

## Studie

# Integriertes Klimaschutzprogramm der Stadt Chemnitz Teilbericht: Klimawandel und Klimafolgen



Copyright © 2009 by TU Chemnitz

erstellt für: Umweltamt Stadt Chemnitz  
Herr Dr. Schaarbrodt, Herr Groth  
Annaberger Straße 93  
09120 Chemnitz

erstellt von: C&E Consulting und Engineering GmbH  
Abteilung Umweltsanierungskonzepte  
Jagdschänkenstraße 52  
09117 Chemnitz

Chemnitz, 04.05.2009

Dr. P. Schneider  
Dipl.-Ing. N. Gottschalk  
Dipl.-Geoök. M. Helbig  
Dipl.-Forsting. R. Löser  
Dipl.-Geol. B. Tunger

Dr. P. Schneider  
Fachbereichsleiterin

Bearbeiter

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>18</b>
1.1	Veranlassung .....	18
1.2	Beschreibung des Begriffes Klima.....	19
1.3	Beschreibung des Begriffes Stadtklima.....	20
1.4	Beschreibung des Begriffes Bioklima .....	25
1.5	Der Klimawandel und die Klimahistorie Mitteleuropas .....	26
1.6	Extremereignisse im Zeitraum 2001-2007.....	29
1.6.1	Hochwasser 2002 .....	29
1.6.2	Orkan Kyrill .....	35
1.6.3	Hitzewelle 2003 .....	38
1.7	Zielstellung der Studie.....	41
<b>2</b>	<b>Beschreibung des Untersuchungsgebietes .....</b>	<b>43</b>
2.1	Administrative Gliederung und Siedlungsraum .....	43
2.2	Demografische Entwicklung.....	44
2.3	Infrastrukturelle Situation.....	46
2.4	Lage im Relief .....	47
2.5	Geologische Situation .....	48
2.6	Naturräumliche Gliederung.....	49
2.7	Klimatische Verhältnisse .....	49
<b>3</b>	<b>Teilbereich Klimawandel .....</b>	<b>51</b>
3.1	Vorgehensweise.....	51
3.1.1	Datenbasis .....	51
3.1.1.1	Das digitale Geländemodell.....	51
3.1.1.2	Meteorologische Daten und Ereignistage.....	51

---

3.1.1.3	Messmethodik und Erläuterung der meteorologischen Parameter .....	51
3.1.1.4	Erläuterung der meteorologischen Ereignistage .....	54
3.1.1.5	Klimaprognosedaten.....	55
3.1.1.6	Hydrologische Daten .....	57
3.1.1.7	Daten zur Raumnutzung und Stadtklimatope .....	58
3.1.2	Berechnungen und Datenauswertung .....	58
3.1.2.1	Datenstatistik und -korrektur.....	58
3.1.2.2	Mittelwerte und Summen meteorologischer Parameter .....	60
3.1.2.3	Bestimmung meteorologischer Ereignistage .....	60
3.1.2.4	Starkniederschläge und Trockenperioden.....	60
3.1.2.5	Berechnung des Hitzeindex.....	61
3.1.2.6	Berechnung der Grasreferenzverdunstung .....	62
3.1.2.7	Berechnung der klimatischen Wasserbilanz einer Grasreferenzfläche .....	63
3.1.2.8	Auswertung der hydrologischen Daten des Flusspegels Chemnitz .....	63
3.1.2.9	Waldbrandindex M-68 .....	64
3.1.2.10	Berechnung der zeitlichen Abgrenzung der Vegetationsperiode .....	64
3.1.2.11	Wärmesumme innerhalb der Vegetationsperiode .....	65
3.1.2.12	Berechnung der Heiztage, der Heizperiode und der Gradtagszahl.....	65
3.1.2.13	Darstellung der Witterungsregelfälle im Jahresverlauf .....	66
3.1.2.14	Großwetterlagen.....	69
3.1.2.15	Regionalisierte Darstellung von Klimaparametern .....	70
3.1.2.16	Kartographische Darstellung des Jahresmittels der Lufttemperatur.....	71
3.1.2.17	Kartografische Darstellung der bioklimatischen Belastung .....	75
3.2	<i>Ergebnisse</i> .....	76
3.2.1	Klimatische Verhältnisse der Perioden 1961-1990 und 2001-2008.....	76
3.2.1.1	Das Klima der Normalperiode 1961-1990 - langjährige Mittelwerte .....	76
3.2.1.2	Das Klima der Periode 2001-2008 .....	80
3.2.2	Diagnostizierte Veränderungen des Klimas im Zeitraum 1950-2008.....	85
3.2.2.1	Veränderung der Lufttemperatur im Zeitraum 1950-2008 .....	85
3.2.2.2	Veränderung der thermischen Ereignistage im Zeitraum 1950-2008 .....	86
3.2.2.3	Veränderung der Niederschläge im Zeitraum 1950-2008 .....	88
3.2.2.4	Veränderung der Sonnenscheindauer und der Bedeckung .....	91

---

3.2.2.5	Veränderung der relativen Luftfeuchte im Zeitraum 1950-2008 .....	92
3.2.2.6	Veränderung der Windgeschwindigkeit im Zeitraum 1950-2008.....	92
3.2.2.7	Veränderung der Grasreferenzverdunstung im Zeitraum 1950-2008.....	94
3.2.2.8	Veränderung der klimatischen Wasserbilanz im Zeitraum 1950-2008 .....	94
3.2.2.9	Veränderung der Durchflüsse des Flusses Chemnitz .....	95
3.2.2.10	Veränderung des Waldbrandindex M-68 im Zeitraum 1950-2008.....	99
3.2.2.11	Veränderung der Vegetationsperiode und der Wärmesummen .....	99
3.2.2.12	Veränderung der Heizperiode und der Gradtagszahl.....	100
3.2.2.13	Veränderung der Witterungsregelfälle im Zeitraum 1950-2008.....	101
3.2.2.14	Veränderung der Großwetterlagen im Zeitraum 1950-2008.....	104
3.2.3	Prognostizierte klimatische Veränderungen im Zeitraum 2000-2050 .....	105
3.2.3.1	Prognostizierte Veränderung der Lufttemperatur .....	105
3.2.3.2	Prognostizierte Veränderung des Niederschlags .....	105
3.2.3.3	Prognostizierte Veränderung der Sonnenscheindauer.....	106
3.2.3.4	Prognostizierte Veränderung meteorologischer Ereignistage .....	107
3.2.4	Beschreibung der Kartenwerke .....	107
3.2.4.1	Beschreibung der Karten des Jahresmittels der Lufttemperatur .....	107
3.2.4.2	Beschreibung der Karte der bioklimatischen Belastung .....	108
3.3	<i>Zusammenfassung</i> .....	109
<b>4</b>	<b>Schutzgut- und Betroffenheitsanalyse .....</b>	<b>116</b>
4.1	<i>Methodik Schutzgut- und Betroffenheitsanalyse</i> .....	116
4.2	<i>Schutzgut Wasser</i> .....	116
4.2.1	Wasserhaushalt und Wasserbilanz.....	117
4.2.2	Abflussverhältnisse .....	122
4.2.3	Wasserbewirtschaftung .....	123
4.3	<i>Schutzgut Boden</i> .....	125
4.3.1	Bodentypen im Untersuchungsgebiet.....	126
4.3.2	Bodenwasserhaushalt .....	126
4.3.3	Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit .....	129

---

---

4.3.4 Erosionsgefährdung.....	129
4.3.5 Zusammenfassung .....	131
4.4 Schutzgut Luft .....	132
4.5 Schutzgüter Fauna und Flora – Biologische Vielfalt.....	134
4.5.1 Pflanzenkrankheiten, Unkräuter und tierische Schaderreger .....	135
4.5.2 Biologische Vielfalt.....	135
4.5.3 Städtische Grünflächen und Gehölzbeplantung .....	136
4.6 Schutzgut Landschaft: Forst- und Landwirtschaft .....	137
4.6.1 Landwirtschaft.....	138
4.6.1.1 Einfluss des Klimawandels .....	138
4.6.1.2 Ertragsentwicklung im Raum Chemnitz.....	140
4.6.2 Forstwirtschaft .....	144
4.7 Schutzgut Mensch.....	148
4.8 Schutzgüter Kulturgüter und sonstige Sachgüter.....	149
4.9 Sensitive Infrastruktur.....	150
4.9.1 Abfallentsorgung .....	150
4.9.2 Abwasser .....	151
4.9.3 Trinkwasserversorgung .....	151
4.9.4 Elektroenergie, Gasversorgung, Fernwärme .....	151
4.9.5 Kommunikation .....	152
4.9.6 Verkehrseinrichtungen.....	152
4.10 Sozioökonomie und städtische Wirtschaftsentwicklung .....	152
4.11 Fazit.....	154
<b>5 Gefährdungsanalyse .....</b>	<b>157</b>
5.1 Allgemeine Vorgehensweise – Gefährdungsbeurteilung.....	157
5.1.1 Erklärungsmodell .....	157

---

---

5.1.2 Gefährdungsfaktoren .....	158
5.1.3 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen, Leistungsvoraussetzungen ...	159
5.1.4 Risikoabschätzung.....	159
5.1.5 Entwickeln von Lösungsalternativen.....	161
<b>5.2 Schutzgut Wasser .....</b>	<b>163</b>
5.2.1 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	165
5.2.2 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl.....	168
5.2.3 Entwicklung von Lösungsalternativen.....	169
5.2.4 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten .....	172
<b>5.3 Schutzgut Boden .....</b>	<b>176</b>
5.3.1 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	178
5.3.2 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl.....	181
5.3.3 Entwicklung von Lösungsalternativen.....	182
5.3.4 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten .....	183
<b>5.4 Schutzgut Luft .....</b>	<b>186</b>
5.4.1 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	187
5.4.2 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl.....	188
5.4.3 Entwickeln von Lösungsalternativen.....	189
5.4.4 Stand der Umsetzung von Lösungsalternativen .....	189
<b>5.5 Schutzgüter Fauna und Flora – Biologische Vielfalt.....</b>	<b>193</b>
5.5.1 Gefährdungsfaktoren .....	193
5.5.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	196
5.5.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl.....	200

---

---

5.5.4 Entwicklung von Lösungsalternativen .....	202
5.6 Schutzgut Forstwirtschaft .....	202
5.6.1 Einflussfaktoren auf die Forstwirtschaft .....	202
5.6.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	204
5.6.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl .....	207
5.6.4 Entwicklung von Lösungsalternativen .....	209
5.6.5 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten .....	211
5.6.6 Zusammenfassung .....	214
5.7 Schutzgut Landwirtschaft .....	215
5.7.1 Einflussfaktoren auf die Landwirtschaft .....	215
5.7.1.1 Pflanzenanbau .....	215
5.7.1.2 Gartenbau .....	217
5.7.1.3 Grünland und Feldfutterbau .....	219
5.7.1.4 Nutztiere .....	220
5.7.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	222
5.7.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl .....	226
5.7.4 Entwicklung von Lösungsalternativen .....	228
5.7.5 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten .....	231
5.8 Schutzgut Mensch .....	238
5.8.1 Einflussfaktoren .....	238
5.8.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	242
5.8.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl .....	247
5.8.4 Entwicklung von Lösungsalternativen .....	249
5.8.5 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten .....	258

---

---

5.8.6 Zusammenfassung .....	268
5.9 <i>Kulturgüter und sonstige Sachgüter</i> .....	268
5.9.1 Gefährdungsfaktoren .....	268
5.9.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen .....	269
5.9.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl .....	270
5.9.4 Entwicklung von Lösungsalternativen .....	271
5.10 <i>Sensitive Infrastruktur</i> .....	271
<b>6 Zusammenfassung</b> .....	<b>272</b>
Literaturverzeichnis .....	278



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Tageswerte der Niederschlagshöhe $h_N$ und deren Wiederkehrzeit T am 12.08.2002 und im Zeitraum 11.08. bis 13.08.2002.....	31
Tab. 2:	Klassifikation des Hitzeindex .....	62
Tab. 3:	Klimatop, numerischer Schlüssel und Temperatureffekt .....	74
Tab. 4:	Vergleich verschiedener Wetterstationen - Jahresmittel der Lufttemperatur .....	74
Tab. 5:	Klassifizierung der Gefährdungszonen der bioklimatischen Belastung .....	76
Tab. 6:	Ausgewählte Extremwerte der Normalperiode 1961-1990 .....	80
Tab. 7:	Ausgewählte Extremwerte der Periode 2001-2008 .....	84
Tab. 8:	mittlere jährliche relative Häufigkeit der Windrichtung .....	93
Tab. 9:	Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, NQ .....	95
Tab. 10:	Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, MQ .....	97
Tab. 11:	Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, HQ .....	97
Tab. 12:	Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, HQ Sommerhalbjahr.....	99
Tab. 13:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Bodenwasser- haushaltsmodellierungen für die Station Chemnitz in [Klö 09].....	128
Tab. 14:	Zusammenfassung der Betroffenheitsanalyse .....	154
Tab. 15:	Risikoabschätzung in Anlehnung an Nohl.....	159
Tab. 16:	Bewertung der Risikomaßzahlen .....	160
Tab. 17:	Qualitätsebenen der Schutzziele.....	161
Tab. 18:	Maßnahmenhierarchie .....	161
Tab. 19:	Kriterien für die Beurteilung der Lösungsalternativen für das Schutzgut Landwirtschaft.....	162
Tab. 20:	Bewertung des Erfüllungsgrades .....	162
Tab. 21:	Gefährdungsfaktoren Schutzgut Wasser .....	163
Tab. 22:	Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Wasser.....	165
Tab. 23:	Risikoabschätzung nach Nohl .....	168
Tab. 24:	Bewertung der Lösungsmöglichkeiten .....	172
Tab. 25:	Ermittlung der Rangfolge der Maßnahmen nach deren Geeignetheit .....	175
Tab. 26:	Gefährdungsfaktoren Schutzgut Boden .....	176
Tab. 27:	Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Boden .....	178
Tab. 28:	Risikoabschätzung nach Nohl.....	181

---

Tab. 29: Maßnahmen zum Bodenschutz .....	182
Tab. 30: Bewertung der Lösungsmöglichkeiten .....	183
Tab. 31: Ermittlung der Rangfolge der Maßnahmen nach deren Geeignetheit.....	184
Tab. 32: Gefährdungsfaktoren Schutzgut Luft .....	186
Tab. 33: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Luft.....	187
Tab. 34: Risikoabschätzung nach Nohl.....	188
Tab. 35: Solartechnisches Potential Chemnitzer Wohngebäude [SEKo 2009].....	190
Tab. 36: Gefährdungsfaktoren Schutzgut Flora und Fauna .....	193
Tab. 37: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Flora und Fauna .....	196
Tab. 38: Risikoabschätzung nach Nohl.....	200
Tab. 39: Einflussfaktoren auf das Schutzgut Forstwirtschaft .....	202
Tab. 40: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Forstwirtschaft .....	204
Tab. 41: Risikoabschätzung nach Nohl Schutzgut Forstwirtschaft .....	207
Tab. 42 Bewertung der Lösungsmöglichkeiten Schutzgut Forstwirtschaft.....	211
Tab. 43 Ermittlung der Rangfolge der Maßnahmen nach deren Geeignetheit.....	213
Tab. 44: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft-Pflanzenanbau .....	215
Tab. 45: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft-Gartenbau – Obst- und Weinbau .....	217
Tab. 46: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft-Gartenbau – Gemüsebau.....	218
Tab. 47: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft - Grünland und Feldfutterbau .....	219
Tab. 48: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft - Nutztiere .....	220
Tab. 49: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Landwirtschaft .....	222
Tab. 50: Risikoabschätzung nach Nohl.....	226
Tab. 51: Lösungsalternativen im Pflanzenbau .....	228
Tab. 52: Lösungsalternativen im Gartenbau .....	229
Tab. 53: Lösungsalternativen im Grünland- und Feldfutterbau .....	230
Tab. 54: Lösungsalternativen in der tierischen Erzeugung .....	230
Tab. 55: Lösungsalternativen in der Teichwirtschaft.....	231
Tab. 56 Bewertung der Lösungsmöglichkeiten .....	231
Tab. 57 Ermittlung der Rangfolgen der Maßnahmen nach deren Geeignetheit.....	235
Tab. 58: Einflussfaktoren Schutzgut Mensch .....	238
Tab. 59: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Mensch .....	242
Tab. 60: Durchimpfungsrate in Chemnitz [Baxter 2008] .....	246
Tab. 61: Risikoabschätzung nach Nohl.....	247
Tab. 62 Bewertung der Lösungsmöglichkeiten .....	258

---

---

Tab. 63:	Ermittlung der Rangfolgen der Maßnahmen nach deren Geeignetheit.....	265
Tab. 64:	Einflussfaktoren Schutzgut Kulturgüter und sonstige Sachgüter .....	268
Tab. 65:	Risikoabschätzung nach Nohl .....	270
Tab. 66:	Gefährdungsfaktoren Schutzgut Sensitive Infrastruktur .....	271
Tab. 67:	Gefährdungsfaktoren mit einer hohen (h) oder signifikanten (s) Risikomaßzahl	275

### Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Organigramm der Studie .....	18
Abb. 2:	Schema des atmosphärischen Aufbaus über einer Stadt.....	24
Abb. 3:	Klimaentwicklung im Holozän anhand zweier Proxydatenreihen.....	27
Abb. 4:	Verteilung der Schäden nach Schadensbereichen [LfUG 04-2] .....	34
Abb. 5:	Alle seit 1950 erfassten Tornados (ohne reine Wasserhosen).....	36
Abb. 6:	Sturmschäden durch den Orkan „Kyrill“ im Forstbezirk Neudorf [SMUL 08-1] .....	37
Abb. 7:	Lufttemperatur der Station Chemnitz 2003.....	38
Abb. 8:	Niederschlagssumme der Station Chemnitz 2003.....	39
Abb. 9:	Abweichung der Temperaturen vom langjährigen Mittelwert in .....	40
Abb. 10:	Durch Buchdrucker befallene Holzmengen von 1989 bis 2007 .....	41
Abb. 11:	Stadtteilgliederung Chemnitz.....	43
Abb. 12:	Reliefansicht des Chemnitzer Stadtgebietes .....	48
Abb. 13:	Szenarien für Treibhausgasemissionen und resultierende Temperaturerhöhung .	56
Abb. 14:	Temperaturen und Niederschlag der Normalperiode 1961-1990 .....	77
Abb. 15:	Sonnenscheindauer und Bedeckung der Normalperiode 1961-1990 .....	78
Abb. 16:	relative Luftfeuchte der Normalperiode 1961-1990.....	78
Abb. 17:	Windgeschwindigkeit der Normalperiode 1961-1990 .....	79
Abb. 18:	Mittlere Anzahl meteorologischer Ereignistage der Normalperiode 1961-1990.....	79
Abb. 19:	Temperaturen und Niederschlag der Periode 2001-2008 .....	81
Abb. 20:	Sonnenscheindauer und Bedeckung der Periode 2001-2008 .....	82
Abb. 21:	relative Luftfeuchte der Periode 2001-2008.....	82
Abb. 22:	Windgeschwindigkeit der Periode 2001-2008 .....	83
Abb. 23:	Mittlere Anzahl meteorologischer Ereignistage der Periode 2001-2008.....	84
Abb. 24:	Korrelation der Größen Bedeckung und Sonnenscheindauer (Jahresmittel) .....	92
Abb. 25:	Mittlere jährliche relative Häufigkeit der Windrichtung 1976-85 und 2001-08.....	93
Abb. 26:	Zeitliche Entwicklung der gewässerkundlichen Hauptzahlen, Pegel Chemnitz 1 ..	95

---

Abb. 27: Darstellung der ermittelten Niedrigwasserabflüsse, Pegel Chemnitz 1 .....	96
Abb. 28: Zeitliche Entwicklung des MQ der Sommer- und Winterhalbjahre.....	98
Abb. 29: Zeitliche Entwicklung des HQ der Sommer- und Winterhalbjahre .....	98
Abb. 30: Abschätzung der langjährigen mittleren klimatischen Wasserbilanz .....	118
Abb. 31: Anzahl von Jahren mit negativer klimatischer Wasserbilanz .....	119
Abb. 32: Verhältnis von aktueller zu potentieller Evaporation .....	120
Abb. 33: Abschätzung der Sickerwasserraten auf Ackerböden .....	121
Abb. 34: Abhängigkeit der Einflussfaktoren der Bodenerosion durch Wasser.....	131
Abb. 35: Ertragsentwicklung von Winterweizen im RB Chemnitz [LFULG 2009A].....	140
Abb. 36: Ertragsentwicklung von Wintergerste .....	141
Abb. 37: Ertragsentwicklung von Winterroggen .....	142
Abb. 38: Ertragsentwicklung von Winterraps .....	143
Abb. 39: Entwicklungsdauer des Buchdruckers .....	145
Abb. 40: Entwicklungsdauer des in Abhängigkeit von der Temperatur.....	145
Abb. 41: Forstliche Klimagliederung in Sachsen, Basisklima 1971-2000 .....	147
Abb. 42: Forstliche Klimagliederung in Sachsen, Prognoseklima 2091-2100.....	148
Abb. 43: Erklärungsmodell .....	158
Abb. 44: Beispiel für Totholzmanagement .....	171

---

## Anlagen

- Anlage 1 - Zeitliche Veränderung klimatologischer und hydrologischer Parameter
- Anlage 1.1 - Jahresmittel der Lufttemperatur (berechnet für tägliche Minima, Maxima und Tagesmittel, Zeitraum 1950-2008)
  - Anlage 1.2 - Jährliche Extrema der Lufttemperatur (absolutes Minimum und Maximum, Zeitraum 1950-2008)
  - Anlage 1.3 - Ereignistage – Tage mit Hitzestress, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.4 - Ereignistage – Sommertage und heiße Tage, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.5 - Ereignistage – Frosttage, Eistage, Tage mit strengem und sehr strengem Frost, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.6 - Jahressumme des Niederschlags (unkorrigiert) und jährliche Anzahl der Starkniederschläge, Zeitraum 1951-2008
  - Anlage 1.7 - Trockenheitsindize, Zeitraum 1951-2008
  - Anlage 1.8 - Jahressumme der Sonnenscheindauer und des Bedeckungsgrades, Zeitraum 1951-2008
  - Anlage 1.9 - Jahresmittel der relativen Luftfeuchte, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.10 - Jahresmittel der Windgeschwindigkeit 10 m über Grund, Zeitraum 1951-2008
  - Anlage 1.11 - Grasreferenzverdunstung und Klimatische Wasserbilanz, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.12 - Errechneter Beginn der Vegetationsperiode, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.13 - Errechnetes Ende der Vegetationsperiode, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.14 - Errechnete Dauer der Vegetationsperiode, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.15 - Wärmesumme innerhalb der errechneten Vegetationsperiode, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.16 - Dauer der Heizperiode, Zeitraum 1950-2008
  - Anlage 1.17 - Summe der Gradtagszahlen der Heiztage, Zeitraum 1950-2008

- 
- Anlage 1.18 - Diagramm der Witterungsregelfälle, Periode 1961-1970
  - Anlage 1.19 - Diagramm der Witterungsregelfälle, Periode 2001-2008
  - Anlage 1.20 - Gegenüberstellung der mittlere Tagesmittelwerte der Lufttemperatur der Perioden 1961-1970 und 2001-2008
  
  - Anlage 2 - Klimatologische Mittelwerte der Perioden 1961-1990 (Messwerte), 2001-2008 (Messwerte), 2011-2020 (WEREX III, A2) und 2041-2050 (WEREX III, A2)
    - Anlage 2.1 - Klimatologische Mittelwerte der Normalperiode 1961-1990
    - Anlage 2.2 - Klimatologische Mittelwerte der Periode 2001-2008 und Abweichung von der Normalperiode 1961-1990
    - Anlage 2.3 - Klimatologische Mittelwerte der Periode 2011-2020 gemäß Modell WEREX III und Abweichung von der Normalperiode 1961-1990
    - Anlage 2.4 - Klimatologische Mittelwerte der Periode 2041-2050 gemäß Modell WEREX III und Abweichung von der Normalperiode 1961-1990
    - Anlage 2.5 - Mittlere Summen der Grünlandreferenzverdunstung und klimatischen Wasserbilanz für die Perioden 1961-1990 und 2001-2008
    - Anlage 2.6 - Mittlere Anzahl der Starkniederschlagstage und mittlere Kennwerte der Trockenheitsindize für die Perioden 1961-1990 und 2001-2008
    - Anlage 2.7 - Veränderung der Lufttemperatur anhand gemessener Werte und der Ergebnisse des Modells WEREX III, SRES-Szenario A2
    - Anlage 2.8 - Veränderung der Niederschläge anhand gemessener Werte und der Ergebnisse des Modells WEREX III, SRES-Szenario A2
    - Anlage 2.9 - Veränderung der Sonnenscheindauer anhand gemessener Werte und der Ergebnisse des Modells WEREX III, SRES-Szenario A2
    - Anlage 2.10 - Veränderung der Anzahl der Frost- und Eistage anhand gemessener Werte und der Ergebnisse des Modells WEREX III, SRES-Szenario A2
-

- 
- Anlage 2.11 - Veränderung der Anzahl der Sommertage- und der heißen Tage anhand gemessener Werte und der Ergebnisse des Modells WEREX III, SRES-Szenario A2
- Anlage 3 - Regionalisierte Kartendarstellung der Jahresmittel der Lufttemperatur für den Bereich der Stadt Chemnitz: Normalperiode 1961-1990, Periode 2001-2008, 2011-2020 (Projektion WEREX III) und 2041-2050 (Projektion WEREX III)
- Anlage 3.1 - Jahresmittel der Lufttemperatur (Normalperiode 1961-1990)
- Anlage 3.2 - Jahresmittel der Lufttemperatur (Periode 2001-2008)
- Anlage 3.3 - Projiziertes Jahresmittel der Lufttemperatur (Periode 2011-2020) gemäß SRES-Szenario A2, Modell WEREX III
- Anlage 3.4 - Projiziertes Jahresmittel der Lufttemperatur (Periode 2041-2050) gemäß SRES-Szenario A2, Modell WEREX III
- Anlage 4 - Regionalisierte Kartendarstellung der bioklimatischen Belastung für den Bereich der Stadt Chemnitz in Verbindung mit verschiedenen klimasensitiven Schutzgütern
- Anlage 4.1 - Klimatope der Stadt Chemnitz
- Anlage 4.2 - Krankenhäuser und Altersheime in Verbindung mit der bioklimatischen Belastung
- Anlage 4.3 - Schulen und Kindertagesstätten in Verbindung mit der bioklimatischen Belastung
- Anlage 4.4 - Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete und bioklimatische Belastung
- Anlage 4.5 - Feuchtbiotope und Hydroböden und bioklimatische Belastung
- Anlage 4.6 - Wälder, Grünflächen und Baumkataster in Verbindung mit der bioklimatischen Belastung
- Anlage 4.7 - Kaltluftabflüsse, Kaltluftseen, geplante - beziehungsweise seit 2006 umgesetzte Flächennutzungsänderungen und bioklimatische Belastung
-

## Abkürzungsverzeichnis

ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DGM	Digitales Geländemodell
DKRZ	Deutsches Klimarechenzentrum
DVWK	deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EEA	European Environment Agency
FFH-Gebiet	Flora-Fauna-Habitat-Gebiet
G x E	Gewichtung x Erfüllungsgrad
GCM	General Circulation Model
HHW	höchste Hochwasserstände
HI	Hitzeindex
HN	Höhennormal
HQ	höchste Abflussmenge
IPCC	International Panel on Climate Change
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KI	Konfidenzintervall
LfULG / LfUG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, früher Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen
LSG	Landschaftsschutzgebiet
MEZ	Mitteuropäische Zeit
N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Lachgas (Distickstoffdioxid)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
nFK	nutzbare Feldkapazität



---

NO <sub>x</sub>	Stickoxide
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid
NQ	niedrigste Abflussmenge
O <sub>3</sub>	Ozon
PMV	Mean-Predicted-Vote-Index
PNV	Potenzielle natürliche Vegetation
ppm	parts per million
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
RB	Regierungsbezirk
SEKo	Stadtentwicklungskonzept
SMUL	Staatministerium für Umwelt und Landwirtschaft
SRES	Special Report on Emission Scenarios
SRES	Special Report on Emission
UBA	Umweltbundesamt
UG	Untersuchungsgebiet
UTC	Coordinated Universal Time
WC	Windchill
WEREX III	Statistisch basiertes Klimamodell „ <u>W</u> etterlagenbedingte <u>R</u> egression für <u>E</u> xtremwerte“
WMO	World Meteorological Organisation

# 1 Einleitung

## 1.1 Veranlassung

Veranlassung des Vorhabens ist der konkrete Handlungsbedarf zur Treibhausgasreduktion und zum Schutz der Umwelt und der Bevölkerung, der sich aus den Folgen der durch Messungen belegbaren aktuellen und der durch Klimamodelle prognostizierbaren zukünftigen Klimaveränderung in Sachsen ableitet.

Die Studie ist in die Teilbereiche Klimaschutz, sowie Klimawandel und Klimafolgen gegliedert (siehe Abb. 1). Ziel des Teilbereichs „Klimaschutz“ ist die Erstellung eines Maßnahmenkataloges für die Stadt Chemnitz zur Reduktion der Emissionen der die Klimaerwärmung fördernden Treibhausgase. Weiterhin sollen unter dem Teilfeld „Klimawandel“ aktuelle und prognostizierte Veränderungen meteorologischer Parameter für das Gebiet der Stadt Chemnitz dargestellt werden. Der Teilbereich „Klimafolgen“ umfasst die Präsentation und Diskussion der Konsequenzen der aktuellen und voraussichtlichen Klimaveränderung mittels einer auf die konkreten Verhältnisse der Stadt Chemnitz zugeschnittenen Klimafolgenabschätzung. Diesbezüglich sind relevante potenzielle Schutz- und Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren.

Im vorliegenden Bericht zur Studie „Integriertes Klimaschutzprogramm der Stadt Chemnitz“ werden die Teilbereiche Klimawandel und Klimafolgen behandelt. Der Teilbereich Klimaschutz der Studie ist Thema eines separaten Berichtes.

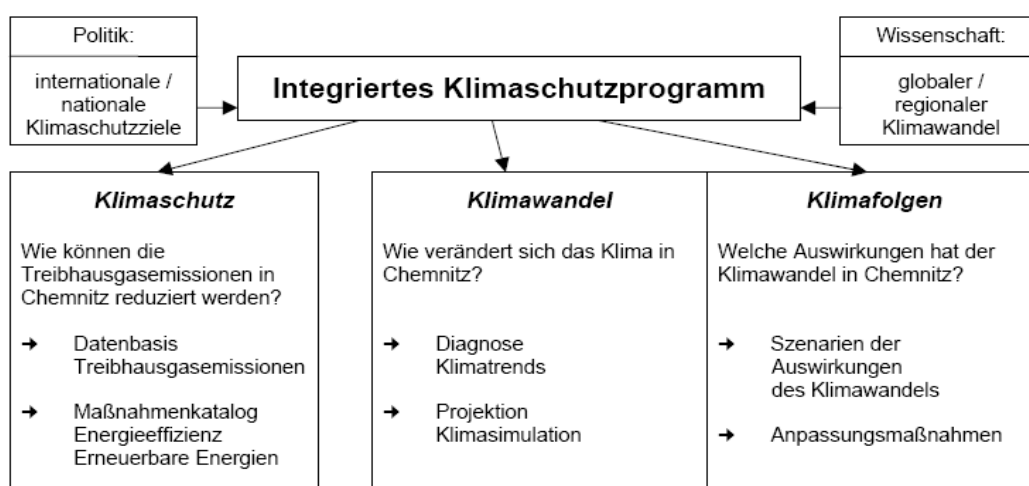


Abb. 1: Organigramm der Studie „Integriertes Klimaschutzprogramm der Stadt Chemnitz“

Das Integrierte Klimaschutzprogramm der Stadt Chemnitz soll die fachlichen Grundlagen und pragmatische Handlungsansätze für die Maßnahmenkonzeption im Zusammenhang mit den zu erwartenden Klimaänderungen liefern.

## 1.2 Beschreibung des Begriffes Klima

*Klima* ist die Gesamtheit aller an einem Ort möglichen Wetterzustände der Atmosphäre, einschließlich ihrer typischen Aufeinanderfolge sowie ihrer tages- und jahreszeitlichen Schwankungen. Es wird durch die *primären Klimafaktoren*, also der Sonneneinstrahlung der geographischen Breite, der Entfernung zum Meer, der Höhe, der Oberflächengestalt und dem Treibhausgasgehalt der Atmosphäre beeinflusst. Aus den Wechselwirkungen der primären Klimafaktoren ergeben sich die *sekundären Klimafaktoren*, wie zum Beispiel die Meeresströmungen und das Zirkulationssystem der Atmosphäre. Beide Faktorengruppen beeinflussen die Ausprägung der *meteorologischen Größen* bzw. *Klimaelemente* *Lufttemperatur*, *Luftfeuchte*, *Windgeschwindigkeit*, *Windrichtung*, *Niederschlag*, *Sonnenscheindauer* und *Bewölkung* [HUPFER und KUTTLER 2005]. Das Klima kann zusätzlich mit Hilfe von *Klimaindizes*, wie zum Beispiel *Wärme- und Kältesummen*, *Dauer der Vegetationsperiode*, *hydrologischen Bilanzen* etc. beschrieben werden.

Der Mensch greift in das Klimageschehen ein, indem er die *Strahlungsbilanz* durch eine Änderung der *Landnutzung* in Form von Rodung, Aufforstung, Landwirtschaft, Schaffung künstlicher Gewässer und Bebauung verändert, und *klimawirksame Luftschadstoffe* wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sowie NO<sub>x</sub> (als Prekursor für bodennahes O<sub>3</sub>) und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW - das stratosphärische Ozon gefährdende chemische Verbindungen) und *Feinstäube* (Partikel 2 - 10 Mikrometer Durchmesser) beziehungsweise *Aerosole* (molekulare Verbindungen kleiner 2 Mikrometer Durchmesser) in die Atmosphäre einbringt. Dies kann zu *Klimaänderungen* führen, die von der *natürlichen Klimavariabilität*, welche aus einer natürlichen Veränderung der Klimafaktoren resultiert, unterschieden werden müssen.

Um das Klima beschreiben zu können, sind langjährige Messreihen der oben genannten meteorologischen Größen notwendig, da innerhalb kurzer Zeiträume, wie zum Beispiel einer Dekade, größere Temperaturschwankungen im Vergleich zum langjährigen Mittel auftreten können. Zur Beschreibung eines periodengebundenen Ist-Zustandes des Klimas, unter Berücksichtigung der Einschränkung der langfristigen Aussagekraft, ist die Betrachtung bei-

spielsweise eines 10-Jahreszeitraumes aber zulässig. In der Regel wird ein dreißigjähriger Zeitraum – eine so genannte *Normalperiode* – angesetzt. Klimatologische Vergleiche fanden in Deutschland in den letzten 18 Jahren anhand der Normalperiode 1961-1990 statt. Neuere Arbeiten verwenden teilweise bereits die Normalperiode 1971-2000. Die Daten können dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) oder privater Anbieter entnommen werden. Der DWD ist in Ostdeutschland der Nachfolger des Meteorologischen Dienstes der DDR. Er besitzt damit die längsten Messreihen meteorologischer Größen. Durch eine statistische Auswertung können die lokalen klimatischen Verhältnisse des Stationsstandortes in Form von Mittel- und Extremwerten, Häufigkeits- und Andauerstatistiken wiedergegeben und interpretiert werden.

Hinsichtlich der horizontalen Dimension der Verbreitung eines klimatischen Zustandes unterscheidet man zwischen der *Makroskala* (größer 200 km – Klimazone, Klimatyp), der *Mesoskala* (10 bis 200 km – regionalspezifische Ausprägung des Klimatyps) und der *Mikroskala* (kleiner 10 km – landnutzungs- und reliefabhängige Änderung der Ausprägung des Klimatyps, Lokalklima) [HELBIG et al. 1999].

### **1.3 Beschreibung des Begriffes Stadtklima**

Die Beschreibung des *Stadtklimas* kann in die Kategorien Mesoskala (Ballungsraum) und Mikroskala (z. Bsp. einzelne Stadtteile) eingeordnet werden. Es stellt somit eine landnutzungsabhängige Ausprägung der regional typischen Klimaverhältnisse dar. Nachfolgend sollen das Stadtklima und die klimatischen Einflussgrößen des Stadtklimas, ihre Wechselwirkung untereinander und ihr Effekt dargestellt werden [HELBIG et al. 1999].

Das Stadtklima ist von der World Meteorological Organisation (WMO) als gegenüber dem Umland verändertes Lokalklima definiert worden. Sehr dichte Bebauung und fehlende Vegetation sowie die Emission von Luftschadstoffen und Abwärme können in Städten im Vergleich zum ländlichen Umland zu einer höheren Durchschnittstemperatur und Schadstoffkonzentration sowie zu niedrigeren Luftfeuchtigkeiten und Windgeschwindigkeiten führen. Stadtklima kann gesundheitliche Schäden (erhöhte Sterblichkeit und Krankheiten) und Veränderungen der Flora und Fauna verursachen [HELBIG et al. 1999, KUTTLER 2004a, Rink et al. 1999].

Das Stadtklima wird von verschiedenen Klimafaktoren geprägt, die sich in natürliche Faktoren und anthropogene Faktoren unterteilen lassen. Zu den natürlichen Faktoren werden die geographische Lage, das Relief, die Höhenlage und der Anteil der noch bestehenden naturnahen Oberflächen innerhalb des Stadtgebietes gezählt. Zu den anthropogenen Faktoren gehören im Wesentlichen die Art und Dichte der Bebauung, das Wärmespeichervermögen der Baustoffe und der Versiegelungsgrad des Bodens. Durch sie wird in Städten und industriellen Ballungsräumen der Strahlungs- und Wärmehaushalt beeinflusst. Dazu kommt aus lufthygienischer Sicht die Art und Zahl der Emittenten (Industrie, Haushalt, Kraftfahrzeuge) im Stadtgebiet, die bodennah und bodenfern durch Abgase, Stäube und Abwärme das Stadtklima beeinflussen. Durch ihr Zusammenwirken bestimmen diese natürlichen und anthropogenen Faktoren die jeweilige Ausprägung des Stadtklimas. Dies bedeutet, dass kein einheitliches Stadtklima existieren kann [KUTTLER 2004b].

Die Ausbildung einer „*Wärmeinsel*“ ist ein typisches Merkmal des Stadtklimas und wird durch die Wechselwirkung mehrerer unterschiedlicher Effekte hervorgerufen. Durch die starke Aufwärmung der Gebäudeoberflächen tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung in der Nacht werden die Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer. Durch die Geometrie der Bebauung vergrößert sich die Oberfläche, auf der Sonnenstrahlung absorbiert wird. Dies führt besonders in austauscharmen, sommerlichen Schönwetterperioden zu einer Aufheizung der Baukörper. Im Gegensatz zu unbebauten Flächen wirken bebaute Flächen wie ein Wärmespeicher. Der Boden unbebauter Flächen heizt aufgrund der Beschattung durch die Vegetation und deren Verdunstungsleistung weniger stark auf. In Strahlungsnächten kann gering bedeckter natürlicher Boden seine Wärmeenergie durch Wärmestrahlung wieder abgeben. Über unbebauten Wiesenflächen kühlt sich die Luft nachts daher schneller ab [KUTTLER 2004a].

Im Gegensatz dazu heizen sich bebaute Gebiete durch Sonneneinstrahlung sehr viel stärker auf: Die Sonnenstrahlung trifft auf senkrechte Fassaden mit Ausnahme der Mittagsstunden im Sommer steiler auf als auf waagerechte Flächen (Horizontüberhöhung), außerdem fehlt i. d. R. eine dichte Vegetation, die Schatten spendet und mit Verdunstungsleistung die Luft abkühlen kann. Der verbaute Stein heizt sich schneller auf. Er ist aber auch ein besserer Wärmespeicher und gibt seine Wärme nachts langsamer ab. Die Luft in der Umgebung kann sich so nicht mehr abkühlen. Die nächtliche Abstrahlung der Wärme wird auch durch die Einengung des Horizonts in Straßenschluchten teilweise unterbunden. Es treten Mehrfachreflexionen an den Häuserwänden auf [KUTTLER 2004a].

Die Luftzirkulation und der Zustrom bzw. das Einsickern von kühlerer Luft aus dem Umland oder aus größeren Grünflächen wird außerdem durch die Bebauung eingeschränkt. Wenn Emittenten in so genannte *Kaltluftschneisen* gebaut werden (Verkehrs- und Industrieanlagen), wird die nun langsamer zufließende Kaltluft mit Schadstoffen angereichert. Die erhöhte Partikelkonzentrationen in der städtischen Luft dämpft ihrerseits nochmals die Abstrahlung von Wärme. Ein weiterer Faktor, der zur Erwärmung der Innenstädte führt, ist die großräumige Flächenversiegelung. Niederschlagswasser läuft daher schnell ab und steht nicht mehr für die Verdunstung zur Verfügung. Da die Verdunstung Wärme verbraucht, führt auch dieser Effekt zu einer geringeren Abkühlung (oder umgekehrt zu einer Erwärmung) der Städte. Mit dem Infrarot-Aufnahmeverfahren können Oberflächentemperaturen ermittelt und farbig dargestellt werden. Dies ermöglicht eine Quantifizierung der Wärmeabstrahlung [KUTTLER 2004a].

Hauptquelle der Kühlung ist zum einen die Strömungsluft von Flüssen. Zum anderen sorgen unterirdische Hohlräume wie Kanalnetze, U-Bahn oder Unterführungen in begrenztem Maße für weitere Abkühlung der Luft im städtischen Raum. Eine dichte und hohe Oberflächenbebauung kann im Kontrast zu den vorhandenen erwärmenden Faktoren als Schattenspender von Vorteil sein [KUTTLER 2004a].

Die relative Luftfeuchtigkeit in Städten ist gegenüber dem Umland geringer, weil nur eine geringe Menge an Oberflächenwasser durch die hohen Abflussraten auf versiegelten Flächen zur Verdunstung zur Verfügung steht. Gleichzeitig herrschen höhere Lufttemperaturen, so dass die Luft mehr Wasser aufnehmen kann. Das Verhältnis von realem Wasserdampfdruck zu Sättigungsdampfdruck (relative Luftfeuchte) wird daher kleiner. Dennoch ist zu beobachten, dass Starkregen und Gewitter über großen Städten häufig doppelt so lang anhalten und mehr Niederschlag abgeben im Vergleich zum Umland. Ursache hierfür ist eine 3 bis 5 mal höhere Konzentration an *Feinstäuben* und *Aerosolen*. Diese resultieren aus den Emissionen von Industrie und Autoverkehr und wirken durch ihre Hygroskopizität und reaktive Oberfläche als Kondensationskerne für die Tröpfchenbildung des in der Luft befindlichen Wasserdampfes. Weiterhin wird die Konvektion durch die größere Bodenerwärmung begünstigt. Es bestehen bessere Bildungsbedingungen für Quellwolken.

Die Rauigkeit der Geländeoberfläche ist in bebauten Gebieten größer als in unbebauten. Dadurch wird in der bodennahen Atmosphäre eine innere Reibung erzeugt, so dass die Windgeschwindigkeit in Städten im Mittel niedriger ist als in freiem Gelände. An Gebäuden entstehen je nach Windrichtung Leewirbel, die kleinräumig starke Böen hervorrufen können.

Zudem können an Bebauungslücken Düseneffekte auftreten, welche die Windgeschwindigkeit ebenfalls räumlich und zeitlich begrenzt stark erhöhen können. Hochhäuser, die weit über das mittlere Dachniveau einer Stadt hinausragen, können unter Umständen das (stärkere) Windfeld aus höheren Luftschichten ablenken und am Fuß des Gebäudes heftige Böen und Verwirbelungen hervorrufen [KUTTLER 2004b].

Durch eine Vielzahl von Schadstoffemissionen (Hausbrand, Straßenverkehr, Industrie) ist die chemische Zusammensetzung der Luft in Städten verändert. Da aufgrund der geringeren mittleren Windgeschwindigkeit der Luftaustausch in Städten ebenfalls eingeschränkt ist, können sich Luftschadstoffe wie Stickstoffoxide anreichern. Dies kann vor allem im Sommer zu troposphärischer Bildung des Reizgases Ozon führen [KUTTLER 2004b].

Die Strahlungsbilanz hängt hauptsächlich vom Zenitstand der Sonne und der Trübung der Atmosphäre ab. Somit ist auch erklärbar, warum in der Stadt die Strahlungsbilanz geringer ist als die des Umlandes. Aufgrund der Dunstglocke über der Stadt kann die Verringerung der Globalstrahlung gegenüber dem unbebauten Umland bis zu 20 % betragen. Je nach Jahreszeit und nach Wetterbedingungen ist die UV-Strahlung in der Stadt bis zu 30 % geringer als im Umland. Dies geht auf die Absorption der UV-Strahlung durch das bodennahe Ozon sowie die Reflexion an Staubpartikeln zurück. Zuweilen kann die UV-Strahlung in der Stadt höher sein als im Umland, da sich Ozon erst nach mehreren Reduktionsschritten aus verschiedenen Vorläufergasen bildet. Durch die erhöhte Wolken- und Nebelbildung kann auch die Sonnenscheindauer verringert werden [KUTTLER 2004b].

Das Stadtklima erzeugt einen schalenförmigen Aufbau der unteren Troposphäre über der Stadt. Durch die erhöhte Oberflächenrauigkeit werden die vorherrschenden überregionalen horizontalen Winde abgebremst. Es kommt vermehrt zur Veränderung der Vektoren in vertikaler Richtung, was mit einer größeren Thermik beziehungsweise Konvektion begründet werden kann. Es werden folgende Schichten unterschieden:

- *Stadthindernisschicht*
- *Stadtgrenzschicht*
- *Mischungsschicht*

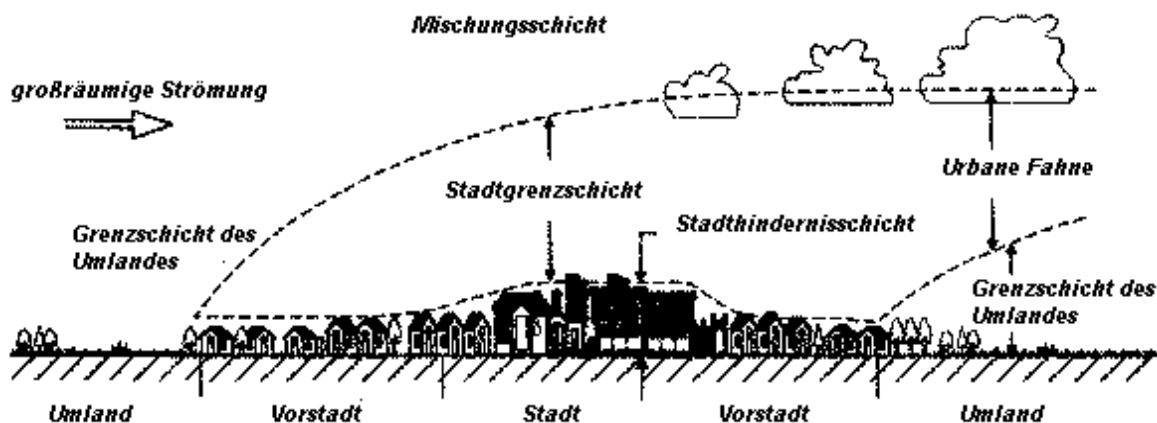


Abb. 2: Schema des atmosphärischen Aufbaus über einer Stadt (nach [HELBIG et al. 1999])

Die Stadthindernisschicht bildet die unterste Schicht (siehe Abb. 2). Sie reicht vom Grund bis zum mittleren Dachniveau (bis in 100 m Höhe). Hier wirken die klimatischen Effekte des Stadtklimas am stärksten. Die großräumige Strömung wird stark abgebremst oder umgelenkt. Die Stadtgrenzschicht darüber (bis 2000 m Höhe) ist durch eine vergrößerte Thermik, höhere Temperaturen, niedrigere Windgeschwindigkeiten und eine höhere Luftschadstoffkonzentration im Vergleich mit denselben Höhenbereichen im Umland gekennzeichnet. Die sich anschließende Mischungsschicht darüber stellt einen Übergangsbereich dar, in dem sich die atmosphärischen Verhältnisse wieder denen des Umfeldes der Stadt anpassen. Die Mischung geschieht hauptsächlich durch Verwirbelung und Diffusion der Luftmassen. In Abhängigkeit der großräumigen Luftströmung bildet sich in Abstromrichtung der Stadt eine urbane Fahne der Stadtgrenzschicht, die durch ähnliche klimatische Verhältnisse wie die Stadtgrenzschicht geprägt ist, ohne dass sich unter ihr zwangsläufig ein Siedlungsgebiet befindet [HELBIG et al. 1999].

Da das Stadtklima in der räumlichen Größenordnung Meso- bis Mikroklima liegt, ist eine ausreichende Charakterisierung der Klimaelemente und -indizes durch die amtlichen Wetterstationen des DWD, die häufig im stadtklimaunbeeinflussten Umland liegen, nicht ohne weiteres möglich. Die Messnetzdichte ist für den niederskaligen Bereich und seine besonderen Bedingungen einfach zu gering. Aus diesem Grund werden häufig noch temporäre Wetterstationen als Sondermessnetz zur Datengewinnung in der Horizontalen und meteorologische Experimente, wie zum Beispiel Ballonaufstiege, zur Datengewinnung in der Vertikalen betrieben. Die Daten können in *stadtklimatologische numerische Modelle* als Kalibrationsgrößen einfließen. Die flächenhafte Darstellung (*Regionalisierung*) der klimatischen Verhältnisse



wird ermöglicht durch eine Parametrisierung der klimawirksamen *Klimatope* der Stadt. Dies sind Gebiete mit weitestgehend ähnlicher Flächennutzung, wie dicht bebaute Innenstädte, randstädtische Gebiete, Siedlungen, Parks, Wiesen, Äcker und Gewässer. In Abhängigkeit der Bebauungsdichte und Art verstärkt oder verringert sich der Stadteffekt (siehe Beschreibung der Wirkungsweise vorhergehende Seiten). Die Veränderung der an der festen Wetterstation (beispielsweise im Umland gelegen) gemessenen meteorologischen Parameter zu einem Zeitpunkt an einem Ort resultiert dann im Modell letztendlich aus den Effekten der *Klimatope*, der Höhenlage und der sich einstellenden regionalen Zirkulationsmuster. Die Dynamik wird durch Stoff- und Energietransportgleichungen ausgedrückt. Der Mittelwert oder die mittlere Summe eines modellierten Parameters an einem Ort über einen bestimmten Zeitraum hinweg ergibt dann im Modell einen klimatischen Zustand [HELBIG et al. 1999].

Stadtklimamodelle stellen einen wertvollen Beitrag zur Entscheidungsfindung bei der Stadtplanung dar. Durch sie können Kaltluftentstehungsgebiete und Kaltluftfließwege herausgestellt werden. Dies ermöglicht es, gezielt Ventilationsbahnen und Sammelgebiete von Bebauung frei zu halten. Ebenso können Emittenten von Luftschadstoffen langfristig gezielter angesiedelt werden, um ihre Wirksamkeit für das Stadtklima zu minimieren. Die stadtklimatisch wirksame gezielte Erhaltung und der Ausbau von Erholungsflächen werden ermöglicht. Ziel der Planung ist die Erhaltung einer großen Bandbreite an mikroklimatischer Variabilität, die den Aufbau eines Stadtklimas minimiert.

#### **1.4 Beschreibung des Begriffes Bioklima**

Das *Bioklima* beschreibt die Gesamtheit aller auf lebenden Organismen wirkenden Faktoren des Klimas. Im Folgenden wird darunter speziell der Einfluss auf den Menschen verstanden. Um ein Gleichgewicht seiner Lebensfunktionen zu erhalten, muss sich der Mensch mit den atmosphärischen Umweltbedingungen dauernd auseinandersetzen. Sie beeinflussen seine Gesundheit, seine Leistungsfähigkeit und sein Wohlbefinden. Der gesunde Mensch besitzt eine außerordentliche Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche atmosphärische Bedingungen. Beim *Bioklima* wird zwischen Wärmebelastung und Kältereiz unterschieden. Eine hohe *Wärmebelastung* ergibt sich beispielsweise bei Temperaturen über 30°C und gleichzeitig einer hohen Luftfeuchtigkeit und geringer Windgeschwindigkeit. Die kühlende Verdunstungsleistung des Schwitzens wird minimiert, so dass die Thermoregulation des Körpers nicht optimal funktionieren kann.

Starke *Kältereize* treten bereits unter 0°C auf, wenn gleichzeitig eine hohe Windgeschwindigkeit herrscht. Die den Körper umgebende warme Luftgrenzschicht wird fortwährend weggeweht. Folge ist eine erhöhte Wärmeabgabe an die Luft. In Extremfällen kann die Auskühlung der Oberhaut zu Erfrierungen führen.

Maßgrößen für das Bioklima sind der *Mean-Predicted-Vote-Index* (PMV), der *Hitzeindex* (HI) und der *Windchill* (WC). Im Stadtklima Mitteleuropas wird die bioklimatische Empfindung in Richtung der Wärmebelastung verschoben. Kältereize verringern sich durch die geringere Windgeschwindigkeit und die erhöhten Temperaturen. Vor dem Hintergrund der nachweisbaren Erwärmung der letzten Jahrzehnte und eines prognostizierten weiteren Temperaturanstiegs wird sich die Wärmebelastung weiter vergrößern. Der stadt- und bioklimatisch orientierten Raumplanung kommt daher eine immer größere Bedeutung zu.

### **1.5 Der Klimawandel und die Klimahistorie Mitteleuropas**

Das Klima Europas wurde im *Holozän (Warmzeit)*, der geologischen Zeiteinheit, in der wir uns augenblicklich befinden und die seit dem Ende der letzten *Eiszeit* vor 12.000 Jahren andauert, durch zahlreiche Klimaschwankungen geprägt. Dies kann durch die Auswertung von Proxydaten (zum Beispiel Isotopenanalysen anhand von Eisbohrkernen, dendrochronologische Daten, sedimentologische Daten, Pollenanalysen, Ereignisberichte usw.) nachgewiesen werden. Die wissenschaftlichen Methoden besitzen unterschiedliche Aussagegenauigkeiten. Unter Zuhilfenahme vieler verschiedener Datenquellen versucht man, ein möglichst genaues und gesichertes Bild der Klimavergangenheit zu erstellen. Nachfolgend soll die Klimageschichte des Holozäns kurz beschrieben werden.

Die Erwärmung gegen Ende der Weichseleiszeit vollzog sich langsamer als bei den vorhergehenden *Interstiatialen* (Warmzeiten innerhalb der Eiszeiten) und war durch zwei markante Kälterückfälle – die ältere und jüngere Dryas – geprägt. An die jüngere Dryas (10800 bis 9600 v.u.Z.) schloss sich das Präboreal (9600 bis 9.000 v.u.Z.) als erste Klimastufe der Serie des rezenten Holozäns (Warmzeit) an (siehe Abb. 3).

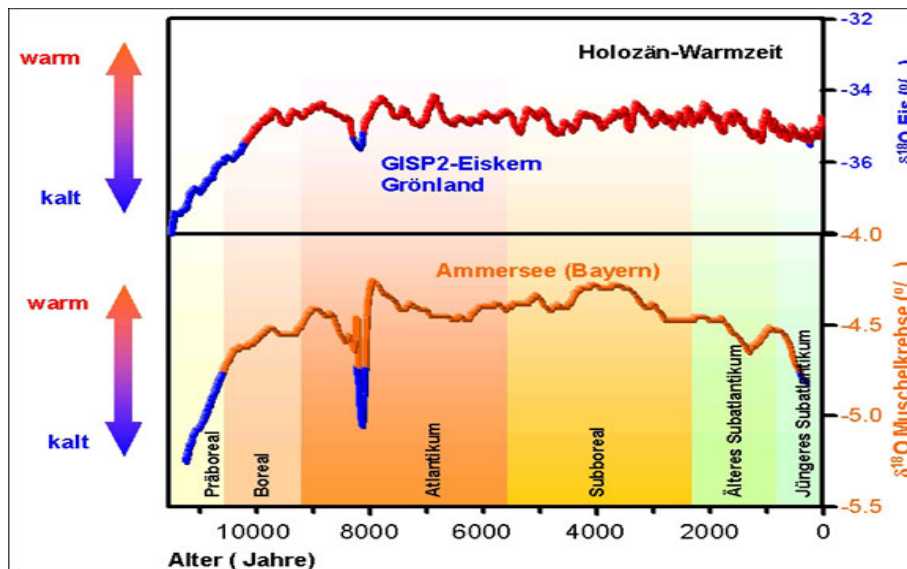


Abb. 3: Klimaentwicklung im Holozän anhand zweier Proxydatenreihen nach [BERNER und STREIF 2001]

Das Landschaftsbild war in Mitteleuropa während der jüngeren Dryas weitestgehend durch eine baumlose Tundra geprägt. Rückzugsgebiete von Birke (*Betula pendula*), Kiefern (*Pinus sylvestris*), Hasel (*Corylus avellana*), Eberesche (*Sorbus aucuparia*) und Zitter-Pappel (*Populus tremula*) befanden sich in den klimabegünstigten Gebieten des Oberrheingrabens, des Rhonetals und der mittleren Donau. Die Temperaturzunahme um 6°C im Vergleich mit dem Temperaturtiefpunkt des Weichsel-Pleistozäns begünstigte die flächendeckende Ausbreitung der Waldvegetation ausgehend von den Rückzugsgebieten. Zunächst etablierte sich ein Birken-Kiefernwald. Im folgenden Boreal (9000 bis 7000 v.u.Z.) erfolgte eine weitere Erwärmung, so dass sich die Wälder aus Birke, Kiefer, Weide und Hasel weiter ausdehnen konnten. Die Eiszeitfauna, die überwiegend durch Großsäuger wie zum Beispiel Mammüt, Riesenhirsch und Höhlenbär geprägt war, starb weitestgehend aus. Dahingegen etablierten sich zunehmend die auch heute noch anzutreffenden Tierarten. Der Mensch verblieb in Mitteleuropa vorerst noch auf dem Stadium der Jäger- und Sammlergesellschaft, da das Klima und die Bodenentwicklung noch keinen intensiven Ackerbau zuließen.

Das Atlantikum (ab 7000 v.u.Z.), welches die bisher wärmste Periode des Holozäns bezeichnet, war von einer Ausbreitung klimatisch anspruchsvollerer Baumarten, wie zum Beispiel Eichen (*Quercus* spp.), Ulmen (*Ulmus* spp.), Linden (*Tilia* spp.) und Eschen (*Fraxinus* spp.) geprägt. Es kann als *Klimaoptimum* gelten, also als Phase mit überdurchschnittlichen Temperaturen innerhalb einer Klimaperiode. Die warmen und trockenen Sommer förderten

die Ausbildung eines Eichenmischwaldes. Während dieser Klimaperiode schaffte es der Mensch, den kulturellen Übergang zur Ackerbau- und Viehzucht zu vollziehen. Die postglaziale Entwicklung und Reifung der Böden ließ dies erst zu diesem Zeitpunkt zu, da die von der Eiszeit hinterlassenen Rohböden zunächst noch zu geringe Humusgehalte besaßen und somit eine geringe Fruchtbarkeit aufwiesen. Ausgehend vom vorderen Orient breiteten sich neue technologischen Entwicklungen nach Mitteleuropa aus. Das Atlantikum wurde um ca. 2500 v.u.Z. durch eine Klimaabkühlung beendet. Hiermit einher gingen auch eine tiefgreifende Umwälzung der gesellschaftlichen Verhältnisse und ein Niedergang der ersten Hochkulturen. Möglicherweise wurde dadurch auch die indogermanische Völkerwanderung / Völkerzerstreuung ausgelöst, die ausgehend von den ursprünglichen Siedlungsgebieten am Kaspischen Meer die gesamte Region von der Atlantikküste bis nach Nordindien hinein bis zum heutigen Tag kulturell geprägt hat.

Das folgende Subatlantikum ist der letzte und derzeit aktuelle Klimaphasenabschnitt des Holozäns. Die Durchschnittstemperaturen lagen und liegen im Subatlantikum geringfügig niedriger als im Atlantikum. Innerhalb dieser Zeitperiode kam es immer wieder zu Temperaturschwankungen, die ökologische und sozioökonomische Auswirkungen nach sich zogen. In Mitteleuropa etablierten sich, bedingt durch die feuchteren Sommer, zunehmend Rotbuchenwälder. Die trockenheitsliebenden Eichenwälder des Atlantikums wurden zurückgedrängt. Mitte des 2. Jahrtausends v. Chr. erreichte das Klima ein erstes Optimum, das die Entwicklung der ägyptischen, der thrakischen, der griechischen Hochkultur sowie und der Hochkulturen des vorderen Orients ermöglichte.

Um das Jahr 1000 vor Chr. kam es zu einer Klimaverschlechterung und einen Niedergang der Kulturen (sogenannte „Dunkle Jahrhunderte“, auch *Klimapessimum* – Phase mit unterdurchschnittlichen Temperaturen innerhalb einer Klimaperiode). Etwa 700 v.u.Z. war diese Phase beendet. Die etruskische und die römische Kultur wurden durch das sogenannte Klimaoptimum der Römerzeit, welches bis Anfang des 4. Jahrhunderts n. Chr. anhielt, befördert. In diese Zeit fällt ziemlich exakt die klassische Antike. Das Ende des Römischen Reiches wurde wiederum durch eine Klimaverschlechterung beschleunigt. Ausgehend von Zentralasien kam es durch eine hohe Bevölkerungsdichte und Missernten zu einem Migrationsdruck nach Westen in mildere Gebiete, dem nach und nach alle Völker nördlich der Grenzen Roms ausgesetzt waren. Das Römische Reich konnte in Verbindung mit innenpolitischen Problemen dem Völkeransturm schließlich nicht mehr standhalten. Die Wirren der Völkerwanderungszeit wirkten bis in das 8. Jahrhundert hinein. Erst dann kam es in Verbin-

dung mit einer erneuten Klimaerwärmung (Mittelalterliches Klimaoptimum), die fast so stark ausgeprägt war wie die der Römerzeit, zu einer Festigung der jungen germanischen Staatsgebilde auf und außerhalb des alten römischen Staatgebietes.

Ab dem 14. Jahrhundert gingen die Temperaturen diskontinuierlich bis zum folgenden Pessimismus der so genannten „Kleinen Eiszeit“ im 17. Jahrhundert zurück. Die Klimaverschlechterung wurde durch eine Reihe von Katastrophenjahren mit Extremwetterereignissen, wie zum Beispiel großen Überschwemmungen und kalten Sommern, eingeläutet. Die Vitalität der Bevölkerung ging durch die von Missernten ausgelöste Mangelernährung zurück und es kam zu globalen Pandemien (große Pest 1330-1350), die eine starke Bevölkerungsdezimierung nach sich zogen. Die Zeit der Renaissance und des Barock waren durch tiefgreifende gesellschaftliche Wandel vom Feudalismus hin zum Frühkapitalismus geprägt. Die klimatisch ungünstigen Umstände zwangen vermehrt zu Innovation für die Umsetzung einer die Gesellschaft Europas tragenden Wirtschaft. Kriege wurden vermehrt im Inneren ausgetragen, da hier häufig eine wirtschaftliche Existenznot bestand. Hierzu zählen die Religionskriege, der Bauernaufstand, der 30-jährige Krieg und der 7-jährige Krieg, sowie als Resultat des gesellschaftlichen Entwicklungsprozesses des Pessimismus die Revolutionen des späten 18. und frühen 19. Jahrhunderts. Die sich danach durchsetzende Industrialisierung fällt in eine bis heute andauernde Warmperiode. Die Temperaturen stiegen seit Beginn des 20. Jahrhunderts, ausgehend von dem Temperaturniveau nach der Kleinen Eiszeit, im langjährigen Mittel kontinuierlich an. Die Erwärmung nach der Kleinen Eiszeit war zunächst natürlichen Ursprungs und wird mit einer höheren Sonnenaktivität und niedrigeren Vulkantätigkeit in Verbindung gebracht. Spätestens seit Beginn des 20. Jahrhundert sind aber auch Einflüsse durch die Treibhausgasemissionen des Menschen als weitere Ursache wahrscheinlich.

## **1.6 Extremereignisse im Zeitraum 2001-2007**

Im Folgenden werden drei Extremereignisse unterschiedlicher Art dargestellt. Jedes dieser Ereignisse gehört in Sachsen zu den extremsten seiner Art seit Beginn der Wetteraufzeichnung. Alle drei Ereignisse fanden in der 1. Dekade des 21. Jahrhunderts statt (siehe auch: BfÖS/C&E, 2005)

### **1.6.1 Hochwasser 2002**

Ein Extremereignis, welches in der heutigen Zeit der Klimaveränderungen stattfand und in seinem Ausmaß alle historisch belegten Katastrophen in der betroffenen Region zum Teil bei

Weitem übertraf, ist das Hochwasser, welches sich in Folge der Starkniederschläge vom August 2002 bildete.

Im Einzugsgebiet der Elbe kam es im Laufe der ersten Hälfte des Monats August 2002 zu erheblichen Starkniederschlägen [LfUG 02-1]. Ursache war eine Wetterlage, welche bereits in der Vergangenheit im ostdeutschen Raum regelmäßig zu extremen Starkniederschlägen führte, so z. B. in den Jahren 1948, 1954 und 1978 (Vb-Wetterlage). Bei einer Vb-Wetterlage findet zunächst ein massiver Kaltlufteinbruch über Westeuropa statt, in dessen Folge sich in West- und Mitteleuropa eine kühle Witterung einstellt. Weiterhin bildet sich ein Tief über Oberitalien, welches sich nord- oder nordostwärts über die Alpen nach Mitteleuropa verlagert. Dieses Tief führte feucht-warme Meeresluft mit sich, welche am Rande der Kaltluft in Mitteleuropa zum Aufgleiten gezwungen wurde. Dabei entwickeln sich im Grenzbereich der beiden Luftmassen ausgedehnte Starkniederschläge längerer Dauer.

In der Zeit vom 11.08.2002 bis 13.08.2002 führte die Vb-Wetterlage zu einer Bewegung eines Tiefdruckgebietes über die Ostalpen hinweg nach Polen. Im Bereich dieses hoch reichenden Tiefdrucksystems glitt feucht-warme subtropische Luft aus dem Mittelmeerraum auf die vorhandene Kaltluft auf. Dies führte zu einem sehr breiten Niederschlagsstreifen, der von Österreich und Tschechien über Ostbayern und Sachsen bis nach Brandenburg reichte. Auf der Rückseite des Tiefdruckgebietes stellte sich eine Nordströmung ein. Infolgedessen kam es im Erzgebirge durch Stau und orographisch bedingte Hebung der Luft zu einer deutlichen Verstärkung der Niederschläge.

Über ausgedehnte Gebiete fiel ungewöhnlich starker Regen. Die Niederschlagstätigkeit dauerte mehr als 48 Stunden an, da das Tiefdrucksystem nur langsam ostwärts abzog. Besonders in den oberen Lagen der Einzugsgebiete von Müglitz und Weißeritz fielen z. T. intensive Niederschläge vom Nachmittag des 11.08.2002, 16:00 Uhr bis zum Abend des 13.08.2002. Die Niederschlagshöhen und die abgeleiteten Wiederkehrwahrscheinlichkeiten sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Tageswerte der Niederschlagshöhe  $h_N$  und deren Wiederkehrzeit  $T$  am 12.08.2002 und im Zeitraum 11.08. bis 13.08.2002

Station	$h_N$ [mm]	$T$ (a)	$h_N$ [mm]	$T$ (a)
	12.08.02		11.08.-13.08.02	
Zinnwald-Georgenfeld	312.0	>>100	406.2	>>100
Klingenberg (TS)	280.6	>>100	313.6	>100
Lauenstein	267.3	>>100	324.7	>100
Tharandt-Grillenburg	241.2	>>100	271.0	>100
Tanneberg	228.2	>>100	250.4	>100
Malter (TS)	219.0	>>100	250.9	>100
Lichtenberg (TS)	201.4	>100	227.9	>100
Leuben	173.3	>>100	237.9	>100
Marienberg	166.5	>100	187.9	>100
Dresden-Klotzsche	158.0	>100	181.7	>100
Carlsfeld	144.8	>100	209.7	>100
Fichtelberg	135.4	>100	201.5	>100
Oschatz	108.5	>100	117.1	42
Holzdorf	95.8	100	102.4	29
<b>Chemnitz</b>	<b>78.0</b>	<b>30</b>	<b>109.3</b>	<b>15</b>
Aue	79.9	9	135.6	13
Lichtenhain-Mittelndorf	62.3	4	86.6	3

mit  $h_N$  Starkniederschlagshöhe

$T$  (a) entsprechende Wiederkehrswahrscheinlichkeit in Jahren

Die Tabelle verdeutlicht, dass der Niederschlag das 100jährige Ereignis, welches für Zinnwald zwischen 100 mm/24 h und 120 mm/24 h liegt [KOSTRA 97], bei weitem überschritten hat. Der maximierte Gebietsniederschlag beträgt zum Vergleich bei Zinnwald-Georgenfeld etwa 350 mm/24 h. Der gemessene Wert von 312 mm/24 h ist der größte Tageswert der Niederschlagshöhe, der seit Beginn routinemäßiger Messungen in Deutschland überhaupt registriert wurde. Er kommt vermutlich der größten Niederschlagshöhe nahe, die dort physikalisch überhaupt möglich ist [LfUG 02-1].

Durch die sachsenweit flächendeckend auftretenden ergiebigen Niederschläge kam es ab dem 12.08 in Sachsen zu einer außergewöhnlichen extremen Hochwassersituation. Gewässerprofile und Pegelmessstellen wurden teilweise vollständig zerstört. Häufig suchten sich vor allem kleinere Wasserläufe neue Wege. Straßen, Häuser, Bäume und Brücken wurden weggerissen, Strom- und Telefonnetze brachen zusammen.

Mit diesem Hochwasserereignis wurden an allen sächsischen Elbepegel die bisherigen höchsten Hochwasserstände (HHW) überschritten [LfUG 04-2]. Auch im Muldegebiet lagen die Scheitelwasserstände erheblich über den höchsten bisher beobachteten Hochwasserständen (HHW). In den Flussgebieten der Schwarzen Elster, Weißen Elster, Spree und Lausitzer Neiße war die Hochwassersituation nicht so extrem. Aber auch hier erreichten die Wasserstände teilweise die Richtwerte der Alarmstufe 4.

Das Einzugsgebiet der Roten und Wilden Weißeritz sowie der linken Müglitzzuflüsse kann als das Zentrum des Hochwassergeschehens im Osterzgebirge aufgefasst werden. Hier entstanden am 12./13.08. Sturzfluten mit verheerenden Auswirkungen. Gewässerprofile und Pegelanlagen wurden teilweise vollständig zerstört. Die erreichten Scheitelwerte lagen häufig weit über den bisher bekannten Höchstständen. Ein reichliches Drittel des Abflusses der Vereinigten Weißeritz konnte nicht im (künstlichen) Flussbett abfließen, sondern strömte direkt in die Dresdner Innenstadt.

Im gesamten Hochwassergebiet war eine ausgeprägte Geschiebebewegung zu beobachten, die vorwiegend aus der Ufererosion mit Material versorgt wurde. Über einige Strecken veränderten Erosion und Sedimentation neben dem Flussprofil auch das Relief im Talgrund. Die künstliche Befestigung der Gewässerläufe konnte hier die Prozesse, die bei Extremereignissen eine naturnahe Landschaft prägen, nicht verhindern.

Alle Ortschaften in den Flusstälern waren von Überschwemmungen im Siedlungsgebiet betroffen. Durch Infiltration von Niederschlägen und Flusswasser in überschwemmten Talauen gelangten ungewöhnliche Wassermengen in den Boden [LfUG 03-1]. Das führte zu feuchten bzw. gefluteten Kellern, zu Schäden an der Bausubstanz und der Statik von Gebäuden, zu oberirdischem Austritt von Grundwasser, zur Erhöhung des Zuflusses von Fremdwasser in Kläranlagen. Landwirtschaftlich genutzte Gebiete waren zeitweise überflutet.



Die maßgebliche Hochwassergefährdung der Ortslagen resultierte aus den unzureichenden Abflussquerschnitten und der Erosionsgefährdung im Uferbereich. Überwiegend Brücken bildeten die Engstellen. Geschiebe- und Treibgutablagerungen wurden begünstigt beziehungsweise verschärften diese Probleme. Infolge der gewässernahen Besiedlung und teilweise ungünstigem Uferbewuchs war ein großes Treibgutpotenzial vorhanden.

Schäden an verschiedenen Schutzgütern entstanden durch:

- Überschwemmung
- Ablagerung von Geschiebe und Schwemmgut außerhalb der Gewässerbetten (Übersarung)
- Ablagerung von Geschiebe und Schwemmgut vor Brücken und anderen Wasserbauwerken (Verklausung)
- Erosion und Gerinneverlagerung (Ausspülung von Stützmauern oder Brückenwiderlager und nachfolgender Einsturz, Tiefenerosion der Gewässersohle, Abtrag von Böschungssicherungen, Erosion ungeschützten Bodens, Beschädigung der Gründung ufernaher Straßen, Gebäude und Bahnlinien mit nachfolgendem Einsturz, Erosion von künstlichen Dämmen, Verlegung von Fließquerschnitten und Ausbruch der Hauptströmung bis zur Entsehung eines neuen Gewässerbettes).

Viele Vorkehrungen zum Hochwasserschutz haben sich gegenüber dem Hochwasser von 2002 als unterdimensioniert erwiesen. Die Schäden in den Überschwemmungsgebieten resultieren neben der reinen Wassereinwirkung zu einem großen Anteil aus den erosiven Prozessen infolge der hohen Strömungsgeschwindigkeiten und dem Treibguttransport.

Im Untersuchungsgebiet sind insgesamt Schäden von über 1 Mrd.€ aufgetreten [LfUG 04-2]. Besonders betroffen waren dabei die Täler der Weißeritz und der Müglitz, welche beide einerseits dicht besiedelt sind und andererseits im Zentrum des Starkniederschlags vom August 2002 lagen. Die Schadenssumme wurde aus über 10.000 Einzelschäden in den verschiedenen Bereichen ermittelt und dem jeweiligen Flussgebiet zugeordnet. Abb. 4 enthält eine Zuordnung der Schäden zu einzelnen Schadensbereichen.

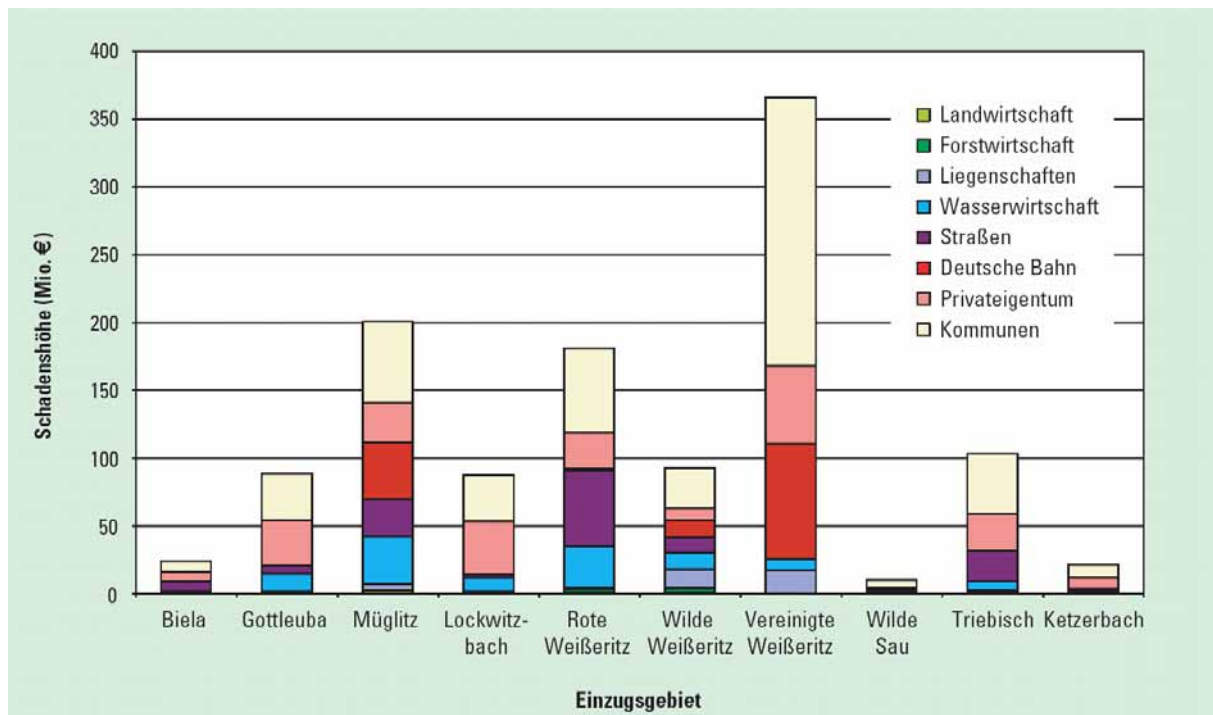


Abb. 4: Verteilung der Schäden nach Schadensbereichen [LfUG 04-2]

Besonders stark betroffen waren die Kommunen sowie das Privateigentum, welche über 40% bzw. mindestens 20% der gesamten Schäden verzeichneten [LfUG 04-2]. Ebenfalls stark betroffen waren die Verkehrsträger Bahn und Straße sowie die Wasserwirtschaft, die je ca. 10% des Gesamtschadens ausmachten. Nur von untergeordneter Bedeutung sind die Schäden an Forst- und Landwirtschaft.

Das Wiederkehrintervall des Hochwasserereignis ist für die Stadt Chemnitz lediglich mit 30 Jahren eingeschätzt worden (Tab. 1). Für ein 100- bis 200jähriges Ereignis sind Überflutungsgebiete nach § 100 (1), (3) und (5) SächsWG ausgewiesen worden [LfULG 09-1]. In diesen Gebieten ist im Hochwasserfall mit entsprechenden Schäden zu rechnen. Betroffen sind:

Einsiedel, Chemnitz Erfenschlag, Chemnitz Reichenhain (Zwönitz): weite Bereiche der Siedlungs- und Gewerbeflächen im gesamten Talgrund der Zwönitz

Klaffenbach, Harthau (Würschnitz): weite Bereiche der Siedlungs- und Gewerbeflächen im gesamten Talgrund der Würschnitz

Chemnitz Markersdorf (Chemnitz): Gewerbegebiet Europapark östlich der Chemnitz bis zur Anna-berger Straße einschließlich Schulstraße und Bahnhof Zwönitzbrücke

Chemnitz Helbersdorf/Altchemnitz (Chemnitz): Stadtpark, Otto-Werner-Garten westlich der Chemnitz

Kapellenberg, Zentrum, Schlosschemnitz, Furth (Chemnitz): geringe Ausuferung im Bereich Annaberger Straße/Reichsstraße, ansonsten verbleibt die Vorflut weitestgehend im kanalisierten Gewässerbett

Borna-Heinersdorf, Glösa-Draisdorf, Wittgensdorf (Chemnitz): die Ausuferung betrifft den teilweise breiten Talgrund, der jedoch nur bei Draisdorf und dort nur randlich bebaut ist

Die Auflistung zeigt, dass sich die Schäden vor allem im Süden des Stadtgebietes in den Tälern der Zwönitz und Würschnitz konzentrieren, weiterhin im Chemnitztal südlich des Zentrums. Weitere kleinflächigere Ausuferungen wurden ausgewiesen für den Kappelbach im Bereich Feldschlösschen/Michaelstraße mit Wohn-/gewerblicher Bebauung und für den Pleißbach im Stadtteil Rottluff mit überwiegender Wohnbebauung.

### 1.6.2 Orkan Kyrill

Orkane sind Winde mit Stärke 12 der Beaufort-Skala (Windgeschwindigkeit >118 km/h). Sie treten in Mitteleuropa als Folge von Luftdruckunterschieden (Orkantiefs) oder in Tornados auf.

Ein Tornado ist ein kleinräumiger Luftwirbel in der Erdatmosphäre, der sich vom Boden bis zur Untergrenze konvektiver Bewölkung (Cumulus und Cumulonimbus) reicht. Dabei werden die höchsten bisher gemessenen Windgeschwindigkeiten erreicht (Nordamerika: bis nahe 500 km/h) mit verheerenden Auswirkungen für Gebäude, infrastrukturelle Einrichtungen und land- und forstwirtschaftliche Bestände. Auch in Mitteleuropa treten Tornados von geringerer Stärke auf (Abb. 5), in Deutschland mehrmals im Jahr. Aus Abb. 5 kann eine Tornadomeldung im Zeitraum 1950 bis 2006 für die Stadt Chemnitz entnommen werden, ein weiterer Tornado wurde südwestlich der Stadt gemeldet.

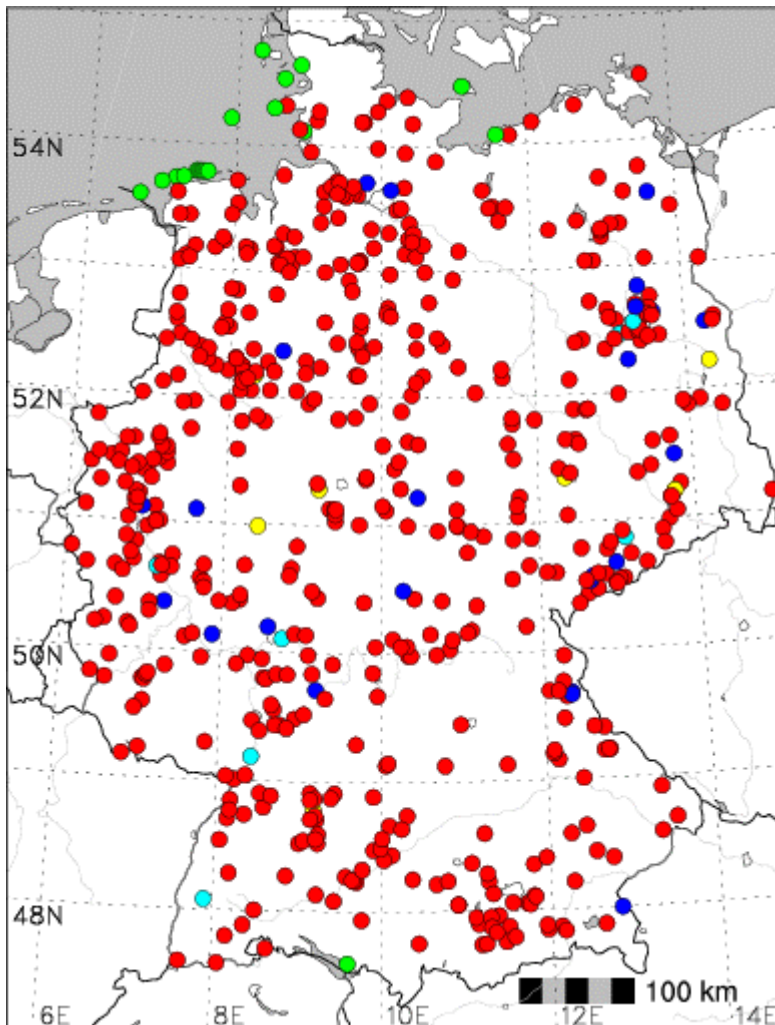


Abb. 5: Alle zwischen 1950 und 2006 erfassten Tornados (592 Fälle mit genau bekanntem Ort, ohne reine Wasserhosen), **rot**: Tornado, **grün**: Land erreichende Wasserhose, **blau**: Tornado/Downburst (Fallböe), **hellblau**: Tornado/Kleintrombe, **gelb**: Tornado/Böenfrontwirbel [TORDACH 2009]

Bei „Kyrill“ handelt es sich um einen Sturm mit Orkanstärke in Folge hoher Luftdruckunterschiede, die am Rand eines Orkantiefs auftraten. Dieses entstand am 15. Januar 2007 über Neufundland, zog danach in Richtung Osten und erreichte Mitteleuropa am 18. Januar 2007. Auf dem Brocken wurden Windgeschwindigkeiten von bis zu 187 km/h gemessen, im Flachland Orkanböen von zum Teil größer als 130 km/h. Es handelt sich um das stärkste flächendeckende Orkanereignis seit 1990.

Das Orkantief, dem wenige Tage später „Lancelot“ folgte, richtete folgeschwere Schäden in den sächsischen Wäldern an. Es war mit einer aufbereiteten Gesamtmenge von ca. 1.82 Mio. m<sup>3</sup> Wurf- und Bruchholz über alle Waldbesitzarten das mit Abstand forstwirtschaftlich bedeutendste Schadereignis in Sachsen seit den Orkanen Vivian und Wiebke 1990 [SMUL 08-1]. Auf ca. 1300 ha entstanden Kahlfelder allein im Landeswald. Betroffen waren nahezu ausschließlich Fichtenbestände in den höheren Lagen von Erzgebirge und Vogtland. Mit der zügigen Aufbereitung des Holzes konnte eine schwere Kalamität des Buchdruckers vermieden bzw. vermindert werden, die ohne diese Bemühungen eine unweigerliche Folge der Sturmschäden gewesen wäre.



Abb. 6: Sturmschäden durch den Orkan „Kyrill“ im Forstbezirk Neudorf [SMUL 08-1]

Im Bundesgebiet wurden Brücken gesperrt, um Unfällen durch umkippende LKW oder von Fußgängern und Radfahrern vorzubeugen. Auf dem gesamten Streckennetz der Deutschen Bahn wurde erstmals in deren Geschichte der Fernverkehr ausgesetzt. Teilweise wurde auch der Regionalverkehr unterbrochen. In vielen Schulen fiel der Unterricht aus, auch Kindergärten wurden frühzeitig geschlossen.

Trotz präventiver Maßnahmen und frühzeitiger Unwetterwarnung verloren in Europa 47 Menschen, davon 13 Menschen in Deutschland, direkt durch den Orkan ihr Leben. Die Sach- und Vermögensschäden belaufen sich auf 2.4 Mrd. Euro. Strommasten knickten um, Leitungstrassen wurden durch umstürzende Bäume beschädigt, so dass in vielen Regionen der Strom ausfiel. Umgestürzte Bäume behinderten den Straßen- und Schienenverkehr. Dächer wurden abgedeckt, parkende Fahrzeuge beschädigt. In Mitteleuropa ist Kyrill nach Vivian und Wiebke das teuerste atlantische Sturmtief der Geschichte.

### 1.6.3 Hitzewelle 2003

Der Spätwinter, das Frühjahr und der Frühsommer des Jahres 2003 waren außergewöhnlich trocken. Es zeichnete sich vor allem in der Landwirtschaft ein gravierender Wassermangel ab. In dessen Folge wurde mit Ernteverlusten gerechnet.

In der ersten Augushälfte des Jahres stiegen die Lufttemperaturen auf ein Rekordniveau. Hinzu kam eine sehr geringe Windgeschwindigkeit, teilweise wurde Windstille erreicht. Dies führte zu einer fehlenden Luftzirkulation, so dass sich die oberflächennahen Luftschichten weiter erwärmten. Die Witterungssituation während des Jahres 2003 in Chemnitz verdeutlichen die folgenden beiden Abbildungen.

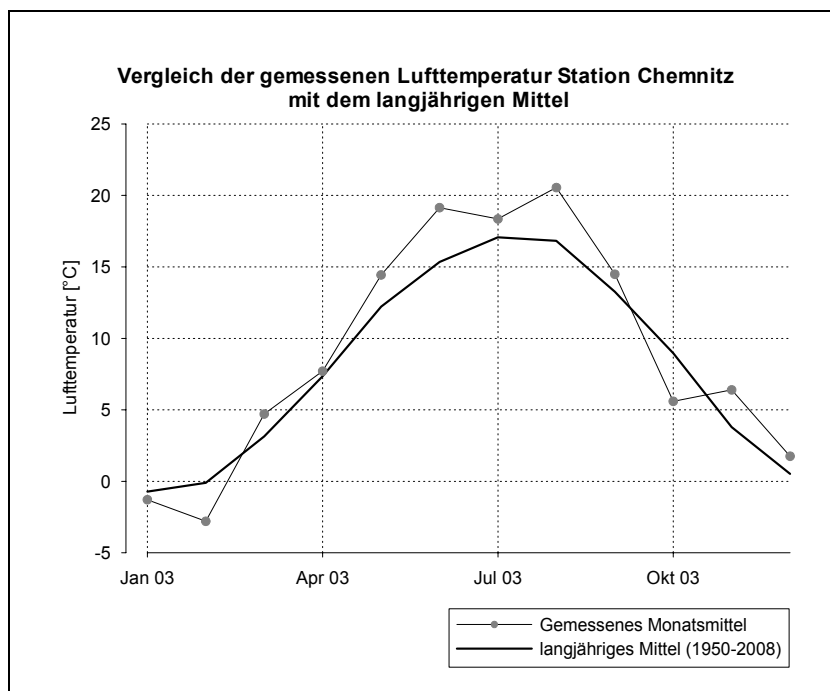


Abb. 7: Lufttemperatur der Station Chemnitz 2003

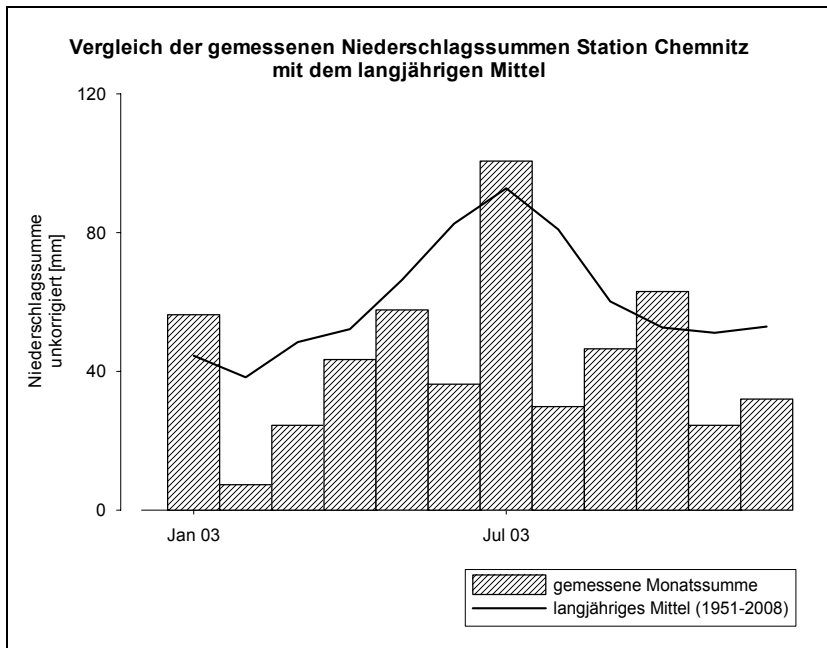


Abb. 8: Niederschlagssumme der Station Chemnitz 2003

Die stärkste Erwärmung im August 2003 fand in Frankreich statt. Westdeutschland war stärker betroffen als Ostdeutschland. Abb. 9 zeigt die räumliche Verbreitung der Extremtemperaturen während der Hitzewelle.

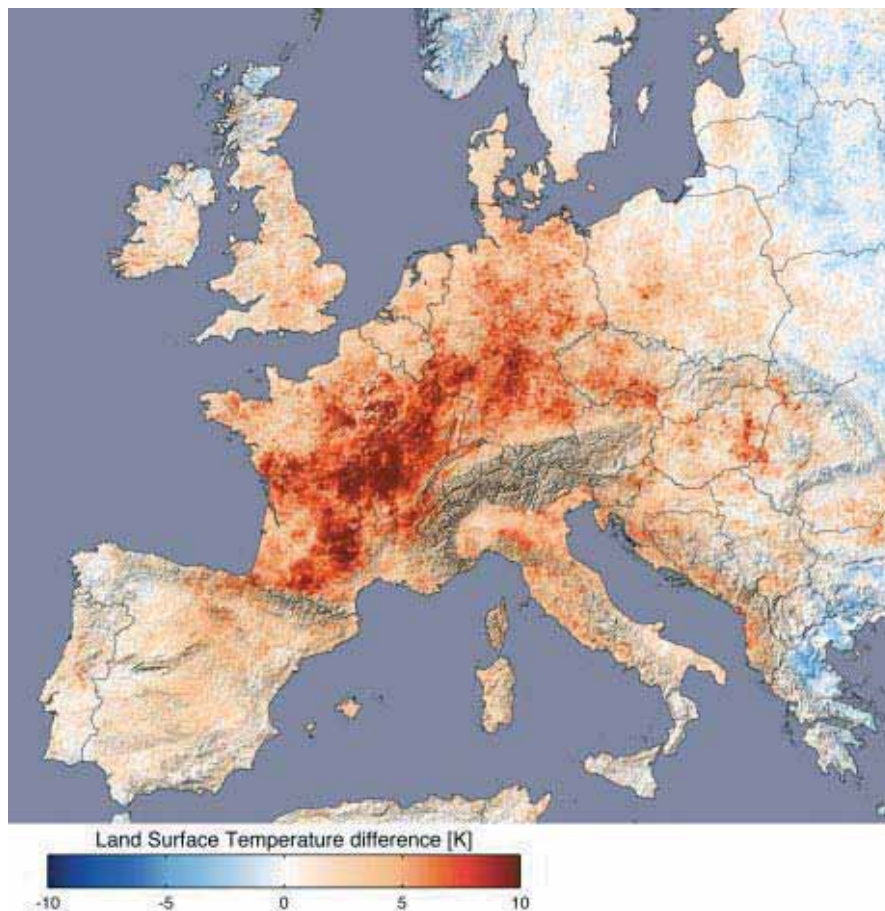


Abb. 9: Abweichung der Temperaturen vom langjährigen Mittelwert in Europa im Sommer 2003 (aus [GW 07], Quelle: NASA)

Verschiedene Quellen nennen bis zu 30000 Todesopfer der Hitzewelle (Europa; davon 7000 in Deutschland und 15000 in Frankreich) als Folge dieser extremen Bedingungen [GW 07]. Die Hitzewelle 2003 ist damit die größte Naturkatastrophe in Europa seit Jahrhunderten.

Die außergewöhnliche Trockenheit des Jahres 2003 führte in weiten Regionen Sachsens zu negativen klimatischen Wasserbilanzen. Im Ergebnis trockneten die Böden stärker aus als in anderen Jahren. In den sächsischen Wäldern führte dies zunächst zu einem Absterben der Bodenvegetation und von Bäumen auf flachgründigen Standorten. In der Folgezeit kam es zur stärksten Borkenkäferkalamität der zurückliegenden 40 Jahre ([SMUL 08-1], vgl. Abb. 10). Die bereits begonnene Kalamität der Nonne (*Lymantria monacha*) vergrößerte sich. Trotz der außergewöhnlichen Situation brannten bei insgesamt 176 Bränden lediglich 37 ha Wald. Dies wird auf ein funktionierendes System aus Überwachung und schneller koordinierter Brandbekämpfung zurückgeführt [SMUL 08-1].



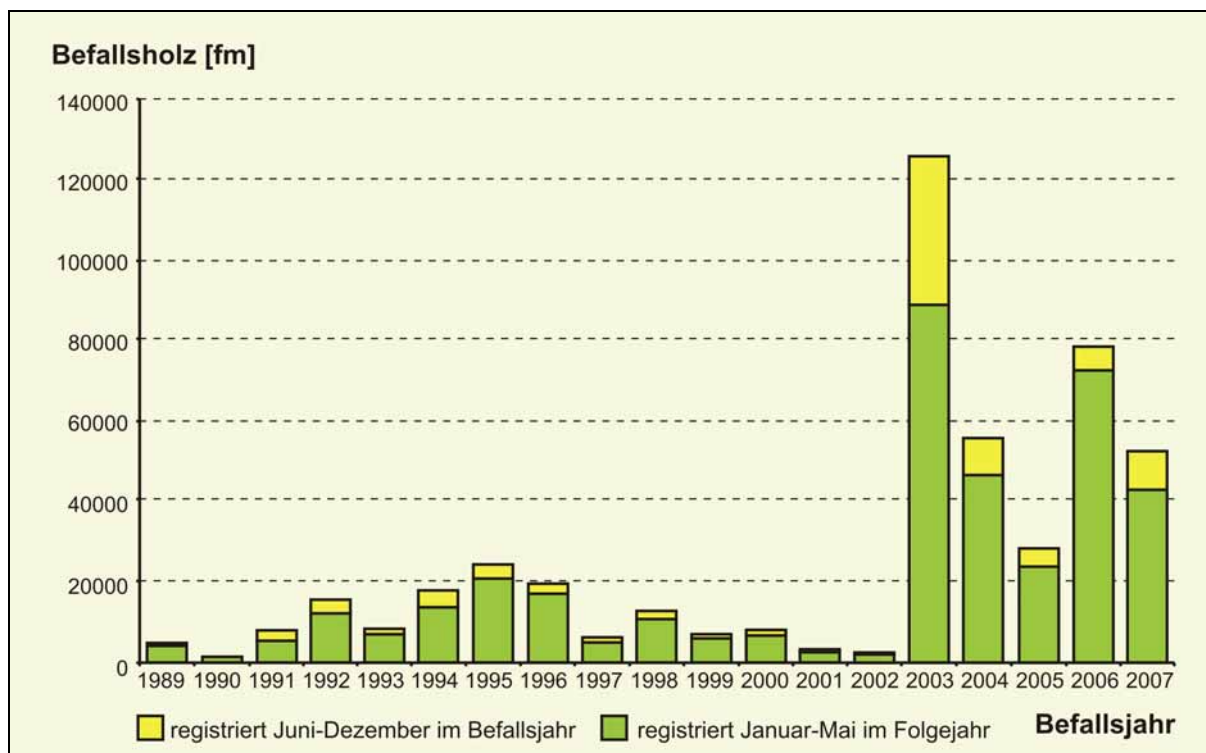


Abb. 10: Durch Buchdrucker, zum Teil in Verbindung mit Kupferstecher, befallene Holzmen- gen von 1989 bis 2007 (aus [SMUL 08-1])

## 1.7 Zielstellung der Studie

Chemnitz kann als Stadt einen wichtigen Beitrag zu einem wirksamen und nachhaltigen Klimaschutz leisten. Als wichtiger Industriestandort bei gleichzeitig hoher Siedlungsdichte, als Ballungsraum mit einer Häufung von Wirtschafts- und Güterverkehren, aber auch mit der Vulnerabilität städtischer Lebensräume für klimabedingte Risiken, ist Chemnitz gefordert, an innovativen Handlungskonzepten und Lösungsansätzen zur Bekämpfung der Folgen des Klimawandels mitzuwirken. Maßgeblich für eine konsequente Klimapolitik sind nicht primär einzelne Projekte, sondern ihre schrittweise Entwicklung zu einer Gesamtstrategie, die die Zukunft der Stadt in den nächsten Jahrzehnten stark prägen wird.

Ausgehend von diesen Randbedingungen ist es Zielstellung der Studie eine fundierte Basis für die zukünftigen Maßnahmenprogramme zu entwickeln. Ausgehend von einer Iststands- analyse in Bezug auf die bisher festgestellten klimatischen Veränderungen im Chemnitzer

---

Raum werden Prognosen der zukünftigen Klimaentwicklung abgeleitet und Klimafolgen sowie notwendige Anpassungsmaßnahmen, insbesondere in den Bereichen Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, diskutiert. Hierfür werden aktuelle Forschungsergebnisse genutzt (wie beispielsweise die regionalisierten Klimadaten für Sachsen), aber auch methodische Werkzeuge entwickelt, um diese regionalen Daten auf die Erfordernisse der Stadt Chemnitz herunter zu skalieren. Ausgehend von diesen Ergebnissen werden die Schutzgüter in der Stadt hinsichtlich ihrer Betroffenheit analysiert, eine Gefährdungsanalyse vorgenommen und potenzielle Gegenmaßnahmen evaluiert.

Basierend auf den Ergebnissen der Betroffenheitsanalyse und der Maßnahmenkonzeption werden im Teilbereich Klimaschutz, der parallel zur vorliegenden Studie bearbeitet wird, umsetzbare Maßnahmen diskutiert. Klimaschutz bietet angesichts der aktuell hohen Energiepreise auch Chancen für Technologie und Innovation bei der Einsparung und Substitution fossiler Rohstoffe. Im Teilbericht Klimaschutz werden Fragen des Klimaschutzes und der Energieeffizienz diskutiert. Ein wesentliches Ziel besteht darin, die Treibhausgasemissionen in der Stadt auf ein klimaverträgliches Maß zu senken.

Die Studie stellt somit einen ersten Schritt in die Richtung eines zukunftsgerichteten Klimaschutzes in der Stadt Chemnitz dar, der in den nächsten Jahren entsprechend der erreichten Meilensteine zu aktualisieren ist.

## 2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

### 2.1 Administrative Gliederung und Siedlungsraum

Mit 241.500 Einwohnern ist Chemnitz nach Leipzig und Dresden die drittgrößte Stadt des Freistaates Sachsen. Chemnitz befindet sich im Erzgebirgsbecken, am Nordrand des Erzgebirges. Chemnitz hat den Status einer kreisfreien Stadt und ist Sitz der gleichnamigen Landesdirektion. Das Stadtgebiet von Chemnitz ist in 39 Stadtteile eingeteilt (siehe Abb. 11).



Abb. 11: Stadtteilgliederung Chemnitz

Die Stadtteile Einsiedel, Euba, Grünä, Klaffenbach, Kleinolbersdorf-Altenhain, Mittelbach, Röhrsdorf und Wittgensdorf sind zugleich Ortschaften im Sinne der §§ 65 bis 68 der Sächsischen Gemeindeordnung.

Das Stadtgebiet umfasst nach zahlreichen Eingemeindungen kein einheitliches geschlossenes Siedlungsgebiet. Die ländlichen Siedlungen (vornehmlich süd- und östliche Stadtteile) sind vom Siedlungsgebiet der Chemnitzer Kernstadt getrennt. Dahingegen besteht aber eine siedlungsräumliche Verbindung über die westlichen Stadtgrenzen hinaus nach Limbach-

---

Oberfrohna und Hohenstein-Ernstthal. Die nachfolgenden Städte und Gemeinden grenzen an die Stadt Chemnitz. Sie werden im Uhrzeigersinn beginnend im Nordosten genannt:

Landkreis Mittelsachsen: Hartmannsdorf, Burgstädt, Lichtenau, Frankenberg/Sachsen, Niederwiesa, Flöha und Augustusburg

Erzgebirgskreis: Gornau/Erzgebirge, Amtsberg, Burkhardtsdorf und Neukirchen/Erzgebirge

Landkreis Zwickau: Oberlungwitz, Hohenstein-Ernstthal, Callenberg, Limbach-Oberfrohna und Niederfrohna

## **2.2 Demografische Entwicklung**

Das Stadtgebiet besteht aus Wohn-, Industrie- und Gewerbegebieten. Bedeutende Wohngebiete sind das Zentrum mit den angrenzenden innerstädtischen Wohnquartieren Schloß-Chemnitz, Kaßberg, Sonnenberg, Lutherviertel, Gablenz, Altendorf, Bernsdorf, Kapellenberg, Kappel, Altendorf. Bedeutende Industrie- und Gewerbegebiete sind entlang des Flusses Chemnitz, der Zwickauer Straße, im Südwestquadranten an der Neefestraße, in Röhrsdorf und Altchemnitz zu finden. Die Einwohnerdichte der Chemnitzer Stadtteile ist in der Abb. 12 dargestellt.

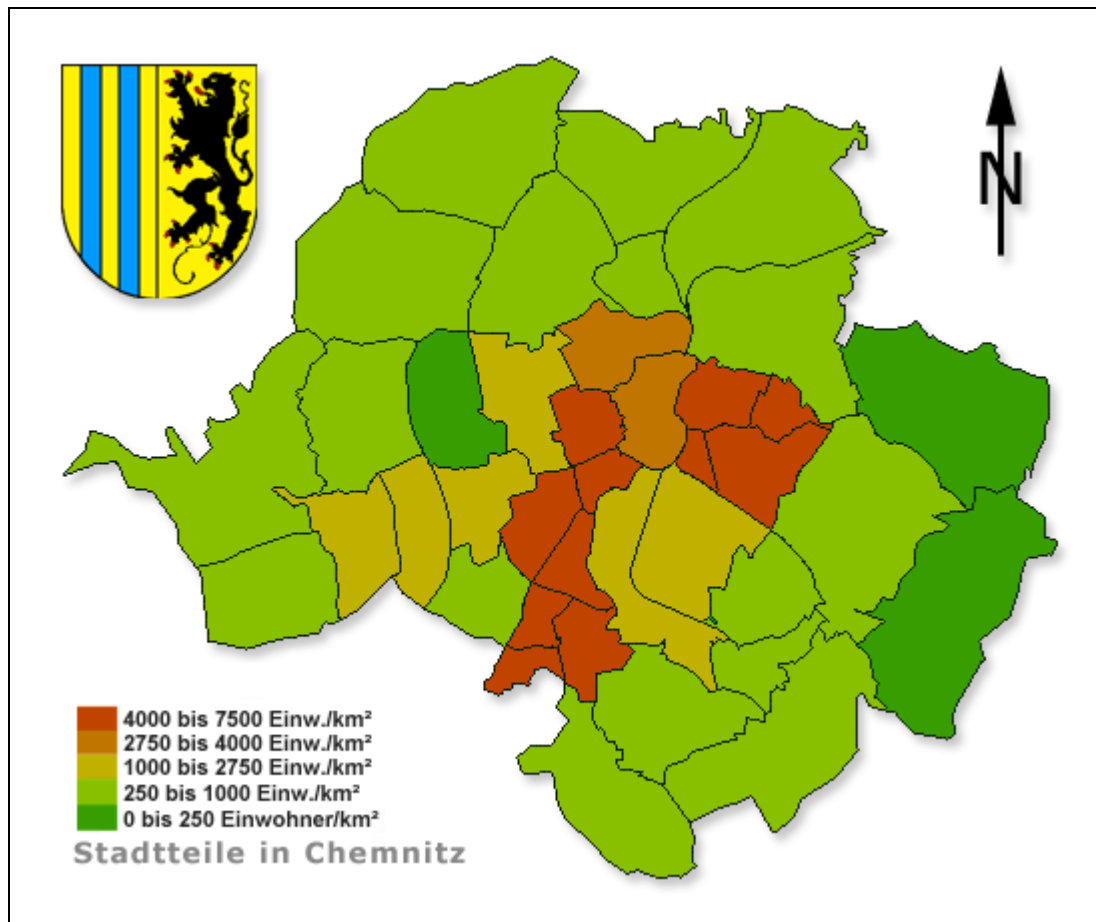


Abb. 12 Einwohnerdichte der Stadtteile von Chemnitz  
(<http://de.wikipedia.org/wiki/Chemnitz>)

Der größte Anstieg der Einwohnerzahl von Chemnitz fand zu Beginn des 20. Jahrhunderts statt. Im Jahr 1883 wurde die Marke von 100.000 Einwohnern überschritten, im Jahr 1901 die von 200.000 Einwohnern und bereits zu Beginn des 1. Weltkriegs die Marke von 300.000 Einwohnern. Trotz der Kriegsverluste im 1. Weltkrieg stieg die Einwohnerzahl bis auf 361.200 im Jahr 1930. Als Folge des 2. Weltkrieges fiel die Einwohnerzahl auf ca. 244.000. Nach 1945 wurde ein Höchststand von 320.000 Einwohnern im Jahr 1982 erreicht.

Nach der politischen Wende 1990 kam es zu einer Bevölkerungsabwanderung. Die Stadt verlor ca. 20 % ihrer Einwohner. Die Migration erfolgte teilweise vom Großraum Chemnitz weg insbesondere in die alten Bundesländer, aber auch aus der Stadt in die angrenzenden Gemeinden. Trotz der Eingemeindungen nach 1990 wurde ein Bevölkerungsverlust von 74.000 Einwohnern von 316.000 (1990) auf 242.000 (2006) verzeichnet [STADT CHEMNITZ

2009]. Der Rückgang betraf vor allem die früher begehrten Plattenbaugebiete. Eher ländlich geprägte Gebiete wie Reichenhain oder Adelsberg verzeichneten aufgrund der staatlichen Förderung des Eigenheimbaus seit Mitte der 1990er Jahre teilweise steigende Einwohnerzahlen.

Der abnehmende Trend der Bevölkerungszahl wird entsprechend unterschiedlicher Prognosen in den kommenden Jahren anhalten. So erwartet das Statistische Landesamt des Freistaates Sachsen für das Jahr 2020 je nach Szenario eine Bevölkerungszahl von 216.700 bis 223.800 [STATISTISCHES LANDESAMT 2009]. Die Bertelsmann-Stiftung prognostiziert im „Wegweiser Kommune“ den folgenden kontinuierlichen Rückgang der Einwohnerzahl von Chemnitz [BERTELSMANN-STIFTUNG 2009]:

2010	237.624 Einwohner
2015	227.850 Einwohner
2020	218.285 Einwohner
2025	208.419 Einwohner

Die Hauptursache für den prognostizierten Rückgang ist das negative Saldo aus Geburten und Sterbefällen (-4,9 pro 1000 Einwohner im Jahr 2006 bis -10,1 pro 1000 Einwohner im Jahr 2025). Es wird davon ausgegangen, dass der negative Saldo aus Zu- und Fortzügen in Zukunft an Bedeutung verliert (-2,3 pro 1000 Einwohner im Jahr 2010 bis +0,2 pro 1000 Einwohner im Jahr 2025).

### **2.3 Infrastrukturelle Situation**

Der Hauptteil der städtischen Bevölkerung konzentriert sich im Kerngebiet der Stadt Chemnitz. Dieses umfasst das Stadtzentrum und die nächstgelegenen Stadtteile Schloß-Chemnitz, Kaßberg, Sonnenberg, Yorck-Gebiet, Lutherviertel, Gablenz, Bernsdorf, Kapellenberg, Helbersdorf, Kappel und Altendorf. Einen zusätzlichen Ballungsraum stellt das Heckert-Gebiet auf dem Gelände der Stadtteile Morgenleite, Markersdorf und Hutholz dar. Innerhalb der genannten Teilgebiete leben jeweils rund 10.000 Einwohner. In den der Stadt nach 1990 eingemeindeten Ortschaften werden jeweils ca. 1.000 bis 6.000 Einwohner erreicht.

Chemnitz bildet einen Eckpunkt des so genannten „Sachsendreieckes“ Dresden-Leipzig-Chemnitz. Die Stadt ist Bestandteil der Wirtschaftsregion Südwestsachsen (Chemnitz-Zwickau-Oelsnitz-Plauen). Chemnitz bildet einen Hauptverkehrsknotenpunkt des gleichnamigen Regierungsbezirkes. Es besteht eine Anbindung an die Autobahnen A4 und A72 so-

wie an verschiedene regionale und überregionale Eisenbahnverbindungen (Sachsenmagistrale Hof-Dresden, Chemnitz-Göttingen, Plauen-Berlin, Chemnitz-Leipzig). Das Straßennetz ist radial ausgerichtet und verbindet die Stadt über Bundes- und Staatsstraßen mit dem Umland. Derzeit findet eine Erweiterung des Straßennetzes statt. In dieses Konzept lassen sich beispielsweise die Projekte Innenstadtring und Südringverbund einordnen.

Im Siedlungsraum besteht nahezu ausnahmslos ein Zugang zu Strom und Trinkwasser. Es besteht eine umfassende Fernwärmeversorgung der Wohnungen und Gewerberäume. Fernwärme wird im Chemnitzer Heizkraftwerk Nord gleichzeitig mit Strom produziert. Dabei wird der zur Stromproduktion verwendete Dampf in einem zweiten Kreislauf zur Erwärmung von Wasser genutzt (Kraft-Wärme-Kopplung). Aufgrund der optimalen Ausnutzung der Brennstoffe kann dieser Herstellungsprozess als umweltschonend bewertet werden.

Die Abwasserentsorgung erfolgt zum Großteil zentral über Mischwasserkanäle, die zum Klärwerk Heinersdorf führen. Mittelfristig wird das Ziel verfolgt, Abwasser und Niederschlagswasser zu trennen und letzteres in Versickerungsanlagen zu verbringen. In nicht angeschlossenen Randgebieten wird das Abwasser teilweise über Kleinkläranlagen gereinigt oder mit dem Sammelwagen abgeholt und nach Heinersdorf gefahren.

## **2.4 Lage im Relief**

Chemnitz liegt im Erzgebirgsbecken, umrahmt von Ausläufern des Erzgebirges im Süden und von Höhen des Mittelsächsischen Berglandes im Norden auf etwa 300 Metern über NN (siehe Abb. 13). Der durch die Stadt verlaufende Fluss Chemnitz (Flusssohle auf ca. 290 Metern über NN) hat mit dem Ausschürfen eines breiten Tales die Anlage der Stadt begünstigt. Er wird neben den beiden Mittelgebirgsflüssen Zwönitz und Würschnitz als Hauptquellarme von zahlreichen im Stadtgebiet verlaufenden kleinen und mittleren Bachläufen (Pleißbach, Kappelbach, Gablenzbach etc.) gespeist.

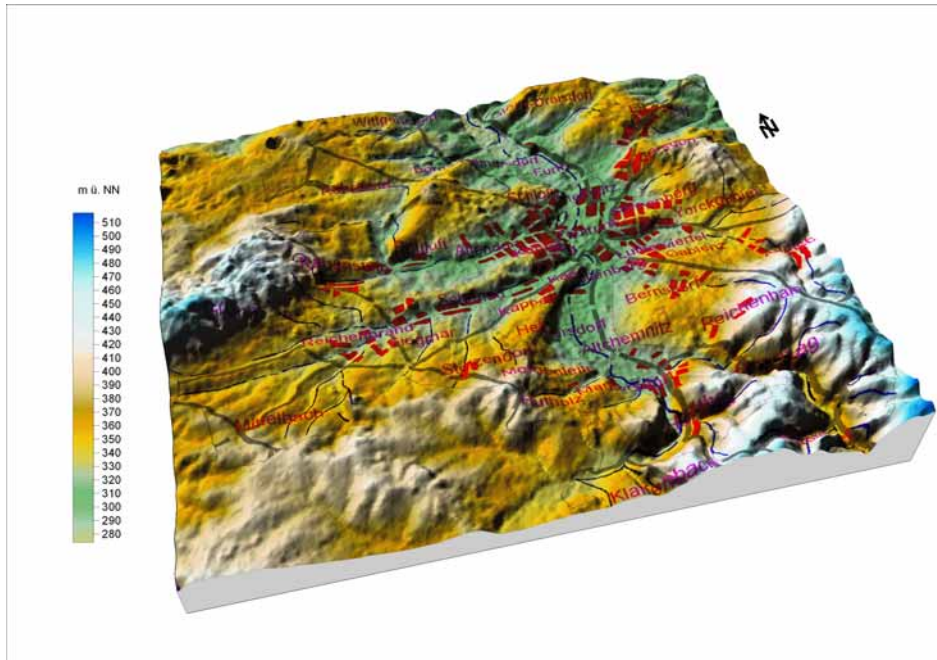


Abb. 13: Reliefansicht des Chemnitzer Stadtgebietes

## 2.5 Geologische Situation

Der geologische Untergrund von Chemnitz lässt sich in drei verschiedene große Einheiten gliedern. Die nördlichen und nordwestlichen Stadtteile lassen sich zum Granulitgebirge zuordnen, welches sich als Teil des Mittelsächsischen Hügellandes zwischen Glauchau und Döbeln erstreckt. Es ist nach den Granuliten benannt, welche vornehmlich aus präkambri-schen Sedimentgesteinen durch Metamorphose hervorgingen. Weiterhin wird diese geologi-sche Zone von Norden nach Nordwesten in das Auerswalder Lösshügelland, das Untere Chemnitztal, in die Wittgensdorfer Lössplatte sowie das Röhrsdorfer Schieferhügelland (Schieferhülle des Granulitgebirges) unterteilt.

Das im Raum Chemnitz mit rund sieben bis acht Kilometern schmale Erzgebirgsbecken zieht sich in Südwest-Nordost verlaufender Richtung durch einen großen Teil des Stadtgebietes. Innerhalb des Beckens befindet sich der Beutenberg (420,9 m), welcher die Stadt im Osten abgrenzt. Vorherrschende Gesteine des Erzgebirgischen Beckens sind neben Rotliegend-Sedimenten, die sich seit dem Oberkarbon gebildet haben, Tuffe und Lösslehmauflagen. Im Bereich Chemnitz wird das Erzgebirgsbecken in den Zschopau-Hochtalboden, die Kohlun-Platte, das Zeisigwald-Struth-Hügelland, das Chemnitztal, den Chemnitz-Terrassenriedel, Siegmar-Bornaer Hügelland, das Neukirchener Hügelland und das Untere Würschnitztal un-tergliedert.



Die Nordrandstufe des erzgebirgischen Kristallins zeigt im Raum Chemnitz durch den über 150 m hohen Abfall zum Erzgebirgsbecken hin am deutlichsten ihre Morphologie. Sie prägt den Südtel des Gebietes der Stadt Chemnitz. Südlich der Linie Galgenberg in Euba (471,2 m) - Adelsberg (508,4 m) - Klaffenbach herrschen tonschieferähnliche Phyllite und Auensedimente vor. Zerschnitten durch die Täler der Würschnitz und Zwönitz erreicht die Geländestufe Höhen von 500 bis 550 m HN. Der im Stadtgebiet höchste Berg - die Klaffenbacher Höhe (523,4 m HN) – befindet sich hier. Der Raum wird mit den Bezeichnungen Erzgebirgsnordrandstufe, Unteres Zwönitztal, Harthauer Würschnitztal, Berbisdorfer Riedelgebiet, Dittersdorfer Riedelgebiet weiter unterteilt.

## **2.6 *Naturräumliche Gliederung***

Chemnitz liegt in der Naturregion Erzgebirgsvorland/Erzgebirgisches Becken. Diese wird vornehmlich von Böden aus Verwitterungslehm des Rotliegenden und Böden auf dem Ausgangssubstrat des verwitternden Phyllits und Glimmerschiefers mit geringer Lösslehmbeeinflussung geprägt. Die potentielle natürliche Vegetation stellt im Allgemeinen der hochkolline bis submontane Hainsimsen-Eichen-Buchenwald dar. In staunassen Niederungen sind der Erlen-Eschen-Auenwald und Erlenbruchwald heimisch [SMUL 2009].

Die natürliche Vegetation ist durch die dichte Besiedlung der Region entweder baulichen Anlagen oder aber der Landwirtschaft und planmäßigen Forstwirtschaft gewichen. In den Randgebieten von Chemnitz werden auf ackerbaulich genutzten Flächen vorwiegend Getreide (Sommer- und Winterweizen, Gerste, Roggen), Mais, Raps und Grassaaten angebaut. Die größeren Waldgebiete, wie zum Beispiel Rabensteiner Wald, Zeisigwald, Ebersdorfer Wald oder Harthwald, werden als Misch- oder reiner Nadelwald betrieben. Charakteristische Arten sind Rotbuche, Stiel- und Traubeneiche, Birke, Berg- und Spitzahorn, Esche, Rot-Eiche, Wald-Kiefer und Gemeine Fichte. Die reinen Nadelwaldkulturen insbesondere der nicht standortgemäßen Gemeinen Fichte, aber auch Monokulturen anderer Baumarten werden derzeit zugunsten von Mischwaldkulturen nach und nach umgebaut. Als Folge der Flurbereinigung ist die Region relativ arm an Feldrainen. Vereinzelt finden sich Weißdorn, Schwarzdorn, Eberesche oder Holunderbüsche.

## **2.7 *Klimatische Verhältnisse***

Klimatisch lässt sich Chemnitz je nach angewandter Klimaklassifikation wie folgt einordnen:

- "Warmgemäßigtes Regenklima, immerfeucht und sommerwarm"  
(Effektive Klimaklassifikation nach KÖPPEN [KÖPPEN 1936])
- "Temperiertes Zyklonalklima"  
(Genetische Klimaklassifikation nach HENDL, [HENDL 1963])

Der Witterungsablauf ist gekennzeichnet durch einen ständigen Wechsel maritim beziehungsweise kontinental geprägter Abschnitte, wobei im Vergleich zu den weiter westlich befindlichen Städten in Deutschland die Kontinentalität stärker ausgeprägt ist [DWD 1993]. Aufgrund der Höhenlage (> 300 m HN) ist das Chemnitzer Klima prinzipiell gegenüber dem Sächsischen Tiefland kühler und niederschlagsreicher. Der thermische Effekt des Stadtklimas kann dies zumindest in den inneren Stadtteilen ausgleichen. Im Winterhalbjahr sorgen föhnartige Ereignisse im Lee des Westerzgebirges häufig für deutlich erhöhte Temperaturen im Vergleich zum Dresdner Raum [DWD 1993]. Ebenso können bei nordwestlichen Anströmung Stauereignisse im Luvbereich des Erzgebirges stattfinden, die zu einer Erhöhung der Niederschlagssummen im Vergleich zum Tiefland führen. Die detaillierten klimatischen Verhältnisse und Veränderungen des Stadtgebietes von Chemnitz werden im Kapitel 3 weitergehend diskutiert.

## 3 Teilbereich Klimawandel

### 3.1 Vorgehensweise

#### 3.1.1 Datenbasis

##### 3.1.1.1 Das digitale Geländemodell

Für die Berechnung der höhenabhängigen Temperatur wurde das Digitale Geländemodell des Amtlich Topographisch-Kartographischen Informationssystems ATKIS DGM25 des Untersuchungsgebietes vom Städtischen Vermessungsamt Chemnitz genutzt [STÄDTISCHES VERMESSUNGSAMT CHEMNITZ 2008]. Es besitzt eine Rasterauflösung von 20 m x 20 m.

##### 3.1.1.2 Meteorologische Daten und Ereignistage

Für die Periode 1950-2008 lagen die Tageswerte der Messung der meteorologischen Parameter *Lufttemperatur* (2 m Höhe: Minimum, Maximum, Mittel), *unkorrigierter Niederschlag* (Summe), *relative Luftfeuchte* (Mittel), *Sonnenscheindauer* (Summe), *Bedeckung* (Mittel) und *Windgeschwindigkeit* (10 m Höhe: Mittelwert) der DWD-Station Chemnitz vor [DWD 2009]. Die Schneetage der Normalperiode wurden dem DWD-Bericht von 1993 entnommen [DWD 1993]. Die Schneetage der Periode 2001-2008 waren auf der Internetseite [www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de) frei verfügbar.

##### 3.1.1.3 Messmethodik und Erläuterung der meteorologischen Parameter

Als *Lufttemperatur* wird jene Temperatur der bodennahen Atmosphäre bezeichnet, die weder von Sonnenstrahlung noch von Bodenwärme oder Wärmeleitung beeinflusst ist. Die Lufttemperatur wird in 2 m Höhe über dem festen Untergrund in der weiß angestrichenen Englischen Wetterhütte auf dem meteorologischen Messfeld in freier Umgebung gemessen. Als Messinstrument wurden seit über hundert Jahren drei Flüssigkeitsthermometer verwendet. Eines diente der Bestimmung des Tagesmaximums, eines der Bestimmung des Tagesminimums und eines der Lufttemperatur zu den Messterminen. Die heute gebräuchlichen automatischen Stationen verwenden elektrische Widerstandsthermometer.

Als Messtermine wurden bis 31.03.2001 die „Mannheimer Stunden“ verwendet (7 Uhr, 14 Uhr und 21 Uhr). Die Berechnung des Tagesmittels erfolgte als arithmetischer Mittelwert, wobei der Abendtermin mit doppelter Wichtung einging. Für die in der ehemaligen DDR gemessenen Werte ergibt sich folgende Messhistorie [SMUL 2008b]:

- 1957 und 1962 Umstellung der Messtermine von mittlerer Ortszeit auf mitteleuropäische Zeit
- 1967 Festlegung der 4 Messtermine 1, 7, 13 und 19 Uhr mitteleuropäischer Zeit für die hauptamtlichen Stationen
- 1990 Festlegung der Mannheimer Stunden mit 7:30, 14:30 und 21:30 Uhr
- Seit 01.04.2001 Umstellung auf Automatische Temperaturmessung im Stundentakt zu jeder vollen Stunde

Der *Niederschlag* wird nahe der Wetterhütte des DWD in 1 m über dem festen Untergrund in freiem Gelände gemessen. Die Messung wird durch die Exposition der Messstation geringfügig verfälscht (zum Beispiel Verwehung der Tröpfchen durch Wind, Verdunstung direkt auf der Messapparatur). Weiterhin treten Verluste durch eine Verdunstung aus dem Sammelbehälter und der Oberflächenbenetzung auf. Die Rohdaten bedürfen zum Vergleich mit anderen Messstationen einer Korrektur. Die Werte wurden nach RICHTER [RICHTER 1995] korrigiert. Als Messinstrument wird seit den 1930er Jahren der Regenmesser nach HELLMANN eingesetzt. Seit Ende der 80er kommen auch Sammler mit Kippwaage zum Einsatz.

Als Messinstrument wird seit den 30er Jahren der Regenmesser nach HELLMANN eingesetzt. Seit Ende der 80er kommen auch Sammler mit Kippwaage zum Einsatz (zum Beispiel Modell NG200). Dabei wird der Niederschlag vollautomatisch gemessen, indem sich eine Kippwaage bei Erreichen einer Sammelmenge von 0,1 mm entleert und dabei einen elektrischen Impuls an den Datenlogger abgibt [SMUL 2008b].

Die *relative Luftfeuchtigkeit* ist das prozentuale Verhältnis zwischen dem momentanen Wasserdampfdruck und dem Sättigungswasserdampfdruck über einer reinen und ebenen Wasseroberfläche. Bei einer nichtprozentualen Angabe, also im Wertebereich 0 bis 1, spricht man auch vom Sättigungsverhältnis. Der Sättigungswasserdampfdruck hängt von der Lufttemperatur ab. Je höher diese ist, um so mehr Wasser kann die Luft aufnehmen. Früher wurde die Luftfeuchte mit der Psychrometer-Gleichung unter Verwendung der Messwerte des trockenen Lufttemperaturthermometers und eines befeuchteten Thermometers (2 m über dem festen Untergrund in der Englischen Wetterhütte) bestimmt. Die Messung erfolgte heute vollautomatisch im Stundentakt jeweils zur vollen Stunde mit kapazitiven Sensoren der Firma Vaisala [SMUL 2008b].

Unter *Sonnenscheindauer* wird die Zeitspanne verstanden, innerhalb derer eine Messsonde auf dem meteorologischen Messfeld mindestens mit einer Einstrahlung von  $120 \text{ W/m}^2$  über der beschatteten Globalstrahlung beschienen wird. Die Messsonde ist so aufgestellt, dass sie nicht vom Schattenwurf von umliegenden Objekten beeinträchtigt wird. Die Sonnenscheindauer ist abhängig vom Wolkenbedeckungsgrad, der geographischen Breite und dem Landschaftshorizont. Bis Anfang der 90er Jahre wurde sie mit dem Sonnenscheinautographen nach CAMPBELL-STOKES gemessen. Die heute gebräuchlichen Geräte funktionieren mit einer photoelektrischen Siliziumzelle (Pyrheliometer) in Kombination mit einem ebenfalls halbleiter-basierten Globalstrahlungsmesser.

Die *Bedeckung* wird in einer Achtelskala zu den Messterminen vom Wetterbeobachter geschätzt. Hierbei sind folgende Bezeichnungen gebräuchlich: 0/8 – wolkenlos, 1/8 – sonnig, 2/8 – heiter, 3/8 – leicht bewölkt, 4/8 – wolkig, 5/8 – bewölkt, 6/8 – stark bewölkt, 7/8 – fast bedeckt, 8/8 – bedeckt, 9/8 – Himmel nicht zu sehen. Für die Klimastudie wurden die Werte in Prozent umgerechnet und ein Mittelwert gebildet. Die Skala reicht hierbei von 0% - wolkenlos bis 100% - bedeckt.

Die für die vorliegende Studie verwendete *Windgeschwindigkeit* wird in 10 m Höhe über dem festen Grund auf dem meteorologischen Messfeld gemessen. Sie wurde früher mit dem Schalenkreuzanemometer durch Erzeugung eines induktiven Stroms aus der Rotation bestimmt. Dieses Messverfahren ist mit einem Reibungswiderstandsfehler behaftet. Daher wurde ab Ende der 1980er Jahre auf die reibungsfreien optoelektrischen Impulsgeber umgestellt. Seit 2005 werden zunehmend Ultraschallanemometer verwendet. Die Mittelwertbildung erfolgt als letztes 10 Minuten Mittel vor dem Messtermin. Der Tagesmittelwert ist das arithmetische Mittel aller am Tag gemessenen Werte. Die Windspitzen werden kontinuierlich abgegriffen. An manchen Stationen wird die Windgeschwindigkeit immer noch als 10 Minuten-Mittel vor dem Messtermin von einem erfahrenen Beobachter geschätzt. Die Messung der *Windrichtung* erfolgt nach wie vor durch die Windfahne oder das Ultraschallanemometer. Die Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit wurden vom DWD in der Maßeinheit Beaufort übergeben. Es erfolgte eine Umrechnung in m/s nach folgender Formel:

$$(1) v [\text{in m/s}] = 0,836 \cdot [v \text{ in Beaufort}]^{(3/2)}$$

v – Windgeschwindigkeit

#### 3.1.1.4 Erläuterung der meteorologischen Ereignistage

*Sommertage* – als Sommertage werden Tage bezeichnet, an denen das Tagesmaximum der Lufttemperatur größer oder gleich 25°C ist. Für jedes Jahr kann eine entsprechende Summe dieser Tage gebildet werden. Die Gesamtheit der Jahressummen kann für Perioden über mehrere Jahre gemittelt werden.

*Heiße Tage* – Als heißen Tag bezeichnet man einen Tag mit einer maximalen Lufttemperatur von größer oder gleich 30°C. Es können mittlere Jahressummen der Tage für Perioden gebildet werden.

*Frosttage* – Als Frosttag bezeichnet man einen Tag an dem das Minimum der Lufttemperatur 0°C unterschreitet. Es können mittlere Jahressummen der Tage für Perioden gebildet werden.

*Eistage* – Als Eistag bezeichnet man einen Tag an dem das Maximum der Lufttemperatur 0°C nie überschreitet, das heißt die Lufttemperatur liegt ununterbrochen im Frostbereich. Es können mittlere Jahressummen der Tage für Perioden gebildet werden.

*Schneetage* – In der Klimatologie spricht man von einem Schneetag, wenn zum morgendlichen Klimatermin (in Deutschland seit April 2001: 05:50 Uhr UTC = 06:50 Uhr MEZ) an einem Ort eine geschlossene Schneedecke von mindestens 1 cm gemessen wird.

*Tage mit strengem Frost* – Als solches werden Tage bezeichnet, an denen das Minimum der Lufttemperatur -10°C unterschreitet. Die Größe besitzt Bedeutung für die Konstituierung der Vegetationszonen und der Fauna in Europa, da viele wärmeliebende Pflanzen der warmgemäßigten und subtropischen Klimazone unterhalb dieses Wertes von Erfrierungen betroffen sind, beziehungsweise sich die Wintermortalitätsrate der wärmeliebenden Fauna stark erhöht. Wird diese Temperatur nur noch selten oder gar nicht mehr unterschritten, nimmt die Wahrscheinlichkeit für eine dauerhafte Ansiedlung von Pflanzen und Tieren aus dem Mittelmeergebiet und anderen warmgemäßigten Klimaten in Mitteleuropa stark zu.

*Tage mit sehr strengem Frost* – Als solches werden Tage bezeichnet, an denen das Minimum der Lufttemperatur -15°C unterschreitet. Die Größe besitzt Bedeutung für die Konstituierung der Vegetationszonen und der Fauna in Europa, da viele wärmeliebende Pflanzen der warmgemäßigten und subtropischen Klimazone unterhalb dieses Wertes von Totalausfall betroffen sind. Ebenso können Obstbäume und Weinstöcke geschädigt werden. Die Wintermortalitätsrate der wärmeliebenden Fauna erhöht sich nochmals stark, so dass ein Überleben bestimmter Arten wird in Mitteleuropa unmöglich wird.

### 3.1.1.5 Klimaprognosedaten

Um Voraussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas machen zu können, wurden in den letzten beiden Jahrzehnten zahlreiche *globale Klimamodelle* (GCM – General Circulation Model) entwickelt. Sie besitzen eine große Rasterweite (150-500 km) und sind somit dafür geeignet, allgemeine Aussagen über die Entwicklung meteorologischer Parameter beziehungsweise langfristig veränderter Druck- und Strömungsmuster der globalen Zirkulation machen zu können. Um regional gültige Aussagen zu erhalten, wird ein so genanntes „*Downscaling*“, also ein Regionalisieren auf eine kleinere maßstäbliche Auflösung, durchgeführt. Hierbei versucht man, die Ausgabewerte des GCM durch die Berücksichtigung lokaler geographischer Besonderheiten auf den mesoskaligen Bereich (< 200 km Kantenerstreckung) mittels genesteter, dynamisch statistischer und rein statistischer Methoden zu verfeinern (weiterführend siehe [ENKE et al. 2001]). Für Sachsen wurde im Rahmen des vom ehemaligen Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen (LfUG, jetzt Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie LfULG) durchgeführten F&E-Vorhabens „Anwendung eines Verfahrens zur wetterlagenkonsistenten Projektion von Zeitreihen und deren Extreme mit Hilfe globaler Klimasimulationen“ [Enke et al. 2003] eine Regionalisierung durch einen statistischen Ansatz durchgeführt. Dieser umfasste die Betrachtung der Veränderung von Eintrittswahrscheinlichkeiten von in Mitteleuropa möglichen Großwetterlagen und den damit verbundenen regionalen Effekten, wie zum Beispiel Temperaturerhöhungen durch Föhn oder Niederschlagserhöhungen durch Stauwetterlagen.

Basis des für Sachsen entwickelten regionalen Klimamodells WEREX (Wetterlagenbedingte Regression für Extremwerte, [ENKE et al. 2003]) war das GCM ECHAM [MPIMet 1996], das am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) im Max-Planck-Institut Hamburg entwickelt wurde. Die Klimaprognosen der Klimamodelle basieren auf den durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, Weltklimarat der Vereinten Nationen) festgelegten SRES-Szenarien (Special Report on Emission Szenarios [IPCC 2000]). Je nachdem, wie sich Weltbevölkerung und Weltwirtschaft im 21. Jahrhundert entwickeln, sind die anthropogenen Emissionsraten und Luftkonzentrationen von Treibhausgasen, Aerosolen und Stäuben unterschiedlich groß. Die einzelnen Szenarien zeigen bis etwa zum Jahr 2050 eine recht einheitliche Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen und weichen erst für folgende Dekaden deutlich voneinander ab (siehe Abb. 14, folgende Seite). Folglich sind auch die daraus resultierenden anthropogen verursachten Temperatureffekte unterschiedlich groß.

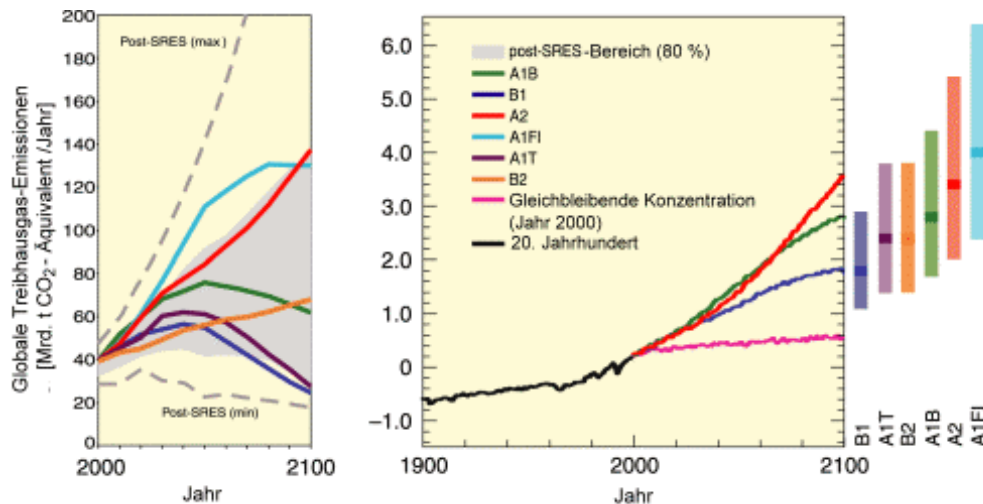


Abb. 14: Szenarien für Treibhausgasemissionen und resultierende Temperaturerhöhung

Beschreibung zur Grafik: Links: Farbige die sechs IPCC-Szenarien aus dem Jahr 2000 (Special Report on Emission Scenarios [IPCC 2000]); grau dargestellt der 80-Prozent-Bereich neuerer Szenarien und grau gestrichelt der volle Umfang neuerer Szenarien. Rechts: Die aus den IPCC-Szenarien folgenden Temperaturerhöhungen. Die unterste Linie stellt keine Folge eines Szenarios dar, sondern zeigt die Temperaturentwicklung bei gleichbleibenden Treibhausgas-Konzentrationen. Die Balken ganz rechts zeigen die Abschätzungen (mit Unsicherheiten) für den Zeitraum 2090 bis 2099. Quelle: Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report [IPCC 2007].

Es kann folgende Kurzcharakteristik der Szenarien gegeben werden:

#### A1-Szenarien

- sehr starkes Wirtschaftswachstum, Weltbevölkerung wächst bis Mitte 21. Jahrhundert, danach Abnahme, schnelle Einführung neuer und effizienterer Technologien, Globalisierung bzw. Angleichen der Lebensstandards weltweit. Unterszenarien sind:

A1FI-Szenarien: intensive Nutzung fossiler Brennstoffe

A1T-Szenarien: starke Nutzung nicht-fossiler Energieträger

A1B-Szenarien: ausgewogene Mischung fossiler und nicht-fossiler Energieträger

#### A2-Szenarien

- sehr heterogene Welt, in der die lokalen Besonderheiten bewahrt bleiben, die Geburtenhäufigkeit bleibt weiterhin regional sehr unterschiedlich, die Weltbevölkerung nimmt ständig zu, die ökonomische Entwicklung ist primär regional bestimmt, und das Wachstum des Bruttonationalprodukts und die technologische Entwicklung sind regional unterschiedlicher und langsamer als bei den anderen Hauptgruppen.



## B1-Szenarien

- entwickelt sich ähnlich global orientiert wie die der A1-Gruppe, jedoch mit einem schnellen Wandel der wirtschaftlichen Struktur zu einer Dienstleistungs- und Informationsökonomie, mit einer Reduktion des Materialverbrauchs und der Einführung sauberer und ressourcenschonender Technologien, Entwicklung ist auf eine globale Lösung des Nachhaltigkeitsproblems im wirtschaftlichen, sozialen und Umwelt-Bereich ausgerichtet, einschließlich einer ausgewogenen Wohlstandsverteilung

## B2-Szenarien

- lokale Lösungen der wirtschaftlichen, sozialen und umweltorientierten Nachhaltigkeitsfragen, Weltbevölkerung nimmt ständig zu, wenn auch weniger stark als bei den A2-Szenarien, Wirtschaftsentwicklung bewegt sich auf mittlerem Niveau, und der technologische Wandel ist weniger schnell und regional unterschiedlicher als bei den A1- und B1-Szenarien, Umweltschutz und eine ausgewogene Verteilung des Wohlstands spielen zwar ebenfalls eine wichtige Rolle, aber auf lokaler und regionaler Ebene

Die meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Frosttage, Sommertage und heiße Tage lagen für die Dekaden 2011-2020 und 2041-2050 bereits als zusammengefasste mittlere Monatsmittelwerte/-summen, mittlere Jahresmittelwerte/-summen und mittlere Quartalsmittelwerte/-summen des regionalen Klimamodells WEREX III (Basis ist das GCM ECHAM4) als Szenario A2 für den Standort der DWD-Wetterstation Chemnitz vor.

### 3.1.1.6 Hydrologische Daten

Für den Pegel Chemnitz 1 an der Müllerstraße / nördliches Stadtzentrum lag die langjährige Messreihe der Durchflussmengen des Zeitraumes 1918 bis 2007 als Monats- und Jahreswerte vor. Die Durchflüsse werden von einem Messwertaufnehmer nach dem Schwimmersystem fortlaufend erhoben und mittels Fernübertragung ausgelesen. Der Pegel ist Bestandteil des Basismessnetzes der Landestalsperrenverwaltung. Die Datenreihe umfasste folgende gewässerkundlichen Hauptzahlen:

NQ - niedrigster Tagesmittelwert des Durchflusses eines Monats

MQ – arithmetisches Mittel der Tagesmittelwerte der Durchflüsse eines Monats

HQ - höchster Tagesmittelwert des Durchflusses eines Monats

Weiterhin die Extremwerte:

NNQ – niedrigster bisher gemessener Durchfluss der Messreihe

HHQ – höchster bisher gemessener Durchfluss der Messreihe

### 3.1.1.7 Daten zur Raumnutzung und Stadtklimatope

Die Stadt Chemnitz stellte eine Datensammlung verschiedener Geoinformationsthemen zur Verarbeitung bereit. Folgende Themen wurden verwendet:

Allgemein: Grenze der Stadt Chemnitz, Grenzen der Stadtteile, Flächennutzungsplan

Öffentliche Einrichtungen: Schulstandorte, Kindertagesstättenstandorte, Tierparks

Schutzgebiete: Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete

Hydrologisch sensible Gebiete: Feuchtbiotop, Hydroböden

Vegetation: Grünflächen, Wald, Baumkataster

Ventilation: Kaltluftabflüsse bei ruhigen Wetterlagen, Kaltluftströme bei ruhigen Wetterlagen, Kaltluftseen, geplante und teilweise bereits umgesetzte Landnutzungsänderungen

Die Standorte von Krankenhäusern und Altenpflegeeinrichtungen wurden Google Maps entnommen ([www.maps.google.de](http://www.maps.google.de)).

## 3.1.2 Berechnungen und Datenauswertung

### 3.1.2.1 Datenstatistik und -korrektur

Mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests wurde geprüft, ob die Datenreihen der Parameter Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Bedeckung und Sonnenscheindauer eine Normalverteilung aufweisen. Durch Anwendung des Q-Test wurden Ausreißer der Datenreihen bestimmt und entfernt. Für größere Zeiträume fehlende Daten konnten nicht mit in die weitere Datenauswertung einbezogen werden. Hiervon betroffen waren die Parameter Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Bedeckung und Sonnenscheindauer im Zeitraum 01.01.1950 bis 31.12.1950. Für die wenigen fehlenden Tagesdatensätze im Zeitraum 1951-2008 wurden die Werte durch Bildung eines Mittelwertes zwischen den letzten 10 Werten vor und den ersten 10 Werten nach dem fehlenden Zeitraum interpoliert.

Eine besondere Bedeutung kam der Homogenisierung der Messreihen zu. Hierunter versteht man die numerische Angleichung von Messintervallen, die unter unterschiedlichen Randbedingungen aufgenommen wurden. Dies kann beispielsweise durch eine Stationsverlegung oder die Veränderung der Messtermine ausgelöst werden. Im Fall der vom DWD gelieferten

Messreihe für die Station Chemnitz stellte sich ein Korrekturbedarf dar, da die Station am 06.05.1976 von der Stollberger Straße (geographische Breite: 50°49' N, geographische Länge: 12°54'E, Seehöhe: 357 m ü NN) an die Neukirchener Straße (geographische Breite: 50°47,5' N, geographische Länge: 12°52,4' E, Seehöhe: 418 m ü NN) verlegt wurde. Weiterhin wurden die Messtermine - wie bereits geschildert - mehrfach verändert. Inhomogenitäten der Messreihen in Form von systematischen Fehlern lassen sich in der Regel nur durch den statistischen Vergleich entgegen einer homogenen Messreihe einer in der Nähe liegenden Wetterstation quantifizieren und beheben [HERZOG und MÜLLER-WESTERMEIER 1998]. Dementsprechende Daten waren nicht vorhanden, so dass auf eine Korrektur nach dieser Methodik verzichtet wurde. Hiervon betroffen war insbesondere die Behandlung der Verschiebungen, die aus einer Verlegung der Messtermine und Verwendung anderer Messgeräte resultieren. Im Rahmen der Studie erfolgte die Anwendung einfacher empirischer Korrekturverfahren, die nur die räumliche Verlegung der Station berücksichtigten. Diese werden nachfolgend kurz erläutert.

Für die in der vorliegenden Studie weiterführenden Auswertungen wurde für die Tageswerte der Lufttemperatur (Tagesminimum, Tagesmaximum und des Tagesmittel) eine Korrektur mit dem höhenabhängigen Temperaturgradienten der Achse Schkeuditz – Chemnitz – Fichtelberg durchgeführt. Dieser wurde aus einer Regression der langjährigen Jahresmittel der Lufttemperatur der Stationen des Zeitraumes 1961-1990 abgeleitet und betrug 0,564 K/100 m. Die vor dem Datum des Standortwechsels gemessenen Daten wurden nach folgender Formel (2) um den Wert 0,34 K herabgesetzt, da die Lufttemperatur mit der Höhe (der neue Standort liegt 61 m höher) abnimmt:

$$(2) T_{\text{korr}} = T - \Delta h \cdot a/100 = T - 61 \text{ m} \cdot 0,00564 \text{ K/m} = \underline{T - 0,34 \text{ K}}$$

$T_{\text{korr}}$  – korrigierte Lufttemperatur in °C,  $T$  – unkorrigierte Lufttemperatur in °C,  $\Delta h$  – Höhendifferenz in m,  $a$  – höhenabhängiger Temperaturgradient in K/m

Das Jahresmittel der Lufttemperatur für die Normalperiode 1961-1990 betrug demnach 7,8°C. Vom Standortwechsel der Messstation waren mit großer Wahrscheinlichkeit auch die anderen Klimaparameter betroffen. Die vor 1976 gemessenen Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit wurden um +0,1 m/s erhöht, da die Station am neuen Standort deutlich höher und windexponierter lag. Beim Niederschlag wurde die Veränderung in Verbindung mit der Stationsverlegung als unbedeutend angenommen. Die Reihe wurde nach RICHTER [RICHTER 1995] um die Beträge des systematischen Messfehlers korrigiert. Die Luftfeuchte,

die Bedeckung und die Sonnenscheindauer wurden nicht korrigiert, da sie von nur geringen Veränderungen in Verbindung mit der Stationsverlegung betroffen sein dürften.

#### 3.1.2.2 Mittelwerte und Summen meteorologischer Parameter

Mittelwerte wurden für die Größen Tagesminimum, Tagesmaximum, Tagesmittel der Lufttemperatur, Tagesmittel der relativen Luftfeuchte, Tagesmittel der Windgeschwindigkeit und Tagesmittel der Wolkenbedeckung anhand der Messreihe des DWD für die Station Chemnitz berechnet. Hierbei erfolgte die Berechnung als arithmetisches Mittel, da eine Normalverteilung nachgewiesen wurde. Die Zusammenfassung für die betrachteten Perioden 1961-1990 und 2001-2008 erfolgte in Form von jahresübergreifenden mittleren Monatsmitteln, mittleren Jahresmitteln, mittleren Quartalsmitteln (Frühjahr: März-April-Mai, Sommer: Juni-Juli-August, Herbst: September-Oktober-November und Winter: Dezember-Januar-Februar) und Halbjahresmitteln (Winterhalbjahr: Oktober bis März, Sommerhalbjahr: April bis September).

Für die Größen Tagesniederschlag und Sonnenscheindauer der Messreihe des DWD für die Station Chemnitz wurden für die betrachteten Perioden 1961-1990 und 2001-2008 mittlere Monatssummen, mittlere Jahressummen, mittlere Quartalssummen (Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter) und mittlere Halbjahressummen (Winterhalbjahr, Sommerhalbjahr) berechnet. Dies geschah wiederum durch die Bildung des arithmetischen Mittels der zeitabschnittsbezogenen Summen.

#### 3.1.2.3 Bestimmung meteorologischer Ereignistage

Aus den Temperaturdatenreihen ließen sich klimatologische Ereignistage ableiten, die nach spezifischen Kriterien bestimmt wurden (siehe Kapitel 3.1.1.4). Die Ermittlung der Werte erfolgte in der Regel durch Angabe der Schwellenwerte und automatischer Auszählung der zutreffenden Tage mit einer Wahrheitswert-basierten „Zählen-Wenn-Funktion“.

#### 3.1.2.4 Starkniederschläge und Trockenperioden

Als *Starkniederschläge* werden Tagsniederschläge von größer oder gleich 20 mm verstanden. Innerhalb eines Jahres kommt es in Mitteleuropa an einigen Tagen im Jahr zum Eintritt des Ereignisses. Dies ist häufig durch heftige Gewitterschauer (Wärmegewitter oder Kaltfront-gekoppelte Gewitter) oder besonders intensiven Dauerregen bedingt. Frontenbedingte Starkniederschläge erfassen größere Regionen, wohingegen Wärmegewitter-gekoppelte Starkniederschläge meist räumlich eng begrenzt sind. Die Ereignistage wurden aus der Rei-

he der Tagesniederschlagsdaten durch eine Zählen-Wenn-Funktion unter Angabe des Schwellenwertes von  $\geq 20$  mm bestimmt.

*Trockenperioden* setzen sich aus einer ununterbrochenen Abfolge von 11 *Trockentagen* zusammen. Auf die relativ ausgeglichenen Niederschlagsverhältnisse Mitteleuropas bezogen, versteht man unter einem *Trockentag* einen Tag mit weniger als 1 mm Niederschlag. Dies bedeutet der Tagesniederschlag wird hydrologisch nicht wirksam. Er erhöht den Bodenwassergehalt nicht, da er entweder in den Interzeptionsspeicher der Vegetationsbedeckung gelangt und von dort aus wieder verdunstet, oder die Bodenoberfläche benetzt und von dort aus ebenfalls wieder vollständig verdunstet.

Die *Gesamtheit der Trockentage jeden Jahres* des Zeitraumes 1951-2008 wurden unter Anwendung einer Zählen-Wenn-Funktion bei Angabe des Schwellenwertes 1 mm herausgefiltert. Wenn eine Abfolge von wenigstens 11 Tagen das Schwellenwertkriterium von 1 mm erfüllte, wurden alle zusammenhängenden Tage mit Hilfe einer Zählen-Wenn-Funktion als *Trockentage innerhalb einer Trockenperiode* gezählt. Die *Trockenperiodenanzahl innerhalb eines Jahres* wurde ebenfalls mit einer Zählen-Wenn-Funktion ermittelt. Der Quotient aus der Jahressumme der Trockentage innerhalb einer Trockenperiode und der Trockenperiodenanzahl ergab die *mittlere Dauer der Trockenperioden*. Die Werte der Starkregen- und Trockenheitsindize wurden zusätzlich zur jahresgenauen Betrachtung zu jahresübergreifenden arithmetischen Mittelwerten der Monate, der Quartale, der meteorologischen Halbjahre und des Jahres für die Normalperiode 1961-1990 und 2001-2008 zusammengefasst.

#### 3.1.2.5 Berechnung des Hitzeindex

Der *Hitzeindex* löst den Windchill (Berechnung aus Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit) als klimatologische Beurteilungsgröße der objektiven Temperaturempfindung oberhalb einer Lufttemperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  ab. Der kühlende Effekt des Windes wird im Gegensatz zum Windchill nicht berücksichtigt, da dessen Einfluss auf das Temperaturempfinden bei hohen Temperaturen vernachlässigbar ist. Der Index berechnet sich in Abhängigkeit des Tagesmaximums der Lufttemperatur und der Luftfeuchte zu:

$$(3) \text{ HI} = T_{\text{max}} + 5/9 \cdot (e - 10)$$

HI – Hitzeindex in  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{max}}$  – Tagesmaximum der Lufttemperatur in  $^{\circ}\text{C}$ , e – Dampfdruck in hPa

In der Regel erreicht die relative Luftfeuchtigkeit zum Tagesmaximum der Temperatur ihren niedrigsten Wert, da sie mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Bei der Annahme einer kon-

stant bleibenden Wasserdampfmenge in der Luft fällt folglich der Sättigungsindex ab. Für die Berechnung des Hitzeindex kann der Dampfdruck durch die Verwendung des Tagesmittels der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte mit folgender Formel bestimmt werden:

$$(4) e = 6,112 \cdot 10^{((7,5 \cdot T) / (237,7^\circ\text{C} + T))} \cdot (rF/100) = E \cdot (rF/100)$$

T – Lufttemperatur in °C, rF – relative Luftfeuchtigkeit in %, E - Sättigungsdampfdruck

Folgende Schadenskategorien für das Schutzgut Mensch können unterschieden werden:

Tab. 2: Klassifikation des Hitzeindex

HI	Beschreibung
I 27–32 °C	Vorsicht – Bei längeren Zeiträumen und körperlicher Aktivität kann es zu Erschöpfungserscheinungen kommen.
II 32–41 °C	Erhöhte Vorsicht – Hitzeschäden wie Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps sind möglich.
III 41–54 °C	Gefahr – Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps sind wahrscheinlich; Hitzschlag ist möglich.
IV über 54 °C	Erhöhte Gefahr – Hitzschlag und Sonnenstich sind wahrscheinlich.

### 3.1.2.6 Berechnung der Grasreferenzverdunstung

Die *Grasreferenzverdunstung* ( $ET_0^*$ ) beschreibt das Ausmaß der in Abhängigkeit der Lufttemperatur, der Windgeschwindigkeit, der relativen Luftfeuchte und der gemessenen Sonnenscheindauer maximal möglichen (potentiellen) Verdunstung von Wasser auf einer standardisierten Grasfläche mit einer Bestandshöhe von 12 cm. Die Größe ist somit ein empirischer Summenparameter der direkten Verdunstung von der ungeschützten Bodenoberfläche (Bodenwasserevaporation), der Verdunstung aus dem Interzeptionsspeicher der Pflanzenoberfläche (Interzeptionsverdunstung freien Wassers auf der Blattoberfläche) und der Transpirationsverdunstung der Pflanzen. Sie kann deswegen auch als potentielle Evapotranspiration bezeichnet werden. Die Maßeinheit wird in Liter oder Millimeter Wassersäule pro Quadratmeter Bodenfläche und Zeiteinheit angegeben. In der vorliegenden Studie wurde die Grasreferenzverdunstung als Tagessumme für die Zeitreihe 1951-2008 nach dem Verfahren von WENDLING [DVWK RICHTLINIE 238 1996] berechnet. Es wurde eine jahresübergreifende monats-, quartals-, halbjahres- und jahresbezogene Mittelwertbildung für die Zeiträume der

Periode 1961-1990 und 2001-2008 durchgeführt. Außerdem wurden die jahrbezogenen Summenwerte für die Einzeljahre der gesamten Zeitreihe 1951-2008 berechnet.

### 3.1.2.7 Berechnung der klimatischen Wasserbilanz einer Grasreferenzfläche

Die *klimatische Wasserbilanz* stellt ein Maß für die allgemeine Wasserverfügbarkeit in der Natur, insbesondere auf grundwasserfernen Standorten, dar. Bei einer positiven klimatischen Wasserbilanz übersteigen die Niederschläge die maximal mögliche Verdunstungsmenge. Letztere geht definitionsgemäß als Grasreferenzverdunstung in die Berechnung ein. Folglich werden Versickerungs- und Grundwasserneubildungsvorgänge begünstigt. Bei einer negativen klimatischen Wasserbilanz übersteigt die maximal mögliche Verdunstungsmenge die Niederschläge. Versickerung und Grundwasserneubildung werden behindert. Es kommt zur vermehrten Austrocknung der Böden und Vorfluter. Innerhalb des Bodens wird die Migrationsrichtung des Wassers in Richtung des kapillaren Aufstiegs verschoben. Hierdurch kann es zu Bodenversalzung kommen, da das Bodenwasser seine gelösten Ionenfracht im Oberboden bei der Verdunstung an der Bodenoberfläche zurücklässt.

Mit Hilfe der Tageswerte der Grasreferenzverdunstung und des korrigierten Niederschlags wurde die klimatische Wasserbilanz berechnet:

$$(5) \text{ KWB} = P_{\text{korr}} - ET_0^*$$

KWB – klimatische Wasserbilanz in mm,  $P_{\text{korr}}$  – korrigierte Niederschlagsmenge in mm,  $ET_0^*$  – Grasreferenzverdunstung in mm

Aus den Tageswerten wurden die mittleren Monatssummen, die mittleren Quartalssummen, die mittleren Halbjahressummen und die mittlere Jahressumme für die Normalperiode 1961-1990 und die Periode 2001-2008 abgeleitet. Des Weiteren wurden die einzeljahrbezogenen Summen für den Zeitraum 1951-2008 berechnet.

### 3.1.2.8 Auswertung der hydrologischen Daten des Flusspegels Chemnitz

Mit Hilfe der Überprüfung der Konfidenzintervalle normalverteilter Stichproben wurden die drei Zeitabschnitte (1918-1944, 1950-1979, 1985-2007) auf Übereinstimmung ihrer Mittelwerte geprüft. Dies war notwendig, um die sich aus der grafischen Darstellung heraus andeutenden Trends statistisch abzusichern.

### 3.1.2.9 Waldbrandindex M-68

Der *Waldbrandindex M-68* wird zur Abschätzung der witterungsbedingten Waldbrandgefahr verwendet. Er kann aber auch als ein für die Forstwirtschaft relevanter Trockenindex interpretiert werden [KÄSE 1969], [FLEMMING 1994]. Er gilt hierbei speziell für die Baumart Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*). Hierbei spielen die Tagestemperaturen, das Niederschlagsangebot zwischen 15. Februar und 30. September und die relative Luftfeuchte beziehungsweise das Wassersättigungsdefizit der Luft eine wesentliche Rolle. Da die für die Kalkulation erforderlichen 13-Uhr-Werte der Lufttemperatur nicht verfügbar waren, wurden die Angaben der Analyse als langjährige jahresbezogene Mittelwerte für die Normalperiode 1961-1990 und 1991-2005 aus [SMUL 2008b] entnommen und in der vorliegenden Studie für den Raum Chemnitz zitiert. Es wurde die mittlere Anzahl der Tage im Jahr mit einer Waldbrandstufe 4 und 5 angegeben.

### 3.1.2.10 Berechnung der zeitlichen Abgrenzung der Vegetationsperiode

Die Vegetationsperiode beginnt, wenn die *Grünlandtemperatursumme* den Wert 200°C, der von Jahresbeginn an gezählt wird, erreicht. Hierbei werden nur die Tagesmittel der Lufttemperatur > 0°C verwendet. Es erfolgt eine monatsabhängige Wichtung der Summanden für Januar und Februar. Ab dem Monat März ist das Gewicht 1:

$$(6) \text{ GTS} = 0,5 \cdot \text{Summe}(T_m > 0)_{\text{Januar}} + 0,75 \cdot \text{Summe}(T_m > 0)_{\text{Februar}} + \text{Summe}(T_m > 0)_{\text{März...}} + \dots$$

GTS – Grünlandtemperatursumme in °C,  $T_m$  – Tagesmittel der Lufttemperatur in °C

Der Zeitpunkt fällt in der Regel mit dem Beginn der Narzissen- und Forsythienblüte zusammen (*phänologische Termine*).

Die Periode endet, wenn es zu einer Häufung von Tagesmittelwerten der Lufttemperatur unter 10°C kommt. Bei dem hier verwendeten Verfahren werden Kältesummen ab August gezählt. Die Vegetationsperiode ist beendet, wenn die Summe 30°C erreicht. Die Kältesumme berechnet sich wie folgt:

$$(7) \text{ KTS}_{\text{veg}} = \text{wenn } T > 10^\circ\text{C, dann Summe}(10^\circ\text{C} - T_m)$$

$\text{KTS}_{\text{veg}}$  – Kältesumme zur Berechnung des Endes der Vegetationsperiode

Aus der Differenz der Daten des Vegetationsbeginns und des Endes als Tage seit Jahresbeginn kann die Länge der Vegetationsperiode berechnet werden.



### 3.1.2.11 Wärmesumme innerhalb der Vegetationsperiode

Die *Wärmesumme innerhalb der Vegetationsperiode* wird in der Agrarklimatologie benutzt, um vegetationsorientierte Klimaklassifikationen vorzunehmen und phänologische Vorhersagen zu treffen. Sie ist ein Anhaltspunkt zur Prognose der Reife landwirtschaftlicher Produkte. Der Wert berechnet sich als Temperatursumme aller Tagesmittelwerte der Lufttemperatur größer oder gleich 5°C zwischen dem Zeitpunkt des Vegetationsbeginns und -endes.

$$(8) WS_{\text{veg}} = \text{Summe } (T_m > 5) \text{ 1 bis } n$$

$WS_{\text{veg}}$  – Wärmesumme innerhalb der Vegetationsperiode in °C/a

### 3.1.2.12 Berechnung der Heiztage, der Heizperiode und der Gradtagzahl

Durch die gestiegenen Preise im Energierohstoffsektor besitzt der Heizbedarf während des Winterhalbjahres eine immer größere wirtschaftliche Bedeutung. Der Heizbedarf kann durch einfache Berechnungen nach VDI-Richtlinie 2067 abgeschätzt und für ökonomische Betrachtungen weiterverwendet werden. Ein wesentlicher Parameter ist hierbei die Anzahl der meteorologischen *Heiztage* (HT). Als solches sind Tage mit einem Tagesmittel der Lufttemperatur von kleiner als 15°C (*Heizgrenze*) gemeint.

Die *Heizperiode* (HP) umfasst den Zeitraum zwischen dem Tag im Herbst, an dem das übergreifende Fünftagemittel der Lufttemperatur die Heizgrenze von 15°C endgültig unterschreitet, und den Tag im Frühjahr, an das übergreifende Fünftagemittel die Heizgrenze erstmals überschreitet.

Die *Gradtagzahl* (GTZ) ist ein Maß für den Wärmebedarf eines Gebäudes an den Heiztagen. Sie stellt den Zusammenhang zwischen Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur dar, und ist somit ein Hilfsmittel zur Bestimmung der Heizkosten und des Brennstoffbedarfs. Je kälter die Außentemperatur ist, umso größer ist der Wärmeverlust von Gebäuden und umso höher ist der Brennstoffverbrauch. Die Gradtagzahl wird mit der Einheit Kd/a (Kelvin · Tag / Jahr) angegeben. Sie kann aber auch auf eine Heizperiode oder einen Kalendermonat bezogen werden und ist dann aussagekräftig für die saisonalen Schwankungen. In der vorliegenden Studie wurden die Gradtagszahlen als mittlere Jahreswerte für die Normalperiode 1961-1990 und die Periode 2001-2008 und als Jahreswerte für den Zeitraum 1950-2008 wie folgt berechnet:

$$(9) GTZ_{20/15} = \text{Summe}(t_i - t_a) \text{ 1 bis } z$$

$GTZ_{20/15}$  – Gradtagszahl zur Heizgrenze  $15^{\circ}\text{C}$  in  $\text{Kd/a}$ ,  $t_i$  – Tagesmittel der Raumtemperatur =  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_a$  – Tagesmittel der Außenlufttemperatur in  $^{\circ}\text{C}$ ,  $z$  – Anzahl der meteorologischen Heiztage in  $d$

### 3.1.2.13 Darstellung der Witterungsregelfälle im Jahresverlauf

Im Jahresverlauf kommt es in Abhängigkeit der thermischen und phänologischen Konstitution der Nordhemisphäre zum Auftreten von so genannten Witterungsregelfällen (auch Singularitäten genannt). Dies sind Witterungsphasen, die im Verlauf vieler aufeinander folgender Jahre in ähnlicher Weise zu einem ähnlichen Zeitpunkt im Jahr auftreten. Nachfolgend werden die Singularitäten aufgeführt und kurz beschrieben:

*Januarkälte:* Zu Jahresbeginn sinken die Lufttemperaturen infolge des Aufbaus eines kontinentalen Kältehochs (*antizyklonal*) häufig für etwa 2 bis 3 Wochen stark ab. Die tiefsten Temperaturen des Jahres werden häufig in diesem Zeitraum erreicht.

*Januartauwetter:* Die Kältephase wird Ende des Monats durch eine Abmilderung beendet. Die Temperaturen erreichen wieder positive Werte tagsüber.

*Februarkälte:* Im Laufe des Februar sinken die Temperaturen wieder ab. Zur Monatsmitte wird im Mittel ein zweites Jahrestemperaturminimum durch Aufbau eines kontinentalen Kältehochs erreicht. Es ist in der Regel nicht so stark wie das Januarminimum ausgeprägt. Die Temperaturen bleiben bis zum Monatsende deutlich im negativen Bereich.

*Märztauwetter:* Zu Beginn des Monats wird eine plötzliche starke, aber kurze Erwärmungsphase registriert. Die Tagesmaxima steigen bis auf über  $10^{\circ}\text{C}$ . Die Phase führt zu starkem Tauwetter und gegebenenfalls Hochwasser.

*Märzenkälte:* Die kurze Warmperiode wird Mitte des Monats wieder durch einen Kälterückfall beendet. Unter Umständen können noch einmal spätwinterliche Verhältnisse mit geschlossener Schneedecke und Tagesminima der Lufttemperatur unter  $-10^{\circ}\text{C}$  bei Aufbau eines Kältehochs erreicht werden.

*Spätmärz-Frühhaprilwärme:* Die Temperaturen erholen sich von dem Rückschlag der Märzenkälte wieder und erreichen unter Umständen zu Ende des Monats März und Beginn des Monats April ein noch höheres Temperaturniveau.

*Aprilkälte:* Mitte April kommt es zu einem weiteren Temperaturrückschlag, der aber durch das Einsickern eines Kaltlufttroges, also zyklonaler Verhältnisse (Tiefdruck), geprägt ist. Die Advektion der subpolaren Kaltluft, meist aus Richtung Nordatlantik, wird durch die Ausbil-

dung eines thermischen kontinentalen Bodentiefs im Zuge der Frühlingswärme (verstärkte Luftmassenhebung) gefördert. Die noch hohen Temperaturgradienten zwischen Landmasse und Atlantik begünstigen die Veränderung. Aufgrund der Genese der Wetterlage kann auch von einer *1. Vormonsunwelle* gesprochen werden.

*Walpurgiswärme:* Nach der Kaltphase baut sich zum Monatsende ein warmes Hochdruckgebiet auf, das bis in den Mai hinein warmes und freundliches Wetter bringen kann. Die Vegetation kommt zu voller Entfaltung – dem so genannten *Vollfrühling*.

*Eisheilige:* Die Eisheiligen werden wiederum durch eine zyklonale Lage infolge der Advektion von subpolarer Kaltluft durch ein initiiertes thermisches Bodentief ausgelöst. Daher kann hier der Begriff *2. Vormonsunwelle* verwendet werden. Sie dauert 1 Woche an. Die kühlregnerische Phase kann beim Übergang zu den sich anschließenden Strahlungstagen Bodenfrost herbeiführen (Grund: Wetterbesserung ist mit Aufklaren und stärkerer nächtlicher Auskühlung der Erdoberfläche bei gleichzeitig niedrigem Grundtemperaturniveau durch Heranführen subpolarer Luftmassen verbunden).

*Spätmaiwärme:* Die Temperaturen erholen sich bis zum Ende des Monats wieder auf ein spätsommerhaftes Niveau.

*Schafskälte:* Die Wetterlage der Eisheiligen wiederholt sich Anfang Juni in ähnlicher Weise nochmals auf höherem Temperaturniveau (*3. Vormonsunwelle*).

*Juniwärme:* Die Juniwärme stellt eine frühlingshafte Witterungsperiode mit Aufbau eines stabilen warmen Hochdruckgebietes dar. Sie wird meist am 25. Juni durch die *Hauptmonsunwelle/Julimonsun* beendet.

*Julimonsun:* In Mitteleuropa ist der aufgrund des unterschiedlichen thermischen Verhaltens von Meer und Landmasse bedingte Monsun in seiner Intensität nicht so stark ausgeprägt wie zum Beispiel in Südostasien. Dennoch führt die Hauptmonsunwelle zu einer markanten Teilung des Sommers in ein kleines Temperaturmaximum im Juni und ein größeres im August.

*Hundstage:* Der Julimonsun kann durch die warmen Hundstage ab dem 23. Juli beendet werden. Dann stellt sich häufig eine warme Hochdruckwetterlage ein, die das Jahresmaximum der Lufttemperaturen am 10. August bedingt. Die Getreideernte fällt in diesen Zeitraum.

*Nachmonsunwelle:* Ab Mitte August wird die Schönwetterphase der Hundstage durch die Nachmonsunwelle beendet. Der Hochsommer ist dann in der Regel beendet.

*Spätsommer:* Im September können sich die Temperaturen unter Hochdruckeinfluss nochmals auf sommerliches Niveau erholen. Die Temperaturen gehen durch einen Kaltlufteinbruch, der den ersten Bodenfrost oder Luftfrost bringen kann, bis zum Oktober hin zurück.

*Altweibersommer:* Zum Ende des Septembers kann sich nochmals ausdauernd warmes Hochdruckwetter bis in den Oktober hinein einstellen. Die Obsternte fällt in diesen Zeitraum.

*Oktoberkälte:* Schwache Kaltlufteinbrüche bringen zur Mitte des Monats kalte Nächte mit Frostgefahr. Die Vegetationsperiode endet durch den Kältereiz und die Herbstfärbung beginnt.

*Goldener Herbst:* Eine mäßig warme Hochdruckphase begleitet häufig die Zeit der Laubfärbung. Sie dauert bis zum Ende des Monats.

*Allerheiligensommer:* Häufig stellt sich ab Beginn des Monats November der Allerheiligensommer ein, der weit in den Monat hinein andauern kann und das weitere Abfallen der Temperaturen verzögert.

*Nikolauseinwinterung:* Der Nikolaustermin läutet häufig mit heftigen Regenfällen, Übergang zu Schnee und einem kräftigen Temperatursturz den Frühwinter ein.

*Frühwinter:* Zur Mitte des Monats Dezember kann sich eine erste kalte Hochdruckwetterlage einstellen, die mit einer geschlossenen Schneedecke bis zum Weihnachtstauwetter andauert.

*Weihnachtstauwetter:* Um das Weihnachtsfest wird der Frühwinter beendet. Die Schneedecke kann teilweise oder ganz abschmelzen. Zum Jahreswechsel hin findet eine langsame Abkühlung statt.

Die Singularitäten besitzen große Bedeutung für den Landbau, da sich nach ihnen der Ablauf der Feldarbeiten im Jahr ausrichtet. Spätfröste im Mai können den Obst- und Gemüseertrag beispielsweise erheblich reduzieren. Für die Ernte von Getreide, die in die Zeit der Hundstage fällt, ist eine längere Periode trockenen Wetters erforderlich. Durch Klimaveränderungen können sich die Witterungsregelfälle verschieben, in ihrer Art und Intensität des Ablaufs verändern oder auch ganz ausfallen. Sie beeinflussen damit maßgeblich witterungsabhängige Wirtschaftszweige und das Wetterempfinden der Bevölkerung.

Witterungsregelfälle können anhand der tagesgenauen Mittelwertbildung meteorologischer Größen wie der minimalen, maximalen und mittleren Lufttemperatur und der tagesgenauen Daten der niedrigsten und höchsten in gemessenen Lufttemperatur für die Gesamtanzahl der

Jahre einer Periode abgeleitet werden, indem man die Abweichungen nach oben und unten ausgehend von einer geglättenden Temperaturkurve betrachtet (in der vorliegenden Studie Glättung mittels Polynom 5. Grades). Die Perioden 1961-1970 und 2001-2008 wurden anhand ihrer mittleren Tagesmittelwerte der Lufttemperatur verglichen.

#### 3.1.2.14 Großwetterlagen

Großwetterlagen können nach subjektiven und objektiven Kriterien unterschieden werden. Ein Beispiel für die letztgenannte Methode ist die Wetterlagenklassifikation des DWD [DITTMANN et al. 1995]. Die subjektive Klassifikation findet durch vergleichende Betrachtung der Lage der steuernden Druckzentren (Höhenhoch- und Höhentieftdruckgebiete sowie Tröge) statt. Unter Großwetterlage wird die mittlere Luftdruckverteilung eines Großraumes, mindestens von der Größe Europas, während eines dreitägigen Zeitraumes verstanden [BAUR 1963], [HESS und BREZOWSKY 1977]. Während einer Großwetterlage sind die Haupt-eigenschaften des Wetters über Europa annähernd konstant [GERSTENGARBE und WERNER 2005]. Heute existiert ein Katalog von 29 Großwetterlagen, der auf die Arbeiten von BAUR et al. (1944), HESS UND BREZOWSKY (1977) und GERSTENGARBE und WERNER (2005) zurückgeht.

Die Großwetterlagen bestimmen über einen längeren Zeitraum maßgeblich das Wetter und damit das Klima eines Ortes. Durch die Wetterlagenklassifikation und das Bestimmen der Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Großwetterlagen können wetterlagenabhängige Klimaveränderungen an einem Ort von anderen Ursachen getrennt werden. So verändern sich beispielsweise die Lufttemperaturen in Mitteleuropa im langjährigen Mittel nicht nur dadurch, dass sich häufiger Großwetterlagen mit einer anderen Anströmungsrichtung aus wärmeren Gebieten einstellen, sondern dass auch die Großwetterlagen selbst wärmer werden. Dies bedeutet eine Anströmung aus einer bestimmten Richtung zu einer bestimmten Jahreszeit bringt heute im Durchschnitt wärmere Temperaturen mit sich, als früher [SMUL 2008b]. In den Mittelbreiten, in denen Mitteleuropa liegt, werden 3 Zirkulationsformen unterschieden:

- zonale,
- meridionale und
- gemischte Zirkulationsform

Bei der zonalen Zirkulation wird eine mehr oder weniger glatte von West nach Ost gerichtete Strömung zwischen einem Subtropenhoch über dem Atlantik und Mittelmeerraum und einem subpolaren Tief über Island und Skandinavien beobachtet. Die Tiefdruckgebiete mit ihren

Frontensystemen werden innerhalb der Grundströmung von West nach Ost über Europa hinweg geführt (Westlage). Die meridionale Zirkulation zeigt eher eine Nord-Süd ausgerichtete Achse des Luftmassenaustauschs zwischen den Subtropen und den subpolaren Gebieten. Sie tritt dann auf, wenn Hochdruckgebiete zwischen 50 und 65° nördlicher Breite sich in für die Westlage blockierender Form aufbauen. Die sich westlich und östlich des Hochdrucksrückens vertiefenden Tröge zählen ebenso zu dieser Zirkulation. In Mitteleuropa herrschen dann Nord-, Ost oder Südlagen vor, die bei langer Dauer durch den direkten Fließweg der Luft aus den Subtropen oder subpolaren Gebieten zu großen Wetterextremen hinsichtlich der Temperaturen, der Niederschläge und der Sonnenscheindauer führen können. Bei den gemischten Formen findet sich ein zonaler und meridionaler Anteil. Hierzu zählen beispielsweise die Südwest- und die Nordwestlagen [SMUL 2008b].

Im Bericht „Sachsen im Klimawandel – eine Analyse“ des LfULG (2009) wird die Veränderung der Häufigkeit des Auftretens der für Sachsen maßgeblich witterungsbestimmenden Großwetterlagen „Westlage, zyklonal“ (zonal), „Hoch Mitteleuropa“ (gemischt) und „Trog Mitteleuropa“ (meridional) genauer betrachtet [SMUL 2008b]. Bei der Westlage werden vorwiegend feucht-milde atlantische Luftmassen herangeführt. Dies bedeutet für Sachsen im Winter mildes Wetter mit vorwiegend Regen und im Sommer unbeständiges Wetter mit kurzem Zwischenhochdruckeinfluss und Schauern. Die Lage Hoch Mitteleuropa bringt im Winter kaltes und trockenes Wetter mit sich. Im Sommer sorgt sie für trockenes, warmes bis heißes Wetter. Der Trog Mitteleuropa stellt das Gegenteil dar. Im Winter bringt er subpolare Kälte und bisweilen große Schneemengen mit sich. Im Sommerhalbjahr sorgt er für kühles bis mäßig warmes und regenreiches Wetter. In der vorliegenden Studie wurden die in [SMUL 2008b] für Sachsen aufgeführten Ergebnisse zur Veränderung der drei genannten Wetterlagen seit 1881 weiterführend dargestellt und mit in die Interpretation einbezogen.

### 3.1.2.15 Regionalisierte Darstellung von Klimaparametern

Die *regionalisierte Darstellung* von Parametern des Stadtklimas (flächenhafte Berechnung von Daten, ausgehend von einer oder mehreren punktuell vorgenommenen Messungen) erfolgt in der Regel mit speziell dafür konzipierten Stadtklima-Rechenmodellen. Zur Gewinnung hinreichend genauer Ausgabewerte werden Parametrisierungen auf mesoskaliger (10 bis 200 km horizontale Erstreckung) und mikroskaliger Ebene (kleiner 10 km horizontale Erstreckung und bis zu 5 m Rasterauflösung) vorgenommen. Kernstück der Modelle sind Strömungs- und Turbulenzmodellierungen der Stadtatmosphäre. Unter Verwendung ent-

sprechender Software müssen arbeitsaufwendige Simulationen und eventuell zusätzliche Messungen über Monate hinweg eingeplant werden, die den Rahmen der für das vorliegende Projekt zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel übersteigen würden. Aus diesem Grund wurde für die Regionalisierung der Daten der Lufttemperatur und der regionalisierten Darstellung der bioklimatischen Belastung die Anwendung einfacher empirischer Berechnungsansätze favorisiert.

### 3.1.2.16 Kartographische Darstellung des Jahresmittels der Lufttemperatur

Primär von Interesse war die Entwicklung der langjährigen Mittelwerte der Lufttemperaturen im Stadtgebiet. Die flächenhafte Projektion der gemessenen und modellierten mittleren Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen für die DWD-Station Chemnitz lässt sich in erster Näherung durch eine Gleichung, die die Höhenabhängigkeit der Temperatur beschreibt, berechnen:

$$(10) T(h) = a \cdot (418 \text{ m} - h) + T_0$$

$T(h)$  – höhenabhängige Temperatur in °C,  $T_0$  – Basistemperatur (in diesem Fall Jahresmittel der Lufttemperatur der DWD-Station Chemnitz auf 418 m HN) in °C,  $h$  – Geländehöhe in m HN,  $a$  – höhenabhängiger Temperaturgradient in K/m

Die Geländehöhe  $h$  ergab sich aus dem rasterbasierten DGM (siehe Kapitel 3.1.1.1). Der höhenabhängige Temperaturgradient wurde aus einer linearen Regression der gemessenen und modellierten Temperaturdaten der DWD-Stationen Leipzig-Schkeuditz, Chemnitz und Fichtelberg und der Geländehöhe für die Normalperiode 1961-1990 abgeleitet. Mit der Höhe nimmt die Jahresdurchschnittstemperatur ab. Es ergab sich ein Wert von 0,564 K/100 m.

Für die kartographische Darstellung des Jahresmittels der Lufttemperatur müssen die klimatologischen Effekte der Flächennutzung (Größe:  $T_F$ ) mit berücksichtigt werden. Der verfügbare Flächennutzungsplan der Stadt Chemnitz wurde modifiziert. Die flächenmäßige Einteilung in die Landnutzungen Freiland, Gewässer, Wald, Grünanlagen, Gartenstadt – Stadtrand – ländlich geprägte Ortslagen, Gewerbe und Industriegebiete, Bahnanlagen und innere Stadt erwies sich als nicht differenziert genug zur Definition temperaturwirksamer Klimatope. Stattdessen wurden die Klimatope zusammengefasst und neu definiert als:

- Stadtzentrum
- Stadt
- Stadtrand

- ländliche geprägte Ortslagen und Freiland = Außenbereich
- Stadtpark
- Wald
- Gewässer

Der Außenbereich bezeichnet die Gebiete, die nicht von einer flächendeckenden Bebauung gekennzeichnet sind. Hierzu zählen die Stadteile Röhrsdorf, Mittelbach, Harthau Klaffenbach, Einsiedel, Kleinolbersdorf-Altenhain, Adelsberg, Euba, Ebersdorf, Draisdorf und Wittgensdorf. Zum Stadtrand zählen Gebiete, die sich durch eine flächendeckende, aber nicht intensive Bebauung auszeichnen (zum Beispiel Eigenheime und Gartenanlagen). Sie befinden sich am gesamten Stadtrand. Der städtische Bereich kennzeichnet Flächen mit dichter Bebauung, die aus Wohnlagen, Verkehrsanlagen oder Industrie- und Gewerbegebieten bestehen kann. Hierzu zählen beispielsweise der Kaßberg, der Sonnenberg oder Altchemnitz. Das Stadtzentrum beschränkt sich auf den innenstädtischen Bereich rund um das Rathaus (in etwa identisch mit der mittelalterlichen Stadtumgrenzung).

Als Wälder wurden Gebiete mit flächendeckendem Baumbestand im Außenbereich definiert. Dies sind beispielsweise der Rabensteiner Wald, der Zeisigwald, der Ebersdorfer Wald oder der Harthwald. In der Kategorie Stadtpark befinden sich größere Grünanlagen der Stadt Chemnitz, wie zum Beispiel der Kuchwald, der Crimmitschauer Wald und der Stadtpark entlang der Chemnitz. Die Kleingewässer in Form von Teichen wurden aus der Betrachtung herausgenommen und in der Regel dem Außenbereich, wo sie sich in der Überzahl befinden, zugeteilt. Lediglich der Schloßteich blieb als klimawirksames Element in dieser Kategorie erhalten.

Über eine Geoinformationssystem-Anwendung (ArcGIS der Firma ESRI) wurde das rasterbasierte DGM mit dem modifizierten Flächennutzungsplan der Stadt Chemnitz verschnitten, so dass jedem Rasterpunkt eine Flächennutzung in Form eines numerischen Schlüssels zugewiesen wurde (siehe Tab. 3). In Abhängigkeit der Höhe und des Klimatops sollte ein Temperaturraster berechnet werden. Hierbei stellte sich die Frage, wie groß die Temperatureffekte der Klimatope sind. Hierfür wurde eine Methodik zur Abschätzung der Werte entwickelt.

Betrachtet man die Regressionsgerade der Höhenabhängigkeit der Lufttemperatur für die Stationen Leipzig – Chemnitz – Fichtelberg (Werte der Normalperiode 1961-1990), so fällt auf, dass die Station Chemnitz eine deutlich positive Abweichung von der Ausgleichsgerade



aufweist. Da die Station Chemnitz auf dem Berg liegt, darf der temperaturerhöhende Einfluss von Inversionswetterlagen bei diesem Vergleich nicht außer Acht gelassen werden. In der vorliegenden Studie wird über den Inversionseinfluss hinaus davon ausgegangen, dass der Standort der Wetterstation Chemnitz leicht stadtklimabeeinflusst ist, und somit ein zusätzlicher die Temperatur erhöhender Einflussfaktor besteht. Dies begründet sich daraus, dass die Station sich auf einer Kuppe innerhalb des Erzgebirgischen Beckens befindet und von dicht besiedelten Gebieten umgeben ist (zum Beispiel direkte Nachbarschaft zu der dichten Bebauung des Heckert-Gebietes). Die regionale Luftzirkulation wird innerhalb des Beckens behindert, so dass sich die städtische Wärmeinsel stärker ausprägen und ins Umland ausdehnen kann.

Der Nullpunkt (0 K) der Skala der Temperatureffekte der einzelnen Klimatope wurde auf den Außenbereich gelegt, da hier keine bedeutende Wärmetönung umliegender Bebauung vorhanden ist. Es wurde angenommen, dass das Jahresmittel der Lufttemperatur an der DWD-Station Chemnitz aus den obengenannten Gründen (positive Abweichung der gemessenen Temperaturen der Station von der Ausgleichsgerade, Einfluss von Inversionswetterlagen, Beeinflussung durch das Stadtklima aufgrund der Lage der Station) um etwa +0,3 K höher liegt, als wenn der gleiche Standort einen siedlungsunbeeinflussten Standort des Außenbereiches darstellen würde. Der Wert wurde gleichzeitig den Stadtrandgebieten, zu denen die Wetterstation Chemnitz zählt, als Temperatureffekt zugewiesen. Die Temperaturdifferenz zum Stadtzentrum (300 m ü NN), mit dem höchsten Temperatureffekt der Bebauung, setzt sich aus der höhenbedingten Temperaturdifferenz und dem Temperatureffekt des Stadtklimatops zusammen. Der DWD nimmt in seinem Gutachten von 1993 [DWD 1993] eine um 1,5 K höhere Temperatur für das Stadtzentrum an. An der DWD-Station beträgt der stadtklimabereinigte Wert des Jahresmittels der Lufttemperatur für die Normalperiode 1961-1990 etwa 7,5°C. Für das Stadtzentrum ergibt sich demnach ein Wert von etwa 9,0°C unter Berücksichtigung des Stadteffektes. Die höhenabhängige Komponente beträgt gemäß des oben genannten Höhengradienten etwa +0,6 K, so dass ein Stadteffekt von +0,9 K für das Stadtzentrum resultiert.

Den städtischen Bereichen wurde ein Effekt von +0,7 K zugewiesen. Großflächige Waldgebiete im Randbereich der Stadt erzeugen durch eine höhere Verdunstung und eine Beschattung negative Temperatureffekte, so dass für sie ein Temperatureffekt von -0,4 K relativ zum Klimatop Außenbereich angenommen wurde. Schloßteich und Stadtparks bekamen einen

Temperatureffekt von + 0,3 K zugewiesen, da sie einerseits von städtischer Bebauung umgeben sind und andererseits die selbe klimatische Funktion besitzen wie Gewässer und Wälder im Randbereich. Der Wert ist die Summe aus dem Temperatureffekt des Stadtbereiches und der Wälder: +0,7 K + -0,4 K = +0,3 K. Der Einfluss des Sonnenexpositionswinkels des Reliefs auf die Temperaturen wurde nicht mit berücksichtigt, da es sich überwiegend um eine flach hügelige Landschaft handelt. Nur entlang der Erzgebirgsnordrandstufe finden sich einige Steilhänge, die entweder einen signifikant erhöhten (Südhänge) oder verringerten Strahlungsgenuss (Nordhänge) aufweisen und somit im Mittel etwas wärmer oder kälter sind. Die geschätzten Temperatureffekte der Klimatope werden in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tab. 3: Klimatop, numerischer Schlüssel und Temperatureffekt

Schlüssel	Klimatop	Temperaturkorrektur T <sub>FN</sub>
1	Außenbereich	0,0 K
2	Stadtpark	+0,3 K
3	Wald	-0,4 K
4	Gewässer / Schloßteich	+0,3 K
5	Stadttrand	+0,3 K
6	Stadt	+0,7 K
0	Innenstadt	+0,9 K

Im Raum Chemnitz werden seit einigen Jahren Wetterstationen durch Dritte sowie eine Luftschadstoffmessstation (Deponie Weißer Weg) durch die Stadt Chemnitz betrieben. Zweifelsohne sind die dort gewonnenen Messwerte der Lufttemperatur nicht ohne Vorbehalt mit genormt gemessenen Werten an der Wetterstation Chemnitz des DWD vergleichbar. Dennoch bieten sie die Möglichkeit, die Plausibilität der oben geschilderten Annahmen in Form eines groben Maßstabes zu überprüfen. Folgende Tabelle zeigt, dass die oben dargestellte klimatopabhängige Zuweisung von Temperatureffekten reproduziert werden konnte.

Tab. 4: Vergleich verschiedener Wetterstationen - Jahresmittel der Lufttemperatur

Standort	Höhe [m ü NN]	T [°C]			TN [°C]			Δ [K]	Klimatop
		2006	2007	2008	2006	2007	2008		
PV Schloß-Chem.	315	9,8	10,6	10,7	9,5	9,9	9,6	0,7	Stadt
PV Hilbersdorf	320			10,3	9,5	9,9	9,6	0,7	Stadt
PV Klaffenbach	360	9,3	9,7	9,1	9,3	9,7	9,4	-0,1	Außenbereich
SSC Weißer Weg	390	8,9	9,3		9,1	9,5	9,2	-0,2	Außenbereich Waldnähe
DWD Chemnitz	418	9,3	9,6	9,3	9,0	9,3	9,0	0,3	Stadttrand
PV Markersdorf	420			9,2	8,9	9,3	9,0	0,2	Stadttrand, nahe DWD

PV Dittersdorf	425	8,4	8,8	8,6	8,9	9,3	9,0	-0,5	am Wald
PV Berbisdorf	477	8,6	8,9	8,3	8,6	9,0	8,7	-0,2	Außenbereich
DWD Fichtelberg	1214	4,8	4,9	4,5	4,5	4,9	4,6	0,1	Außenbereich
DWD Schkeuditz	142	10,4	10,8	10,6	10,5	10,9	10,6	-0,1	Außenbereich

T – Jahresmittel der Lufttemperatur

TN – höhenabhängiger theoretischer Referenzwert des Jahresmittels der Lufttemperatur für das Klimatop Außenbereich, berechnet aus dem Höhengradienten der DWD Stationen Schkeuditz – Chemnitz – Fichtelberg

$\Delta$  – Mittelwert für die Differenzen (T – TN) der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur

DWD – Wetterstationen des DWD

SSC – Luftschadstoffmessstation der Stadt Chemnitz / Deponie Weißer Weg

PV – privat betriebene Wetterstationen

Die Rasterpunkte des höhen- und klimatopabhängigen Jahresmittels der Lufttemperatur wurde für die Perioden 1961-1990 und 2001-2008 wie folgt berechnet:

$$(12) T = T(h) + T_{FN}$$

T – Jahresmittel der Lufttemperatur an einem Rasterpunkt in °C, T(h) – höhenabhängige Temperatur in °C,  $T_{FN}$  – klimatopabhängiger Temperaturkorrekturfaktor in K

Das Raster des höhen- und klimatopabhängigen Jahresmittels der Lufttemperatur wurde unter zusätzlicher Berücksichtigung der modellierten Erwärmungsbeträge des Klimamodells WEREX III, Szenario A2 für die Dekaden 2001-2010, 2011-2020 und 2041-50 für die kartographische Darstellung nach folgender Formel definiert:

$$(12) T = T(h) + \Delta T + T_{FN}$$

$\Delta T$  – gemäß WEREX III für die DWD-Station modellierter Temperaturanstieg in K

### 3.1.2.17 Kartografische Darstellung der bioklimatischen Belastung

Hinsichtlich der bioklimatischen Belastung sollte eine einfache Unterteilung in vier Gefährdungszonen realisiert werden, um im Teilfeld Klimafolgen der vorliegenden Studie (siehe Kapitel 4) schutzgutbezogene Gefährdungsanalysen für Bioklimaeinflüsse nach dem Schema von NOHL (1980) zu erstellen. Die Klassifizierung im Raum Chemnitz erfolgte unabhängig von bestehenden und zu erwartenden Klimaschwankungen, da der Gradient der bioklimatischen Gefährdung in Abhängigkeit der Klimatope und des Höhengradienten der Temperatur immer gleich bleibt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die höher liegenden Außen-

bereiche günstigere bioklimatische Reize bieten als etwa das wärmere und zirkulationsärmere Stadtzentrum.

Die bioklimatische Belastung ergab sich daher als jahresmitteltemperaturunabhängige, aber höhen- und klimatopabhängige Größe:

$$(3) BI = a \cdot (418 - h) + T_F$$

BI – Index der bioklimatischen Belastung, a – höhenabhängiger Temperaturgradient in K/m, h – Geländehöhe in m HN,  $T_F$  – Lufttemperatur, klimatopkorrigiert

Für den gebietsspezifischen Index konnten mittels der Rasterberechnung Werte von -1 bis +1,6 berechnet werden. Diese Bandbreite wurde empirisch in folgende Klassen aufgeteilt:

Tab. 5: Klassifizierung der Gefährdungszonen der bioklimatischen Belastung

Indexgröße BI	Belastung in Worten	Gefährdungszone
< -0,2	Sehr gering	I
-0,2 bis +0,6	gering	II
+0,6 bis +1,4	mittel	III
> +1,4	hoch	IV

Der Klasseneinteilung lag eine gebietsspezifische Plausibilitätsprüfung zugrunde. Demnach besitzen Gebiete wie Erzgebirgsnordrandstufe eine niedrige Indexzahl. Aus der Praxis ist bekannt, dass die Nordrandstufe bioklimatisch günstige Reize bietet. Dahingegen hat das Stadtzentrum die höchsten Indexwerte. In der Kessellage ist bioklimatische Belastung erfahrungsgemäß hoch. Zwischen den beidem Extrema spannt sich folglich eine für das betrachtete Gebiet gültige Skala auf, die als Bewertungsmaßstab dienen kann.

## **3.2 Ergebnisse**

### **3.2.1 Klimatische Verhältnisse der Perioden 1961-1990 und 2001-2008**

#### 3.2.1.1 Das Klima der Normalperiode 1961-1990 - langjährige Mittelwerte

Das Jahresmittel der Lufttemperatur betrug im Referenzzeitraum 1961-1990 gemäß der korrigierten Daten der DWD-Wetterstation Chemnitz 7,8°C. Der wärmste Monat war der Juli mit durchschnittlich 16,4°C (siehe Abb. 15 und Anlage 2.1). Das Minimum der Monatsmittel der Lufttemperaturen wurde im Januar mit -1,4°C erreicht. Die höchsten Tagestemperaturen

traten vorwiegend im Juli und August auf. Es wurde ein Durchschnitt des jährlichen Maximums der Lufttemperatur von 31,2°C erreicht. Die tiefsten Tagestemperaturen konnten häufig im Februar gemessen werden. Das langjährige Mittel der im Einzeljahr tiefsten gemessenen Lufttemperatur lag hierbei bei -16,9°C.

Der korrigierte Niederschlags betrug 823 mm als mittlere Jahressumme. Es zeigten sich zwei Maxima. Ein größeres Maximum trat im Juni mit einem Monatsmittel von 100 mm auf. Das zweite, kleinere Maximum wurde im Dezember mit 70 m erreicht.

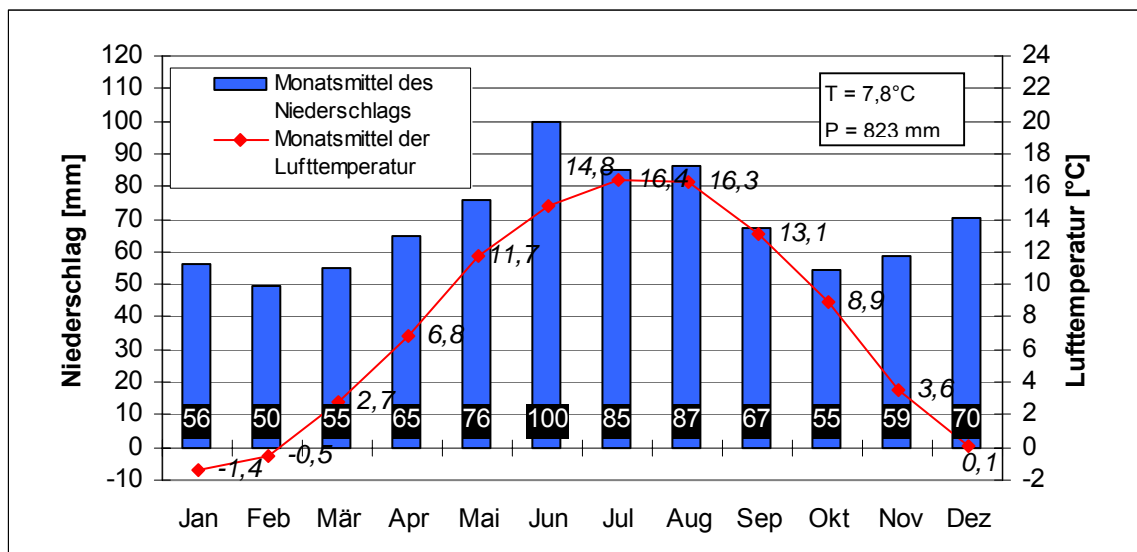


Abb. 15: Temperaturen und Niederschlag der Normalperiode 1961-1990

Im Jahresmittel war der Himmel zu 67% bedeckt. Der Bedeckungsgrad zeigte einen deutlichen jahreszeitlichen Gang mit einem Maximum der Bewölkung in den Monaten des Winterhalbjahres November bis Februar (71 bis 75%, siehe Abb. 16 und Anlage 2.1). Ausgehend von einem hohen Niveau im Januar nahm das Monatsmittel der Bewölkung bis zum August kontinuierlich ab und verblieb bis in den Oktober hinein bei etwa 60%.

Die Sonnenscheindauer zeigte ein Mittel der Jahressumme von 1533 h und verhielt sich gegensätzlich zur Bedeckung. Das Maximum wurde tageslänge- und bewölkungsbedingt im Mai bis August mit 191 bis 200 h als Monatsmittel erreicht. In den sonnenscheinarmen Monaten November bis Februar beträgt die Spannweite 47 bis 74 h mit einem Minimum im Dezember.

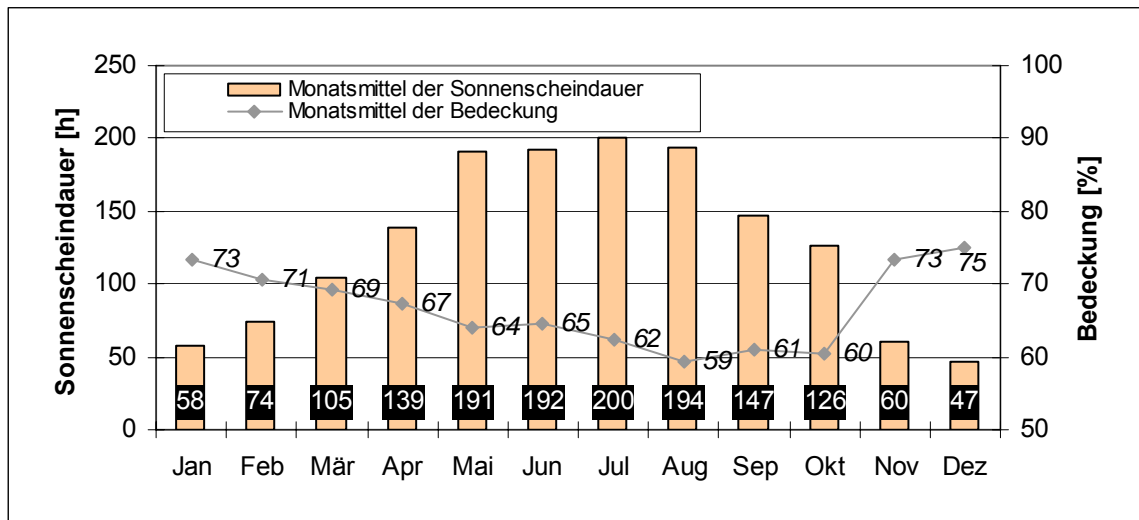


Abb. 16: Sonnenscheindauer und Bedeckung der Normalperiode 1961-1990

Die relative Luftfeuchte konnte mit einem Jahresmittel von 78% als hoch bezeichnet werden. Die höchsten Werte wurden durch die geringeren Tagestemperaturen und das große Feuchteangebot in den Monaten Oktober bis März des Winterhalbjahres erreicht (79 – 85%, siehe Abb. 17 und Anlage 2.1). Das Maximum lag im Dezember. Von April bis September bewegten sich die Werte zwischen 73 und 78%, was auf das thermisch bedingte höhere Aufnahmevermögen der Luft für Wasser zurückzuführen ist. Das Verhältnis von tatsächlichen Dampfdruck zu Wassersättigungsdampfdruck verringert sich physikalisch bedingt.

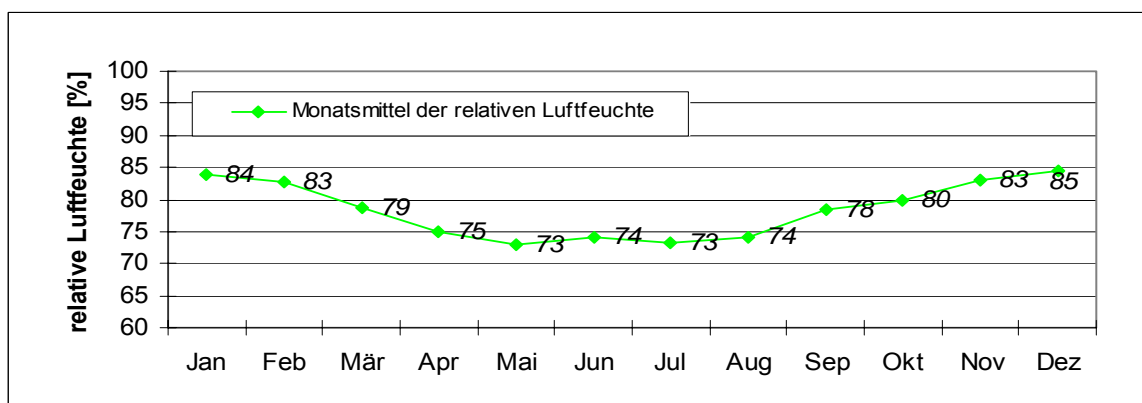


Abb. 17: relative Luftfeuchte der Normalperiode 1961-1990

Im Jahresmittel wehte der Wind mit einer Geschwindigkeit von etwa 4,4 m/s. Die höchsten Monatsmittel wurden im Winterhalbjahr erreicht (siehe Abb. 18 und Anlage 2.1). In den Monaten Oktober bis März lagen die Werte bei 4,4 bis 5,4 m/s. Im Sommerhalbjahr sank die

mittlere Windgeschwindigkeit auf ein Niveau von 3,6 bis 4,2 m/s in den Monaten Mai bis September ab.

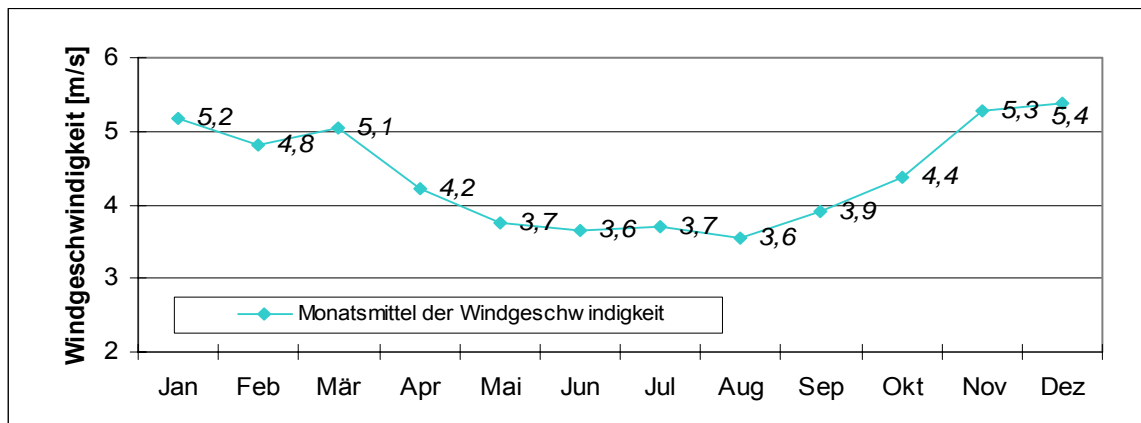


Abb. 18: Windgeschwindigkeit der Normalperiode 1961-1990

Im Jahresmittel wurden 32 Eistage registriert (siehe Abb. 19 und Anlage 2.1). Diese konzentrierten sich auf den Zeitraum November bis März (im Winterhalbjahr). Die höchste Anzahl wurde im Januar mit 10 Tagen und die niedrigste mit 3 Tagen im März und November registriert. Im Winterquartal betrug die Summe der Tage damit 27, wohingegen das Frühjahrs- und das Herbstquartal nur auf jeweils 3 Tage kamen. An 99 Tagen im Jahr sank die Lufttemperatur unter die 0°C-Grenze (Frosttage). Das Maximum wurde im Zeitraum Dezember bis Februar mit 20 bis 23 Tagen registriert. Die luffrostfreie Zeit erstreckte sich von Mai bis September.

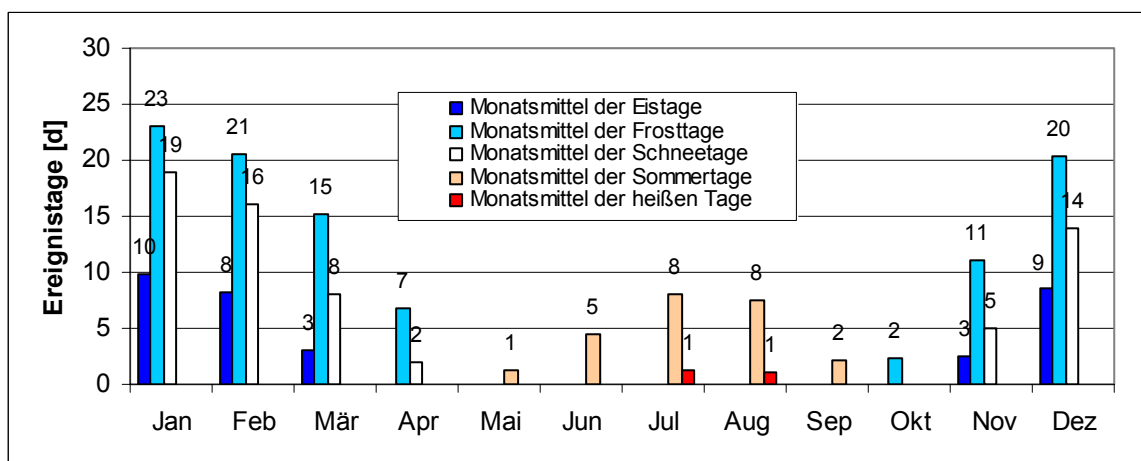


Abb. 19: Mittlere Anzahl meteorologischer Ereignistage der Normalperiode 1961-1990

An 64 Tagen konnte sich eine Schneedecke von wenigstens 1 cm Mächtigkeit im langjährigen Mittel ausbilden. Das mittlere Jahresmaximum der Schneedecke lag bei 28 cm. Der ab-

solute Rekord der Schneehöhe wurde am 11.03.1988 mit 66 cm gemessen [DWD 1993]. Besonders in den Wintermonaten Dezember bis Februar wurden Schneetage registriert (14 bis 19 Tage). Aber auch in den Monaten März, April und November bestand im Schnitt an 2 bis 8 Tagen die Möglichkeit der Ausprägung einer Schneedecke. Die Anzahl der Sommertage beschränkte sich auf den Zeitraum Mai bis September, also auf Spätfrühling, Sommer und Frühherbst. Im langjährigen Schnitt wurden 23 Tage gezählt. Davon konzentrierte sich der überwiegende Anteil von 20 Tagen auf das Sommerquartal (Juni-August). Von den Sommertagen zeigten 2 Tage eine maximale Tagestemperatur größer als 30°C und konnten somit als heiße Tage bezeichnet werden. Dieses Ereignis trat durchschnittlich an einem Tag im Juli und einem Tag im August auf.

Die Normalperiode kann neben der Betrachtung langjähriger Mittelwerte auch durch eine Auflistung von Extremwerten charakterisiert werden (siehe Tabelle 6).

Tab. 6: Ausgewählte Extremwerte der Normalperiode 1961-1990

Parameter	Wert	Jahr
Tiefste gemessene Lufttemperatur	-25,9°C	21.12.1969
Höchste gemessene Lufttemperatur	+34,5°C	11.07.1984
Niedrigstes Jahresmittel der Lufttemperatur	+6,6°C	1962
Höchstes Jahresmittel der Lufttemperatur	+9,3°C	1989
Niedrigste Jahressumme des Niederschlags	577 mm	1982
Höchste Jahressumme des Niederschlags	1040 mm	1966
Höchster Tageswert des Niederschlags	64 mm	04.08.1983
Niedrigste Jahressumme der Sonnenscheindauer	1078 h	1977
Höchste Jahressumme der Sonnenscheindauer	1871 h	1982
Niedrigstes Jahresmittel der Bedeckung	58%	1982
Höchstes Jahresmittel der Bedeckung	72%	1966, 1981
Niedrigstes Jahresmittel der relativen Luftfeuchte	72%	1983
Höchstes Jahresmittel der relativen Luftfeuchte	83%	1966
Niedrigstes Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	2,8 m/s	1987
Höchstes Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	5,5 m/s	1974

### 3.2.1.2 Das Klima der Periode 2001-2008

Das Jahresmittel der Lufttemperatur betrug im Referenzzeitraum 2001-2008 gemäß den Daten der DWD-Wetterstation Chemnitz 9,0 °C. Im Jahresverlauf zeigte sich der Juli mit durchschnittlich 18,3°C als wärmster Monat (siehe Abb. 20 und Anlage 2.2). Das Minimum der Monatsmittel der Lufttemperaturen wurde im Januar mit 0,4°C erreicht. Wie bereits in der Normalperiode 1961-1990 traten die höchsten Tagestemperaturen im Juli bis August auf.



Das Mittel der Jahresmaxima betrug 32,8°C. Im Januar traten bevorzugt die Jahresminima auf. Das Mittel der Werte lag bei -13,1°C.

Durchschnittlich fielen in einem Jahr 899 mm Niederschlag. Die zwei Niederschlagsmaxima der Normalperiode blieben erhalten, verschoben sich aber deutlich von Juni auf August (114 mm) und von Dezember auf November (90 mm).

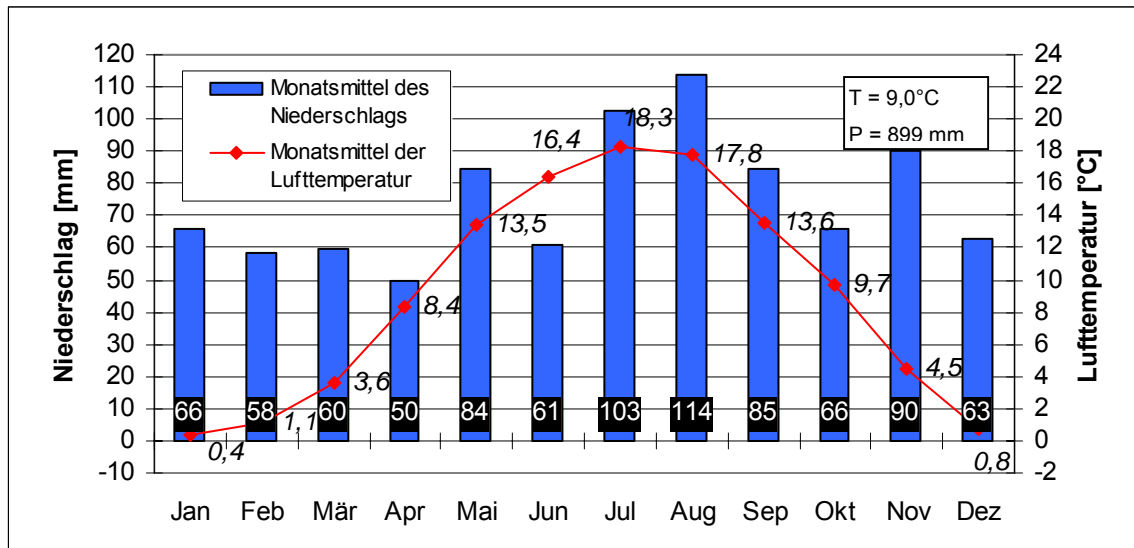


Abb. 20: Temperaturen und Niederschlag der Periode 2001-2008

Im Jahresmittel war der Himmel zu 68% bedeckt (siehe Abb. 21 und Anlage 2.2). Der Bedeckungsgrad zeigte einen deutlichen jahreszeitlichen Gang mit einem Maximum der Bewölkung in den Monaten des Winterhalbjahres November bis März (72% bis 78%). Die Monate April bis Oktober (62% bis 66%) setzten sich durch einen deutlich geringeren durchschnittlichen Bedeckungsgrad von den vorher genannten Monaten ab.

Die Sonnenscheindauer zeigte eine Mittel der Jahressumme von 1533 h und verhielt sich, wie bereits für die Normalperiode festgestellt, gegensätzlich zur Bedeckung. Das Maximum wurde tageslänge- und bewölkungsbedingt im April bis September mit 157 bis 229 h als Monatsmittel erreicht. In den sonnenscheinarmen Monaten Oktober bis März beträgt die Spannweite 60 bis 131 h mit einem Jahresminimum im Dezember.

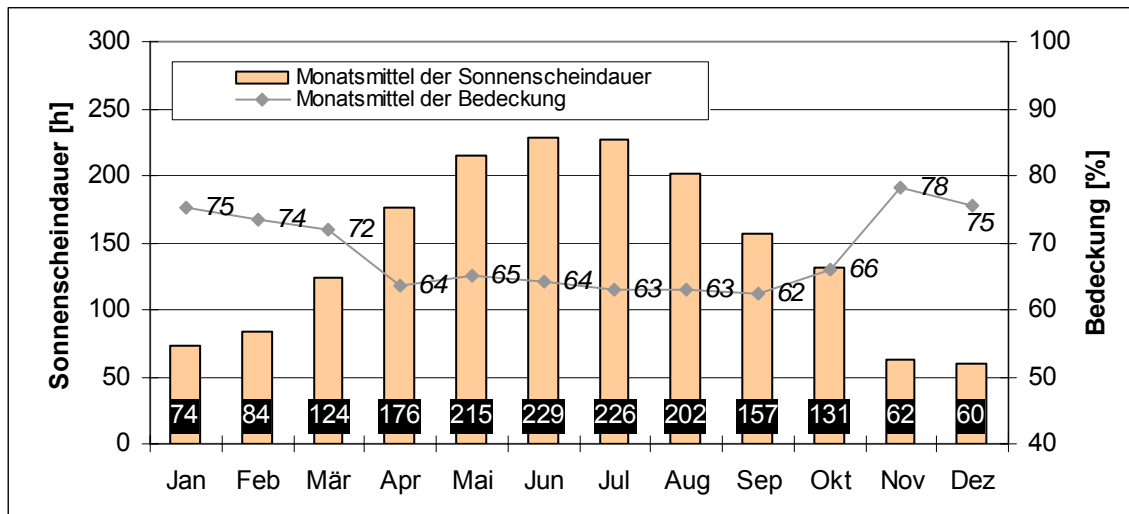


Abb. 21: Sonnenscheindauer und Bedeckung der Periode 2001-2008

Die relative Luftfeuchte betrug im Jahresmittel 76%. Die höchsten Werte wurden in den Monaten Oktober bis März des Winterhalbjahres gemessen (77 – 80%, siehe Abb. 22 und Anlage 2.2). Das Maximum lag im November und Dezember. Von April bis September bewegten sich die Werte zwischen 69 und 76%.

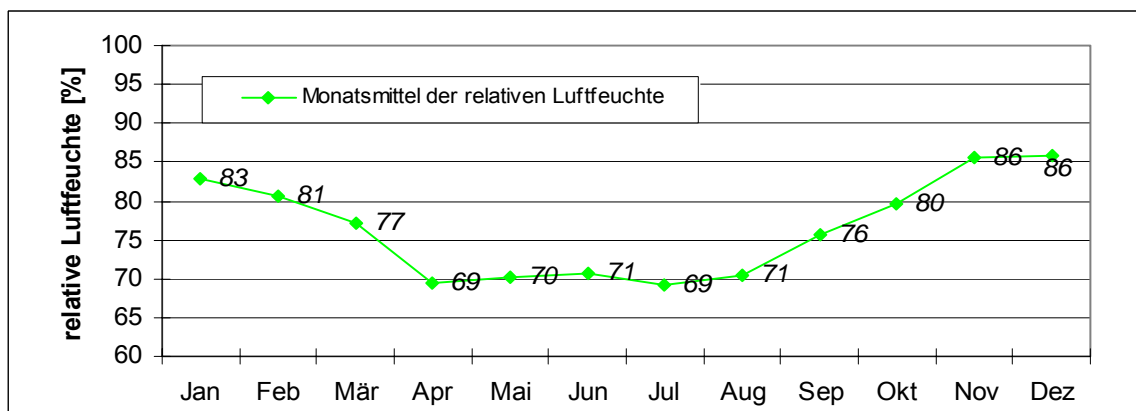


Abb. 22: relative Luftfeuchte der Periode 2001-2008

Wie in der Normalperiode wehte der Wind im Jahresmittel mit einer Geschwindigkeit von etwa 4,4 m/s (siehe Abb. 23 und Anlage 2.2). Ausgehend von einem mittleren Jahresmaximum der Windgeschwindigkeit im Januar mit 6,2 m/s sanken die Werte bis zur Jahresmitte im langjährigen Mittel auf 3,5 m/s ab. Im Zeitraum September bis Dezember kam es dann wieder zu einem Anstieg von 3,6 m/s auf 5,1 m/s.

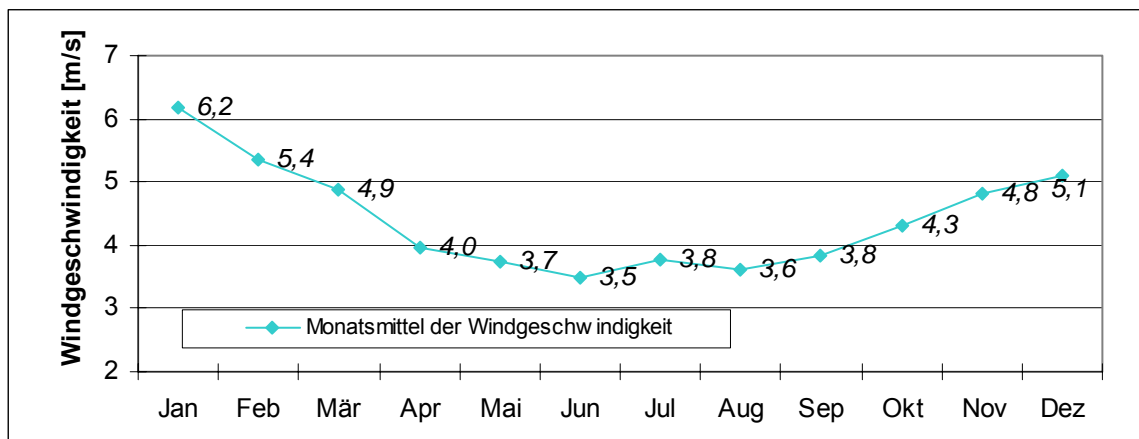


Abb. 23: Windgeschwindigkeit der Periode 2001-2008

Im Jahresmittel wurden 26 Eistage registriert. Diese konzentrierten sich auf den Zeitraum November bis März. Der Januar zeigte mit 9 Tagen die höchste und der November mit 1 Tag die niedrigste Anzahl. Im Winterquartal betrug die Summe der Tage damit 22. Das Frühjahrsquartal kam auf 3 Tage und das Herbstquartal nur auf 1 Tag im Mittel. An 79 Tagen im Jahr sank die Lufttemperatur unter die 0°C-Grenze (Frosttage). Das Maximum wurde im Zeitraum Dezember bis März mit 14 bis 19 Tagen registriert. Die luftfrosthfreie Zeit erstreckte sich von Mai bis September. An 70 Tagen im konnte sich eine Schneedecke von wenigstens 1 cm Mächtigkeit im langjährigen Mittel ausbilden. Besonders in den Wintermonaten Dezember bis März wurden Schneetage registriert (12 bis 19 Tage). Aber auch in den Monaten April und November bestand im Schnitt an 1 bis 7 Tagen die Möglichkeit der Ausprägung einer Schneedecke. Die Anzahl der Sommertage beschränkte sich auf den Zeitraum Mai bis September (Spätfrühling, Sommer und Frühherbst). Im langjährigen Schnitt wurden 33 Tage gezählt. Davon konzentrierte sich der überwiegende Anteil von 28 Tagen auf das Sommerquartal. Von den Sommertagen zeigten 5 Tage eine maximale Tagestemperatur größer als 30°C und konnten somit als heiße Tage bezeichnet werden. Dieses Ereignis trat durchschnittlich an 1 bis 2 Tage im Juni, Juli und August auf.

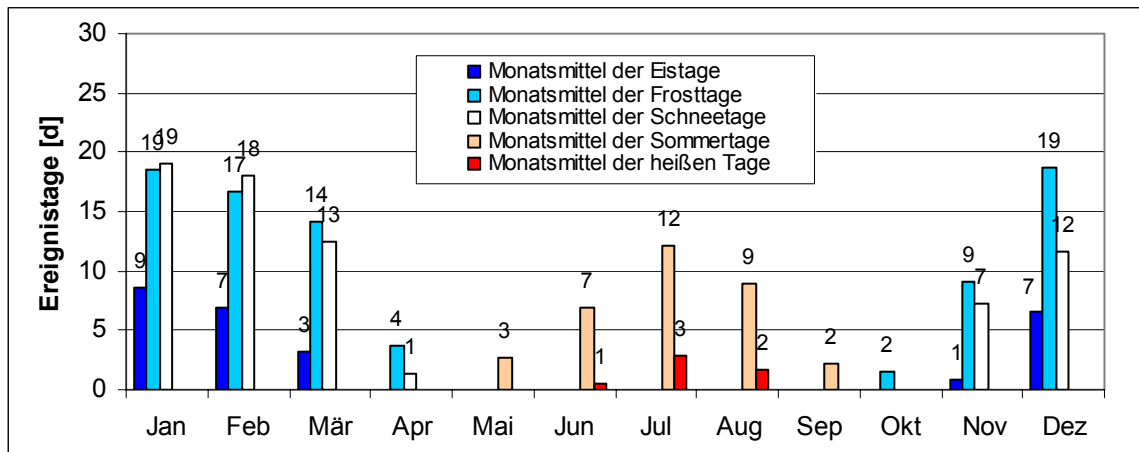


Abb. 24: Mittlere Anzahl meteorologischer Ereignistage der Periode 2001-2008

Die Auflistung der Extremwerte (siehe Tab. 7) zeigte eine absolute Minimum der Lufttemperatur im Winter 2005/2006 mit  $-18^{\circ}\text{C}$  am 23.01.2006. Der höchste Wert der Lufttemperatur wurde am 16.07.2007 mit  $+35,2^{\circ}\text{C}$  gemessen. Das im Jahresdurchschnitt kälteste Jahr der Reihe war das Jahr 2004 mit  $+8,5^{\circ}\text{C}$ . Im Jahr 2007 wurde das höchste Jahresmittel der Lufttemperatur mit  $+9,6^{\circ}\text{C}$  gemessen. Am trockensten fiel das Extremjahr 2003 aus (611 mm korrigierte Niederschlagssumme). Am feuchtesten war das vorhergehende Extremjahr 2002 (1039 mm korrigierte Niederschlagssumme). Der höchste Tagesniederschlag wurde im Rahmen des Hochwasserereignisses im August 2002 mit 78 mm am 12.08 registriert (unkorrigierte Niederschlagssumme). Die geringste Sonnenscheindauer wurde 2001 mit 1544 h gemessen. Die höchste wurde für das Jahr 2003 registriert (2040 h). Die Bedeckung war im Jahr 2003 ebenfalls am geringsten (61%) Im Jahr 2001 war sie im Gegensatz dazu am höchsten (74%). Das Trockenjahr 2003 zeichnet sich auch durch die geringste Luftfeuchte aus (72%). Wiederum bildet das Jahr 2001 mit 79% innerhalb der Periode den Kontrast dazu. Die Windgeschwindigkeit variierte im Jahresmittel zwischen den beiden Randwerten 4,0 m/s (2006) und 4,8 m/s (2007).

Tab. 7: Ausgewählte Extremwerte der Periode 2001-2008

Parameter	Wert	Jahr
Tiefste gemessene Lufttemperatur	$-18,0^{\circ}\text{C}$	23.01.2006
Höchste gemessene Lufttemperatur	$+35,2^{\circ}\text{C}$	16. 07.2007
Niedrigstes Jahresmittel der Lufttemperatur	$+8,5^{\circ}\text{C}$	2004
Höchstes Jahresmittel der Lufttemperatur	$+9,6^{\circ}\text{C}$	2007
Niedrigste Jahressumme des Niederschlags	611 mm	2003
Höchste Jahressumme des Niederschlags	1039 mm	2002
Höchster Tageswert des Niederschlags	78 mm	12.08.2002

Parameter	Wert	Jahr
Niedrigste Jahressumme der Sonnenscheindauer	1544 h	2001
Höchste Jahressumme der Sonnenscheindauer	2040 h	2003
Niedrigstes Jahresmittel der Bedeckung	61%	2003
Höchstes Jahresmittel der Bedeckung	74%	2001
Niedrigstes Jahresmittel der relativen Luftfeuchte	72%	2003
Höchstes Jahresmittel der relativen Luftfeuchte	79%	2001
Niedrigstes Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	4,0 m/s	2006
Höchstes Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	4,8 m/s	2007

### 3.2.2 Diagnostizierte Veränderungen des Klimas im Zeitraum 1950-2008

#### 3.2.2.1 Veränderung der Lufttemperatur im Zeitraum 1950-2008

Der jahresübergreifende Vergleich wurde anhand der Größen Jahresmittel der minimalen und der maximalen täglichen Lufttemperatur und des Jahresmittels der Lufttemperatur vorgenommen (siehe Anlage 1.1). Hierbei zeigte sich durchweg ein positiver Trend der Reihen im Zeitraum 1950 bis 2008. Das Jahresmittel der Lufttemperatur stieg mit einer Schwankungsbreite von etwa  $\pm 1$  K von  $7,6^{\circ}\text{C}$  in den 50er Jahren auf  $9,0^{\circ}\text{C}$  in der laufenden Dekade. Dies entspricht einer Differenz von  $+1,4$  K. Im Mittel steigt die Temperatur um  $+0,3$  K pro Dekade an. Der Vergleich der Normalperiode 1961-1990 mit der Dekade zeigte eine Erhöhung von  $7,8^{\circ}\text{C}$  auf  $9,0^{\circ}\text{C}$ , wobei der Differenzbetrag  $+1,2$  K groß war (siehe Anlage 2.2). Im Frühjahr, Sommer und Winter kam es für die herausgegriffenen Perioden quartalsbezogen zu den größten Erwärmungsbeträgen mit jeweils  $+1,4$  K (Frühjahr),  $+1,7$  K (Sommer) und  $+1,3$  K (Winter). Der Herbst zeigte eine geringere positive Tendenz von  $+0,7$  K.

Bei den Jahresmittelwerten der täglichen Minima der Lufttemperatur war der positive Trend stärker ( $+0,4$  K pro Dekade) ausgeprägt als bei den Jahresmitteln der Lufttemperatur. Das mittlere Minimum der Lufttemperatur stieg ausgehend von den 50er Jahren mit  $3,7^{\circ}\text{C}$  auf  $5,5^{\circ}\text{C}$  in der aktuellen Dekade an. Für die Jahresmittelwerte der täglichen Maxima der Lufttemperatur wurde ein etwas geringerer positiver Trend im Vergleich zur Tagesmittelwertreihe von  $+0,2$  K pro Dekade festgestellt. Das Jahresmittel der maximalen täglichen Lufttemperatur stieg von  $11,8^{\circ}\text{C}$  auf  $12,7^{\circ}\text{C}$  an.

Die Entwicklung der Temperaturextrema in Form der Jahrestiefsttemperatur und der Jahreshöchsttemperatur bestätigte den allgemein positiven Trend und die unterschiedliche zeitliche Entwicklung im unteren und oberen Temperaturspektrum (siehe Anlage 1.2). Die Jahrestiefsttemperatur steigerte sich von  $-18,3^{\circ}\text{C}$  in den 50er Jahren auf  $-13,8^{\circ}\text{C}$  in der laufenden

Dekade (+1,1 K pro Dekade, Gesamtdifferenz +4,5 K). Bei der Jahreshöchsttemperatur zeigte die Entwicklung einen Anstieg von 31,4°C auf 32,8°C (+0,2 K pro Dekade, Gesamtdifferenz +1,4 K).

### 3.2.2.2 Veränderung der thermischen Ereignistage im Zeitraum 1950-2008

Für die Zeitreihe der Lufttemperaturen von 1950 bis 2008 ergab sich ein positiver Trend für die Anzahl der Sommertage pro Jahr (siehe Anlage 1.4). Im Schnitt wurden +1,8 Tage/Dekade mehr registriert. Die Werte schwankten mit etwa  $\pm 10$  Tagen um das jahresübergreifende lineare Mittel (1950: 20 d, 2008: 30 d). Als Jahre mit besonders vielen Sommertagen im Vergleich zum Mittel lassen sich die Jahre 1964 (36 d), 1982 (37 d), 1983 (39 d), 2003 (52 d) und 2006 (43 d) benennen. Verhältnismäßig wenige Sommertage wurden 1960 (11), 1974 (10), 1977 (10), 1980 (9), 1984 (12) und 1996 (16) gezählt. Der Vergleich der Normalperiode mit der Periode 2001 zeigte einen bedeutenden Anstieg von 23 auf 33 Tage (rund +10 d) im Jahresmittel (siehe Anlage 2.2). Die größte Steigerung wurde im Sommerquartal mit rund +8 Tagen erreicht. Der Juli allein zeigte einen Zuwachs von +4 Tagen. Im Frühjahr kam rund ein Sommertag hinzu.

Für die heißen Tage wurde im Zeitraum 1950-2008 ebenfalls ein positiver Trend von +0,5 Tagen pro Dekade nachgewiesen. Der Anstieg vollzog sich mit einer Spannweite von  $\pm 4$  Tagen um das lineare Mittel. Um 1955 wurden noch 2 Tage pro Jahr gemessen. Um 2005 waren es bereits 4 Tage pro Jahr. Als Jahre mit besonders vielen Tagen mit einem Tagesmaximum von gleich oder über 30°C traten die Jahre 1964 (9), 1971 (9), 1992 (8), 1994 (12) und 2003 (11) hervor. Während in den 50er bis zu Beginn der 80er Jahre noch mehrere Jahre ohne heiße Tage hintereinander auftreten konnten (1954-1955-1956, 1977-1978-1979) war dies danach gar nicht mehr der Fall. Nur noch zwei Jahre verblieben ohne heißen Tag (1993 und 2004). Das Auftreten der heißen Tage beschränkte sich in der Normalperiode auf den Juli und August mit jeweils einem Tag im Durchschnitt (siehe Anlage 2.1). In der Periode 2001-2008 wuchs die Anzahl hier auf rund 3 und 2 Tage an (siehe Anlage 2.2). Hinzu kam noch rund 1 Tag im Juni, so dass in der Gesamtbetrachtung im Sommerquartal ca. +3 heiße Tage mehr gezählt wurden.

Im Untersuchungszeitraum traten Tage mit Hitzestress der Kategorien I und II auf (siehe Anlage 1.3). Für beide Klassen wurde eine Zunahme der Anzahl der Tage festgestellt. In den 50er Jahren erreichten im Schnitt an 27 Tagen im Jahr die erste Warnstufe. In den letzten Jahren waren es bereits 32 Tage (+1,2 Tage/Dekade). Die zweite Warnstufe wurde in den

50er Jahren im Schnitt an 5 Tage erreicht. In der noch nicht abgeschlossenen Dekade aktuellen konnten bereits 8 Tage im Durchschnitt gezählt werden. Beide Kurven bildeten Zeitabschnitte mit hitzestressreichen Sommern (1950-1952, 1957-1975, 1986-1995, 2000-2008) und hitzestressarmen Sommern (1953-1956, 1976-1985, 1996-1999) Perioden ab.

Für die kalten Ereignistage zeichnete sich ein vollkommen gegensätzliches Bild ab. Die Frosttage gingen im Betrachtungszeitraum kontinuierlich von 116 Tagen auf 80 zurück (-36 Tage, -6,5 Tage/Dekade, siehe Anlage 1.5). Die Spannbreite um den linearen Mittelwert betrug etwa  $\pm 20$  Tage. Als im Vergleich zum Durchschnitt frostreiche Jahre zählten 1952 (134 d), 1955 (128 d), 1965 (128 d), 1969 (127), 1973 (132 d) und 1996 (126 d). Dem gegenüber standen die im Vergleich zu ihrem zeitlichem Umfeld frostarmen Jahre 1961 (79 d), 1974 (72), 1977 (76), 1990 (63), 1994 (61), 2000 (59) und 2007 (55). Der kontinuierliche Abwärtstrend ist bei beiden Sequenzen deutlich zu erkennen. Im Vergleich der Periode 1961-1990 und 2001-2008 wurden durchschnittlich 17 Frosttage weniger gezählt (siehe Anlage 2.2). Der Hauptanteil fiel dabei mit -10 Tagen auf das Winterquartal. Im Frühjahr und Herbst betrug die Abnahme -4 und -3 Tage.

Die Eistage zeigten ebenfalls einen negativen Trend, der mit -0,2 Tagen/Dekade nicht ganz so stark ausgeprägt war wie bei den Frosttagen (siehe Anlage 1.5). Zu Beginn der Zeitreihe Anfang der 50er Jahre wurden im Mittel noch 37 Tage mit einer Lufttemperatur dauerhaft unter 0°C registriert. 2008 waren es noch 26 Tage (-11 Tage). Die Spannbereite der Werte innerhalb zeitlich nahe beieinander liegender Jahre betrug wiederum  $\pm 20$  Tage. Viele Eistage gab es in den Jahren 1956 (59 d), 1963 (71 d), 1969 (55 d), 1985 (56 d), 1987 (58 d) und 1996 (57 d). Die Jahre 1974 und 1989 zeichneten sich mit 4 und 8 Tagen als besonders eistagarme Jahre innerhalb der Gesamtreihe aus. Zwischen der Normalperiode und der noch nicht beendeten Dekade 2001-2008 betrug die Differenz rund -6 Tage (siehe Anlage 2.2). Die meisten Tage gingen dabei im Winterquartal verloren (rund -5 Tage). Im Herbst wurden etwa 2 Tage weniger gezählt.

Nicht nur die Frosttage sondern auch die Tage mit strengem Frost verringerten sich im Untersuchungszeitraum stark (siehe Anlage 1.5). Im Mittel betrug die Abnahme 1,6 Tage/Dekade. Zu Beginn des Zeitraums wurden durchschnittlich noch 15 Tage mit Temperaturen unter -10°C gezählt. Die Schwankungen waren von Jahr zu Jahr sehr groß. Die Extrema bildeten dabei die Jahre 1951 (2 Tage) und 1956 (35 Tage) In den letzten Jahren konnten im Mittel noch 6 Tage mit strengem Frost gemessen werden. Herausragende Jahre mit vielen Strengfrosttagen waren die Jahre 1954 (25 d), 1956 (35 d), 1963 (44 d), 1985 (24 d),

1987 (31 d), 1996 (19 d). strengfrostarme Jahre waren 1951 (2 d), 1974 (0 d), 1988 (0 d), 1990 (0 d), 2007 (1 d) und 2008 (0 d). In der Kurve fallen die strengfrostreichen Perioden 1954-1956, 1961-1964, 1985-1987 und 1996 als Einzeljahr auf. Weiterhin fallen die strengfrostarmen Perioden 1951-1953, 1972-1977, 1988-1990 und 2007-2008 auf.

Legt man den Schwellenwert noch 5°C tiefer (= Tage mit sehr strengen Frösten  $\leq -15^{\circ}\text{C}$ ), so zeigt sich eine ähnliche Kurve wie bei den Tagen mit strengen Frösten, nur mit geringeren Tagesanzahlen. Der Trend im Zeitraum 1950 bis 2008 war mit -0,5 Tagen/Dekade negativ. Während zu Beginn der Zeitreihe noch etwa 5 Tage pro Jahr die Temperaturschwelle erreichten, war der Wert im linearen jahresübergreifenden Mittel in den letzten Jahren nahezu auf 0 gefallen. Mit Ausnahme der Mitte der 80er Jahre (Abfolge von 3 kalten Wintern) wurden stets 0 bis 4 Tage pro Jahr gezählt. Dies bildet einen Kontrast zu der Periode davor, in der häufig über 5 Tage gezählt wurden. Hierbei sind insbesondere die Jahre 1956 (21 d) und 1963 (19 d) als Spitzen zu erwähnen.

### 3.2.2.3 Veränderung der Niederschläge im Zeitraum 1950-2008

Bei den Jahressummen der korrigierten Niederschläge konnte für die Zeitreihe 1951 bis 2008 kein Trend erkannt werden (siehe Anlage 1.6). Die Werte lagen konstant im Bereich 850 mm/a  $\pm$  150 mm/a. Die Mitte der 50er Jahre waren mit einer Spitze des jahresübergreifenden Mittels von 920 mm/a im Vergleich zum Beginn der Dekade (800 mm/a) und dem Folgezeitraum (um 820 mm/a) sehr feucht. Als sehr nasse Jahre gingen 1954 (1149 mm/a), 1955 (1081 mm/a), 1966 (1140 mm/a), 1974 (1078 mm/a), 1981 (1058) 1995 (1058 mm/a) und 2002 (1039 mm/a) in die Statistik ein. Im Gegensatz dazu waren die Jahre 1964 (608 mm/a), 1976 (621 mm/a), 1982 (577 mm/a) und 2003 (611 mm/a) insgesamt sehr trocken.

Die Normalperiode 1961-1990 umfasste einen Zeitraum, dessen langjähriges Mittel der jährlichen Niederschlagssummen mit 823 mm/a etwas unter dem der Gesamtreihe lag (siehe Anlage 1.2). Die Jahre seit 2001 waren im Gegensatz dazu mit durchschnittlich 899 mm/a etwas feuchter als das Mittel seit 1951 und deutlich feuchter (+76 mm/a) als die Normalperiode. Innerhalb der Jahreszeiten zeigte das Frühjahr im Zeitraum 2001-2008 im Vergleich zur Normalperiode fast keine Veränderung (-2 mm). Das Sommer- und Winterquartal wurde etwas feuchter (+6 mm und +12 mm) und der Herbst deutlich feuchter (+61 mm). Der Juni zeigte eine deutliche Niederschlagsverringerung (-39 mm), die vom August durch eine Erhöhung größtenteils kompensiert wurde (+27 mm). Für die Niederschlagserhöhung im Herbst sind hauptsächlich der September (+18 mm) und der November (+32 mm) verantwortlich.



Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Hauptteil der Veränderung auf das Quartal Herbst fiel, beziehungsweise das Winterhalbjahr (+59 mm).

Bei den Niederschlagsintensitäten wurde anhand der Tage mit einer Tagessumme des Niederschlags  $\geq 20$  mm (Starkniederschläge, SP<sub>20</sub>) kein signifikanter Trend festgestellt (siehe Anlage 1.6). Die Bandbreite der Werte lag zwischen 1 (1953, 1962) und 16 Tagen (1954) mit einem mittleren Jahresmittel von etwa 6 Tagen. Der Vergleich der Normalperiode und der Periode 2001-2008 zeigte, dass eine Zunahme der mittleren Summe der Tage mit Starkniederschlägen um +1 Tag von 6 auf 7 Tage/Jahr stattfand (siehe Anlage 2.6). Innerhalb der Jahreszeiten fielen die größten Veränderungen auf das Herbstquartal (Erhöhung von 1,1 Tage auf 1,5 Tage), das Winterquartal (von 0,8 Tage auf 1,1 Tage), beziehungsweise das Winterhalbjahr allgemein (von 1,5 Tage auf 2,0 Tage). Die meisten Tage mit Starkniederschlägen wurden jedoch im Durchschnitt weiterhin in den Sommermonaten registriert (3 Tage), wobei die Häufung im Juni ab- (von 1,0 Tag auf 0,1 Tage) und im August zunahm (von 1,2 Tag auf 1,6 Tage).

Die Trockentage mit einer Niederschlagssumme  $\leq 1$  mm/d zeigten wiederum keinen signifikanten Trend (siehe Anlage 1.7). Der Mittelwert der Reihe 1951-2008 lag bei 241 Tagen mit einer Spannbreite von etwa  $\pm 30$  Tagen. Als Jahre mit besonders vielen Trockentagen gingen 1951 (265 d), 1959 (271 d), 1972 (264 d), 1982 (262 d) und 2003 (269 d) in die Statistik ein. Die wenigsten Trockentage wurden 1955 (218 d), 1965 (208 d), 1970 (207 d) und 1974 (217 d) registriert. Wenn man die Normalperiode und die Periode 2001-2008 als Teilzeiteinheiten der Gesamtreihe miteinander vergleicht, so stellt man fest, dass auch hier keine Veränderung der Trockentage im Jahresmittel stattfand (241 d, siehe Anlage 2.6). Jedoch kam es zu Verschiebungen innerhalb der meteorologischen Jahreszeiten. Frühjahr und Sommer steigerten die Anzahl der Trockentage von 60 auf 61 Tage. Der Herbst verlor 3 Trockentage (von 63 auf 60 Tage) und der Winter steigerte sich von 58 auf 59 Trockentage. Insgesamt wurden im Sommerhalbjahr 2 Trockentage mehr und im Winterhalbjahr 2 Trockentage weniger gezählt. Bei der monatsgenauen Betrachtung war die durchschnittlich Anzahl der Trockentage innerhalb des Jahres relativ gleich verteilt.

Bei den Trockentagen muss unterschieden werden, ob sich der Tag zwischen nassen Tagen befindet oder einer Trockenperiode angeschlossen ist. In diesem Fall wurden Trockenperioden mit einer Länge von wenigstens 11 Tagen und einer Niederschlagssumme  $\leq 1$  mm/Periode betrachtet. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die Anzahl der Trockentage innerhalb einer Trockenperiode etwas abnahm (-0,3 Tage/Dekade, siehe Anlage 1.7).

Die Werte schwankten um den gleitenden Mittelwert mit etwa  $\pm 20$  Tagen. Die Periode 1961-1990 zeigte im Jahresdurchschnitt 67 Trockentage innerhalb einer länger anhaltenden Trockenperiode (siehe Anlage 2.6). Im Zeitraum 2001-2008 waren dies nur noch 66 Tage pro Jahr. Jahreszeitliche Veränderungen fanden hauptsächlich im Herbst (-8 Tage, von 24 auf 16 Trockentage) und im Frühjahr (+8, von 12 auf 20 Trockentage) statt. Insgesamt konnte beobachtet werden, dass die Trockentage innerhalb einer Trockenperiode im Winterhalbjahr ab- (-3 Tage) und im Sommerhalbjahr zunahmen (+3 Tage).

Die mittlere Anzahl der Trockenperioden pro Jahr schwankte im Zeitraum 1950-2008 um den Wert  $5 \pm 1$ , ohne einen relevanten Trend zu zeigen (siehe Anlage 1.7). Beim Vergleich der Normalperiode mit den Jahren 2001-2008 zeigte sich, die Anzahl der Trockenperioden im Frühjahr deutlich zunahm (von 0,8 Ereignissen auf 1,4 Ereignisse, siehe Anlage 2.6). Weitere bedeutende Verschiebungen ergaben sich für den Herbst, der weniger Trockenperioden verzeichnete (von 1,5 auf 1,1 Ereignisse), und dem Winter, der mehr Trockenperioden verzeichnete (von 1,1 auf 1,5 Ereignisse). Das Sommerhalbjahr verzeichnete somit insgesamt mehr Ereignisse (von 1,7 auf 2,1), während das Winterhalbjahr in der Summe relativ konstant blieb (von 2,7 auf 2,6). Im Jahresmittel erhöhte sich die Anzahl der Trockenperioden von 4,3 auf 4,8 Ereignisse.

Die mittlere Dauer der Trockenperioden lag bei etwa  $15 \pm 1$  Tagen im Jahresvergleich der gesamten Zeitreihe (siehe Anlage 1.7). Es wurde ein leicht abnehmender Trend von -0,4 Tage/Dekade festgestellt. Als Jahre mit im Vergleich zum Durchschnitt besonders langen Trockenperioden stellten sich die Jahre 1959 (24 d), 1961 (19 d), 1964 (19 d), 1989 (18 d) und 2007 (18 d) heraus. Zwischen den Perioden 1961-1990 und 2001-2008 ergaben sich im jahreszeitlichen Verlauf bei der Betrachtung von Quartalen geringe Veränderungen (siehe Anlage 2.6). Es ergab sich eine Abnahme der durchschnittlichen Dauer der Trockenzeiten im Herbst (von 16 auf 14 Tage, -2 Tage), im Winter (von 16 auf 13 Tage, -3 Tage) und im Sommer (von 15 auf 13 Tage, -2 Tage). Im Frühjahr erfolgte eine Zunahme der Dauer von 14 auf 16 Tage (+2 Tage). Innerhalb eines Jahres zeigten allgemein die Monate Januar, Februar, Mai, Juni, Juli, September und Oktober eine Tendenz zu kürzeren Trockenperioden, wohingegen sich die Trockenperioden im März, April, August und November verlängerten.

#### 3.2.2.4 Veränderung der Sonnenscheindauer und der Bedeckung im Zeitraum 1950-2008

Die Sonnenscheindauer zeigte im Zeitraum 1950 bis 2008 eine differenzierte Entwicklung, die sich mit einem linearen Trend nicht beschreiben lässt (siehe Anlage 1.8). Zu Beginn der 1950er Jahre lagen die Jahressummen bei etwa 1700 h/a. Bis zu den 1970er Jahren fielen sie auf das Minimum der Reihe bei etwa 1400 h/a (um 1978) ab. Von da ab wurde wieder eine Zunahme auf die jetzigen Werte um 1700 h/a registriert. Der Vergleich der Normalperiode 1961-1990 mit der Periode 2001-2008 konnte in den Kontext der Gesamtzeitreihe eingeordnet werden (siehe Anlage 2.2). Die Veränderung betrug +207 h/a von 1533 h/a auf 1739 h/a im jahresübergreifenden Mittel. Maßgeblich trugen die Frühjahrs- (+80 h/a) und Sommermonate (+71 h/a) zu diesem Ergebnis bei. Das Winterquartal zählte +40 h/a mehr, wohingegen der Herbst im Durchschnitt nur +17 h/a mehr aufwies.

Die Bedeckung zeigte keinen signifikanten Trend. Die erfassten Werte schwankten um 68% mit einer Spannbreite von  $\pm 7\%$  (siehe Anlage 1.8). Zwischen beiden Größen konnte ein schwacher linearer Zusammenhang erkannt werden (siehe Abb. 25). Dies kann damit begründet werden, dass die Bewölkungsdichte keine maßgebliche Rolle bei der Bewertung der Bedeckung spielt. Der Vergleich der Normalperiode mit dem Zeitraum 2001-2008 zeigte eine geringe Zunahme von etwa +1% von 67% auf 68%. Im Frühjahr blieb der Bedeckungsgrad im Mittel unverändert (-0,1%). Dafür wurde im Herbst eine deutliche Erhöhung von +4% registriert. Die Sommermonate und der Winter zeigten sich im Schnitt um +1,3% und +1,7% trüber.

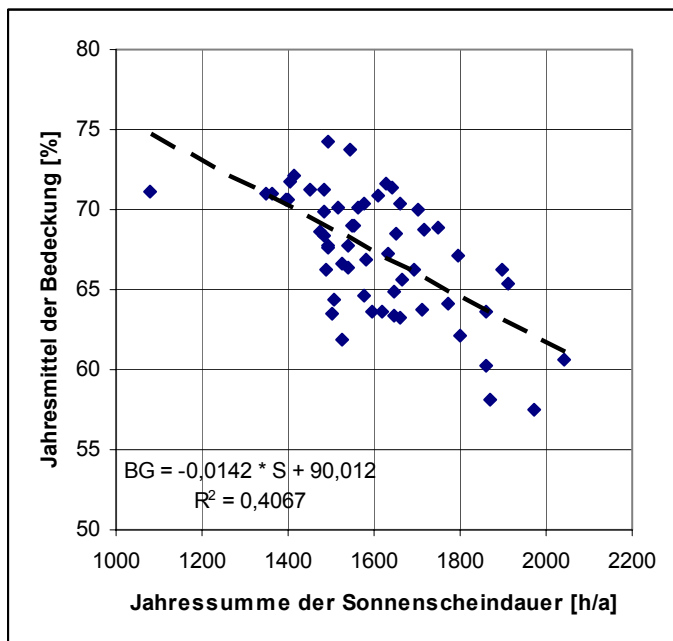


Abb. 25: Korrelation der Größen Bedeckung und Sonnenscheindauer (Jahresmittel)

### 3.2.2.5 Veränderung der relativen Luftfeuchte im Zeitraum 1950-2008

Das Jahresmittel der relativen Luftfeuchte konnte im Zeitraum 1950-2008 nicht ohne Weiteres durch einen linearen Trend beschrieben werden (siehe Anlage 1.9). Zu Beginn der 50er wurden Werte um 77% erreicht. Im Zeitraum 1956 bis 1971 lag das Niveau mit etwa 80% deutlich höher. Nach dieser Periode setzte eine Abnahme auf wiederum etwa 77% bis 1983 ein. Im darauf folgenden Zeitraum bis 2008 lag das Mittel schließlich bei 76%.

Die Normalperiode 1961-1990 erfasste die Phase hoher Luftfeuchte in den 60er Jahren mit. Im Unterschied zur lufttrockneren aktuellen Phase 2001-2008 (76%) ergab sich deswegen ein um +2% höherer Wert des Jahresmittels (78%, siehe Anlagen 2.1 und 2.2). Insbesondere das Frühjahr und der Sommer fielen in den letzten Jahren trockner aus. Hier betrug die Abnahme +10% bis +11%. Im Herbst (0%) und Winter (-2%) änderte sich im Kontrast dazu fast nichts am Quartalsmittel der relativen Luftfeuchte.

### 3.2.2.6 Veränderung der Windgeschwindigkeit im Zeitraum 1950-2008

Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit zeigte im Jahresmittel eine Zunahme im Zeitraum 1951-2008 (siehe Anlage 1.10). Hierbei sollte der Anstieg von +0,2 m/s/Dekade aber nicht überbewertet werden. Der Beobachtungszeitraum begann mit einer windschwachen Phase 1951-1957 (Mittel: 3,3 m/s). Ab 1958 erfolgte ein Anstieg bis 1980 von 4,0 m/s auf rund 4,4

m/s. Mit Ausnahme des Einbruchs von 1984-1988 (rund 3,5 m/s) stabilisierten sich die Werte bis zum heutigen Tag auf dem Niveau von 4,4 m/s.

Durch den Vergleich der Normalperiode mit der Periode 2001-2008 kann man die aufgezeigten Entwicklung nachvollziehen. Das langjährige Mittel betrug für den Zeitraum 1961-1990 rund 4,4 m/s und für den Zeitraum 2001-2008 ebenfalls 4,4 m/s. Es ergab sich bei der Betrachtung des Jahresmittels also keine Differenz. Bei den Quartalsmitteln zeigte sich eine differenziertere Entwicklung, insbesondere das Frühjahr (-0,2 m/s) und der Herbst (-0,2 m/s) wurden windärmer. Hierfür verantwortlich waren die Monate März und April (-0,2 m/s und -0,3 m/s), Der Winter zeigte sich deutlich windiger (+0,4 m/s), wobei dies vor allem auf die Monate Januar (+1,0 m/s) und Februar (+0,6 m/s) zurückzuführen war.

Die mittlere jährliche relative Häufigkeit der Windrichtung änderte sich ausgehend von der Periode 1976-1985 bis zur Periode 2001-2008 kaum und verblieb bei ihrem deutlichen Maximum bei West bis Südwest (siehe Abb. 26 und Tab. 8). In der Periode 1976-1985 konnte ein Nebenmaximum aus SSE nachgewiesen werden.

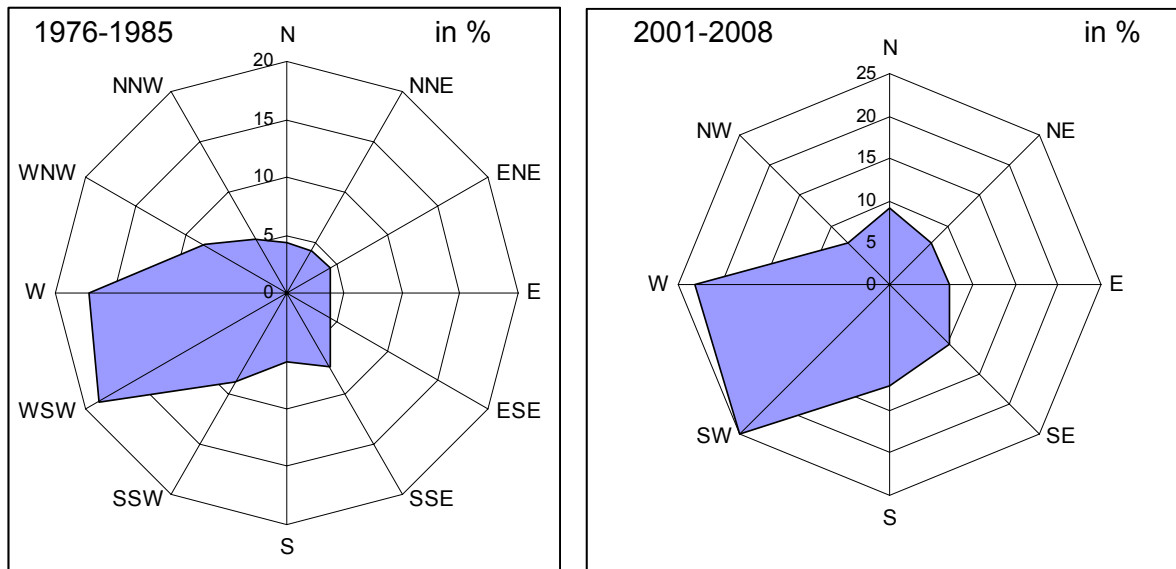


Abb. 26: Mittlere jährliche relative Häufigkeit der Windrichtung 1976-85 und 2001-08

Tab. 8: mittlere jährliche relative Häufigkeit der Windrichtung

Himmelsrichtung	°	360	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
rWRH 1976-1985	%	4	4	4	4	4	7	6	9	19	17	8	5
Himmelsrichtung	°	360	45	90	135	180	225	270	315				
rWRH 2001-2008	%	9	7	7	10	12	25	23	7				

---

rWRH - mittlere jährliche relative Häufigkeit der Windrichtung in %

### 3.2.2.7 Veränderung der Grasreferenzverdunstung im Zeitraum 1950-2008

Die Grasreferenzverdunstung besaß keine rein lineare Trendentwicklung. Sie schwankte von den 50er Jahren bis zu Beginn der 1980er Jahre zunächst um etwa 550 mm/a (siehe Anlage 1.11). Ab 1980 konnte ein deutlich positiver Trend verzeichnet werden. In den letzten 8 Jahren überschritt das Mittel 625 mm/a. Wenn man den Gesamtzeitraum trotzdem mit einer linearen Entwicklung beschreibt, so erhält man einen Zuwachs von +18 mm/a pro Dekade. Jahre mit einer geringen potentiellen Verdunstung waren 1955 (473 mm/a), 1956 (473 mm/a), 1977 (499 mm/a), 1987 (472 mm/a) und 1996 (498 mm/a). Als verdunstungsstarke Jahre zeigten sich 1953 (622 mm/a), 1959 (629 mm/a), 1982 (645 mm/a), 1983 (673 mm/a) und 2003 (702 mm/a). Der Vergleich der Perioden 1961-1990 und 2001-2008 zeigte eine Zunahme von 526 mm/a auf 591 mm/a (siehe Anlage 2.5). Der Hauptanteil der Veränderung fiel dabei auf das meteorologische Sommerhalbjahr (von 443 mm auf 502 mm, +59 mm), wohingegen sich im meteorologischen Winterhalbjahr kaum etwas änderte (von 120 mm auf 128 mm, +8 mm).

### 3.2.2.8 Veränderung der klimatischen Wasserbilanz im Zeitraum 1950-2008

Die geringen Veränderungen bei den Jahresniederschlägen und die starke Erhöhung der Verdunstung im Zeitraum 1951-2008 führten insgesamt zwangsläufig zu einer Verringerung der klimatischen Wasserbilanz (siehe Anhang 1.11). Die Zeitreihe besaß eine negative lineare Trendentwicklung. Die Veränderung der Bilanzwerte betrug -17 mm/a pro Dekade. In den 1950er Jahren wurden im Durchschnitt noch etwa +350 mm/a erreicht. Nach dem Jahr 2000 waren es nur noch +240 mm/a.

In der Reihe befanden sich einige Jahre mit sehr geringen oder gar negativen Bilanzen. Dies waren 1953 (+31 mm/a), 1959 (+39 mm/a), 1964 (+10 mm/a), 1976 (+2 mm/a) 1982 (-68 mm/a), 1991 (+32 mm/a) und das Extremjahr 2003 mit -91 mm/a. Die Jahre 1954 (+624 mm/a), 1955 (+609 mm/a), 1966 (+625 mm/a), 1974 (+513 mm/a), 1977 (+507 mm/a), 1981 (+434 mm/a) und 1995 (+473 mm/a) erreichten hohe positive klimatische Wasserbilanzen, so dass entsprechend viel Wasser zur Versickerung und Auffüllung von Grundwasserspeichern, sowie zur Bildung von Abflüssen zur Verfügung stand. Das als Nassjahr wahrgenommene Jahr 2002 erreichte im Vergleich mit früheren Extremjahren nur noch eine vergleichsweise geringe Bilanzgröße von +442 mm/a. Der Vergleich der Perioden 1961-1990 und 2001-2008 erbrachte eine geringe Erhöhung der Wasserbilanz von 259 mm auf 269 mm, die

hauptsächlich auf das meteorologische Winterhalbjahr entfiel (von 223 mm auf 275 mm, +52 mm, siehe Anlage 2.5). Im meteorologischen Sommerhalbjahr kam es zu einer Verringerung von 36 mm auf -6 mm (-42 mm).

### 3.2.2.9 Veränderung der Durchflüsse des Flusses Chemnitz im Zeitraum 1918-2008

Die zeitliche Entwicklung der gewässerkundlichen Hauptzahlen ist in Abb. 27 grafisch dargestellt. Bei Berechnung eines linearen Trends zeigt sich ein Anstieg aller Hauptzahlen, besonders jedoch beim Durchflussmaximum HQ.

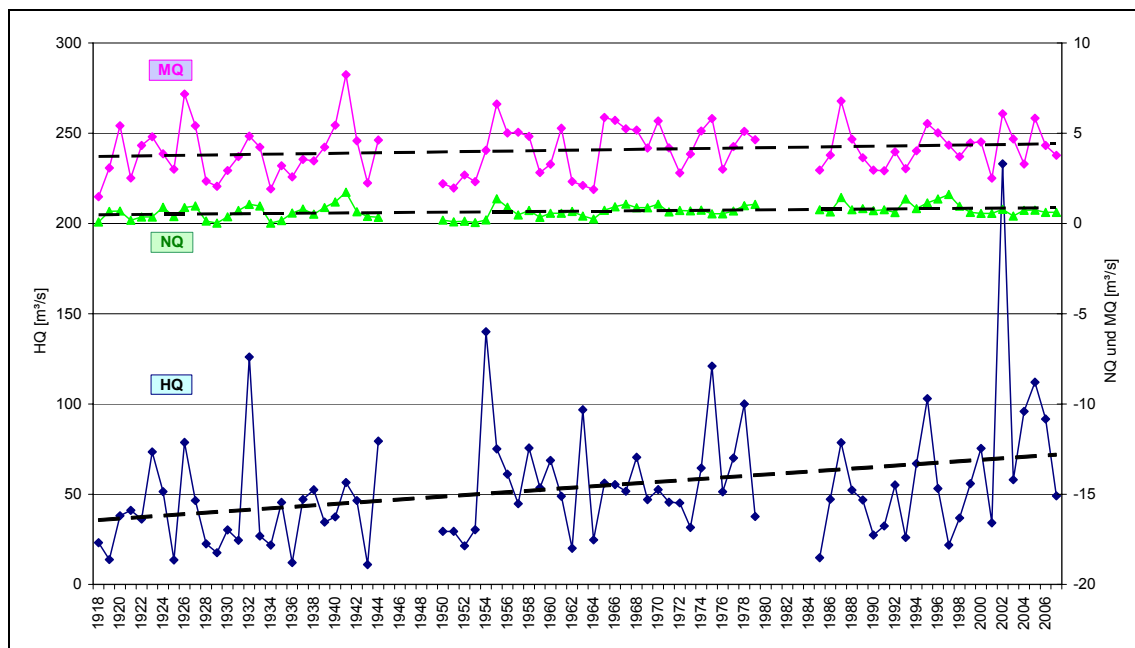


Abb. 27: Zeitliche Entwicklung der gewässerkundlichen Hauptzahlen, Pegel Chemnitz 1

Im Folgenden soll geprüft werden, ob die Erhöhung der Hauptzahlen signifikant ist und ob insgesamt auf einen Anstieg des Durchflusses mit Sicherheit geschlossen werden kann. Hierzu wurden die drei Zeitperioden 1918-1944, 1950-1979 und 1985-2007 getrennt betrachtet und die Minima, Mittelwerte und Maxima bestimmt. Anschließend wurde das einseitige Konfidenzintervall (KI) zur Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0.05$  berechnet. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen 8/9/10 dargestellt.

Tab. 9: Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, NQ

Statistische Maßzahl	1918-1944	1950-1979	1985-2007
Minimum (=NNQ)	0,02	0,05	0,42
Mittelwert (=NQ)	0,59	0,64	0,84

Maximum	1,73	1,37	1,61
untere Grenze einseitiges KI	-	-	0,71
obere Grenze einseitiges KI	0,72	0,75	-

Das einseitige Konfidenzintervall für den Mittelwert des NQ reicht im Zeitraum 1950 bis 1979 bis  $\leq 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$ . Im Zeitraum 1985 bis 2007 reicht es bis  $\geq 0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ . Beide Intervalle überdecken sich zum Teil. Dies gilt auch für letzteres Intervall und das Intervall 1918-1944 ( $\geq 0,72 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $\leq 0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Damit ist keine Signifikanz der Erhöhung zum Signifikanzniveau 0.95 festzustellen. Allerdings überlappen sich die Konfidenzintervalle der Perioden 1918-1944 und 1985-2007 nur sehr geringfügig. Deshalb wurde die Zeitreihe in Abb. 28 separat dargestellt. Es zeigt sich, dass bis ca. 1955 mehrfach Niedrigwasserdurchflüsse nahe Null gemessen wurden, während nach 1955 die Werte meist über  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  lagen. Inwieweit diese Entwicklung überprägt ist mit Veränderungen der Messmethodik bzw. der Messstelle oder Veränderungen der Gewässernutzung, ist nicht zu klären.

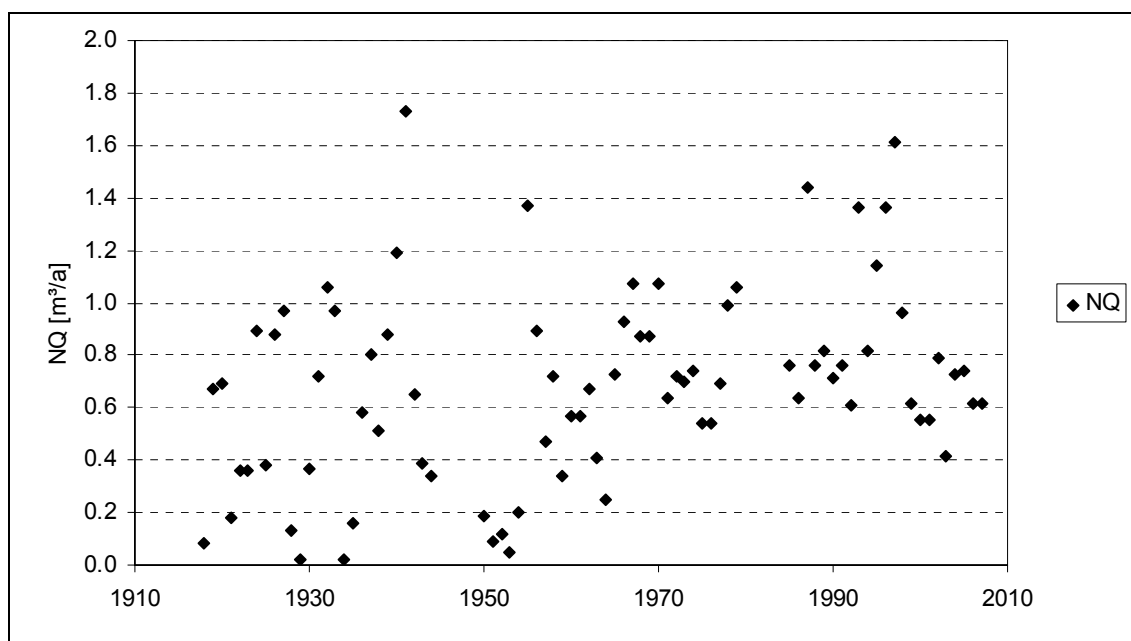


Abb. 28: Darstellung der ermittelten Niedrigwasserabflüsse, Pegel Chemnitz 1

Auch hinsichtlich des Anstieges des MQ konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden (siehe folgende Tabelle).



Tab. 10: Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, MQ

<b>Statistische Maßzahl</b>	<b>1918-1944</b>	<b>1950-1979</b>	<b>1985-2007</b>
Minimum	1,48	1,88	2,51
Mittelwert (=MQ)	3,90	4,10	4,21
Maximum	8,24	6,62	6,78
untere Grenze einseitiges KI	-	-	3,80
obere Grenze einseitiges KI	4,40	4,60	-

Der anhand Abb. 27 ersichtliche deutlichere Anstieg beim HQ ist mit dem Signifikanzniveau 0.95 ebenfalls nicht statistisch abzusichern. Das einseitige Konfidenzintervall für den Mittelwert reicht in der Periode 1985-2007 bis  $\geq 45.2 \text{ m}^3/\text{s}$  und das der Periode 1950-1979 bis  $\leq 67.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Intervalle überlappen sich, so dass keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden können. Dies gilt auch für die Perioden 1918-1944 ( $\leq 49.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und 1985-2007 ( $\geq 45.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Der Unterschied ist aufgrund der hohen Streuung der Werte nicht abzusichern, die insbesondere der Spitzenabfluss von 2002 nach sich zieht (vgl. obige Abbildung).

Tab. 11: Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, HQ

<b>Statistische Maßzahl</b>	<b>1918-1944</b>	<b>1950-1979</b>	<b>1985-2007</b>
Minimum	11.0	20.1	14.8
Mittelwert (=HQ)	41.0	57.3	63.8
Maximum (=HHQ)	126	140	233
untere Grenze einseitiges KI	-	-	45.2
obere Grenze einseitiges KI	49.2	67.5	-

Weiterhin erfolgte eine grafische Darstellung des MQ getrennt für das Sommer- und Winterhalbjahr (vgl. Abb. 29). Es zeigt sich, dass sich der positive Trend beim Abfluss auf das Winterhalbjahr beschränkt.

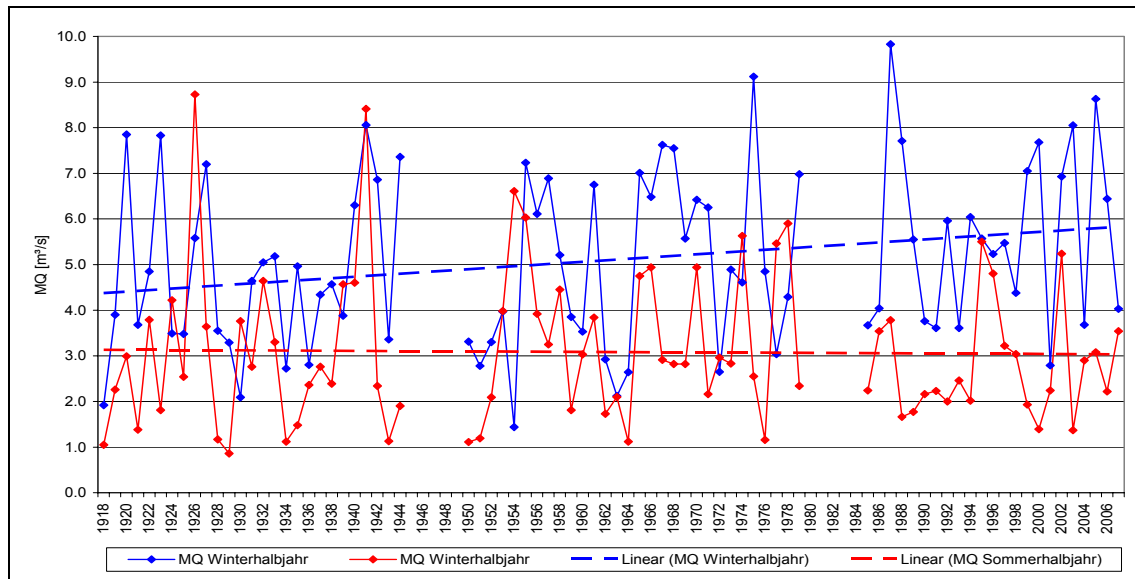


Abb. 29: Zeitliche Entwicklung des MQ der Sommer- und Winterhalbjahre, Pegel Chemnitz 1

Auch hier wurde geprüft, ob signifikante Unterschiede zwischen den drei Zeitperioden bestehen. Dies ist nicht der Fall, der Trend kann statistisch nicht abgesichert werden aufgrund der hohen Streuung der Werte.

Letztlich wurde die Entwicklung des HQ getrennt für das Sommer- und Winterhalbjahr dargestellt (Abb. 30). Hier zeigt sich ein deutlicherer Trend beim HQ der Sommerhalbjahre. Dieser ist nicht allein auf den Maximalwert von 2002 zurückzuführen, ab etwa dem Jahr 1990 wurden stets HQ-Werte über 25 m<sup>3</sup>/s gemessen, während diese vor dem Jahr 1964 sehr oft deutlich unter 25 m<sup>3</sup>/s lagen.

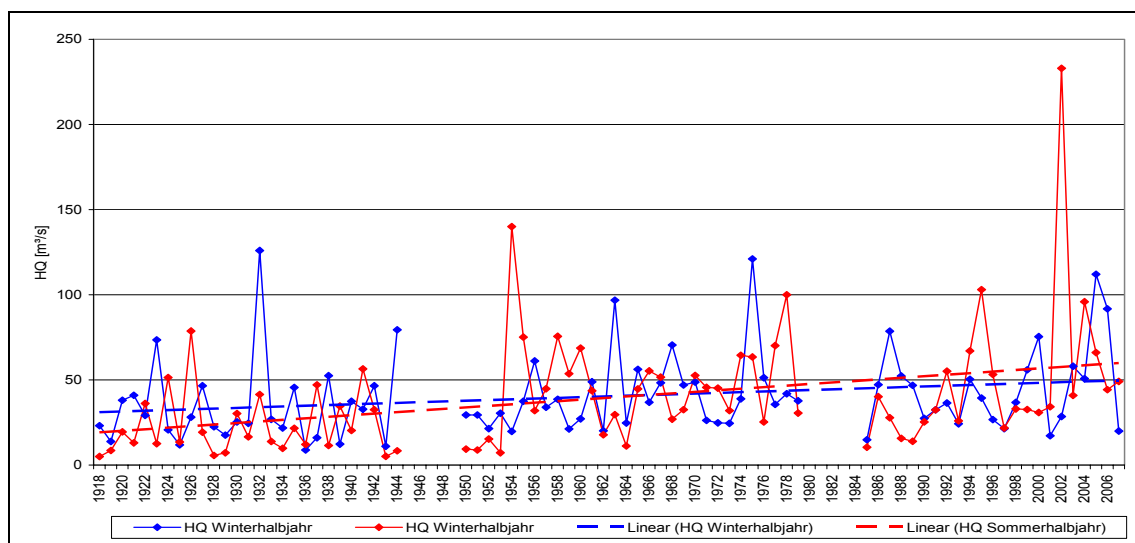


Abb. 30: Zeitliche Entwicklung des HQ der Sommer- und Winterhalbjahre, Pegel Chemnitz 1

Auch hier wurde geprüft, ob eine signifikante Entwicklung vorliegt (siehe folgende Tabelle).

Tab. 12: Statistische Auswertung der Vergleichsperioden, HQ Sommerhalbjahr

<b>Statistische Maßzahl</b>	<b>1918-1944</b>	<b>1950-1979</b>	<b>1985-2007</b>
Minimum	5.04	7.19	10.5
Mittelwert (=HQ)	23.4	45.8	50.1
Maximum (=HHQ)	78.7	140	233
untere Grenze einseitiges KI	-	35.4	31.1
obere Grenze einseitiges KI	29.3	56.2	-

Beim HQ im Sommerhalbjahr ist demnach eine signifikante Erhöhung von der Periode 1918-1944 zur Periode 1950-1979 festzustellen. Das Konfidenzintervall der ersteren reicht bis  $\leq 29.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , während das Konfidenzintervall der späteren Periode bei  $\geq 35.4 \text{ m}^3/\text{s}$  beginnt. Signifikante Unterschiede zwischen den Perioden 1950-1979 und 1985-2007 sind nicht festzustellen.

### 3.2.2.10 Veränderung des Waldbrandindex M-68 im Zeitraum 1950-2008

Im Zeitraum 1961-1990 betrug die mittlere Anzahl der Tage im Jahr mit einer Waldbrandstufe von 4 bis 5 im Raum Chemnitz etwa 14 Tage. In den Jahren 1991-2005 erhöhte sich die Anzahl um 5 Tage auf rund 19 Tage. Dieser Anstieg kann mit den höheren Tagestemperaturen, der geringeren Luftfeuchte und den verringerten Frühjahrsniederschlägen begründet werden [SMUL 2008b].

### 3.2.2.11 Veränderung der Vegetationsperiode und der Wärmesummen im Zeitraum 1950-2008

Die Parameter der berechneten Vegetationsperiode besaßen im Zeitraum 1950-2008 eindeutige Trends (siehe Anlagen 1.12-1.14). Im Schnitt wurde für den Beginn der Vegetationsphase eine Verfrühung um 3,3 Tage/Dekade berechnet (siehe Anlage 1.12). In den 50er und 60er Jahren lag der Beginn um den 10. April herum mit einer maximalen Spannweite vom 17. März (1961) bis 29. April (1970). Nach den 60er Jahren erfolgte ein sich beschleunigender Verfrühungsprozess, so dass der mittlere Termin heute auf dem 21. März liegt (20 Tage eher). Die Reihe zeigte außer dem zeitigen Beginn im Jahr 1961 auch noch weitere Jahre, in denen der berechnete Termin in den frühen März fiel (18.03.1977, 11.03.1990, 07.03.1998, 12.03.2002 und 09.03.2007). Dahingegen blieb die Natur in den Jahren 1955 und 1958

(28.04.), 1970 (29.04.), 1973 (27.04.), 1996 (22.04) und 2006 (19.04.) länger im Zustand der Winterruhe.

Auch beim Ende der Vegetationsperiode im Herbst kam es zu Veränderungen (siehe Anlage 1.13). Im Durchschnitt verspätete sich der Eintritt in die Winterruhe um 1 Tag/Dekade. Die Grenze verschob sich mit einer großen Schwankungsbreite von über einem Monat vom 14.10. auf den 20.10. Dies ist ein Gewinn von 6 Tagen. Ein relativ frühes Ende trat 1957 (30.09.), 1972 (28.09.), 1996 (26.09.) und 2008 (03.10.) ein. Späte Termine gab es in den Jahren 1967 (04.11), 1982 (06.11), 2000 (05.11.), 2001 (06.11.), 2005 (07.11.) und 2006 (03.11.).

Aus der Verschiebung der Termine resultierte folglich eine Verlängerung der Dauer der Vegetationsperiode (siehe Anlage 1.14). Angefangen von einer Länge von 187 Tagen in den 1950er Jahren steigerte sie sich auf 210 Tage in den letzten Jahren. Der Trend war anfangs noch schwach ausgeprägt, ist aber momentan stark linear zunehmend. Im linearen Mittel des Gesamtzeitraumes ergab sich eine Rate von +4,4 Tagen/Dekade. Die Reihe zeigte zu ihrem Beginn eine Reihe von einzelnen Ausreißern nach oben (1961: 228 d, 1967: 223 d). Für die Jahre ab 1970 wurden außer dem Kaltjahr 1996 (157 d) keine mit dem vorhergehenden Zeitraum vergleichbar starken Schwankungen vorgefunden.

Die Wärmesumme innerhalb der Vegetationsperiode lag im Zeitraum 1950 bis 1980 relativ konstant bei  $2500^{\circ}\text{C/a} \pm 200^{\circ}\text{C/a}$  (siehe Anlage 1.15). Ab den frühen 80er Jahren setzte ein stark positiver Trend ein, der bis heute andauert. Die Wärmesumme stieg im Mittel auf  $2900^{\circ}\text{C/a}$  an und die Schwankungsbreite verkleinerte sich etwas auf ca.  $\pm 150^{\circ}\text{C/a}$ . Als linearer Trend der Gesamtperiode 1950-2001 wurde ein Wert von  $+80^{\circ}\text{C/a}$  pro Dekade berechnet werden. Kaltjahre gab es 1954-1956, 1962, 1965, 1972, 1977, 1978, 1980 und zuletzt 1996 mit Wärmesummen unter  $2300^{\circ}\text{C/a}$ . Wärmebegünstigte Jahre mit einer Summe größer als  $2800^{\circ}\text{C/a}$  waren 1953, 1961, 1967, 1982, 1983 und ab 1990 nahezu jedes zweite Jahr.

### 3.2.2.12 Veränderung der Heizperiode und der Gradtagszahl im Zeitraum 1950-2008

Für die Heizperiode ergaben sich deutliche Trends (siehe Anlage 1.16). Der Beginn der Heizperiode verschob sich kontinuierlich vom 16.09. Anfang der 1950er Jahre auf den 28.09. für den Zeitraum nach der Jahrtausendwende. Die Werte variierten hierbei mit  $\pm 10$  Tagen um das lineare Mittel eines Zeitabschnitts. Der Trend betrug 2,5 Tage später pro Dekade. Im Frühjahr verschob das Ende der Heizperiode vom 21.05. auf den 09.05. Die Werte variierten

wiederum mit etwa  $\pm 10$  Tagen um das lineare Mittel eines Zeitabschnitts. Die Verfrühung des Termins schritt mit 1,9 Tagen pro Dekade kontinuierlich voran.

Bei den Gradtagszahlen der Heiztage eines Jahres wurde ein starker Rückgang festgestellt (siehe Anlage 1.17). Bis Mitte der 1970er Jahre verharrten die Werte auf dem relativ hohen Niveau von 4400 Kd/a mit einer Schwankungsbreite von etwa  $\pm 200$  Kd/a. Danach fand ein rapider Rückgang auf etwa 3800 Kd/a statt. Der lineare Trend innerhalb der gesamten Zeitreihe 1950-2008 betrug -107 Kd/a pro Dekade und dauert an.

### 3.2.2.13 Veränderung der Witterungsregelfälle im Zeitraum 1950-2008

In der Normalperiode 1961-1970 zeigte sich im Mittel eine Sequenz nachfolgend geschilderter Witterungsregelfälle. Vom Beginn des Januars bis Ende der zweiten Januardekade dominierten häufig kontinentale Kältehochdruckgebiete (Januarkälte). Das Tagesmittel der Lufttemperatur lag unter  $0^{\circ}\text{C}$  (siehe Anlagen 1.18 und 1.20). Gegen Ende des Monats konnten sich im Mittel wieder mildere atlantische Luftmassen durchsetzen. Die Tagesmittel erreichten häufig wieder die  $0^{\circ}\text{C}$ -Grenze (Januartauwetter). Um die Mitte des Monats Februar erreichte die zweite hochwinterliche Kältephase durch den verstärkten Einfluss kontinentaler Hochdruckgebiete einen weiteren Höhepunkt (Februarkälte). Die durchschnittlichen Tagesmittel lagen wieder deutlich unter  $0^{\circ}\text{C}$ . Die Winterphase dauerte mit Abmilderung bis Anfang März. In der ersten Märzdekade kam es häufig zu einer kurzzeitigen Erwärmung mit Tagesmittelwerten bis  $5^{\circ}\text{C}$  (Märztauwetter). Das Märztauwetter wurde von einem kurzen Kälterückfall (Kältehoch, Märzenkälte) zum Ende des Monats gefolgt. Dieser war bis zum Ende des Monats meist überwunden. Im Laufe des April trat eine nahezu kontinuierliche Erwärmung bis auf  $10^{\circ}\text{C}$  Tagesmittel der Lufttemperatur auf. Um den Walpurgistag kam es zu einem markanten Kaltlufteinbruch (1. Vormonsunwelle). Dieser wurde durch eine Warmphase vom 8. bis 19. Mai mit einer weiteren Erwärmung auf bis zu  $14^{\circ}\text{C}$  Tagesmittel der Lufttemperatur abgelöst. Am 20. Mai zeigte sich wiederum ein Einbruch der Temperatur. Diese markante Wettersituation konnte als Eisheiligen-Wetterlage identifiziert werden (2. Vormonsunwelle). Die Dauer des Einbruchs beschränkte sich auf 4 Tage. In Tallagen des Stadtgebietes von Chemnitz bestand eine relativ hohe Gefahr von Boden- und Luftfrost. Bis zum Anfang des Junis wurde wieder das Temperaturniveau der ersten Maihälfte. Nach der ersten Junidekade kam es noch einmal zu einem kleinen Einbruch - der Schafskälte (3. Vormonsunwelle). Über die Mitte des Monats wurden überwiegend stabile und warme sommerliche Verhältnisse erreicht (Juniwärme,  $17^{\circ}\text{C}$  Tagesmittel). Um den 25. deutete sich bereits der Julimonsun an.

Die Temperaturen gingen bis Anfang Juli wieder etwas zurück (15°C). Ab Mitte Juli konnte sich das Wetter unter warmen Hochdruckeinfluss häufig wieder stabilisieren. In der Phase zwischen Mitte Juli und Ende August traten die heißesten Tage auf (Hundstage, 16 bis 17°C Tagesmittel). Ab dem 10. August gingen die Tagesmittel stark zurück, so daß Ende des Monats nur noch 14°C erreicht wurden (Nachmonsunwelle). Der Spätsommer dauerte im September durchschnittlich vom 1. bis 18. des Monats. Nach einem Kaltlufteinbruch gegen Mitte des Monats erholten sich die Temperaturen nicht mehr, blieben aber bis Anfang Oktober auf dem Niveau von 11°C stabil (Altweibersommer). Ab Mitte Oktober konnten mit hoher Wahrscheinlichkeit Luftfröste auftreten. Die Tagestemperaturen fielen relativ kontinuierlich und zügig bis zum 18. des Monats ab und stabilisierten sich unter Hochdruckeinfluss dann nochmals auf dem Niveau von 7°C (goldener Herbst). Bis Mitte November fielen die Temperaturen weiter ab. Danach ergab sich eine Verzögerung der Abkühlung bis Anfang Dezember (3°C Tagesmittel der Lufttemperatur). Ab Beginn des Dezembers setzten sich zunehmend kalte kontinentale Hochdruckgebiete durch. Die Tagesmittel der Lufttemperatur fielen bis zum 27. im Schnitt auf -5°C. Nach den Weihnachtsfeiertagen setzte sich häufig eine leichte Erwärmung in Folge des Einflusses atlantischer Luftmassen durch, die als Weihnachtstauwetter bezeichnet werden kann.

In der Periode 2001-2008 kam es im Vergleich zur Periode 1961-1970 zu Veränderungen im mittleren jährlichen Witterungsablauf. Die Januarkälte wurde deutlich abgeschwächt und zeichnete sich nur noch undeutlich ab (siehe Anlagen 1.19 und 1.20). Im mehrjährigen Mittel lag die mittlere Lufttemperatur über 0°C. Das für den Winter hohe Temperaturniveau wurde zum Monatswechsel Januar/Februar wurde durch einen markanten Kälteeinbruch zwischen dem 21. Januar und 2. Februar unterbrochen (Januarkälte). Die mittleren Tagesmitteltemperaturen fielen unter die 0°C-Grenze. Anfang Februar trat eine weitere Mildphase auf. Vom 15. bis zum Ende des Monats sanken die Temperaturen im Schnitt wieder auf das 0°C-Niveau ab (Februarkälte). Mitte März erfolgte eine schnelle und markante Erwärmung bis auf 5°C, die um den 22. März unterbrochen wurde (Märztauwetter). Bis zum 1. April kam es zu einer weiteren noch stärkeren, aber wiederum nur kurz andauernden Erwärmung (Frühaprilwärme, bis 9°C). Die erste Aprildekade war häufig von einem markanten Kaltlufteinbruch geprägt, der die Temperaturen nochmals auf das Niveau des März zurücksetzte (Aprilkälte +5°C). Ende April wurde die 10°C-Marke des Tagesmittels der Lufttemperatur durchschritten (Walpurgiswärme). Bis zum 21. Mai verharrten die Temperaturen dem Niveau von +13°C. Die Eisheiligen-Wetterlage trat nicht so markant hervor, wie in der Vergleichsperiode 1961-

1970. Für die meisten Gebiete der Stadt Chemnitz bestand keine Spätfrostgefahr mehr. Bis Ende Mai wurde die 15°C-Marke der Tagesdurchschnittstemperatur erreicht. Der Juni begann häufig etwas unbeständiger und kühler (14°C, Schafskälte). Ab dem 7. Juni stabilisierte sich die Lufttemperatur auf dem Niveau von etwa 17°C. Der Eintritt des Julimonsuns ab 25. Juni fiel deutlich schwächer aus, als in der Vergleichsperiode. Die Temperaturen verharrten auf dem Niveau von 17°C. Zwischen dem 15. Juli und dem 20. August konnten die heißesten Tage des Jahrgangs festgestellt werden. Die Tagesmittel der Lufttemperatur erreichten im Schnitt 16°C bis 21°C. Danach erfolgte ein relativ kontinuierlicher Abfall der Temperaturen zum Dezember hin. Abkühlungsverzögernde Phasen waren der Spätsommer/Altweibersommer (10. September bis 1. Oktober, 12°C Tagesmittel der Lufttemperatur), der goldene Herbst (20. Oktober bis 2. November, 8°C Tagesmittel der Lufttemperatur) und der Allerheiligensommer (10. November bis 7. Dezember, 4°C Tagesmittel der Lufttemperatur). Die frühwinterliche Situation ab dem Nikolaustag präsentierte sich im Gegensatz zur Vergleichsperiode eher mild (mittleres Temperaturniveau um 0°C). Das Weihnachtstauwetter war anhand der Datenreihe nicht mehr ersichtlich.

Beim Vergleich der Perioden 1961-1970 und 2001-2008 wird deutlich, dass außer im Herbst insgesamt ein deutlich höheres Temperaturniveau für die rezente Dekade erreicht wurde (siehe Anlage 1.20). Die winterlichen kalten Hochdrucksituationen im Januar und Februar verspäteten sich um 10. bis 20 Tage und erschienen deutlich schwächer. Die winterliche Hochdruckwetterlage im Dezember fiel nahezu vollständig aus. Das Märztauwetter fiel deutlich kräftiger aus und dominierte fast den gesamten Monat. Die in der Dekade 1961-1970 kontinuierliche Erwärmung im Verlauf des Aprils wich einer Phase stärkerer Schwankungen auf höherem Niveau. Eine Phase schlechten Wetters um den Walpurgistag trat in den letzten 8 Jahren fast gar nicht mehr auf. Im Gegensatz dazu wurden eher stabile warme Wetterlagen verzeichnet. Die Eisheiligenwetterlage verfrühte sich auf die erste Maihälfte, war aber nur noch als mäßige Schlechtwetterlage ohne größere Bodenfrostgefahr spürbar. Die Temperaturstagnation in der zweiten Maihälfte wich einem kontinuierlichen weiteren Temperaturanstieg. Die Schafskälte blieb auf höherem Temperaturniveau bestehen. Der Juni war überwiegend von stabilen Wetterverhältnissen mit hohen Tagesmittelwerten der Lufttemperatur gekennzeichnet. Der Eintritt des Julimonsuns verzögerte eine weitere Erwärmung, führte aber zu keiner deutlichen Abkühlung. Die Warmphase der Hundstage intensivierte sich deutlich. Es wurde höheren Temperaturen als in den 60er Jahren erreicht. Insbesondere im August kam es zu einer Verlängerung der Phase. Spätsommer und Herbst verliefen in beiden

Perioden ähnlich. Die Zeit der Lauffärbung wurde aber wahrnehmbar wärmer. Im November konnten sich die Temperaturen in den letzten Jahren länger und auf einem höheren Temperaturniveau stabilisieren. Der Wintereinbruch verzögerte sich im Mittel auf den 7. Dezember.

#### 3.2.2.14 Veränderung der Großwetterlagen im Zeitraum 1950-2008

Bei den drei betrachteten Großwetterlagen „Westlage“, „Hoch Mitteleuropa“ und „Trog Mitteleuropa“ konnten in den letzten 130 Jahren signifikante Veränderungen beobachtet werden. Die zyklonale Westwetterlage trat bis zu Beginn der 60er Jahre im Winter mit einer relativen Häufigkeit von 14% auf. Sie war dabei größeren Schwankungen mit einer Bandbreite von 11 bis 17% unterworfen. Winter-Westlagen reiche Jahre fanden sich zwischen 1895 und 1925 und 1942 bis 1951. Weniger häufig trat die Lage dahingegen zwischen 1925 bis 1942 und 1951 bis 1962 auf. Nach diesem Zeitpunkt wurde eine stetige Zunahme bis zu dem Allzeithoch 1990 bei 24% verzeichnet. Seitdem ist die relative Häufigkeit wieder bis auf 19% abgefallen. Im Sommer lag das Niveau der relativen Häufigkeit der Westwetterlagen vor 1950 bei etwa 16%. Ab Mitte der 1940er Jahre erfolgte ein plötzlicher Rückgang auf rund 13% bis heute.

Die Großwetterlage „Hoch Mitteleuropa“ nahm seit Mitte der 1930er Jahre ausgehend von einem Niveau der relativen Häufigkeit von 10,5 bis 11% für Sommer- und Winterhalbjahr ständig ab. In den 1960er Jahren wurde eine kurze Erholung für beide Halbjahre registriert (Sommerhalbjahr 9,5%, Winterhalbjahr 12%). 2005 lag die Häufigkeit nur noch 5% für beide jährliche Zeiträume.

Bei der Großwetterlage „Trog Mitteleuropa“ zeigte sich für das Sommerhalbjahr eine große Streubreite der relativen Häufigkeit seit 1881. Bis Mitte der 1930er Jahr nahm der Anteil der Wetterlage am Wettergeschehen von über 4% auf 0,5% ab. Bis Anfang der 1950er Jahr erfolgte ein steiler Anstieg auf 6,5%. Bis Mitte der 1960er Jahr ging die relative Häufigkeit wieder auf unter 1% zurück. Seitdem stieg sie kontinuierlich auf ein Allzeithoch von 9% im Jahr 2005 an. Für das Winterhalbjahr schwankten die Werte seit 1881 um etwa 4%. Im Zeitraum 1909-1940 und 1971-1991 trat die Wetterlage weniger häufig auf. Dagegen waren die Zeiträume 1881-1909 und 1940-1971 stärker von Kaltlufttrögen beeinflusst. Seit 1991 wurde wieder eine Zunahme der relativen Häufigkeit im Winterhalbjahr auf ein Allzeithoch von über 6,5% im Jahr 2005 beobachtet.



### 3.2.3 Prognostizierte klimatische Veränderungen im Zeitraum 2000-2050

#### 3.2.3.1 Prognostizierte Veränderung der Lufttemperatur

Für die Normalperiode 1961-1990 wurde an der Wetterstation ein langjähriges Mittel der Lufttemperatur von  $7,8^{\circ}\text{C}$  registriert. In der Periode 2001-2008 waren es  $9,0^{\circ}\text{C}$ , also etwa  $+1,2\text{ K}$  mehr. Für die kommende Dekade 2011-2020 wird gemäß des Modells WEREX III, Szenario A2 für den Raum Chemnitz eine weitere Erwärmung um  $+0,1\text{ K}$  prognostiziert. In weiteren 40 Jahren (2041-2050) könnte die Temperatur nochmals um etwa  $+1\text{ K}$  im Vergleich zur laufenden Dekade ansteigen. Dann würde man an der Wetterstation Chemnitz ein Jahresmittel der Lufttemperatur von etwa  $10^{\circ}\text{C}$  messen. Die Erwärmung im Vergleich zur Normalperiode belief sich auf insgesamt  $+2,2\text{ K}$  bis zum Jahr 2050.

Die größten Veränderungen der Lufttemperatur fielen bisher in den Zeitraum Dezember bis August. Hier wurden im Vergleich der Normalperiode mit der Periode 2001-2008 Temperaturerhöhungen von  $+0,8\text{ K}$  bis  $+1,9\text{ K}$  registriert. Weniger stark verlief die Erwärmung im Herbst. In den Monaten September bis Oktober wurden nur  $+0,5\text{ K}$  bis  $+0,9\text{ K}$  (Jahreszeitliches Mittel:  $+0,7\text{ K}$ ) mehr erreicht. Das Modell bestätigte diese Entwicklung durch seinen Kalibrationszeitraum 2001-2010 für die laufende Dekade weitestgehend.

Für die kommende Dekade 2011-2020 zeigte das Modell wiederum die stärkste Erwärmung für die Monate Dezember bis August mit einer Bandbreite von  $+0,8\text{ K}$  (Juni) bis  $+2,4\text{ K}$  (Januar). Für den Herbst wurden Veränderungen zur Normalperiode von nur  $+0,4\text{ K}$  bis  $+0,7\text{ K}$  berechnet. Die mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur waren gemäß WEREX III für die Dekade 2041-2050 noch deutlich höher als im gesamten vorherigen Zeitraum. Die stärkste Erwärmung fände demnach wiederum im Januar mit  $+3,9\text{ K}$  im Vergleich zur Normalperiode statt. Die anderen Monate von Dezember bis August zeigten ca.  $+1,1\text{ K}$  bis  $3,6\text{ K}$  wärmere Mittel. Im Herbst wäre die Veränderung mit  $+0,7\text{ K}$  bis  $+1,4\text{ K}$  vergleichsweise gering.

#### 3.2.3.2 Prognostizierte Veränderung des Niederschlags

Für den unkorrigierten Niederschlag zeigte sich beim Vergleich der Normalperiode entgegen der Periode 2001-2008 eine leichte Zunahme der mittleren Jahressumme von  $701\text{ mm}$  auf  $765\text{ mm}$ . Der positive Trend wurde im Vorgebirge hauptsächlich durch erhöhte Niederschläge im Herbst ausgelöst ( $+51\text{ mm}$ ). Die anderen Jahreszeiten blieb bezüglich des Parameters relativ konstant. Insbesondere der April ( $-13\text{ mm}$ ,  $-24\%$ ) und der Juni ( $-35\text{ mm}$ ,  $-39\%$ ) zeichneten sich durch eine besonders hohe Niederschlagsabnahme aus. Im Kontrast dazu wurden August ( $+25\text{ mm}$ ,  $+31\%$ ) und November ( $+26\text{ mm}$ ,  $+54\%$ ) deutlich nasser.

Das Modell WEREX III überschätzte die Niederschlagsentwicklung im Mittel. Die prognostizierten 838 mm mittlere Jahressumme wurden nicht erreicht. Dies resultierte hauptsächlich aus einer Überschätzung der Niederschläge der real trockener gewordenen Monate April, Juni und Dezember.

Für die Periode 2011-2020 wird eine weitere Erhöhung der mittleren Jahressumme der Niederschläge von 858 mm vorhergesagt. Die Veränderung findet demnach hauptsächlich in den Monaten Oktober bis März mit durchschnittlich +10 bis +20 mm mehr pro Monat statt. Die Sommermonate Juli und August könnten eine ähnliche Größenordnung der Niederschlagserhöhung aufweisen. In der Summe würde der Winter mit +59 mm feuchter eine größere Veränderung der Niederschläge erfahren als die anderen Jahreszeiten mit +30 bis +40 mm mehr. Bis zur Periode 2041 würde das Frühjahr die Jahreszeiten mit dem größten Nässezuwachs darstellen (+55 mm gegenüber Normalperiode). Der Sommer würde sich hinsichtlich der Niederschläge wieder auf das Niveau der Normalperiode einpendeln, Herbst und Winter wären mit rund +30 mm mehr etwas feuchter als im Zeitraum 1961-1990.

### 3.2.3.3 Prognostizierte Veränderung der Sonnenscheindauer

Für den Summenparameter zeigte sich von der Normalperiode zur Periode 2001-2008 hin ein markanter Wechsel. Von 1961 bis 1990 wurden im langjährigen Mittel 1533 Sonnenstunden pro Jahr gezählt. Mittlerweile liegt dieser Wert bei 1739 h, also +207 h darüber. Die Veränderungen ergaben sich vorwiegend im Frühjahr (+80 h) und Sommer (+71 h). Aber auch der Winter zeigte sich mit einem Zugewinn von +40 h freundlicher. Der geringste Zuwachs wurde im Herbst mit +17 h verzeichnet. Bei der monatsgenauen Betrachtung war insbesondere der Zeitraum März bis Juli von der positiven Entwicklung betroffen (+19 bis +37 h). Die Monate Oktober (+5 h) und November (+2 h) zeigten kaum eine Veränderung.

Die Werte der Sonnenscheindauer konnten für die fast beendete Dekade 2001-2010 mit einer Abweichung von  $\pm 10$  h der Monatsmittel wiedergegeben werden. Der Mittelwert der Jahressumme (1742 h) wich nicht signifikant vom tatsächlich gemessenen Wert ab. Für die kommende Dekade 2011-2020 wurde eine leichte Abnahme der Sonnenscheindauer auf ein Mittel der Jahressumme von 1719 h im Vergleich mit der laufenden Dekade prognostiziert. Insgesamt blieben die jahreszeitlichen Mittelwerte der Summe auf hohem Niveau stabil. Für die Periode 2041-2050 zeigte sich eine Abnahme der Sonnenstunden im Frühjahr. Dafür würden aber in den anderen Jahreszeiten mehr Sonnenstunden gezählt, so dass die mittlere Jahressumme nahezu unverändert bleibt (1715 h).

#### 3.2.3.4 Prognostizierte Veränderung ausgewählter meteorologischer Ereignistage

Für die zukünftige Entwicklung der Eistage waren keine Daten des Modells WEREX III vorhanden, so dass für diese Ereignistage keine weitere Vergleiche durchgeführt werden konnten. Es ist aber zu erwarten, dass deren Anzahl weiter zurückgeht.

Die Frosttage verringerten sich im Jahresmittel zwischen der Normalperiode und der laufenden Dekade um insgesamt 17 Tage pro Jahr. Am stärksten betroffen waren hiervon die Monate Januar (-5 Tage) und Februar (-4 Tage). Die Monate März, April, Oktober und November verzeichneten einen Rückgang um -1 bis -3 Tage. Für die kommende Dekade nimmt das Modell eine Verringerung um -34 Tage im Vergleich mit der Referenzperiode an (siehe Anlagen 2.3 und 2.10). Der Hauptanteil fiel mit -20 Tagen dabei dem Winterquartal zu. In der Dekade 2041-2050 betrüge die Verringerung schon insgesamt -53 Tage im mehrjährigen Jahresmittel (siehe Anlagen 2.4 und 2.10). Hierbei wären die Verluste im Winter mit -38 Tagen am deutlichsten. Das Frühjahr käme auf -11 Tage im Vergleich zur Referenzperiode.

Zwischen der Periode 1961-1990 und 2001-2008 nahm die mittlere jährliche Anzahl der Sommertage von 23 auf 33 zu. Das Modell WEREX III prognostizierte eine weitere Zunahme in der kommenden Dekade auf 37 Tage pro Jahr (siehe Anlagen 2.3 und 2.11). In der Periode 2041-50 würden nochmals mehr, nämlich 44 Sommertage gezählt (siehe Anlagen 2.4 und 2.11). Das Auftreten der Sommertage beschränkte sich im gemessenen und prognostizierte Zeitraum auf die Monate Mai bis September.

Die Anzahl der heißen Tage nahm in den letzten 50 Jahren im Mittel von 2 auf 3 Tage pro Jahr zu. Das Modell WEREX III zeigte für die Dekade 2011-2020 eine weitere Zunahme auf 7 Tage und für die Dekade 2041-2050 auf 8 Tage (siehe Anlagen 2.3, 2.4 und 2.11).

### 3.2.4 Beschreibung der Kartenwerke

#### 3.2.4.1 Beschreibung der Karten des Jahresmittels der Lufttemperatur

Die Karte des Jahresmittels der Lufttemperatur zeigt für den Zeitraum 1961-1990 Werte zwischen 6,5°C und 9,0°C auf dem heute Gebiet der Stadt Chemnitz (siehe Anlage 3.1). Die kühleren Bereiche (6,6°C bis 7,5°C) befanden sich entlang der Erzgebirgsnordrandstufe und des Rabensteiner Höhenzuges insbesondere bei Waldbewuchs. Im weiteren Umland von Chemnitz wurden im Jahresmittel verbreitet Lufttemperaturen von 7,5°C bis 8,0°C erreicht. Entsprechende Ortslagen waren beispielsweise Röhrsdorf, Wittgensdorf, Euba, Adelsberg, Erfenschlag, Mittelbach und Grüna. Die randstädtischen Bereiche wiesen gegenüber dem Umland etwas erhöhte Temperaturen von 8,0°C bis 8,5°C auf. Hierzu zählten beispielsweise

Borna, Hilbersdorf, Gablenz, Altchemnitz, Markersdorf, Schöna und Siegmarsberg, sowie Rabenstein. Der städtische Bereich verzeichnete im Schnitt ein Jahresmittel der Lufttemperatur von etwa 8,5°C bis 9,0°C. Zu den betreffenden Gebieten zählten der Sonnenberg, der Kapellenberg, der Kaßberg, Schloß-Chemnitz und das Stadtzentrum.

Bis zur aktuellen noch nicht abgeschlossenen Dekade erhöhten sich die Lufttemperaturen signifikant. In den höher gelegenen Randgebieten wurden mittlerweile Werte von 7,5°C bis 8,5°C erreicht (siehe Anlage 3.2). Die tieferen Gebiete des Umlandes der Stadt Chemnitz erfuhren nunmehr im mehrjährigen Schnitt eine durchschnittliche jährliche Lufttemperatur von 8,5°C bis 9,5°C. Die städtischen Gebiete erreichten 9,5°C bis 10,5°C, wobei das Maximum im zentrumsnahen Bereich vermutet werden kann.

Die Ergebnisse der Regionalisierung der Prognosewerte des Modells WEREX III zeigten eine Ausbreitung der Gebiete mit einer Jahresmitteltemperatur von größer 10°C im inneren Stadtbereich für die Dekade 2011-2020 (siehe Anlage 3.3). Werte unter 7,5°C wurden demnach nur noch in den Waldgebieten des Adelsberges und der Erzgebirgsnordrandstufe erreicht.

Die Karte, die auf Basis der Prognosewerte des Modells für die Periode 2041-2050 erstellt wurde, erscheint im Vergleich mit der Normalperiode vollkommen farblich verändert (siehe Anlage 3.4). Die kältesten hoch gelegenen Gebiete zeigten ein Jahresmittel der Lufttemperatur von etwa 8,5°C bis 9,5°C. Das tiefer gelegene Umland der Stadt würde Jahresmittel der Lufttemperatur von 9,5°C bis 10,5°C verzeichnen. Die städtischen Bereiche lägen bei 10,5°C bis 11,5°C (Innenstadt).

#### 3.2.4.2 Beschreibung der Karte der bioklimatischen Belastung

Die Skala der bioklimatischen Belastung reicht auf dem Stadtgebiet von sehr gering über gering bis mittel und hoch (siehe beispielsweise Anlage 4.1). Bereiche mit einer sehr geringen Belastung sind die Höhen der Erzgebirgsnordrandstufe, des Rabensteiner Höhenzuges und des Zeisigwaldes. Hier findet eine ausreichende Durchlüftung statt. Die gefühlten Temperaturen liegen an heißen Tagen nicht so hoch wie im städtischen Gebiet. Die Nächte sind eher kühl. Des Weiteren werden geringere Schadstoffbelastungen der Luft im Vergleich zur Stadt erreicht. Die Wälder sorgen für eine erhöhte Sauerstoffversorgung und verringern den Feinstaubgehalt.

Die Ortslagen des Umlandes von Chemnitz und die zugehörigen überwiegend landwirtschaftlichen Flächen erfahren ebenso wie die Höhenlagen nur eine geringe bioklimatische Belastung. Eine ausreichende Durchlüftung ist gegeben. Dennoch liegen die

Belastung. Eine ausreichende Durchlüftung ist gegeben. Dennoch liegen die Mittel der Lufttemperaturen höher als auf den Kuppenlagen. Nachts können sich Kaltluftseen sammeln. Stellenweise besteht aber auch die Möglichkeit des Wärmestaus.

Der randstädtische und städtische Bereich unterliegt der Wirkung des Stadtklimas. An heißen Tagen besteht die Möglichkeit des Wärmestaus. Hier stellen sich mittlere bioklimatische Belastungen ein. Die Durchlüftung ist durch die Bebauung gebietsweise unterbrochen. Lediglich entlang der Kaltluftschneisen Chemnitztal, Gablenzbach, Kappelbach und Pleißenbach kann die Wärmebelastung gemildert werden. Die Bildung nächtlicher Kaltluftsammlgebiete wird durch den Stadteffekt in der Regel bereits im randstädtischen Bereich unterbunden. Die Kaltluftseen können entlang der Hauptkaltluftflüsse in den Bachtälern, die in Richtung des Chemnitz-Flusses ausgerichtet sind, am weitesten in das innere Stadtgebiet vordringen. Der Kuchwald und der Stadtpark entlang der Chemnitz wirken sich lokal begrenzt positiv auf das bioklimatische Empfinden aus, da auch sie die Wärmebelastung reduzieren, Feinstaub festlegen und die Luftfeuchtigkeit etwas erhöhen. Die Innenstadt selbst erfährt eine hohe bioklimatische Belastung. Die Ventilation ist hier durch die dichte Bebauung stark behindert. Nachts kann es im Sommerhalbjahr häufig zum Wärmestau kommen. Der flächenmäßige geringe Anteil der Grünflächen vermag die hohe Schadstoffbelastung des Verkehrs und anderer Emittenten nicht zu kompensieren.

### **3.3 Zusammenfassung**

Die Klimaanalyse erbrachte für das Gebiet der Stadt Chemnitz die Erkenntnis, dass sich insbesondere die Lufttemperaturen und somit alle daran geknüpften Klimaindizes seit den 50er Jahren stark gewandelt haben. Es kam insbesondere bei den erreichten Tiefsttemperaturen zu einer deutlichen Erwärmung. Aber auch bei den gemessenen Höchsttemperaturen verschob sich das Niveau nach oben, wenngleich die Veränderung dort nicht in einem solchen Maße geschah wie bei der erstgenannten Temperaturklasse. Als Folge der Verschiebung des Gesamtspektrums stiegen auch die Jahresdurchschnittstemperaturen. Hier ließ sich eine Zunahme von +1,4 K von 7,6°C (um 1950) auf 9,0°C (um 2005) feststellen. Auf die Quartale bezogen zeichnete sich ab, dass vor allem der Winter, das Frühjahr und der Sommer im Mittel wärmer wurden. Im Herbst fand nur eine geringe Erwärmung statt.

Die deutliche Erwärmung in den Wintermonaten führte zu einer drastischen Abnahme der Eis- und Frosttage. Ebenso wurden in den letzten Jahren kaum mehr Lufttemperaturen unter -15°C registriert. Auch bei der Eintrittswahrscheinlichkeit von Lufttemperaturen unter -10°C

kam es zu einem markanten Rückgang. Die einzelnen kalten Winter 1995/1996, 2002/2003 und 2005/2006, die einer großen Anzahl milder Winter in den letzten Jahren gegenüberstehenden, sind hinsichtlich ihrer Strenge in keinster Weise vergleichbar mit den Kaltwintern früherer Tage (zum Beispiel 1955/1956). Im Gegensatz dazu wurden im Sommerhalbjahr in den letzten Jahren deutlich mehr Sommer- und heiße Tage gezählt. Die Wärmebelastung vergrößerte sich. Mittlerweile kann sogar schon im Juni mit Lufttemperaturen über 30°C gerechnet werden.

Die Anzahl der Heiztage, die Länge der Heizperiode und die Summe der Gradtagszahlen der Heiztage nahm in Folge der mildereren Winter in den letzten 20 Jahren stark ab. Die höheren Wärmesummen im Winter führten weiterhin zu einem früheren Austrieb der Vegetation. Der errechnete phänologische Termin verschob sich vom 10. April auf den 21. März. Eine noch stärkerer Verfrühung wurde durch eine größere Frühjahrtrockenheit verhindert. Die schwache Erwärmung im Herbst ermöglichte einen etwas späteren Eintritt in die Winterruhe. Hier verschob sich der Termin vom 14. Oktober auf den 21. Oktober. Insgesamt verlängerte sich die Vegetationsperiode von 187 Tagen auf 211 Tage, also um 3 ½ Wochen. Durch den verlängerten Wachstumszeitraum und die höheren Temperaturen innerhalb dieses Zeitraums vergrößerte sich der Wärmegenuss der Pflanzen signifikant von 2500°C pro Jahr auf 2900°C pro Jahr.

Die Jahresniederschlagssummen veränderten sich in den letzten 60 Jahren im langjährigen Mittel kaum, waren aber bei der Betrachtungen kürzerer Zeiträume innerhalb der Zeitreihe Schwankungen unterworfen. Momentan befinden wir uns in einer Periode höherer Jahresniederschläge. Ungeachtet dessen kam es innerhalb des mittleren Jahrganges der Niederschläge zu einer differenzierten Entwicklung. Vor allem der Herbst wurde deutlich feuchter. Im Winter-, Frühjahr- und Sommerquartal kam es kaum zu Änderungen der Niederschlagssummen.

Betrachtet man die Niederschlagsintensitäten, so stellt man fest, dass über das gesamte Jahr etwas mehr Starkniederschläge auftraten. Diese Entwicklung war im Herbst und Winter am deutlichsten zu beobachten. Die Anzahl der Trockentage blieb im Jahresmittel gleich groß, jedoch fand auch hier eine Umverteilung statt. Insbesondere im Sommerhalbjahr wurden mehr Tage mit einer Niederschlagssumme kleiner als 1 mm registriert. Im Winterhalbjahr reduzierte sich die Anzahl der Trockentage, was vor allem auf den negativen Trend im Herbst zurückzuführen war. Insgesamt kam es zu einer Zunahme der Häufigkeit von Trockenperioden, also der Abfolge von wenigstens 11 Trockentagen, im Sommerhalbjahr. Im

Winterhalbjahr veränderte sich diesbezüglich kaum etwas, weil die Abnahme der Trockenperioden im Herbstquartal durch eine Zunahme im Winterquartal kompensiert wurde. Weiterhin nahm die Anzahl der Trockentage, die einer Trockenperiode zugeordnet werden konnten, im Winterhalbjahr ab und im Sommerhalbjahr zu. Die Dauer der Trockenperioden verkürzte sich insbesondere im Sommer-, Herbst- und Winterquartal. Im Frühjahr verlängerten sich die Trockenperioden. Demzufolge werden in der aktuellen Dekade Trockenperioden im Jahresverlauf - außer im Frühjahr - häufiger durch Niederschlagsereignisse unterbrochen. Dies lässt auf eine größere Witterungsvariabilität schließen. Im Sommerhalbjahr kann dies eine Zunahme von lokalen Niederschlagsereignissen (zum Beispiel Wärmegewitter) bedeuten. Im Winterhalbjahr liegt dies eher an einer Reduktion der trockenen Hochdruckwetterlagen und dem vergrößerten Einfluss von atlantischen Tiefdruckgebieten.

Die Ausdehnung der Trockenperioden im Frühjahr, die mit einer Erwärmung, einer niedrigeren Luftfeuchte und geringeren Niederschlägen einherging, förderte die Erhöhung der Waldbrandgefahr. Während im Zeitraum 1961-1990 durchschnittlich an 14 Tagen im Jahr die Waldbrandstufe 4 bis 5 erreicht wurde, war die im Zeitraum 1991-2005 schon an 19 Tagen der Fall [SMUL 2008b].

Die Sonnenscheindauer war in der Nachkriegszeit mit etwa 1700 Stunden pro Jahr ähnlich hoch wie in der rezenten Dekade. In den 50er Jahren kam es zu einem sukzessiven Rückgang der Sonnenscheindauer auf etwa 1500 Stunden pro Jahr. Gleichzeitig blieb der Bedeckungsgrad nahezu konstant. Dies kann unter anderem mit der erhöhten Emission von Feinstäuben und Aerosolen durch die zur Zeit des Wirtschaftswunders wieder auflebende industrielle Tätigkeit in West- und Mitteleuropa, sowie in Chemnitz bzw. Karl-Marx-Stadt zusammenhängen. In Folge der Zerstörungen des Zweiten Weltkrieges war diese weitestgehend zum Erliegen gekommen. Der Verdunklungsgrad könnte sich im Vergleich zur Nachkriegszeit in Folge von an Staubpartikeln kondensierenden Wassertröpfchen über Mitteleuropa deutlich erhöht haben. Eine erkennbare Veränderung des jahresübergreifenden Mittels der Sonnenscheindauer ließ sich erst wieder ab dem Zeitpunkt der politischen Wende 1989 feststellen. Es kam es zum Zusammenbruch der Industrie der sozialistischen Staaten Mittel- und Osteuropas und somit zu einer plötzlichen Verringerung der Feinstaub- und Aerosolproduktion. Die Sonnenscheindauer stieg sprunghaft im Mittel auf etwa 1700 Stunden pro Jahr. Dieses Niveau wurde durch den flächendeckenden Einsatz von Abgasfiltern in Industrie und Verkehr bis zum heutigen Tage gehalten.

Der positive Trend der Sonnenscheindauer im Zeitraum 1950-2008 für das Gebiet der Stadt Chemnitz steht dem negativen Trend anderer Stationen in Sachsen gegenüber. Hier muss der regionalspezifisch besondere Einfluss der Vorgebirgslage mit betrachtet werden. In den letzten Jahrzehnten hat sich der Anteil zyklonaler Südwestlagen am Wettergeschehen in Mitteldeutschland erhöht. Dadurch liegt Chemnitz häufiger im Lee des Erzgebirges und erfährt vermehrt Föhnwetterlagen mit entsprechend geringerer Bewölkung. Für die anderen Stationen Sachsens ergab sich durch den Rückgang der Wetterlage „Hoch über Mitteleuropa“ eher häufiger eine Wolkenbedeckung. Besonders markant waren die Zugewinne der Sonnenscheindauer an der Station Chemnitz im Frühjahr und Sommer, was neben den eben genannten Veränderungen sicherlich auch als synergischer Effekt der großen Tageslänge in diesen Quartalen verstanden werden kann.

Die Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst präsentierten sich in der rezenten Dekade windärmer als im Zeitraum 1961-1990. Dafür wurde es im Winter stürmischer. Der Grund liegt im Rückgang von Sturmtiefdruckgebieten im Frühjahr und Herbst und der Zunahme dieser Wettererscheinung im Winter zu Ungunsten stabiler Winterhochdruckgebiete. Die Hauptwindrichtung änderte sich von West in Richtung Südwest durch das vermehrte Auftreten zyklonaler Südwestwetterlagen.

Die Grasreferenzverdunstung oder potentielle Evapotranspiration nahm in den letzten 30 Jahren deutlich zu. Dies ist auf höhere Temperaturen und eine niedrigere Luftfeuchte infolge vermehrter Föhnwetterlagen und der Advektion trockener Luftmassen, sowie auf eine höhere Globalstrahlung zurückzuführen. Besonders im Sommerhalbjahr wurde eine Vergrößerung beobachtet. Da diesem Sachverhalt im Sommerhalbjahr aber keine adäquate Erhöhung der Niederschläge gegenüberstand, verringerte sich folglich die klimatische Wasserbilanz. In der rezenten Dekade war diese im Sommerhalbjahr bereits negativ. Im Winterhalbjahr wurde die leichte Erhöhung der potentiellen Evapotranspiration durch eine deutliche Erhöhung der Niederschlagssummen, vor allen Dingen im Herbst, überkompensiert. Hierdurch vergrößerte sich die klimatische Wasserbilanz. Im Jahresmittel ergab sich eine geringe Abnahme der klimatischen Wasserbilanz seit den 50er Jahren bis zum heutigen Zeitpunkt.

Die Zeitreihen der gewässerkundlichen Hauptzahlen 1918-2007 belegen die Veränderung der klimatischen Wasserbilanz und der Niederschlagsverhältnisse anhand des Durchflusses der Chemnitz am Pegel Chemnitz 1, wobei die Trends nur für den Hochwasserdurchfluss (HQ) im Sommerhalbjahr und im Zeitraum 1918 bis in die 70 Jahre signifikant waren. Die mittleren Durchflüsse (MQ) stiegen im hydrologischen Winterhalbjahr deutlich an. Dies kann



mit der höheren klimatischen Wasserbilanz begründet werden. Im hydrologischen Sommerhalbjahr blieben die mittleren Durchflüsse gleich. Die negativen Effekte der deutlich verringerten klimatischen Wasserbilanz auf den Abfluss wurden wahrscheinlich durch Abflüsse aus dem vom hydrologischen Winterhalbjahr übernommenen Speicherüberschuss kompensiert. Der Hochwasserdurchfluss vergrößerte sich insbesondere im Sommerhalbjahr. Hierzu trugen möglicherweise die vermehrten Starkregenereignisse und der höhere Versiegelungsgrad bei. Auch im Winterhalbjahr wurde für die Hochwasserabflüsse ein ähnlicher Trend beobachtet, der mit den erhöhten Niederschlagsmengen einherging. Für die Niedrigwasserabflüsse (NQ) ergab sich keine Veränderung. Unsicherheiten verbleiben bei der statistischen Auswertung hinsichtlich von Veränderungen der Messtechnik oder der Messstelle oder ggf. Veränderungen der Gewässernutzung, die den Trend überprägen können.

Hinsichtlich der Witterungsregelfälle zeigte sich eine deutliche Abnahme der antizyklonalen trockenen Winterhochdrucksituationen zu Gunsten von feucht-milden zyklonalen Westwetterlagen. Das Frühjahr war durch eine zügige Erwärmung mit einer größeren Schwankungsbreite der Temperaturen bis zum Ende des Aprils gekennzeichnet. In diese Zeit fielen nunmehr auch die für die Entwicklung der Vegetation relevanten Spätfrostereignisse. Diese traten vor 40 Jahren noch im Rahmen der Eisheiligenwetterlage, die sich in den letzten Jahren nur noch in abgeschwächter Form bemerkbar machte, im Mai auf. Der Mai entwickelte sich hinsichtlich der Temperaturen und der Phänologie von einem typischen Frühlingsmonat zu einem Frühsommermonat. Der Juli-Sommermonsun fiel hinsichtlich der Temperaturen ebenso wie die Vormonsunwellen „Eisheilige“, „Schafskälte“ und die Nachmonsunwelle im August deutlich schwächer aus. Der Herbst blieb hinsichtlich seines Temperaturverlaufes nahezu unverändert. Die Witterungsregelfälle „Goldener Herbst“ und „Allerheiligensommer“ waren witterungsstabiler und wärmer. Der Einwinterungstermin verschob sich von Ende November um eine Woche nach hinten auf den Nikolaustag. Das Weihnachtstauwetter war angesichts des mit früheren Dekaden vergleichsweise hohen Temperaturniveaus in den letzten Jahren kaum mehr wahrnehmbar.

Insgesamt erfolgte in den letzten 60 Jahren ein Rückgang der Wetterlage „Hoch Mitteleuropa“ im gesamten Jahresverlauf. Der Einfluss von Trogwetterlagen nahm im Sommerhalbjahr und der von Westwetterlagen im Winterhalbjahr zu. Die Trogwetterlagen könnten im Sommer durch eine verstärkte Erwärmung des Kontinents und Mittelmeergebietes gefördert werden. Hierbei bildet sich zunächst ein bodennahes kontinentales Hitzetief, das zu einer Advektion der zirkumpolaren Tiefdruckrinne bis in das Mittelmeergebiet führt. Über dem überdurch-

schnittlich warmen Mittelmeer können sich bei günstigen Scherungsverhältnissen innerhalb der Atmosphäre hurrikanähnliche Zyklone entwickeln (Vb-Wetterlagen), die die Alpen an ihrer Südflanke über Kroatien und Ungarn umqueren und in Mitteleuropa für extreme Niederschlagsereignisse sorgen können. Die Zunahme von zonalen Westwetterlagen im Winterhalbjahr ist an eine allgemeine Zunahme von gemischten Zirkulationsformen (Südwestlage, antizyklonal; Südwestlage, zyklonal; Nordwestlage, zyklonal; Nordwestlage, antizyklonal etc.) geknüpft [SMUL 2008b]. Durch die höhere ozeanische Beeinflussung kann ein Großteil der winterlichen Erwärmung erklärt werden. Hinzu kommt aber auch eine Erwärmung der Wetterlagen selbst, die aus dem Kontext der allgemeinen globalen Temperaturerhöhung, insbesondere aber der mittleren Breiten und (sub)polaren Zone, resultiert [SMUL 2008b]. Die Abnahme der Wetterlage „Hochdruckgebiet Mitteleuropa“ erfolgte im Winter zu Gunsten gemischter Zirkulationsformen. Dadurch wurden nicht mehr so häufig stabile kalte Winterhochdruckwetterlagen erreicht.

Gemäß dem Modell WEREX III werden für die kommenden 40 Jahre weiter steigende Lufttemperaturen vorhergesagt. Während die weitere Erwärmung für die kommende Dekade 2011-2020 mit +0,1 K im Jahresmittel moderat ausfallen könnte, würde im Zeitraum 2041-2050 rund +1 K mehr erwartet. Die größten Erwärmungsbeträge würden dabei, wie bereits in den letzten Jahrzehnten zu beobachten war, im Winter, Frühjahr und Sommer auftreten. Der Herbst vollzöge diese Entwicklung nicht in einem vergleichbaren Maße.

Die Jahressumme der Niederschläge dürfte in den nächsten Jahrzehnten im Vergleich zum jetzigen Zustand wieder rückläufig sein. Davon betroffen wären in der Dekade 2011-2020 vor allem der Herbst und in der Dekade 2041-2050 auch der Sommer und der Winter. Das Frühjahr würde dem Modell nach wieder etwas feuchter. Die Sonnenscheindauer bliebe weitestgehend konstant, abgesehen von leichten Verschiebungen der Summen innerhalb des Jahresverlaufes.

Die prognostizierten Veränderungen der Klimaelemente haben Bedeutung für die Entwicklung der von ihnen abhängigen Klimaindizes. Nachfolgend werden denkbare Szenarien stichpunktartig aufgelistet:

- Höhere Lufttemperaturen im Winterhalbjahr bedingen deutlich weniger Frost- und Eistage. Temperaturen unter  $-15^{\circ}\text{C}$  würden bereits aber der kommenden Dekade 2011-2020 an begünstigten Hanglagen, sowie im inneren Stadtgebiet (Zentrum + angrenzende Stadteile) so gut wie gar nicht mehr erreicht. Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$

---

würden bis zur Dekade 2041-2050 nur noch selten erreicht. Der Heizbedarf sinkt weiter.

- Höhere Lufttemperaturen im Sommerhalbjahr bedingen eine deutliche Erhöhung der Sommer- und heißen Tage. Folglich vergrößert sich die Wärmebelastung insbesondere in den tiefer liegenden städtischen Gebieten weiter. Die Natur erfährt noch höhere Wärmesummen als bisher. Es kommt zu einer weiteren Ausdehnung der Vegetationsperiode durch Verfrühung des Beginns auf Mitte bis Anfang März und Verspätung des Endes auf Anfang November. In Verbindung mit geringeren Niederschlägen erhöht sich die Waldbrandgefahr im Sommerhalbjahr weiter.
- Eine weitere Verringerung der Niederschläge in Verbindung mit höheren Temperaturen und einer gleich bleibenden Globalstrahlung führt zu einer höheren potentiellen Verdunstung und folglich zu einer geringeren klimatischen Wasserbilanz. Diesbezüglich dürften die markantesten Veränderungen im Sommerhalbjahr sichtbar werden.

## 4 Schutzgut- und Betroffenheitsanalyse

### 4.1 Methodik Schutzgut- und Betroffenheitsanalyse

Die Gefährdungsabschätzung wird in zwei Teilschritten durchgeführt:

- Betroffenheitsanalyse für die einzelnen Schutzgüter in der Stadt und deren unmittelbarem Umfeld auf der Basis der Daten des Prognosezustandes,
- Gefährdungsbeurteilung für die einzelnen Schutzgüter in der Stadt und deren unmittelbarem Umfeld (siehe Kapitel 6).

#### Allgemeine Vorgehensweise - Betroffenheitsanalyse

Die Betroffenheitsanalyse für die einzelnen Schutzgüter erfolgt flächendetailliert für das Stadtgebiet, um Gefährdungsschwerpunkte schutzgutbezogen und wirkungspfadbezogen evaluieren zu können. Dies betrifft beispielsweise die Analyse der verbreiteten Ökosysteme wie Waldflächen und Gewässer, der Wasserversorgung- und -verteilung, aber auch die Analyse der Betroffenheit sensibler Objekte wie Kulturgüter oder öffentlicher Gebäude wie Schulen (hier können beispielweise Daten aus der Gefährdungsanalyse der Hochwasserschutzkonzepte für eine weitergehende Betrachtung genutzt werden). Das Schutzgut Mensch bildet ebenfalls einen Betrachtungsschwerpunkt in seinem sozioökonomischen Umfeld.

### 4.2 Schutzgut Wasser

Als Schutzgut ist sowohl das Oberflächenwasser der Vorfluter und Standgewässer als auch das Grundwasser zu betrachten.

Besonders in städtisch-industriellen Verdichtungsgebieten ist Wasser ein knappes Gut. Der hohe Versiegelungsgrad der Böden bedingt eine Verringerung der Sickerwasserrate und der Grundwasserneubildung. Grundwasserentnahmen der Wasserwerke, des Gewerbes und der Industrie zur Wassergewinnung oder im Rahmen von Baumaßnahmen führen zu einer Erhöhung des Grundwasserflurabstandes. Eine solche Erhöhung ist oft auch Folge von Geländemodellierungen oder von Maßnahmen zur Flächenentwässerung. Damit ist die Vegetation oftmals nicht mehr in der Lage, das Grundwasser zur Wasser- und Nährstoffversorgung zu nutzen. Als Folge der Begradigung, Kanalisierung und Verrohrung von Oberflächenwasser fehlen naturnahe Vorfluter mit Anschluss an das Grundwasser. Insgesamt wird der Klima-

wandel mit der Verringerung der klimatischen Wasserbilanz und der Konzentration der Niederschläge auf weniger und dafür heftigere Regenfälle zu einer weiteren Verknappung des Schutzgutes Wasser führen.

#### **4.2.1 Wasserhaushalt und Wasserbilanz**

Klimabedingte Veränderungen des Wasserhaushaltes (Niederschlag, Verdunstung, Bodenwasser, Grundwasser, Standgewässer, Fließgewässer) können bereits heute mit ökologischen und ökonomischen Folgen verbunden sein. Der EEA Report No 2/2004 (European Environment Agency, 2004) belegt an Hand von Untersuchungen in ausgewählten Flussgebieten Deutschlands, dass sich hier während der letzten Jahrzehnte die mittleren jährlichen Abflüsse lokal um - 4 bis +6% geändert haben.

Während in Deutschland insgesamt eine deutliche Zunahme der Niederschlagsmenge im Winter bei geringfügigerer Abnahme im Sommer zu erkennen ist, wird in Sachsen auf Grund der kontinentaleren Lage eher eine Entwicklung zu insgesamt geringeren Jahresniederschlagsmengen festgestellt. Zudem werden sich die Niederschläge auf weniger und dafür heftigere Ereignisse konzentrieren. An der innerjährlichen Umverteilung der Niederschläge wird deutlich, dass die Analyse von klimatischen Veränderungen und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt eine regional und zeitlich sinnvoll differenzierte Betrachtung erfordert. So reicht nur die Betrachtung des mittleren jährlichen Abflusses allein nicht aus, um Veränderungen des Wasserhaushaltes und seine Konsequenzen zu erkennen.

Mit den fortschreitenden klimatischen Veränderungen wird auch ein regionalspezifischer Wandel im Wasserhaushalt von Chemnitz deutlicher ausgeprägt werden. Quantitative Veränderungen stehen dabei auch immer in Rückkopplung mit der Wasserbeschaffenheit. Die klimatische Wasserbilanz als Differenz aus dem Niederschlag und der potentiellen Verdunstung muss im Jahresgang betrachtet werden.

Dem mit zunehmender Erwärmung steigenden atmosphärischen Verdunstungsanspruch stehen im Sommer abnehmende Niederschläge gegenüber. Aus der sich damit verschärfenden Wasserknappheit im Boden und den oberirdischen Gewässern resultieren zunehmend Restriktionen für aquatische und terrestrische Ökosysteme sowie die Bewirtschaftung der Ressource Wasser. Der Sommer stellt sich dabei für Sachsen als kritischster Zeitraum heraus [SMUL, 2005].

Ausgehend von gemessenen (1961-2005) und prognostizierten Wetterdaten (bis 2100) von acht Klimastationen werden im Rahmen eines Projektes des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft (Referat Bodenschutz) für repräsentative Böden Sachsens Modellierungen zum Bodenwasserhaushalt durchgeführt.

Die klimatischen Zukunftsszenarien für Sachsen wurden mit der Regionalisierungsmethodik WEREX IV auf der Grundlage des globalen Klimamodells ECHAM5, SRES-IPCC-Emissionsszenario A1B, 1961-2100 vom CEC Potsdam erstellt. Insgesamt wurden 10 Klimaszenarien untersucht, aus denen für die Untersuchung der Folgen von Klimaveränderungen auf den Bodenwasserhaushalt hinsichtlich des Niederschlags 3 grundlegende Entwicklungen unterschieden wurden [LFULG, 2009A]:

- trockenes Szenario (trocken)
- nasses Szenario (feucht)
- mittleres Szenario (normal)

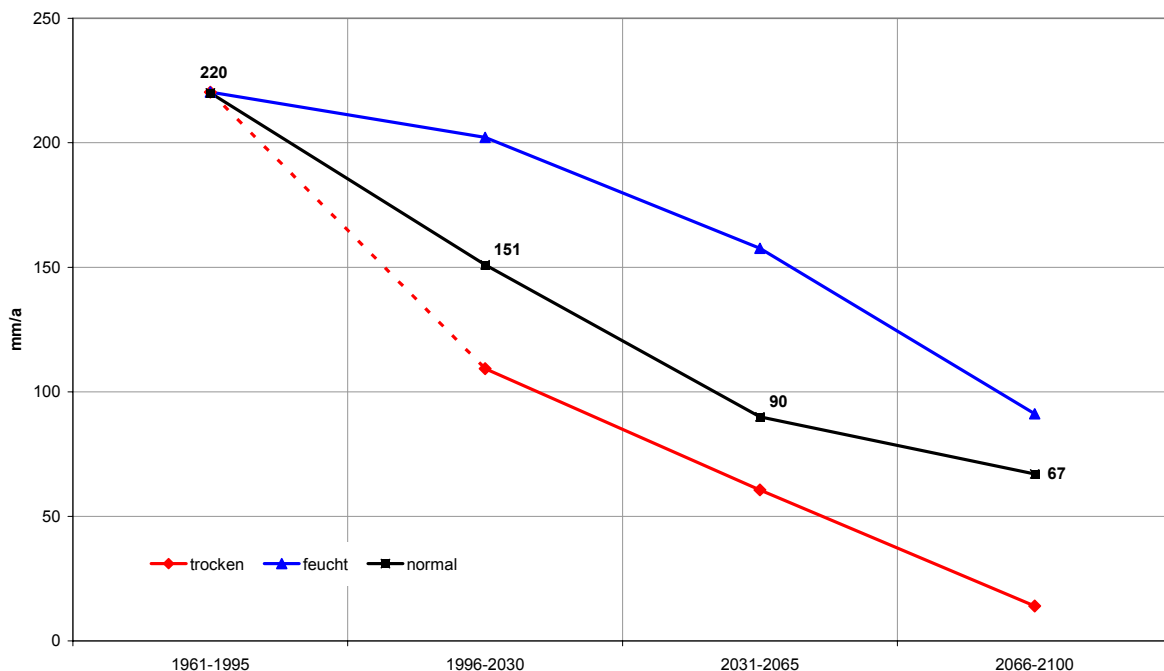


Abb. 31: Abschätzung der langjährigen mittleren klimatischen Wasserbilanz in der Region Chemnitz (1961-2100) [LFULG, 2009A]

Die Böden der Region Chemnitz reagieren sehr unterschiedlich auf den Klimawandel. Anhand der Abb. 31 ist erkennbar, dass die langjährige mittlere klimatische Wasserbilanz im langjährigen Mittel um 125-150 mm/a abnehmen wird. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Jahre mit negativer klimatischer Wasserbilanz auftreten (siehe Abb. 32). Während im Zeitraum von 1961-1995 zwei Jahre mit negativer klimatischer Wasserbilanz auftraten, sind es im Zeitraum von 1996-2030 bereits je nach Szenario vier bis neun Jahre mit negativer klimatischer Wasserbilanz [LFULG, 2009A].

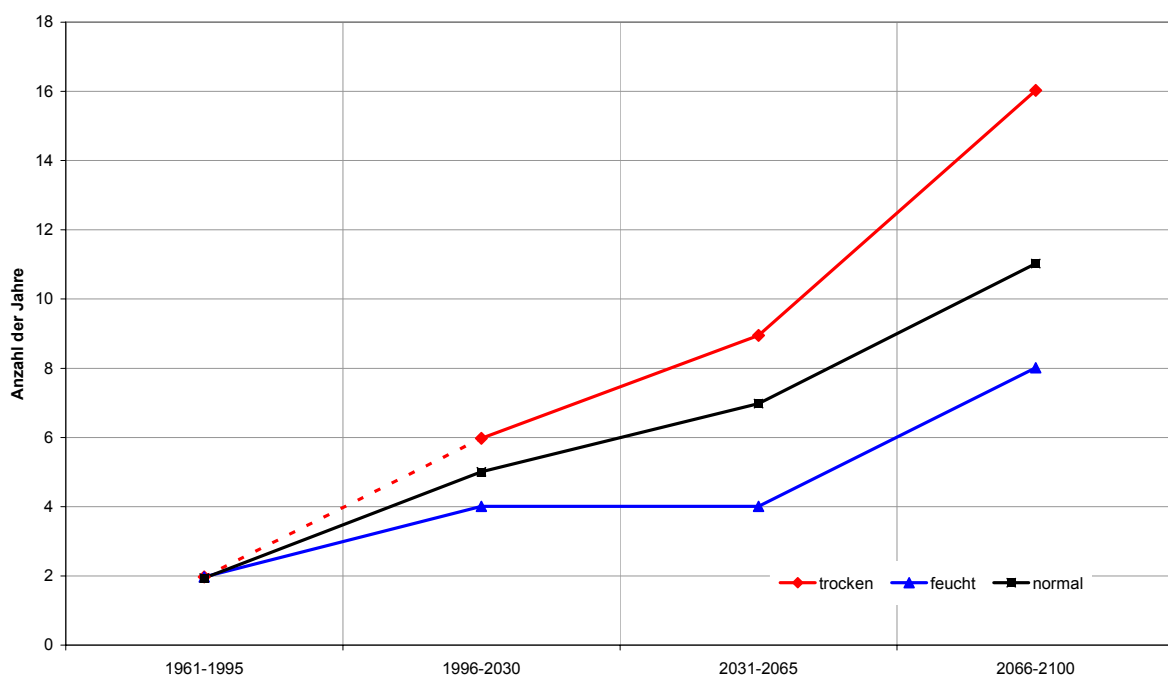


Abb. 32: Abschätzung der Anzahl von Jahren mit negativer klimatischer Wasserbilanz innerhalb von 35-Jahreszeiträumen, Region Chemnitz 1961-2100 [LFULG, 2009A]

Als Index für die Wasserversorgung eines Bestandes wird das Verhältnis von aktueller zu potentieller Evapotranspiration angesetzt. Wenn das Verhältnis zwischen aktueller und potentieller Evaporation 1 beträgt, dann ist der Bestand optimal mit Wasser versorgt. Bei einem Index von 0,8 werden 80 % der möglichen Verdunstung erreicht. Aus Abb. 33 ist ersichtlich, dass die Wasserversorgung für die Flora durch die Zunahme an Trockenjahren zunehmend nicht mehr abgesichert ist [LFULG, 2009A].

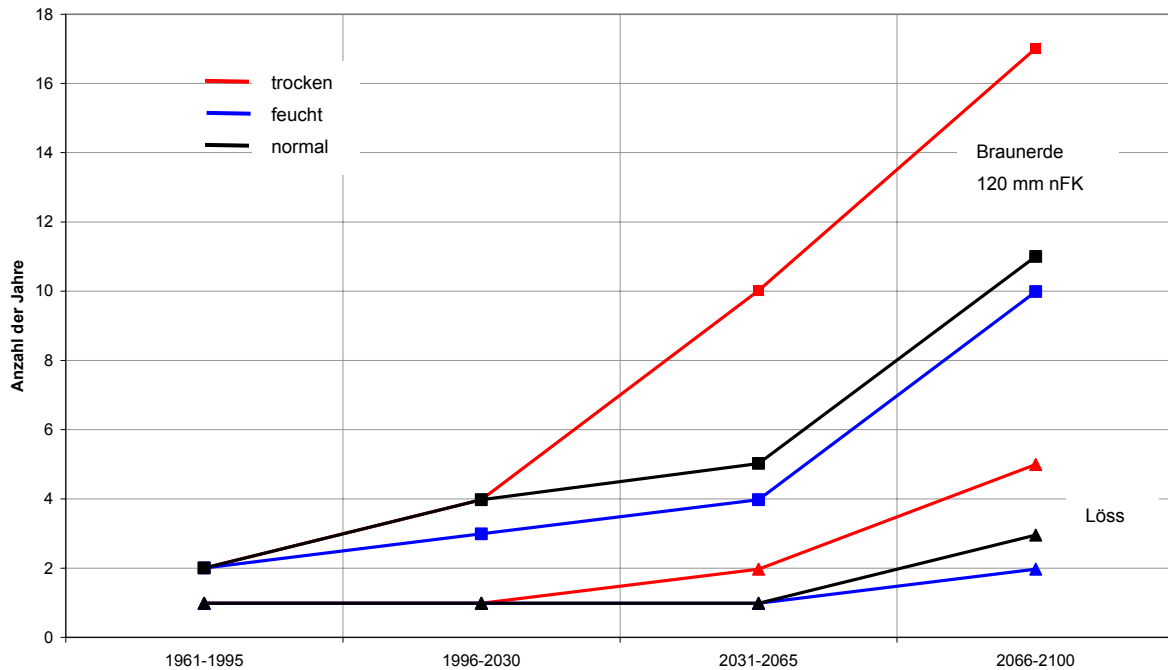


Abb. 33: Abschätzung der Jahre mit einem Verhältnis von aktueller zu potentieller Evaporation  $< 0,8$  innerhalb von 35-Jahreszeiträumen (Region Chemnitz, 1961-2100)  $43,51 = \text{LBF-Nr. laut Bodenatlas Sachsen [LFULG, 2009A]}$

Stärker vom Klimawandel betroffen sind vor allem skelettreiche und flachgründige Böden mit einer geringen Feldkapazität im Wurzelraum ( $nFK < 120 \text{ mm}$ ), die für Austrocknung anfällig sind (Abb. 33). Diese Böden der Standortregion Erzgebirgsvorland bewegen sich ab 2030 im Durchschnitt im Bereich einer kritischen Wasserversorgung mit zunehmend negativen Auswirkungen auf die Ertragsstabilität (bei Nichtbeachtung des  $\text{CO}_2$ -Düngungseffektes und der angenommenen züchtungs- und anbautechnologiebedingten positiven Ertragsentwicklung). Auf tiefgründige Böden mit einer hohen Feldkapazität (Lössböden) ist die Wasserversorgung der Vegetation gegeben, so dass Trockenstress nur vereinzelt auftreten wird [LFULG, 2009A].



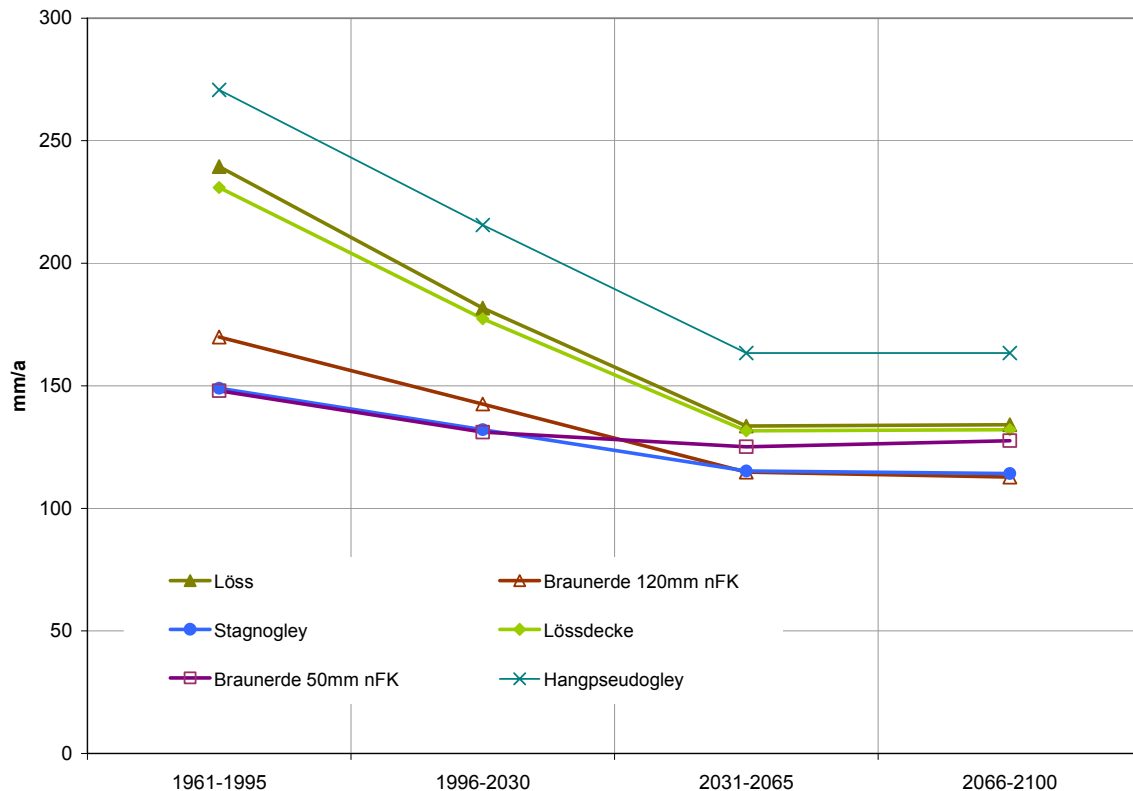


Abb. 34: Abschätzung der Sickerwasserraten auf Ackerböden der Region Chemnitz 1961-2100, WEREX IV A1B normal [LFULG, 2009A]

Insbesondere auf Böden mit einer hohen nutzbaren Feldkapazität gehen die Sickerwasserraten erheblich zurück (z.B. Lössböden, siehe Abb. 34). Die geringeren Sickerwasserraten haben eine geschätzte 60-30 % geringere Grundwasserneubildung zur Folge, was zu erheblichen Veränderungen des Gebietswasserhaushaltes führen kann [LFULG, 2009A]. Das nutzbare Grundwasserdargebot wird abnehmen. Oberflächennahe Grundwasserstände können zurückgehen.

Beispielsweise mussten Atomkraftwerke abgeschaltet werden, weil das Wasser der Flüsse zu warm für die Kühlung war [GW 07]. Weitere zu erwartende Folgen sind das Trockenfallen von Hausbrunnen, welche nicht an das öffentliche Versorgungsnetz angeschlossen sind. Infolge der geringen Abflussmengen sind vor allem Kleingewässer von Austrocknung bedroht.

#### 4.2.2 Abflussverhältnisse

*Mittleres Abflussdargebot:* In Abhängigkeit von Gebietsgröße, Bilanzzeitraum und den lokalen Verhältnissen sind künftig regionalspezifisch sowohl Ab- als auch Zunahmen bis in den zweistelligen Prozentbereich denkbar. Entscheidend ist, wie sich gleichartige oder entgegengesetzte Niederschlagstendenzen im Winter- und Sommerhalbjahr auf die Jahresbilanz im langjährigen Mittel auswirken. In trockenen Sommern liegen die mittleren Monatsdurchflüsse unter den langjährigen mittleren Monatsdurchflüssen.

Mit Zunahme der trockenen Sommer werden in den Sommermonaten auch die niedrigen Abflussverhältnisse zunehmend auftreten. Aus der Auswertung der Niedrigwasserdurchflüsse des Pegels Chemnitz 1 im Zeitraum 1918-2007 konnte jedoch noch keine signifikante Verringerung abgeleitet werden (siehe Kapitel 3.2.2.9). Von den langjährigen mittleren Monatsdurchflüssen im Sommerhalbjahr ist zu erwarten, dass sie zukünftig geringer werden. Im Winterhalbjahr zeichnen sich besonders in den Monaten Februar und März genau gegenläufige Tendenzen ab [SMUL, 2005]. So kann bereits anhand der vorhandenen Messdaten eine Zunahme der mittleren winterlichen Abflüsse festgestellt werden, wogegen die mittleren Abflüsse im Sommerhalbjahr sich bisher nicht veränderten (siehe Kapitel 3.2.2.9). Zurückgeführt wurde dies auf die ebenfalls beobachtete Erhöhung der Jahressummen des Niederschlages.

*Hochwasser:* Im Winterhalbjahr ist an vereinzelten Pegeln eine Abnahme der Jahreshöchstabflüsse vorstellbar, während insgesamt Hochwässer häufiger zu erwarten sind. Es kann angenommen werden, dass die Hochwässer als Folge von Schneeschmelzereignissen aufgrund der rückläufigen Schneebedeckung zunehmend weniger intensiv stattfinden, wie dies bereits heute in den Alpen beobachtet wird.

Im Sommerhalbjahr zunehmende Starkniederschläge müssen sich in Abhängigkeit von Intensität, Dauer und aktuellen Gebietszuständen nur bedingt auf die Häufigkeit sommerlicher Hochwässer auswirken [SMUL, 2005]. Die Auswertung der Pegeldata Chemnitz 1 zeigte eine signifikante Erhöhung der Starkniederschlagsabflüsse ausgehend vom Beginn der Messungen 1918 bis in die 70er Jahre, allerdings kann nicht geklärt werden, ob diese Veränderung auf Umstellungen der Messmethoden, andere systematische Fehler oder auf Veränderung von Wasserentnahmen und -einleitungen zurückgeht. In [Mic 09] wird dargestellt, dass die Häufigkeit der Starkniederschläge im Sommer zwar zurückgehen kann, die Ereignisse

dagegen aber heftiger ausfallen. Insgesamt fallen Sommerniederschläge seltener, die Trockenzeiten zwischen den niederschlagsreichen Perioden werden länger, der Niederschlag verändert sich aber in seiner Summe nur wenig. Daraus folgt, dass die Niederschlagsintensität der Sommerniederschläge langfristig zunehmen wird.

*Niedrigwasser:* Hier sind die durchgreifendsten Veränderungen zu erwarten. Infolge einer zunehmend früheren Anspannung der klimatischen Wasserbilanz ist bereits ab April eine Abnahme des mittleren monatlichen Abflussdargebotes und im Sommerhalbjahr eine Verschärfung von Niedrigwasserperioden in Dauer und Länge zu erwarten. Die Folgen des Niedrigwassers haben sehr weit reichende Auswirkungen. In Talsperren und Standgewässern sind in den letzten Jahren wiederholt Blaualgen aufgetreten, welche vor allem in wärmeren Gebieten der Erde vorkommen. Sie beeinträchtigen die Wasserqualität für unterschiedliche Nutzungen. Während der Dürreperiode im Jahr 2003 wurden bei Fischen bei anhaltender Niedrigwasserführung höhere Schadstoffbelastungen als erwartet festgestellt [SMUL, 2005].

#### 4.2.3 Wasserbewirtschaftung

Durch die Klimafolgen kann die Wasserwirtschaft zusätzlich mit Auswirkungen auf die sich beeinflussenden Bereiche Menge und Beschaffenheit konfrontiert werden. Mit einer Abnahme des Wasserdargebotes muss sich die Trinkwasserversorgung durch geeignete Bewirtschaftungsstrategien an die Veränderungen anpassen. Abwassereinleitungen in die Fließgewässer können insbesondere während der Niedrigwasserphasen für einen tolerierbaren Gewässerzustand zunehmend kritischer werden. Ursache hierfür ist die reduzierte Verdünnung mit Niederschlagswasser bei Kläranlagenabläufen. Die in der Folge höheren Stoffkonzentrationen in Gewässern haben eine erhöhte Gefährdung der Eutrophierung zur Folge. Verschärft wird dieses Problem durch die Zunahme der täglichen Sonneneinstrahlung, was bei fehlender bzw. ungenügender Verschattung des Gewässers eine weitere Zunahme der Eutrophierung zur Folge hat. In der Landwirtschaft kann der Aufwand zur Bewässerung steigen. Der Anbau bewässerungsbedürftiger Kulturen wird erschwert. Die Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Landschaft ist auch in diesem Zusammenhang positiv zu sehen. Mit geringeren Abflüssen aus den Einzugsgebieten kann der Nährstoffeintrag in die Gewässer

derart zurückgehen, dass neben den Frachten auch die Konzentrationen abnehmen [SMUL, 2005].

Die Trinkwasserversorgung der Stadt Chemnitz erfolgt durch die Talsperren Eibenstock, Muldenberg, Carlsfeld, Einsiedel, Saidenbach, Neunzehnhain I und II, Rauschenbach und Lichtenberg. Die Frage, ob die Versorgung der Stadt Chemnitz unter den Bedingungen des Klimawandels mit den vorhandenen Anlagen dauerhaft gewährleistet ist, wird derzeit kontrovers diskutiert (Stadtratsantrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN vom 7. April 2007 zur Optimierung der Trinkwasserversorgung). So wird seitens der Stadtverwaltung, unterstützt durch die Stadtwerke Chemnitz AG, in Erwägung gezogen, eine Fernwasserleitung nach Tschechien zu bauen, um Rohwasser aus der Preßnitztalsperre zu beziehen. Gegner des Vorhabens argumentieren, dass durch die geographische Lage und den vorausschauenden Bau der genannten Talsperren in der Vergangenheit im Regierungsbezirk Chemnitz ein Überangebot an Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung besteht. Aufgrund des Rückganges von Industrie und Bevölkerung sowie durch umfassende Wassersparmaßnahmen und Investitionen in den Rohrleitungsbau zur Verhinderung von Wasserverlusten ist die Abgabe von Rohwasser aus dem sächsischen Talsperrenverbund auf ca. 50 % im Vergleich zu Vorwendezeiten gesunken. Das in den Talsperren der Region zur Verfügung stehende Rohwasser soll ausreichen, die Bevölkerung in der Region zu jeder Zeit - auch unter den Bedingungen des Klimawandels - hinreichend mit Trinkwasser zu versorgen. Weiterhin wird argumentiert, dass das Talsperrensystem Osterzgebirge noch durch Wasser aus der bei Český Jiretín (Georgendorf) gelegenen Talsperre Fláje ergänzt werden kann, was ohne den Bau einer Fernwassertrasse möglich wäre.

In der Teichwirtschaft bedeutet zum Ausgleich von Versickerungs- und Verdunstungsverlusten fehlendes Wasser eine Zunahme der Gefahr der Notbefischung. Die Folgen können die Aufgabe unrentabler Teiche sein. Für die Teichfüllung im Februar/März sind zunehmende Restriktionen nicht zu erwarten. Im Wasserbau ist bei Veränderung von minimalen und maximalen Abflussverhältnissen die Anpassung von Bemessungsgrößen zu überdenken (Fischaufstiegshilfen, Deiche, Brückendurchlässe). Für die Bemessungsanforderungen an die Stadtentwässerung (Hydraulik, Stoßbelastungen) sind Untersuchungen zur Veränderung der Starkniederschläge notwendig. Veränderungen im Abflussregime der Fließgewässer bedingen Veränderungen der natürlichen Gewässerbettmorphologie und -dynamik. Fließge-

wässerentwicklungspläne müssen Maßnahmen zur Gewährleistung natürlicher Abflussverhältnisse berücksichtigen [SMUL, 2005].

Besonders gefährlich ist darüber hinaus der Anstieg des Meeresspiegels auf 450 m NN.

### **4.3 Schutzgut Boden**

Der Boden umfasst die oberste belebte Zone der Erdkruste. Er ist Durchdringungsgebiet und Produkt der komplexen Wirkungen von Atmosphäre, Lithosphäre, Biosphäre und Hydrosphäre. Diese lösen im bodenbildenden Substrat Prozesse aus, die zu bestimmten Horizontabfolgen, den Bodentypen, führen.

Der Boden ist Träger vielfältiger Funktionen, die in der Ökosphäre von wesentlicher Bedeutung sind. Diese können zusammengefasst werden zu (Scheffer/Schachtschabel):

- **Regelungsfunktionen:** Böden regeln die natürlichen und vom Menschen beeinflussten Kreisläufe von Wasser, Luft, organischen und mineralischen Stoffen. Sie filtern, puffern, transformieren und speichern Stoffe. Böden sind ein entscheidendes Glied im ständigen Fluss der Energie und Stoffe in Ökosystemen.
- **Lebensraumfunktionen:** Böden sind Lebensgrundlage und Lebensraum für Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen.
- **Produktionsfunktionen:** Böden sind die Grundlage für die landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung. Sie werden als Rohstofflieferanten für Ton, Sand, Kies, Kalk u. a. genutzt.
- **Geschichtliche Funktionen:** Als Bestandteile von Landschaften sind Böden ein Archiv der Landschaftsgeschichte, in dem auch die Einflüsse des Menschen dokumentiert sind.

In städtisch-industriellen Verdichtungsräumen treten sowohl Relikte von Böden natürlicher Entwicklung auf als auch anthropogen veränderte Böden natürlicher Entwicklung, Böden umgelagerter natürlicher Substrate und auch Böden technogener Substrate wie Bauschutt, Müll, Schlacken und Schlämme sowie Gemische aus den genannten Substraten nebeneinander auf [Blu 1]. Außerdem ist ein beträchtlicher Anteil der Böden von Gebäuden, Plätzen und Straßen überbaut und damit versiegelt. Da naturbelassene Böden im Stadtgebiet nur noch reliktsch vorkommen, sind diese im Hinblick auf die genannten vielfältigen Funktionen von besonderer Bedeutung insbesondere auf Grün- und Erholungsflächen oder bei gärtnerischer Nutzung.

#### 4.3.1 Bodentypen im Untersuchungsgebiet

Das Stadtgebiet Chemnitz liegt zu einem großen Teil im Chemnitzer Rotliegend-Becken. Am Südost beginnen die metamorphen Gesteine der geologischen Einheiten des Erzgebirges (Phyllit, Glimmerschiefer, Gneis). Auch der Rabensteiner Höhenzuges besteht mit Glimmerschiefer aus metamorphem Gestein.

Durch Verwitterung der Ausgangsgesteine haben sich skelettreiche Konglomerat-Braunerden über Rotliegendem und Schiefer-Braunerden über metamorphem Gestein mit mittlerer Nährkraft gebildet. Der Boden ist bei größeren Hangneigungen als Hanglehm-Braunerde, über Glimmerschiefer auch als Hanglehm-Podsol-Braunerde, ausgebildet. Löss- und Lösslehmbedeckungen sind in relevanter Mächtigkeit sind lokal im Stadtgebiet und vor allem am Nordrand bis zum Rabensteiner Höhenzug vorhanden. Hier bildeten sich Löss-Staugleye. Der Auelehm in den Flusstälern von Würschnitz, Zwönitz und Chemnitz ist ebenfalls als Staugley ausgebildet.

Im Stadtgebiet lassen sich neben den reliktsch vorkommenden naturbelassenen Böden drei weitere Gruppen von Böden unterscheiden:

- versiegelte Böden,
- veränderte Böden natürlicher Entwicklung,
- Böden anthropogener Aufträge natürlicher Substrate, technogener Substrate oder Mischungen derselben.

Unter versiegelten Böden versteht man überbaute bzw. bedeckte Böden. Die Versiegelung behindert das Eintreten von Niederschlagswasser, den Luftaustausch und den Bewuchs. Restböden unter totaler Versiegelung sind fossilisiert. Veränderungen natürlicher Böden erfolgen in Städten z. B. durch Grundwasserabsenkungen (Wassergewinnung, Baumaßnahmen, geringe Grundwasserneubildung), Störung der Horizontierung, Verdichtung und Oberflächenverkrustung, Eutrophierung, Alkalisierung, Schadstoffbelastung oder Leckagen an Gasleitungen. Bei Aufschüttungen handelt es sich oft um Bodenaushub und Bauschutt, aber auch um Gleisschotter, Bergehalden und andere technogene Substrate.

#### 4.3.2 Bodenwasserhaushalt

Der Bodenwasserhaushalt städtischer Gebiete ist i. d. R. mehr oder weniger stark anthropogen beeinflusst. Flächenversiegelungen führen zu einer deutlichen Abnahme der Sickerwas-

serrate und der Grundwasserneubildung. In Verbindung mit der Grundwasserentnahme zur Trink- und Brauchwassernutzung und im Rahmen von Baumaßnahmen resultiert eine Absenkung des Grundwasserspiegels. Vernässungsbereiche wurden drainiert und nutzbar gemacht. Insbesondere auf gärtnerischen Nutzflächen wird eine Bewässerung durchgeführt. Die anthropogene Beeinflussung führt jedoch insgesamt zu einer Verknappung des Bodenwasserangebots. Die zu erwartende deutliche Verringerung der klimatischen Wasserbilanz wird diese Mangelsituation noch verstärken.

In den letzten Jahren wechselten sich Sommer mit immer neuen Hitzerekorden mit solchen durchschnittlicher Temperaturen ab. Die Zunahme heißer, trockener Sommer in Sachsen gekoppelt mit einem Niederschlagsrückgang in der Vegetationsperiode hat eine immer umfassendere Ausschöpfung des Bodenwassers zur Folge (siehe Kapitel 4.2.1). Ist der Untergrund ausgetrocknet, wird die Verdunstung unterdrückt, was zu einem noch stärkeren Aufheizen der Luft führt. Der Bodenfeuchtebereich des Permanenten Welkepunktes wird häufiger und auch in größerer Tiefe erreicht, so dass die Vegetation häufiger unter Trockenstress leiden wird. Pflanzenarten, die ihre Transpiration in trockenen Zeiten nicht in ausreichendem Maße durch Schließen der Spaltöffnungen regulieren können, werden verschwinden. Auf Standorten mit oberflächennahem Grundwasserstand, der nicht unmittelbar mit der Vorflut verbunden ist oder von Grundwasserentnahmen beeinflusst wird, wird der Grundwasserstand absinken, so dass Bodenbereiche, in denen bisher anaerobe Bedingungen herrschten, in den aeroben Zustand fallen. Damit gehen Veränderungen des Chemismus bis hin zu Stoffeinträgen in das Grundwasser einher. Langfristig werden bodenbildende Prozesse zur Umentwicklung des Bodentyps führen.

Die zunehmende Variabilität im Klima (Niederschlag, Temperatur) von Jahr zu Jahr wird das eigentliche Problem des Klimawandels darstellen. An relativ konstante Verhältnisse können sich die Natur sowie Land-, Forst- und Wasserwirtschaft anpassen, sprunghafte Änderungen allerdings machen eine Anpassung in den einzelnen Bereichen schwierig. Der Boden- und Grundwasserhaushalt nimmt zur Bewertung der Auswirkungen der klimatischen Veränderungen eine Schlüsselstellung ein. Da die Grundwasserneubildung hauptsächlich im Winterhalbjahr stattfindet, war in den letzten Jahrzehnten bei zunehmenden Winterniederschlägen und geringerer Frostgefährdung der Böden ein Zunahmetrend bei der Grundwasserneubildung zu beobachten [SMUL, 2005]. In den Sommer- und Herbstmonaten werden die Sickerwasserrate und damit die Grundwasserneubildung dagegen immer häufiger gegen Null ge-

hen. Nach einer aktuellen Studie [Klöß 09] geht die Sickerwasserrate auf Ackerstandorten im Raum Chemnitz um 23 % bis 48 % des Istzustandes zurück (Tab. 13). Für Nadelwaldstandorte im Raum Chemnitz wurde ein Rückgang um 35 % bis 93 % des Istzustandes prognostiziert. Insbesondere auf Waldstandorten wird dem Boden aufgrund der ansteigenden Verdunstung Wasser entzogen, die Problematiken Dürre und Grundwasserneubildung werden verschärft. Die Grundwasserneubildung wird besonders auf Standorten mit guter Nährstoffversorgung unter Wald zurückgehen.

Tab. 13: Zusammenfassung der Ergebnisse der Bodenwasserhaushaltsmodellierungen für die Station Chemnitz in [Klöß 09]

<b>ΔA/PT auf Acker</b>	<b>ΔA/PT auf Nadelwald</b>
1 – 17 %	10 – 18 %
<b>Δ SWR</b>	<b>Δ SWR</b>
23 – 48 %	35 – 93 %

mit **ΔA/PT** Verhältnis zwischen aktueller und potenzieller Transpiration (entspricht dem Trockenstress)  
**Δ SWR** Sickerwasserrate

Im Rahmen des LfULG-Projektes „Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt in Sachsen“ (Auftragnehmer: Büro für Angewandte Hydrologie, Dr. Klößing) wurden für die sächsischen DWD-Stationen, darunter auch Chemnitz, Prognosen für die Änderung bodenwasserhaushaltlichen Verhältnisse bis 2100 erarbeitet. Dazu wurden für jeden DWD-Standort 6 repräsentative Bodenformen sowie 4 Landnutzungsformen (Acker-, Grünland, Laub-, Nadelwald) betrachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse kurz zusammengefasst.

- Die Wasserversorgung für Pflanzen (AT/PT-Index) wird insbesondere durch die Zunahme an Trockenjahren eingeschränkt. Betroffen sind flachgründige und skelettreichen Böden mit geringer nutzbarer Feldkapazität (<120 mm). Prognostiziert wird eine Zunahme von Grenzertragsböden, gegebenenfalls ist eine Kompensation durch angepasste Fruchtfolgen/Sorten und den CO<sub>2</sub>-Effekt möglich.
- In Waldbeständen sind mit angepassten Baumarten und geringeren Bestockungsdichten ebenfalls Kompensationen möglich.



- Auf den Lössböden (hohe nFK) ist auch künftig eine ausreichende Wasserversorgung der Vegetation zu erwarten (Trockenstress sehr selten).
- Die Sickerwasserraten gehen erheblich zurück, insbesondere auf den Böden mit hoher nFK, z.B. Lössböden von 240 auf 160 (feu) - 80 (tro) mm im Jahresmittel. Dies führt zu 60-30% weniger Grundwasserneubildung. Die Szenarien „feucht“, „normal“ und „trocken“ weisen in die gleiche Richtung, sind jedoch bezüglich ihres Ausmaßes unterschiedlich.

#### 4.3.3 Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit

Ein ausreichender Humusgehalt (organische Bodensubstanz) ist die Voraussetzung für die nachhaltige natürliche Bodenfruchtbarkeit. Der Humus beeinflusst viele Bodeneigenschaften, die auf die Ertragsfähigkeit, Bearbeitbarkeit, Erosionsanfälligkeit und auch auf die Filter- und Pufferfunktion einwirken. Der Humusgehalt hat eine große Bedeutung u. a. für die Bodenstruktur, als Nährstoffspeicher und in der Nährstoffdynamik. Der Humusumsatz ist von verschiedenen Faktoren wie der Witterung (Temperatur, Niederschlag, ...), vom Boden (z.B. Sandgehalt) und der Bewirtschaftung abhängig [SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2005].

Der Humusumsatz ist am intensivsten bei mittleren Feuchtigkeitsverhältnissen, guter Durchlüftung des Bodens, optimaler Temperatur und neutraler bis schwach alkalischer Reaktion [SCHROEDER 1992]. Der Temperaturanstieg bewirkt eine Abnahme des Humusgehaltes im Boden durch die CO<sub>2</sub>-Freisetzung und eine Erhöhung der N<sub>2</sub>O-Emissionen auf Grund der mineralisierten N-Äquivalente aus dem Humus. Verstärkt wird dies durch die tendenzielle Abnahme des Vegetationsbedeckungsgrades vor allem bei Grünlandnutzung städtischer Anlagen, weil die Bodenoberfläche eine größere Einstrahlung erhält und sich damit stärker erwärmt. Durch die vom Humusumsatz erzeugten Emissionen kann es zum einem Rückkopplungsprozess kommen und der Klimawandel weiter verstärkt werden [LFULG, 2009A]. Der Humusabbau führt zu Nährstoffarmut und wertet den Boden dauerhaft ab.

#### 4.3.4 Erosionsgefährdung

Für das Einsetzen von Erosion ist das Auftreten von Extremereignissen (Niederschläge in entsprechender Menge oder Intensität, Stürme) oder ungünstigen Standortbedingungen (ausgetrocknete Böden, feinsandreiche Böden, windoffene Landschaften) verantwortlich. Für Wassererosionen infolge von Niederschlägen gelten als Richtwert eine Menge von 7,5 l/m<sup>2</sup>

oder eine Intensität von  $5 \text{ l/m}^2 \times \text{h}$ . Wassererosionsgefährdet sind insbesondere konventionell mit dem Pflug bestellte schluff- und feinsandreiche Ackerflächen direkt nach der Saatbettbereitung bis zur Ausbildung eines schützenden Pflanzenbestandes (Stabilisierung Bodengefüge durch Pflanzen) [LFULG, 2009A]. Die ertragreichen Lössböden nördlich des Stadtgebietes sind besonders erosionsgefährdet. Bindige Böden, die an der Oberfläche stark ausgetrocknet sind, können Starkniederschläge nicht in ausreichendem Maße aufnehmen, woraus eine starke Erosion durch Oberflächenwasser resultieren kann.

Schäden im Bodenabtragsbereich durch Wind- und Wassererosion [LFULG, 2009A]:

- Verkürzung der Bodenprofile
- Verarmung an Humus und Feinbodenteilchen
- Beeinträchtigung der Bodenfunktion (z. B. Filter-, Puffer- und Speicherfunktion für Nährstoffe und Niederschlagswasser)
- Verletzung, Entwurzelung und Vernichtung von Kulturpflanzen
- Verlagerung bzw. Verfrachtung von Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln

Schäden im Bodenauftrags- bzw. Ablagerungsbereich durch Wind- und Wassererosion [LFULG, 2009A]:

- Konzentration von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
- Überdeckung von Pflanzen
- Verschmutzung von Verkehrsflächen, Siedlungen und Gräben
- Eintrag von Sedimenten, Nähr- und Schadstoffen in Gewässer

Die durch den Klimawandel bedingte ungünstige Wasserversorgung der Pflanzen (Trockenstress) führt zu einem geringeren Pflanzenbedeckungsgrad. Gemeinsam mit verstärkt auftretenden Extremereignissen steigt das Risiko der Wind- und Wassererosion stark durch den Klimawandel an.

Starkregen muss hinsichtlich der Erosion in Wechselwirkung mit der Witterungsgeschichte gesehen werden [Böt 09]:

- Erntezeitrisiken: nach der Ernte im Zustand der Schwarzbrache ist die landwirtschaftliche Nutzfläche besonders erosionsgefährdet, Starkregenereignisse können leichter Boden abtragen

- Ernteschäden: Starkregen führen nicht nur zum Bodenabtrag, sondern können den Ertrag einer landwirtschaftlichen Nutzfläche schmälern (Bsp.: Getreide vor der Ernte)
- Erosionsschäden (Wassererosion, Überschwemmung, Winderosion bei stark ausgetrockneten Bodenoberflächen) durch Starkregenereignisse
- Eingeschränkte Feldbefahrbarkeit nach Starkregenereignissen

Die Relevanz der Einflussfaktoren auf die Erosion von landwirtschaftlichen Nutzflächen wurde in [Mic 09] untersucht (Abb. 35). Insbesondere der Anfangswiderstand ist stark von den klimatischen Vorbedingungen abhängig. Ist die oberflächennahe Bodenfeuchte geringer als Feldkapazität, aber nicht noch nicht im Bereich des Permanenten Welkepunktes, ist die Infiltrationskapazität des Bodens gut, d. h. es ist auffüllbarer Porenraum vorhanden und gleichzeitig ist die Wasserleitfähigkeit gegeben. Letzteres ist nicht der Fall, wenn bindiger Boden an und nahe der Oberfläche sehr trocken ist, so dass größere Wassermengen an der Oberfläche abfließen müssen. Ist insbesondere bindiger Boden aufgrund der meteorologischen Vorgeschichte sehr nass (>Feldkapazität), steht zuwenig Porenraum zur Verfügung, was ebenfalls zu Oberflächenabfluss und Erosion führt.

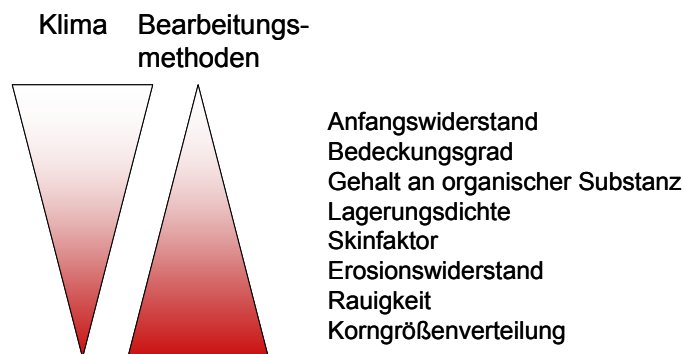


Abb. 35: Abhängigkeit der Einflussfaktoren der Bodenerosion durch Wasser von Klima und Bodenbearbeitung [Mic 09]

#### **4.3.5 Zusammenfassung**

Die Folgen des Klimawandels lassen sich beim Schutzgut Boden in Bezug auf den Bodenwasserhaushalt folgendermaßen zusammenfassen:

- durch häufiger auftretende Starkregenereignisse wird weniger Wasser im Boden infiltrieren (Anteil des Oberflächenabflusses steigt), bei Böden mit einer hohen nutzbaren

Feldkapazität gehen die Sickerwasserraten und damit auch die Grundwasserneubildung erheblich zurück (z.B. Lössboden, siehe Abb. 34)

- während der Vegetationsperiode wird weniger pflanzenverfügbares Wasser vorhanden sein
- Bodenwassergehalte um den Permanenten Welkepunkt werden öfter erreicht (Zunahme der Hydrophobizität führt zu Oberflächenabfluss und Erosion; in tonreichen Böden öfter Trockenrissbildung)
- die langjährige mittlere klimatische Wasserbilanz wird im langjährigen Mittel um 125-150 mm/a abnehmen (siehe Abb. 31), dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Jahren mit negativer klimatischer Wasserbilanz (siehe Abb. 32)
- Böden mit hohen Vernässungsgraden werden weniger stark vernässen
- oberflächennahe Grundwasserstände können zurückgehen, Oxidation führt zu Stoffeintrag in das Grundwasser
- geringerer Humus- und Stickstoffgehalt im Boden führt zur Entwertung des Bodens
- Erhöhung des Risikos von Wasser- und Winderosionen

#### **4.4 Schutzgut Luft**

Die Eigenschaften des Schutzgutes Luft werden im Zuge des Klimawandels unmittelbar verändert. Dies gilt z. B. für Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit. Darüber hinaus sind Veränderungen der Luftqualität zu erwarten, die sekundär aus den veränderten klimatischen Bedingungen resultieren.

Zunächst besteht die Möglichkeit der Zunahme der Häufigkeit von Bedingungen, welche Smog begünstigen. Allgemein werden zwei Typen von Smog unterschieden: der Wintersmog (London-Typ) und der Sommersmog (Los-Angeles-Typ). Zur Entstehung von Wintersmog ist eine längerandauernde Inversionswetterlage erforderlich, die in den Spätherbst- und Wintermonaten während ausgeprägter Hochdruckwetterlagen entstehen und den Luftaustausch über größeren Städten wie Chemnitz behindern kann. In einer solchen Situation ist eine vertikale Luftbewegung nicht möglich und die horizontale Luftbewegung wird im Falle der Stadt Chemnitz durch die umliegenden Höhenzüge behindert (Rabensteiner Höhenzug im Nordwesten, Erzgebirgsnordrand im Süden und Osten). Der Abzug der Luftmassen ist in solchen Situationen vorrangig nach Norden entlang des Tals der Chemnitz möglich. Da jedoch nur geringe Windgeschwindigkeiten vorhanden sind, ist auch diese Möglichkeit begrenzt.

Da die Ausbildung von Inversionsschichten von vielen Faktoren abhängt, deren Veränderungen im Zuge des Klimawandels nicht bekannt sind, sind Aussagen zur Häufigkeit deren Auftretens schwierig. Es ist jedoch bekannt, dass zur Ausbildung einer Inversionsschicht ausgeprägte und längerandauernde Hochdruckwetterlagen erforderlich sind (Bodeninversion, Höheninversion). Weiterhin begünstigen geringe Temperaturen die Ausbildung von Inversionsschichten (Bodeninversion). Die Häufigkeit von Frosttagen wird abnehmen, womit eine Ursache für den Wintersmog seltener vorhanden sein wird. Die Auswertung der bisher stattgefundenen klimatischen Situation ergab weiterhin eine Abnahme der Häufigkeit von zonalen Westwindwetterlagen zugunsten der Südwestwindwetterlagen. Letztere können im Lee des Erzgebirges zu Föhneffekten führen, welche die Ausbildung stabiler Inversionsschichten behindern. Damit sollte die Häufigkeit und Intensität von Wintersmog bei gleichbleibender Schadstoffemission im Stadtgebiet Chemnitz im Zuge des Klimawandels eher ab- als zunehmen.

Für den zweiten Typ, den Sommersmog, gilt das Gegenteil. Sommersmog tritt in den warmen Monaten des Jahres auf, wenn die einfallende UV-Strahlung in Verbindung mit Sauerstoff und Luftschadstoffen wie Stickoxiden, Kohlenmonoxid und organischen Verbindungen zu einer Erhöhung von Photooxidantien in der Luft führt. Dabei handelt es sich unter anderem um Ozon und Salpetersäure, welche die Gesundheit der Bevölkerung beeinträchtigen und toxisch auf Flora und Fauna wirken. Voraussetzung für den Sommersmog ist eine stabile Hochdruckwetterlage mit geringer Luftbewegung und eine starke Einstrahlung. Da im Zuge des Klimawandels mit einer deutlichen Erhöhung der Sonneneinstrahlung und der Häufigkeit ausgeprägter Sommertage zu rechnen ist, wird auch die Häufigkeit von Sommersmog bei gleichbleibender Schadstoffemission zunehmen. Insgesamt ist mit einer Erhöhung der Konzentration an bodennahem Ozon während der Sommermonate zu rechnen. Die Häufigkeit von Tagen mit hoher Ozonkonzentration wird ebenso zunehmen. Dies gilt für das im Tal gelegene Stadtzentrum ebenso wie für die Randbereiche der Stadt.

Weiterhin ist entsprechend den Ausführungen zur Winderosion in Abschnitt 4.3.4 mit einer Erhöhung der Staubbelastung insbesondere in Trockenperioden zu rechnen. Dies beeinträchtigt zwar die allgemeine Luftqualität, da die Staubpartikel jedoch als stofflich neutral einzustufen sind, sind Folgen für die menschliche Gesundheit im Wesentlichen nicht zu erwarten.

Die zunehmende Erwärmung ist mit einem verstärkten Abbau organischer Substanz, z. B. von Huminstoffen im Boden, verbunden. Dies führt zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>- und Methankonzentration in der Luft. Diese Konzentrationen werden jedoch in einem Bereich bleiben, in dem keine unmittelbaren negativen Folgen für die Gesundheit oder andere Schutzgüter zu erwarten sind.

Zusammenfassend kann dargestellt werden, dass die zu erwartenden klimatischen Veränderungen zu einer Beeinträchtigung des Schutzgutes Luft führen werden. Wenngleich der Wintersmog weniger häufig und weniger intensiv auftreten wird, weil typische winterliche Inversionswetterlagen an Häufigkeit abnehmen, ist mit einer deutlichen Verschärfung der sommerlichen Smogsituation und damit mit einer Erhöhung der bodennahen Ozonkonzentration zu rechnen. Weiterhin wird die Staubbelastung der Luft zunehmen.

#### **4.5 Schutzgüter Fauna und Flora – Biologische Vielfalt**

Klimaänderungen werden mittlerweile als eine der Hauptursachen für das Aussterben von Arten und den Rückgang der biologischen Vielfalt (Biodiversität) angesehen. Kälteempfindliche und feuchtigkeitsliebende Arten werden verschwinden und wärmeliebende Arten einwandern. Gebietsansässige heimische Arten werden durch die Zuwanderung neuer eingeschleppter oder eingebrachter Arten aus anderen Bereichen (Neobiota) einer neuen Konkurrenzsituation unterliegen. Als Folge des Klimawandels wird nach Expertenmeinung der Verlust von Tier- und Pflanzenarten auf bis zu 30 % geschätzt. Insbesondere spezialisierte Arten mit geringer Standorttoleranz sind gefährdet.

Ein größerer Ausfall von Populationen einer Art führt zur Verarmung des Genpools und damit wiederum zu verringerter Anpassungsfähigkeit. Sind mehrere Arten betroffen, kann sich das ökologische Systemgefüge destabilisieren, die Produktivität des Ökosystems wird erheblich eingeschränkt. Bei dieser räumlichen und zeitlichen Entmischung bestehender Artengemeinschaften werden weniger mobile Arten besonders in Mitleidenschaft gezogen. Die Klimaveränderungen im Verlauf der letzten 30 Jahre haben bereits deutliche Auswirkungen auf Zug- und Brutverhalten sowie auf Artenzusammensetzung und Verbreitungsgebiete von Vögeln in ganz Deutschland. Bei einigen der Arten wurden als Veränderung gegenüber dem früheren

Brutverhalten auch ein früherer Legebeginn und Mehrfachbruten festgestellt, teilweise wurde gleichzeitig auch eine höhere Gelegegröße und ein höherer Schlupferfolg beobachtet.

Die Vegetationsentwicklung in den gemäßigten Breiten wird maßgeblich durch Temperatur und Niederschlagsverhalten gesteuert. Die Mitteltemperatur der Monate Februar bis April erweist sich dabei als entscheidend für den alljährlichen Beginn der Vegetationsperiode. Infolge des generellen Anstieges der Mitteltemperaturen von Februar bis April in den vergangenen 50 Jahren in Europa kann auch in Deutschland bzw. in Sachsen eine deutliche Verfrühung bzw. Verlängerung der Vegetationsperiode beobachtet werden.

#### **4.5.1 Pflanzenkrankheiten, Unkräuter und tierische Schaderreger**

Die Klimatischen Veränderungen werden sich auf das Risiko durch Pflanzenkrankheiten, Unkräuter und Schädlinge auf die Flora und Fauna (sowie landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Kulturen) auswirken. Die Auftretswahrscheinlichkeit und Schadensschwere ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig, wie vom Standort, der Anbaustruktur, der Bewirtschaftung und der Züchtung. Durch die steigenden Temperaturen in Verbindung mit dem Trockenstress verändert sich das Spektrum an Krankheitserregern und deren Bedeutung. Neben dem Vorhandensein des Krankheitserregers entscheiden vor allem die Umweltfaktoren („geschwächtes Immunsystem“) darüber, ob es zum Ausbruch der Krankheit kommt. Umweltfaktoren, die den Krankheitsausbruch begünstigen, sind z. B. Hitze- und Kältestress, heftige Regenfälle, Schadstoffe, UV-Strahlung und eine mangelhafte Ernährung der Flora und Fauna. Die wärmeren Temperaturen werden einzelne Pathogene fördern und andere auch wieder schwächen [LFULG, 2009A].

Begünstigt werden durch den Klimawandel vor allem Wärme liebende Krankheiten, denen kurze Feuchte- oder Tauphasen zur Ausbreitung ausreichen. Dies belegen auch langjährig durchgeführte Schaderregerstudien zum Pflanzenschutz in Sachsen.

Bei der Kartoffel ist beispielweise eine Zunahme der Alternaria-Dürrfleckenkrankheit (*Alternaria solani*) feststellbar [Kraatz 2007].

#### **4.5.2 Biologische Vielfalt**

Die Zusammensetzung von Flora und Fauna in Städten unterscheidet sich stark von der des Umlandes. Die biologische Vielfalt muss deshalb nicht zwangsläufig geringer sein als im Umland. So kommen in Städten Pflanzengesellschaften vor, die im Umland seltener sind (Ruderalfluren, Trittgemeinschaften, Mauerspaltengesellschaften, Gesellschaften auf salzhaltigen

oder schwermetallreichen Böden u. a.). In Parks und Gärten werden vor allem fremdländische Baum- und Straucharten angepflanzt. Städtische Kulturfolger wie Stadttaube, Mauersegler, Dohle, Turmfalke, Hausrotschwanz oder Haussperling als Beispiel für die Artengruppe der Vögel bereichern die Fauna. Das kleinflächig stark inhomogene Mosaik an unterschiedlichen Standorten erhöht die biologische Vielfalt.

Durch den Klimawandel wird das Aussterben einer Vielzahl von Spezies beschleunigt. Einige Regionen mit der größten Artenvielfalt weltweit sind bereits betroffen. Extremereignisse wie Dürren oder auch nur kleine Veränderungen der Durchschnittstemperatur können dafür sorgen, dass ein Ökosystem, das auf der gegenseitigen Abhängigkeit Tausender von Spezies beruht, gestört wird. Der Klimawandel wird dafür sorgen, dass eine Migration der Fauna und Flora einhergeht. Benachteiligt ist dabei die Flora und Fauna, die sich langsam entwickelt (längere Generationszeiten) wie z. B. langsam wachsende Wälder. Für einige Arten sind alle Fluchtwege versperrt, da sie durch die landwirtschaftliche und städtebauliche Entwicklung eingekreist sind oder isoliert vorkommen. Die Schaffung von Korridoren ist ein Schwerpunkt des Naturschutzes [DOW & DOWNING 2007].

Tendenziell führt der Klimawandel also voraussichtlich zu einem Verlust an Biodiversität. Als Folge werden sich funktional einfachere Ökosysteme bilden. Einige Ökosysteme, z. B. Moore und Feuchtgebiete, werden völlig zusammenbrechen. Generalisten unter den Arten werden vorherrschen. Die Ansiedlung exotischer Arten (Neozoen, Neophyten) wärmerer Klimazonen, die in Städten aufgrund der vorhandenen Verbreitungswege und des Stadtklimas zügiger vorangeht als in ländlichen Gebieten, wird durch die prognostizierte Erwärmung weiter begünstigt. Die Leistung der Ökosysteme – als Beispiel seien die Waldfunktionen genannt (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion) – werden sich verschlechtern. Die Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme an eine veränderte Umwelt wird abnehmen. Daraus wird deutlich, dass in Zukunft noch mehr Wert auf einen verträglichen Umgang mit der natürlichen Umwelt und die Nachhaltigkeit deren Bewirtschaftung gelegt werden muss als dies bisher der Fall ist.

#### **4.5.3 Städtische Grünflächen und Gehölzbepflanzung**

Das Baumkataster der Stadt Chemnitz beinhaltet Einzelbäume an Straßenrändern, Wegen, in Parks, Friedhöfen und auf Grünflächen. Größere Parks im Stadtgebiet sind der Küchwaldpark, der Parkwald am Zeisigwald, der Schönherrpark mit Schlossteich, der Crimmitschauer



Wald im Bereich Klinikum Küchwald, der Stadtpark zwischen Annaberger und Zwickauer Straße, der Stadtpark Chemnitz zwischen Annaberger Straße und Südring und der Schillerplatz. Größere Friedhöfe sind der Städtische Friedhof, der Trinitatisfriedhof und der Nikolai-friedhof.

Städtische Grünflächen und Gehölze erfüllen eine wichtige ausgleichende Funktion. Den negativen Auswirkungen des Stadtklimas und des zu erwartenden Klimawandels wirkt der Grünland- und Gehölzbewuchs entgegen, wenngleich eine vollständige Kompensation nicht möglich ist. Die Wirkmechanismen sind folgende:

- die höhere Verdunstung entzieht der Luft Wärme, so dass eine gewisse Abkühlung erreicht wird,
- durch die Beschattung wird eine starke Erwärmung der bodennahen Luft verhindert,
- durch die Beschattung wird die Erwärmung des Bodens und damit der temperaturbedingte Stoffabbau reduziert,
- die Belaubung filtert Staub aus der Luft,
- von Parks und Grünflächen geht eine Erholungswirkung aus.

Das Schutzgut selbst wird durch den Klimawandel negativ beeinflusst. Der Erwärmung kann durch die gezielte Auswahl von Arten entgegengewirkt werden. Hier werden sich vermehrt dürreresistente, aber winterharte einheimische und fremdländische Arten eignen. Sturm-schäden sind dagegen nicht zu vermeiden. Insgesamt sollte aufgrund der positiven Wirkung des Bewuchses jede Möglichkeit zur Anlage von Grünflächen und Gehölzbewuchs genutzt werden.

#### **4.6 Schutzgut Landschaft: Forst- und Landwirtschaft**

Das Klima ist ein wesentlicher Standortfaktor für die Land- und Forstwirtschaft. Damit muss sich die Landbewirtschaftung zwangsläufig an die veränderten klimatischen Bedingungen anpassen. Landwirte können gezwungen werden, andere Getreidesorten oder sogar völlig neue Produkte anzubauen bzw. Gebiete nicht länger landwirtschaftlich zu nutzen. Die Waldbewirtschaftung wird besonders unter dem Klimawandel leiden, da sie auf Langfristigkeit aufbaut und flexible Anpassungen nur sehr eingeschränkt möglich sind. Die Betroffenheit

des Schutzgutes wird bereits darin deutlich, dass die Produktivität der Vegetation in Europa während der Hitzeperiode 2003 um 30 % zurückgegangen ist [GW 07].

#### 4.6.1 Landwirtschaft

##### 4.6.1.1 Einfluss des Klimawandels

Mit den vorliegenden Klimaprojektionen ist es möglich, voraussichtliche Auswirkungen auf Acker- und Pflanzenbau aufzuzeigen. Faktoren, die die landwirtschaftlichen Erträge entscheidend beeinflussen, sind Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschläge und die Kohlendioxidkonzentration. Steigende Temperaturen und fehlende Niederschläge lassen außerdem mehr Pilze, Schädlinge und Unkräuter erwarten. So wird beispielsweise mit einem Anstieg der Rostkrankheit beim Wintergetreide und einem stärkeren Auftreten des Kartoffelkäfers gerechnet. Bereits im trockenen Sommer 2003 wurde die Ausbreitung der wärmeliebenden Saumpappel und Giftbeere beobachtet, beides Arten, die vor wenigen Jahren in Sachsen noch unbekannt waren. Häufige Extremniederschläge führen besonders in erosionsgefährdeten Gebieten zu einem weiteren Abtrag der Ackerkrume. Das Wasserspeichervermögen der Böden wird zunehmend zu einem ertragsbestimmenden Faktor.

Die Natur kennt keinen statischen Zustand, sie unterliegt einem stetigen Wandel. Der Klimawandel wird jedoch eine zeitlich sehr viel kurzfristigere Anpassung bzw. eine Veränderung der Ökosysteme zur Folge haben. Insbesondere die Arealgrenzen (ökologische Übergangsbereiche) werden eine schnelle Veränderung erkennen lassen.

Innerhalb der nächsten 50 Jahren soll die CO<sub>2</sub>-Konzentration bereits bei ca. 450-550 ppm (parts per million) gegenüber dem heutigen Wert von ca. 375 ppm liegen. Die zunehmenden atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalte wirken neben der Erwärmung der Erdatmosphäre ("zusätzlicher Treibhauseffekt") auch unmittelbar auf Pflanzen ein. Die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration erhöht das Pflanzenwachstum (sog. "CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt"). Dies wurde u. a. in einer Vielzahl von Untersuchungen mittels CO<sub>2</sub>-Begasung von Jungpflanzen der heimischen Baumarten nachgewiesen.

Zur Klärung der Auswirkungen der erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration führte das Institut für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig experimentelle Untersuchungen durch. In den Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass den positiven Wachstumseffekt erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auch eher nachteilige Effekte gegenüberstehen. In einigen Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich die Gehalte wichtiger

Makro- und Mikroelemente sowie weiterer Inhaltsstoffe unter zukünftigen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Szenarien verändern. Das FAL-Institut für Agrarökologie führte CO<sub>2</sub>-Anreicherungsversuche (550-650 ppm) mit Futterpflanzen (Weidelgras) und verschiedenen Getreidearten (Sommer- und Winterweizen und -gerste) durch. Die Versuche ergaben in den meisten Fällen eine Reduktion des Stickstoff(N)-Gehaltes (Rohproteingehaltes) sowohl im Weidelgras als auch in den Getreidekörnern (Größenordnung ca. minus 8%-15%). Das Ausmaß dieses N-Verlustes variierte je nach untersuchter Art. Weißklee, der ebenfalls untersucht wurde, reagierte nicht mit N-Qualitätsverlusten. Die Veränderung des C-/N-Verhältnisses kann dabei den Stoffumsatz der anfallenden pflanzlichen Rückstände beeinflussen, so dass der Streuabbau bzw. die Mineralisierung im Boden ungünstig beeinflusst wird [WEIGEL ET. AL. 2005].

Dass der positive Effekt des erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehaltes auf das Pflanzenwachstum nicht isoliert von allen anderen Wirkungen des Klimawandels betrachtet werden kann, wurde während der Dürreperiode 2003 deutlich. Während dieser Periode nahm die Produktivität der Vegetation stark ab, wodurch letztlich auch der CO<sub>2</sub>-Verbrauch der Pflanzen zurückging [GW 07].

#### 4.6.1.2 Ertragsentwicklung im Raum Chemnitz

##### Winterweizen

Der Anbau von Winterweizen ist in Sachsen die wichtigste Fruchtart. Mit einem jährlichen Ertragszuwachs von 0,85 dt/ha erreichte der Winterweizen von allen Marktfruchtkulturen den höchsten jährlichen Zuwachs seit 1955. Aus der Abb. 36 kann entnommen werden, dass dieser positive Trend der Ertragsentwicklung (Ertragshöhe und Wachstumsrate) bisher ununterbrochen anhält.

Im stärker vom Klimawandel beeinflussten Zeitraum von 1992 bis 2007 nahmen die Ertragschwankungen im Vergleich zum Zeitraum 1955 bis 1991 deutlich zu. Die Schwankungen sind zu 80...90 % auf ungleiche Witterungsbedingungen zurückzuführen [Böt 09]. Das Jahr 2003 mit sehr niedrigen und 2004 mit sehr hohen Erträgen tragen maßgebend zu den Schwankungen bei [LFULG, 2009A].

Ertragsentwicklung von Winterweizen im Regierungbezirk Chemnitz 1955-2006

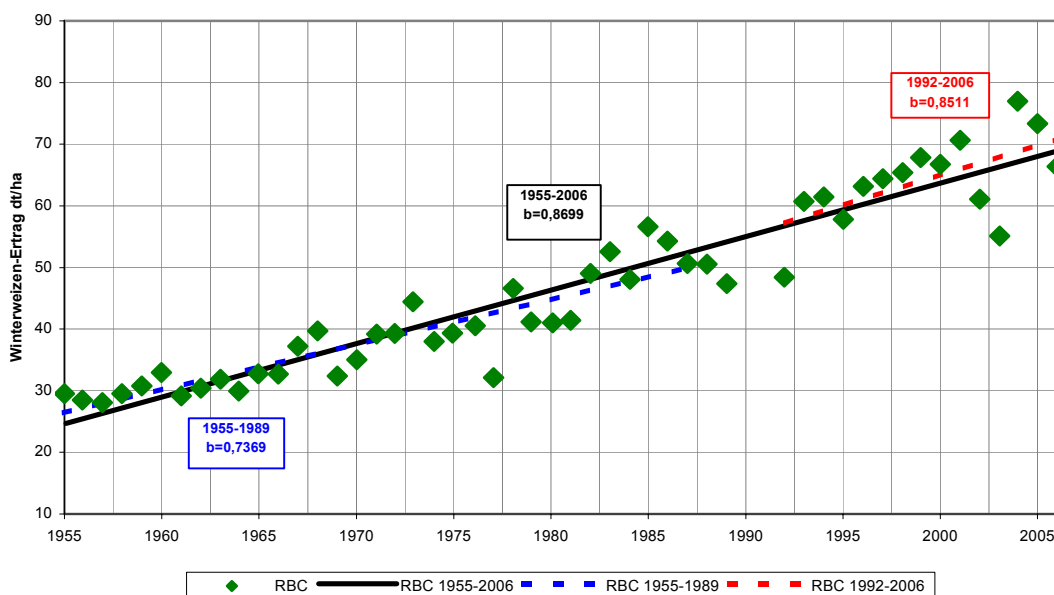


Abb. 36: Ertragsentwicklung von Winterweizen im RB Chemnitz [LFULG 2009A]

## Wintergerste

Im Vergleich zu Winterweizen nahm der Ertrag von Wintergerste mit jährlich 0,71 dt/ha im Zeitraum 1955-2006 etwas geringer zu. Die Ertragsvariabilität wird zum Teil durch andere Faktoren, wie der Sortenwahl, Pflanzenschutzmittel, Anbautechnologie usw. bestimmt [LFULG, 2009A].

Ertragsentwicklung von Wintergerste im Regierungsbezirk Chemnitz 1955-2006

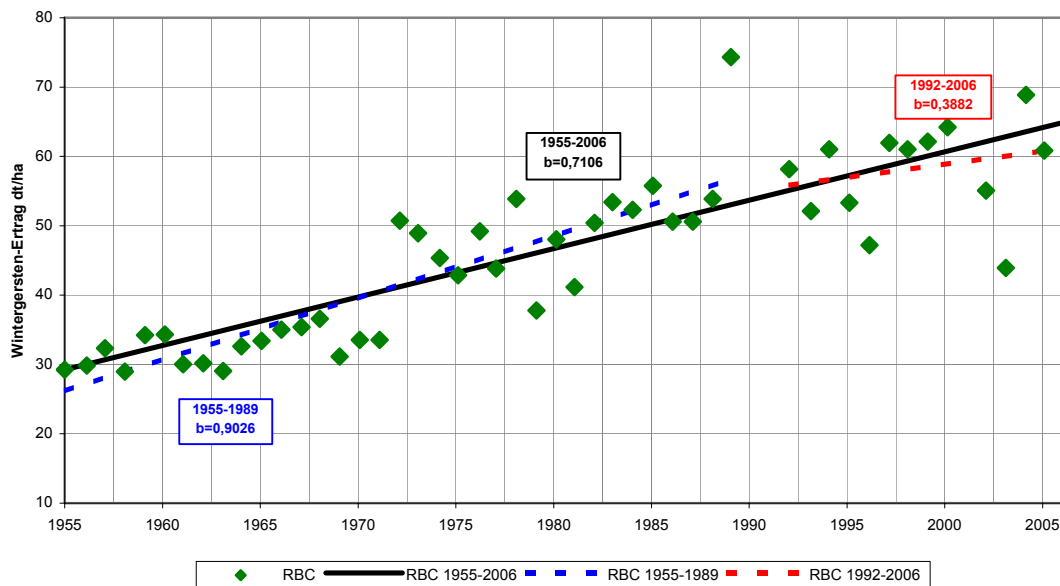


Abb. 37: Ertragsentwicklung von Wintergerste im Regierungsbezirk Chemnitz [LFULG 2009A]

## Winterroggen

Der jährliche Ertragszuwachs bei Winterroggen beträgt 0,83 dt/ha im Zeitraum von 1955 bis 2006 und ist damit etwas geringer wie der Ertrag von Winterweizen [LFULG, 2009A].

Ertragsentwicklung von Winterroggen im Regierungsbezirk Chemnitz 1955-2006

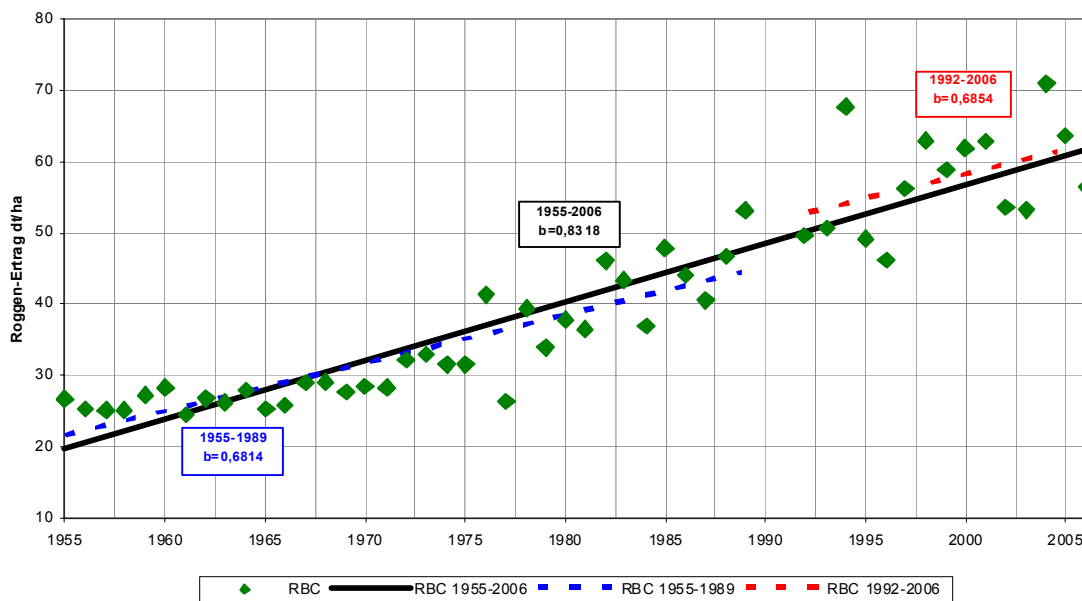


Abb. 38: Ertragsentwicklung von Winterroggen im Regierungsbezirk Chemnitz [LFULG 2009A]

## Winterraps

Die wichtige Ölfrucht Winterraps ist seit 1955 im Regierungsbezirk Chemnitz durch einen kontinuierlichen Ertragsanstieg mit 0,46 dt/ha pro Jahr gekennzeichnet. Nach 1992 nahmen die Wachstumsraten, trotz der Ertragsausfälle in den Jahren 1996 und 2003 durch Auswinterung und Trockenheit, leicht zu (0,56 dt/ha pro Jahr). Der Ertragsanstieg wird hauptsächlich durch neue Sorten und verbesserten Pflanzenschutz erzielt [LFULG, 2009A].

**Ertragsentwicklung von Winterraps im Regierungsbezirk Chemnitz 1955-2006**

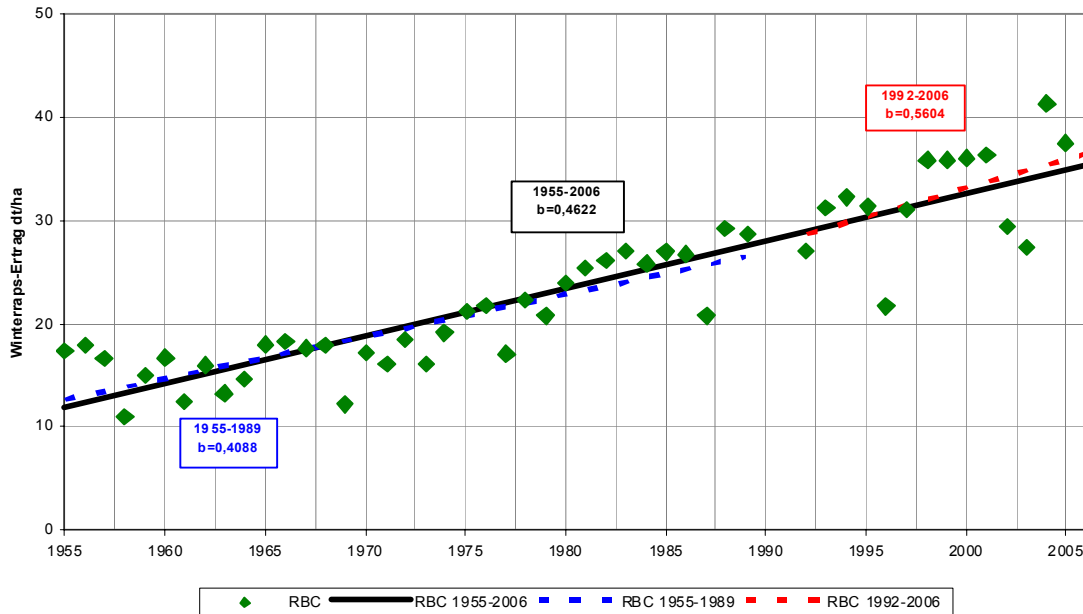


Abb. 39: Ertragsentwicklung von Winterraps im Regierungsbezirk Chemnitz [LFULG 2009A]

### Zusammenfassung

Mit Trendanalysen konnte nachgewiesen werden, dass sich im Zeitraum von 1955 bis 2006 die Erträge stark gesteigert haben. Diese Ertragssteigerungen sind das Ergebnis des Züchtungsfortschrittes und der verbesserten Bewirtschaftungsmaßnahmen. Aus den Abb. 36 bis Abb. 39 geht hervor, dass auch für den Zeitabschnitt von 1990 bis 2006, der bereits stark durch Klimaveränderungen beeinflusst war, bei Getreide und Raps keine wesentlich verminderten Ertragszuwachsrate festzustellen sind. Bei Silomais stagnieren die Erträge und beim Grünland gingen die Erträge aufgrund der umfangreichen Nutzung von Extensivierungsmaßnahmen zurück. Die Ergebnisse der Trendanalysen zeigen jedoch, dass mit Beginn der 1990er Jahre die Spannweite und Standardabweichung der Erträge bei fast allen Fruchtarten stark zugenommen hat. Es ist davon auszugehen, dass zukünftig die Ertragsvariabilität infolge häufiger auftretender längerer Trockenphasen zunehmen wird (z. Bsp. Sommer 2003). Die Winterungen werden durch den Klimawandel, aufgrund der längeren Herbstentwicklung und das zeitigere Einsetzen des Wachstums im Frühjahr, begünstigt. Dagegen werden die Sommerkulturen zunehmend unter Trockenstress und hohen Temperaturen im Frühjahr und Sommer leiden [LFULG 2009A].

#### 4.6.2 Forstwirtschaft

Forstlich genutzte Flächen im Stadtgebiet sind der Zeisigwald (Körperschaftswald, Landeswald), der Ebersdorfer Wald (Körperschaftswald, Privatwald), der Küchwald-Park (Körperschaftswald), der Crimmitschauer Wald (Körperschaftswald), der Harthwald und weitere kleinere Waldflächen am Südrand (Privatwald, Landeswald) und der Rabensteiner Wald (Landeswald). Das Stadtgebiet gehört zum Wuchsgebiet Östliches Erzgebirgsbecken und Rabensteiner Schiefer-Höhenzug mit derzeit folgender Baumartenverteilung [LAF 96-1]:

Gemeine Kiefer	10...15 %
Gemeine Fichte	30...41 %
Sonstige Nadelbäume	9...10 %
Trauben- und Stiel-Eiche	2...10 %
Rot-Buche	5...6 %
Sonstige Laubbäume	30...32 %

Der Waldanteil ist geringer als 10 %.

Die Wasserversorgung für die Flora ist durch die Zunahme an Trockenjahren zunehmend nicht mehr abgesichert (Abb. 33). Durch die Reduktion der Niederschlagsmengen im Frühjahr und Sommer in Verbindung mit den höheren Temperaturen und der höheren Verdunstung steigt das Waldbrandrisiko an.

Im Winter fällt der Niederschlag durch den Temperaturanstieg zunehmend in flüssiger Form, wodurch das Risiko folgender Schäden zunimmt [GOLDBERG 2008]:

- mehr Nassschnee und dadurch höhere Schneebruchgefahr
- stärkere Durchweichung des Oberbodens
- Abnahme der Standfestigkeit von Flachwurzlern
- bei gleichzeitigem Auftreten von höheren Windgeschwindigkeiten kommt es zu einer Erhöhung des Risikos von Sturmschäden

Ein weiterer Effekt der ansteigenden Temperatur ist die Erhöhung der Insektenkalamitäten (Kalamität = Massenerkrankung von Waldbäumen). In der derzeitigen Vegetationsperiode bilden sich 4-5 Generationen des Buchdruckers, im Jahr 2100 werden es bereits 8-9 Generationen aufgrund der um ca. 60 Tage verlängerten Vegetationsperiode sein (siehe Abb. 40 und Abb. 41). Die Vegetationsperiode hatte in den 50er Jahren eine Länge von 187 Tagen und hat sich auf 210 Tage in den letzten Jahren gesteigert. Der Trend war anfangs noch



schwach ausgeprägt, ist aber momentan stark linear zunehmend. Im linearen Mittel des Gesamtzeitraumes ergibt sich eine Rate von +4,4 Tagen/Dekade (siehe Kapitel 3.2.3.1).

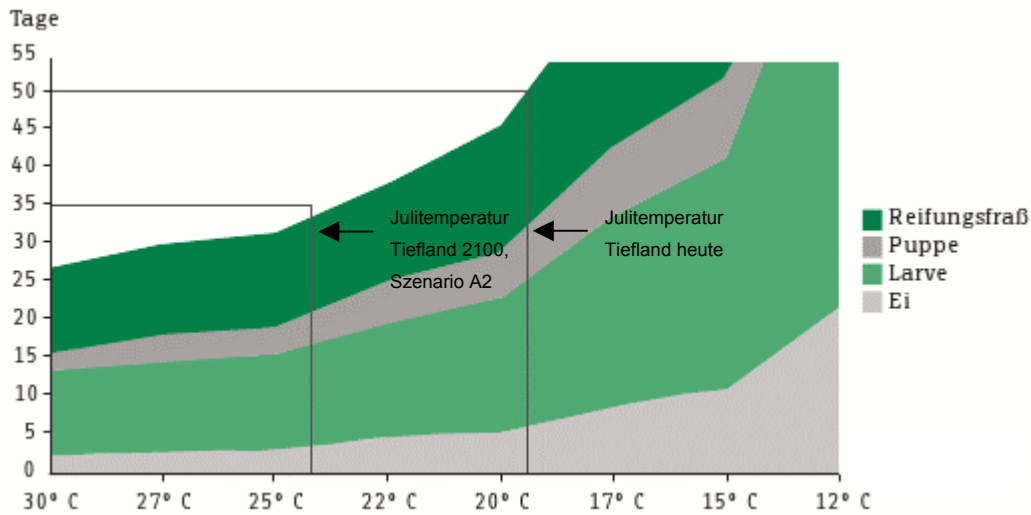


Abb. 40: Entwicklungsdauer des Buchdruckers in Abhängigkeit von der Temperatur [WERMELINGER & SEIFERT 1998]

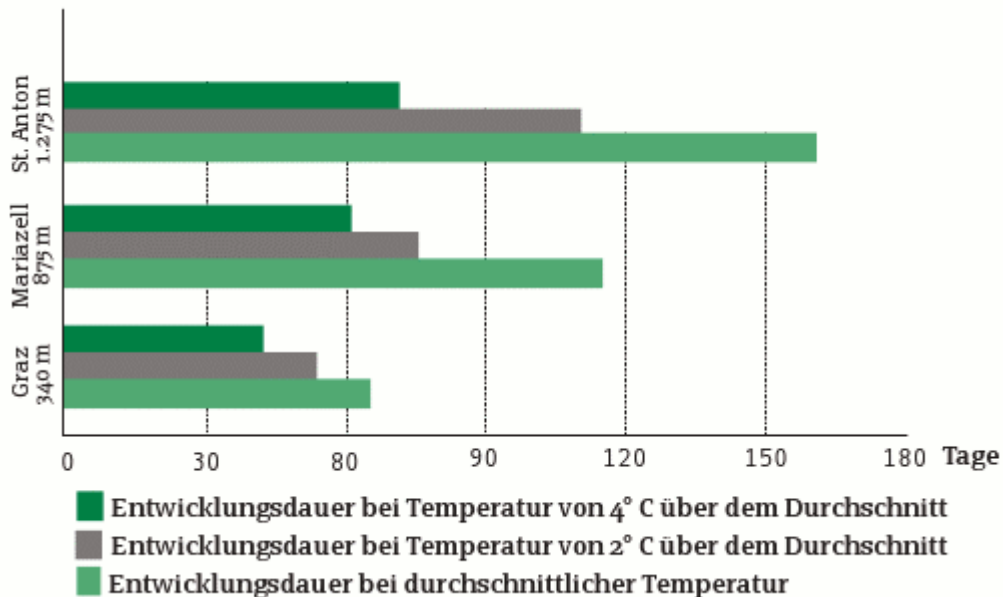


Abb. 41: Entwicklungsdauer des in Abhängigkeit von der Temperatur während der Vegetationsperiode in verschiedenen Höhenstufen [WERMELINGER & SEIFERT, 1998]

In der Region Chemnitz blieb die Windgeschwindigkeit in den letzten Jahren auf einem einheitlichen Niveau (siehe Kapitel 3.2.2.6), jedoch ist auch bei der Windgeschwindigkeit eine Zunahme der Extremereignisse ersichtlich (Tornado am 29.07.05 bzw. Tornado am 31.05.08 bei Augustusburg). Bei Extremereignissen entwickelt der Wind bei hohen Windgeschwindigkeiten eine solche Kraft, dass regelrechte Schneisen in die Waldbestände geschlagen werden. Kann das Wurf- und Bruchholz nicht rechtzeitig aufbereitet werden, entwickeln sich in der Folge Massenvermehrungen (Kalamitäten) von Schadinsekten mit oft katastrophalem Ausmaß.

Die Erhöhung der Strahlung und der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre führen auch in der Forstwirtschaft zu einer Erhöhung der Photosyntheserate. Zugleich bewirkt die erhöhte Strahlung aber auch einen Anstieg der Häufigkeit und Intensität von Dürreperioden (siehe Kapitel 4.2.1). Infolge des Klimawandels wird es zu so genannten Standortdrift kommen (Verschiebung der PNV – potentiell natürlichen Walgesellschaften), so dass die forstliche Klimaklassifikation neu definiert werden muss.

Es ist denkbar, dass Bäume und Bestände in ihrer Anpassungsfähigkeit durch das Tempo der Klimaveränderungen überfordert sind. Die verschiedenen Baumarten werden dabei sehr unterschiedlich von diesen Veränderungen betroffen sein. Die Fichte wird in Abhängigkeit von den Standorten mit großer Wahrscheinlichkeit zur Problembaumart werden. Sie erfordert einen mittleren Jahresniederschlag von mindestens 600 mm/a und kommt potentiell natürlich nur in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges vor. Die Zunahme von extremen Trockenjahren und von Sturmereignissen hat bereits in heutiger Zeit die Schwächung dieser Baumart zur Folge, so dass Massenvermehrungen von Schädlingen gehäuft auftreten können. Auch die Rotbuche ist relativ anspruchsvoll hinsichtlich des Niederschlagsdargebotes. Ihr Vorkommen wird sich in die mittleren und höheren Lagen des Erzgebirges verschieben. Hingegen werden Baumarten mit einer großen Klimaamplitude robuster auf die Klimaveränderungen reagieren (z.B. Stieleiche, Sandbirke oder Douglasie) [WAGNER 2008]. Auch werden wärmeliebende und trockenresistente Arten den veränderten Bedingungen besser gewachsen sein als die derzeit vorherrschenden Hauptbaumarten Fichte und Rotbuche. Hier ist sogar der Anbau von Baumarten denkbar, die in der heutigen Zeit in Sachsen nicht vorkommen bzw. nicht genutzt werden (z.B. Flaumeiche).

Im Rahmen der forstlichen Standortbeschreibung wurde das Untersuchungsgebiet der Chemnitzer Klimaform und der Oberwald-Makroklimaform zugeordnet. Dies erfolgte bisher auf der Grundlage der Klimadaten des Zeitraumes 1901-1950. Aufgrund der bisher stattgefundenen Erwärmung wurde vom Staatsbetrieb Sachsenforst eine neue forstliche Klimateilung in Sachsen auf der Basis des WEREX-Szenarios B1 erarbeitet. Das Stadtgebiet Chemnitz wurde im derzeitigen Zustand der Klimaklasse gsoz-mw (gering subozeanisch, mäßig warm) zugeordnet. Für den Prognosezeitraum 2091-2100 resultiert die Klimaklasse gsk-sw (gering subkontinental, sommerwarm). Dies ist Ausdruck einer tiefgreifenden Veränderung der klimatischen Rahmenbedingung für die forstliche Landbewirtschaftung.

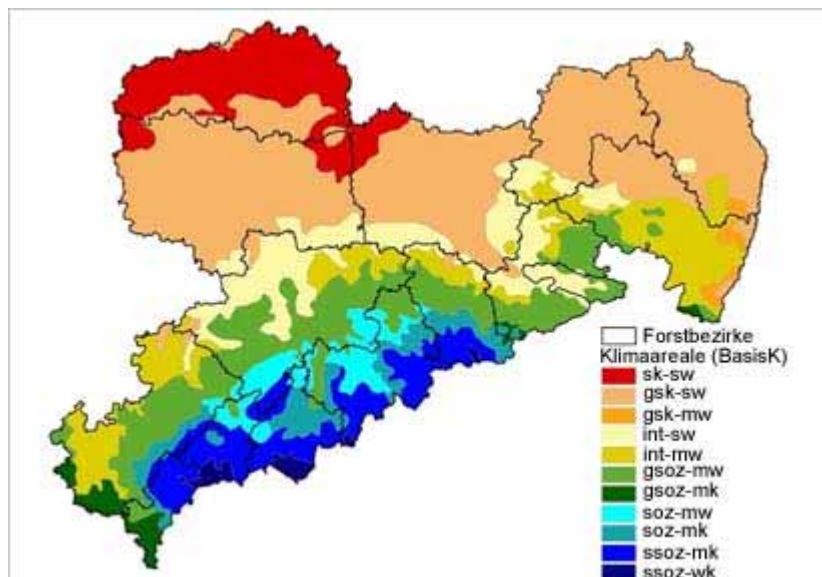


Abb. 42: Forstliche Klimagliederung in Sachsen, Basisklima 1971-2000  
(Quelle: Staatsbetrieb Sachsenforst)

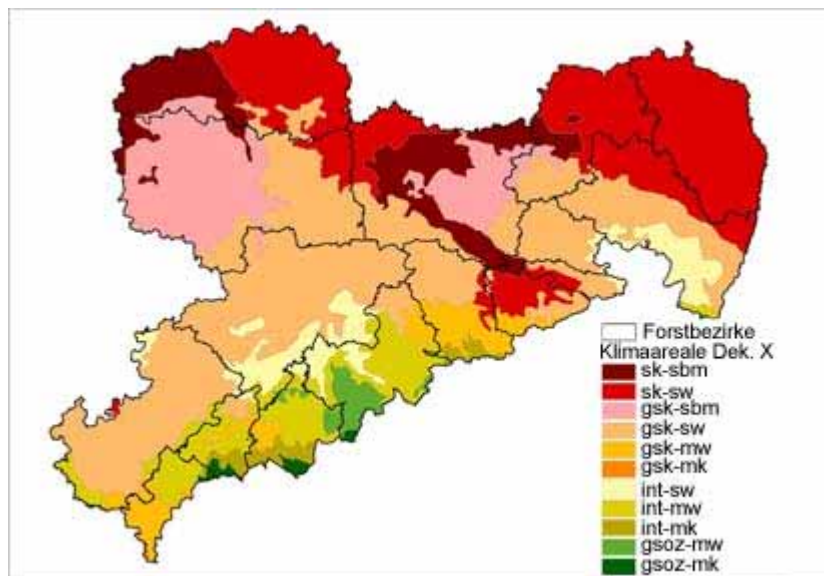


Abb. 43: Forstliche Klimagliederung in Sachsen, Prognoseklima 2091-2100  
(Quelle: Staatsbetrieb Sachsenforst)

Zusammenfassend muss konstatiert werden, dass die Forstwirtschaft von den Veränderungen der Lufttemperatur, der verringerten klimatischen Wasserbilanz und dem häufigeren Auftreten extremer Sturmereignisse in hohem Maße betroffen sein wird.

#### **4.7 Schutzgut Mensch**

Der Mensch ist in der Stadt von den klimatischen Veränderungen direkt betroffen. Das menschliche Wohlbefinden ist unmittelbar abhängig von den natürlichen Systemen. Eine Störung der physikalischen Bedingungen (z.B. der Temperatur, der Wetterabläufe, der Wasserverfügbarkeit oder des Meeresspiegels) und der davon abhängigen Ökosysteme (z.B. der Lebensbedingungen von Krankheitsüberträgern oder der landwirtschaftlichen Ökosysteme) birgt daher Risiken für die menschliche Gesundheit. Somit können die Klimaveränderungen durchaus eine Zunahme von Krankheiten und Todesfällen bewirken, wie es bei der Hitzewelle im Jahr 2003 in Frankreich beobachtet wurde. Verschiedene Quellen nennen bis zu 30000 Todesopfer (Europa; davon 7000 in Deutschland und 15000 in Frankreich) als Folge dieser extremen Bedingungen [GW 07]. Auch andere Klimaphänomene, die im Zuge des Klimawandels an Häufigkeit gewinnen, können Menschenleben fordern (Überschwemmungen, Tornados, Blitzschlag).

Bei den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels lassen sich direkte und indirekte Wirkungspfade unterscheiden. Bei den direkten Wirkungen handelt es sich um die unmittelbaren Folgen von Klima- und Wetteränderungen auf den menschlichen Organismus. Sowohl Hitzewellen wie extreme Kälte können zu einer erhöhten Sterblichkeit wie zu vermehrten Krankheiten führen, aber auch allmähliche Veränderungen von Durchschnittstemperaturen wirken sich auf das körperliche Wohlbefinden aus. Gefährdet sind vor allem alte und kranke Menschen, Säuglinge und Kleinkinder. Hitzebedingt leiden Menschen häufiger unter Herz-Kreislaufkrankungen.

Auf indirektem Wege üben Klimaveränderungen durch Krankheitsüberträger wie Stechmücken, Zecken oder Nagetiere, deren Verbreitungsgebiete, Population oder Infektionspotential von klimatischen Bedingungen abhängig ist, einen Einfluss auf den Menschen aus. Beispielsweise hat das frühere Einsetzen des Frühjahrs, der spätere Winterbeginn und mildere Wintertemperaturen in Skandinavien zu einer Ausweitung der durch Zecken übertragenen Enzephalitis geführt (Watson et al, 1998). Außerdem beeinflussen eine verstärkte klimabedingte Luftbelastung in Ballungsgebieten (Sommersmog), die Verfügbarkeit von sauberem Wasser und von Nahrungsmitteln in einer unter veränderten klimatischen Bedingungen produzierenden Landwirtschaft über vielfältige Vermittlungen die menschliche Gesundheit (McMichael, 1996). Die Allergie-Periode durch Pollenflug verlängert sich.

Die Beurteilung dieses Schutzgutes muss außerdem in direkter Verzahnung der Prognosen zur demografischen Entwicklung erfolgen, welche einen wesentlichen Einfluss auf das soziale Gefüge in der Stadt haben wird.

#### **4.8 Schutzgüter Kulturgüter und sonstige Sachgüter**

Kultur- und sonstige Sachgüter sind in gleichem Maße betroffen wie die oben genannten Schutzgüter, insbesondere aber durch die Zunahme von klimatischen Extremereignissen, wie Starkregenereignissen und Stürmen. Dies betrifft sowohl private Häuser, öffentliche Gebäude als auch Kulturgüter, die beispielsweise durch Überflutung oder Sturmereignisse wie Tornados direkt betroffen sein können. Die Zunahme von Smog kann eine verstärkte Verwitterung kalkhaltiger Baumaterialien wie Sand- und Kalksteine bewirken.

## 4.9 Sensitive Infrastruktur

Im Folgenden werden die Elemente der technischen Infrastruktur und deren Beeinflussung durch den Klimawandel untersucht. Die Elemente der sozialen Infrastruktur wie das Bildungs-, Dienstleistungs-, Gesundheits-, Rechtssystem, die kulturellen Einrichtungen, die Verwaltung und Einrichtungen der öffentlichen Sicherheit sind vom Klimawandel nicht betroffen. Allein Einrichtungen zum Katastrophenschutz, v. a. zum Hochwasserschutz und zur Brandbekämpfung, sind an die veränderten Anforderungen des Klimawandels anzupassen (vgl. Abschnitt 4.7).

### 4.9.1 Abfallentsorgung

Die Abfallentsorgung erfolgt über den Abfallwirtschaftsverband Chemnitz, die ASR Abfallentsorgungs- und Stadtreinigungsbetrieb der Stadt Chemnitz und durch auf Teilaufgaben spezialisierte Firmen. Hierzu gehören die Sammlung von Restabfall, Wertstoffen, Sperrabfall, Bioabfall, Problemstoffen, aber auch Stadtreinigung und Fäkalienentsorgung.

Seit dem 1. Juni 2005 können unbehandelte, organische und biologische abbaubare Siedlungsabfälle nicht mehr auf die Deponien abgelagert werden. Dies gilt insbesondere für unbehandelte Hausmüllabfälle und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle. Mit dem 1. Juni 2005 sind zugleich die letzten Ausnahmeregelungen der TA Siedlungsabfall und der Abfallablagerungsverordnung aus dem Jahr 2001 für unvorbehandelte Abfälle ausgelaufen. Siedlungsabfälle werden daher in mechanisch- biologischen Behandlungsanlagen oder in Müllverbrennungsanlagen vorbehandelt und unter der Abfallverzeichnisnummer 19 „Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke“ auf Deponien abgelagert. Die Deponie Weißer Weg im Chemnitzer Stadtgebiet ist eine von 5 im Jahr 2009 noch betriebenen sächsischen Deponien. Der weitere Betrieb ist bis zum 15.07.2009 als Deponieklasse I zulässig.

Die Abfallentsorgung wird vom Klimawandel nicht beeinflusst. Durch die Einstellung der Deponierung unbehandelter organischer Abfälle und die Schließung von Deponien ist es in Sachsen gelungen, die klimaschädlichen Emissionen aus Deponien um rund 1 Million Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten zu verringern. Deutschland wird bis 2012 eine weitere Einsparung von 8,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch die Stilllegung der Deponien prognostiziert (Quelle: SMUL Sachsen, 2008).

#### 4.9.2 Abwasser

Abwässer werden mit der Kanalisation gesammelt und der Zentralkläranlage Chemnitz/Heinersdorf zugeführt. Zuständig ist der ESC Entsorgungsbetrieb der Stadt Chemnitz, unterstützt durch die Stadtwerke Chemnitz AG. Eine Beeinflussung der Abwasserentsorgung durch den Klimawandel ist denkbar, wenn vermehrte und intensivere Starkniederschläge den Anteil an Regenwasser im Abwasser unbeabsichtigt erhöhen. Auch kann verstärkte Boden-erosion zu einer erhöhten Belastung der Kanäle der Straßenentwässerung führen. Insgesamt ist die Niederschlagsmenge eher etwas rückläufig (vgl. Abschnitt 3.2.2.3), so dass auch die Menge des in der Kanalisation gesammelten Oberflächenabflusses geringfügig abnehmen wird. In diesem Zusammenhang ist ein kritischer Einfluss in Trockenjahren bei Niedrigwasser zu berücksichtigen, da es zu einer Aufkonzentration der Schadstoffe im Gewässerbett kommt.

#### 4.9.3 Trinkwasserversorgung

Die Wasserversorgung der Stadt Chemnitz erfolgt durch drei Talsperrensysteme, die unabhängig voneinander gesteuert werden können. Das System Westerzgebirge besteht aus der größten sächsische Trinkwassertalsperre Eibenstock sowie den Talsperren Muldenberg und Carlsfeld. Das System Mittleres Erzgebirge bilden die Talsperren Einsiedel, Saidenbach, Neunzehnhain I und II. Durch das System Osterzgebirge sind die Talsperren Rauschenbach und Lichtenberg angeschlossen. Die Wasserversorgung erfolgt durch die öffentliche Hand, d. h. die Landestalsperrenverwaltung bietet das Trinkwasser an, Transport und Verteilung erfolgt durch einen Fernwasserverbund und letztlich durch die Stadtwerke Chemnitz AG und weitere kommunale Aufgabenträger.

Die infrastrukturellen Einrichtungen zur Wasserversorgung wie Fernwasserleitungen und das innerstädtische Leitungsnetz sind nicht unmittelbar vom Klimawandel betroffen. Die Bewirtschaftung der Talsperren muss unter Berücksichtigung veränderter Hochwasserwahrscheinlichkeiten erfolgen. Im Stadtgebiet von Chemnitz werden eine Reihe von Tiefbrunnen zur Notwasserversorgung vorgehalten. Im Hinblick auf diese Brunnen ist der langfristig erwartete Rückgang des Grundwasserspiegels zu berücksichtigen.

#### 4.9.4 Elektroenergie, Gasversorgung, Fernwärme

Die Einrichtungen zur Versorgung mit Elektroenergie, Erdgas, Fernwärme werden von den Stadtwerken Chemnitz AG betrieben. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtstromlieferung beträgt derzeit 13 %. Der bereitgestellte Strom wird zu 57 % in Chemnitzer

Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen hergestellt. Bei diesem Verfahren kann der eingesetzte fossile Brennstoff zeitgleich in Strom und Fernwärme umgewandelt und somit effektiv genutzt werden.

Die Einrichtungen zur Versorgung mit Elektroenergie, Erdgas und Fernwärme werden vom Klimawandel nicht wesentlich beeinträchtigt. Vermehrte Beschädigungen durch Sturm oder Brände sind denkbar. Mit der verstärkten Bereitstellung erneuerbarer Energien kann dem Klimawandel entgegengewirkt werden. Auch die Kraft-Wärme-Kopplung reduziert den CO<sub>2</sub>-Austrag bei der Nutzung fossiler Energieträger.

#### 4.9.5 Kommunikation

Ein Einfluss des Klimawandels auf Kommunikationseinrichtungen wie Sendeanlagen, Empfangsstationen und Kabelnetze kann ausgeschlossen werden.

#### 4.9.6 Verkehrseinrichtungen

Zu den Verkehrseinrichtungen gehören Straßen und Wege, Anlagen des Eisenbahnnetzes und des öffentlichen Nahverkehrs. Der Regionalflugplatz Chemnitz-Jahnsdorf liegt außerhalb des Stadtgebietes. Wesentliche Beeinträchtigungen von Verkehrseinrichtungen durch den Klimawandel sind nicht zu erwarten. Allerdings sind im Hochwasserfall meist Verkehrseinrichtungen wie Brücken, Straßen, Stützmauern am Rand von Flüssen besonders stark betroffen. Schäden durch Sturm oder Brände sind denkbar. Der Asphalt von Straßen kann sich bei hohen Lufttemperaturen und hoher direkter Sonnenstrahlung aufheizen und verformen bzw. schmelzen.

### **4.10 Sozioökonomie und städtische Wirtschaftsentwicklung**

Die städtische Wirtschaftsentwicklung steht auf Grund der sozioökonomischen Auswirkungen in direktem Zusammenhang mit den zu erwartenden Folgen der Klimaveränderungen. Dies betrifft einerseits beispielsweise die zu erwartenden infrastrukturellen Anpassungen zur Reduzierung der Auswirkungen der Zunahme von Starkregenereignissen, andererseits aber auch die erforderlichen Umstrukturierungsmaßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie die Maßnahmen zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Dies hat zur Folge, dass die Klimafolgenabschätzung empfehlende Maßnahmen für die Raumordnung enthalten muss. In diesem Schwerpunkt sind auch Bebauungspläne der Zukunft und das Thema klimafreundli-



che Mobilität im Rahmen des Verkehrsmanagements zu berücksichtigen, da in der Zukunft zunehmend lokale Kleinklimate im Stadtbereich ausbilden werden.

Die bisherige ökonomische Klimafolgenforschung fokussierte in diesem Zusammenhang auf die überschlägige Schätzung von Vermögensverlusten. Im Zentrum der Betrachtung stehen hier Kapitalstockschäden i.w.S. und sekundäre Wertschöpfungs-Verluste als Folge der Reaktionen des regionalen ökonomischen Systems. Die wesentliche Ursache für sozioökonomische Klimafolgen sind Überflutungen, Stürme und die Belastung des sozialen Gemeinwesens beispielsweise durch eine erhöhte Krankheitsrate. Betroffen sein kann aber auch die regionale Wirtschaft direkt durch den Verlust von Absatzmärkten. Beispielsweise müssen Tourismusgebiete, die vor allem auf Schnee und Wintersport setzen, langfristig ergänzende Angebote für Urlauber entwickeln. Seit 1951 nimmt in den sächsischen Mittelgebirgen die Anzahl der Tage mit mindestens 20 Zentimetern Schneehöhe tendenziell ab. Mit steigenden Temperaturen werden die Niederschläge zunehmend als Regen fallen.

Die sozioökonomischen Auswirkungen des Klimawandels sind vielfältiger Natur. Die Wirkung auf die Schutzgüter erfolgt oft nicht direkt, sondern indirekt. So stieg als Folge der Hitzeperiode des Jahres 2003 die Wassertemperatur der Flüsse an, weshalb das Wasser zum Teil nicht mehr zur Kühlung einiger Atomkraftwerke genutzt werden konnte [GW 07]. Die betroffenen Kraftwerke mussten gedrosselt oder sogar abgeschaltet werden. Als Folge dessen stiegen die Strompreise in diesen heißen Tagen extrem an, und konventionelle Großkraftwerke erwiesen sich als nicht vorbereitet auf diese Situation.

Für Kinder im Kindergartenalter besteht ein Rechtsanspruch auf einen wohnortnahen Platz in einer Kindertagesstätte ab dem 3. Lebensjahr. Neu zu planende Kindertagesstätten sollten bevorzugt in durch Wohnen geprägten Gebieten mit viel Bewuchs angelegt werden. Dies gilt ebenso für Altenheime. Die Chemnitzer Krankenhäuser (Klinikum Chemnitz, Klinikum Küchwald, Zeisigwaldkliniken Bethanien, DRK-Krankenhaus Chemnitz-Rabenstein) sind diesbezüglich sehr günstig gelegen. Vom Bewuchs geht eine ausgleichende Wirkung aus, welche die negativen Eigenschaften des Stadtklimas und des Klimawandels teilweise kompensiert.

#### 4.11 Fazit

Im vorliegenden Abschnitt wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf alle relevanten Schutzgüter untersucht. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass alle wesentlichen Umweltkomponenten, der Mensch selbst, seine Kultur- und Sachgüter, die Infrastruktur und die sozioökonomischen Prozesse direkt oder indirekt vom Klimawandel betroffen sind.

In den kommenden Dekaden ist mit einer Erwärmung zu rechnen, von der besonders der Zeitraum Winter, Frühjahr und Frühsommer betroffen ist, der Herbst dagegen weniger. Die Erwärmung führt zu direkten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Die derzeit im Vergleich zum langjährigen Mittel relativ hohen Niederschlagssummen werden wieder etwas abnehmen und sich dabei auf weniger, aber stärkere Niederschlagsereignisse verteilen. Die Sonnenstrahlung verbleibt auf dem derzeitigen hohen Niveau. Der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre nimmt insgesamt zu, so dass mit Wassermangel und Dürreperioden zu rechnen ist. Davon ist besonders die Forstwirtschaft betroffen, da aufgrund der langen Bewirtschaftungszeiträume nur sehr eingeschränkt auf die veränderten Bedingungen reagiert werden kann, aber auch die Landwirtschaft. Das insbesondere in städtischen Räumen knappe Gut Wasser wird sich weiter verknappen. Andere wesentliche Beeinträchtigungen von Schutzgütern resultieren aus der möglichen Zunahme von Sturm- und Starkregenereignissen.

In der folgenden Tabelle ist die Betroffenheit der untersuchten Schutzgüter durch den Klimawandel zusammengefasst.

Tab. 14: Zusammenfassung der Betroffenheitsanalyse

Schutzgut	Wirkungspfad bzw. Komponente	Betroffenheit, Beeinträchtigung
Wasser	Verfügbarkeit	Das vorhandene Talsperrennetz kann die Verknappung voraussichtlich kompensieren.
	Wasserhaushalt, klimatische Wasserbilanz	Forstwirtschaft: starke Beeinträchtigung durch Dürre, Umbau erforderlich; Naturschutz: Vernässungsflächen gehen zurück einschließlich der damit verbundenen negativen Folgen für Flora, Fauna und Biodiversität.
		Landwirtschaft: starke Beeinträchtigung durch Dürre auf wenig speicherfähigen Böden, Ertragseinbußen; Bewirtschaftung anpassen
	Abflussbildung	Die Hochwasserwahrscheinlichkeit steigt an, betroffen sind die Schutzgüter Mensch, Sach- und Kulturgüter und Infrastruktur. Überprüfung der Bemessung

Schutzgut	Wirkungspfad bzw. Komponente	Betroffenheit, Beeinträchtigung
		<p>von Hochwasserschutzanlagen erforderlich.</p> <p>Die Niedrigwasserperioden werden extremer, die Vorflut führt als Folge von Dürreperioden weniger Wasser. Das Oberflächenwasser erwärmt sich stärker. Betroffen sind die aquatischen Ökosysteme der Stand- und Fließgewässer und die Teichwirtschaft.</p>
Boden	Bodenwasserhaushalt, Grundwasserabsenkung	Das Schutzgut Boden selbst ist von der Wasserverknappung nur langfristig betroffen, da bodenbildende Prozesse nur langsam stattfinden. Sie führen zu Humusabbau, Stoffaustrag, Verarmung an Nährstoffen, Umentwicklung des Bodentyps.
	Erosion durch Wind und Wasser	Die Erosion wird zunehmen aufgrund häufigerer Starkniederschläge, einer Verringerung der Bewuchsdichte bei Grünlandbewuchs und des Benetzungseffekt bindiger Bodenoberflächen nach Trockenperioden. Verschlechterung der Qualität für die Bewirtschaftung, Verlust an bewirtschaftbaren Standorten; Erosionsschutzmaßnahmen erforderlich
Luft	Wintersmog	Häufigkeit und Intensität nimmt eher ab (Verbesserung der Situation)
	Sommersmog	Häufigkeit und Intensität nimmt deutlich zu, Gegenmaßnahmen erforderlich (Verkehrsberuhigung), Notfallplan bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte erforderlich (z. B. Ozon)
	Staubbelastung	Der Staubgehalt der Luft nimmt tendenziell zu, Eintrag von Staub in das Stadtgebiet; keine wesentlichen Auswirkungen auf andere sensible Schutzgüter zu erwarten
Fauna, Flora, Biodiversität	Temperaturerhöhung, Wasserverknappung, Dürreperioden, Absenkung Grundwasserstand	Artensterben auf Inselstandorten (z. B. Niedermoorflächen, Extensivgrünland), Zuwanderung von Arten. Zunahme von Schädlingskalamitäten in Land- und Forstwirtschaft. Zunahme von Pflanzenkrankheiten.
	Artenvielfalt	Rückgang der Artenvielfalt, funktionale Vereinfachung und Verarmung der Ökosysteme, Verminderung der Leistung der Ökosysteme, Verminderung der Reaktionsfähigkeit von Ökosystemen auf veränderte Standortbedingungen
Land- und Forstwirtschaft	Temperaturanstieg, Wassermangel, Dürre	Zunahme der Häufigkeit dürrebedingter Ertragseinbußen in der Landwirtschaft, aber auch teils günstigere Bedingungen von Winterkulturen; Dürreschäden in der Forstwirtschaft, häufigere und schwerere Schädlingskalamitäten; Zunahme des Risikos von Waldbränden
	Zunahme der Häufigkeit von Sturmereignissen, Starkniederschlägen	Ernteschäden in der Landwirtschaft, Sturmwurf in der Forstwirtschaft
Mensch	Zunahme der Häufigkeit von Hitzewellen	Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen bis zum Todesfall

Schutzgut	Wirkungspfad bzw. Komponente	Betroffenheit, Beeinträchtigung
	Zunahme von Sommer-smog	Zunahme von Atemwegserkrankungen und Allergien
	Zunahme der Verbreitung von Krankheitsüberträgern	Begünstigung von Infektionskrankheiten
Kultur- und Sachgüter	Zunahme der Häufigkeit von Sturmereignissen, Starkniederschlägen	Zunahme direkter Schäden an Gebäuden und infrastrukturellen Einrichtungen
	Zunahme von Sommer-smog	verstärkte Verwitterung kalkhaltiger Baumaterialien
Sensitive Infrastruktur	Abfallwirtschaft	keine Auswirkungen
	Abwasserentsorgung	Niederschlagseintrag ins Abwasser bei Starkregen kann zunehmen, Schlammkorn im Abwasser aus erhöhter Erosion. kritischer Einfluss in Trockenjahren bei Niedrigwasser, da es zu einer Aufkonzentration der Schadstoffe im Gewässerbett kommt.
	Trinkwasserversorgung	keine unmittelbare Beeinträchtigung der Einrichtungen, Wasserspiegel in Notwasserbrunnen der Stadt sinkt
	Elektroenergie, Gasversorgung, Fernwärme	keine wesentliche Beeinträchtigungen
	Kommunikation	keine Beeinträchtigungen
	Verkehrseinrichtungen	vermehrte Schäden durch Hochwasser und Sturm möglich
Sozioökonomie, Wirtschaftsentwicklung	sämtliche Wirkungspfade	Vielfältige Wirkungen denkbar

Besonders kritisch ist die Verknappung des Gutes Wasser zu beurteilen, die vielfältige negative Auswirkungen auf die anderen Schutzgüter nach sich zieht. Weiterhin kritisch ist die Zunahme des Sommersmogs zu sehen, welcher die menschliche Gesundheit direkt beeinträchtigt. Auch die Veränderung der Bedingungen für Land- und Forstwirtschaft stellen wesentliche Beeinträchtigungen dar.

## 5 Gefährdungsanalyse

### 5.1 Allgemeine Vorgehensweise – Gefährdungsbeurteilung

Entsprechend §3 BetrSichV und §5 ArbSchG haben Arbeitgeber eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen und alle Maßnahmen zu ergreifen, um die Sicherheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten. Die auf langwierigen Erfahrungen basierende Vorgehensweise des Arbeits- und Gesundheitsschutzes hat sich in der Praxis sehr gut bewährt und ist in den Grundzügen auf die Auswertung der Ergebnisse der Klimaprognosen übertragbar.

Bei der Gefährdungsermittlung werden grundsätzlich zwei verschiedene Vorgehensweisen unterschieden:

1. Bei der rückschauenden Analyse (retrospektiv) werden Gefährdungen ermittelt, indem Unfälle und Erkrankungen nach ihrem Auftreten ausgewertet werden.
2. Bei der vorausschauenden Analyse (prospektiv) wird das System auf Gefährdungen hin untersucht, bevor es zu einem Unfall oder einer Erkrankung kommt.

In Falle der Klimastudie ist eine vorausschauende (Prospektive) und rückschauende (Retrospektive) Analyse der Folgen des Klimawandels notwendig.

#### 5.1.1 Erklärungsmodell

Das Erklärungsmodell dient dazu, ein System Schritt für Schritt auf Gefährdungsfaktoren, Gefahrenquellen, Gefahrbringende Bedingungen, und auf die Leistungsvoraussetzungen der Bevölkerung abzusuchen. Erst nach der Überprüfung, ob ein Zusammentreffen von Gefährdungsfaktor und Schutzgut tatsächlich möglich ist, kann die Gefährdung festgestellt werden. Für die vorausschauende Gefährdungsmittlung liegt der Nutzen des Erklärungsmodells darin, dass durch ein Vorgehen in fester Schrittfolge erkannt wird, wo die wirksamsten Ansatzpunkte für den vorbeugenden Schutz vorhanden sind. Die Ansatzpunkte sind dabei nach der folgenden Rangordnung zu wählen:

1. Gefährdungsfaktor
2. Gefahrenquelle
3. Gefahrbringende Bedingungen
4. Schutzgut
5. Gefährdung

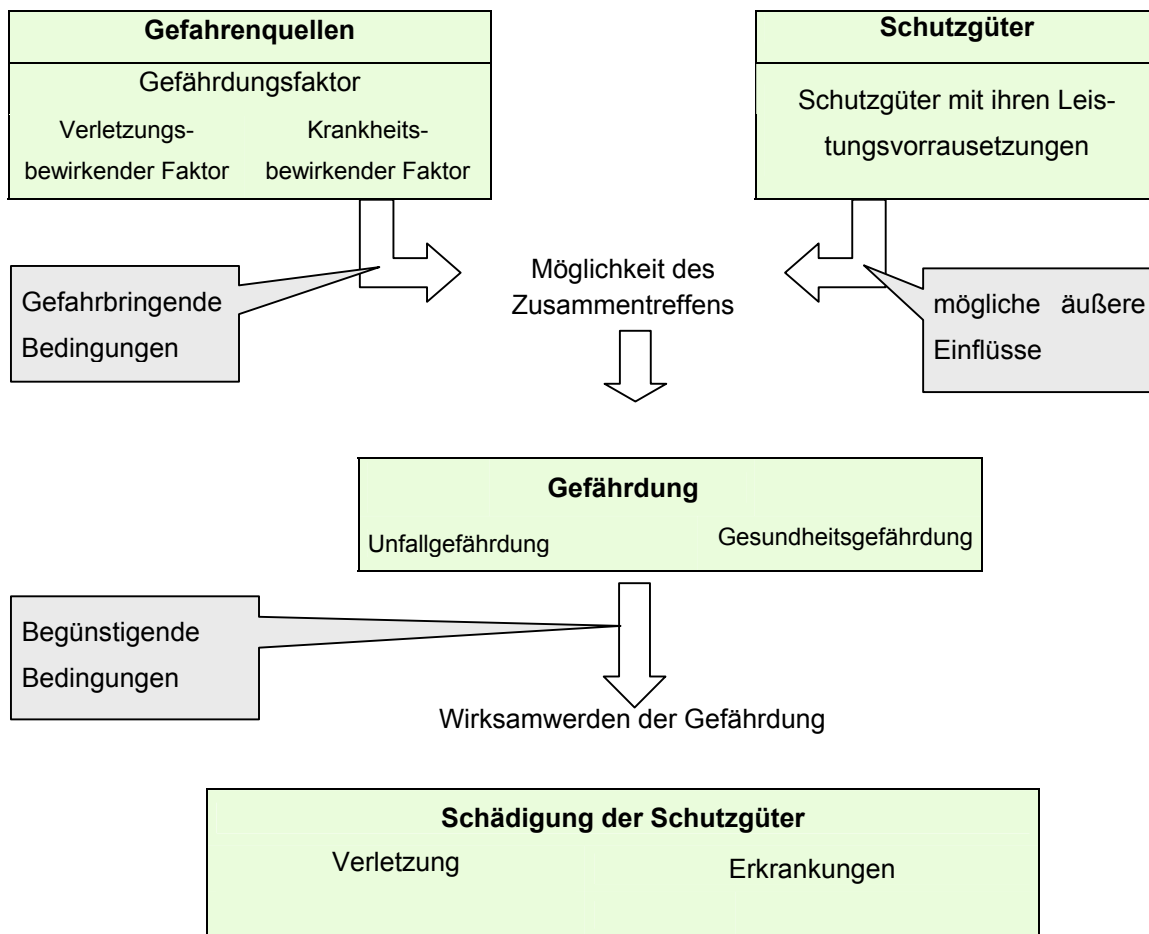


Abb. 44: Erklärungsmodell

### 5.1.2 Gefährdungsfaktoren

Der erste Schritt ist die Suche nach möglichen Gefährdungsfaktoren: Welche Gefährdungsfaktoren treten durch den Klimawandel auf? Was könnte durch den Klimawandel in Chemnitz passieren? Liegen Eigenschaften vor, die zu Schädigungen der Schutzgüter führen können? Sind diese Eigenschaften so, dass die allgemeinen physischen und psychischen Leistungsvoraussetzungen der einzelnen Schutzgüter beeinträchtigt werden können?

### 5.1.3 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen, Leistungsvoraussetzungen

Im zweiten Schritt wird geprüft, wo jeder Gefährdungsfaktor im Einzelnen auftritt. Damit wird die Frage gestellt, wo die einzelnen Gefahrenquellen liegen. Die Gefahrenquellen sind die eigentlichen Ursachen der Gefährdung.

Im Schritt 3 erfolgt die Ermittlung der gefahrbringenden Bedingungen. Gefahrbringende Bedingungen sind Gegebenheiten, die ein Zusammentreffen des Gefährdungsfaktors mit den Schutzgütern nicht oder nicht hinreichend verhindern. Maßnahmen des Verhinderns können technischer oder organisatorischer Art sein. Gefahrbringende Bedingungen sind grundsätzlich vorhersehbar.

Im Schritt 4 werden die individuellen Leistungsvoraussetzungen der Schutzgüter ermittelt, die einen Einfluss auf die Gefährdung haben können. Bestehen besondere individuelle Leistungsvoraussetzungen der Schutzgüter, die für das Zusammenwirken mit dem Gefährdungsfaktor von Bedeutung sind?

### 5.1.4 Risikoabschätzung

Im nächsten Schritt wird beurteilt, ob tatsächlich eine Gefährdung vorliegt und in welchem Ausmaß. Die Risikoabschätzung der Folgen des Klimawandels beruht dabei auf der Grundlage der Risikoabschätzung nach Nohl. Dabei wird zum einen die Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens der einzelnen Ereignisse gegenüber der Schadensschwere beurteilt.

Tab. 15: Risikoabschätzung in Anlehnung an Nohl

Mögliche Schadensschwere Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens der Gefährdung	leicht	mittelschwer	schwer	Katastrophe
sehr gering	1	2	3	4
gering	2	3	4	5
mittel	3	4	5	6
hoch	4	5	6	7

Tab. 16: Bewertung der Risikomaßzahlen

Maßzahl	Risiko	Beschreibung
1-2	gering	Risiko akzeptabel
3-4	signifikant	Reduzierung des Risikos notwendig
5-7	hoch	Risikoreduzierung dringend erforderlich

### Schadensschwere

Ein Risiko ist eine bewertete Gefährdung. Neben der Eintrittswahrscheinlichkeit entscheidet die Schwere des möglichen Schadens über die Höhe des Risikos.

### Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens

Die Höhe eines Risikos hängt neben der Schadensschwere auch von der Wahrscheinlichkeit ab, mit der der Schaden eintritt. Eine sehr geringe Eintrittswahrscheinlichkeit reduziert die Höhe des Risikos.

### Risikomaßzahl

Aus der Höhe des möglichen Schadens und der Wahrscheinlichkeit seines Eintritts ergibt sich eine Risikomaßzahl. Es ist dabei nicht ganz unproblematisch, dass ein Risiko mit sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit aber möglicherweise katastrophalen Folgen dieselbe Risikomaßzahl erhält wie eine Gefährdung mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit, die aber nur leichte Schäden zur Folge hat.

### Bewertung des Risikos

Die Einteilung der Risikomaßzahlen ist nicht unverrückbar festgelegt. Sie kann den Gegebenheiten in der Praxis angepasst werden. Dasselbe gilt für die Skalierung der Schadensschwere und Eintrittswahrscheinlichkeit.

### Handlungsbedarf

Aus der Höhe der Risikomaßzahl wird abgeleitet, wie groß der Handlungsbedarf ist. Für das Setzen von Zielen ist die Risikomaßzahl ein wichtiger Hinweis darauf, welche Risiken akzeptabel sind, welche dagegen nicht akzeptiert werden können und bei welchen unbedingt sofort gehandelt werden muss.



### 5.1.5 Entwickeln von Lösungsalternativen

#### Maßnahmenhierarchien

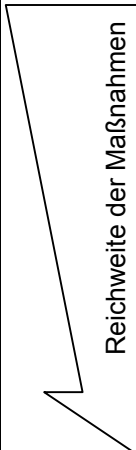
Besonders bei hohen Risiken ist es wichtig, dass die Risikoverminderung unabhängig vom Verhalten des Menschen funktioniert. Das ist nur möglich, wenn Schutzziele auf den Qualitätsebenen eins oder zwei erreicht werden (siehe Tab. 17). Diese Methodik ist jedoch nur beim Schutzgut Mensch voll durchsetzbar.

Tab. 17: Qualitätsebenen der Schutzziele

1	Gefahrenquelle zuverlässig und nachhaltig vermeiden oder eliminieren.
2	Akzeptables Risiko durch räumliche und/oder zeitliche zwangsläufige und zuverlässige Trennung von Schutzgut und Gefahrenquelle erreichen
3	Akzeptables Risiko unter Beachtung individueller Vorgaben (Singularer Schutz) erreichen.

Zu den einzelnen Qualitätsebenen können die entsprechenden Maßnahmenhierarchien (siehe Tab. 18) zugeordnet werden.

Tab. 18: Maßnahmenhierarchie

 Reichweite der Maßnahmen	<b>Gefahrenquelle vermeiden/beseitigen/reduzieren</b> (Eigenschaften der Quelle verändern)
	<b>Sicherheitstechnische Maßnahmen</b> (räumliche Trennung an der Quelle)
	<b>Organisatorische Maßnahmen</b> (räumliche/zeitliche Trennung von Quelle/Faktor und Schutzgut)
	<b>Nutzung persönlicher Schutzeinrichtungen</b> (räumliche Trennung am Schutzgut)
	<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>

Kriterien zur Beurteilung der Lösungsalternativen:

Unabhängig von der festgelegten Maßnahmenhierarchie können alle Lösungsmöglichkeiten nach verschiedenen Kriterien beurteilt werden.

Tab. 19: Kriterien für die Beurteilung der Lösungsalternativen für das Schutzgut Landwirtschaft

Nr.	Bewertungskriterium	Gewichtung (Wert 1-5)
1	Wirksamkeit	5
2	Praktikabilität	4
3	Akzeptanz	3
4	Kosten	3
5	Zeitliche Umsetzbarkeit	2

Der Gewichtung der einzelnen Kriterien ist die Wertigkeit in aufsteigender Reihenfolge von 1 bis 5 zu Grunde gelegt, der Wert 1 steht dabei für „weniger wichtig“ und der Wert 5 für „sehr wichtig“. Zusätzlich werden die einzelnen Lösungsvarianten nach dem Erfüllungsgrad der einzelnen Kriterien beurteilt. Der Erfüllungsgrad 0 spiegelt die Möglichkeit wider, dass ein Kriterium nicht erfüllt ist, und der Erfüllungsgrad 5, dass ein Kriterium voll erfüllt ist.

Tab. 20: Bewertung des Erfüllungsgrades

verbale Beschreibung des Erfüllungsgrades				Erfüllungs- grad
Wirksamkeit, Akzeptanz	Kosten	Praktikabilität	Umsetzbarkeit	
nicht vorh.	sehr hoch	nicht praktikabel	nicht umsetzbar	0
sehr gering	hoch	begrenzt praktikabel	langfristig	1
gering	mittel	teilweise praktikabel	mittel- bis langfristig	2
mittel	gering	praktikabel	mittelfristig	3
hoch	sehr gering		kurz- bis mittelfristig	4
sehr hoch	nicht vorh.	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	5

Aus dem Produkt der Gewichtung und des Erfüllungsgrades (G x E) ergibt sich durch das Addieren der Werte der einzelnen Beurteilungskriterien eine Maßzahl, wodurch die einzelnen Maßnahmen klassifiziert werden (Zuteilung zu einer Rangordnung).

## 5.2 Schutzgut Wasser

Grund- und Oberflächenwasser guter Qualität ist ein knappes Gut. Die klimatischen Veränderungen führen zu einer stärkeren Beanspruchung dieses Gutes sowohl quantitativer als auch qualitativer Art (vgl. Tab. 21).

Tab. 21: Gefährdungsfaktoren Schutzgut Wasser

Gefährdungsfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu, wodurch das Risiko von Überschwemmungen zunimmt. Die Tendenz im Jahr geht zu weniger, aber dafür heftigeren Regenfällen. Wodurch die Versicherungsrate und Grundwasserneubildung abnimmt.
zunehmende Temperaturen	Durch die zunehmende Erwärmung nimmt der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre zu, bei gleichzeitig sinkenden Niederschlägen im Sommer kommt es zunehmend zur Wasserknappheit (Jahre mit negativer klimatischer Wasserbilanz steigen). Die Oberflächennahen Grundwasserstände gehen zurück, Kleingewässer können austrocknen und die Beschaffenheit und Menge des Oberflächenwassers verändert sich.
Änderungen im Trinkwasserdargebot im Jahresverlauf	Saisonale Verlagerungen der GW-Neubildungsraten (Verlagerung des Niederschlags vom Sommer in das Winterhalbjahr, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr) können zu Engpässen im Trinkwasserdargebot im Sommer führen.
Zunahmen von Niederschlag in flüssiger Form im Winter	Zunahme der mittleren winterlichen Abflüsse (Niederschlagssumme übers Jahr betrachtet bleibt annähernd konstant)
<b>Strahlung</b>	
Natürliche UV-Strahlung	Durch die Zunahme der Strahlungsintensität steigt bei fehlender bzw. ungenügender Beschattung die Wassertemperatur von Gewässern an.

<b>Gefährdungsfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Chemische</b>	
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	Versauerung von Oberflächengewässern durch Lösung von CO <sub>2</sub> im Wasser und Bildung von Kohlensäure
Abwassereinleitungen	Die Abwassereinleitungen in Fließgewässer können in Niedrigwasserperioden kritisch werden (Verdünnungseffekt sinkt → Schadstofffrachten steigen).
Schadstoffeintrag	Es besteht die Gefahr, dass durch die Absenkung des Grundwasserspiegels und dem erhöhtem Abbau von organ. Materialien (Humus) Schadstofffrachten freigesetzt werden.
Aufsalzung	Durch die erhöhte Verdunstungsrate kommt es bei den Oberflächengewässern zu einer Aufsalzung und Zunahme der Nährstoffkonzentration.
Nitratauswaschung	Zunahme der winterlichen Nitratauswaschung auf leichten und flachgründigen Standorten in Jahren mit erhöhten Winterniederschlägen sowie Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Lössstandorten
<b>Biologische</b>	
Eutrophierung	Durch die Zunahme der Verdunstung steigt der Nährstoffgehalt in den Gewässern an (Aufkonzentration), in Verbindung mit der steigenden Temperatur erhöht sich das Risiko der Eutrophierung stark.
Notbefischung	Durch die Versickerungs- und Verdunstungsverluste steigt die Gefahr der Notbefischung
Schadpflanzen/Parasiten (Blualgen)	Durch Erhöhung der Wassertemperatur kann es zur Einwanderung von sogenannten aktiv oder passiv verbreiteten Neuankömmlingen (Neozoen/Neophyten) aus wärmeren Gebieten auch in Fließgewässern fördern und auch die Ausbreitung von Fischkrankheiten wie die Parasiteninfektion PKD (Proliferative Kidney Disease) bei Forellen [BURKHARD-HOLM 2009].

## 5.2.1 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Tab. 22: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Wasser

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-voraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Physikalische</b>						
<b>Umgebungsbedingungen</b>						
Extremereignisse/ Klima	Klima (weniger aber dafür starke Regenfälle)	Überschwemmungen, Verringerung der Versickerung und Grundwasserneubildungsrate	Standortvoraussetzungen (Lage, Bodenart, Relief, ...), Bedeckungsgrad, Wassergehalt im Boden	Bodeneigenschaften (Poren, Bodenstruktur, ...)	Senkung des GW-Standes, Überschwemmung, Stoffeintrag in Gewässer, Wassererosion	Grundwasser und Oberflächenwasser
steigende Temperaturen	Anstieg der Luft- und Wassertemperatur	Erhöhung der Verdunstungsrate, Anstieg der Boden- und Wassertemperatur	Standortverhältnisse (Beschattung, ...), Strahlungsintensität	Widerstandsfähigkeit, Wassermenge und -vorrat, Gewässer: Wassertiefe und Wasserbewegung, Gewässerzustand	Hitzestress, Versiegen von Kleingewässern, Trockenschäden, starke Produktionsschwankungen, Änderung der Wasserbeschaffenheit	Oberflächenwasser (vorwiegend Kleingewässer)
Änderung Trinkwasserangebot	ungenügende Wasserversorgung	Minderung der Grundwasserneubildungsrate, hohe Niederschlagsintensität, Steigerung der Verdunstungsrate	ausgetrocknete Böden, Standortverhältnisse (Beschattungsgrad, ...), Strahlungsintensität	Bodeneigenschaften (Speichervermögen, Porenvolumen, ...), Gewässerzustand (Morphologie)	Wasserknappheit (Versiegen von Kleingewässern), Trockenschäden Erkrankung, Tod	Flora und Fauna

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Zunahme der Niederschläge in flüssiger Form	Niederschlag (Temperatur)	Aufweichen der oberen Bodenhorizonte, höherer Anteil an Oberflächenabfluss, geringere Pufferkapazitäten für anfallende Wassermengen	Standortvoraussetzungen (Lage, Bodenart, Relief, ...), Strahlungsintensität	Vitalität (Standfestigkeit, ..), Bodeneigenschaften und Gewässerzustand	Beeinträchtigung der Standfestigkeit, Wassererosion, Pufferkapazität Talsperren ausreichend?	Oberflächenwasser
<b>Strahlung</b>						
natürliche UV-Strahlung	UV-Strahlung	ungehindertes Auftreffen der UV-Strahlung auf Gewässer	Standortverhältnisse (Beschattungsgrad, Wasserversorgung, ...), Lufttemperatur	Gewässerzustand (Morphologie), Wassertiefe und -menge	Anstieg der Wasser- und Bodentemperatur	Oberflächengewässer
<b>Chemische</b>						
<b>Gefahrstoffe</b>						
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	erhöhter CO <sub>2</sub> -Gehalt	Versauerung von Oberflächengewässern durch Lösung von CO <sub>2</sub> im Wasser und Bildung von Kohlensäure	Standortverhältnisse (pH-Wert, Wassertemperatur, Druck)	Pufferkapazität (Salzgehalt)	Versauerung und damit Veränderung der Lebensraumeigenschaften	Wasserorganismen
Abwasser-einleitung	im Abwasser enthaltene Schadstoffe	Kritische Schadstofffrachten durch ungenügenden Verdünnungseffekt	Niedrigwasser/ Trockenperioden	Vorbelastungen der Gewässer, morphologischer Gewässerzustand, Vitalität	Eutrophierung/Nährstoffeintrag, Algenbelastung, Senkung Sauerstoffgehalt, ...	Wasserorganismen
Aufsalzung	UV-Strahlung, Lufttemperatur	Erreichen kritische Salz- und Nährstoffgehalte in Gewässern	Niedrigwasser/ Trockenperioden	Vorbelastungen der Gewässer, morphologischer Gewässerzustand, Vitalität	Eutrophierung/Nährstoffeintrag, Algenbelastung, Senkung Sauerstoffgehalt, ...	Wasserorganismen

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-vorraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Schadstoff-freisetzung, Nitratauswaschung	Schadstoffe	Veränderte Austragsverhältnisse für Nitrat in Oberflächenwasser und Grundwasser durch Abbau organ. Substanz bzw. Transport mit dem Sickerwasser	Klima- und Bodenverhältnisse, Art und Intensität Nutzung, Abbau organ. Substanzen	Wurzelraumtiefe des Pflanzenbestandes, Bedeckungsgrad, -art und -dauer, Standortverhältnisse (kontaminiertes Bodenmaterial, ..)	Eutrophierung/Nährstoffeintrag, Algenbelastung, Senkung Sauerstoffgehalt, ...	direkt: Oberflächen und Grundwasser indirekt: alle Ökosysteme
<b>Biologische</b>						
Eutrophierung	Nährstoffaustrag	veränderte Abbauverhältnisse durch Temperaturanstieg und Wassermangel	Klima- und Bodenverhältnisse, Art der Waldnutzung, Wasserversorgung	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Nährstoffverarmung	Oberflächengewässer und Grundwasser
Notbefischung	Wasserknappheit	Versickerungs- und Verdunstungsverluste	ausgetrocknete Böden, Standortverhältnisse (Beschattungsgrad, Bedeckungsgrad...), Strahlungsintensität	Bodeneigenschaften (Speichervermögen, Porenvolumen, ...), Gewässerzustand (Morphologie)	Wasserknappheit (Versiegen von Kleingewässern), Notbefischung	Kleingewässer
Schadpflanzen/Parasiten (Blualgen)	Schadpflanzen und Parasiten (Temperaturanstieg)	Befall durch Schädlinge, Konkurrenz zwischen Schadpflanzen und standortheimischen Arten (wärmeliebende Arten)	Vitalere Überwinterung (milde Winter), Standortverhältnisse, Ausbreitung der Schadpflanze in der Region	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Ertragseinbussen bzw. kompletter Ertragsverlust	Oberflächengewässer

## 5.2.2 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Tab. 23: Risikoabschätzung nach Nohl

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Extremereignisse/ Klima	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
steigende Temperaturen	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Änderung Trinkwasserdargebot	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zunahme der Niederschläge in flüssiger Form	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Strahlung</b>					
natürliche UV-Strahlung	leicht	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
<b>Gefahrstoffe</b>					
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abwassereinleitung	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aufsalzung	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schadstofffreisetzung, Nitratauswaschung	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Biologische</b>					
Eutrophierung	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Notbefischung	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schadpflanzen/Parasiten (Blaualgen)	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Aus der Gefährdungsbeurteilung nach Nohl resultiert für 9 von 12 relevanten Gefährdungsfaktoren ein Handlungsbedarf. Lediglich aus der Zunahme der Winterniederschläge in flüssiger Form, der geringfügigen Verringerung des pH-Wertes von Oberflächenwässern aufgrund des steigenden CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre und der kritischer zu bewertenden Abwasser-einleitung in die Vorflut bei Niedrigwasser resultiert eine geringe Risikomaßzahl und ein fehlender unmittelbarer Handlungsbedarf.

### 5.2.3 Entwicklung von Lösungsalternativen

Die Maßnahmen zum Schutzgut Wasser lassen sich in 2 Kategorien einteilen:

1. Ökologische Verbesserung von Gewässern
2. Vorbeugender Hochwasserschutz
3. Minimierung von Stoffeinträgen
4. Effiziente Wassernutzung

#### Ökologische Verbesserung von Gewässern

Im Rahmen der EG-Wasserrahmenrichtlinie sind alle europäischen Staaten dazu verpflichtet, den ökologischen Wert der Gewässer zu verbessern. Das beinhaltet insbesondere hydromorphologische Verbesserungen, d.h. Flüsse und Bäche wieder in einen ursprünglichen Zustand zu versetzen oder mit naturnahen Abschnitten zu versehen. Die Maßnahmen sehen zum Beispiel vor, langsam und schnell fließende Bereiche einzubauen, für Durchgängigkeit zu sorgen, sowie die gesamte Flora und Fauna ökologisch so zu entwickeln, dass die Tier- und Pflanzenarten ihrer ökologischen Funktion nachkommen können. Dies beinhaltet Maßnahmen der hydromorphologischen Verbesserung, insbesondere an Querbauwerken und Sohlschwellen.

Wie bereits im dem am 01.01.09 in Kraft getretenen erneuerbaren Energiesetz in Bezug auf Wasserkraftanlagen dargelegt erreicht man einen guten ökologischen Zustand der Gewässer durch die Verbesserung:

- der biologische Durchgängigkeit der Gewässer
  - Fischaufstiegsanlagen
  - Wehrabsenkung während der Wanderzeit
  - Errichtung eines Bypasses
- des Mindestwasserabflusses:
  - Gewährleistung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung
  - Erhalt oder Wiederherstellung der standorttypischen Lebensraumgemeinschaft

- Gewährleistung der Auffindbarkeit (Konkurrenzströmung bei Fischaufstiegsanlagen bzw. Umgehungsgerinne) und Durchwanderbarkeit von Gewässern
- der Feststoffbewirtschaftung (Stoffe im Gewässer belassen):
  - Weitergabe von organ. Schwemmgut mit der fließenden Welle in das Unterwasser von Querbauwerken (Tot- und Treibholz, Totholzmanagement siehe Abb. 45)
  - Erstellung von Feststoffbewirtschaftungsplänen (u.a. Kies- und Sandbänken, ausgewogene Geschiebebilanz)
- der Uferstruktur und Gewässermorphologie
  - Anbindung der Aue; z.B. durch längere Überflutung potentieller Auenflächen (Vergrößerung der Rückhaltefläche, Schaffung von Kies- und Schotterbänken, Erhalt annähernd natürlicher Strömungsverhältnisse)
  - morphologische Aufwertung
  - Dynamisierung von Uferzonen
  - Vegetationsmanagement in Abhängigkeit von der hydraulischen Gegebenheiten
  - Gewährleistung eines ausreichenden Uferschutzes durch standortgerechte Arten (Stichwort Robinienproblematik) auch im Hinblick auf eine Minimierung des Instandhaltungsaufwandes
  - Gewässerbettaufweitung, Ausbildung von Seitenarmen, Gerinneaufzweigung, Zulassen der Eigendynamik von Fließgewässern (z. B. entfernen von Uferverbauungen, Begradigungen, Sohlpflasterungen)
  - Gestaltung von Flussbögen in begradigten Bereichen
  - Extensivierung der Nutzung in Gewässernähe
  - naturnahe Profilgestaltung
  - Anlegung von Flachwasserzonen
  - Anbindung von Gewässeralt- oder Seitenarmen

Damit die Betreiber von Wasserkraftanlagen eine höhere Einspeisevergütung erhalten, müssen sie eine erhebliche Verbesserung durch die oben genannten Kriterien nachweisen (Abschnitt 2, §23 EEG).

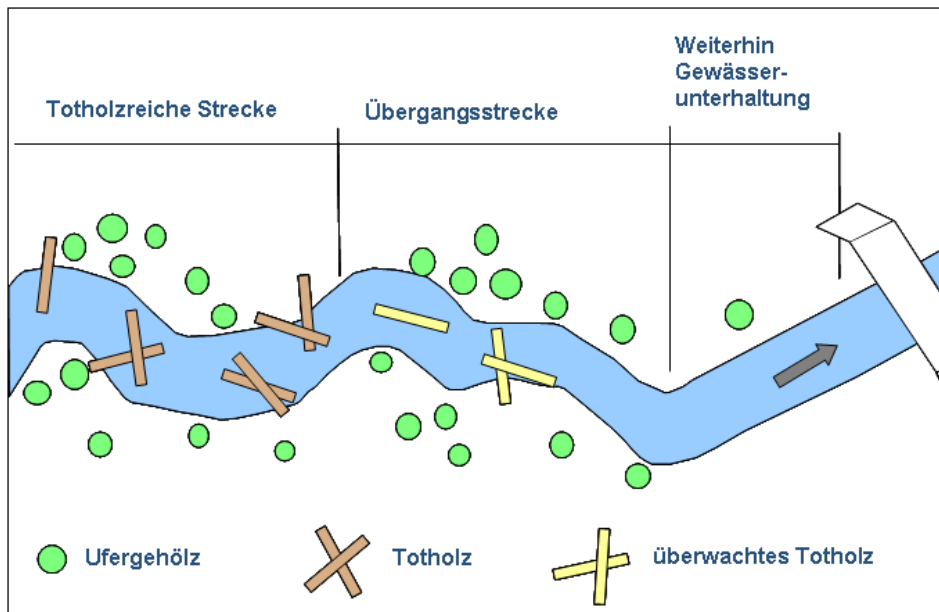


Abb. 45: Beispiel für Totholzmanagement

#### Vorbeugender Hochwasserschutz [BUNDESREGIERUNG 2008]

Als Präventionsmaßnahmen für den vorbeugenden Hochwasserschutz können folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Prüfung eines Einbaus von Rückstauklappen für alle Gebäudeanschlüsse (in der Satzung enthalten und überwiegend bereits umgesetzt)
- durch den Umbau der Kanalisation die Gefahr durch Überflutungen aus Kanalsystemen verringern
- Verhaltens- und Eigenvorsorge (Schutz von Gütern) der Bevölkerung durch die Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung durch öffentliche Stellen
- Erosion vermindern, durch Zwischenfruchtanbau und Verzicht auf Äcker in Hanglagen, Trennung der Feldbereiche durch Gehölzstreifen
- Vermeidung bzw. Rückbau von Bodenversiegelungen (Erhöhung der Sickerwasserrate)

#### Minimierung von Stoffeinträgen in Oberflächen- und Grundwasser

Die Minimierung der Schadstoff- und Nährstoffeinträge aus Punktquellen oder auch aus diffusen Quellen wie aus der Landwirtschaft kann erreicht werden durch:

- die Verhinderung der Überdüngungen des Bodens auf landwirtschaftlichen Nutzflächen
- Minderung signifikanter Belastungen (Altlasten, Punktquellen)
- Verbesserung der Reinigungsleistung von Kläranlagen

- Ökologische Baubegleitung für größere Baumaßnahmen in/an Gewässern

#### Effiziente Wassernutzung [BUNDESREGIERUNG 2008]

Im Bereich von Chemnitz sind künftig bei länger auftretenden Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden Nutzungskonflikte bei oberirdischen Gewässern und oberflächennahen Grundwasserentnahmen (z. B. für Beregnung bzw. Brunnennutzung) möglich. Um eine effizientere Wassernutzung zu gewährleisten können folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Verwendung von Grauwasser, Dachablaufwasser oder Prozesswasser für technische und industrielle Zwecke, deren Erfüllung keiner Trinkwasserqualität bedarf
- Weiterentwicklung von Wasser sparenden Methoden, insbesondere in gewerblichen/industriellen Herstellungsprozessen
- Vorsorge gegen Wasserverluste im Verteilungsnetz
- verlustärmere Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen
- Nutzung von gereinigtem und mikrobiologisch einwandfreiem Abwassers zur Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen

#### **5.2.4 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten**

Die infrage kommenden Lösungsmöglichkeiten werden in Tab. 24 zusammenfassend hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Akzeptanz, Praktikabilität, Umsetzbarkeit und Kosten bewertet. In Tab. 25 wird die Rangfolge der Maßnahmen berechnet.

Tab. 24 Bewertung der Lösungsmöglichkeiten

Maßnahme	Umsetzung	Wirksamkeit	Akzeptanz	Praktikabilität	Umsetzbarkeit	Kosten
<b>Maßnahmen zur Ökologischen Verbesserung von Gewässern</b>						
<b>Biologische Durchgängigkeit</b>	Fischaufstiegsanlagen	gering	sehr hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Wehrabsenkung während der Wanderzeit	gering	mittel	begrenzt praktikabel (Altrecht)	kurzfristig	mittel
	Errichtung Bypass	gering	mittel	teilweise praktikabel	mittelfristig	mittel

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
<b>Mindestwas- serabfluss</b>	Gewährleistung Mindestwasser- abfluss	hoch	mittel	begrenzt praktika- bel (Alt- recht)	kurzfristig	mittel
	Erhalt oder Wiederherstellung der standorttypischen Lebensraum- gemeinschaft	sehr hoch	hoch	teilweise praktika- bel	langfristig	hoch
	Gewährleistung der Auffindbar- keit und Durchwanderbarkeit	mittel	sehr hoch	praktika- bel	mittelfristig	mittel
<b>Feststoffbe- wirtschaftung</b>	Weitergabe von organischem Schwemmgut (Totholzmanage- ment)	mittel	gering	begrenzt praktika- bel	kurzfristig	sehr gering
	Erstellung Feststoffbewirtschaf- tungspläne	mittel	gering	begrenzt praktika- bel	kurzfristig	gering
<b>Uferstruktur und Gewäs- sermorpho- logie</b>	Anbindung der Aue	sehr hoch	mittel	praktika- bel	mittelfristig	hoch
	morphologische Aufwertung	sehr hoch	mittel	praktika- bel	mittelfristig	hoch
	Dynamisierung von Uferzonen	hoch	mittel	praktika- bel	kurz- bis mittelfristig	gering
	Vegetationsmanagement	mittel	mittel	praktika- bel	kurz- bis mittelfristig	mittel
	Uferschutz durch standortgerech- te Arten	sehr hoch	hoch	praktika- bel	kurz- bis mittelfristig	mittel
	Gewässerbettaufweitung, Ausbil- dung von Seitenarmen, Gerin- neaufzweigung	sehr hoch	mittel	begrenzt praktika- bel	langfristig	sehr hoch
	Gestaltung von Flussbögen in begradigten Bereichen	hoch	mittel	praktika- bel	langfristig	mittel
	Extensivierung der Nutzung in Gewässernähe	sehr hoch	gering	begrenzt Praktika- bel	langfristig	sehr hoch
	naturnahe Profilgestaltung	hoch	mittel	praktika- bel	langfristig	mittel
	Anlegen von Flachwasserzonen	hoch	gering	teilweise praktika- bel	langfristig	gering (Suk- zession)
	Anbindung Gewässeralt- und Seitenarme	sehr hoch	mittel	praktika- bel	langfristig	sehr hoch
<b>Vorbeugender Hochwasserschutz</b>						

Maßnahme	Umsetzung	Wirksamkeit	Akzeptanz	Praktikabilität	Umsetzbarkeit	Kosten
<b>Vorbeugender Hochwasserschutz</b>	Prüfung Rückstauklappen (Gewässerverschmutzung)	gering	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Umbau der Kanalisation	hoch	sehr hoch	praktikabel	langfristig	sehr hoch
	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	gering	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering
	Zwischenfruchtanbau, Verzicht auf Ackerflächen in Hanglage, Gehölzstreifen	mittel	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering - hoch (staatl. Subventioniert)
	Vermeidung bzw. Rückbau von Bodenversiegelungen	mittel	sehr gering	praktikabel	langfristig	gering bis mittel
<b>Minimierung von Stoffeinträgen in Oberflächen- und Grundwasser</b>						
<b>Minimierung Stoffeinträge</b>	Verhinderung der Überdüngen des Bodens	hoch	gering	praktikabel	kurz- bis mittelfristig	nicht vorhanden
	Minderung signifikanter Belastungen	mittel	hoch	begrenzt praktikabel	langfristig	hoch
	Reinigungsleistung von Kläranlagen	sehr hoch	gering	praktikabel	langfristig	hoch
	Ökologische Baubegleitung	gering	hoch	praktikabel	kurzfristig	gering
<b>Effiziente Wassernutzung</b>						
<b>Wassernutzung</b>	Verwendung von Grauwasser, Dachablaufwasser oder Prozesswasser	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering (Anschaffung) bis nicht vorhanden
	Weiterentwicklung von wassersparenden Methoden	mittel	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	sehr hoch
	Vorsorge gegen Wasserverluste im Verteilungsnetz	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	mittel- bis langfristig	hoch
	verlustärmere Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen	mittel	mittel	teilweise praktikabel	kurz- bis mittelfristig	mittel
	Nutzung von gereinigtem und mikrobiologisch einwandfreiem Abwassers zur Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen	mittel	gering	begrenzt praktikabel	mittel- bis langfristig	hoch

Tab. 25 Ermittlung der Rangfolge der Maßnahmen nach deren Geeignetheit

Maßnahme	Umsetzung	G x E	Rangfolge
<b>Maßnahmen zur Ökologischen Verbesserung von Gewässern</b>			
<b>Biologische Durchgängigkeit</b>	Fischaufstiegsanlagen	64	1
	Wehrabsenkung während der Wanderzeit	39	18
	Errichtung Bypass	39	18
<b>Mindestwasserabfluss</b>	Gewährleistung Mindestwasserabfluss	49	9
	Erhalt oder Wiederherstellung der standorttypischen Lebensraumgemeinschaft	50	8
	Gewährleistung der Auffindbarkeit und Durchwanderbarkeit	54	6
<b>Feststoffbewirtschaftung</b>	Weitergabe von organischem Schwemmgut (Totholzmanagement)	47	11
	Erstellung Feststoffbewirtschaftungspläne	44	14
<b>Uferstruktur und Gewässermorphologie</b>	Anbindung der Aue	55	5
	morphologische Aufwertung	55	5
	Dynamisierung von Uferzonen	58	4
	Vegetationsmanagement	50	8
	Uferschutz durch standortgerechte Arten	63	2
	Gewässerbettaufweitung, Ausbildung von Seitenarmen, Gerinneaufzweigung	40	26
	Gestaltung von Flussbögen in begradigten Bereichen	49	9
	Extensivierung der Nutzung in Gewässernähe	37	19
	naturnahe Profilgestaltung	49	9
	Anlegen von Flachwasserzonen	45	13
	Anbindung Gewässeralt- und Seitenarme	48	10
<b>Vorbeugender Hochwasserschutz</b>			
<b>Vorbeugender Hochwasserschutz</b>	Prüfung Rückstauklappen (Gewässerverschmutzung)	61	3
	Umbau der Kanalisation	49	9
	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	46	12
	Zwischenfruchtanbau, Verzicht auf Ackerflächen in Hanglage, Gehölzstreifen	48	10
	Vermeidung bzw. Rückbau von Bodenversiegelungen	39,5	17
<b>Minimierung von Stoffeinträgen in Oberflächen- und Grundwasser</b>			
<b>Minimierung Stoffeinträge</b>	Verhinderung der Überdüngungen des Bodens	61	3
	Minderung signifikanter Belastungen	36	20
	Reinigungsleistung von Kläranlagen	48	10
	Ökologische Baubegleitung	53	7

Maßnahme	Umsetzung	G x E	Rangfolge
<b>Effiziente Wassernutzung</b>			
<b>Wassernutzung</b>	Verwendung von Grauwasser, Dachablaufwasser oder Prozesswasser	58	4
	Weiterentwicklung von Wasser sparenden Methoden	43	25
	Vorsorge gegen Wasserverluste im Verteilungsnetz	54	6
	verlustärmere Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen	46	12
	Nutzung von gereinigtem und mikrobiologisch einwandfreiem Abwassers zur Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen	32	21

Die am besten geeignete Maßnahmen erwiesen sich die Errichtung von Fischaufstiegsanlagen zur Gewährleistung der biologischen Durchgängigkeit, der Uferschutz durch standortgerechte Arten, die Prüfung von Rückstauklappen im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes, die Dynamisierung von Uferzonen und deren morphologische Aufwertung bzw. die Anbindung der Auenbereiche.

### 5.3 Schutzgut Boden

Die Gefährdungsfaktoren für das Schutzgut Boden sind in Tab. 26 zusammengefasst. Das Schutzgut Boden ist ein knappes Gut, welches insbesondere in städtischen Verdichtungsräumen einem hohen Verbrauch unterlag bzw. unterliegt.

Tab. 26: Gefährdungsfaktoren Schutzgut Boden

<b>Gefährdungsfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Physikalische Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu, wodurch auch das Risiko von Überschwemmungen zunimmt.
steigende Temperaturen	Durch die zunehmende Erwärmung, steigenden Verdunstungsanspruch und erhöhten Oberflächenabfluss kommt es zu einer Austrocknung der Böden. Die oberflächennahen Grundwasserstände gehen zurück. Es kann zur Ausbildung von Trockenrissen (sekundäres Makroporensystem) bis in tiefere Bodenbereiche (> 1m) von lehmig-tonigen Böden während som-



<b>Gefährdungsfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
	merlicher Trockenphasen kommen.
Wassererosion und Überschwemmungen	Zunehmendes Risiko der Wassererosion und von Überschwemmungen durch erhöhte Intensität von Starkregenereignissen, besonders im Frühjahr und Sommer, Aufweichung der oberen Bodenhorizonte durch die Zunahme von Niederschlägen in flüssiger Form im Winter
Winderosion	Zunahme der Winderosion auf leichten Standorten bei stark ausgetrockneter Bodenoberfläche
<b>Strahlung</b>	
natürliche UV-Strahlung	Durch die höhere UV-Strahlung nimmt die Verdunstungsrate und damit das Risiko der Austrocknung von Böden zu.
<b>Chemische</b>	
Austrag von Schadstoffen und Nährstoffen	Durch die Senkung des Grundwasserstandes gehen Bodenbereiche, in denen bisher anaerobe Bedingungen herrschten, zum aeroben Zustand über. Durch die ausgelösten Oxidationsvorgänge kann es zum Austrag von Schadstoffen in das Grundwasser kommen.
<b>Biologische</b>	
Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit	Durch die steigenden Temperaturen nimmt die biologische Aktivität zu, wodurch auch die Mineralisation zunimmt (z.B. Streuauflage). Es kommt zum Humusabbau (in Abhängigkeit von der Feuchte und Temperatur) und gleichzeitig kommt es zu einem Rückkopplungseffekt, da durch den Humusabbau wiederum CO <sub>2</sub> und N <sub>2</sub> O freigesetzt wird. Die in Waldböden gespeicherten C-Vorräte werden abgebaut.
Mikroorganismenpopulation	Ggf. Veränderung der Mikroorganismenpopulation in Böden und damit veränderte Abbaubedingungen für z.B. organische Schadstoffe in Böden

Gefährdungen gehen vor allem auf die Veränderung des Bodenwasserhaushaltes bei gleichzeitig steigenden Temperaturen zurück. Daraus resultieren weitere Gefährdungsfaktoren wie Wasser- und Winderosion oder Austrag von Nährstoffen.

### 5.3.1 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Die Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Boden erfolgt in Tab. 27.

Tab. 27: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Boden

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-voraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Physikalische</b>						
<b>Umgebungsbedingungen</b>						
Extremereignisse/ Klima	Klima (Feuchtigkeit, Sturm, Kälte, Hitze, starke Regenfälle)	Bodenoberfläche ist den Klimabedingungen ungeschützt ausgesetzt	Bedeckungsgrad, Standortvoraussetzungen (Lage, Exposition, ...), Umgebungsbedingungen (versiegelte Flächen, ...)	Bodeneigenschaften (Bodengefüge, Porenvolumen, ..)	Hitze- und Kälteschäden, Schädigung der Bodenflora	offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs
Wassererosion	Klima (Feuchtigkeit, starke Regenfälle → Niederschlagsintensität)	Bodenoberfläche ist den anfallenden Wassermengen ungeschützt ausgesetzt (Oberflächenabfluss)	Niederschlagsintensität, Bodenfeuchte, Anteil Oberflächenabfluss, Standortvoraussetzungen	Bodeneigenschaften (Bodengefüge, Porenvolumen, Aggregatbildung, ..)	Bodenverlust, Störung des Bodengefüges (Verletzlichkeit einer Fläche steigt), Schädigung der Bodenflora (Ersticken)	offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs
Winderosion	Windgeschwindigkeit	Bodenoberfläche ist den herrschenden Windgeschwindigkeiten ungeschützt ausgesetzt	hohe Temperaturen und hohe Strahlungsintensität (ausgetrocknete Böden), Standortverhältnisse (Exposition)	Bodeneigenschaften (Stabilität Bodengefüge, Aggregatbildung)	Bodenverlust, Beeinflussung Bodenfruchtbarkeit, Verschmutzen des Erntegutes, Störung des Bodengefüges	Jungwuchs und offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Temperaturanstieg	Anstieg der Lufttemperatur	Erhöhung des Verdunstungsanspruchs der Atmosphäre	Standortverhältnisse (Nährstoffversorgung, ..), Bedeckungsgrad	Bodeneigenschaften (Speichervermögen, Stabilität Bodengefüge, Aggregatbildung)	Humusabbau steigt (Nährstoffverlust), Trockenschäden, Schädigung der Bodenflora (Austrocknung)	Flächen mit geringem Bedeckungsgrad (Grünland- und Feldfutterbau)
<b>Strahlung</b>						
natürliche UV-Strahlung	UV-Strahlung	ungehindertes Auftreffen der UV-Strahlung auf den Boden (Beschattungsgrad)	Standortverhältnisse (Schattenwurf, Wasserversorgung, ...), Lufttemperatur (Verdunstungsanspruch Atmosphäre), Bedeckungsgrad	Bodeneigenschaften (Speichervermögen, Stabilität Bodengefüge, Aggregatbildung)	Trockenschäden, Schädigung der Bodenflora (Austrocknung)	Flächen mit geringem Bedeckungsgrad (Grünland- und Feldfutterbau)
<b>Chemische</b>						
<b>Gefahrstoffe</b>						
Nitratauswaschung	Nitrat	Nitrattransport mit dem Sickerwasser (Austrag von Nährstoffen)	Klimaverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung, Bedeckungsgrad, -art und -dauer, Wurzelraumtiefe des Pflanzenbestandes	Bodeneigenschaften (Speichervermögen, Stabilität Bodengefüge, Feldkapazität)	Nährstoffverlust, vor allem für landwirtschaftl. und forstwirtschaftliche Flächen gefährlich	leicht durchlässige Böden (z.B. Sandböden)

Gefährdungs- faktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs- voraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Freisetzung von Schadstoffen	Schadstoffe	Veränderte Austragsverhältnisse für Schadstoffe in Oberflächen- wasser und Grundwasser durch Abbau organ. Substanz bzw. Transport mit dem Sickerwasser	Klimaverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung, Ab- bau organ. Substan- zen, Wurzelraumtiefe des Pflanzenbestan- des, Bedeckungs- grad, -art und -dauer	Bodeneigenschaften (Austragsverhalten, Speichervermögen, ...), Standortverhält- nisse (kontaminiertes Bodenmaterial, ..)	Gefährdung von Oberflächen- und Grundwasser (und damit aller Ökosys- teme), Gefährdung Bodenflora	direkt: Oberflä- chen- und Grundwasser indirekt: alle Ökosysteme
<b>Biologische</b>						
Beeinträchti- gung Boden- fruchtbarkeit	Temperatur- erhöhung	Humusabbau durch Temperatur- erhöhung und damit wiederum CO <sub>2</sub> -Freisetzung	Klimaverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung, Be- deckungsgrad, -art und -dauer,	Bodeneigenschaften (Abbauvorgänge, Speichervermögen, Nährstoffgehalt, ...)	Nährstoffverlust	-
Mikroorganis- menpopulation	Temperaturerhö- hung, Austrock- nung	Veränderung der Mikroorganis- menpopulation	Klimaverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung, Be- deckungsgrad, -art und -dauer,	Bodeneigenschaften (Austragsverhalten, Speichervermögen, ...)	Schadstofffreiset- zung, Veränderung der Um- und Abbau- prozesse, Verände- rung Chemismus	-

### 5.3.2 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Laut Risikoabschätzung nach Nohl resultiert für die Mehrzahl der Gefährdungsfaktoren ein Handlungsbedarf (Tab. 28).

Tab. 28: Risikoabschätzung nach Nohl

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Extremereignisse/ Klima	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wassererosion und Überschwemmungen	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Winderosion	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Temperaturanstieg	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strahlung					
natürliche UV-Strahlung	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
<b>Gefahrstoffe</b>					
Nitratauswaschung	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Freisetzung von Schadstoffen	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Biologische</b>					
Beeinträchtigung Bodenfruchtbarkeit	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mikroorganismenpopulation	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 5.3.3 Entwicklung von Lösungsalternativen

Die Maßnahmen zum Schutz des Bodens lassen sich in 2 Grundtypen einteilen:

1. Erosionsschutzmaßnahmen und Bodenbearbeitung
2. Maßnahmen zum Schutz vor Austrocknung und Nährstoffverlust

Tab. 29: Maßnahmen zum Bodenschutz

Maßnahme	Umsetzung
Erosions- schutz und Bodenbearbeitung	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im gesamten Fruchtfolgeverlauf (Vermeidung der Bildung von Trockenrissen)
	Direktsaatverfahren (Verminderung Bodenverdichtung, Erhaltung des Bodengefüges)
	Anpassung der Saattermine
	Minimierung der Zeitspanne ohne Bodenbedeckung u.a. durch Fruchtfolgegestaltung sowie Zwischenfruchtanbau, Untersaaten oder Strohmulch bewirkt geringere Oberflächenverschlammung (positiver Einfluss auf Humusgehalt), Vermeidung winterlicher Brachflächen zum Schutz vor Erosion
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität
	Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren zur Verminderung der Wassererosionsgefahr (bei geeigneter Geländemorphologie und Flächenzuschnitt)
	Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverschlammung und Bodenverdichtungen, Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biol. Aktivität sowie durch Kalkung, bodenschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen (Lasten der Maschinen und Lastenverteilung – Breite der Reifen, Wassergehalt des Bodens) → Ausbildung eines stabilen Grob- und Mittelporensystems → Förderung der Bodenfauna
	Erosionsmindernde Flurgestaltung in Verbindung mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (Erosionsschutzstreifen, Agroforst, begrünte Hangrinnen, Schlagunterteilung)
	Windschutz durch Hecken und Windschutzstreifen
Schutz vor Austrocknung und Nährstoff- verlust	Änderung des Wassermanagements
	Umstellung auf trockenresistentere Pflanzensorten
	Wahl alternativer Sorten und Arten in der Landwirtschaft
	vermehrter Anbau von wärmeliebenden Arten (Mais, Sonnenblume, Soja)
	Ggf. Bodenbewässerung, -beregnung

Maßnahme	Umsetzung
	Anpassungen der Düngung, insbesondere des Düngungszeitpunktes zur Vermeidung von Düngerausträgen
	Ausnutzung der Wasservorräte tieferer Bodenschichten (in der Forstwirtschaft heimische ausreichend tief wurzelnde Laubholz- oder Tannenbestände)
	Umbau von nicht standortgemäßen Beständen mit hohen Fichtenanteilen in der Klimaregion "trocken-warm" in angepasste laubholzreiche Bestände (Anbau der Fichte nur auf passenden Standorten mit ausreichender Wasserversorgung)

### 5.3.4 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten

Die Bewertung der in Tab. 29 entwickelten Maßnahmen bzw. Lösungsmöglichkeiten erfolgt in Tab. 30.

Tab. 30: Bewertung der Lösungsmöglichkeiten

Maßnahme	Umsetzung	Wirk-samkeit	Akzep-tanz	Praktika-bilität	Umsetz-barkeit	Kosten
<b>Bodenbe- arbeitung, Erosions- schutz</b>	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat	hoch	mittel	praktika-bel	mittelfristig	anfangs hoch, nach Etablierung Kostenein-sparungen
	Direktsaatverfahren	mittel	mittel	praktika-bel	mittel- bis langfristig	gering
	Anpassung der Saattermine	hoch	gering	praktika-bel	kurzfristig	gering
	Minimierung der Zeitspanne ohne Bodenbedeckung	hoch	mittel	praktika-bel	kurzfristig	gering
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität	mittel	mittel	praktika-bel	mittelfristig	gering
	Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren	mittel	mittel	praktika-bel	kurzfristig	gering
	Vermeidung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Förderung der biol. Aktivität + Kalkung	hoch	mittel	praktika-bel	kurz- bis mittelfristig	mittel

Maßnahme	Umsetzung	Wirksamkeit	Akzeptanz	Praktikabilität	Umsetzbarkeit	Kosten
	Erosionsmindernde Flurgestaltung i.V.m. dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung	mittel bis hoch	mittel	Einzelfallprüfung	mittel- bis langfristig	gering (Schlagunterteilung) bis hoch (Anpflanzung)
	Windschutz durch Hecken und Windschutzstreifen	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
<b>Schutz vor Austrocknung und Nährstoffverlust</b>	Änderung Wassermanagement	hoch	hoch	begrenzt praktikabel	kurz- bis mittelfristig	hoch
	trockenresist. Pflanzensorten	gering	gering	praktikabel	langfristig	mittel
	alternative Sorten und Arten in der Landwirtschaft	gering	gering	begrenzt praktikabel (Bedarf)	langfristig	mittel
	Anbau wärmeliebender Arten	gering	gering	begrenzt praktikabel (Bedarf)	langfristig	mittel
	Bodenbewässerung, -beregnung	hoch	Mittel	begrenzt praktikabel (Bedarf)	langfristig	hoch
	Anpassungen der Düngung	hoch	Gering	praktikabel	kurzfristig	nicht vorhanden
	Ausnutzung der Wasservorräte tieferer Bodenschichten	mittel	gering	praktikabel	langfristig	hoch
	Umbau von nicht standortgemäßen Beständen	mittel	gering	praktikabel	langfristig	hoch

Tab. 31: Ermittlung der Rangfolge der Maßnahmen nach deren Geeignetheit

Maßnahme	Umsetzung	GxE	Rang
<b>Bodenbearbeitung, Erosionsschutz</b>	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat	54,5	5
	Direktsaatverfahren	49	7
	Anpassung der Saattermine	57	3
	Minimierung der Zeitspanne ohne Bodenbedeckung	60	2
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität	51	6



Maßnahme	Umsetzung	GxE	Rang
	Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren	55	4
	Vermeidung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Förderung der biol. Aktivität + Kalkung	55	4
	Erosionsmindernde Flurgestaltung i.V.m. dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung	40,5	9
	Windschutz durch Hecken und Windschutzstreifen	55	4
<b>Schutz vor Austrocknung und Nährstoffverlust</b>	Änderung Wassermanagement	47	8
	trockenresist. Pflanzensorten	36	11
	alternativer Sorten und Arten in der Landwirtschaft	28	12
	Anbau wärmeliebenden Arten	28	12
	Bodenbewässerung, -beregnung	38	10
	Anpassungen der Düngung	63	1
	Ausnutzung der Wasservorräte tieferer Bodenschichten	38	10
	Umbau von nicht standortgemäßen Beständen	38	10

Die geeignetste Maßnahme zum Schutz des Bodens vor den Folgen der prognostizierten Klimaveränderungen erwies sich die Anpassung der Düngung zum Schutz vor Nährstoffverlust. Die Zeitspanne ohne Bodenbedeckung in der Landwirtschaft sollte minimiert werden (Rang 2), die Saattermine sind an die klimatischen Bedingungen anzupassen (Rang 3). Die genannten Maßnahmen sind ebenso Bestandteil einer ordnungsgemäßen landwirtschaftlichen Nutzung der Ressource Boden wie die Vermeidung hangabwärtsgerichteter Fahrspuren, die Vermeidung von Bodenverdichtungen und die Förderung der biologischen Aktivität (Rang 4). Auch der Windschutz durch Hecken und Windschutzstreifen zur Verminderung der Winderosion und die Kompensationskalkung in der Forstwirtschaft sind geeignete Maßnahmen zum Bodenschutz.

#### 5.4 Schutzgut Luft

Die Gefährdungsfaktoren für das Schutzgut Luft sind in der Tab. 32 erläutert. Im Wesentlichen ist mit einer Zunahme der Beeinträchtigung der Luftqualität zu rechnen.

Tab. 32: Gefährdungsfaktoren Schutzgut Luft

Gefährdungsfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Lufteigenschaften	Durch den Klimawandel verändern sich die Lufteigenschaften (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, ...).
Luftqualität	Durch den Klimawandel verschlechtert sich die Luftqualität.
Winderosion	Durch den Klimawandel erhöht sich die Staubbelastung insbesondere in Trockenperioden.
<b>Chemische</b>	
Sommersmog - Strahlung	Im Zuge des Klimawandels ist mit einer deutlichen Erhöhung der Sonneneinstrahlung und der Häufigkeit ausgeprägter Sommertage zu rechnen, wodurch auch die Häufigkeit von Sommersmog bei gleichbleibender Schadstoffemission zunimmt.
CO <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> -Konzentration	Durch den Abbau organischer Stoffe im Boden erhöht sich die CO <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> -Konzentration in der Luft.

### 5.4.1 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Tab. 33: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Luft

Gefährdungs-faktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-voraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Physikalische</b>						
<b>Umgebungsbedingungen</b>						
Lufteigen-schaften	Klima	Veränderung der Luft-eigenschaften durch die Verän-derung des Klimas	Kaltluftseen- und Kaltluftströmungen gestört, Bebauungs-grad, Verkehrsdichte	Vorbelastung der Luft	negative Verände-rung der Lufteigen-schaften	besiedelter Bereich (Stadt)
Luftqualität	Schadstoffe	Emission von Schadstoffen	Klimaverhältnisse (Windgeschwindig-keit, Feuchte, ...)	Vorbelastung der Luft	negative Verände-rung der Luftinhalt-stoffe	besiedelter Bereich (Stadt)
Winderosion	Staub	Emission von Staub	Klimaverhältnisse (Windgeschwindig-keit, Feuchte, ...)	Vorbelastung der Luft	negative Verände-rung der Luftinhalt-stoffe	besiedelter Bereich (Stadt)
<b>Chemische</b>						
Sommersmog - Strahlung	Smog	Bildung von Smog durch Son-nenstrahlung	Klimaverhältnisse (Strahlungsintensität, Temperatur, ...)	Vorbelastung der Luft	negative Verände-rung der Luftinhalt-stoffe	besiedelter Bereich (Stadt)
CO <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> -Konzentration	CH <sub>4</sub> und CO <sub>2</sub>	Bildung von CH <sub>4</sub> und CO <sub>2</sub> durch Humusabbau	Klimaverhältnisse (Temperatur, Feuch-te, ...)	Vorbelastung der Luft	negative Verände-rung der Luftinhalt-stoffe	besiedelter Bereich (Stadt)

#### 5.4.2 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Tab. 34: Risikoabschätzung nach Nohl

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Lufteigenschaften	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Luftqualität	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Winderosion	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
Sommersmog - Strahlung	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> -Konzentration	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 5.4.3 Entwickeln von Lösungsalternativen

Als Maßnahmen für das Schutzgut Luft sind die Emissionseinträge (Klimaschutzmaßnahmen) zu reduzieren, um ein Fortschreiten des Klimawandels so weit wie möglich zu verhindern.

1. Indirekte CO<sub>2</sub>-Einsparung durch den Einsatz Erneuerbarer Energien
2. Direkte CO<sub>2</sub>-Einsparung durch technische Verbesserungen bzw. Nutzungsänderung

### 5.4.4 Stand der Umsetzung von Lösungsalternativen

In der Stadt Chemnitz wurden zu diesem Thema bereits zahlreiche Maßnahmen wirksam umgesetzt. Zusammen mit den Vertretern von 40 europäischen Großstädten hat Oberbürgermeisterin Barbara Ludwig mit der „Erklärung der EUROCITIES zum Klimawandel“ Leitlinien zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen unterzeichnet. Die Stadt Chemnitz als Mitglied im Klimabündnis strebt langfristig – entsprechend dem oben genannten Klimaschutzziel - eine Verminderung ihrer Treibhausgasemissionen auf ein nachhaltiges Niveau von 2,5 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Einwohner und Jahr durch Energiesparen, Energieeffizienz und durch die Nutzung erneuerbarer Energien an. Dabei soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß alle fünf Jahre um zehn Prozent reduziert werden. Der wichtige Meilenstein einer Halbierung der Pro-Kopf-Emissionen (Basisjahr 1990) soll bis spätestens 2030 erreicht werden [SEKo 2009].

Wichtige Teilziele bis 2020 sind [SEKo 2009]:

- die Verbesserung der Energieeffizienz um 20 %,
- der Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich auf 30%,
- Verdichtung und Umbau von Wärmenetzen,
- Ausbau der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich auf 14%

Die kostengünstigste Variante zur Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist die Elektroenergie. Mit der Bereitstellung von Informationen (Energieeinsparberatung) und einer entsprechenden Bewusstseinsbildung bei der Bevölkerung sind Korrekturen im Nutzerverhalten bereits erfolgt, z. B. der Verzicht auf „Stand-by“-Verbrauch. Bei kommunalen Ausschreibungen werden Leistungskriterien zum Energieverbrauch unter Berücksichtigung der vergabe- und haushaltrechtlichen Vorgaben in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen.

Bei den insgesamt 24.622 Leuchten der Straßenbeleuchtung werden 94% mit energiesparenden Leuchtmitteln, hauptsächlich Typ Natriumdampf, betrieben. 55% der Leuchten sind

mit internen Umschaltungen ausgerüstet und betrieben, der Energieverbrauch wurde – bezogen auf das Referenzjahr 1990 - bisher um 25% gesenkt [SEKo 2009].

Die Elektroenergie wird im Stadtgebiet zunehmend Photovoltaikanlagen und vereinzelt durch Windkraftanlagen erzeugt. Bis 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien auf 60% der Gesamtelektroenergieversorgung ansteigen. Die Solarenergie kann und soll elektro- und wärmeseitig einen wesentlichen Beitrag zur künftigen Energieversorgung leisten. Von den mehr als 30.000 Wohngebäudedachflächen sind mehr als die Hälfte mit einer Ausrichtung nach Süden für die Nutzung von Solarenergie geeignet. Mit dem heutigen technischen Modulflächenbedarf für PV - Anlagen von ca.10 m<sup>2</sup> /kWpeak ergäbe das eine summierte Generatorleistung von 140 MWpeak [SEKo 2009].

Tab. 35: Solartechnisches Potential Chemnitzer Wohngebäude [SEKo 2009]

Durchschnittlicher Solarertrag	350 kWh/m <sup>2</sup> a
solargeeignete Dachfläche in Chemnitz	1.685.626 m <sup>2</sup>
max. möglicher solarer Energieertrag	589.969 MWh
Kollektorflächenbedarf zur Brauchwarmwasserbereitung (BWW) bei 60 %Deckung	260.809 m <sup>2</sup>
erzielbarer Energiegewinn	91.283 MWh
BWW-Wärmebedarf	152.139 MWh
Gebäudewärmebedarf für Chemnitz (nur Wohngebäude)	1.400.000 MWh

Die Stadtwerke Chemnitz AG und deren Tochter ELICON Energiedienstleistungen und Consulting GmbH betreiben leistungsstarke Photovoltaik-Großanlagen im Stadtgebiet mit insgesamt über 3 MW elektrischer Leistung. Weitere Projekte zur Nutzung von Brachflächen und Gebäuden sind geplant. Eine Solarflächenbörse in Zusammenarbeit von Handwerksbetrieben und Kollektorherstellern wird in Zukunft die Solarnutzung fördern. Für Bürgersolaranlagen werden kommunale Dachflächen pachtfrei verliehen [SEKo 2009].

Die Stadtwerke Chemnitz AG (SWC) erzeugen im Heizkraftwerk (HKW) Nord Elektroenergie mittels Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Bei diesem Verfahren wird der eingesetzte fossile Brennstoff Braunkohle zeitgleich in Elektroenergie und nutzbare Wärme umgewandelt. Hin-

sichtlich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ist der Brennstoff Braunkohle als kritisch anzusehen: Bei der Erzeugung von 1 kWh Elektroenergie aus der Verbrennung von Braunkohle werden unabhängig vom Wirkungsgrad der Kraftwerke aber in Abhängigkeit der Beschaffenheit der Kohle zwischen 950 und 1200 g CO<sub>2</sub> emittiert. Ab dem Jahr 2009 erfolgen im Heizkraftwerk Chemnitz Investitionen zur Reduzierung von Stickoxiden, Automatisierung und der Ersatz einer Turbine durch eine 100 MW-Entnahme-Kondensationsturbine. Bei der Erzeugung von Elektroenergie verursacht die geplante Entnahmekondensationsturbine ca. 33% geringere CO<sub>2</sub> Emissionen gegenüber der Gegendruckturbine mit Hilfskühlerbetrieb ohne Wärmenutzung. Der Turbinenersatz ist ein Beitrag zum Ziel der Bundesregierung, den Anteil der Elektroenergieerzeugung aus KWK auf 25 % bis zum Jahr 2020 zu erhöhen [SEKo 2009].

Die Bereitstellung der Fernwärme erfolgt zu 98% aus KWK mit einem Primärenergiefaktor  $f_p$  von 0,625 gemäß Energieeinspar-Verordnung (EnEV). Das Chemnitzer Fernwärmesystem bietet für die Stadtentwicklung eine zukunftssichere Wärmeversorgung. Der Preisentwicklung und Verknappung von Energieimporten steht mit dem Anschluss von Gebäuden an die Fernwärmenetze eine Alternative zur Verfügung. Die Anschlussverdichtung in Fernwärmeversorgungsgebieten soll durch Anschlusssatzungen unterstützt werden. Ziel ist es dabei, die Chemnitzer Haushalte ökologisch und ökonomisch mit den vorhandenen Wärmekapazitäten zu versorgen [SEKo 2009].

Mit einem Teil der Fernwärme werden die Absorptionskältemaschinen des Fernkältenetzes betrieben, seit 2008 mit einem innovativen Kurzzeit-Kältespeicher. Der Anteil der Kältebereitstellung über die Absorptionskältemaschinen konnte mit Hilfe des Kältespeichereinsatzes von ca. 90 % auf nahezu 100 % gesteigert werden. Bei der Nutzung von Erdgas ist der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung durch Mini-BHKW und die Nutzung von Solarenergie zu prüfen. Bei Investitionen in kommunale Gebäude wird der Einsatz erneuerbarer Energie, dezentrale KWK sowie höchste Energieeffizienz geprüft, geplant und umgesetzt. Beim Konjunkturprogramm II liegt ein Schwerpunkt auf der energetischen Sanierung von Gebäuden und dem Einsatz effizienter Brennwertheiztechnik [SEKo 2009].

Zur Luftreinhaltung und zum Lärmschutz sind in dem aktuellen Entwurf des Stadtentwicklungskonzeptes folgende Leitlinie enthalten:

1. Reduzierung der Luftschadstoff- und Lärmemissionen durch Senkung von motorisiertem Individualverkehr zugunsten von ÖPNV, Fuß- und Radverkehr,

2. Bündelung des motorisierten Individualverkehrs auf das Hauptnetz und Durchführung von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen in Wohn- und anderen schutzwürdigen Gebieten,
3. Berücksichtigung der Lärm- und Luftschadstoffbelastung in Stadtumbaugebieten bei der Ausweisung möglicher Nachnutzungsarten.

Zur Minderung der Feinstaubbelastung (PM 10) wurde gemäß § 47 Abs. 2 Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) i. V. m. § 11 Abs. 2 der Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (22. BImSchV) am 03.02.2006 der Aktionsplan Chemnitz in Kraft gesetzt, die Maßnahmen wurden umgesetzt. Der Luftreinhalteplan für die Stadt Chemnitz gemäß § 47 Abs. 1 BImSchG ist seit dem 10. Juli 2008 rechtskräftig. Die Feinstaubbelastung wird in Chemnitz vom Ferneintrag dominiert, jedoch leistet der auf der Leipziger Straße und im gesamten Stadtgebiet vorhandene Kfz-Verkehr an der Station Chemnitz-Leipziger Straße einen wesentlichen Beitrag von 41 %. Abgeleitet aus dem Verkehrsentwicklungs- und dem Nahverkehrsplan wurden im Luftreinhalteplan folgende Maßnahmen festgelegt [SEKO 2009]:

- Steigerung des Anteils von Öffentlichem Personennahverkehr, Fussgänger- und Radverkehr an den zurückgelegten Wegen (Modal-Split) von 50 % auf 53 %,
- die ÖPNV-Beschleunigung,
- die Realisierung des Chemnitzer Modells,
- der Ausbau des P+R - Angebots im Bahnhofsbereich,
- die Zufahrtsdosierungen auf Überlastungsstrecken,
- das dynamische Wegweisungssystem,
- das Lkw-Führungskonzept,
- der Neu- und Ausbau von Straßen (z. B. Innenring, Südverbund),
- Bauwerke zur kreuzungsfreien Passage hoch belasteter Knotenpunkte,
- die Verbesserung der Durchlüftungsverhältnisse,
- die Erhöhung des Grünflächenanteils,
- die Pflanzung von jährlich 500 Straßenbäumen,
- die Förderung regenerativer Energien und
- Die Festsetzung von Verwendungsverbieten für feste fossile Brennstoffe innerhalb von verbindlichen Bauleitplänen.



## 5.5 Schutzgüter Fauna und Flora – Biologische Vielfalt

### 5.5.1 Gefährdungsfaktoren

Durch den Klimawandel bestehen für die Flora und Fauna die in der folgenden Tabelle aufgeführten Gefährdungsfaktoren.

Tab. 36: Gefährdungsfaktoren Schutzgut Flora und Fauna

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Klima (Hitze, Kälte, Zugluft, Luftfeuchtigkeit)	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu. Beispiele dafür sind der Hitzesommer 2003, die Überschwemmungen am 13. August 2002 und im März/April 2006 und der Tornado am 29. Juli 2005. Abnahme der Ertragsstabilität in allen sächsischen Regionen infolge von Überschwemmungen, Hitze und Dürreperioden, Stürme, Hagel und Spätfröste
Wassererosion und Überschwemmungen	Zunehmendes Risiko der Wassererosion und von Überschwemmungen durch erhöhte Intensität von Starkregenereignissen, besonders im Frühjahr und Sommer
Winderosion	Zunahme der Winderosion auf leichten Standorten bei stark ausgetrockneter Bodenoberfläche
Temperaturanstieg	Auf Grund verminderter Photosynthese sowie vermehrter Atmung bei hohen Temperaturen können weniger Inhaltsstoffe gespeichert werden, d.h. Veränderung der Pflanzen in Bezug auf Quantität und Qualität. Mit der steigenden Außentemperaturen und steigender Leistungsfähigkeit der Tiere steigt auch die Wärmebildung im Tier → zunehmender Hitzestress
Wasserversorgung	Die Wasserversorgung nimmt aufgrund der zunehmenden Wasserknappheit einen höheren Stellenwert ein.
<b>Strahlung</b>	
natürliche UV-Strahlung	Durch die höhere UV-Strahlung nimmt die Photosyntheserate bis zum pflanzenspezifischen Maximumwert zu. Jedoch kann die UV-Strahlung bei der Überschreitung pflanzenspezifischer

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
	Grenzwerte auch zur Schädigung von Pflanzen führen. Die UV-Belastung kann zu einer Reduktion des Blatt- und Stammwachstum, einer Änderung der Blüteanzahl und Blütezeit, Reduzierung der Photosyntheserate oder verminderte Biomasse. UV-Strahlung erzeugt aus sogenannten Vorläufersubstanzen (Abgabe) bei hoher Sonneneinstrahlung auch bodennah Ozon, welches lungenschädigend und pflanzenschädigend wirkt (Smog) [MU, 2009].
<b>Chemische</b>	
Brände, Explosionen	
Brände	Erhöhung der Brand- und Explosionsgefährdung durch Temperaturerhöhung
Gefahrstoffe	
Schadstofffreisetzung	Freisetzung von Schadstoffen durch z.B.: Absenkung des GW-Spiegels, Austrocknung der Bodens, .....
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	Förderung des Pflanzenwachstums durch ansteigende CO <sub>2</sub> -Gehalte der Atmosphäre bei nicht limitierter Wasserversorgung sowie Verbesserung der Wassernutzungseffizienz. In Gewässerökosystemen kann das Lösen von Kohlenstoffdioxid aus der Luft zu einer Versauerung durch die Bildung von Kohlensäure führen.
Nitratauswaschung	Zunahme der winterlichen Nitratauswaschung auf leichten und flachgründigen Standorten in Jahren mit erhöhten Winterniederschlägen sowie Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Lössstandorten,  Verstärkter Humusabbau und damit Stickstoff- und Kohlendioxidfreisetzung infolge der Temperaturzunahme (insbesondere im Winter)
<b>Biologische</b>	
Biodiversität	Rückgang der biologischen Vielfalt: Kälteempfindliche und feuchtigkeitsliebende Arten werden verschwinden und wärmeliebende Arten einwandern. Gebietsansässige heimische Arten werden durch die Zuwanderung neuer eingeschleppter oder eingebrachter Arten aus anderen Bereichen (Neobiota) einer

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
	neuen Konkurrenzsituation unterliegen.
Verarmung des Genpools	Ein größerer Ausfall von Populationen einer Art führt zur Verarmung des Genpools und damit wiederum zu verringerter Anpassungsfähigkeit.
Wachstumsperiode	Verlängerung der Wachstumsperiode bei nicht-deterministischen Arten wie Zuckerrüben, Kartoffeln oder Grünland
Verlust von Biotoptypen	Weitere Begünstigung des Klimawandels durch Verlust von Biotoptypen, insbesondere den GW-abhängigen Biotoptypen (Moore, Feuchtwiesen, ...)
Schadpflanzen	Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen sowie Ausbreitung Wärme liebender neuer Unkrautarten wie Sampappel, Giftbeere und Ambrosia
Erregerbedingte Tierkrankheiten/ Viruskrankheiten	Die Ausbreitung von erregerbedingten Tierkrankheiten wird durch eine zunehmende Staubverlagerung (Staub, Thermik, Wind) verstärkt, da über 80% der luftgetragenen Mikroorganismen an Partikeln angelagert sind und über so genannte Cluster transportiert werden. Verstärktes Auftreten von durch Blattläuse und Zikaden übertragenen Viruskrankheiten.
Pilzkrankheiten	Abnehmende Tendenz bei Pilzkrankheiten, die auf lange Niederschlags- und Feuchtperioden angewiesen sind. Zunahme von Krankheiten mit hohen Temperaturansprüchen wie Rostkrankheiten oder Netzfleckenkrankheiten
Schädlinge	Zunahme Wärme liebender Insekten wie Fritfliege, Brachfliege und Blattläuse, vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr. Zum Teil sind durch die Temperaturerhöhung die Ausbildung mehrerer Generationen (z.B. Fritfliege) oder eine schnellere Larvenentwicklung durch höhere Frühjahrstemperaturen (z.B. Brachfliege) möglich.
<b>Multifaktorielle Gefährdung</b>	
Vegetationsperiode - Frostrisiko	Verlängerung der Dauer der thermischen Vegetationsperiode bis zu 30 Tagen vor allem im Frühjahr und damit Zunahme des Früh- und Spätfrostrisikos

## 5.5.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Tab. 37: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Flora und Fauna

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-vorraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Physikalische</b>						
<b>Umgebungsbedingungen</b>						
Extremereignisse/ Klima	Klima (Feuchtigkeit, Sturm, Kälte, Hitze, starke Regenfälle)	Flora und Fauna ist den Klimabedingungen ungeschützte ausgesetzt	Standortvoraussetzungen (Geschütztheit, Lage, Bedeckungsgrad, ...), Geländemorphologie, GW-Stand	Vitalität, Entwicklungsstadium, Alter und phys. Leistungsvoraussetzungen der Fauna, psych. Leistungsvoraussetzung/ Informationsverarbeitung	Sturmschäden, Hitze- und Kältestress, Hagelschäden, Erkrankungen, Verletzungen, Todesfälle (Ertrinken, Erschlagen)	Jungpflanzen/ Jungwuchs und Altholz/ Altbestände, junge, schwache und kranke Tiere, offene Flächen
Wassererosion	Klima (Feuchtigkeit, starke Regenfälle → Niederschlagsintensität)	Flora und Fauna ist den Klimabedingungen ungeschützte ausgesetzt, offene Flächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs	Niederschlagsintensität, Bodenfeuchte, Anteil Oberflächenabfluss, Standortvoraussetzungen	Vitalität, Entwicklungsstadium, Alter und phys. Leistungsvoraussetzungen der Tiere, psych. Leistungsvoraussetzung/ Informationsverarbeitung	Bodenverlust, Störung des Bodengefüges (Verletzlichkeit einer Fläche steigt), Erkrankungen, Todesfälle (Verschütungen)	Jungpflanzen/ Jungwuchs und Altholz/ Altbestände, junge, schwache und kranke Tiere, offene Flächen

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Winderosion	Windgeschwindigkeit	offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs (fehlende Stabilität Bodengefüge)	hohe Temperaturen und hohe Strahlungsintensität, Standortverhältnisse (Exposition)	Vitalität und Entwicklungsstadium, Stabilität Bodengefüge (Aggregatbildung)	Bodenverlust, Beeinflussung Bodenfruchtbarkeit, Verschmutzen von Fauna und Flora	Jungwuchs und Altholz/ Altbestände, offene Flächen (geringer Bedeckungsgrad)
Temperaturanstieg	Anstieg der Lufttemperatur	verminderter Photosynthese sowie vermehrter Atmung bei hohen Temperaturen	schlechte Wasserversorgung, Standortverhältnisse (Nährstoffversorgung, ..)	Vitalität, Entwicklungsstadium, Widerstandsfähigkeit	Abnahme der Pflanzenqualität, Trockenschäden, Hitzestress, Erkrankung, Tod	Jungpflanzen/ Jungwuchs, alte und kranke Tiere
Wasserversorgung	ungenügende Wasserversorgung	Minderung der Grundwasserneubildungsrate, hohe Niederschlagsintensität	ausgetrocknete Böden, Standortverhältnisse (Beschatungsgrad, ...)	Vitalität, Entwicklungsstadium, Widerstandsfähigkeit, Wurzeltiefe	Wasserknappheit, Versiegen von Kleingewässern, Trockenschäden, Erkrankung, Tod	Jungpflanzen/ Jungwuchs, alte und kranke Tiere
<b>Strahlung</b>						
natürliche UV-Strahlung	UV-Strahlung	ungehindertes Auftreffen der UV-Strahlung auf Fauna und Flora	Standortverhältnisse (Schattenwurf, Wasserversorgung, ...), Lufttemperatur	Vorschädigung der Haut, erblich bedingte Empfindlichkeit der Haut (z.B. Albinos), unzureichende Pigmentierung bei Fauna und Flora	Strahlungsschäden, Hauterkrankungen, Kreislaufstörungen, Blatt- und Stammwachstum, einer Änderung der Blüteanzahl und Blütezeit, Reduzierung der Photosyntheserate oder verminderte Biomasse	gesamte Flora und Fauna

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-vorraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Chemische</b>						
<b>Brände, Explosionen</b>						
Brände	richtiges Mischungsverhältnis zwischen dem brennbaren Stoff (Pflanzen), der Zündquelle und dem Sauerstoff	Steigung der Temperatur (Trockenperioden) in einen kritischen Bereich für Brände (Erreichung Flammpunkt), Auslösen von Bränden durch einen Blitzschlag bzw. Fremdeinwirkung	austrocknete Vegetation	Flora: Feuchtegehalt, Fauna: Vitalität/ Physische Leistungsveraussetzungen	verbrennen der Vegetation, Verbrennungen, Erstickungen, Vergiftung durch Rauchgase, Verletzungen durch Einsturz	gesamte Flora und Fauna
<b>Gefahrstoffe</b>						
Nitratauswaschung	Nitrat	Nitrattransport mit dem Sickerwasser	Klima- und Bodenverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung	Wurzeltiefe des Pflanzenbestandes, Bedeckungsgrad, -art und -dauer, Bodeneigenschaften (Wasserleitfähigkeit, Porenanteil, ...)	erhöhte Nitratbelastung Sickerwasser (Grundwasser- und Oberflächenwasserbelastung), Nährstoffverlust	leicht durchlässige Böden (z.B. Sandböden)
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	erhöhter CO <sub>2</sub> -Gehalt	Versauerung von Oberflächengewässern durch Lösung von CO <sub>2</sub> im Wasser und Bildung von Kohlensäure	Standortverhältnisse (pH-Wert, Wassertemperatur, Druck)	Pufferkapazität (Salzgehalt)	Versauerung und damit Veränderung der Lebensraumeigenschaften	Wasserorganismen

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-vorraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Freisetzung von Schadstoffen	Schadstoffe	Veränderte Austragsverhältnisse für Schadstoffe in Oberflächenwasser und Grundwasser durch Abbau organ. Substanz bzw. Transport mit dem Sickerwasser	Klima- und Bodenverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung, Abbau organ. Substanzen	Wurzeltiefe des Pflanzenbestandes, Bedeckungsgrad, -art und -dauer, Standortverhältnisse (kontaminiertes Bodenmaterial, ..)	Gefährdung von Oberflächen- und Grundwasser, Aufnahme durch Vegetation, Aufnahme über Nahrungskette	gesamte Flora und Fauna
<b>Biologische</b>						
Biodiversität	Temperaturerhöhung, Strahlungsintensität	Einwanderung wärmeliebender Arten (Konkurrenzbeziehung)	Klimabedingungen, Standortverhältnisse (Nahrungsverhältnisse, ökolog. Nischen)	ökologische Stabilität	Gefährdung der ökologischen Stabilität, Artenverarmung, Aussterben Pflanzen- u. Tierarten	kälte- und feuchtigkeitsliebende Arten
Verarmung des Genpools	Ausfall von Populationen einer Art	Verarmung des Genpools	Fluchtmöglichkeiten gering (Biotopzerschneidung)	Vitalität/Reaktionsvermögen (Mobilität)	Verringerte Anpassungsfähigkeit, Aussterben Pflanzen- u. Tierarten, Verarmung Genpool	kälte- und feuchtigkeitsliebende Arten
Verlust von Biotoptypen	Temperaturerhöhung, Strahlungsintensität	Senkung des GW-Standes, Verringerung der Versickerungsrate	Klimabedingungen, Standortverhältnisse (Nahrungsverhältnisse, ökolog. Nischen)	ökologische Stabilität	Gefährdung der ökologischen Stabilität, Biotopverlust	Hydroböden, Feuchtwiesen
Schadpflanzen, Schädlinge (Fritfliege, Brachfliege, Blattläuse)	Verdrängung von Flora und Fauna bzw. Befall	Konkurrenz zu Schadpflanzen- und -tieren bzw. Befall	Standortverhältnisse, Ausbreitung der Schadpflanzen- und -tiere in der Region	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Verdrängung der Flora und Fauna, Gefährdung ökolog. Stabilität, Befall von Fauna und Flora, Schädigung bzw. Tod der Wirte	gesamte Flora und Fauna, vor allem schwache Individuen

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Pilzkrankheiten	Temperaturerhöhung, Strahlungsintensität	Befall von Fauna und Flora	Standortverhältnisse, Ausbreitung der Krankheiten in der Region	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen, Vorbelastrungen	Befall von Fauna und Flora, Schädigung bzw. Tod der befallenen Individuen	gesamte Flora und Fauna
Viruskrankheiten/ Erregerbedingte Krankheiten	Kontakt mit Viren (z.B. durch Stich, Biss, ...) oder Erregern	Übertragung von Viruskrankheiten durch Wirt (Blattläuse, Zikaden) oder Kontakt mit Erregern (Transport durch Staub)	Standortverhältnisse (beengte Platzverhältnisse, ...), Staubverlagerung	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen (Immunistatus)	Viruskrankheit, Infektionen, Allergien, toxische Reaktionen im schlimmsten Fall Tod des Wirtes	kranke und schwache Individuen

### 5.5.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Tab. 38: Risikoabschätzung nach Nohl

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Extremereignisse	mittelschwer	mittel	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wassererosion	mittelschwer	mittel	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Winderosion	mittelschwer	gering	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperaturanstieg	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	<b>hoch</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



<b>Gefährdung</b>	<b>Mögliche Schadensschwere</b>	<b>Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens</b>	<b>Risikomaßzahl nach Nohl</b>	<b>Handlungsbedarf</b>	
				<b>ja</b>	<b>nein</b>
Wasserversorgung	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strahlung					
natürliche UV-Strahlung	schwer	hoch	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
Brände, Explosionen					
Brände (insbesondere Waldbrandgefahr)	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Gefahrstoffe</b>					
Nitratauswaschung	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Freisetzung von Schadstoffen	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Biologische</b>					
Biodiversität	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verarmung des Genpools	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verlust von Biootypen	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schadpflanzen, Schädlinge (Fritfliege, Brachfliege, Blattläuse)	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pilzkrankheiten	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Viruskrankheiten/ Erregerbedingte Krankheiten	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 5.5.4 Entwicklung von Lösungsalternativen

Im Bereich des Schutzes von wildlebender Fauna und Flora sind ausschließlich Maßnahmen zur Einsparung von Emissionen (Klimaschutzmaßnahmen) möglich, um das Fortschreiten des Klimawandels so weit wie möglich zu verringern. Der Stand der Umsetzung zur Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist aus dem Kapitel 5.4.4 ersichtlich.

### 5.6 Schutzgut Forstwirtschaft

#### 5.6.1 Einflussfaktoren auf die Forstwirtschaft

Der Klimawandel wirkt über vielfältige Einflussfaktoren auf das Schutzgut Forstwirtschaft ein. Die forstlichen Ökosysteme sind sehr komplex mit den klimatischen Bedingungen verbunden, welche neben dem Boden und der Grundwassersituation wesentliche Standortfaktoren für einen Waldbestand darstellen.

Tab. 39: Einflussfaktoren auf das Schutzgut Forstwirtschaft

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Physikalische Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu, wodurch das Risiko von Sturmschäden zunimmt.
Zunahmen von Niederschlag in flüssiger Form im Winter	Erhöhung der Schneebruchgefahr und Beeinträchtigung der Standfestigkeit durch Aufweichen der oberen Bodenhorizonte
Wassererosion und Überschwemmungen	Zunehmendes Risiko infolge Wassererosion sowie Überschwemmungen durch erhöhte Intensität von Starkregenereignissen, besonders im Frühjahr und Sommer, Beeinflussung der Standfestigkeit von Flachwurzlern
Winderosion	Zunahme der Winderosion auf leichten Standorten bei stark ausgetrockneter Bodenoberfläche
<b>Strahlung</b>	
natürliche UV-Strahlung	Durch die höhere UV-Strahlung nimmt die Photosyntheserate bis zum pflanzenspezifischen Maximumwert zu. Jedoch steigt durch

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
	die erhöhte Strahlung auch die Verdunstung, so dass die Wahrscheinlichkeit von Dürreperioden steigt (Hitzestress).
<b>Chemische</b>	
<b>Brände, Explosionen</b>	
Brände	Erhöhung der Waldbrandgefahr
Gefahrstoffe	
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	Förderung des Pflanzenwachstums durch ansteigende CO <sub>2</sub> -Gehalte der Atmosphäre bei nicht limitierter Wasserversorgung sowie Verbesserung der Wassernutzungseffizienz.
Schadstofffreisetzung	Freisetzung von Schadstoffen durch z.B.: Absenkung des GW-Spiegels, Austrocknung der Bodens, .....
<b>Biologische</b>	
Vegetationsperiode	Verlängerung der Vegetationsperiode durch den Anstieg der Temperatur und der Strahlung.
Humusabbau	Verstärkter Humusabbau und damit Stickstoff- und Kohlendioxidfreisetzung infolge der Temperaturzunahme (insbesondere im Winter)
Schadpflanzen	Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen sowie Ausbreitung Wärme liebender neuer Unkrautarten wie Samtpappel, Giftbeere und Ambrosia
Schädlinge	Anstieg der Insektenkalamitäten (z. B. Buchdrucker) infolge des Anstiegs der Temperatur, vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr

## 5.6.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Tab. 40: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Forstwirtschaft

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-voraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Physikalische</b>						
<b>Umgebungsbedingungen</b>						
Extremereignisse/ Klima	Klima (Feuchtigkeit, Sturm, Kälte, Hitze, starke Regenfälle)	Flora und Fauna ist den Klimabedingungen ungeschützt ausgesetzt	Standortvoraussetzungen (Lage, Bodenart, ...)	Vitalität, Entwicklungsstadium	Sturmschäden (Wurf- und Bruchholz), Hitze- und Kältestress, Hitze- und Kälteschäden, Hagelschäden	Jungwuchs und Altholz
Zunahme der Niederschläge in flüssiger Form	Niederschlag	Erhöhte Lasten durch nassen Schnee, Aufweichen der oberen Bodenhorizonte	Standortvoraussetzungen (Lage, Bodenart, ...)	Vitalität (Standfestigkeit, ..) Entwicklungsstadium	Erhöhung der Schneebruchgefahr und Beeinträchtigung der Standfestigkeit	alle forstwirtschaftlichen Flächen
Wassererosion und Überschwemmungen	Klima (Feuchtigkeit, Niederschlagsintensität)	Wald ist den Klimabedingungen ausgesetzt, offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bestand (Bewuchs Krautschicht)	Niederschlagsintensität, Bodenfeuchte, Anteil Oberflächenabfluss	Vitalität, Entwicklungsstadium	Bodenverlust, Verlust der Ernte, Störung des Bodengefüges (Verletzlichkeit einer Fläche steigt)	Jungwuchs und Altholz
Winderosion	Windgeschwindigkeit	offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs (fehlende Stabilität Bodengefüge)	hohe Temperaturen, hohe Strahlungsintensität, Exposition gegenüber Wind	Vitalität und Entwicklungsstadium, Stabilität Bodengefüge (Aggregatbildung)	Bodenverlust, Verschmutzen der Bäume (insbes. Blätter – Photosynthese)	Jungwuchs und offene Flächen

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Strahlung</b>						
natürliche UV-Strahlung	UV-Strahlung	ungehindertes Auftreffen der UV-Strahlung auf Bäume.	Standortverhältnisse (Schattenwurf, Wasserversorgung, ...), Lufttemperatur, Vitalität	unzureichende Pigmentierung Flora	Strahlungsschäden Beeinflussung Blatt- und Stammwachstum, Änderung Blüteanzahl und Blütezeit, Reduzierung Photosyntheserate	alle forstwirtschaftlichen Flächen
<b>Chemische</b>						
<b>Brände, Explosionen</b>						
Brände	richtiges Mischungsverhältnis zwischen dem brennbaren Stoff (Holz, Pflanzen), der Zündquelle und dem Sauerstoff	Steigung der Temperatur (Trockenperioden) in einen kritischen Bereich für Brände (Erreichung Flammpunkt), Auslösen von Bränden durch einen Blitzschlag bzw. Fremdeinwirkung	Austrocknen von Wäldern (Waldbrand, ...)	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Verbrennen ganzer Waldbestände, Einsturz	Wälder an trockenen Standorten
<b>Gefahrstoffe</b>						
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	erhöhter CO <sub>2</sub> -Gehalt	Versauerung von Oberflächengewässern durch Lösung von CO <sub>2</sub> im Wasser und Bildung von Kohlensäure	Standortverhältnisse (pH-Wert, Wassertemperatur, Druck)	Pufferkapazität (Salzgehalt)	Versauerung und damit Veränderung der Lebensraumeigenschaften	Wasserorganismen

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-vorraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Schadstoff-freisetzung	Schadstoffe	Veränderte Austragsverhältnisse für Schadstoffe in Oberflächenwasser und Grundwasser durch Abbau organ. Substanz bzw. Transport mit dem Sickerwasser	Klima- und Bodenverhältnisse, Art und Intensität Waldnutzung, Abbau organ. Substanzen	Wurzelaumtiefe des Pflanzenbestandes, Bedeckungsgrad, -art und -dauer, Standortverhältnisse (kontaminiertes Bodenmaterial, ..)	Gefährdung von Oberflächen- und Grundwasser (und damit aller Ökosysteme)	direkt: Oberflächen und Grundwasser indirekt: alle Ökosysteme
<b>Biologische</b>						
Humusabbau	Nährstoffaustrag	veränderte Abbauverhältnisse durch Temperaturanstieg und Wassermangel	Klima- und Bodenverhältnisse, Art der Waldnutzung, Wasserversorgung	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Nährstoffverarmung	alle forstwirtschaftlichen Flächen
Schadpflanzen	Verdrängung standortheimischer Arten	Konkurrenz zwischen Schadpflanzen und standortheimischen Arten	Standortverhältnisse, Ausbreitung der Schadpflanze in der Region	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Verdrängung der Flora und damit Ertragseinbußen	alle forstwirtschaftlichen Flächen
Schädlinge (Buchdrucker, Borkenkäfer)	Schädlinge	Befall durch Schädlinge	Vitalere Überwinterung (milde Winter)	Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Ertragseinbussen bzw. kompletter Ertragsverlust	alle forstwirtschaftlichen Flächen

### 5.6.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Die Risikoabschätzung nach Nohl ist in Tab. 41 dargestellt. Für 9 der 13 relevanten Gefährdungsfaktoren besteht ein Handlungsbedarf.

Tab. 41: Risikoabschätzung nach Nohl Schutzgut Forstwirtschaft

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Extremereignisse/ Klima	schwer	hoch	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zunahme der Niederschläge in flüssiger Form	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wassererosion und Überschwemmungen	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Winderosion	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wasserversorgung	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Strahlung</b>					
natürliche UV-Strahlung	schwer	hoch	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
Brände, Explosionen					
Brände (insbesondere Waldbrandgefahr)	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Gefahrstoffe</b>					
Nitratauswaschung	leicht	gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

<b>Gefährdung</b>	<b>Mögliche Schadensschwere</b>	<b>Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens</b>	<b>Risikomaßzahl nach Nohl</b>	<b>Handlungsbedarf</b>	
				<b>ja</b>	<b>nein</b>
Freisetzung von Schadstoffen	schwer	gering	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Biologische</b>					
Humusabbau	schwer	gering	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schadpflanzen	schwer	mittel	<b>hoch</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schädlinge (Buchdrucker, Borkenkäfer)	schwer	hoch	<b>hoch</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



#### 5.6.4 Entwicklung von Lösungsalternativen

Bei der Ergreifung von Maßnahmen gegen den Klimawandel im Bereich der Forstwirtschaft, kann man drei Strategien unterscheiden [WAGNER 2008]:

- (1) Maßnahmen, um klar definierte Leistungen der Wälder im nächsten Jahrhundert zu erreichen
- (2) Maßnahmen, um die Unsicherheiten abzufangen
- (3) Dynamische Überführungsstrategien

##### Maßnahmen, um die klar definierten Leistungen der Wälder im nächsten Jahrhundert zu erreichen [WAGNER 2008]

Bei einer Veränderung der Standortsbedingungen (= Klimawandel) und dem Wunsch nach Beibehaltung aktueller Waldfunktionen (z.B. Holzerträge) sind ggf. Maßnahmen des Waldumbaus erforderlich = Funktionsumbau.

1. Bestehende Bestockungen anpassen
  - Verringerung der Wasserverfügbarkeit → Bestockungsgrade neu optimieren, Durchforstungsart anpassen.
  - Verringerung der Risiken in älteren (=höheren) Beständen → Verkürzung der Produktionszeiträume.
2. Bestockungen über Verjüngungsmaßnahmen langfristig anpassen
  - Gerichtete Klimaveränderung → Anteil angepasster Arten erhöhen.
  - Bei abnehmender Vitalität einer Baumart vermag eine andere, ggf. Zuwachsverluste abzufangen.
  - Dies könnte genutzt werden, indem Mischungen oder Reinbestände mit anderen Baumarten etabliert werden.

Die Entlastung der für die Waldfunktion wichtigsten Bestandesglieder von Wasser Konkurrenz durch Nachbarn könnte durch eine Absenkung der Bestockungsgrade erfolgen. Bestockungsgradabsenkungen können weit reichende Nebenwirkungen haben wie z. B. Zuwachsverluste, Sturmgefährdung oder Vergrasung. Mischungen könnten zur Kompensation von Zuwachsverlusten beitragen, jedoch sind Mischungen schwieriger zu steuern und man hat häufig ein Vermarktungsproblem.

Der Funktionsumbau ist bei flächigem Baumartenwechsel eine radikale Möglichkeit der Anpassung. Bei den gegebenen Unsicherheiten ist dieser Schritt - der flächige Baumartenwechsel - sicherlich der problematischste. Allerdings ist die Forderung bei Verjüngungsmaßnahmen, alle derzeit verfügbaren Informationen einer Standorterkundung zu nutzen, unbedingt zu berücksichtigen.

#### Maßnahmen, um die Unsicherheiten abzufangen [WAGNER 2008]

Die sich durch den Klimawandel ergebenden Unsicherheiten (Klimaentwicklung, Reaktion der Baumarten, Zunahme von Störungen, Holzmarkt) können mit einer eigenen Strategie, die auf Nachhaltigkeit gerichtet ist, abgefangen werden. Dabei kann man verschiedene Maßnahmen zum Erhalt oder der Wiederherstellung unterscheiden

1. der Produktivität der Standorte:
  - Standortgerechte Baumartenwahl - insbesondere tief wurzelnde Arten und Mischungen
  - flächig vorhandene, leicht zersetzliche Streu - durch Wahl der Hauptbaumart oder durch Mischung (Trupp-Gruppenmischungen)
  - krautige Begleitvegetation - keine Dunkelwirtschaft
2. der biologischen Diversität (insbesondere von Schlüsselarten)
  - Berücksichtigung von Standortunterschieden, Etablierung verschiedener Baumarten als Initiale, Vielfalt der Waldpflege- und Erntemaßnahmen, Totholz
  - Beteiligung von Pionieren (Birken, Aspe, Kiefer) und Eichen, sowie von Arten, die auf warm-trockene Standorte spezialisiert sind (z.B. Winterlinde, Robinie).
  - Horizontale Mischungsformen (Trupp bis Gruppe) gewährleisten die Pufferwirkung beim Zuwachs und mindern Konkurrenzprobleme zwischen ökologisch verschiedenen Baumarten
3. der (Natur-) Verjüngungsfähigkeit der Bestände
  - extensive Beteiligung von Pionierbaumarten (z.B. Sandbirke).
  - Erhöhung der Präsenz von Baumarten mit beschränkter Ausbreitungspotenz (z.B. Winterlinde).
  - Erhalt des Genflusses zwischen Individuen durch Einhalten von Maximalabständen
  - Anwendung artgerechter (Ernte-) Hiebsmaßnahmen
4. der Vitalität von Bäumen und Beständen

- Standortwahl und richtige Herkünfte, wobei erhebliche Unsicherheiten bei den Herkünften bestehen
- Beschränkung des Anbaus von Arten mit atlantischem Verbreitungsschwerpunkt (Fichte)
- Waldpflege zur Kronenpflege (rechtzeitige und intensive Hochdurchforstungen)

Ganz anders als radikaler Funktionsumbau ist der soeben beschriebene Nachhaltumbau zweifellos sinnvoll und kaum mit ökonomischen Risiken behaftet. Ein Nachhaltumbau ist in Sachsen seit etwa 15 Jahren vielerorts gängige Praxis. Dieser sollte mit einer Ausrichtung auf den Klimawandel weiter fortgeführt werden.

#### Dynamische Überführungsstrategien [WAGNER 2008]

Die Dynamik der Umweltfaktoren ist allein mit Maßnahmen, die statisch wirken, nicht aufzufangen. Doch selbst dann muss entschieden werden, für welchen Zeitraum geplant wird. Als unmittelbaren Erfolg versprechend können genannt werden:

- Vorwald (Birke über Eichen, Erle über Buche)
- Voranbau (Eichen unter Kiefer, Buche unter Fichte)
- Naturverjüngung unter Altbestand (Eiche, Vogelbeere unter Kiefer)
- Zeitmischung (Fichte in Buche)

#### **5.6.5 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten**

Die Tab. 42 enthält die in Abschnitt 5.6.4 entwickelten Maßnahmen zum Erhalt einer ordnungsgemäßen Waldbewirtschaftung.

Tab. 42 Bewertung der Lösungsmöglichkeiten Schutzgut Forstwirtschaft

Maßnahme	Umsetzung	Wirksamkeit	Akzeptanz	Praktikabilität	Umsetzbarkeit	Kosten
<b>Maßnahmen um die Leistungssicherung</b>						
<b>Bestehende Bestockung anpassen</b>	Bestockungsgrade neu optimieren, Durchforstungsart anpassen	mittel	mittel	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
	Verkürzung der Produktionszeiträume	gering	gering	teilweise praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
<b>Verjüngungsmaßnahmen</b>	Anteil angepasster Arten erhöhen	mittel	mittel	praktikabel	langfristig	sehr hoch
	Mischungen oder Reinbestände mit anderer Baumart etabliert	hoch	mittel	teilweise praktikabel	langfristig	hoch

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
<b>Maßnahmen um Unsicherheiten abzufangen</b>						
<b>Produktivität</b>	Standortgerechte Baumartenwahl	sehr hoch	hoch	teilweise praktikabel	langfristig	sehr hoch
	flächig vorhandene, leicht zersetzbare Streu	hoch	mittel	teilweise praktikabel	langfristig	gering bis hoch
	krautige Begleitvegetation	hoch	mittel	teilweise praktikabel	langfristig	gering bis hoch
<b>Biologische Diversität</b>	Etablierung verschiedener Baumarten als Initiale, Vielfalt der Waldpflege- und Erntemaßnahmen, Totholz	mittel	gering	praktikabel	kurzfristig	mittel (vorwiegend Personalkosten)
	Beteiligung von Pionieren und Eichen, sowie von Arten, die auf warm-trockene Standorte spezialisiert sind	sehr hoch	sehr gering	begrenzt praktikabel	langfristig	sehr hoch
	Horizontale Mischungsformen	sehr hoch	mittel	praktikabel	mittel- langfristig	mittel
<b>Verjüngungsfähigkeit der Bestände</b>	extensive Beteiligung von Pionierbaumarten	mittel	mittel	praktikabel	mittelfristig	hoch
	Baumarten mit beschränkter Ausbreitungspotenz	gering	mittel	praktikabel	mittelfristig	mittel
	Erhalt Genfluss durch Einhalten von Maximalabständen	mittel	hoch	begrenzt praktikabel	nicht umsetzbar bis langfristig	hoch
	artgerechter (Ernte-) Hiebsmaßnahmen	mittel	mittel	teilweise praktikabel	kurz- bis mittelfristig	hoch
<b>Vitalität von Bäumen und Bestände</b>	Standortwahl und richtige Herkunft (Vitalität)	mittel	gering	teilweise praktikabel	kurz- bis mittelfristig	sehr gering bis mittel
	Beschränkung des Anbaus von Arten mit atlantischem Verbreitungsschwerpunkt	mittel	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	nicht vorhanden
	Kronenpflege	gering	sehr gering	begrenzt praktikabel	kurzfristig	sehr hoch
<b>Dynamische Überführungsstrategien</b>						
<b>Anpassung an Dynamik der Umweltfaktoren</b>	Vorwald (Birke über Eichen, Erle über Buche)	mittel	gering	teilweise praktikabel	kurz- bis mittelfristig	sehr hoch
	Voranbau (Eichen unter Kiefer, Buche unter Fichte)	mittel	gering	teilweise praktikabel	kurz- bis mittelfristig	sehr hoch
	Naturverjüngung unter Altbestand (Eiche, Vogelbeere unter Kiefer)	mittel	mittel	teilweise praktikabel	kurz- bis mittelfristig	mittel

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
	Zeitmischung (Fichte in Buche)	mittel	mittel	teilweise praktikabel	kurz- bis mittelfristig	mittel

Tab. 43 Ermittlung der Rangfolge der Maßnahmen nach deren Geeignetheit

Maßnahme	Umsetzung	G x E	Rangfolge
<b>Maßnahmen um die Leistungssicherung</b>			
<b>Bestehende Bestockung anpassen</b>	Bestockungsgrade neu optimieren, Durchforstungsart anpassen	46	5
	Verkürzung der Produktionszeiträume	34	11
<b>Verjüngungsmaßnahmen</b>	Anteil angepasster Arten erhöhen	38	9
	Mischungen oder Reinbestände mit anderer Baumart etabliert	42	8
<b>Maßnahmen um Unsicherheiten abzufangen</b>			
<b>Produktivität</b>	Standortgerechte Baumartenwahl	47	4
	flächig vorhandene, leicht zersetzliche Streu	45	6
	krautige Begleitvegetation	45	6
<b>Biologische Diversität</b>	Etablierung verschiedener Baumarten als Initiale, Vielfalt der Waldpflege- und Erntemaßnahmen, Totholz	49	3
	Beteiligung von Pionieren und Eichen, sowie von Arten, die auf warm-trockene Standorte spezialisiert sind	34	11
	Horizontale Mischungsformen	56	2
<b>Verjüngungsfähigkeit der Bestände</b>	extensive Beteiligung von Pionierbaumarten	45	6
	Baumarten mit beschränkter Ausbreitungspotenz	43	7
	Erhalt Genfluss durch Einhalten von Maximalabständen	34	
	artgerechter (Ernte-) Hiebsmaßnahmen	43	7
<b>Vitalität von Bäumen und Bestände</b>	Standortwahl und richtige Herkünfte (Vitalität)	46	5
	Beschränkung des Anbaus von Arten mit atlantischem Verbreitungsschwerpunkt	58	1
	Kronenpflege	27	12
<b>Dynamische Überführungsstrategien</b>			
<b>Anpassung an Dynamik der Umweltfaktoren</b>	Vorwald (Birke über Eichen, Erle über Buche)	37	10
	Voranbau (Eichen unter Kiefer, Buche unter Fichte)	37	10
	Naturverjüngung unter Altbestand (Eiche, Vogelbeere unter Kiefer)	46	5
	Zeitmischung (Fichte in Buche)	46	5

Erwartungsgemäß gehören die Maßnahmen zur Bauartenwahl, zur Baumartenmischung und Bestandesstrukturierung zu den geeignetsten Maßnahmen zur Gewährleistung einer ord-

nungsgemäßen Waldbewirtschaftung unter den Bedingungen des Klimawandels. Hierzu gehört die Beschränkung des Anbaus von Arten mit atlantischem Verbreitungsschwerpunkt (Rang 1), die waldbauliche Herausbildung stabiler horizontaler Mischungsformen (Rang 2), die Etablierung geeigneter Baumarten als Initialbestockung, die Anwendung vielfältiger Waldpflege- und Erntemaßnahmen und die Anreicherung von Totholz (Rang 3) und generell die Wahl standortgerechter Baumarten unter Berücksichtigung der Klimaveränderungen (Rang 4).

### 5.6.6 Zusammenfassung

- Beim Funktionsumbau wird es notwendig sein, die Baumartenwahl an die bekannten Klimaszenarien anzupassen. Namentlich die Fichte wird den in sie gesetzten Erwartungen an die Holzproduktion in Zukunft wahrscheinlich nicht mehr überall gerecht werden (Zuwachsreduktion, Verkürzung der Lebensdauer der Bestände). Somit hat die Suche nach klimatoleranten, leistungsfähigen Baumarten begonnen (z.B. Eichen).
- Waldpflege - Mischungsregulierungen, Bestockungsgradregulierungen und Förderung der leistungsfähigsten Individuen - bleibt aktuell. Ggf. müssen neue Zielvorgaben entwickelt werden.
- Ein Nachhaltigkeitsumbau ist seit langem erforderlich, läuft in vielen Betrieben bereits seit geraumer Zeit und muss überall dort, wo die „Umbaueuphorie“ abebbt, nun mit neuer Begründung (Klimawandel) angemahnt werden.
- Geschlossene und rasche Stoffkreisläufe, der Erhalt und die Förderung der biologischen Vielfalt, sowie die Naturverjüngungsfähigkeit und die Vitalität der Bäume sind stabilisierende Elemente einer Strategie bei Unsicherheit (ökologisch wie ökonomisch).
- Bezogen auf die Baumartenwahl bedeutet dies eine Beteiligung ökologisch unterschiedlicher Arten am Bestandaufbau → Mischbestände mit Pionieren und klimatoleranten Arten.
- Der „Nachhaltigkeitsumbau“ kann ggf. deutlich extensiver ausfallen, als ein „Funktionsumbau“ zur Optimierung einer aktuell gewünschten Waldleistung.

## 5.7 Schutzgut Landwirtschaft

### 5.7.1 Einflussfaktoren auf die Landwirtschaft

#### 5.7.1.1 Pflanzenanbau

Der Klimawandel wird vergleichsweise geringe Auswirkungen auf die Ertragshöhe auf fruchtbaren, tiefgründigen Lössstandorten mit hoher Wasserkapazität (siehe Anlage 4.3 Hydroböden) haben. Böden mit geringerem Wasserspeichervermögen wie die sandigen Lehme auf verwittertem Festgestein am Südrand des Stadtgebietes sind hinsichtlich der Veränderungen des Ertragsniveaus als kritischer einzustufen.

Tab. 44: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft-Pflanzenanbau

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Klima (Hitze, Kälte, Zugluft, Luftfeuchtigkeit)	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu. Beispiele dafür sind der Hitzesommer 2003, die Überschwemmungen am 13. August 2002 und im März/April 2006 und der Tornado am 29. Juli 2005. Abnahme der Ertragsstabilität in allen sächsischen Regionen infolge von Überschwemmungen, Hitze und Dürreperioden, Stürme, Hagel und Spätfröste
Wassererosion und Überschwemmungen	Zunehmendes Risiko der Wassererosion und von Überschwemmungen durch erhöhte Intensität von Starkregenereignissen, besonders im Frühjahr und Sommer
Winderosion	Zunahme der Winderosion auf leichten Standorten bei stark ausgetrockneter Bodenoberfläche
<b>Strahlung</b>	
natürliche UV-Strahlung	Die stratosphärische Ozonschicht auf der Erdoberfläche absorbiert die natürliche UV-Strahlung. In den vergangenen Jahrzehnten ist diese Schicht dünner geworden; Pflanzen und Nutztiere sind daher einer höheren UV-Strahlung ausgesetzt. Durch die höhere UV-Strahlung nimmt die Photosyntheserate bis zum pflanzenspezifischen Maximumwert zu. Jedoch kann die UV-Strahlung bei der Überschreitung pflanzenspezifischer Grenz-

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
	werte auch zur Schädigung von Pflanzen führen. Die UV-Belastung kann zu einer Reduktion des Blatt- und Stammwachstum, einer Änderung der Blüteanzahl und Blütezeit, Reduzierung der Photosyntheserate oder verminderte Biomasse führen. UV-Strahlung erzeugt aus sogenannten Vorläufersubstanzen (Abgabe) bei hoher Sonneneinstrahlung auch bodennah Ozon, welches lungenschädigend und pflanzenschädigend wirkt (Smog) [MU, 2009].
<b>Chemische</b>	
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	Förderung des Pflanzenwachstums durch ansteigende CO <sub>2</sub> -Gehalte der Atmosphäre bei nicht limitierter Wasserversorgung sowie Verbesserung der Wassernutzungseffizienz. In Gewässerökosystemen kann das Lösen von Kohlenstoffdioxid aus der Luft zu einer Versauerung durch die Bildung von Kohlensäure führen.
Nitratauswaschung	Zunahme der winterlichen Nitratauswaschung auf leichten und flachgründigen Standorten in Jahren mit erhöhten Winterniederschlägen sowie Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Lössstandorte, verstärkter Humusabbau und damit Stickstoff- und Kohlendioxidfreisetzung infolge der Temperaturzunahme (insbesondere im Winter)
<b>Biologische</b>	
Entwicklungsverlauf	Verschiebung und Verkürzung des Entwicklungsverlaufes bei determinierten Fruchtarten wie Getreide
Kornfüllungsdauer	Verkürzung der Kornfüllungsdauer bei zunehmender Temperatur
Wachstumsperiode	Verlängerung der Wachstumsperiode bei nicht-deterministischen Arten wie Zuckerrüben, Kartoffeln oder Grünland
Schadpflanzen	Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen sowie Ausbreitung Wärme liebender neuer Unkrautarten wie Samtpappel, Giftbeere und Ambrosia
Krankheiten	Zunahme von Krankheiten mit hohen Temperatursprüchen wie Rostkrankheiten oder Netzfleckenkrankheiten
Pilzkrankheiten	Abnehmende Tendenz bei Pilzkrankheiten, die auf lange Niederschlags- und Feuchtperioden angewiesen sind



<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
Viruskrankheiten	Verstärktes Auftreten von durch Blattläuse und Zikaden übertragenen Viruskrankheiten
Schädlinge	Zunahme Wärme liebender Insekten wie Kartoffelkäfer und Blattläuse, vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr
<b>Multifaktorielle Gefährdung</b>	
Vegetationsperiode - Frostrisiko	Verlängerung der Dauer der thermischen Vegetationsperiode bis zu 30 Tagen vor allem im Frühjahr und damit Zunahme des Früh- und Spätfrostrisikos

#### 5.7.1.2 Gartenbau

Im Gartenbau wird der Klimawandel zur Erweiterung des Sorten- und Artenspektrums sowie zur Verlängerung der Anbauzeit durch die Ausdehnung der Vegetationsperiode führen zu ansteigenden Erträgen und zu einer teilweise höheren Ertragssicherheit. Jedoch wird auch der Gartenbau von folgenden negativen Auswirkungen betroffen sein [LFULG 2009A]:

- ansteigende Spätfrostgefahr
- Hitzeschäden, Trockenschäden
- extreme Witterungsereignisse (Hagel, Starkregen, Sturm)
- neue, schwer bekämpfbare Schädlinge

Tab. 45: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft-Gartenbau – Obst- und Weinbau

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu. Abnahme der Ertragsstabilität infolge von Starkregen, Hagel und Sturm.
Klima	Hitze- und Trockenschäden an Ernteprodukten
<b>Strahlung</b>	
natürliche UV-Strahlung	Durch die höhere UV-Strahlung nimmt die Photosyntheserate bis zum pflanzenspezifischen Maximumwert zu.

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Chemische</b>	
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	Förderung des Pflanzenwachstums durch ansteigende CO <sub>2</sub> -Gehalte der Atmosphäre bei nicht limitierter Wasserversorgung sowie Verbesserung der Wassernutzungseffizienz
<b>Biologische</b>	
Vegetationsperiode	Erweiterung des Sorten- und Artenspektrums durch Verlängerung der Vegetationsperiode
Schädlinge	Zunahme Wärme liebender Insekten wie Kartoffelkäfer und Blattläuse, vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr, neue schwer bekämpfbare Schaderreger
<b>Multifaktorielle Gefährdung</b>	
Vegetationsperiode - Frostrisiko	Verlängerung der Dauer der thermischen Vegetationsperiode und damit Zunahme des Spätfrostrisikos -->Ertragsausfälle

Tab. 46: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft-Gartenbau – Gemüsebau

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu. Abnahme der Ertragsstabilität infolge von Starkregen, Hagel und Sturm.
Klima	Ertragsausfälle durch Hitze- und Trockenschäden an den Kulturen
<b>Strahlung</b>	
natürliche UV-Strahlung	Durch die höhere UV-Strahlung nimmt die Photosyntheserate bis zum pflanzenspezifischen Maximumwert zu.
<b>Chemische</b>	
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	Förderung des Pflanzenwachstums durch ansteigende CO <sub>2</sub> -Gehalte der Atmosphäre bei nicht limitierter Wasserversorgung sowie Verbesserung der Wassernutzungseffizienz
<b>Biologische</b>	

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
Vegetationsperiode und Anbauperiode	Erweiterung des Sorten- und Artenspektrums durch Verlängerung der Vegetationsperiode, Verlängerung der Anbauperiode
Schädlinge	Zunahme Wärme liebender Insekten wie Kartoffelkäfer und Blattläuse, vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr, neue schwer bekämpfbare Schaderreger
Multifaktorielle Gefährdung	
Vegetationsperiode - Frostrisiko	Verlängerung der Dauer der thermischen Vegetationsperiode und damit Zunahme des Spätfrostrisikos -->Ertragsausfälle

### 5.7.1.3 Grünland und Feldfutterbau

Die Einflussfaktoren des Klimawandels auf die Grünlandnutzung und den Feldfutterbau sind in Tab. 47 zusammengestellt.

Tab. 47: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft - Grünland und Feldfutterbau

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
Physikalische	
Umgebungsbedingungen	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu. Abnahme der Ertragsstabilität infolge von Starkregen, Hagel und Sturm. Die stabile Erzeugung von qualitativ hochwertigem Grundfutter wird mit zunehmenden Extremen schwieriger.
Klima	Längere Trockenstressphasen beeinträchtigen die Bestandeszusammensetzung sowie Ertragsicherheit und Futterqualität
Temperaturanstieg	Auf Grund verminderter Photosynthese sowie vermehrter Atmung bei hohen Temperaturen können weniger Inhaltsstoffe gespeichert werden, d.h. die Futterqualität nimmt ab.
Strahlung und Chemische	
Biomasseproduktion	Dauergrünland und der Feldfutterbau werden hinsichtlich der Biomasseproduktion vom Temperatur- und CO <sub>2</sub> -Anstieg positiv beeinflusst, solange die Wasserversorgung gewährleistet ist.
Biologische	

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
Wachstumsbedingungen	Die Wachstumsbedingungen werden sich auf wechselfeuchten und auf leichteren Standorten durch den Klimawandel verschlechtern.
Phänologie	Die Dauer der phänologischen Entwicklungsstadien, insbesondere der Zeitraum für die Massebildung der Futtergräser, kann sich bei Trockenstress verkürzen. Es wird insbesondere im Feldfutterbau schwieriger werden, den optimalen Erntezeitpunkt zu definieren.
Leguminosen	Bedeutung der Leguminosen wird zunehmen

#### 5.7.1.4 Nutztiere

Wie im Ackerbau resultieren aus dem Klimawandel vorwiegend negative Einflüsse (Tab. 48). Hinzu kommen negative sekundäre Folgen des Klimawandels über die Bereitstellung der Futtermittel.

Tab. 48: Einflussfaktoren Schutzgut Landwirtschaft - Nutztiere

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	an die Stall- und Tierhaltungsanlagen werden durch die häufiger auftretenden witterungsbedingten Extreme neue Anforderungen gestellt (Verteuerung der Tierhaltung)
Klima	Mit der steigenden Außentemperaturen und steigender Leistungsfähigkeit der Tiere steigt auch die Wärmebildung im Tier → zunehmender Hitzestress der Nutztiere
Wasserversorgung, Abwasserreinigung	Die Wasserversorgung und Abwasserreinigung gewinnt aufgrund der zunehmenden Wasserknappheit einen höheren Stellenwert bei der Tierhaltung und in der Landwirtschaft ein.
<b>Biologische</b>	
Futterlagerung- und konservierung	Die Futterlagerung und -konservierung wird erschwert durch Ertragsschwankungen, wachsender aerober Instabilität, zunehmender Verunreinigungen durch Staub und Schmutz sowie Trockenmasseextremen.

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
Produktionsschwankungen	Durch wechselnde Verkappung und Überproduktion wird eine nicht berechenbare Nachfragedynamik Preisschwankungen im Futtermittelmarkt hervorrufen (wirtschaftliche Anfälligkeit der Tierproduktion)
Erregerbedingte Tierkrankheiten	Die Ausbreitung von erregerbedingten Tierkrankheiten wird durch eine zunehmende Staubverlagerung (Staub, Thermik, Wind) verstärkt, da über 80% der luftgetragenen Mikroorganismen an Partikeln angelagert sind und über so genannte Cluster transportiert werden.
Schädlinge, Unkräuter, Schaderreger	Durch ein verändertes Spektrum an Schädlingen, Unkräutern oder pilzlichen Schaderregern wird eine Anreicherung von Futtermitteln mit unerwünschten bzw. antinutritiven Stoffen wahrscheinlicher.

## 5.7.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Tab. 49: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Landwirtschaft

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-voraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Physikalische</b>						
<b>Umgebungsbedingungen</b>						
Extremereignisse/ Klima	Klima (Feuchtigkeit, Sturm, Kälte, Hitze, starke Regenfälle)	Flora und Fauna ist den Klimabedingungen ungeschützte ausgesetzt	Standortvoraussetzungen (Lage, Bodenart, ...) Beschaffenheit der Stall- und Tierhaltungsanlagen	Vitalität, Entwicklungsstadium Alter und phys. Leistungsvoraussetzungen der Tiere, psych. Leistungsvoraussetzung/ Informationsverarbeitung	Sturmschäden, Hitze- und Kältestress, Hitze- und Kälteschäden, Hagelschäden, Erkrankungen, Verletzungen, Todesfälle (Ertrinken, Erschlagen)	Jungpflanzen und erntereifer Bestand Tierhaltung im Freien
Wassererosion und Überschwemmungen	Klima (Feuchtigkeit, starke Regenfälle → Niederschlagsintensität)	Flora und Fauna ist den Klimabedingungen ungeschützte ausgesetzt, offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs	Niederschlagsintensität, Bodenfeuchte, Anteil Oberflächenabfluss, Standortvoraussetzungen Beschaffenheit der Stall- und Tierhaltungsanlagen	Vitalität, Entwicklungsstadium Alter und phys. Leistungsvoraussetzungen der Tiere, psych. Leistungsvoraussetzung/ Informationsverarbeitung	Bodenverlust, Verlust der Ernte, Störung des Bodengefüges (Verletzlichkeit einer Fläche steigt) Erkrankungen, Todesfälle	Jungpflanzen Tierhaltung im Freien

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-vorraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Winderosion	Windgeschwindigkeit	offene Bodenflächen mit lückenhaften oder fehlendem Bewuchs (fehlende Stabilität Bodengefüge)	hohe Temperaturen und hohe Strahlungsintensität (ausgetrocknete Böden), Standortverhältnisse (Exposition gegenüber Wind)	Vitalität und Entwicklungsstadium, Stabilität Bodengefüge (Aggregatbildung)	Bodenverlust, Beeinflussung Bodenfruchtbarkeit, Verschmutzen des Erntegutes, Störung des Bodengefüges	Jungwuchs und offene Flächen
Temperaturanstieg	Anstieg der Lufttemperatur	verminderter Photosynthese sowie vermehrter Atmung bei hohen Temperaturen	schlechte Wasserversorgung, Standortverhältnisse (Nährstoffversorgung, ...)	Vitalität, Entwicklungsstadium, Widerstandsfähigkeit	Abnahme der Futterqualität, Trockenschäden, starke Produktionsschwankungen	Grünland- und Feldfutterbau
Wasserversorgung, Abwasserreinigung	ungenügende Wasserversorgung	Versiegen von Kleingewässern, Minderung der Grundwasserneubildungsrate, hohe Niederschlagsintensität	ausgetrocknete Böden, Standortverhältnisse (Beschatungsgrad, ...)	Vitalität, Entwicklungsstadium, Widerstandsfähigkeit	Wasserknappheit, Trockenschäden Erkrankung, Tod	Landwirtschaft und Nutztiere
<b>Strahlung</b>						
natürliche UV-Strahlung	UV-Strahlung	ungehindertes Auftreffen der UV-Strahlung auf den Körper von Tieren (Beschaffenheit der Stall- und Tierhaltungsanlagen) und auf die Flora.	Standortverhältnisse (Schattenwurf, Wasserversorgung, ...), Lufttemperatur	Vorschädigung der Haut, erblich bedingte Empfindlichkeit der Haut (z.B. Albinismus), unzureichende Pigmentierung bei Fauna und Flora	Strahlungsschäden, Hauterkrankungen, Kreislaufstörungen Blatt- und Stammwachstum, einer Änderung der Blütenzahl und Blütezeit, Reduzierung der Photosyntheserate oder verminderte Biomasse	Landwirtschaft und Nutztiere
<b>Chemische</b>						

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Brände, Explosionen</b>						
Brände	richtiges Mischungsverhältnis zwischen dem brennbaren Stoff (Pflanzen), der Zündquelle und dem Sauerstoff	Steigung der Temperatur (Trockenperioden) in einen kritischen Bereich für Brände (Erreichung Flammpunkt), Auslösen von Bränden durch einen Blitzschlag bzw. Fremdeinwirkung	Austrocknen von Ackerland	Fauna: Vitalität/ Physische Leistungsvoraussetzungen	Ertragsverlust, Verbrennungen, Erstickungen, Vergiftung durch Rauchgase, Verletzungen durch Einsturz	-
<b>Gefahrstoffe</b>						
Nitratauswaschung	Nitrat	Nitrattransport mit dem Sickerwasser	Klima- und Bodenverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung	Wurzelraumtiefe des Pflanzenbestandes, Bedeckungsgrad, -art und -dauer	erhöhte Nitratbelastung Sickerwasser (Grundwasser- und Oberflächenwasserbelastung), Nährstoffverlust für landwirtschaftl. Fläche	leicht durchlässige Böden (z.B. Sandböden)
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	erhöhter CO <sub>2</sub> -Gehalt	Versauerung von Oberflächengewässern durch Lösung von CO <sub>2</sub> im Wasser und Bildung von Kohlensäure	Standortverhältnisse (pH-Wert, Wassertemperatur, Druck)	Pufferkapazität (Salzgehalt)	Versauerung und damit Veränderung der Lebensraumeigenschaften	Wasserorganismen
Freisetzung von Schadstoffen	Schadstoffe	Veränderte Austragsverhältnisse für Schadstoffe in Oberflächenwasser und Grundwasser durch Abbau organ. Substanz bzw. Transport mit dem Sickerwasser	Klima- und Bodenverhältnisse, Art und Intensität der Bodennutzung, Abbau organ. Substanzen	Wurzelraumtiefe des Pflanzenbestandes, Bedeckungsgrad, -art und -dauer, Standortverhältnisse (kontaminiertes Bodenmaterial, ..)	Gefährdung von Oberflächen- und Grundwasser (und damit aller Ökosysteme)	direkt: Oberflächen und Grundwasser indirekt: alle Ökosysteme



Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-vorraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
<b>Biologische</b>						
Schadpflanzen	Verdrängung von Flora	Konkurrenz zwischen Schadpflanzen und Kulturpflanzen	Standortverhältnisse, Ausbreitung der Schadpflanze in der Region	Vitalität/ physische Leistungsvoraussetzungen	Verdrängung der Flora und damit Ertragseinbussen	alle landwirtschaftlichen Flächen
Schädlinge (Kartoffelkäfer, Blattläuse)	Schädlinge	Befall durch Schädlinge	Vitalere Überwinterung (milde Winter)	Vitalität/ physische Leistungsvoraussetzungen	Ertragseinbussen- bzw. kompletter Ertragsverlust	alle landwirtschaftlichen Flächen
Viruskrankheiten/ Erregerbedingte Krankheiten	Kontakt mit Viren (z.B. durch Stick, Biss, ...) oder Erregern	Übertragung von Viruskrankheiten durch Wirt (Blattläuse Zikaden) oder Kontakt mit Erregern (Transport durch Staub)	Standortverhältnisse (beengte Platzverhältnisse, ...), Staubverlagerung	Vitalität/ physische Leistungsvoraussetzungen (Immunstatus)	Viruskrankheit, Infektionen, Allergien, toxische Reaktionen im schlimmsten Fall Tod des Wirtes	kranke und schwache Individuen
Insekten (Zecken, Mücken)	Stich bzw. Biss durch Zecken und Insekten	Übertragung von Krankheitserregern beim Stich/Biss durch Zecken und Insekten	Standortverhältnisse (beengte Platzverhältnisse, ...)	Vitalität/ physische Leistungsvoraussetzungen	Allergien, toxische Reaktionen	Tiere mit Allergien bzw. Vorschäden
Wundinfektionen	Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren)	Befall der Wunde durch Mikroorganismen	Standortverhältnisse Verhältnisse bei der Stall- und Tierhaltungsanlagen, Staubverlagerung	Physische Leistungsvoraussetzungen (Immunstatus)	Rötung, Erwärmung, Schwellung, Funktionsstörung, Fieber, Schüttelfrost, Tachykardie (gesteigerte Herzfrequenz), Tachypnoe (gesteigerte Atemfrequenz)	Nutztiere

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	vorwiegend betroffen
Tropische Erkrankungen	Viren die durch Mücken (Sandmücke, Anopheles-Mücken, Tigermücke) übertragen werden	Ausbreitung tropischer Insekten nach Norden	Platzverhältnisse (Ausbreitung von Krankheiten)	Alter, physische Leistungsvoraussetzungen (Immunistatus), chronische Erkrankungen	Leishmaniose, Denguefieber, Malaria	Junge und Alte Tiere, Tiere mit einer Vorschädigung (Chronische Erkrankungen)
Futterlagerung und -konservierung	Pilze, Bakterien	Infektion durch Pilze und Bakterien	Verunreinigungen durch Staub und Schmutz,	Qualität der Futterpflanze (Trockenmasse)	Gefährdung der Gesundheit der Nutztiere	Nutztiere

### 5.7.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Die Risikoabschätzung nach Nohl, die für das Schutzgut Landwirtschaft in Tab. 50 vorgenommen wird, hat zum Ergebnis, dass aus 14 von 17 Einwirkungen auf das Schutzgut ein Handlungsbedarf resultiert.

Tab. 50: Risikoabschätzung nach Nohl

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
Physikalische					
Umgebungsbedingungen					
Extremereignisse/ Klima	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wassererosion und Überschwemmungen	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
Winderosion	mittelschwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperaturanstieg	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wasserversorgung, Abwasserreinigung	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strahlung					
natürliche UV-Strahlung	schwer	hoch	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
Brände, Explosionen					
Brände (insbesondere Waldbrandgefahr)	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Gefahrstoffe</b>					
Nitratauswaschung	mittelschwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO <sub>2</sub> -Gehalt der Atmosphäre	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Freisetzung von Schadstoffen	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Biologische</b>					
Schadpflanzen	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schädlinge (Kartoffelkäfer, Blattläuse)	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Viruskrankheiten/ Erregerbedingte Krankheiten	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Insekten (Zecken, Mücken)	mittelschwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wundinfektionen	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tropische Erkrankungen	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Futterlagerung und -konservierung	schwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 5.7.4 Entwicklung von Lösungsalternativen

### Maßnahmen im Pflanzenanbau

Tab. 51: Lösungsalternativen im Pflanzenbau

Maßnahme	Umsetzung
Sorten- strategie/ Be- standsführung	Anbau neuer trocken toleranter und Hitze verträglicher Sorten
	Risikominderung durch Anbau verschiedener Sortentypen mit unterschiedlichem Abreifeverhalten
	Dünnere Bestände/ geringere Saatstärke im Getreide und Raps zur Verminderung der Wasserkonkurrenz auf trockenen Standorten
Saatzeit	Standortabhängige Anpassung von Aussaatmengen und -zeiten
Fruchtfolge	Anpassung des Fruchtartenspektrums zur Optimierung des Ertragspotenzials
	Anbau von Wärme liebenden Arten mit hoher Wasser-Nutzungseffizienz wie Mais und Hirsearten zur Ertragsstabilisierung
	Dauerhafte Nutzungssysteme mit trockenstresstoleranten, ausdauernden Gräsern, wie z.B. Miscanthus oder mit tiefwurzelnden, schnellwachsenden Baumarten
	Diversifizierung
Bodenbe- arbeitung, Erosions- schutz	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im gesamten Fruchtfolgeverlauf
	Direktsaatverfahren
	Minimierung der Zeitspanne ohne Boden-Bedeckung u.a. durch Fruchtfolgegestaltung sowie Zwischenfruchtanbau, Untersaaten oder Strohmulch bewirkt geringere Oberflächenverschlammung (positiver Einfluss auf Humusgehalt)
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität
	Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren zur Verminderung der Wassererosionsgefahr (bei geeigneter Geländemorphologie und Flächenzuschnitt)
	Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biol. Aktivität sowie durch Kalkung
	Erosionsmindernde Flurgestaltung in Verbindung mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (Erosionsschutzstreifen, Agroforst, begrünte Hangrinnen, Schlagunterteilung)
Düngung und Pflanzen-	Sicherung einer optimalen Grundnährstoffversorgung durch bedarfsgerechte Düngung

ernährung	Düngebedarfsermittlung mittels N <sub>min</sub> -Methode sowie mit Verfahren der Pflanzenanalyse zur Ermittlung des Ernährungszustandes des Getreides zur Anpassung der Düngung an den tatsächlichen Düngebedarf
	Teilschlagspezifische Düngung auf großen heterogenen Flächen zur Verbesserung von Ertrag, Qualität und Nährstoffeffizienz
	Anwendung moderner Applikationsverfahren wie Injektion- oder Flüssigdüngung, Unterfußdüngung, oder stabilisierter Dünger zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz unter trockenen Bedingungen (Langzeitwirkung) zur Stabilisierung der Ertragsbildung
	Bilanzierungsverfahren zur Sicherung der Humusreproduktion
	Vorverlegung der Spätdüngung bei Vorsommertrockenheit vor allem bei Weizen
Bewässerung	Pflanzenbedarfsorientierte zusätzliche Wasserversorgung zur Stabilisierung der Ertragsbildung besonders auf leichten Standorten
	Wassersparende auf Bodenfeuchte basierende Bewässerungsverfahren und Methoden mit hoher Wassernutzungseffizienz
Pflanzen- schutz	Veränderung des PSM-Spektrums und/oder der Anwendungszeitpunkte (Trend zu Total-PSM)
	Anwendung von Zusatzstoffen für PSM zur Verbesserung der Wirkung bei Trockenheit
	Weiterentwicklung der Applikationstechnik
	Förderung des integrierten Pflanzenschutzes
	Ausbau bisheriger Monitoringverfahren (personelle Kapazität)
	Sicherung einer ausreichenden Versuchs- und Untersuchungskapazität
Anpassung bzw. Entwicklung von witterungsbasierten Schaderreger-Prognosemodellen	

## Gartenbau

Tab. 52: Lösungsalternativen im Gartenbau

Maßnahme	Umsetzung
Obst- und Weinbau	Bedarfsgerechte Zusatzbewässerung mit wassersparenden Bewässerungsverfahren
	Hagelschutzanlagen
	Regenschutzanlagen (Kirschen)
	Artenauswahl
	Anpassung Anbauparameter (Pflanzdichte, Erziehung, Schnitt, Bodenbearbeitung, Düngung)
	Anpassung Pflanzenschutzstrategien

Gemüsebau	Bedarfsgerechte Zusatzbewässerung mit Wasser sparenden Bewässerungsverfahren
	Sortenauswahl
	Artenauswahl
	Anpassung Anbauparameter (Saat- und Pflanztermine, Saat- und Pflanzdichten, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflege)
	Anpassung Pflanzenschutzstrategien

### Grünland und Feldfutterbau

Tab. 53: Lösungsalternativen im Grünland- und Feldfutterbau

Maßnahme	Umsetzung
Angepasste Grünlandbewirtschaftung	Narbenerhaltung und -verbesserung
	Optimale Nutzungstiefe
	Notwendige Düngungsmaßnahmen
	Zufütterung bzw. Vorhalten von Ausweichflächen
	Vorratswirtschaft an Grundfutterkonservaten
	Verbesserung der Nährstoffversorgung
	Standortgerechte Arten- und Mischungswahl
	Verbesserung der Bodenstruktur
	Erhaltung des Humusgehaltes
	Anbau trockenheitsverträglicher Arten

### Tierische Erzeugung

Tab. 54: Lösungsalternativen in der tierischen Erzeugung

Maßnahme	Umsetzung
Tierhaltung	Neue Stallbau- und Ausrüstungskonzepte
	Wiederaufbereitung und Bevorratung von Wasser
	Verbesserung des betrieblichen Managements
	Precision Farming
	Epidemiologische Vorsorgemaßnahmen gegen Krankheiten
Fütterung	Futtermittel- und verderbspezifische Restriktionen
	Neue Technologien Futtergewinnung und -bevorratung
Tierzucht	Angepasste Zuchtstrategien
	Sicherung der Leistungsprüfung
	Erhalt genetischer Ressourcen

Teichwirtschaft

Tab. 55: Lösungsalternativen in der Teichwirtschaft

Maßnahme	Umsetzung
Wassersparende Bewirtschaftung	Übergang zu mehrjährigen Umtriebsweide
Modifizierte Fütterungsstrategien	Ergänzungsfütterung (zeitweise Verabreichung von vollwertigen Mischfuttermitteln)
Erhaltung der Teichkultur	Konsequenter Schilfschnitt
Präventionsmaßnahmen gegen Krankheiten	Zweckmäßige Desinfektionsmaßnahmen

### 5.7.5 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten

Die Bewertung der in Abschnitt 5.7.4 ermittelten Lösungsmöglichkeiten erfolgt in Tab. 56. Auf dieser Grundlage wird die Rangfolge der Maßnahmen nach ihrer Eignung ermittelt (Tab. 57).

Tab. 56 Bewertung der Lösungsmöglichkeiten

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
<b>Pflanzenanbau (Gartenbau bereits teilweise integriert)</b>						
<b>Sorten- strategie/ Bestands- führung</b>	Anbau neuer trocken toleranter und Hitze verträglicher Sorten	hoch	hoch	praktikabel	kurz- bis mittelfristig	gering
	Risikominderung durch Anbau verschiedener Sortentypen mit unterschiedl. Abreifeverhalten	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	gering
	dünnere Bestände/ geringere Saatstärke	hoch	gering	praktikabel	kurzfristig	gering
<b>Saatzeit</b>	Anpassung von Aussaatmengen und -zeiten	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
<b>Fruchtfolge</b>	Anpassung des Fruchtarten-spektrums	mittel	gering	praktikabel	kurzfristig	gering
	wärme liebenden Arten mit hoher Wasser-Nutzungseffizienz	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	mittel
	dauerhafte Nutzungssysteme mit trockenstresstoleranten Arten	mittel	mittel	praktikabel	kurz- bis mittelfristig	mittel
	Diversifizierung	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	mittel

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
<b>Bodenbe- arbeitung, Erosions- schutz</b>	Dauerhaft konservierende Bo- denbearbeitung mit Mulchsaat	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	anfangs hoch, nach Etablierung Kostenein- sparungen
	Direktsaatverfahren	sehr hoch	mittel	praktikabel	mittel- bis langfristig	anfangs hoch, nach Etablierung Kostenein- sparungen
	Minimierung der Zeitspanne ohne Boden-Bedeckung	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhö- hung der Bodenstrukturstabilität	mittel	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering
	Vermeidung hangabwärts gerich- teter Fahrspuren	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
	Vermeidung infiltrationshemmen- der Bodenverdichtungen, Förde- rung der biol. Aktivität + Kalkung	hoch	mittel	praktikabel	kurz- bis mittelfristig	mittel
	Erosionsmindernde Flurgestal- tung i.V.m. dauerhaft konservie- render Bodenbearbeitung	mittel bis hoch	mittel	Einzelfall- prüfung	mittel- bis langfristig	gering (Schlagun- terteilung) bis hoch (Anpflan- zung)
<b>Düngung und Pflanzen- ernährung</b>	Grundnährstoffversorgung durch bedarfsgerechte Düngung	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	mittel
	Düngebedarfsermittlung mittels N <sub>min</sub> -Methode sowie mit Verfah- ren der Pflanzenanalyse	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	gering
	Teilschlagspezifische Düngung	hoch	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
	moderne Applikationsverfahren wie Injektion- oder Flüssigdün- gung, Unterfußdüngung, oder stabilisierter Dünger	hoch	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
	Bilanzierungsverfahren zur Si- cherung der Humusreproduktion	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
	Vorverlegung der Spätdüngung bei Vorsommertrockenheit	mittel	hoch	praktikabel	kurzfristig	gering



Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
Bewässerung	Pflanzenbedarfsorientierte zu- sätzliche Wasserversorgung	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	sehr hoch
	Wassersparende Bewässerungs- verfahren und -methoden	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	sehr hoch
Pflanzenschutz	Veränderung PSM-Spektrum und/oder Anwendungszeitpunkte	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	mittel
	Anwendung von Zusatzstoffen	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
	Weiterentwicklung der Applika- tionstechnik	hoch	mittel	praktikabel	mittel- bis langfristig	hoch
	Förderung des integrierten Pflan- zenschutzes	hoch	mittel	praktikabel	kurzfristig	mittel
	Ausbau Monitoringverfahren	hoch	mittel	begrenzt	kurzfristig	mittel
	ausreichenden Versuchs- und Untersuchungskapazität	hoch	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
	Anpassung bzw. Entwicklung von witterungsbasierten Schaderre- ger-Prognosemodellen	hoch	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
<b>Gartenanbau</b>						
<b>Obst- und Weinbau</b>	Zusatzbewässerung	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	sehr hoch
	Hagelschutzanlagen	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	sehr hoch
	Regenschutzanlagen	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	sehr hoch
	Artenauswahl	mittel	mittel	teilweise praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
	Anpassung Anbauparameter	mittel	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
	Pflanzenschutzstrategien	hoch	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
<b>Gemüsebau</b>	Zusatzbewässerung	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	sehr hoch
	Sortenauswahl	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	mittel
	Artenauswahl	mittel	mittel	teilweise praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
	Anpassung Anbauparameter	mittel	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
	Pflanzenschutzstrategien	hoch	hoch	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
<b>Grünland und Feldfutterbau</b>						
<b>Angepasste Grünlandbe- wirtschaftung</b>	Narbenerhaltung und - verbesserung	mittel bis hoch	gering	praktikabel	kurzfristig	gering bis mittel
	Optimale Nutzungstiefe	gering bis mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	keine

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
	Düngungsmaßnahmen	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	mittel
	Zufütterung bzw. Vorhalten von Ausweichflächen	hoch	mittel	praktikabel	kurzfristig	mittel
	Grundfutterkonservate	mittel bis hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	mittel bis hoch
	Nährstoffversorgung	hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	mittel
	Standortgerechte Arten- und Mischungswahl	mittel bis hoch	mittel	praktikabel	kurzfristig	mittel bis hoch
	Verbesserung der Bodenstruktur	hoch	mittel	praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
	Erhaltung des Humusgehaltes	hoch	mittel	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	mittel
	trockenheitsverträglicher Arten	hoch	mittel	teilweise praktikabel	mittel- bis langfristig	mittel
<b>Tierische Erzeugung</b>						
<b>Tierhaltung</b>	Neue Stallbau- und Ausrüstungskonzepte	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering bis hoch
	Wiederaufbereitung und Bevorratung von Wasser	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering bis hoch
	Verbesserung des betrieblichen Managements	mittel bis hoch	hoch	praktikabel	kurzfristig	gering bis mittel
	Precision Farming	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering bis mittel
	Epidemiologische Vorsorgemaßnahmen gegen Krankheiten	mittel	hoch	praktikabel	kurzfristig	mittel
<b>Fütterung</b>	Futtermittel- und verderbspezifische Restriktionen	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
	Neue Technologien Futtergewinnung und -bevorratung	hoch	mittel	praktikabel	kurzfristig	hoch
<b>Tierzucht</b>	Angepasste Zuchtstrategien	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	hoch
	Sicherung der Leistungsprüfung	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	hoch
	Erhalt genetischer Ressourcen	mittel	mittel	praktikabel	mittelfristig	hoch
<b>Teichwirtschaft</b>						
<b>Wassersparende Bewirtschaftung</b>	Übergang zu mehrjährigen Umtriebsweide	gering	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
<b>Modifizierte Fütterungsstrategien</b>	Ergänzungsfütterung (zeitweise Verabreichung von vollwertigen Mischfuttermitteln)	hoch	mittel	praktikabel	langfristig	mittel
<b>Erhaltung der Teichkultur</b>	Konsequenter Schiffschnitt	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	hoch
<b>Präventionsmaßnahmen gegen Krankheiten</b>	Zweckmäßige Desinfektionsmaßnahmen	mittel	mittel	praktikabel	mittelfristig	mittel

Tab. 57 Ermittlung der Rangfolgen der Maßnahmen nach deren Geeignetheit

Maßnahme	Umsetzung	GxE	Rang
<b>Pflanzenanbau (Gartenbau bereits teilweise integriert)</b>			
<b>Sortenstrategie/ Bestandsführung</b>	Anbau neuer trockenoleranter und Hitze verträglicher Sorten	61	3
	Risikominderung durch Anbau verschiedener Sortentypen mit unterschiedl. Abreifeverhalten	63	2
	dünnere Bestände/ geringere Saatstärke	57	8
<b>Saatzeit</b>	Anpassung von Aussaatmengen und -zeiten	55	10
<b>Fruchtfolge</b>	Anpassung des Fruchtartenspektrums	52	14
	wärme liebenden Arten mit hoher Wasser-Nutzungseffizienz	52	14
	dauerhafte Nutzungssysteme mit trockenstresstoleranten Arten	50	16
	Diversifizierung	53	13
<b>Bodenbearbeitung, Erosionsschutz</b>	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat	56	10
	Direktsaatverfahren	59	5
	Minimierung der Zeitspanne ohne Boden-Bedeckung	55	10
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität	51	15
	Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren	55	10
	Vermeidung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Förderung der biol. Aktivität + Kalkung	55	10
	Erosionsmindernde Flurgestaltung i.V.m. dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung	43,5	22
<b>Düngung und Pflanzenernährung</b>	Grundnährstoffversorgung durch bedarfsgerechte Düngung	53	13
	Düngebedarfsermittlung mittels N <sub>min</sub> -Methode sowie mit Verfahren der Pflanzenanalyse	63	2
	Teilschlagspezifische Düngung	60	4
	moderner Applikationsverfahren wie Injektion- oder Flüssigdüngung, Unterfußdüngung, oder stabilisierter Dünger	60	4
	Bilanzierungsverfahren zur Sicherung der Humusreproduktion	55	10
	Vorverlegung der Spätdüngung bei Vorsommertrockenheit	58	7

Maßnahme	Umsetzung	GxE	Rang
Bewässerung	Pflanzenbedarfsorientierte zusätzliche Wasserversorgung	47	19
	Wassersparende Bewässerungsverfahren und -methoden	47	19
Pflanzenschutz	Veränderung PSM-Spektrums und/oder Anwendungszeitpunkte	60	5
	Anwendung von Zusatzstoffen	55	10
	Weiterentwicklung der Applikationstechnik	48	18
	Förderung des integrierten Pflanzenschutzes	57	8
	Ausbau Monitoringverfahren	49	18
	ausreichenden Versuchs- und Untersuchungskapazität	54	12
	Anpassung bzw. Entwicklung von witterungsbasierten Schaderreger-Prognosemodellen	54	12
<b>Gartenanbau</b>			
<b>Obst- und Weinbau</b>	Zusatzbewässerung	54	12
	Hagelschutzanlagen	54	12
	Regenschutzanlagen	54	12
	Artenauswahl	42	23
	Anpassung Anbauparameter	49	17
	Pflanzenschutzstrategien	54	12
<b>Gemüsebau</b>	Zusatzbewässerung	54	12
	Sortenauswahl	60	4
	Artenauswahl	42	23
	Anpassung Anbauparameter	49	17
	Pflanzenschutzstrategien	54	12
<b>Grünland und Feldfutterbau</b>			
<b>Angepasste Grünlandbewirtschaftung</b>	Narbenerhaltung und -verbesserung	53	13
	Optimale Nutzungstiefe	58,5	7
	Düngungsmaßnahmen	57	8
	Zufütterung bzw. Vorhalten von Ausweichflächen	57	8
	Grundfutterkonservate	49	17
	Nährstoffversorgung	60	4
	Standortgerechte Arten- und Mischungswahl	53	13
	Verbesserung der Bodenstruktur	51	15
	Erhaltung des Humusgehaltes	65	1
	trockenheitsverträgliche Arten	47	19
<b>Tierische Erzeugung</b>			
<b>Tierhaltung</b>	Neue Stallbau- und Ausrüstungskonzepte	53	13
	Wiederaufbereitung und Bevorratung von Wasser	53	13
	Verbesserung des betrieblichen Managements	59	5
	Precision Farming	54,5	11
	Epidemiologische Vorsorgemaßnahmen gegen Krankheiten	55	10
<b>Fütterung</b>	Futtermittel- und verderbspezifische Restriktionen	55	10

Maßnahme	Umsetzung	GxE	Rang
	Neue Technologien Futtergewinnung und -bevorratung	54	12
<b>Tierzucht</b>	Angepasste Zuchtstrategien	50	16
	Sicherung der Leistungsprüfung	50	16
	Erhalt genetischer Ressourcen	45	21
<b>Teichwirtschaft</b>			
<b>Wassersparende Bewirtschaftung</b>	Übergang zu mehrjährigen Umtriebsweide	46	20
<b>Modifizierte Fütterungsstrategien</b>	Ergänzungsfütterung (zeitweise Verabreichung von vollwertigen Mischfuttermitteln)	49	17
<b>Erhaltung der Teichkultur</b>	Konsequenter Schilfschnitt	50	16
<b>Präventionsmaßnahmen gegen Krankheiten</b>	Zweckmäßige Desinfektionsmaßnahmen	48	18

Im Pflanzenbau wurden folgende Maßnahmen als besonders geeignet zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen und nachhaltigen Landbewirtschaftung identifiziert:

Erhaltung des Humusgehaltes	Rang 1
Risikominderung durch Anbau entsprechender Sorten	Rang 2
Düngebedarfsermittlung mittels $N_{\min}$ -Methode sowie mit Verfahren der Pflanzenanalyse	Rang 2
Anbau neuer trockenoleranter und Hitze verträglicher Sorten	Rang 3
Teilschlagspezifische Düngung	Rang 4
Moderne Applikationsverfahren wie Injektions- oder Flüssigdüngung, Unterfußdüngung oder stabilisierte Dünger	Rang 4
Angepasste Nährstoffversorgung	Rang 4
Direktsaatverfahren	Rang 5
Veränderung des PSM-Spektrums und/oder der Anwendungszeitpunkte	Rang 5

Die meisten Maßnahmen betreffen die Sortenwahl und die Düngeverfahren. Für die Tierproduktion wurde insbesondere die Verbesserung des betrieblichen Managements als geeignete Maßnahme zur Vermeidung von Schäden am Schutzgut ermittelt.

## 5.8 Schutzgut Mensch

Die Änderung von Witterung und Klima hat unterschiedlichste Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen. Wetterkatastrophen nehmen seit einigen Jahrzehnten drastisch an Zahl und Ausmaß zu. In Chemnitz muss man in Zukunft immer häufiger mit extremeren Winterstürmen und Unwettern, Überschwemmungen und Sturzfluten, Hitzewellen und Dürren gerechnet werden.

### 5.8.1 Einflussfaktoren

Trotz der momentan noch unkritischen Einstellung eines großen Teils der Bevölkerung gegenüber dem Klimawandel, der augenscheinlich eine positive Veränderung der Witterungsbedingungen mit sich bringt, überwiegen die negativen Einflüsse des Klimawandels auf den Menschen. Neben dem direkten Einfluss z. B. durch Hitzewellen und andere Witterungsextreme oder der Zunahme von Hautkrebs durch UV-Strahlung ist mit negativen indirekten Wirkungen zu rechnen (z. B. Zunahme von Krankheiten).

Tab. 58: Einflussfaktoren Schutzgut Mensch

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Klima (Hitze, Kälte, Zugluft, Luftfeuchtigkeit)	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen zu. Beispiele dafür sind der Hitzesommer 2003, die Überschwemmungen am 13. August 2002 und im März/April 2006 und der Tornado am 29. Juli 2005.
Hitzetod	Durch die Erhöhung der Temperatur nehmen Todesfälle durch Hitzetod zu. Die Todesursache sind dabei Myokardinfarkte (Herzinfarkte), Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Nierenerkrankungen und Atemwegs- und Stoffwechselstörungen. Besonders betroffen sind dabei Menschen mit chronischen Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems. Die betroffenen Personengruppen sind vorwiegend Kleinkinder, ältere Menschen und Kranke.  Gleichzeitig besteht durch die herabgesetzte Leistungsfähigkeit eine erhöhte Unfallgefahr.

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
	Bereits ab Temperaturen von 22°C sinkt die Leistungsfähigkeit des Menschen pro zusätzlichem Wärmegrad um 5% [GESUNDHEITSAMT 2009].
Sterblichkeitsrate im Winter (Kältetod)	Durch mildere Winter sinkt die Sterblichkeitsrate im Winter ab.
<b>Strahlung</b>	
natürliche UV-Strahlung (UV-B-Strahlung)	<p>Die stratosphärische Ozonschicht auf der Erdoberfläche absorbiert die natürliche UV-Strahlung. In den vergangenen Jahrzehnten ist diese Schicht dünner geworden; Menschen und andere Organismen sind daher einer höheren UV-Strahlung ausgesetzt.</p> <p>Beim Menschen sind besonders die Haut und die Augen durch UV-B-Strahlen gefährdet. Die sichtbarste Reaktion der Haut auf UV-Bestrahlung ist die Pigmentierung. Bei intensiverer und länger andauernder Bestrahlung rötet sich die Haut, im weiteren Verlauf entstehen Blasen, und das Gewebe stirbt ab. Ist die Haut häufig einer längeren UV-Bestrahlung ausgesetzt, sind irreversible Veränderungen und Spätfolgen wie Faltenbildung und bleibende Gefäßerweiterungen die Konsequenz. Die schwerwiegendste Spätfolge ist die Hautkrebserkrankung, der eine Veränderung des genetischen Materials in den Hautzellen zugrunde liegt. Die häufigsten Formen sind das besonders bösartige maligne Melanom der Haut (schwarzer Hautkrebs), das Basalzellkarzinom und das Plattenepithelkarzinom [HBS 2009]</p>
<b>Chemische</b>	
Brände, Explosionen	Erhöhung der Brand- und Explosionsgefährdung durch Temperaturerhöhung und Zunahme der Extremereignisse.
Gefahrstoffe	Freisetzung von Schadstoffen durch z.B.: Absenkung des GW-Spiegels, Austrocknung der Bodens, .....
<b>Psychische Belastung</b>	
Psychische Belastung durch Klima	Zusätzlicher Stress und Zeitdruck durch Extremwetterereignisse. Besonders betroffen sind Pendler, die sich durch längere Arbeitswege den Extremwetterereignissen aussetzen müssen.
<b>Biologische</b>	

<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
Atemwegserkrankungen	Durch die Zunahme der Ozonwerte kommt es vermehrt zur Reizung der Schleimhäute, Entzündungsreaktionen der Atemwege und eine dadurch bedingte Beeinträchtigung der Lungenfunktion und der körperlichen Leistungsfähigkeit.
Mücken, Zecken	Durch den Klimawandel, milde Winter und Hitze nach langen Regenereignissen, werden die Lebensbedingungen für Mücken und Zecken optimiert. Das Risiko für Borreliose (Lyme-Borreliose) und Frühsommer-Meningoenzephalitis erhöht sich durch den Klimawandel. Ein Beispiel dafür ist ebenfalls die weitere Ausbreitung der Schafzecke, die das so genannte Q-Fieber, das ähnliche Auswirkungen wie eine Sommergrippe hat, auslöst. Das FSME-Virus wird in erster Linie von Zecken auf den Menschen übertragen. Es sind jedoch auch einige wenige Fälle bekannt, bei denen der Genuss roher Milch von FSME-infizierten Kühen oder Ziegen die Krankheit ausgelöst hat.
Nagetiere	Mit der Erhöhung der Temperatur breiten sich auch Krankheitserregern, die in Deutschland heimisch sind stärker aus, wie zum Beispiel die Hanta-Viren die durch Nagetiere übertragen werden.
Wundinfektion	Durch den Anstieg der Wassertemperaturen von Nord- und Ostsee kommt es auch zu einer Zunahme von Wundinfektionen durch Vibrio vulnificus (einem entfernten Verwandten des Cholera-Erregers).
Allergene	Durch wärmeres Klima verlängert sich die Heuschnupfensaison. Der Grund dafür liegt in den früher fliegenden und auch länger fliegenden Pollen (bis in den Oktober). Ein höherer CO <sub>2</sub> -Gehalt der Luft regt Pflanzen dazu an, mehr Pollen zu produzieren. Mögliche Folgen des Pollenflugs können neben dem Heuschnupfen auch Atemnot und Asthma sein [EHP 2006].
Tropische Krankheiten	Das Verbreitungsgebiet tropischer Insekten nimmt durch Klimawandel zu, so dass ein Auftreten tropischer Krankheiten in Europa nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Es ist möglich, dass tropische Erkrankungen wie: Denguefieber, Malaria, Leishmaniose etc. in Zukunft auch in Chemnitz ein Problem darstellen. So ist damit zu rechnen, dass Malaria sich mit steigen-



<b>Einflussfaktoren</b>	
<b>Faktor</b>	<b>Erläuterung</b>
	<p>den Temperaturen auch in Regionen ausbreiten wird, die bislang für die Überträger der Krankheit, die Anopheles-Mücken, zu kühl waren. Die Tigermücke, einer der schlimmsten Überträger tropischer Krankheiten, hat schon Belgien und Holland besiedelt. Die West-Nil-Virus-Infektion, die in seltenen Fällen auch zum Tod führen kann, wird im Zusammenhang mit dem Klimawandel als mögliche neue Infektionskrankheit in Europa diskutiert. [GOETHE 2009]</p> <p>Die Leishmaniose, eine Tropenkrankheit die durch parasitäre Einzeller ausgelöst wird, ist inzwischen in Südfrankreich angekommen. Überträger ist die Sandmücke, die bereits in Baden-Württemberg angekommen ist. [GOETHE 2009]</p>
Salmonellose	<p>Durch die Zunahme der Umgebungstemperatur nimmt die Salmonellose zu. Ab einer Umgebungstemperatur von 5 Grad Celsius steigt die Inzidenz um 5-10 % je Grad Celsius an wöchentlichem Temperaturanstieg. Zu den Risikogruppen gehören Säuglingen, Kleinkindern, alten Menschen, HIV-Patienten und immungeschwächten Patienten. Salmonellen kommen in Tieren, in Menschen und in Habitaten außerhalb von Lebewesen vor [BDI 2009].</p>

## 5.8.2 Gefahrenquellen, gefahrbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Tab. 59: Gefährdungsermittlung für das Schutzgut Mensch

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungs-voraussetzungen	Gefährdung	Betroffene Personen
<b>Physikalische</b>						
<b>Umgebungsbedingungen</b>						
Klima/Extremereignisse (Hitze, Kälte, Zugluft, Luftfeuchtigkeit)	Klima (Feuchtigkeit, Sturm, Kälte, Hitze, starke Regenfälle)	Beschäftigte/Bürger die ihre Arbeiten im Freien ausführen oder ihren Arbeits-/Wohnplatz in Gebäuden mit unzureichender Klimatisierung haben sind den Klimabedingungen ausgesetzt	Standortvoraussetzungen (Lage, Bodenart, ...), Ausstattung Wohn- und Arbeitsplatz (Klimatisierung)	Alter, phys. Leistungsvoraussetzungen, psych. Leistungsvoraussetzung/ Informationsverarbeitung	Erkrankungen (Sonnenbrand, Erkältung, Grippe, Nierenentzündung,...)	schwache und kranke Menschen sind stärker gefährdet
Hitzetod/ Temperaturanstieg	hohe Temperaturen (> 30°C), Brände	Menschen werden hohen Temperaturen ungeschützt ausgesetzt, Erhöhte Unfallgefahr durch herabgesetzte Leistungsfähigkeit	Windstille, hohe Luftfeuchtigkeit und intensive Sonneneinstrahlung	Alter, phys. Leistungsvoraussetzungen, chronische Erkrankungen	Todesfälle durch Hitzetod, Myokardinfarkte (Herzinfarkte), Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Nierenerkrankungen und Atemwegs- und Stoffwechselstörungen	ältere und sehr junge Menschen sowie Personen, die an Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen leiden

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	Betroffene Personen
<b>Strahlung</b>						
natürliche UV-Strahlung	Sonnenlicht (UV-B-Strahlung)	ungehindertes Auftreffen der UV-Strahlung auf den Körper.	Standortverhältnisse (Schattenwurf, Wasserversorgung, ...), Lufttemperatur	Vorschädigung der Haut, erblich bedingte Empfindlichkeit der Haut	Hauterkrankungen, Kreislaufstörungen	schwache und kranke Menschen
<b>Chemische</b>						
<b>Brände, Explosionen</b>						
Brände, Explosionen	Richtiges Mischungsverhältnis zwischen dem brennbaren Stoff (Flammpunkt), der Zündquelle und dem Sauerstoff	Steigung der Temperatur (Trockenperioden) in einen kritischen Bereich für Brände und Explosionen (Erreichung Flammpunkt), Auslösen von Bränden und Explosionen durch einen Blitzschlag	ausgetrocknete Vegetation, brandfördernde bzw. brennbare Stoffe	Physische Leistungsvoraussetzungen	Verbrennungen, Erstickungen, Vergiftung durch Rauchgase, Verletzungen durch Druckwellen, Trümmerwurf, Einsturz	gesamte Bevölkerung
<b>Gefahrstoffe</b>						
Flüssigkeiten, Feststoffe	Gefahrstoff	orale, dermale oder inhalative Aufnahme von Gefahrstoffen	Freisetzung von Gefahrstoffen durch Absenkung GW-Stand bzw. Humusabbau	Physische Leistungsvoraussetzungen	Vergiftung, Verätzung, Hauterkrankungen, Atemwegserkrankung, krebs-erregend, erbgutverändernd, mutagen	gesamte Bevölkerung

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefahrbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung	Betroffene Personen
Stäube, Nebel Dämpfe	Gefahrstoff	dermale oder inhalative Aufnahme von Gefahrstoffen, unzureichende Frischluftzufuhr/ Luftbewegung	unzureichende Bodenbedeckung/Rückhaltung, ausgetrocknete Stoffe, Verdunstungsanspruch Atmosphäre	Physische Leistungsvoraussetzungen	Vergiftung, Verätzung, Atemwegserkrankung, krebs-erregend, erbgutverändernd, mutagen	gesamte Bevölkerung
<b>Biologische</b>						
Atemwegserkrankungen	Zunahme der Ozonkonzentration in der bodennahen Luft (Strahlungintensität, Gewitter)	ungeschütztes Einatmen zu hoher Ozongehalte (Ozon wirkt ohne Atemschutzgerät als Reizgas)	hohe Temperaturen, hohe Strahlungsintensitäten, Gewitter	Phys. Leistungsvoraussetzungen, chronische Erkrankungen (Asthma), erblich bedingte Empfindlichkeit der Atemwege	Reizung der Schleimhäute, Entzündungsreaktionen der Atemwege und eine dadurch bedingte Beeinträchtigung der Lungenfunktion und der körperlichen Leistungsfähigkeit.	insbesondere Personen mit Vorbelastungen der Atemwege (Asthmapatienten, Lungenschäden, ...)
Zecken, Mücken	Stich bzw. Biss durch Zecken und Insekten, Kontakt mit kontaminierten Stoffen	Übertragung von Krankheitserregern beim Stich/Biss durch Zecken und Insekten, Inhalation von Staub (Kot der Buntzecke), Kontakt mit kontaminierten Produkten wie Wolle, Milch oder Fleisch (Schaf)	Temperaturanstieg (vitalere Überwinterung und schnellere Entwicklung), Aufenthalt im Gras und Unterholz	Physische Leistungsvoraussetzungen	Infektionen, Allergien, toxische Reaktionen	gesamte Bevölkerung
Nagetiere	Krankheitserreger	Übertragung von Krankheitserregern bei einem Biss	Temperaturanstieg (vitalere Überwinterung und schnellere Entwicklung)	Physische Leistungsvoraussetzungen (Immunstatus)	Ausbreitung der Krankheitserreger wie z.B. Hanta-Viren	gesamte Bevölkerung

<b>Gefährdungsfaktor</b>	<b>Gefahrenquelle</b>	<b>Gefahrbringende Bedingungen</b>	<b>Begünstigende Bedingungen</b>	<b>Leistungsvoraussetzungen</b>	<b>Gefährdung</b>	<b>Betroffene Personen</b>
Wundinfektionen	Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren)	Befall der Wunde durch Mikroorganismen	Feuchtigkeit und Temperaturanstieg	Physische Leistungsvoraussetzungen (Immunstatus)	Rötung, Erwärmung, Schwellung, Funktionsstörung, Fieber, Schüttelfrost, Tachykardie (gesteigerte Herzfrequenz), Tachypnoe (gesteigerte Atemfrequenz)	gesamte Bevölkerung
Allergene	Pollen und Insekten (Klima)	Allergische Reaktion auf Pollen oder Insektenstiche	Temperaturanstieg, Verlängerung der Wachstumsperiode	Physische Leistungsvoraussetzungen (Immunstatus), chronische Erkrankungen	Heuschupfen, Atemnot, Asthma	Insbes. Personen mit Vorbelastungen der Atemwege (Allergien, Asthma)
Tropische Erkrankungen	Viren die durch Mücken (Sandmücke, Anopheles-Mücken, Tigermücke) übertragen werden	Ausbreitung tropischer Insekten nach Norden	Temperaturanstieg	Alter, Physische Leistungsvoraussetzungen (Immunstatus), chronische Erkrankungen	Leishmaniose, Denguefieber, Malaria	gesamte Bevölkerung
Salmonellose	Salmonellen (Bakterien) in verseuchten Nahrungsmittel und Trinkwasser, Übertragung auf Lebensmittel durch Tiere und Menschen	Ausbreitung der Salmonellen, weil Lebensmittel nicht gekühlt gelagert werden	Temperaturanstieg	Alter (überwiegend Altersgruppen unter 10 und über 60 Lebensjahre), Physische Leistungsvoraussetzungen (Immunstatus), chronische Erkrankungen	Entzündungen im Magen-Darm-Trakt (Durchfall, Erbrechen), Typhus, Paratyphus	gesamte Bevölkerung

### Hitzetod

Neben dem Auftreten von Extremereignissen wie Hitzeperioden hat auch die Veränderung der Durchschnittstemperatur einen Einfluss auf die Sterblichkeit. Dabei haben sowohl Abweichungen nach unten oder oben von einer regional verschiedenen optimalen Temperatur einen Zunahme der Sterblichkeit zur Folge. Nach [BMJ 2000] wurde in einer Studie die Sterblichkeitsrate von Männern und Frauen im Alter von 65 bis 74 Jahren in Nordfinnland, Südfinnland, Baden-Württemberg, London, Norditalien und Athen untersucht. Für die Untersuchungen wurden folgende meteorologische Daten herangezogen:

- Mittlere Lufttemperatur
- Windgeschwindigkeit
- relative Luftfeuchte
- Niederschlag

Die gesundheitlich optimale Temperatur liegt z.B. in Amsterdam bei 16,5 °C, in New York bei 20 °C und in Los Angeles bei 23 °C. Nach einer Auswertung zahlreicher Untersuchungen zu diesem Thema sinkt bei einer Temperaturabsenkung um 1 °C. unterhalb dieser Schwelle die allgemeine Sterblichkeit um 1%, die Zahl der Todesfälle durch Erkrankungen der Atemwege bei Personen über 65 Jahre sinkt um 3,8% und die durch Herzkrankungen um 4,1 %. Im "warmen" Bereich steigt dagegen bei einer Temperaturzunahme um 1 °C. die allgemeine Sterblichkeit um 1,4%, bei Herzkranken über 65 Jahre steigt sie um 1,6% und bei Atemwegserkrankungen um 10,4%.

### FSME-Erkrankungen

Im Landkreis Chemnitz wurden dem Robert-Koch-Institut autochthone (in dieser Region erworbene) FSME-Erkrankungen gemeldet. Der FSME-Status ist als „Einzelerkrankungen“ einzustufen. Ein Risiko, nach einem Zeckenstich an einer FSME zu erkranken, lässt sich in dieser Region nicht ausschließen. Die Region Chemnitz bedarf einer besonders sorgfältigen Überwachung. Eine offizielle Impfempfehlung des Robert-Koch-Institutes besteht zurzeit noch nicht [Baxter 2008].

Tab. 60: Durchimpfungsrate in Chemnitz [Baxter 2008]

Jahr	2005	2006	2007
Wert [%]	7,5	5,7	8,7

### 5.8.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Hohe und signifikante Risiken für das Schutzgut Mensch bestehen hinsichtlich Klima/Extremereignisse, Hitzetod/Temperaturanstieg, der Zunahme der UV-Strahlung, Brände, Explosionen, Atemwegserkrankungen, Zecken, Mücken, Wundinfektionen, Allergene und Salmonellose (vgl. Tab. 61).

Tab. 61: Risikoabschätzung nach Nohl

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Klima/Extremereignisse (Hitze, Kälte, Zugluft, Luftfeuchtigkeit)	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hitzetod/ Temperaturanstieg	Katastrophe/ möglicher Tod	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Strahlung</b>					
natürliche UV-Strahlung	schwer	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
Brände, Explosionen					
Brände, Explosionen	schwer	gering	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Gefahrstoffe</b>					
Flüssigkeiten, Feststoffe	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stäube, Nebel Dämpfe	mittelschwer	sehr gering	gering	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Biologische</b>					

<b>Gefährdung</b>	<b>Mögliche Schadensschwere</b>	<b>Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens</b>	<b>Risikomaßzahl nach Nohl</b>	<b>Handlungsbedarf</b>	
				<b>ja</b>	<b>nein</b>
Atemwegserkrankungen	mittelschwer	mittel	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zecken, Mücken	schwer	mittel	<b>hoch</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nagetiere	mittelschwer	sehr gering	<b>gering</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wundinfektionen	schwer	gering	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Allergene	mittelschwer	gering	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tropische Erkrankungen	mittelschwer	sehr gering	<b>gering</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Salmonellose	mittelschwer	gering	<b>signifikant</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## 5.8.4 Entwicklung von Lösungsalternativen

### Klima und Extremereignisse

Gefahrenquelle vermeiden/beseitigen/reduzieren (Maßnahmenhierarchie 1):

- Erosion vermindern durch Zwischenfruchtanbau und Verzicht auf Äcker in Hanglagen, Trennung der Feldbereiche durch Gehölzstreifen
- Vermeidung bzw. Rückbau von Bodenversiegelungen (Erhöhung der Sickerwasserrate)
- Schaffung natürlicher Rückhalteflächen (Anbindung der Aue)
- Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im gesamten Fruchtfolgeverlauf (Vermeidung der Bildung von Trockenrissen)
- Direktsaatverfahren (Verminderung Bodenverdichtung, Erhaltung des Bodengefüges)
- Anpassung der Saattermine
- Minimierung der Zeitspanne ohne Bodenbedeckung u.a. durch Fruchtfolgegestaltung sowie Zwischenfruchtanbau, Untersaaten oder Strohmulch bewirkt geringere Oberflächenverschlämmung (positiver Einfluss auf Humusgehalt), Vermeidung winterlicher Brachflächen zum Schutz vor Erosion
- Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität
- Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren zur Verminderung der Wassererosionsgefahr (bei geeigneter Geländemorphologie und Flächenzuschnitt)
- Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverschlämmung und Bodenverdichtungen, Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biol. Aktivität sowie durch Kalkung, bodenschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen (Lasten der Maschinen und Lastenverteilung – Breite der Reifen, Wassergehalt des Bodens) → Ausbildung eines stabilen Grob- und Mittelporensystems → Förderung der Bodenfauna
- Erosionsmindernde Flurgestaltung in Verbindung mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (Erosionsschutzstreifen, begrünte Hangrinnen, Schlagunterteilung)

Sicherheitstechnische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 2)

- Prüfung eines Einbaus von Rückstauklappen für alle Gebäudeanschlüsse (in der Satzung enthalten und überwiegend bereits umgesetzt)

- 
- durch den Umbau der Kanalisation die Gefahr durch Überflutungen aus Kanalsystemen verringern
  - Errichtung von Schutzbauten
  - Ausstattung von Gebäuden mit Klimaanlage
  - Frischluftschneisen von Chemnitz schützen (Berücksichtigung bei Planungen) bzw. ausdehnen
  - Baustandards an erhöhte Anforderungen anpassen (z. B. Häuser vor Hitze, Dächer vor Stürmen, Fenster vor Hagel, Keller oder Bodenplatte vor Grundwasser schützen).
  - Veränderung der Mobilität zur Reduzierung der Vulnerabilität

#### Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Katastrophenschutzplan der Stadt Chemnitz (Schadensfälle Unwetter und Hochwasser sind bereits sehr gut integriert, Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr müssen noch stärker berücksichtigt werden)
- Einrichtung eines Gefahrentelefons (Bürger werden über aktuelle Informationen zu den einzelnen Medien ständig informiert)

#### Persönliche Schutzausrüstung (Maßnahmenhierarchie 4):

- Gummihosen oder Gummistiefel
- Wetterfeste Kleidung
- Handleuchten
- Sonnenschutz (Sonnenschutzcreme, Kopfbedeckung)

#### Verhaltensbezogene Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 5):

- Verhaltens- und Eigenvorsorge (Schutz von Gütern) der Bevölkerung durch die Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung durch öffentliche Stellen
- Durchführung von Schulungen zum Umgang mit Feuerlöschern

#### Hitzetod/ Temperaturanstieg und UV-Strahlung

#### Sicherheitstechnische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 2)

- Ausstattung von Gebäuden mit Klimaanlage

- Frischluftschneisen von Chemnitz schützen (Berücksichtigung bei Planungen) bzw. ausdehnen
- Baustandards an erhöhte Anforderungen anpassen (z. B. Häuser vor Hitze, Dächer vor Stürmen, Fenster vor Hagel, Keller oder Bodenplatte vor Grundwasser schützen). Zum Beispiel können Häuser vor der Erhitzung durch Bepflanzung geschützt werden.
- Veränderung der Mobilität zur Reduzierung der Vulnerabilität

#### Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Katastrophenschutzplan der Stadt Chemnitz (Schadensfälle Unwetter und Hochwasser sind bereits sehr gut integriert, Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr müssen noch stärker berücksichtigt werden)
- Einrichtung eines Gefahrentelefons (Bürger werden über aktuelle Informationen zu den einzelnen Medien ständig informiert)

#### Persönliche Schutzausrüstung (Maßnahmenhierarchie 4):

- Sonnenschutzmittel
- Kopfbedeckung mit Nackenschutz
- Sonnenbrille

#### Verhaltensbezogene Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 5):

- Verhaltens- und Eigenvorsorge (Schutz von Gütern) der Bevölkerung durch die Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung durch öffentliche Stellen
- nicht in der prallen Sonne aufhalten
- ausreichend trinken (Alkohol, Kaffee und schwarzer Tee sollten vermieden werden, da sie dehydrierend wirken)
- Leichte Kost wie Gemüse, Salate, wasserreiches Obst helfen als Schutzmaßnahme gegen eine Überhitzung des Körpers.

#### Brände/Explosionen

##### Gefahrenquelle vermeiden/beseitigen/reduzieren (Maßnahmenhierarchie 1):

- Vermeidung von Zündquellen bei erhöhter Waldbrandgefahr

- Laubmischwälder halten mehr Feuchtigkeit in Biomasse, Boden und Luft und trocknen weniger schnell aus als Nadelholzforste. Eine natürliche Waldzusammensetzung ist so auch ein guter Schutz vor Waldbränden.

#### Sicherheitstechnische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 2)

- Errichtung von Schutzbauten
- Ausstattung von Gebäuden mit Klimaanlage
- Frischluftschneisen von Chemnitz schützen (Berücksichtigung bei Planungen) bzw. ausdehnen
- Baustandards an erhöhte Anforderungen anpassen (Feuerwiderstandsklasse).
- Veränderung der Mobilität zur Reduzierung der Vulnerabilität
- In Deutschland wird zur frühzeitigen Erkennung von Waldbränden ein automatisiertes System zur Rauchererkennung (Fire Watch) eingesetzt. Dabei wird mittels eines optischen Sensors und einer automatischen Software zur Rauchererkennung ein Brand bereits im Entstehungsstadium (Schwelbrand) erkannt.

#### Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Katastrophenschutzplan der Stadt Chemnitz (Schadensfälle Unwetter und Hochwasser sind bereits sehr gut integriert, Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr müssen noch stärker berücksichtigt werden)
- Einrichtung eines Gefahren Telefons (Bürger werden über aktuelle Informationen zu den einzelnen Medien ständig informiert)
- Sperrung von Waldabschnitten für die touristische Nutzung bei erhöhter Waldbrandgefahr

#### Persönliche Schutzausrüstung (Maßnahmenhierarchie 4):

- Feuerlöscher
- Löschdecken
- Feuerbeständige Kleidung
- Atemschutzgeräte

#### Verhaltensbezogene Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 5):

- Verhaltens- und Eigenvorsorge (Schutz von Gütern) der Bevölkerung durch die Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung durch öffentliche Stellen
- Durchführung von Schulungen zum Umgang mit Feuerlöschern

### Atemwegserkrankungen

#### Sicherheitstechnische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 2):

- Errichtung von Schutzbauten (wo natürliche Beschattung fehlt können Zelte und Abdeckungen aufgestellt werden)
- Ausstattung von Gebäuden mit Klimaanlage
- Frischluftschneisen von Chemnitz schützen (Berücksichtigung bei Planungen) bzw. ausdehnen
- Reduzierung des Kfz-Verkehrs und aller vermeidbaren Verbrennungsprozesse zur Vermeidung weiterer Ozonkonzentration
- Anschaffung emissionsarmer Fahrzeuge

#### Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Überschreiten der Informationsschwelle ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ): gesundheitliche Probleme bei Beschäftigten, die auf Ozon empfindlich reagieren (ca. 15 % der Bevölkerung) [UBA 2009]
  - Abrufen der aktuellen bzw. vorhergesagten Ozonwerte
  - Flexibilisierung der Arbeitszeit, um die ozonintensive Mittagszeit zu meiden, Gleitzeitregelungen
  - Arbeitsschwere, wenn möglich reduzieren
- Überschreiten der Alarmschwelle ( $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ): gesundheitliche Probleme bei allen Beschäftigten [UBA 2009]
  - Pausenregelung großzügig und variabel gestalten
  - Verlegen von schweren Arbeiten auf den Vormittag
  - möglichst in geschlossenen Räumen aufhalten
  - Sportliche Aktivitäten auf die Morgenstunden verlegen
  - Raumlüftung am Morgen
  - Vermeiden von Mehrarbeit

- Gesundheitliche Gefährdung durch Reizerscheinungen der Atemwege und der Augen Erhöhte Unfallgefahr durch Minderung der Leistungsfähigkeit
  - Die Erste Hilfe für Notfälle regeln
  - Information der Bevölkerung über die Gefährdungen durch Ozon und die Schutzmaßnahmen frühzeitig durchführen

An ca. 300 Messstationen in Deutschland wird die Ozonkonzentration in der Luft gemessen. Das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht die aktuellen Ozondaten für ganz Deutschland, übersichtlich in Kartenform und als Tabellen unter <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/index.html>. Zusätzlich veröffentlicht das UBA deutschlandweite Ozonvorhersagen für den aktuellen Tag und die beiden Folgetage. Bei zu erwartenden erhöhten Ozonkonzentrationen über  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (180 Mikrogramm Ozon pro Kubikmeter Luft) wird die Öffentlichkeit auch über Radio, Fernsehen oder Tageszeitungen informiert [UBA 2009].

### Mücken und Zecken

Gefahrenquelle vermeiden/beseitigen/reduzieren (Maßnahmenhierarchie 1):

- FSME-Impfung, Q-Fieber-Impfung
- Lebensmittel vor dem Verzehr erhitzen
- Ausscheidungen Erkrankter desinfizieren

Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Ausscheidungen von Tieren (Schafe, Ziegen, Rinder) weitestgehend vom Menschen fernhalten

Persönliche Schutzeinrichtungen (Maßnahmenhierarchie 4):

- Verwenden von insektenabweisenden Mitteln
- geschlossene Kleidung mit langen Ärmeln und lange Hosen tragen
- Socken über die Hosenbeine ziehen
- Helle Kleidung ist günstiger als dunkle! Zecken kann man gut darauf erkennen und noch vor einem Stich entfernen.
- Verwendung von „Moskitonetzen“

Verhaltensbezogene Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 5):

- Aufenthalt im hohen Gras oder Unterholz vermeiden
- Körper nach Zecken absuchen, nachdem man sich in der Natur aufgehalten hat
- Richtiges Entfernen der Zecke mittels feiner Pinzette oder Skalpell

### Wundinfektionen

Gefahrenquelle vermeiden/beseitigen/reduzieren (Maßnahmenhierarchie 1):

- Impfschutz gegen Tetanus

Sicherheitstechnische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 2):

- Arbeitsgeräte mit Schutzvorrichtungen (z.B. Nadel- bzw. Stichschutzvorrichtungen, Kettenschutz bei Motorsägen, Einzugsschutz)

Persönliche Schutzeinrichtungen (Maßnahmenhierarchie 4):

- Schnitt- und stichfeste Kleidung
- Handschuhe
- Schutzbrille
- Arbeitsschutzschuhe
- Helm. bzw. Kopfbedeckung

Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Wunden müssen medizinisch gesäubert und versorgt werden. Bis dahin darf die Wunde nicht durch Betasten oder Berühren belastet werden, da sonst die Gefahr einer (zusätzlichen) Keimverschleppung in die Wunde besteht.
- Erstellung eines Hygieneplans bei erhöhter Gefährdung bei bestimmten Tätigkeiten
- Erstellung von Plänen zur Abfallentsorgung

### Allergene

Gefahrenquelle vermeiden/beseitigen/reduzieren (Maßnahmenhierarchie 1):

- Hyposensibilisierung (Immuntherapie)
- Allergiemedikamente

Sicherheitstechnische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 2):

- Fenster mit Insektennetzen sichern
- Kfz: Lüftungsanlage mit einem feinporigen Filter (Mikrofilter) versehen (regelmäßiger Wechsel notwendig) [ALLERGIE-EXPERTEN 2009]

Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Information der Bevölkerung mittels Blüh- und Pollenflugkalender
- Rasen in der Umgebung möglichst kurz schneiden (Nachblüte der Gräser verhindern)
- ohne Mikrofilter Autolüftung bei Polenflug abstellen [ALLERGIE-EXPERTEN 2009]

Persönliche Schutzeinrichtungen (Maßnahmenhierarchie 4):

- Notfall-Set zur Selbstbehandlung bei vorhanden Insektenallergien (enthält Antihistaminikum, ein Glukokortikoid und Adrenalin)

Verhaltensbezogene Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 5):

- Vermeiden von hastigen oder schlagenden Bewegungen in der Nähe von Wespen, Bienen oder Hornissen. Diese werden von den Insekten als Bedrohung wahrgenommen. „Landeplätze“ wie Kleidungsstücke oder Tischdecken können behutsam ausgeschüttelt werden.
- Vermeiden von leichter, weiter und bunt gemusterte Kleidung und Verzicht auf Parfüms und duftende Kosmetika. Ähnlich wie durch Blumenduft oder Obst fühlen sich Bienen und Wespen davon angezogen.
- Besondere Vorsicht ist geboten, wenn man im Freien isst oder trinkt: Man sollte süße Speisen, Eis, Limonade, Saft oder Bier lieber weg lassen und aus Flaschen oder Dosen höchstens mit einem Strohhalm trinken.
- Abfallkörbe und Mülleimer locken Insekten an – man sollte sich in ihrer Nähe nur bei Notwendigkeit aufhalten. Zu Hause sollte man Abfalleimer stets gut verschließen.
- Im Freien nicht barfuß laufen, erst recht nicht auf blühenden Wiesen, in denen sich besonders Bienen gerne niederlassen.
- Beim Autofahren sollten die Fenster möglichst geschlossen bleiben. Auch auf dem Motorrad sollte der Helm stets zugeklappt werden und es sollte eng anliegende Kleidung getragen werden.



- Meiden Sie Wespen- und Bienennester. Wenn sich Nester in der Nähe von Arbeits- oder Wohnstätte befinden, kann man diese fachgerecht von einem Imker oder der Feuerwehr umsetzen lassen.
- bei starkem Pollenflug mit geschlossenen Fenstern schlafen
- Kindern, die tagsüber im Freien gespielt haben, bei starkem Pollenflug die Haare waschen, auch an Kleidungsstücken können Pollenbestandteile haften bleiben → die Freizeitkleidung sollte außerhalb des Schlafraumes abgelegt werden [ALLERGIE-EXPERTEN 2009]

### Salmonellose

Organisatorische Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 3):

- Abtöten der Salmonellen und Verhinderung der Salmonellenvermehrung: Temperaturen von mehr als 70 °C für mindestens 10 Minuten (Salmonellen abgetötet, Kochwäsche reicht aus), Aufbewahrung im Kühlschrank (5 - 7 °C), saubere, trockene und sauerstoffarme Umgebung (Verhinderung Wachstum und Vermehrung)
- Erkrankte und dessen Verdächtige sowie Ausscheider dürfen nicht bei dem gewerbsmäßigen Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen unverpackter Lebensmittel beteiligt sein

Verhaltensbezogene Maßnahmen (Maßnahmenhierarchie 5):

- Einhaltung der Grundregeln der Hygiene: Händewaschen mit Seife sowie Händedesinfektion nach Toilettenbenutzung und vor der Zubereitung sowie Einnahme von Mahlzeiten (Vermeidung der Weiterverbreitung der Krankheitserreger)
- Schutzmaßnahmen bei Eiern
  - Eier sollten möglichst frisch gekauft und bald verbraucht werden.
  - Eier immer im Kühlschrank aufbewahren
  - Für Speisen, wie Tiramissu oder Zabbaione, die rohe Eier enthalten, sollten immer nur ganz frische Eier verwendet und die Speisen nur zum Verzehr aus dem Kühlschrank genommen werden. Speisereste nicht mehr aufheben.
  - Frühstückseier mindestens 5 Minuten im siedenden Wasser kochen lassen.
  - Rühreier immer gut durchbraten.
  - Eier, deren Mindesthaltbarkeitsdatum abgelaufen ist, sollten nur noch durch erhitzen verzehrt werden.

- Schutzmaßnahmen bei Geflügel
  - Geflügel nur im Kühlschrank aufbewahren
  - Geflügel auch nur um Kühlschrank auftauen, wobei das Geflügel in einem Sieb mit Abtropfschale liegt. Das Auftauwasser sofort wegschütten.
  - Zum Schneiden des rohen Geflügelfleisches sollten keine schwer zu reinigenden Holzbrettchen verwendet werden. In den, für unser Auge nicht sichtbaren, Spalten und Rillen können sich die Bakterien fest setzen und weitere Lebensmittel infizieren.
  - Arbeitsflächen und Geräte nach Kontakt mit Geflügel gründlich reinigen und den Lappen danach auskochen, oder wegwerfen.
  - Geflügel nicht in Anwesenheit von Speisen bearbeiten, die nicht mehr erhitzt werden. Ein Spritzer Geflügelwasser auf dem Nachtschisch kann fatale Folgen haben.

### 5.8.5 Auswahl von Lösungsmöglichkeiten

Die Auswahl von Lösungsmöglichkeiten erfolgt anhand der Kriterien Wirksamkeit, Akzeptanz, Praktikabilität, Umsetzbarkeit und Kosten in Tab. 62.

Tab. 62 Bewertung der Lösungsmöglichkeiten

Maßnahme	Umsetzung	Wirksamkeit	Akzeptanz	Praktikabilität	Umsetzbarkeit	Kosten
<b>Klima und Extremereignisse</b>						
<b>Gefahrenquellen vermeiden/ beseitigen/ reduzieren</b>	Zwischenfruchtanbau, Hanglage, Gehölzstreifen	hoch	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering bis mittel
	Rückbau/Vermeidung Bodenversiegelung	mittel	gering	teilweise praktikabel	mittel- bis langfristig	gering bis mittel
	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat	hoch	mittel	praktikabel	mittelfristig	anfangs hoch, nach Etablierung Kosteneinsparungen
	Direktsaatverfahren	mittel	mittel	praktikabel	mittel- bis langfristig	gering
	Anpassung der Saattermine	hoch	gering	praktikabel	kurzfristig	gering

Maßnahme	Umsetzung	Wirk-samkeit	Akzep-tanz	Praktika-bilität	Umsetz-barkeit	Kosten
	Minimierung der Zeitspanne ohne Bodenbedeckung	hoch	mittel	praktika-bel	kurzfristig	gering
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität	mittel	mittel	praktika-bel	mittelfristig	gering
	Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren	mittel	mittel	praktika-bel	kurzfristig	gering
	Vermeidung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Förderung der biol. Aktivität + Kalkung	hoch	mittel	praktika-bel	kurz- bis mittelfristig	mittel
	Erosionsmindernde Flurgestaltung i.V.m. dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung	mittel bis hoch	mittel	begrenzt praktika-bel	mittel- bis langfristig	gering (Schlagunterteilung) bis hoch (Anpflanzung)
<b>Sicherheits-technische Maßnahmen</b>	Prüfung Rückstauklappen (Gewässerverschmutzung)	gering	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Umbau der Kanalisation	hoch	sehr hoch	praktika-bel	langfristig	sehr hoch
	Errichtung von Schutzbauten	gering	mittel	praktika-bel	mittelfristig	gering
	Klimaanlage	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	Kurzfristig	mittel bis hoch
	Frischluftschneisen schützen	sehr hoch	mittel	praktika-bel	langfristig	sehr gering
	Baustandards an erhöhte Anforderungen Anpassen	sehr hoch	mittel	praktika-bel	langfristig	hoch
	Veränderung der Mobilität	gering	hoch	praktika-bel	langfristig	gering bis hoch
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Integration Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr im Katastrophenschutzplan	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Gefahrentelefon	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Gummihosen, Gummistiefel, Wetterfeste Kleidung, Handleuchten, Sonnenschutz	gering	sehr hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
<b>Verhaltensbe- zogene Maß- nahmen</b>	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	mittel	mittel	praktika- bel	kurz- bis mittelfristig	gering bis mittel
	Schulungen zum Umgang mit Feuerlöschern	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	gering
<b>Hitzetod/ Temperaturanstieg und UV-Strahlung</b>						
<b>Sicherheits- technische Maßnahmen</b>	Klimaanlage	mittel	hoch	hohe Praxisre- levanz	Kurzfristig	mittel bis hoch
	Frischluftschneisen schützen	sehr hoch	mittel	praktika- bel	langfristig	sehr gering
	Baustandards an erhöhte Anfor- derungen Anpassen	sehr hoch	mittel	praktika- bel	langfristig	hoch
	Veränderung der Mobilität	gering	hoch	praktika- bel	langfristig	gering bis hoch
<b>Organisatori- sche Maß- nahmen</b>	Integration Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr im Katastrophenschutzplan	mittel	hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	gering
	Gefahrentelefon	mittel	hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	gering
<b>Persönliche Schutzaus- rüstung</b>	Sonnenschutzmittel, Kopfbede- ckung mit Nackenschutz, Son- nenbrille	gering	sehr hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	gering
<b>Verhaltensbe- zogene Maß- nahmen</b>	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	mittel	mittel	praktika- bel	kurz- bis mittelfristig	gering bis mittel
	nicht in praller Sonne aufhalten	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	sehr gering
	ausreichend trinken	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	sehr gering
	Leichte Kost	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	sehr gering
<b>Brände/Explosionen</b>						
<b>Gefahrenquel- le vermeiden/ beseitigen/ reduzieren</b>	Zündquellen vermeiden	hoch	mittel	praktika- bel	kurzfristig	nicht vor- handen
	Standortgerechte Artenzusam- mensetzung	hoch	mittel	praktika- bel	langfristig	mittel
<b>Sicherheits- technische</b>	Schutzbauten	gering	mittel	praktika- bel	mittelfristig	gering

Maßnahme	Umsetzung	Wirk-samkeit	Akzep-tanz	Praktika-bilität	Umsetz-barkeit	Kosten
<b>Maßnahmen</b>	Klimaanlage	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	Kurzfristig	mittel bis hoch
	Frischlufschneisen schützen	sehr hoch	mittel	praktikabel	langfristig	sehr gering
	Baustandards an erhöhte Anforderungen Anpassen	sehr hoch	mittel	praktikabel	langfristig	hoch
	Veränderung der Mobilität	gering	hoch	praktikabel	langfristig	gering bis hoch
	Fire Watch	hoch	sehr hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Integration Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr im Katastrophenschutzplan	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Gefahrentelefon	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Sperrung von Waldabschnitten bei erhöhter Waldbrandgefahr	gering	gering	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	nicht vorhanden
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Feuerlöscher, Löschdecke, Feuerbeständige Kleidung, Atemschutzgeräte	gering	sehr hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	mittel	mittel	praktikabel	kurz- bis mittelfristig	gering bis mittel
	Feuerlöschübung	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	sehr gering
<b>Atemwegserkrankungen</b>						
<b>Sicherheits-technische Maßnahmen</b>	Schutzbauten	gering	mittel	praktikabel	mittelfristig	gering
	Klimaanlage	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	Kurzfristig	mittel bis hoch
	Frischlufschneisen schützen	sehr hoch	mittel	praktikabel	langfristig	sehr gering
	Reduzierung des Kfz-Verkehrs	sehr hoch	mittel	praktikabel	langfristig	hoch
	emissionsarme Fahrzeuge	gering	hoch	praktikabel	langfristig	gering bis hoch

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
<b>Organisatori- sche Maß- nahmen</b>	Abrufen der aktuellen und vor- hergesagten Ozonwerte	mittel	hoch	hohe Praxisre- levanz	Kurzfristig	sehr gering
	Flexibilisierung der Arbeitszeit	mittel	hoch	teilweise praktika- bel	Kurzfristig	gering
	Reduzierung Arbeitsschwere	mittel	hoch	teilweise praktika- bel	Kurzfristig	gering
	Verlegung schwerer Arbeiten und Sportaktivitäten in die Morgen- stunden	mittel	hoch	teilweise praktika- bel	Kurzfristig	gering
	Raumlüftung am Morgen	mittel	hoch	praktika- bel	Kurzfristig	gering
	Regelung Erste Hilfe	mittel	hoch	praktika- bel	Kurzfristig	gering
	Information der Bevölkerung	mittel	hoch	praktika- bel	Kurzfristig	gering
<b>Mücken und Zecken</b>						
<b>Gefahrenquel- le vermeiden/ beseitigen/ reduzieren</b>	FSME- und Q-Fieber-Impfung	sehr hoch	mittel	praktika- bel	kurzfristig	gering
	Lebensmittel vor Verzehr erhitzen	sehr hoch	hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	gering
	Ausscheidungen Erkrankter desinfizieren	sehr hoch	gering	praktika- bel	kurzfristig	gering
<b>Organisatori- sche Maß- nahmen</b>	Ausscheidungen von Tieren weitestgehend vom Menschen fern halten	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	gering
<b>Persönliche Schutzaus- rüstung</b>	Insektenabweisende Mittel	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	gering
	geschlossene Kleidung, lange Ärmel und lange Hosen, Socken über Hosenbeine ziehen	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	gering
	Moskitonetz	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	gering
<b>Verhaltensbe- zogene Maß- nahmen</b>	Aufenthalt im hohen Gras und Unterholz vermeiden	gering	hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	gering

Maßnahme	Umsetzung	Wirksamkeit	Akzeptanz	Praktikabilität	Umsetzbarkeit	Kosten
	Körper nach Zecken absuchen	gering	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Entfernen mittels Pinzette oder Skalpell (nicht abschneiden!)	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
<b>Allergene</b>						
<b>Gefahrenquellen vermeiden/beseitigen/reduzieren</b>	Hyposensibilisierung	hoch	mittel	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Allergiemedikamente	mittel	sehr hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
<b>Sicherheitstechnische Maßnahmen</b>	Insektennetz	mittel	sehr hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
	Lüftungsanlage mit Mikrofilter	mittel	mittel	praktikabel	kurzfristig	gering
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Blüh- und Pollenflugkalender	gering	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	nicht vorhanden
	Rasen kurz schneiden	gering	mittel	praktikabel	kurzfristig	sehr gering
	Autolüftung abstellen	mittel	gering	praktikabel	kurzfristig	gering
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Notfall-Set	hoch	mittel	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	gering
<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>	Vermeiden hastiger und schlagernder Bewegungen	mittel	hoch	hohe Praxisrelevanz	kurzfristig	nicht vorhanden
	Vermeiden leichter, weiter und bunt gemusterter Kleidung	mittel	hoch	praktikabel	kurzfristig	nicht vorhanden
	keine süßen Speisen oder Getränke im Freien essen	mittel	gering	praktikabel	kurzfristig	nicht vorhanden
	Fernhalten von Abfallbehältern, Abfalleimer gut verschließen	mittel	hoch	praktikabel	kurzfristig	nicht vorhanden
	Vermeiden von Barfußlaufen	mittel	hoch	praktikabel	kurzfristig	nicht vorhanden

Maßnahme	Umsetzung	Wirk- samkeit	Akzep- tanz	Praktika- bilität	Umsetz- barkeit	Kosten
	Geschlossene Fenster beim Autofahren, Helm zugeklappt und eng anliegende Kleidung beim Motorradfahren	mittel	mittel	praktika- bel	kurzfristig	nicht vor- handen
	Wespen- , Hornissen- u. Bienen- nester fachgerecht entfernen	mittel	hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	nicht vor- handen
	Fenster bei starken Pollenflug nachts geschlossen halten	mittel	hoch	praktika- bel	kurzfristig	nicht vor- handen
	Haare waschen, Freizeitkleidung nicht in Schlafräumen ablegen	mittel	gering	praktika- bel	kurzfristig	sehr gering
<b>Salmonellose</b>						
<b>Organisatori- sche Maß- nahmen</b>	Abtöten Salmonellen und Verhin- derung Salonellenvermehrung	sehr hoch	hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	sehr gering
	Erkrankte, verdächtige und Aus- scheider nicht beim Herstellen, behandeln und Inverkehrbringen von Lebensmittel einsetzen	hoch	mittel	praktika- bel	kurzfristig	nicht vor- handen
	Lebensmittel frisch verarbeiten	hoch		hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	nicht vor- handen
	Lebensmittel im Kühlschrank aufbewahren	hoch	sehr hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	nicht vor- handen
	Fleisch im Kühlschrank auftauen lassen und Auftauwasser weg- schütten	hoch	mittel	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	nicht vor- handen
	Lebensmittel gut durchbraten bzw. kochen	sehr hoch	hoch	hohe Praxisre- levanz	kurzfristig	sehr gering
	Arbeitsflächen und Geräte gründ- lich reinigen (keine Holzbretter)	hoch	mittel	praktika- bel	kurzfristig	nicht vor- handen
	Speisen die mit rohen Eiern zubereitet werden nur zum ver- zehr aus Kühlschrank nehmen	hoch	mittel	praktika- bel	kurzfristig	nicht vor- handen
	Geflügel nicht in Anwesenheit von Speisen bearbeiten	hoch	gering	praktika- bel	kurzfristig	nicht vor- handen



Tab. 63: Ermittlung der Rangfolgen der Maßnahmen nach deren Geeignetheit

Maßnahme	Umsetzung	G x E	Rang
<b>Klima und Extremereignisse</b>			
<b>Gefahrenquelle vermeiden/ beseitigen/ reduzieren</b>	Zwischenfruchtanbau, Hanglage, Gehölzstreifen	69,5	6
	Rückbau/Vermeidung	40,5	30
	Bodenversiegelung		
	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat	54,5	21
	Direktsaatverfahren	49	27
	Anpassung der Saattermine	57	19
	Minimierung der Zeitspanne ohne Bodenbedeckung	60	17
	Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstrukturstabilität	51	26
	Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren	55	20
	Vermeidung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Förderung der biol. Aktivität + Kalkung	55	20
<b>Sicherheitstechnische Maßnahmen</b>	Erosionsmindernde Flurgestaltung i.V.m. dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung	40,5	30
	Prüfung Rückstauklappen (Gewässerverschmutzung)	61	16
	Umbau der Kanalisation		
	Errichtung von Schutzbauten	49	27
	Klimaanlage	46	28
	Frischlufschneisen schützen	61,5	15
	Baustandards an erhöhte Anforderungen Anpassen	60	17
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Veränderung der Mobilität	51	26
	Integration Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr im Katastrophenschutzplan	42	29
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Gefahretelefon	66	10
	Gummihosen, Gummistiefel, Wetterfeste Kleidung, Handleuchten, Sonnenschutz	66	10
<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	64	12
	Schulungen zum Umgang mit Feuerlöschern	51,5	25
<b>Hitzetod/ Temperaturanstieg und UV-Strahlung</b>			
<b>Sicherheitstechnische Maßnahmen</b>	Klimaanlage	61,5	15
	Frischlufschneisen schützen	60	17
	Baustandards an erhöhte Anforderungen Anpassen	51	26
	Veränderung der Mobilität	42	29
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Integration Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr im Katastrophenschutzplan	66	10
	Gefahretelefon	66	10
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Sonnenschutzmittel, Kopfbedeckung mit Nackenschutz, Sonnenbrille	64	12
	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	51,5	25

Maßnahme	Umsetzung	G x E	Rang
	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	51,5	25
<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>	ausreichend Risiko aufhalten	61	16
	Leichte Kost	61	16
<b>Brände/Explosionen</b>			
<b>Gefahrenquelle vermeiden/ beseitigen/ reduzieren</b>	Zündquellen vermeiden	66	10
	Standortgerechte Artenzusammensetzung	49	27
<b>Sicherheitstechnische Maßnahmen</b>	Schutzbauten	46	28
	Klimaanlage	61,5	15
	Frischluftschneisen schützen	60	17
	Baustandards an erhöhte Anforderungen Anpassen	51	26
	Veränderung der Mobilität	42	29
	Fire Watch	74	4
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Integration Temperaturanstieg und steigende Waldbrandgefahr im Katastrophenschutzplan	66	10
	Gefahrentelefon	66	10
	Sperrung von Waldabschnitten bei erhöhter Waldbrandgefahr	61	16
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Feuerlöscher, Löschdecke, Feuerbeständige Kleidung, Atemschutzgeräte	64	12
<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>	Informationsbereitstellung und Bewusstseinsbildung	51,5	25
	Feuerlöschübung	69	7
<b>Atemwegserkrankungen</b>			
<b>Sicherheitstechnische Maßnahmen</b>	Schutzbauten	46	28
	Klimaanlage	61,5	15
	Frischluftschneisen schützen	60	17
	Reduzierung des Kfz-Verkehrs	51	26
	emissionsarme Fahrzeuge	42	29
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Abrufen der aktuellen und vorhergesagten Ozonwerte	69	7
	Flexibilisierung der Arbeitszeit	54	22
	Reduzierung Arbeitsschwere	54	22
	Verlegung schwerer Arbeiten und Sportaktivitäten in die Morgenstunden	54	22
	Raumlüftung am Morgen	58	18
	Regelung Erste Hilfe	58	18
	Information der Bevölkerung	58	18
<b>Mücken und Zecken</b>			
<b>Gefahrenquelle vermeiden/ beseitigen/ reduzieren</b>	FSME- und Q-Fieber-Impfung	65	11
	Lebensmittel vor Verzehr erhitzen	76	3
	Ausscheidungen Erkrankter desinfizieren	62	14
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Ausscheidungen von Tieren weitestgehend vom Menschen fern halten	58	18

Maßnahme	Umsetzung	G x E	Rang
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Insektenabweisende Mittel	58	18
	geschlossene Kleidung, lange Ärmel und lange Hosen, Socken über Hosenbeine ziehen	58	18
	Moskitonetz	58	18
<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>	Aufenthalt im hohen Gras und Unterholz vermeiden	61	16
	Körper nach Zecken absuchen	61	16
	Entfernen mittels Pinzette oder Skalpell (nicht abschneiden!)	66	10
<b>Allergene</b>			
<b>Gefahrenquelle vermeiden/ beseitigen/ reduzieren</b>	Hyposensibilisierung	68	8
	Allergiemedikamente	69	7
<b>Sicherheitstechnische Maßnahmen</b>	Insektennetz	69	7
	Lüftungsanlage mit Mikrofilter	55	20
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Blüh- und Pollenflugkalender	67	9
	Rasen kurz schneiden	53	23
	Autolüftung abstellen	52	24
<b>Persönliche Schutzausrüstung</b>	Notfall-Set	68	8
<b>Verhaltensbezogene Maßnahmen</b>	Vermeiden hastiger und schlagender Bewegungen	72	5
	Vermeiden leichter, weiter und bunt gemusterter Kleidung	64	12
	keine süßen Speisen oder Getränke im Freien essen	58	18
	Fernhalten von Abfallbehältern, Abfalleimer gut verschließen	64	12
	Vermeiden von Barfußlaufen	64	12
	Geschlossene Fenster beim Autofahren, Helm zugeklappt und eng anliegende Kleidung beim Motorradfahren	61	16
	Wespen- , Hornissen- u. Bienennester fachgerecht entfernen	72	5
	Fenster bei starken Pollenflug nachts geschlossen halten	64	12
	Haare waschen, Freizeitkleidung nicht in Schlafräumen ablegen	55	20
<b>Salmonellose</b>			
<b>Organisatorische Maßnahmen</b>	Abtöten Salmonellen und Verhinderung Salmonellenvermehrung	79	2
	Erkrankte, verdächtige und Ausscheider nicht beim Herstellen, behandeln und Inverkehrbringen von Lebensmittel einsetzen	66	10
	Lebensmittel frisch verarbeiten	65	11
	Lebensmittel im Kühlschrank aufbewahren	80	1
	Fleisch im Kühlschrank auftauen lassen und Auftauwasser wegschütten	74	4
	Lebensmittel gut durchbraten bzw. kochen	79	3
	Arbeitsflächen und Geräte gründlich reinigen (keine Holzbretter)	66	10
	Speisen die mit rohen Eiern zubereitet werden nur zum Verzehr aus Kühlschrank nehmen	66	10
	Geflügel nicht in Anwesenheit von Speisen bearbeiten	63	13

### 5.8.6 Zusammenfassung

Wenn sich Bäche innerhalb kürzester Zeit in reißende Flüsse verwandeln, dann stehen sowohl das Führungsmanagement als auch die Hilfskräfte vor neuen Herausforderungen, die bis zum Katastrophenfall gehen könnten. Die Feuerwehren müssten sich daher immer mehr mit der wetterkundlichen Vorhersagbarkeit von Extremwetterereignissen einerseits und den wasserwirtschaftlichen Gefahren- und Risikoarten sowie der Hochwasser- und Hitzeperiodenvorwarnung beschäftigen. Diese Kenntnisse sind eine unentbehrliche Grundlage der Hochwasservorsorge und der Einsatzplanung. Zudem muss einkalkuliert werden, dass Extremwetter-Ereignisse wie Sturm und Hochwasser zusammenfallen. Hilfloze Menschen, vollgelaufene Keller oder schwimmende Öltanks in überschwemmten Lagen gelte es dann ebenso zu begegnen wie umgestürzten Bäumen auf Straßen außerhalb der Flussauen. Hier ist dann ein geschicktes Management und Zusammenwirken der Einsatzkräfte, nicht nur im Hochwasserschutz, sondern auch mit den Gesundheitsbehörden, besonders gefordert.

## 5.9 Kulturgüter und sonstige Sachgüter

### 5.9.1 Gefährdungsfaktoren

Tab. 64: Einflussfaktoren Schutzgut Kulturgüter und sonstige Sachgüter

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische</b>	
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen (insbesondere Starkregenereignisse, Hagel und Sturm) zu.
<b>Chemische</b>	
Gefahrstoffe	
Smog	Im Zuge des Klimawandels ist mit einer deutlichen Erhöhung der Sonneneinstrahlung und der Häufigkeit ausgeprägter Sommertage zu rechnen, wodurch auch die Häufigkeit von Sommersmog bei gleichbleibender Schadstoffemission zunimmt.

### 5.9.2 Gefahrenquellen, gefährbringende Bedingungen und Leistungsvoraussetzungen

Gefährdungsfaktor	Gefahrenquelle	Gefährbringende Bedingungen	Begünstigende Bedingungen	Leistungsvoraussetzungen	Gefährdung
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Extremereignisse ( Hagel, Sturm, ...)	Klima (Feuchtigkeit, Sturm, Kälte, Hitze, starke Regenfälle)	Kultur- und Sachgüter sind den Extremereignissen ungeschützt ausgesetzt	Standortvoraussetzungen (Lage, Exposition, ...)	Alter, Widerstandsfähigkeit, Standfestigkeit	Beschädigung, Um- bzw. Einstürzen
<b>Chemische</b>					
<b>Gefahrstoffe</b>					
Smog/Luftverschmutzungen	Verbindung der Luftverschmutzungen mit Wasser → Bildung von Säuren	Kontakt der Säuren mit Kultur- und Sachgütern	Standortvoraussetzungen (Lage, Exposition, ...)	Alter, Widerstandsfähigkeit (Schutzschichten)	Verätzen z.B. Steinfraß, Beschädigen von Glasmalerei, Eindringen in Boden: Beschädigung von archäologischen Kulturgut

### 5.9.3 Gefährdungsbeurteilung – Risikoabschätzung nach Nohl

Tab. 65: Risikoabschätzung nach Nohl

Gefährdung	Mögliche Schadensschwere	Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens	Risikomaßzahl nach Nohl	Handlungsbedarf	
				ja	nein
<b>Physikalische</b>					
<b>Umgebungsbedingungen</b>					
Extremereignisse (Hagel, Sturm, ...)	Katastrophe	mittel	hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Chemische</b>					
<b>Gefahrstoffe</b>					
Smog/Luftschadstoffe	schwer	mittel	signifikant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 5.9.4 Entwicklung von Lösungsalternativen

- Behandlung von Naturstein-Denkmalern mit Kieselsäureester
- Einsatz von Purafil-Filtermedien in Museen, Kirchen, oder auch in Archiven zur Neutralisierung gasförmige Schadstoffe
- Schutz vor direkter Bewitterung
- Korrosionsschutzmaßnahmen (Öle, Wachse, Lacke) [ADR 1994]

Die Beurteilung der oben genannten Maßnahmen ist stark vom Kulturgut abhängig, deshalb werden diese Maßnahmen nicht nach dem im **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschriebenen System bewertet.

#### 5.10 Sensitive Infrastruktur

Tab. 66: Gefährdungsfaktoren Schutzgut Sensitive Infrastruktur

Einflussfaktoren	
Faktor	Erläuterung
<b>Physikalische Umgebungsbedingungen</b>	
Extremereignisse	Durch den Klimawandel nimmt die Auftrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere von Extremereignissen (insbesondere Starkregenereignisse, Hagel und Sturm) zu. Für die Abwasserentsorgung besteht die Gefahr des Niederschlagseintrags ins Abwasser und der Eintrag von Schlammkorn durch erhöhte Erosionen. Die Verkehrsanlagen können ebenfalls durch Hochwasser und stürme geschädigt werden.

Die Gefährdungsbeurteilung und Auswahl von Lösungsalternativen ist analog dem Abschnitt 5.8 Schutzgut Mensch - Gefährdungsfaktor Extremereignisse.

## 6 Zusammenfassung

Veranlassung des Vorhabens „Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Chemnitz“ ist der konkrete regionale Handlungsbedarf, der sich aus den Folgen der durch Messungen belegbaren aktuellen und der durch Klimamodelle prognostizierbaren zukünftigen Klimaveränderung in Sachsen ableitet. Für die prognostische Berechnung des zukünftigen Stadtklimas wurde entsprechende Methoden entwickelt und angewendet. Hierfür wurden aktuelle und prognostizierte Veränderungen meteorologischer Parameter für das Gebiet der Stadt Chemnitz ausgewertet. Die Bearbeitung umfasst außerdem die Präsentation und Diskussion der Konsequenzen der aktuellen und voraussichtlichen Klimaveränderungen mittels einer auf die konkreten Verhältnisse der Stadt Chemnitz zugeschnittenen Klimafolgenabschätzung. Dies bildet die Basis für eine Entwicklung von Schutz- und Anpassungsmaßnahmen für die Stadt.

Mit etwa 241.500 Einwohnern ist Chemnitz nach Leipzig und Dresden die drittgrößte Stadt des Freistaates Sachsen. Das Stadtgebiet umfasst nach zahlreichen Eingemeindungen kein einheitliches geschlossenes Siedlungsgebiet. Die ländlichen Siedlungen (vornehmlich süd- und östliche Stadtteile) sind vom Siedlungsgebiet der Chemnitzer Kernstadt getrennt. Dahingegen besteht aber eine siedlungsräumliche Verbindung über die westlichen Stadtgrenzen hinaus nach Limbach-Oberfrohna und Hohenstein-Ernstthal.

Chemnitz kann als Stadt einen wichtigen Beitrag zu einem wirksamen und nachhaltigen Klimaschutz leisten. Als wichtiger Industriestandort bei gleichzeitig hoher Siedlungsdichte, als Ballungsraum mit einer Häufung von Wirtschafts- und Güterverkehren, aber auch mit der Vulnerabilität für klimabedingte Risiken durch (inner-) städtische Lebensräume, ist Chemnitz gefordert, an innovativen Handlungskonzepten und Lösungsansätzen zur Bekämpfung der Folgen des Klimawandels mitzuwirken.

Ausgehend von diesen konkreten Randbedingungen ist es Zielstellung der Studie, eine fundierte Basis für die zukünftigen Maßnahmenprogramme zu entwickeln. Ausgehend von einer Istzustandsanalyse in Bezug auf die bisher festgestellten klimatischen Veränderungen im Chemnitzer Raum wurden Prognosen der zukünftigen Klimaentwicklung abgeleitet und Klimafolgen sowie notwendige Anpassungsmaßnahmen, insbesondere in den Bereichen Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, diskutiert. Hierfür wurden sowohl aktuelle Forschungsergebnisse genutzt (wie beispielsweise die regionalisierten Klimadaten für Sachsen), aber auch methodische Werkzeuge entwickelt, um diese regionalen Daten auf die Erfordernisse der Stadt Chemnitz herunter zu skalieren. Ausgehend von diesen Ergebnissen werden die Schutzgüter



in der Stadt hinsichtlich ihrer Betroffenheit analysiert, eine Gefährdungsanalyse vorgenommen und potenzielle Gegenmaßnahmen evaluiert.

Die vorliegende Studie zum Teilbereich „Klimawandel und Klimafolgen“ unterteilt sich in drei Teile:

- eine Klimadiagnose und Klimaprognose für die Stadt Chemnitz unter Berücksichtigung des Kenntnisstandes in Bezug auf klimatische Veränderungen, insbesondere im urbanen Raum,
- eine Schutzgut- und Betroffenheitsanalyse für die relevanten Schutzgüter und
- eine Gefährdungsanalyse und handlungskonkrete Maßnahmenableitung.

Um Voraussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas machen zu können, wurden in den letzten beiden Jahrzehnten zahlreiche globale Klimamodelle (GCM) entwickelt. Sie besitzen eine große Rasterweite und sind somit dafür geeignet, allgemeine Aussagen über die Entwicklung meteorologischer Parameter beziehungsweise langfristig veränderter Druck- und Strömungsmuster der globalen Zirkulation machen zu können. Um zu regional gültigen Aussagen zu kommen, wird ein „Downscaling“ (Regionalisierung) durchgeführt. Für Sachsen werden entsprechende Daten vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) bereit gestellt. Unter Nutzung der Daten des für Sachsen entwickelten regionalen Klimamodells WEREX und der Zuordnung zu Klimatopen (räumlich abgrenzbare Einheiten, deren klimatische Faktoren maßgeblich, gleich und prägend sind) wurde eine Methode entwickelt, um die regionalisierte Klimaprognose auf der Mesoskala der Stadt weiter zu regionalisieren. Auf diese Weise können entsprechende quantitative Abschätzungen zur Auswirkung des Stadtklimas auf die Klimaveränderungen und umgekehrt ermittelt werden.

Eine besondere Herausforderung stellt auf Grund der Vielfältigkeit der Randbedingungen im Rahmen der Erarbeitung der Handlungskonzeption für das „Integrierte Klimaschutzkonzept Chemnitz“ die Klimaprognose für den urbanen Raum (Stadtklimaprognose) dar. Die Beschreibung des Stadtklimas kann in die Kategorien Mesoskala (Ballungsraum) und Mikroskala (z.B. einzelne Stadteile) eingeordnet werden. Es stellt somit eine landnutzungsabhängige Veränderung der regional typischen Klimaverhältnisse dar. Das Stadtklima wird von verschiedenen Klimafaktoren geprägt, die sich in natürliche und anthropogene Faktoren unter-

teilen lassen. Zu den natürlichen Faktoren werden die geographische Lage, das Relief, die Höhenlage und der Anteil der noch bestehenden naturnahen Oberflächen innerhalb des Stadtgebietes gezählt. Zu den anthropogenen Faktoren gehören im Wesentlichen die Art und Dichte der Bebauung, das Wärmespeichervermögen der Baustoffe und der Versiegelungsgrad des Bodens. durch diese Faktoren wird in Städten und industriellen Ballungsräumen der Strahlungs- und Wärmehaushalt beeinflusst. Dazu kommt aus lufthygienischer Sicht die Art und Zahl der Emittenten (Industrie, Haushalt, Kraftfahrzeuge) im Stadtgebiet, die bodennah und bodenfern durch Abgase, Stäube und Abwärme das Stadtklima beeinflussen.

Die flächenhafte Simulation der klimatischen Verhältnisse (Klimadiagnose für den Istzustand, hier 1950-2008, Klimaprognose für den prognostischen Zustand, hier 2011-2020, 2041-2050) wird durch eine Parametrisierung der wirksamen städtischen Klimatope, d.h. Gebiete mit weitestgehend ähnlicher Flächennutzung, ermöglicht. In Abhängigkeit der Bebauungsdichte und Art verstärkt oder verringert sich der Stadteffekt. Basis der Berechnungen bildeten folgende Eingangsdaten:

- Digitales Geländemodell ATKIS DGM25 des Untersuchungsgebietes mit einer Rasterauflösung von 20 m x 20 m
- Klimadaten für die Periode 1950-2008 (Tageswerte der Messung der meteorologischen Parameter Lufttemperatur, unkorrigierter Niederschlag, relative Luftfeuchte, Sonnenscheindauer, Wolkenbedeckung, Windgeschwindigkeit)
- Modellergebnisse für die Perioden 2011-2020 und 2041-2050 des Modells GCM E-CHAM, Szenario A2, regionalisiert von WEREX III

Die Stadt Chemnitz stellte eine Datensammlung verschiedener Geoinformationsthemen zur Verarbeitung bereit (Topographie, Flächennutzungsplan, öffentliche Einrichtungen, Schutzgebiete, hydrologisch sensible Gebiete, Ventilation, geplante und teilweise bereits umgesetzte Landnutzungsänderungen).

Für die Stadt Chemnitz wurden in der vorliegenden Studie auf Basis der Klimaprognosen des Klimamodells WEREX III Betroffenheitsanalysen für verschiedene Schutzgüter aufgeführt. Die GIS-basierte Bearbeitung erfolgte mit Hilfe des Programms ArcGIS der Firma ESRI. Da an den Rändern der Klimatope auch mikroklimatische Wechselbeziehungen zu den benachbarten Klimatopen bestehen, wurden die Rasterthemen mittels Inverse-Distanzen-Methode

einem flächenhaften Interpolationsprozess unterzogen. Es wurden Simulationen für die Klimaparameter der Normalperiode 1961-1990 und der Periode 2001-2010, sowie für die prognostizierten Werte der Dekaden 2001-2010, 2011-2020 und 2041-50 erstellt. Hinsichtlich der bioklimatischen Belastung wurde eine einfache Unterteilung in vier Gefährdungszonen realisiert, welche die Basis für schutzgutbezogene Gefährdungsanalysen hinsichtlich der Bioklimaeinflüsse bildeten.

Die schutzgutbezogene Gefährdungsanalysen wurden mit Hilfe von GIS-Verschnitten mit den Daten sensibler Objekte im Stadtgebiet (z.B. Krankenhäuser, Schulen, Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Feuchtbiotop, Hydroböden, ...) durchgeführt. Auf diese Weise wurden gefährdete Gebiete visualisiert. Diese Visualisierung bildet die Basis für die Gefährdungsbewertung und die Betroffenheitsanalyse der relevanten Schutzgüter, vgl. Zusammenfassung in Tab. 67.

Tab. 67: Gefährdungsfaktoren mit einer hohen (h) oder signifikanten (s) Risikomaßzahl

	Wasser	Boden	Luft	Fauna Flora	Landwirt- schaft	Forstwirt- schaft	Mensch	Kultur-/ Sachgüter	Sensitive Infrastruktur
Extremereignisse	s	s	-	s	h	h	h	h	h
Luftigenschaften	-	-	s	-	-	-	-	-	-
Temperaturanstieg	s	s	-	h	s	-	h	-	-
Wassererosion	-	-	-	s	s	h	-	-	-
Winderosion	-	-	-	s	s	-	-	-	-
Wasserversorgung	h	-	-	h	h	h	-	-	-
UV-Strahlung	s	s	-	h	h	h	h	-	-
Brände	-	-	-	h	h	h	s	-	-
Aufsalzung	s	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitratauswaschung	-	h	-	s	s	-	-	-	-
Schadstoff- freisetzung	s	s	-	s	s	s	-	s	-
Sommersmog	-	-	h	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub> - und CH <sub>4</sub> - Konz.	-	-	s	-	-	-	-	-	-
Biodiversität	-	-	-	h	-	-	-	-	-

	Wasser	Boden	Luft	Fauna Flora	Landwirt- schaft	Forstwirt- schaft	Mensch	Kultur-/ Sachgüter	Sensitive Infrastruktur
Verarmung Genpool	-	-	-	h	-	-	-	-	-
Verlust Biootypen	-	-	-	h	-	-	-	-	-
Eutrophierung	h	-	-	-	-	-	-	-	-
Fruchtbarkeit	-	h	-	-	-	-	-	-	-
Notbefischung	s	-	-	-	-	-	-	-	-
Mikroorganismenpo- pulation	-	s	-	-	-	-	-	-	-
Humusabbau	-	-	-	-	-	s	-	-	-
Atemwegserkran- kung	-	-	-	-	-	-	s	-	-
Schadpflanzen/ Parasiten	h	-	-	s	h	h	-	-	-
Pilzkrankheiten	-	-	-	s	-	-	-	-	-
Virus-/Erregerbe- dingte Krankheiten	-	-	-	s	s	-	-	-	-
Wundinfektion	-	-	-	-	-	-	s	-	-
Allergene	-	-	-	-	-	-	s	-	-
Salmonellose	-	-	-	-	-	-	s	-	-
Insekten	-	-	-	-	s	-	h	-	-
Futterlagerung- und konservierung	-	-	-	-	s	-	-	-	-

Die Einflüsse auf die Schutzgüter sind hauptsächlich für eine Klimaerwärmung spezifiziert. Es sollte dabei aber nicht vergessen werden, dass auch eine Klimaabkühlung massive Schadenseinwirkung auf die Schutzgüter haben kann. Klimaschutz bedeutet konkret für Chemnitz, die Aktivitäten zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im und außerhalb des Stadtgebietes zu intensivieren, die Anwendung umweltneutraler Technologien zu fördern, die Schutzgüter auf Katastrophenfälle vorzubereiten und abzusichern, die Versiegelung von Flächen zu verhindern oder rückgängig zu machen und die Entwicklung der Natur im Stadtgebiet zu fördern.

---

Die Studie stellt einen ersten Schritt in die Richtung eines zukunftsgerichteten Klimaschutzes in der Stadt Chemnitz dar, der einen Beitrag zur Entwicklung von Leitbildern im Klimaschutz liefert, und in den nächsten Jahren entsprechend der erreichten Meilensteine zu aktualisieren ist.

## Literaturverzeichnis

- [ADR 1994] Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren (Hrsg.): Technisches Kulturgut, Schutz der Metalle gegen atmosphärische Korrosion, in: AdR-Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Heft 1, 1994
- [ALLERGIE-EXPERTEN 2009] Dr. med. Hanf, G., Dr. med. Herold, D., Priv.-Doz. Dr. med. Kleine-Tebbe, J., Prof. Dr. med. Kunkel, G., Casties, M., Hühne, M., Hott, N., Link: [http://www.allergie-experten.de/index.php?nav=5&link=info\\_service/info\\_archiv.php](http://www.allergie-experten.de/index.php?nav=5&link=info_service/info_archiv.php)
- [BAUR 1963] Baur, F. (1963): Großwetterkunde und langfristige Witterungsvorhersage. Akademische Verlagsgesellschaft. Frankfurt a. M.
- [BAUR ET. AL 1944] Baur, F., Hess, P., Nagel, H. (1944): Kalender der Großwetterlagen Europas 1881-1939. Bad Homburg
- [Baxter 2008] <http://www.zecken.de/index.php?id=478>, April 2008
- [BDI 2009] BERUFSVERBAND DEUTSCHER INTERNISTEN E.V., Internisten im Netz – Ihre Experten für Innere Medizin, [http://www.internisten-im-netz.de/de\\_salmonellen-was-sind-salmonellen\\_834.html](http://www.internisten-im-netz.de/de_salmonellen-was-sind-salmonellen_834.html), Stand 04.02.09
- [BERNER 2001] Berner, U.; Streif, H. (Hrsg.) (2001): Klimafakten – Der Rückblick, ein Schlüssel für die Zukunft, 3. Aufl., Schweizerbart Verlag. Stuttgart
- [BERTELSMANN STIFTUNG 2009] Bertelsmann-Stiftung (2009): Wegweiser Kommune. <http://www.wegweiser-kommune.de>, Stand 09.09.09
- [BfÖS/C&E 2005] Folgewirkungen der Klimaänderungen für den Naturschutz: Ausgewählte Ökosysteme und Arten. Büro für Ökologische Studien GdbR, C&E Consulting und Engineering GmbH, Chemnitz, November 2005. Auftraggeber: Sächsische Landesanstalt für Umwelt und Geologie.
- [BMJ 2000] Keatinge, W.R.; Donaldson, G.C.; Cordioli, E., Martinelli, M.; Kunts, A.E.; Mackenbach, J.P.; Nayha, S. and Vuori, I. (2000), British Medical Journal, 321, Seite 670 – 673
- [Böt 09] Böttcher, F. (2009): Klimawandel und Landwirtschaft in Sachsen – Anmerkungen aus agrarmeteorologischer Sicht. Tagung „Bodenschutz im Klimawandel II“, Dresden, 27.04.-28.04.2009

- [BRANDT 2006] Brandt, K. (2006): Mikroklima - Meteorologie in der Nähe des Erdbodens. ISBN 3-9807827-5-1
- [Braubedarf 2009] Braubedarf, Fell, J., Link:  
<http://www.braubedarf.de/ernaehrung/salmonellen.htm>,  
Informationen gem. Teledienstegesetz: Baxter Deutschland GmbH,  
Gestaltung und Programmierung: New Identity AG,  
Stand 10.03.09
- [BUNDESREGIERUNG 2008] Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bundeskabinett, am 17. Dezember 2008 beschlossen
- [BURKHARDT-HOLM 2009] Burkhardt-Holm, P., Climate change and decline in abundance of brown trout – is there a link? Results from Switzerland, Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Seite 177-185, Ausgabe 21, Nummer 2 /April 2009
- [CHMIELEWSKI 2004] Chmielewski, F.-M., Müller, A., Küchler W., Humboldt-Universität zu Berlin, Mögliche Auswirkungen Klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt, gefördert vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Juni 2004
- [DIETZER 2000] Dietzer, B. (2000): Langzeitverhalten extremer Niederschlagsereignisse – Ergebnisse aus KLIWA. In: Arbeitskreis KLIWA: Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. KLIWA – Berichte 1: 46-67.
- [DITTMANN 1995] Dittmann, E., Barth, S., Müller-Westermeier, G., Lang, J. (1995): Objektive Wetterlagenklassifikation. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 197, Eigenverlag Deutscher Wetterdienst. Offenbach
- [DOW & DOWNING 2007] Dow, K., Downing, T., E., Weltatlas des Klimawandels – Karten und Fakten zur Globalen Erwärmung, Europäische Verlagsanstalt Dr. Götze Land & Karte, Hamburg, 2007
- [DWD 1993] Deutscher Wetterdienst, Wetteramt Dresden (1993): Amtliches Gutachten zum Klima der Stadt Chemnitz. Dresden. Auftraggeber: Stadtverwaltung Chemnitz, Umweltamt, 11.01.1993.
- [DWD 1996] Deutscher Wetterdienst (1996): Klimadaten von Deutschland Zeitraum 1961-1990. Offenbach

- 
- [DWD 2004B] Klimastatusbericht 2004, Tornado- und Downburstklimatologie, Offenbach 2004
- [DWD 2009] Deutscher Wetterdienst (2009): Datenübergabe der Meteorologischen Datenreihe der Wetterstation Chemnitz des Zeitraumes 01.01.1950 bis 31.12.2008.
- [DVWK 238] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (1996): DVWK-Merkblatt 238/1996 - Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Hennef
- [DVWK M504] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2002): ATV-DVWK-Regelwerk. Merkblatt M 504. Verdunstung in Abhängigkeit von Landnutzung, Bewuchs und Boden. Hennef
- [EHP 2006] Environmental Health Perspectives; Interaction of the Onset of Spring and Elevated Atmospheric CO<sub>2</sub> on Ragweed ( *Ambrosia artemisiifolia*L.) Pollen Production; Christine A. Rogers, Peter M. Wayne, Eric A. Macklin, Michael L. Muilenberg, Christopher J. Wagner, Paul R. Epstein and Fakhri A. Bazzaz, Juni 2006
- [ENKE 2003] Enke, W., Küchler, W. und Sommer, W. (2003): WEREX „Anwendung eines Verfahrens zur wetterlagenkonsistenten Projektion von Zeitreihen und deren Extreme mit Hilfe globaler Klimasimulationen“. Zusammenfassender Bericht. Dresden
- [ENKE 2001] Enke, W., Küchler, W. und Sommer, W. (2001): Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mit Hilfe des statistischen Verfahrens der Wetterlagenklassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse. Zusammenfassender Bericht. Dresden
- [FLEMMING 1994] Fleming, G. (1994): Wald Wetter Klima, Einführung in die Forstmeteorologie. Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin
- [GERSTENGARBE 2005] Gerstengarbe, F. W., Werner, P. C. (2005): Katalog der Großwetterlagen Europas 1881-2004 nach P. Hess und H. Brezowsky. PIK – Report 100, 6. verbesserte und ergänzte Auflage, Eigenverlag Potsdam Institut für Klimafolgenforschung. Potsdam
- [GESUNDHEITSAMT 2009] Öffentlichen Gesundheitsdienst Baden-Württemberg, Link: [www.gesundheitsamt-bw.de/Gesundheitsthemen/Arbeitsmedizin/Physikalische Belastungen/Arbeit+Sommerhitze](http://www.gesundheitsamt-bw.de/Gesundheitsthemen/Arbeitsmedizin/Physikalische_Belastungen/Arbeit+Sommerhitze), Stand 08.04.09
-



- [GOETHE 2009] Goethe-Institut e. V., Die Tropen in Europa, <http://www.goethe.de/kue/bku/prj/tex/tro/tod/de3452999.htm>, Stand 04.02.09
- GOOGLE MAPS (2009): <http://www.maps.google.com>
- [GOLDBERG 2008] Goldberg, V., Regionale Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder Sachsens, Workshop-Reihe 2008 „Sachsen im Klimawandel“, Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel – Risiken und Chancen, Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Tharandt, 02.10.2008
- [GW 07] Schwarz, R., Harmeling, S., Bals, C. (Germanwatch e.V.), Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland mit Exkurs NRW, Bonn, Februar 2007 ([www.germanwatch.org/klima/klideu07.htm](http://www.germanwatch.org/klima/klideu07.htm))
- [HBS 2009] Hamburger Bildungsserver, <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimafolgen/gesundheit/gesundheit-8.html>, Stand 04.02.09
- [HELBIG 1999] Helbig, A., Baumüller, J., Kerschgens, M. J. (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. 2. Auflage. Springer Verlag. Berlin
- [HENDL 1963] Hendl, M. (1963): Einführung in die Physikalische Klimatologie. Berlin
- [HERMEL 1995] Hermel und Kerschgens (1995): On the Parameterization of Sub-grid Turbulence in Microscale Models. Beitr. Phys. Atm., 68, No 4, 291-301.
- [HERZOG 1998] Herzog, J., Müller-Westermeier, G. (1998) Homogenitätsprüfung und Homogenisierung klimatologischer Messreihen im Deutschen Wetterdienst. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 202, Eigenverlag Deutscher Wetterdienst. Offenbach
- [HESS 1977] Hess, P., Brezowsky, H. (1977): Katalog der Großwetterlagen Europas 1881-1976. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 113, 3. Auflage, Eigenverlag Deutscher Wetterdienst. Offenbach
- [HUPFER 2005] Hupfer, P., Kuttler, W. (2005): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 11. Auflage, Vohweg und Teubner Verlag.
- [IPCC 2000] Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): Special Report on emission scenarios. Den Haag

- 
- [IPCC 2007] Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report. Den Haag
- [KÄSE 1969] Käse, H. (1969): Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern. Abhandlung des Meteorologischen Dienstes der DDR 94/ XII, Akademie Verlag. Berlin
- [Klöß 09] Klößing, B. (2009): Modellierung Bodenwasserhaushalt und Klimawandel, Tagung „Bodenschutz im Klimawandel II“. Dresden, 27.04.-28.04.2009
- [KÖPPEN 1936] Köppen, W. (1936): Das geographische System der Klimate. In: Handbuch der Klimatologie, Bd. 1. Berlin
- [KOSTRA 97] DWD Deutscher Wetterdienst, KOSTRA - Starkniederschlagshöhen für Deutschland, Offenbach/Main, 1997
- [KRAATZ 2007] Kraatz, M., Kartoffeln - Pilzkrankheiten, Aktueller Rat zum Pflanzenschutz S. 45-47, Beilage zur Bauernzeitung 5/2007
- [KUTTLER 2004A] Kuttler, W. (2004): Stadtklima, Teil 1: Grundzüge und Ursachen. Umweltwissenschaften und Schadstofforschung - Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 16(3), S. 187 – 199, ISSN 0934-3504
- [KUTTLER 2004] Kuttler, W. (2004): Stadtklima, Teil 2: Phänomene und Wirkungen. Umweltwissenschaften und Schadstofforschung - Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 16(4), S. 263 – 274, ISSN 0934-3504
- [LAF 96-1] Sächsische Landesanstalt für Forsten (1996): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 8/96
- [LFUG 02-1] Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen, Vorläufiger Kurzbericht über die meteorologisch-hydrologische Situation beim Hochwasser im August 2002. Version 5, Dresden, Dezember 2002
- [LFUG 03-1] Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen, Einfluss des August-Hochwassers 2002 auf das Grundwasser, Dresden, Mai 2003
- [LFUG 04-2] Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen, Ereignisanalyse - Hochwasser August 2004 in den Osterzgebirgsflüssen, Dresden, Mai 2004
-

- [LfULG 09-1] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009): Interaktives Kartenwerk des LfULG ([http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/interaktive\\_karten.html](http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/interaktive_karten.html)). Stand September 2009
- [LFULG 2009A] Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: Klimawandel und Landwirtschaft – Fachliche Grundlagen für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Dresden, Februar 2009
- [MAX 1996] Max Planck Institut für Meteorologie (1996): Report No. 218 – The atmospheric general circulation model ECHAM-4. Model description and simulation of present-day climate. Hamburg
- [Mic 09] Michael, A. (2009): Erosionsmodellierung und Klimawandel. Tagung „Bodenschutz im Klimawandel II“, Dresden, 27.04.-28.04.2009
- [MU 2009] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, UV-Index und mehr - Die Ultraviolette Strahlung der Sonne, [http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C41764962\\_N41808973\\_L20\\_D0\\_I598.html#](http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C41764962_N41808973_L20_D0_I598.html#), Stand 27.04.09
- [RICHTER 1995] Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, Eigenverlag Deutscher Wetterdienst. Offenbach
- [RINK 1999] RINK, C., ECKEL, H., HÜTTEMANN, U. (1999): DER STÄDTEBAU VERÄNDERT DAS KLIMA. DEUTSCHES ÄRZTEBLATT, 96(15), S. A974. KÖLN
- [SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2005] *Scheffer, Fritz, Schachtschabel, Paul, Hans P Blume, Gerhard Brümmer, Udo Schwertmann, Rainer Horn, Ingrid Kögel-Knabner, Karl Stahr*, Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Aufl., Spektrum, 2002
- [SCHÖNWIESE 2004] Schönwiese, C.-D-, Steager, T., Trömel, S., Jonas, M. (2004), Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland, Klimastatusbericht 2003
- [SCHROEDER 1992] Schroeder, D., Bodenkunde in Stichworten, 5. revidierte und erweiterte Auflage von Blum, W., E., H., Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 1992

- 
- [SEKo 2009] ENTWURF DES STÄDTEBAULICHES ENTWICKLUNGSKONZEPTES, STADT CHEMNITZ, STAND 16.04.09
- [SMUL 2005] Geschäftsbereich des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Landesforstpräsidium, Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Klimawandel in Sachsen- Sachstand und Ausblick 2005, Artikelnummer: L IV - 9/1, März 2005
- [SMUL 08-1] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), Forstbericht der Sächsischen Staatsregierung. Berichtszeitraum: 1. Januar 20003 bis 31. Dezember 2007, Dresden, November 2008
- [SMUL 08B] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2008b): Sachsen im Klimawandel – eine Analyse. Thieme & Co KG. Dresden
- [SMUL 2009] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2009): Interaktive Karte der potentiellen natürlichen Vegetation Sachsens [http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/-interaktive\\_karten\\_10956.html](http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/-interaktive_karten_10956.html)
- [STATISTISCHES LANDESAMT 2009] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2009): 4. Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen bis 2020. <http://www.statistik.sachsen.de/bevprog/>, Stand 09.09.09
- [TORDACH 2007] TorDACH Deutschland (Kompetenzzentrum für lokale Unwetter in Deutschland) 2007: <http://www.tordach.org/de/tornado.htm>
- [UBA 2009] Umweltbundesamt, Luft und Luftreinhaltung – Ozon (O3), Link: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/ozon.htm>, Stand 08.04.09
- [VERMESSUNG 2008] Städtisches Vermessungsamt Chemnitz (2008): Datenabgabe Digitales Geländemodell der Stadt Chemnitz.
- [WAGNER 2008] Wagner, S., Klimawandel – Überlegungen zu waldbaulichen Strategien, Workshop-Reihe 2008 „Sachsen im Klimawandel“, Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel – Risiken und Chancen, Technische

---

Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Tharandt, 02.10.2008

[WETTERONLINE 2009] Wetteronline (2009): Klimarechner für gemessene meteorologische Parameter der DWD Station Chemnitz 01.01.2001-31.12.2008. [www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de)

[WEIGEL ET. AL. 2005] Weigel, H.-J., Manderscheid, R., Fangmeier, A., Högy, P., Mehr Kohlendioxid in der Atmosphäre: Fluch oder Segen für die Landwirtschaft?, Veröffentlicht in Warnsignal Klima, Herausgeber: J.L. Lozán, Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K., Seite 273 -277, 2008

[WERMELINGER & SEIFERT 1998] Wermelinger, B., Seifert, M., 1998: Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *J. Appl. Entomol.* 122(4):185-191.  
© Copyright 1999 - 2009, Baxter Healthcare Corporation, Baxter Deutschland GmbH, Baxter Deutschland Produktionsgesellschaft mbH.  
Alle Rechte vorbehalten, Stand am 20.04.09