unter anderem ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.

### Ergebnisse von Plausibilitätstests für den Rasterdatensatz des korrigierten Niederschlags RK

Zur Bewertung der Plausibilität von berechneten Rasterdaten für Tageswerte wurden folgende Analysen durchgeführt:

- Korrelation zwischen lagekorrespondierendem RaKliDa-Input (Stützstellen) und RaKliDa-Output (Schätzung) für Tagessummen (Abb. 3.2-1)
- Abweichungen mittlerer Jahregänge auf Basis von Monatswerten (aus Tagessummen aggregiert) zwischen RaKliDa-Input und RaKliDa-Output (Abb. 3.2-2)
- Distanzabhängige Korrelationsanalyse des RaKliDa-Outputs für Tagessummen (Abb. 3.2-3)

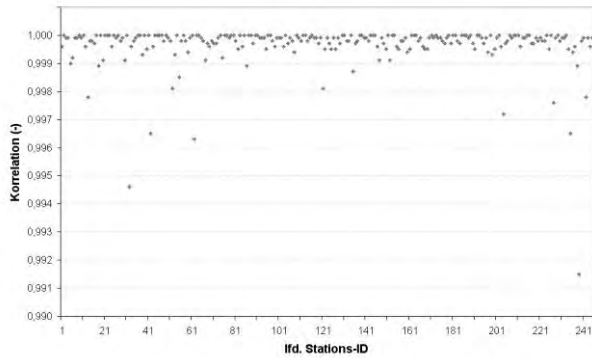
Die Korrelation wurde mittels des Koeffizienten nach Pearson  $r_{ij}$  mit

$$r_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_i(t) - \bar{x}_i) \cdot (x_j(t) - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_i(t) - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (x_j(t) - \bar{x}_j)^2}}$$

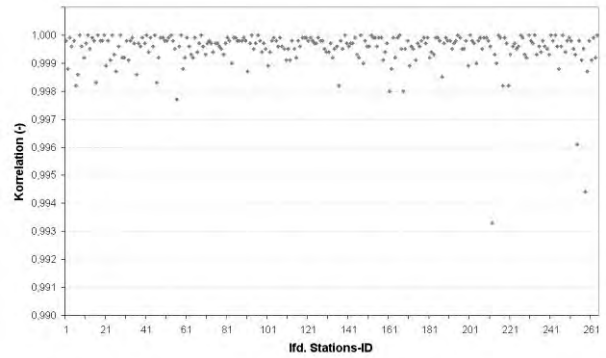
$t$	Laufindex über Tage
$x_i$	Argument der Zeitreihe $i$ am Tag $t$ (in Elementeinheit)
$x_j$	Argument der Zeitreihe $j$ am Tag $t$ (in Elementeinheit)
$\bar{x}_i$	Mittelwert über $x_i$
$\bar{x}_j$	Mittelwert über $x_j$

berechnet und im Fall der distanzabhängigen Korrelationsanalyse, abhängig von der euklidischen Distanz  $h_{ij}$ , aufgetragen. Die Korrelationswolke stellt eine Punktwolke über alle Stützstellenpaare (pairs)  $N$  (für  $n$  Stützstellen existieren  $N = n(n-1)/2$  Stützstellenpaare) dar, die aus Euklidischer Distanz  $h_{ij}$  und  $r_{ij}$   $[h_{ij}; r_{ij}]$  des Stützstel-

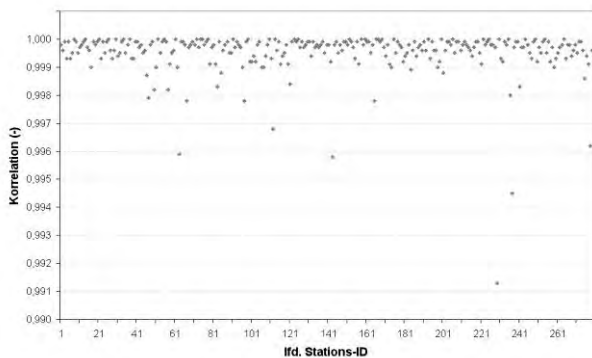
lenpaares  $[i,j]$  abgebildet wird. Die Euklidische Distanz (Abstand) wird aus den Gauß-Krüger-Koordinaten berechnet. Die Darstellung der Wolke erfolgt gemittelt auf die Mitte von Entfernungsklassen. Die Korrelation stellt ein Maß für die Stärke und Richtung des linearen Zusammenhangs der Zeitreihen für zwei Rasterzellen  $i$  und  $j$  im Zeitraum  $T$  dar. Der Wertebereich von  $r$  liegt zwischen -1 und 1, wobei Werte  $< 0$  eine negative und Werte  $> 0$  eine positive Korrelation bedeuten und bei einem Wert von  $= 0$  keine Korrelation vorliegt. Eine negative Korrelation bedeutet in diesem Zusammenhang, dass kleine  $x_i$ -Werte des Niederschlags vorwiegend großen  $x_j$ -Werten entsprechen und umgekehrt. Bei einer positiven Korrelation entsprechen große  $x_i$ -Werte auch vorwiegend großen  $x_j$ -Werten und umgekehrt.



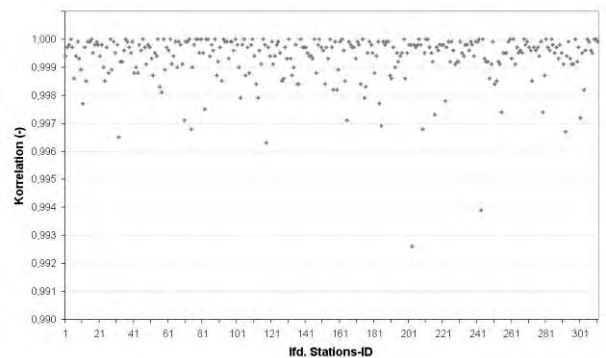
a) 1961–1970



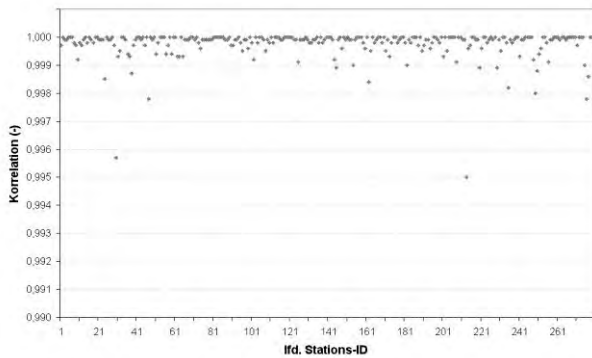
b) 1971–1980



c) 1981–1990

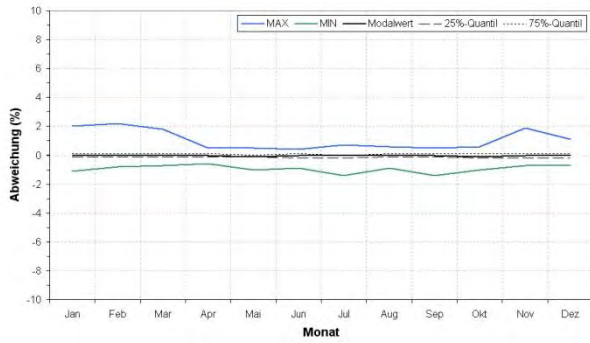


d) 1991–2000

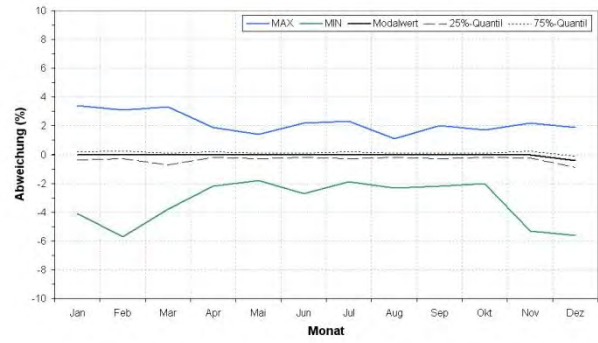


e) 2001–2010

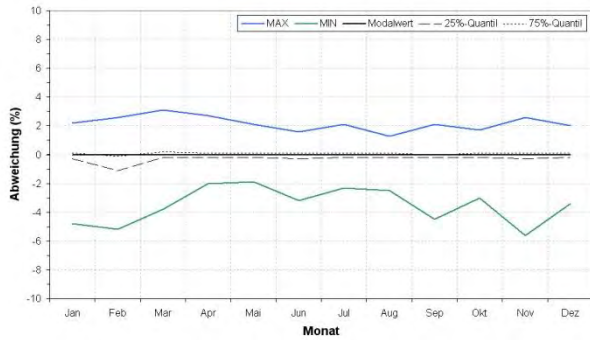
Abb. 3.2-1: Korrelation zwischen lagekorrespondierendem RaKliDa-Input und RaKliDa-Output



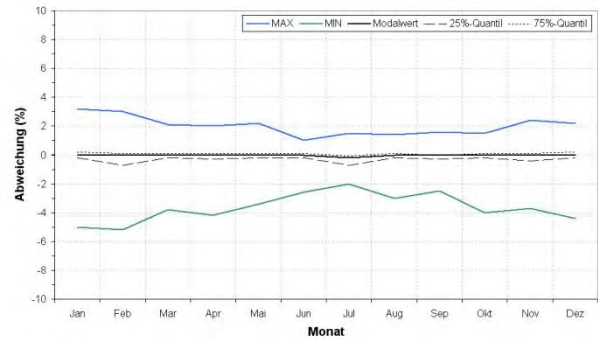
a) 1961–1970 (betrifft 72 Stationen)



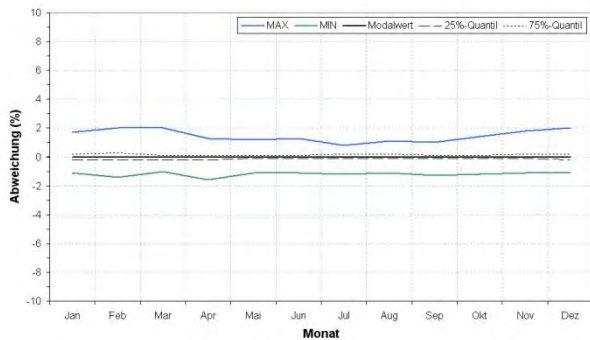
b) 1971–1980 (betrifft 151 Stationen)



c) 1981–1990 (betrifft 185 Stationen)

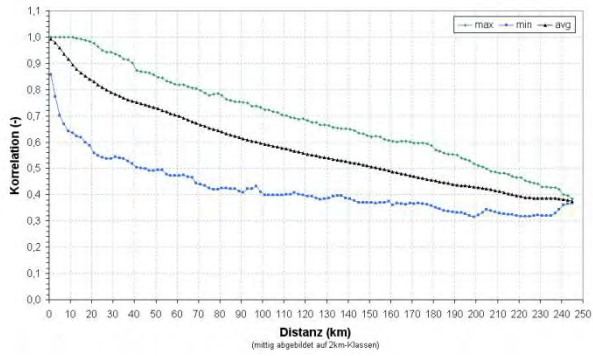


d) 1991–2000 (betrifft 192 Stationen)

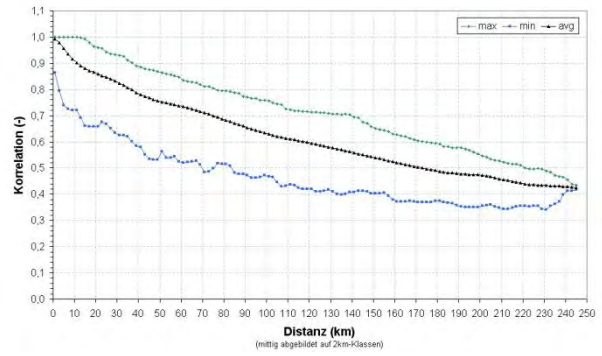


e) 2001–2010 (betrifft 61 Stationen)

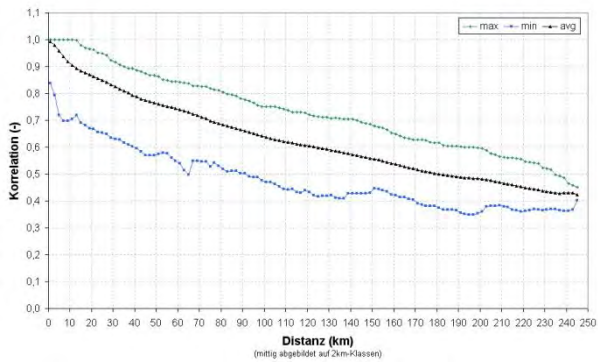
**Abb. 3.2-2: Abweichung mittlerer Jahrgänge auf Basis von Monatssummen (aus Tagessummen aggregiert) zwischen RaKliDa-Input und RaKliDa-Output, dargestellt ist der Unterschied (Output minus Input) als prozentualer Anteil des Inputs, Auswahlkriterium: 100%ige Datenverfügbarkeit bei Input**



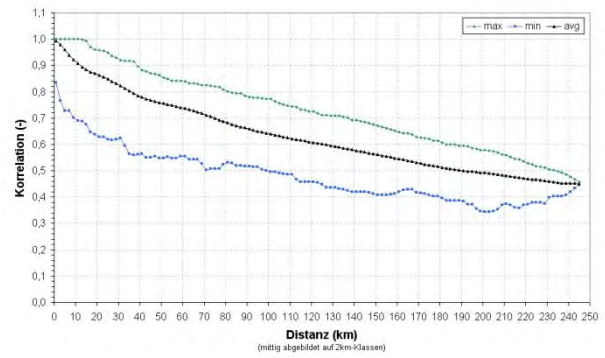
a) 1961–1970



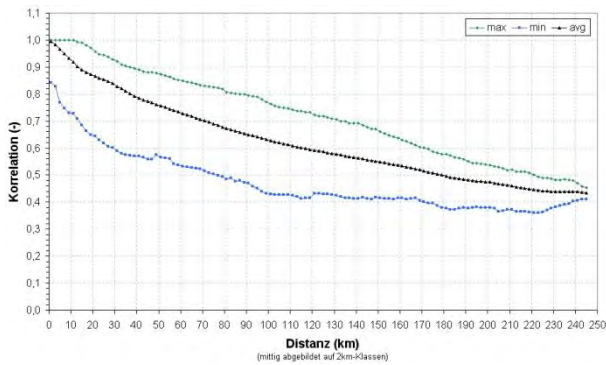
b) 1971–1980



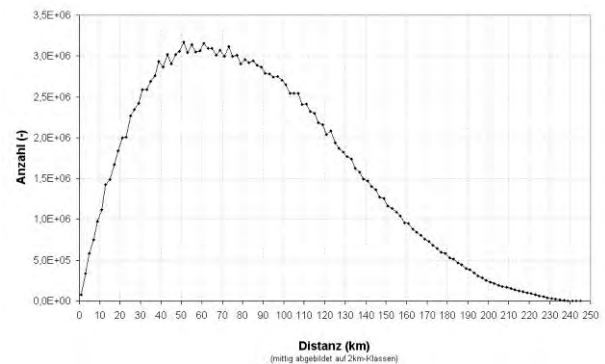
c) 1981–1990



d) 1991–2000



e) 2001–2010



f) Rasterzellenpaare (Basis: 19.572 Rasterzellen)

Abb. 3.2-3: Raum-zeitlicher Zusammenhang des RaKliDa-Outputs mittels distanzabhängiger Korrelationsanalyse: Zeitreihenkorrelation zwischen Rasterzellenpaaren (a bis e), Anzahl von Rasterzellenpaaren (f)

### 3.3 WMO-Indizes

Die Indizes wurden von der WMO als empfohlene Komplexgrößen eingeführt, um eine Basis zur gebietsübergreifenden Vergleichbarkeit zu schaffen. Die Nummerierung der Indizes erfolgt anhand der Nummerierung der WMO-Kern-Indizes. Die Indizes 4, 5, 20, 21 und 22 werden nicht untersucht. Schalttage werden in den Untersuchungen für die Indizes 6–9 nicht berücksichtigt.

i...Tag, j...Jahr

1. FD (*eng: Number of frost days*), Anzahl der Frosttage: jährliche Anzahl der Tage, an denen die minimale Temperatur  $0\text{ °C}$  unterschreitet

$$TN_{ij} < 0\text{ °C}$$

2. SU (*eng: Number of summer days*), Anzahl der Sommertage: jährliche Anzahl der Tage, an denen die maximale Temperatur  $25\text{ °C}$  überschreitet

$$TX_{ij} > 25\text{ °C}$$

3. ID (*eng: Number of icing days*), Anzahl der Eistage: jährliche Anzahl der Tage, an denen die maximale Temperatur den Wert von  $0\text{ °C}$  nicht erreicht oder überschreitet

$$TX_{ij} < 0\text{ °C}$$

10. TN10p (*eng: Percentage of days, when TN < 10<sup>th</sup> percentile*): Prozentsatz der Tage, an denen die Minimumtemperatur das 10te-Perzentil der langjährigen Reihe der Minimumtemperaturen unterschreitet. Das 10te-Perzentil der langjährigen Reihe wird durch Berücksichtigung aller 5-Punkt-geglätteten Tageswerte für jeden Tag gebildet. Für die ersten zwei und die letzten zwei Tage der langjährigen Zeitreihe stehen für die 5-Punkt-Glättung ein beziehungsweise zwei Werte weniger zur Verfügung.

$$TN10p = \frac{100\%}{n} \cdot \sum_{i=1}^n TN_i$$

$$\text{wenn } TN_{ij} < TN_{in}10$$

$$\text{mit } TN_{in}10 = p_i(0,1; \left[ \frac{TN_{i-2,j} + TN_{i-1,j} + TN_{i,j} + TN_{i+1,j} + TN_{i+2,j}}{5} \right])$$

11. TX10p (*eng: Percentage of days when TX < 10<sup>th</sup> percentile*): Prozentsatz der Tage, an denen die Maximumtemperatur das 10te-Perzentil der langjährigen Reihe der Maximumtemperaturen unterschreitet. Das 10te-Perzentil der langjährigen Reihe wird durch Berücksichtigung aller 5-Punkt-geglätteten Tageswerte für jeden Tag gebildet. Für die ersten zwei und die letzten zwei Tage der langjährigen Zeitreihe stehen für die 5-Punkt-Glättung ein beziehungsweise zwei Werte weniger zur Verfügung.

$$TX10p = \frac{100\%}{n} \cdot \sum_{i=1}^n TX_i$$

$$\text{wenn } TX_{ij} < TX_{in}10$$

$$\text{mit } TX_{in}10 = p_i(0,1; \left[ \frac{TX_{i-2,j} + TX_{i-1,j} + TX_{i,j} + TX_{i+1,j} + TX_{i+2,j}}{5} \right])$$

12. TN90p (*eng: Percentage of days when TN > 90<sup>th</sup> percentile*): Prozentsatz der Tage, an denen die Minimumtemperatur das 90te-Perzentil der langjährigen Reihe der Minimumtemperaturen überschreitet. Das 90te-Perzentil der langjährigen Reihe wird durch Berücksichtigung aller 5-Punkt-geglätteten Tageswerte für jeden Tag gebildet. Für die ersten zwei und die letzten zwei Tage der langjährigen Zeitreihe stehen für die 5-Punkt-Glättung ein beziehungsweise zwei Werte weniger zur Verfügung.

$$TN90p = \frac{100\%}{n} \cdot \sum_{i=1}^n TN_i$$

$$\text{wenn } TN_{ij} < TN_{in} 90$$

$$\text{mit } TN_{in} 90 = p_i(0,9; \left[ \frac{TN_{i-2,j} + TN_{i-1,j} + TN_{i,j} + TN_{i+1,j} + TN_{i+2,j}}{5} \right])$$

13. TX90p (*eng: Percentage of days when TX > 90<sup>th</sup> percentile*): Prozentsatz der Tage, an denen die Maximumtemperatur das 90te-Perzentil der langjährigen Reihe der Maximumtemperaturen überschreitet. Der 90te-Perzentil der langjährigen Reihe wird durch Berücksichtigung aller 5-Punkt-geglätteten Tageswerte für jeden Tag gebildet. Für die ersten zwei und die letzten zwei Tage der langjährigen Zeitreihe stehen für die 5-Punkt-Glättung ein beziehungsweise zwei Werte weniger zur Verfügung.

$$TX90p = \frac{100\%}{n} \cdot \sum_{i=1}^n TX_i$$

$$\text{wenn } TX_{ij} < TX_{in} 90$$

$$\text{mit } TX_{in} 90 = p_i(0,9; \left[ \frac{TX_{i-2,j} + TX_{i-1,j} + TX_{i,j} + TX_{i+1,j} + TX_{i+2,j}}{5} \right])$$

14. WSDI (*eng: Warm spell duration index*), Index für die Dauer von Wärmeperioden: jährliche Anzahl der Tage mit mindestens sechs aufeinanderfolgenden Tagen, an denen die Maximumtemperatur das 90te-Perzentil der langjährigen Reihe der Maximumtemperaturen überschreitet

$$TX_{ij} > TX_{in} 90$$

15. CSDI (*eng: Cold spell duration index*), Index für die Dauer von Kälteperioden: jährliche Anzahl der Tage mit mindestens sechs aufeinanderfolgenden Tagen, an denen die Minimumtemperatur das 10te-Perzentil der langjährigen Reihe der Minimumtemperaturen unterschreitet

$$TN_{ij} < TN_{in} 10$$

19. SDII (*eng: Simple precipitation intensity index*), einfacher Niederschlagsintensivitätsindex: mittlerer Tageswert des Niederschlages für Tage, für  $RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$  mit  $W$  als Anzahl der feuchten Tage

$$SDII_j = \frac{1}{W} \cdot \sum_{i=1}^W RR_{ij}$$

23. CDD (*eng: Maximum length of dry spell*), Maximale Dauer einer Trockenperiode: maximale Anzahl aufeinanderfolgender Tage, für  $RR_{ij} < 1 \text{ mm}$

24. CWD (*eng: Maximum length of wet spell*), Maximale Dauer einer Feuchteperiode: maximale Anzahl aufeinanderfolgender Tage, für  $RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$

25. R95pTOT (eng: *Annual total PRCP when RR > 95p*): jährliche Niederschlagssumme für Tage, an denen das 95te-Perzentil der langjährigen Reihe des Niederschlages und an denen mindestens 1 mm Niederschlag fiel, überschritten wurde

$$R95p_j = \sum_{i=1}^W RR_{ij}$$

$$\text{mit } RR_{ij} > RR_{in,95}$$

26. R99pTOT (eng: *Annual total PRCP when RR > 99p*): jährliche Niederschlagssumme für Tage, an denen das 99te-Perzentil der langjährigen Reihe des Niederschlages und an denen mindestens 1 mm Niederschlag fiel, überschritten wurde

$$R99p_j = \sum_{i=1}^W RR_{ij}$$

$$\text{mit } RR_{ij} > RR_{in,99}$$

27. PRCPTOT (eng: *Annual total precipitation in wet days*): jährliche Niederschlagssumme für Tage, an denen mindestens 1 mm Niederschlag registriert wurde

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^W RR_{ij}$$

zusätzliche Größe:

HD (eng: *Number of hot days*), Anzahl der heißen Tage: jährliche Anzahl der Tage, an denen die Maximumtemperatur 30 °C überschreitet

$$TX30_{ij} > 30 \text{ °C}$$

Die Definition der Indizes erfolgt nach der World Meteorological Organization (WMO, <http://etccdi.pacificclimate.org/>). Bei den Indizes 10 bis 13 (TN10p, TX10p, TN90p, TX90p) ist nicht eindeutig definiert, in welchem Berechnungsschritt die 5-Punktglättung zu erfolgen hat. Die obenstehende Definition ist eindeutig und richtet sich nach MATTHES et al. (2010).

### 3.4 Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Starkniederschläge

Für die Untersuchungen zum Starkniederschlagsverhalten in Sachsen wurde der zeitliche Verlauf des Auftretens von Starkniederschlagsereignissen betrachtet. Als Starkniederschlag wurden Ereignisse  $\geq$  dem 95%-Perzentil (R95p; s. Kap. 3.3) für die Klimanormalperiode 1961–1990 definiert. Zur Anwendung kam eine nicht-parametrische Kernschätzung für R95p, wobei der zeitliche Verlauf als inhomogener Poisson-Prozess aufgefasst wurde. Aufgrund der Komplexität und des Umfangs der Methodik wird diese hier nicht dargestellt, sondern auf SCHALLER (2013) verwiesen. Diese Arbeit wurde im Rahmen der hier vorliegenden Publikation an der Technischen Universität Dresden angefertigt.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Transekten für die Bezugszeiträume Sommer und die Vegetationsperioden I und II. Weiterhin werden die Änderungen im Auftreten von Starkniederschlagsereignissen R95p in der Klimanormalperiode 1981–2010 gegenüber 1961–1990 für die Jahreszeiten und Vegetationsperioden I und II flächenhaft dargestellt.

### 3.5 Mittelungs- und Bezugszeiträume

Für die Untersuchungen wurden unterschiedliche Mittelungs- und Bezugszeiträume festgelegt. Die Mittelungszeiträume unterteilen den Datenverfügungszeitraum 1961–2010 in die Klimanormalperioden 1961–1990 (WMO-Referenz) und 1981–2010 sowie in die Dekaden 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000 und 2001–2010. Aufgrund der geringeren Datenverfügbarkeit konnte die Analyse der Stundendaten nur für die letzten beiden Dekaden erfolgen. Zur Identifikation innerjährlicher Charakteristiken wurden Bezugszeiträume festgelegt, deren monatliche Zuordnung in Tabelle 3.5-1 dargestellt ist.

**Tab. 3.5-1: Darstellung verwendeter Bezugszeiträume**

Monat		Bezugszeitraum		
Jan	Winter		meteorol. Winterhalbjahr	Jahr
Feb				
Mrz	Frühjahr	Vegetationsperiode I	meteorol. Sommerhalbjahr	
Apr				
Mai				
Jun	Sommer	Vegetationsperiode II		
Jul				
Aug				
Sep	Herbst		meteorol. Winterhalbjahr	
Okt				
Nov	Winter			
Dez				



# 4 Ergebnisse

## 4.1 Flächenhafte Darstellungen für Klimaelemente

### 4.1.1 Temperatur

#### 4.1.1.1 Mitteltemperatur

##### Klimanormalperioden

Generell sind die Temperaturen im nördlich gelegenen Tiefland am höchsten und nehmen mit zunehmender Seehöhe in Richtung Süden ab, wobei die geringsten Temperaturen in den Kamm- und Gipfellagen des Erzgebirges auftreten. Der Vergleich beider Klimazeiträume zeigt eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur, welche im Flächenmittel von 8,1 °C (1961–1990) auf 8,7 °C (1981–2010) ansteigt. Anhand der jahreszeitlich differenzierten Karten wird deutlich, dass die größten Temperaturzunahmen im Frühling und Sommer auftreten. Hier beträgt der Temperaturanstieg im Flächenmittel +0,8 K, wobei das Tiefland und die Elbtalweitung am stärksten vom Erwärmungstrend betroffen sind. Die innerjährlichen Temperaturzunahmen im Frühling und Sommer können mit Hilfe der beiden Vegetationsperioden etwas genauer untersucht werden. Es wird deutlich, dass die Temperaturerhöhung während der warmen Monate Juli, August und September, welche die Vegetationsperiode II repräsentieren, etwas stärker ausgeprägt ist (+0,8 K) als für die kühleren Monate April, Mai und Juni der Vegetationsperiode I (+0,7 K).

Im Herbst ist das Temperatursignal mit einem Anstieg von 0,2 °C für ganz Sachsen am schwächsten ausgebildet und auch regionale Unterschiede zwischen beiden Perioden lassen sich kaum feststellen. Der Erwärmungstrend im Winter beträgt im Flächenmittel +0,7 K, wobei wieder die Tieflandregion und der südwestliche Teil Sachsens die größten Änderungen aufweisen. Die Karten für das Sommer- und Winterhalbjahr fassen die innerjährliche Temperaturzunahme der Periode 1981–2010 gegenüber 1961–1990 gut zusammen. Demnach ist der Erwärmungstrend innerhalb Sachsens für die wärmere Jahreshälfte mit einer mittleren Zunahme von 0,8 K deutlich stärker ausgeprägt als für die kühlere Jahreshälfte, deren mittlere Temperaturzunahme 0,4 K beträgt.

##### Dekaden

Die räumliche Verteilung der Lufttemperatur Sachsens und deren dekadische Entwicklung sind in den nachfolgenden Abbildungen für den Zeitraum 1961–2010 dargestellt. Dabei zeigt das Jahresmittel einen kontinuierlichen Erwärmungstrend über die betrachteten Dekaden. Dieser Trend beträgt im Flächenmittel etwa +0,2 K pro Dekade, jedoch mit einem Sprung von +0,4 K zwischen den Zeitabschnitten 1981/90 und 1991/00. Über alle fünf Dekaden beträgt der flächenhaft gemittelte Temperaturanstieg etwa 0,25 K. Der innerjährliche Verlauf der dekadischen Temperaturzunahmen lässt sich mit Hilfe der charakteristischen Zeithorizonte weiterführend analysieren. Hier zeigt sich, anders als im Jahresmittel, dass der jahreszeitendifferenzierte Erwärmungstrend keinem stetigen Muster folgt. Zwar zeigen die Karten in ihrem Verlauf für Frühling und Sommer eine Temperaturzunahme, jedoch wird diese erst ab 1971/80 ersichtlich. Ein signifikanter Temperaturunterschied zwischen den ersten beiden Dekaden 1961/70 und 1971/80 lässt sich während dieser Jahreszeiten nicht finden. Die Temperaturzunahme der darauffolgenden Dekaden verläuft für Frühling und Sommer verschieden.

Im Frühling steigt die Temperatur zwischen den Dekaden 1971/80 und 1991/00 recht stetig mit einer mittleren Zunahme von etwa +0,6 K für ganz Sachsen. Dieser Trend ist zwischen den Dekaden 1991/00 und 2001/10 mit einem Temperaturanstieg von +0,1 K im Flächenmittel hingegen nicht mehr zu erkennen. Die Temperatu-

ren innerhalb Sachsens sind für diese beiden Dekaden recht ähnlich, für die Leipziger Region und das Oberlausitzer Bergland gehen die Temperaturen für Dekade 2001/10 gegenüber 1991/00 sogar leicht zurück. Die dekadische Entwicklung der Sommertemperaturen zeigt erst ab 1971/80 einen eindeutig ansteigenden Trend. Analog zur jährlichen Temperaturzunahme findet der größte Erwärmungssprung für den Zeitraum von 1981/90 auf 1991/00 statt, welcher für die Fläche Sachsens im Mittel +0,7 K beträgt und im Tiefland und Ostsachsen am stärksten ausgeprägt ist. Über alle fünf Dekaden beträgt der flächenhaft gemittelte Temperaturanstieg etwa 0,28 K.

Interessant sind die Temperaturkarten des dekadischen Temperaturverlaufs im Herbst und Winter, welche jeweils ein zyklisches, jedoch recht gegensätzliches Verhalten aufweisen. Im Herbst sind unter allen fünf Dekaden die Temperaturen der Zeitabschnitte 1961/70, 1981/90 und 2001/10 innerhalb Sachsens sehr ähnlich, mit einem Flächenmittelwert von etwa 9 °C. Die sachsenweiten Temperaturen der dazwischenliegenden Dekaden 1971/80 und 1991/00 sind mit 8,2 °C bzw. 8,5 °C kühler. Durch den dekadischen Wechsel zwischen kühleren und wärmeren Dekaden ergibt sich im Mittel über alle fünf Zeiträume für den Herbst weder ein Erwärmungs- noch ein Abkühlungstrend.

Im Winter ist der dekadische Verlauf der Mitteltemperaturen innerhalb Sachsens gegenläufig zum Herbst ausgeprägt. Hier ähneln sich zwar auch die Temperaturen der Dekaden 1971/80 und 1991/00 (Flächenmittelwert von 0,4 und 0,6 °C) sowie jene der Dekaden 1971/80 und 2001/10 (Flächenmittel von -0,1 und 0,1 °C), jedoch ist die Richtung des dekadischen Wechsels gegenläufig. Daher kann ebenfalls für die mittlere Temperaturentwicklung von 1971 bis 2010 kein eindeutiger Trend vermerkt werden. Auffällig sind jedoch die besonders niedrigen Temperaturen des Zeitabschnitts 1961/70, welche sich sehr deutlich von den nachfolgenden Temperaturkarten abheben. Die Ursache für diesen Sprung und möglicherweise auch für das zyklische Auf und Ab der Folgedekaden ist die Nordatlantische Oszillation (NAO). Als NAO werden die Schwankungen der Druckunterschiede zwischen Islandtief und Azorenhoch für eine bestimmte Zeitspanne zusammengefasst.

Die Lage der Druckgebiete hat Einfluss auf die Temperaturverteilung innerhalb Europas, was sich mit Hilfe des NAO-Index analysieren lässt. Eine positive NAO-Phase drückt hohe Druckunterschiede aus, welche eine starke Westdrift zur Folge hat, die warme, feuchte Luft über Nordwesteuropa führt. Ein negativer Index hingegen entspricht einem schwach ausgebildetem Drucksystem und kleinen Druckunterschieden, wodurch kalte, trockene Luftmassen über dem Festland dominieren. Untersuchungen nach HURREL et al. (2003) ergaben, dass in den späten 1960er- und späten 1980er-Jahren eine besonders starke Umkehrung zwischen negativem und positivem NAO-Index stattgefunden hat. Dies spiegelt sich in der besonders kühlen Dekade 1961/70 (negativer Index) mit einer Mitteltemperatur von -1,5 °C für ganz Sachsen und den darauffolgenden deutlich wärmeren Dekaden (Flächenmittel schwankt zwischen -0,1 und 0,6 °C) wider. Dies erklärt möglicherweise auch den erst ab 1971/80 deutlich erkennbaren ansteigenden Erwärmungstrend im Frühling und Sommer.

#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

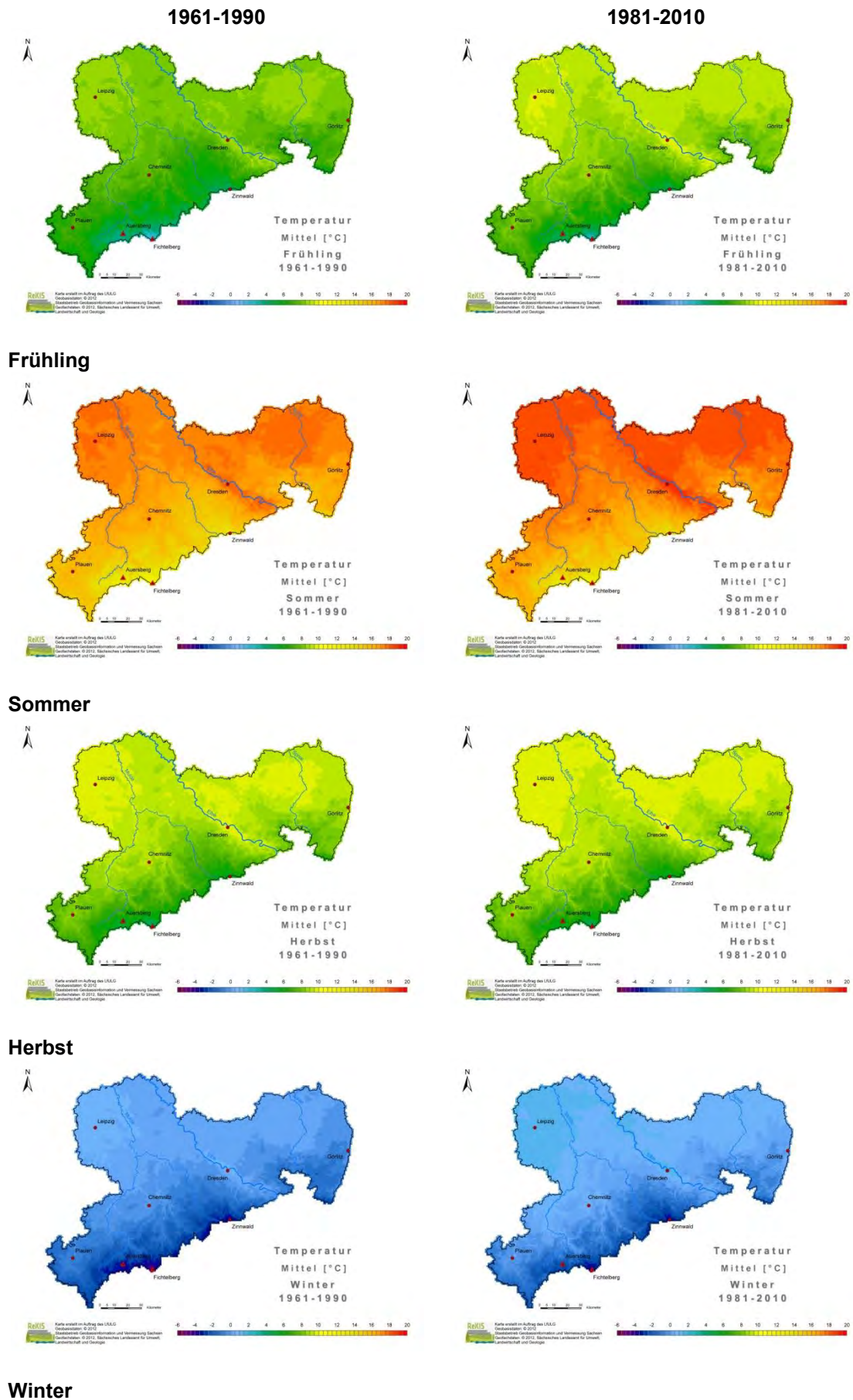
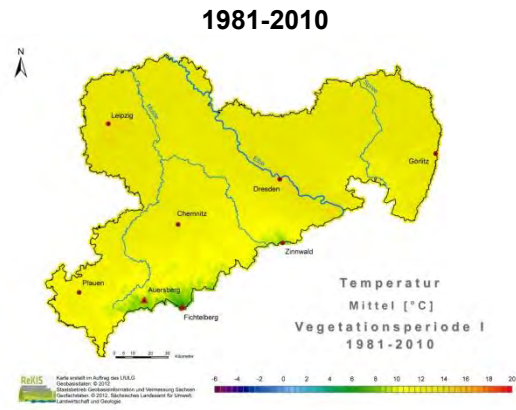
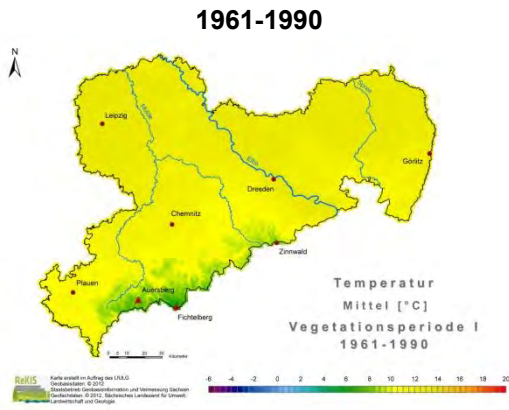
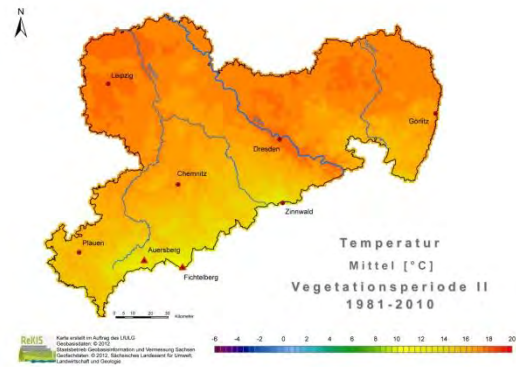
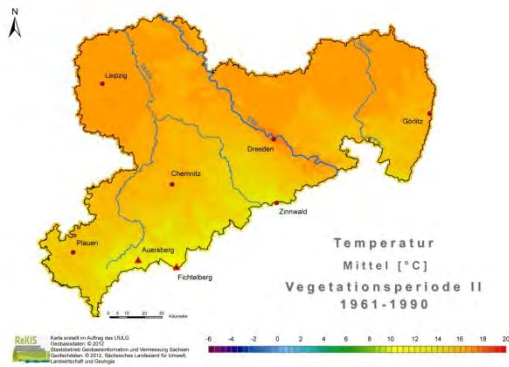


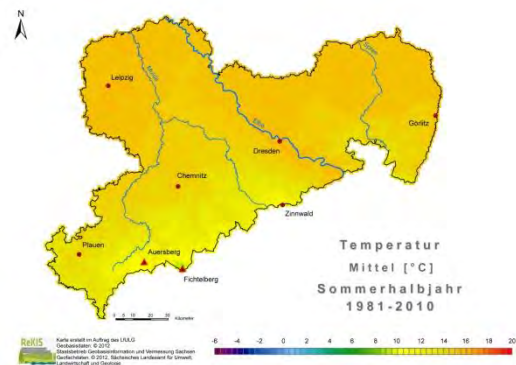
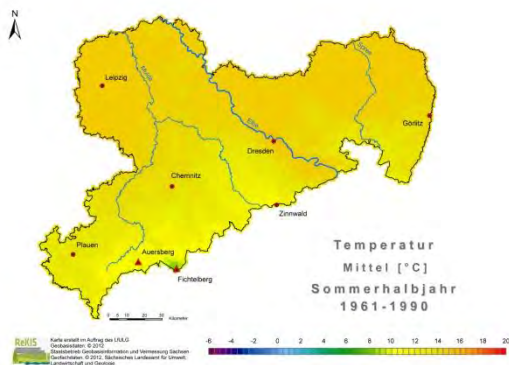
Abb. 4.1.1.1-1: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur  $T_M$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten



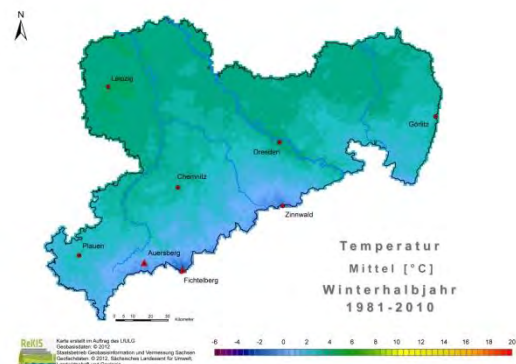
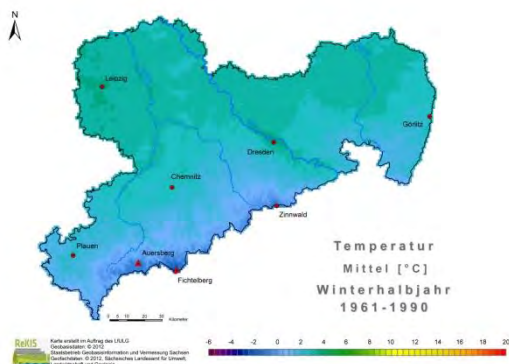
**Vegetationsperiode I**



**Vegetationsperiode II**



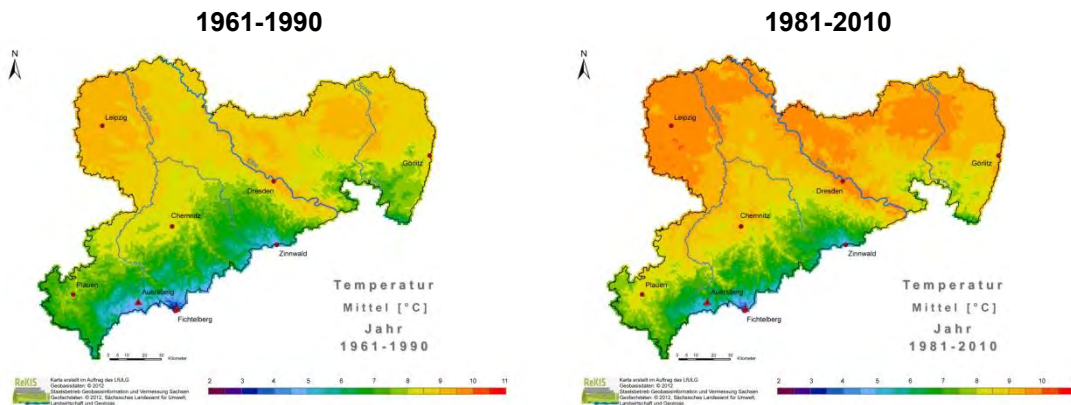
**Sommerhalbjahr**



**Winterhalbjahr**

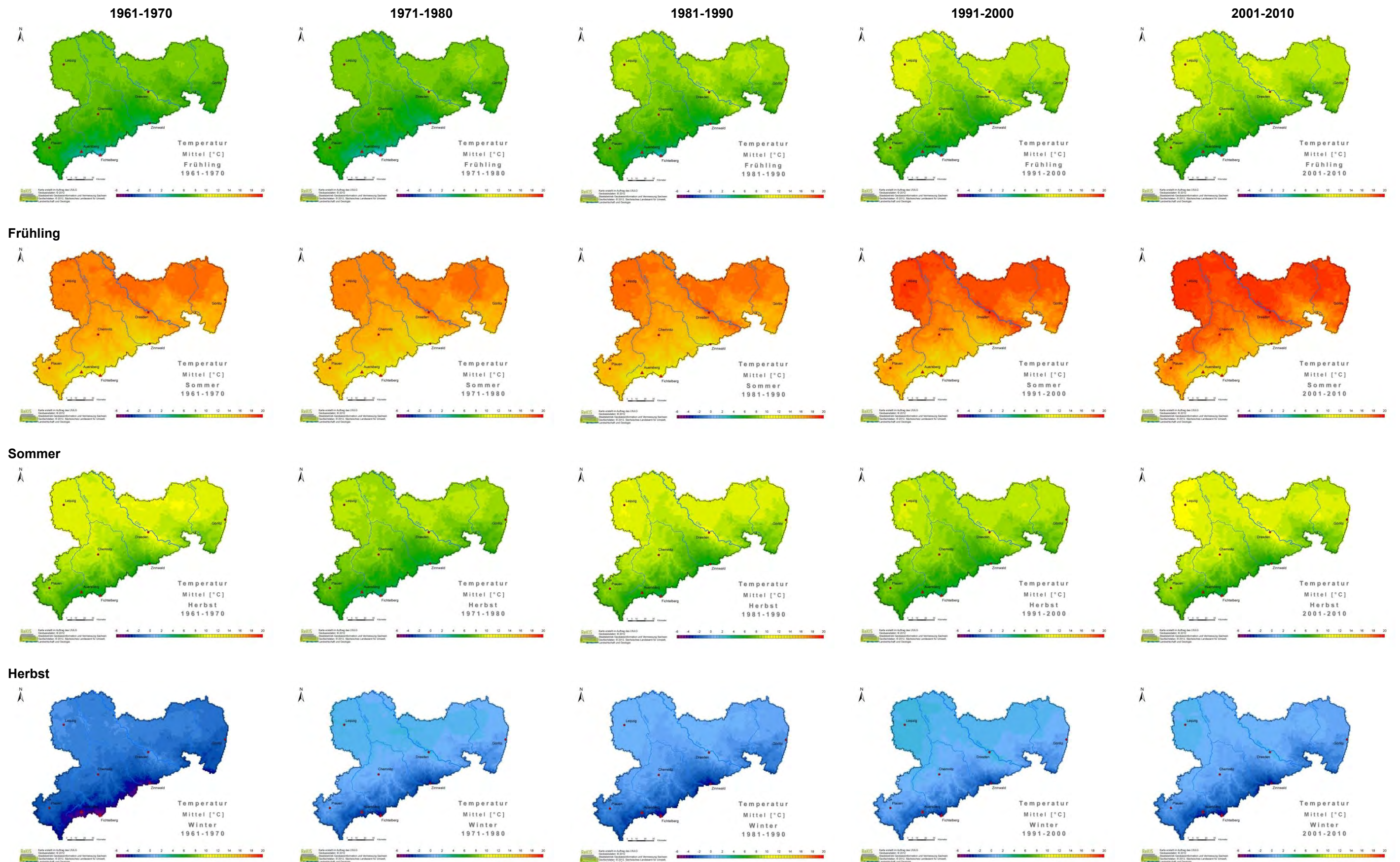
**Abb. 4.1.1.1-2: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**





Jahr

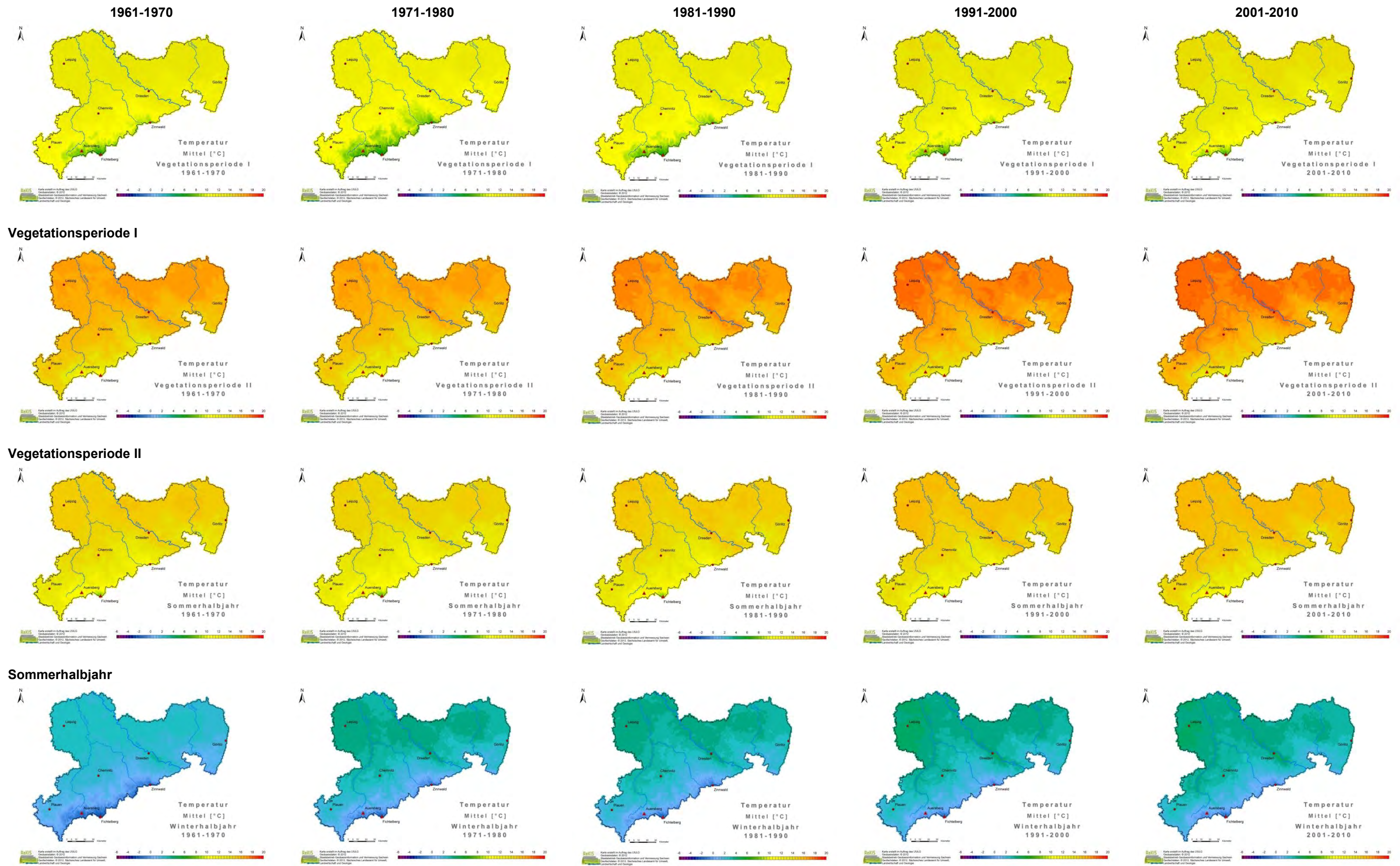
Abb. 4.1.1.1-3: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr



Winter

Abb. 4.1.1.1-4: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten

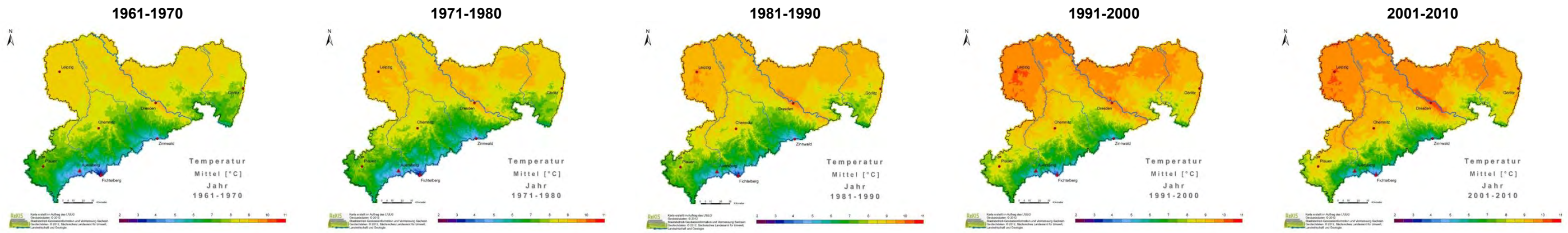




**Winterhalbjahr**

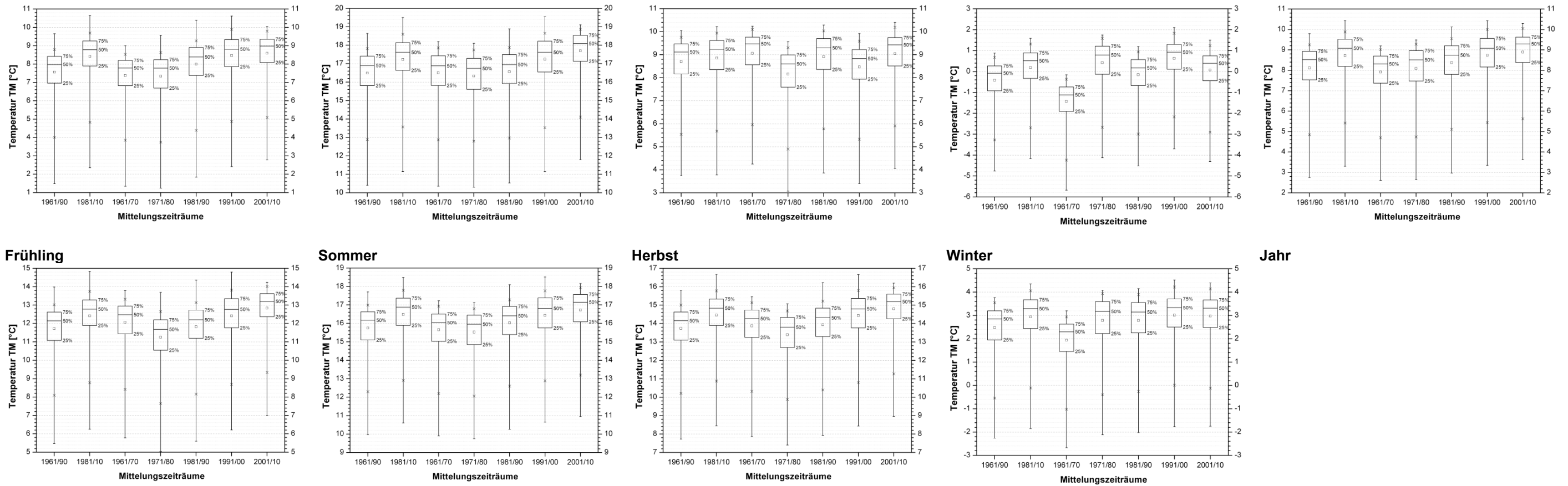
Abb. 4.1.1.1-5: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre





Jahr

Abb. 4.1.1.1-6: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Abb. 4.1.1.1-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Lufttemperatur TM (°C) in Sachsen



#### 4.1.1.2 Maximumtemperatur

##### Klimanormalperioden

Der Einfluss lokaler Klimabesonderheiten, wie z. B. Relief oder Landnutzungseigenschaften, spiegelt sich in den Temperaturextrema offensichtlicher wider als in der Mitteltemperatur. Sehr deutlich ist wieder die Höhenabhängigkeit der Temperatur in den Karten zu erkennen.

Der Vergleich der beiden Perioden im Jahresmittel ergibt eine Zunahme der Maximumtemperaturen um etwa 0,6 K für ganz Sachsen. Der stärkste Anstieg zeichnet sich für Westsachsen und das Tiefland ab. Im Frühling und Sommer sieht das räumliche Erwärmungsmuster sehr ähnlich aus. Hierbei weist der Frühling die stärkste innerjährliche Temperaturzunahme mit 0,9 K im Flächenmittel auf. Für den Sommer beträgt die mittlere Zunahme der Maximumtemperaturen für ganz Sachsen 0,7 K. Die Vegetationsperioden I und II beziehen sich überwiegend auf Frühlings- und Sommermonate (April, Mai, Juni und Juli, August, September), wodurch deren räumliche Erwärmungsmuster für Periode 1981–2010 ebenfalls sehr ähnlich aussehen.

Im Herbst sind die Maximumtemperaturen der Periode 1981–2010 im Vergleich zu Periode 1961–1990 für das Osterzgebirge und Mittelsachsen leicht rückläufig. In Westsachsen und einigen Tieflandregionen hingegen ist eine geringe Erwärmung zu erkennen. Im Flächenmittel gleichen sich diese Änderungen für den Gesamttraum Sachsens aus, sodass die Temperaturanomale 0 K beträgt. Jedoch führen die räumlich gegensätzlichen Veränderungen zu einer größeren flächenhaften Temperaturvariabilität.

Die Karten des Winters zeigen für die jüngste Periode eine Zunahme der Maximumtemperaturen, welche wieder besonders in den Tieflandregionen und dem westlichen Teil Sachsens erkennbar sind. Im Flächenmittel beträgt der Temperaturanstieg 0,6 K. Zusammenfassend lässt sich somit für das Sommerhalbjahr eine stärkere Zunahme der Maximumtemperaturen detektieren als für das Winterhalbjahr.

##### Dekaden

Eine dekadische Analyse der räumlich verteilten Maximumtemperaturen soll mit Hilfe der nachfolgenden Abbildungen für den Zeitraum 1961–2010 erfolgen. Ein Vergleich der Dekaden 1961/70 und 1971/80 zeigt im Jahresmittel zunächst eine Erwärmung im Tief- und unteren Bergland sowie eine Abnahme der Temperaturmaxima in den oberen Berglagen. Durch diese räumlich unterschiedliche Entwicklung erhöht sich die Spannweite der auftretenden Maximumtemperaturen innerhalb Sachsens für die Dekade 1971/80. Von 1971/80 bis 1991/00 steigen die Maximumtemperaturen mit einem Trend von +0,4 K für ganz Sachsen an. Im Vergleich der letzten beiden Dekaden (1991/00 und 2001/10) flacht der Erwärmungstrend im Flächenmittel schließlich auf +0,2 K ab. Werden alle fünf Dekaden zusammen betrachtet, beträgt der Anstieg der Maximumtemperaturen im Mittel 0,25 K für ganz Sachsen.

Im Frühling kommt es von 1961/70 auf 1971/80 zu einer Zunahme der Temperaturmaxima in den Tief- und unteren Berglagen sowie zu einer Abnahme in den oberen Berglagen, wodurch sich die räumliche Temperaturspannweite erhöht. Über die nachfolgenden drei Dekaden 1971/80 bis 2001/10 lässt sich sachsenweit ein ansteigender Trend erkennen, welcher zwischen den Dekaden 1971/80 und 1981/90 am größten ist und bis hin zu den Dekaden 1991/00 und 2001/10 langsam abflacht. Dabei sind vor allem die Tieflandregionen und die unteren Berglagen von der Erwärmung betroffen. Für Dekade 1991/00 erhöhen sich außerdem die Temperaturmaxima zunehmend für Westsachsen.

Der Verlauf der Temperaturmaxima im Sommer hingegen zeigt zunächst im Vergleich der Dekaden 1961/70 und 1971/80 eine Abnahme um -0,3 K, gefolgt von einem geringen Anstieg von 1971/80 bis 1981/90 mit etwa

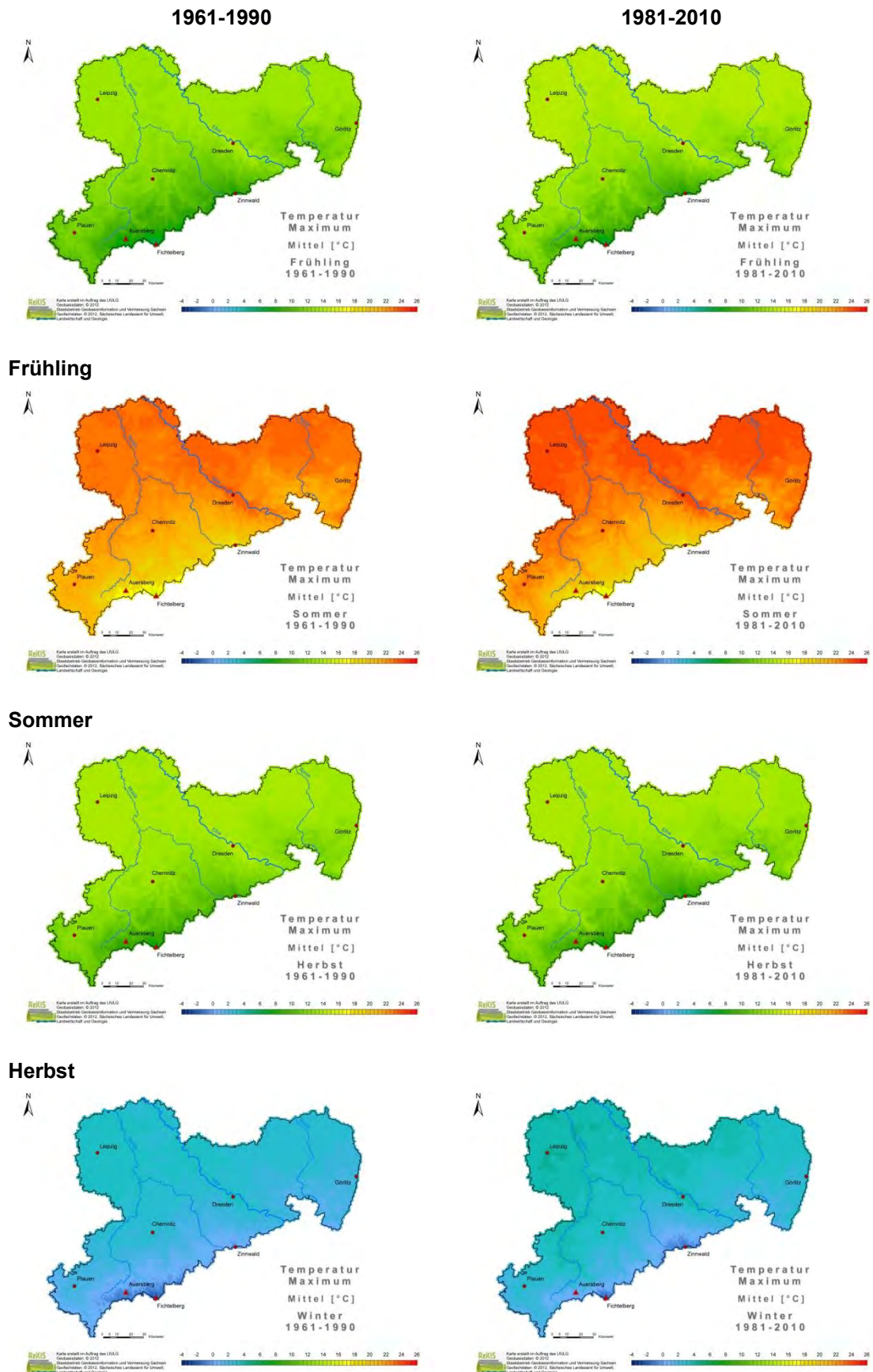
+0,3 K für ganz Sachsen. Dabei findet die stärkste Temperaturerhöhung im Tiefland und im Elbtal statt. Der ansteigende Trend der Maximumtemperaturen erhöht sich für die späteren Dekaden 1981/90, 1991/00 und 2001/10 im Flächenmittel auf etwa 0,65 K, wobei hier zusätzlich Westsachsen stark von der Erwärmung betroffen ist. Unter Berücksichtigung aller fünf Dekaden beträgt der Anstieg der Maximumtemperaturen im Sommer 0,33 K für ganz Sachsen.

Der dekadische Verlauf der Temperaturmaxima im Herbst und Winter zeigt analog zum bereits analysierten Temperaturmittel einen zyklischen Wechsel zwischen Temperaturzu- und -abnahmen. Im Herbst unterscheiden sich die Temperaturmaxima besonders für die gegenübergestellten Dekaden 1961/70 und 1871/80. Hier kommt es zu einer Abnahme, die im Flächenmittel etwa -1,2 K beträgt und die stärkste Ausprägung in den Berg- und Kammlagen aufweist. Generell ähneln sich die Dekaden 1971/80 und 1991/00, welche sich durch geringere Temperaturen von den ebenfalls sehr ähnlichen Dekaden 1981/90 und 2001/10 unterscheiden. Der Raum Leipzig und Nordsachsen sind am stärksten von dem Wechselspiel zwischen niedrigeren und höheren Temperaturmaxima betroffen.

Analog zum Herbst hebt sich die Dekade 1961/70 auch im Winter besonders von den nachfolgenden Dekaden ab. Jedoch zeichnet sich diese Dekade im Winter durch besonders niedrige Maximumtemperaturen aus, was möglicherweise Resultat der schwachen Ausprägung von Islandtief und Azorenhoch in den späten 1960er-Jahren ist (stark negativer NAO-Index nach HURRELL et al.). Die Temperaturmaxima der anschließenden Dekade 1971/80 sind im Flächenmittel um 1,8 K höher. Ab 1971/80 findet wieder ein dekadisches Wechselspiel zwischen wärmeren (1971/80 und 1991/00) und kühleren (1981/90 und 2001/10) Maximumtemperaturen statt. Über alle Dekaden gemittelt, weisen die Winter eine Zunahme der Maximumtemperaturen auf, die 0,38 K für den Gesamttraum Sachsen beträgt.

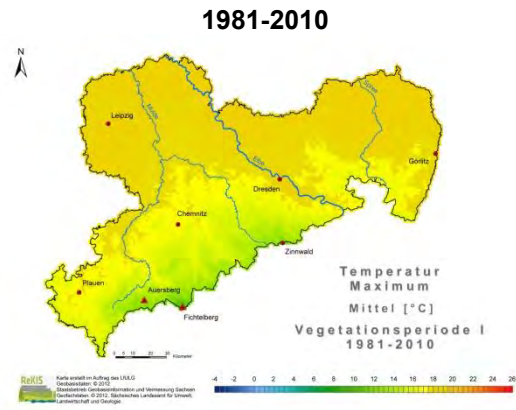
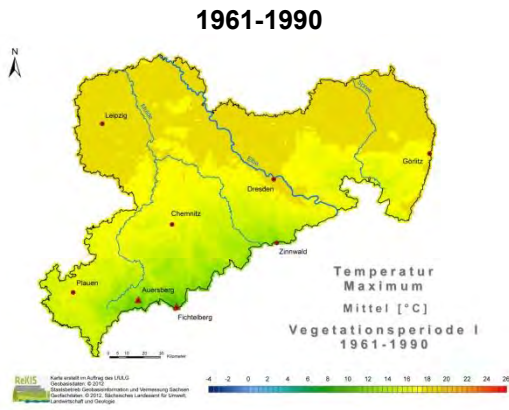
#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

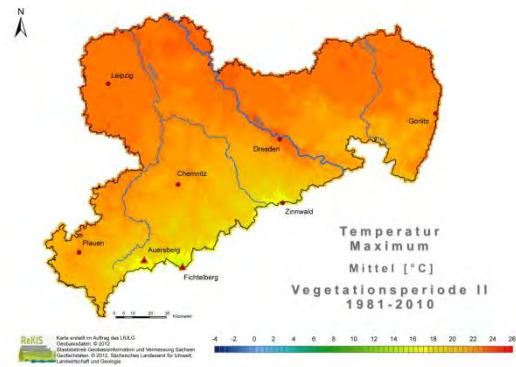
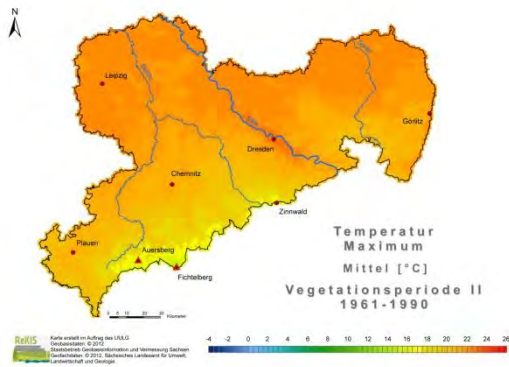


**Winter**

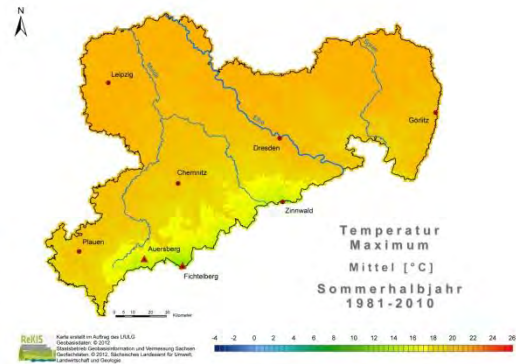
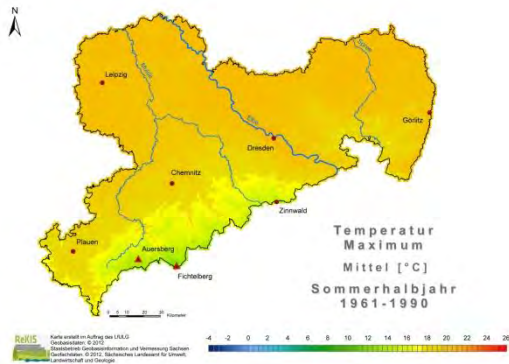
**Abb. 4.1.1.2-1: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten**



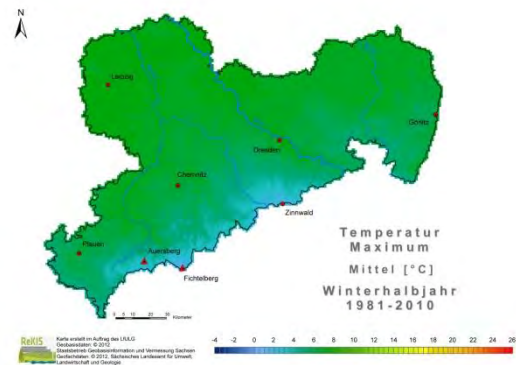
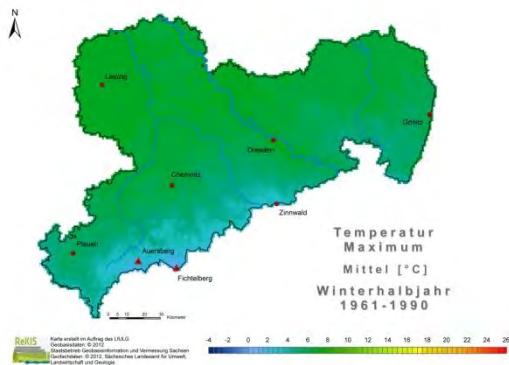
**Vegetationsperiode I**



**Vegetationsperiode II**



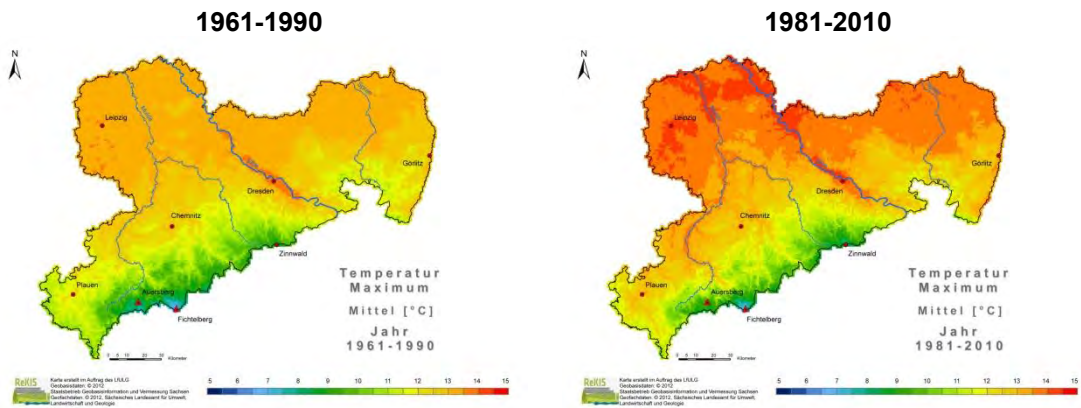
**Sommerhalbjahr**



**Winterhalbjahr**

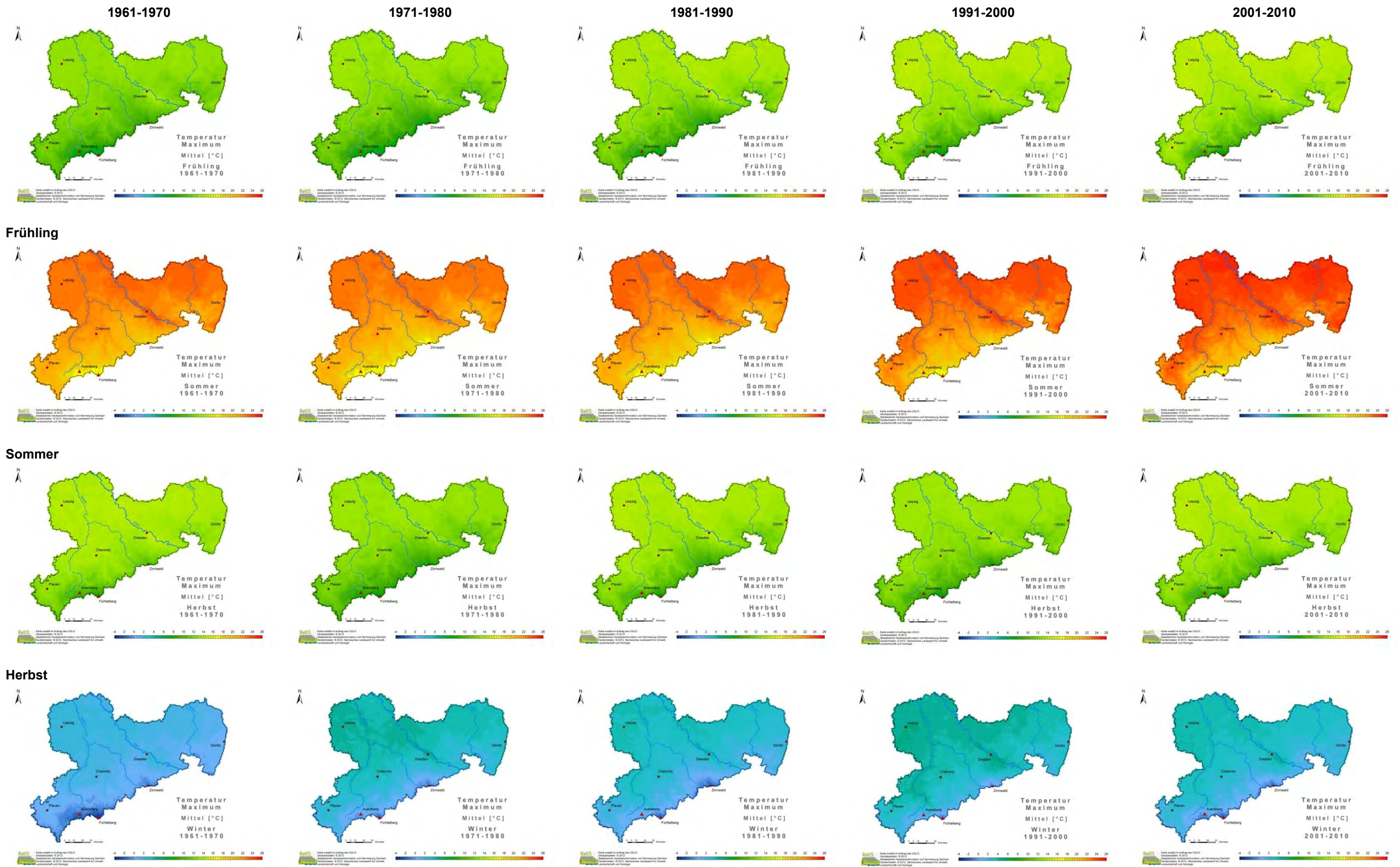
**Abb. 4.1.1.2-2: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**





Jahr

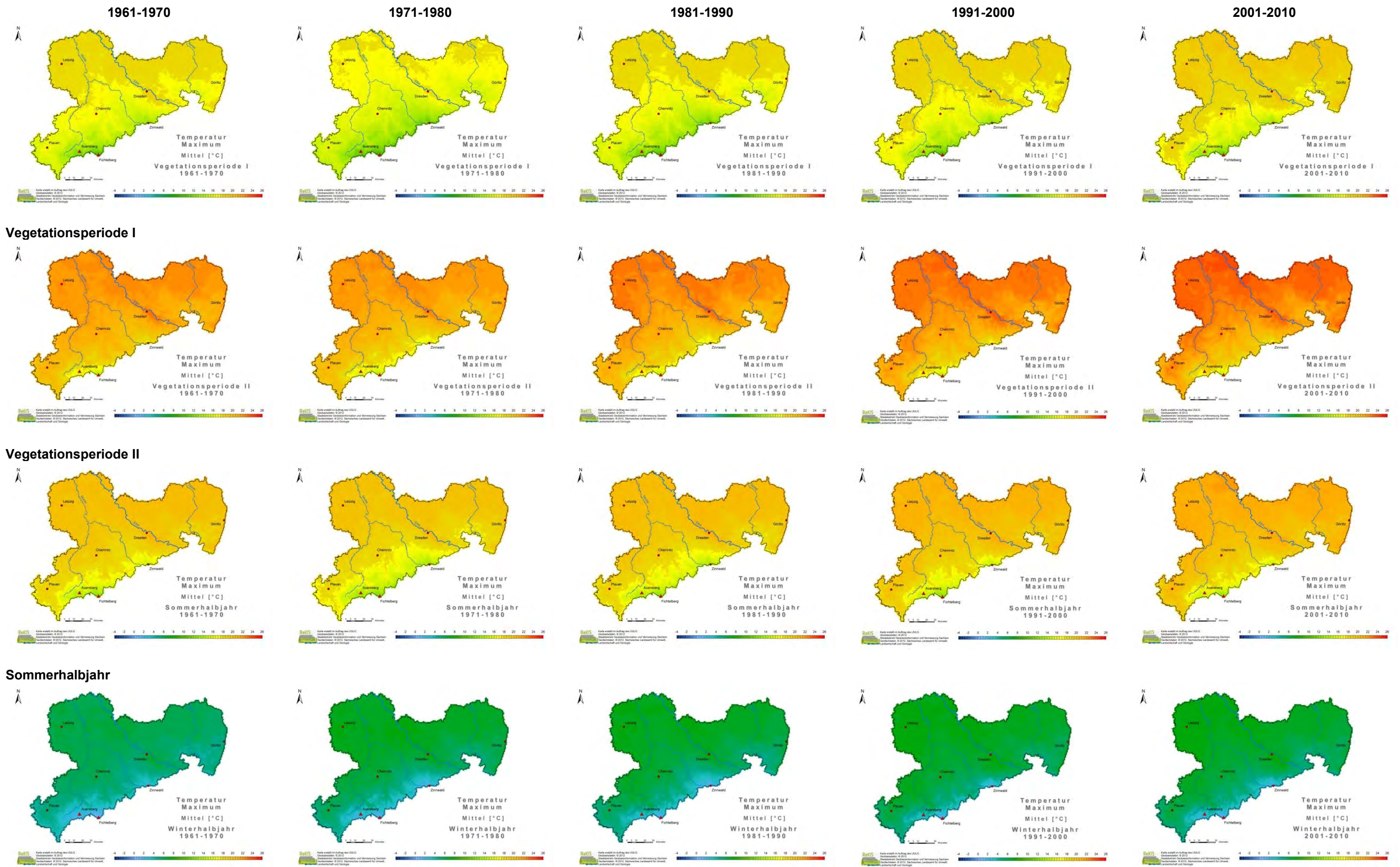
**Abb. 4.1.1.2-3: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr**



Winter

Abb. 4.1.1.2-4: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten

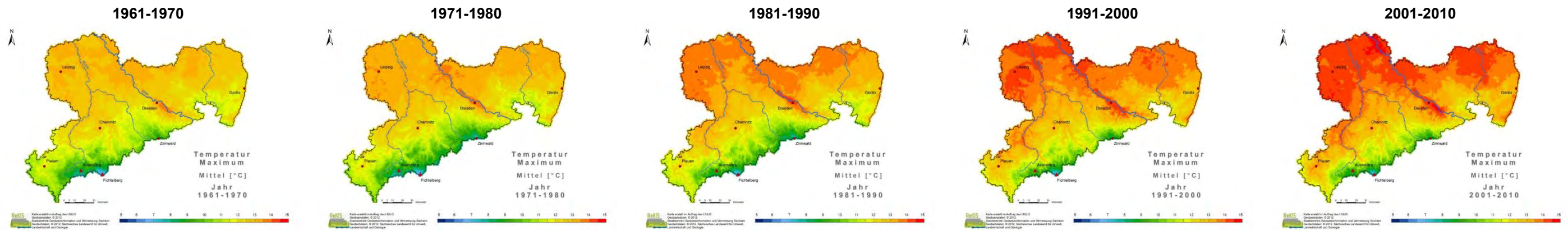




#### Winterhalbjahr

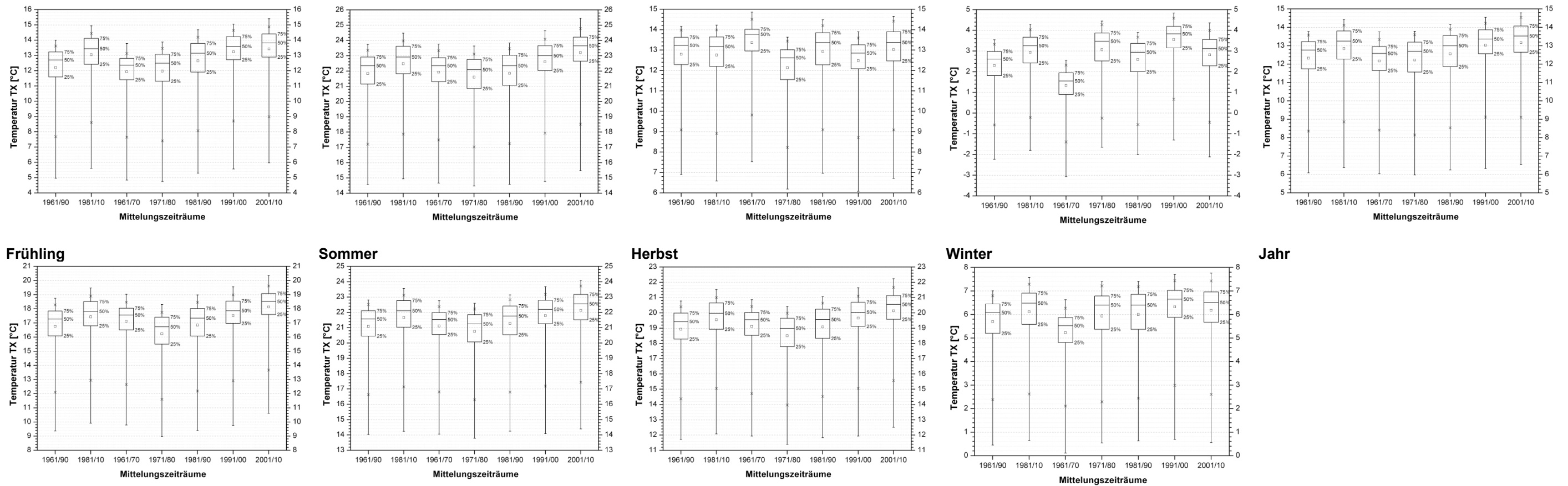
Abb. 4.1.1.2-5: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre





Jahr

Abb. 4.1.1.2-6: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Abb. 4.1.1.2-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Lufttemperatur TX (°C) in Sachsen



### 4.1.1.3 Minimumtemperatur

#### Klimanormalperioden

Analog zu den mittleren Temperaturen ist im Jahresmittel ein deutlicher Höhengradient vom Tiefland in die Kammlagen zu erkennen, welcher sich in abnehmenden Lufttemperaturen mit steigender orografischer Höhe ausdrückt.

Anders als bei den Mitteltemperaturen ist das Änderungssignal der Minimumtemperaturen räumlich sehr unterschiedlich ausgeprägt. Eine Ursache dafür ist die starke Abhängigkeit dieser Größe von lokalen Klimafaktoren, welche große räumliche und zeitliche Temperaturgegensätze zur Folge haben kann (z. B. begünstigen windgeschützte Tallagen die Ausbildung von Kaltluftseen). Generell zeigt der jährliche Vergleich der beiden Klimaperioden einen Anstieg der Minimumtemperaturen, welcher am stärksten in der Leipziger Region im Norden Sachsens ausgeprägt ist. Für ganz Sachsen beträgt die jährliche Zunahme im Mittel etwa 0,3 K. Ein räumlich sehr ähnliches Muster wird für die Temperaturzunahme im Frühling und Sommer sowie in den beiden Vegetationsperioden deutlich. Hier erhöhen sich die Minimumtemperaturen der Periode 1981–2010 gegenüber 1961–1990 am stärksten für Nordsachsen und die Gebirgslagen. Für das Vogtland und die Oberlausitz sind keine eindeutigen Temperaturänderungen erkennbar. Im Flächenmittel beträgt der Anstieg der Minimumtemperatur im Frühling und Sommer etwa 0,4 K.

Die Entwicklung der Minimumtemperaturen im Herbst ist für ganz Sachsen überwiegend rückläufig, wobei hier vor allem windgeschützte Regionen wie Plauen oder die Täler der Mittelgebirge betroffen sind, in denen sich Kaltluft staut bzw. abgeführt wird. Bei einem Anstieg der bereits analysierten Mitteltemperaturen bedeutet dies also eine größer werdende Temperaturamplitude für die Herbstmonate.

Im Winter zeigt der Vergleich beider Klimaperioden erneut eine Zunahme der Minimumtemperatur, vor allem in den Tieflandregionen. Im Mittel beträgt der sachsenweite Anstieg analog zu Frühling und Sommer hier etwa 0,4 K.

#### Dekaden

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die räumliche Verteilung der minimalen Lufttemperatur Sachsens und deren dekadische Entwicklung von 1961 bis 2010. Im Jahresmittel ist dabei zunächst ein kontinuierlicher Erwärmungstrend von 1961/70 bis 1991/00 zu erkennen, der durchschnittlich 0,2 K für ganz Sachsen beträgt. Von allen betrachteten Zeiträumen treten im Abschnitt 1991/00 im Flächenmittel die höchsten beobachteten Minimumtemperaturen auf, wobei die Temperaturen jedoch gleichzeitig räumlich sehr variabel sind. Für die jüngste Dekade 2001/10 setzt sich der Erwärmungstrend nicht fort und die räumliche Verteilung der Minimumtemperaturen entspricht in etwa jener der Dekade 1981/90. Unter Berücksichtigung aller fünf Dekaden beträgt die Zunahme der Minimumtemperaturen im Mittel 0,1 K für ganz Sachsen.

Im Frühling sind die Minimumtemperaturen von 1961/70 bis 1971/80 recht ähnlich, mit Ausnahme leichter Abnahmen während Dekade 1971/80 in Westsachsen. Für den Zeitraum 1971/80 bis 1991/00 nehmen die Minimumtemperaturen im Mittel um 0,35 K für ganz Sachsen zu. Dabei ist der Anstieg der Tiefstwerte für die Dekade 1981/90 flächendeckend recht konstant, während in Dekade 1991/00 überwiegend das Tiefland betroffen ist, wodurch eine räumlich höhere Variabilität in der Temperaturverteilung entsteht. Analog zur jährlichen Entwicklung zeichnet sich die Dekade 2001/10 durch abnehmende Minimumtemperaturen im Frühling aus, die besonders in den Tieflandregionen Sachsens zu erkennen sind. Alle Dekaden zusammengefasst ergeben für den Frühling einen leicht positiven Trend mit einer Erhöhung der Minimumtemperaturen um etwa 0,08 K.

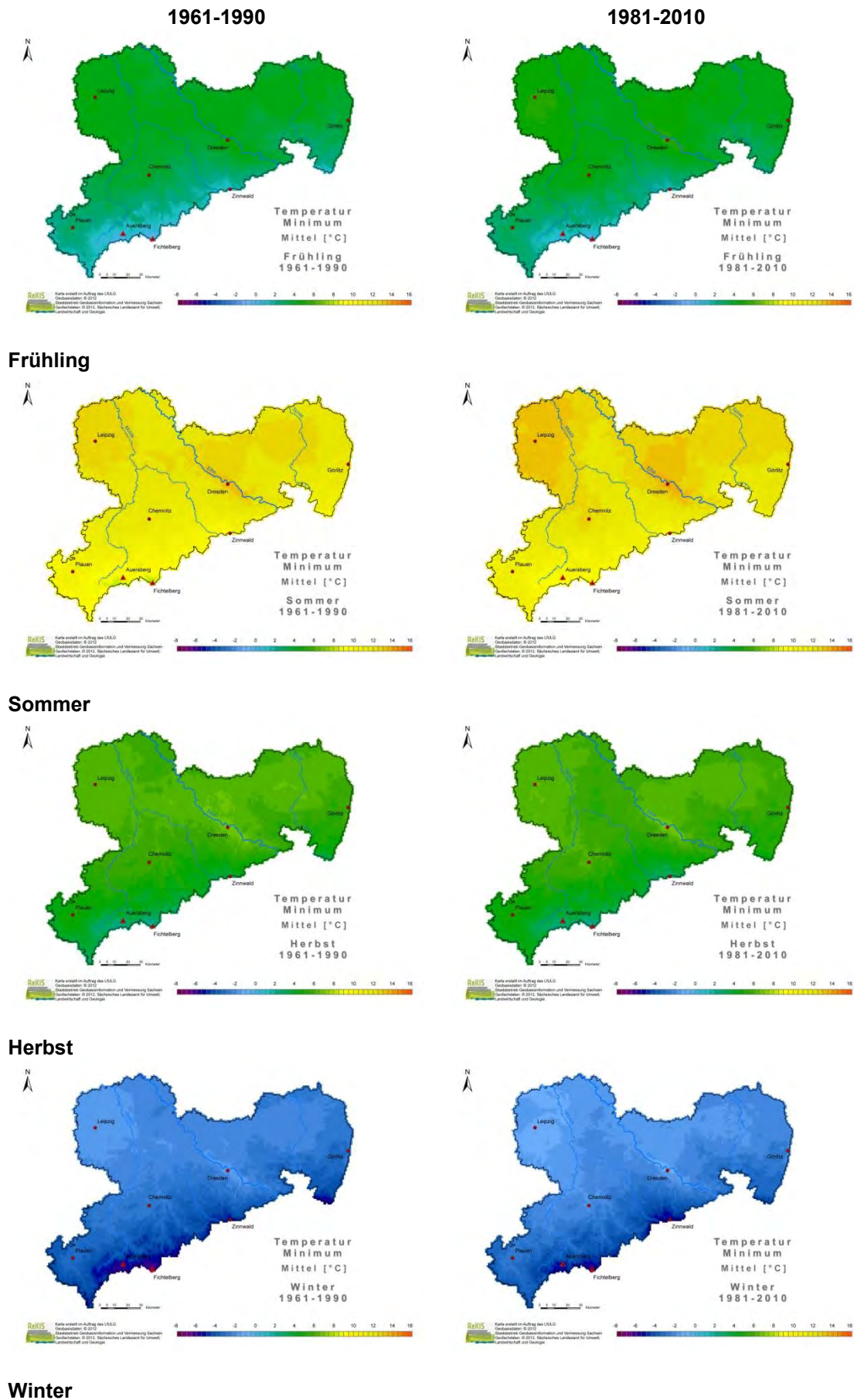
Im Sommer steigen die Minimumtemperaturen von 1961/70 bis 1991/00 im Mittel um 0,23 K für ganz Sachsen an, wobei sich die stärksten Zunahmen innerhalb des Zeitfensters 1971/80 bis 1991/00 abspielen. Ein Vergleich der letzten beiden Dekaden zeigt eine Zunahme der Minimumtemperaturen für den Zeitraum 2001/10 innerhalb der Gebirgslagen und eine Abnahme in etwa der gleichen Größenordnung für das Tiefland, was im Flächenmittel zu einem Ausgleich der Veränderungen führt.

Analog zur Analyse der Mitteltemperaturen weist die Entwicklung der Tiefstwerte im Herbst und Winter ein zyklisches Muster auf. Das bedeutet, dass sich die Minimumtemperaturen im Herbst für die Dekaden 1961/70 und 1981/90 sachsenweit recht ähnlich sind und etwa in einem Bereich von 1,5 bis 7 °C liegen. Die dazwischenliegenden Dekaden 1971/80 und 1991/00 weisen ebenfalls ähnliche, jedoch kühlere Minimumtemperaturen in einem Bereich von etwa 1,0 bis 6,5 °C auf. Der jüngste Zeitraum 2001/10 folgt diesem Muster nicht in derselben Größenordnung, hebt sich jedoch ebenfalls durch höhere Minimumtemperaturen von der vorherigen Dekade ab.

Im Winter wird wieder der Einfluss der Nordatlantischen Oszillation auf die Temperaturentwicklung deutlich (analog zur Mitteltemperatur). Hier spiegelt sich ein stark negativer Winter-NOA-Index in den besonders niedrigen Minimumtemperaturen der Dekade 1961/70 wider und dessen Phasenumkehrung in den darauffolgenden Dekaden, welche einen ansteigenden Trend zeigen. Von 1971/80 bis 2001/10 findet dann ein dekadisches Wechselspiel zwischen Wintern mit höheren und niedrigeren Minimumtemperaturen statt. Durch den starken Sprung der zunehmenden Minimumtemperaturen von 1961/70 auf 1971/80 (+1,9 K im Flächenmittel) ergibt sich über alle Dekaden ein ansteigender Trend, der im Flächenmittel etwa 0,28 K beträgt.

#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*



**Abb. 4.1.1.3-1: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten**

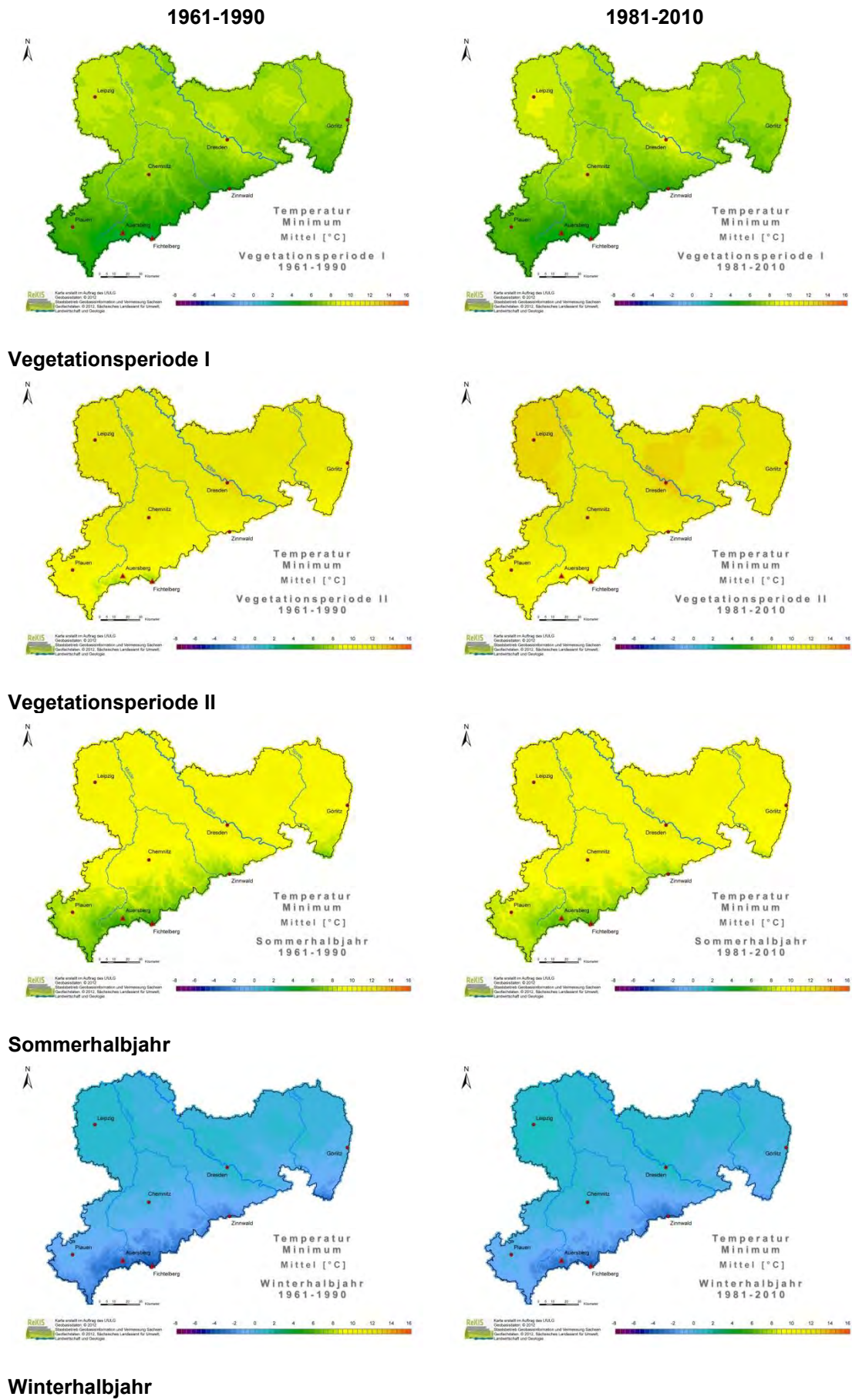
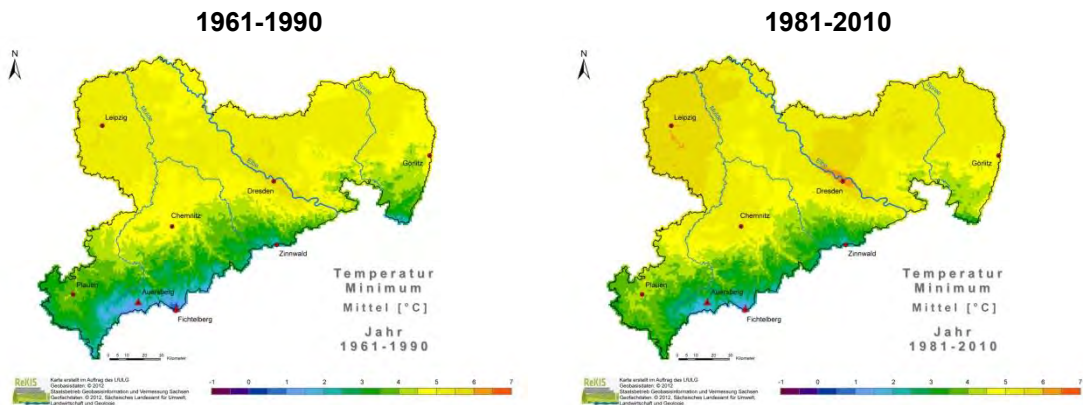


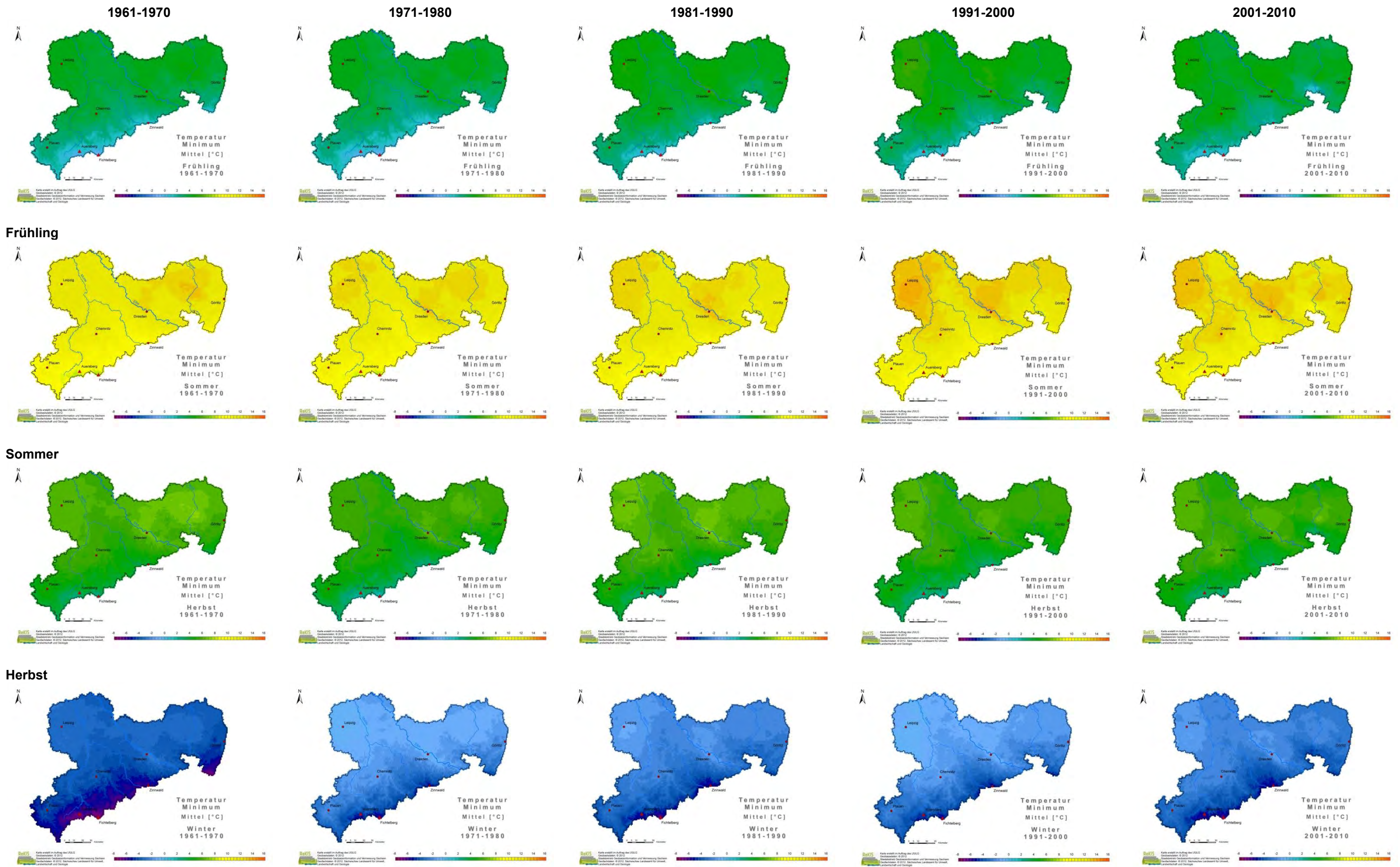
Abb. 4.1.1.3-2: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre





Jahr

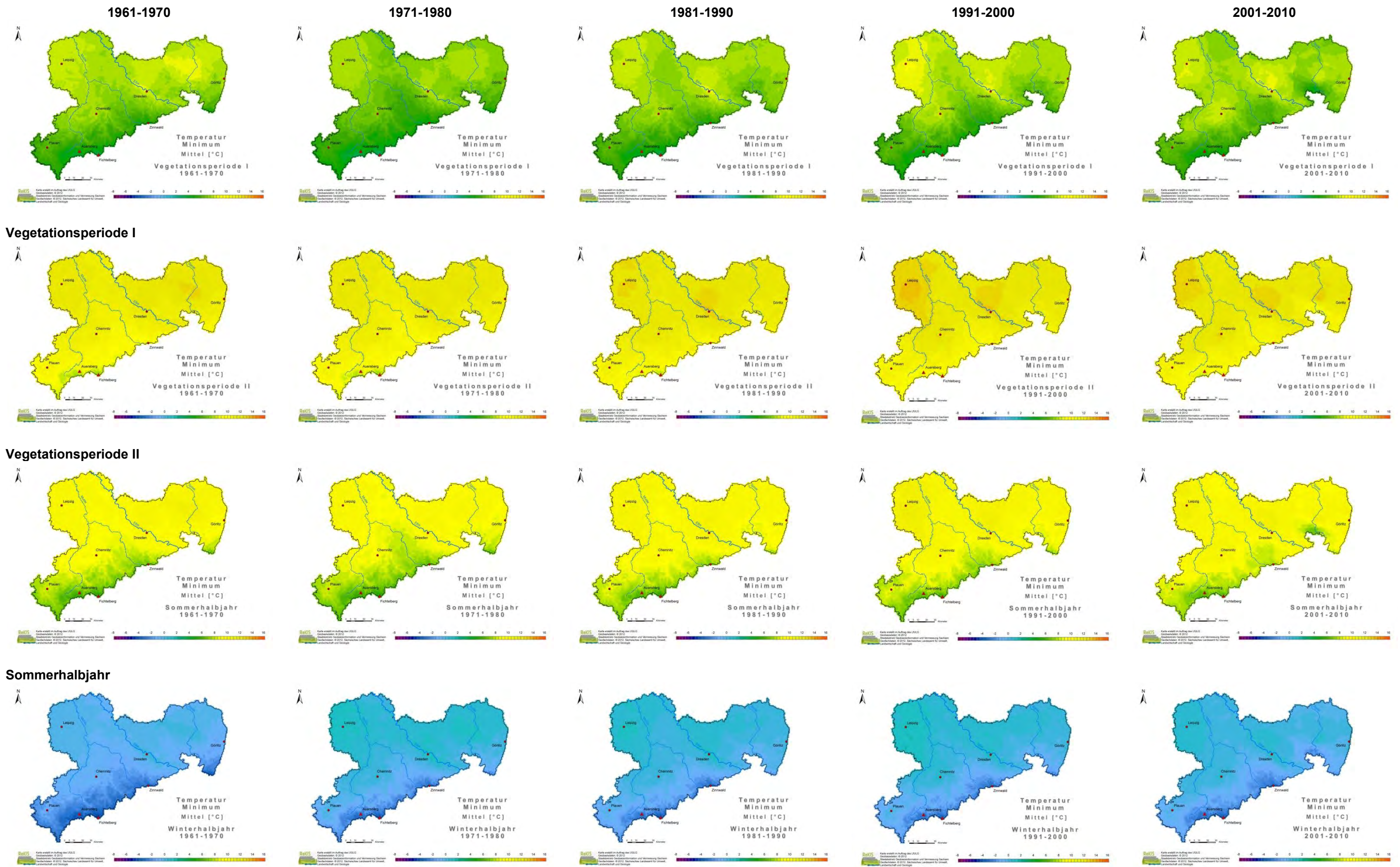
Abb. 4.1.1.3-3: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr



Winter

Abb. 4.1.1.3-4: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten

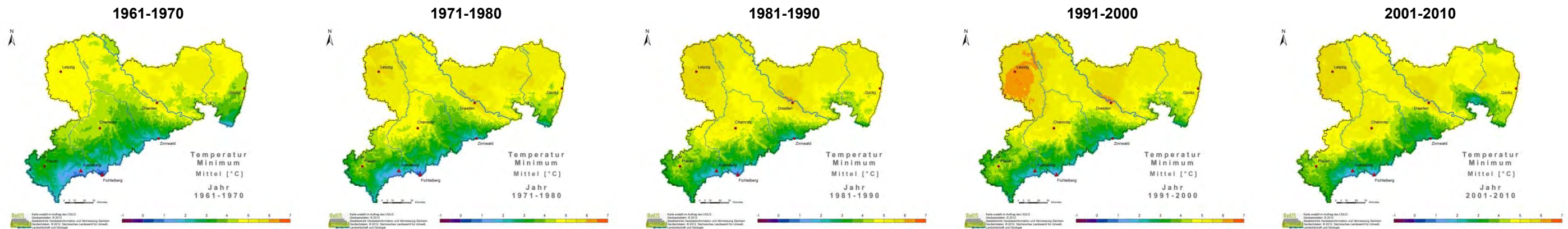




**Winterhalbjahr**

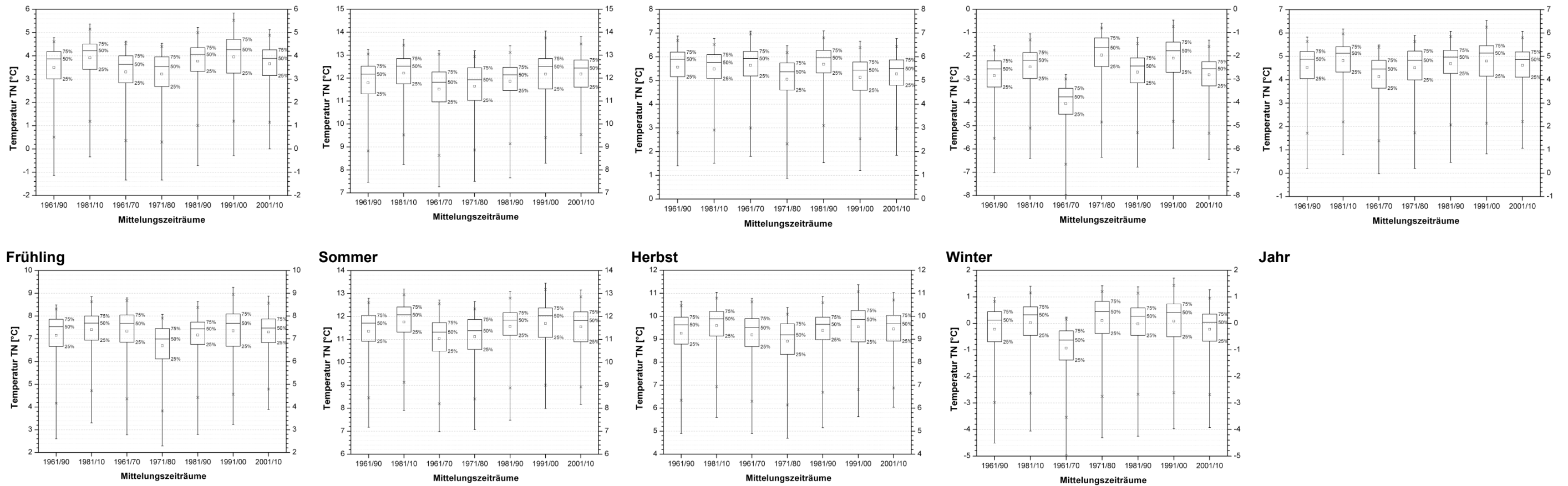
Abb. 4.1.1.3-5: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre





Jahr

Abb. 4.1.1.3-6: Flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Jahr

Abb. 4.1.1.3-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Lufttemperatur TN (°C) in Sachsen



## 4.1.2 Niederschlag

### Klimanormalperioden

Die Abbildungen verdeutlichen die Abhängigkeit des Niederschlages von der Seehöhe und von regionalen Besonderheiten wie etwa Luv-Lee-Effekten. Dadurch tritt in den Tieflandregionen Sachsens deutlich weniger Niederschlag auf als in den Berg- und Kammlagen. Die geringen Niederschläge im Leipziger Raum resultieren aus Abschattungseffekten durch die Lage im Lee des Harzes. Des Weiteren spiegelt sich der abnehmende Meereseinfluss von West nach Ost in den Niederschlagskarten wider.

Im Vergleich der beiden Klimaperioden ergibt sich für den Zeitraum 1981–2010 eine Zunahme der mittleren jährlichen Niederschlagssumme Sachsens um etwa 3 %. Diese Veränderung soll durch eine jahreszeitliche Differenzierung genauer untersucht werden. Im Frühling nehmen die Niederschläge der Periode 1981–2010 gegenüber 1961–1990 überwiegend ab, vor allem in West- und Ostsachsen sowie im oberen Bergland. Für das Lösshügelland und den Raum Leipzig sind leichte Niederschlagszunahmen erkennbar. Im Flächenmittel überwiegen jedoch die rückläufigen Niederschläge, wodurch sich eine Abnahme von etwa -4 % für ganz Sachsen ergibt. Im Sommer hingegen sind überwiegend steigende Niederschlagssummen zu erkennen, welche für ganz Sachsen im Mittel etwa 6 % betragen. Hier nehmen die Niederschläge flächendeckend zu, mit Ausnahme des westlichen Vogtlandes und des sächsischen Nordens. Auch im Herbst ist das Niederschlags-signal der jüngsten Klimaperiode positiv, mit einem flächendeckenden Anstieg von etwa 5 %. Hier sind jedoch lediglich Westsachsen sowie das Bergland und die Kammlagen von zunehmenden Niederschlägen betroffen. Der größte Teil im Osten Sachsens weist rückläufige Niederschläge auf. Im Winter sind die veränderten Niederschläge der Periode 1981–2010 räumlich stark differenziert. Im Flächenmittel sind diese jedoch positiv mit einem Zuwachs von 3 %. Interessant sind auch die Niederschlagsentwicklungen bezogen auf die Vegetationsperioden. Diese sind für beide Zeiträume von gleicher Größenordnung und betragen 12 % für ganz Sachsen, sind jedoch für Vegetationsperiode I negativ und Vegetationsperiode II positiv.

Zu berücksichtigen bei den stattfindenden Änderungen der Periode 1981–2010 gegenüber 1961–1991 ist der Einfluss auftretender Einzelereignisse. So wirken sich beispielsweise extreme Ereignisse wie z. B. die Niederschläge des 12.08.2002 oder das Trockenrekordjahr 2003 auf die oben genannte Statistik aus.

### Dekaden

Die Niederschlagsverteilung Sachsens und deren dekadische Entwicklung sind in den nachfolgenden Abbildungen für den Zeitraum von 1961 bis 2010 dargestellt. Die Dekade 1961/70 spiegelt, mit einem mittleren Jahresniederschlag von 790 mm für ganz Sachsen, im Vergleich zu den beiden anschließenden Dekaden 1971/80 (753 mm) und 1981/90 (758 mm) recht feuchte Verhältnisse wider. Von 1981/90 bis 1991/00 erhöhen sich Niederschläge auf einen Flächenmittelwert von 785 mm, wobei sich die Zunahmen besonders auf das sächsische Bergland begrenzen. Interessant sind die Niederschlagshöhen der jüngsten Dekade, die mit 845 mm Jahresniederschlag für ganz Sachsen den feuchtesten Zeitraum repräsentiert. Hier sind die Niederschläge sachsenweit, mit Ausnahme des Ostens, besonders hoch. Die Ursache für den Anstieg in Dekade 2001/10, der gegenüber der Dekade 1991/00 etwa 8 % im Flächenmittel beträgt, liegt mitunter an dem extremen Niederschlagsereignis im August 2002. Eine dekadische Betrachtung der Niederschlagsentwicklung ist sensitiver in Bezug auf den Einfluss extremer Einzelereignisse, weshalb eine jahreszeitlich differenzierte Analyse konkretere Aussagen zum Niederschlagsverlauf ermöglicht.

Den feuchtesten Frühling aller betrachteten Dekaden weist der Zeitraum 1961/70 auf, in welchem im Flächenmittel etwa 18 % mehr Niederschlag fiel als in der Folgedekade 1971/80. Besonders hohe Niederschläge sind hier in Ostsachsen sowie den Berg- und Kammlagen zu verzeichnen. Von 1971/80, die Dekade der ge-

ringsten Niederschlagssummen, bis 1991/00 steigen die Frühjahrsniederschläge flächendeckend an. Anders als in der Betrachtung des Gesamtjahres sind die Frühjahrsniederschläge der jüngsten Dekade überwiegend rückläufig, vor allem in Ostsachsen und den unteren Berglagen. Dieser Rückgang könnte von der Dürreperiode 2003 beeinflusst sein, in welcher der Niederschlag bereits ab Februar Defizite aufwies, wovon besonders Ostsachsen betroffen war.

Im Sommer sind sich die flächengemittelten Gebietsniederschläge der ersten drei Dekaden 1961/70, 1971/80 und 1981/90 sehr ähnlich, auch wenn sich diese in ihrer räumlichen Verteilung etwas unterscheiden. So ist z. B. die räumliche Spannweite auftretender Niederschläge für die Dekaden 1971/80 und 1981/90 durch die starken Unterschiede zwischen Tief- und Bergland deutlich größer als in Dekade 1961/70, welche höhere Regenhöhen im Leipziger Raum und geringere in den Berglagen aufweist. Ein zunehmender Trend lässt sich für die Niederschläge der letzten beiden Dekaden erkennen. Hier nehmen die Regenhöhen der Dekade 1991/00 gegenüber der Dekade 1981/90 um 11 % zu. Besonders die Berg- und Kammlagen sowie Ostsachsen weisen während dieses Zeitraumes höhere Gebietsniederschläge auf. Ein weiterer Niederschlagszuwachs um 2 % für ganz Sachsen findet von Dekade 1991/00 auf 2001/10 statt. Hier weisen die Gebirgslagen und das Tiefland höhere Niederschläge auf, während jedoch der Osten Sachsens wieder etwas trockener wird. Die besonders hohen Sommerniederschläge im oberen Bergland sind unter anderem ein Resultat der Rekordniederschläge am 12.08.2002. Auf der anderen Seite könnten die abnehmenden Niederschläge Ost Sachsens durch die Dürreperiode 2003 hervorgerufen sein, die von Februar bis August (Juli ausgenommen) besonders in dieser Region Niederschlagsdefizite hervorbrachte.

Die Herbstniederschläge zeigen ebenfalls einen ansteigenden Trend für den Zeitraum 1981/90 bis 2001/10, wobei jedoch die Dekade 1981/90 und 1961/70 die geringsten Niederschläge innerhalb des Gesamtzeitraumes für Sachsen aufweisen. Die Niederschlagszunahme von 1981/90 bis 1991/00 verläuft räumlich sehr gleichmäßig und beträgt im Flächenmittel etwa 7 %. Von 1991/00 bis 2001/00 steigt der sächsische Gebietsniederschlag um weitere 23 % an, wobei sich die geringsten Zunahmen in Ostsachsen und die stärksten Zunahmen in den Berglagen vollziehen.

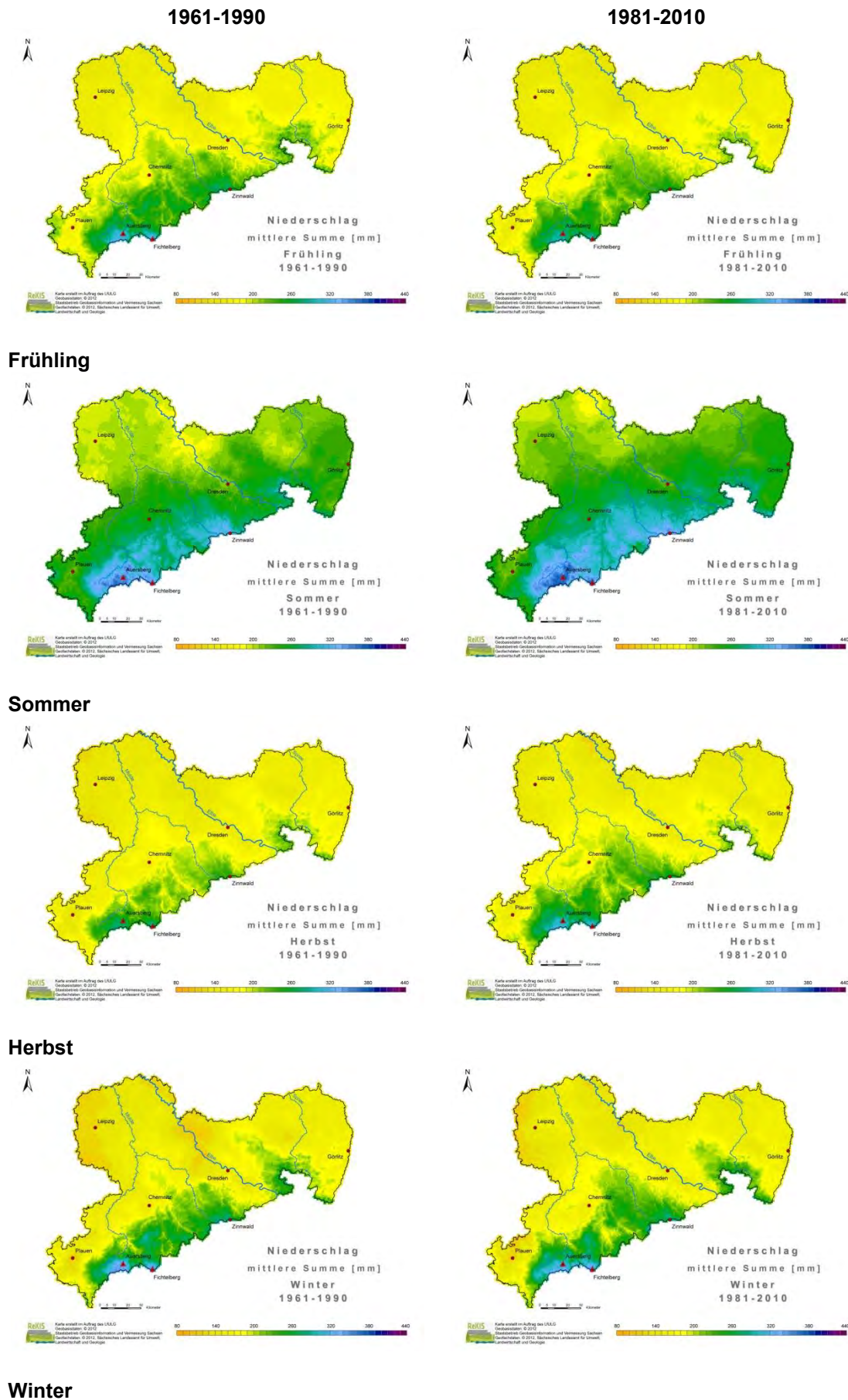
Die Winterniederschläge weisen ähnlich zur Mitteltemperatur dekadische Schwankungen auf, welche über den Gesamtzeitraum einen leicht ansteigenden, jedoch nicht signifikant erkennbaren Trend hervorbringen. Dabei repräsentieren die Dekaden 1961/70, 1981/90 und 2001/00 feuchtere Winter und die übrigen Dekaden 1971/80 und 1991/00 trockenere Winter. Die zyklischen Schwankungen können nach HURRELL et al. mit der Nordatlantischen Oszillation in Verbindung gebracht werden. Ebenfalls könnte sich der leicht ansteigende Trend auf den steigenden Trend hin zu positiven NAO-Indizes zurückführen lassen.

Die Verteilung der Niederschläge während der Vegetationsperiode hat besondere Bedeutung für die Land- und Forstwirtschaft. Die Karten zeigen eine überwiegend kontinuierliche Abnahme der Regenhöhen für die Vegetationsperiode I. Die besonders geringen Niederschlagshöhen während der Dekade 2001/00 in Ostsachsen sind wieder durch die Dürreperiode 2003 überlagert. Die Niederschläge während Vegetationsperiode II zeigen einen positiven Trend, welcher während der letzten beiden Dekaden zu erkennen ist. Während Dekade 2001/00 sind die besonders hohen Gebietsniederschläge in den oberen Berglagen mitunter Resultat der Rekordniederschläge im August 2002.

#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

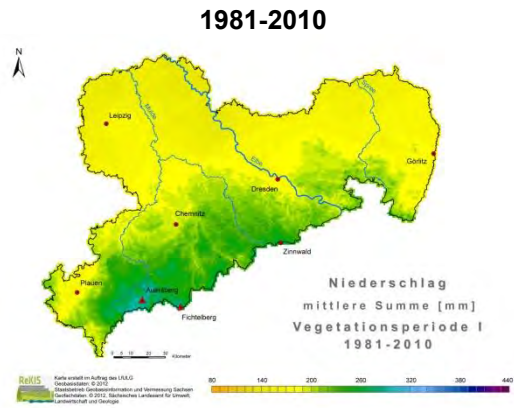
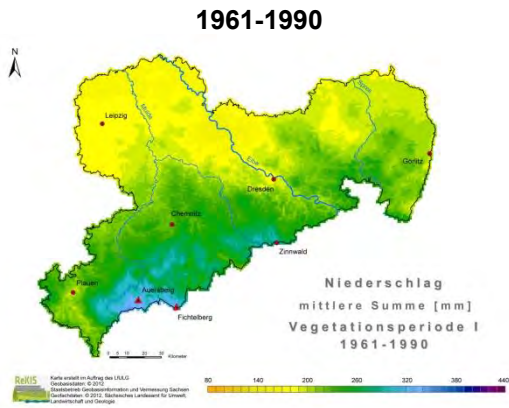
Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen

abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

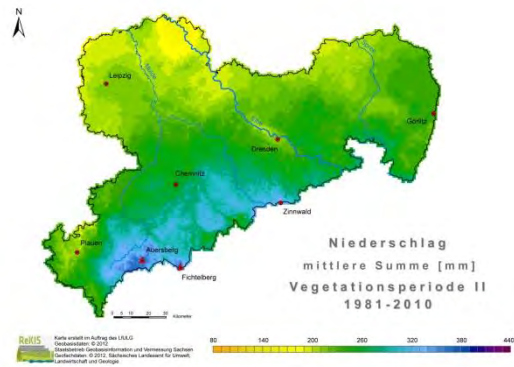
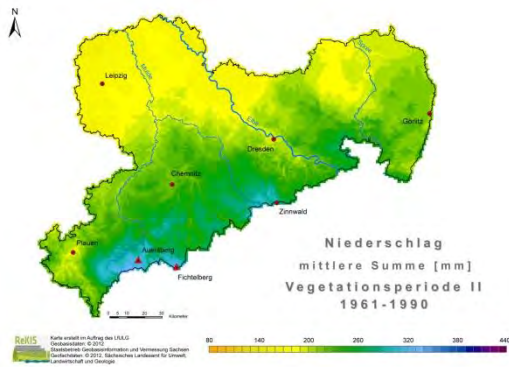


**Abb. 4.1.2-1: Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten**

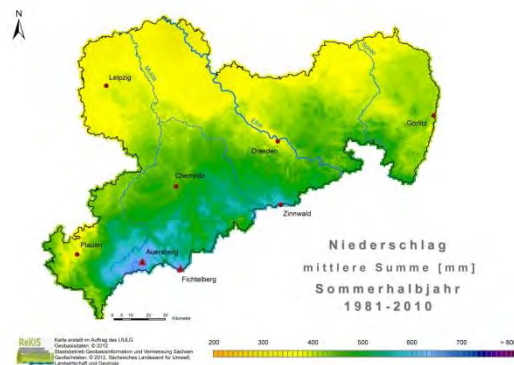
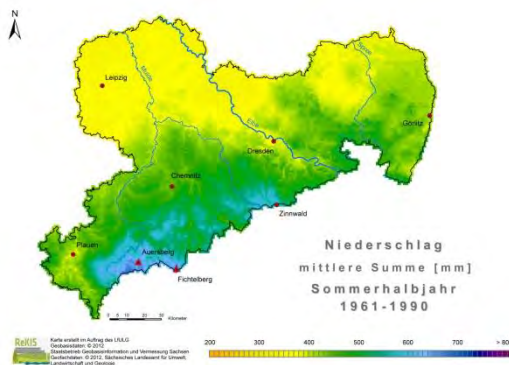




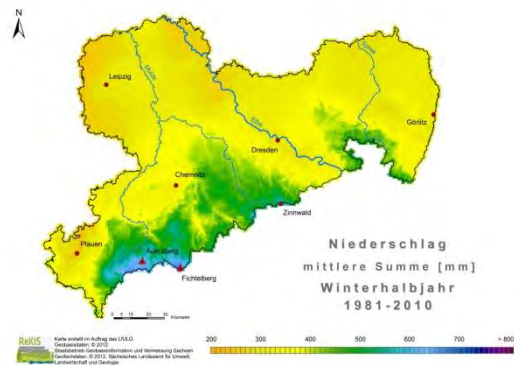
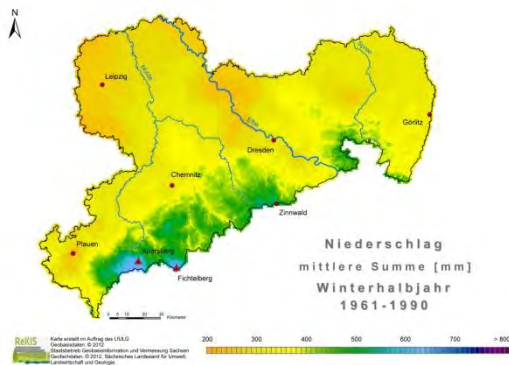
**Vegetationsperiode I**



**Vegetationsperiode II**

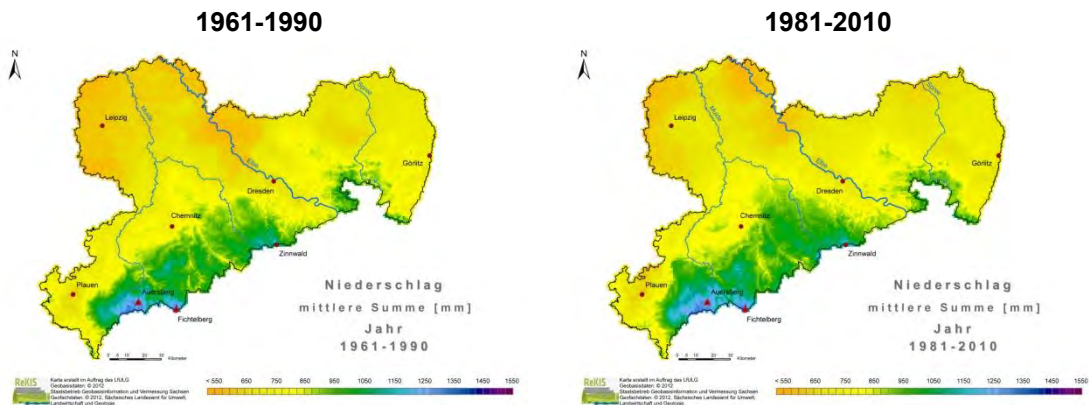


**Sommerhalbjahr**



**Winterhalbjahr**

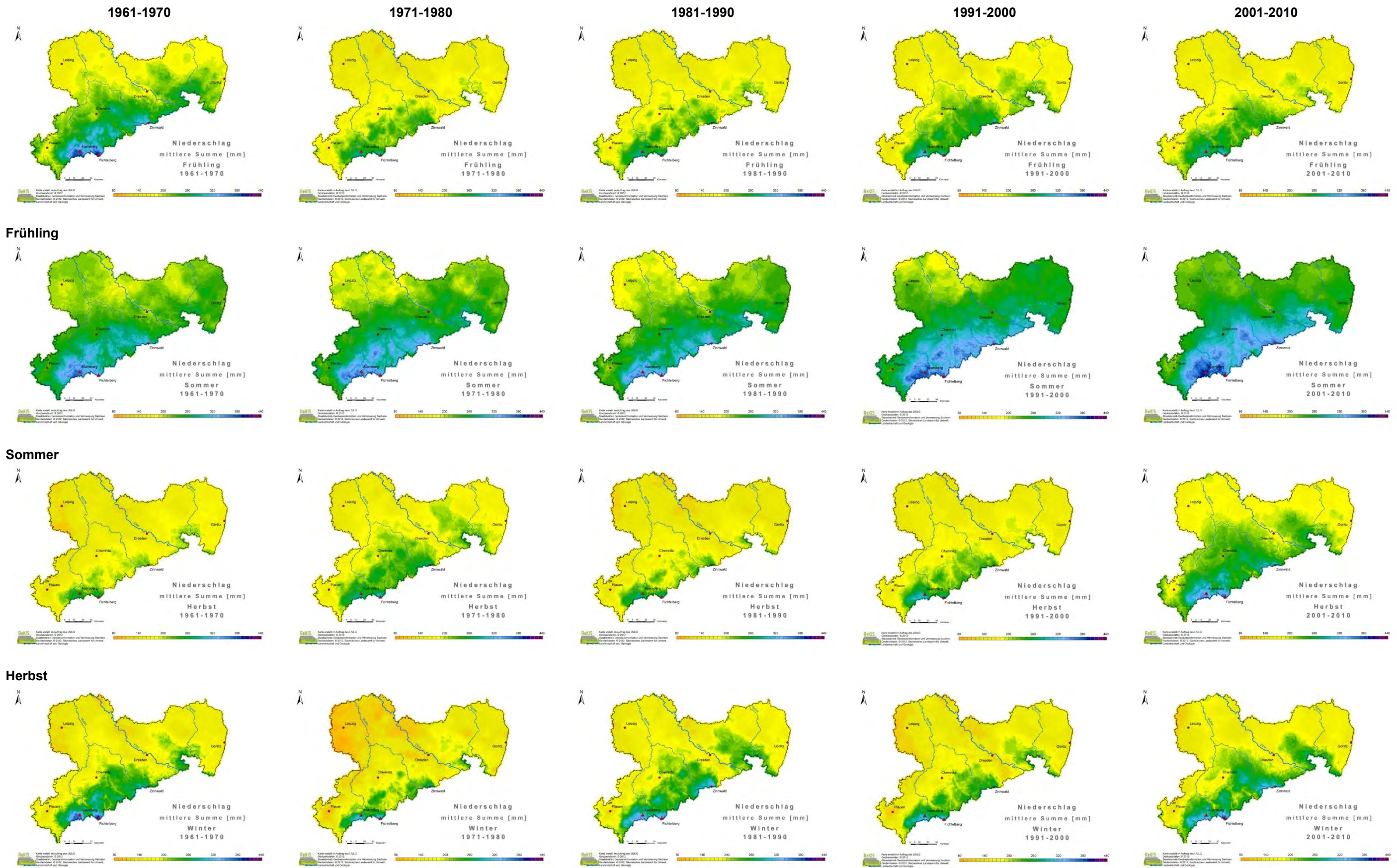
**Abb. 4.1.2-2: Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**



Jahr

**Abb. 4.1.2-3: Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr**

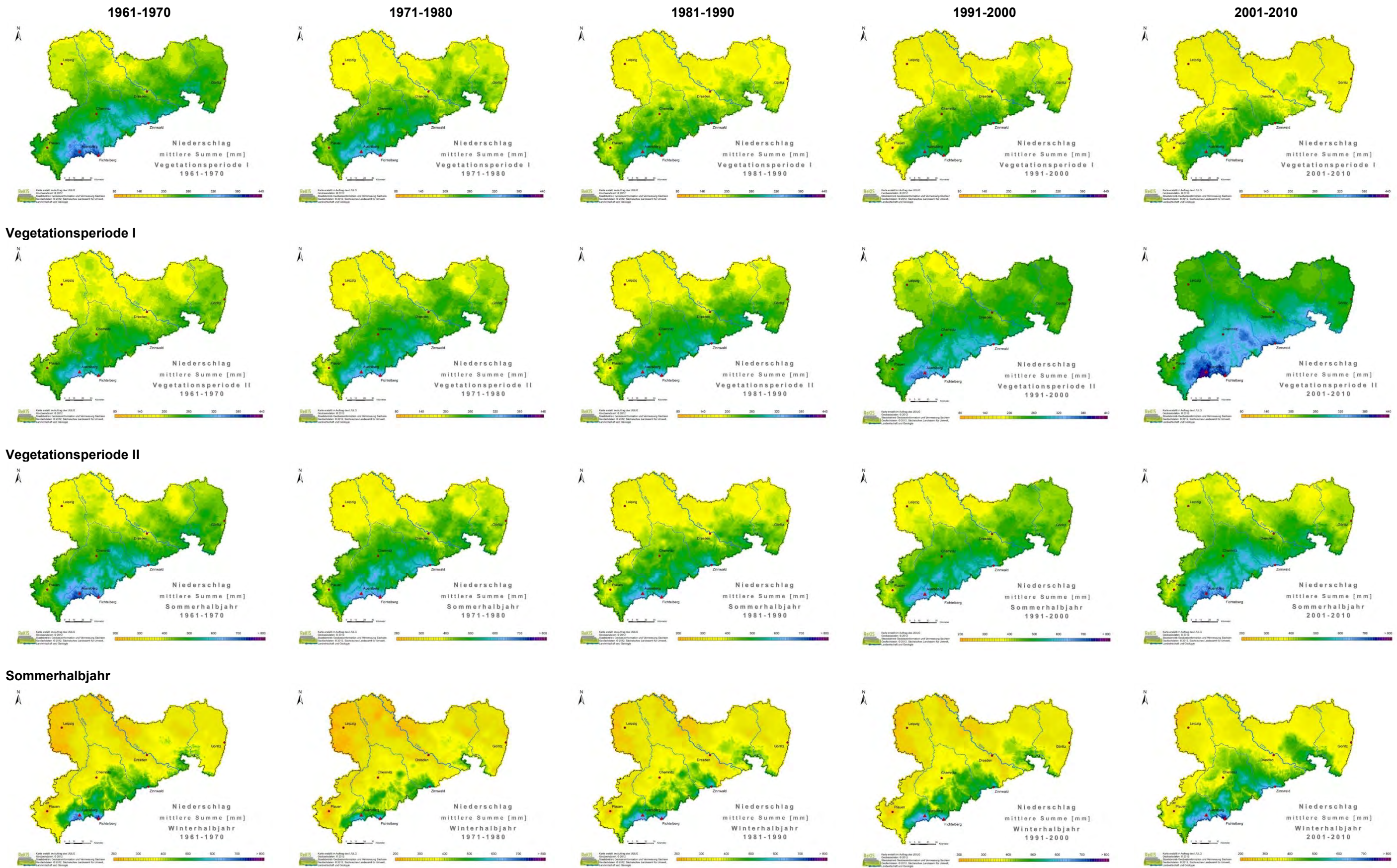




Winter

Abb. 4.1.2-4: Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten

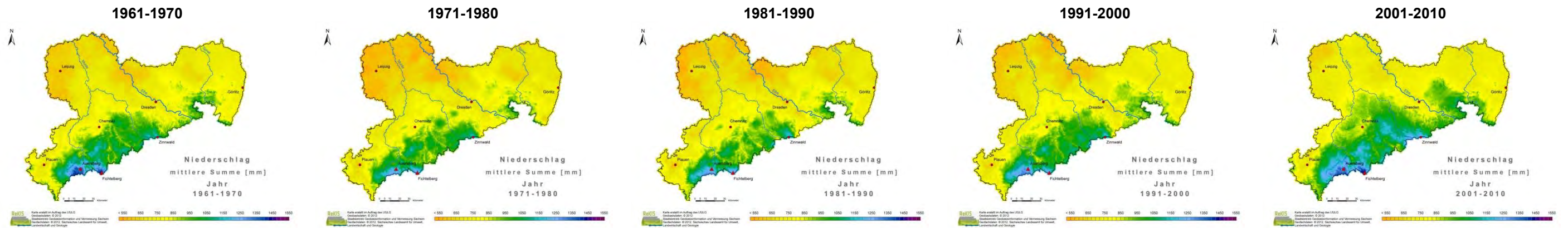




**Winterhalbjahr**

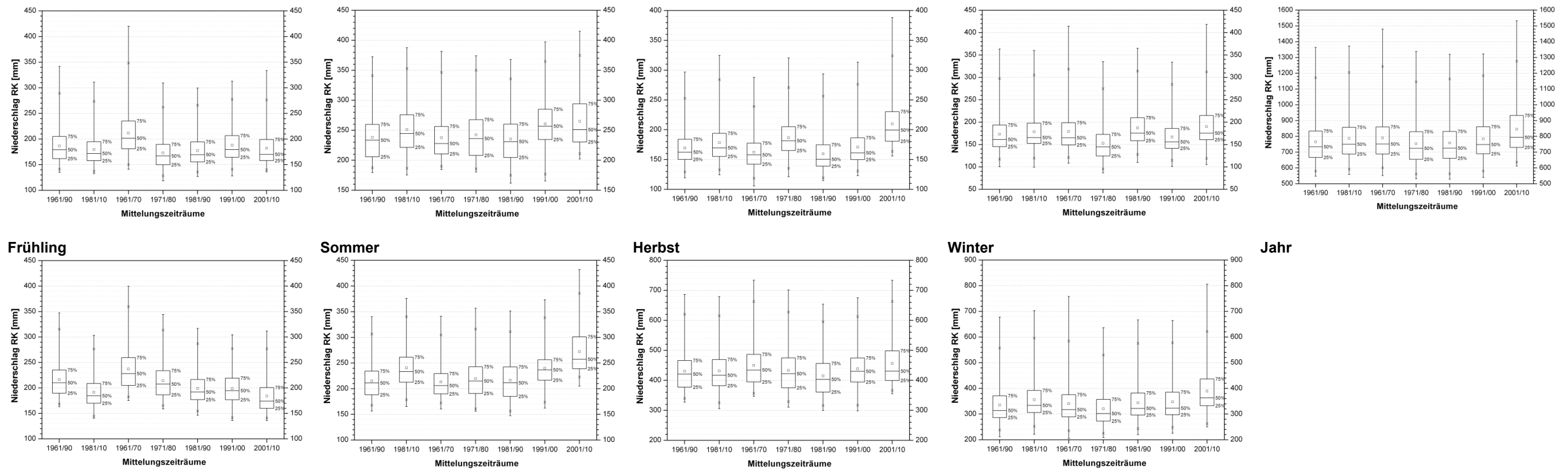
**Abb. 4.1.2-5: Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**





Jahr

Abb. 4.1.2-6: Flächenhafte Verteilung des korrigierten Niederschlags RK (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Jahr

Abb. 4.1.2-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für den korrigierten Niederschlag RK (mm) in Sachsen

### 4.1.3 Relative Sonnenscheindauer

#### Klimanormalperioden

Das Verhältnis aus maximal möglichem Sonnenschein und tatsächlich auftretendem Sonnenschein wird als relative Sonnenscheindauer bezeichnet. Dieses Maß drückt indirekt den Wolkenbedeckungsgrad eines Standortes aus, welcher beispielsweise bei 60 % relativer Sonnenscheindauer 40 % beträgt. Die Verteilung dieser beiden Größen innerhalb Sachsens soll für ein mittleres Jahr und differenziert nach Jahreszeiten analysiert werden. Des Weiteren ist der zeitliche Verlauf der relativen Sonnenscheindauer durch einen Vergleich der Perioden 1961–1990 und 1981–2010 dargestellt. Wie die Karten zeigen, ist die relative Sonnenscheindauer analog zum Niederschlag von der Seehöhe abhängig. Dabei scheint die Sonne im Tiefland am häufigsten, während diese mit ansteigender Höhe durch zunehmende Wolkenbildung bzw. zunehmenden Niederschlag abnimmt. Zusätzlich weist der Osten Sachsens eine hohe relative Sonnenscheindauer auf, weil dieser weniger vom Meer und von Niederschlägen beeinflusst ist. Der Vergleich von Referenz- und jüngster Klimaperiode zeigt im Jahresmittel eine Zunahme der relativen Sonnenscheindauer für den größten Teil Sachsens und eine leichte Abnahme im Elbsandstein-, Mittel- und Osterzgebirge. Dabei überwiegt im Flächenmittel die Zunahme des relativen Sonnenscheins, der für ganz Sachsen von 32 % (1961–1990) auf 34 % (1981–2010) ansteigt. Die zeitliche Entwicklung der relativen Sonnenscheindauer soll durch eine jahreszeitliche Differenzierung genauer untersucht werden.

Im Frühling und Sommer treten die häufigsten Sonnenscheinereignisse im Jahr auf. Im Vergleich der Klimaperioden steigt die relative Sonnenscheindauer im Frühling für den Zeitraum 1981–2010 flächendeckend um etwa 8 % an. Eine Ursache dafür könnte in den abnehmenden Frühjahrsniederschlägen liegen, wobei das Änderungssignal der relativen Sonnenscheindauer räumlich homogener ist. Im Sommer hingegen nimmt der Sonnenschein trotz ansteigender Niederschläge recht flächendeckend um 4 % für ganz Sachsen zu. Die Ursache dafür sind möglicherweise zunehmend kurze oder am Abend auftretende Niederschlagszunahmen, die keinen bedeutenden Einfluss auf die Sonnenscheindauer haben, oder lang anhaltende sonnenscheinreiche Perioden, welche die Niederschlagszunahme überlagern. Im Winter und Herbst verkürzen sich die Sonnenscheinereignisse in Folge kürzer werdender Tageslängen bis zu ihrem Minimum im Winter. Die Änderungen des Sonnenscheins sind während dieser beiden Zeithorizonte räumlich differenzierter ausgeprägt als im Frühjahr oder Sommer. Dabei nimmt die relative Sonnenscheindauer besonders im Leipziger Raum, in West- und Ostsachsen zu, während sie im Elbsandsteingebirge, Mittel- und Osterzgebirge abnimmt. Das flächengemittelte Änderungssignal der relativen Sonnenscheindauer ist im Herbst am geringsten (+1 %) und im Winter am stärksten (+15 %) ausgeprägt.

#### Dekaden

Die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellte dekadische Gegenüberstellung der relativen Sonnenscheindauer in Sachsen für den Zeitraum 1961–2010 ermöglicht eine Analyse der rezenten Änderungen dieser Größe. Die relative Sonnenscheindauer ist vom Wolkenbedeckungsgrad und somit auch vom Niederschlag abhängig. Der Grad der Abhängigkeit unterliegt der Ereignisdauer, also wie schnell sich beispielsweise Wolken wieder auflösen, und dem Zeitpunkt auftretender Niederschläge (Tag oder Nacht). Im Jahresmittel zeigen die Karten eine recht kontinuierliche Zunahme der relativen Sonnenscheindauer von 1971/80 (relSD = 31 %) bis 2001/10 (relSD = 35 %) für ganz Sachsen. Dabei wird deutlich, dass der ansteigende Trend des Niederschlags hier scheinbar keinen signifikanten Einfluss auf die relative Sonnenscheindauer hat, weil zum einen längere Sonnenscheinperioden innerhalb der Dekaden die Niederschlagsereignisse überlagern können, zum anderen Niederschlagszunahmen nicht zwangsläufig mehr Bewölkung zur Folge haben, wenn es sich beispielsweise um seltener auftretende, jedoch intensivere Ereignisse handelt. Mit Hilfe der innerjährlich diffe-

renzierten dekadischen Karten soll die Entwicklung der relativen Sonnenscheindauer näher untersucht werden.

Im Frühling nimmt die relative Sonnenscheindauer von 1971/80 bis 2001/10 zu, wobei die Dekaden 1961/70 und 1971/80 eine sehr ähnliche Gestalt aufweisen. Dekade 2001/10 ist folglich der Zeitabschnitt mit dem meisten Sonnenschein innerhalb Sachsens. Der Anstieg der relativen Sonnenscheindauer über die letzten vier Dekaden weist kein konkretes räumliches Muster auf. Jedoch ist, wie in allen Karten, ein Höhengradient für die relative Sonnenscheindauer deutlich erkennbar, mit den höchsten Werten im Tiefland und in Ostsachsen sowie weniger Sonnenschein im oberen Bergland, den Kamm- und Gipfellagen.

Im Sommer unterscheiden sich die Dekaden durch sprunghaft auftretende Änderungen voneinander. Hier ist unter Berücksichtigung aller Dekaden kein kontinuierlicher Trend erkennbar. 1971/80 und 1981/90 sind die sonnenscheinärmsten Dekaden, davor (1961/70) und danach (1991/00 und 2001/10) treten Sonnenscheinergebnisse häufiger ein, wobei die Dekade 2001/10 die höchsten Werte aufweist. Dabei treten die maximalen relativen Sonnenscheindauern für die jüngste Dekade in Ostsachsen auf, die Region Sachsens, welche am wenigsten vom Meer und Niederschlägen beeinflusst wird. Des Weiteren könnte das besonders trockene und wolkenarme Extremjahr 2003 einen erheblichen Einfluss auf die hohen Sonnenscheindauern innerhalb Sachsens für diese Dekade haben.

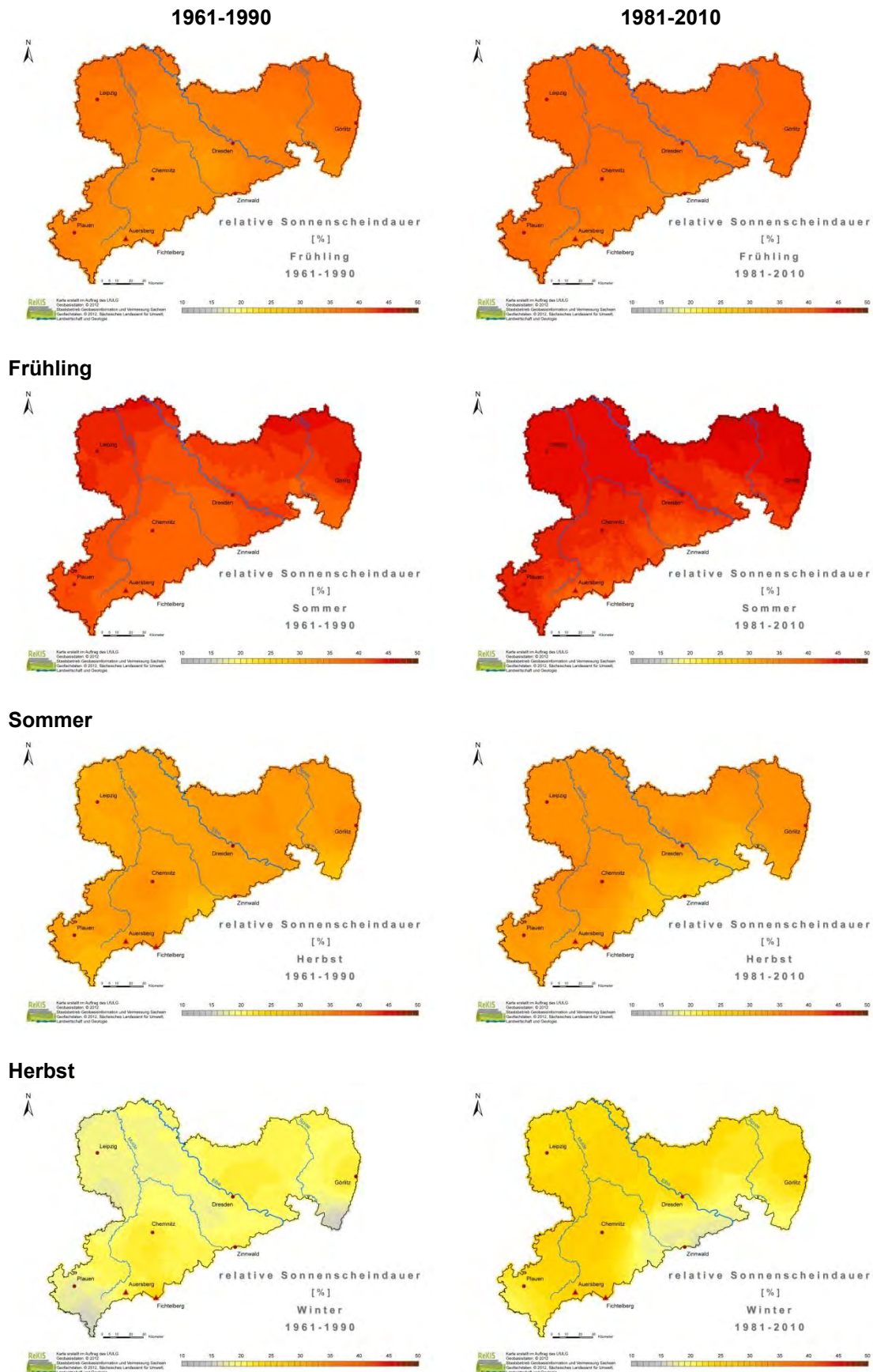
Ähnlich ist es im Herbst, in welchem die Dekaden 1961/70 und 2001/10 den häufigsten Sonnenschein aufweisen. Die dazwischenliegenden Zeiträume 1971/80 bis 1991/00 sind sich alle sehr ähnlich und sonnenscheinärmer. Der höhere Sonnenschein der ersten Dekade lässt sich möglicherweise auf den Niederschlag zurückführen, welcher für den Herbst 1961/70 von allen Dekaden am geringsten ist, was einen geringen Bedeckungsgrad zur Folge hat. Für die Dekade 2001/10 könnte die hohe relative Sonnenscheindauer durch das bereits erwähnte Extremjahr 2003 beeinflusst sein. Weil während dieser Dekade jedoch auch recht hohe Niederschläge fielen, könnte es sich bei den Niederschlagszunahmen um kurze, intensive Ereignisse handeln, welche nicht zwangsläufig mehr Bewölkung zur Folge haben müssen.

Im Winter ist wieder ein leicht ansteigender Trend in der Entwicklung der relativen Sonnenscheindauer zu erkennen, mit dem wenigsten Sonnenschein für die Dekaden 1961/70 und 1971/80, die nicht den typischen Höhengradienten aufweisen. Der meiste Sonnenschein tritt in Dekade 1991/00, gefolgt von Dekade 2001/10 auf. Die Vegetationsperioden weisen beide ab 1971/80 einen ansteigenden Trend der Sonnenscheindauer auf. Dieser ist für Vegetationsperiode I stärker ausgeprägt, was möglicherweise mit den gleichzeitig abnehmenden Niederschlägen in Verbindung gebracht werden kann. Trotz des leicht ansteigenden Trends der Niederschläge in Vegetationsperiode II, steigen die Sonnenscheindauern für diesen Zeitraum an, was die These seltener auftretender, jedoch intensiverer Niederschlagsereignisse stützt.

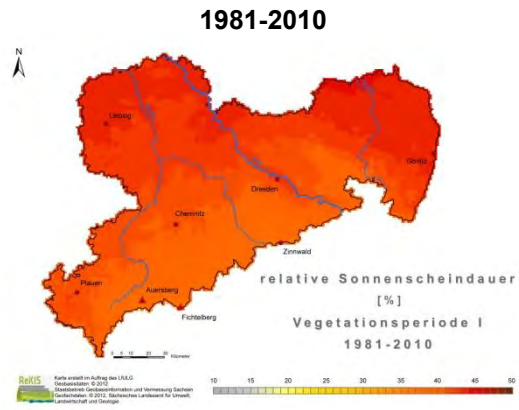
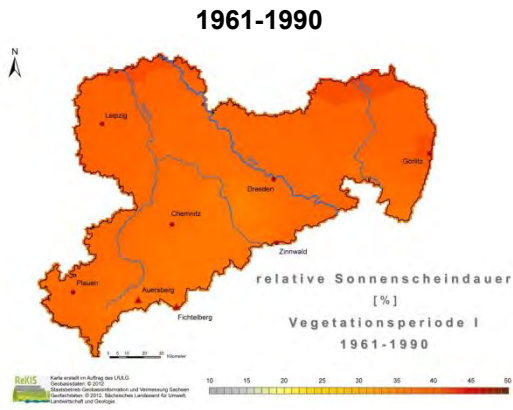
#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

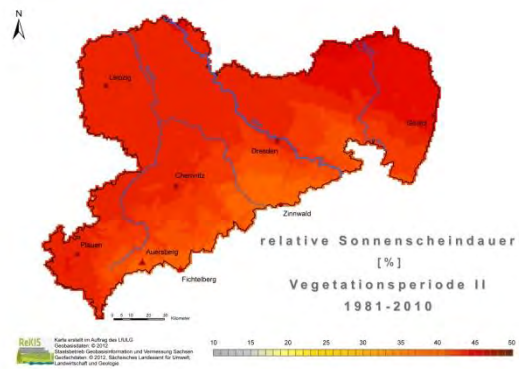
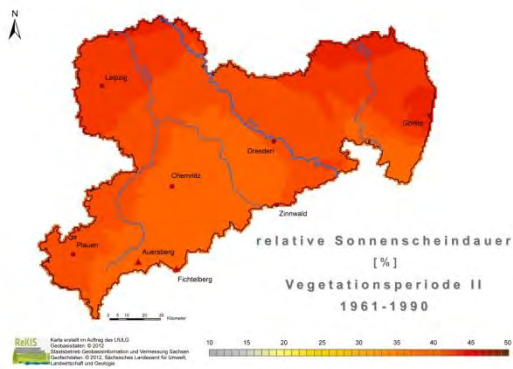




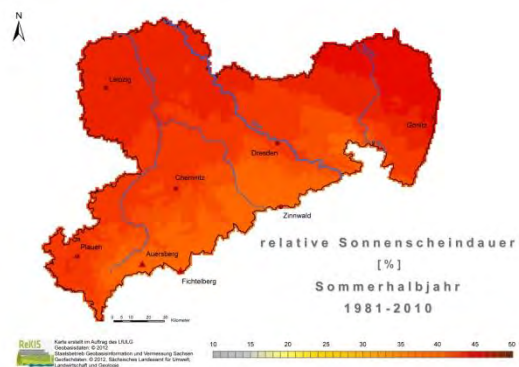
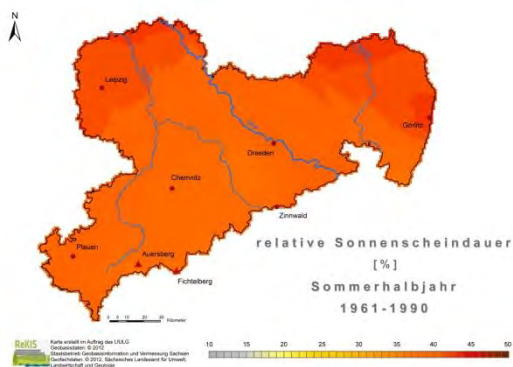
**Abb. 4.1.3-1: Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer reISD (%) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten**



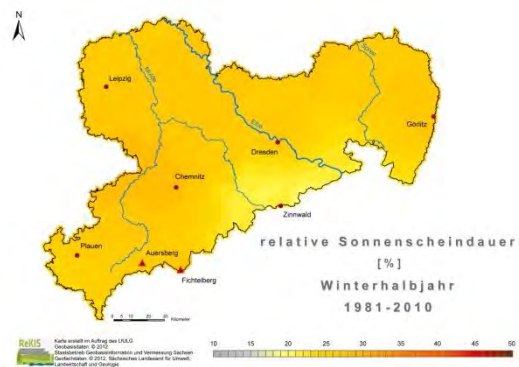
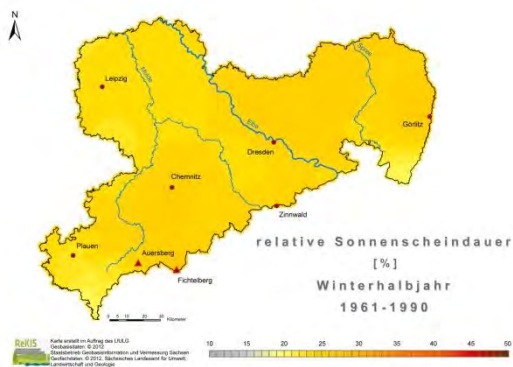
**Vegetationsperiode I**



**Vegetationsperiode II**

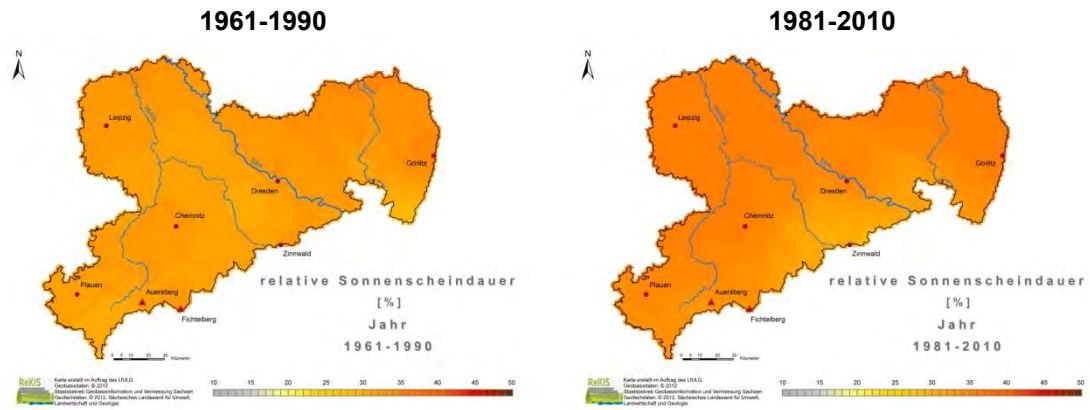


**Sommerhalbjahr**



**Winterhalbjahr**

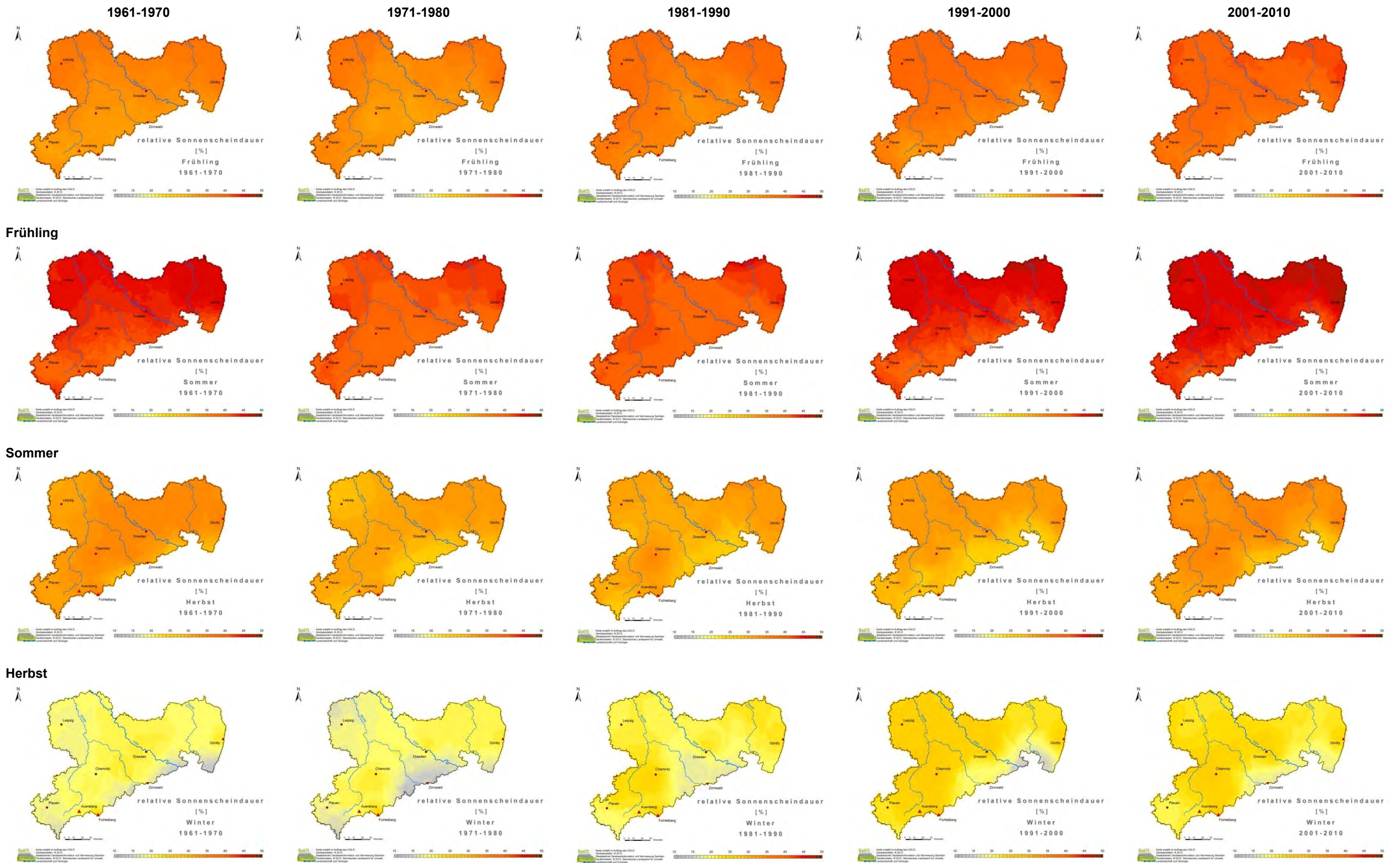
**Abb. 4.1.3-2: Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer reISD (%) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**



Jahr

Abb. 4.1.3-3: Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer reISD (%) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr

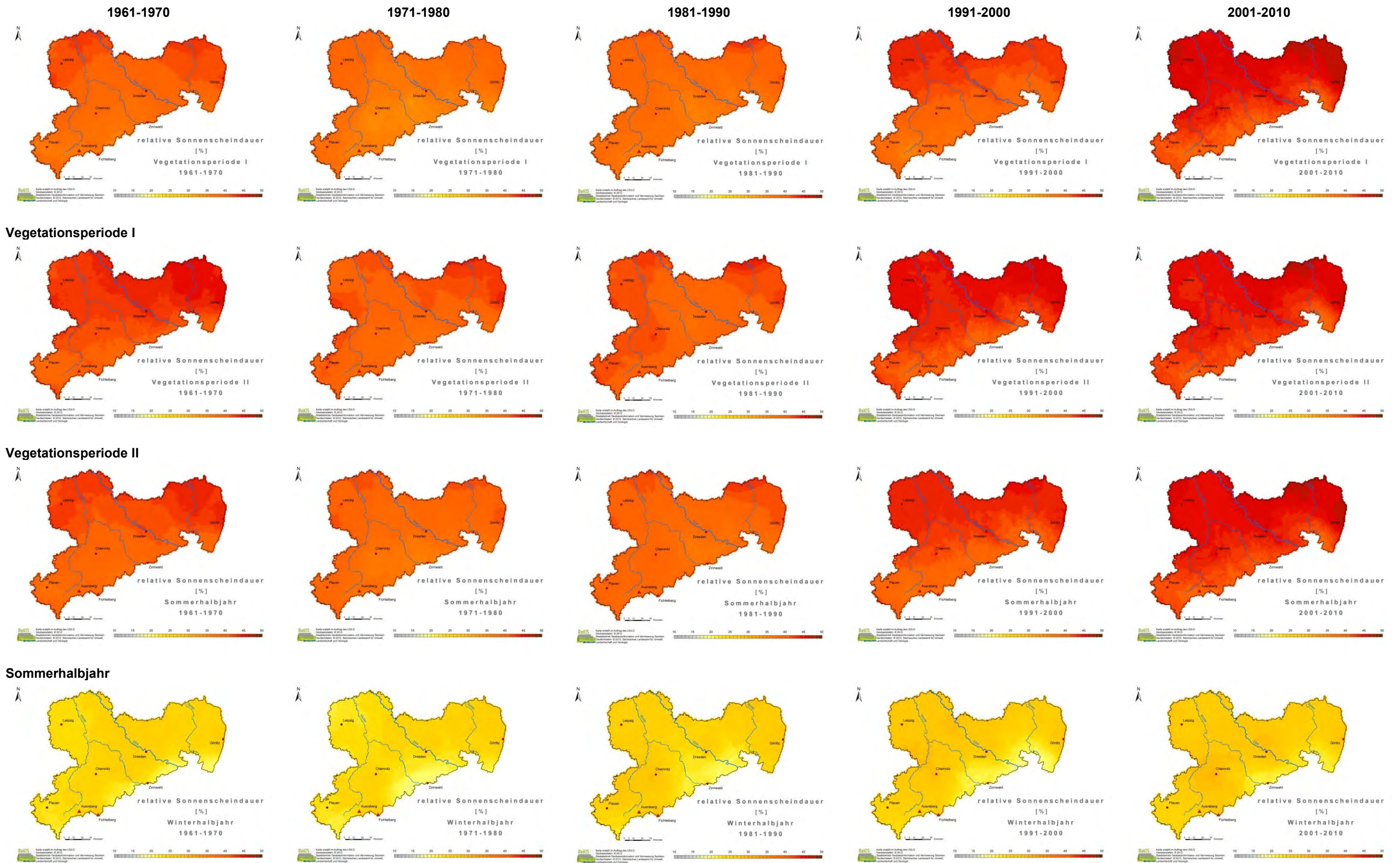




Winter

Abb. 4.1.3-4: Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer reISD (%) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten

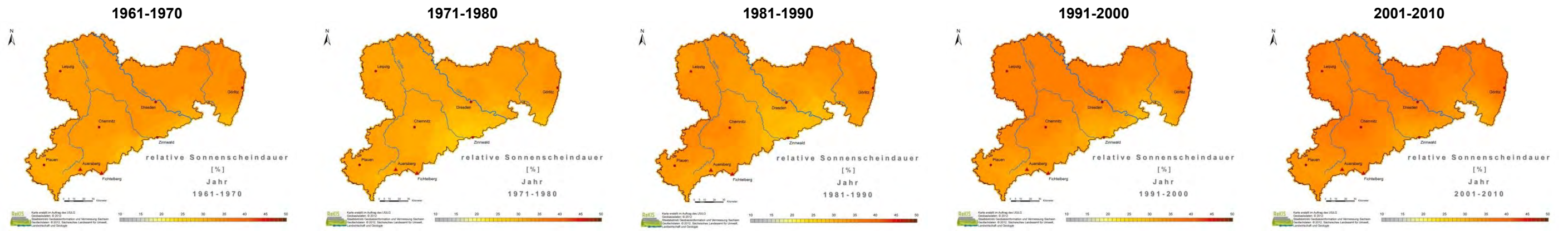




**Winterhalbjahr**

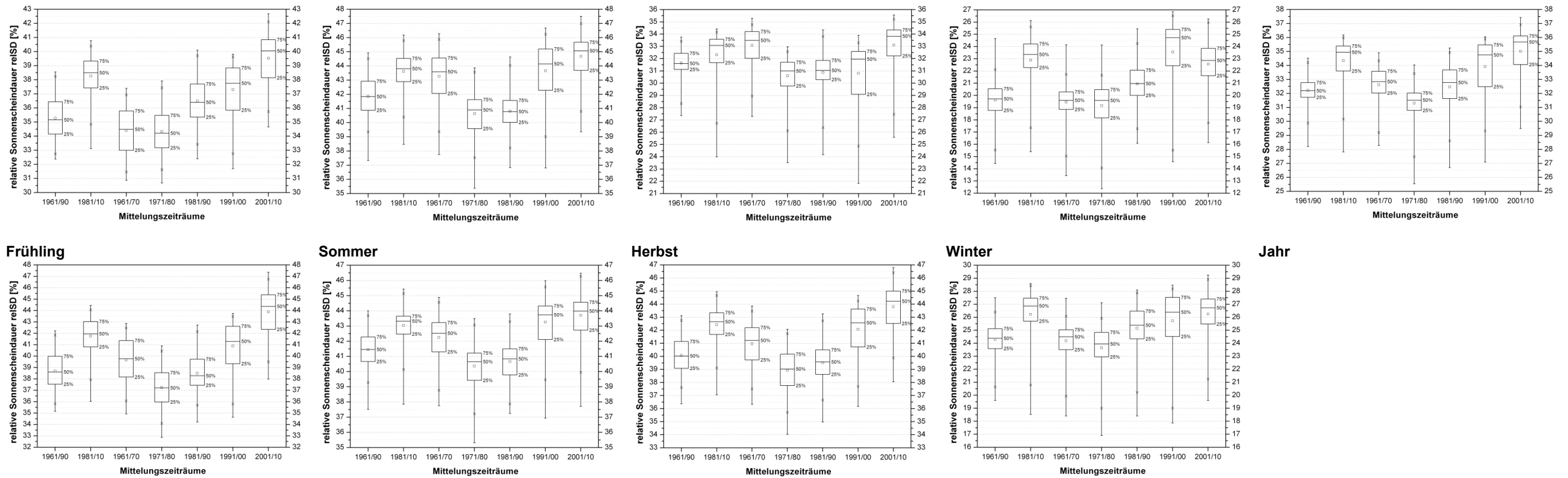
**Abb. 4.1.3-5: Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer reISD (%) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**





Jahr

Abb. 4.1.3-6: Flächenhafte Verteilung der relativen Sonnenscheindauer reISD (%) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Abb. 4.1.3-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die relative Sonnenscheindauer reISD (%) in Sachsen



## 4.2 Flächenhafte Darstellungen für abgeleitete Klimagrößen

### 4.2.1 Globalstrahlung

#### Klimanormalperioden

Die räumliche und zeitliche Verteilung der Globalstrahlung drückt implizit die Verteilung der (relativen) Sonnenscheindauer aus, welche über den Ångström-Ansatz direkt in die Berechnung der Globalstrahlung einfließt. Folglich zeigen die nachfolgenden Abbildungen der Globalstrahlung, analog zur relativen Sonnenscheindauer, eine Abhängigkeit zur Seehöhe und der Entfernung zum Meer. Beide Faktoren sind ausschlaggebend für den Niederschlag bzw. die Wolkenbedeckung über Sachsen, welche die Strahlung auf ihrem Weg zur Bodenoberfläche abschwächen. Dies führt zu hohen Globalstrahlungssummen im Tiefland (geringe Niederschlagsraten) und Ostsachsen (geringer Einfluss mariner Luftmassen) sowie zu geringer Einstrahlung in den niederschlagsreichen Gebirgslagen.

Wie sich die Globalstrahlung innerhalb Sachsens in der Jahressumme und differenziert nach bestimmten Zeiträumen entwickelt, soll durch einen Vergleich der Perioden 1961–1990 und 1981–2010 erörtert werden. Generell sind die Änderungen und flächenhaften Verteilungen der Globalstrahlung nahezu identisch mit der Sonnenscheindauer. Das bedeutet im Vergleich der beiden Perioden einen Anstieg der Globalstrahlung von 964 kWh/m<sup>2</sup> (1961–1990) auf 992 kWh/m<sup>2</sup> (1981–2010) für das mittlere Jahr. Grundsätzlich sollten die Änderungen wegen der geringeren Datenverfügbarkeit in Periode 1961–1990 nicht auf die einzelnen betroffenen Regionen bezogen, sondern vielmehr der Gesamteindruck bewertet werden. Für die einzelnen Jahreszeiten und charakteristischen Zeithorizonte nimmt die Strahlungsbilanz stets für die jüngste Klimaperiode zu. Dabei treten die stärksten Änderungen im Frühling und in Vegetationsperiode I auf und betragen im Flächenmittel +5 %. Die Ursache dafür ist möglicherweise die für diese Zeithorizonte stattfindende Niederschlagsabnahme, die weniger Bewölkung zur Folge hat. Der Globalstrahlungszuwachs im Sommer und in Vegetationsperiode II beträgt 3 % für ganz Sachsen. Für diese Zeitfenster nehmen die Niederschläge zwar zu, jedoch könnte es sich um intensivere und gleichzeitig seltener auftretende Ereignisse handeln, was nicht zwangsläufig zu zunehmender Wolkenbedeckung führt. Im Herbst sind nur sehr geringe positive Änderungen (< 1 %) der kurzwelligen Einstrahlung für ganz Sachsen erkennbar. Die flächengemittelte Globalstrahlung der Periode 1981–2010 ist im Winter um 4 % höher als in Periode 1961–90.

#### Dekaden

Die Abbildungen zeigen nochmals deutlich die Abhängigkeit der Strahlung vom Niederschlag bzw. der Bewölkung, die sich in Form eines Höhengradienten äußert. Dabei ist die solare Einstrahlung für tiefer gelegene Geländehöhen größer als für die niederschlagsreichen Gebirgsregionen. Sie ist in ihrer räumlichen Verteilung innerhalb Sachsens nahezu identisch zur (relativen) Sonnenscheindauer, die als Berechnungsgrundlage für die Globalstrahlung dient. Des Weiteren sind hohe Globalstrahlungssummen typisch für den Osten Sachsens, der durch einen geringen Einfluss maritimer Luftmassen recht niederschlagsarm ist. Die dekadische Entwicklung der mittleren jährlichen Globalstrahlungssummen lässt einen recht kontinuierlichen ansteigenden Trend von 1971/80 bis 2001/10 erkennen, welcher sich in einer Zunahme von 2 % pro Dekade äußert. Dekade 1971/80 weist von allen Zeiträumen die geringste jährliche Globalstrahlung mit 945 kWh/m<sup>2</sup> auf, die Dekade 2001/10 die höchste – etwa 1.004 kWh/m<sup>2</sup> für ganz Sachsen. Die dekadische Zunahme der mittleren jährlichen Globalstrahlungssummen deutet bei einem gleichzeitig detektierten Niederschlagszuwachs auf eine Veränderung der Regenereignisse hin. So scheinen die vermehrten Niederschläge aus intensiveren, jedoch seltener auftretenden Ereignissen hervorzugehen. Dadurch nimmt der Wolkenbedeckungsgrad, als Hindernis für die solare Einstrahlung, trotz Niederschlagszuwachs ab. Wie es zu diesem mittleren jährlichen dekadischen Trend

kommt, soll anhand der jahreszeitlich differenzierten Entwicklung der Globalstrahlung näher untersucht werden.

Der Frühling und Sommer sind die strahlungsintensivsten Zeiträume des Jahres, mit Höchstwerten von Mai bis August. Im Frühjahr nimmt die Globalstrahlung über alle Dekaden hinweg zu, wobei sich die ersten beiden strahlungsarmen Zeiträume kaum voneinander unterscheiden. Im Vergleich von Dekade 1971/80 und 1981/90 findet der größte Globalstrahlungszuwachs für Sachsen statt und beträgt im Flächenmittel etwa 4 %. Der Anstieg der solaren Strahlung von 1981/90 bis 1991/00 beträgt hingegen lediglich 1 %. Die jüngste Dekade unterscheidet sich wiederum durch eine im Flächenmittel etwa 2 % höhere Globalstrahlung von dem vorhergehenden Zeitabschnitt. Das extrem niederschlagsarme Frühjahr im Jahr 2003 könnte den Anstieg der Globalstrahlung für die Dekade 2001/10 verstärkt haben.

Im Sommer sind die Änderungen zwischen den einzelnen Dekaden sehr sprunghaft, ohne einen erkennbaren kontinuierlichen Trend. 1971/80 und 1981/90 sind die strahlungsärmsten Dekaden, davor (1961/70) und danach (1991/00 und 2001/10) treten Strahlungsereignisse häufiger ein, wobei Dekade 2001/10 die höchsten Globalstrahlungswerte mit einem Maximum in Ostsachsen aufweist. Wieder könnte die hohe solare Einstrahlung in Dekade 2001/10 durch das extreme Niederschlags- bzw. Bewölkungsdefizit im Sommer 2003 verstärkt worden sein.

Eine zum Sommer ähnlich sprunghafte Entwicklung der Globalstrahlung lässt sich für den Herbst erkennen, mit den höchsten Strahlungswerten für Dekade 1961/70 und 2001/10. Die dazwischenliegenden, um etwa 3 bis 4 % strahlungsärmeren Dekaden unterscheiden sich alle kaum voneinander. In der Analyse der dekadischen Niederschlagsentwicklung wurde die Dekade 1961/70 im Vergleich zu den anderen als recht trocken ausgewiesen. Hier könnte also ein geringer Bedeckungsgrad infolge weniger Niederschläge zu einer hohen Globalstrahlung geführt haben. Für die jüngste Dekade scheint sich die Globalstrahlung unabhängig vom Niederschlag zu entwickeln. Hier sind die erhöhten Niederschläge wie bereits erwähnt offenbar sehr intensiv, treten aber im Gesamtzeitraum seltener auf, was schlussendlich eine Zunahme der Globalstrahlung zur Folge hat.

Der Winter ist die strahlungsärmste Zeit im Jahr. Hier wird anhand der Karten ein leicht ansteigender Trend in der solaren Einstrahlung über alle Dekaden sichtbar. Die geringste Globalstrahlung tritt in den Dekaden 1961/70 und 1971/80 auf. Danach nehmen die Globalstrahlungssummen innerhalb Sachsens um etwa 4 % pro Dekade bis 1991/00 kontinuierlich zu. In Dekade 2001/10 ist wiederum ein leichter Rückgang gegenüber der vorhergehenden Dekade erkennbar.

Beide Vegetationsperioden zeigen einen kontinuierlichen Anstieg der Globalstrahlung ab 1971/80. Für Vegetationsperiode I ist dieser infolge gleichzeitig abnehmender Niederschläge mit etwa +3 % pro Dekade stärker für ganz Sachsen ausgeprägt. Die zunehmenden Niederschläge in Vegetationsperiode II äußern sich wahrscheinlich erneut in zunehmender Intensität und abnehmender Häufigkeit, was einen Anstieg der solaren Einstrahlung um etwa 2 % pro Dekade (Flächenmittel) erklären könnte.

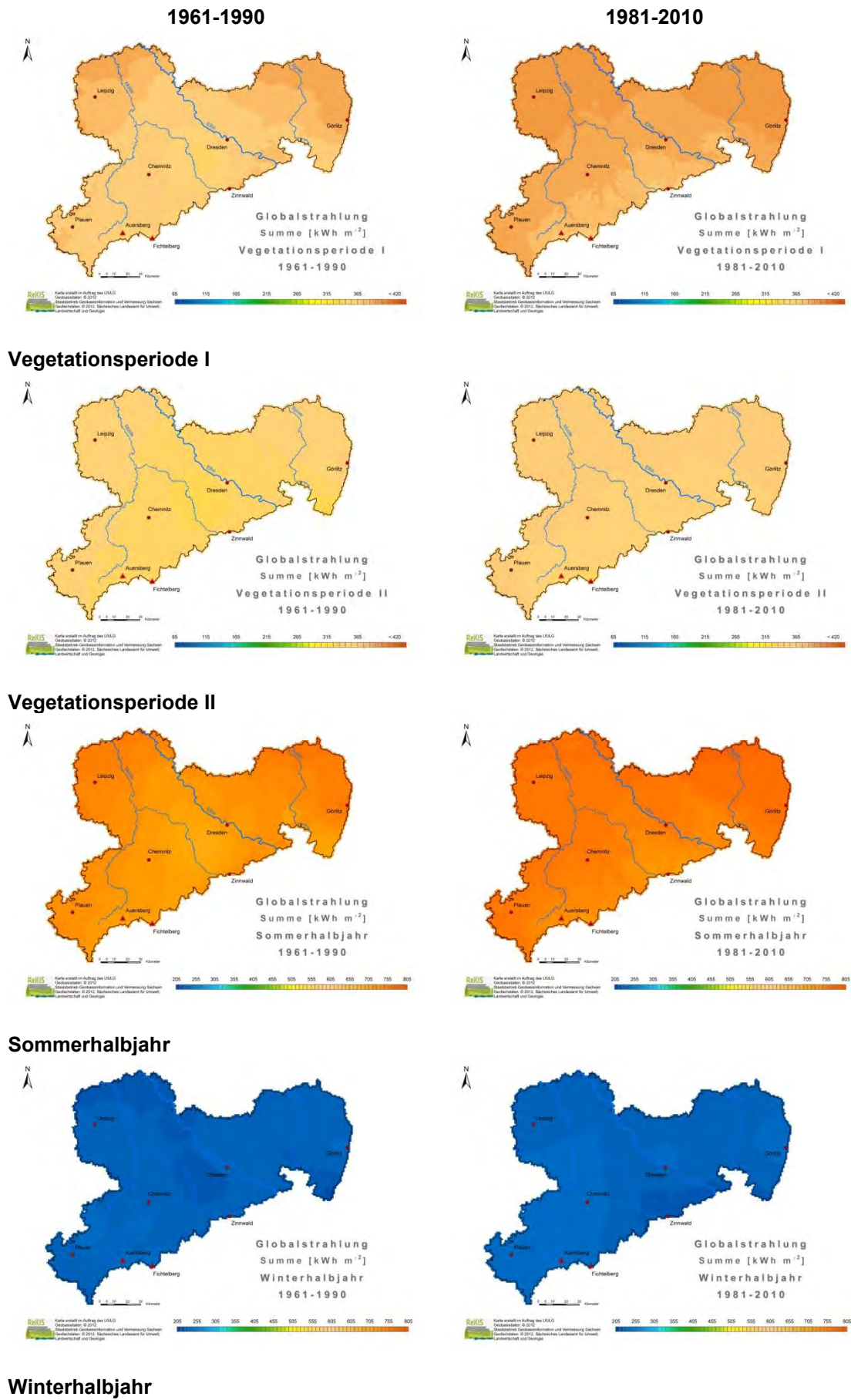
#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible

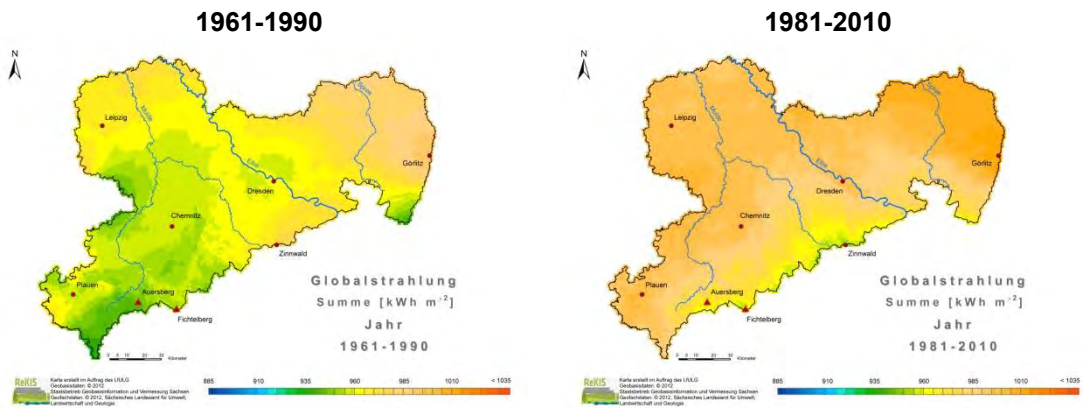
Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*







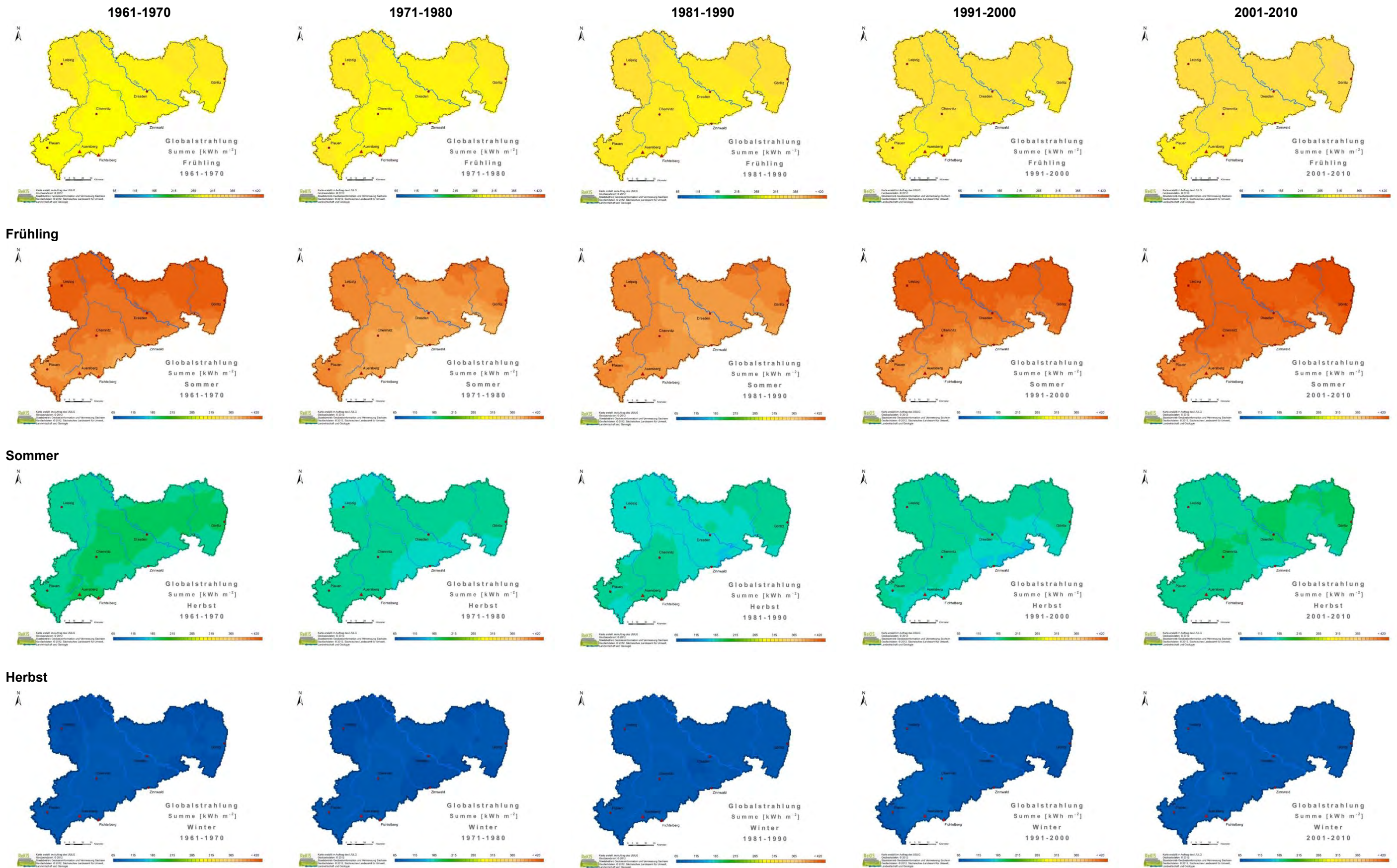
**Abb. 4.2.1-2: Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m<sup>2</sup>) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**



Jahr

Abb. 4.2.1-3: Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m<sup>2</sup>) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr

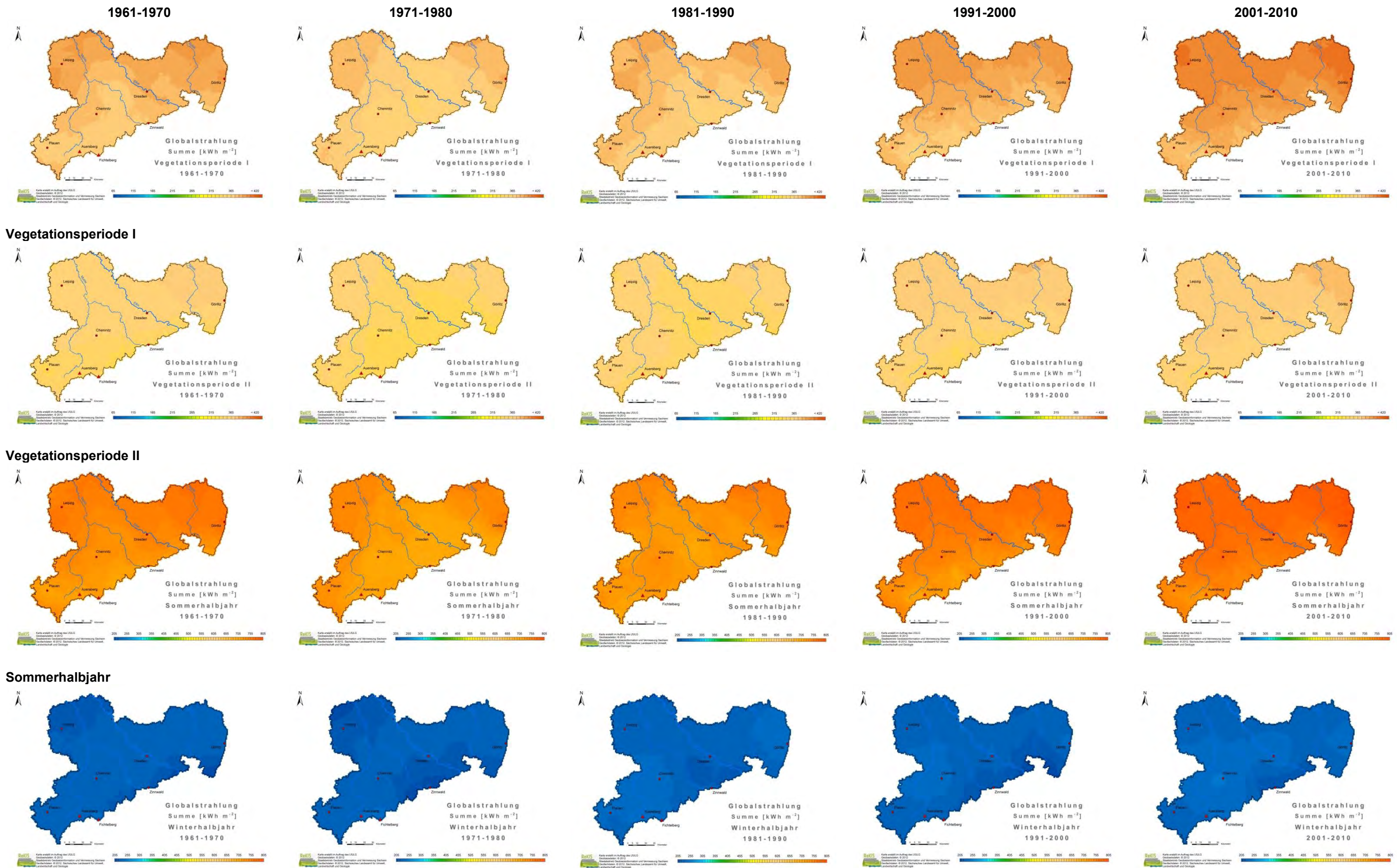




Winter

Abb. 4.2.1-4: Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m<sup>2</sup>) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten

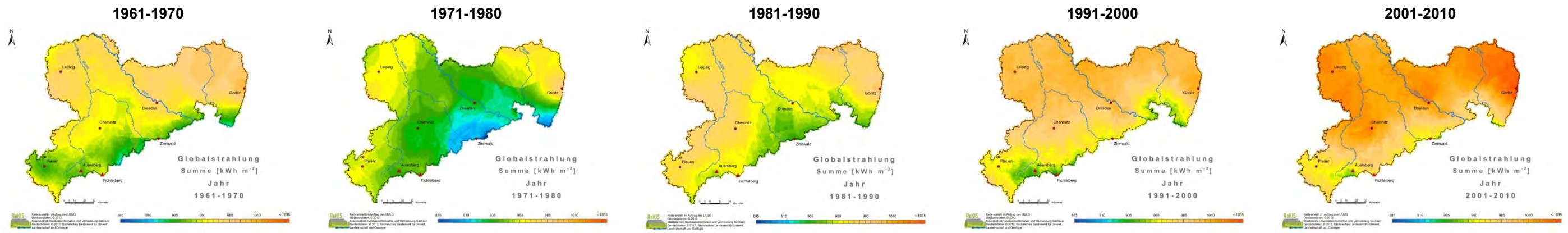




**Winterhalbjahr**

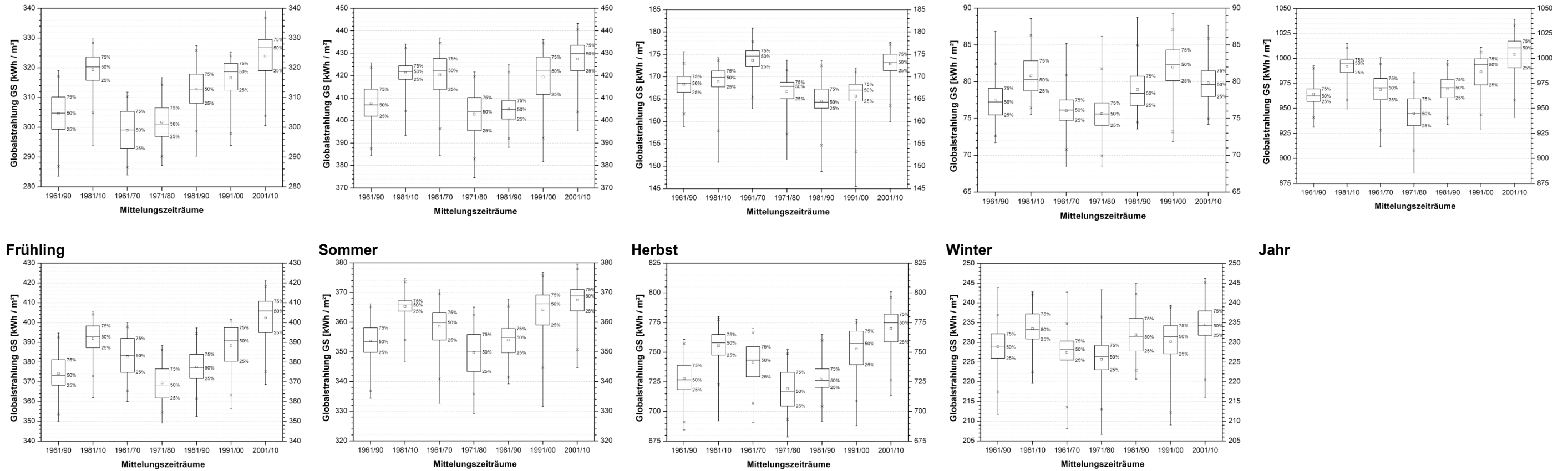
**Abb. 4.2.1-5: Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m<sup>2</sup>) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**





Jahr

Abb. 4.2.1-6: Flächenhafte Verteilung der Globalstrahlung GS (kWh/m<sup>2</sup>) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Abb. 4.2.1-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die Globalstrahlung GS (kWh/m<sup>2</sup>) in Sachsen



## 4.2.2 Potenzielle Verdunstung

### Klimanormalperioden

Die potenziellen Verdunstungshöhen innerhalb Sachsens drücken implizit die räumliche Verteilung der Globalstrahlung, sowie der Minimum- und Maximumtemperatur aus. An der Höhenabhängigkeit, also einer abnehmenden Verdunstung mit zunehmender Geländehöhe ist zu erkennen, dass der Temperatureinfluss dominiert. So ergibt sich im Vergleich der Perioden 1961-1990 und 1981-2010 ein zur Temperatur ähnliches Bild. Im Jahresmittel steigt die Verdunstung der jüngsten Klimaperiode (659 mm) gegenüber dem Referenzzeitraum (634 mm) um 4 % für ganz Sachsen an. Am geringsten ist die Zunahme für das obere Bergland, die Gipfel- und Kammlagen, während die Verdunstung im restlichen Raum Sachsens in recht ähnlicher Größenordnung ansteigt. Dieses räumliche Muster der Verdunstungsveränderungen erstreckt sich auch über die innerjährlichen Zeithorizonte.

Dabei ist der Anstieg der potenziellen Verdunstung im Frühling mit etwa 6 % am größten. Nahezu unverändert sind die Verdunstungshöhen im Vergleich beider Perioden im Herbst. Die prozentualen Zunahmen der potenziellen Verdunstung sind für den Sommer und Winter in etwa gleich und betragen 4 %. Ein maximales Änderungssignal im Frühling und keine bis minimale Änderungen im Herbst decken sich in etwa mit der Entwicklung der Maximumtemperaturen. Durch eine erhöhtes Verdunstungspotenzial bei erhöhter Lufttemperatur und Globalstrahlung sowie durch eine innerjährlich unterschiedliche Entwicklung der Größen ist das relative Änderungssignal der potenziellen Verdunstung für Periode 1981–2010 gegenüber 1961–1990 im Sommerhalbjahr größer als im Winterhalbjahr. Für ganz Sachsen beträgt die Zunahme daher im Sommerhalbjahr 5 % und im Winterhalbjahr 2 %.

### Dekaden

Die räumliche und zeitliche Entwicklung der potenziellen Verdunstung innerhalb Sachsens ist anhand der nachfolgenden Abbildungen für den Zeitraum 1961–2010 dekadisch und unter Berücksichtigung verschiedener Zeithorizonte dargestellt. Im Jahresmittel verdeutlichen die Karten einen recht konstant ansteigenden Trend der potenziellen Verdunstung von 1971/80 bis 2001/10, welcher im Flächenmittel etwa 3 % beträgt. Am stärksten ist die Verdunstungszunahme im Hügel- und unteren Bergland, wohingegen der Anstieg im Vogtland und in den Kammlagen am geringsten ist. Für Periode 2001/10 sind des Weiteren besonders in Ostsachsen zunehmende Verdunstungsraten zu erkennen, was möglicherweise an dem Einfluss der extremen Hitzeperiode 2003 liegt. Durch steigende Höchstwerte kommt es gleichzeitig auch zu einer erhöhten räumlichen Variabilität der potenziellen Verdunstung innerhalb Sachsens.

Im Frühling erhöht sich die potenzielle Verdunstung über alle fünf Dekaden, wobei der Anstieg von Dekade 1961/70 bis 1971/80 sehr gering ausfällt. Dieser Verlauf ähnelt sehr der Entwicklung der Globalstrahlung und Temperaturmaxima. Der größte Sprung ist im Vergleich der Zeiträume 1971/80 und 1981/90 zu erkennen, wobei sich die Verdunstungshöhe Sachsens um 6 % erhöht. Ab 1981/90 bis zur jüngsten Dekade verläuft die Verdunstungszunahme recht konstant und beträgt im Flächenmittel 2 % pro Dekade. Am stärksten sind wieder die Regionen vom Hügel- bis mittlerem Bergland und der Leipziger Raum betroffen, am wenigsten das Vogtland. Für Dekade 2001/10 nehmen die Verdunstungshöhen für Ostsachsen besonders zu, was möglicherweise an dem starken Niederschlagsdefizit des Frühjahrs und Sommers 2003 liegt, welches erhöhten Sonnenschein bzw. erhöhte Globalstrahlung zur Folge hatte.

Im Sommer treten die höchsten Verdunstungsraten in Folge maximaler Temperatur- und Globalstrahlungswerte auf. Somit verläuft die dekadische Entwicklung der Verdunstung recht ähnlich zu jener der Globalstrahlung, wie der dekadische Verlauf zeigt. Die geringsten Verdunstungshöhen treten während Dekade 1971/80 auf,

welche in den anschließenden Perioden wieder ansteigen (im Mittel um 3 %). Dabei äußert sich die Zunahme für Dekade 1991/00 sachsenweit recht ähnlich, mit Ausnahme des weniger betroffenen Südwestens.

Für Dekade 2001/10 steigen die Verdunstungsraten besonders im Leipziger Raum, in Mittelsachsen und im Osten an, wobei auch hier wieder das Extremereignis 2003 geringere Verdunstungsereignisse innerhalb der Dekade überlagern kann.

Für die Verdunstungsraten im Herbst ist, wie auch für die Maximumtemperaturen und die Globalstrahlung, kein eindeutiger Trend erkennbar. Deutlich wird jedoch, dass die Dekaden 1961/70 und 2001/10 den stärksten Energieinput im Gesamtzeitraum aufweisen, wodurch auch die potenzielle Verdunstung hier am höchsten ausfällt. Während dieser beiden Dekaden treten die größten Verdunstungshöhen im Tief- und Hügelland auf, die geringsten im oberen Bergland, den Kamm- und Gipfellagen. Die Verdunstungsraten der dazwischen liegenden Dekaden 1971/80, 1981/90 und 1991/00 unterscheiden sich nicht sichtbar voneinander und sind im Flächenmittel um etwa 5 % geringer als die Höchstwerte der Dekaden 1961/70 und 2001/00.

Im Winter ist ebenfalls kein eindeutiger Trend für den dekadischen Verlauf der potenziellen Verdunstung zu erkennen. Deutlich wird wieder die Sonderstellung der Dekade 1961/70, welche die kälteste aller betrachteten Winter repräsentiert und ebenfalls die geringsten Verdunstungshöhen aufweist. Für die nachfolgenden Dekaden sind die potenziellen Verdunstungsraten infolge eines höheren Temperaturniveaus größer. Dabei ähneln sich die Dekaden 1971/80, 1981/90 und 2001/10 mit Ausnahme leicht abweichender potenzieller Verdunstungshöhen im Hügel- und unteren Bergland. Die Dekade 1991/00 zeichnet sich von den anderen Dekaden durch die höchsten Wintertemperaturen und die stärkste Globalstrahlung ab, was folglich zu einer hohen potenziellen Verdunstung führt, die für das Tief- bis mittlere Bergland am größten ist.

Die Verdunstungsraten der Vegetationsperioden sind besonders für den Land- und Forstwirtschaftssektor von Bedeutung, vor allem in Verbindung mit der Niederschlagsverteilung eines Standortes (siehe Klimatische Wasserbilanz). In beiden Vegetationsperioden steigen die potenziellen Verdunstungsraten sachsenweit von 1971/80 bis 2001/10 an, wobei der ansteigende Trend für die erste Vegetationsperiode (Flächenmittelwert 4 %) größer ist als für die zweite (Flächenmittelwert 2 %). Wieder sind vor allem das Hügel- bis mittlere Bergland am stärksten betroffen, Westsachsen am geringsten.

#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimaelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

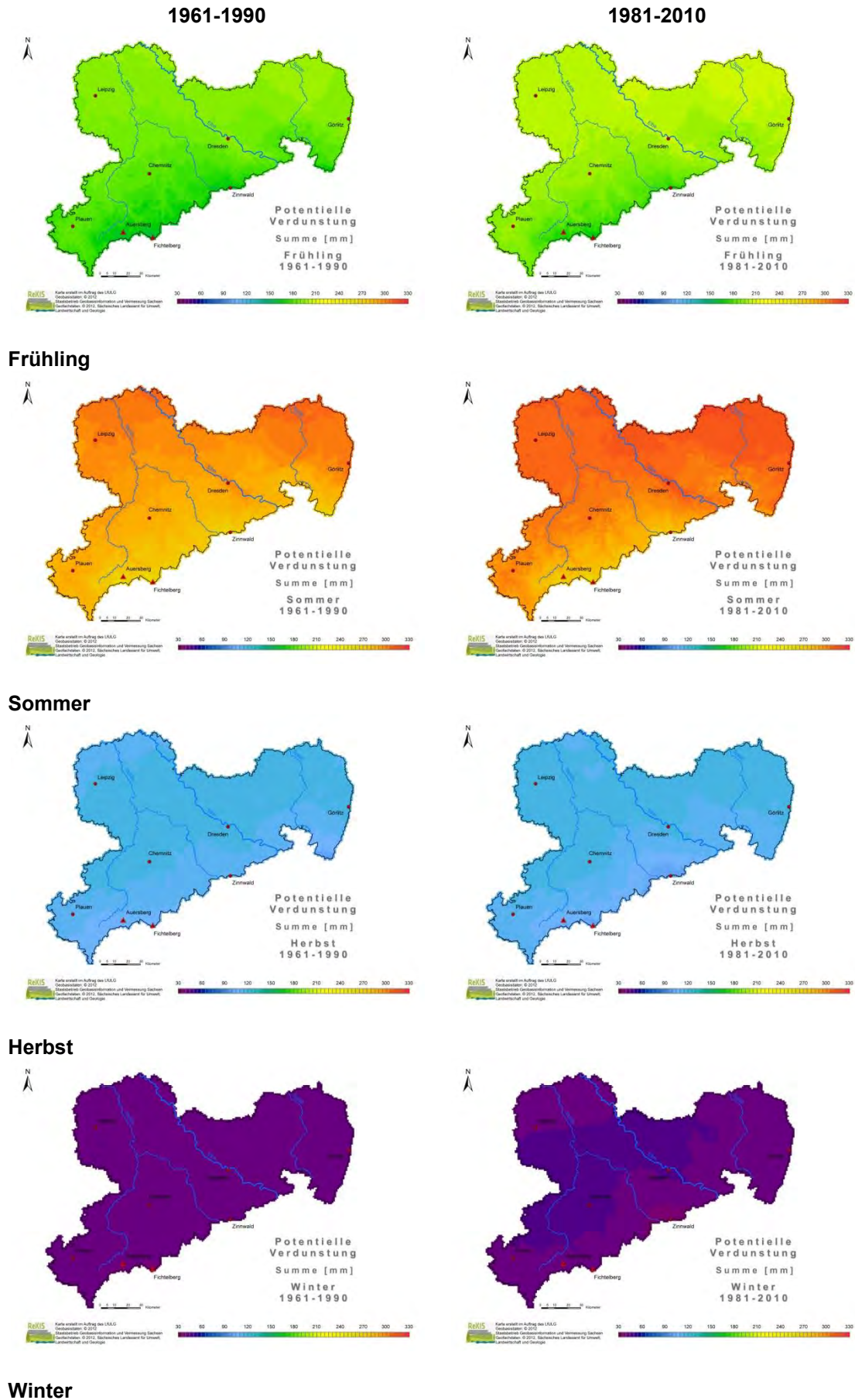
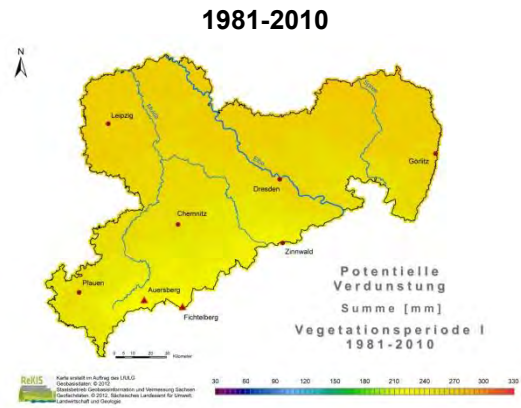
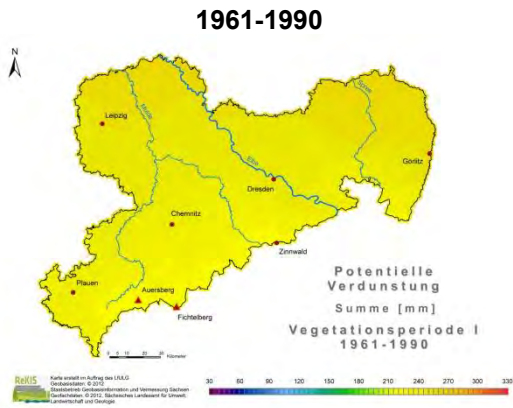
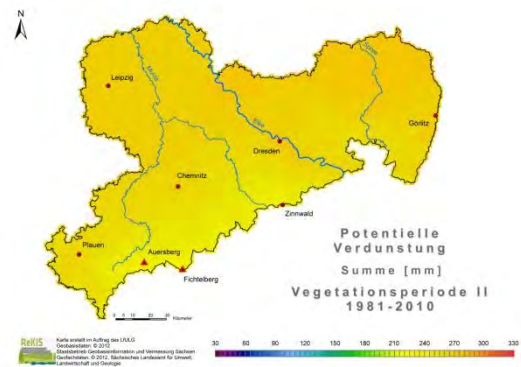
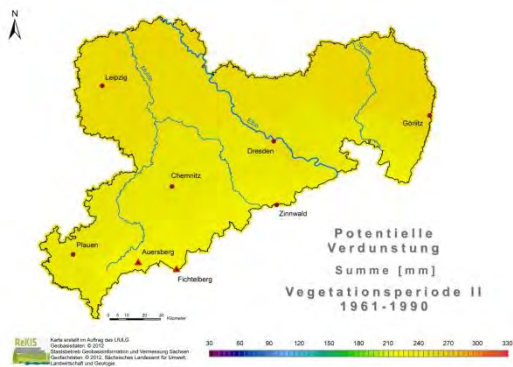


Abb. 4.2.2-1: Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten

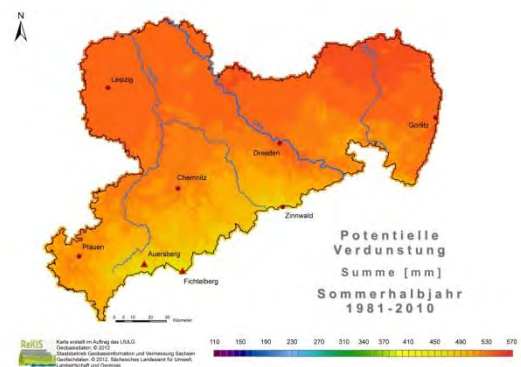
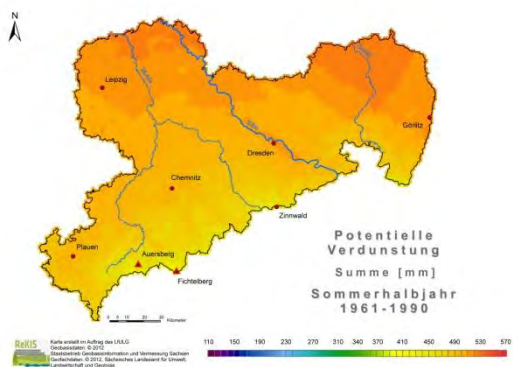




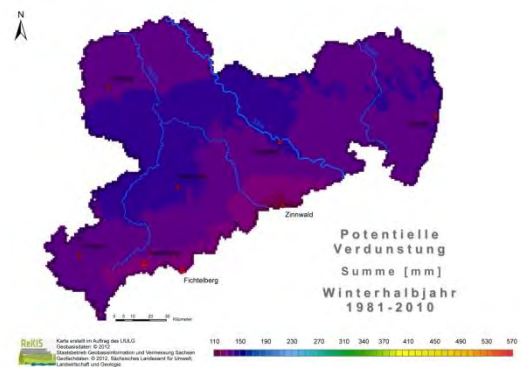
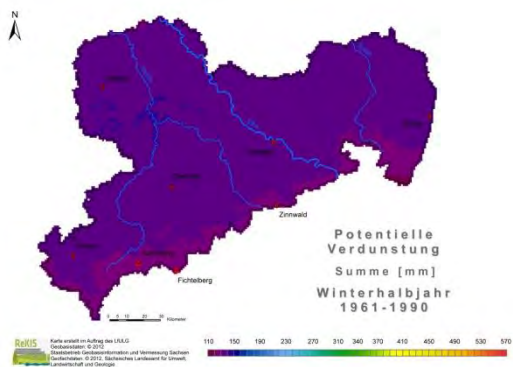
**Vegetationsperiode I**



**Vegetationsperiode II**

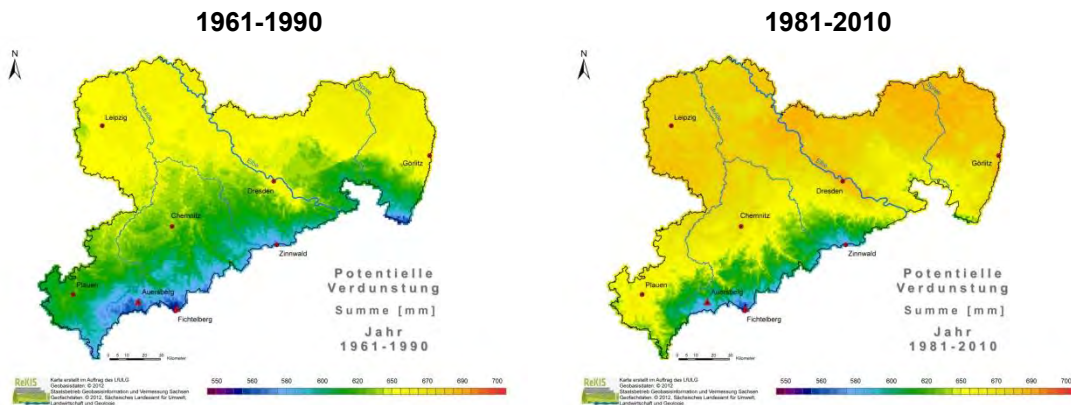


**Sommerhalbjahr**



**Winterhalbjahr**

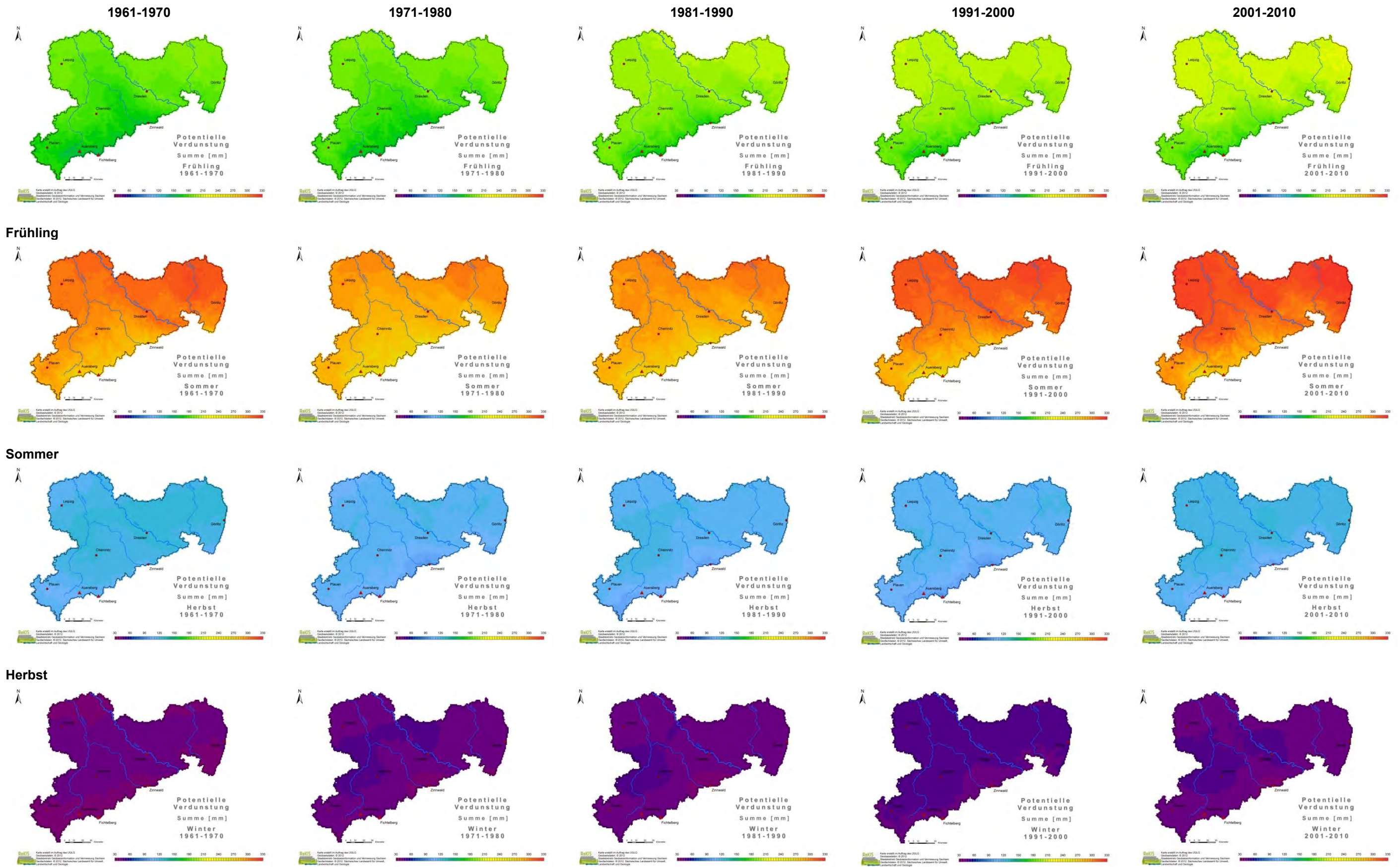
**Abb. 4.2.2-2: Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**



Jahr

Abb. 4.2.2-3: Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr

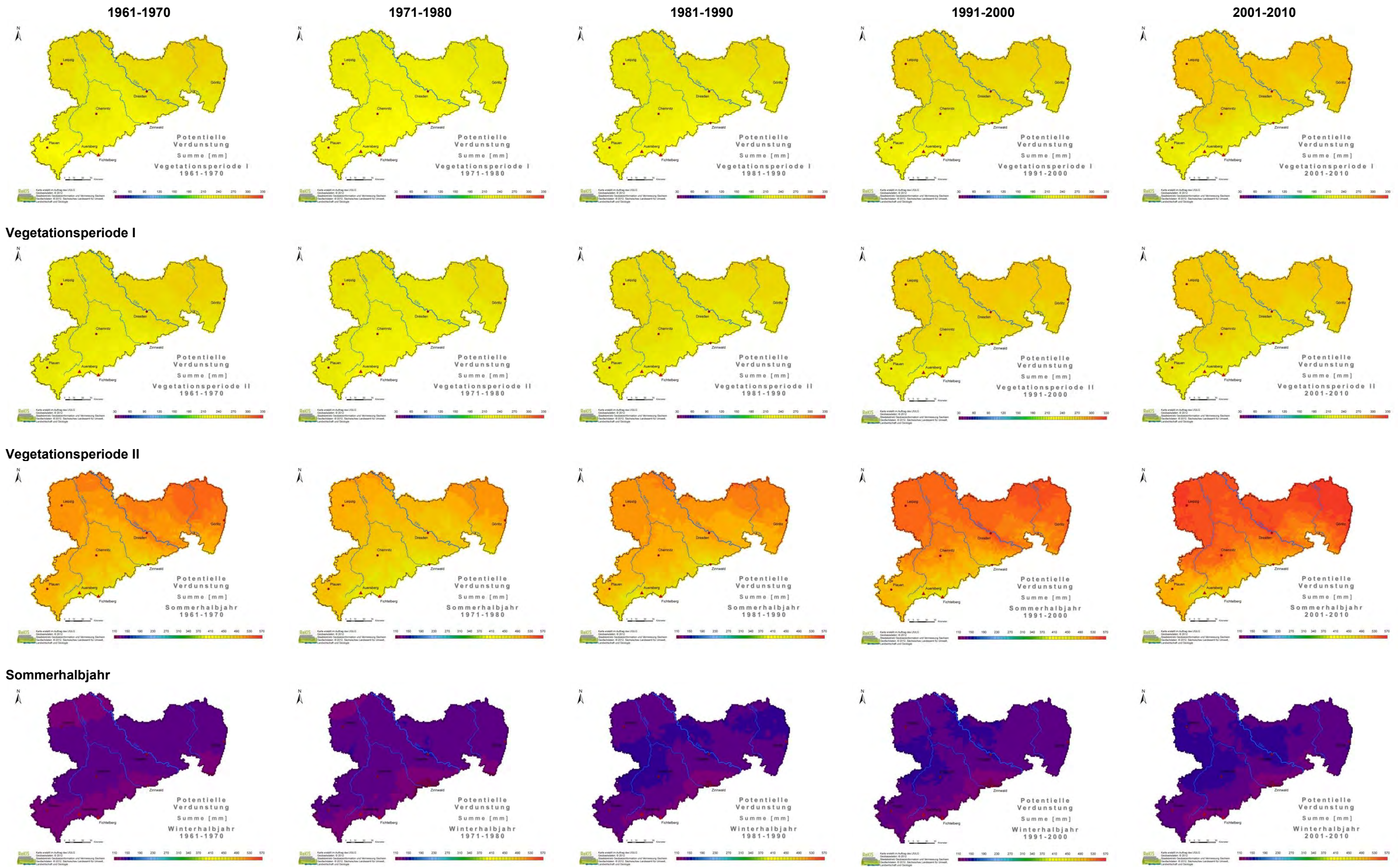




**Winter**

**Abb. 4.2.2-4: Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten**

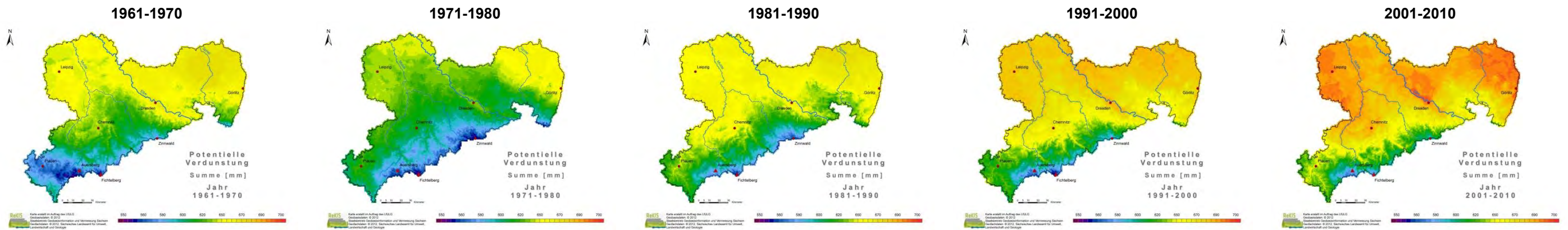




**Winterhalbjahr**

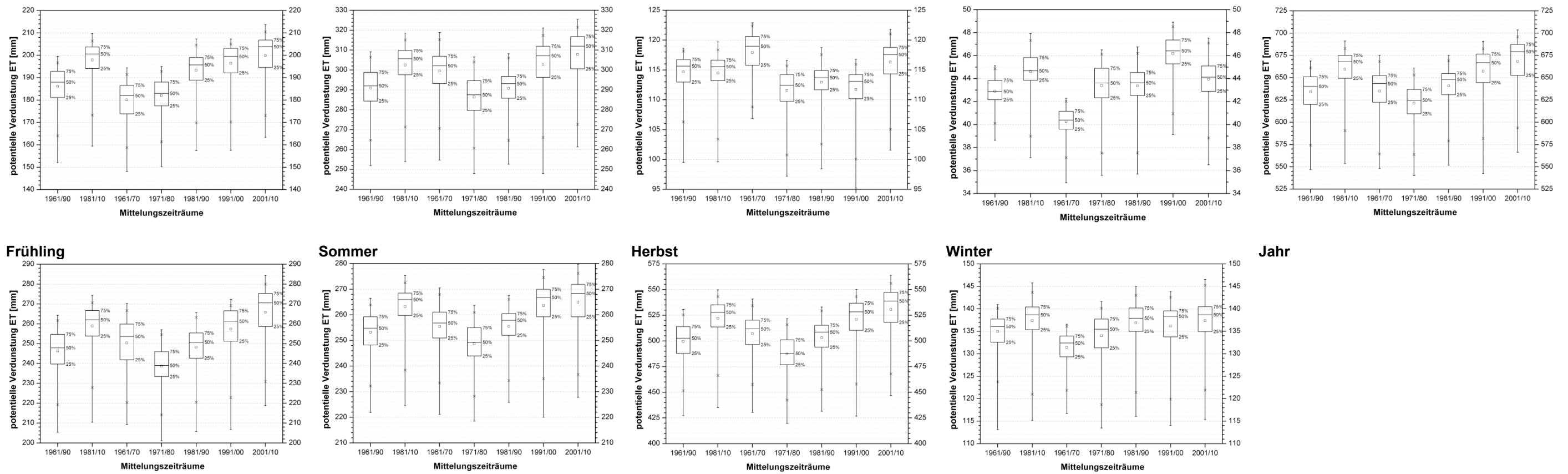
**Abb. 4.2.2-5: Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**





Jahr

Abb. 4.2.2-6: Flächenhafte Verteilung der potenziellen Verdunstung ET (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Abb. 4.2.2-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die potenzielle Verdunstung ET (mm) in Sachsen

### 4.2.3 Klimatische Wasserbilanz

#### Klimanormalperioden

Die Klimatische Wasserbilanz als ein Indikator zur Abschätzung des Wasserdargebotes an einem Standort resultiert aus der räumlichen Verteilung von korrigiertem Niederschlag und potenzieller Verdunstung. Folglich drückt sich eine Veränderung dieser beiden Einflussgrößen auch für die Klimatischen Wasserbilanz der Perioden 1961–1990 und 1981–2010 aus. Die jährliche Bilanz während der Referenzperiode 1961–1990 ist im sächsischen Tiefland überwiegend negativ, während der Rest Sachsens, besonders die Berg- und Kammlagen, Wasserüberschüsse aufweisen.

Für ganz Sachsen beträgt die jährliche KWB 131 mm für Periode 1961–1990 und 127 mm für Periode 1981–2000, was folglich eine Abnahme von 3 % bedeutet. Hier überwiegt der jährliche Anstieg der potenziellen Verdunstung gegenüber dem leichten Niederschlagszuwachs. Durch die hohe räumliche Niederschlagsvariabilität sind die Änderungen der KWB sehr ungleichmäßig innerhalb Sachsens verteilt. Der stärkste Rückgang tritt in Ostsachsen und dem nördlichen Tiefland auf, während vor allem im unteren Bergland, dem Leipziger Raum sowie den Kamm- und Gipfellagen ein Zuwachs zu erkennen ist. Die Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz soll im Folgenden durch eine jahreszeitliche Differenzierung genauer untersucht werden.

Im Frühjahr nehmen die Niederschläge der jüngsten Klimaperiode 1981–2000 gegenüber dem Referenzzeitraum ab, die potenzielle Verdunstung steigt jedoch an. Die Folge dessen ist eine sachsenweit abnehmende Klimatische Wasserbilanz von 0 auf -18 mm, die starken Einfluss auf die Jahresbilanz hat. Somit ist die KWB mit Ausnahme der oberen Berg-, Kamm und Gipfellagen sachsenweit im Frühling negativ. Im Sommer nehmen die Niederschläge vor allem im Bergland zu, die Verdunstungsraten steigen besonders für den restlichen Raum Sachsens an. Daraus resultiert eine zunehmende Klimatische Wasserbilanz in den Gebirgen, für den Rest Sachsens gleichen sich die Energie- und Wasserüberschüsse weitestgehend aus. Im Flächenmittel kommt es daher zu einem Anstieg der Klimatischen Wasserbilanz für ganz Sachsen von -53 auf -51 mm. Im Herbst führen die zunehmenden Niederschlagshöhen in Westsachsen, dem Bergland und den Kammlagen bei weitestgehend unveränderten Verdunstungsraten zu einem Anstieg der Klimatischen Wasserbilanz. Diese steigt für ganz Sachsen von 55 mm in Dekade 1961–1990 auf 63 mm in Dekade 1981–2010. Das negative Änderungssignal der KWB im Frühling und die positiven Änderungen im Sommer und Herbst führen zu einer abnehmenden Bilanz für Vegetationsperiode I und einer leicht zunehmenden für Vegetationsperiode II. Ein leichter Niederschlagszuwachs im Winter führt, trotz höherer Temperaturen (steigende potenzielle Verdunstung), zu einem leichten Anstieg in der Winter-Wasserbilanz für die jüngste Klimaperiode. Die räumlich sehr unterschiedlichen Veränderungen der KWB im Winter entsprechen in etwa denen des Niederschlags.

#### Dekaden

Die räumliche Verteilung der Klimatischen Wasserbilanz Sachsens und deren dekadische Entwicklung sind in den nachfolgenden Abbildungen für den Zeitraum von 1961 bis 2010 dargestellt. Dabei zeigt das Jahresmittel eine recht kontinuierliche Abnahme von 1961/70 (155 mm) bis 1981/90 (117 mm) für ganz Sachsen. Durch die Abhängigkeit der Klimatischen Wasserbilanz vom Niederschlag und der Verdunstung verlaufen die Abnahmen innerhalb Sachsens sehr differenziert, sind aber generell für die Höhenlagen vom Tief- bis mittleren Bergland am stärksten ausgeprägt. Von 1981/90 bis 2001/10 erhöht sich die Wasserbilanz, wobei die jüngste Dekade im Mittel das größte Wasserdargebot mit 177 mm für ganz Sachsen aufweist. Auffällig sind der Anstieg in den Berg- und Kammlagen sowie ein leichter Rückgang in Ostsachsen, welcher möglicherweise eine Folge des Dürre-Ereignisses 2003 ist. Der Anstieg erklärt sich durch die Niederschlagszunahme, die besonders im Bergland stattfindet. Generell scheinen die Niederschlagszuschüsse gegenüber der zunehmenden potenziellen



Verdunstung zu dominieren. Mit Hilfe der jahreszeitlich differenzierten Karten lassen sich die Änderungen in der Jahresbilanz näher aufschlüsseln.

So ist der Frühling der Dekade 1961/70 besonders feucht und weist eine überwiegend (außer im Tiefland) positive Wasserbilanz innerhalb Sachsens auf. Für die nachfolgenden Dekaden überwiegt eher das Defizit in der Klimatischen Wasserbilanz, die im Flächenmittel negativ ist. Die Dekaden 1971/80, 1981/90 und 1991/00 unterscheiden sich sehr wenig voneinander, mit einer negativen Bilanz für das Tief- und Hügelland sowie Teile West- und Ost Sachsens. Die Dekade 2001/10 hingegen ist die trockenste des Gesamtzeitraumes, in der sich negative Bilanzwerte bis in das untere Bergland erstrecken. Die Ursache dafür sind vor allem in den Höhenlagen des Tief- und unteren Berglandes abnehmende Niederschläge und eine verstärkt ansteigende potenzielle Verdunstung.

Im Sommer ähnelt der dekadische Verlauf der Klimatischen Wasserbilanz der Niederschlagsentwicklung, in der ein leicht ansteigender Trend, vor allem für die mittleren und oberen Berglagen während der Dekaden 1981/90 bis 2000/10 erkennbar ist. Trotz der stark zunehmenden potenziellen Verdunstung während dieser Zeiträume überwiegt der Niederschlagszuwachs in diesen Regionen. Jedoch nimmt die KWB in Ost Sachsen für die Dekade 2001/10 gegenüber 1991/00 ab. Generell weist die Klimatische Wasserbilanz im Flächenmittel für den Sommer ein Defizit auf, welches sich vom Tiefland bis in die mittleren Berglagen erstreckt.

Auch im Herbst ist ein ansteigender Trend von 1981/90 bis 2001/10 zu erkennen, der ebenfalls bereits für den Niederschlag detektiert wurde. Die Dekaden 1981/90 und 1961/70 weisen die geringsten Bilanzwerte innerhalb des Gesamtzeitraumes für Sachsen auf. Die Zunahme der Klimatischen Wasserbilanz von 1981/90 bis 1991/00 verläuft räumlich sehr gleichmäßig und beträgt im Flächenmittel etwa 12 mm. Von 1991/00 bis 2001/00 steigt der sächsische Gebietsniederschlag und folglich die KWB um weitere 35 mm an, wobei sich die geringsten Zunahmen in Ost Sachsen und die größten in den Berglagen vollziehen. Die Größenordnung der potenziellen Verdunstung hat bei den kühleren Herbsttemperaturen, trotz eines Anstieges keinen signifikanten Einfluss auf die Klimatische Wasserbilanz.

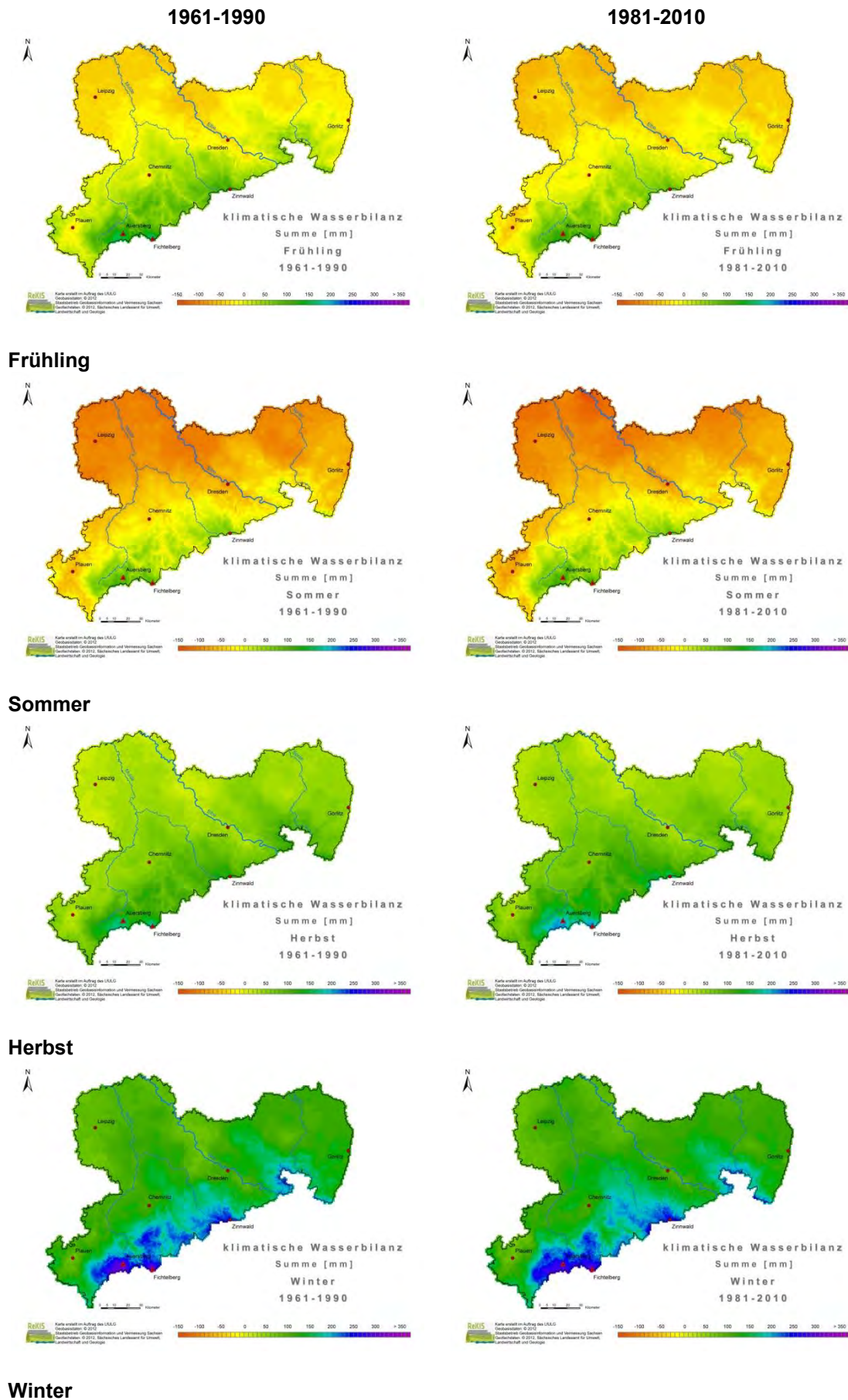
Dies wird auch für den Winterzeitraum deutlich, für den sich die Bilanz analog zum Niederschlag verhält. Infolge der Nordatlantischen Oszillation sind ebenfalls dekadische Schwankungen zu erkennen. Dabei repräsentieren die Dekaden 1961/70, 1981/90 und 2001/00 feuchte Winter und die Dekaden 1971/80 und 1991/00 trockene Winter. Grundsätzlich ist die Klimatische Wasserbilanz im Winter sachsenweit stets positiv, mit Maximalwerten für die oberen Berg- und Gipfellagen und Minimalwerten im Tiefland, weil hier die Verdunstung mitunter am höchsten und der Niederschlag am geringsten ist.

Die Klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperioden spielt besonders für die Land- und Forstwirtschaft eine wichtige Rolle. Die dekadische Entwicklung zeigt eine zeitlich kontinuierliche Zunahme des Wasserdefizits während Vegetationsperiode I (repräsentiert zwei Monate im Frühling), wobei die Bilanz lediglich in den oberen Berg- und Gipfellagen positiv bleibt. Für Vegetationsperiode II (überwiegend Sommermonate) hingegen nimmt das Wasserdefizit kontinuierlich ab, sodass in Dekade 2001/10 in großen Teilen des Hügellandes bis in die oberen Berg- und Gipfellagen eine positive Bilanz erkennbar ist.

#### **Hinweis zu den folgenden Seiten:**

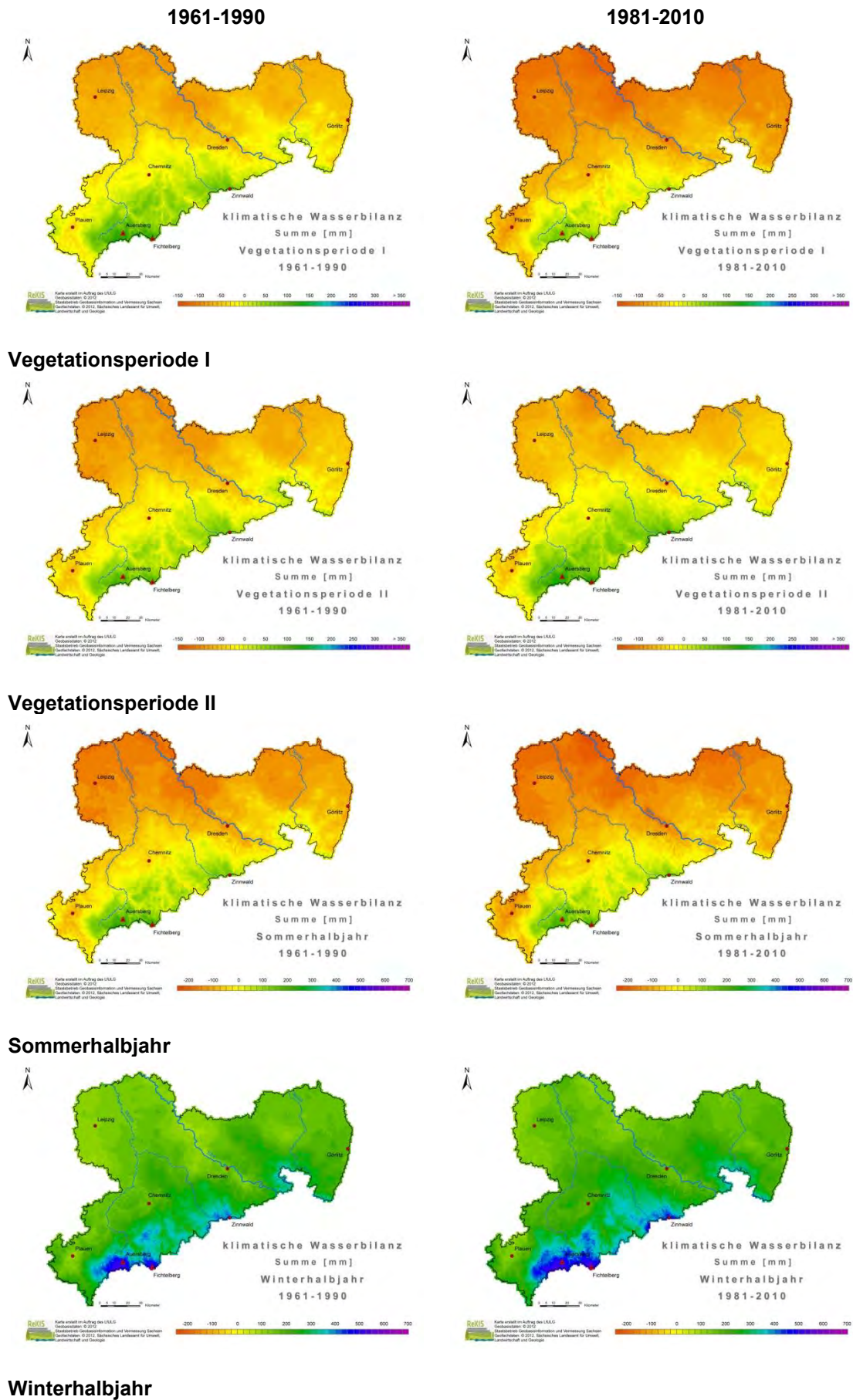
Die Berechnung der flächenhaften Verteilungen (1 km-Raster) erfolgte mittels Interpolation. Die Datengrundlage bilden Zeitreihen mit Tageswerten für Klimatelemente an Messstationen aus dem Klima- und Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes. Die Interpolationsverfahren verwenden aus den Zeitreihen abgeleitete Werte als Stützstellen, wobei hier nur Werte mit einer 90%-(Mittelwertbildung) bzw. 95%-

(Summierung) Datenverfügbarkeit verwendet wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Einzelwerte auftreten können. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Datengrundlage. Die notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen ist nicht immer gegeben. Das Niederschlagsmessnetz besitzt gegenüber dem Klimamessnetz (z. B. Lufttemperatur) eine generell höhere Stationsdichte. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*

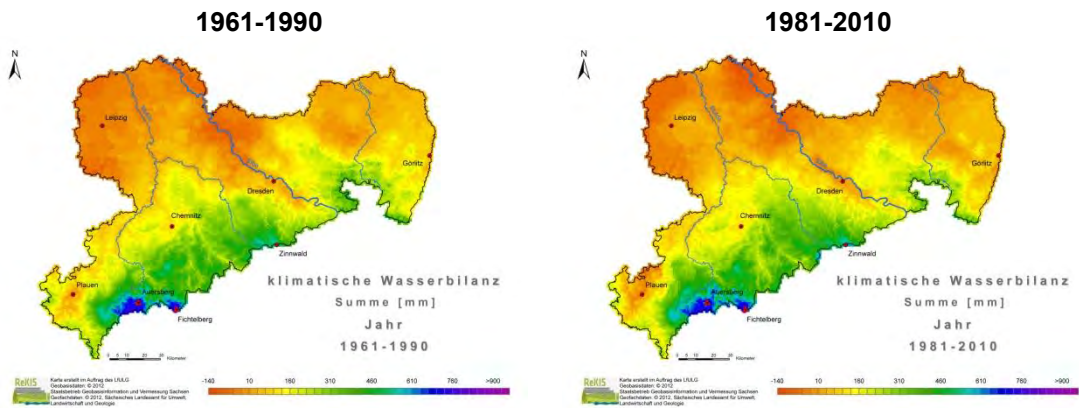


**Abb. 4.2.3-1: Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahreszeiten**





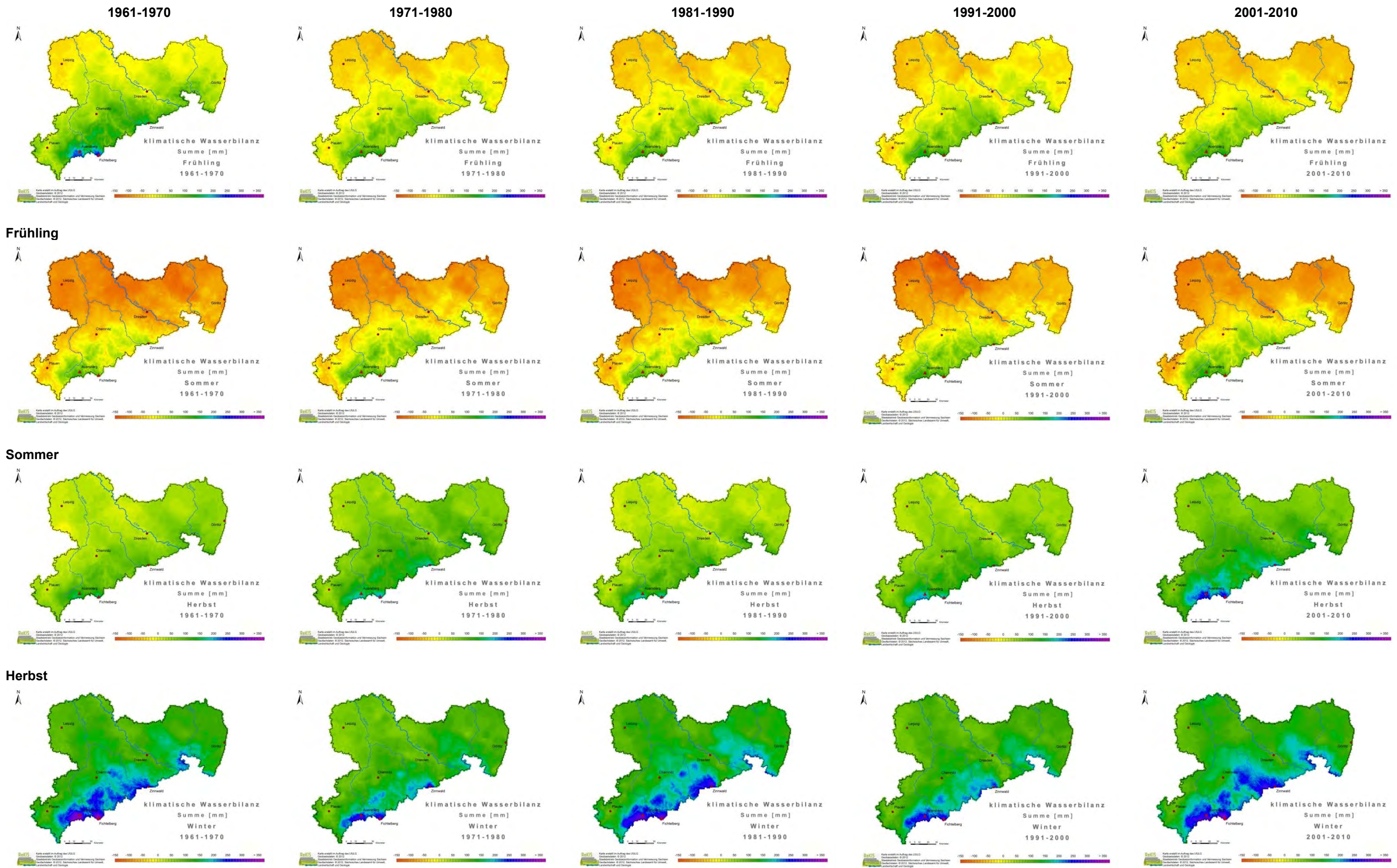
**Abb. 4.2.3-2: Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre**



Jahr

**Abb. 4.2.3-3: Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Klimanormalperioden, Jahr**





Winter

**Abb. 4.2.3-4: Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahreszeiten**



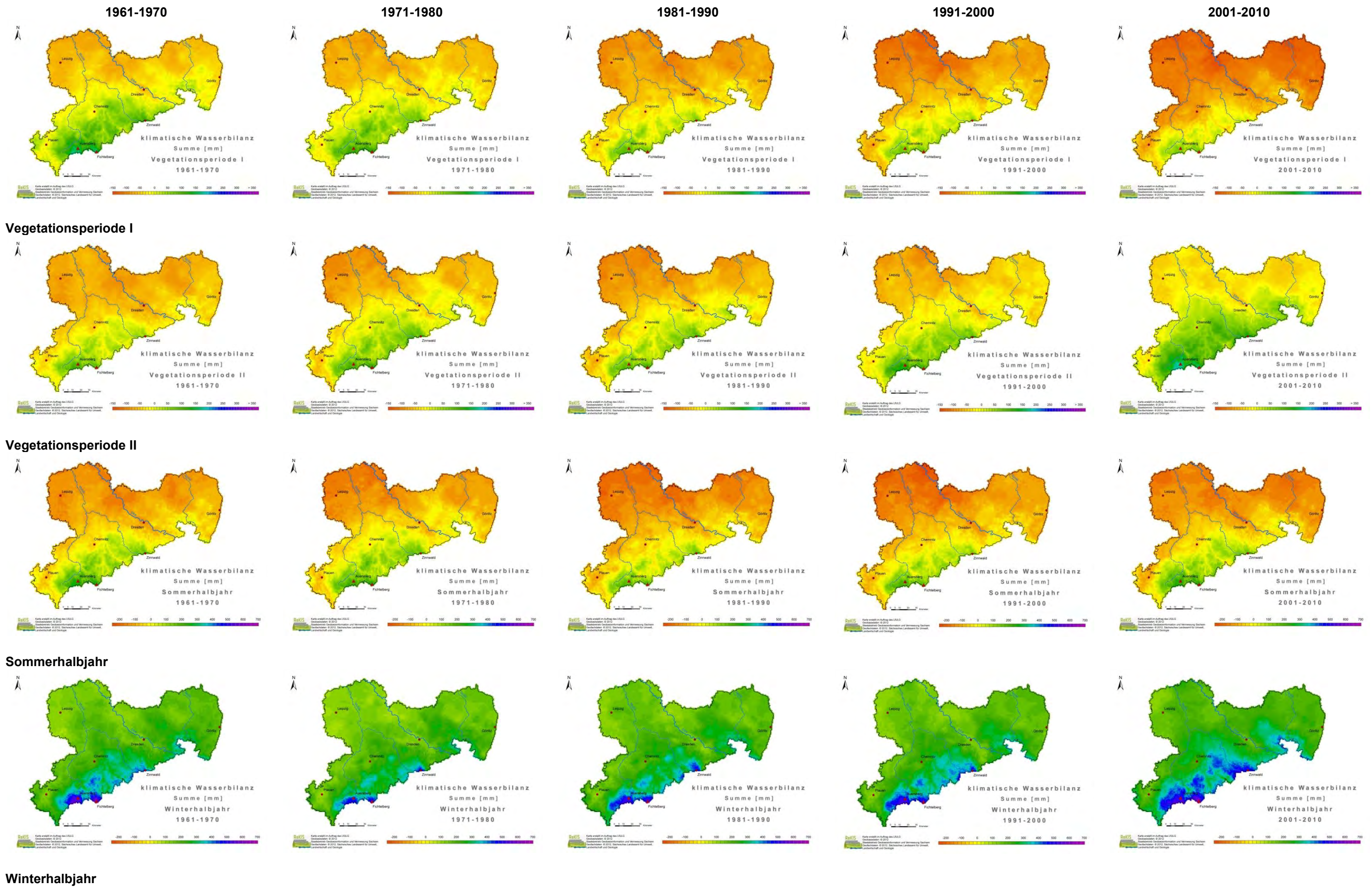
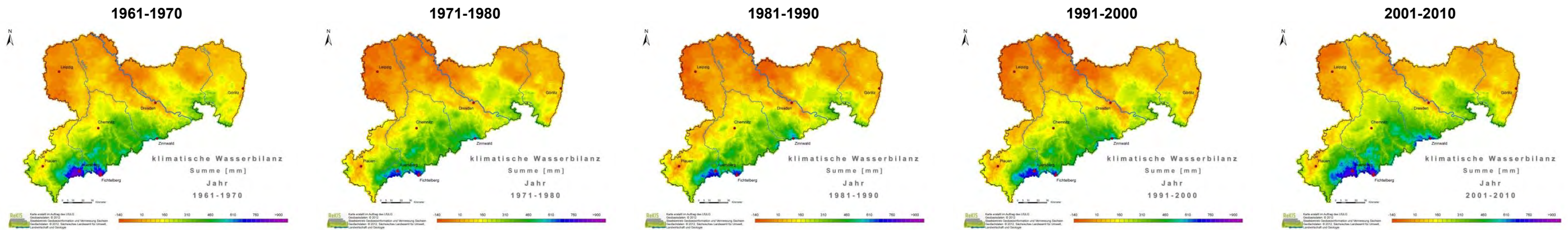


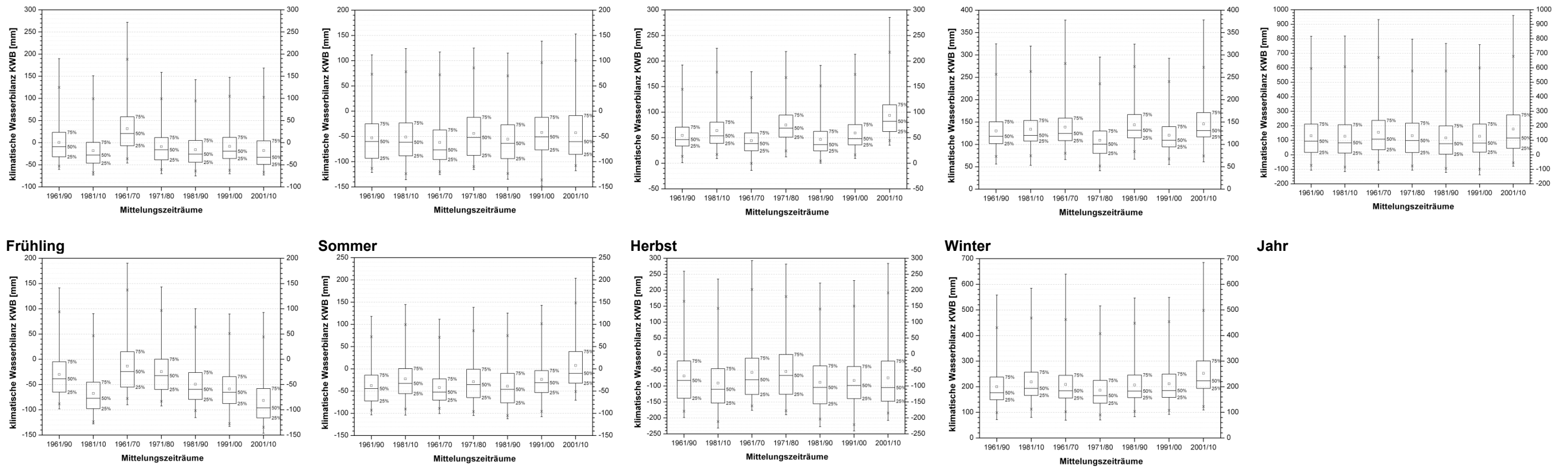
Abb. 4.2.3-5: Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Dekaden, Vegetationsperioden und meteorologische Halbjahre





Jahr

Abb. 4.2.3-6: Flächenhafte Verteilung der klimatischen Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen für Dekaden, Jahr



Vegetationsperiode I

Vegetationsperiode II

Sommerhalbjahr

Winterhalbjahr

Jahr

Abb. 4.2.3-7: Box-Whisker-Plots zu den flächenhaften Verteilungen für die klimatische Wasserbilanz KWB (mm) in Sachsen

## 4.3 Flächenhafte Darstellungen des Extremwertverhaltens für Klimaelemente

### 4.3.1 WMO-Indizes

#### 4.3.1.1 Temperaturabgeleitete Indizes

##### Klimanormalperioden

Die Anzahl der Tage, an denen die Minimumtemperatur deutlich unter dem langjährigen Mittel liegt (TN10p), ist für Sachsen überwiegend gesunken. Ausnahme ist hier der östliche Teil Sachsens, wo ein Anstieg zu beobachten ist. Die Anzahl der Tage, an denen die Minimumtemperatur deutlich über dem langjährigen Mittel liegt (TN90p), ist für Sachsen im überwiegend gestiegen. Die größten Anstiege sind um Leipzig und Chemnitz zu verzeichnen, die geringsten in Ostsachsen. Die Anzahl der Tage, an denen die Maximumtemperatur deutlich unter dem langjährigen Mittel liegt (TX10p), ist für Sachsen überwiegend gesunken. Lediglich einzelne Gebiete weisen keine Schwankungen zwischen beiden Klimanormalperioden auf. Die Anzahl der Tage, an denen die Maximumtemperatur deutlich über dem langjährigen Mittel liegt (TX90p), ist für ganz Sachsen gestiegen.

Die mittlere Anzahl der Eistage (ID) nimmt sachsenweit leicht ab. Die geringsten Werte weisen die Leipziger Tieflandsbucht und das Elbtal auf. Im Vergleich beider Klimanormalperioden zeigt sich, dass die mittlere Anzahl der Frosttage (FD) pro Jahr für einen Großteil Sachsens abnimmt. Ausnahme ist das östliche Sachsen, wo eine leichte Zunahme von Frosttagen zu verzeichnen ist. Die mittlere Anzahl der Sommertage (SU) nimmt für ganz Sachsen flächendeckend zu. Während im Erzgebirge und Erzgebirgsvorland nur ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist, steigt die mittlere Anzahl der Sommertage im Bereich der Leipziger Tieflandsbucht und der Dübener Heide um 10–15 Tage im Jahr. Die mittlere Anzahl der heißen Tage (HD) nimmt sachsenweit zu. Die höchsten Werte weisen das Dresdner Elbtal und die an Brandenburg grenzenden Gebiete auf.

Die Anzahl aufeinanderfolgender kalter Tage (CSDI) hat sich für Sachsen leicht bis mäßig verringert. Insgesamt weisen sowohl die mittlere Entwicklung als auch die Entwicklung der Extremereignisse einen ansteigenden Trend auf. Ausgenommen hiervon ist die Minimumtemperatur. Die Anzahl aufeinanderfolgender warmer Tage (WSDI) hat sich für ganz Sachsen stark erhöht. Ausnahme bilden Teile Ostsachsens südlich von Bautzen.

##### Dekaden

Die dekadische Variabilität der perzentilbasierten Indizes (TN10p, TN90p, TX10p, TX90p) ist mit leichten Schwankungen über die vier betreffenden Indizes eindeutig: Eine Periodizität ist nicht zu erkennen, viel mehr ein stetiger Anstieg minimalen und maximalen Temperatur.

Für Kältetage (ID, FD) ist insgesamt ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Dieser ist jedoch nicht stetig. Er weist für die fünf betrachteten Dekaden lokale Minima in den Dekaden 1971–1980 und 1991–2000 auf. In den Dekaden 1961–1970, 1981–1990 und 2001–2010 wurde entsprechend eine höhere Anzahl der Kältetage bestimmt. Für Wärmetage (SU, HD) ist eine solche Periodizität nicht zu erkennen. Sie zeigen einen stetigen Anstieg über die betrachteten Dekaden für ganz Sachsen.

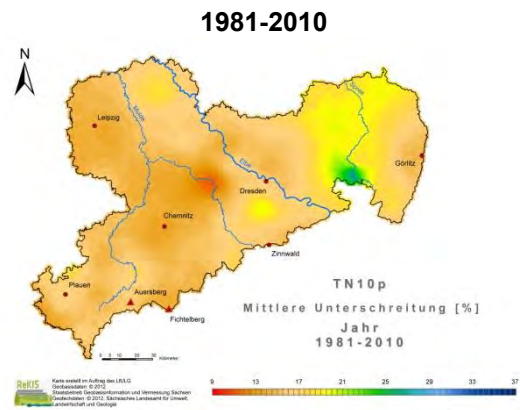
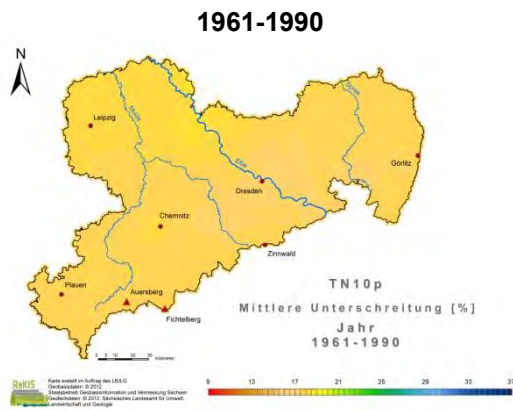
Der Index WSDI zeigt im zeitlichen Verlauf einen Anstieg für ganz Sachsen, der zeitlich relativ stetig ist. Jedoch kommt es für einzelne Dekaden räumlich zu großen Schwankungen, sodass in dekadischer Auflösung



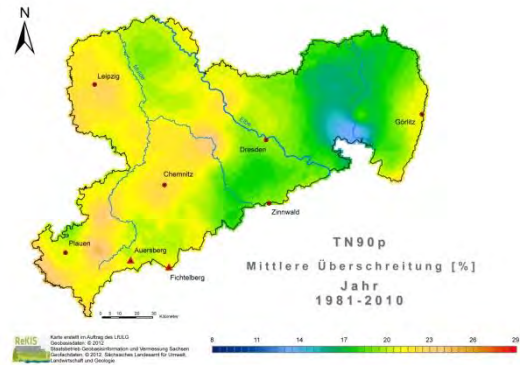
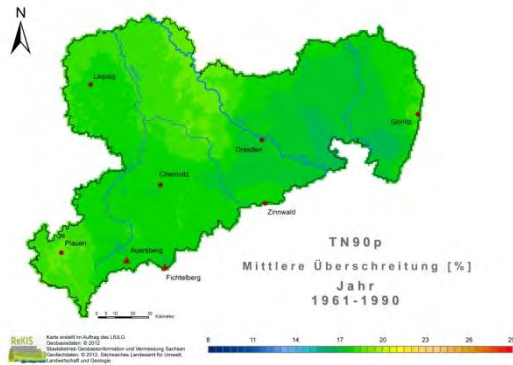
eine räumliche Analyse nur für bestimmte Teilgebiete sinnvoll ist. Für den Index CSDI gilt diese Aussage ebenfalls mit dem Unterschied, dass dieser Index mit der Zeit abnimmt.

**Hinweis zu den folgenden Seiten:**

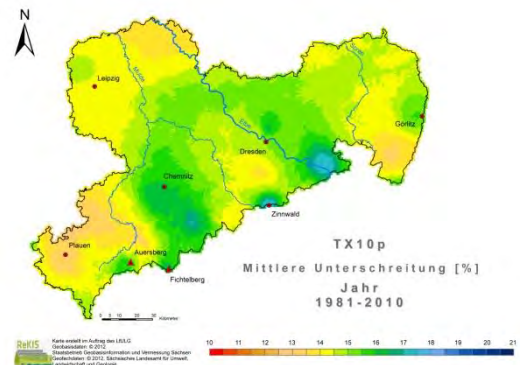
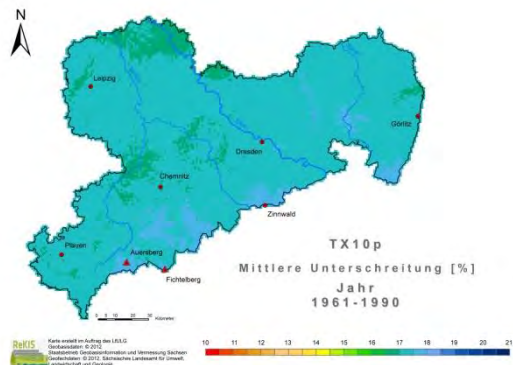
Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1 km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tageswerten extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*



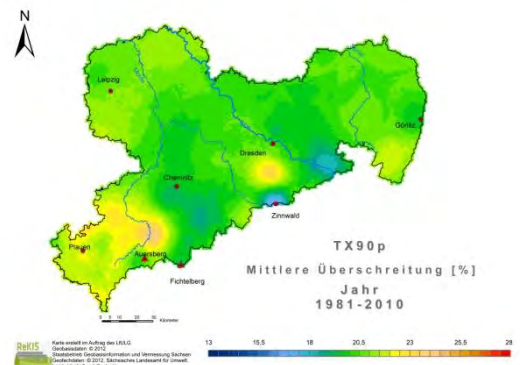
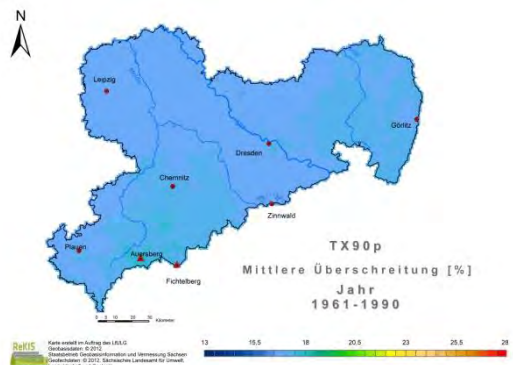
**Anteil der „zu kalten“ Tage, Minimumtemperatur (TN10p)**



**Anteil der „zu warmen“ Tage, Minimumtemperatur (TN90p)**

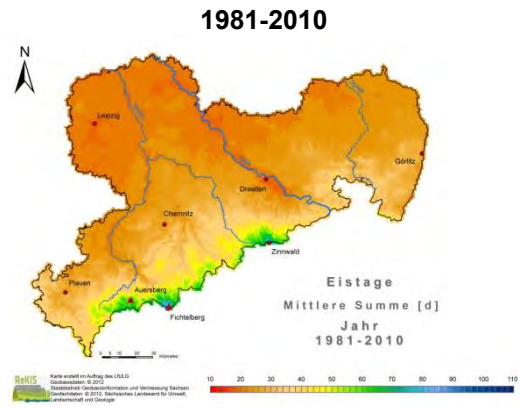
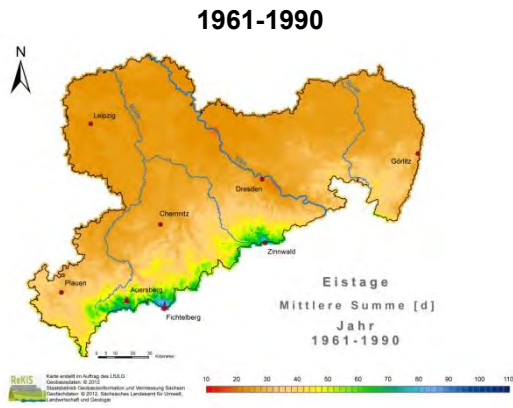


**Anteil der „zu kalten“ Tage, Maximumtemperatur (TX10p)**

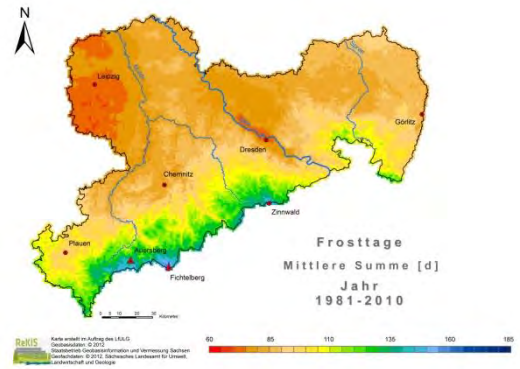
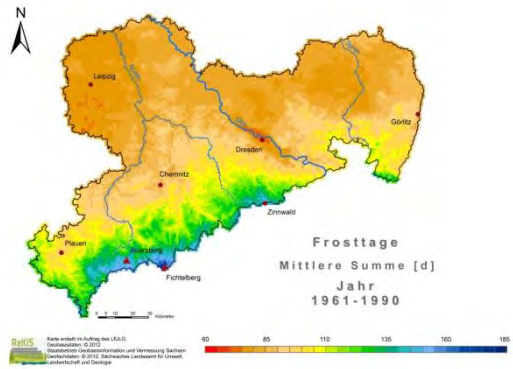


**Anteil der „zu warmen“ Tage, Maximumtemperatur (TX90p)**

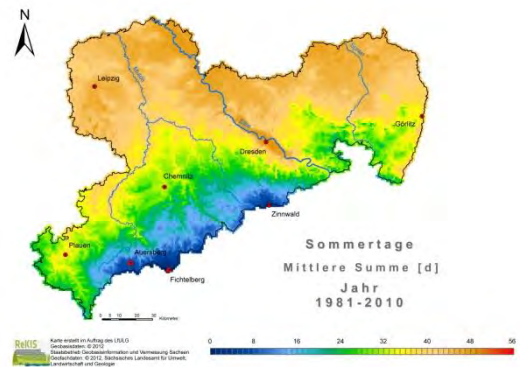
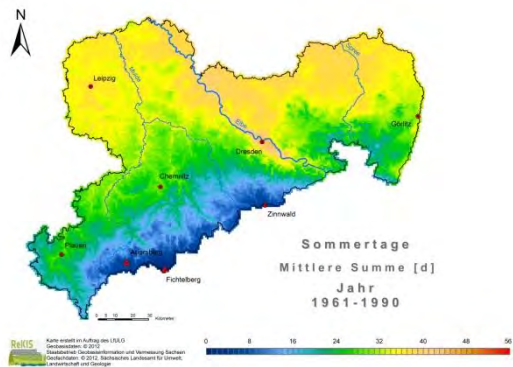
**Abb. 4.3.1.1-1: Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961–1990 und 1981–2010, Jahressumme**



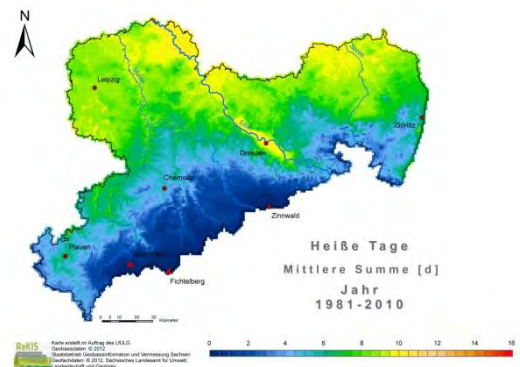
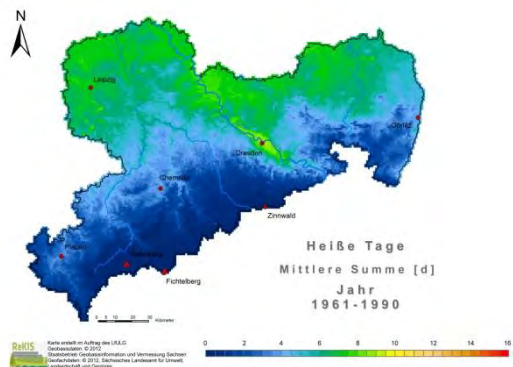
**Eistage (ID)**



**Frosttage (FD)**



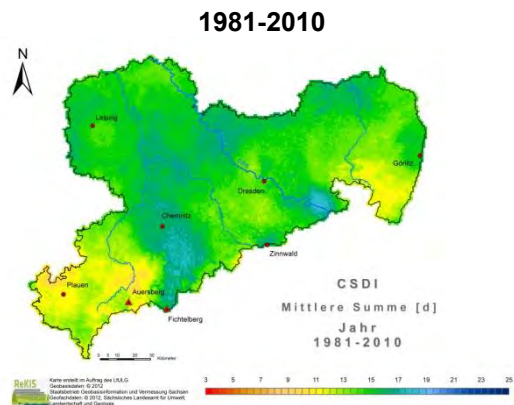
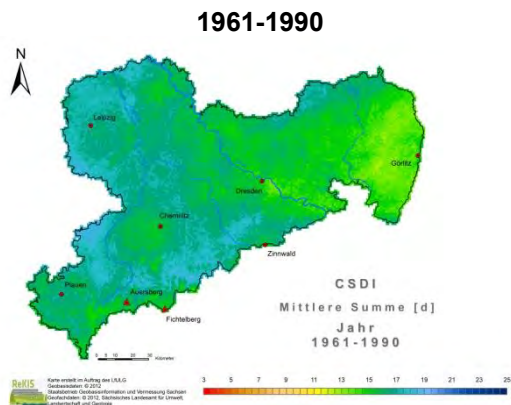
**Sommertage (SU)**



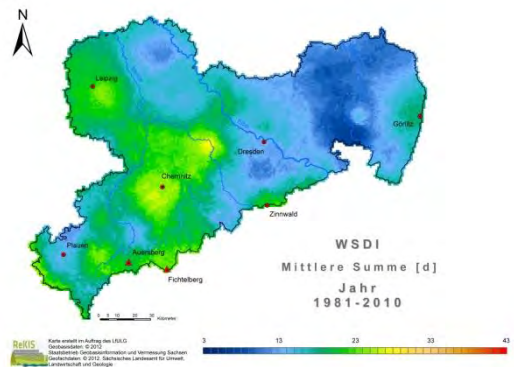
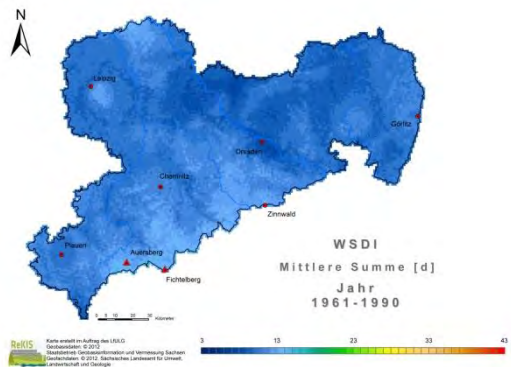
**Hitzetage (HD)**

**Abb. 4.3.1.1-2: Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Ereignistage) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961–1990 und 1981–2010, Jahressumme**





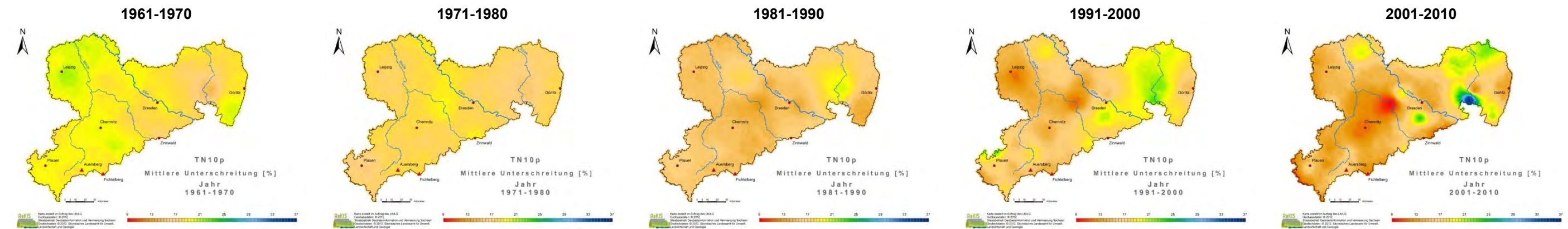
**Dauer von Kälteperioden (CSDI)**



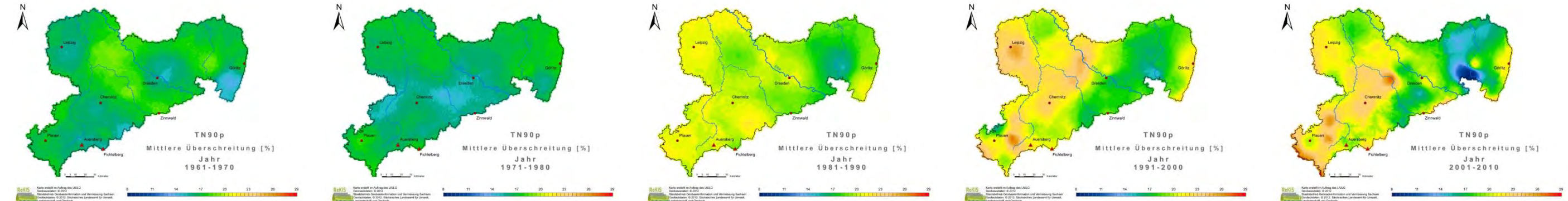
**Dauer von Wärmeperioden (WSDI)**

**Abb. 4.3.1.1-3: Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahressumme**

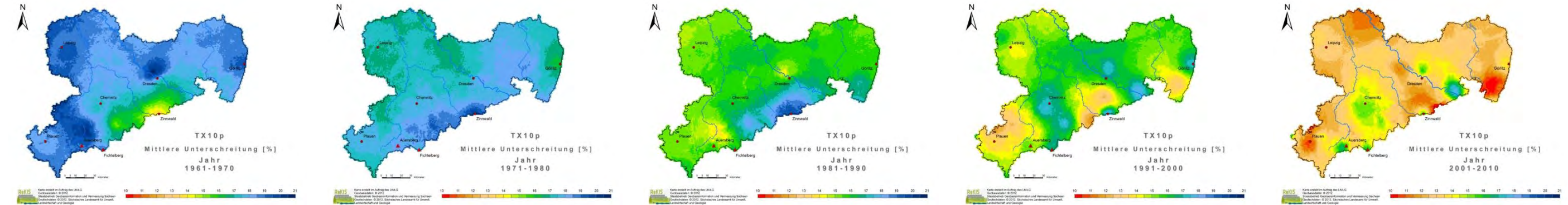




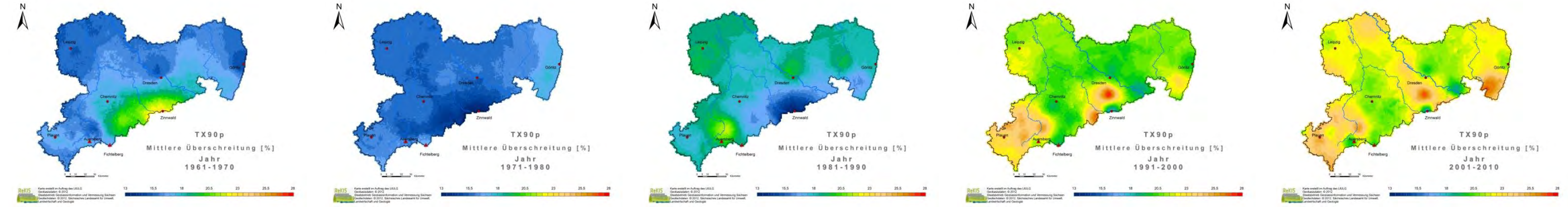
Anteil der „zu kalten“ Tage, Minimumtemperatur (TN10p)



Anteil der „zu warmen“ Tage, Minimumtemperatur (TN90p)



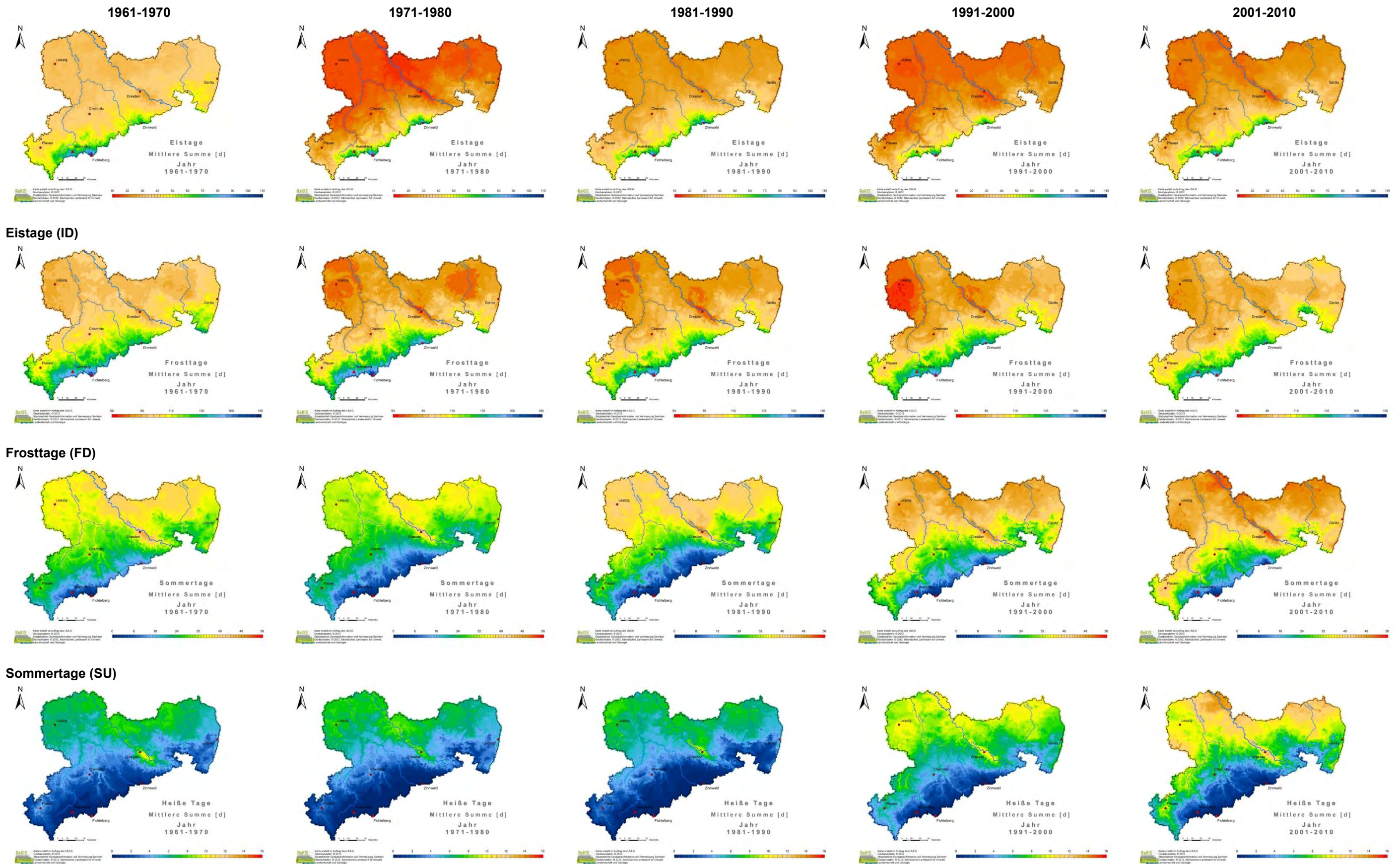
Anteil der „zu kalten“ Tage, Maximumtemperatur (TX10p)



Anteil der „zu warmen“ Tage, Maximumtemperatur (TX90p)

Abb. 4.3.1.1-4: Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme

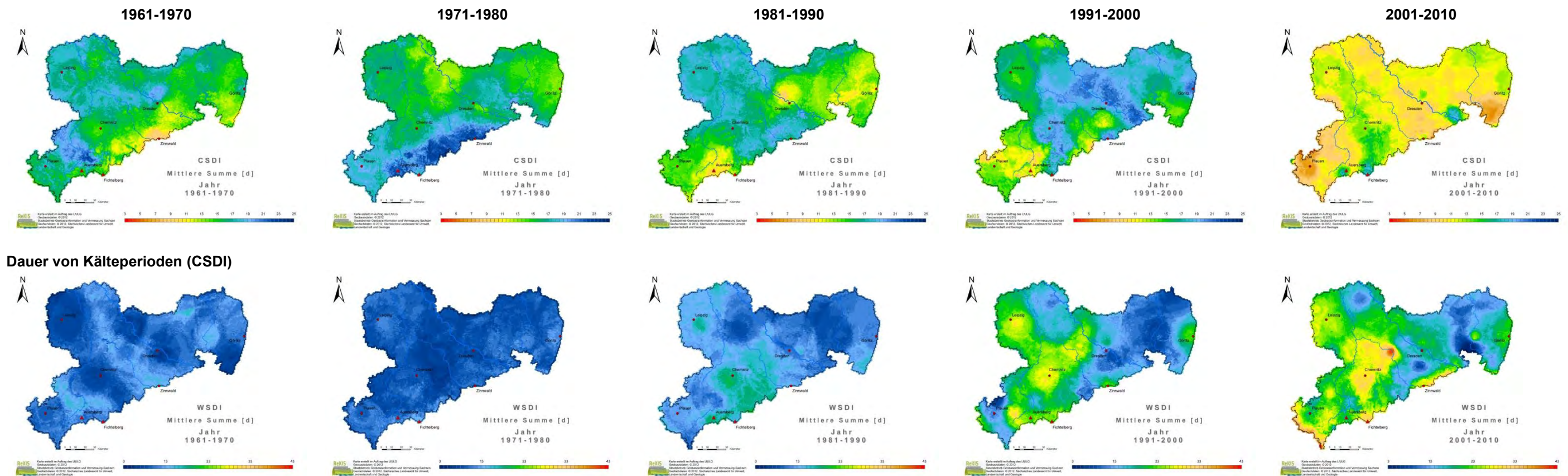




**Hitzetage (HD)**

Abb. 4.3.1.1-5: Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Ereignistage) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme





**Dauer von Wärmeperioden (WSDI)**

**Abb. 4.3.1.1-6: Flächenhafte Verteilung temperaturabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme**

### 4.3.1.2 Niederschlagabgeleitete Indizes

#### Klimanormalperioden

Der jährliche Niederschlag an feuchten Tagen (PRCPTOT) ist im Vergleichszeitraum im Mittel für ganz Sachsen gestiegen. Die mittlere Niederschlagsintensität (SDII) blieb für große Teile Sachsens mit leichten Schwankungen konstant.

Der Starkniederschlag oberhalb des 95. Perzentils (R95pTOT) ist sachsenweit deutlich gestiegen. In Mittel- und Nordsachsen fällt der Anstieg deutlicher aus als in Ostsachsen. Extremniederschläge oberhalb des 99. Perzentils (R99pTOT) sind sachsenweit deutlich gestiegen. Lediglich in Nordsachsen ist ein leichter Abfall zu verzeichnen.

Die mittlere maximale Dauer von Trockenperioden (CDD) ist für Sachsen flächenhaft leicht gesunken. Ausnahme ist Ostsachsen, wo ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist. Die mittlere maximale Dauer von Feuchteperioden (CWD) ist sachsenweit leicht gestiegen. Eine Ausnahme bildet Ostsachsen, wo die Werte leicht abnehmen oder stagnieren. Insgesamt ist in Sachsen somit ein Trend zu mehr Niederschlag, insbesondere intensiveren Starkniederschlagsereignissen, festzustellen.

#### Dekaden

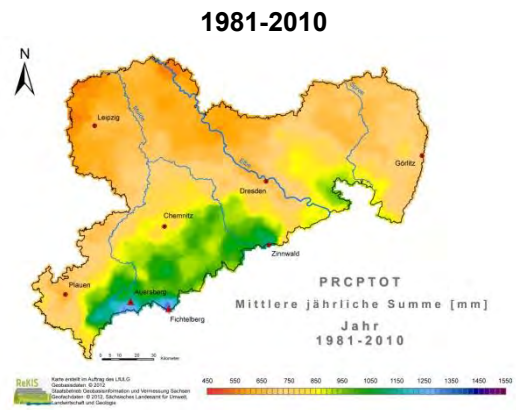
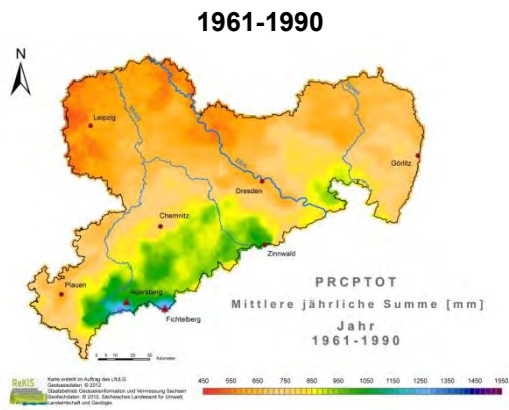
Der Index PRCPTOT zeigt für die Dekaden 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000 und 2001–2010 einen ansteigenden Trend. Ausnahme bildet die Dekade 1961–1970, welche auf dem Niveau der Dekade 1991–2000 liegt. Der SDII weist dekadisch nur geringe Schwankungen auf, ein deutlicher Trend lässt sich nicht zuordnen. Über alle betrachteten Dekaden ist für Stark- und Extremniederschlagsereignisse ein deutlicher, beinahe linearer Anstieg zu verzeichnen. Ausnahme bildet die Dekade 1971–1980, die deutlich höhere Werte aufweist, die im Bereich der Dekaden 1991–2000 und 2001–2010 liegen.

Für Feuchte- beziehungsweise Trockenperioden (CWD, CDD) sind dekadisch deutliche Schwankungen zu verzeichnen, die keiner Periodizität folgen. Insgesamt ist für CDD ein leichter Rückgang, für CWD ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

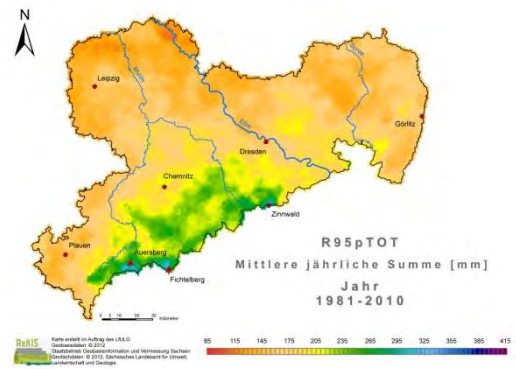
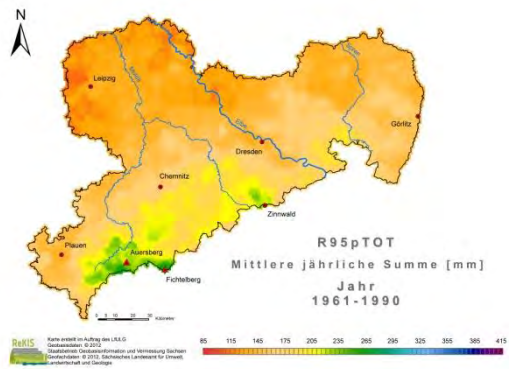
In dekadischer Auflösung kommt die Variabilität des Niederschlages deutlich zum Ausdruck. Es lassen sich Schwankungen identifizieren, die in 30-jähriger Auflösung nicht sichtbar sind. Der Anstieg der Extremniederschläge ist hingegen nur geringen dekadischen Schwankungen unterworfen.

#### Hinweis zu den folgenden Seiten:

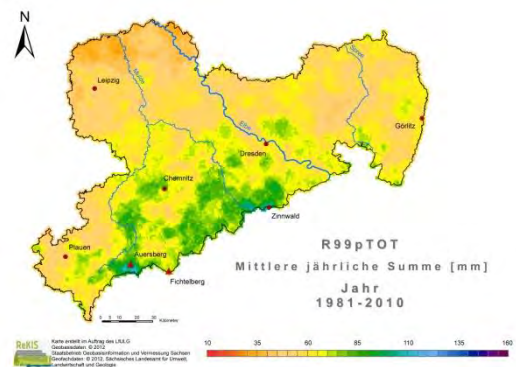
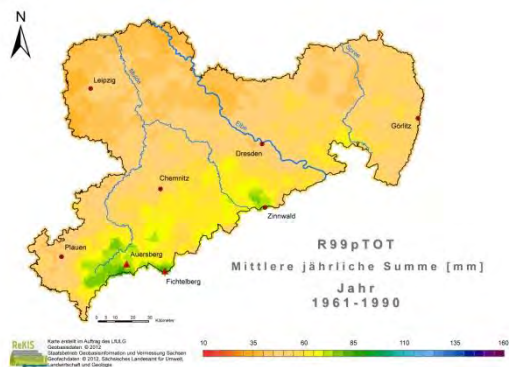
Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1 km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tageswerten extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*



**Niederschlagssumme für feuchte Tage (PRCPTOT)**



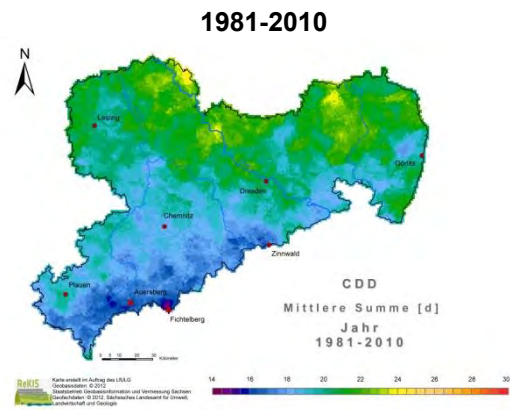
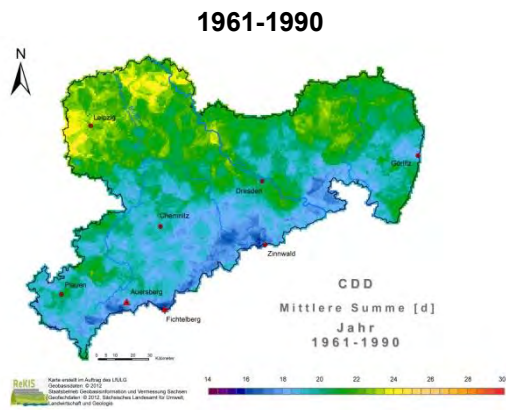
**Starkniederschlag (R95pTOT)**



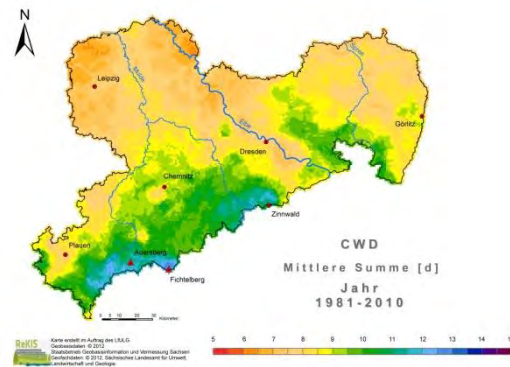
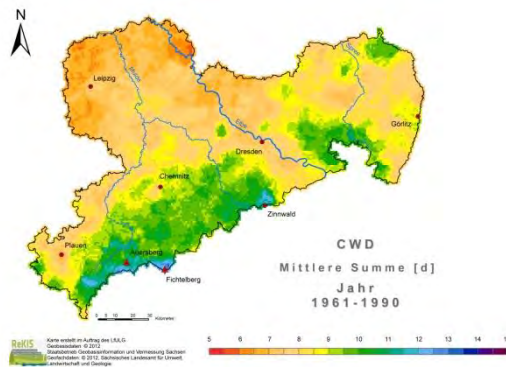
**Extremniederschlag (R99pTOT)**

**Abb. 4.3.1.2-1: Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahressumme**

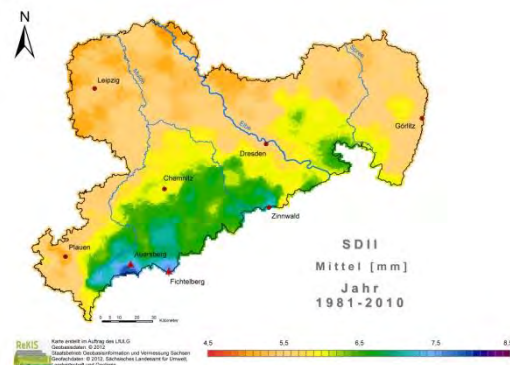
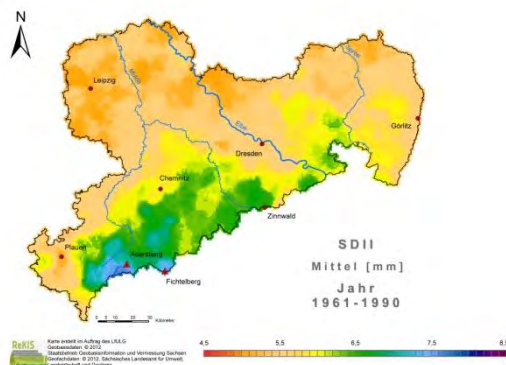




**Dauer von Trockenperioden (CDD)**



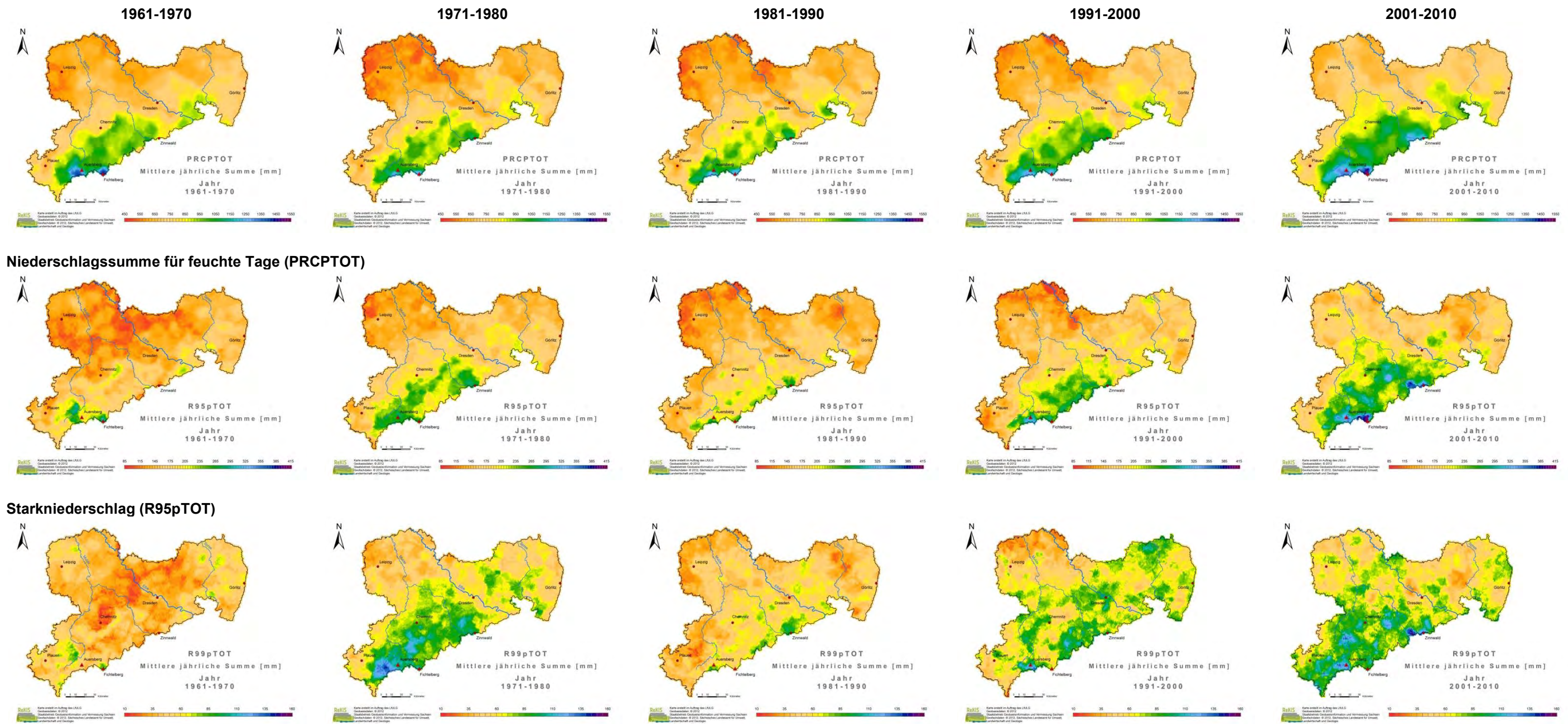
**Dauer von Feuchteperioden (CWD)**



**Mittlere Niederschlagsintensität an feuchten Tagen (SDII)**

**Abb. 4.3.1.2-2: Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden, Intensivität) in Sachsen für Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahresmittel**

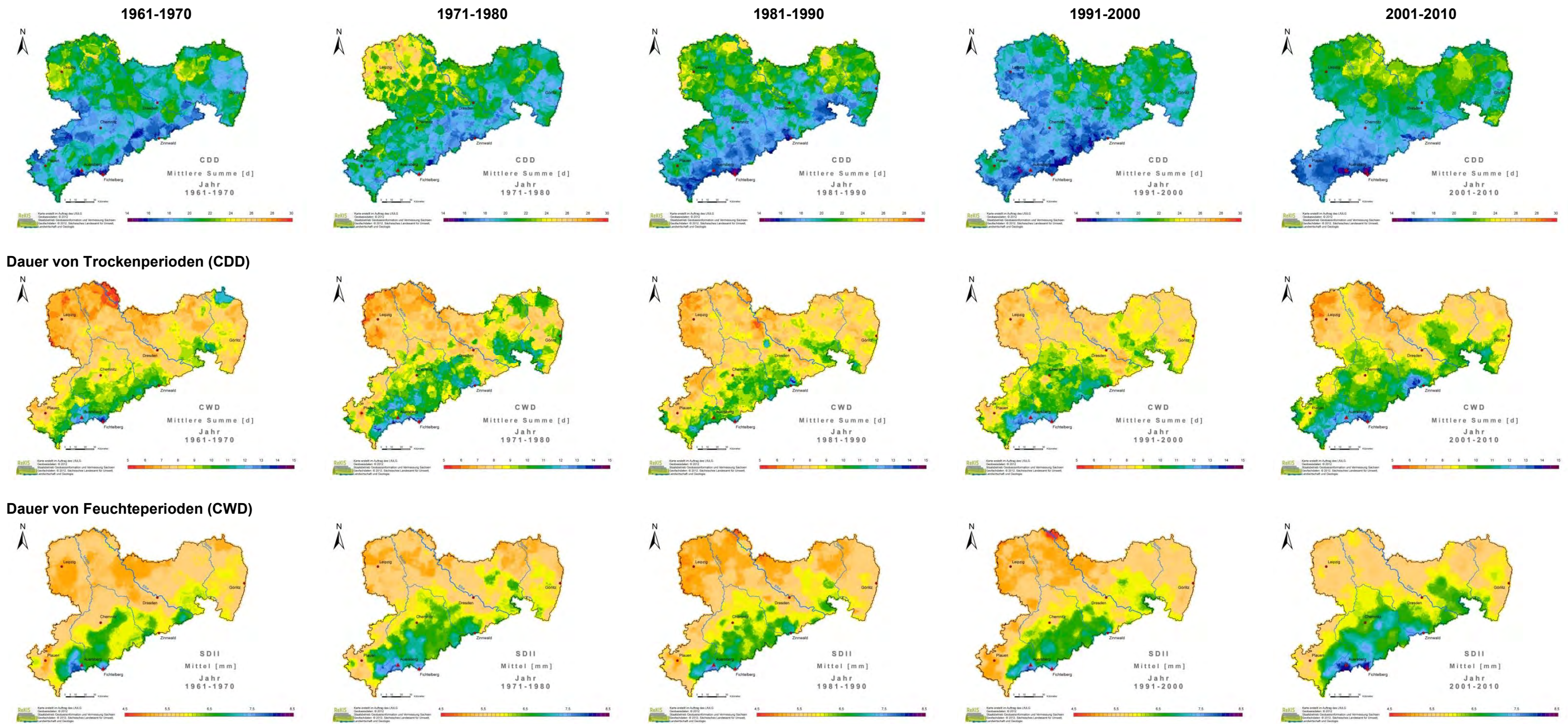




**Extremniederschlag (R99pTOT)**

Abb. 4.3.1.2-3: Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perzentile) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahressumme





**Mittlere Niederschlagsintensität an feuchten Tagen (SDII)**

**Abb. 4.3.1.2-4: Flächenhafte Verteilung niederschlagabgeleiteter WMO-Indizes (Perioden, Intensivität) in Sachsen für Dekaden 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010, Jahresmittel**



### 4.3.2 Auftrittshäufigkeiten für Starkniederschläge

#### Starkniederschlagsereignisse R95p

In Abbildung 4.3.2-1 sind die Regenhöhen (1961–1990), die Anzahl der Überschreitungstage und deren mittlere Intensität (1961–1990, 1981–2010) für Starkniederschlagsereignisse R95p in Sachsen dargestellt. Mittels Tabelle 4.3.2-1 können die kumulativ angegebenen Überschreitungstage in eine durchschnittliche Anzahl pro Jahr umgerechnet werden.

**Tab. 4.3.2-1: Anzahl der Überschreitungstage für Starkniederschlagsereignisse R95p für 30 Jahre (kumulativ, 1961–1990) und Durchschnitt pro Jahr**

Überschreitungstage für Starkniederschlagsereignisse R95p [d]											
kumulativ	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
pro Jahr	4,7	5,3	6,0	6,7	7,3	8,0	8,7	9,3	10,0	10,7	11,3

Im Ergebnis kann eine nahezu flächendeckende Zunahme der Überschreitungstage für Starkniederschlagsereignisse R95p festgestellt werden. Des Weiteren ist eine deutliche Zunahme der mittleren Intensität für Starkniederschlagsereignisse R95p festzuhalten. Demnach nimmt sowohl die Anzahl der Starkniederschlagsereignisse zu als auch deren Intensität. Als mittlere Intensität (mm) pro Ereignis wurde für den Zeitraum 1961–1990 24,8 mm berechnet. Für die Periode 1981–2010 wurden 27,2 mm bestimmt, was einen Anstieg um 9,7 % bedeutet. Um den Einfluss extremerer Einzelereignisse charakterisieren zu können, wurde die mittlere Intensität für 1981–2010 ohne das Ereignis vom 12.08.2002 berechnet. Die bestimmten 26,8 mm bedeuten einen Anstieg um 8,1 % gegenüber 1961–1990. Der Unterschied im Anstieg von 1,6 % bedeutet, dass die (Nicht-)Berücksichtigung des Extremereignisses einen Einfluss von ca. 16,5 % ausmacht.

#### Flächenhafte Änderungen im Auftreten von Starkniederschlagsereignissen R95p

In Abbildung 4.3.2-2 sind die Änderungen der Auftrittshäufigkeiten von Starkniederschlagsereignissen R95p in der Klimanormalperiode 1981–2010 gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 für die Jahreszeiten und die Vegetationsperioden in Sachsen abgebildet.

Für den Frühling sind die Entwicklungen der Starkniederschlagsereignisse innerhalb Sachsens sehr heterogen, mit insgesamt abnehmender Tendenz. Westlich der Mulde (Leipziger Land, Bergbaurevier Südraum Leipzig, Vogtland) und in der Oberlausitz nimmt die Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen ab. Am Erzgebirgskamm nehmen die Starkniederschlagsereignisse zu. Des Weiteren liegen kleinräumige Gebiete mit zunehmenden und abnehmenden Auftrittshäufigkeiten diffus nebeneinander.

Der Sommer zeigt eine Tendenz zur Zunahme der Starkniederschlagsereignisse in der gesamten Region. Eine Ausnahme bilden die westlichen Ausläufer des Erzgebirges und des Vogtlands, hier sind Starkniederschlagsereignisse seltener geworden. Die stärksten Zunahmen mit circa 40 % liegen im Tiefland, zwischen Leipzig und der Vereinigung von Zwickauer und Freiburger Mulde. Circa 20 % Zunahmen gibt es entlang des Erzgebirgskamms und in der östlichen Oberlausitz.

Im Herbst gibt es deutliche Zunahmen an Starkniederschlagsereignissen westlich und deutliche Abnahmen östlich der Elbe. Hier zeigt sich eine klare Zweiteilung der Entwicklung in Sachsen. Am Erzgebirgskamm kommt es bis zu 70 % Zunahme an Starkniederschlagsereignissen. Östlich der Elbe sind Abnahmen bis 50 % zu verzeichnen.

Die Entwicklung der Starkniederschlagsereignisse im Winter ist stark heterogen. Die sehr kleinräumigen Veränderungen weisen eine starke Amplitude ( $\pm 50\%$ ) auf. Gebiete mit starken Zunahmen und starken Abnahmen sind klein und liegen nahe beieinander. In den Regionen Leipziger Land, Bergbaurevier Südraum Leipzig, Mulde-Lösshügelland und Düben-Dahlener Heide sind überwiegend, teils sehr starke Zunahmen zu identifizieren. Am Erzgebirgskamm kommt es zur Zunahme an Ereignissen. Sehr starke Abnahmen sind in der Lausitz, vor allem im Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet, im Oberlausitzer Gefilde und entlang der Elbe bis Dresden und im Osterzgebirge zu verzeichnen.

In Vegetationsperiode I ist nahezu flächendeckend eine Abnahme der Starkniederschlagsereignisse festzustellen. Am deutlichsten sind die Abnahmen in der Lausitz und in Südwestsachsen. Im Mittel- und Osterzgebirge sind keine Änderungen der Starkniederschlagsereignisse zu identifizieren. Im östlichen Erzgebirgsvorland und in Teilen des Westlausitzer Hügel- und Berglandes gibt es geringe Änderungen bis Zunahmen.

Vegetationsperiode II zeigt flächendeckend eine deutliche Zunahme der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen. Die höchsten Zunahmen sind im Leipziger Land, im Bergbaurevier Südraum Leipzig und Teilen des Nordsächsischen Platten- und Hügellands zu verzeichnen. Auch in der Muskauer Heide, im Lausitzer Grenzwall und in der Cottbuser Sandplatte sind starke Zunahmen an Starkniederschlagsereignissen zu identifizieren. Die Anzahl der Starkniederschlagsereignisse verdoppelt sich nahezu. Geringe Änderungen sind im Großraum Dresden und im Vogtland zu erkennen. In Ostsachsen sind deutliche Zunahmen zu erkennen.

Einen integrativen Eindruck über die Änderungen im Auftreten von Starkniederschlagsereignissen R95p vermitteln die mittels Box-Whisker-Plot dargestellten Perzentile der einzelnen flächenhaften Verteilungen in Abbildung 4.3.2-2.

### **Zeitlicher Verlauf von Auftrittshäufigkeiten für Starkniederschlagsereignisse R95p**

In Abbildung 4.3.2-3 wird der zeitliche Verlauf der Auftrittshäufigkeit von R95p für Transekte dargestellt. Die Lage der Transekte innerhalb Sachsens wird ebenfalls in Abbildung 4.3.2-3 gezeigt. Das Transekt West-Ost zeigt den Verlauf von West nach Ost durch die Station Görlitz. Dieses Transekt ist aufgrund des Einflusses der Kontinentalität auf das Starkniederschlagsverhalten von besonderem Interesse. Im Nord-Süd-Verlauf Sachsens gibt es die Transekte Nord-Süd, Zentral und Ost. Diese Transekte umfassen alle in Sachsen vorhandenen naturräumlichen Haupteinheiten. Das Transekt Nord-Süd repräsentiert die maximale Nord-Süd-Ausdehnung Sachsens mit dem maximalen Höhenunterschied. Am Ende des Nord-Süd-Transekts liegt die Station Fichtelberg (Westerzgebirge). Das Transekt Zentral durch die Station Zinnwald-Georgenfeld (Osterzgebirge) repräsentiert den zentralen Nord-Süd-Verlauf Sachsens und die erweiterte Region Dresden. Das Transekt Ost soll einen Einblick in das Starkniederschlagsverhalten im Osten Sachsens geben und geht durch die Station Löbau/Spree.

Bei der Interpretation der Transektabbildungen zeigt die x-Achse den zeitlichen Verlauf der Änderung der Auftrittshäufigkeit (= Überschreitungswahrscheinlichkeit) von Starkniederschlagsereignissen R95p an und die y-Achse den räumlichen Verlauf des jeweiligen Transekts. Für alle Transekte im Nord-Süd-Verlauf ist der Verlauf der y-Achse von oben (Norden) nach unten (Süden) zu interpretieren. Für das Transekt West-Ost geht der Verlauf von oben (Westen) nach unten (Osten). Beispielsweise für das Transekt West-Ost zeigt der untere Rand den zeitlichen Verlauf der Auftrittshäufigkeit für Starkniederschlagsereignisse der Region Görlitz. Generell ist Methodik bedingt bei der Interpretation der Fokus auf den Verlauf der Auftrittshäufigkeit zu legen, Werte für einzelne Jahre dürfen nicht ausgelesen werden.

Das Transekt West-Ost zeigt im Sommer der Referenzperiode eine deutliche Zweiteilung auf. Westlich der Elbe gibt es deutlich weniger Starkniederschlagsereignisse als östlich der Elbe. Diese Zweiteilung an der Elbe löst sich in der aktuellen Klimanormalperiode auf. Starkniederschlagsereignisse treten im gesamten Transekt häufiger auf als in der Referenzperiode. Lokale Maxima östlich der Elbe liegen im Bergbaurevier Südraum Leipzig und im Bereich der Dresdner Elbtalweitung. Östlich der Elbe liegen die lokalen Maxima im Westlausitzer Hügel- und Bergland sowie in der östlichen Oberlausitz. Generell kann eine Abnahme von Starkniederschlagsereignissen in der Vegetationsperiode I erkannt werden, welche in der Oberlausitz am stärksten ist. Auch hier kann, wie im Frühling, ein West-Ost-Gradient ab Mitte der 1960er-Jahre bis Anfang der 1970er-Jahre erkannt werden. Ab der Jahrtausendwende entwickelt sich ein Ost-West-Gradient. In der Vegetationsperiode II ist eine deutliche Zunahme an Starkniederschlagsereignissen wieder besonders stark in der Oberlausitz zu identifizieren. Die regionalen Maxima sind die gleichen wie im Sommer. In den Vegetationsperioden zeigt sich somit deutlich eine zeitliche Verschiebung der Häufung von Starkniederschlagsereignissen im Jahresverlauf.

Im Transekt Nord-Süd sind im Sommer erwartungsgemäß die höchsten Auftretshäufigkeiten von Starkniederschlagsereignissen zu erkennen. In der Referenzperiode besteht ein Nord-Süd-Gradient, der in der aktuellen Klimanormalperiode deutlich schwächer ausgeprägt ist. In der aktuellen Klimanormalperiode gibt es eine Zunahme an Starkniederschlagsereignissen, die Nord-Süd-Unterschiede relativieren sich geringfügig. Die lokalen Maxima liegen im Luv des Erzgebirges. In der Vegetationsperiode I sind deutliche Abnahmen der Auftretshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen für das gesamte Transekt Nord-Süd festzustellen. In der Vegetationsperiode II kommt es zu deutlichen Zunahmen. Die Maxima liegen allesamt im mittleren und oberen Bergland im Luv des Erzgebirges.

Im Transekt Zentral kann im Sommer generell eine Zunahme von Starkniederschlagsereignissen in der aktuellen Klimanormalperiode identifiziert werden. Ausnahmen sind der Bereich der Königsbrück-Ruhlander Heiden, das Westlausitzer Hügel- und Bergland und die Dresdner Elbtalweitung, dort kommt es zu einer Abnahme der Auftretshäufigkeiten. Das lokale Maximum liegt im Luv des Osterzgebirges (Zinnwald). In Vegetationsperiode I zeigt sich eine Abnahme von Starkniederschlagsereignissen. Die höchste Auftretshäufigkeit der Vegetationsperiode II ist von Ende der 1970er-bis Anfang der 1980er-Jahre festzustellen, danach nimmt diese wieder ab. Die Auftretshäufigkeit der Regionen Königsbrück-Ruhlander Heiden, Westlausitzer Hügel- und Bergland und Dresdner Elbtalweitung bleiben in beiden Vegetationsperioden konstant niedriger als in den anderen Bereichen des Transekts.

Für das Transekt Zentral kann im Sommer eine Zunahme der Auftretshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen festgestellt werden, mit periodischen Schwankungen. Besonders häufig waren Starkniederschlagsereignisse in der letzten Dekade vor der Jahrtausendwende, mit lokalen Maxima in der Muskauer Heide, im Lausitzer Gebirge und in Teilen der östlichen Oberlausitz. In der Vegetationsperiode I nimmt die Auftretshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen sehr stark ab. In der aktuellen Klimanormalperiode kommt es zu einer geringfügigen Zunahme von Starkniederschlagsereignissen in der Vegetationsperiode II.

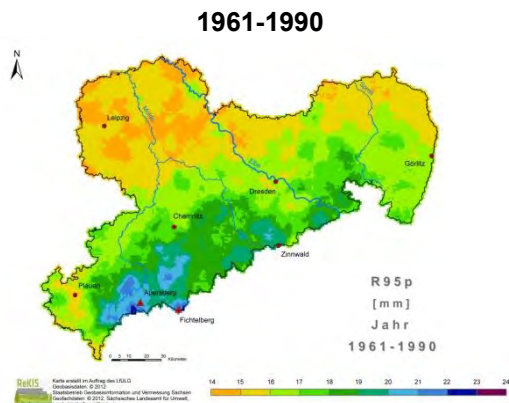
In den Transektgrafiken ist eine Periodizität, sprich eine Variabilität in der zeitlichen Entwicklung, deutlich zu erkennen. Sie tritt unabhängig von den Klimanormalperioden auf. Die Periodizität ist in allen betrachteten Zeiträumen zu erkennen, jedoch in unterschiedlicher Ausprägung. In den Bezugszeiträumen mit den häufigsten Starkniederschlagsereignissen, Sommer und Vegetationsperiode II, zeigt sich die Periodizität besonders eindrucklich. Perioden mit hoher Starkniederschlagshäufigkeit wechseln sich mit Perioden niedriger Starkniederschlagshäufigkeit ab. Die Betrachtung der verschiedenen Bezugszeiträume zeigt, dass Perioden mit hoher Starkniederschlagshäufigkeit nicht zwingend in allen Bezugszeiträumen gleich sind. Die Periodizität ist nicht



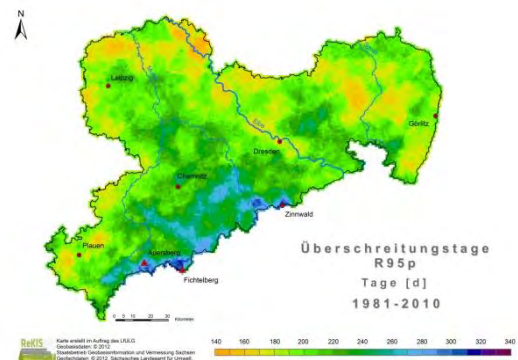
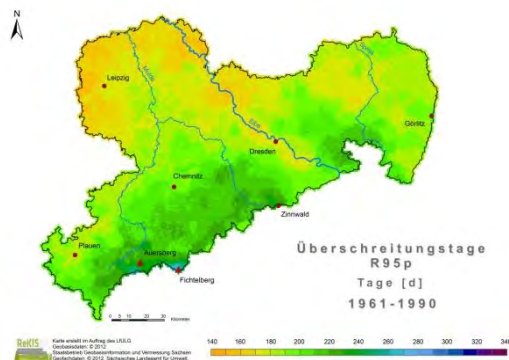
auf bestimmte Jahre fixiert. Aufeinanderfolgende Jahreszeiten können sehr verschiedene Tendenzen der Periodizität zeigen. Um detailliertere Beschreibungen der Veränderung der Periodizität im Jahresverlauf zu ermöglichen, ist eine an diese Fragestellung angepasste Parametrisierung des Verfahrens notwendig. 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.

**Hinweis zu den folgenden Seiten:**

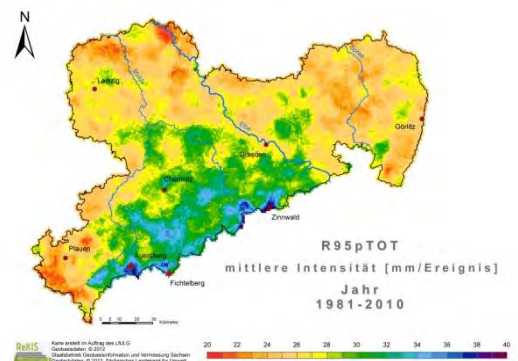
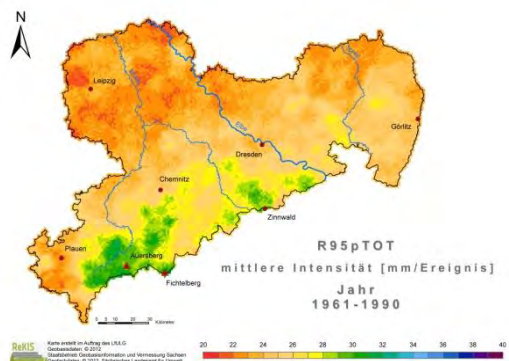
Die flächenhaften Verteilungen ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für ca. 20.000 Pseudostationen (1x1 km-Rasterzellen), die aus interpolierten Tageswerten extrahiert wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass scheinbar unplausible Argumente in den extrahierten Zeitreihen auftreten können. U. a. ist die zur Interpolation notwendige adäquate Verteilung der Stützstellen nicht immer gegeben. *Bei der Bewertung der Abbildungen ist vom Gesamteindruck auszugehen.*



**Regenhöhe Starkniederschlagsereignis (R95p)**

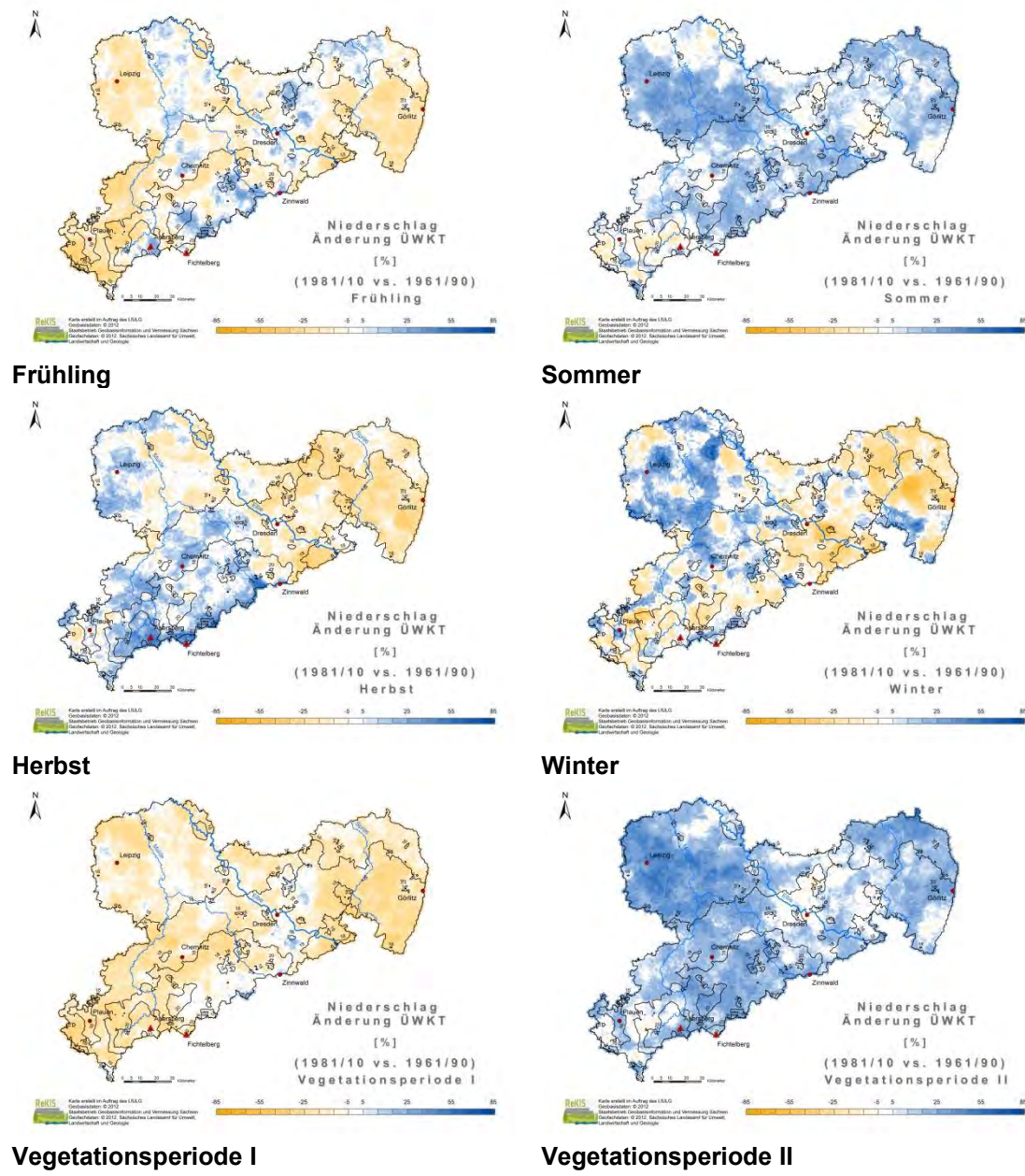


**Kumulative Überschreitungstage für Starkniederschlagsereignisse (R95p)**



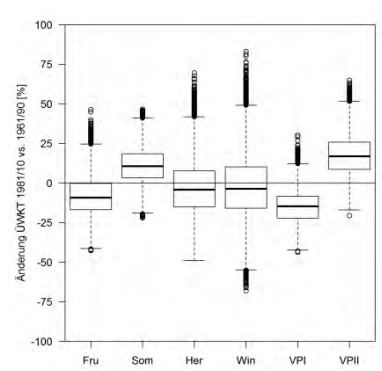
**Mittlere Intensität Starkniederschlagsereignis (R95p)**

**Abb. 4.3.2-1: Flächenhafte Verteilung von Starkniederschlagsereignissen R95p in Sachsen für die Klimanormalperioden 1961-1990 und 1981-2010, Jahr: Regenhöhen von Starkniederschlagsereignissen R95p (mm) (oben), kumulative Überschreitungstage von Starkniederschlagsereignissen R95p (d) (Mitte), mittlere Intensität pro Starkniederschlagsereignis R95p (mm) (unten)**



Vegetationsperiode I

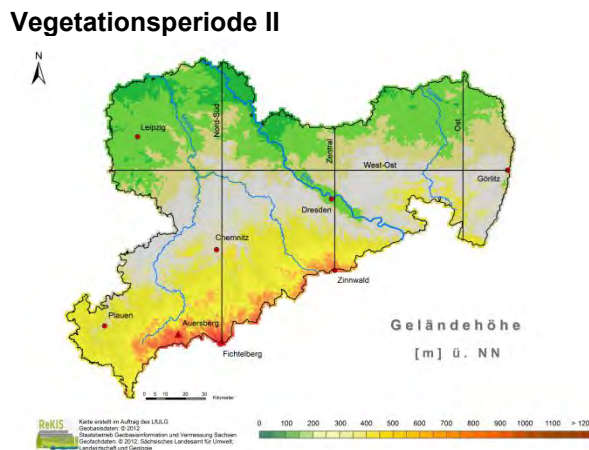
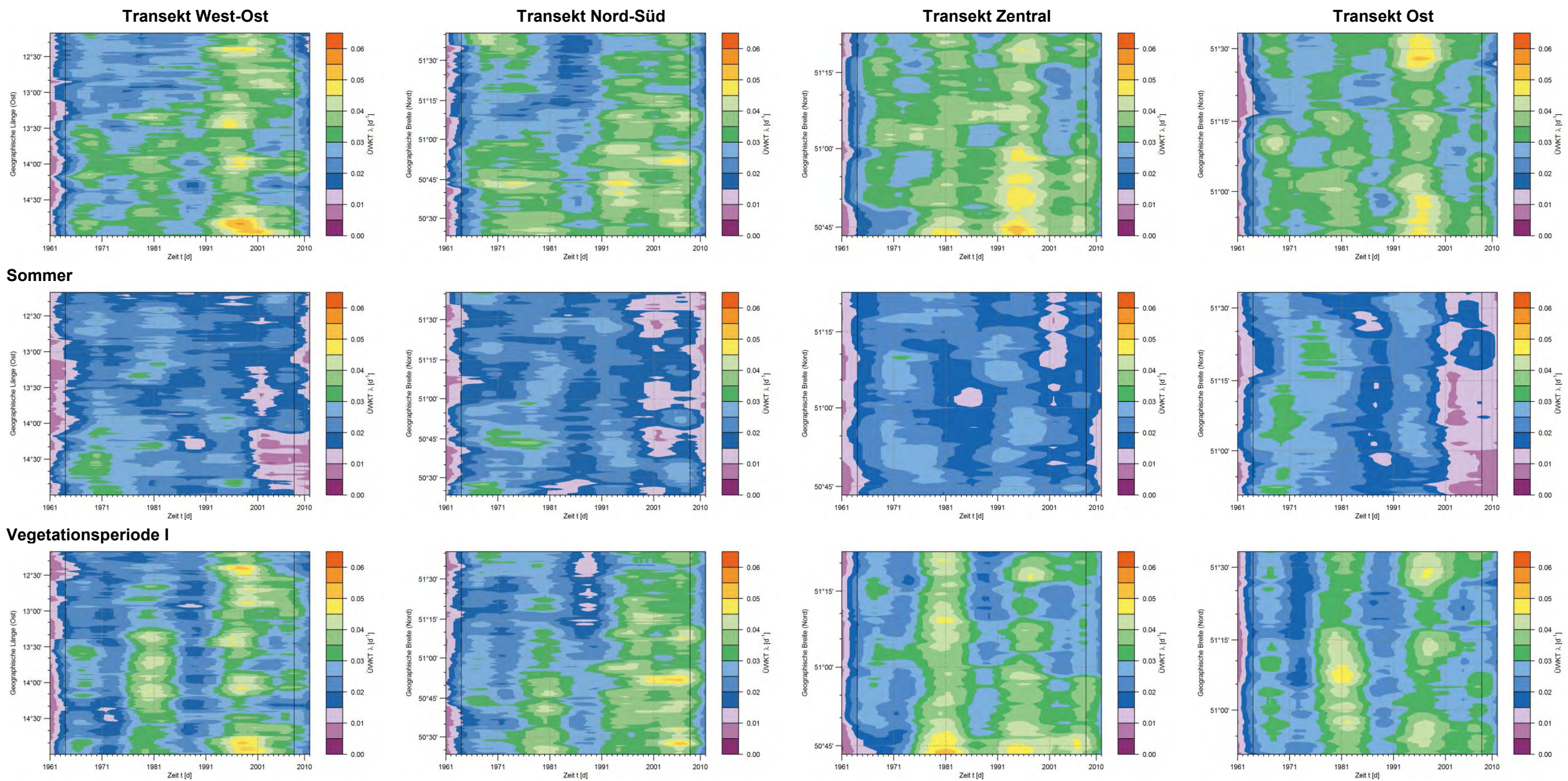
Vegetationsperiode II



Box-Whisker-Plot

Abb. 4.3.2-2: Flächenhafte Verteilung für die Änderung (%) der Überschreitungswahrscheinlichkeit von Starkniederschlagsereignissen R95p in Sachsen für 1981-2010 vs. 1961-1990, Jahreszeiten und Vegetationsperioden (Isolinien: Regenhöhen Starkniederschlagsereignis R95p in mm); Box-Whisker-Plot zu den flächenhaften Verteilungen





**Hinweis:** Die Transekte ergeben sich aus der Analyse von Zeitreihen für lagekorrespondierende Pseudostationen (1x1 km-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, wobei diese methodisch bedingt nur innerhalb der durchgezogenen Linien lesbar sind.

**Lage der Transekte**

**Abb. 4.3.2-3:** Zeitlicher Verlauf (1961-2010) der Überschreitungswahrscheinlichkeit (d-1) von Starkniederschlagsereignissen R95p für die Transekte West-Ost, Nord-Süd, Zentral und Ost in Sachsen, Sommer und Vegetationsperioden I und II; Lage der Transekte



## 4.4 Stationsbezogene Analyse von Stundendaten für Klimaelemente

### 4.4.1 Mittlere Tagesgänge

Die mittleren Tagesgänge werden für die Klimagrößen Temperatur, Sonnenscheindauer, relative Feuchte und Windgeschwindigkeit jeweils als Isoplethen- und Liniendiagramm dargestellt. Analog zu Isolinien ermöglichen Isoplethendiagramme die Darstellung von Linien gleichen Zahlenwertes einer Größe, jedoch unter zusätzlicher Berücksichtigung zwei weiterer Variablen. Meist beziehen sich diese weiteren Variablen auf den Breiten- und Längengrad, um gleiche Werte einer Größe räumlich darzustellen (z. B. Isohypsen als Linien gleicher orografischer Höhe). Im Fall der hier dargestellten Isoplethen wird die jeweilige Klimagröße jedoch unter zeitlichen Aspekten erfasst, wobei der Tagesgang (Abszisse) in Abhängigkeit des Jahresverlaufs von Januar bis Dezember (Ordinate) abgebildet wird. Darüber hinaus werden in den Isoplethendiagrammen die monatlich gemittelten Stundenwerte von Referenzdekade (1991–2000) und jüngster Messdekade (2001–2010) gegenübergestellt, um mögliche rezente Klimaveränderungen analysieren zu können. Zusätzlich werden die mittleren Tagesgänge der Monate Januar und Juli exemplarisch für die Perioden 1991/00 und 2001/10 gegenübergestellt. Beide Monate wurden gewählt, weil sie jeweils sehr gegensätzliche Bedingungen innerhalb des Jahres repräsentieren und somit gut die Jahresamplitude eines Klimaelementes verdeutlichen.

Die Liniendiagramme in Anhang A 4.4.1 zeigen den mittleren Tagesgang der oben genannten Klimagrößen, welche jeweils dekadenweise gegenübergestellt werden. Dabei wurden die Stundenmittel der jeweiligen Dekade in Abhängigkeit verschiedener Bezugszeiträume berechnet, um innerjährliche Besonderheiten des Tagesgangs zu verdeutlichen. Die Bezugszeiträume beziehen sich auf die meteorologischen Jahreszeiten (Frühling, Sommer, Herbst und Winter), das Sommer- und Winterhalbjahr sowie die beiden Vegetationsperioden. Die Liniendiagramme sollen vor allem als Ergänzung zu den Isoplethendiagrammen dienen, weil diese wichtige Zeiträume zusammenfassen und die gesamte Messzeitspanne der jeweiligen Station abbilden.

### Temperatur

Der Tagesgang der Lufttemperatur (2 m ü. GOF) ähnelt einer Glockenkurve und ist abhängig vom Tagesgang der Globalstrahlung bzw. der Sonnenscheindauer. Charakteristisch sind das auftretende Minimum kurz vor Sonnenaufgang und der mit zunehmender Strahlungsintensität ansteigende Verlauf, der nach Sonnenhöchststand schließlich sein Maximum erreicht. Die zeitliche Verschiebung zwischen Strahlungs- und Temperaturmaximum lässt sich durch die Messhöhe in 2 m ü. GOF erklären. Während die Temperatur der bodennahen Luftschichten bereits gegen die Mittagszeit ihr Maximum erreicht, verzögert sich der Austausch von Wärme mit zunehmender Höhe. Nach Erreichen des Maximums sinkt die Temperatur wieder bis zum morgendlichen Minimum ab. Generell unterscheiden sich die Tiefland-, Mittelgebirgsvorland- und unteren Berglandstationen durch höhere innerjährliche Lufttemperaturen von den Kammlagen (Abb. 4.4.1-1a). Für den Referenzzeitraum 1991/00 liegen diese während der Wintermonate (DJF) in einem Bereich zwischen 0 bis 6 °C und während der Sommermonate (JJA) zwischen 10 bis 24 °C. Die Lufttemperaturen der Kammlagen hingegen schwanken während der Wintermonate zwischen -6 bis 4 °C und während der Sommermonate zwischen 6 bis 18 °C, wobei die Messumgebung der Station Zinnwald-Georgenfeld etwa um 2 °C wärmer ist als jene der Station Fichtelberg. Typisch für die Wintermonate sind Temperaturmaxima zwischen 13:00 und 14:00 Uhr sowie die geringsten Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht. Diese sind für die Stationen im Tief-, Mittelgebirgsvorland und unteren Bergland mit etwa 4 bis 6 K stärker ausgeprägt als für die Stationen der Kammlagen, welche etwa 2 K betragen. Die strahlungsintensiveren Sommermonate hingegen zeigen neben dem um etwa eine Stunde später auftretenden Temperaturmaximum (etwa zwischen 14:00 und 15:00 Uhr) auch wesentlich stärkere Unterschiede zwischen Tag und Nacht. Wieder sind die Temperaturamplituden der Tiefland-, Mittel-

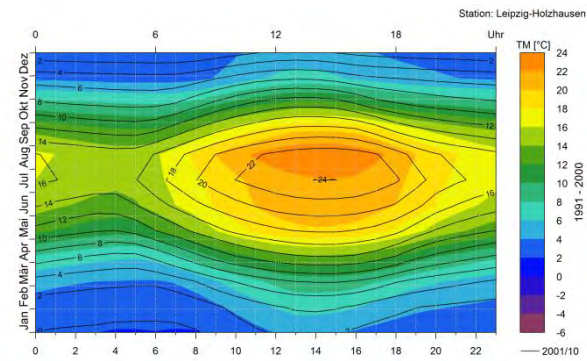
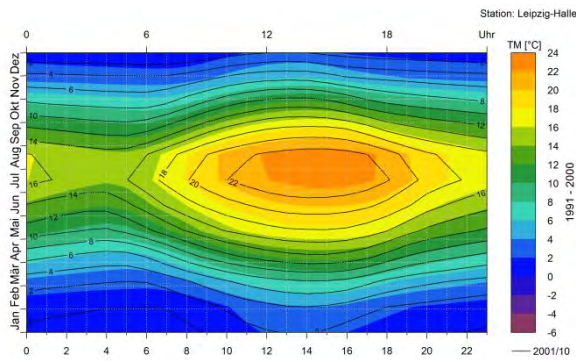
gebirgsvorland- und unteren Berglandlandstationen mit etwa 8 bis 10 K stärker ausgeprägt als jene der Kammlagen, welche etwa 4 bis 6 K betragen.

Der Vergleich beider Dekaden in Abbildung 4.4.1-1a, zeigt für alle Stationen einen veränderten Tagesgang, der für das Sommerhalbjahr am stärksten ausgeprägt ist (s. a. Abbildung 4.4.1-1b und Anhang A 4.4.1-1a, b). Die Veränderungen sind vor allem daran zu erkennen, dass die Isolinien der Dekade 2001/10 nicht mit den Klassengrenzen der Dekade 1991/00 übereinstimmen. Die Unterschiede in den Tagesgängen der Station Leipzig-Holzhausen lassen sich eher auf die Datenverfügbarkeit als auf mögliche Klimaänderungen zurückführen. Für die Referenzdekade liegen nur etwa 40 % der benötigten Daten vor (von 1997 bis 2000), weshalb diese Station hier für einen Vergleich beider Dekaden ausgeklammert werden soll. Für die übrigen Stationen sind die Temperaturänderungen besonders während der täglichen Erwärmungsphase ausgeprägt, also den ansteigenden Bereich der Temperaturkurve von Sonnenaufgang bis zum Tagesmaximum. Generell setzen höhere Temperaturen zeitiger im Jahr ein und dauern länger an, was an einer Abwärtsverschiebung der Isolinien von April bis August und an einer Aufwärtsverschiebung von August bis November zu erkennen ist. Während dieser Monate unterscheiden sich die Tagesgänge für den Zeitraum 2001/10 grundsätzlich durch wärmere Vormittage und höhere Tagesmaxima. Das jährliche Temperaturmaximum verschiebt sich für alle Stationen vom August in den Juli. Für alle Stationen zeigt sich des Weiteren eine Temperaturabnahme für den Zeitraum 2001/10 im Monat Januar, was an der Aufwärtsverschiebung der Isolinien zu erkennen ist. Dies zeigt sich vor allem im Bereich des Tagesmaximums und führt zu einer Verringerung der täglichen Temperaturamplitude. Die Liniendiagramme des täglichen Temperaturverlaufs für die Monate Januar und Juli (Abbildung 4.4.1-1b) verdeutlichen die detektierten Änderungen. Hier kann der Temperaturrückgang im Januar für die Tiefland-, Mittelgebirgsvorland- und unteren Berglandstationen bis zu etwa -1 K betragen. Für die Kammlagenstationen liegen die Januaranomalien in einem Bereich von ca. -0,5 bis -1,5 K und sind damit etwas größer als für die tiefer liegenden Stationen. Der Temperaturanstieg im Juli hingegen ist für die Stationen geringerer Seehöhe stärker ausgeprägt als für die Kamm- und Gipfellagen. Des Weiteren verdeutlichen die Liniendiagramme im Juli das Auftreten der meist stärksten Temperaturzunahmen während der Erwärmungsphase am Vormittag.

**Hinweis:**

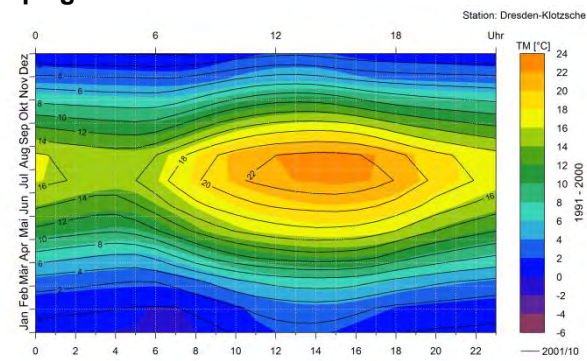
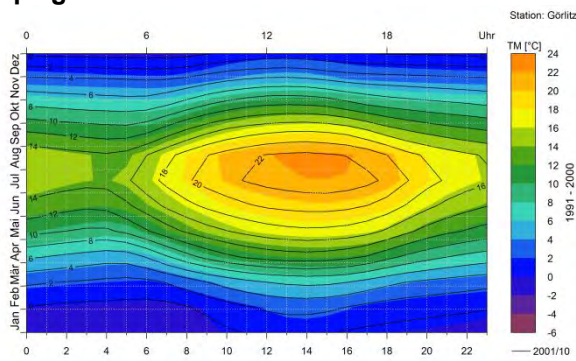
Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.





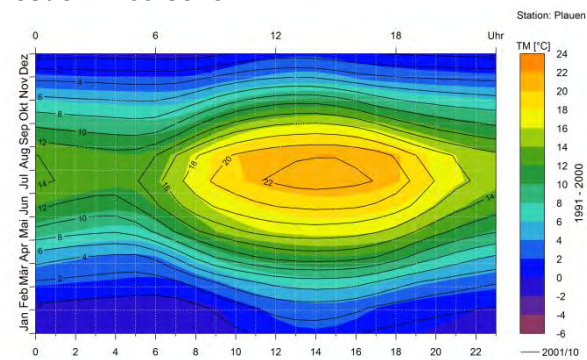
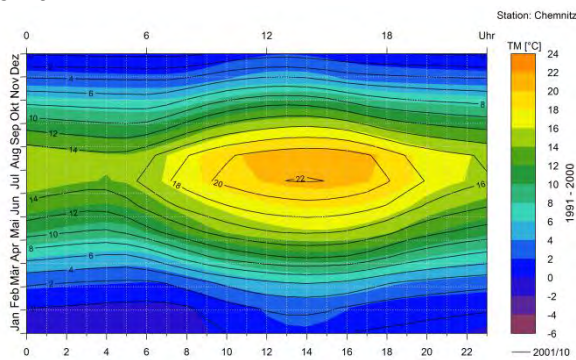
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



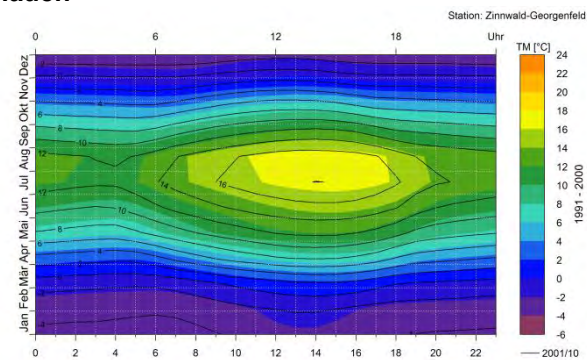
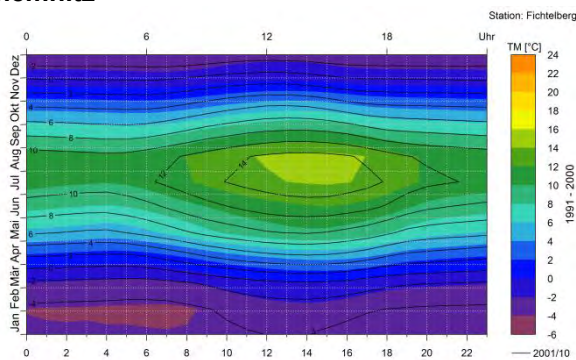
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

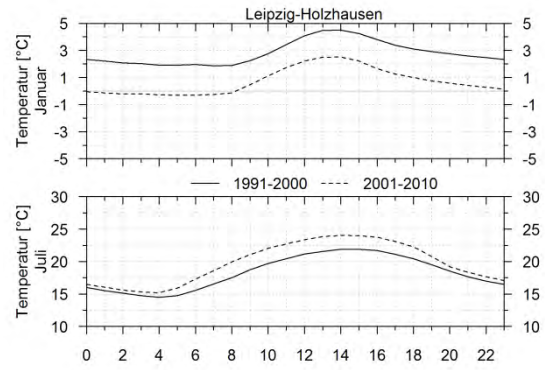
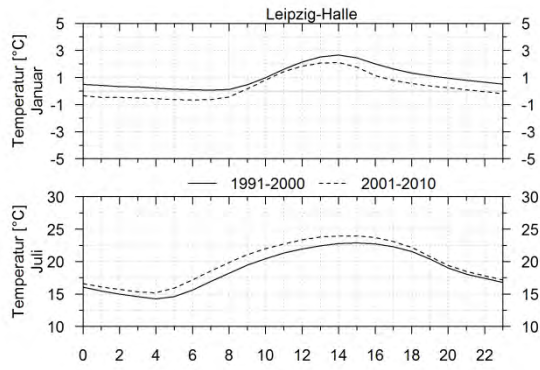
**Plauen**



**Fichtelberg**

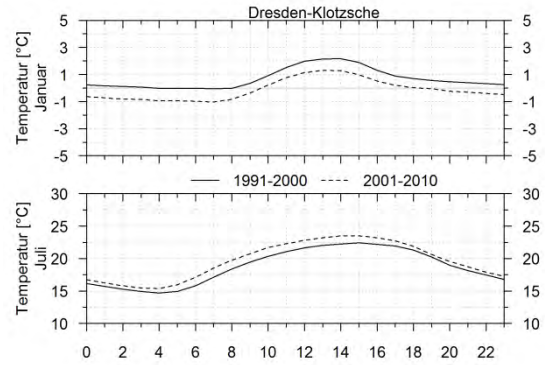
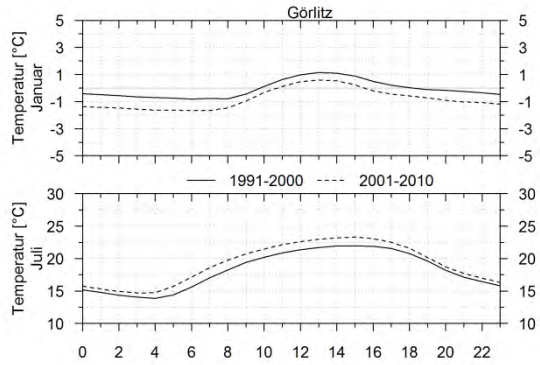
**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.1-1a: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (TM in °C) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**



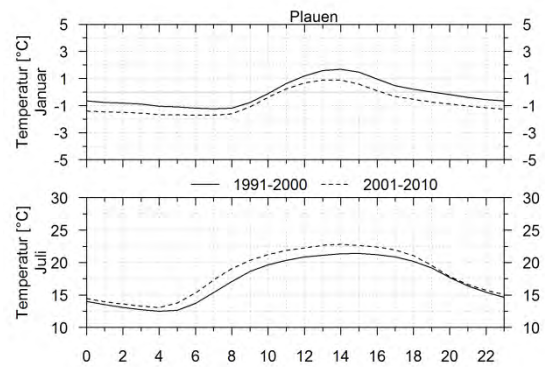
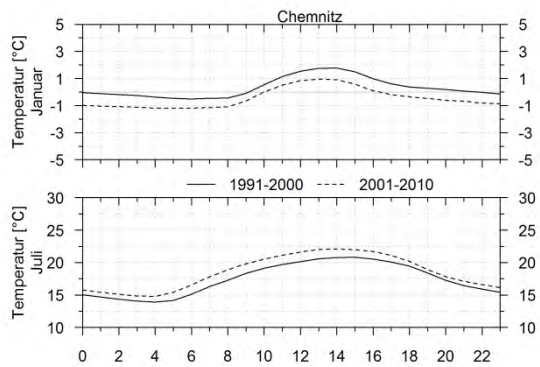
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



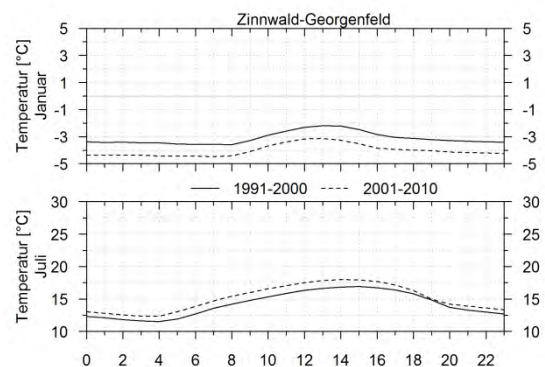
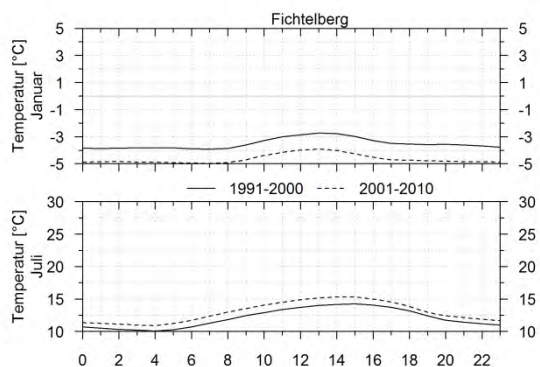
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**



**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.1-1b: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (in °C) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991–2000 (durchgehend) und 2001–2010 (strichliert)**



## Sonnenscheindauer

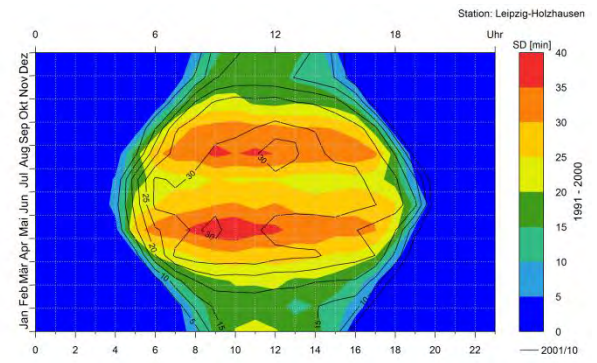
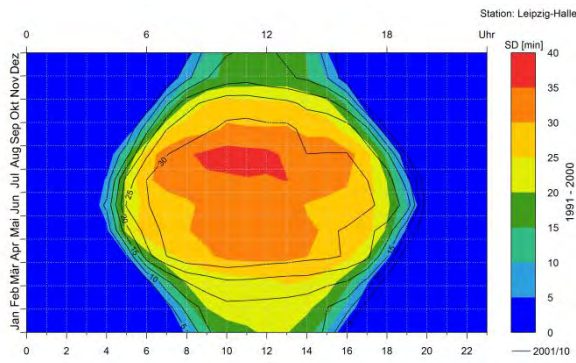
Analog zur Temperatur entspricht der mittlere tägliche Verlauf der Sonnenscheindauer annähernd einer Glockenkurve, mit Minimalwerten zu den Dämmerungszeiten und einem Maximum zwischen 10:00 und 14:00 Uhr. Der Tagesgang der Sonnenscheindauer drückt implizit den Bewölkungsgrad aus, welcher der Differenz aus möglicher Sonnenscheindauer von 60 min pro Stunde zu tatsächlich auftretender Sonnenscheindauer in Abbildung 4.4.1-2a entspricht. Das Auftreten von Wolken an einem Standort ist, wie der Niederschlag, abhängig von der Seehöhe bzw. Luv-Lee-Effekten und dem Einfluss von großräumigen Wetterlagen. So ist vor allem im Tiefland und Mittelgebirgsvorland im Laufe des Tages mehr Sonnenschein bzw. weniger Bewölkung zu verzeichnen als im unteren Bergland sowie den Kamm- und Gipfellagen (Abb. 4.4.1-2a). Die Stunden mit dem meisten Sonnenschein treten für den Referenzzeitraum von 1991/00 vor allem an Tagen im Mai und August auf, mit Werten von 30 min/h für die Stationen der Berg- und Kammlagen bis hin zu mehr als 35 min/h für die Tieflandstationen. Der Jahresverlauf der Sonnenscheindauer bzw. der Zeitpunkt von Sonnenauf- und Sonnenuntergang wird bestimmt durch die Neigung unserer Erdachse (Ekliptik) und dem damit einhergehenden Winkel, in dem die Erde von der Sonne bestrahlt wird (Deklination). In den Monaten vor Frühlings-(März) und nach Herbstanfang (September) – beide Zeitpunkte repräsentieren die astronomische Tag- und-Nachtgleiche mit 12 möglichen Sonnenscheinstunden pro Tag – sind die Tage am kürzesten, mit Sonnenaufgang zwischen 06:00 und 08:00 Uhr und Sonnenuntergang zwischen 16:00 und 18:00 Uhr. Die längsten Tage im Jahr mit bis zu 16 möglichen Sonnenscheinstunden treten im Juni (Sommeranfang) auf. Bei der Auswertung der stündlichen Sonnenscheindauer ist auf den Zeitbezug zu achten. Es handelt sich hierbei nicht um mitteleuropäische Sommer- und Winterzeit, sondern um die koordinierte Weltzeit (UTC), wodurch der Zeitpunkt des Sonnenauf- und Sonnenuntergangs von mitteleuropäischen Verhältnissen abweichen kann.

Ein Vergleich der beiden abgebildeten Dekaden in Abb. 4.4.1-2a zeigt für alle Stationen eine Veränderung der Tagesgänge für den Zeitraum 2001/10, wobei diese für die Maxima und den abfallenden Kurvenverlauf bis Sonnenuntergang am sichtbarsten sind (s. a. Abb. 4.4.1-2b und Anhang A 4.4.1-2a, b). Wieder soll die Station Leipzig-Holzhausen auf Grund der sehr geringen Datenverfügbarkeit innerhalb der Dekade 1991/00 hier unberücksichtigt bleiben. Ganzjährig kommt es zu einer Zunahme der Sonnenscheindauer, die jedoch nur den Zeitraum vor Sonnenuntergang betrifft. Dieses Änderungssignal könnte möglicherweise auch auf inkonsistente Zeitbezüge (mittlere oder wahre Ortszeit) in den Messreihen zurückzuführen sein (s. a. Kap. 2.3.3). Während der Frühjahrsmonate (MAM) der Dekade 2001/10 wird eine Zunahme der Sonnenscheindauer für die gesamte zweite Hälfte des Tages deutlich, was durch die Verschiebung der Isolinien 2001/10 in die späteren Nachmittagsstunden ausgedrückt wird. Für die Stationen Leipzig-Halle und Fichtelberg nimmt die Sonnenscheindauer während der Monate März und April auch vormittags zu. Das für Dekade 1991/00 auftretende Sonnenscheinmaximum im Mai verschiebt sich für Dekade 2001/10 in den Monat April (Station Leipzig-Halle und Dresden-Klotzsche ausgeschlossen). Für die Monate Juni und Juli erhöht sich die tägliche Sonnenscheindauer der Dekade 2001/00 an allen Stationen, was durch veränderte Niederschläge bzw. weniger Bewölkung begründet werden kann. Im August und September hingegen nehmen die Sonnenminuten für Dekade 2001/10 ab, was besonders für die Tagesmaxima und die darauffolgenden Stunden zu erkennen ist. Ein weiterer Rückgang des Sonnenscheins für den Zeitraum 2001/10, eventuell infolge zunehmender Niederschläge bzw. Bewölkung, ist im Januar zu beobachten. Für die Station Fichtelberg ist diese Abnahme jedoch sehr gering ausgeprägt, während jene sich für die Stationen Plauen und Zinnwald-Georgenfeld sogar bis in den Februar erstreckt. Generell führen die innerjährlich verschieden ausgeprägten Änderungen der Sonnenscheindauer zu einem leicht veränderten Verlauf der Tagesgänge für die Dekade 2001/10. Die mittleren Tagesgänge der Sonnenscheindauer in Abbildung 4.4.1-2b zeigen für den Juli größere Abweichungen (-4 bis +14 min) zwischen beiden Zeitreihen als für den Januar (-5 bis +6 min).



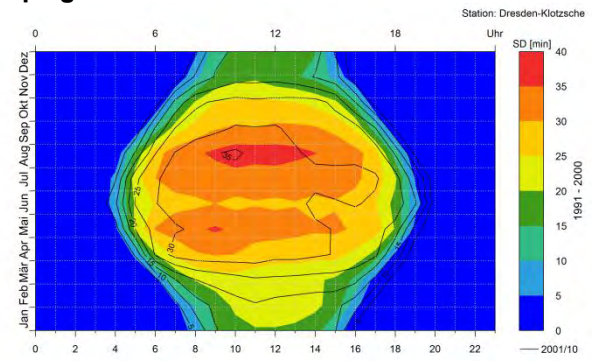
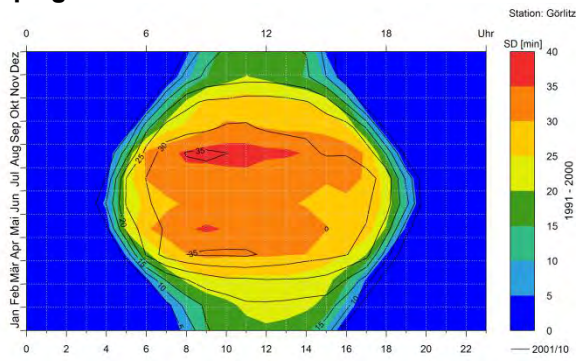
**Hinweis:**

Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.



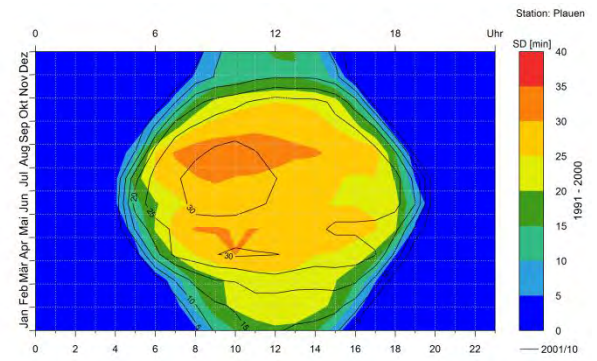
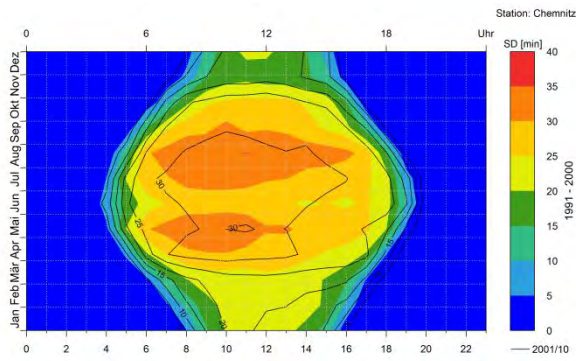
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



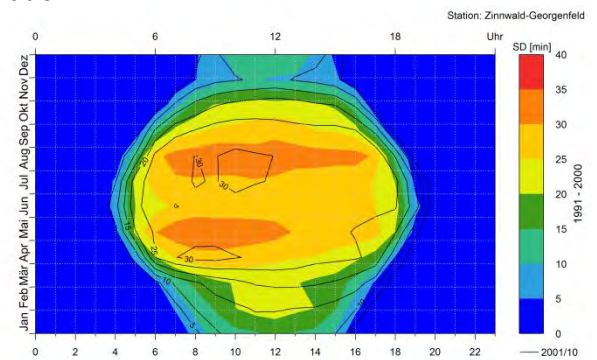
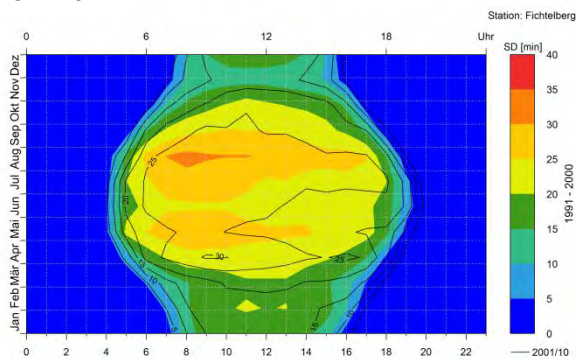
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

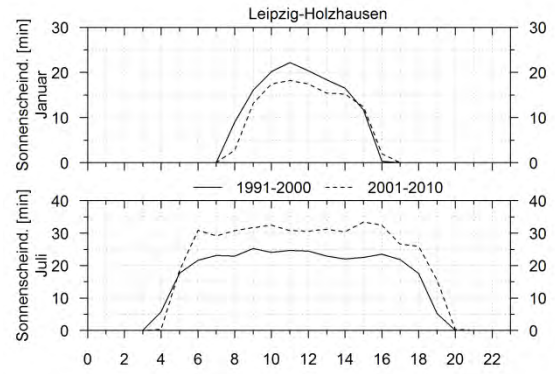
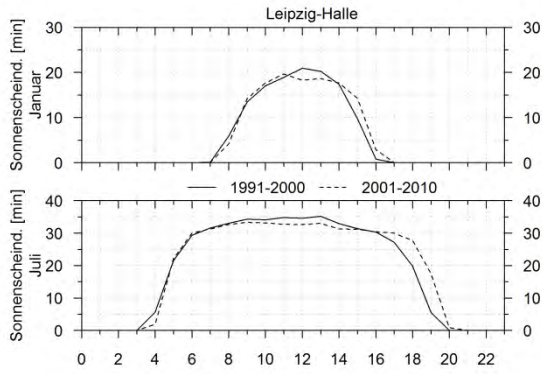
**Plauen**



**Fichtelberg**

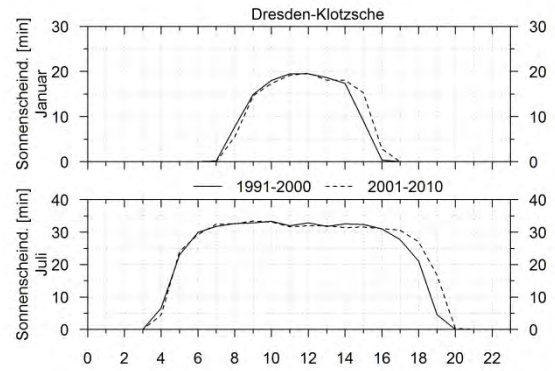
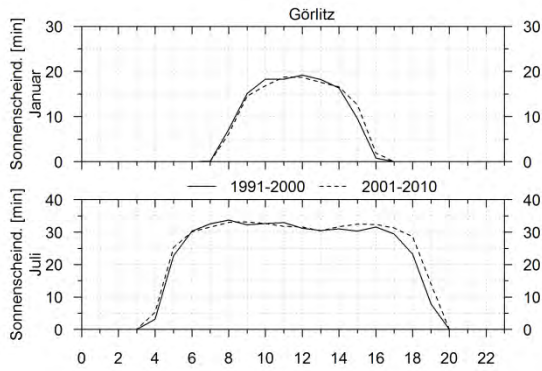
**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.1-2a: Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) der Sonnenscheindauer (SD in min) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**



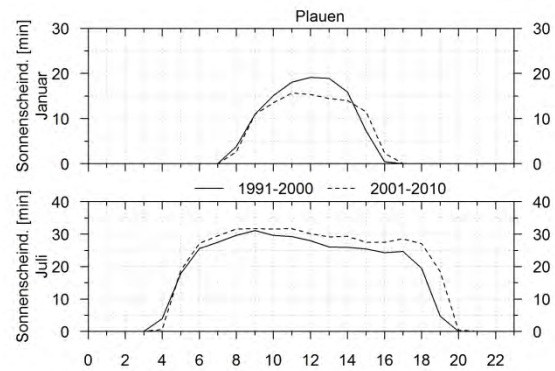
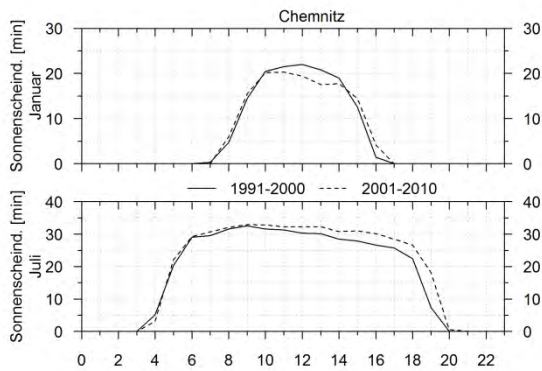
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



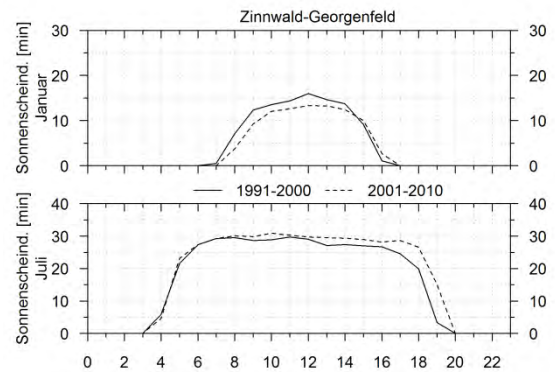
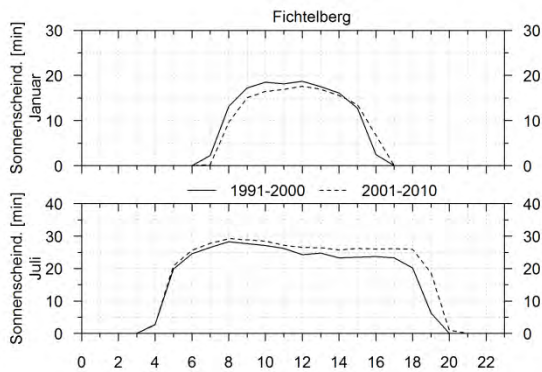
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**



**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.1-2b: Mittlerer Tagesgang der Sonnenscheindauer (in min) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991–2000 (durchgehend) und 2001–2010 (strichliert)**



## Relative Feuchte

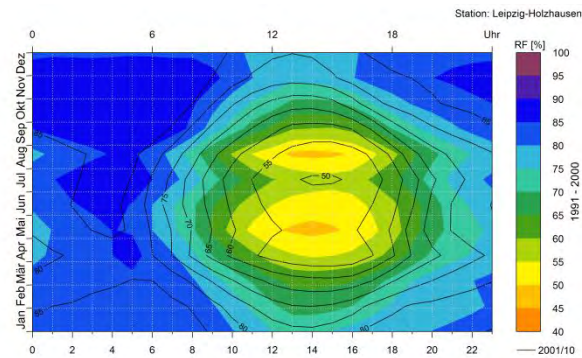
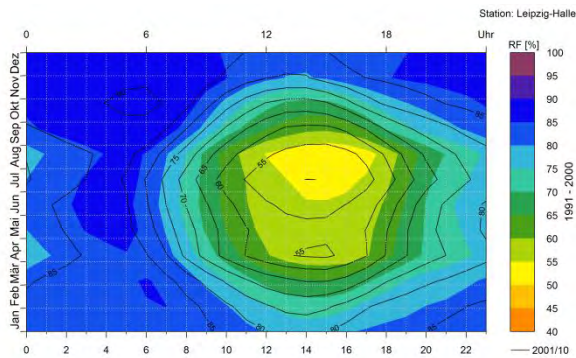
Die relative Feuchte weist einen ausgeprägten Tagesgang auf, der ebenfalls an die Temperatur und Globalstrahlung bzw. Sonnenscheindauer gekoppelt ist (temperaturabhängiges Feuchtemaß). Die Tagesgänge der relativen Feuchte sind gegenläufig zur Temperatur, mit einem Maximum zum Zeitpunkt des Sonnenaufgangs und einem Minimum kurz nach Sonnenhöchststand. Der spiegelbildliche Verlauf resultiert daraus, dass kalte Luft weniger Feuchtigkeit aufnehmen kann als warme Luft, somit schneller gesättigt ist und die relative Feuchte folglich höhere Werte für geringere Temperaturen annimmt. Auch hier unterscheiden sich die Stationen des Tief-, Mittelgebirgsvor- und unteren Berglands deutlich von jenen der Berg- und Kammlagen (Abb. 4.4.1-3a). Die höher gelegenen Stationen mit geringeren Lufttemperaturen weisen eine höhere relative Feuchte auf. Diese liegen für die Dekade 1991/00 während der Sommermonate (JJA) in einem Bereich zwischen 65 und 90 % und während der Wintermonate (DJF) zwischen 85 und mehr als 95 %. Im Tief-, Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland hingegen beträgt die relative Feuchte in den Sommermonaten etwa 50 bis 90 % und während der Wintermonate etwa 60 bis 85 % (Station Leipzig-Holzhausen weist für Dekade 1991/00 nur etwa 40 % verfügbare Daten auf und sollte nicht als repräsentativ betrachtet werden). Analog zur Temperatur wird hier deutlich, dass die tägliche Spannweite der relativen Feuchte für die warmen Sommermonate größer ist als für die kalten Wintermonate.

Der Vergleich beider Dekaden in Abb. 4.4.1-3a verdeutlicht für 2001/10 eine Abnahme der relativen Feuchte von April bis November, die das Resultat steigender Lufttemperaturen ist. Auffällig ist, dass sich dieser Rückgang für alle Stationen vor allem auf die erste Tageshälfte bezieht, also das Zeitfenster zwischen Sonnenaufgang und Tagesminimum. Eine ganztägige Abnahme der relativen Feuchte ist lediglich für den Juli zu beobachten (außer für die Station Görlitz und Dresden-Klotzsche). Das zeigt auch der exemplarische Auszug des mittleren Tagesgangs für Juli in Abb. 4.4.1-3b. Für die restlichen Monate kommt es für die zweite Tageshälfte nach dem Erreichen des täglichen Temperaturmaximums bzw. Feuchteminimums zu einer Zunahme der relativen Feuchte, was zu einem veränderten Verlauf des Tagesgangs für Dekade 2001/00 führt (s. a. Anhang A 4.4.1-3a, b). Die innerjährlichen Feuchteminima, welche für Dekade 1991/00 im Mai und August auftreten, verschieben sich für Dekade 2001/10 um einen Monat nach vorn, was gut mit dem zeitigeren Einsetzen höherer Temperaturen übereinstimmt (Abb. 4.4.1-1a). Als Resultat rückläufiger Temperaturen, was dazu führt, dass weniger Wasser von der Luft aufgenommen werden kann, kommt es in den Monaten Dezember und Januar (für die Station Plauen nur im Januar) für Dekade 2001/10 zu einem täglichen Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit. Für die Stationen der Berg- und Kammlagen erstreckt sich die ganztägige Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit sogar über die Monate November bis Februar.

Die dekadische Gegenüberstellung des Tagesgangs der relativen Feuchte für Januar und Juli zeigt analog zur Temperatur ein stärkeres Änderungssignal im Juli. Hier weicht die relative Feuchte des Zeitraums 2001/10 in einem Bereich von -10 bis +2 % von jener des Zeitraums 1991/00 ab. Im Januar hingegen liegen die Anomalien in einem Bereich zwischen -1 bis 5 %.

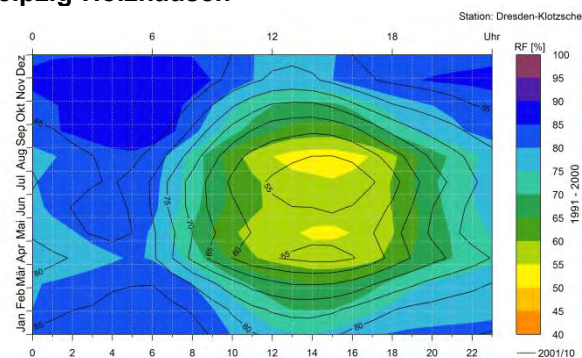
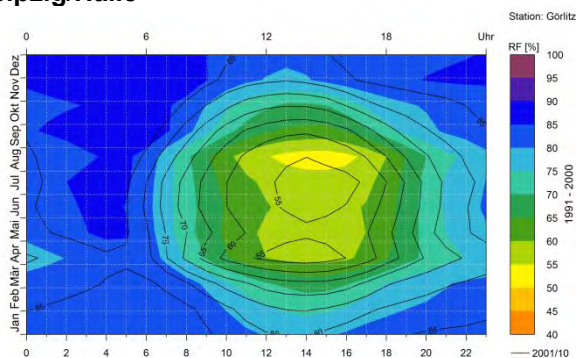
### Hinweis:

Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.



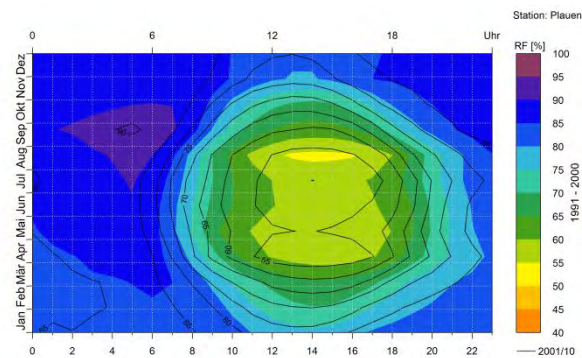
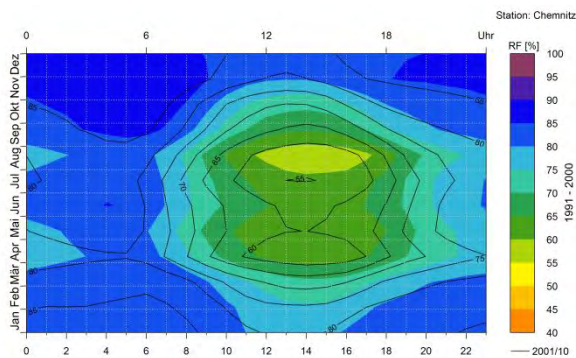
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



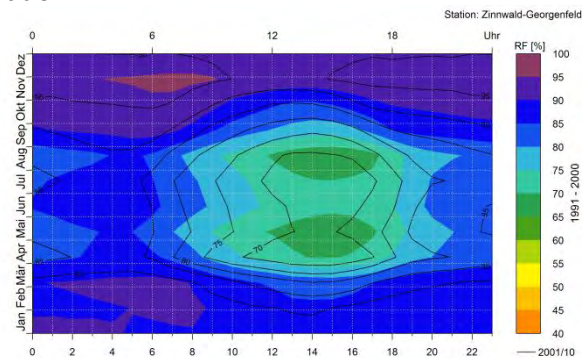
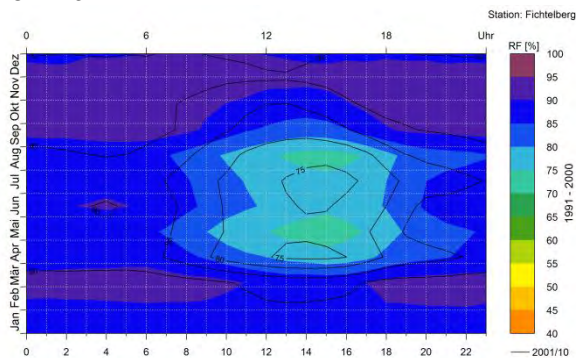
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**

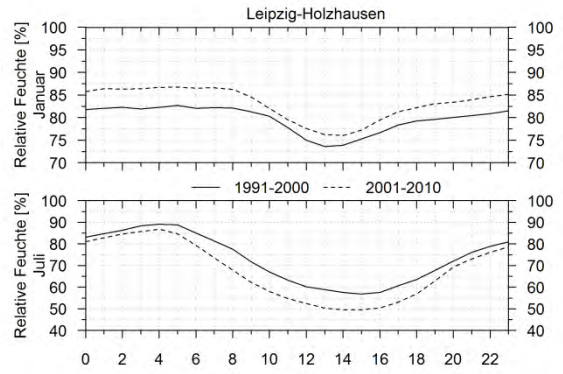
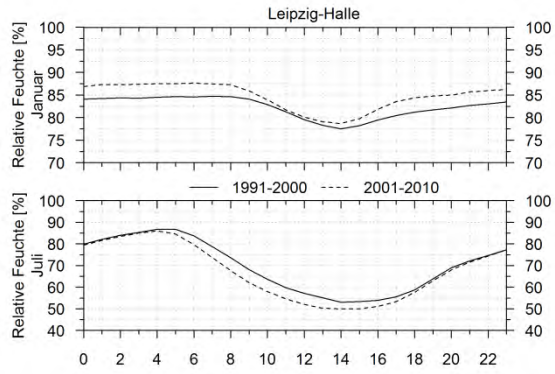


**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

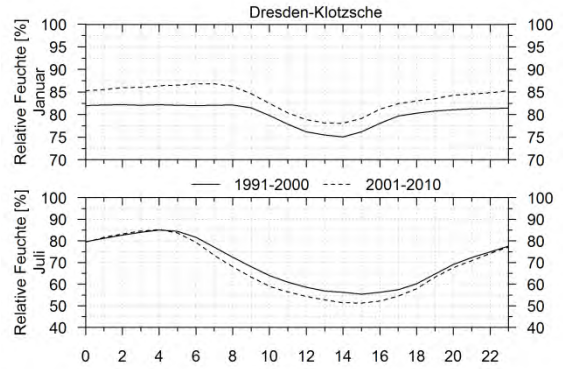
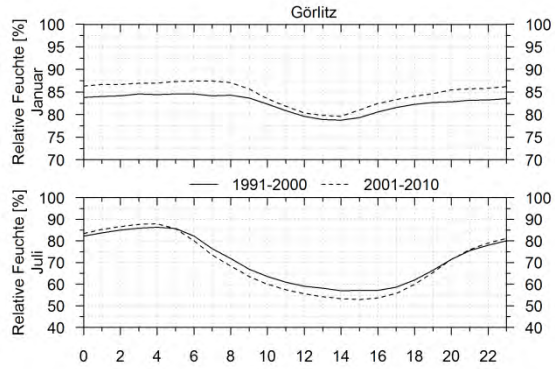
**Abb. 4.4.1-3a: Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (RF in %) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**





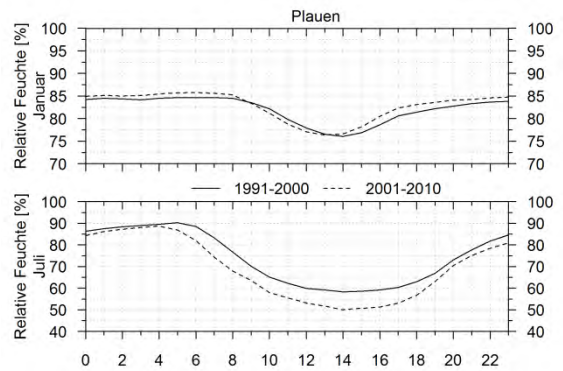
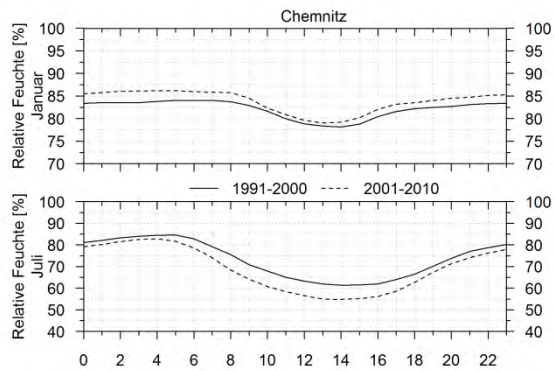
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



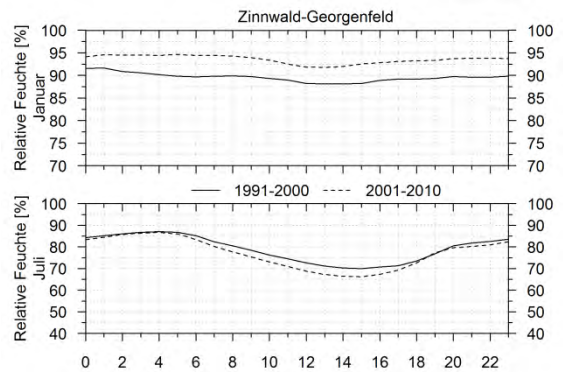
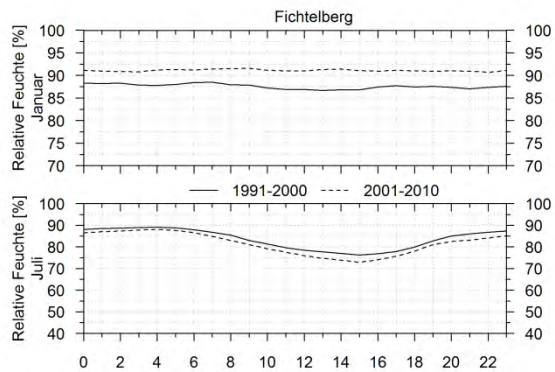
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**



**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.1-3b: Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (in %) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert)**



## Windgeschwindigkeit

Der tägliche Verlauf der Windgeschwindigkeit ist abhängig von der vorherrschenden Wetterlage, der Orografie bzw. Seehöhe und dem Temperaturverlauf eines Standortes. Das Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit ähnelt einer Logarithmusfunktion. Dabei treten die geringsten Werte über der Geländeoberfläche auf, was mit der reibenden bzw. abbremsenden Wirkung der jeweiligen Bodenbedeckung zusammenhängt. Mit zunehmender Höhe nimmt die Windgeschwindigkeit schließlich infolge weniger Reibung bis hin zur planetarischen Grenzschicht (von der Bodenreibung unbeeinflusste Atmosphäre) logarithmisch zu. Alle Stationen in Abb. 4.4.1-4a, außer die des Fichtelbergs, zeigen einen an die Temperatur gekoppelten Tagesgang der Windgeschwindigkeit. Dieser ist für die warmen Monate mit hohen Temperaturunterschieden zwischen Tag und Nacht stärker ausgeprägt als für die kalten Monate mit geringen täglichen Temperaturamplituden. Mit zunehmender globaler Einstrahlung nach Sonnenaufgang, steigenden Bodentemperaturen und einem damit einhergehenden zunehmendem turbulenten Transport fühlbarer Wärme (thermischer Ausgleich zwischen Luftschichten), kommt es zu einem Anstieg der Windgeschwindigkeit bis etwa zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums. Mit wieder abkühlender Bodenoberfläche kommt es schließlich zu einer Inversion, das heißt, ein turbulenter Wärmeaustausch zwischen den abkühlenden unteren und den darüber liegenden wärmeren Luftschichten findet nicht mehr statt. Folglich sinkt die Windgeschwindigkeit bis auf ein nächtliches Minimum ab. Für die Stationen des Tief-, Mittelgebirgsvor- und unteren Berglandes, die teilweise durch ihre Lage in bebauten Städten oder Tälern eine eher geschützte Lage aufweisen, ist dieser Tagesgang besonders ausgeprägt. Neben dem Einfluss thermischer Bedingungen resultieren die höheren innerjährlichen Windgeschwindigkeiten der Berg- und Kammlagen (vor allem Fichtelberg) aus der freistehenden Lage der Hochflächen und dem Einfluss von Berg-Tal-Windsystemen.

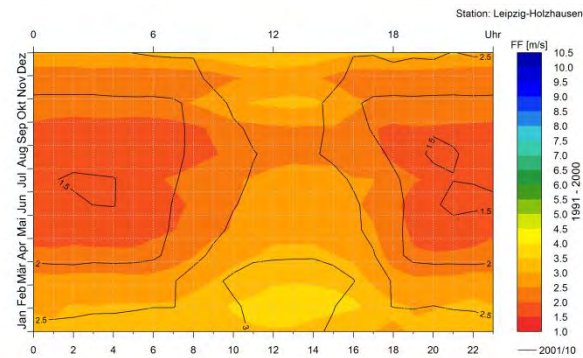
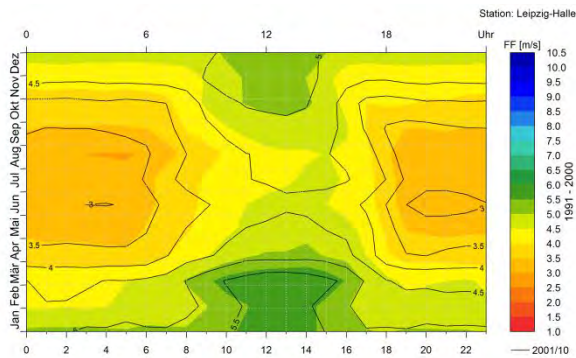
Auch der veränderte Windverlauf für Dekade 2001/10 in Abb. 4.4.1-4a unterscheidet sich für die Stationen in Abhängigkeit der Höhenlage. Für die Kamm- und Gipfellagen steigen die Windgeschwindigkeiten nahezu ganzjährig an, wobei die stärksten Zunahmen während der Monate Juni bis September zu verzeichnen sind (s. a. Abb. 4.4.1-4b, Juli). Gegenläufig dazu verlaufen die Windgeschwindigkeitsänderungen im Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland, welche überwiegend rückläufig sind. Für alle diese Stationen sind die Monate November bis Februar, also der Jahresabschnitt mit den höchsten Windgeschwindigkeiten, am stärksten von dem Rückgang betroffen (s. a. Abb. 4.4.1-4b, Januar). Für die Stationen Chemnitz, Dresden-Klotzsche und Plauen sind des Weiteren im August der Dekade 2001/10 zunehmende Windgeschwindigkeiten zu beobachten, was sich wahrscheinlich auf höhere Temperaturgradienten zwischen bodennahen und darüber liegenden Luftschichten zurückführen lässt.

Für die Veränderungen der Tieflandstationen ergibt sich ein weniger eindeutiges Bild. Für die Station Leipzig-Halle (Leipzig-Holzhausen wegen geringer Datendichte ausgeklammert) nehmen die Windgeschwindigkeiten der Dekade 2001/10 von März bis Juni vor allem während der zweiten Tageshälfte ab. Von Juli bis Oktober ist eine Zunahme der Windgeschwindigkeit für die erste Tageshälfte zu erkennen, was ebenfalls Resultat des Temperaturanstiegs (Abb. 4.4.1-1a) sein könnte, welcher erhöhten thermischen Austausch zur Folge hat.

Die Gegenüberstellung der mittleren Tagesgänge für verschiedene Dekaden und Jahresabschnitte in Anhang A 4.4.1-4a, b verdeutlicht für einige Stationen besonders starke Abweichung zwischen den dekadischen Zeitreihen. Die Ursache dafür lässt sich auf mögliche Standortwechsel, eine veränderte Messumgebung oder die jeweilige Datenverfügbarkeit einer Station zurückführen. So ist beispielsweise eine sprunghafte Änderung in der Größenordnung der Windgeschwindigkeiten für die Station Dresden-Klotzsche (ab 1991), Görlitz (ab 1981), Leipzig-Holzhausen (geringe Datenverfügbarkeit) und Zinnwald-Georgenfeld (ab 1981) zu erkennen, welche nicht mit möglichen Klimaänderungen in Verbindung gebracht werden können.

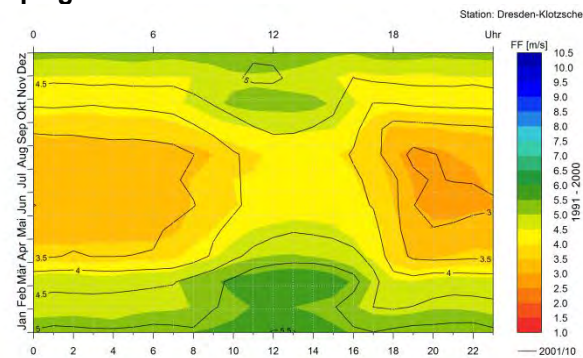
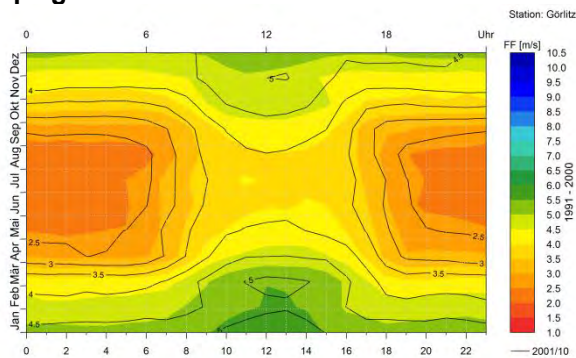
**Hinweis:**

Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.



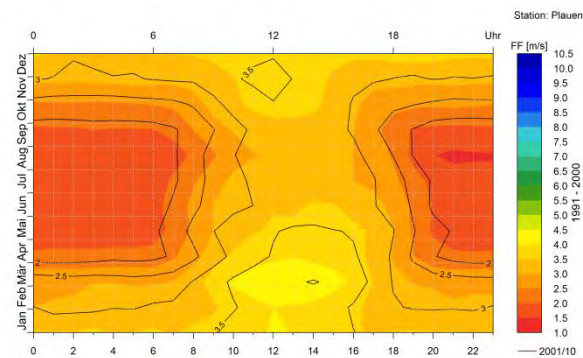
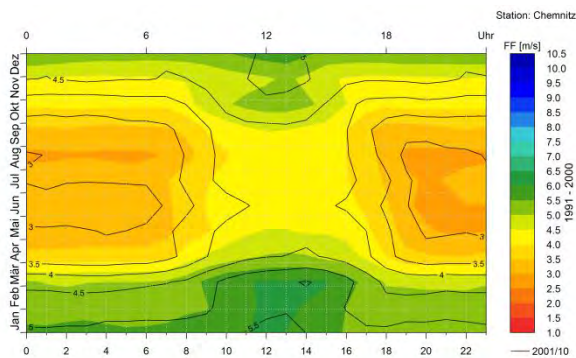
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



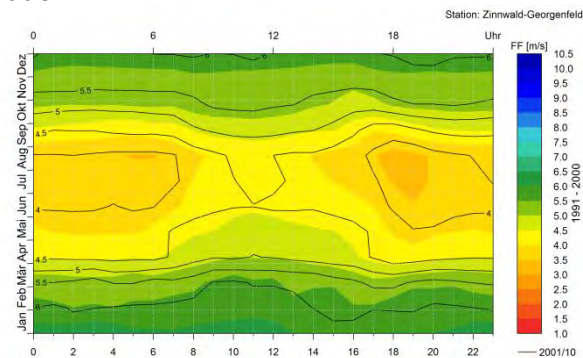
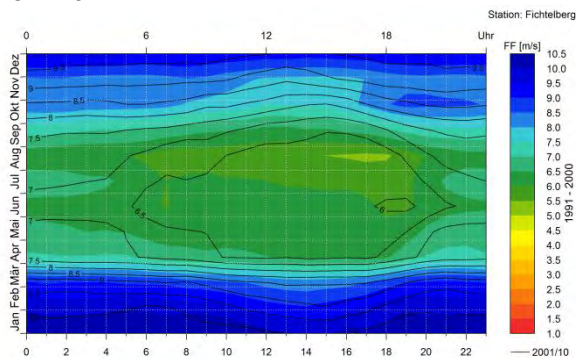
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**

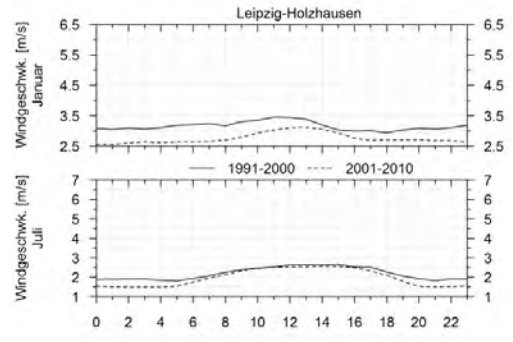
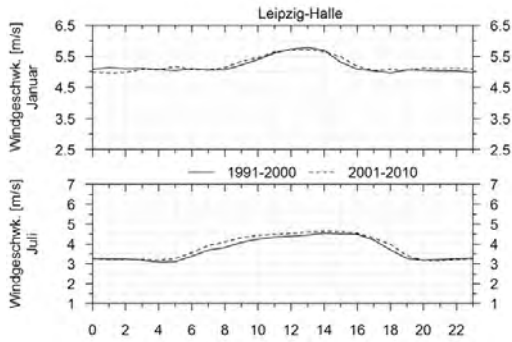


**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

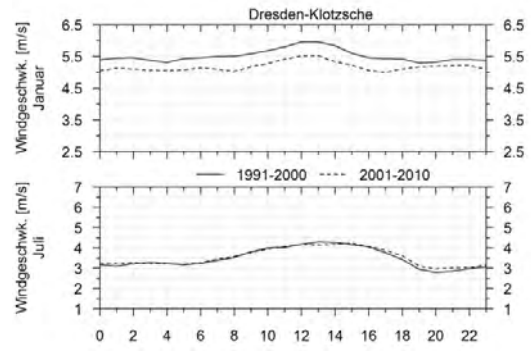
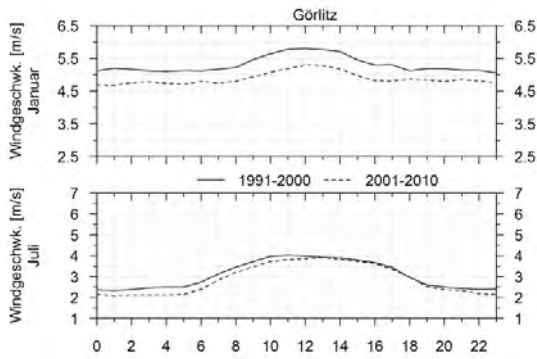
**Abb. 4.4.1-4a: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (FF in m/s) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**





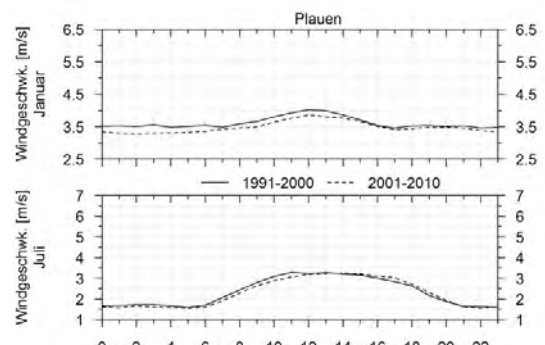
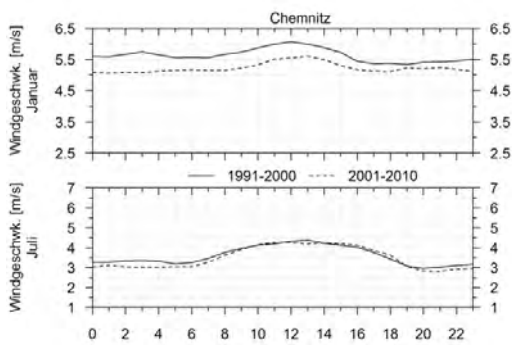
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



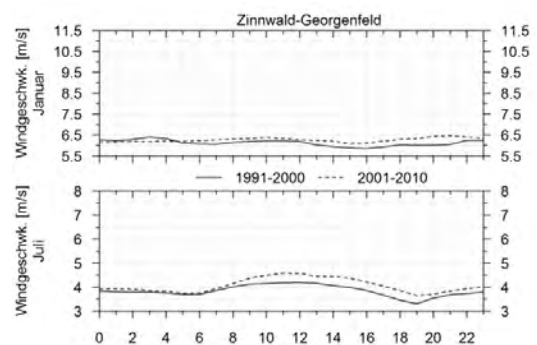
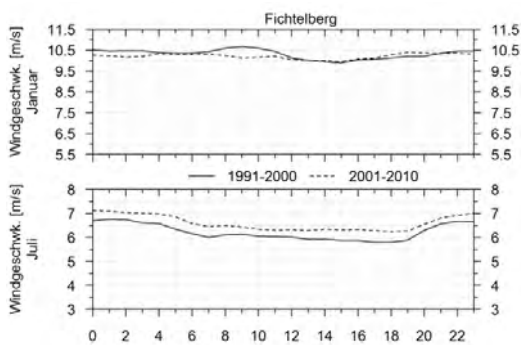
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**



**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.1-4b: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (in m/s) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen (die Skalierung der Stationen Fichtelberg und Zinnwald-Georgenfeld weicht von den anderen Stationen ab), 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert)**

#### 4.4.2 Schwankungsverhalten

Analog zu den stündlichen Mittelwerten von Temperatur, Sonnenscheindauer, relativer Feuchte und Windgeschwindigkeit wurden die Standardabweichungen  $\sigma$  für jede Stunde innerhalb der definierten Zeithorizonte einer Dekade berechnet, um anschließend den Tagesgang abbilden zu können. Diese geben das Schwankungs- bzw. Streuungsverhalten der jeweiligen Größe um den errechneten Mittelwert an. Beträgt beispielsweise der Mittelwert aller um 08:00 Uhr gemessenen Temperaturwerte aller Juni Monate innerhalb einer betrachteten Dekade  $15\text{ °C}$  und die dazugehörige Standardabweichung  $5\text{ °C}$ , so schwankt der Großteil der Messungen in einem Wertebereich zwischen  $10$  und  $20\text{ °C}$  ( $15 \pm 5\text{ °C}$ ). Eine hohe Standardabweichung gibt demzufolge eine höhere Variabilität der einzelnen Messwerte an als eine niedrige. Die Symmetrie der Schwankung um den Mittelwert hängt von der statistischen Verteilung der jeweils betrachteten Größe ab. Im Fall einer normal- bzw. gaußverteilten Stichprobe, welche die Gestalt einer Glockenkurve aufweist, sind die Schwankungen wie im oben genannten Beispiel in beide Richtungen gleich, liegen also gleichverteilt über bzw. unter dem Mittelwert. Dabei gilt, dass 68 % aller Stichprobenwerte in einem Bereich  $\pm\sigma$  um den Mittelwert verteilt liegen. Bei schiefen Verteilungen hingegen gilt diese symmetrische Verteilung nicht.

Analog zu Kapitel 4.4.1 soll im Folgenden das Schwankungsverhalten der Klimagrößen Temperatur, Sonnenscheindauer, relative Feuchte und Windgeschwindigkeit in Form von Isolethenplots sowie anhand der Tagesgänge für Januar bzw. Juli dargestellt und analysiert werden. Des Weiteren sind die mittleren Tagesgänge der Standardabweichung für die genannten Größen unter Berücksichtigung verschiedener charakteristischer innerjährlicher Zeiträume für ausgewählte Stationen Sachsens in Anhang A 4.4.2 einsehbar.

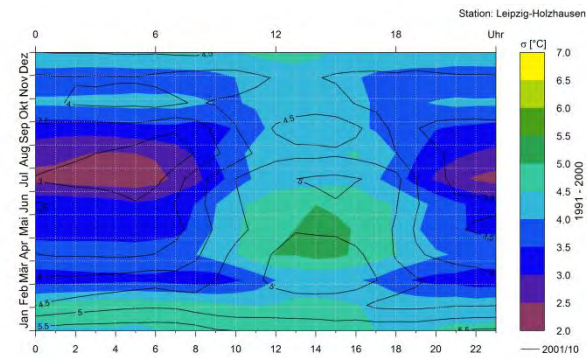
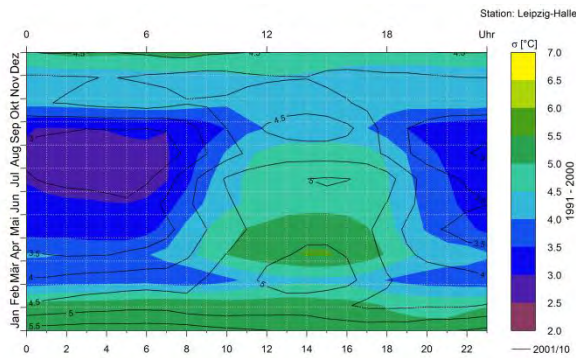
#### Temperatur

Die Standardabweichung der Temperatur in Abb. 4.4.2-1a weist analog zu den Mittelwerten in Abb. 4.4.1-1a einen Tagesgang auf. Auch hier ist die Spannweite zwischen täglichem Maximum und Minimum während der warmen Monate größer als während der kalten Monate, was auf die höhere tägliche Temperaturamplitude durch erhöhte Sonneneinstrahlung zurückzuführen ist. Für alle Stationen tritt die höchste jährliche Standardabweichung bzw. die größte Temperaturvariabilität für die Dekade 1991/00 im Januar und April (Maximum) auf (Leipzig-Holzhausen bleibt wegen geringer Datendichte unberücksichtigt). Im Januar, dem kältesten Monat des Jahres, verlaufen die Schwankungen über den Tag sehr ähnlich. Das heißt, der Verlauf der Januartemperaturen innerhalb einer Dekade hat für die betrachteten Einzeltage immer einen sehr ähnlichen Verlauf (kleine Tagesamplitude). Jedoch können sich die täglichen Januartemperaturen der Einzeljahre innerhalb einer Dekade um etwa  $4,5$  bis  $6,0\text{ °C}$  voneinander unterscheiden. Im April hingegen, dem Übergangsbereich zwischen Winter und Sommer, sind die Standardabweichungen für den Zeitpunkt des täglichen Temperaturmaximums am höchsten. Das typisch wechselhafte und schwankende Aprilwetter bzw. die daraus resultierenden täglichen Temperaturschwankungen sind bedingt durch die Lage Sachsens im Übergangsbereich zwischen dem kalten Nord- und dem sich schnell erwärmenden Südeuropa. Dominiert der Einfluss südlicher Warmluftmassen, ist das tägliche Temperaturmaximum deutlich höher (um bis zu  $6,0\text{ °C}$ ) als unter dem Einfluss der nasskalten Luftmassen des Nordens. Während der Monate Juli und August, die für alle Stationen die wärmsten des Jahres sind, führt der vorherrschende Einfluss subtropischer Hochdruckgebiete zu „stabileren“ täglichen Temperaturen bzw. geringen Standardabweichungen. Am geringsten sind die Temperaturschwankungen der Einzelereignisse während der nächtlichen Abkühlungsphase. Über den Tag jedoch können die Maximaltemperaturen je nach Einfluss der solaren Einstrahlung um  $4,5$  bis  $5,5\text{ °C}$  variieren. Mit minimaler Globalstrahlung bzw. Sonnenscheindauer und zunehmendem Einfluss von Kaltluftmassen auf die Temperatur ab November schwächt der Verlauf der Temperaturschwankungen innerhalb eines Tages schließlich wieder ab.

Im Vergleich der Isoplethen und Isolinien in Abb. 4.4.2-1a zeigen sich die Januartemperaturen der Gebirgs- und Kammlagenstationen für Dekade 2001/10 weniger variabel, was an einer beinahe ganztägig geringeren Standardabweichung zu erkennen ist (s. a. Abb. 4.4.2-1b, Januar). Die übrigen Stationen (außer jene des unteren Berglandes: Chemnitz und Plauen) zeigen eine ganztägige Zunahme der Temperaturvariabilität im Januar. Im Februar hingegen nimmt die Standardabweichung der Dekade 2001/10 gegenüber der Referenzdekade für alle Stationen ab. Für den Zeitpunkt des täglichen Temperaturmaximums zwischen 10:00 und 16:00 Uhr kommt es zu einer Verschiebung des jährlichen Maximums vom April in den März. Durch steigende Globaltemperaturen scheint die Temperaturvariabilität durch den wechselnden Einfluss nördlicher Kalt- und südlicher Warmluftmassen früher einzutreten. Des Weiteren dominiert der Einfluss des warmen Südens bereits ab April, was für „stabilere“ Temperaturen bzw. abnehmende Standardabweichungen sorgt. Das bedeutet variabelere Mittagstemperaturen innerhalb der Dekade 2001/00 im März, jedoch weniger schwankende Mittagstemperaturen von April bis Mai. Für alle betrachteten Stationen steigen die Standardabweichungen im Juli (s. a. Abb. 4.4.2-1b, Juli) und September/Okttober bis zum Zeitpunkt des Sonnenuntergangs an und nehmen ab November ganztägig ab. Durch die Verschiebung des jährlichen Temperaturmaximums vom August in den Juli nimmt die Temperaturvariabilität für den August ganztägig ab. Generell ergibt sich im Vergleich der Konturen und Isoplethen beider Dekaden für den Zeitraum 2001/10 ein ähnliches, jedoch um einen Monat nach vorn verschobenes Bild.

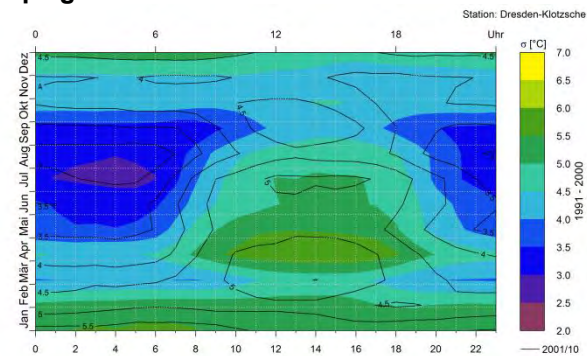
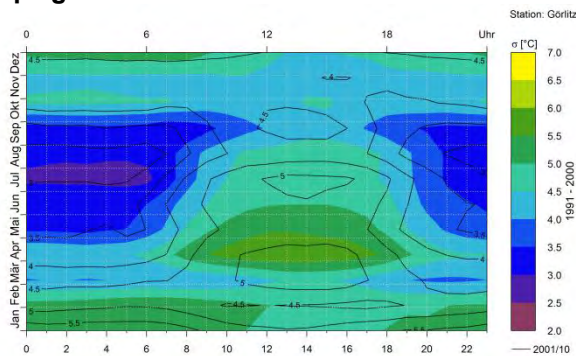
**Hinweis:** Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.





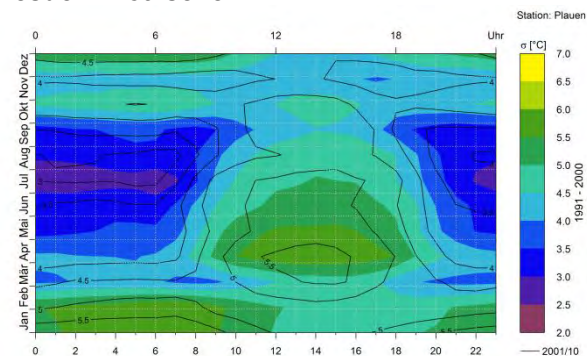
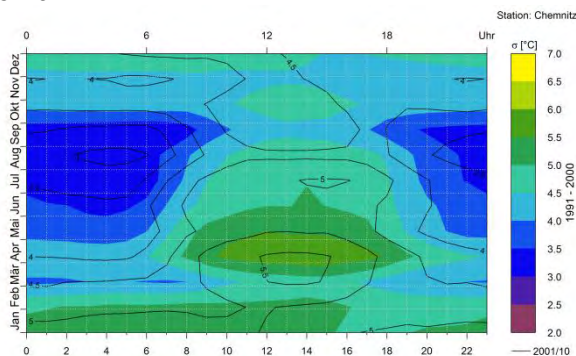
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



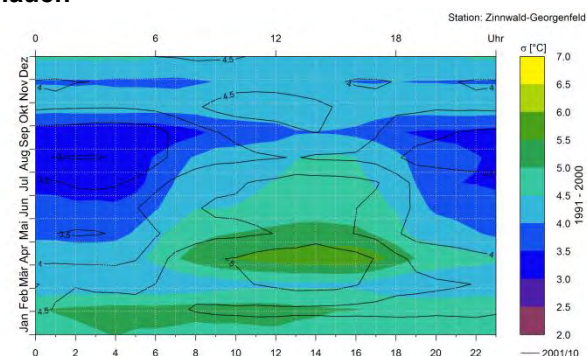
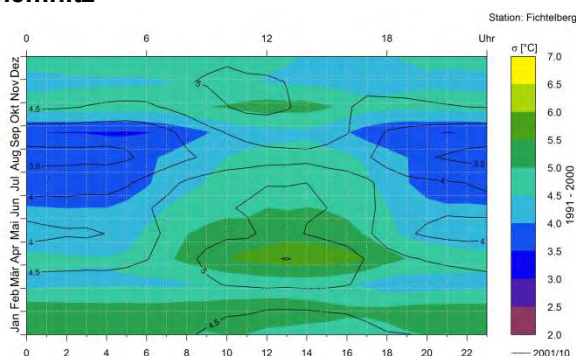
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

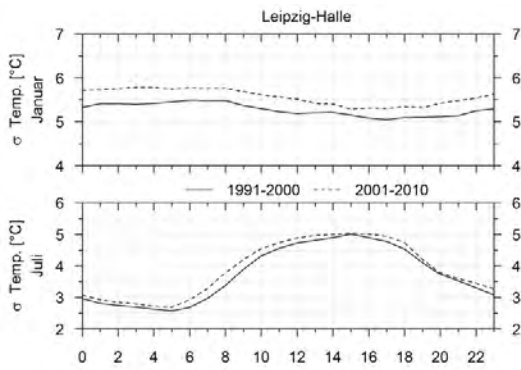
**Plauen**



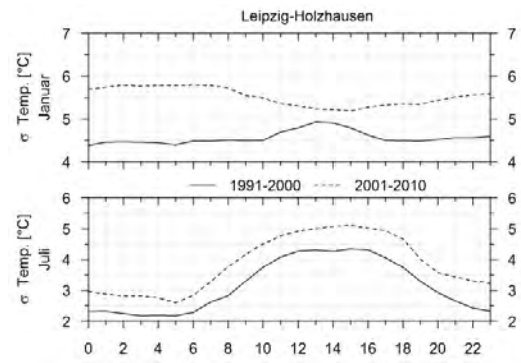
**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

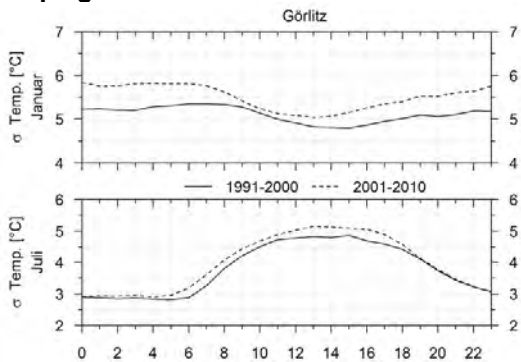
**Abb. 4.4.2-1a: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Lufttemperatur (in °C) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**



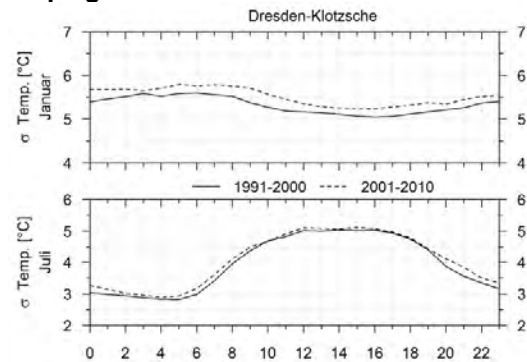
**Leipzig/Halle**



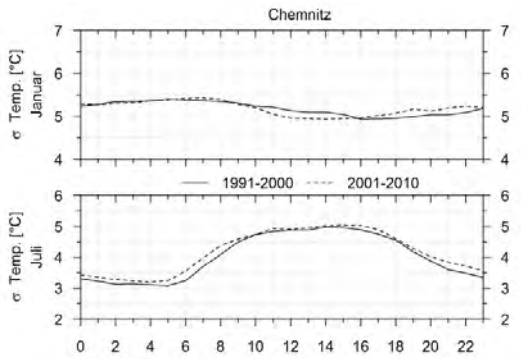
**Leipzig-Holzhausen**



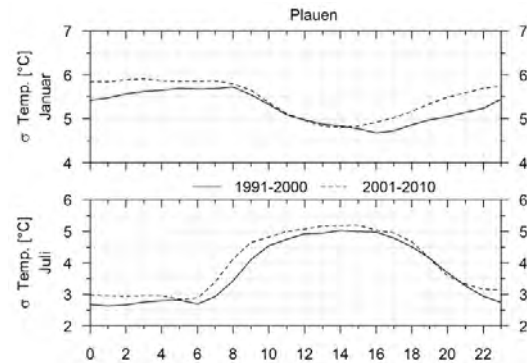
**Görlitz**



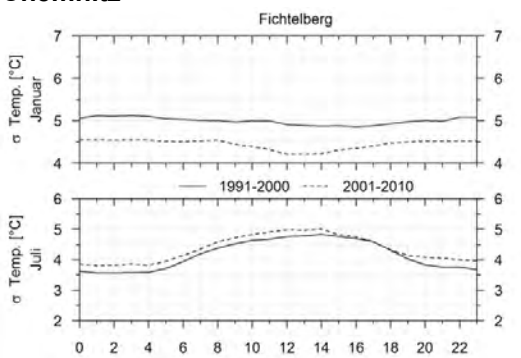
**Dresden-Klotzsche**



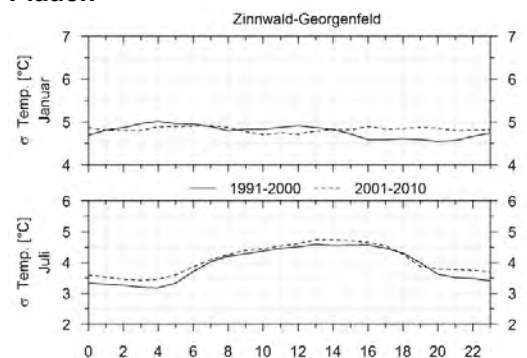
**Chemnitz**



**Plauen**



**Fichtelberg**



**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.2-1b: Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Lufttemperatur (in  $^{\circ}\text{C}$ ) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert)**

## Sonnenscheindauer

Die täglichen Schwankungen der Sonnenscheindauer in Abb. 4.4.2-2a sind für die Dämmerungszeiten am niedrigsten, was daran liegt, dass während dieser Tageszeit eine maximale Sonnenscheindauer von 60 min pro Stunde nicht möglich ist. Folglich ist die Spannweite, in der mögliche Schwankungen auftreten können, geringer. Aus demselben Grund variiert der tägliche Sonnenschein innerhalb eines Jahres häufiger für die sonnenscheinreicheren Regionen im Tief-, Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland als für die Kamm- und Gipfellagen (Station Leipzig-Holzhausen bleibt wegen geringer Datenverfügbarkeit in der Auswertung unberücksichtigt). Für die Tageszeiten mit einer möglichen Sonnenscheindauer von 60 min/h sind die Standardabweichungen für die Dekade 1991/00 asymmetrisch über das Jahr ausgeprägt. Im Sommer (JJA) konzentrieren sich die Schwankungsmaxima aller Stationen besonders auf die erste Tageshälfte, bevor der Sonnenhöchststand erreicht ist. Während der kürzesten Tageslängen vor Frühlings-(März) und nach Herbstanfang (September) verteilen sich die möglichen Schwankungen der Sonnenscheindauer innerhalb einer Dekade in der Gestalt einer Glockenkurve über den Tag. Die größten Unterschiede der Standardabweichung zwischen den einzelnen Stationen treten im Frühling (MAM) auf. Hier sind die täglichen Schwankungen der Sonnenscheindauer im Tiefland (Station Leipzig-Holzhausen ausgeschlossen) am höchsten und für die Kamm- und Gipfellagen am niedrigsten.

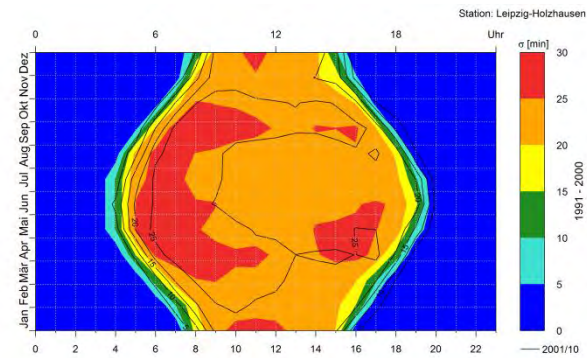
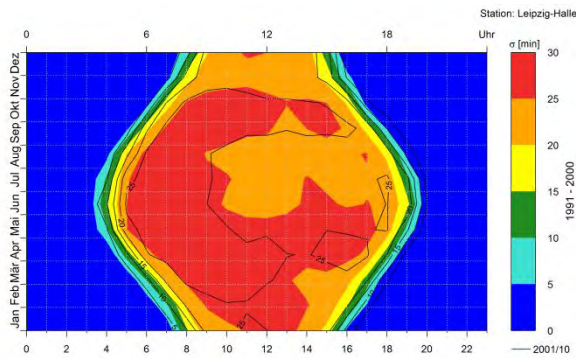
Ein Vergleich beider Dekaden in Abb. 4.4.2-2a zeigt recht ähnliche innerjährliche Veränderungen für alle Stationen. Hier nehmen die Schwankungen zwischen den Einzelereignissen im Januar und Februar für das Mittagmaximum ab (s. a. Abb. 4.4.2-2b, Januar), was möglicherweise auf die geringeren Sonnenscheindauern infolge veränderter Niederschläge für Dekade 2001/10 während dieser Jahreszeit zurückzuführen ist. Umgekehrt verhält es sich mit den Monaten März bzw. April, in welchen es infolge zunehmender Sonnenscheinergebnisse für den Zeitraum 2001/00 zu einer Zunahme der Standardabweichungen im Bereich des Tagesmaximums kommt (außer Leipzig-Halle). Dabei nehmen die Standardabweichungen der Stationen Dresden-Klotzsche, Chemnitz und Fichtelberg für beide Monate zu, während sich die Zunahmen für Plauen und Zinnwald-Georgenfeld eher auf den April konzentrieren. Für die Station Leipzig-Halle nimmt die Variabilität der Sonnenscheindauer jedoch von März bis Mai für die meiste Zeit des Tages ab.

Entsprechend der ganzjährigen Zunahme der Sonnenscheindauer für den Zeitraum vor Sonnenuntergang (Abb. 4.4.2-2a) erhöht sich das Schwankungsverhalten innerhalb dieses Tagesabschnitts für alle Stationen (s. a. Abb. 4.4.2-2b und Anhang A 4.4.2-2a, b). Auch der teilweise abnehmende Sonnenschein kurz nach Sonnenaufgang äußert sich hier in Form sinkender Standardabweichungen. Es sei erneut darauf hingewiesen, dass diese Änderungen möglicherweise auf unterschiedliche Zeitreferenzen (mittlere oder wahre Ortszeit) zurückgeführt werden können.

### Hinweis:

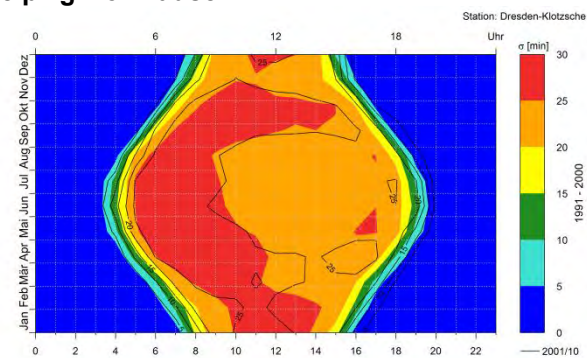
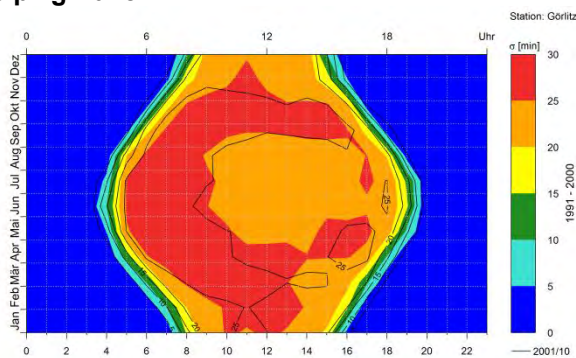
Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.





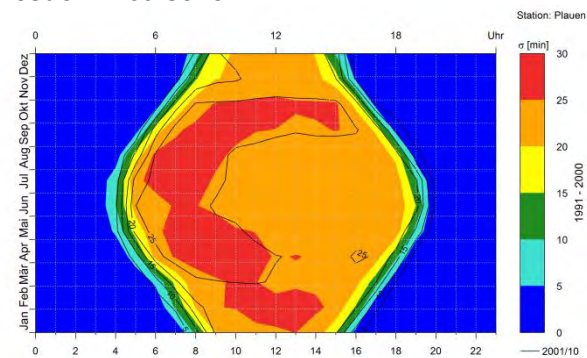
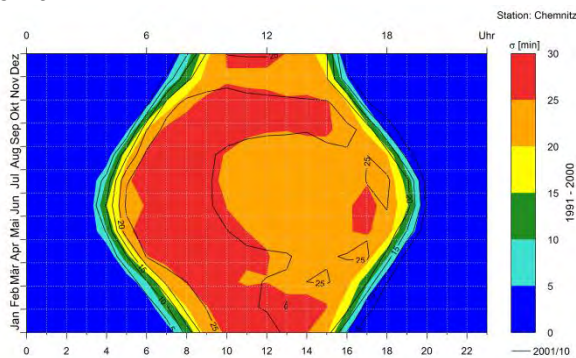
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



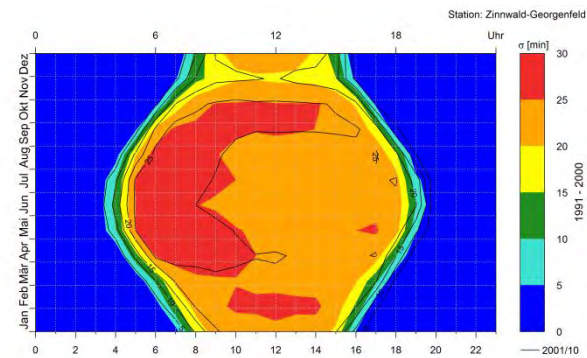
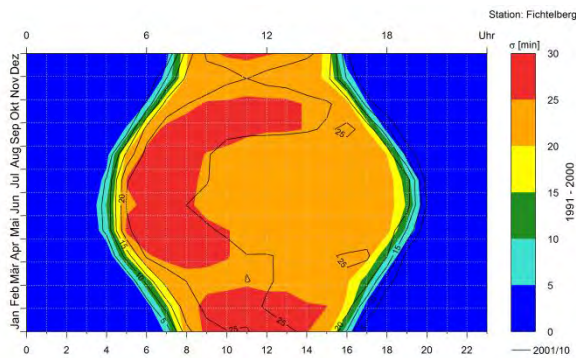
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

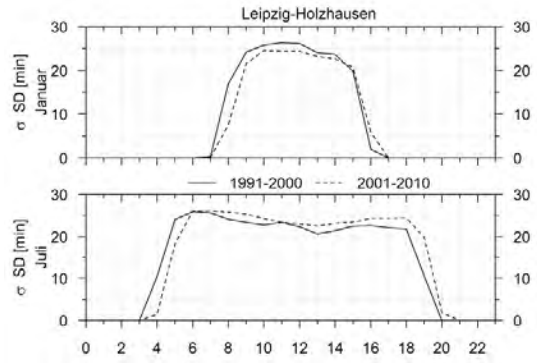
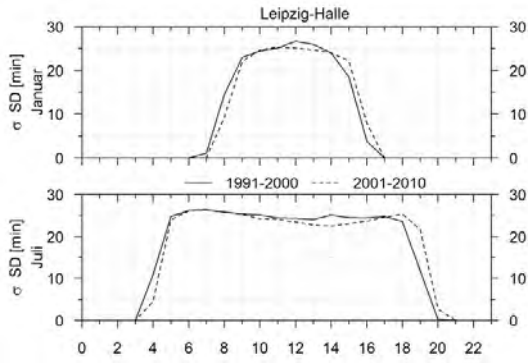
**Plauen**



**Fichtelberg**

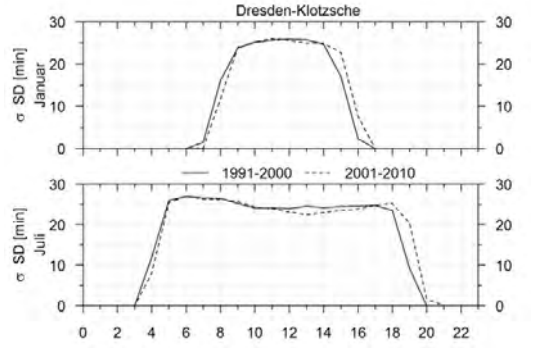
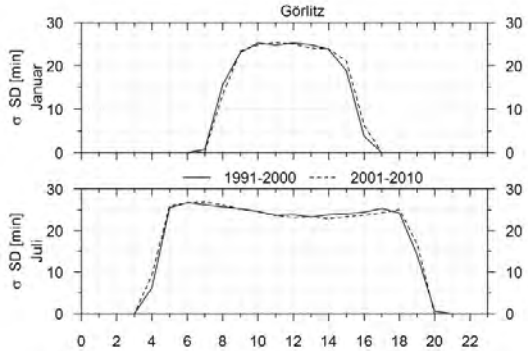
**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.2-a: Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Sonnenscheindauer (in min) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**



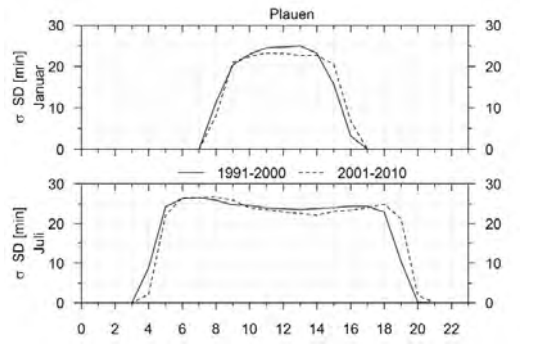
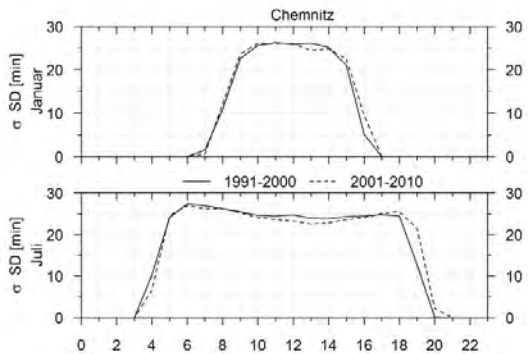
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



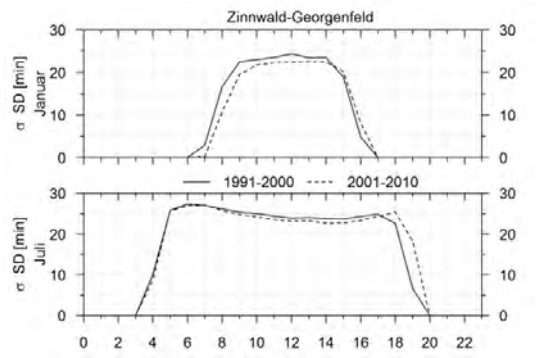
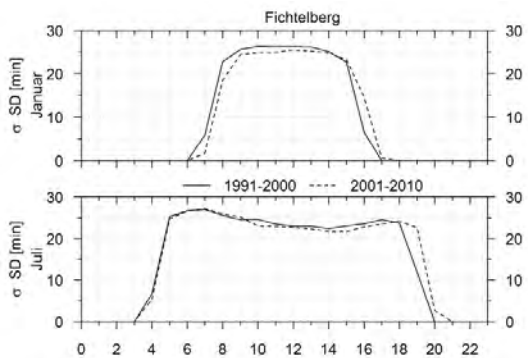
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**



**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.2-2b: Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Sonnenscheindauer (SD in min) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert)**

## Relative Feuchte

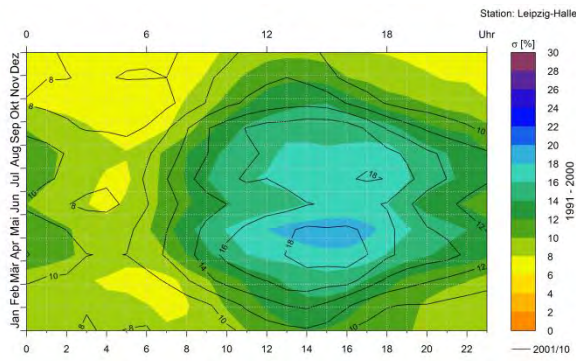
Die relative Feuchte und deren Schwankungsverhalten sind eng an die Temperatur gekoppelt, welche wiederum von der Globalstrahlung abhängt. Die relative Feuchte weist zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums ein Minimum auf, denn je wärmer die Luft ist, desto höher ist die Aufnahmekapazität für Wasserdampf. So sind die Standardabweichungen der relativen Feuchte in Abb. 4.4.2-3a für den Zeitpunkt des täglichen Temperaturmaximums am höchsten und für den Zeitpunkt vor Sonnenaufgang am niedrigsten. Sie verlaufen somit in etwa spiegelbildlich zu den zugehörigen Mittelwerten in Abb. 4.4.1-3a. Analog zu den Temperaturschwankungen tritt für die Standardabweichung der relativen Feuchte u. a. ein innerjährliches Maximum während des Übergangs zwischen Winter- und Sommerverhältnissen auf. Für das Tiefland (Station Leipzig-Holzhausen ausgeklammert) liegt dieses Schwankungsmaximum im Mai (Dekade 1991/00), während es für die höheren Kammlagen bereits im April auftritt. Im dazwischen liegenden Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland erstreckt sich dieses Maximum über den April und Mai. Ein zweites innerjährliches Maximum tritt während der heißesten Zeit des Jahres auf und konzentriert sich vor allem auf den Juli.

Die Standardabweichungen der relativen Feuchte in Abb. 4.4.2-3a nehmen für Dekade 2001/00 für alle Stationen, mit Ausnahme des Fichtelbergs, von Februar bis Dezember zu. Diese Änderungen werden auch in Abb. 4.4.2-3b durch den Tagesgang des Julis deutlich. Jedoch beziehen sich die zunehmenden Feuchteschwankungen nur für die Stationen Görlitz, Dresden-Klotzsche, Chemnitz und Zinnwald-Georgenfeld auf den ganzen Tag. Für die Stationen Leipzig-Halle und Plauen ist die zunehmende Variabilität der relativen Feuchte nur von Sonnenaufgang bis Temperaturmaximum deutlich zu erkennen. Einen ähnlichen Tagesabschnitt betrafen auch die detektierten Temperaturzunahmen in Kapitel 4.4.1. Auffällig ist, dass die Zunahme der Standardabweichungen für die relative Feuchte innerhalb der Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst am deutlichsten ausgeprägt ist (s. a. Anhang A 4.4.2-3a, b). Dies trifft nun auch auf die Station Fichtelberg zu, für welche die Standardabweichung von März bis Mai nur für die erste Tageshälfte und von September bis November ganztägig zunimmt. Ein Grund dafür sind die zunehmenden Sonnenscheinereignisse im März und April, sowie die früher eintretenden und länger anhaltenden Temperaturen ab April bzw. bis November. Dadurch könnte sich die Spannbreite des Wertebereichs der relativen Feuchte erhöhen, weil deren tägliches Minimum für diese Jahreszeiten abnimmt. Eine weitere Analogie zur Temperatur zeigt die Änderung der Feuchteschwankungen für den Monat Januar. Hier weisen alle Stationen eine Abnahme der Temperatur für die Dekade 2001/10 auf, was dazu führt, dass die Schwankungsbreite der Messwerte der relativen Feuchte im Januar abnimmt (außer Station Görlitz und Leipzig-Halle erst ab 14:00 Uhr). Dies verdeutlicht auch die Gegenüberstellung der täglichen Feuchteschwankungen von Dekade 1991/00 und 2001/10 in Abb. 4.4.2-3b (Januar).

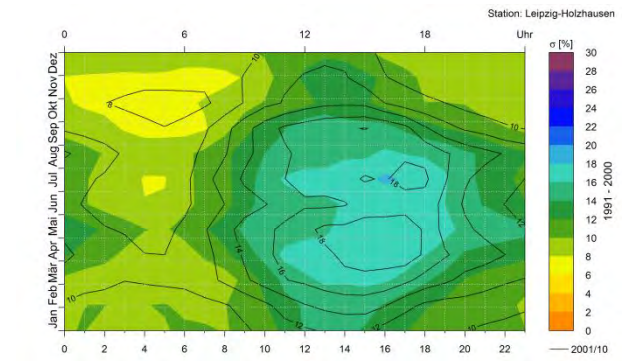
### Hinweis:

Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.

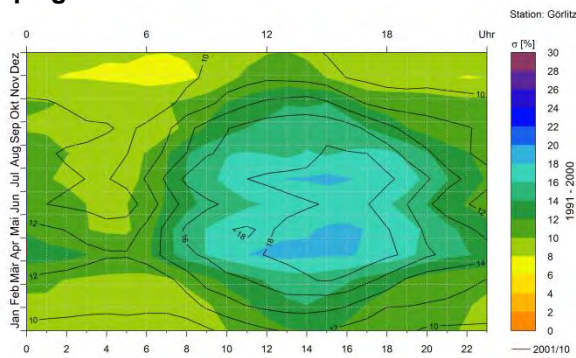




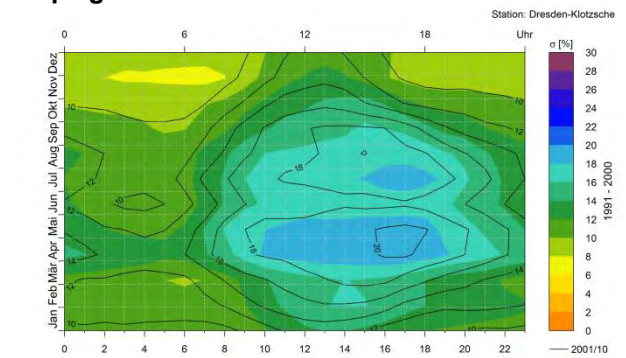
**Leipzig/Halle**



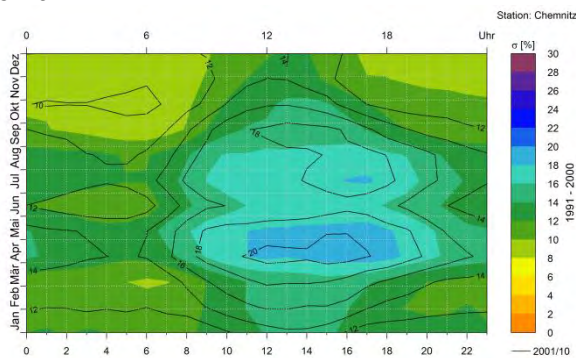
**Leipzig-Holzhausen**



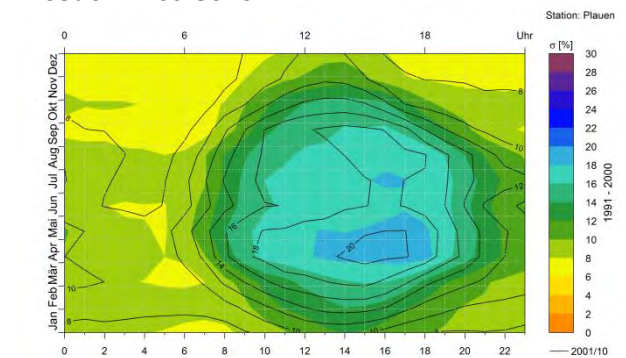
**Görlitz**



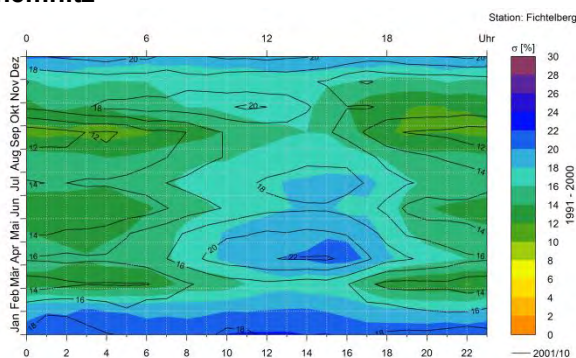
**Dresden-Klotzsche**



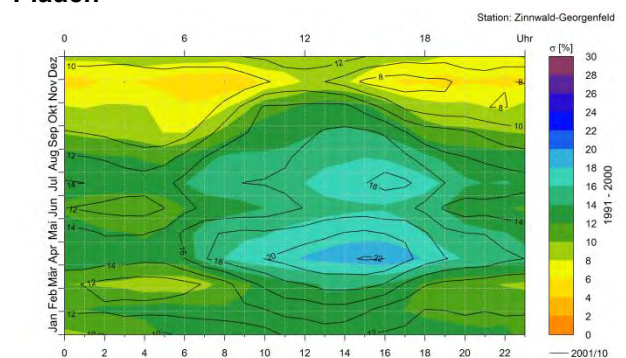
**Chemnitz**



**Plauen**

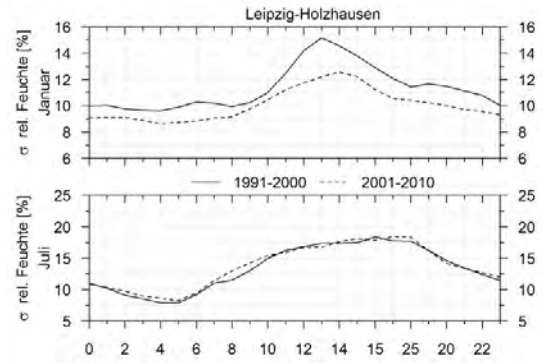
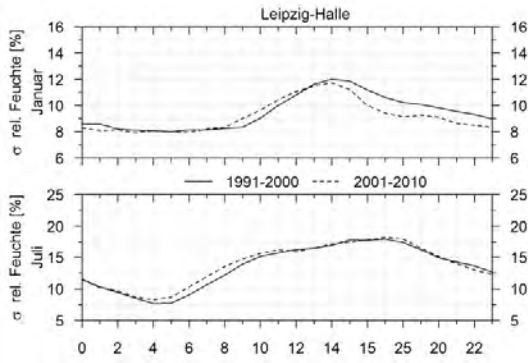


**Fichtelberg**



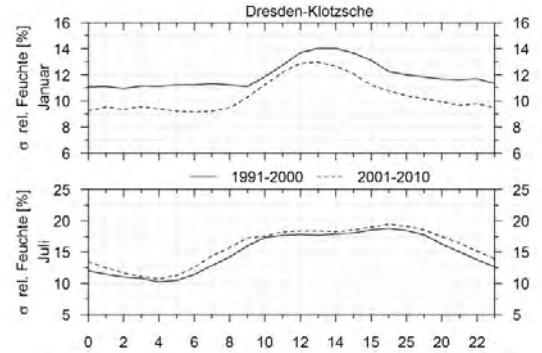
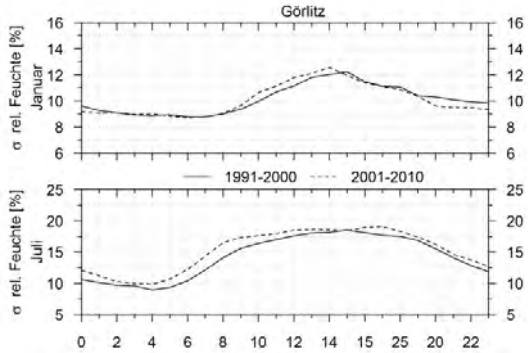
**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.2-3a: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der relativen Feuchte (in %) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**



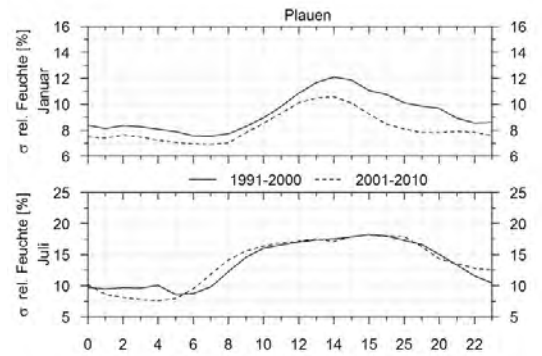
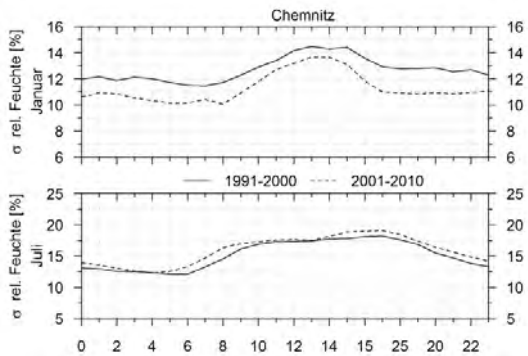
**Leipzig/Halle**

**Leipzig-Holzhausen**



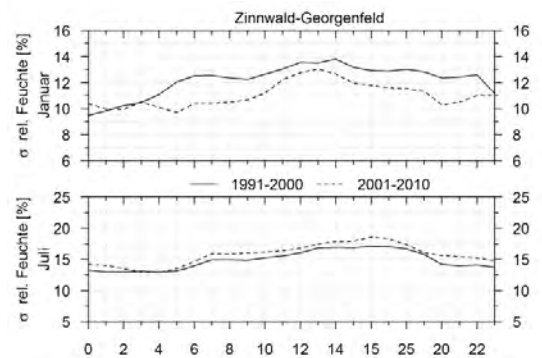
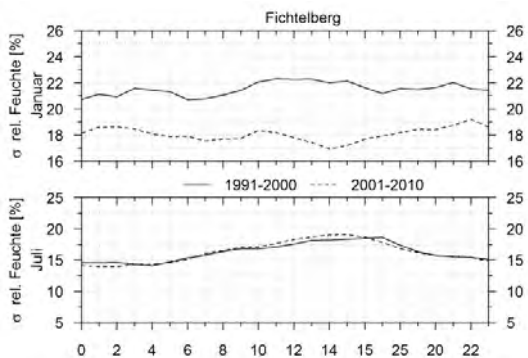
**Görlitz**

**Dresden-Klotzsche**



**Chemnitz**

**Plauen**



**Fichtelberg**

**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.2-3b: Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der relativen Feuchte (in %) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert)**

## Windgeschwindigkeit

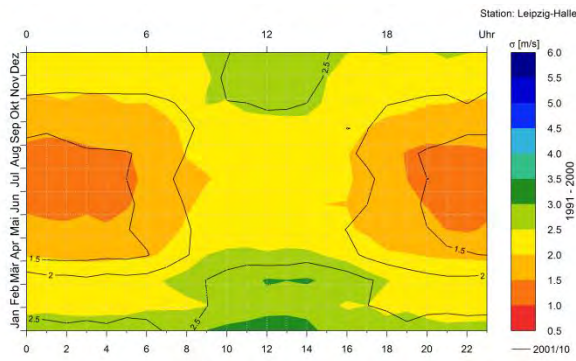
Die Standardabweichungen der Windgeschwindigkeit in Abb. 4.4.2-4a weisen einen zu den Mittelwerten (Abb. 4.4.1-4a) ähnlichen Tagesgang auf, jedoch mit einer weniger großen Spannweite innerhalb eines Tages. Das Tagesmaximum tritt für das Tief-, Mittelgebirgsvor- und untere Bergland etwa zur Mittagszeit ein, während die geringsten Schwankungen in den windstillen Nächten liegen. Für die Kamm- und Gipfellagen ist solch ein ausgeprägter Tagesgang nicht für die Standardabweichungen zu beobachten. Ganzjährig betrachtet treten die höchsten Schwankungen für die Referenzdekade 1991/00 von November bis Februar (teilweise auch März) auf, also in jenem Jahresabschnitt mit den höchsten Windgeschwindigkeiten. Dementsprechend sind die Schwankungen der Windgeschwindigkeiten in den Sommermonaten (JJA) während der nächtlichen Temperaturinversion am geringsten. Die Stationen der Kamm- und Gipfellagen sollten jedoch aus dieser Aussage ausgeschlossen werden, weil die Windgeschwindigkeiten dieser Lagen weniger vom thermischen Austausch bzw. einer Temperaturinversion beeinflusst sind.

Der Vergleich von Referenz- und jüngster Dekade in Abb. 4.4.2-4a zeigt für das Mittelgebirgsvorland und untere Bergland ein recht einheitliches Bild. Dabei nehmen die Schwankungen der Windgeschwindigkeit für die Dekade 2001/10 beinahe ganzjährig über das gesamte Jahr hinweg ab. Die rückläufigen Änderungen des Schwankungsverhaltens sind vor allem im unteren Bergland für die kälteren Monate des Jahres (November bis Februar) stärker ausgeprägt als für die wärmeren. Dies zeigen auch die Abbildungen in Anhang A 4.4.2-4a, b und Abb. 4.4.2-4b. Die von November bis Februar am stärksten sinkenden mittleren Windgeschwindigkeiten des unteren Berglandes liegen folglich für Dekade 2001/10 bei abnehmender Standardabweichung in einem engeren Bereich kleinerer Werte. Die Windgeschwindigkeiten der Kamm- und Gipfellagen hingegen nehmen für den Zeitraum 2001/10 ganzjährig zu. Das Schwankungsverhalten in Abb. 4.4.2-4a zeigt für die Station Zinnwald-Georgenfeld einen rückläufigen Verlauf (außer im Januar), wodurch sich die Windgeschwindigkeiten also in einem engeren, aber größerem Wertebereich bewegen. Die Standardabweichungen der Station Fichtelberg zeigen im Vergleich beider Dekaden einen sehr unregelmäßigen Tagesgang über das gesamte Jahr. Ebenfalls ergeben die Änderungen der Standardabweichungen für die Station Leipzig-Halle im Tiefland ein weniger eindeutiges Bild. Diese nehmen von Mitte August bis Mai leicht ab und von Juni bis Mitte August leicht zu (s. a. Abb. 4.4.2-4b).

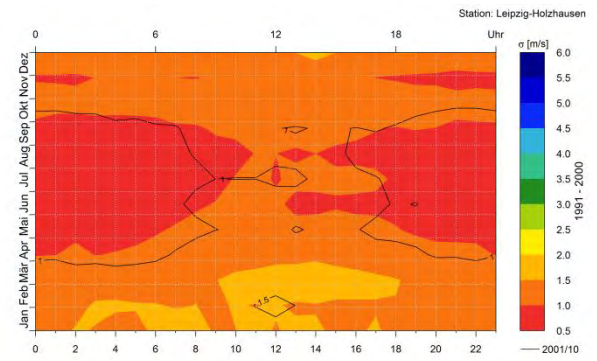
### Hinweis:

Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.

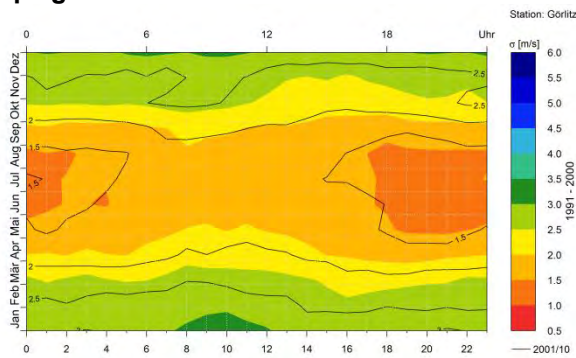




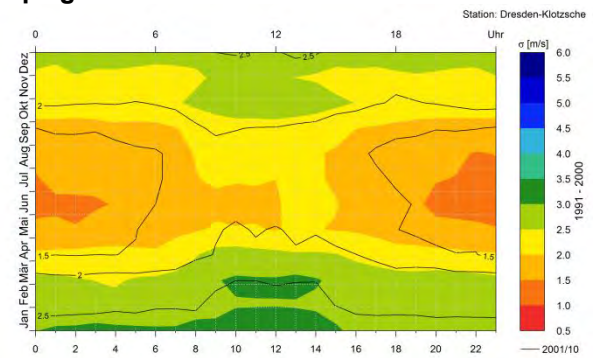
**Leipzig/Halle**



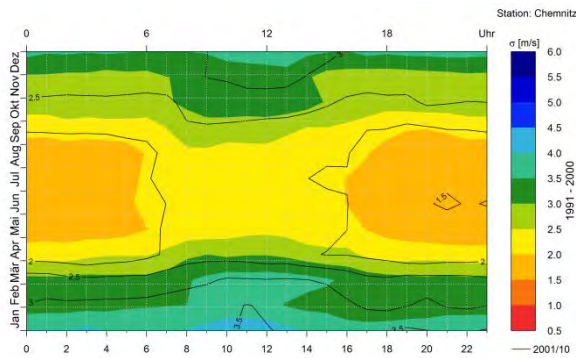
**Leipzig-Holzhausen**



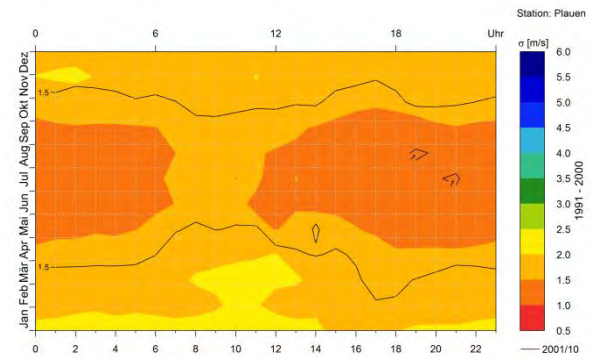
**Görlitz**



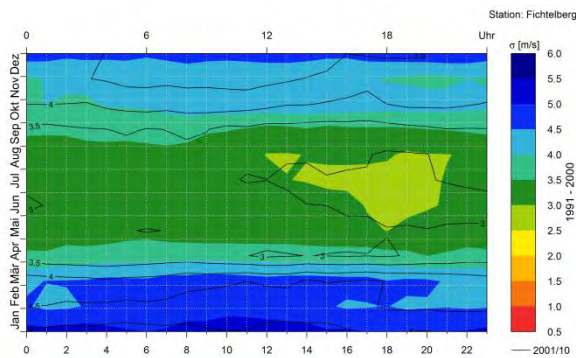
**Dresden-Klotzsche**



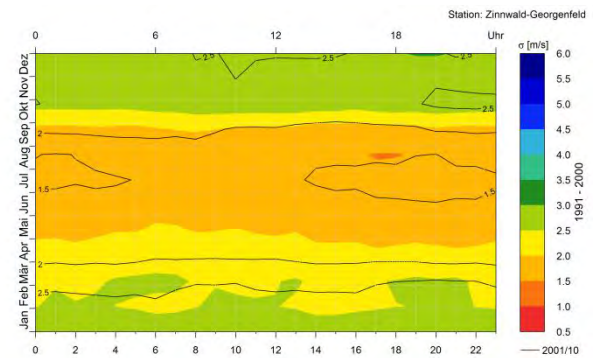
**Chemnitz**



**Plauen**

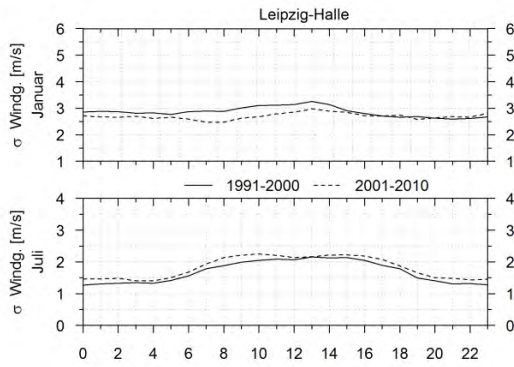


**Fichtelberg**

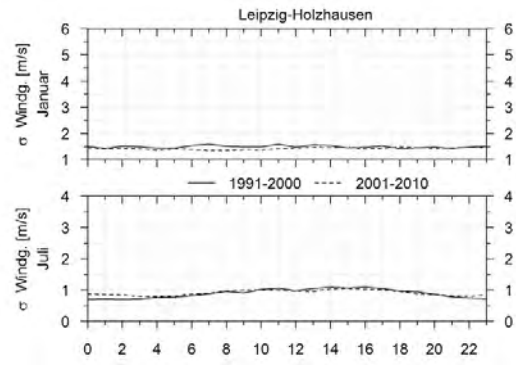


**Zinnwald-Georgenfeld**

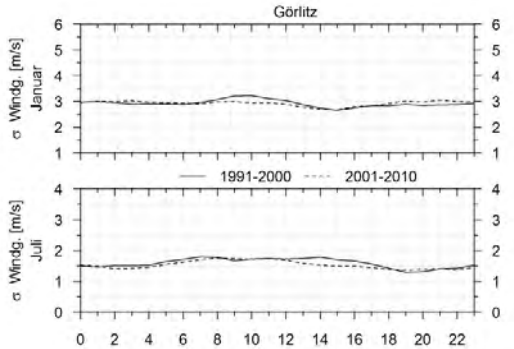
**Abb. 4.4.2-4a: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Windgeschwindigkeit (in m/s) für Monate an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (farbig) und 2001-2010 (Isolinien)**



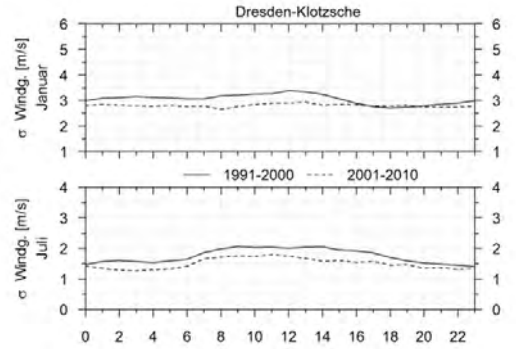
**Leipzig/Halle**



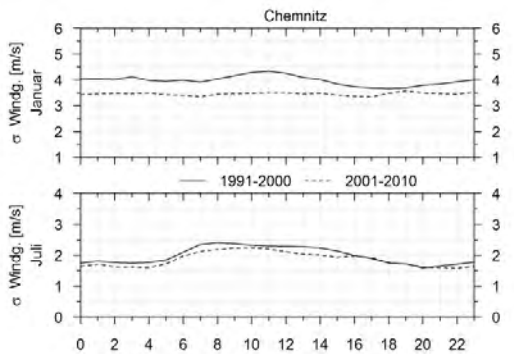
**Leipzig-Holzhausen**



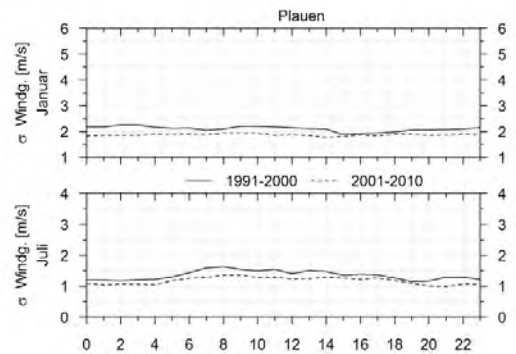
**Görlitz**



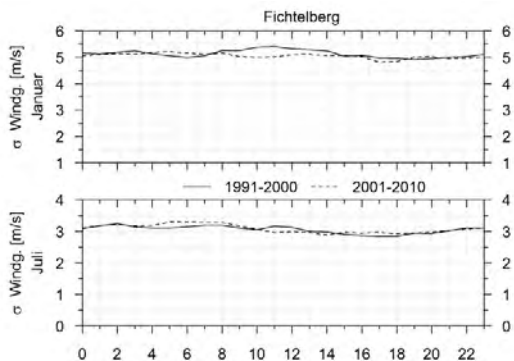
**Dresden-Klotzsche**



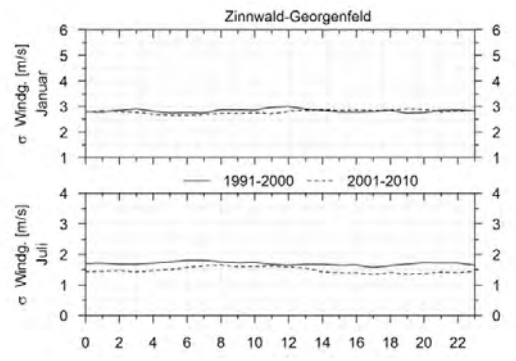
**Chemnitz**



**Plauen**



**Fichtelberg**



**Zinnwald-Georgenfeld**

**Abb. 4.4.2-4b: Tagesgang des Schwankungsverhaltens ( $\sigma$ ) der Windgeschwindigkeit (in m/s) für die Monate Januar und Juli an sächsischen Messstationen, 1991-2000 (durchgehend) und 2001-2010 (strichliert)**

### 4.4.3 Überschreitungswahrscheinlichkeiten

In diesem Kapitel werden die mittleren Überschreitungsdauerlinien von Niederschlag, Temperatur und Windgeschwindigkeit für ausgewählte Stationen unter der Referenzdekade 1991/00 ausgewertet. Des Weiteren werden die Änderungen der jüngsten Messdekade 2001/10 im Vergleich zur Referenzdekade analysiert, um Umverteilungen bestimmter Ereignisse detektieren zu können. Für den Vergleich wurde die Differenz aus beiden Dekaden ermittelt (2001/10 minus 1991/00), wobei eine positive Änderung einen Anstieg und eine negative Änderung einen Rückgang gegenüber der Referenzdekade 1991/00 bedeutet.

Mit Hilfe der Überschreitungsdauerlinien lässt sich ableiten, wie häufig eine Klimagröße einen bestimmten Schwellenwert innerhalb eines definierten Zeitraumes erreicht oder überschreitet. Die Abbildungen zeigen dabei die Häufigkeit in Prozent des betrachteten Gesamtzeitraums bzw. der verfügbaren Daten. Für einen genaueren Einblick in die innerjährliche Größenordnung bestimmter Ereignisse wurden die mittleren Dauerlinien und deren Änderung für ein mittleres Jahr sowie Sommer- und Winterhalbjahr ermittelt. Die Zeiträume Frühling (MAM), Sommer (JJA), Herbst (SON) und Winter (DJF) sowie die Vegetationsperioden wurden ebenfalls für die jeweiligen Dekaden berücksichtigt und können in Anhang A 4.4.3 eingesehen werden. Die Gegenüberstellung ausgewählter Stationen, die verschiedene Naturräume repräsentieren, ermöglicht es, räumliche Unterschiede innerhalb Sachsens hervorzuheben.

#### Niederschlag

Die Dauerlinien der Referenzperiode 1991/00 in Abb. 4.4.3-1 (links) zeigen die mittleren Auftretens- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Niederschläge unterschiedlicher Intensität. Dabei werden lediglich die stündlichen Niederschläge innerhalb des jeweils mittleren Betrachtungszeitraumes (Jahr, Sommerhalbjahr, Winterhalbjahr) berücksichtigt, also Stunden mit einer Niederschlagshöhe ab 0,1 mm. Der abfallende Verlauf der Dauerlinien verdeutlicht, dass mit zunehmender Niederschlagsintensität die Wahrscheinlichkeit für deren Auftreten sinkt. Am häufigsten regnet es in den Kamm- und Gipfellagen (Fichtelberg, Zinnwald-Georgenfeld), wobei 10 bzw. 10,7 % aller Stunden im Jahr ein Niederschlagsereignis enthalten. Die Station Leipzig-Halle, welche im Lee des Harzes liegt und das Tiefland repräsentiert, weist die wenigsten Niederschlagsstunden pro Jahr auf (6 %). Generell treten Niederschlagsereignisse höherer Intensität häufiger mit zunehmender orografischer Höhe auf. Dabei werden stärkere Ereignisse wie z. B. 2 mm/h im Sommer häufiger überschritten als im Winter. Im Tiefland beträgt die Auftretenswahrscheinlichkeit für ein Niederschlagsereignis von 2 mm/h während des Sommerhalbjahres 0,7 %, im Mittelgebirgsvorland bzw. den unteren Berglagen (Görlitz, Dresden-Klotzsche bzw. Chemnitz, Plauen) etwa 0,9 bis 1,2 % und in den Kammlagen etwa 1,4 %. Im Winter hingegen sind Ereignisse mit Niederschlagsintensitäten von 2 mm/h seltener und treten für das Tiefland, Mittelgebirgsvorland bzw. die unteren Berglagen mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,3 bis 0,5 % und in den Kammlagen von 0,7 % auf. Die Ursache für intensivere Sommerniederschläge sind wärmere Luftmassen, die mehr Wasserdampf aufnehmen können und zu konvektiven Niederschlagsereignissen hoher Intensität führen.

Die Niederschlagsänderungen der Dekade 2001/10 gegenüber dem Referenzzeitraum 1991/00 sind auf der rechten Seite in Abb. 4.4.3-1 dargestellt. Bezogen auf ein mittleres Jahr erhöht sich die Anzahl der Regentstunden für jede Station außer Görlitz, wobei der Anstieg für die Kammlagen (Zunahme um 1 bis 1,2 % pro Jahr) höher ist als für das Tiefland (Zunahme um 0,2 % pro Jahr). Hier treten für die meisten Stationen Ereignisse bis 2 mm/h häufiger pro Jahr auf. Die Differenzierung nach Sommer- und Winterhalbjahr ermöglicht eine genauere Betrachtung der Niederschlagsverschiebungen.

Außer für die Station Plauen und Görlitz nehmen im Sommerhalbjahr die stündlichen Niederschlagsereignisse zu, wobei die Zunahme für kleinere Ereignisse meist größer ist, wie der abfallende Kurvenverlauf zeigt. Im Tiefland häufen sich vor allem Ereignisse mit einer Höhe von 1 mm/h um etwa 0,3 %. Für die Mittelgebirgsvor-

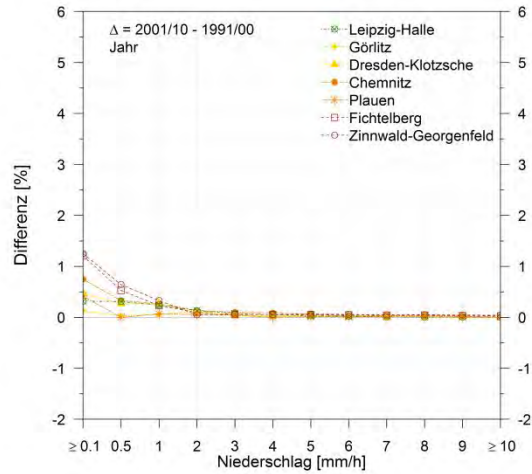
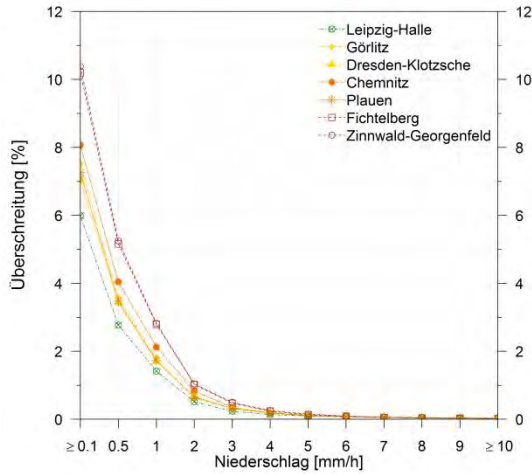


land- und unteren Berglandstationen Dresden-Klotzsche bzw. Chemnitz nehmen Sommerniederschläge bis 1 mm/h um etwa 0,4 % zu. In den Kammlagen variiert die Zunahme der Sommerniederschläge, wobei der stärkste Zuwachs Niederschlagsintensitäten von 1 mm/h betrifft. Eine Ursache für die häufiger auftretenden Sommerereignisse hoher Intensität für die Dekade 2001/10 sind unter anderem die Extremniederschläge im August 2002, die vor allem im Mittelgebirgsvorland, unteren Bergland und in den Kammlagen auftraten.

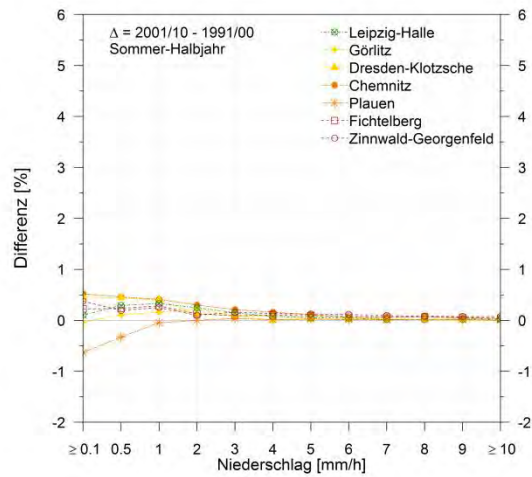
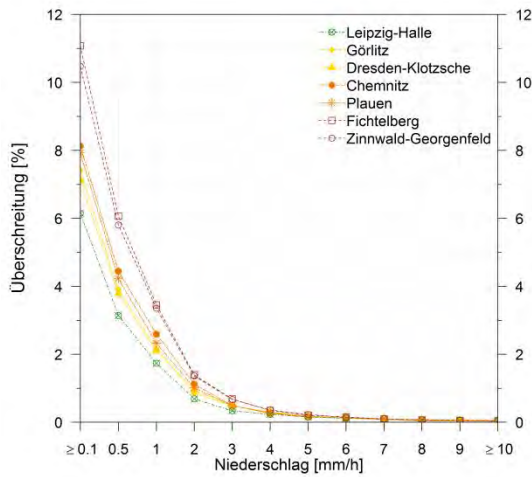
Im Winterhalbjahr sind für alle Stationen positive Änderungen für Ereignisse bis zu 2 mm/h zu beobachten. Demnach traten Niederschlagsereignisse bis 2 mm/h in der Dekade 2001/10 gegenüber 1991/00 häufiger auf. Das gehäufte Auftreten ist den Kammlagen mit bis zu ca. 2,5 % am größten und nimmt von den kleineren zu den größeren Ereignissen ab.

**Hinweis:**

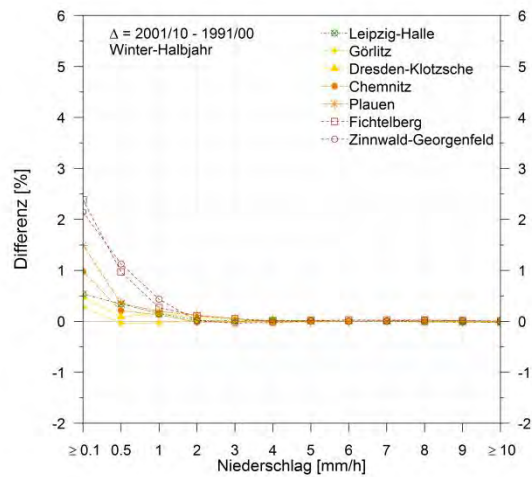
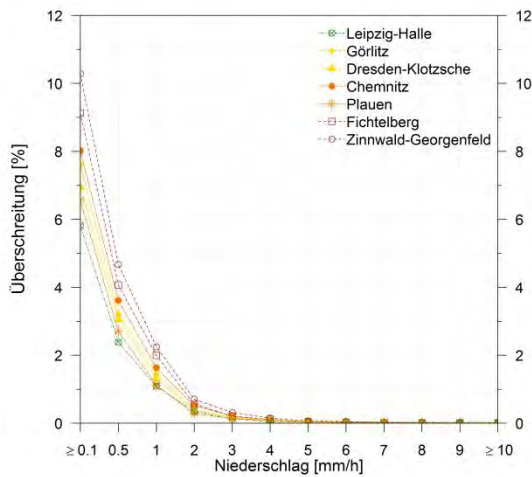
Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.



**Jahr**



**Sommerhalbjahr**



**Winterhalbjahr**

**Abb. 4.4.3-1: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Regenhöhen  $\geq 0,1$  mm pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts)**

## Temperatur

Die Dauerlinien der Lufttemperatur der Referenzdekade 1991/00 sind in Abbildung 4.4.3-2 links dargestellt. Das Temperaturspektrum der Tiefland-(Leipzig-Halle), Mittelgebirgsvorland-(Görlitz, Dresden-Klotzsche) und unteren Berglandstationen (Chemnitz und Plauen) ist sehr ähnlich, wobei sich diese Naturräume durch häufiger auftretende innerjährliche Warmtemperaturen von den Kammlagen unterscheiden. So werden zum Beispiel Temperaturen von 15 °C innerhalb eines mittleren Jahres mit einer Wahrscheinlichkeit von 25 bis 30 % überschritten. Deutlich davon unterscheiden sich die Kammlagen (Fichtelberg, Zinnwald-Georgenfeld), welche wesentlich geringere Temperaturen aufweisen. Hier treten Temperaturen über 15 °C innerhalb eines Jahres mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 10 bis 15 % auf.

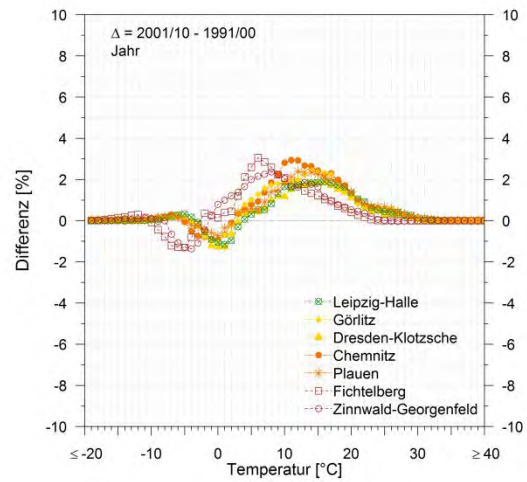
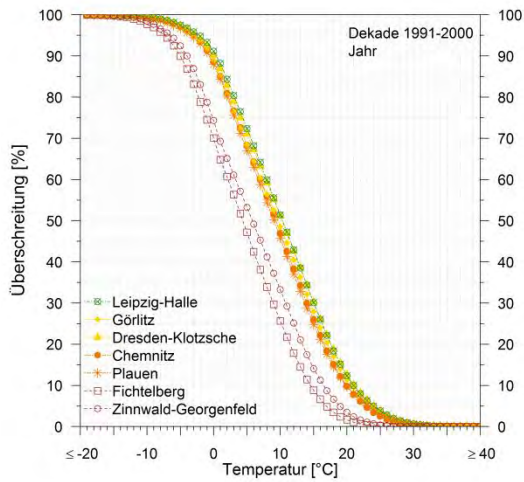
Die Änderungen der innerjährlichen Temperaturverteilung für Dekade 2001/10 sind in Abbildung 4.4.3-2 rechts dargestellt. Dabei spiegeln die auf ein mittleres Jahr bezogenen Differenzen den innerjährlichen Erwärmungstrend in Sachsen wider, in welchem kalte Tage abnehmen und warme Tage zunehmen. Wieder unterscheidet sich das Änderungssignal der Kammlagen von den übrigen Stationen. Für die Kammlagen treten im Sommerhalbjahr vor allem Temperaturen im Bereich von 6 bis 12 °C (Fichtelberg) bzw. 13 bis 15 °C (Zinnwald-Georgenfeld) um etwa 4 % häufiger auf. Im wärmeren Tief-, Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland hingegen häufen sich besonders die Stunden mit Temperaturen von 15 bis 20 °C. Diese Temperaturen werden innerhalb des Sommerhalbjahres um etwa 2,6 % für die Station Dresden-Klotzsche, um 3,2 % für die Stationen Görlitz, Plauen und Leipzig-Halle sowie um 4 % für die Station Chemnitz wahrscheinlicher. Die Ursache für häufiger auftretende Temperaturen der genannten Spannweite ist das frühzeitigere Einsetzen warmer Temperaturen während der Dekade 2001/10 (s. Kap. 4.4.1).

Für das Winterhalbjahr ergibt sich aufgrund eines kühleren Temperaturspektrums ein anderes Bild. Durch die Zunahme warmer Tagesstunden kommt es folglich zu einem Rückgang kühler Temperaturereignisse. Hier reduzieren sich in den Kammlagen die Stunden mit Temperaturen zwischen -10 und +3 °C. Der stärkste Rückgang betrifft die Temperaturen im Bereich von -6 bis -4 °C und beträgt -3,7 %. Im Tief-, Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland reduzieren sich im Winterhalbjahr die Temperaturen zwischen -5 bis +8 °C. Auch hier sind es analog zur Zunahme im Sommer etwa 2,6 bis 4,2 % seltener auftretende Temperaturen in einem Bereich von -1 bis 2 °C. Im Vergleich mit Kapitel 4.4.1 zeigt sich, dass es sich bei den am stärksten rückläufigen Temperaturbereichen um typische Dezembertemperaturen der jeweiligen Naturräume Sachsens handelt.

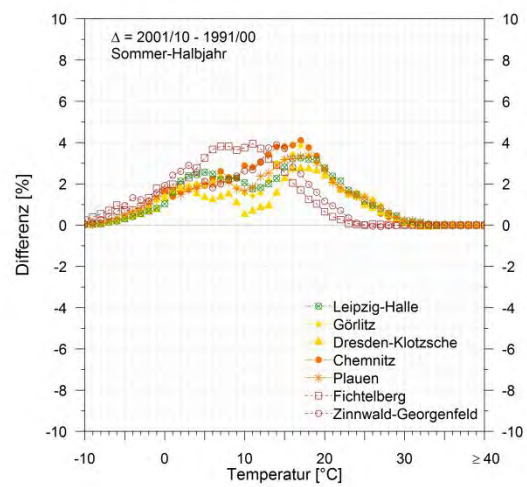
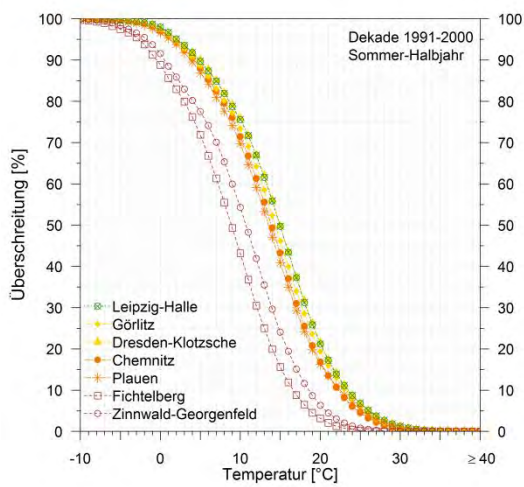
### Hinweis:

Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.

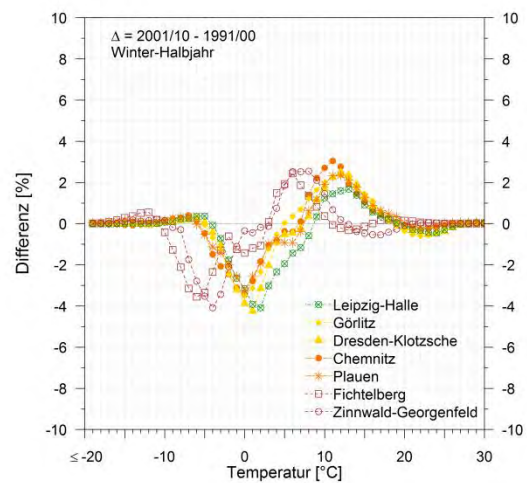
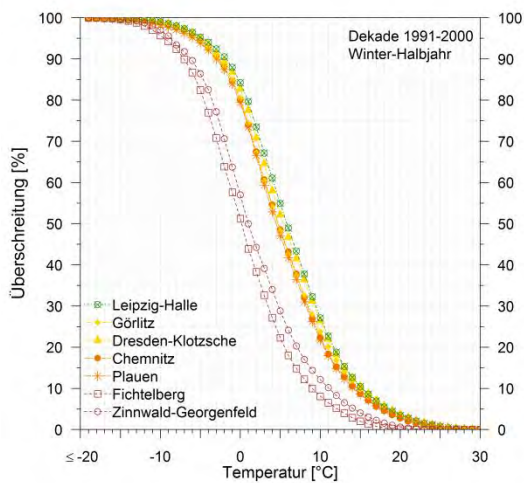




### Jahr



### Sommerhalbjahr



### Winterhalbjahr

**Abb. 4.4.3-2: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) stündlicher Lufttemperaturen (°C) an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts)**

## Windgeschwindigkeit

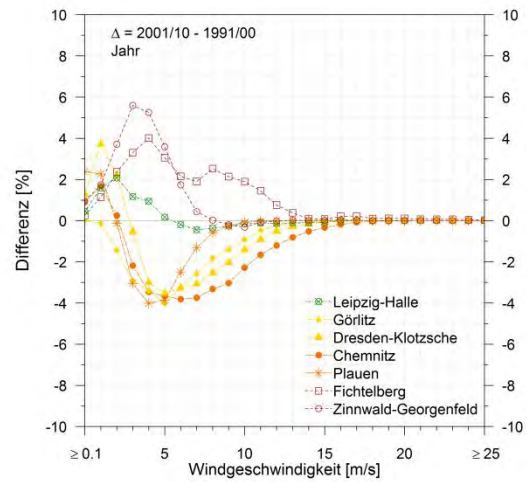
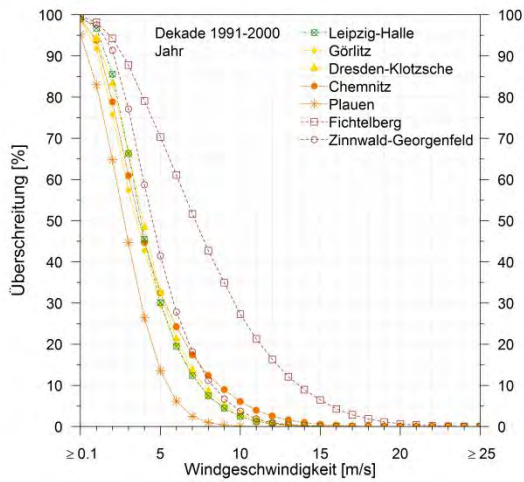
Die Dauerlinien der Windgeschwindigkeiten für die Referenzdekade 1991/00 (Abb. 4.4.3-3, links) verdeutlichen die Abhängigkeit der Windgeschwindigkeiten von Standortfaktoren wie z. B. Seehöhe oder orografischer Lage. So weist die Stationen Plauen (unteres Bergland) im Mittel die geringsten innerjährlichen Windgeschwindigkeiten mit Höchstwerten von 9 m/s auf, weil diese im Lee umliegender Gebirge liegt. Hingegen werden an der hoch gelegenen Station Fichtelberg (1.213 m ü. NN) Windgeschwindigkeiten zwischen 2 bis 20 m/s häufiger überschritten als an den Vergleichsstationen, was sich anhand der windexponierten Kammlage erklären lässt. Die Dauerlinien der Dekade 1991/00 in Abb. 4.4.3-3 links zeigen weiterhin, dass im Winterhalbjahr häufiger hohe Windgeschwindigkeiten auftreten als im Sommerhalbjahr, weil in dieser Jahreshälfte ein höherer Temperaturgradient zwischen den nördlichen Polargebieten und den südlichen Subtropen herrscht. So liegen die höchsten Windgeschwindigkeiten der betrachteten Stationen, die lediglich mit einer Wahrscheinlichkeit von 2 % auftreten, im Sommerhalbjahr zwischen 7 (Plauen) bis 17 m/s (Fichtelberg) und im Winterhalbjahr zwischen 8 (Plauen) bis 20 m/s (Fichtelberg).

Die Dauerlinien der jüngsten Messungen 2001/10 sind als Differenz zur Referenzdekade in Abb. 4.4.3-3 rechts dargestellt. Dabei ergibt sich je nach betrachtetem Naturraum ein unterschiedliches Bild. Bezogen auf ein mittleres Jahr häufen sich in den Kammlagen die Windgeschwindigkeiten bis zu 7 (Zinnwald-Georgenfeld) bzw. 13 m/s (Fichtelberg). Am häufigsten nehmen für die Station Fichtelberg im Jahresmittel Windgeschwindigkeiten von 3 m/s zu (5,8 % häufiger pro Jahr). Für die Station Zinnwald-Georgenfeld häufen sich vor allem Windgeschwindigkeiten von etwa 4 m/s (4 % häufiger pro Jahr). Generell sind die detektierten Zunahmen im Sommerhalbjahr stärker ausgeprägt. Im Winterhalbjahr hingegen treten höhere Windgeschwindigkeiten seltener auf.

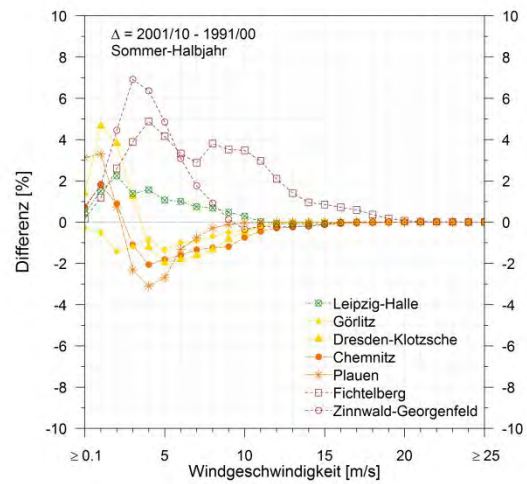
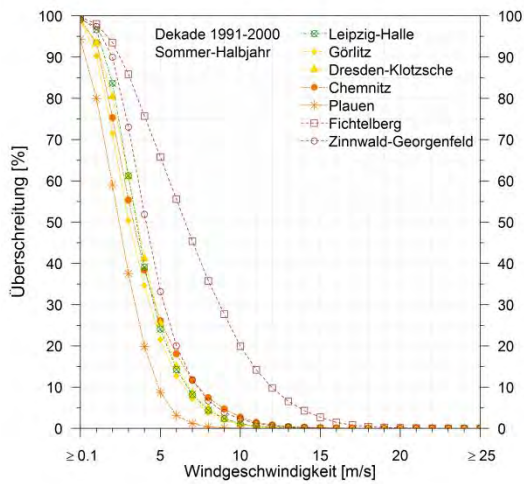
Dies zeigt auch der Verlauf der Differenzen für die Tieflandstation Leipzig-Halle. Hier häufen sich im Sommerhalbjahr Windgeschwindigkeiten bis 11 m/s, während Ereignisse zwischen 5 und 12 m/s im Winterhalbjahr rückläufig sind. Im Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland nehmen kleine Windgeschwindigkeiten von 0,1 bis 2 m/s im Jahresmittel zu und darüber liegende bis 16 m/s ab (außer Station Görlitz, für welche die Tage mit Windgeschwindigkeiten aller Größenordnungen im Jahresmittel abnehmen). Dabei reduzieren sich die Stunden mit höheren Windgeschwindigkeiten stärker im Winterhalbjahr, wobei Werte von 5 m/s um etwa -7 % für die Station Görlitz, um ca. -6 % für die Station Chemnitz sowie um -5 % für die Stationen Plauen und Dresden-Klotzsche seltener auftreten. Im Sommerhalbjahr hingegen häufen sich zunehmend kleinere Windgeschwindigkeiten bis 3 (Plauen und Chemnitz) bzw. 4 m/s (Dresden-Klotzsche), was ein Resultat des Temperaturanstieges sein könnte, der erhöhten thermischen Austausch zur Folge hat.

### Hinweis:

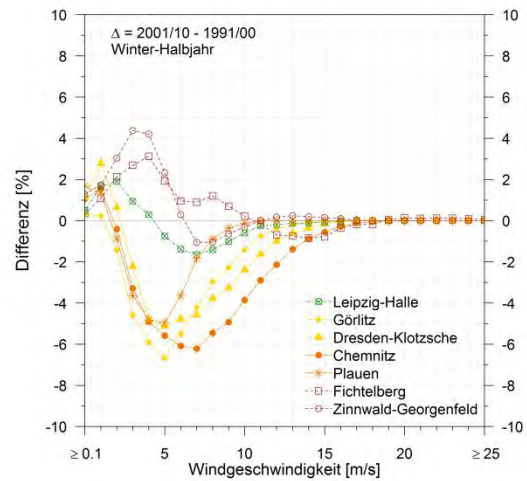
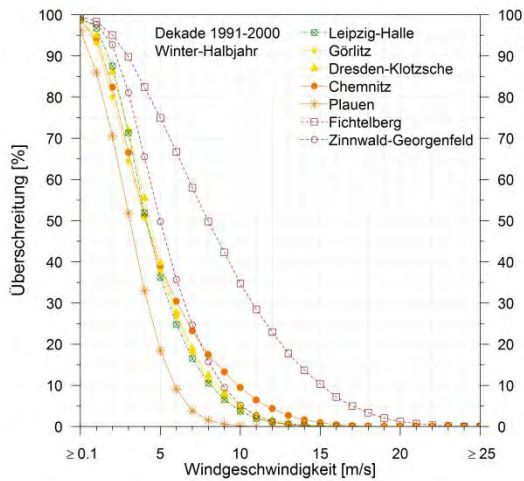
Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.



**Jahr**



**Sommerhalbjahr**



**Winterhalbjahr**

**Abb. 4.4.3-3: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) für Windgeschwindigkeiten  $\geq 0,1$  m/s pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts)**



#### 4.4.4 Windklimatologie

Zur Charakterisierung des Windes wurden Windrosen erstellt, in denen die statistische Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Windrichtung zusammengefasst wird. Dabei werden die Windgeschwindigkeiten in Klassen eingeteilt und deren prozentualer Anteil je zugehöriger Windrichtung ermittelt und abgebildet. Ähnlich zu den Dauerlinien in Kap. 4.4.3 lassen sich somit Aussagen zur Auftretenswahrscheinlichkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten an einer Station herleiten, jedoch unter zusätzlicher Berücksichtigung der Anströmrichtung des Windes. Die Windrichtungen lassen sich als Gradangabe in einem Vollkreis darstellen, wobei beispielsweise 90° einen Ostwind, 180° einen Südwind, 270° einen Westwind und 360° einen Nordwind repräsentieren. Die hierfür genutzten Datensätze aus Windgeschwindigkeit und -richtung beziehen sich auf ausgewählte Stationen Sachsens, deren Messungen die Referenzdekade 1991/00 und die rezente Dekade 2001/10 abdecken. Um die innerjährliche Verteilung der Windgeschwindigkeiten und Windrichtung jeder Station hervorzuheben, wurden die Windrosen jeder Dekade zusätzlich für verschiedene Bezugszeiträume (Frühling, Sommer, Herbst, Winter, Winterhalbjahr, Sommerhalbjahr, Vegetationsperiode I und II sowie Monate) ermittelt und in Anhang A 4.4.4-1a-h und A 4.4.4-2a-h aufgeführt.

#### Jährliche Windrichtungsverteilung

Die Verteilung der jährlichen Windrichtung eines Ortes ist von mehreren Faktoren abhängig. Zum einen bestimmt die Lage zu umliegenden Strömungshindernissen wie z. B. Gebirgen das Auftreten lokaler Windsysteme und zum anderen können Großwetterlagen typische Windrichtungen im Jahresverlauf prägen. So zeigen die jährlichen Windrosen in Abb. 4.4.4-1 für die Tiefland-, Mittelgebirgsvorland- (außer Dresden-Klotzsche) und unteren Berglandstationen West-Südwest als Hauptwindrichtung an, welche das Ergebnis einer ausgeprägten innerjährlichen Dominanz von Westwetterlagen mit auftretenden Südwestwinden ist (s. a. Anhang A 4.4.4-2). Vor allem im Tiefland dominiert der Einfluss der Großwetterlagen, weil lokale Windsysteme sich durch sehr geringe Höhengradienten weniger ausprägen können. Eine Überlagerung mehrerer Windfaktoren infolge einer ausgeprägten Orografie zeigt sich jedoch beispielsweise für die Mittelgebirgsvorlandstationen Dresden-Klotzsche und Görlitz. Hier ergibt sich die jährliche Hauptwindrichtung aus einer Kombination von häufig auftretenden innerjährlichen Westwetterlagen und dem lokalen Böhmischem Windsystem im Winterhalbjahr. Der Böhmisches Wind tritt als Fallwind am Nordrand der Mittelgebirge Sachsens auf, der Kaltluft entsprechend der Neigung der Täler abführt. Im Falle Dresdens betrifft dies vor allem das Elbtal mit einer Ausrichtung von Südost nach Nordwest, was zu einem von Südost ausgerichteten Fallwind führt. Nach Görlitz hingegen weht der Böhmisches Wind entsprechend dem Neiße-Tal von Süd-Südwest. Die Windverteilung der Station Plauen ist ebenfalls von lokalen Besonderheiten geprägt. Hier sorgt vor allem die Lage Plauens im Tal der Weißen Elster für dominierende Süd-Südwest-Winde. Durch das als Barriere wirkende östlich-südöstlich gelegene Erzgebirge treten aus dieser Himmelsrichtung nur selten bis keine Winde auf.

Plauen ist eine der Stationen mit den geringsten Windgeschwindigkeiten und den am häufigsten auftretenden windstillen Ereignissen, wie der Jahresmittelwert von 3,03 m/s bzw. eine Wahrscheinlichkeit von 4,4 % für Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bezogen auf die Dekade 1991/00 zeigt. Generell liegt dies an der durch Höhenzüge abgeschirmten Lage, wobei es bei einer Queranströmung der Taleinengung zu einer zusätzlichen Abschwächung des Windes kommt (Nordwest nach Südost). Die Windrichtungsverteilungen der beiden Leipziger Tieflandstationen sind sehr ähnlich, unterscheiden sich jedoch durch eine unterschiedliche Klassenverteilung der Windgeschwindigkeiten. Die Ursache dafür ist die geschütztere städtische Lage der Station Leipzig-Holzhausen, in welcher die Bebauung zu einer Abschwächung der Windgeschwindigkeit führt (Jahresmittelwert von 2,47 m/s für Dekade 1991/00, Datenverfügbarkeit jedoch erst ab 1997), während die Station Leipzig-Halle außerhalb der Stadt weniger unter dem Reibungseinfluss der Bebauung steht (Mittelwert von 4,31 m/s für Dekade 1991/00). Die hoch gelegenen Kamm- und Gipfellagen weisen, wie bereits in Kap. 4.4.3 erörtert, die höchsten Windgeschwindigkeiten im Jahr auf (Mittelwert von 7,75 m/s für Fichtelberg 1991/00 und

4,9 m/s für Zinnwald-Georgenfeld 1991/00). Am Fichtelberg wird ebenfalls der starke Einfluss der Westwetterlagen deutlich, der durch die Ausrichtung des Erzgebirges von West nach Ost begünstigt wird. So werden südliche und nördliche Winde abgeschwächt, während die Überströmung entlang der Gebirgsausrichtung zu den am häufigsten auftretenden Winden mit den stärksten Geschwindigkeiten führt. Die Station Zinnwald-Georgenfeld befindet sich etwas unterhalb des Kamms und liegt tiefer als jene des Fichtelberges, wodurch hier geringere Windgeschwindigkeiten im Jahresverlauf zu beobachten sind. Des Weiteren schließt sich im Westen etwas höheres Gelände („Großer Lugstein“) an die Station an, wodurch typische Westwinde wahrscheinlich abgelenkt werden, was zu einer Hauptwindrichtung aus West-Nordwest führt. Die häufigen Winde aus Süd-Südost sind Resultat des Böhmisches Windsystems im Winter, die im Tal für kalte Temperaturen, u. a. Reif, Frost, Schneeverwehungen und Nebel sorgen.

Der Vergleich der Dekaden 1991/00 und 2001/10 in Abb. 4.4.4-1 zeigt keine signifikanten Änderungen der Windrichtungsverteilungen. Eine dekadische Gegenüberstellung der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit verschiedener Bezugszeiträume erfolgte bereits in den Kap. 4.4.1 und 4.4.3. Die Windrosen fassen die Ergebnisse dieser Kapitel gut zusammen, wobei die Windgeschwindigkeiten im Tiefland leicht zunehmen, im Mittelgebirgsvor- und unteren Bergland überwiegend abnehmen sowie in den Kammlagen ebenfalls zunehmen. Für alle Stationen nimmt die Anzahl der windstillen Ereignisse im Jahresmittel ab.

**Hinweis:**

Den nachfolgenden Abbildungen liegen Zeitreihen von Stundendaten zu Grunde, deren Verfügbarkeit nur eingeschränkt gegeben ist. Es können lediglich zwei Dekaden im Zeitraum von 1991 bis 2010 betrachtet und gegenübergestellt werden. Dargestellte Änderungen dürfen deshalb – vor dem Hintergrund natürlicher dekadischer Variabilität und möglicher Extremereignisse (z. B. Extremniederschläge 2002) – nur als zusätzliche Indizien bei der langzeitlichen Betrachtung der entsprechenden Klimagrößen (vgl. Auswertungen in Kap. 4) gewertet werden.



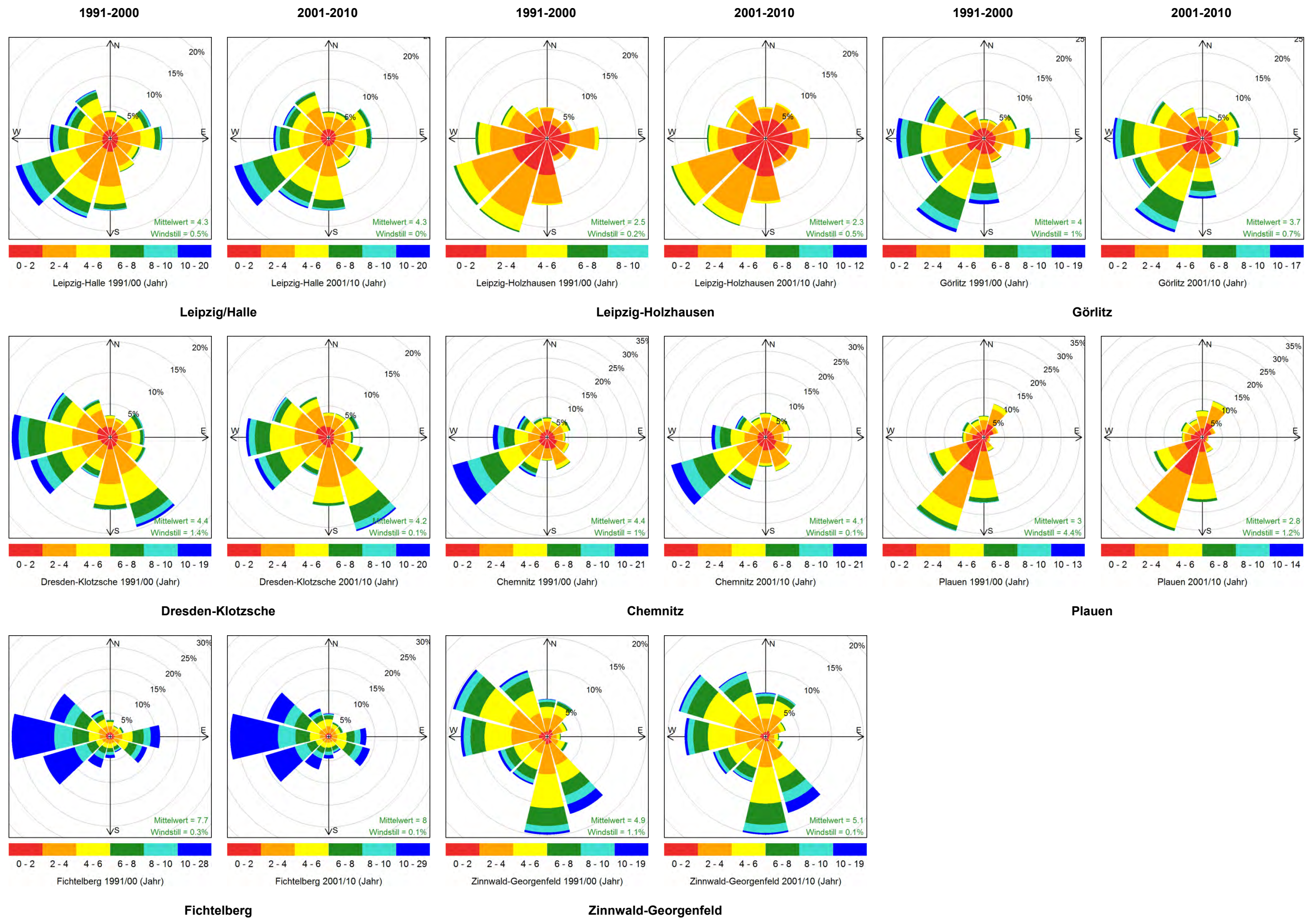


Abb. 4.4.4-1: Windrosen für sächsische Messstationen für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahr



# 5 Zusammenfassung

Die vorliegende Publikation knüpft an die Veröffentlichung „*Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse*“ aus dem Jahr 2008 an. Ausgangspunkt ist eine erweiterte Datengrundlage bis 2010 mit täglichen und stündlichen Beobachtungen aus den Messnetzen des Deutschen Wetterdienstes und dem Tschechischen Hydro-Meteorologischen Dienst. Ziel war die Analyse der 50-jährigen Klimaentwicklung im Freistaat zwischen 1961 und 2010. Besonderes Augenmerk lag auf klimasensitiven Zeiten, wie den Vegetationsperioden I (April, Mai, Juni) und II (Juli, August, September), auf den von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) empfohlenen Indizes für Extremwertbetrachtungen, auf der dekadischen Variabilität und auf den erstmals untersuchten Stundenwerten. Gleichzeitig wurden die Untersuchungen aus „*Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse*“ weitergeführt und überprüft, ob sich die Trends in der Klimaentwicklung fortgesetzt haben.

Im Dezember 2011 fand auf Initiative des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft das Fachgespräch „*Wetterextreme*“ mit Beteiligung führender Wissenschaftler aus Deutschland statt. Ausgangspunkt der Diskussion war, dass der Klimawandel mit dem Risiko einer Zunahme witterungsbedingter Extreme einhergeht, die aber nur mit besonderen Verfahren erkennbar werden. Vor diesem Hintergrund wurden temperatur- und niederschlagsabgeleitete Indizes aus dem WMO-Katalog und eine weiterführende Starkregenanalyse in die Untersuchungen einbezogen.

Insgesamt liegt für die Klimaelemente: Temperatur (Max, Min, Mittel), Niederschlag, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie für die komplexen Klimagrößen: potenzielle Verdunstung, klimatische Wasserbilanz (potenzielles Wasserdargebot), WMO-Indizes (z. B. Sommertage) und Starkregenereignisse vor:

- Gegenüberstellung der Klimanormalperioden 1961-1990 (WMO-Referenzperiode) und 1981-2010
- Erarbeitung der dekadischen Variabilität (1961-1970 bis 2001-2010),
- Darstellung mit inner-/jährlichem Bezug (Kalenderjahr, 4 Jahreszeiten, meteorologisches Winter- und Sommerhalbjahr mit Unterscheidung in Vegetationsperiode I und II).

Zur Analyse von Starkregenereignissen (R95p) wurde das 95 %-Perzentil als Schwellenwert verwendet. Demnach wurden die größten 5 % der vorhandenen Messwerte in die Untersuchungen einbezogen.

Laut 5. IPCC-Sachstandsbericht (2013) wurde während der letzten 15 Jahre ein verlangsamter Anstieg der global gemittelten Lufttemperatur festgestellt. Daraus schließen die Autoren aber nicht auf eine generelle Abschwächung des globalen Klimawandels, weil kurzfristige Veränderungen vor allem auf natürliche und interne Schwankungen im Klimasystem zurückzuführen sind. Tatsächlich wird gleichzeitig eine deutliche Vergrößerung des Wärmeinhalts der Weltmeere gemessen, die diese Schlussfolgerung überzeugend stützt.

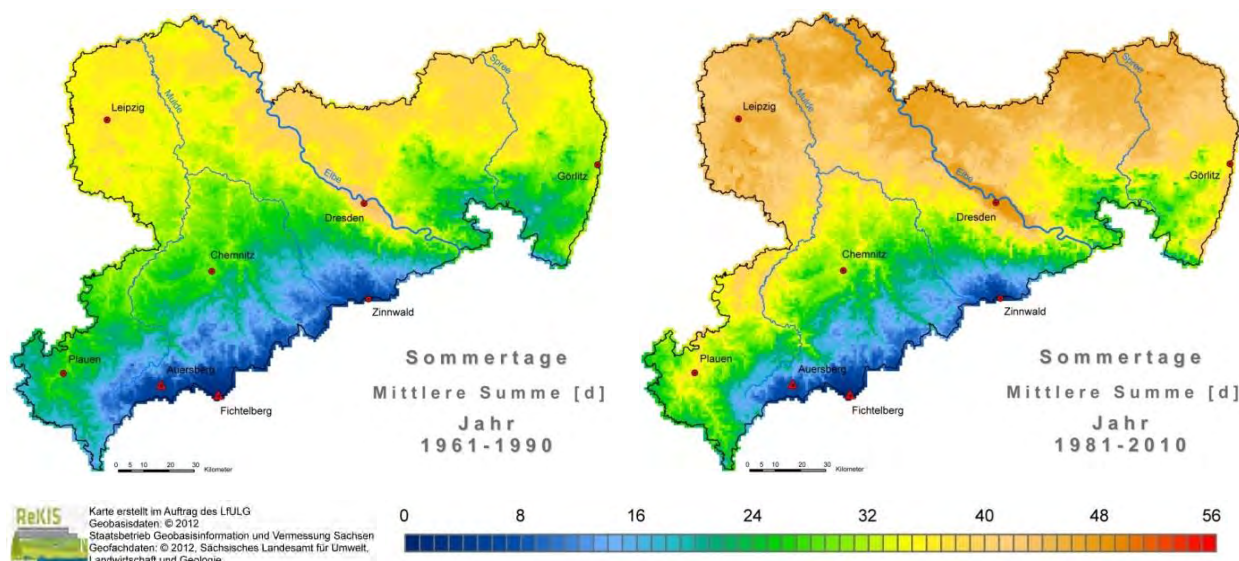
Für die Jahresmitteltemperatur in Sachsen wurde eine kontinuierliche Zunahme über die Dekaden festgestellt, mit einer Erhöhung von 1 °C zwischen der ersten und letzten Dekade (Tab. Z1). Infolge des durchgreifenden Erwärmungstrends ist beispielsweise auch die Anzahl der Sommertage ( $T_{\max} > 25 \text{ °C}$ ) im Jahr, insbesondere außerhalb der Mittelgebirge, erheblich angestiegen, was zu einer erhöhten Hitzebelastung führt (Tab. Z1, Abb. Z1). Mit dem erhöhten Temperaturniveau gehen auch flächendeckend Zunahmen der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen, insbesondere im Erzgebirge und dessen Vorland (Abb. Z2) in der Klimanormalperiode 1981-2010 gegenüber 1961-1990 einher. Im Vergleich der Klimanormalperioden hat die

Sonnenscheindauer zugenommen (Tab. Z1). In der dekadischen Entwicklung dieser Zunahme zeigt sich auch die Verbesserung der Luftqualität infolge eines verminderten Aerosolgehaltes.

**Tab. Z1: Flächenmittel für Klimatelemente und -größen nach Mittelungszeiträumen in Sachsen**

Klimatelement/ -größe	Klimanormalperioden		Dekaden				
	1961-1990	1981-2010	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
<b>Jahr (Jan-Dez):</b>							
Lufttemperatur (°C)	8,1	8,7	7,9	8,1	8,4	8,7	8,9
Sommertage (Tmax > 25 °C)	28	35	30	25	30	35	40
Relative Sonnenscheindauer <sup>1)</sup> (%)	32	34	33	31	32	34	35
<b>Vegetationsperiode I (Apr-Jun):</b>							
Niederschlag (mm)	215	190	235	215	200	200	180
Potentielle Verdunstung (mm)	245	255	250	240	245	260	265
Klimatische Wasserbilanz (mm)	-30	-65	-15	-25	-45	-60	-85
<b>Vegetationsperiode II (Jul-Sep):</b>							
Niederschlag (mm)	215	240	215	220	215	240	270
Potentielle Verdunstung (mm)	250	260	255	245	255	265	265
Klimatische Wasserbilanz (mm)	-35	-20	-40	-25	-40	-25	+5

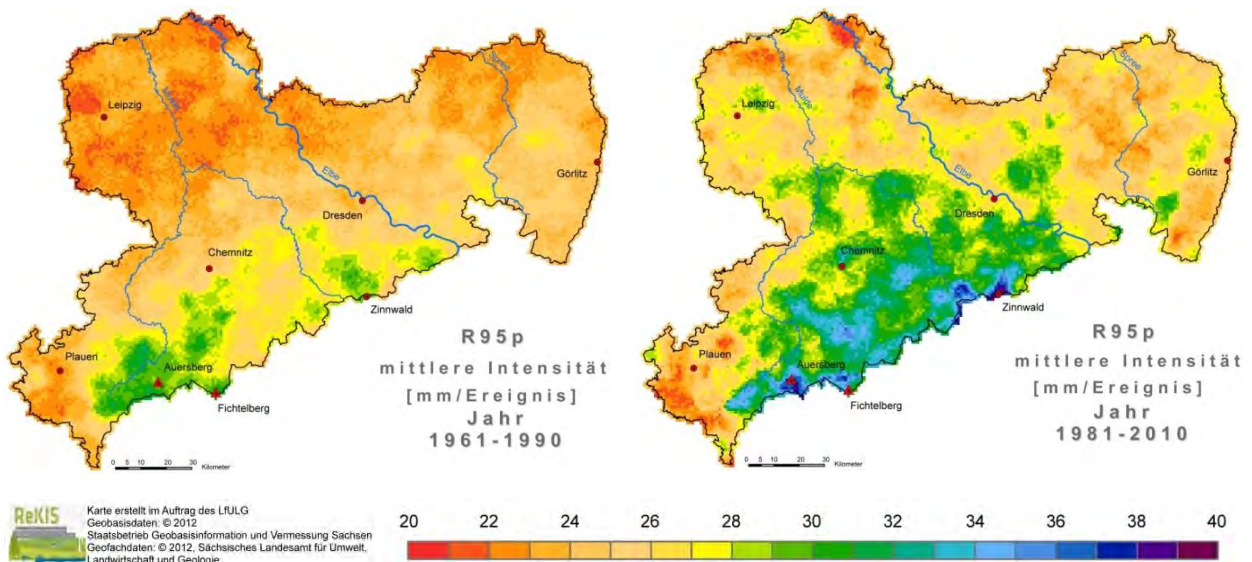
<sup>1)</sup> relative Sonnenscheindauer: Anteil gemessener an maximal möglicher Sonnenscheindauer



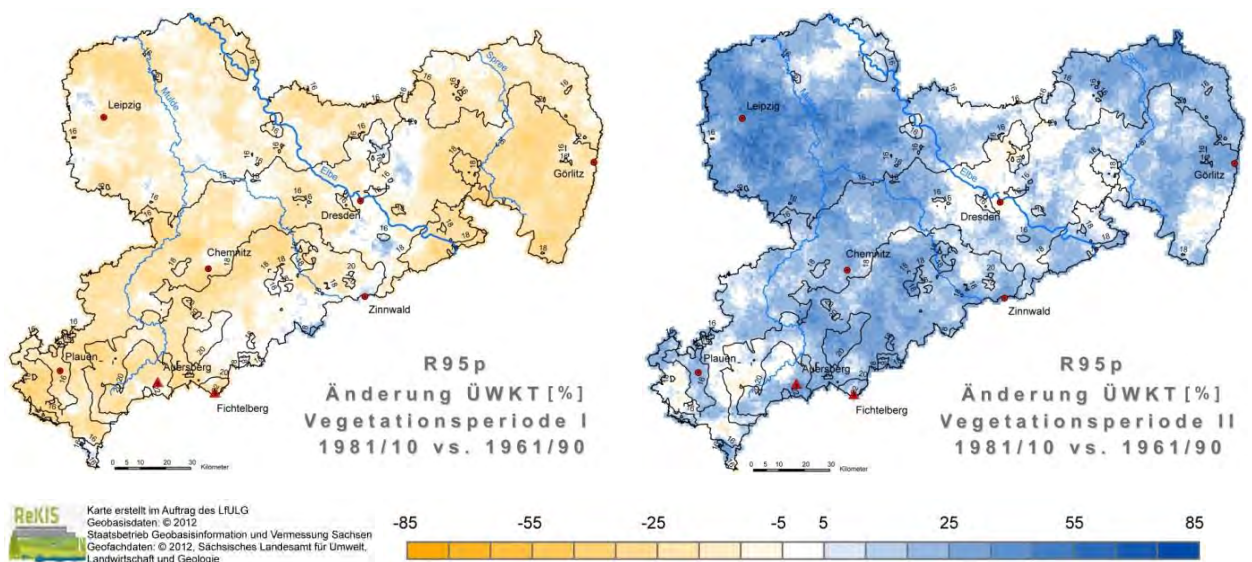
**Abb. Z1: Mittlere Anzahl von Sommertagen (Tmax > 25 °C) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 28 Tage), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 35 Tage, d. h. +25 %)**

Beim Niederschlag wurden abnehmende Summen in der Vegetationsperiode I und zunehmende Summen in der Vegetationsperiode II als markantes Signal gemessen (Tab. Z1). Diese gehen mit einer Verringerung bzw. Erhöhung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkregenereignissen einher (Abb. Z3). In der Vegetationsperiode I weist die kontinuierlich zunehmende, negative klimatische Wasserbilanz (Verschlechterung des

potenziellen Wasserdargebotes) auf ein erhöhtes Trockenheitsrisiko hin. Ursachen hierfür sind die bereits erwähnten Niederschlagsabnahmen in Kombination mit einer zunehmenden potenziellen Verdunstung (Tab. Z1). Die Verbesserung der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode II ergibt sich aus vergleichsweise hohen Zunahmen der Niederschlagssummen gegenüber denen der potenziellen Verdunstung (Tab. Z1). Vor dem Hintergrund eines generell erhöhten Temperaturniveaus weist die Kombination aus gestiegenen Niederschlagssummen und Starkregenereignissen (Anzahl, Intensität) darauf hin, dass der Anteil von Starkregen an den Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode II zugenommen hat. Damit im Einklang steht die Schlussfolgerung, dass trockene Abschnitte zunehmend von Starkregenereignissen unterbrochen werden.



**Abb. Z2: Mittlere Intensität (mm) pro Starkregenereignis (R95p) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 24,8 mm), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 27,2 mm, d. h. +10 %)**



**Abb. Z3: Änderung der Auftretenswahrscheinlichkeit ÜWK (%) von Starkregenereignissen (R95p) 1981-2010 vs. 1961-1990 in Sachsen, links: Vegetationsperiode I (Flächenmittel: -15 %), rechts:**



Im Winter wurde für die Temperatur, den Niederschlag und für die klimatische Wasserbilanz eine ausgeprägte dekadische Variabilität in Sachsen festgestellt. Eine Ursache dafür ist, dass die gesamte Region hinsichtlich der globalen Klimaentwicklung in einer Übergangszone liegt. Durch den überproportionalen Anstieg der Temperatur in der Arktis wird der Temperaturunterschied zu den gemäßigten Breiten abgeschwächt. Dadurch nehmen auch der Druckunterschied (negativer NAO-Index) und damit die zonale, breitenkreisparallele Zirkulation ab. Somit können z. B. winterliche Kontinentalhochs häufiger wirksam werden, deren genaue Lagen den tatsächlichen Verlauf unserer Winter bestimmen. In Sachsen sollten im langjährigen Trend die Wintertemperaturen dennoch weiter zunehmen, wobei das Auftreten kalter Winter nicht so deutlich abnimmt, wie bisher angenommen. Damit nimmt die Variabilität der Winter tendenziell zu. So können sich milde, regenreiche Winter mit kalten und zeitweise schneereichen Wintern abwechseln.

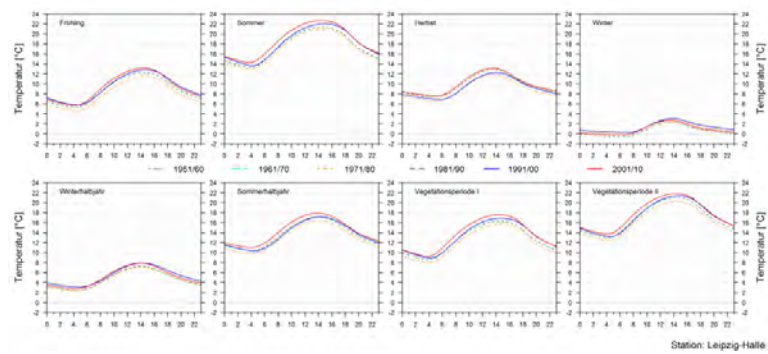
Bei Fortsetzung der beobachteten Entwicklung kann davon ausgegangen werden, dass eine weitere Temperaturerhöhung im Sommer mit zunehmender Hitze, zunehmenden Trockenperioden und häufigeren Starkregen einhergeht. Zu erwarten sind eher Zunahmen bei den lokalen Starkregen, sowohl in der Häufigkeit als auch in der Intensität. Dabei werden vermehrt längere trockene Witterungsabschnitte von Starkregenereignissen unterbrochen. Falls die festgestellte Trockenheit in der Vegetationsperiode I anhält, ist z. B. mit Problemen in der ersten Wachstumsperiode von Getreide und Mais zu rechnen, der Bewässerungsbedarf für Gemüse wird steigen. Wenn dagegen die Vegetationsperiode II weiter durch zunehmende Regenmengen mit zunehmendem Starkregenanteil charakterisiert wird, muss z. B. der Erosionsschutz stärker berücksichtigt werden. Die Entwicklung des Hochwasserrisikos ist dagegen schwer abzuschätzen, könnte aber lokal ebenfalls zunehmen. Ob bzw. welche Folgen die gleichzeitige Zunahme der trockenen Witterungsabschnitte auch in der Vegetationsperiode II haben kann, wird zu beobachten sein.

Die Entwicklung des sächsischen Klimas seit den 1960er-Jahren zeigt die hohe natürliche Variabilität, deren Berücksichtigung traditionell die Voraussetzung für Leben und Wirtschaft im Freistaat ist. Diese wird aber zunehmend von mittleren Trends zur Erwärmung überlagert, die zwar mit geringerem Energiebedarf für das Heizen, aber mit größerer Hitzebelastung und Trockenheit verbunden sind. Auch wenn die Trends in den (Stark-)Niederschlägen weniger ausgeprägt sind, kann in Zukunft auch eine weitere Zunahme in den lokalen Niederschlagsintensitäten nicht ausgeschlossen werden. Damit wird eine zeitnahe regionale Klimastatistik – wie die hier vorgelegte Analyse – eine notwendige Grundlage für die Daseinsvorsorge im Rahmen staatlichen Handelns.

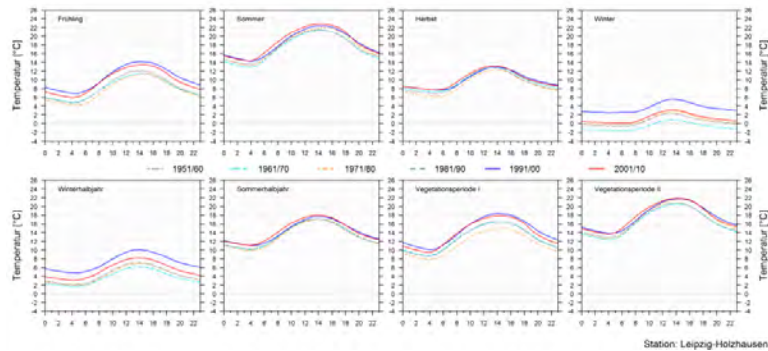
# 6 Literatur

- 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.), Dresden, 211 Seiten.
- BERNHOFER, C.; FRANKE, J.; DONIX, T. (2013): Regionales Klimainformationssystem ReKIS für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (inkl. Web-basiertes Interpolationstool RaKliDa). Entwicklungsbericht (Techniken, Methoden, Handhabungen) des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt und des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt, Forsten und Naturschutz, 120 S.
- DWD (Hrsg.): Klimawandel im Detail – Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland. Deutscher Wetterdienst, Pressekonferenz, 15.04.2008, Berlin
- DVWK (Hrsg.) (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Merkblatt M 238
- DVWK (Hrsg.) (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Merkblatt M 504
- 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.
- HURRELL, J. W.; KUSHNIR, Y.; OTTERSEN, G.; VISBECK, M. (2003) An overview of the North Atlantic Oscillation. In: HURRELL, J. W.; KUSHNIR, Y.; OTTERSEN, G.; VISBECK, M. (eds.) The North Atlantic Oscillation. American Geophysical Union, Washington, DC, p 1–35
- MATTHES, H.; RINKE, A.; DETHLOFF, K. (2010): Variability of Extreme Temperature in the Arctic-Observation and RCM. Open Atmospheric Science Journal 4 (2010): 126–136.
- PURVES, W. K. (2006): Biologie. 7.Auflage, Elsevier GmbH, München.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes: 194 S.
- SCHALLER, A. (2013): Untersuchungen zu geänderten Starkniederschlägen aus gemessenen und modellierten Niederschlagszeitreihen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, 137 S.

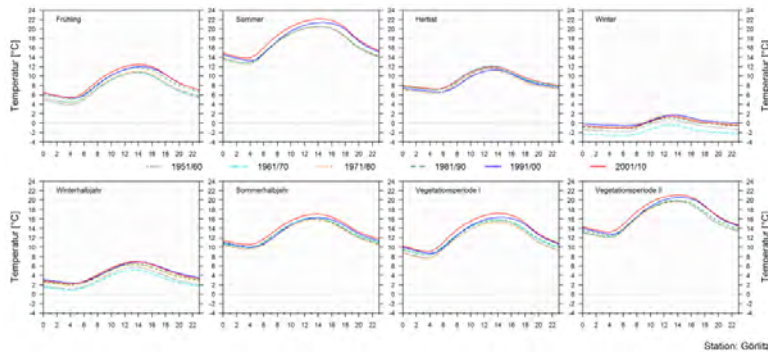
# 7 Anhang



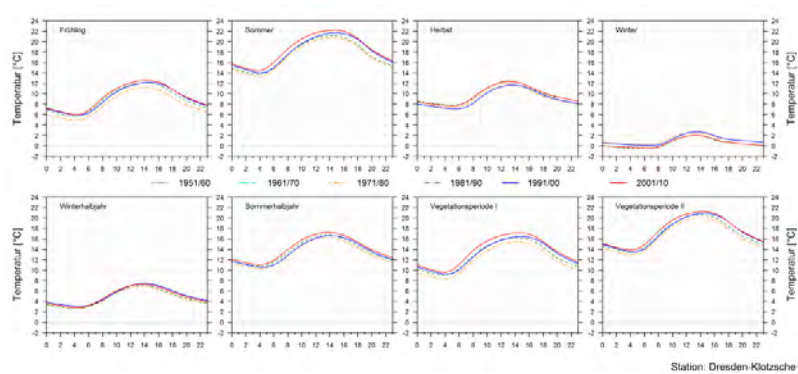
Leipzig/Halle



Leipzig-Holzhausen



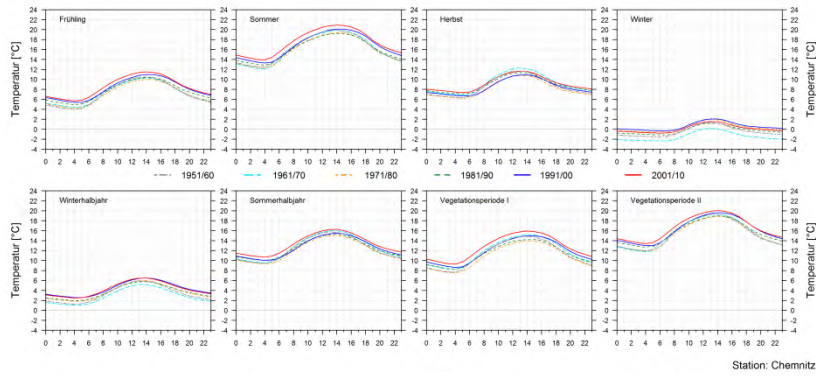
Görlitz



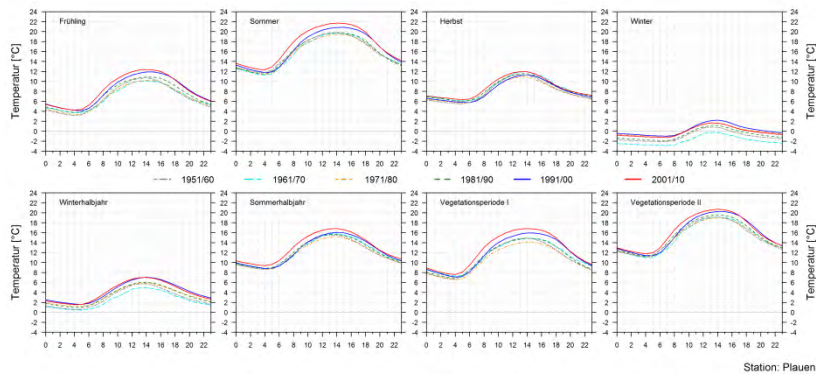
Dresden-Klotzsche

A 4.4.1-1a: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre

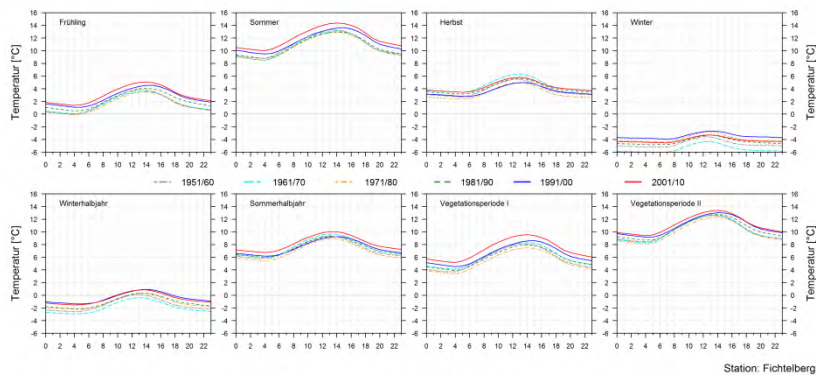




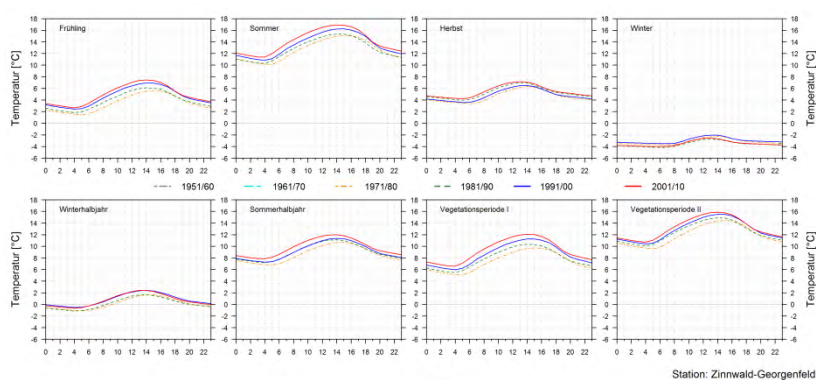
## Chemnitz



## Plauen

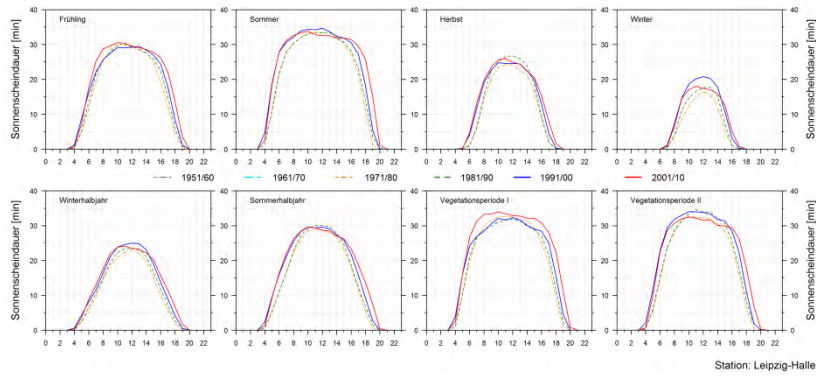


## Fichtelberg

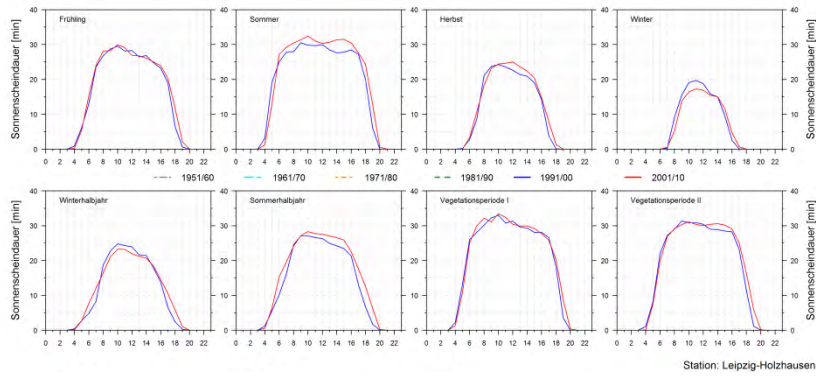


## Zinnwald-Georgenfeld

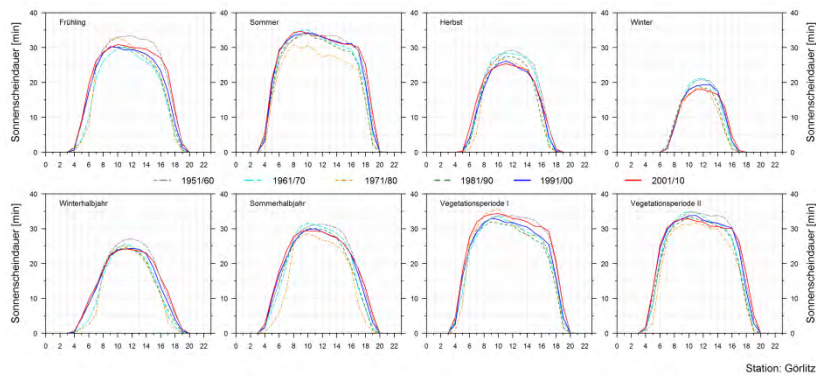
**A 4.4.1-1b: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



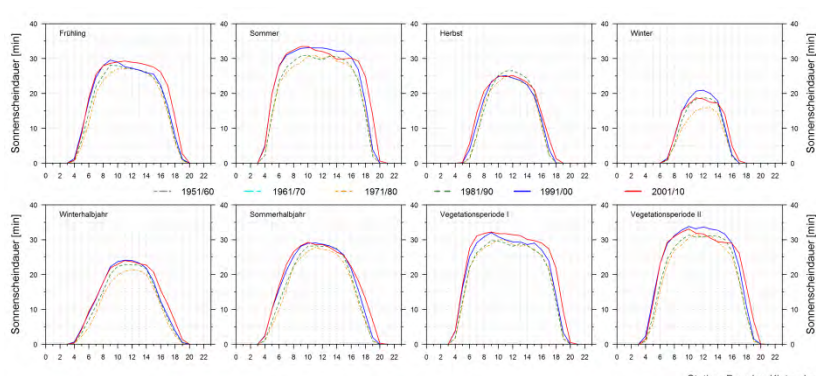
### Leipzig/Halle



### Leipzig-Holzhausen

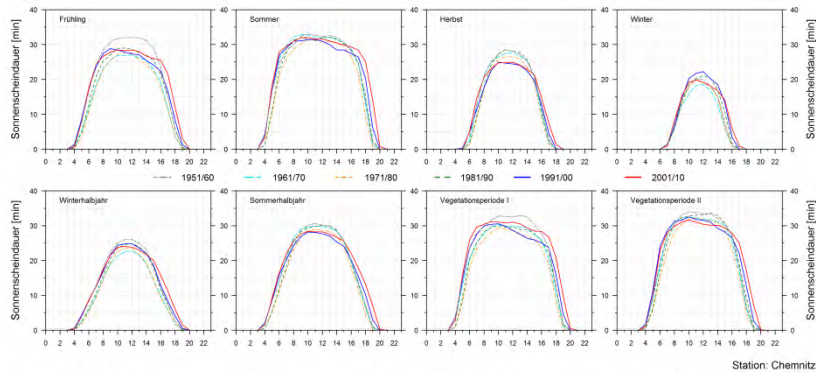


### Görlitz

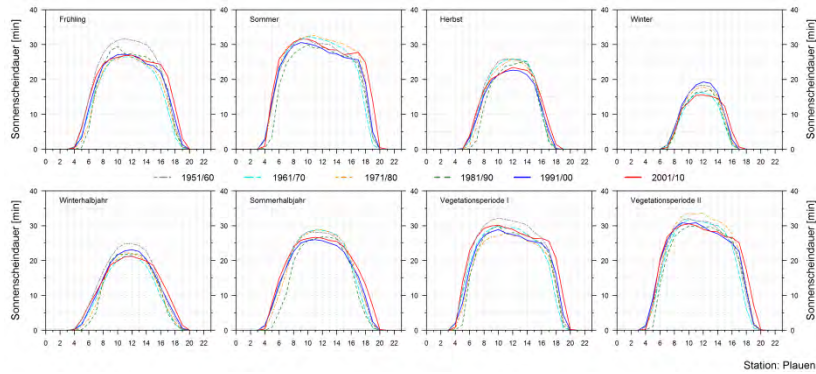


### Dresden-Klotzsche

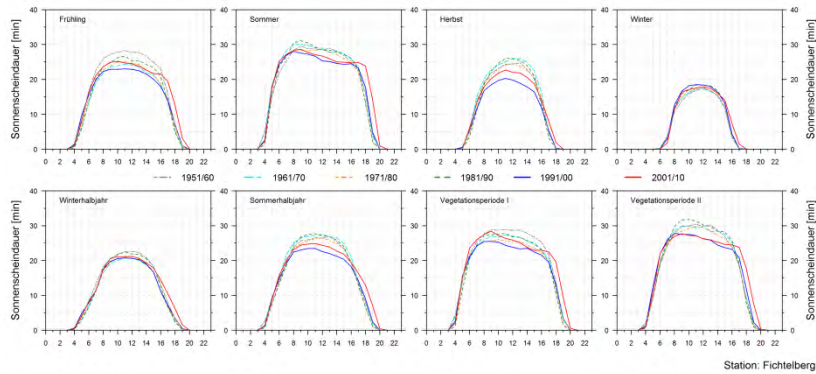
**A 4.4.1-2a: Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



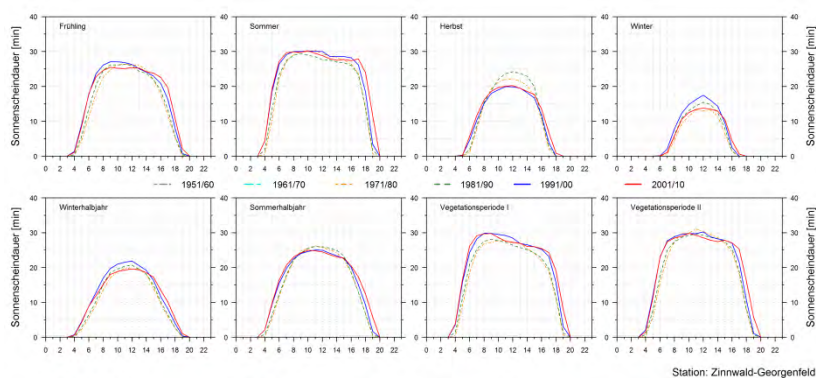
### Chemnitz



### Plauen



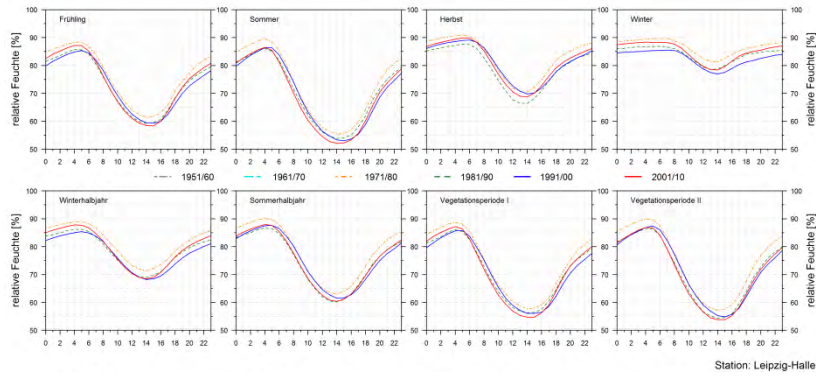
### Fichtelberg



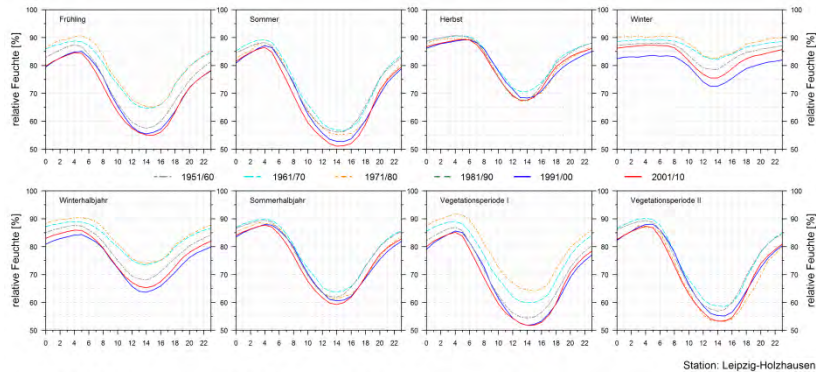
### Zinnwald-Georgenfeld

**A 4.4.1-2b: Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

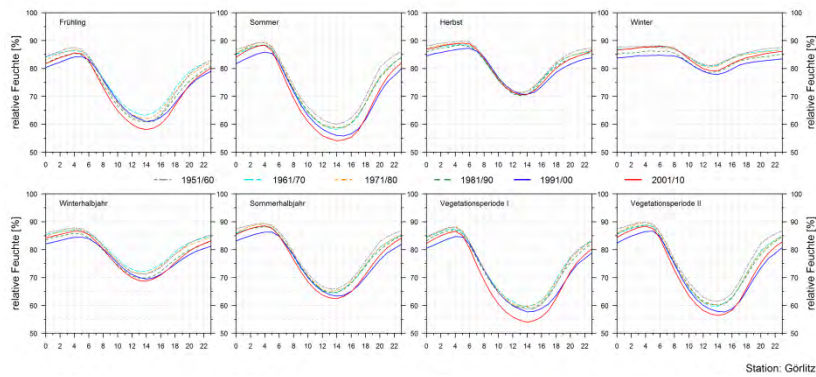




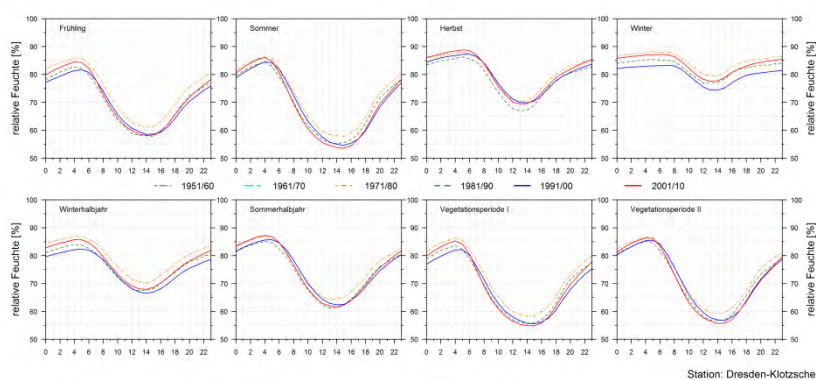
### Leipzig/Halle



### Leipzig-Holzhausen

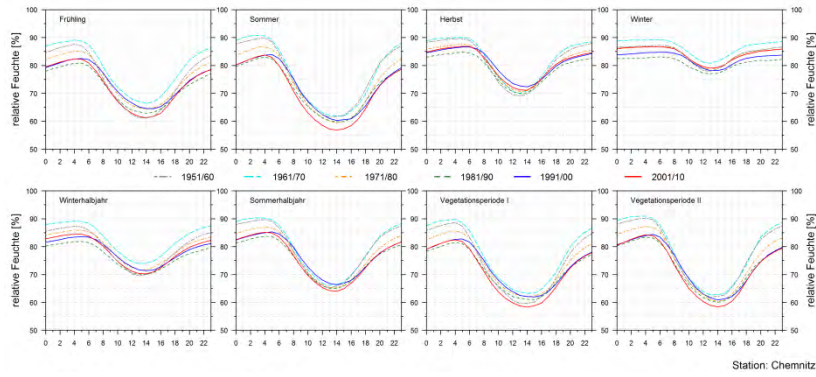


### Görlitz

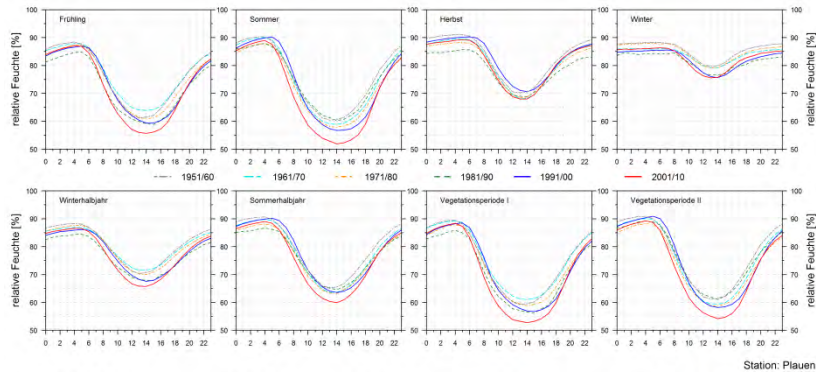


### Dresden-Klotzsche

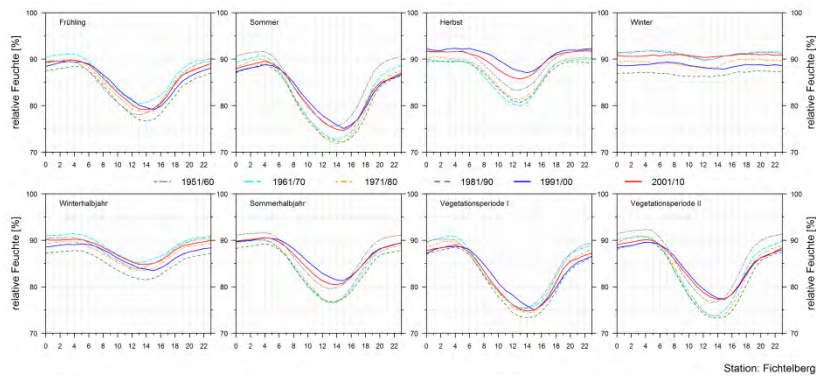
**A 4.4.1-3a: Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



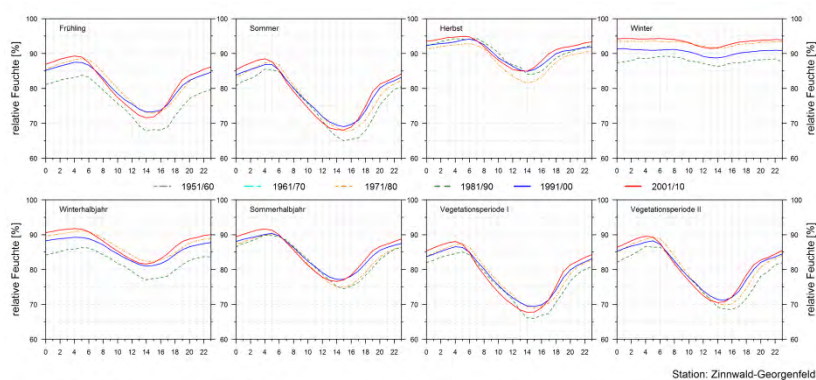
### Chemnitz



### Plauen



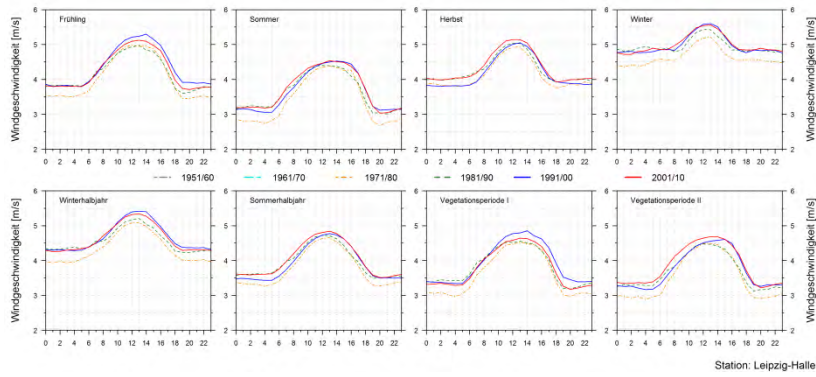
### Fichtelberg



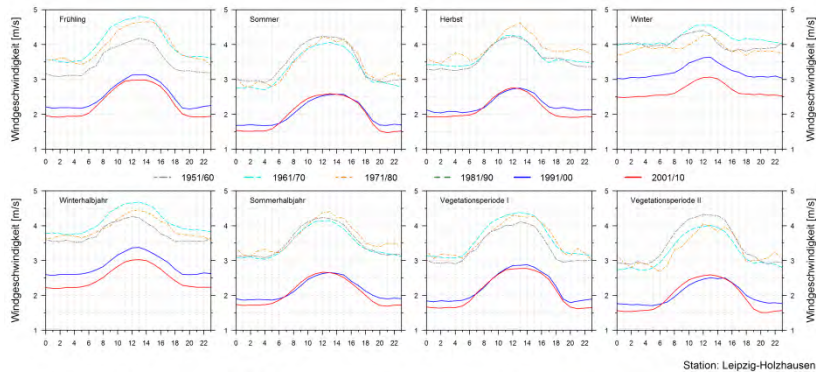
### Zinnwald-Georgenfeld

**A 4.4.1-3b: Mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

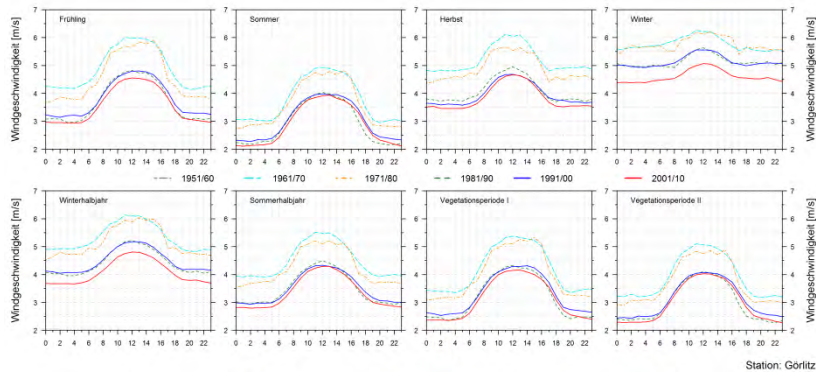




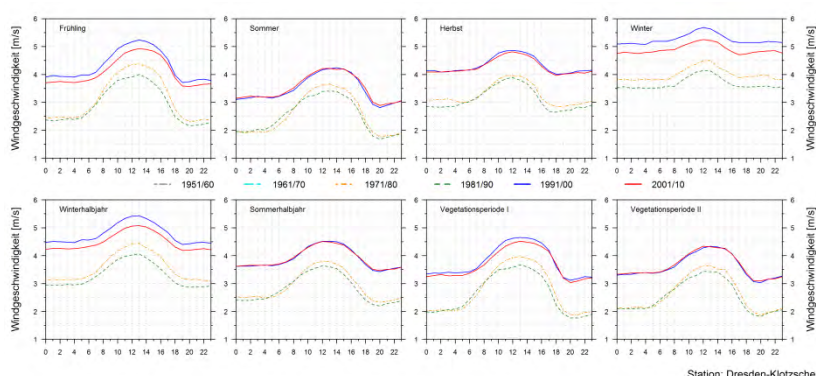
### Leipzig/Halle



### Leipzig-Holzhausen



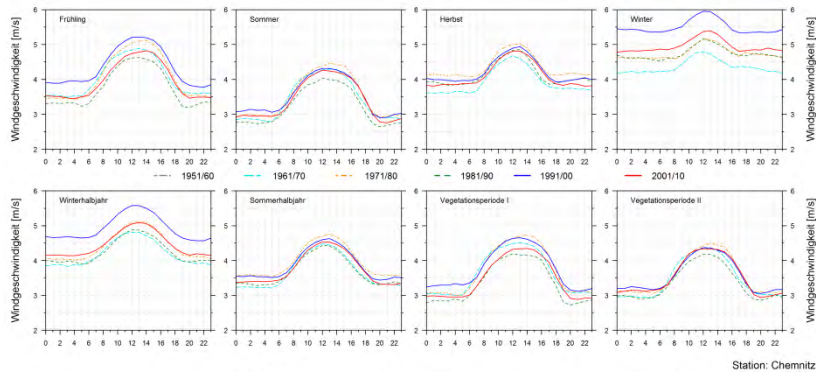
### Görlitz



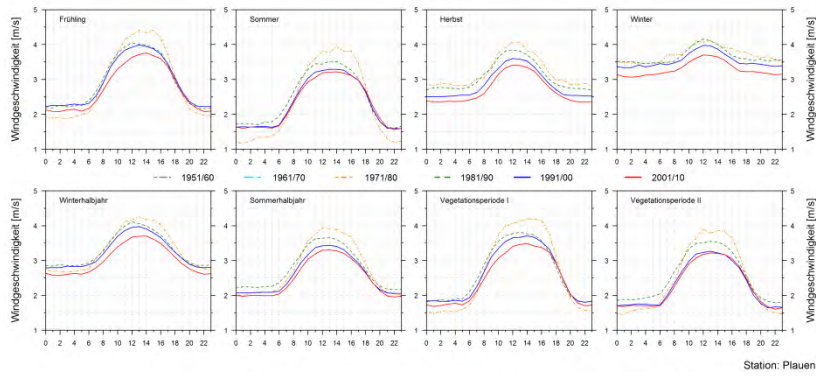
### Dresden-Klotzsche

**A 4.4.1-4a: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

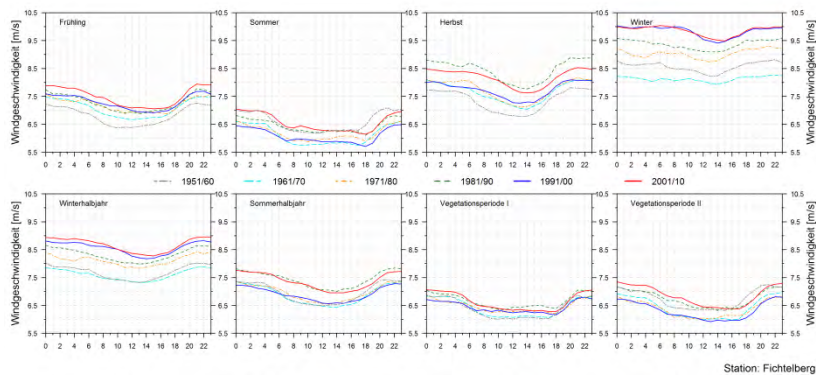




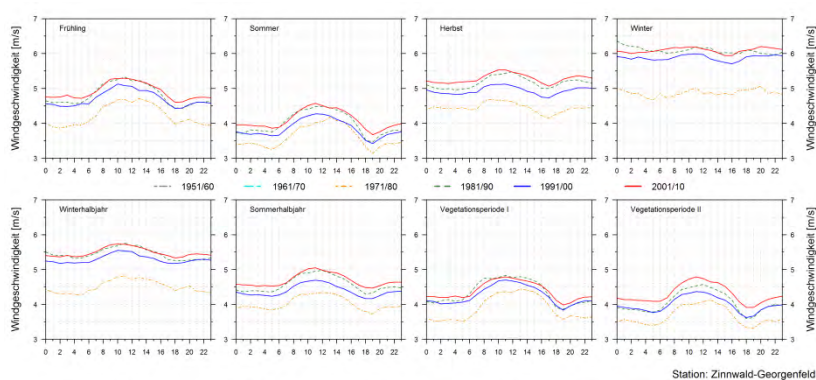
## Chemnitz



## Plauen

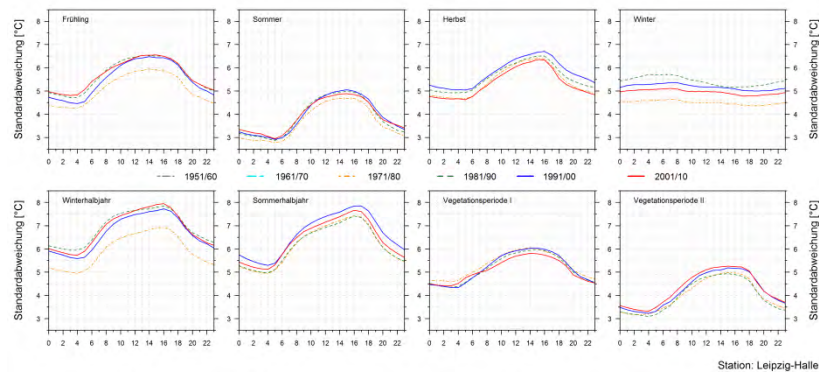


## Fichtelberg

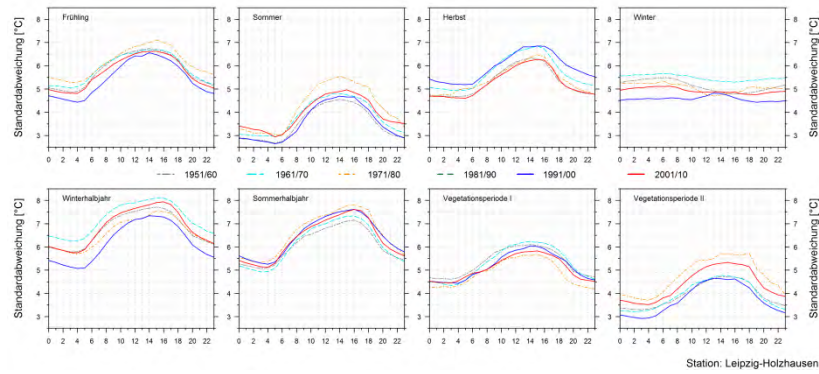


## Zinnwald-Georgenfeld

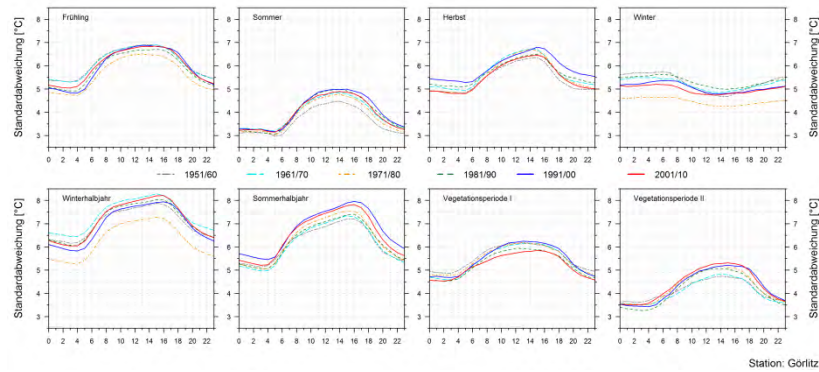
**A 4.4.1-4b: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



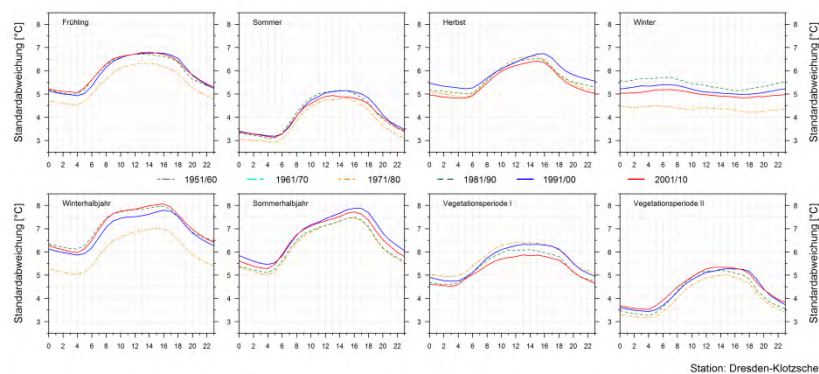
### Leipzig/Halle



### Leipzig-Holzhausen



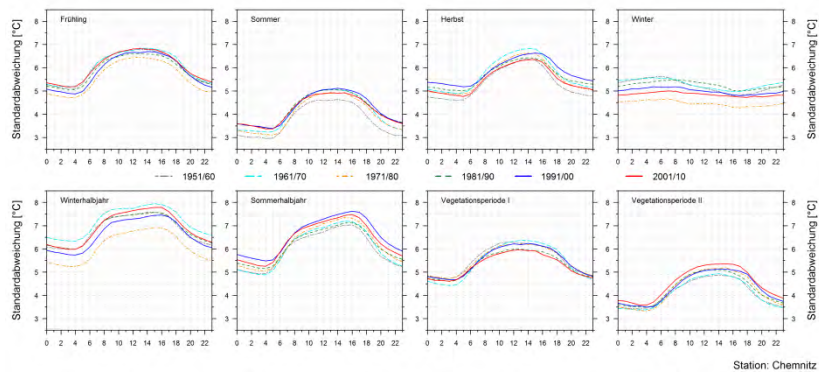
### Görlitz



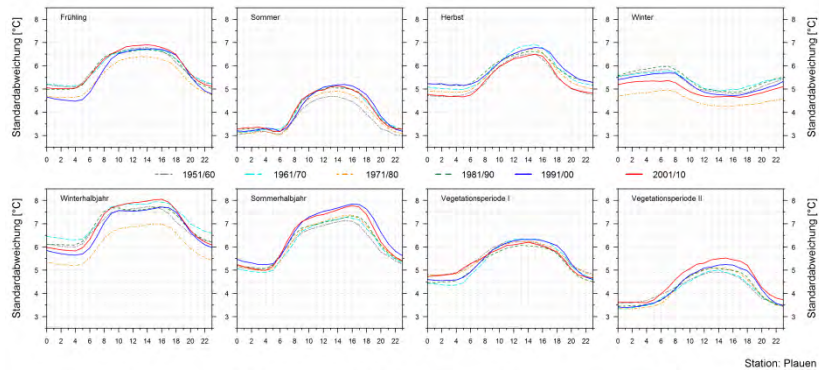
### Dresden-Klotzsche

**A 4.4.2-1a: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

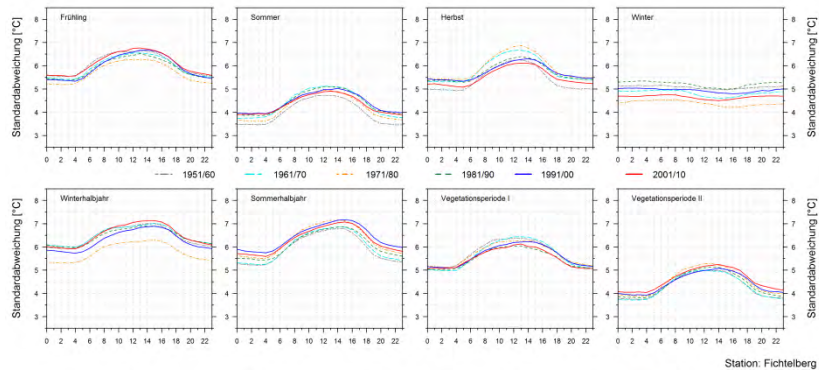




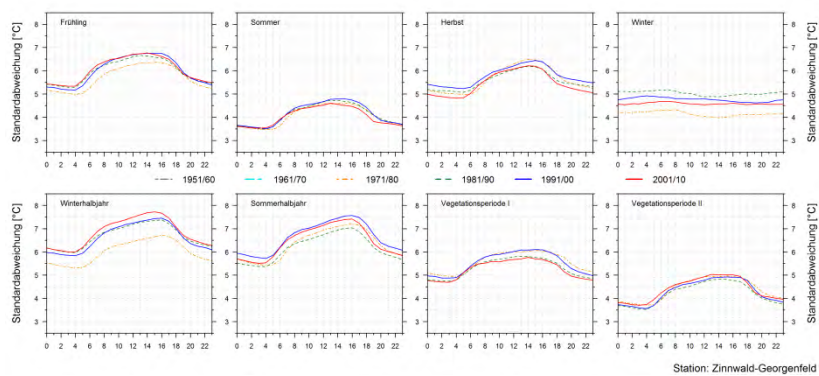
### Chemnitz



### Plauen



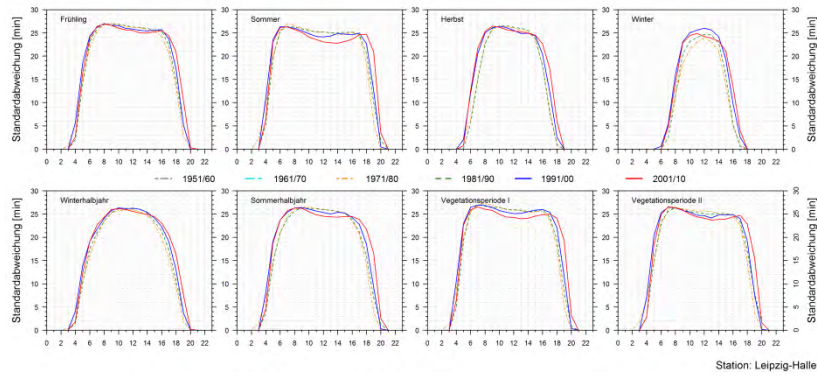
### Fichtelberg



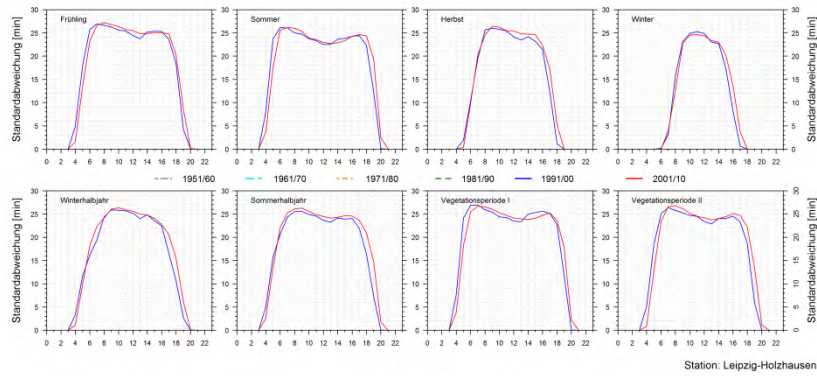
### Zinnwald-Georgenfeld

**A 4.4.2-1b: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Lufttemperatur (°C) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

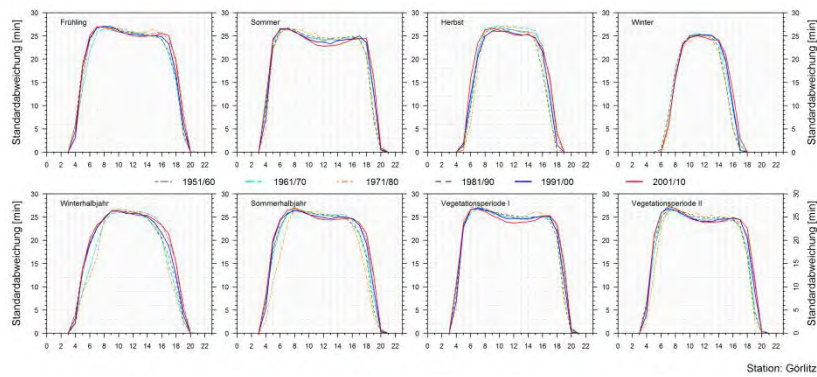




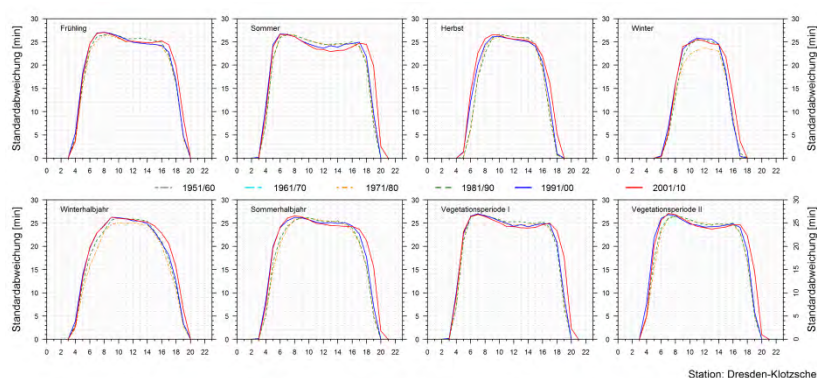
### Leipzig/Halle



### Leipzig-Holzhausen

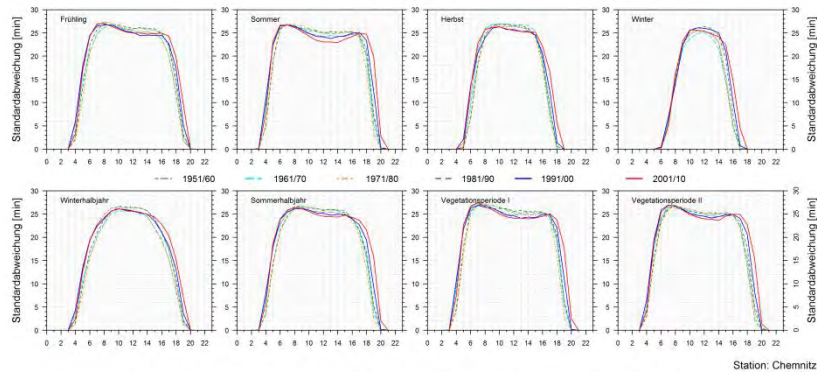


### Görlitz

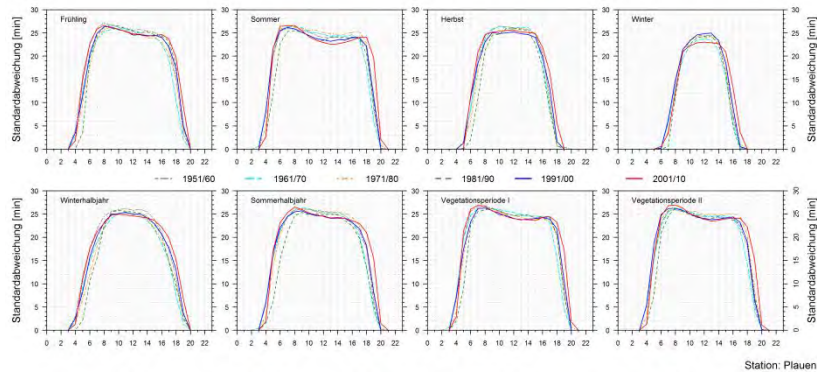


### Dresden-Klotzsche

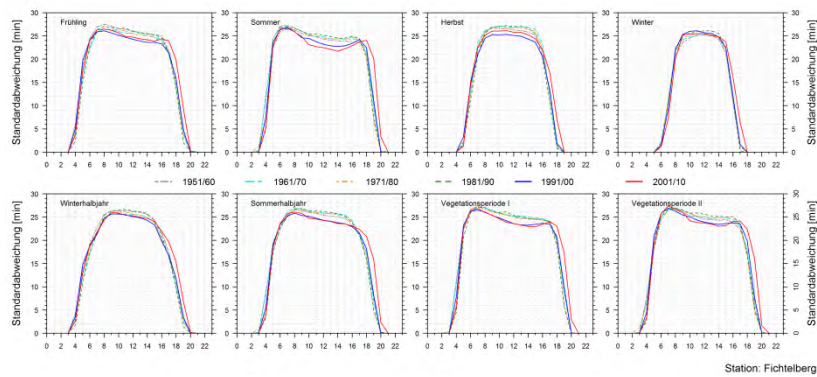
**A 4.4.2-2a: Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) des Schwankungsverhaltens der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



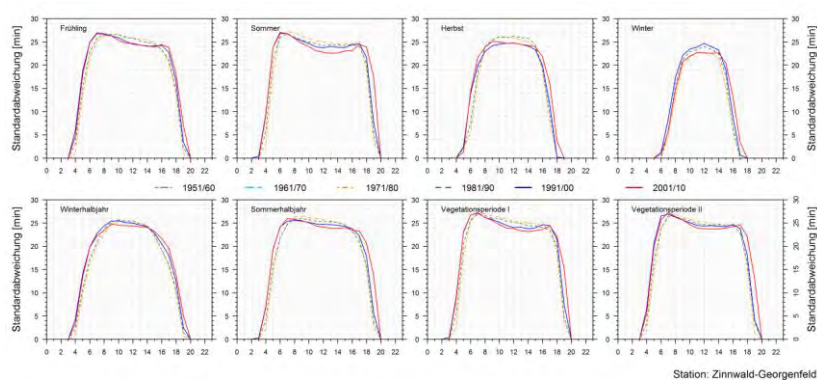
## Chemnitz



## Plauen



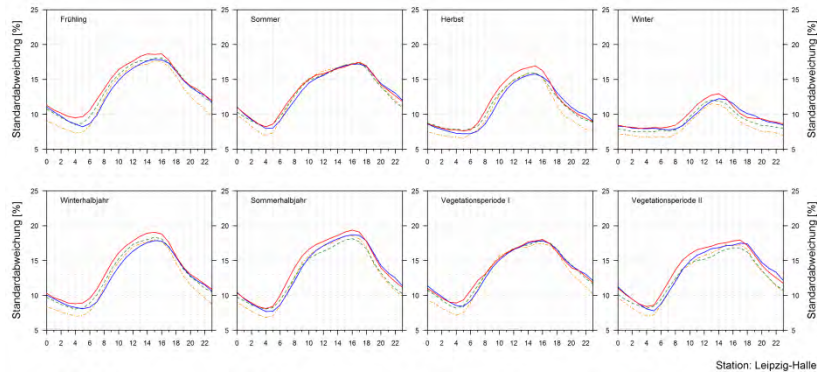
## Fichtelberg



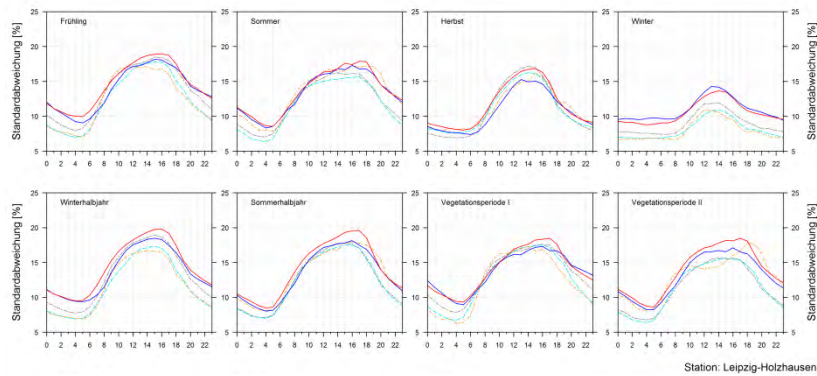
## Zinnwald-Georgenfeld

**A 4.4.2-2b: Mittlerer Tagesgang (Bezug: UTC) des Schwankungsverhaltens der Sonnenscheindauer (min) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

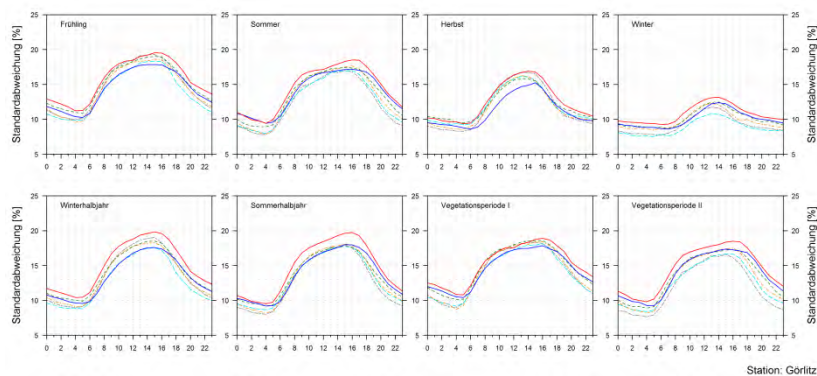




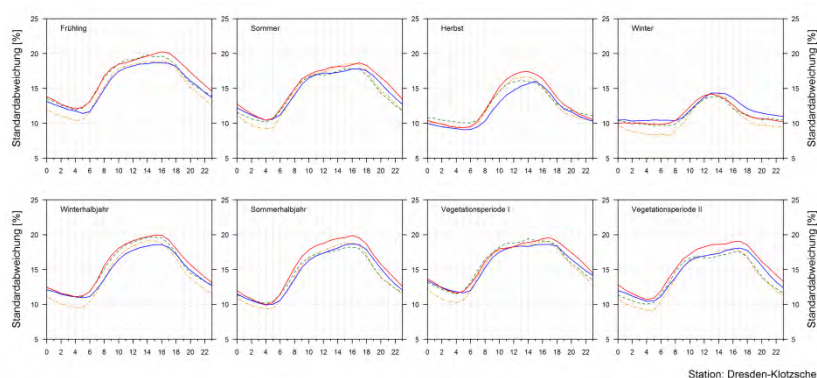
### Leipzig/Halle



### Leipzig-Holzhausen



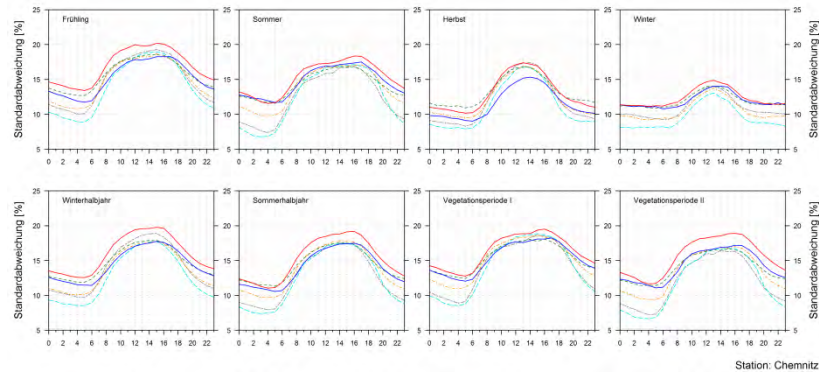
### Görlitz



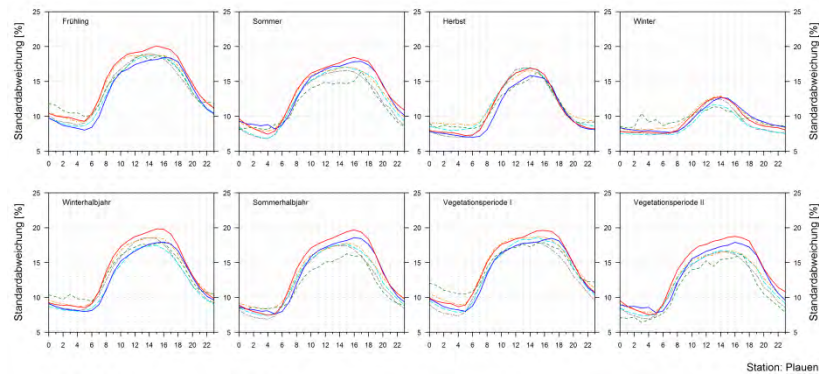
### Dresden-Klotzsche

**A 4.4.2-3a: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

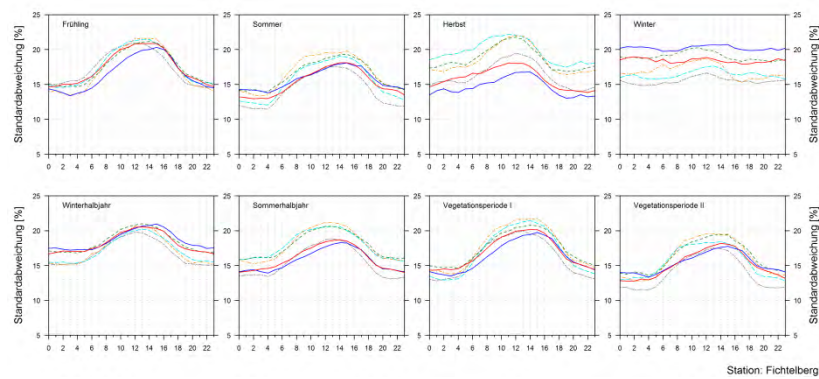




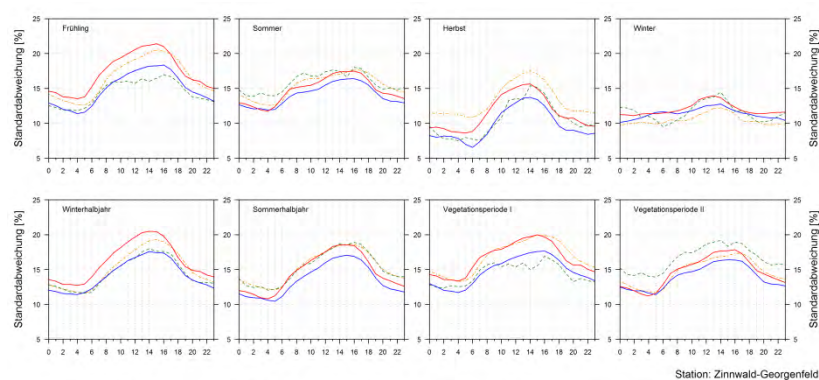
### Chemnitz



### Plauen

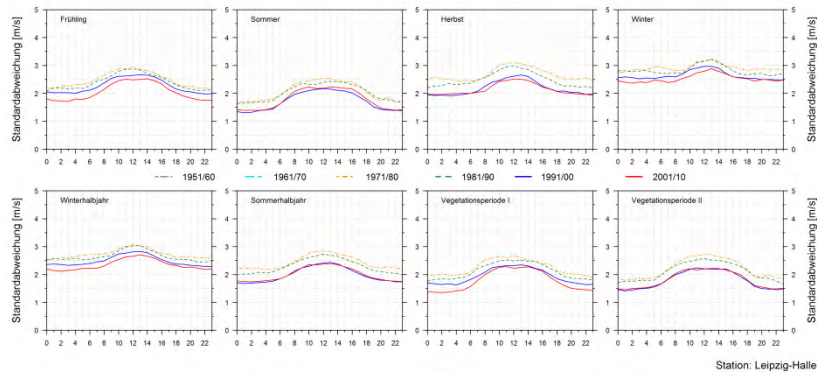


### Fichtelberg

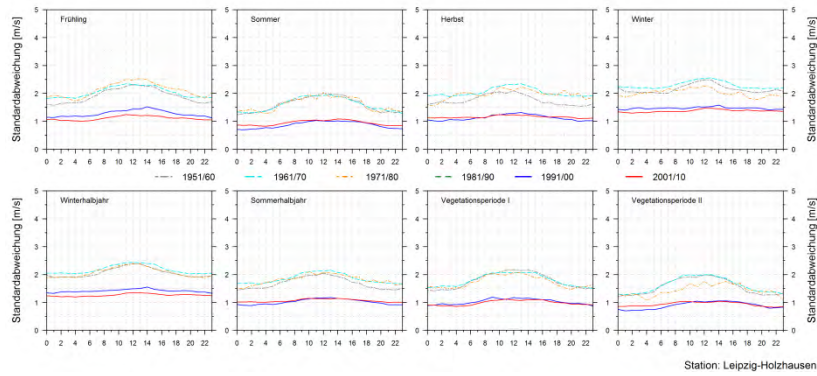


### Zinnwald-Georgenfeld

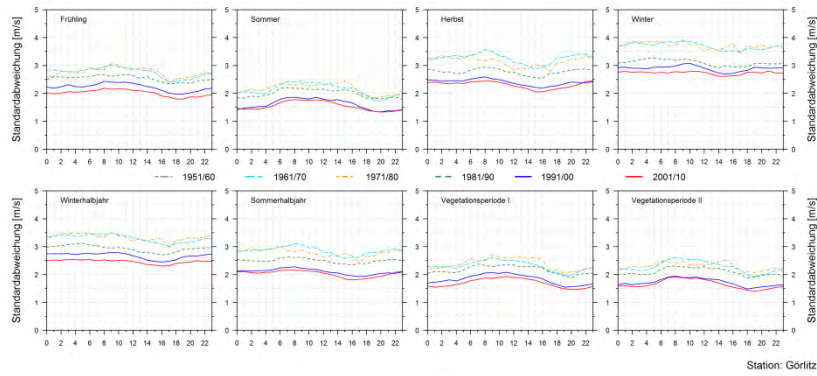
**A 4.4.2-3b: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der relativen Feuchte (%) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



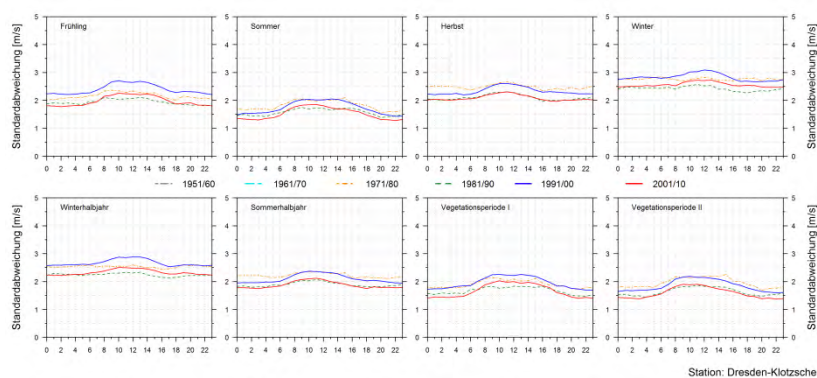
### Leipzig/Halle



### Leipzig-Holzhausen

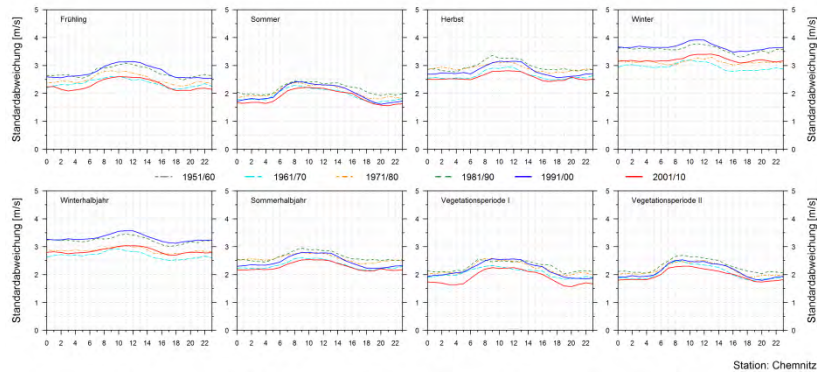


### Görlitz

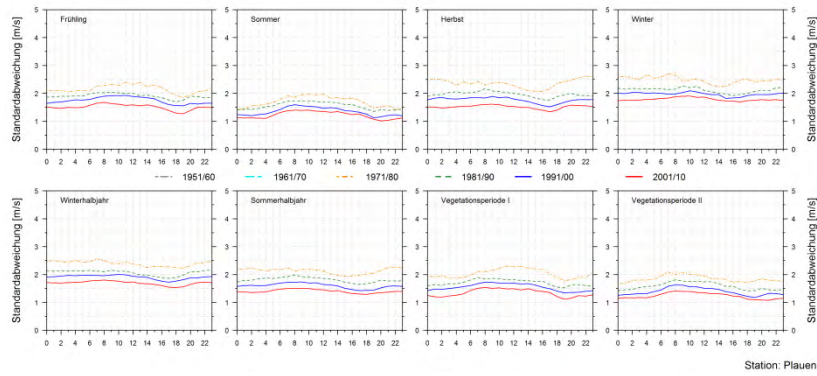


### Dresden-Klotzsche

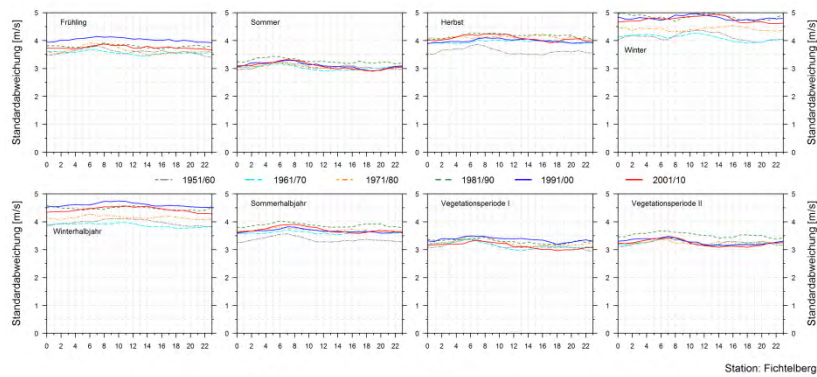
**A 4.4.2-4a: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



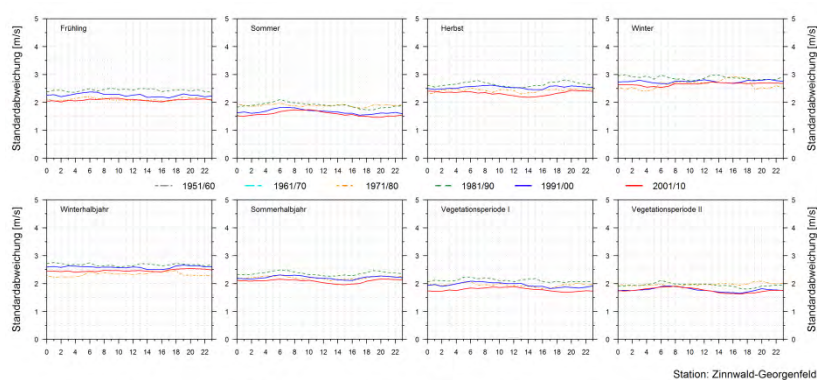
### Chemnitz



### Plauen



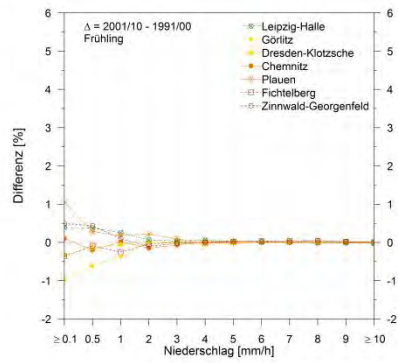
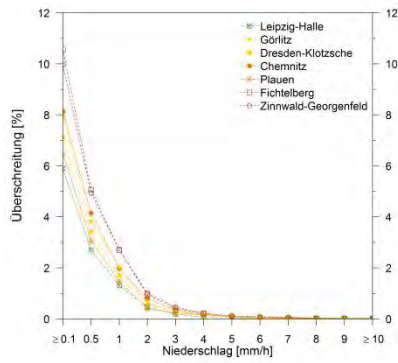
### Fichtelberg



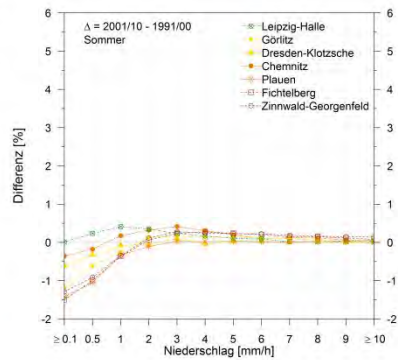
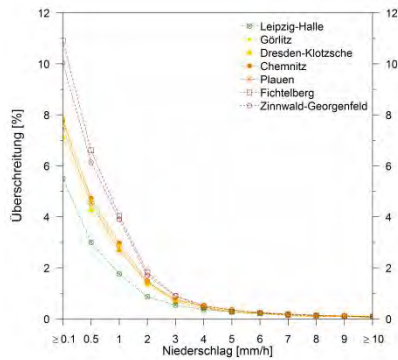
### Zinnwald-Georgenfeld

**A 4.4.2-4b: Mittlerer Tagesgang des Schwankungsverhaltens der Windgeschwindigkeit (m/s) für Dekaden an sächsischen Messstationen, Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**

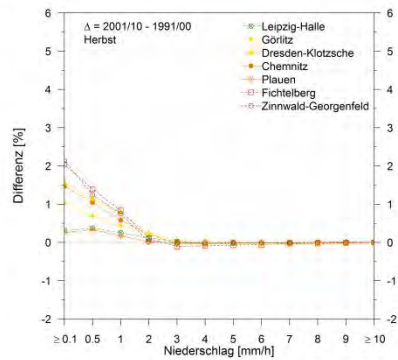
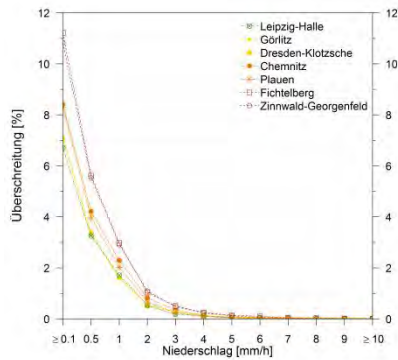




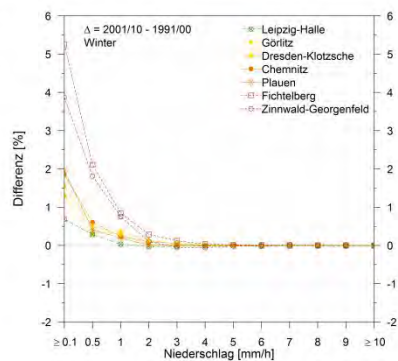
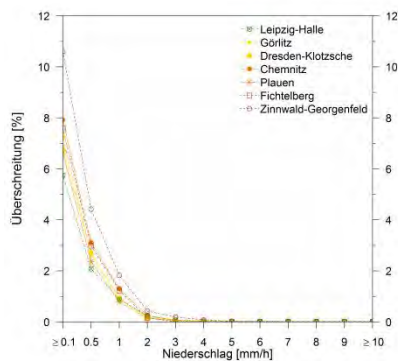
**Frühling**



**Sommer**

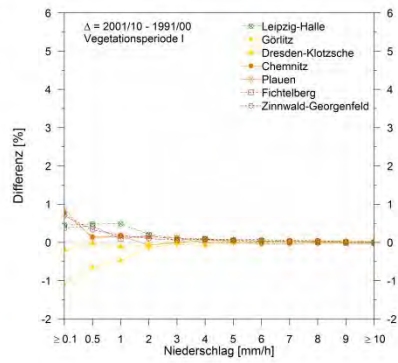
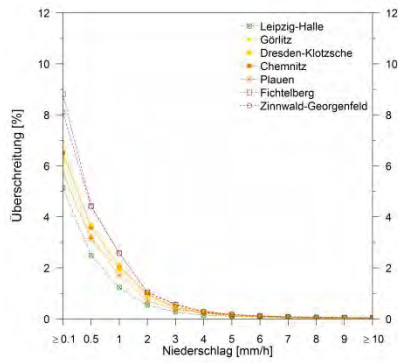


**Herbst**

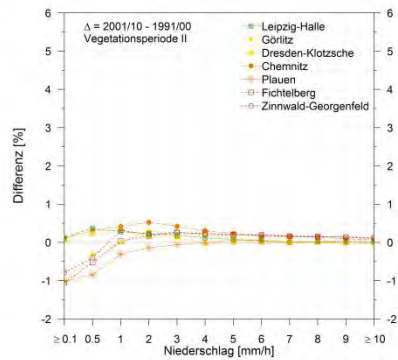
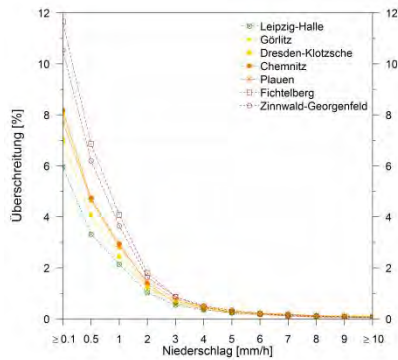


**Winter**

**A 4.4.3-1a: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Regenhöhen  $\geq 0,1$  mm pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten**

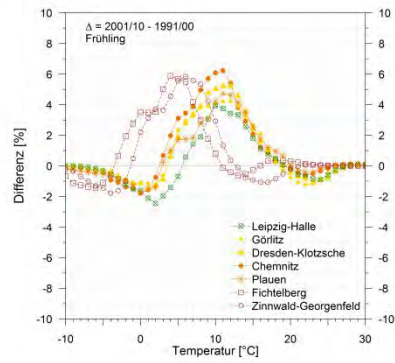
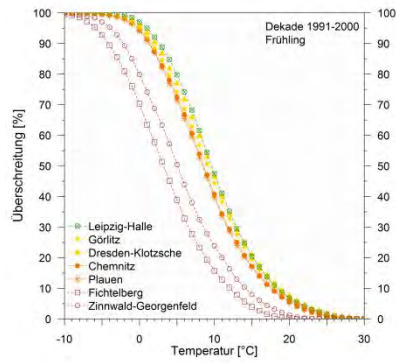


**Vegetationsperiode I**

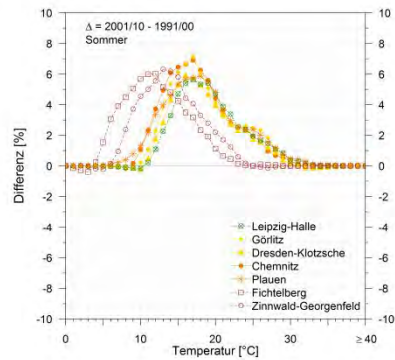
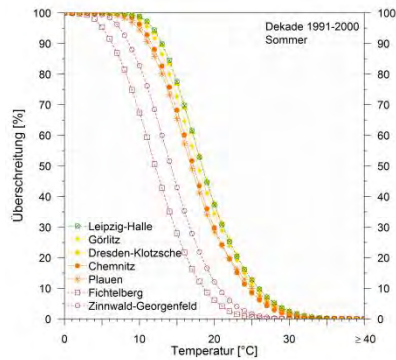


**Vegetationsperiode II**

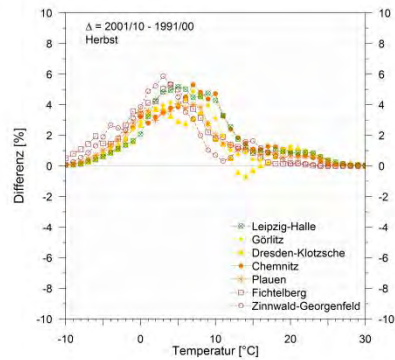
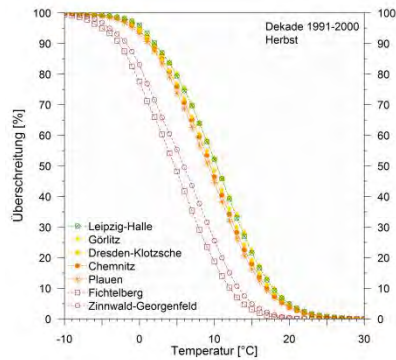
**A 4.4.3-1b: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Regenhöhen  $\geq 0,1$  mm pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Vegetationsperioden**



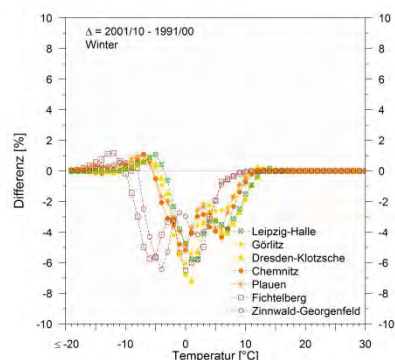
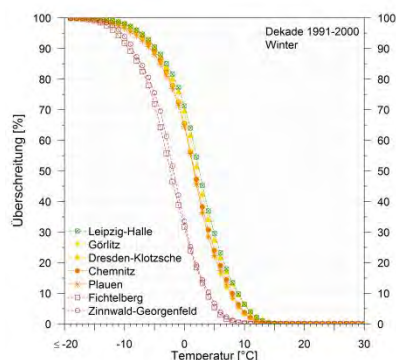
### Frühling



### Sommer



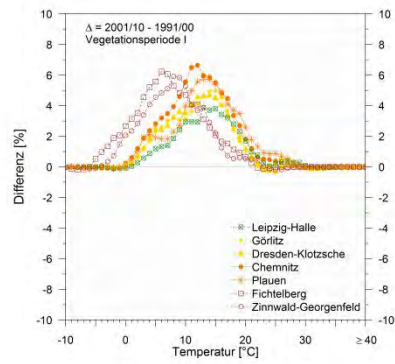
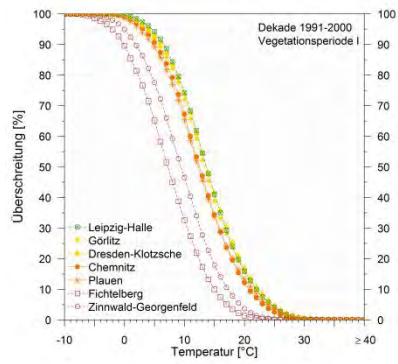
### Herbst



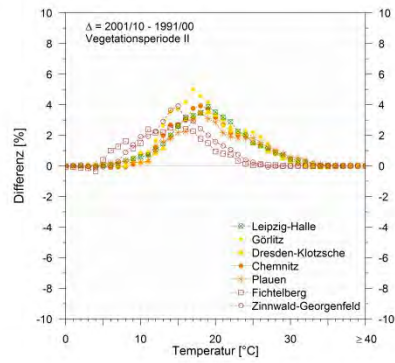
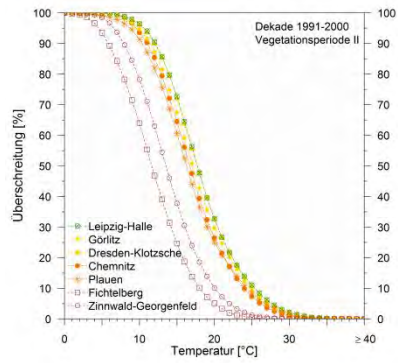
### Winter

**A 4.4.3-2a: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) stündlicher Lufttemperaturen (°C) an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten**



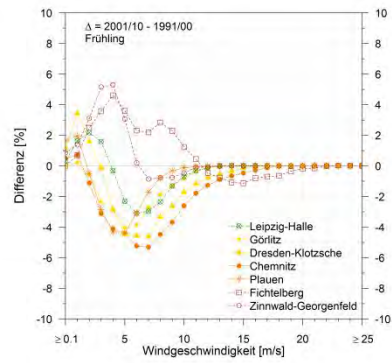
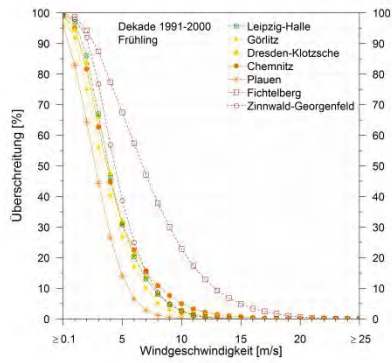


### Vegetationsperiode I

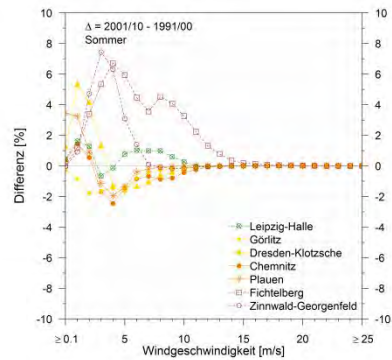
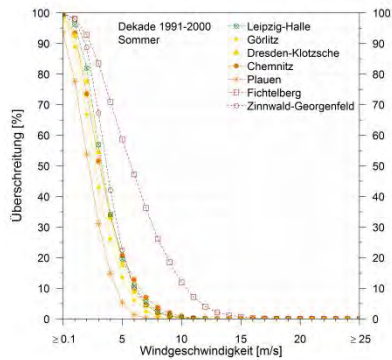


### Vegetationsperiode II

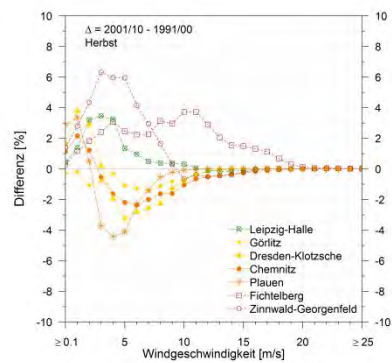
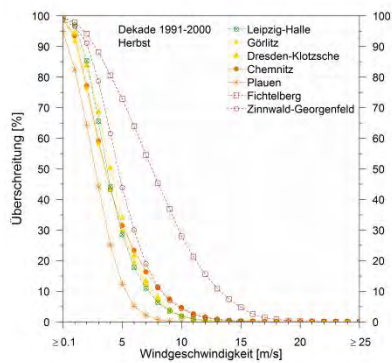
**A 4.4.3-2a: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) stündlicher Lufttemperaturen (°C) an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten**



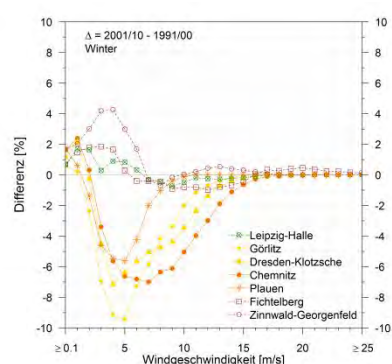
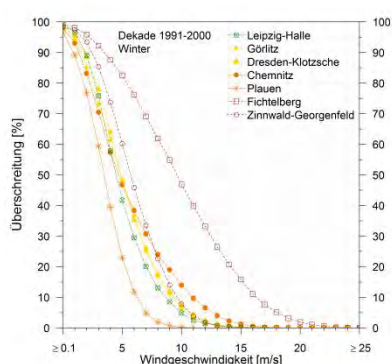
### Frühling



### Sommer

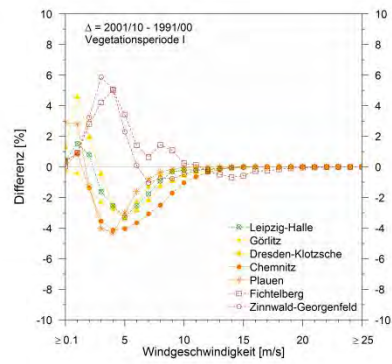
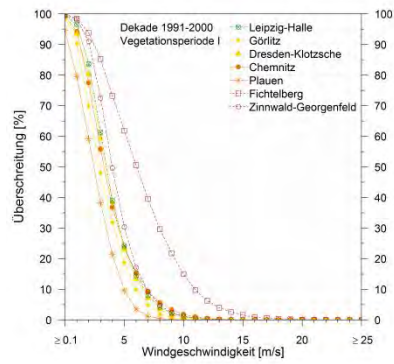


### Herbst

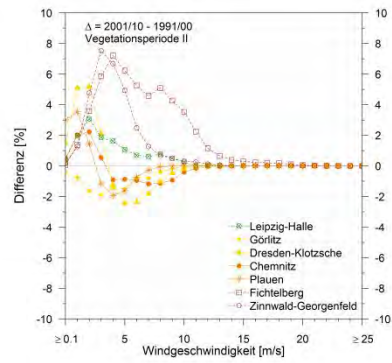
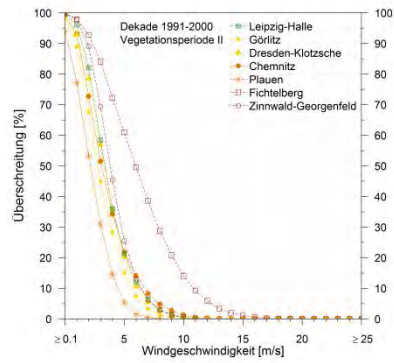


### Winter

**A 4.4.3-3a: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Windgeschwindigkeiten  $\geq 0,1$  m/s pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Jahreszeiten**



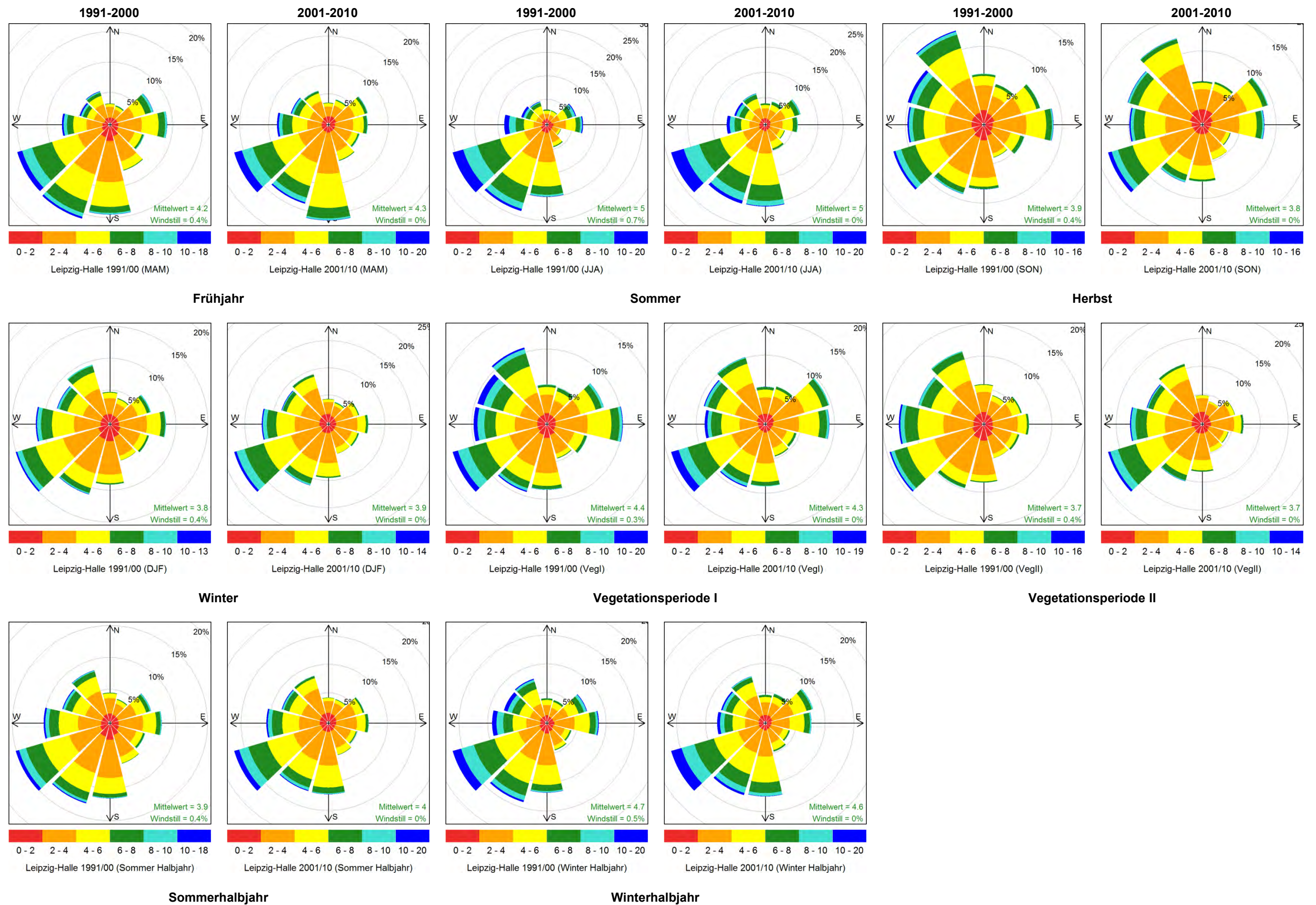
### Vegetationsperiode I



### Vegetationsperiode II

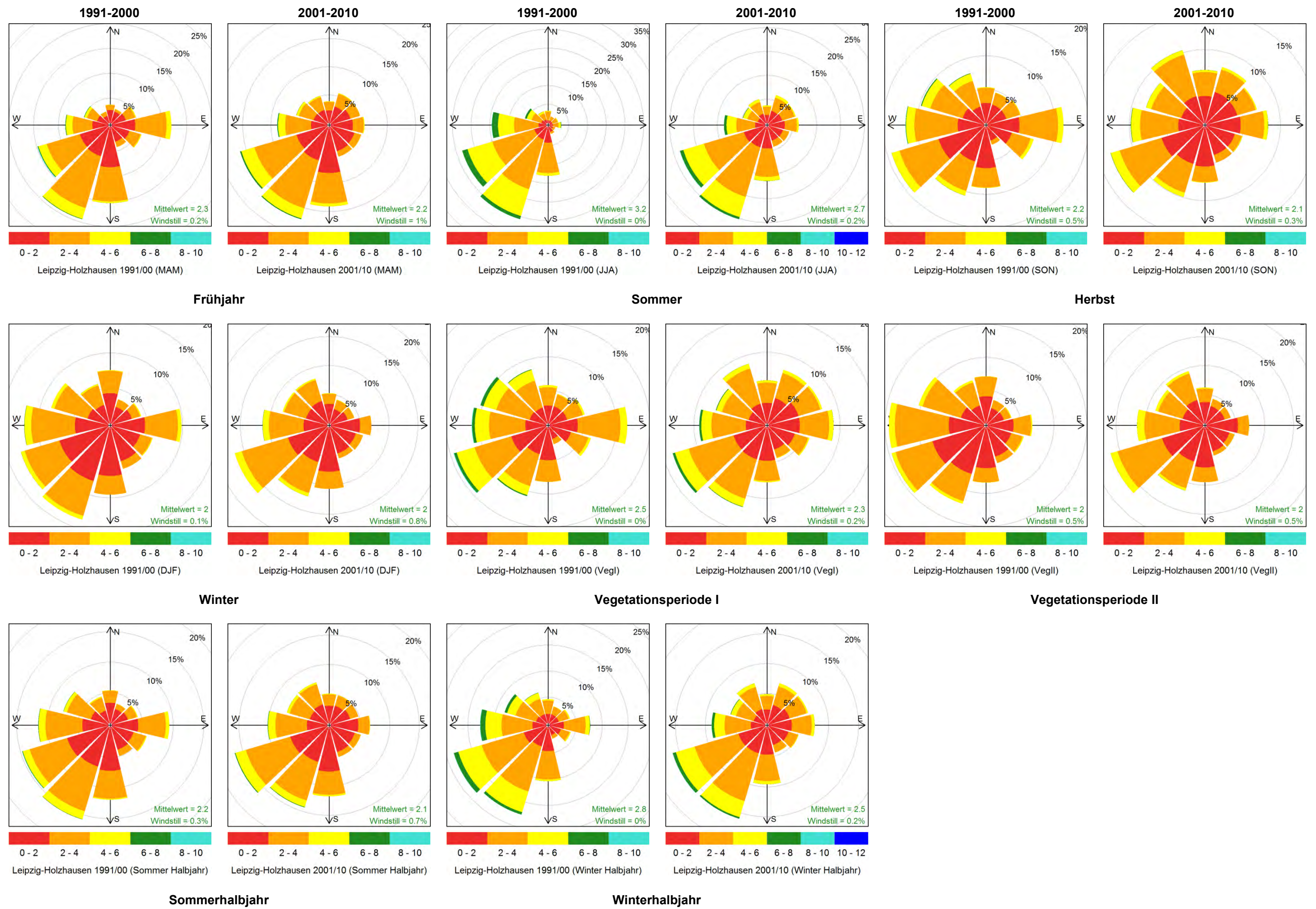
**A 4.4.3-3b: Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) von Windgeschwindigkeiten  $\geq 0,1$  m/s pro Stunde an sächsischen Messstationen für 1991-2000 (links), Änderung (%) für 2001-2010 vs. 1991-2000 (rechts), Vegetationsperioden**





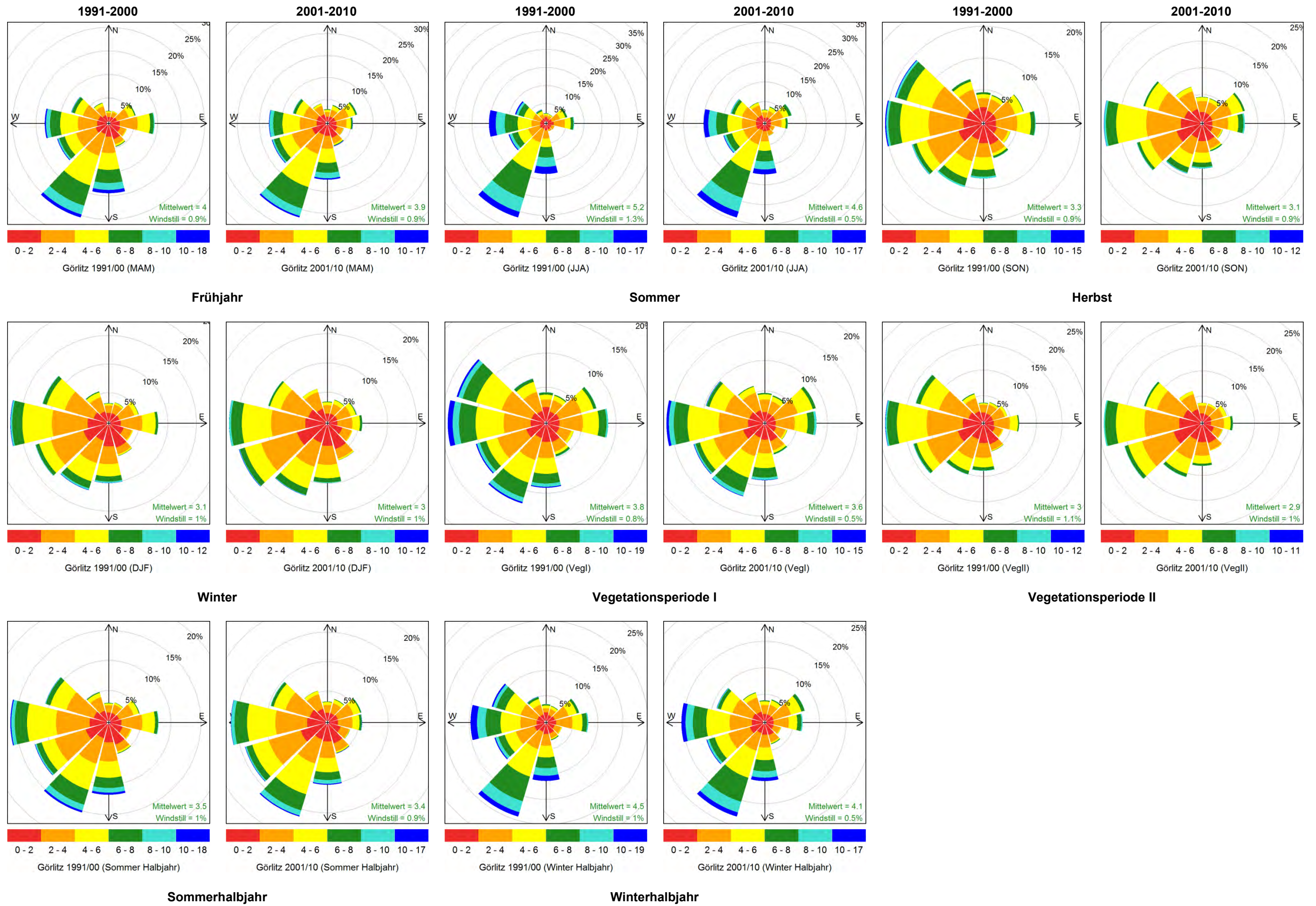
A 4.4.4-1a: Windrosen für die Messstation Leipzig/Halle für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre





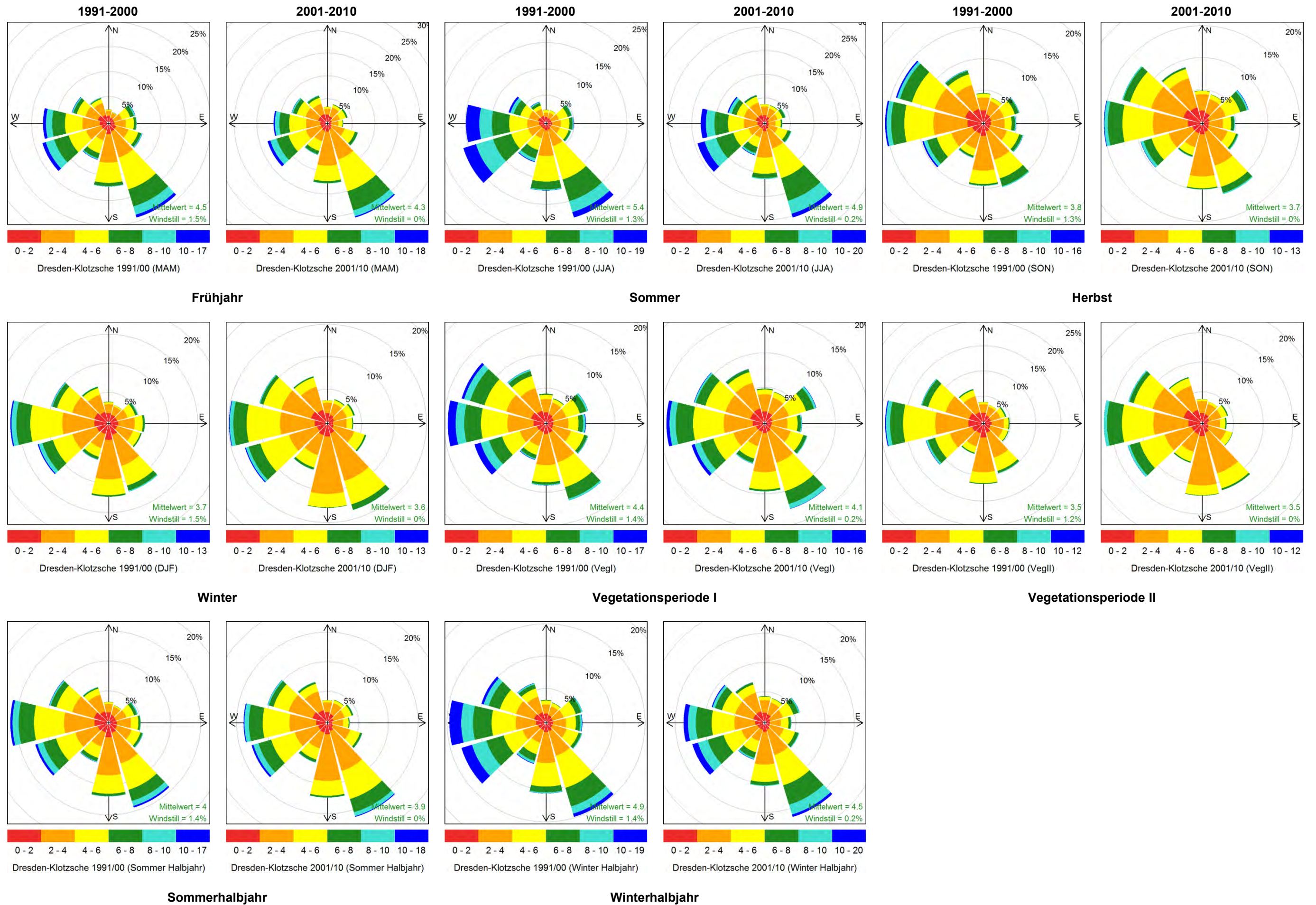
A 4.4.4-1b: Windrosen für die Messstation Leipzig-Holzhausen für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre





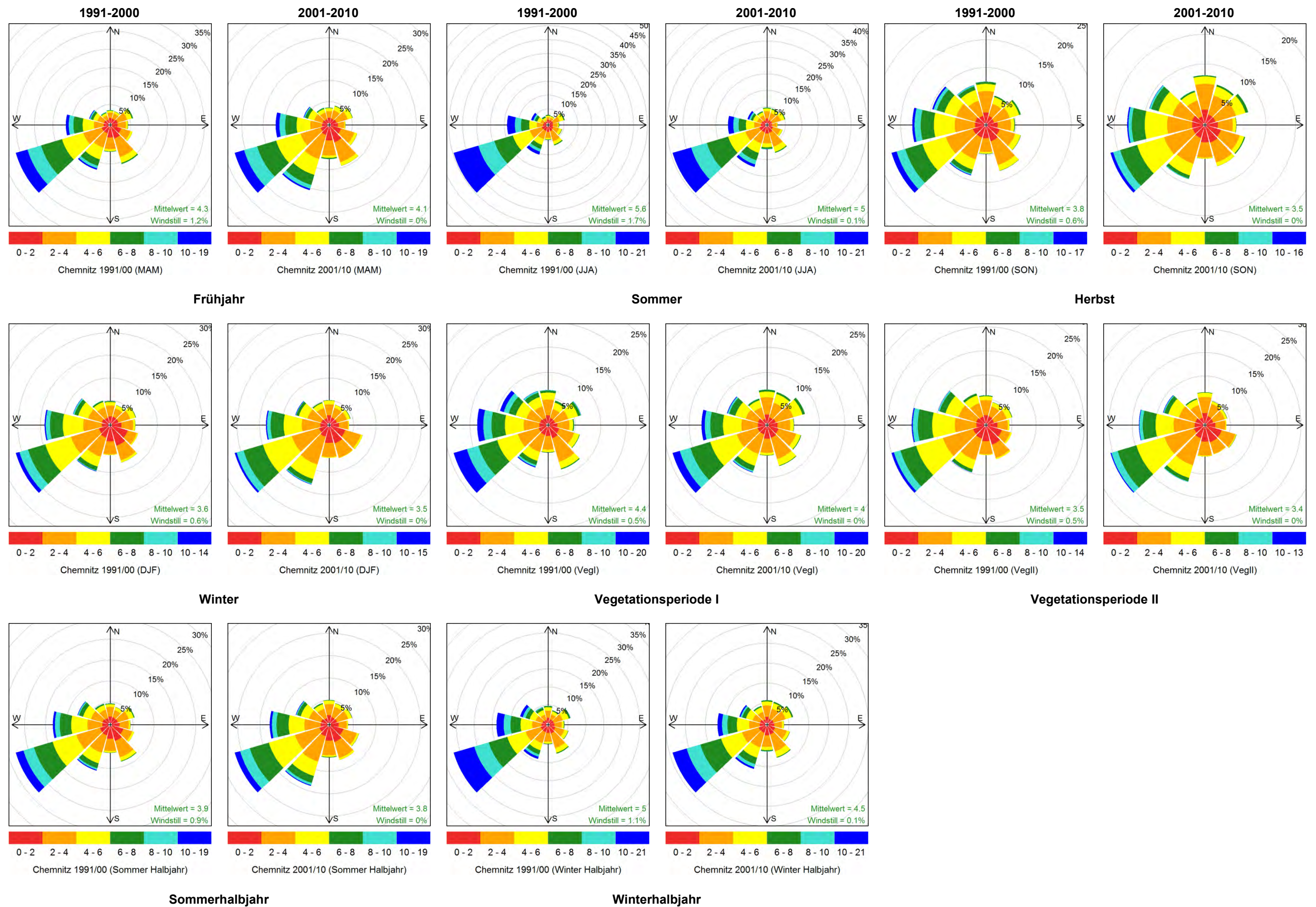
A 4.4.4-1c: Windrosen für die Messstation Görlitz für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre





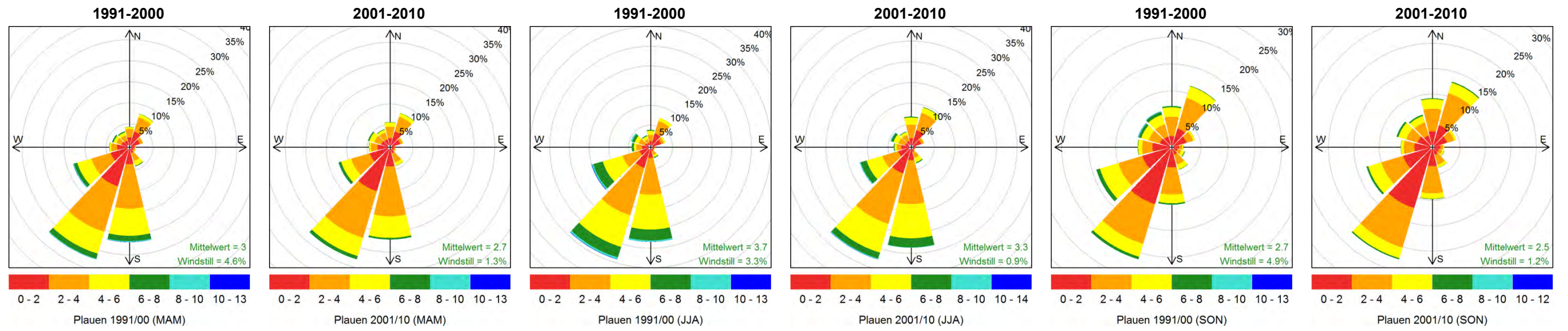
A 4.4.4-1d: Windrosen für die Messstation Dresden-Klotzsche für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre





A 4.4.4-1e: Windrosen für die Messstation Chemnitz für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre

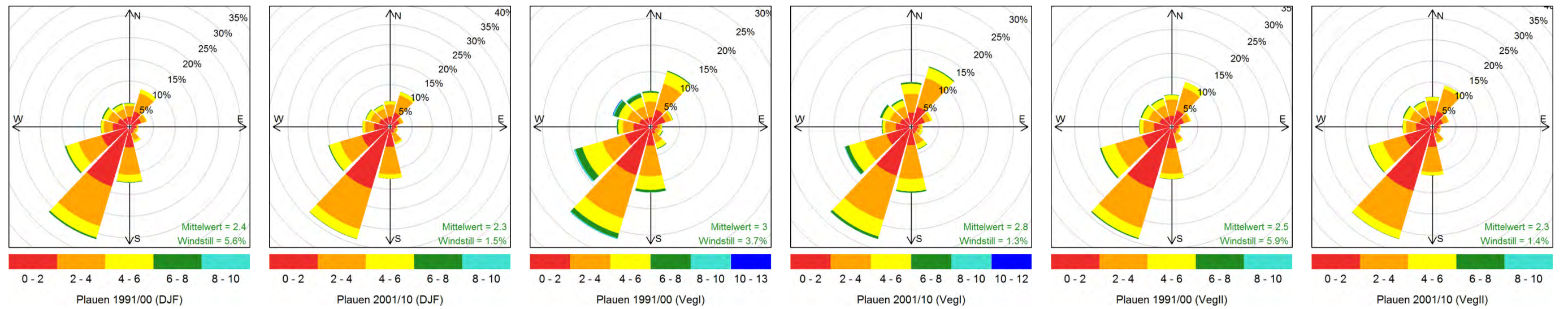




**Frühjahr**

**Sommer**

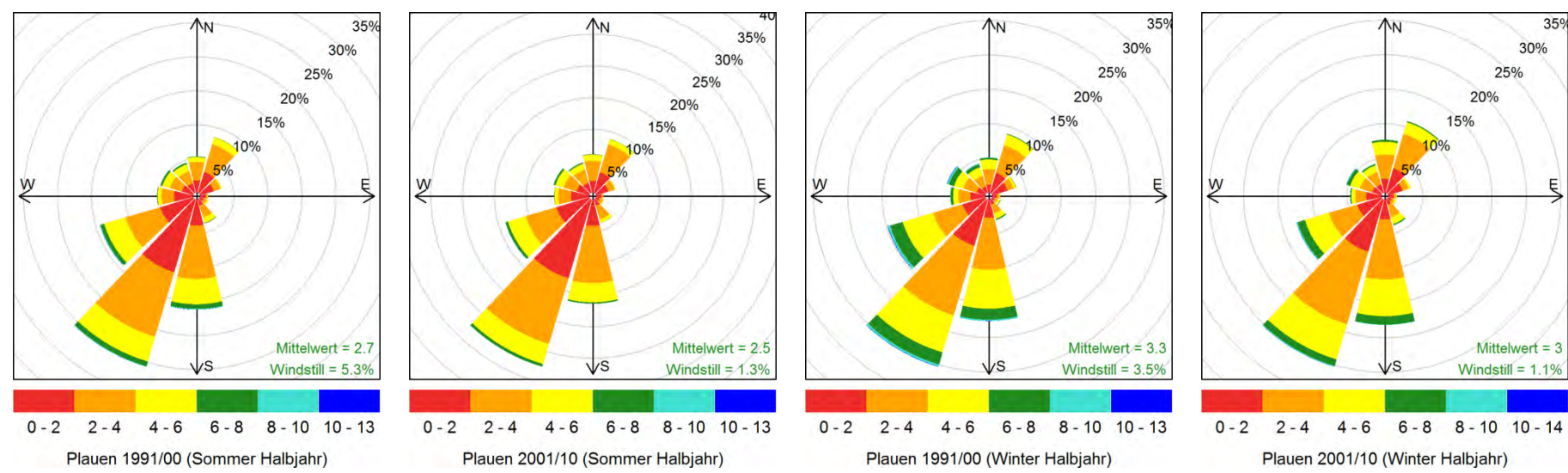
**Herbst**



**Winter**

**Vegetationsperiode I**

**Vegetationsperiode II**

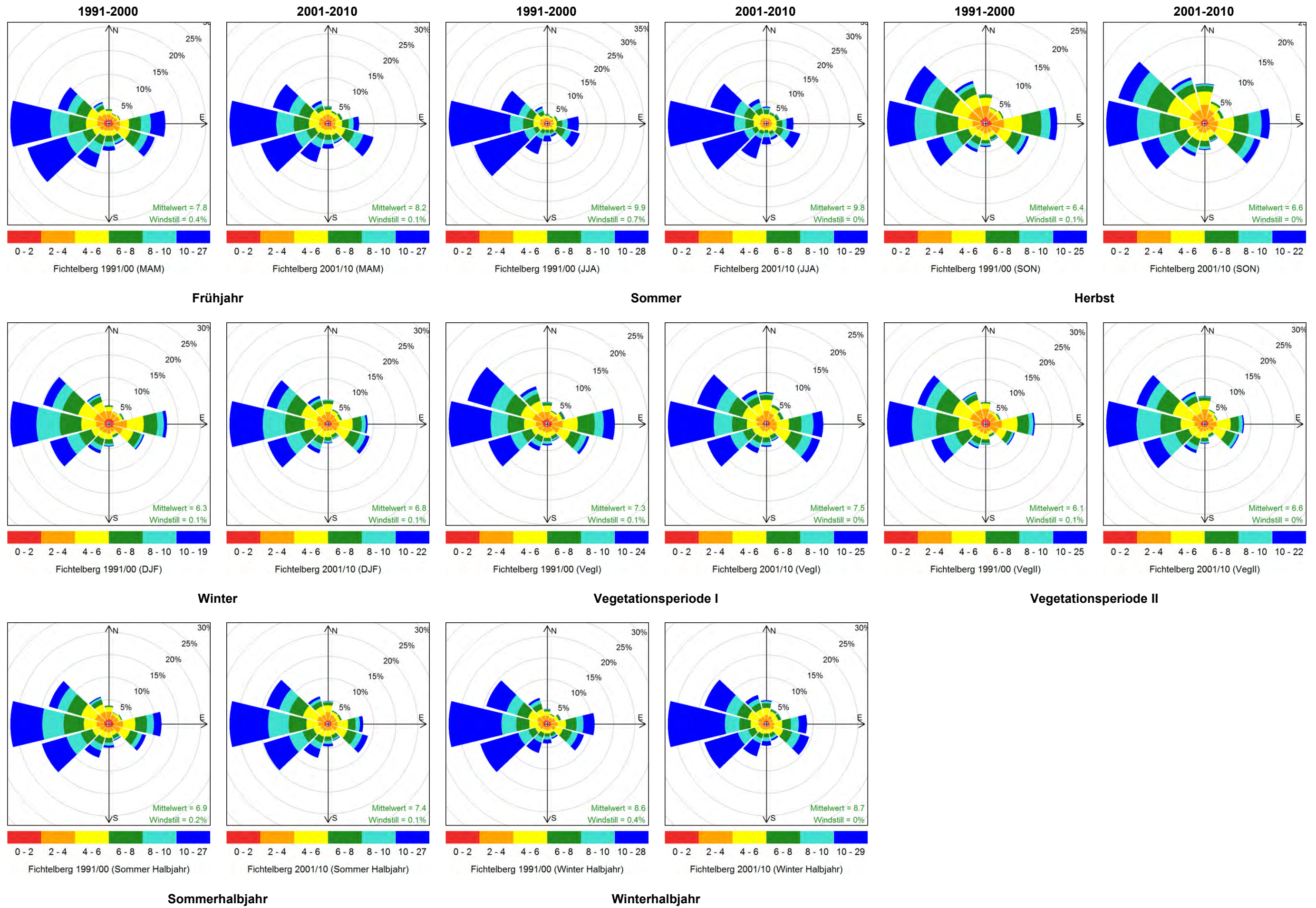


**Sommerhalbjahr**

**Winterhalbjahr**

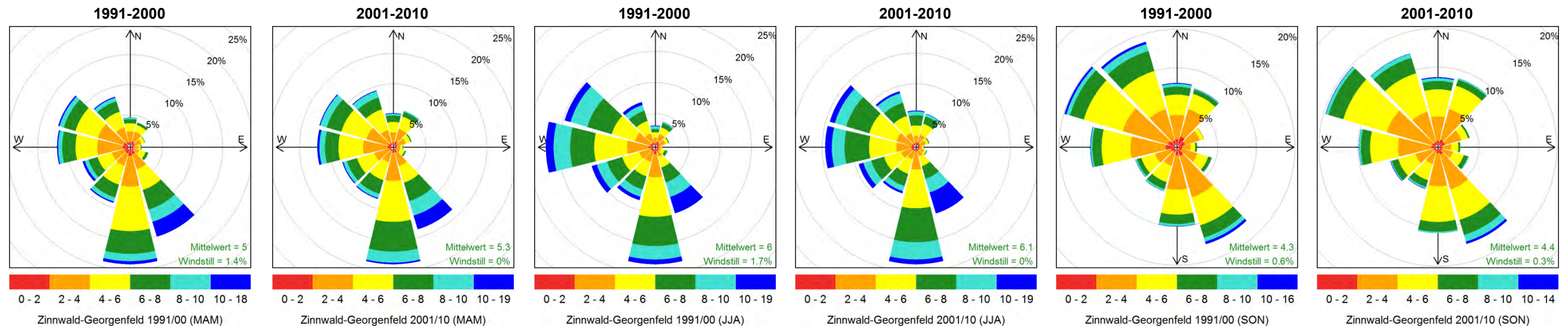
**A 4.4.4-1f: Windrosen für die Messstation Plauen für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**





A 4.4.4-1g: Windrosen für die Messstation Fichtelberg für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre

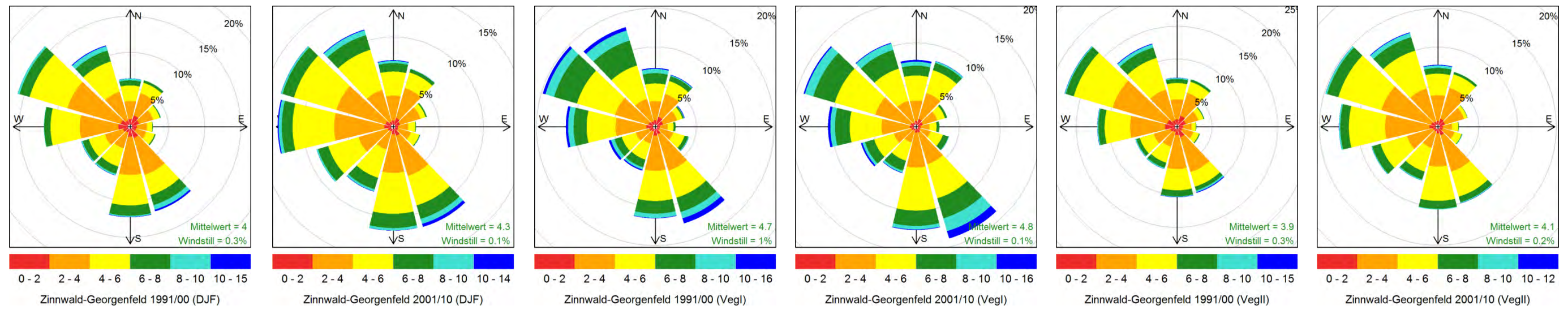




**Frühjahr**

**Sommer**

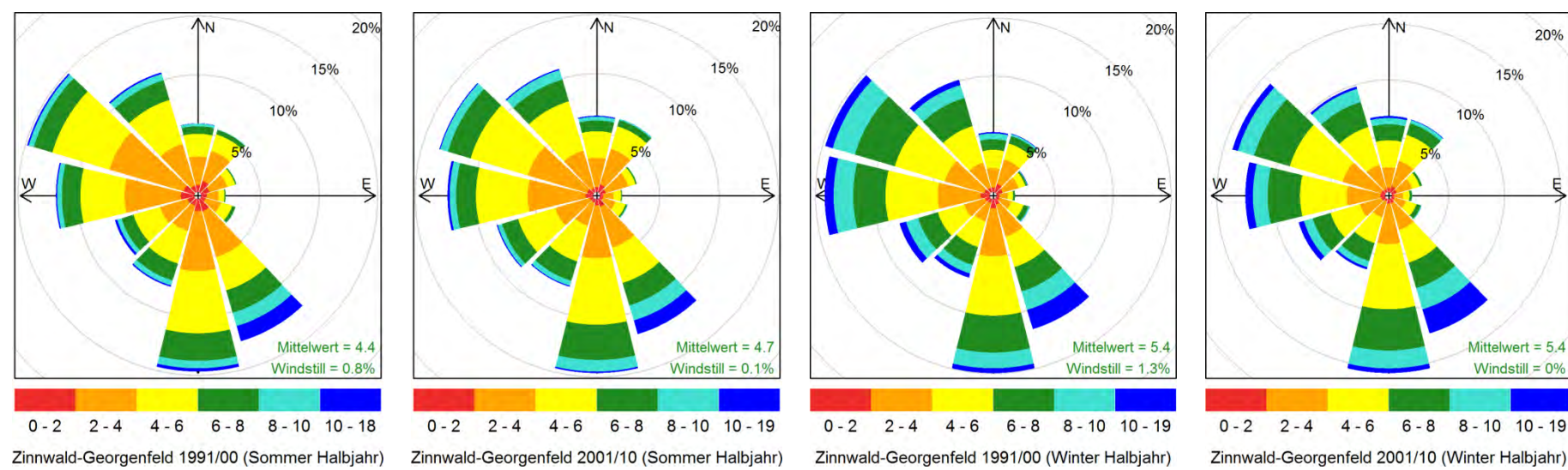
**Herbst**



**Winter**

**Vegetationsperiode I**

**Vegetationsperiode II**

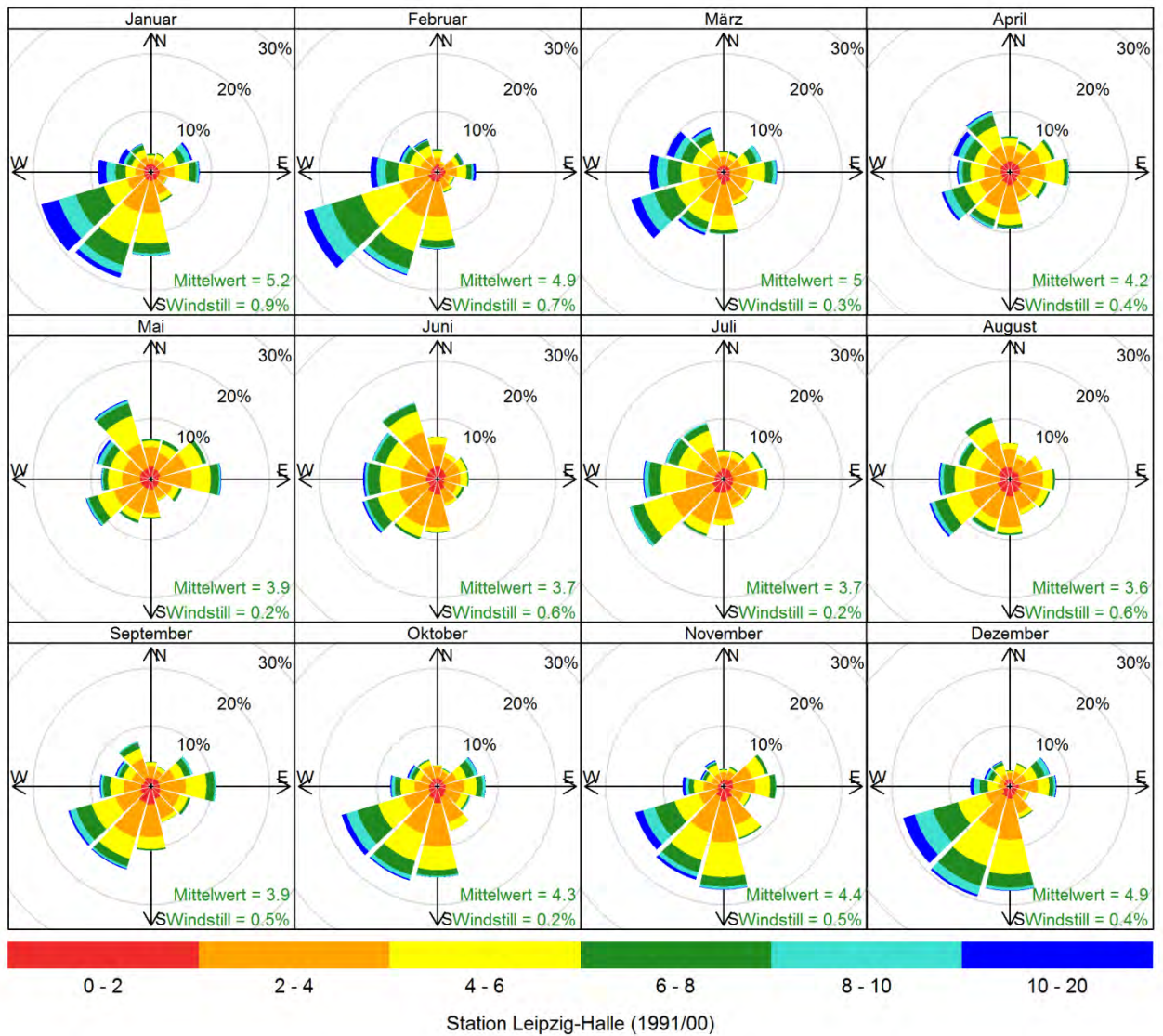


**Sommerhalbjahr**

**Winterhalbjahr**

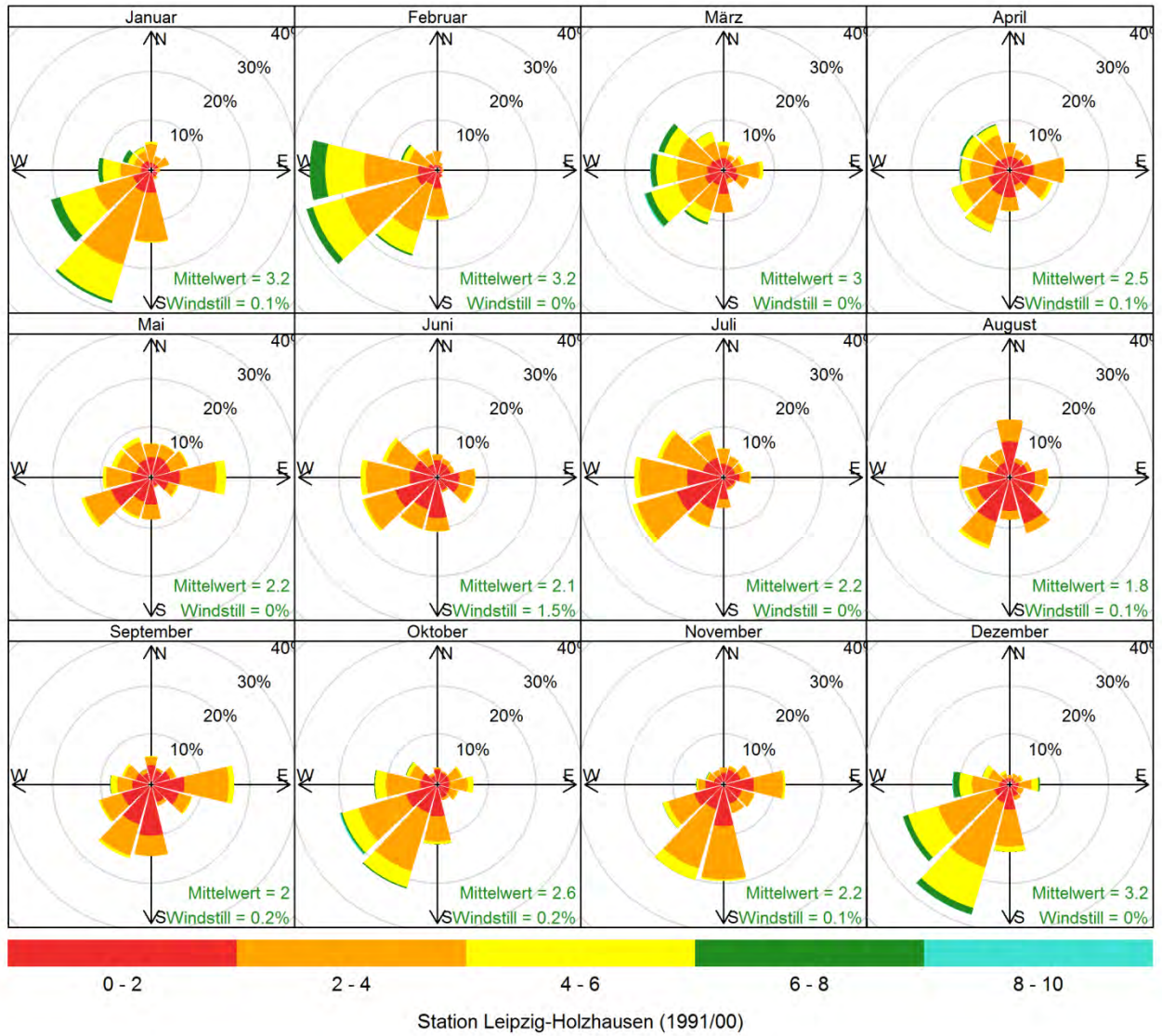
**A 4.4.4-1h: Windrosen für die Messstation Zinnwald-Georgenfeld für 1991-2000 (links) und 2001-2010 (rechts), Jahreszeiten, Vegetationsperioden, meteorologische Halbjahre**



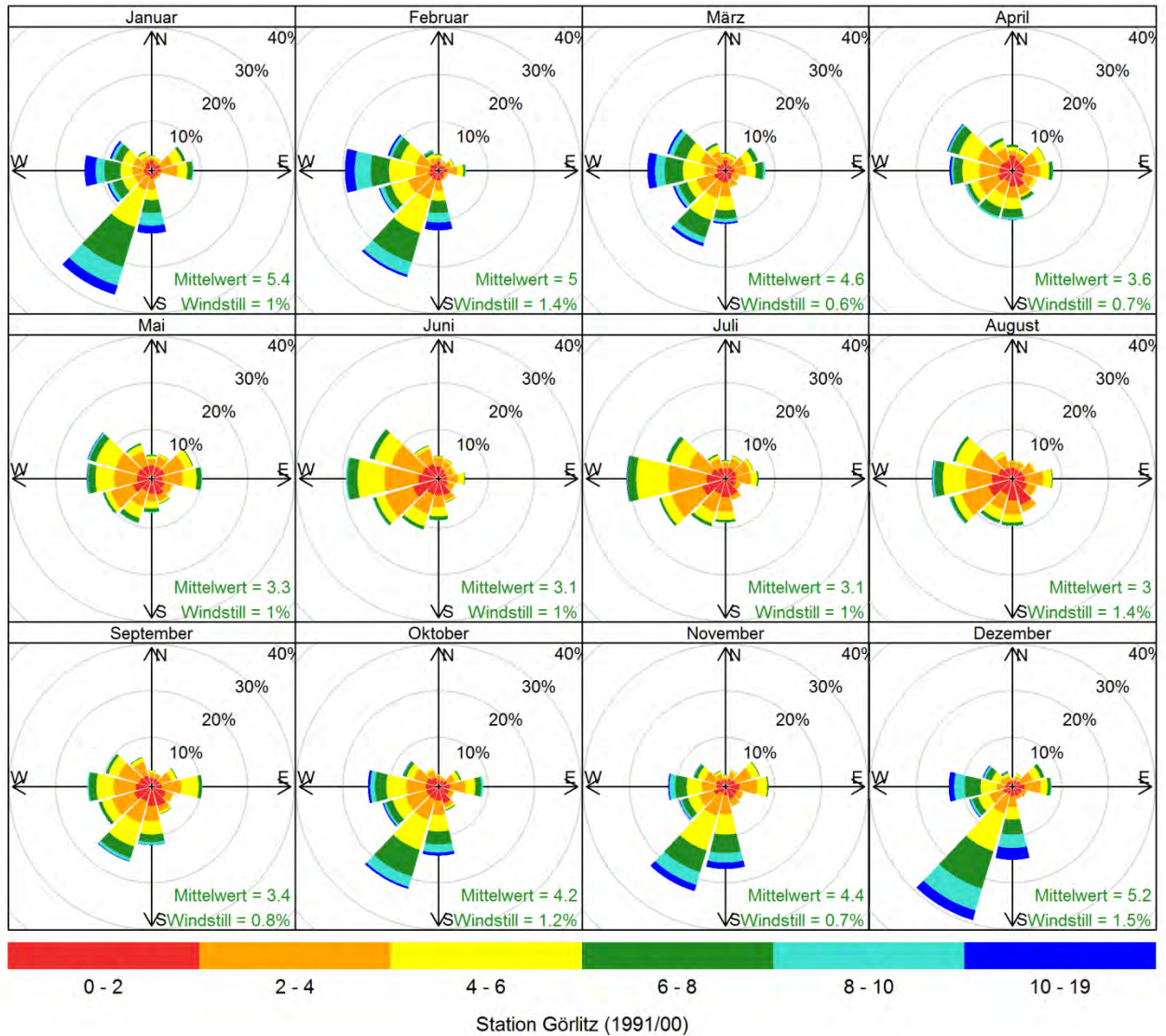


A 4.4.4-2a: Windrosen für die Messstation Leipzig/Halle für 1991-2000, Monate

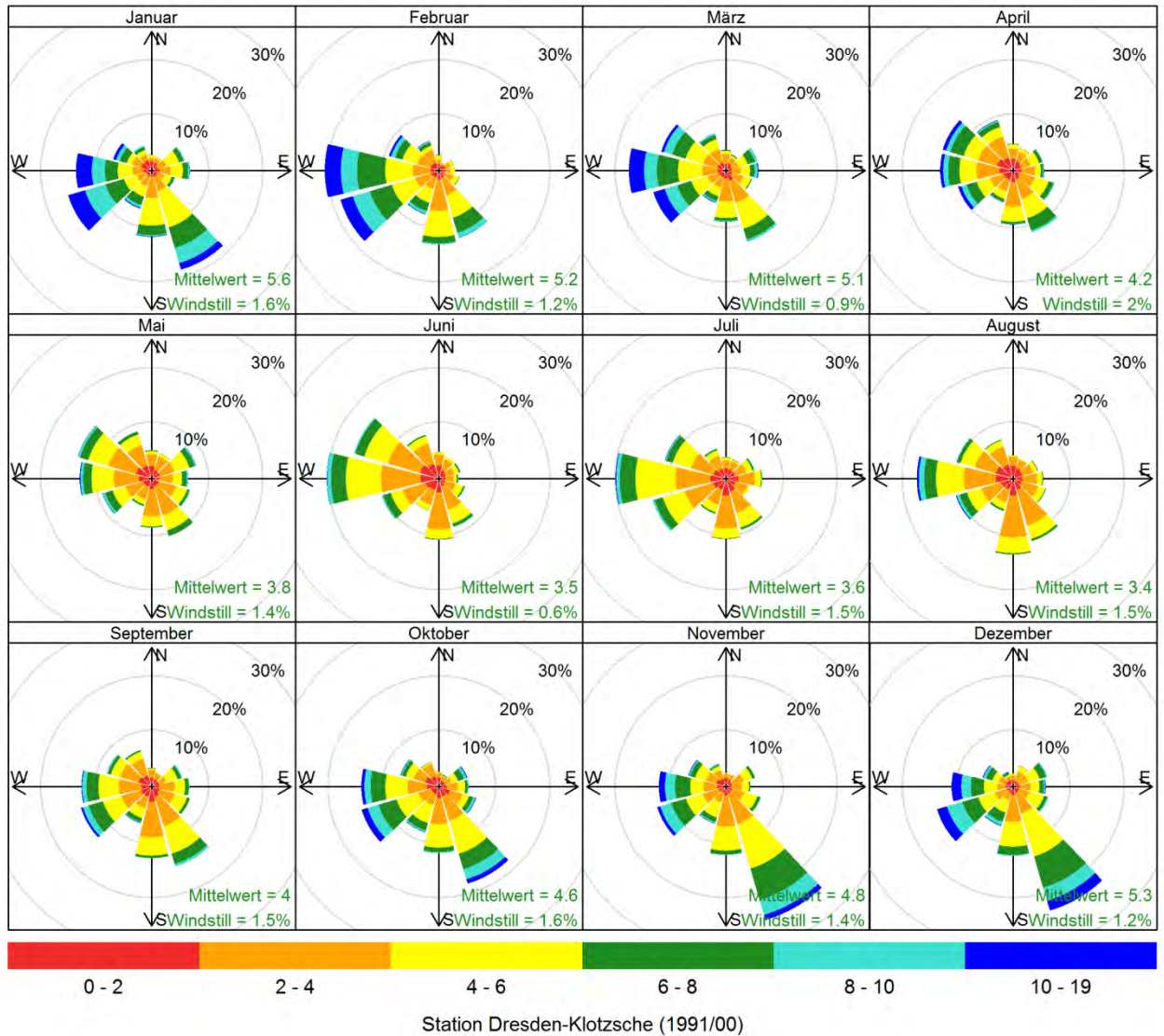




A 4.4.4-2b: Windrosen für die Messstation Leipzig-Holzhausen für 1991-2000, Monate

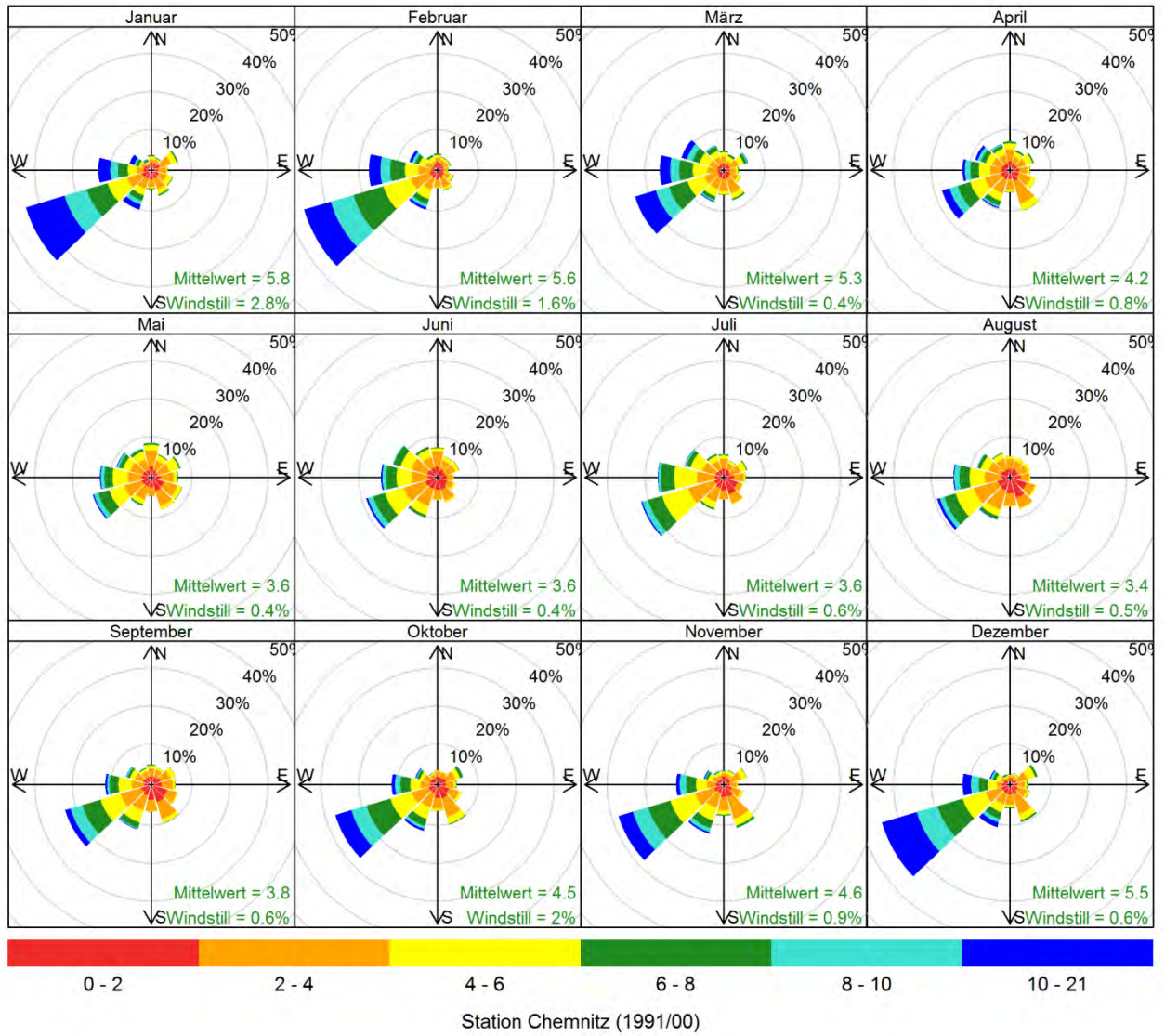


**A 4.4.4-2c: Windrosen für die Messstation Görlitz für 1991-2000, Monate**

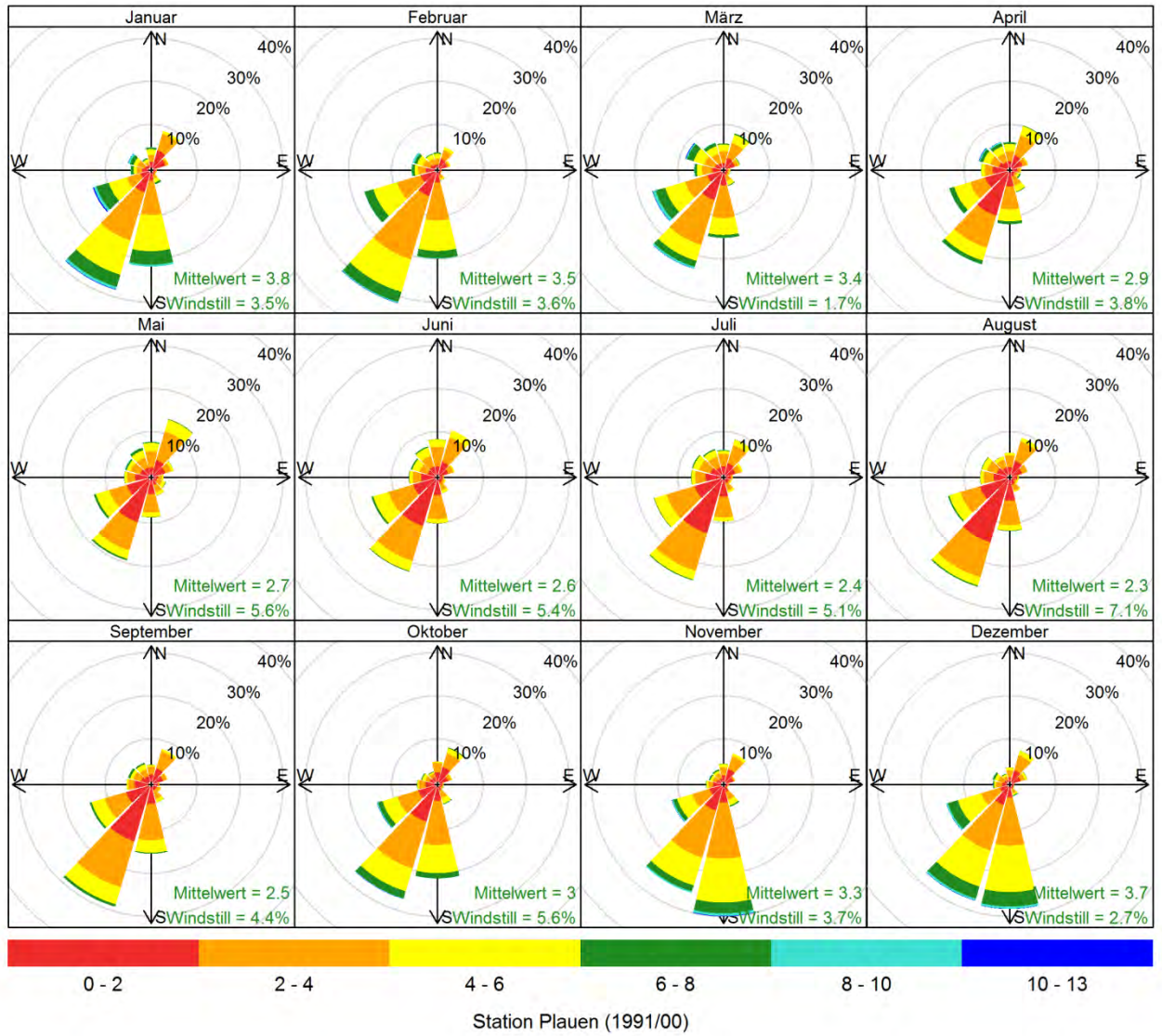


A 4.4.4-2d: Windrosen für die Messstation Dresden-Klotzsche für 1991-2000, Monate

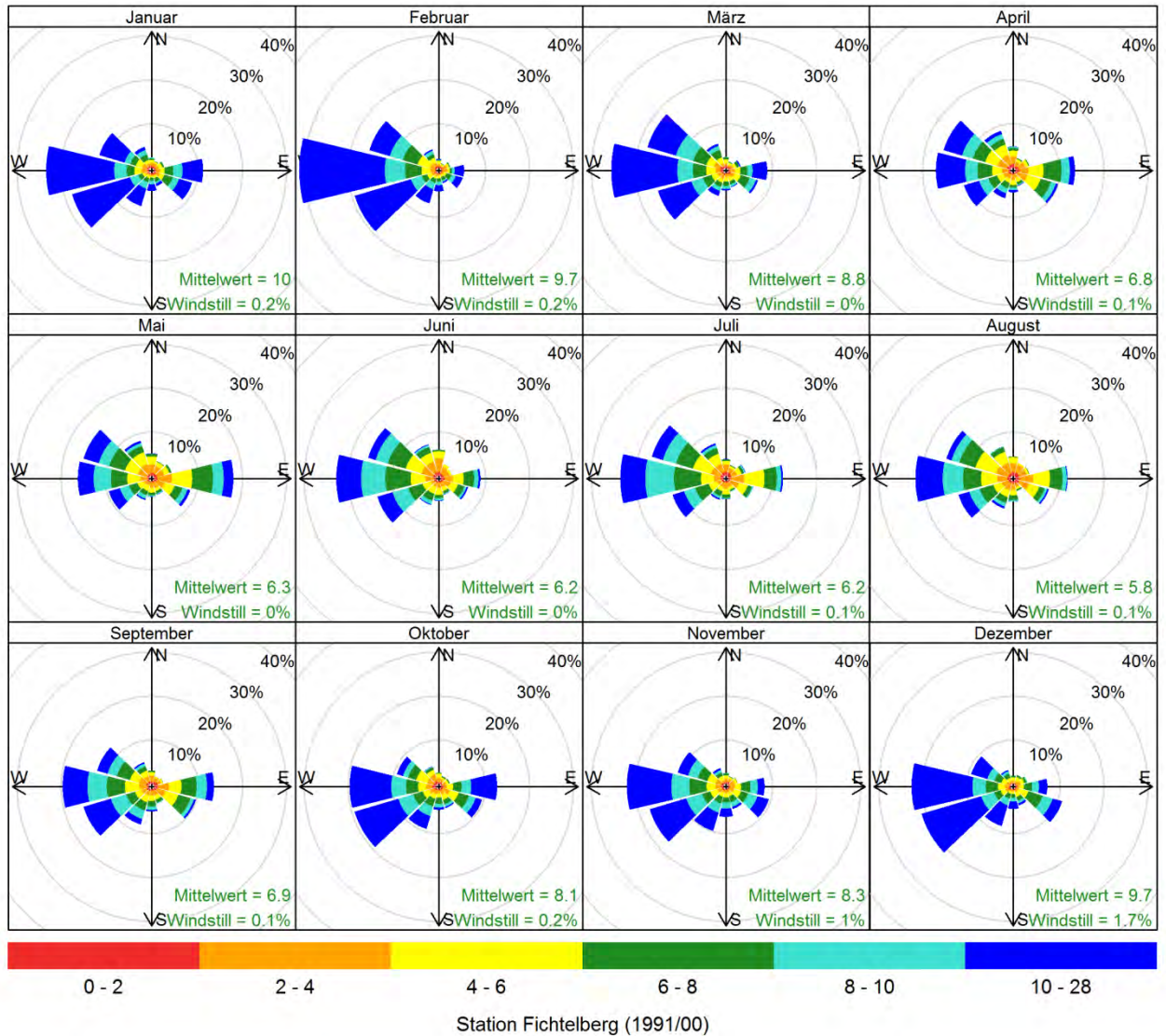




**A 4.4.4-2e: Windrosen für die Messstation Chemnitz für 1991-2000, Monate**

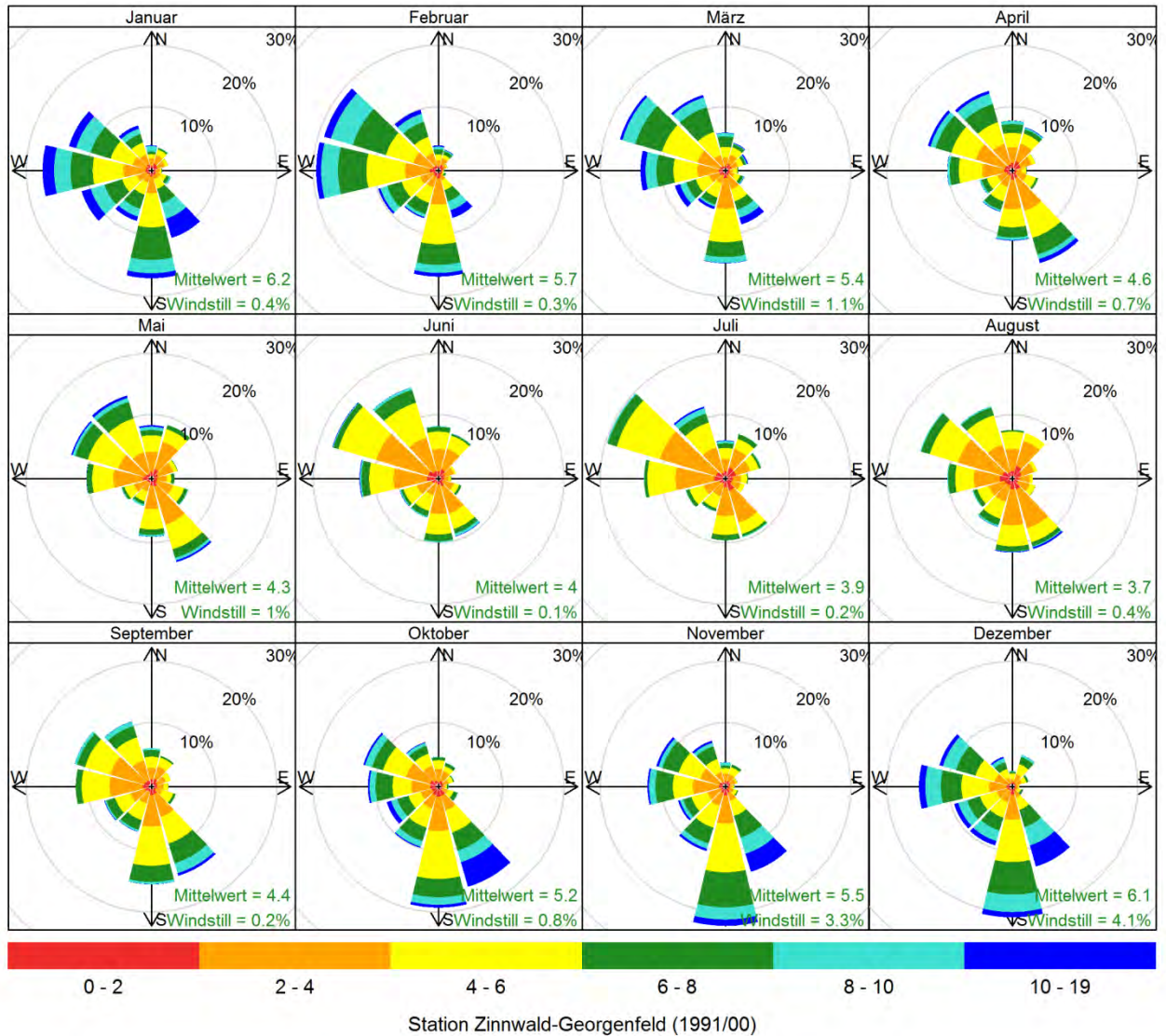


A 4.4.4-2f: Windrosen für die Messstation Plauen für 1991-2000, Monate



**A 4.4.4-2g: Windrosen für die Messstation Fichtelberg für 1991-2000, Monate**





**A 4.4.4-2h: Windrosen für die Messstation Zinnwald-Georgenfeld für 1991-2000, Monate**

**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  
Internet: www.smul.sachsen.de/lfulg

**Autoren:**

Prof. Dr. Christian Bernhofer, Dr. Johannes Franke, Stefanie Fischer, Lynne Kirsten, Philipp Körner, Dorothé Kostrowski, Heiko Prasse, Andrea Schaller, Tobias Donix  
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: 0351 2612-5116  
Telefax: 0351 2612-5199  
E-Mail: johannes.franke@smul.sachsen.de

**Redaktionsschluss:**

14.05.2014

**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 zugunsten 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.