



# Blitzaufkommen im Freistaat Sachsen

Schriftenreihe, Heft 12/2014



# Raum-zeitliches Blitzaufkommen im Freistaat Sachsen – Ursachen, Phänomene, Risiken (BlitzSn)

Anne Schucknecht, Jörg Matschullat

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Datengrundlage</b> .....	<b>13</b>
3.2	Datenvorbereitung.....	14
3.2.1	Qualitätskontrolle .....	14
3.2.2	Zusammenfassung von Teilblitzen zu Blitzereignissen .....	15
3.3	Auswertung von Blitzereignissen .....	16
3.3.1	Statistische Auswertung.....	16
3.3.2	Blitzdichte.....	17
3.3.3	Zusammenhang von Blitzauftreten und Naturräumen bzw. Landnutzungen .....	17
3.3.4	Abhängigkeit von der Höhenlage .....	18
3.3.5	Abhängigkeit von Wetterlagen .....	18
3.3.6	Abhängigkeit von mittleren jährlichen Klimaparametern .....	19
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b> .....	<b>21</b>
4.1	Zusammenfassung von Teilblitzen.....	21
4.2	Vergleich des Teilblitz- und Blitzdatensatzes .....	23
4.3	Statistische Charakterisierung der Blitze in Sachsen .....	25
4.3.1	Blitztage .....	26
4.3.2	Jahresgang und Tagesgang des Blitzauftretens .....	28
4.4	Charakterisierung der Stromstärke von Blitzen.....	32
4.4.1	Allgemeine Beschreibung .....	32
4.4.2	Extreme der Stromstärke .....	36
4.5	Blitzdichte.....	40
4.6	Höhenlage und Blitzauftreten .....	44
4.7	Blitzauftreten und Wetterlagen .....	46
4.8	Klimaparameter und Blitzauftreten .....	51
4.9	Blitzauftreten und Landbedeckung .....	53
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b> .....	<b>54</b>
5.1	Schlussfolgerungen.....	55
5.1.1	Fehlerbetrachtung .....	55
5.1.2	Blitz und Teilblitze .....	56
5.1.3	Weitere Blitzcharakteristiken .....	56
5.1.4	Stromstärke von Blitzen .....	57
5.1.5	Blitzdichte.....	57
5.1.6	Morphologische Höhenlage .....	58
5.1.7	Wetterlagen.....	58
5.1.8	Sonstige Klimaparameter .....	58
5.2	Ausblick.....	59
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>60</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>62</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Blitzdichte in Deutschland 2012 (BLIDS - Blitzinformationsdienst der Firma Siemens) .....	9
Abbildung 2:	Blitze in Sachsen und Umgebung im Zeitraum 1999–2012 (jeder grüne Punkt repräsentiert ein Blitzereignis).....	15
Abbildung 3:	Anteil von Blitzen zur Gesamtblitzzahl in einem bestimmten Monat des entsprechenden Jahres im Gesamtdatensatz (Zeitraum 1999–2012) .....	22
Abbildung 4:	Anzahl der Teilblitze und Blitze in Sachsen und Umgebung in den Jahren 1999–2012 sowie Quotient aus der jährlichen Anzahl von Teilblitzen/Blitzen .....	23
Abbildung 5:	Anteil von Teilblitzen (A) und Blitzen (B) in Sachsen und Umgebung (1999–2012) pro Monat im Zeitraum 1999–2012 .....	23
Abbildung 6:	Anzahl von Teilblitzen (A) und Blitzen (B) als Anteil der Blitze in einer bestimmten Stunde an Gesamtblitzanzahl im Zeitraum 1999–2012 .....	24
Abbildung 7:	Anteil an Wolke-Boden-Teilblitzen (A) und Wolke-Boden-Blitzen (B) pro Monat in Sachsen und Umgebung im Zeitraum 1999–2012.....	24
Abbildung 8:	Anteil an Wolke-Boden-Teilblitzen (A) und Wolke-Boden-Blitzen (B) pro Stunde in Sachsen und Umgebung im Zeitraum 1999–2012.....	25
Abbildung 9:	Statistische Parameter (5 %-, 25 %-, 75 %-, 95 %-Perzentil, Median) der Stromstärke von Teilblitzen (A) und Blitzen (B) in den einzelnen Jahren in Sachsen im Zeitraum 1999–2012.....	25
Abbildung 10:	Anzahl der Blitze und Blitztage in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	26
Abbildung 11:	Auftreten von Blitztagen mit bestimmter Anzahl von Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	26
Abbildung 12:	Verteilung der Anzahl von Blitzen pro Blitztag in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	26
Abbildung 13:	Statistische Charakterisierung der Anzahl von Blitzen an Blitztagen in Sachsen in den Einzeljahren von 1999–2012 .....	27
Abbildung 14:	Zeitliche Verteilung der Blitze in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	30
Abbildung 15:	Jahresgang der Blitzfrequenz in Thüringen (T, 2000–2009; Daten aus FIEDLER 2012) und Sachsen (S, 1999–2012) .....	30
Abbildung 16:	Jahresgang der Häufigkeit von Blitztagen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012.....	31
Abbildung 17:	Tagesgang der Blitzfrequenz in Thüringen (T, 2000–2009; Daten aus FIEDLER 2012) und Sachsen (S, 1999–2012) .....	32
Abbildung 18:	Monatliche Verteilung der Blitzpolarität in Sachsen im Zeitraum 1999–2012.....	33
Abbildung 19:	Anzahl der Blitze mit negativen (A) und positiven Stromstärken (B) in Sachsen in den Jahren 1999–2012 .....	33
Abbildung 20:	Verteilung der Stromstärke [kA] aller Blitze in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	34
Abbildung 21:	Statistische Parameter der Stromstärke (5 %-, 25 %-, 75 %-, 95 %-Perzentil, MED) von Blitzen mit negativer Stromstärke (A) und negativer Stromstärke (B) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	34
Abbildung 22:	Jahresgang der Blitzfrequenz von negativen (links) und positiven Blitzen (rechts) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	37
Abbildung 23:	Tagesgang der Blitzfrequenz von negativen (links) und positiven Blitzen (rechts) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	38
Abbildung 24:	Tagesgang des Anteils an CG-Blitzen von Blitzen mit negativen (links) und positiven Stromstärken (rechts) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012.....	39
Abbildung 25:	Mittlere jährliche Blitzdichte in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	40
Abbildung 26:	Naturräume Sachsens (oben), Darstellung auf der Grundlage von Daten des LfULG und ihre mittlere jährliche Blitzdichte im Zeitraum 1999–2012 (unten).....	41
Abbildung 27:	Jährliche Blitzdichte in Sachsen für die Einzeljahre 1999–2012 und mittlere jährliche Blitzdichte des gesamten Untersuchungszeitraumes (nur Werte innerhalb Sachsens relevant).....	42
Abbildung 28:	Blitzdichte in den einzelnen Monaten (Blitze pro km <sup>2</sup> innerhalb des Untersuchungszeitraumes 1999–2012) .....	43
Abbildung 29:	Mittlere jährliche Blitzdichte von CG-Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	44
Abbildung 30:	Oberflächenhöhe in Sachsen basierend auf SRTM (JARVIS et al. 2008) und Naturräume Sachsens .....	45

Abbildung 31:	Flächen- und Blitzanteile sowie Blitzdichten der Höhenbereiche Sachsens 1999–2012.....	46
Abbildung 32:	Relative Häufigkeit von Großwetterlagen (GWL) im Zeitraum 1999–2012 und die relative Häufigkeit von GWL an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$ Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$ Blitze pro Tag) in Sachsen .....	47
Abbildung 33:	Relative Häufigkeit ausgewählter Großwetterlagen (GWL) 1999–2012 und die relative Häufigkeit dieser GWL an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$ Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$ Blitze pro Tag) in Sachsen .....	48
Abbildung 34:	Relative Häufigkeit von Großwettertypen (GWT) 1999–2012 und die relative Häufigkeit von GWT an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$ Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$ Blitze pro Tag) in Sachsen .....	48
Abbildung 35:	Relative Häufigkeit objektiver Wetterlagenklassen (WLK) 1999–2012 sowie die relative Häufigkeit von WLK an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$ Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$ Blitze pro Tag) in Sachsen .....	49
Abbildung 36:	Relative Häufigkeit ausgewählter objektiver Wetterlagen (WLK) 1999–2012 sowie die relative Häufigkeit dieser WLK an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$ Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$ Blitze pro Tag) in Sachsen.....	50
Abbildung 37:	Relative Häufigkeit der Eigenschaft objektiver Wetterlagen (WLK) 1999–2012 sowie die relative Häufigkeit von WLK an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$ Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$ Blitze pro Tag) in Sachsen .....	50
Abbildung 38:	Mittlere Jahreswerte von Klimaparametern und Blitzdichte in Sachsen (1999–2012) .....	52
Abbildung 39:	Ausgewählte Landbedeckungen in Sachsen (Darstellung auf der Grundlage von Daten des LfULG) .....	53
Abbildung 40:	A) Jahresgang der absoluten Blitzhäufigkeit, B) Jahresgang der relativen Blitzhäufigkeit, C) Jahresgang der absoluten Häufigkeit der Blitztage, D) Tagesgang der absoluten Blitzhäufigkeit .....	62
Abbildung 41:	Blitzdichten in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 (Suchradius = Zellgröße = 1 km) und Standorte von Windkraftanlagen (nach LIS-A) .....	63

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenfassung von Hauptgruppen der BTLNK zu vereinfachten Landnutzungstypen .....	17
Tabelle 2:	Übersicht über die Großwetterlagen und Großwettertypen Europas (nach WERNER & GERSTENGARBE 2010) .....	19
Tabelle 3:	Übersicht über die objektiven Wetterlagenklassen des DWD (nach DWD 2013) .....	20
Tabelle 4:	Blitzzahl pro Jahr im Gesamtdatensatz in Bezug zur Methode der Teilblitzzusammenfassung .....	22
Tabelle 5:	Die 30 Tage mit der höchsten Anzahl von Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	27
Tabelle 6:	Anzahl von Super- und Megablitzen sowie maximale und minimale registrierte Stromstärke in Sachsen in den Einzeljahren 1999–2012 .....	36
Tabelle 7:	Auftreten von Blitzen bestimmter Stromstärke an Blitztagen mit bestimmter Anzahl von Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	40
Tabelle 8:	Flächen- und Blitzanteil sowie Blitzdichte verschiedener Landnutzungen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 .....	54

## Abkürzungsverzeichnis

A/A	antizyklonale/antizyklonale Strömung in 950°hPa/500°hPa
A/Z	antizyklonale/zyklonale Strömung in 950°hPa/500°hPa
ALDIS	Austrian Lightning Detection and Information System
AZL	Altenburger-Zeitzer Lösshügelland
Bd	Blitzdichte
BLIDS	Blitz-Informationsdienst von Siemens
BTLNK	Biotoptypen- und Landnutzungskartierung
CIAT	Centre for Tropical Agriculture
DDH	Düben-Dahlener-Heide
DEW	Dresdner Elbtalweitung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EGB	Erzgebirgsbecken
EHE	Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung
EUCLID	European Cooperation for Lightning Detection
GHP	Großenhainer Pflege
GWL	Großwetterlage
GWLK	Großwetterlagenklassifikation
GWT	Großwettertyp
HLH	Hallesches Lösshügelland
I	Stromstärke
kA	Kiloampere
KRH	Königsbrück-Ruhlander-Heide
LCB	Luckau-Calauer Becken
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LLA	Leipziger Land
MAX	Maximum
MCC	mesoskaliger konvektiver Komplex(mesoscale convective complex)
MCS	mesoskaliges konvektives System (mesoscale convective system)
MED	Median
MEG	Mittelerzgebirge
MHE	Muskauer Heide
MIN	Minimum
MLH	Mulde-Lösshügelland
MSL	Mittelsächsisches Lösshügelland
MW	Mittelwert
NGW	Niederlausitzer Grenzwall
NO	Nordost
NPH	Nordsächsisches Platten- und Hügelland
NW	Nordwest
OEG	Osterzgebirge
OLB	Oberlausitzer Bergland
OLG	Oberlausitzer Gefilde
OLH	Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet
OOL	Östliche Oberlausitz

RTE	Riesa-Torgauer Elbtal
SFB	Senftenberg-Finsterwalder Becken und Platten
SO	Südost
SSZ	Sächsische Schweiz
SW	Südwest
VGT	Vogtland
WEG	Westerzgebirge
WHB	Westlausitzer Hügel- und Bergland
WLH	Weißenfels Lösshügelland
WLK	objektive Wetterlagenklassifikation des DWD
Z/A	zyklonale/antizyklonale Strömung in 950°hPa/500°hPa
Z/Z	zyklonale/zyklonale Strömung in 950°hPa/500°hPa
ZGE	Zittauer Gebirge

# 1 Einleitung

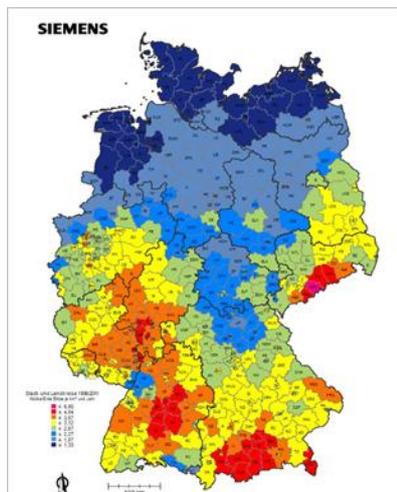
Blitze sind faszinierende Naturschauspiele, können manche Zeitgenossen auch ängstigen und zugleich stellen sie eine potenzielle Naturgefahr dar, die lokal sehr große Schäden anrichten kann. Grundsätzlich treten Blitzentladungen im Zusammenhang mit Gewittern auf; unabhängig davon, ob es sich dabei um kleine, eng lokal begrenzte Ereignisse oder aber um manchmal hunderte von Kilometern breite Gewitterfronten handelt.

In unseren Breiten sind Blitzereignisse zwar ein ganz normaler Bestandteil der Wetterphänomene und damit keineswegs exotisch, dennoch sind sie relativ selten und ihr Auftreten und ihre Ereignisstärke eher moderat im Vergleich zu den viel energiereicheren Klimaregionen der Tropen und Subtropen.

Die damit angedeutete Klimakomponente von Blitzen hat dazu geführt, einen Einstieg in die regionale Blitzklimatologie vorzunehmen, wohl wissend, dass die verlässlichen Beobachtungsreihen noch keineswegs ausreichen, um im Sinne der Klimadefinition der Weltmeteorologischen Organisation (WMO) tatsächlich auch nur eine Klimanormale (30 Jahre) erfassen und auswerten zu können.

Die wesentliche Voraussetzung für blitzklimatologische Studien ist zurzeit weitgehend technischer Natur. Weil meteorologische Stationen das Phänomen Blitz nur äußerst unzureichend erfassen können und auch die Satellitenbeobachtung derzeit gerade bei Wolkenbedeckung keinerlei zuverlässige Blitzortungs- und -charakterisierungsmöglichkeit kennt, musste ein Verfahren genutzt werden, das auf einem bodenbasierten Netzwerk gründet – dem BLIDS-System der Firma Siemens, das erst seit den 1990er-Jahren verfügbar ist und seitdem weiterentwickelt wird. Damit lassen sich für unsere Fragestellung mit vollkommen hinreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung sowohl Blitzintensitäten, -frequenzen als auch weitere Charakteristika wie die Differenzierung zwischen Wolke-Wolke-Blitzen und Wolke-Boden bzw. Boden-Wolke-Blitzen quantitativ ermitteln.

Am Beispiel der blitzklimatologischen Untersuchung für den Freistaat Thüringen (vgl. FIEDLER 2012) konnte bereits eindrucksvoll nachgewiesen werden, dass dieser Ansatz zweifelsfrei einen großen Schritt hin zu einer regionalen Blitzklimatologie erlaubt. Eine im Jahr 2012 im „*Spiegel*“ veröffentlichte Deutschlandkarte der Blitzhäufigkeiten in Deutschland zeigt anschaulich die Regionen (auf Landkreisbasis gerechnet) nach Blitzhäufigkeiten klassifiziert (Abbildung 1).



**Abbildung 1: Blitzdichte in Deutschland 2012 (BLIDS - Blitzinformationsdienst der Firma Siemens)**

In Deutschland am häufigsten vom Blitz getroffen wird seinen Daten zufolge der Mittlere Erzgebirgskreis (bis zu 5,8 Blitze pro Quadratkilometer). In dunkelblauen Regionen schlagen im Durchschnitt maximal 1,33 Blitze pro Quadratkilometer ein (rote Farben hohe, blaue Farben geringe Blitzhäufigkeiten). Damit ist die Blitzhäufigkeit in Sachsen im Vergleich zu Thüringen deutlich höher. Dies geht sowohl einher mit relativ höheren potenziellen Risiken als auch mit zwei wesentlichen Charakteristiken, die zu prüfen in jedem Fall lohnend erschien: Die deutlich höhere Fallhäufigkeit der per se extremen Ereignisse erlaubt eine wesentlich bessere statistische Berechnungssicherheit in der Analyse und die räumliche Lage des Freistaates. Außerdem verspricht seine naturräumliche Differenzierung klarere Antworten auf Fragen nicht nur der Risikocharakterisierung, sondern auch der Prozessaufklärung – und damit eine grundlegende Voraussetzung für eine auch in die Zukunft schauende Blitzklimatologie.

## 2 Grundlagen

Das Auftreten von Blitzen ist mit Gewittern verbunden. Daher soll in diesem Kapitel ein kurzer Überblick über die Entstehung und die Arten von Gewittern gegeben werden. Für detailliertere Beschreibungen zum Thema Blitze und Gewitter wird auf die entsprechende Literatur verwiesen (z. B. BAATZ 1985; KESSLER 1986; BAZELYAN & RAIZER 2000; RAKOV & UMAN 2003; KLOSE 2008; AHRENS 2013). Auch das Web-Lexikon Wikipedia führt einen relativ umfangreichen und aussagekräftigen Beitrag zum Stichwort Blitz. Soweit nicht anders angegeben, basiert die folgende Zusammenstellung aus HÄCKEL (2008) und AHRENS (2013).

Gewitter sind konvektive Ereignisse, die sich mit aufsteigender Luft bilden. Ein Gewitter beginnt oft, wenn warme, feuchte Luft in einer bedingt labilen Schichtung aufsteigt. Die Größe der aufsteigenden Luft kann dabei variieren ebenso wie die Triebkräfte für die Hebung. Folgende Auslösemechanismen und Kombinationen aus ihnen sind möglich:

- zufällige, turbulente Wirbel, die kleine Luftblasen anheben
- ungleichmäßige Erwärmung an der Oberfläche
- Geländeeffekte (z. B. kleine Hügel) oder die Hebung von Luft entlang flacher Grenzen konvergierender Oberflächenwinde
- großskalige Hebung entlang von Gebirgsgrenzen und ansteigendem Gelände
- divergierende Höhenwinde in Kombination mit konvergierenden Oberflächenwinden und aufsteigender Luft
- warme Luft, die entlang einer Front aufsteigt.

Schwere Gewitter treten normalerweise auf, wenn mehrere Auslösemechanismen und vertikale Scherwinde zusammenwirken. Solange die aufsteigende Luft wärmer und damit weniger dicht als die sie umgebende Luft ist, unterliegt sie einer aufwärtsgerichteten Auftriebskraft. Je größer der Temperaturunterschied zwischen aufsteigender und umgebender Luft ist, desto größer sind die Auftriebskraft und damit die Konvektion.

Gewitter werden nach den meteorologischen Bedingungen, bei denen die Voraussetzung für ihre Entstehung (starke Konvektion in feuchter, labiler Luft) gegeben sind, in drei Hauptarten unterteilt: Luftmassengewitter, Frontgewitter und orographische Gewitter. **Luftmassengewitter** („Wärmegewitter“) entstehen, wenn starke Sonneneinstrahlung warm-feuchte Luft vom Boden her labilisiert und zu kräftiger Konvektion führt. Diese Gewitter sind eng mit dem Tagesgang der Sonneneinstrahlung verbunden. Das warme, sonnige Sommerwetter

setzt sich nach ihrer Entladung fort. **Frontgewitter** dagegen treten an der Grenze zu heranrückender Kaltluft (Kaltfront) auf oder gelegentlich an der Grenze zu Warmluftmassen (Warmfront). Diese Gewitter zeigen das Eindringen anderer Luftmassen an bzw. leiten dieses ein (Kaltluftmassen). Theoretisch gibt es für Frontgewitter keine bevorzugte Tageszeit, doch führt konvektive Verstärkung zu heftigerem und häufigerem Auftreten in den Nachmittagsstunden. Bei **orographischen Gewittern** gleitet die Luft statt auf eine andere Luftmasse auf ein orographisches Hindernis (z. B. Erzgebirge) auf.

Neben ihrer Entstehung können Gewitter auch nach ihrer Struktur unterschieden werden. **Vereinzelte Gewitter** (gewöhnliche Einzelzellengewitter, Luftmassengewitter) bilden sich oft in warmen, feuchten Luftmassen weit entfernt von bestimmenden Wetterfronten. Diese „einfachen Gewitter“ entwickeln sich selten zu schweren Ereignissen, sind typischerweise weniger als 1°km breit und durchlaufen einen charakteristischen Lebenszyklus, der normalerweise weniger als eine Stunde dauert. Unter den richtigen atmosphärischen Bedingungen können sich intensivere „komplexe Gewitter“ wie Multizellen- oder Superzellengewitter bilden, die über Stunden andauern und mit starken Oberflächenwinden, großem Hagel, Überschwemmungen und Tornados einhergehen können.

Gewöhnliche Gewitter bilden sich meist in Regionen mit begrenzter vertikaler Windscherung. Ihr typischer Entwicklungszyklus beginnt mit der **Kumulus- oder Wachstumsphase**. Wenn ein warmes, feuchtes Luftpaket nach oben steigt, kühlt es ab und kondensiert zu einer einzigen Kumuluswolke oder einem Wolkencluster. Durch den Übergang von Wasserdampf zu flüssigen und festen Wolkenpartikeln wird während der Wolkenbildung viel latente Wärme frei, wodurch die aufsteigende Luft in der Wolke wärmer (weniger dicht) als die sie umgebende Luft bleibt. Die Wolke wächst solange in der instabilen Atmosphäre, wie sie Nachschub von aufsteigender Luft von unten erhält. Während des Kumulusstadiums ist normalerweise nicht genügend Zeit für die Niederschlagsbildung, der Aufwind hält Wassertropfen sowie Eiskristalle in der Luft in Schwebelage und es gibt weder Blitze noch Donner.

Wenn sich diese Wolke deutlich über dem Gefrierpunkt weiter aufbaut, wachsen die Wolkenpartikel durch Kollision und Zusammenschluss immer mehr an. Das Wachstum der flüssigen und festen Wolkenpartikel hält an, bis die Größe der Partikel deren Fähigkeit zum Auftrieb übersteigt. Während dieses Prozesses dringt trockenere Luft aus der Umgebung in die Wolke ein (*entrainment*). Diese Aufnahme trockenerer Luft führt zur Evaporation einiger Regentropfen, was die Luft kühlt. Die nun kühlere und schwerere Luft in der Wolke beginnt als Fallwind abzusinken. Während die Luft absteigt, beginnen die Eispartikel zu schmelzen, was die Luft weiter kühlt und den Fallwind zusätzlich verstärkt. Dieser Fallwind kann sich durch fallenden Niederschlag, der einen Teil der Luft mit sich zieht, noch intensivieren. Das Auftreten von Fallwinden markiert den Beginn der **Reifephase**, während der das Gewitter am intensivsten ist. Die Gewitterzelle besteht nun aus Auf- und Abwinden. In einigen Gewittern gibt es mehrere Zellen, die jeweils für weniger als 30 min bestehen können. Die Wolkenobergrenze hat bald eine stabile Atmosphärenschicht erreicht und bildet die typische Anvilform aus. Die Wolke kann eine vertikale Ausdehnung von über 12 km (bis zur Tropopause) und eine horizontale Ausdehnung an der Basis von mehreren Kilometern erreichen. Während der Reifephase treten auch Blitze und Donner sowie heftiger Regen (gelegentlich auch kleiner Hagel) auf. Mit dem Einsetzen von Niederschlag gibt es an der Oberfläche oft einen heftigen Abstrom (*downrush*) kalter Luft (Fallwinde). Wo dieser auf der Oberfläche auftrifft, breitet sich die Luft horizontal in alle Richtungen aus. Die Oberflächengrenze, welche die fortschreitende kühlere Luft von der umgebenden wärmeren Luft trennt, wird Böenfront genannt. Entlang einer Böenfront verändern die Winde schnell ihre Richtung und Geschwindigkeit. Zum Teil zwingt die Böenfront warme, feuchte Luft in das Gewitter, was den Aufwind der Wolke weiter verstärkt.

Etwa 15–30 min nach Beginn der Reifephase fängt das Gewitter an sich aufzulösen. Diese **Auflösungsphase** beginnt, sobald sich der Aufwind durch das Fortbewegen der Böenfront abschwächt. Während dieser Phase dominieren Fallwinde einen Großteil der Wolke, sodass sie die Zufuhr von feuchten Aufwinden abschneiden und damit dem Gewitter die Energiezufuhr entziehen. Es bilden sich nun keine Wolkentropfen mehr; leichter Niederschlag fällt aus der Wolke, begleitet von nur noch schwachen Fallwinden. Wenn das Gewitter „stirbt“, verdunsten die niedrigeren Wolkenpartikel schnell, sodass z. T. nur noch der Cirrusamboss übrig bleibt. Während gewöhnliche Zallengewitter, die sich in Gebieten mit geringen vertikalen Scherwinden bilden, kurzlebig und selten heftig sind, können sich in Gebieten mit großen vertikalen Scherwinden **Gewitter mit komplexen Strukturen** bilden wie Multizellen- und Superzallengewitter.

Gewitter, die aus mehreren Zellen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien bestehen, werden **Multizellengewitter** genannt. Diese Gewitter bilden sich oft in Gebieten mit einer moderaten bis starken vertikalen Scherung der Windgeschwindigkeit. Diese Scherung führt zu einem Kippen der Zelle innerhalb des Gewitters, sodass sich die Aufwindzone über der Fallwindzone befindet. Der steigende Aufwind ist in der Lage, neue Zellen zu generieren, die sich zu einem vollentwickelten Gewitter ausbilden können. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Gewittern fällt der Regen in Multizellengewittern nicht in die Aufwindzone, sodass der Energienachschub nicht unterbrochen wird und der Gewitterkomplex für lange Zeit überleben kann. Langlebige Multizellengewitter können sich zu intensiven Gewittern mit schweren Unwettern entwickeln.

Multizellengewitter, die sich entlang einer Linie anordnen, werden auch **Böenlinie** (*squall line*) genannt. Eine solche Gewitterlinie kann sich direkt entlang einer Kaltfront ausbilden und über hunderte von Kilometern erstrecken oder die Gewitter bilden sich in der warmen Luft 100–300 km vor der Kaltfront. Diese Vorfronten-Böenlinien-Gewitter der mittleren Breiten repräsentieren den größten und schwersten Typ von Böenlinien mit mächtigem Gewitter und Unwetter über einem großen Teil ihrer Ausdehnung. Aufsteigende Luft entlang der Frontengrenze (und entlang der Böenfront), zusammen mit dem geneigten Aufwind, fördern die Entwicklung neuer Zellen, während sich das Gewitter weiterbewegt, sodass sich die Böenlinie über mehrere Stunden selbst erhalten kann. Böenlinien mit schwächeren Auf- und Abwinden sind oft flacher und kurzlebiger als Vorfronten-Böenlinien. Diese gewöhnlichen Böenlinien können auch mit Unwetter verbunden sein, doch oft bilden sie nur eine Gewitterlinie mit den Eigenschaften gewöhnlicher Einzelzallengewitter. Böenlinien sind eine Form von **mesoskaligen konvektiven Systemen** (*mesoscale convective systems [MCS]*), mit der organisierte Gewitter einer bestimmten Größe, jedoch unterschiedlichster Ausprägung bezeichnet werden.

Große MCS werden **mesoskalige konvektive Komplexe** (*mesoscale convective complexes [MCC]*) genannt, und können bis zu 1.000-mal größer als gewöhnliche Einzelzallengewitter sein. Sie bilden sich, wenn unter Konvektion begünstigenden Bedingungen mehrere individuelle Multizellengewitter an Größe zunehmen und sich in einem großen, kreisförmigen konvektiven Wettersystem organisieren. Innerhalb des MCC wirken die einzelnen Gewitter zusammen und bilden ein langandauerndes (> 6 h), sich langsam fortbewegendes Wettersystem, das oft für mehr als 12 h existiert. MCC bringen großflächig Niederschlag und können mit einer Vielzahl von Unwettern verbunden sein (Hagel, starke Winde, Starkregen, Tornados). MCC bilden sich häufig während des Sommers in Regionen, wo die Höhenwinde schwach sind, was meist unter einem Hochdruckrücken der Fall ist. Wenn eine schwache Kaltfront unterhalb eines solchen Rückens „steckenbleibt“, dann können Oberflächenerwärmung und Feuchte ausreichend sein, um Gewitter an der kühlen Seite der Front zu erzeugen. Oft wird in unseren Breiten Feuchtigkeit vom Süden durch einen niedertroposphärischen Strahlstrom (*lowlevel jet stream*; in etwa 1.500 m Höhe) in das System gebracht. Zudem kann dieser niedertroposphärische Strahlstrom Scherung erzeugen, sodass Multizellengewitter entstehen können. Die meisten MCC erreichen ihre maximale Intensität in den frühen Morgenstunden, was zum Teil auf den niedertroposphärischen Strahlstrom zurückzuführen ist, der seine maximale Stärke in den späten Nacht- bzw. frühen Morgen-

stunden erreicht. Zudem kühlen die Wolkenoberseiten in der Nacht durch Abgabe infraroter Strahlung stark ab, sodass sich die Atmosphäre aufgrund der großen Mengen latenter Wärme in den mittleren und tieferen Bereichen der Wolke destabilisiert. Innerhalb des Multizellengewitterkomplexes entstehen neue Gewitter, während ältere zerfallen. Aufgrund der nur schwachen Höhenwinde (*upper-level winds*) bewegen sich die meisten MCC nur sehr langsam.

In Gebieten mit starker vertikaler Windscherung (sowohl im Hinblick auf Richtung als auch Geschwindigkeit) können sich Gewitter dergestalt bilden, dass der Ausfluss kalter Luft aus dem Abwind niemals den Aufwind unterbindet. In einem solchen Gewitter kann die Windscherung so stark sein, dass sie einen horizontalen Drehimpuls erzeugt, der zu einer Rotation des Aufwindes führt, wenn dieser in ihn hinein geneigt wird. Ein großes, langanhaltendes Gewitter mit einem einzigen heftig rotierenden Aufwind wird **Supercelle** genannt. Die rotierende Erscheinung der Supercelle kann zur Bildung von Tornados führen. Es werden drei Typen von Supercellen unterschieden:

- Klassische (CL; *classical*) Supercellen erzeugen Starkregen, großen Hagel, starke Oberflächenwinde und die Mehrheit der Tornados.
- Supercellen, die Starkregen und großen Hagel im Zentrum des Gewitters produzieren, werden HP (*heavy precipitation*) Supercellen genannt. Diese Gewitter führen oft zu extremen Fallwinden und flutartigen Überschwemmungen. Wenn Tornados auftreten, sind diese oft schlecht zu sehen, weil sie im Gebiet des Starkregens auftreten.
- Supercellen mit wenig Niederschlag, LP (*low precipitation*) Supercellen genannt; sie können Tornados und großen Hagel produzieren.

**Blitze** sind elektrische Ströme, die entgegengesetzte Ladungen ausgleichen und meist im Reifestadium von Gewittern auftreten. Sie dienen daher auch in diesem Projekt als Proxy für Gewitter aller Art, weil über das EUCLID-Messnetz indirekt registrierte Blitze als entsprechender Indikator genutzt werden. Blitze können innerhalb einer Wolke, von Wolke zu Wolke, von einer Wolke in die umgebende Luft oder von einer Wolke zur Erde auftreten. Wolkenblitze repräsentieren mit ca. 65 % die Mehrheit der Blitze in Mitteleuropa (Wetterleuchten). Erdblitze ereignen sich nur, wenn der Abstand zwischen Wolkenunterseite und Erdoberfläche nicht größer als 3.000 m ist. Blitze sind in unseren Breiten durchschnittlich 1–3 km lang, weisen Spannungen von 20–30 MV und Stromstärken von 20–40 kA auf und können die Luft im Blitzkanal auf etwa 30.000 °C erhitzen.

## 3 Methodik

### 3.1 Datengrundlage

Die Analysen im Rahmen des BlitSn-Projektes beruhen auf Ortungsdaten des Blitz-Informationsdienstes von Siemens (BLIDS). Das bei einer Blitzentladung erzeugte elektromagnetische Feld, das sich mit Lichtgeschwindigkeit vom Entstehungsort in alle Richtungen ausbreitet, wird von den Sensoren registriert. Bei BLIDS wird aus der Differenz der aufgezeichneten Zeiten zwischen den einzelnen Empfängern der Blitzort ermittelt (TOA-Prinzip; *time-of-arrival*). Zeitdaten der GPS-Satelliten ermöglichen eine sehr genaue Synchronisation der Empfänger. Mit der von BLIDS verwendeten Mess- und Berechnungsmethode lassen sich neben dem Ort des Blitzes auch Polarität, Stromstärke und Teilblitze bestimmen ([www.blids.de](http://www.blids.de)).

BLIDS ist seit Anfang 1992 in Betrieb und wurde seit dieser Zeit mehrmals verändert, wodurch sich die Leistung des Systems immer weiter verbessert hat (SCHULZ & DIENDORFER 2005). Zurzeit umfasst BLIDS 15 Messempfänger in Deutschland; mit den Empfängern in benachbarten Ländern ergeben sich für Deutschland 40 aktive Messsysteme. Diese sind mit weiteren europäischen Stationen in das europäische Blitzortungsnetzwerk EUCLID (*European Cooperation for Lightning Detection*) integriert, das momentan 145 aktive Messempfänger umfasst (mdl. Mitteilung THERN, Siemens AG). In Mitteleuropa sind mittlerweile fast alle Messempfänger mit den neuesten LS 7000-Sensoren ausgerüstet; in England, Ungarn und Kroatien werden teilweise noch ältere Sensormodelle betrieben (mdl. Mitteilung THERN, Siemens AG). Alle Sensoren arbeiten im gleichen Frequenzbereich mit individuell kalibrierten Effizienzen (*gains*) und Empfindlichkeiten. Die Daten aller Sensoren werden in Echtzeit in einem einzigen gemeinsamen Zentralprozessor verarbeitet, der auch die Tagesleistung der einzelnen Sensoren analysiert. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass innerhalb Europas die Daten so konsistent wie möglich sind. Tatsächlich weisen die von EUCLID produzierten Daten eine höhere Qualität als die Daten der Ländernetzwerke auf (POELMAN et al. 2013). POELMAN et al. (2013) verglichen die Leistung verschiedener Blitzortungsnetzwerke auf der Basis von Messungen des elektrischen Feldes in Belgien, die mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gekoppelt waren. EUCLID wies in dieser Studie die höchste Detektionseffizienz auf. Sie betrug für Teilblitze 84 % und für Blitze 100 %. Der Median der Ortungsgenauigkeit lag bei 0,6 km bei einem 95 %-Konfidenzintervall von 0,2–1,9 km (POELMAN et al. 2013).

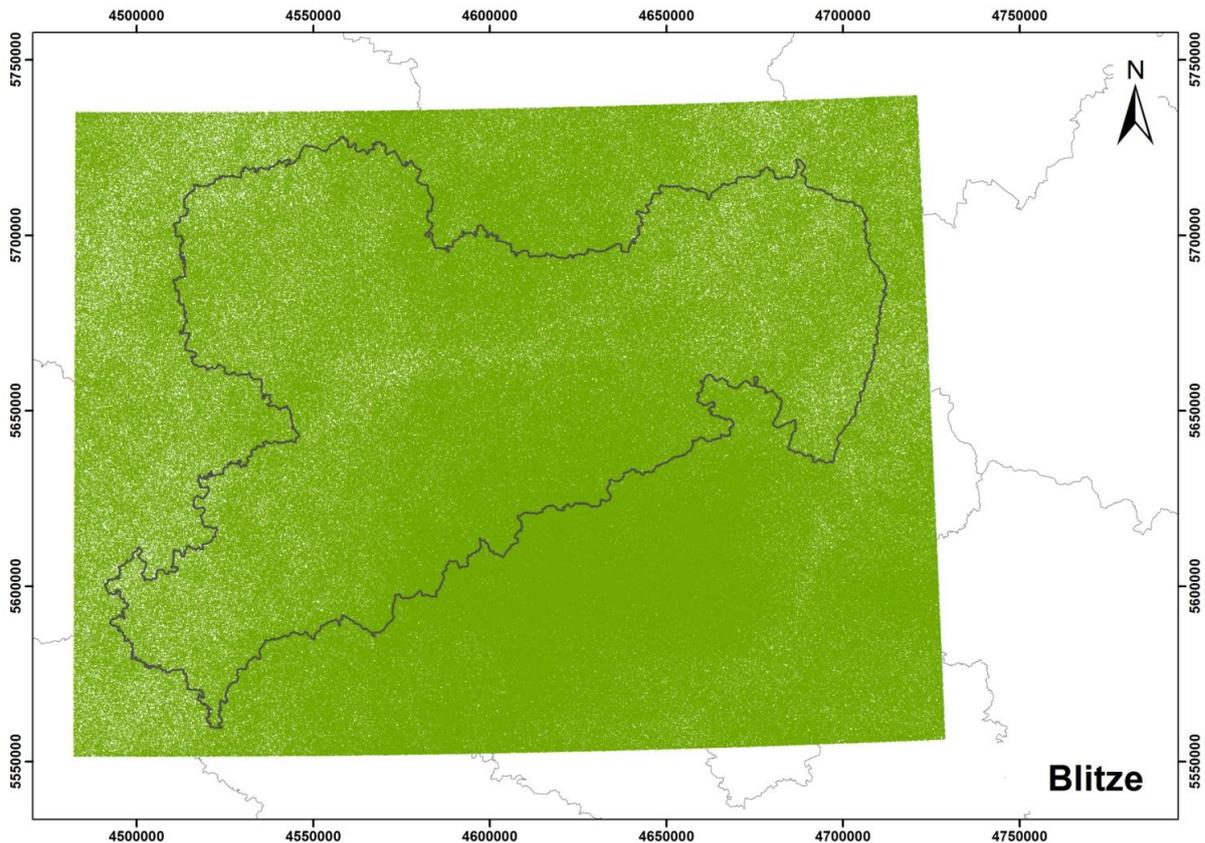
Die uns von der Firma Siemens gelieferten BLIDS-Daten enthalten Teilblitze im Zeitraum vom 01.01.1999 bis zum 31.12.2012 (14 Jahre), die mit folgenden Angaben versehen waren: Datum, Uhrzeit, Längen- und Breitengrad (als WGS84), Typ (Wolke-Boden, CG, oder Wolke-Wolke, CC), Stromstärke (kA), Polarität sowie Klassifizierung (Qualitätsangabe) der Teilblitze. Der Datensatz umfasst ein rechteckiges Gebiet (11,75–15,20 O, 50,10–51,75 N), das den Freistaat Sachsen einschließt. Nach einer Mitteilung von Herrn Thern (Siemens AG, 2013) liegt die berechnete Ortungsgenauigkeit im Allgemeinen zwischen 300 und 800 m, seit 2011 zwischen 200 und 700 m; die Ortungseffizienz zwischen 94% und 99% der Wolke-Erde-Blitze.

## 3.2 Datenvorbereitung

Die als csv-Dateien gelieferten BLIDS-Daten wurden in Excel-Dateien kopiert. Dabei wurde für jedes Jahr ein Tabellenblatt verwendet, weil die Datenmenge die maximale Zeilenzahl eines Tabellenblattes überschritt. Anschließend wurden alle Daten chronologisch geordnet (vom ältesten zum jüngsten erfassten Teilblitz). Für die Kartendarstellungen und die Zusammenfassung von Teilblitzen (► Kap. 3.2.2) wurden die WGS84-Koordinaten der Teilblitze mit Hilfe von ArcMap in Gauß-Krüger-Koordinaten umgewandelt. Für alle Kartendarstellungen wurde das XY-Koordinatensystem „DHDN\_3\_Degree\_Gauss\_Zone\_4“ (Projektion: Gauß-Krüger, geografisches Koordinatensystem: Deutsches Hauptdreiecksnetz, Datum: Deutsches Hauptdreiecksnetz) verwendet.

### 3.2.1 Qualitätskontrolle

Zunächst wurde anhand der Klassifizierungsangabe geprüft, wie viele Teilblitze einer qualitativ guten Messung (im gelieferten Datensatz mit r gekennzeichnet) entsprachen. Weil insgesamt nur drei Messungen von insgesamt mehr als 3 Millionen (3.002.389) keine gute Qualität aufwiesen, wurden diese im Datensatz belassen. Anschließend wurden grundlegende statistische Parameter der Teilblitzdaten einzelner Jahre berechnet (► Kap. 3.3.1) und auffällige Werte überprüft. Im Jahr 1999 hatten 7.133 Teilblitze eine Stromstärke von 0 kA. Nach Aussage der Siemens AG (mdl. Mitteilung THERN) handelt es sich dabei um nachimportierte Teilblitze, bei denen keine Stromstärke überliefert wurde.



**Abbildung 2: Blitze in Sachsen und Umgebung im Zeitraum 1999–2012 (jeder grüne Punkt repräsentiert ein Blitzereignis)**

### 3.2.2 Zusammenfassung von Teilblitzen zu Blitzereignissen

Blitze bestehen oft, jedoch nicht immer, aus diversen Teilblitzen. Wenn ein Blitz aus mehreren Strokes besteht, dann finden diese gewöhnlich im gleichen Ionisationskanal statt (innerhalb von 1 Sekunde), sodass der Einschlagsort der gleiche ist. Bei dem Vergleich sollte geprüft werden, ob die Datenreduktion zulässig ist (im Sinne der Datenverteilung). Die Zusammenfassung von Teilblitzen zu Blitzereignissen erleichtert die Datenhandhabung (fast 40 % weniger Daten) und dient der Vergleichbarkeit von Ergebnissen, vor allem auch mit denen der Thüringen-Studie von FIEDLER (2012). Ob diese Zusammenfassung die Daten hinsichtlich ihrer Verteilung im Jahres- und Tagesgang, im zwischenjährlichen Verlauf und ihrem Anteil an Wolke-Boden-Blitzen beeinflusst, wird anhand des Gesamtdatensatzes (Sachsen und Umgebung, 1999–2012, vgl. Abbildung 2) thematisiert (► Kap. 4.2).

In der Literatur werden unterschiedliche Kriterien zur Zusammenfassung von Teilblitzen zu Blitzereignissen beschrieben (CUMMINS et al. 1996; FINKE 1999; SCHMIDT et al. 2004; SHAO et al. 2006; DRÜE et al. 2007). In der vorliegenden Arbeit wurden die von SCHMIDT et al. (2004) vorgeschlagenen Kriterien verwendet, wonach alle 15 Teilblitze, die innerhalb 1 s in einem Umkreis von 5 km auftreten, zu einem Blitz zusammengefasst werden. Die Umsetzung des räumlichen Kriteriums erfolgte wie bei FIEDLER (2012) über die Berechnung des horizontalen Abstandes der Teilblitze, weil Höhenunterschiede und die Krümmung der Erdoberfläche auf solch kurzen Entfernungen vernachlässigt werden können. Der horizontale Abstand der Teilblitze ( $|P_1P_2|$ ) wurde mit Hilfe des Satz des Pythagoras berechnet und beträgt näherungsweise

$$|P_1P_2| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} ,$$

mit  $x_{1/2}$  = Rechtswert des ersten/zweiten Teilblitzes,  $y_{1/2}$  = Hochwert des ersten/zweiten Teilblitzes.

Die Umsetzung des Zeitkriteriums erfolgte zum einen nach der von FIEDLER (2012) verwendeten Methode. Dabei werden allerdings die Millisekunden nicht berücksichtigt, sodass real Teilblitze, die fast 2 s auseinanderliegen, zu einem Blitz aggregiert werden können. Daher wurde in Excel ein eigenes Berechnungsverfahren entwickelt, das die Zeitdifferenz unter Berücksichtigung der Millisekunden berechnet (Digitaler Anhang). Im Folgenden wird die Blitzzusammenfassung, basierend auf dem Satz des Pythagoras und der Zeitkriteriumumsetzung nach FIEDLER (2012), als „Methode nach FIEDLER (2012)“ bezeichnet und die Blitzzusammenfassung basierend auf dem Satz des Pythagoras und der eigenen Berechnungsmethode für das Zeitkriterium als „eigene Berechnungsmethode“.

Der erste Teilblitz wurde bei beiden Methoden als repräsentativ für das gesamte Blitzereignis angesehen (mdl. Mitteilung THERN, Siemens AG), sodass dieser sowohl die Blitzart als auch die Stromstärke bestimmt. Beide Methoden der Teilblitzzusammenfassung wurden anschließend anhand der erzeugten Blitzanzahl und der Verteilung der Blitze im Jahres- und Tagesverlauf verglichen (► Kap 4.1), wobei der gesamte Datensatz verwendet wurde. Um zu überprüfen, ob die Zusammenfassung von Teilblitzen zu Blitzen die Verteilung und Eigenschaften der Daten verändert, wurden folgende Parameter der Teilblitze bzw. Blitze (nach eigener Berechnungsmethode) miteinander verglichen (bezogen auf den Gesamtdatensatz): Gesamtanzahl pro Jahr, Jahresgang und Tagesgang bezogen auf die Anzahl/den Anteil von (Teil-)blitzen und den Anteil an Wolke-Boden-(Teil-)Blitzen, sowie die Stromstärke. Bei den Jahres- und Tagesgängen wurden jeweils die statistischen Parameter Minimum (MIN), Median (MED), Mittelwert (MW) und Maximum (MAX) aller Jahre berechnet. Bei der Stromstärke wurden diese statistischen Kenngrößen sowie die 5 %-, 10 %-, 25 %-, 75 %-, 90 %- und 95 %-Perzentile für die Einzeljahre ermittelt.

## 3.3 Auswertung von Blitzereignissen

Die Entstehung von Gewittern setzt bestimmte Atmosphärenzustände voraus, die wiederum von den verschiedensten Parametern beeinflusst werden können. Im Rahmen dieser Arbeit wurde statistisch untersucht, ob bestimmte Kenngrößen einen Einfluss auf das Blitzgeschehen in Sachsen haben. Dabei wurden keine einzelnen Gewitter untersucht. Stattdessen bilden alle im Zeitraum 1999–2012 registrierten Blitze als Datenkollektiv die Grundlage dieser Analysen. Es wird geprüft, ob sich das Blitzauftreten in bestimmten Naturräumen und auf bestimmten Landnutzungen, bei bestimmten Wetterlagen und in bestimmten Höhenlagen vom durchschnittlichen Blitzauftreten unterscheidet. Außerdem wird ein Zusammenhang zwischen durchschnittlichen jährlichen Klimaparametern und dem Blitzauftreten geprüft.

### 3.3.1 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Blitzereignisse im Freistaat Sachsen erfolgte für den Zeitraum 1999–2012 (14 Jahre). Die verwendeten Blitzereignisse beruhen auf der eigenen Berechnungsmethode zur Teilblitzzusammenfassung. Die statistischen Auswertungen beziehen sich auf die Anzahl der Blitze und auf die Stromstärke der registrierten Blitze. Sie wurden mit den Programmen Microsoft Office Excel 2007, STATGRAPHICS Centurion XVI (Version 16.0.09) und R (Version 2.15.1) durchgeführt.

**Blitzanzahl:** Die Gesamtanzahl der Blitze und die Blitzanzahl in den einzelnen Monaten (repräsentiert den Jahresgang) sowie Tagesstunden (repräsentiert den Tagesgang) wurde für alle Einzeljahre und den Gesamtzeitraum 1999–2012 berechnet. Blitztage wurden hinsichtlich ihrer Häufigkeit in den Einzeljahren und Monaten sowie hinsichtlich der aufgetretenen Blitze analysiert. Des Weiteren wurde der Anteil an Wolke-Boden-Blitzen (CG-Blitze, *cloud to ground*) an der Gesamtblitzanzahl sowohl im Jahres- als auch im Tagesverlauf bestimmt.

**Stromstärke:** Statistische Parameter (MIN, MED, MW, MAX, 5 %-, 10 %-, 25 %-, 75 %-, 90 %- und 95 %-Perzentil) sowie der Jahres- und Tagesgang wurden für die Einzeljahre und den Gesamtzeitraum für alle Blitze und differenziert allein für Blitze mit positiver bzw. negativer Stromstärke berechnet. Zudem wurde die Verteilung der Daten mit Hilfe von Histogrammen, Dichtespuren, empirischen kumulativen Verteilungsfunktionen und perzentilbasierten Boxplots visualisiert. Zusätzlich wurden die extremen Stromstärken untersucht. Dafür wurden alle Blitze mit einer Stromstärke, die kleiner oder gleich dem 1 %-Perzentil (-45 kA) bzw. 5 %-Perzentil (-24 kA) aller Blitze im Untersuchungszeitraum war bzw. größer oder gleich dem 95 %-Perzentil (14 kA) bzw. 99 %-Perzentil (33 kA), aus dem Gesamtblitzdatensatz von Sachsen extrahiert und statistisch analysiert (Parameterberechnung, Jahres- und Tagesgang).

### 3.3.2 Blitzdichte

Die Berechnung von Blitzdichten (Bd), also die Anzahl von Blitzen (*flashes*, fl) pro Fläche und Zeiteinheit, erfolgte mit dem Produkt ArcView<sup>®</sup> des Programms ArcGIS<sup>®</sup> 9 über die Anwendung ArcMap<sup>®</sup> (im Folgenden mit ArcMap<sup>®</sup> bezeichnet). Die Funktion Punktdichte wurde dabei mit einer Zellgröße von 1.000 m und einem Radius von 2.500 m parametrisiert (dabei können Zellgröße und Radius frei gewählt werden). Hier wurde 1 km gewählt, weil die ReKIS-Daten ebenfalls eine Auflösung von 1 km haben und eine kleinere Rastergröße aufgrund der Detektionsgenauigkeit der BLIDS-Daten (200–800 m) nicht sinnvoll erschien. Bei der Wahl des Radius wurde ein Mittelweg zwischen Detailgenauigkeit und zu großer Verallgemeinerung gewählt – der Fokus lag auf einer übersichtlichen Darstellung für Gesamtsachsen und nicht auf Einzelzellen. Das Resultat musste ggf. über die Funktion Rasterberechnung durch die Anzahl der Jahre der Eingabedaten dividiert werden, so dass am Ende ein Ergebnis in der Einheit fl\*km<sup>-2</sup>\*a<sup>-1</sup> vorlag. Mit dieser Methodik wurden die Blitzdichten für den Gesamtzeitraum, für Einzeljahre und für Monate berechnet. Blitzdichten von einzelnen Naturräumen, Landnutzungen und Höhenstufen wurde auf einem anderen Weg ermittelt (► Kap. 3.3.3 und 3.3.4). Bei der beschriebenen Methode zur Berechnung der Blitzdichte wurde die Ortungsgenauigkeit von BLIDS nicht berücksichtigt. SPITZER et al. (2011) hatten gezeigt, dass die Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit für großräumige Auswertungen und längere Zeiträume nur einen geringen Nutzen aufweist.

### 3.3.3 Zusammenhang von Blitzauftreten und Naturräumen bzw. Landnutzungen

Die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Blitzauftreten und Naturraum bzw. Landnutzung basiert auf folgenden Daten, die durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) digital bereitgestellt wurden:

- Naturräumliche Gliederung Sachsens
- Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (BTLNK) von 2005

In Bezug auf die BTLNK wurden nur ausgewählte Hauptgruppen (HG) der Landnutzung verwendet. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die betrachteten Landnutzungen einschließlich der im Folgenden verwendeten Kurzbezeichnungen.

**Tabelle 1: Zusammenfassung von Hauptgruppen der BTLNK zu vereinfachten Landnutzungstypen**

Landnutzungstyp (Kurzbezeichnung)	HG-Nummer	Bezeichnung	Flächenanteil in km <sup>2</sup> (%)	
Acker	8	Acker, Sonderstandorte	7.241	(39,2)
Gewässer	2	Gewässer	402	(2,2)
Grünland	4	Grünland, Ruderalflur	2.962	(16,0)
Siedlung und Infrastruktur	9 o. Untergruppe 4	Siedlung, Infrastruktur	1.678	(9,1)
Wald	7	Wälder und Forste	5.124	(27,8)
Sonstiges			1.049	(5,7)

Um einen möglichen Einfluss des Naturraums bzw. der Landnutzung zu prüfen, wurden Blitzdichten für die einzelnen Naturräume und Landnutzungstypen berechnet. Mit Hilfe von ArcMap® wurden alle Blitze extrahiert, die in einem bestimmten Naturraum/einer bestimmten Landnutzung während des Untersuchungszeitraums registriert wurden. Anschließend wurde diese Anzahl durch die Flächengröße des jeweiligen Naturraumes/der jeweiligen Landnutzung und 14 Jahre dividiert

$$Bd_i = \frac{N_i}{A_i * t},$$

mit  $Bd_i$  = Blitzdichte des Naturraumes/der Landnutzung  $i$ ,  $N$  = Anzahl der Blitze,  $A_i$  = Fläche des Naturraumes/der Landnutzung  $i$  [ $\text{km}^2$ ],  $t$  = Untersuchungszeitraum (hier 14 a).

Für die Landnutzungstypen wurde zusätzlich der Flächenanteil der betrachteten Landnutzungen in Sachsen mit dem Blitzanteil dieser Landnutzung (wie viel Prozent der Blitze auf/über dieser Landnutzung registriert wurden) verglichen. Ein deutliches Abweichen dieser Anteile könnte auf eine Beeinflussung des Blitzauftretens durch die Landnutzung hinweisen.

### 3.3.4 Abhängigkeit von der Höhenlage

Die Untersuchung der Höhenabhängigkeit des Blitzauftretens erfolgte auf Basis eines Digitalen Höhenmodells (digital elevation model, DEM). Das verwendete Datenprodukt SRTM Data Version 4.1 (JARVIS et al. 2008) stammt vom International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) und kann kostenlos von der CIAT-CSI-Website heruntergeladen werden (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Die ursprünglichen digitalen Höhendaten stammen von der Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) der NASA und wurden vom CIAT weiterverarbeitet, u. a., um Datenlücken zu füllen. Die prozessierten DEM-Daten weisen am Äquator eine räumliche Auflösung von 90 m auf und werden als  $5^\circ \times 5^\circ$ -Kacheln im geografischen Koordinatensystem (WGS84 Datum) zum Herunterladen zur Verfügung gestellt.

Die Fläche von Sachsen wird von zwei Kacheln der SRTM-Daten abgedeckt (srtm\_39\_02.tif und srtm\_40\_02.tif). Diese Kacheln wurden in ArcMap® importiert und das geografische Koordinatensystem Deutsches Hauptdreiecksnetz transformiert. Anschließend wurden die in Sachsen liegenden Rasterzellen extrahiert und zu einer Datei zusammengefügt. Danach wurde ein Resampling durchgeführt, um ein DEM von Sachsen mit einer Rastergröße von 100 m x 100 m zu erhalten.

Mit Hilfe von ArcMap® wurde jedem Blitz eine Höhenangabe zugeordnet. Diese wurden – ebenso wie die Höhenangaben aller Rasterzellen in Sachsen – extrahiert. Anschließend wurde in Excel der Flächenanteil der Höhenstufen (Höhenklassen in 50 m-Schritten von 0 bis 1.250 m) in Sachsen berechnet. Außerdem wurde der relative Anteil der Höhenstufen an den Blitzen von 1999–2012 und die Blitzdichte für jede Höhenstufe ermittelt. Sowohl aus einer Abweichung des Anteils der Höhenstufen in Sachsen vom Anteil der Höhenstufen beim Blitzauftreten als auch aus den Unterschieden der Blitzdichte lassen sich Rückschlüsse darauf ziehen, ob und in welcher Höhenstufe vermindert oder vermehrt Blitze auftreten.

### 3.3.5 Abhängigkeit von Wetterlagen

Der Einfluss der atmosphärischen Zirkulation auf das Blitzauftreten wurde anhand der folgenden Klassifikationssysteme analysiert:

- Großwetterlagenklassifikation (GWLK), eingeführt von BAUR et al. (1940) und weiterentwickelt von HESS & BREZOWSKY (1952, 1969, 1977)
- Objektive Wetterlagenklassifikation (WLK) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (DITTMANN et al. 1995; BISSOLLI & DITTMANN 2001)

Die Daten der Großwetterlagen wurde WERNER & GERSTENGARBE (2010) entnommen und durch monatliche Veröffentlichungen des Deutschen Wetterdienstes vervollständigt (DWD 2010, 2011, 2012). Bei den Analysen wurden sowohl die Großwetterlagen (GWL) als auch die allgemeineren Großwettertypen (GWT) betrachtet (Tabelle 2). Die objektive Wetterlagenklassifikation des DWD stand online zur Verfügung (DWD 2013). Neben der Wetterlagenklasse wurden auch die bestimmenden meteorologischen Kriterien Windrichtung (Advektionsrichtung der Luftmassen), Zyklonalität (Hoch- bzw. Tiefdruckeinfluss bei 950 hPa und 500 hPa) sowie die Feuchtigkeit der Atmosphäre in die Analysen einbezogen. Tabelle 3 bietet eine Übersicht über die Einteilung der Wetterlagenklassen.

Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen atmosphärischer Zirkulation und Blitzauftreten wurde zunächst allen Blitztagen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 die an diesem Tag registrierte Wetterlage zugeordnet – einmal für die GWL und einmal für die WLK. Anschließend wurde die relative Auftrittshäufigkeit aller Wetterlagen (bzw. GWT und Eigenschaften von WLK) in den einzelnen Jahren und über den Gesamtzeitraum berechnet. Dieser Anteil wurde den Anteilen der Wetterlagen an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$  Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$  Blitze pro Tag) gegenübergestellt. Weichen die Anteile einer Wetterlage im betrachteten Zeitraum von dem Anteil dieser Wetterlage an den Blitztagen ab, so kann daraus geschlossen werden, dass bei Vorherrschen dieser Wetterlage weniger oder mehr Blitze als im Mittel aller Tage auftreten. Tritt eine Wetterlage beispielsweise an 20 % aller Tage auf, doch ihr Anteil an Blitztagen liegt bei 10 % (30 %), so ist diese Wetterlage durch ein geringeres (höheres) Blitzauftreten gekennzeichnet.

### 3.3.6 Abhängigkeit von mittleren jährlichen Klimaparametern

Die Überprüfung eines Zusammenhangs zwischen mittleren jährlichen Klimaparametern und dem Blitzauftreten in Sachsen erfolgte durch einen visuellen Vergleich von Kartendarstellung und durch eine Korrelationsanalyse. Die Klimadaten stammten vom regionalen Klimainformationssystem (ReKIS) der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen ([www.rekis.org](http://www.rekis.org)). Über das Interpolationstool RaKliDa wurden gerasterte Klimadaten für Sachsen angefordert. Für die Analysen wurden über den Untersuchungszeitraum 1999–2012 gemittelte jährliche Werte folgender Klimaelemente verwendet: mittlere und maximale Lufttemperatur, korrigierter Niederschlag, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung, Gras-Referenz-Verdunstung und Windgeschwindigkeit 10 m über der Erdoberfläche. Zur Berechnung der Stützstellen wurde die gleiche Stationsliste über alle Zeitschritte gewählt. Die gelieferten Rasterdaten wiesen eine räumliche Auflösung von 1.000 m auf. In Arc-Map<sup>®</sup> wurden Karten für alle einzelnen Klimaelemente erzeugt und mit der Blitzdichtekarte von Sachsen 19 verglichen. Zusätzlich wurde die Stromstärke aller Blitze mit den Werten der Klimaparameter der Rasterzelle korreliert, in welcher der Blitz registriert wurde.

**Tabelle 2: Übersicht über die Großwetterlagen und Großwettertypen Europas (nach WERNER & GERSTENGARBE 2010)**

Zirkulationsform	Großwettertyp	Großwetterlage	Abkürzung	
zonal	West (W)	Westlage, antizyklonal	WA	
		Westlage, zyklonal	WZ	
		Südliche Westlage	WS	
		Winkelförmige Westlage	WW	
gemischt	Südwest (SW)	Südwestlage, antizyklonal	SWA	
		Südwestlage, zyklonal	SWZ	
	Nordwest (NW)	Nordwestlage, antizyklonal	NWA	
		Nordwestlage, zyklonal	NWZ	
	Hoch Mitteleuropa (HME)	Hoch Mitteleuropa		HM

Zirkulationsform	Großwettertyp	Großwetterlage	Abkürzung
		Hochdruckbrücke (Rücken) Mitteleuropa	BM
	Tief Mitteleuropa (TME)	Tief Mitteleuropa	TM
meridional	Nord (N)	Nordlage, antizyklonal	NA
		Nordlage, zyklonal	NZ
		Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal	HNA
		Hoch Nordmeer-Island, zyklonal	HNZ
		Hoch Britische Inseln	HB
		Trog Mitteleuropa	TRM
	Ost (O)	Nordostlage, antizyklonal	NEA
		Nordostlage, zyklonal	NEZ
		Hoch Fennoskandien, antizyklonal	HFA
		Hoch Fennoskandien, zyklonal	HFZ
		Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal	HNFA
		Hoch Nordmeer-Fennoskandien, zyklonal	HNFZ
		Südostlage, antizyklonal	SEA
		Südostlage, zyklonal	SEZ
	Süd (S)	Südlage, antizyklonal	SA
		Südlage, zyklonal	SZ
		Tief Britische Inseln	TB
		Trog Westeuropa	TRW
Übergang/unbestimmt	Übergang/unbestimmt	Übergang/unbestimmt	U

**Tabelle 3: Übersicht über die objektiven Wetterlagenklassen des DWD (nach DWD 2013)**

Klassen-Nr.	Anströmrichtung	Anti-/zyklonale Strömung in 950/500 <h>hPa</h>	trocken/feucht	Kurzbezeichnung
1	undefiniert	A/A	trocken	XXAAT
2	Nordost	A/A	trocken	NOAAT
3	Südost	A/A	trocken	SOAAT
4	Südwest	A/A	trocken	SWAAT
5	Nordwest	A/A	trocken	NWAAT
6	undefiniert	A/A	feucht	XXAAF
7	Nordost	A/A	feucht	NOAAF
8	Südost	A/A	feucht	SOAAF
9	Südwest	A/A	feucht	SWAAF
10	Nordwest	A/A	feucht	NWAAF
11	undefiniert	A/Z	trocken	XXAZT
12	Nordost	A/Z	trocken	NOAZT
13	Südost	A/Z	trocken	SOAZT
14	Südwest	A/Z	trocken	SWAZT
15	Nordwest	A/Z	trocken	NWAZT
16	undefiniert	A/Z	feucht	XXAZF
17	Nordost	A/Z	feucht	NOAZF
18	Südost	A/Z	feucht	SOAZF
19	Südwest	A/Z	feucht	SWAZF
20	Nordwest	A/Z	feucht	NWAZF

Klassen-Nr.	Anströmrichtung	Anti-/zyklonale Strömung in 950/500°hPa	trocken/feucht	Kurzbezeichnung
21	undefiniert	Z/A	trocken	XXZAT
22	Nordost	Z/A	trocken	NOZAT
23	Südost	Z/A	trocken	SOZAT
24	Südwest	Z/A	trocken	SWZAT
25	Nordwest	Z/A	trocken	NWZAT
26	undefiniert	Z/A	feucht	XXZAF
27	Nordost	Z/A	feucht	NOZAF
28	Südost	Z/A	feucht	SOZAF
29	Südwest	Z/A	feucht	SWZAF
30	Nordwest	Z/A	feucht	NWZAF
31	undefiniert	Z/Z	trocken	XXZZT
32	Nordost	Z/Z	trocken	NOZZT
33	Südost	Z/Z	trocken	SOZZT
34	Südwest	Z/Z	trocken	SWZZT
35	Nordwest	Z/Z	trocken	NWZZT
36	undefiniert	Z/Z	feucht	XXZZF
37	Nordost	Z/Z	feucht	NOZZF
38	Südost	Z/Z	feucht	SOZZF
39	Südwest	Z/Z	feucht	SWZZF
40	Nordwest	Z/Z	feucht	NWZZF

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Dieses Kapitel präsentiert und diskutiert die Ergebnisse der durchgeführten Analysen zum raum-zeitlichen Auftreten von Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012. Nach einem Vergleich der zwei Methoden zur Zusammenfassung von Teilblitzen (► Kap. 4.1) folgt eine Gegenüberstellung des Teilblitz- und Blitzdatensatzes (► Kap. 4.2). Daran schließen sich eine statistische Charakterisierung der im Untersuchungszeitraum in Sachsen registrierten Blitze (► Kap. 4.3) sowie eine Beschreibung der Stromstärke und ihrer Extremwerte an (► 4.4). Es folgt eine Darstellung der raum-zeitlichen Verteilung der Blitzdichte in Sachsen (► Kap. 0). Abschließend werden die Zusammenhänge zwischen Blitzauftreten und Höhenlage (► Kap. 4.6), atmosphärischer Zirkulation (► Kap. 4.7), mittleren Jahreswerten verschiedener Klimaelemente (► Kap. 4.8) und der Landnutzung (► Kap. 4.9) dargestellt.

### 4.1 Zusammenfassung von Teilblitzen

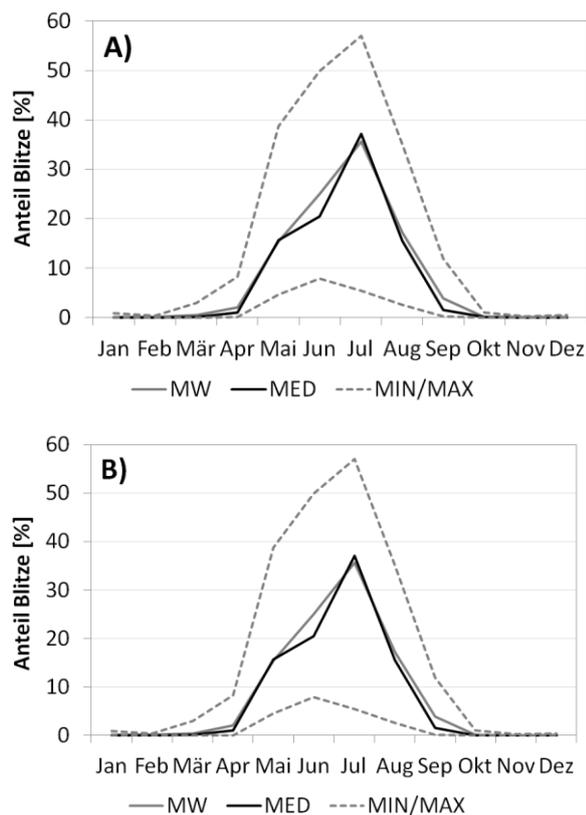
Die zwei Methoden der Teilblitzzusammenfassung unterscheiden sich nur unwesentlich im Hinblick auf die Anzahl der Blitze und deren Verteilung innerhalb des Jahres sowie im Tagesgang. Während nach der Methode von FIEDLER (2012) in den Jahren 1999–2012 insgesamt 1.851.927 Blitze zu verzeichnen waren, ergab die eigene Berechnungsmethode 1.854.765 Blitze. Beide Methoden unterschieden sich folglich um 2.838 Blitze, entsprechend lediglich 0,15 % der Gesamtblitzzahl – und damit vernachlässigbar. Die Anzahl von Blitzen in den einzelnen Jahren ist für beide Methoden in Tabelle 4 dargestellt. Auf die Gegenüberstellung der Blitztage (gesamt, mit < 3 Blitzen, mit ≥ 500 Blitzen) wird an dieser Stelle verzichtet, da sich hier beide Methoden um

maximal einen Tag unterscheiden (in Abhängigkeit davon, ob ein kurz nach Mitternacht erfolgter Teilblitz noch zu dem Blitzereignis des Vortages gezählt wird oder nicht). Bezogen auf das Gebiet des Freistaates Sachsen, auf das im Folgenden fokussiert wird, ergibt sich eine Blitzzahl von knapp 700.000; die Zahl von gut 1,8 Mio. Blitze gilt für den gesamten Datensatz, der deutlich über die Fläche Sachsens hinausgeht; die Interpretation dagegen diskutiert den vollständigen Datensatz.

**Tabelle 4: Blitzzahl pro Jahr im Gesamtdatensatz in Bezug zur Methode der Teilblitzzusammenfassung**

Jahr	FIEDLER (2012)	eigene Methode	Jahr	FIEDLER (2012)	eigene Methode
1999	56.216	56.216	2006	168.772	169.063
2000	80.169	80.169	2007	226.443	226.792
2001	100.997	100.997	2008	112.401	112.679
2002	186.200	186.200	2009	140.626	140.784
2003	127.467	127.467	2010	71.285	71.456
2004	141.830	141.830	2011	115.907	116.078
2005	153.520	153.520	2012	170.094	170.449

Dass die Wahl der Methode zur Teilblitzzusammenfassung bei der vorliegenden Datenmenge keinen Einfluss auf die Verteilung der Blitze hat, zeigt beispielhaft Abbildung 3, die den Jahresgang des Blitzauftritts veranschaulicht. Aufgrund der großen Ähnlichkeit zwischen den beiden Methoden der Blitzzusammenfassung wurde für die nachfolgenden Analysen nur der nach der eigenen Berechnungsmethode erstellte Blitzdatensatz verwendet.



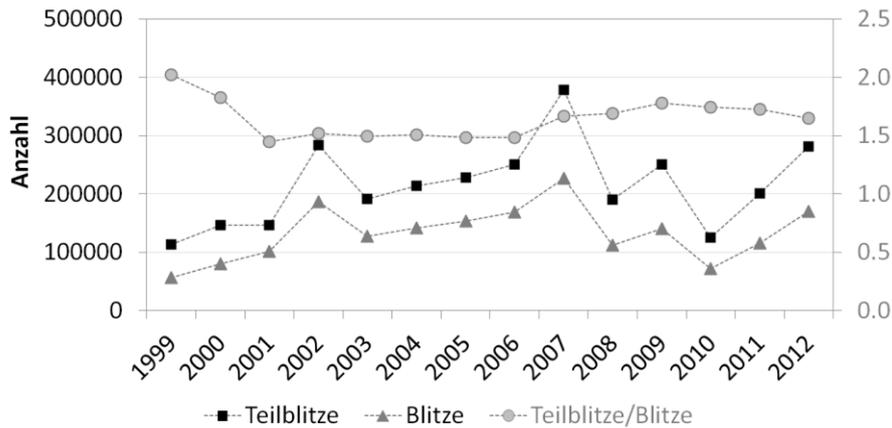
**Abbildung 3: Anteil von Blitzen zur Gesamtblitzzahl in einem bestimmten Monat des entsprechenden Jahres im Gesamtdatensatz (Zeitraum 1999–2012)**

MIN = Minimum, MAX = Maximum, MW = Mittelwert und MED = Median aller Jahre

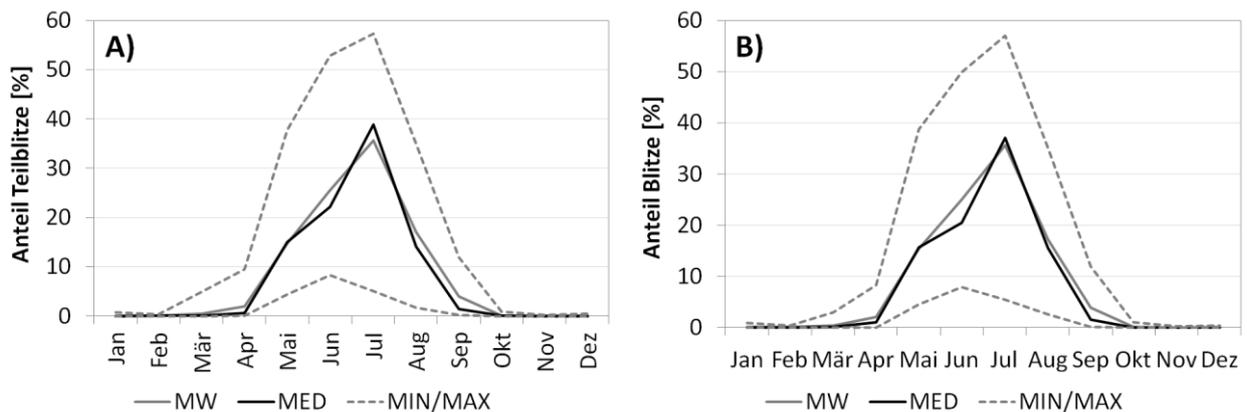
A) Teilblitzzusammenfassung nach FIEDLER (2012), B) Teilblitzzusammenfassung nach eigener Berechnungsmethode

## 4.2 Vergleich des Teilblitz- und Blitzdatensatzes

Aus den insgesamt 3.002.389 Teilblitzen des Untersuchungszeitraums ergaben sich nach der eigenen Berechnungsmethode 1.854.765 Blitze. In den einzelnen Jahren lag der Mittelwert der Anzahl von Teilblitzen pro Blitz zwischen 1,5 (2001–2006) und 1,9 (1999), während der Medianwert in allen Einzeljahren bei jeweils 1,0 lag. Maximal wurden 41 Teilblitze zu einem Blitz zusammengefasst und zwar am 01.03.2008, als das Orkantief Emma ([www.wetteronline.de/extremwetter?gid=10866](http://www.wetteronline.de/extremwetter?gid=10866)) über das Untersuchungsgebiet zog (3.106 registrierte Blitze). Der Verlauf der jährlichen Gesamtzahl von Teilblitzen ähnelt dem der Blitze sehr stark (Abbildung 4). Dies spiegelt sich auch an dem Verhältnis der Jahresanzahl von Teilblitzen zu Blitzen wider, das mit Ausnahme des Jahres 1999 stets zwischen 1,5 und 1,8 lag. Inwieweit die signifikant höheren Teilblitz-/Blitz-Verhältnisse in den Anfangsjahren 1999 und 2000 mit damals noch technischen Schwächen im damaligen Status des Siemens BLIDS-Systems zurückgeführt werden können, ist nicht bekannt.

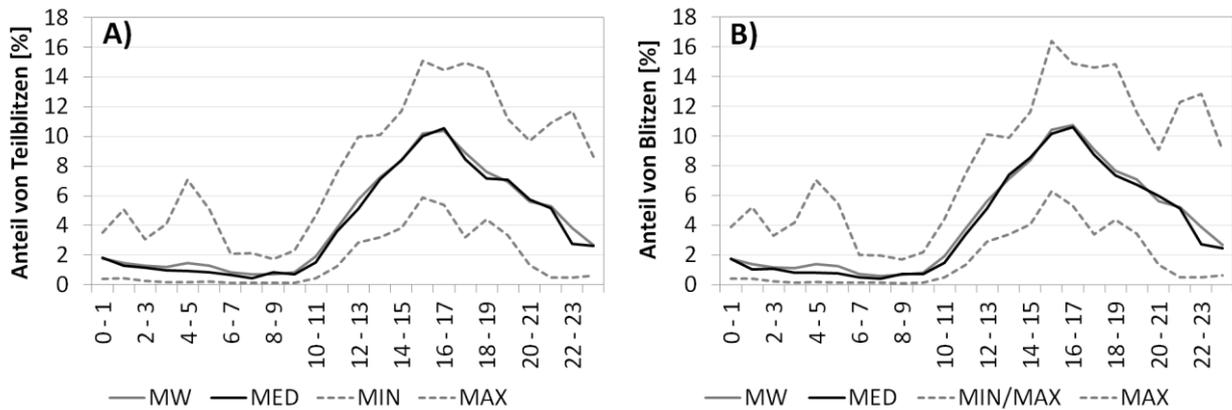


**Abbildung 4: Anzahl der Teilblitze und Blitze in Sachsen und Umgebung in den Jahren 1999–2012 sowie Quotient aus der jährlichen Anzahl von Teilblitzen/Blitzen**



**Abbildung 5: Anteil von Teilblitzen (A) und Blitzen (B) in Sachsen und Umgebung (1999–2012) pro Monat im Zeitraum 1999–2012**

MIN = Minimum, MAX = Maximum, MW = Mittelwert und MED = Median aller Jahre



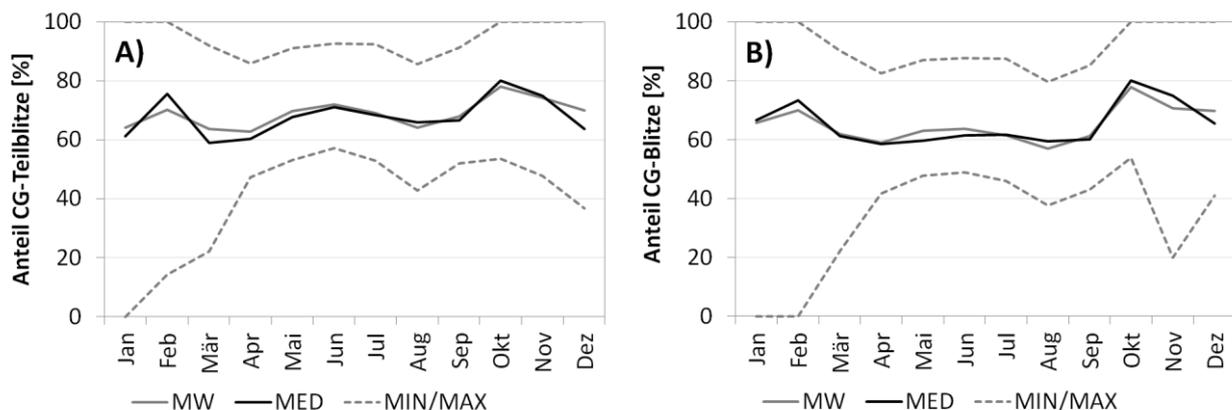
**Abbildung 6: Anzahl von Teilblitzen (A) und Blitzen (B) als Anteil der Blitze in einer bestimmten Stunde an Gesamtblitzanzahl im Zeitraum 1999–2012**

MIN = Minimum, MAX = Maximum, MW = Mittelwert und MED = Median aller Jahre

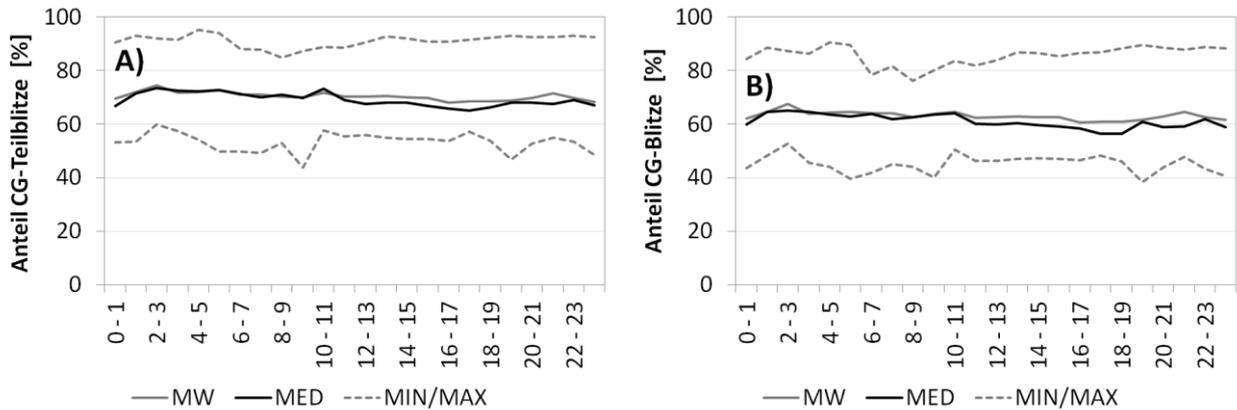
Die Verteilung von Teilblitzen und Blitzen im Jahres- (Abbildung 5) und Tagesgang (Abbildung 6) unterscheidet sich kaum. Mittelwert und Median aller Jahre liegen sowohl im Jahres- als auch im Tagesgang eng beieinander. Die Minimum- und Maximumkurven spiegeln bei den Teilblitzen und auch bei den Blitzen grob den Jahres- und Tagesgang wider, zeigen jedoch übereinstimmend z. T. eine Verschiebung von Maxima/Minima sowie zusätzliche Zwischenmaxima und -minima.

Der Jahres- (Abbildung 7) und Tagesgang des Anteils an Wolke-Boden-Entladungen (Abbildung 8) ähnelt sich für die Teilblitze und Blitze. Allerdings liegt der mittlere Anteil bei den Teilblitzen v. a. in der Gewittersaison von April bis September und im gesamten Tagesverlauf bei den Teilblitzen etwas höher. Betrachtet man die Verteilung der Stromstärke in den einzelnen Jahren, so zeigen Teilblitze und Blitze einen ähnlichen Verlauf (Abbildung 9). Sowohl bei den Teilblitzen als auch bei den Blitzen liegt der Median der Einzeljahre immer im leicht negativen kA-Bereich. Zudem ist für beide Datensätze eine Vergrößerung der Spannbreite zu verzeichnen, sowohl was die Extreme betrifft als auch den Kern der Daten.

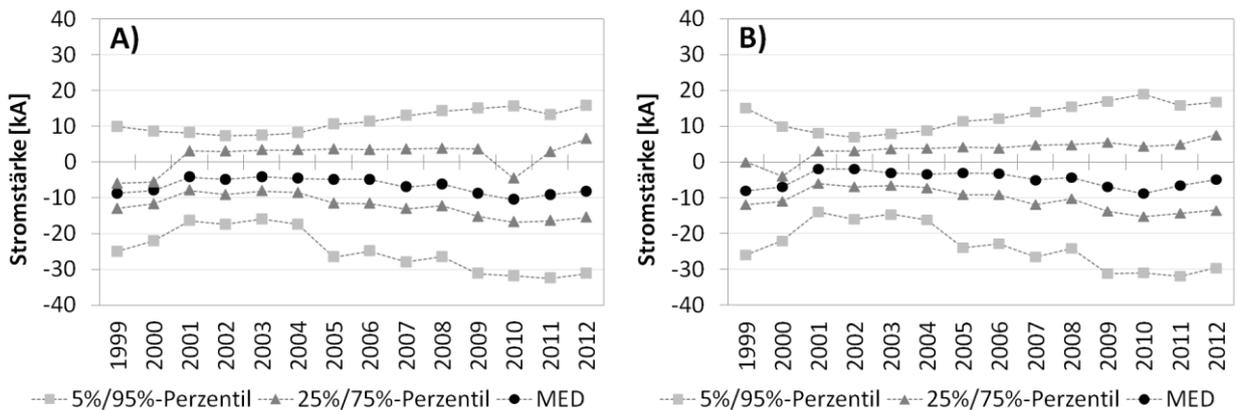
Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Daten der Teilblitze und Blitze sehr ähnlich verteilt sind und somit eine Zusammenfassung von Teilblitzen zu Blitzen gerechtfertigt ist.



**Abbildung 7: Anteil an Wolke-Boden-Teilblitzen (A) und Wolke-Boden-Blitzen (B) pro Monat in Sachsen und Umgebung im Zeitraum 1999–2012**



**Abbildung 8: Anteil an Wolke-Boden-Teilblitzen (A) und Wolke-Boden-Blitzen (B) pro Stunde in Sachsen und Umgebung im Zeitraum 1999–2012**



**Abbildung 9: Statistische Parameter (5 %-, 25 %-, 75 %-, 95 %-Perzentil, Median) der Stromstärke von Teilblitzen (A) und Blitzen (B) in den einzelnen Jahren in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

### 4.3 Statistische Charakterisierung der Blitze in Sachsen

Im Untersuchungszeitraum 1999–2012 ereigneten sich in Sachsen 698.707 Blitze, verteilt über 1.564 Tage. Pro Jahr blitzte es im Mittel rund 46.800-mal (Medianwert), wobei sich die Spanne der jährlichen Blitzanzahl von rund 22.500 (1999) bis 86.000 (2007) erstreckte und somit die zwischenjährliche Variabilität sehr groß war (Faktor  $\approx 4$ ). Im Beobachtungszeitraum blitzte es in Sachsen durchschnittlich an 109 Tagen pro Jahr (Median), wobei die Spanne von 81 bis 143 Tagen pro Jahr reichte. Die Anzahl der Blitze pro Jahr steht dabei nicht in einem direkten Zusammenhang zur Anzahl der Blitztage (Abbildung 10). So verzeichnete beispielsweise das Jahr 2012 die zweitgrößte Blitzanzahl, war dabei jedoch das Jahr mit den zweitwenigsten Blitztagen. Innerhalb des Untersuchungszeitraums ist eine Tendenz zu mehr Blitzen und weniger Blitztagen, also mehr Blitzen pro Blitztag erkennbar. Allerdings lassen sich aus dieser Beobachtung keine verbindlichen Aussagen für die Zukunft ableiten, weil die betrachtete Zeitreihe mit 14 Jahren zu kurz ist. Bezüglich der Blitze im Zeitfenster 1999–2012 deutet sich ein Zyklus von fünf Jahren an (2002, 2007, 2012), mit jeweils maximaler Blitzanzahl. Doch auch diese Beobachtung ist aufgrund des begrenzten Zeitfensters lediglich als Hinweis auf weitere Beobachtungen zu sehen und darüber hinaus nicht seriös interpretierbar.

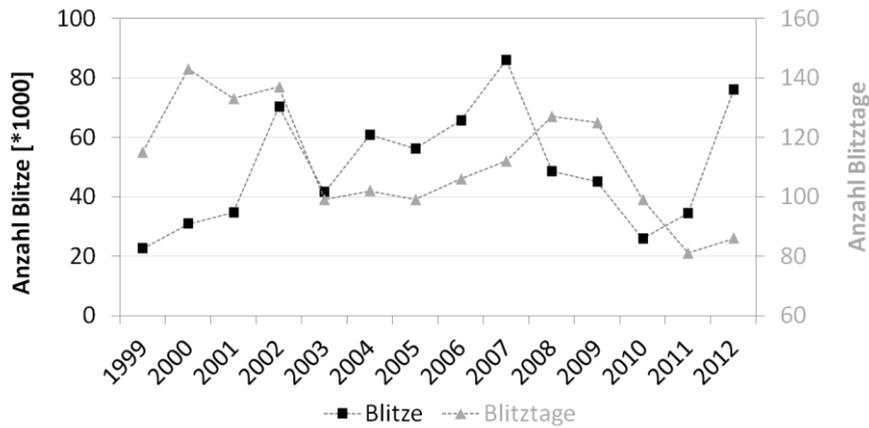


Abbildung 10: Anzahl der Blitze und Blitztage in Sachsen im Zeitraum 1999–2012

### 4.3.1 Blitztage

Die Blitztage lassen sich nach der Anzahl der aufgetretenen Blitze charakterisieren (Abbildung 11). Der Anteil der einzelnen Intensitätsklassen variiert dabei mit den Jahren, wobei Tage mit weniger als drei Blitzen in den meisten Jahren die größte Klasse repräsentieren. Innerhalb des Beobachtungszeitraumes zeigt sich eine Tendenz zur Abnahme der relativen Häufigkeit der Tage mit weniger als drei Blitzen.

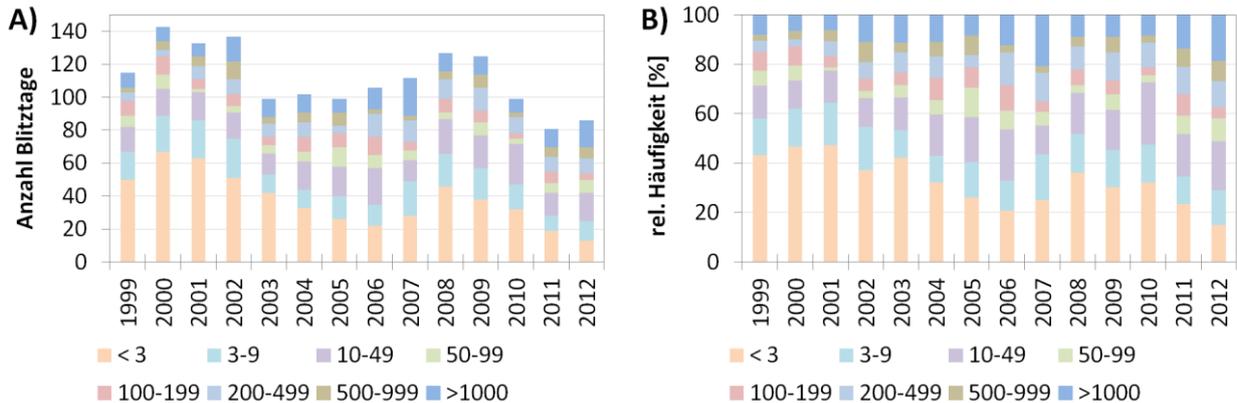


Abbildung 11: Auftreten von Blitztagen mit bestimmter Anzahl von Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012

A) absolute Häufigkeit; B) relative Häufigkeit

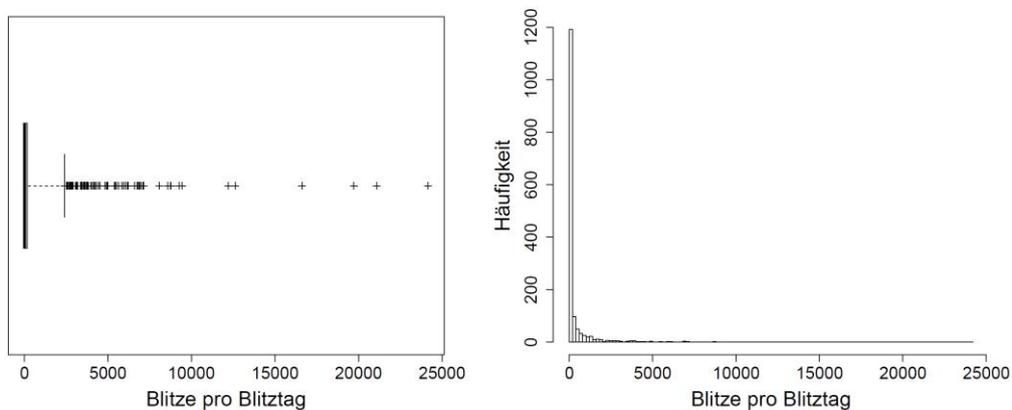
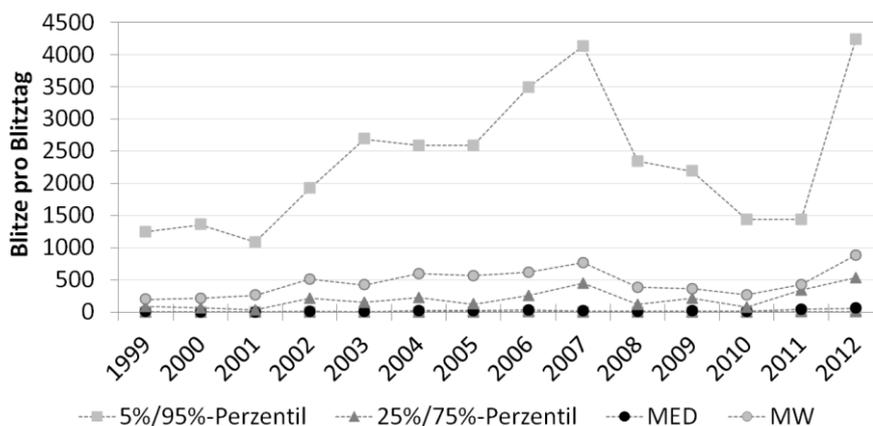


Abbildung 12: Verteilung der Anzahl von Blitzen pro Blitztag in Sachsen im Zeitraum 1999–2012

A) Perzentilbasierter Boxplot, B) Histogramm

Die Verteilung der Anzahl von Blitzen an Blitztagen ist extrem rechtsschief (Abbildung 12). Im Untersuchungszeitraum blitzt es im Mittel (Median) 11-mal pro Blitztag. Dieser Wert schwankt jedoch für die Einzeljahre zwischen 3 (2000 und 2001) und 57 (2012). Obwohl sehr blitzreiche Tage äußerst selten vorkommen, bestimmen diese Tage maßgeblich den Verlauf der Blitzanzahl zwischen den einzelnen Jahren (vgl. Ähnlichkeit der Kurve der Blitze in Abbildung 10 und 95 %-Perzentil-Kurve in Abbildung 13). Die 30 Tage mit der höchsten Blitzanzahl sind in Weil sich die SW-Lagen seit den 1950er-Jahren signifikant relativ erhöht haben (WOLF 2000; HOY et al. 2013), ließe sich hier unter Umständen ein Zusammenhang mit der Zunahme der Blitzereignisse erkennen. Dies ist jedoch wiederum angesichts des begrenzten Zeitfensters der Blitzbeobachtung von nur 14 Jahren weder robust noch vertretbar.

Tabelle 5 aufgeführt. In den Jahre 2002, 2007 und 2012 traten mit jeweils vier Tagen die meisten Tage mit extrem hoher Blitzanzahl auf. Alle 30 Tage lagen in den Monaten Mai bis September, wobei die meisten dieser Tage im Juli (n = 11) und Juni (n = 9) zu verzeichnen waren. Am häufigsten traten diese sehr blitzreichen Tage bei südwestlichem (n = 9) und südlichem Großwettertyp auf (n = 8). Die häufigsten Großwetterlagen dieser blitzreichen Tage waren die zyklonale Südwestlage (n = 7) und der Trog Westeuropa (n = 5). Tage mit extrem hoher Blitzanzahl in Sachsen standen oft in Verbindung mit Unwettern, welche häufig von Starkniederschlag, Hagel, Sturm- bzw. Orkanböen und vereinzelt von Tornados begleitet wurden.



**Abbildung 13: Statistische Charakterisierung der Anzahl von Blitzen an Blitztagen in Sachsen in den Einzeljahren von 1999–2012**

Weil sich die SW-Lagen seit den 1950er-Jahren signifikant relativ erhöht haben (Wolf 2000; Hoy et al. 2013), ließe sich hier unter Umständen ein Zusammenhang mit der Zunahme der Blitzereignisse erkennen. Dies ist jedoch wiederum angesichts des begrenzten Zeitfensters der Blitzbeobachtung von nur 14 Jahren weder robust noch vertretbar.

**Tabelle 5: Die 30 Tage mit der höchsten Anzahl von Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

Blitzanzahl/Tag	Datum	GWL	GWT	Bemerkung*	Quelle
24.158	29/07/2005	SWZ	SW	Superzelle eines Hitzegewitters (nachmittags, mit Extremhagel), Squallline mit Orkanböen und mehreren Tornados	1,2
21.086	20/07/2004	SWZ	SW	schwere Unwetter (Starkregen, Orkanböen)	2
19.720	05/07/2012	TB	S	schwere Gewitter/Unwetter durch Bodentief (erhebliche Überflutungen, Sturmschäden); MCS	1

Blitzanzahl/Tag	Datum	GWL	GWT	Bemerkung*	Quelle
16.617	27/06/2006	SWZ	SW	heftiges Unwetter in Südsachsen (Orkan, Platzregen, Hagel, Tornados); MCS mit Squallinestrukturen	1
12.614	20/06/2002	SWA	SW	gewaltige Squalline	3
12.203	22/05/2007	BM	HM	MCS (große Überschwemmungen, Schlammlawinen)	1
9.445	10/07/2002	SWZ	SW	Derechos in und kräftige Gewitter mit Orkanböen über Dtl.	4
9.257	07/07/2001	SEA	SE	Squalline (Starkregen, Windböen bis 130 km/h, Hagel)	5
8.776	14/05/2007	WZ	W	mögliche Superzelle und Squalline (Hagel, Wolkenbrüche, orkanartige Böen)	1
8.756	25/06/2008	WZ	W	Squalline (heftiger Sturm, Platzregen, Überschwemmungen)	1
8.565	20/07/2007	BM	HM	schwere Gewitter durch Squalline (Sturm, Wolkenbruch)	1
8.082	16/06/2006	BM	HM	Superzellenserie (Starkregen, großer Hagel)	1
7.141	01/08/2002	HNfZ	E		
7.088	08/07/2004	TRW	S	großer MCS (Multizelle mit fast 400 km Durchmesser)	1
6.966	20/08/2012	WZ	W	unwetterartig Gewitter (Sturzregen und Böen bis Bft 11)	6
6.939	24/08/2011	SZ	S	zwei Gewittercluser und mögliche Mesozyklone (heftige Niederschläge, schwerer Sturm); MCS	1
6.869	10/05/2004	TM	TM	2 Tornados in Sachsen	2
6.826	27/07/2003	BM	HM		
6.734	10/09/2002	TB	S	Unwetterartige Gewitter und ergiebiger Regen	7
6.593	21/06/2006	SWZ	SW	mehrere, teils kräftige Gewitter; evtl. leichte Superzelle	1
6.231	11/07/2008	SWZ	SW	Unwetterserie (mehrere, teils schwere Gewitter und Unwetter, in Folge, Hagel, Sturmschäden)	1
6.156	17/07/2010	SWZ	SW	morgendliches MCS	1
6.063	31/05/2008	SEZ	SE	schweres Superzellenunwetter (Großhagel, Überschwemmungen, Sturmschäden)	1
5.920	22/06/2011	WZ	W	Gewitter, gebietsweise Unwetter (Sturm, Starkregen)	1
5.825	25/06/2005	TRW	S	schwerer Hagelsturm durch Wärmegewitter; später Kaltfront durchzug	1
5.622	09/08/2007	TM	TM		
5.513	05/06/2003	SWA	SW		
5.424	19/08/2001	TRW	S		
5.409	02/07/2012	TRW	S	Massives MCS (Starkregen mit Überschwemmungen)	1
5.385	30/06/2012	TRW	S	Hagelunwetter, massives MCS (schwerer Sturm, Wolkenbruch)	1

\* bezogen auf Sachsen, kann aber auch über Sachsen hinausgehen

1 frontgewitter.de, 2 wetteronline.de, 3 wetterzentrale.de, 4 extremwetter.ch, 5 regional-wetter.de, 6 dwd.de, 7 sz-online.de

### 4.3.2 Jahrgang und Tagesgang des Blitzauftretens

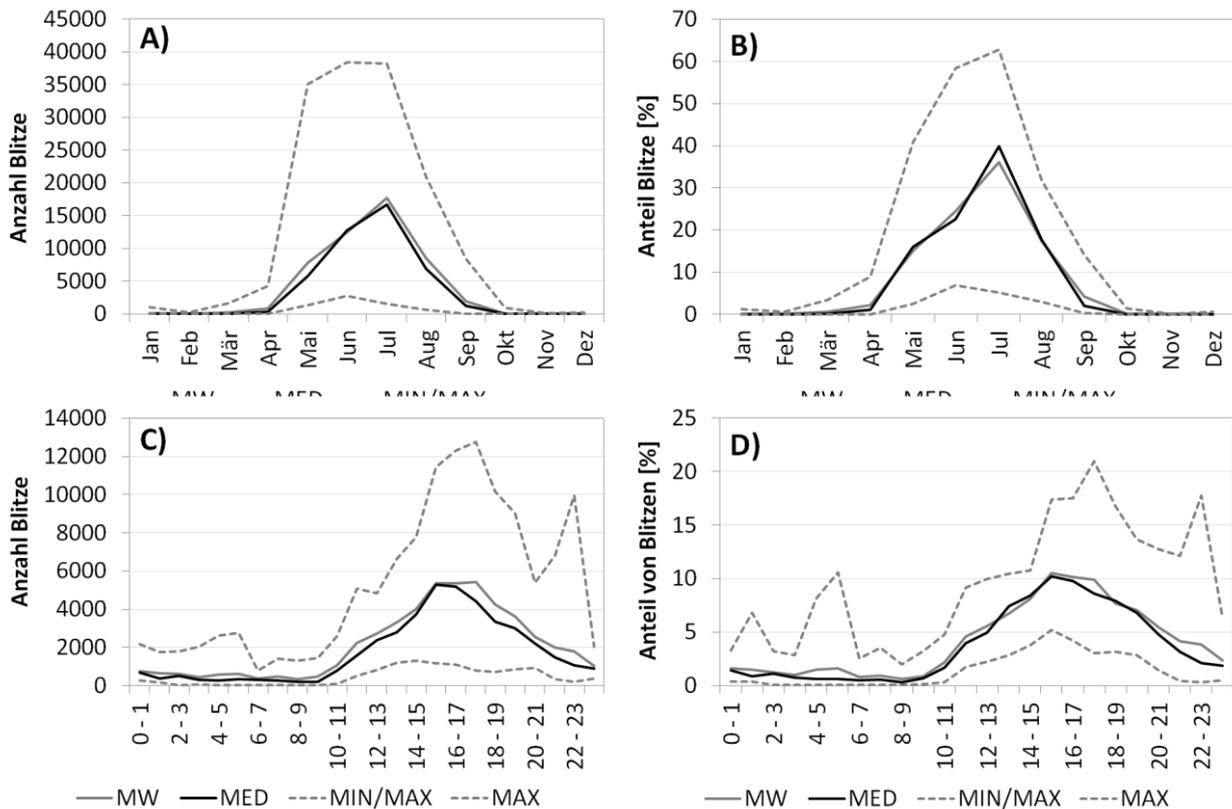
Das Blitzauftreten in Sachsen ist durch einen ausgeprägten Jahres- und Tagesgang (Abbildung 14) geprägt. Im Mittel (MW) treten 93 % aller Blitze eines Jahres in der Zeit von Mai bis August auf, mit einem Maximum im Juli (36 %). In den angrenzenden Monaten April und September sind 2 % bzw. 4 % der Blitze zu verzeichnen, in den übrigen Monaten tritt jeweils weniger als 1 % der Blitze eines Jahres auf. Diese Verteilung hebt die Bedeutung der Sonnenstrahlung für die Bildung von Tiefenkonvektion (*deep convection*) und damit auch die

für die Bildung von Gewittern hervor (SCHULZ et al. 2005). Die Schwankungsbreite der Blitzfrequenz in den einzelnen Monaten zwischen den Jahren ist groß. Dabei ist der Variationskoeffizient in den Monaten mit geringem mittlerem Blitzanteil (z. B. Februar: 95 %) deutlich größer als in Monaten mit einem hohen mittleren Blitzaufkommen (z. B. Juli: 17 %); ein Effekt der absoluten Zahl. Die Kurve aus den Monatsmaxima der Einzeljahre (Abbildung 14 A und B) zeigt nicht die Dreiecksform der Median- und Mittelwertkurve, sondern verläuft eher in einer Glockenform mit einem breiteren Maximum-Bereich (Mai bzw. Juni bis Juli). Das Maximum der Minimumkurve ist dagegen vom Juli in den Juni verschoben.

Maximalwerte der Einzelmonate stehen häufig im Zusammenhang mit bestimmten Einzeltagen. So beträgt beispielsweise der Maximalwert für den Januar 1.061 Blitze (Mittelwert: 94). Diese große Zahl liegt im Durchzug des Orkans Kyrill begründet, der am 18.01.2007 zu 1.049 Blitzen in Sachsen führte. Auch einige in der Weil sich die SW-Lagen seit den 1950er-Jahren signifikant relativ erhöht haben (WOLF 2000; HOY et al. 2013), ließe sich hier unter Umständen ein Zusammenhang mit der Zunahme der Blitzereignisse erkennen. Dies ist jedoch wiederum angesichts des begrenzten Zeitfensters der Blitzbeobachtung von nur 14 Jahren weder robust noch vertretbar.

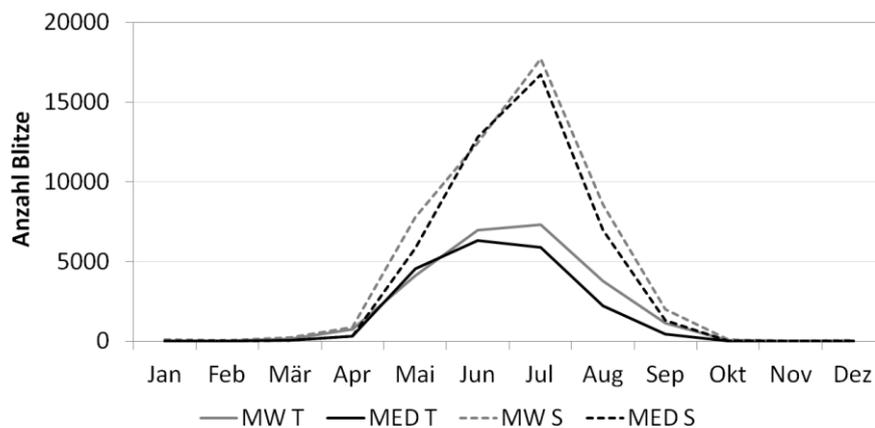
Tabelle 5 aufgeführten extremen Bliztage führten zu Monatsmaxima, so zum Beispiel am 14. und am 22.05.2007 (zusammen 60 % aller Blitze im Mai 2007), am 20.07.2004 (55 % aller Blitze im Juli 2004) und am 10.09.2002 (80 % aller Blitze im September 2002). Eine höhere Differenzierung ist möglich, jedoch wegen der sehr hohen interannuellen Schwankungen nicht zielführend. Sinnvolle Analysen scheinen daraus nicht ableitbar zu sein, deshalb die Beschränkung auf die hier dargestellte Sichtweise.

Ein ähnlicher Jahresgang der Blitzfrequenz wie in Sachsen wurde auch in anderen Regionen beschrieben. Im Zeitraum 2000–2009 traten in Thüringen im Mittel 92 % aller Blitze in den Monaten Mai bis August auf (FIEDLER 2012). Im Unterschied zu Sachsen verlaufen die Mittelwert- und Mediankurven jedoch nicht in einer Dreiecksform mit ausgeprägtem Maximum im Juli, sondern sie weisen eher eine Glockenform mit einem breiten Maximum von Juni bis Juli auf (Abbildung 15). In Süddeutschland traten im Zeitraum von 1992–1994 im Mittel 95 % aller Teilblitzereignisse in den Monaten Mai bis August mit einem Maximum von Juli bis August auf (FINKE & HAUF 1996). Die Autoren bezeichnen den starken Rückgang der Blitzfrequenz nach August als Ende der Gewitterperiode und weisen darauf hin, dass die letzten Gewitter im September typischerweise durch einen abrupten Wechsel in den synoptischen Wetterbedingungen hervorgerufen werden. SCHULZ et al. (2005) untersuchten Wolke-Bodenblitze (CG-Blitze) in Österreich im Zeitraum 1992–2001. Auch hier traten die meisten Blitze von Mai bis August mit einem Maximum im Juli auf, wobei 96 % der mittleren monatlichen Blitzanzahl von Mai bis September registriert wurden. Alle drei genannten Studien weisen zudem auf die hohe zwischenjährige Variabilität der Blitzfrequenz hin. Auch ein so großes Gebiet wie die kontinentalen USA zeigen einen ähnlichen Jahresgang der CG-Blitzhäufigkeit im Untersuchungszeitraum 1989–1998 mit einem deutlichen Maximum im Juli und einem Minimum im Dezember (ORVILLE & HUFFINES 2001).



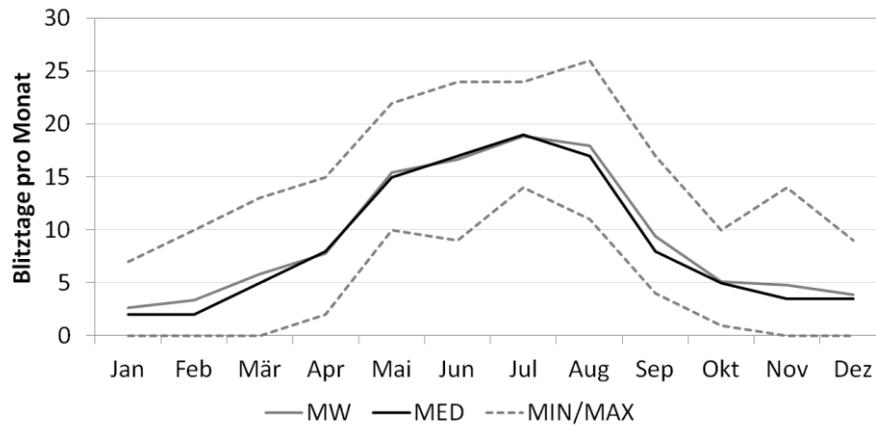
**Abbildung 14: Zeitliche Verteilung der Blitze in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

A) Jahrgang als absolute Häufigkeit, B) Jahrgang als relative Häufigkeit, C) Tagesgang als absolute Häufigkeit, D) Tagesgang als relative Häufigkeit



**Abbildung 15: Jahrgang der Blitzfrequenz in Thüringen (T, 2000–2009; Daten aus FIEDLER 2012) und Sachsen (S, 1999–2012)**

Die Häufigkeit der Blitztage zeigt über das Jahr gesehen einen ähnlichen Verlauf wie der Jahrgang der Blitzfrequenz (Abbildung 16). Nach dem winterlichen Minimum im Januar (2,6 Blitztage) steigt die mittlere Häufigkeit von Blitztagen bis zum Maximum im Juli (18,9 Blitztage) an, um dann im August langsam und ab September deutlich abzufallen. Die Minimum- und Maximumkurve in Abbildung 16 zeigen wieder den Schwankungsbereich zwischen den einzelnen Jahren an.



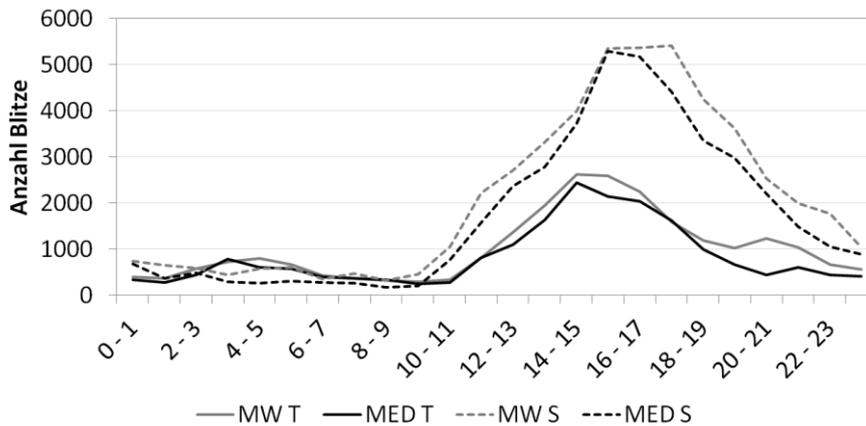
**Abbildung 16: Jahresgang der Häufigkeit von Blitztagen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

Der Tagesgang der Blitzhäufigkeit in Sachsen (Abbildung 14 C + D) zeigt einen typischen Verlauf. Ab 10:00 Uhr steigt die Blitzfrequenz stark bis zu einem Maximum am späten Nachmittag an, um anschließend langsam bis zum morgendlichen Minimum abzufallen. Im Untersuchungszeitraum traten von 10:00 bis 24:00 Uhr im Mittel (MW) 88 % aller Blitze auf. Während des Maximums von 15:00 bis 18:00 Uhr wurden pro Stunde jeweils 10–11 % aller Blitze registriert und während des Minimums von 06:00 bis 10:00 Uhr pro Stunde jeweils < 1 % aller Blitze.

Der steile Anstieg der Blitzaktivität bis zum Nachmittag ist stark mit der täglichen strahlungsbedingten Erwärmung der atmosphärischen Grenzschicht und der Entwicklung oberflächennaher Konvektion verbunden. Diese Verknüpfung zum Erwärmungszyklus verschwindet im Verlauf des Tages, weil sich nach der ersten Initiierung von Gewittern weitere Gewitter auch durch andere Prozesse bilden können. Der langsame Rückgang von Blitzen am späten Nachmittag spiegelt die Variation in der Lebenszeit von Gewittern wider. Das Minimum in den Morgenstunden repräsentiert den Beitrag von Frontgewittern zum Blitzauftreten. Frontgewitter treten in etwa gleichmäßig über den Tag verteilt auf, erscheinen jedoch in der genannten Tageszeit als einzige Blitzquelle aufgrund der Abwesenheit konvektiv-bedingter Gewitter (FINKE & HAUF 1996).

Die Schwankungsbreite der Blitzanteile zwischen den Jahren ist wie im Jahresgang sehr ausgeprägt. Der Variationskoeffizient ist beispielsweise von 05:00 bis 06:00 Uhr und von 22:00 bis 23:00 Uhr am höchsten (137 %) und von 14:00 bis 15:00 Uhr am niedrigsten (46 %) – wiederum Effekt der jeweiligen Datendichte. Die Verteilung der Maxima und Minima aller Jahre folgt in etwa den Median- und Mittelwertkurven. Die Stunde mit dem größten Anteil an Blitzen ist bei der Maximumkurve zeitlich nach hinten (18:00 bis 19:00 Uhr) verschoben. Spitzen im Verlauf der Maximumkurve stehen im Zusammenhang mit speziellen Einzeltagen. Beispielsweise ereigneten sich 97 % aller Blitze am 06.07.1999 in der Zeit von 01:00 bis 02:00 Uhr, 97 % aller Blitze am 17.07.2010 in der Zeit von 05:00 bis 06:00 Uhr und 94 % aller Blitze am 29.07.2005 in der Zeit von 22:00 bis 23:00 Uhr.

Der Tagesgang der Blitzfrequenz in Sachsen zeigt prinzipiell einen ähnlichen Verlauf wie die Blitzfrequenz in Thüringen (FIEDLER 2012), Süddeutschland (FINKE & HAUF 1996) und Österreich (SCHULZ et al. 2005). Im Vergleich mit Sachsen erscheint das Maximum des Tagesganges in Thüringen (2000–2009) zeitlich um eine Stunde nach vorn verlagert und das Minimum dauert bis 11:00 Uhr (Abbildung 17). Eine weitere Besonderheit ist ein sekundäres Maximum in Thüringen in den frühen Morgenstunden von 02:00 bis 06:00 Uhr.



**Abbildung 17: Tagesgang der Blitzfrequenz in Thüringen (T, 2000–2009; Daten aus FIEDLER 2012) und Sachsen (S, 1999–2012)**

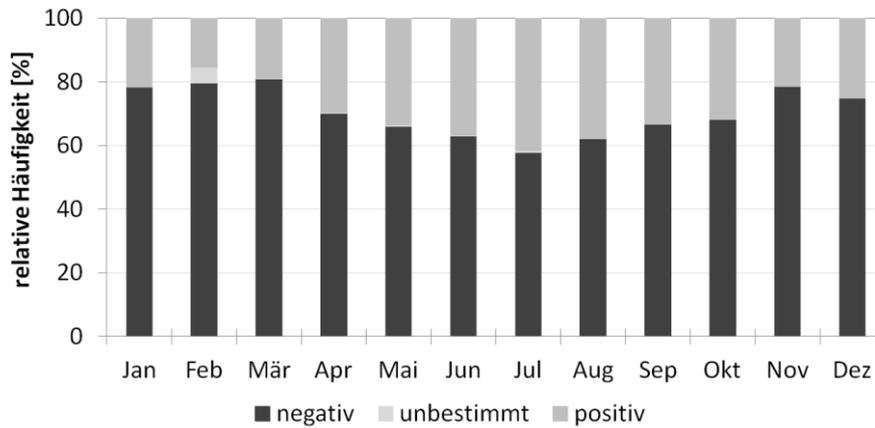
In Süddeutschland (1992–1994) steigt die Blitzfrequenz von einem morgendlichen Minimum zwischen 07:00 und 10:00 Uhr steil an bis zu einem Maximum um 16:00 Uhr, danach sinkt die Häufigkeit wieder langsam (FINKE & HAUF 1996). Als Besonderheit heben die Autoren ein sekundäres Maximum zwischen 20:00 und 24:00 Uhr hervor, das mit langlebigen Gewittern in Zusammenhang gebracht wird. In Österreich (1992–2001) steigt die Frequenz von Wolke-Boden-Blitzen von 10:00 Uhr bis zu einem Maximum bei etwa 16:00 Uhr an, um danach wieder langsam abzufallen bis zum Minimum bei 09:00 Uhr (SCHULZ et al. 2005). Die Autoren weisen darauf hin, dass die Form des Tagesgangs der Blitzhäufigkeit fast identisch für die konvektive und nicht konvektive Jahreszeit ist, obwohl die Blitzfrequenz in der konvektiven Saison etwa 25-mal höher ist. Zudem konnten sie kein wie in FINKE & HAUF (1996) beschriebenes sekundäres Maximum feststellen, auch wenn sie die Daten in der gleichen Weise dargestellt hatten.

## 4.4 Charakterisierung der Stromstärke von Blitzen

In diesem Kapitel wird die Stromstärke der in Sachsen von 1999–2012 registrierten Blitze näher betrachtet. Teilblitze können entweder eine positive oder negative Stromstärke aufweisen. Generell können positive Blitze deutlich höhere Stromstärken aufweisen ( $\leq 300$  kA) als negative Blitze ( $\approx 20$  kA) und damit auch größere Schäden. Wie in Kap. 3.2.2 beschrieben, wurde den Blitzen in dieser Arbeit die Stromstärke des ersten Teilblitzes zugeordnet. Im Folgenden werden zunächst die Stromstärken aller Blitze und anschließend die Stromstärkenextreme charakterisiert.

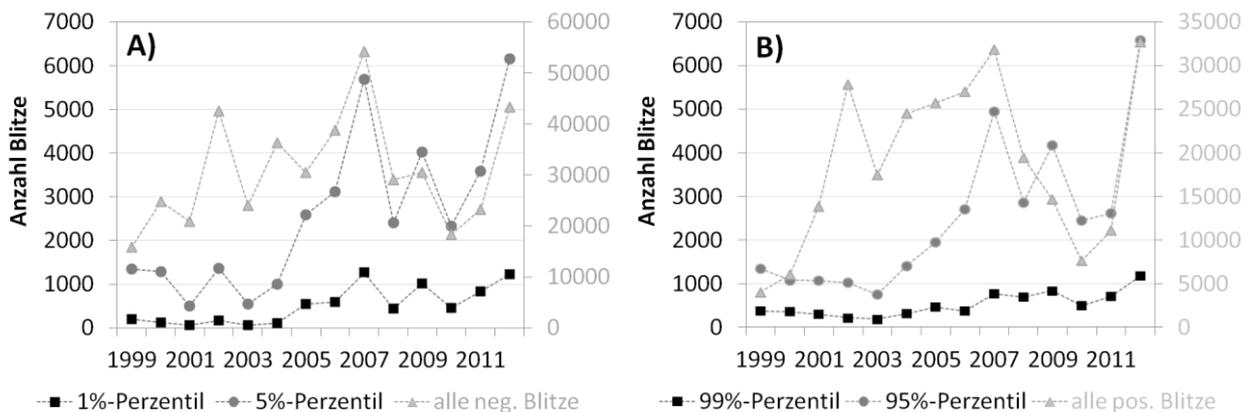
### 4.4.1 Allgemeine Beschreibung

Im Untersuchungszeitraum wiesen rund 38 % aller Blitze eine positive Stromstärke auf, der Mittelwert der Einzeljahre schwankte zwischen 18 % (1999) und 46 % (2005). Der Anteil an positiven Blitzen variierte dabei im Jahresverlauf (Abbildung 18) und lag in den wärmeren Monaten höher (Maximum im Juli) als in den kühleren Monaten (Minimum im Februar).



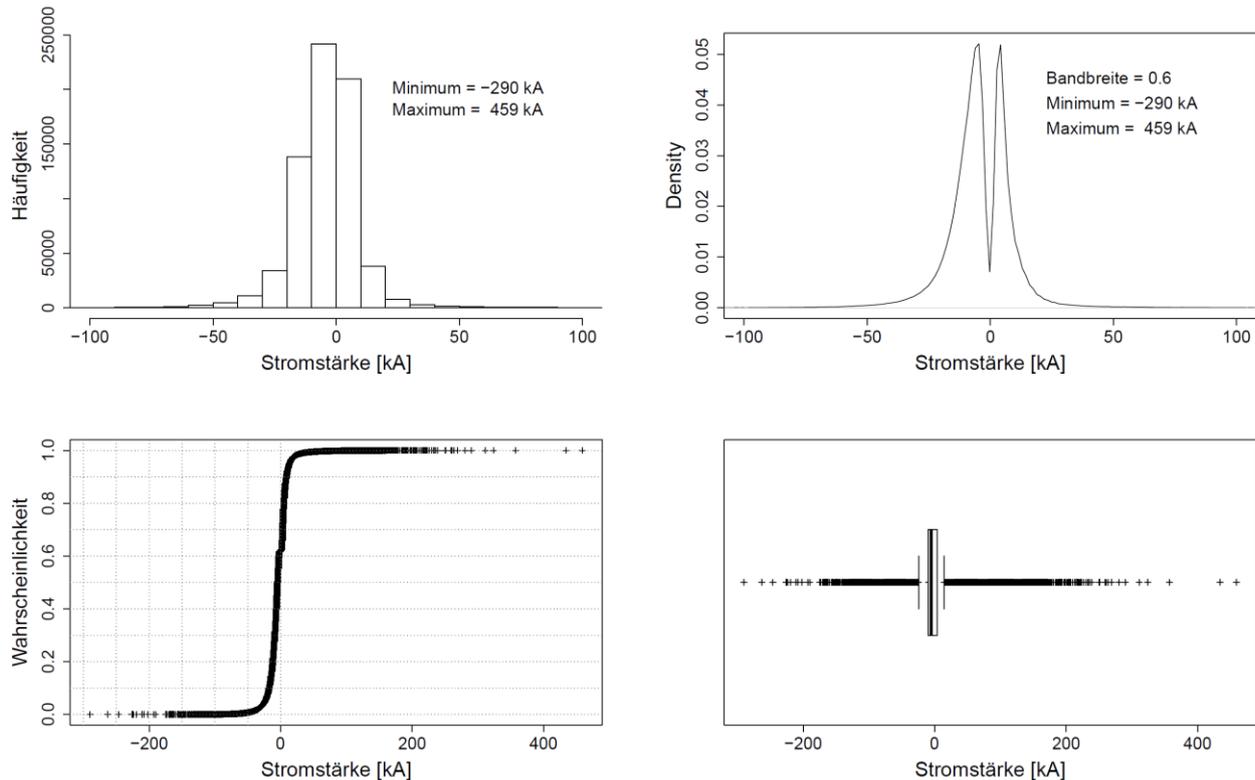
**Abbildung 18: Monatliche Verteilung der Blitzpolarität in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

In Abbildung 19 ist die Anzahl negativer und positiver Blitze in den einzelnen Jahren von 1999–2012 dargestellt. Wie erwartet, zeigen sich bei der Betrachtung aller negativen bzw. positiven Blitze deutliche Schwankungen zwischen den Jahren (Faktor  $\approx 2$ ). Die Anzahl von Blitzen, die eine Stromstärke kleiner/gleich dem 5 %-Perzentil bzw. größer/gleich dem 95 %-Perzentil aufweisen, war in der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraumes deutlich geringer als in der zweiten Hälfte. Gleiches gilt für Blitze kleiner/gleich dem 1 %-Perzentil bzw. größer/gleich dem 99 %-Perzentil der Stromstärke. Die Tendenz (Zunahme oder Abnahme) der Entwicklung von einem zum anderen Jahr ist meistens in allen drei Datenkollektiven gleich – sowohl für die negativen als auch für die positiven Blitze.



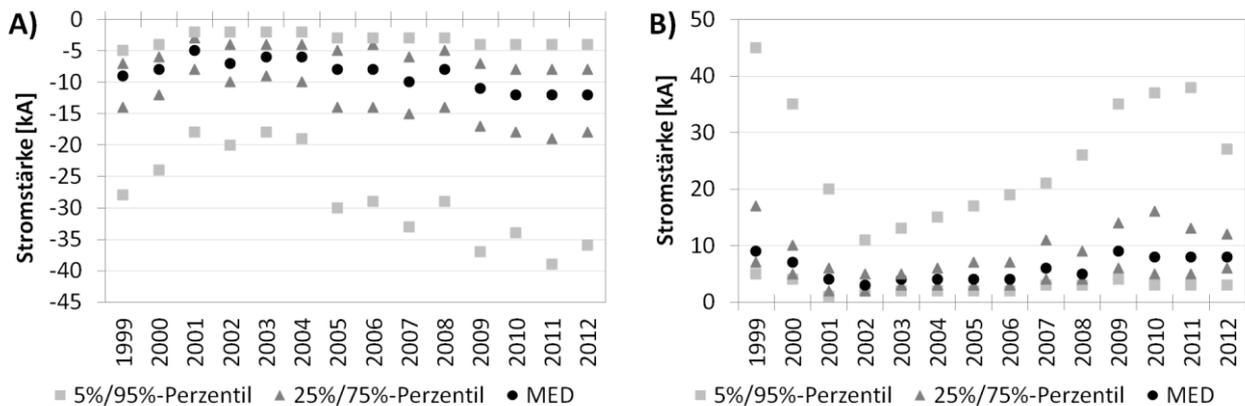
**Abbildung 19: Anzahl der Blitze mit negativen (A) und positiven Stromstärken (B) in Sachsen in den Jahren 1999–2012**

Über den gesamten Untersuchungszeitraum lag der Mittelwert der Stromstärke bei  $-3,9$  kA (MED:  $-5,0$  kA). Für die positiven Blitze betrug der Mittelwert  $8,4$  kA (MED:  $5,0$  kA) und für die negativen Blitze bei  $-11,4$  kA (MED:  $-9,0$  kA). Die Verteilung der Stromstärke aller Blitze in Sachsen im Untersuchungszeitraum ist in Abbildung 20 mit verschiedenen Diagrammen gezeigt. Die bimodale Verteilung ist vor allem in der Dichtespur gut erkennbar. In allen Darstellungen wird deutlich, dass der Großteil der Blitze eine Stromstärke im geringen (positiven oder negativen) kA-Bereich aufweist. Die extremste negative Stromstärke lag bei  $-290$  kA und die extremste positive bei  $459$  kA.



**Abbildung 20: Verteilung der Stromstärke [kA] aller Blitze in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

A) Histogramm, B) Dichtespur, C) empirische kumulative Verteilungsfunktion, D) Perzentilbasierter Boxplot (Median, 25 %- und 75 %-Perzentil für die Box, 5 %- und 95 %-Perzentil für die Whisker)



**Abbildung 21: Statistische Parameter der Stromstärke (5 %-, 25 %-, 75 %-, 95 %-Perzentil, MED) von Blitzen mit negativer Stromstärke (A) und positiver Stromstärke (B) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

Die Verteilung der Stromstärke von negativen und positiven Blitzen in den einzelnen Jahren wird in Abbildung 21 gezeigt. Bei den negativen Blitzen ist ab 2003 ein fast stetiges Absinken aller gezeigten Parameter (MED, 5 %-, 25 %-, 75 %, 95 %-Perzentil) der Stromstärke zu verzeichnen. Gleichzeitig gibt es eine Tendenz der Zunahme der Spannbreite, sowohl für den Kern der Daten (zwischen 25 %- und 50 %-Perzentil), doch vor allem für die Extrembereiche. Bei den positiven Stromstärken sind ähnliche Entwicklungen zu beobachten. Bis 2002 sinken der Wert der statistischen Parameter und auch die Spannbreite der Daten. Danach nehmen die Werte der statistischen Parameter und die Spannbreite der Daten wieder mehr oder weniger kontinuierlich zu.

Die Ermittlung der Stromstärke von (Teil-)Blitzen ist deutlich schwieriger als deren Lokalisierung und geht mit größeren Unsicherheiten einher. Deshalb sind die resultierenden Stromstärken mit mehr Vorsicht zu interpretieren (FINKE & HAUF 1996). Ein Vergleich der Stromstärkenstatistik zwischen unterschiedlichen Netzwerken und vor allem verschiedenen Lokalisierungsmethoden setzt das Wissen der Systemparameter voraus (FINKE & HAUF 1996). Zudem können Qualitätsverbesserungen innerhalb eines Systems, wie sie beispielsweise für BLIDS stattgefunden haben, die Blitzstatistik einzelner Jahre verändern (SCHULZ & DIENDORFER 2005). Daher sollen die im Folgenden aufgeführten Stromstärkeparameter anderer Studien vor allem Orientierung geben und Unterschiede in absoluten Werten, insbesondere bei unterschiedlichen Systemen und sich stark unterscheidenden Untersuchungszeiträumen, nicht überbewertet werden.

In der Studie von FINKE & HAUF (1996) zu Süddeutschland (1992–1994) wiesen 5,1 % aller Return-Teilblitze eine positive Stromstärke auf. SCHULZ et al. (2005) berichteten einen Anteil von 17 % positiver CG-Blitze für Österreich (1992–2001) und ORVILLE & HUFFINES (2001) einen Anteil von 3 % im Jahr 1989 bis etwa 9 % im Jahr 1998 an positiven CG-Blitzen für das kontinentale Gebiet der USA (1989–1998). ORVILLE & HUFFINES (2001) erklären den Anstieg des Anteils positiver CG-Blitze im Verlauf des Untersuchungszeitraums mit einer Verbesserung des Erfassungsvermögens des Sensors. Auch SCHULZ et al. (2005) führen den Anstieg des Anteils positiver Blitze in ihrem Untersuchungszeitraum auf Veränderungen bei den Instrumenten und Berechnungsmethoden sowie die Eingliederung in das europäische Blitzortungssystem (EUCLID) zurück. Neben den zwischenjährlichen Schwankungen des Anteils positiver CG-Blitze haben ORVILLE & HUFFINES (2001) auch starke Variationen des Anteils positiver CG-Blitze innerhalb des Untersuchungsgebietes beobachtet (0 bis > 20 %). In allen drei genannten Studien liegt der Anteil positiver Entladungen deutlich unter den in dieser Arbeit für Sachsen beobachteten 38 %. Mögliche Ursachen sind neben einer tatsächlich anderen Blitzcharakteristik der deutlich aktuellere Untersuchungszeitraum und dem damit verbesserten Messsystem sowie die Analyse des gesamten Blitzdatensatzes für Sachsen (und nicht nur der CG-Blitze bzw. der Teilblitze).

Ein weiterer deutlicher Unterschied zwischen der Blitzstudie für Sachsen und den Studien von FINKE & HAUF (1996), ORVILLE & HUFFINES (2001) und SCHULZ et al. (2005) besteht in der Variation des mittleren monatlichen Anteils positiver (Teil-)Blitze. Während in Sachsen dieser Anteil in den wärmeren Monaten am größten ist, zeigen die anderen Studien ein Minimum im Sommer und ein Maximum im Winter. FINKE & HAUF (1996) erklären den größeren Anteil an positiven Teilblitzen in den kühleren Monaten mit der oft gescherten Atmosphäre (*sheared environment*) und geringeren Höhe der Gewitter zu dieser Zeit und der damit verbundenen höheren Wahrscheinlichkeit, dass positive Streamer aus dem oberen positiv geladenen Wolkenteil den Erdboden erreichen können (z. B. BROOK et al. 1982; TAKAGI et al. 1986 in FINKE & HAUF 1996). ORVILLE & HUFFINES (2001) weisen jedoch darauf hin, dass zum Zeitpunkt ihrer Studie der Grund für die innerjährlichen Schwankungen des Anteils positiver GC-Blitze noch nicht geklärt ist.

Der Stromstärkenmittelwert aller negativen Teilblitze in der Studie von FINKE & HAUF (1996) lag bei -25,5 kA (MED: -22 kA) und der aller positiven Teilblitze bei 32,6 kA (MED: 19 kA). Der Median der negativen Stromspitzen in den USA betrug -30 kA für das Jahr 1989 und sank stetig in seinem Betrag bis etwa -20 kA im Jahr 1998 (ORVILLE & HUFFINES 2001). Ebenso sank der Median der positiven Stromspitzen eines Jahres von 55 kA (1989) bis etwa 22 kA (1998). Auch SCHULZ et al. (2005) berichteten ein Absinken des Medianwertes der Stromspitzen im Verlauf des Untersuchungszeitraumes sowohl für negative als auch positive GC-Blitze, wobei der Rückgang für die positiven Blitze ausgeprägter war. Im Jahr 2001 lag der Median des Spitzenstroms für negative und positive Blitze bei etwa  $\pm 10$  kA. Die Autoren führen das Absinken des Medianwertes des Spitzenstroms auf eine Verbesserung der Netzwerkleistung, die Veränderung des Zuweisungskriteriums für die Blitzamplitude und Unterschätzung von Ausbreitungseffekten (*propagation effects*) seit der Eingliederung in

EUCLID 1998 zurück. Die im Vergleich mit anderen Netzwerken niedrigeren mittleren Stromstärken werden z. T. einer insgesamt besseren Detektionseffizienz des ALDIS-Netzwerkes zugeschrieben.

#### 4.4.2 Extreme der Stromstärke

Die folgenden Auswertungen extremer Stromstärken betrachten das Auftreten von Blitzen eines festgelegten Stromstärkebereichs. Die Einteilung erfolgt nach KLOSE (2008), der Superblitze als Blitze mit einer Stromstärke von 150–300 kA und solche mit einer Stromstärke von 300–500 kA als Megablitz bezeichnet. Analog zu KLOSE (2008) wurden hier auch negative Blitze klassifiziert, nur mit negativem Vorzeichen. Zudem wurden Blitze als extrem klassifiziert, wenn ihre Stromstärke unterhalb (negatives Extrem) oder oberhalb (positives Extrem) eines Schwellenwertes lag, der anhand bestimmter Perzentile des Gesamtblitzdatensatzes von Sachsen festgelegt wurde. Konkret wurden folgende Kriterien angewandt:

- $I \leq -24$  kA (n = 35.969) → extrem negative Blitze entsprechend dem 5 %-Perzentil
- $I \geq 14$  kA (n = 35.012) → extrem positive Blitze entsprechend dem 95 %-Perzentil
- $I \leq -45$  kA (n = 7.125) → extrem negative Blitze entsprechend dem 1 %-Perzentil
- $I \geq 33$  kA (n = 7.302) → extrem positive Blitze entsprechend dem 99 %-Perzentil

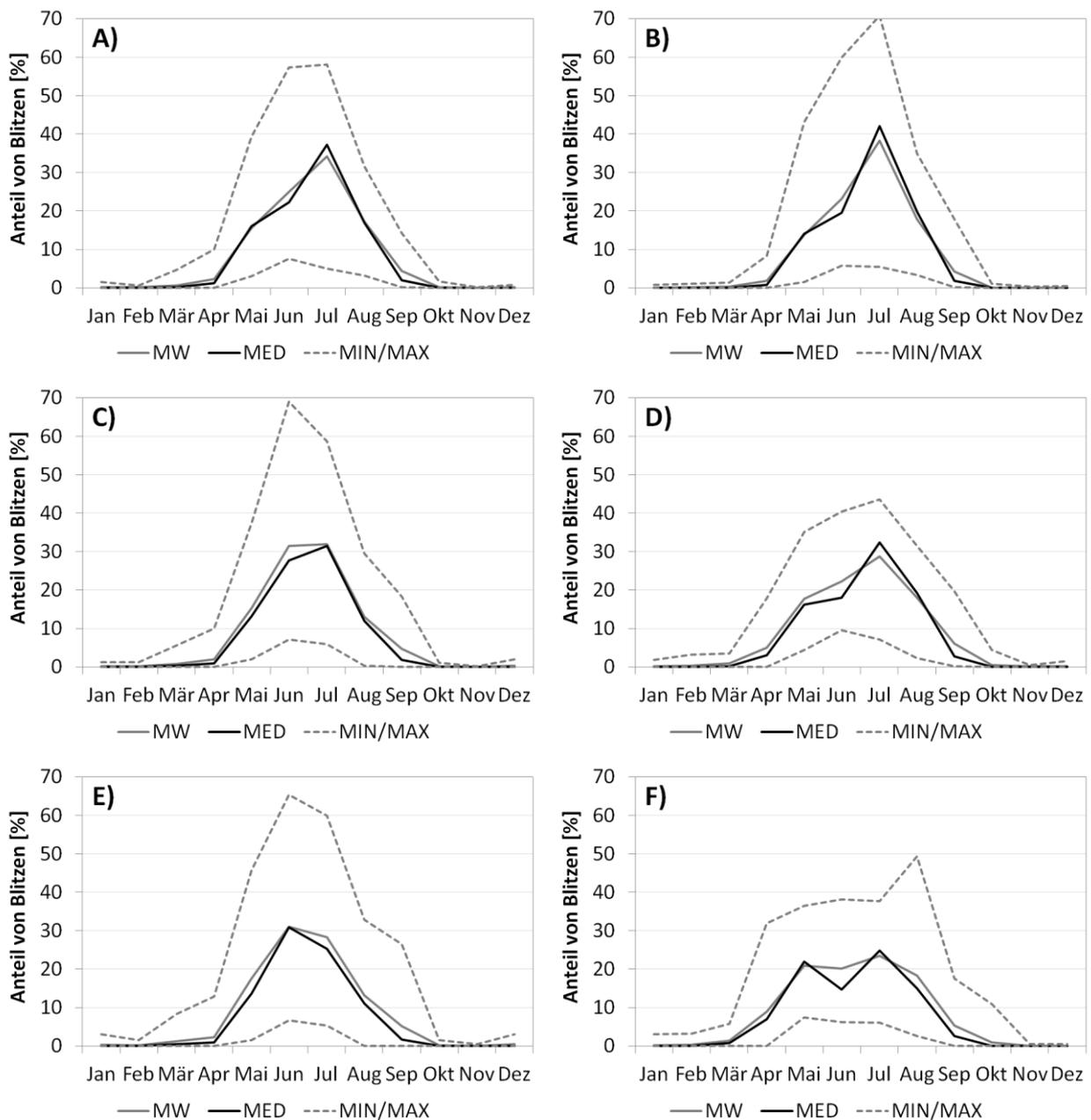
Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Anzahl positiver und negativer Super- und Megablitzes sowie über die höchste positive und kleinste negative aufgetretene Stromstärke in den Einzeljahren in Sachsen. Die Anzahl positiver und negativer Superblitze nimmt im Verlauf des Untersuchungszeitraumes tendenziell zu. Positive Megablitzes treten in der Mehrzahl der Jahre nicht auf und negative Megablitzes werden von 1999–2012 in Sachsen gar nicht registriert.

**Tabelle 6: Anzahl von Super- und Megablitzen sowie maximale und minimale registrierte Stromstärke in Sachsen in den Einzeljahren 1999–2012**

Jahr	max. pos. I [kA]	pos. Superblitz	pos. Megablitz	min. neg. I [kA]	neg. Superblitz
1999	193	8	0	-109	0
2000	171	3	0	-175	1
2001	170	2	0	-100	0
2002	165	1	0	-109	0
2003	163	3	0	-76	0
2004	236	4	0	-224	1
2005	459	13	1	-151	2
2006	218	13	0	-169	1
2007	206	13	0	-208	6
2008	434	37	2	-226	2
2009	290	21	0	-290	9
2010	207	10	0	-162	4
2011	357	22	1	-190	7
2012	311	29	1	-263	15

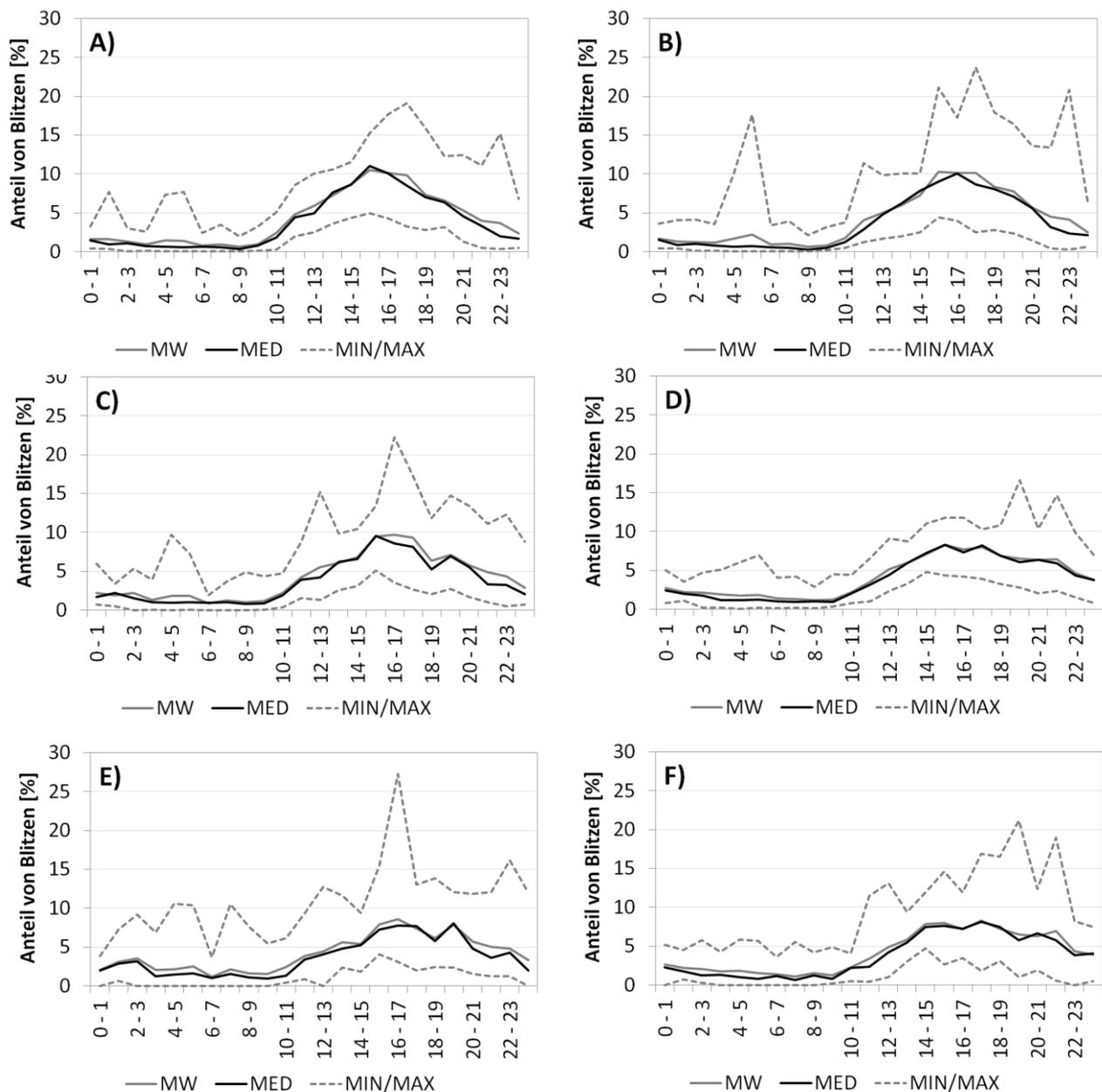
Der Jahresgang von allen Blitzen mit positiver und negativer Stromstärke sowie der perzentilbasierten Extreme ist in Abbildung 22 dargestellt. Die Median- und Mittelwertkurven alle Blitze mit positiver oder negativer Polarität sind sehr ähnlich, wobei der relative Anteil des Julimaximums bei den negativen Blitzen etwas höher

liegt. Der Jahresgang von Blitzen, deren Stromstärke kleiner/gleich dem 5 %- bzw. 1 %-Perzentil ist, zeigt gegenüber dem Jahresgang aller negativen Blitze leichte Veränderungen. Statt eines ausgeprägten Maximums der Median-/Mittelwertkurve im Juli zeigt sich bei den negativen Extremen ein breites Maximum von Juni bis Juli, welches bei den 1 %-Perzentil-Daten sogar mehr im Juni liegt. Zudem weichen Median und Mittelwert mehr voneinander ab. Diese stärkere Abweichung von Median und Mittelwert lässt sich auch bei den Jahresgängen der positiven Extreme beobachten. Auch bei den Blitzen, die eine Stromstärke von größer/gleich dem 95 %- bzw. 99 %-Perzentil aufweisen, zeigt sich eine Verbreitung des sommerlichen Maximums, die sich bei den 99 %-Perzentil-Daten von Mai bis Juli erstreckt. Auch der April zeigt eine höhere Blitzhäufigkeit, wenn nur Blitze mit positiven Stromstärkenextremen betrachtet werden.



**Abbildung 22: Jahresgang der Blitzfrequenz von negativen (links) und positiven Blitzen (rechts) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

A + B) alle Blitze, C + D) Blitze  $\leq 5\%$ - bzw.  $\geq 95\%$ -Perzentil der Stromstärke, E + F) Blitze  $\leq 1\%$ - bzw.  $\geq 99\%$ -Perzentil der Stromstärke



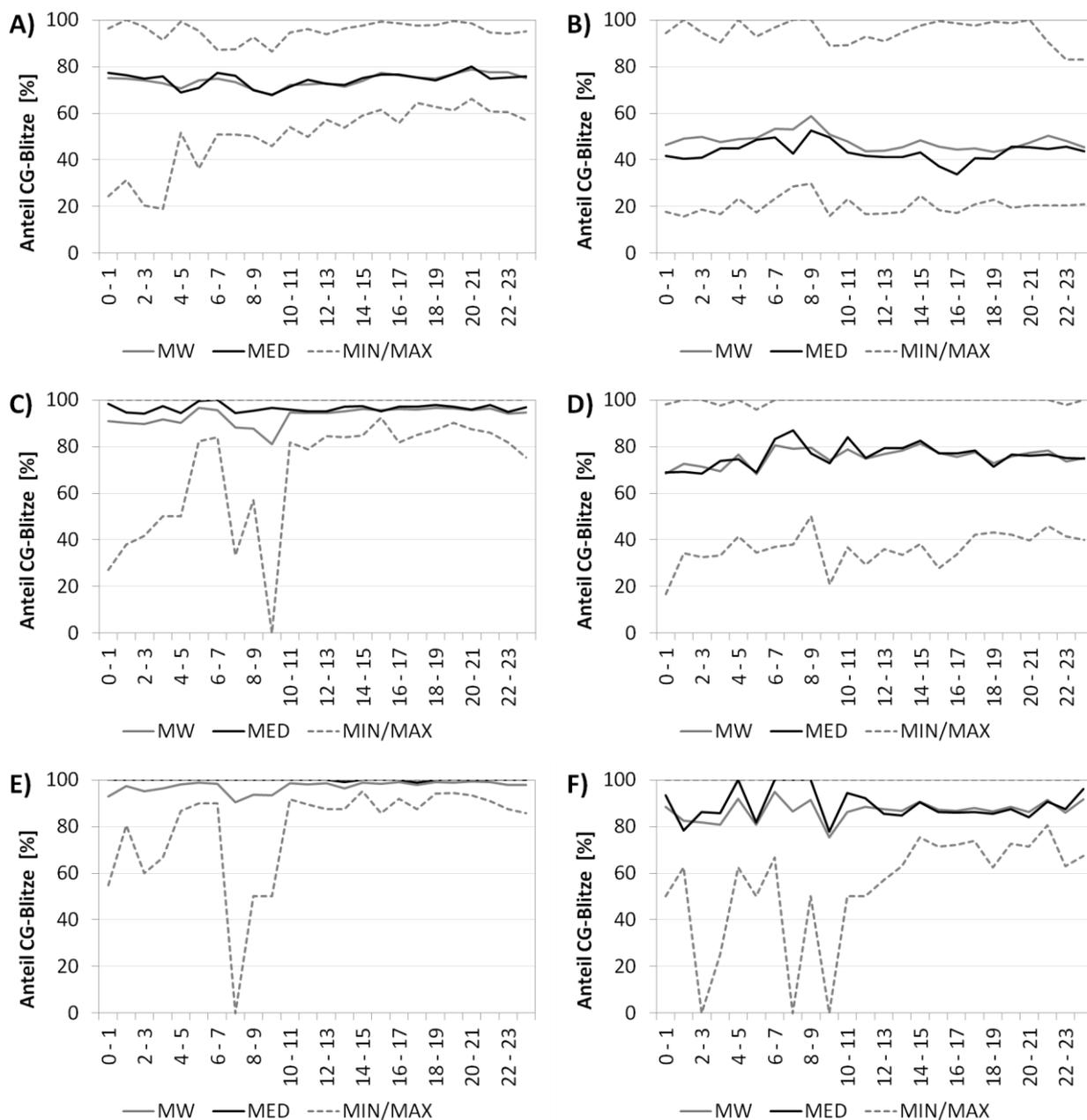
**Abbildung 23: Tagesgang der Blitzfrequenz von negativen (links) und positiven Blitzen (rechts) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

A + B) alle Blitze, C + D) Blitze  $\leq 5\%$ - bzw.  $\geq 95\%$ -Perzentil, E + F) Blitze  $\leq 1\%$ - bzw.  $\geq 99\%$ -Perzentil

Der Tagesgang der Blitzhäufigkeit (Median-/Mittelwertkurve) wird für alle positiven und negativen Blitze sowie für Blitze mit extremer Stromstärke in Abbildung 23 dargestellt. Der generelle Verlauf der Blitzhäufigkeit ähnelt sich bei Blitzen mit negativer und positiver Polarität und auch zwischen dem jeweiligen Gesamtdatensatz und den Extremdatensätzen. Es fällt auf, dass der durch Frontgewitter hervorgerufene „Hintergrundwert“ der relativen Blitzhäufigkeit in den Morgenstunden bei den Blitzen mit extremen Stromstärken höher ist. Zudem geht die Blitzhäufigkeit nach dem Nachmittagsmaximum in den Extremdatensätzen langsamer zurück.

Der Anteil von CG-Blitzen an allen positiven bzw. allen negativen Blitzen und ihren Extremen ist in Abbildung 24 im Tagesverlauf dargestellt. Es ist zu beachten, dass ein verbesserter Algorithmus seit August 2011 erlaubt, Wolke-Wolke-Blitze mit höherer Effizienz zu messen und somit die Anzahl von Wolke-Wolke-Blitzen mit früheren Messungen nicht mehr vergleichbar ist (mdl. Mitteilung THERN, Siemens AG [2013]). Generell ist der

Anteil an CG-Blitzen bei negativen Blitzen deutlich höher als bei positiven Blitzen, sowohl bei der Betrachtung des jeweiligen Gesamtdatensatzes als auch bei den Extremdatensätzen. Ebenso sind die Schwankungen der Median-/Mittelwertkurve innerhalb des Tages bei negativen Blitzen geringer. Vergleicht man die Median-/Mittelwertkurven der jeweiligen Gesamtdatensätze mit den Extremdatensätzen, so zeigt sich, dass der Anteil an CG-Blitzen bei extremeren Stromstärken höher liegt. Im Tagesmittel liegt der Anteil an CG-Blitzen bei Verwendung aller negativen Blitze bei 74 %, beim 5 %-Perzentil-Datensatz bei 93 % und bei dem 1 %-Perzentil-Datensatz bei 97 %. Die Betrachtung aller positiven Blitze ergibt ein Tagesmittel von 48 % an CG-Blitzen, der 95 %-Perzentil-Datensatz zeigt 76 % und der 99 %-Perzentil-Datensatz 87 %. Daraus folgt, dass ein Großteil der extremen Stromstärken bei Wolke-Boden-Blitzen beobachtet wird.



**Abbildung 24: Tagesgang des Anteils an CG-Blitzen von Blitzen mit negativen (links) und positiven Stromstärken (rechts) in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

A + B) alle Blitze, C + D) Blitze  $\leq 5\%$ - bzw.  $\geq 95\%$ -Perzentil, E + F) Blitze  $\leq 1\%$ - bzw.  $\geq 99\%$ -Perzentil

Um zu überprüfen, ob extreme Stromstärken bevorzugt bei besonders starken Gewittern (im Sinne einer hohen Blitzanzahl) auftreten, wurde in Tabelle 7 die relative Häufigkeit von Blitzen bestimmter Stromstärke an definierten Blitztagesklassen aufgeführt. Diese Darstellung kann jedoch nur Anhaltspunkte liefern, weil ein Blitz mit einer gegebenen Stromstärke nicht einem bestimmten Gewitter zugeordnet wird. Für negative Blitze gilt, dass sich die relativen Anteile an Blitztagesklassen im Vergleich von allen Blitzen zu Blitzen mit extremer Stromstärke nur geringfügig unterscheiden. Bei den positiven Blitzen sind die Unterschiede bei bestimmten Blitztagesklassen jedoch deutlicher. Während rund 85 % aller positiven Blitze an Tagen mit  $\geq 1.000$  Blitzen auftraten, lag der relative Anteil dieser Klasse bei Blitzen, die eine Stromstärke von größer/gleich dem 95 %-Perzentil aufwiesen, bei ca. 71 % und bei den 99 %-Perzentil-Blitzen bei ca. 66 %. Dafür lag der Anteil von Blitzen mit extremer Stromstärke in den anderen Blitztagesklassen z. T. deutlich höher.

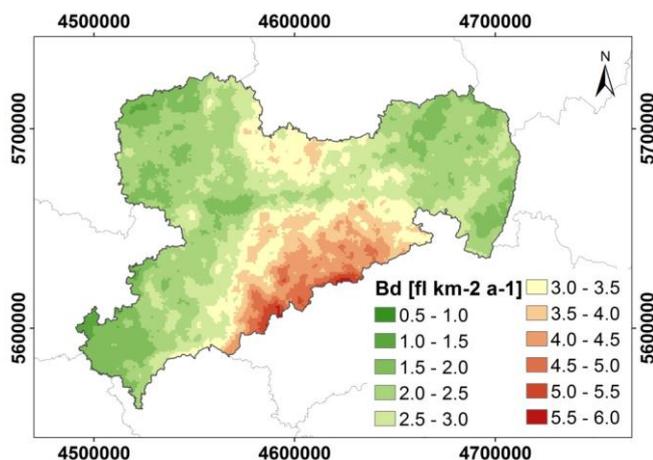
**Tabelle 7: Auftreten von Blitzen bestimmter Stromstärke an Blitztagen mit bestimmter Anzahl von Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

alle = alle Blitze, neg. = alle negativen Blitze, pos. = alle positiven Blitze, 5 %-, 1 %-, 95 %-, 99 %-P. = alle Blitze, deren Stromstärke  $\leq 5 \%$ -/1 %-Perzentil bzw.  $\geq 95 \%$ -/99 %-Perzentil

Blitztage	alle	neg.	5%-P.	1%-P.	pos.	95%-P.	99%-P.
< 3 Blitze	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2
3–9 Blitze	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5
10–49 Blitze	0,8	0,9	1,0	1,1	0,7	2,0	2,4
50–99 Blitze	0,9	1,0	1,1	1,4	0,8	2,0	2,9
100–199 Blitze	2,0	2,3	2,0	2,3	1,5	3,6	4,6
200–499 Blitze	6,0	6,4	7,3	9,2	5,2	10,6	11,7
500–999 Blitze	8,2	9,0	8,7	8,7	6,8	10,5	11,7
$\geq 1.000$ Blitze	81,9	80,1	79,7	77,0	84,7	70,5	66,0

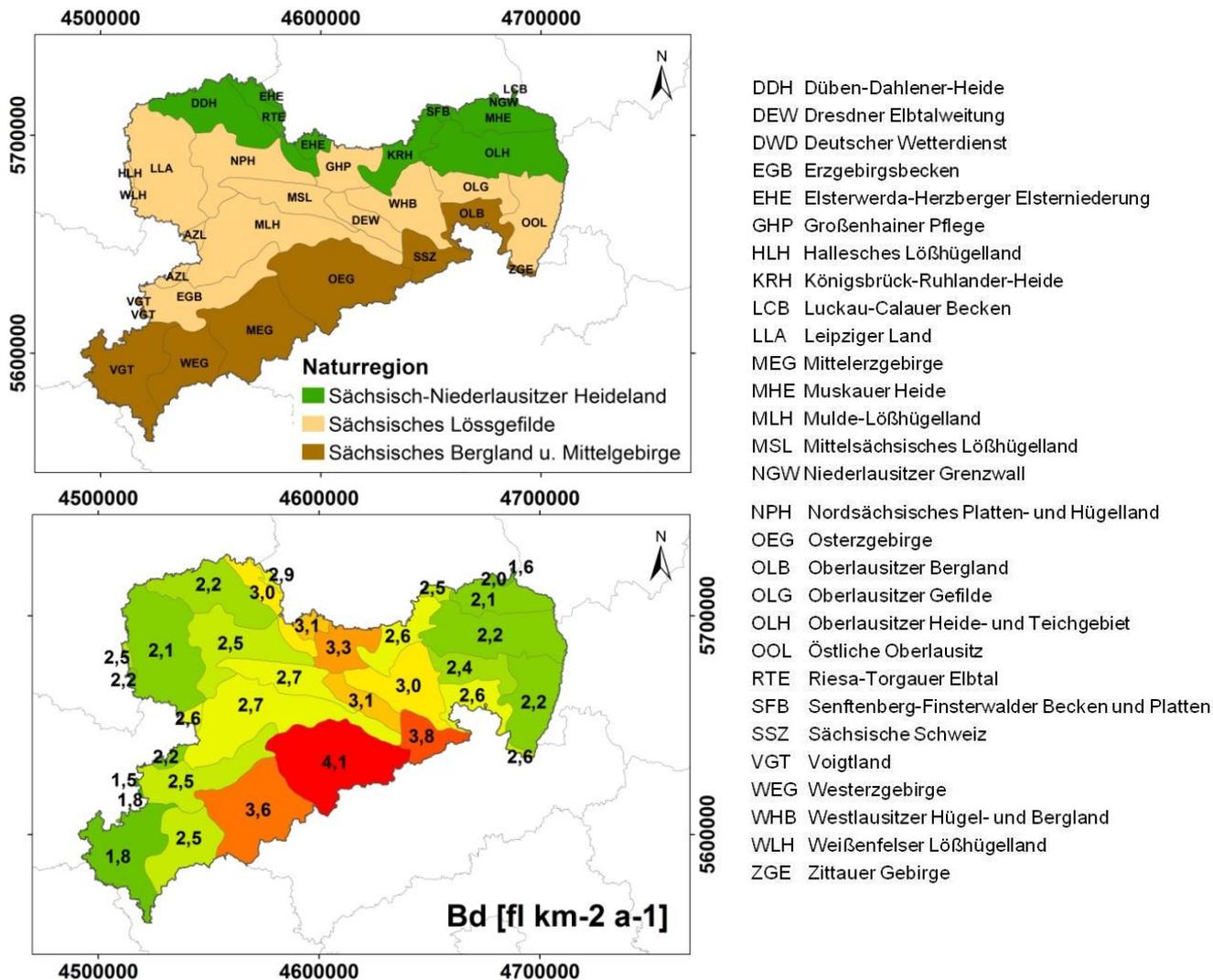
## 4.5 Blitzdichte

Die Blitzdichte gibt die Anzahl von Blitzen auf einer bestimmten Fläche in einer bestimmten Zeit an. Die Abbildung 25 zeigt die durchschnittliche jährliche Blitzdichte in Sachsen von 1999–2012. Sie zeigt innerhalb von Sachsen eine große Variabilität und reicht von  $< 1 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  bis  $> 5 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ .



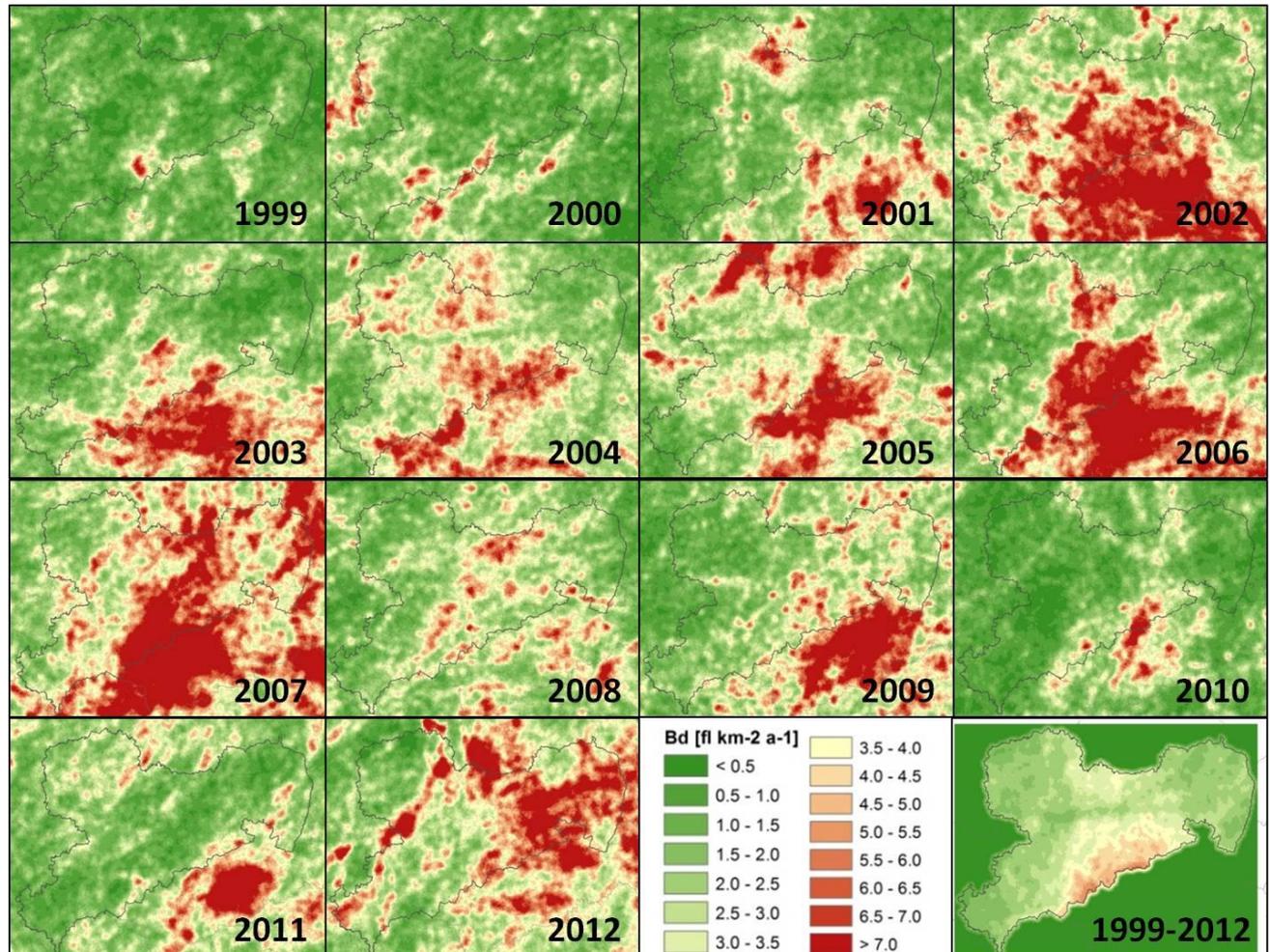
**Abbildung 25: Mittlere jährliche Blitzdichte in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

Die höchsten Blitzdichten werden im Bereich des mittleren und östlichen Erzgebirges erreicht. Die geringsten mittleren jährlichen Blitzdichten treten im Vogtland, in Nordost- und Nordwestsachsen sowie in der östlichen Oberlausitz auf. Markant ist eine Rinne niedriger Blitzdichten im zentralen Teil von Sachsen.



Harz, Tannrodaer Waldland) und  $2,1 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . (Altenburger Lössgebiet). Der Großteil der Thüringer Naturräume ist durch eine mittlere jährliche Blitzdichte von 1,1 bis  $1,5 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  gekennzeichnet.

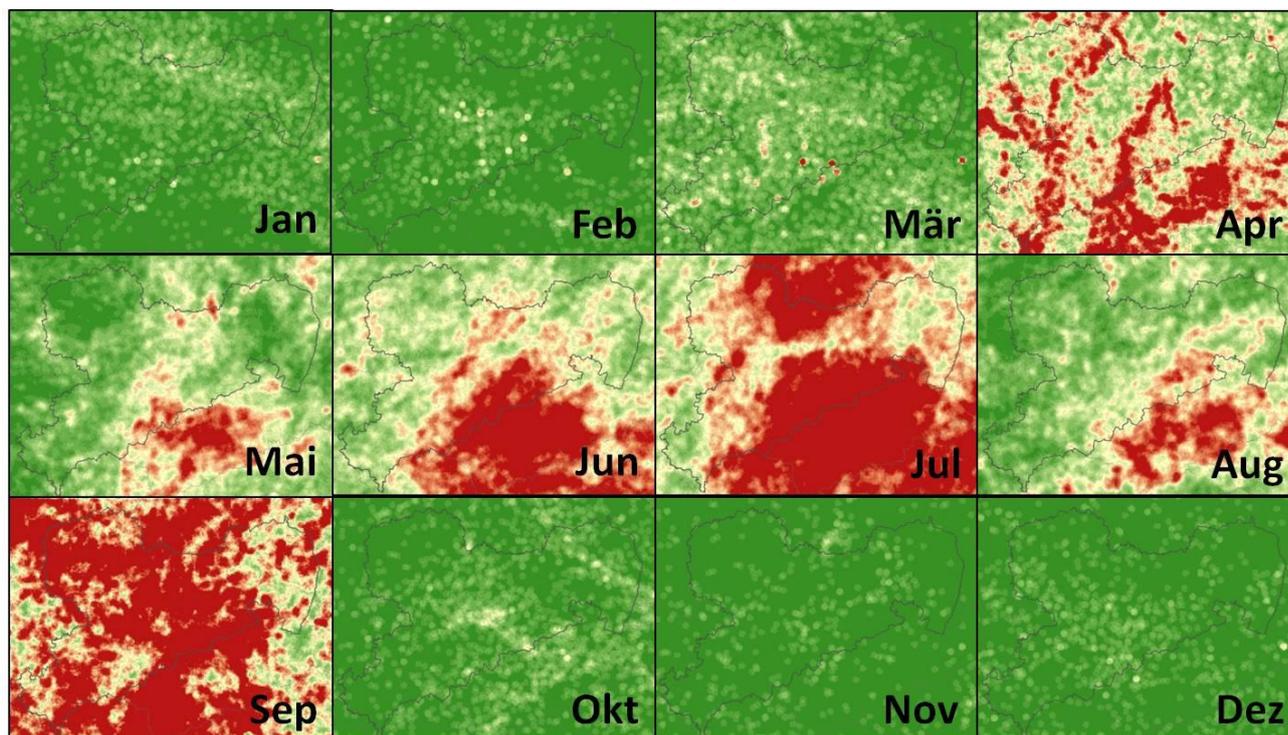
Die räumliche Verteilung von Blitzen in Sachsen variiert von Jahr zu Jahr sehr stark, was z. B. in den Blitzdichten der Einzeljahre gut erkennbar ist (Abbildung 27). In einigen Jahren treten in großen Bereichen des Untersuchungsgebietes Blitzdichten von  $> 6 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (2002, 2006, 2007, 2012), während in anderen Jahren solche Werte lokal nur sehr begrenzt zu beobachten sind (z. B. 1999, 2010). In der Region des mittleren und östlichen Erzgebirges (deutsche und tschechische Seite) sind in vielen Jahren hohe Blitzdichten zu verzeichnen, was sich letztendlich in hohen Werten der mittleren jährlichen Blitzdichte widerspiegelt.



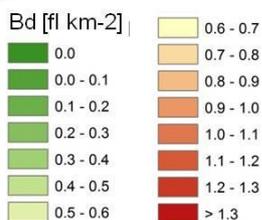
**Abbildung 27: Jährliche Blitzdichte in Sachsen für die Einzeljahre 1999–2012 und mittlere jährliche Blitzdichte des gesamten Untersuchungszeitraumes (nur Werte innerhalb Sachsens relevant)**

Innerhalb des Jahresverlaufes ist die räumliche Verteilung von Blitzdichten unterschiedlich (Abbildung 28, Achtung, unterschiedliche Skalen!). Während des meteorologischen Winterhalbjahres (Oktober bis März) zeigt die Blitzdichte ein eher zufälliges Muster im Bereich geringer Blitzdichten. In den Übergangsmonaten zur Blitzsaison (April, September) steigt die Blitzdichte merklich an, das Muster erscheint dabei mehr oder weniger zufällig. Erst in den Monaten der Blitzsaison (Mai bis August), welche insgesamt durch deutlich höhere Blitzdichten gekennzeichnet sind, bilden sich typische Gebiete mit hohen und niedrigen Blitzdichten aus. Im Mai und August konzentrieren sich die Regionen mit der höchsten Blitzdichte vor allem an der südlichen Grenze von Sachsen (mit dem Hauptzentrum in der Tschechischen Republik). Im Juni breitet sich das Gebiet mit der höchsten Blitzdichte Richtung Norden aus, sodass es in etwas die Naturräume mittleres und östliches Erzge-

birge umfasst. Im Juli kommt ein zweites Gebiet mit sehr hohen Blitzdichten im zentralen Norden von Sachsen hinzu. Die räumliche Verteilung der Blitzdichte im Juli, dem Monat mit der größten Blitzanzahl, prägt das Bild der mittleren jährlichen Blitzverteilung sehr (Abbildung 25).



Legende für Jan, Feb, Mär, Apr, Sep, Okt, Nov, Dez

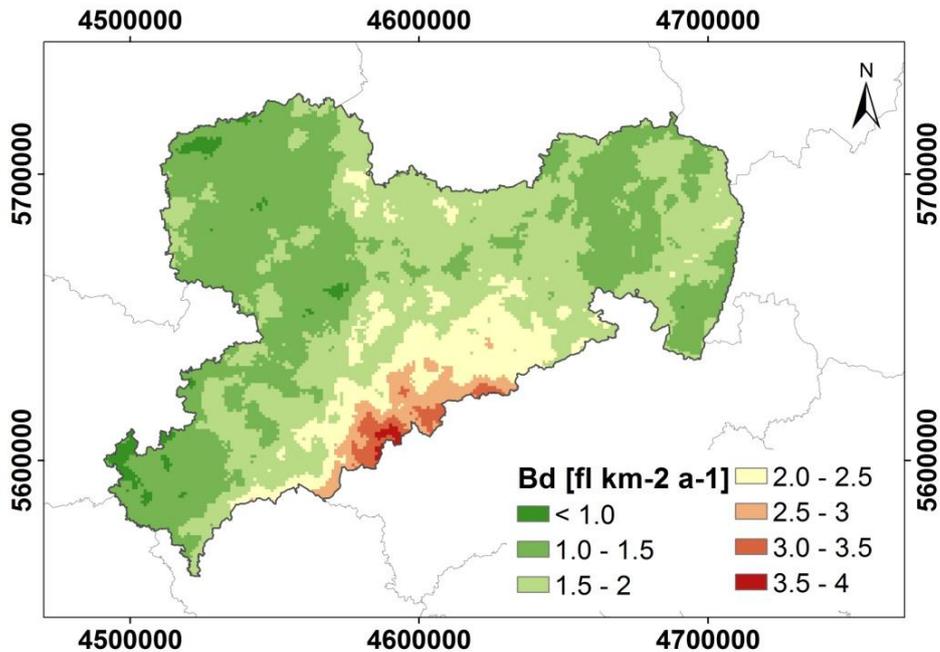


Legende für Mai, Jun, Jul, Aug



**Abbildung 28: Blitzdichte in den einzelnen Monaten (Blitze pro km<sup>2</sup> innerhalb des Untersuchungszeitraums 1999–2012)**

In Abbildung 29 ist die mittlere jährliche Blitzdichte in Sachsen für CG-Blitze dargestellt, um die Vergleichbarkeit mit anderen Studien, die nur CG-Blitze betrachten, zu erhöhen. Das generelle Muster der räumlichen Blitzdichteverteilung stimmt mit dem Muster unter Verwendung aller Blitze überein. SCHULZ et al. (2005) beobachteten in ihrer Studie, dass die mittleren jährlichen CG-Blitzdichten in Österreich normalerweise zwischen 0,5 und 4 fl\*km<sup>-2</sup>\*a<sup>-1</sup> liegen und damit im selben Wertebereich wie in Sachsen. Blitzdichten in Österreich mit >4 fl\*km<sup>-2</sup>\*a<sup>-1</sup> standen typischerweise in Zusammenhang mit Bergspitzen oder hohen Türmen auf erhöhten Orten (SCHULZ et al. 2005). Für das Gebiet der kontinentalen USA berichteten ORVILLE & HUFFINES (2001) über CG-Blitzdichten von 0,1 bis > 9 fl\*km<sup>-2</sup>\*a<sup>-1</sup>. Die höchsten Blitzdichten wurden in Teilen Floridas beobachtet. Große Gebiete mit sehr niedrigen Blitzdichten wurden im Nordwesten der USA beschrieben. Der größere Wertebereich der CG-Blitzdichte in den USA im Vergleich zu Österreich und Sachsen ist an das bedeutend größere Untersuchungsgebiet und die damit verbundene höhere klimatologische und naturräumliche Vielfalt gebunden.

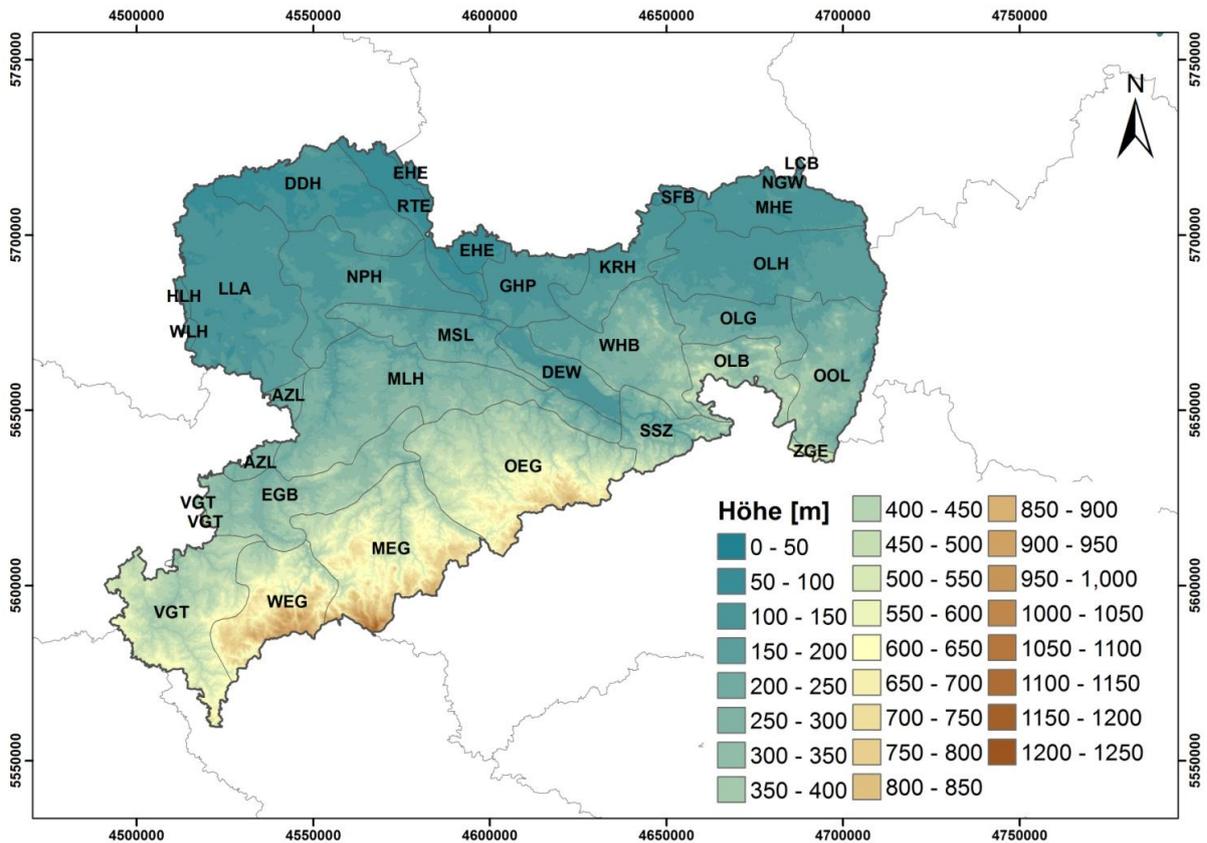


**Abbildung 29: Mittlere jährliche Blitzdichte von CG-Blitzen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

Die Studie von FINKE & HAUF (1996) lässt sich zwar seitens der absoluten Zahlen nicht mit Blitzdichtewerten von Sachsen vergleichen, weil die Autoren Teilblitze untersucht haben, doch die beobachteten Muster sind aussagekräftig. Die Autoren beobachteten eine ausgeprägte zwischenjährliche Variabilität der Teilblitzdichten. Sie beschrieben bestimmte Muster in Zusammenhang mit der Orographie, die Gebirge identifizierbar machten, jedoch nicht in jedem Jahr sichtbar waren. Hervorzuheben ist vor allem der Schwarzwald, der mit bis zu 10 Teilblitzen km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> die höchsten Blitzdichten in Süddeutschland aufwies. Die Autoren weisen darauf hin, dass das Maximum der Teilblitzdichte zur Leeseite hinsichtlich der vorherrschenden Südwestströmung verschoben ist. Demnach entwickeln sich Gewitter in den Bergen als erhöhte Wärmequelle und breiten sich dann mit der mittleren Strömung aus. Die Voralpenregion repräsentiert ein weiteres Gebiet mit hoher Teilblitzdichte, weil sich viele Gewitter in den Alpen nahe des Hauptkamms entwickeln und dann in flachere Regionen mit genügend hoher Luftfeuchte ausbreiten.

## 4.6 Höhenlage und Blitzauftreten

Nachdem im letzten Kapitel schon auf den Zusammenhang zwischen Orographie und Blitzauftreten in der Studie von FINKE & HAUF (1996) eingegangen wurde, soll in diesem Kapitel der Einfluss der Höhenlage auf die Blitzhäufigkeit in Sachsen betrachtet werden. Dazu bietet Abbildung 30 einen Überblick über das Relief in Sachsen. Es wird deutlich, dass zwar die Gebiete mit der höchsten Blitzdichte in den Mittelgebirgsregionen des mittleren und östlichen Erzgebirges liegen, gleichzeitig aber andere hoch gelegene Gebiete wie das West-erzgebirge und das Vogtland vergleichsweise geringe Blitzdichten aufweisen. Die Tieflandregion im Norden von Sachsen weist überwiegend eine geringe Blitzdichte auf, wobei jedoch der zentral gelegene Teil (im Bereich der Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung und der Großenhainer Pflege) eine Ausnahme bildet.

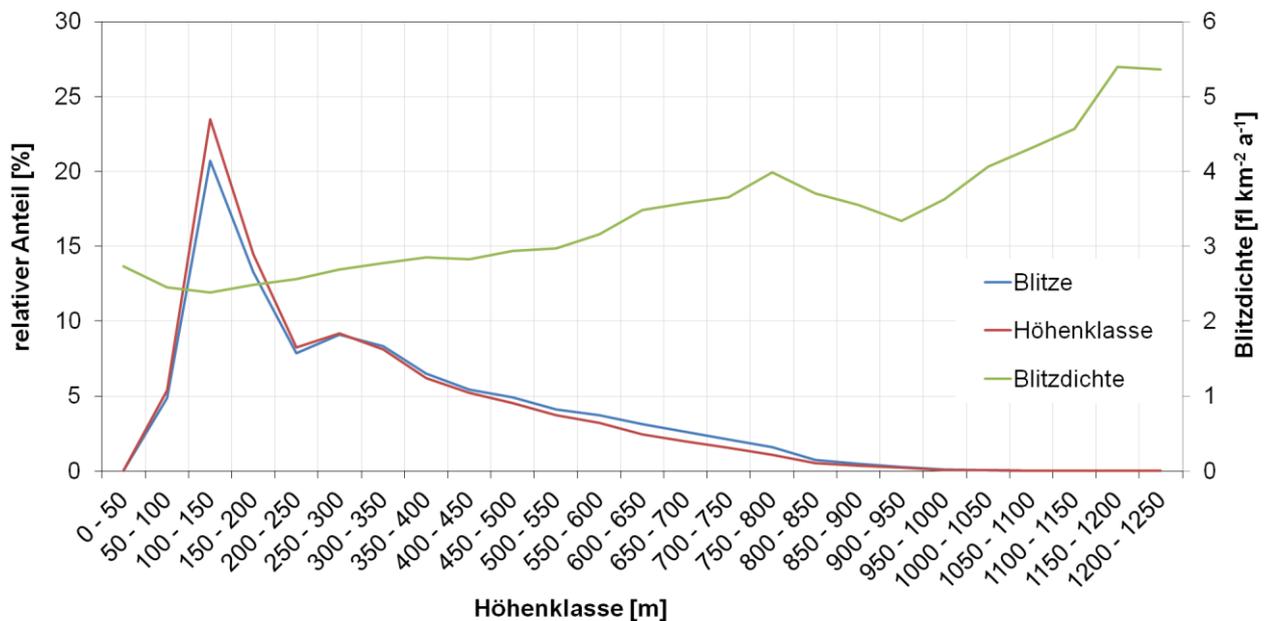


**Abbildung 30: Oberflächenhöhe in Sachsen basierend auf SRTM (JARVIS et al. 2008) und Naturräume Sachsens (Darstellung auf der Grundlage von Daten des LfULG)**

(für Abkürzungen der Naturräume siehe Abbildung 26)

Neben der visuellen Interpretation des Zusammenhangs von Blitzauftreten und Höhenlage zeigt Abbildung 31 eine statistische Untersuchung. Dort ist der prozentuale Anteil definierter Höhenstufen an der Gesamtfläche von Sachsen aufgetragen und der prozentuale Anteil dieser Höhenstufen an der Gesamtblitzzahl. Unterschiede im Verlauf beider Kurven würden anzeigen, ob bestimmte Höhenstufen statistisch mehr oder weniger von Blitzen betroffen sind. Niedriger gelegene Gebiete in Sachsen (bis etwa 300 m ü. NN) weisen demnach tendenziell weniger Blitze auf als höher gelegene Regionen im Bereich von 300–900 m ü. NN (noch höhere Gebiete kommen in Sachsen kaum vor). Diese Beobachtung spiegelt sich auch in der Blitzdichte der einzelnen Höhenstufen wider. Bis 500 m ü. NN liegen die Blitzdichten pro Klasse unter  $3,0 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  und ab 500 m ü. NN darüber. In den Höhenklassen von 100–800 m ü. NN ist ein kontinuierlicher Anstieg der Blitzdichte mit der Höhe zu verzeichnen, danach fällt die Blitzdichte bis 950 m ü. NN wieder etwas ab, um anschließend bis 1.200 m ü. NN wieder deutlich anzusteigen (bis  $> 5 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ).

Im Vergleich zu Sachsen ist die Höhenabhängigkeit der Blitzdichte in Thüringen weniger stark ausgeprägt. So lag beispielsweise die geringste Blitzdichte in Thüringen im Höhenbereich 0–140 m ü. NN bei  $1,4 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  und die höchste Blitzdichte im Höhenbereich 920–980 m ü. NN (der höchsten Klasse in Thüringen) bei  $1,8 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (FIEDLER 2012). In Sachsen ist der Unterschied zwischen vergleichbaren Höhenklassen wesentlich größer (100–150 m ü. NN:  $2,4 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 950–1.000 m:  $3,6 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ). Zusammenfassend lässt sich für Sachsen festhalten, dass die Höhenlage einen Einfluss auf das Blitzauftreten hat. Dieser Effekt ist jedoch nicht notwendigerweise dominant ausgeprägt und hängt u. a. von der geografischen Lage ab. Weil sich die räumliche Verteilung der Blitzdichte in Sachsen nicht ausschließlich mit der Höhenlage erklären lässt, müssen andere Faktoren einen Einfluss auf die Blitzverteilung haben. Einige dieser potenziellen Parameter werden in den nächsten Kapiteln untersucht.



**Abbildung 31: Flächen- und Blitzanteile sowie Blitzdichten der Höhenbereiche Sachsens 1999–2012**

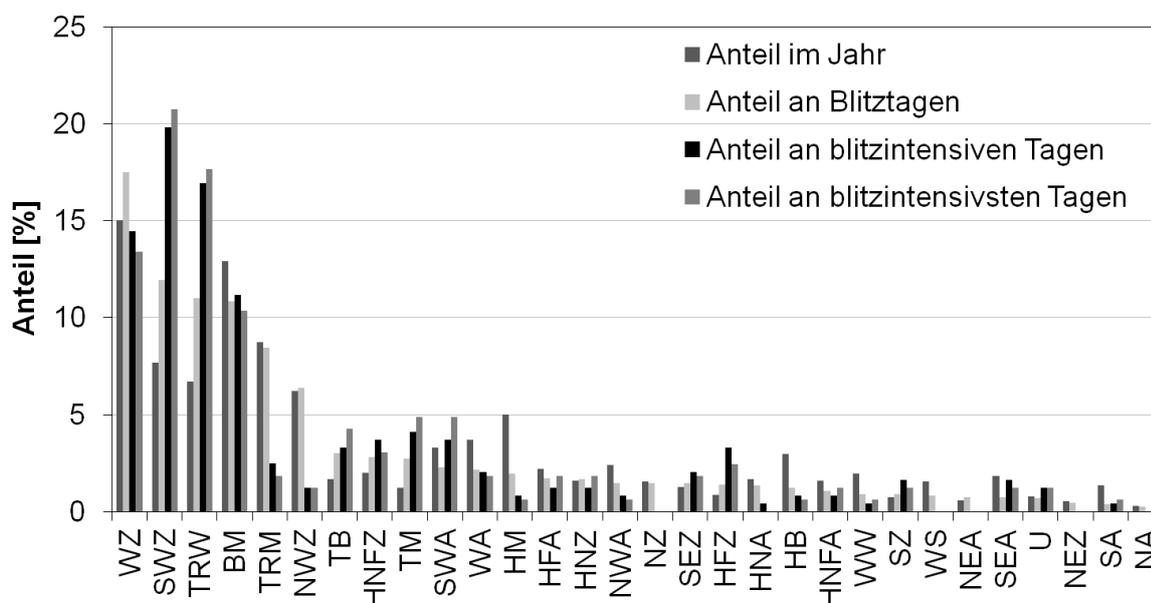
## 4.7 Blitzauftreten und Wetterlagen

Weil bestimmte meteorologische Bedingungen mit der Entwicklung von Gewittern verbunden sind, wird in diesem Kapitel der Zusammenhang zwischen dem Blitzauftreten und Wetterlagenklassen und in Kap. 4.8 der Zusammenhang zwischen dem Blitzauftreten und jährlich gemittelten Klimaparametern untersucht. Wetterlagen repräsentieren den Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt über eine Region. Ähnliche Wetterlagen werden zu WL-Klassen zusammengefasst, wofür es verschiedene Klassifikationsmethoden gibt.

Im Folgenden werden die Großwetterlagenklassifikation (GWLK; BAUR et al. 1940; HESS & BREZOWSKY 1952, 1969, 1977) und die objektive Wetterlagenklassifikation des DWD (WLK; DITTMANN et al. 1995; BISSOLLI & DITTMANN 2001) auf ihren Zusammenhang mit dem Blitzauftreten in Sachsen untersucht. Dazu wurde der relative Anteil der Wetterlagenklassen bzw. ihrer Eigenschaften am Gesamtjahr mit ihrem Anteil an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$  Blitze pro Tag) und blitzintensivsten Tagen ( $\geq 1.000$  Blitze pro Tag) in Sachsen verglichen.

In Abbildung 32 ist die Häufigkeitsverteilung von Großwetterlagen (GWL) im Untersuchungszeitraum dargestellt, in absteigender Sortierung nach ihrem Anteil an Blitztagen. Abbildung 33 zeigt die relative Häufigkeit ausgewählter GWL in einer größeren Darstellung. Aus diesen Abbildungen geht deutlich hervor, dass das Blitzauftreten in Sachsen von der vorherrschenden Wetterlage abhängt. Die von 1999–2012 am häufigsten aufgetretenen GWL, die zyklonale Westlage (WZ: 15,0 %), zeigt an Blitztagen einen etwas höheren Anteil (17,5 %). Allerdings liegt der Anteil der WZ an blitzreichen Tagen etwas unter dem Anteil des gesamten Jahres. Die Wahrscheinlichkeit, dass es an einem Tag mit WZ blitzt, ist folglich gegenüber dem Durchschnitt geringfügig erhöht, während die Wahrscheinlichkeit, dass es an diesem Tag häufig blitzt, dagegen geringfügig niedriger ist. Die zweithäufigste GWL im Jahresverlauf des Untersuchungszeitraums war die Hochdruckbrücke Mitteleuropa (BM: 12,9 %), die jedoch im Mittel ein geringeres Blitzauftreten als der Durchschnitt zeigte. Die GWL zyklonale Südwestlage (SWZ: 7,7 %) und Trog Westeuropa (TRW: 6,7 %) zeigen eine deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Blitzen, insbesondere für das Auftreten vieler Blitze. Sie weisen ins-

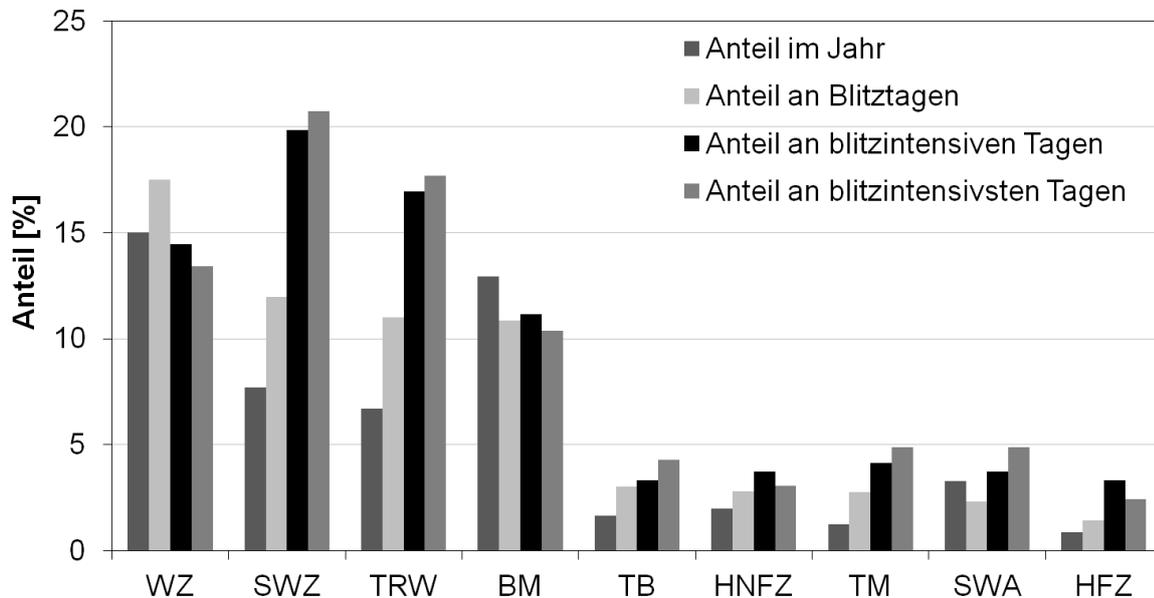
gesamt den höchsten Anteil an blitzintensiven (SWZ: 19,8 %, TRW: 16,9 %) und sehr blitzintensiven Tagen (SWZ: 20,7 %, TRW: 17,7 %) auf. Weitere Wetterlagen, bei denen der Anteil an Blitztagen gegenüber dem Anteil im Jahr erhöht ist, sind zum Beispiel Tief Britische Inseln (TB), zyklonales Hoch Nordmeer-Fennoskandien (HNFZ), Tief Mitteleuropa (TM) und zyklonales Hoch Fennoskandien (HFZ). Weitere Beispiele für GWL, an denen unterdurchschnittlich oft Blitze in Sachsen auftreten, schließen den Trog Mitteleuropa (TRM), die antizyklonale Westlage (WA), das Hoch Mitteleuropa (HM), die antizyklonale Nordwestlage (NWA) und das Hoch Britische Inseln (HB) ein. Insgesamt zeigen acht GWL eine positive Anomalie hinsichtlich des Blitzauftretens, sechs unterscheiden sich in ihrer Anomalie in Abhängigkeit von der Art der Blitztage und die restlichen GWL weisen eine negative Anomalie hinsichtlich des Anteils an Blitztagen auf.



**Abbildung 32: Relative Häufigkeit von Großwetterlagen (GWL) im Zeitraum 1999–2012 und die relative Häufigkeit von GWL an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$  Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$  Blitze pro Tag) in Sachsen**

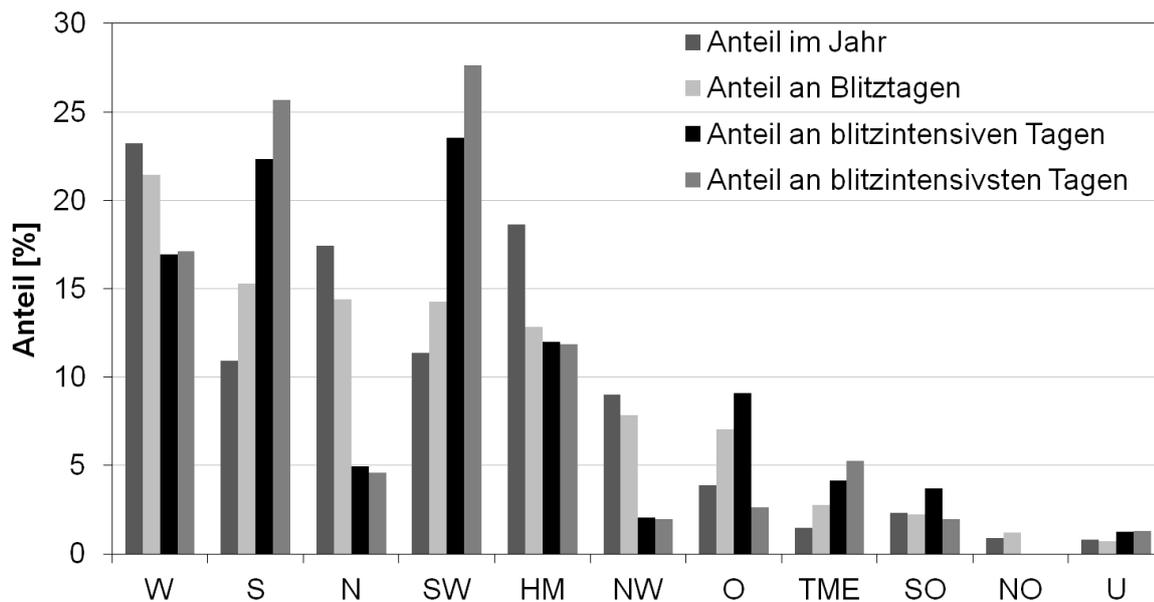
Abkürzungen der GWL in Tabelle 2

Die GWL können zu allgemeineren Großwettertypen (GWT) zusammengefasst werden. Eine Übersicht hinsichtlich der GWT und ihrem relativen Anteil im Jahr und an Blitztagen findet sich in Abbildung 34. Die drei häufigsten GWT West (W; 22,3 %), Hoch Mitteleuropa (HME; 17,9 %) und Nord (N; 16,7 %) und die GWT Nordwest (NW; 8,6 %) zeigen jeweils geringere Anteile an den Blitztagen verglichen mit ihrem Auftreten im Jahr. Im Gegensatz dazu weisen die GWT Südwest (SW; 10,9 %), Süd (S; 10,5 %) und Tief Mitteleuropa (TME; 1,4 %) eine positive Anomalie hinsichtlich des Blitzauftretens auf.



**Abbildung 33: Relative Häufigkeit ausgewählter Großwetterlagen (GWL) von 1999–2012 und die relative Häufigkeit dieser GWL an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$  Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$  Blitze pro Tag) in Sachsen**

Abkürzungen der GWL in Tabelle 2



**Abbildung 34: Relative Häufigkeit von Großwettertypen (GWT) 1999–2012 und die relative Häufigkeit von GWT an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$  Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$  Blitze pro Tag) in Sachsen**

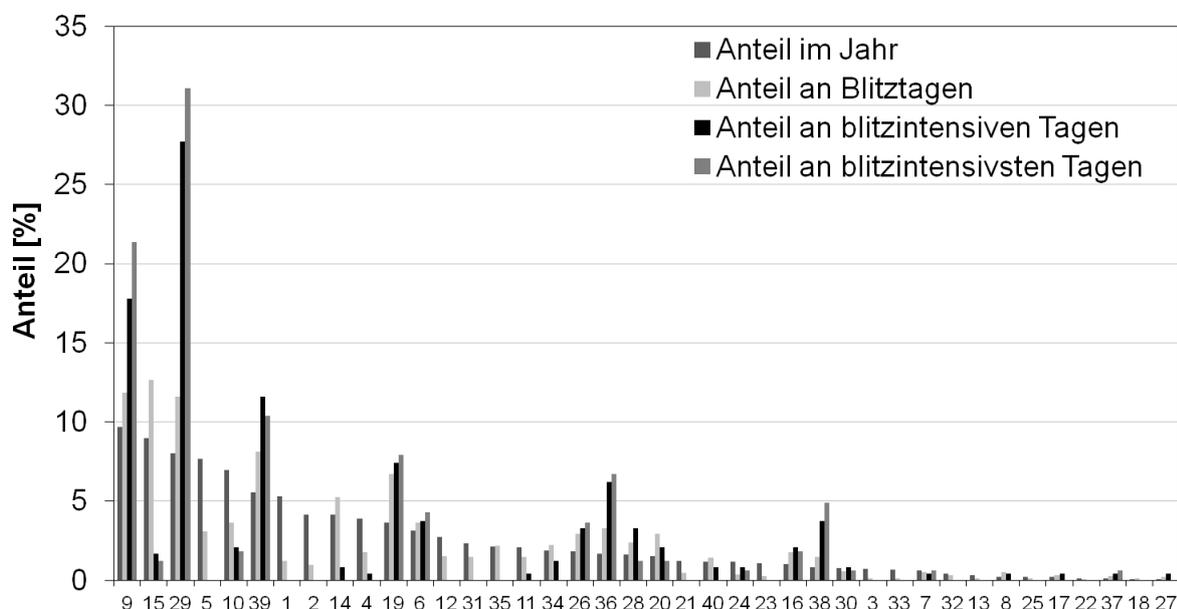
Abkürzungen der GWT in Tabelle 2

Auch FIEDLER (2012) untersuchte in ihrer Studie zu Thüringen den Einfluss von GWL und GWT auf die Blitzaktivität; allerdings nur für die 150 sehr blitzintensiven Tage. Daher stützt sich der folgende Vergleich auch hier ausschließlich auf die sehr blitzintensiven Tage in Sachsen ( $n = 164$ ). Die meisten GWL stimmen in ihrer Wirkung auf das Blitzgeschehen in Sachsen und Thüringen überein. Allerdings zeigen die Hochdruckbrücke Mitteleuropa (BM), die antizyklonale Südlage (SA), die südliche Westlage (WS) und das antizyklonale Hoch Nordmeer-Fennoskandien (HNA) in Thüringen eine höheres Blitzauftreten als im Durchschnitt, wohingegen ihr

Auftreten in Sachsen geringer als im Durchschnitt war. Die GWT unterscheiden sich in ihrer Anomalie bezüglich der Blitzaktivität in Sachsen und Thüringen nur in dem GWT Ost. Dieser weist in Thüringen einen höheren Anteil an den blitzintensiven Tagen als im Durchschnitt auf und in Sachsen einen niedrigeren.

Der Zusammenhang zwischen den objektiven Wetterlagenklassen (WLK) des DWD und dem Blitzauftreten ist in Abbildung 35 bzw. in Abbildung 36 für ausgewählte WLK dargestellt. Die WLK 6, 9, 16, 19, 26, 29, 36–39 zeigen eine positive Anomalie bezüglich der Blitzaktivität, bei den WLK 7, 8, 14, 15, 17, 18, 20, 27, 28, 30, 34, 35 und 40 hängt es von der Anzahl der betrachteten Blitze pro Tag ab und die übrigen WLK weisen eine negative Anomalie auf. Für ein besseres Verständnis der WLK und ihrer Auswirkungen auf das Blitzgeschehen zeigt Abbildung 37 den Einfluss einzelner WLK-Eigenschaften (Anströmrichtung, Zyklonalität, Feuchtigkeit der Atmosphäre). Demnach führt eine südwestliche Anströmung überdurchschnittlich oft zu Blitztagen in Sachsen. Mehr als 65 % aller blitzintensiven und sehr blitzintensiven Tage treten bei dieser Anströmung auf. Dagegen zeigen alle anderen Windrichtungen ein unterdurchschnittliches Auftreten von Blitzen. Beispielsweise ist die mit fast 30 % relativ häufige Nordwestströmung für weniger als 10 % der blitzreichen Tage verantwortlich. Bei südöstlicher Strömung treten im Untersuchungszeitraum in Sachsen gar keine blitzreichen Tage auf.

Die Zyklonalität der WLK hat ebenfalls einen großen Einfluss auf das Auftreten von Blitzen. Bei antizyklonaler Strömung im 950 hPa- und im 500 hPa-Bereich kommt es deutlich weniger zu Blitzen als im Durchschnitt. Bei antizyklonaler Strömung im 950 hPa-Bereich und zyklonaler Strömung im 500 hPa-Bereich ist die relative Häufigkeit von Blitztagen größer, die von blitzintensiven und sehr blitzintensiven Tagen jedoch kleiner als im Mittel. Eine zyklonale Strömung in beiden Höhenbereichen sowie eine zyklonale Strömung bei 950 hPa und eine antizyklonale bei 500 hPa führen zu überdurchschnittlich vielen Blitztagen. Der Unterschied zwischen dem Anteil der zyklonalen/antizyklonalen Strömung im Jahr (16 %) und an blitzreichen Tagen (>35 %) ist besonders groß. Weil zur Bildung von Gewittern Feuchtigkeit benötigt wird, war anzunehmen, dass der Feuchtegehalt der Atmosphäre bei bestimmten WLK eine bedeutende Rolle spielt. Im Jahresverlauf kommen etwa gleich viel feuchte und trockene WLK vor. Der Anteil feuchter WLK an Blitztagen liegt dagegen bei 64 % und an blitzreichen Tagen sogar bei über 90 %.



**Abbildung 35: Relative Häufigkeit objektiver Wetterlagenklassen (WLK) 1999–2012 sowie die relative Häufigkeit von WLK an Blitztagen, blitzintensiven Tagen ( $\geq 500$  Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen ( $\geq 1.000$  Blitze pro Tag) in Sachsen**

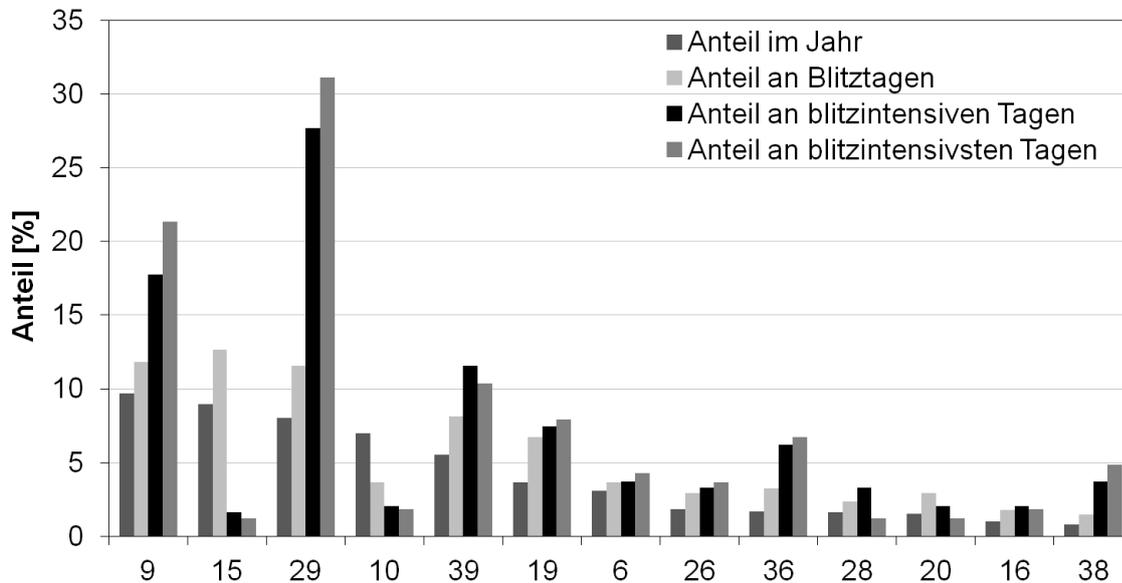


Abbildung 36: Relative Häufigkeit ausgewählter objektiver Wetterlagen (WLK) 1999–2012 sowie die relative Häufigkeit dieser WLK an Blitztagen, blitzintensiven Tagen (≥ 500 Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen (≥ 1.000 Blitze pro Tag) in Sachsen

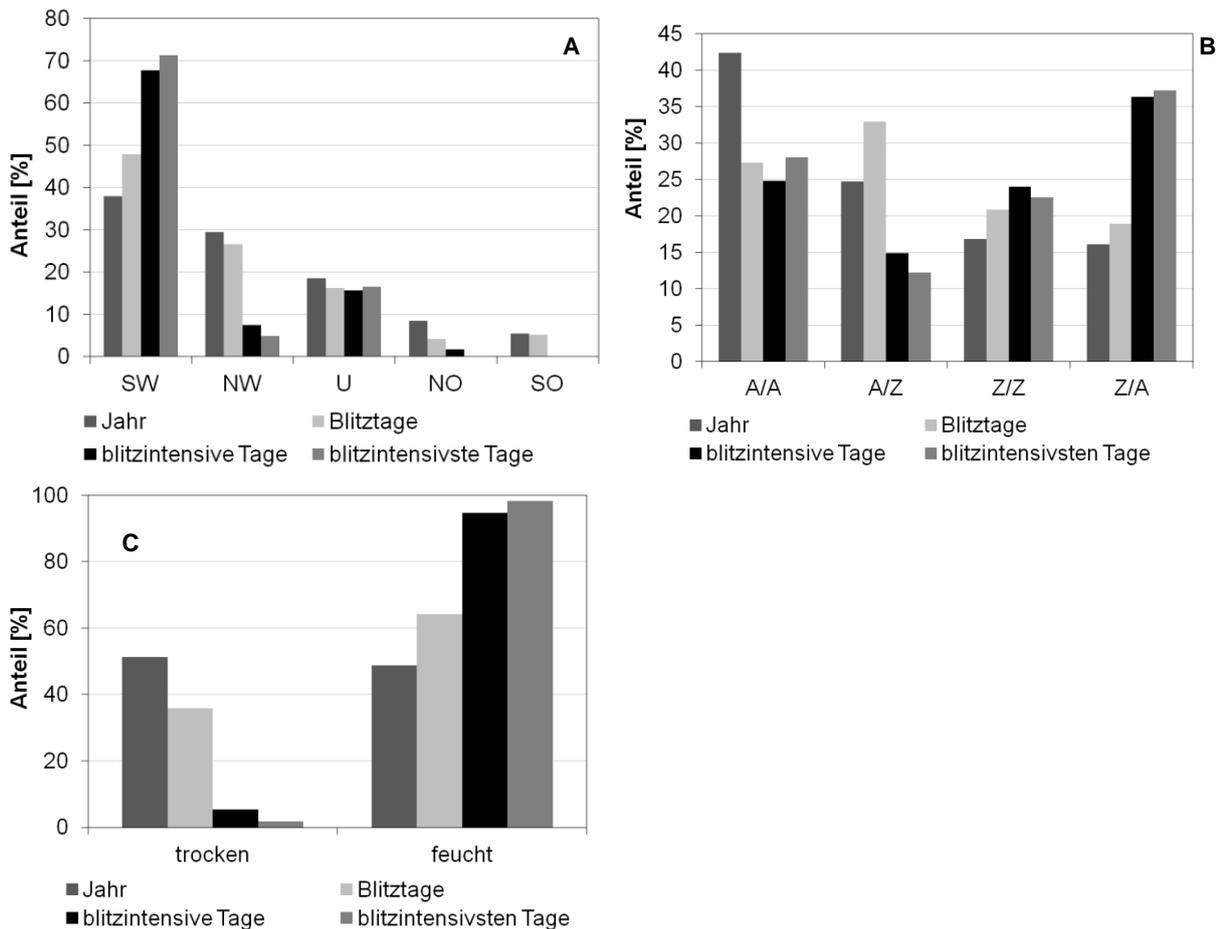


Abbildung 37: Relative Häufigkeit der Eigenschaft objektiver Wetterlagen (WLK) 1999–2012 sowie die relative Häufigkeit von WLK an Blitztagen, blitzintensiven Tagen (≥ 500 Blitze pro Tag) und sehr blitzintensiven Tagen (≥ 1.000 Blitze pro Tag) in Sachsen

A) Anströmrichtung, B) Zyklonalität (anti-/zyklonale Strömung in 950/500 hPa), C) Feuchtigkeit der Atmosphäre

## 4.8 Klimaparameter und Blitzauftreten

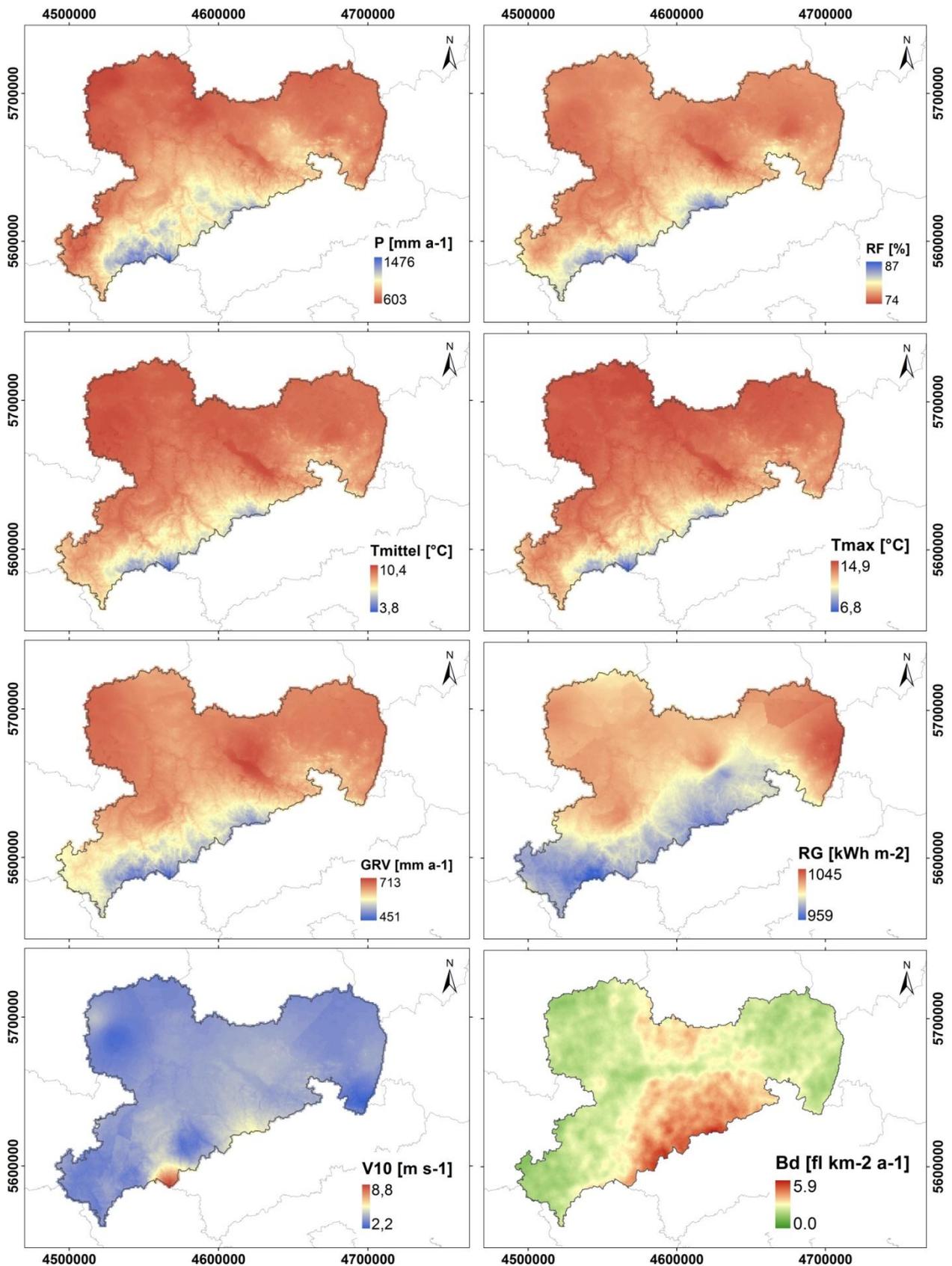
Im vorhergehenden Kapitel wurde gezeigt, dass die meteorologischen Eigenschaften von Wetterlagen einen großen Einfluss auf das Auftreten von Blitzen in Sachsen haben. In diesem Kapitel soll mit Hilfe der visuellen Interpretation von Karten geprüft werden, ob sich die Verteilung langjähriger klimatischer Parameter auf die Blitzdichte in Sachsen auswirkt. Das heißt, es soll z. B. der Frage nachgegangen werden, ob Regionen, in denen es im Mittel besonders warm ist oder in denen es viel regnet, eine höhere Blitzdichte aufweisen. Die Abbildung 38 zeigt mittlere Jahreswerte verschiedener Klimaparameter und die Blitzdichte in Sachsen im Untersuchungszeitraum 1999–2012.

Die räumliche Werteverteilung der Klimaparameter Niederschlag, Temperatur, relative Luftfeuchte und Grasreferenzverdunstung spiegelt sehr gut topografische Strukturen in Sachsen wider. Es zeigt sich ein allgemeiner Gradient der genannten Parameter von Nordwest nach Südost. Das grobe Muster entspricht dabei folgendem Zusammenhang: je höher eine Region gelegen ist, desto höher ist der mittlere jährliche Niederschlag, desto höher ist die mittlere jährliche Luftfeuchte, desto niedriger sind die jährlichen Mittel- und Maximaltemperaturen und desto niedriger ist die Grasreferenzverdunstung. Diesem Schema folgend treten vor allem das Erzgebirge, die Dresdner Elbtalweitung sowie die Täler von Zwickauer Mulde, Zschopau und Flöha in den Kartendarstellungen hervor. Das Verhalten von Verdunstung und relativer Luftfeuchte steht dabei in Zusammenhang mit der Höhenabhängigkeit der Lufttemperatur. Für die Verteilung des Niederschlages in Sachsen sind neben der Höhenabhängigkeit zusätzlich Luv- und Leeeffekte sowie die Kontinentalität von Bedeutung (BERNHOFER et al. 2009).

Die Globalstrahlung weicht in ihren jährlichen Mittelwerten vom oben beschriebenen Muster ab. Die niedrigsten Werte der Globalstrahlung sind in einem breiten Streifen am Südrand von Sachsen zu finden, der vom Vogtland über das Erzgebirge bis in die Sächsische Schweiz reicht. Die höchsten Werte der Globalstrahlung werden im Osten von Sachsen erreicht. Die Werte der Globalstrahlung werden in Sachsen überwiegend durch den Grad der Kontinentalität (mit größerer Entfernung vom Meer geringere Tendenz zur Wolkenbildung) und Höhe (größere Tendenz zur Wolkenbildung und kürzerer Weg der Strahlung) bestimmt (BERNHOFER et al. 2009). Für die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ergibt sich wieder ein anderes Verteilungsmuster. Die mit Abstand höchsten Werte sind am Fichtelberg zu verzeichnen. Die niedrigsten Werte treten im südlichen Teil der Östlichen Oberlausitz und im Leipziger Land auf.

Insgesamt lässt sich durch die visuelle Inspektion festhalten, dass sich das Verteilungsmuster von keinem Klimaparameter mit dem Verteilungsmuster der Blitzdichte deckt. Trotzdem wird aufgrund der Musterähnlichkeit von Niederschlag, Temperatur, relativer Luftfeuchte und Grasreferenzverdunstung mit der Oberflächenhöhe ein gewisser statistischer Zusammenhang vermutet.

Auch wenn sich das Verteilungsmuster der Blitzdichte in Sachsen nicht durch das Verteilungsmuster eines mittleren jährlichen Klimaparameters erklären lässt, heißt das nicht, dass Klimaparameter keinen Einfluss auf das Blitzauftreten haben. Möglicherweise sind auch jährliche Mittelwerte nicht geeignet, um einen solchen Zusammenhang aufzuzeigen. MANOOCHEHRNIA et al. (2008) konnten beispielsweise für das Gebiet des Säntis in der nordöstlichen Schweiz, das die höchsten Blitzaktivitäten des Landes aufweist, eine lineare Korrelation zwischen der mittleren Maximumtemperatur im August und der monatlichen Anzahl von negativen Wolke-Boden-Blitzen (1999–2006) von 86 % nachweisen.



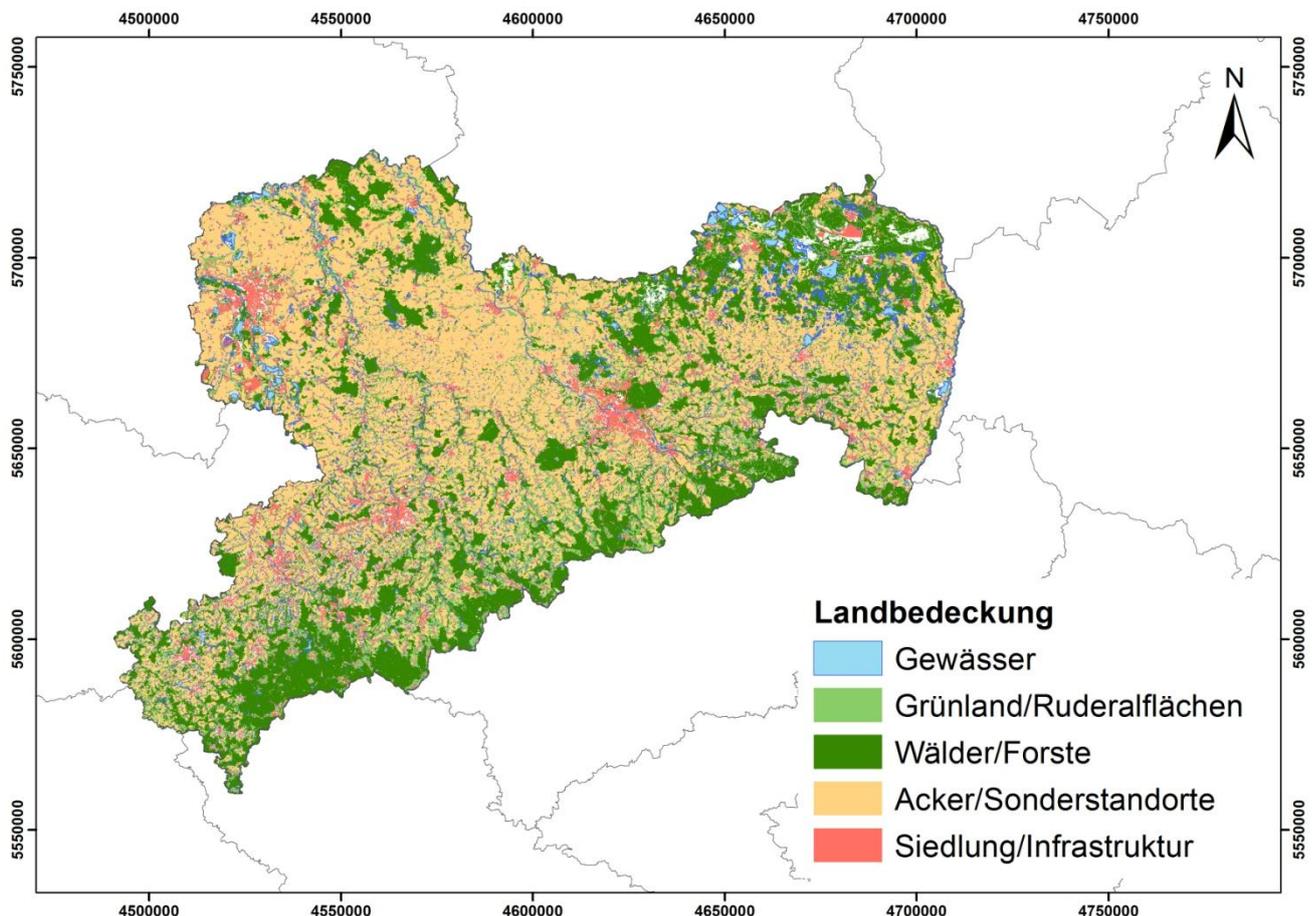
**Abbildung 38: Mittlere Jahreswerte von Klimaparametern und Blitzdichte in Sachsen (1999–2012)**

A) Jahresniederschlagssumme [ $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ]; B) rel. Luftfeuchte [%]; C) mittl. Jahrestemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]; D) max. Jahrestemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]; E) Grasreferenzverdunstung [ $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ]; F) Globalstrahlung [ $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ ]; G) Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]; H) Blitzdichte [ $\text{fl}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ]

## 4.9 Blitzauftreten und Landbedeckung

Oberflächen können Konvektion auslösen, die eine Gewitterbildung zur Folge haben kann. Die Auslösemechanismen sind meist Hebungen, die durch orografische Effekte, Konvergenz auf niedriger Ebene, Fronthebung oder Erwärmung von unten hervorgerufen werden (SCHROEDER & BUCK 1970). Oberflächeneigenschaften und damit ihr Auslösepotenzial für Konvektion sind stark von den Faktoren Physiografie und Landbedeckung abhängig. Auf physiografische Effekte wurde am Beispiel der Oberflächenhöhe bereits in Kap. 4.6 eingegangen. Eigenschaften der Landbedeckung, die die Konvektion beeinflussen, sind Albedo, Oberflächenrauigkeit, Fluss fühlbarer Wärme und Landschaftsheterogenität. In diesem Kapitel soll geklärt werden, ob verschiedene Landbedeckungen in Sachsen durch ein unterschiedliches Blitzauftreten charakterisiert sind.

Die Verteilung der vorherrschenden Landbedeckungen in Sachsen zeigt die Abbildung 39. Acker nimmt mit fast 40 % den größten Teil der Fläche in Sachsen ein und dominiert vor allem die Naturregion des Sächsischen Lössgefildes. Der Waldanteil in ganz Sachsen liegt bei knapp 30 %, größere Waldbestände finden sich überwiegend in den Naturregionen Sächsisch-Niederlausitzer Heideland, Sächsisches Bergland und Mittelgebirge. Die drei Hauptsiedlungszentren Dresden, Leipzig und Chemnitz sind in Abbildung 39 gut erkennbar.



**Abbildung 39: Ausgewählte Landbedeckungen in Sachsen (Darstellung auf der Grundlage von Daten des LfULG)**

Ein Vergleich des Flächenanteils ausgewählter Landnutzungen in Sachsen und deren Blitzanteil sowie Blitzdichte im Untersuchungszeitraum 1999–2012 zeigt die Tabelle 8. Der Flächenanteil und Blitzanteil der aufgeführten Landnutzungen ist fast identisch. Die Blitzdichte der einzelnen Landnutzungen liegt zwischen 2,4 (Gewässer) und 2,8 (Grünland) und unterscheidet sich vor allem für Acker, Grünland, Wald und Siedlung nur geringfügig. Vor diesem Hintergrund lässt sich kein Einfluss der Landnutzung auf das Blitzauftreten feststellen. Mögliche Gründe für dieses Ergebnis sind – neben der nicht nachweisbaren Abhängigkeit des Blitzauftretens von der Landnutzung in Sachsen – die zum Teil recht kleinräumige Variation der Landnutzung und das recht vereinfachte Vergleichsverfahren. In der vorliegenden Betrachtung muss beachtet werden, dass nur die Lage der Blitze analysiert wurde und damit ein Zusammenhang zwischen Gewitterentstehung und Landnutzung nicht untersucht werden konnte. Eine weitere Erklärung für den nicht beobachteten Zusammenhang zwischen Landnutzung und Blitzhäufigkeit sind andere, die Blitzdichte beeinflussende Parameter, die den Effekt der Landnutzung überlagern. RABIN et al. (1990) haben beispielsweise beschrieben, dass räumliche Variationen in der Landschaft die Bildung konvektiver Wolken beeinflussen, wenn Triebkräfte der Atmosphäre schwach sind, z. B. wenn keine Fronten oder andere Störungen vorherrschen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch untersucht, ob Windräder zu einer erhöhten Blitzdichte führen. Weil durch die visuelle Inspektion der entsprechenden Karte kein Zusammenhang zwischen Windkraftstandorten und Blitzdichten festgestellt werden konnte, wird an dieser Stelle nicht weiter auf dieses Thema eingegangen und auf die entsprechende Karte im Anhang verwiesen (Abbildung 41).

**Tabelle 8: Flächen- und Blitzanteil sowie Blitzdichte verschiedener Landnutzungen in Sachsen im Zeitraum 1999–2012**

Landnutzung	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Flächenanteil [%]	Blitzanzahl	Blitzanteil [%]	Blitzdichte [fl*km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]
Acker	7.241	39,2	271.397	38,8	2,7
Gewässer	402	2,2	13.260	1,9	2,4
Grünland	2.962	16,0	116.925	16,7	2,8
Siedlung	1.678	9,1	62.962	9,0	2,7
Wald	5.124	27,8	196.254	28,1	2,7
Sonstiges	1.049	5,7	37.910	5,4	2,6
Gesamtfläche	18.455	100,0	698.708	100,0	2,7

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Vor dem Hintergrund der für den Freistaat Thüringen durchgeführten Analyse (2012 abgeschlossen) und der bereits bekannten deutlich höheren Blitzdichte in Sachsen sowie der für den Freistaat Sachsen sehr weit fortgeschrittenen Klimaanalyse erschien es beinahe zwingend, auch für Sachsen eine erste Blitzklimatologie in Angriff zu nehmen. Auslöser für die Studie für Thüringen war damals die Hypothese von KUNKA (Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie), dass der beobachtete regionale Klimawandel mit einer Zunahme konvektiver Ereignisse verbunden sein sollte – und damit einer Zunahme von Gewittern und Blitzereignissen. Dieser Zusammenhang konnte für Thüringen nicht nachgewiesen werden, wenngleich er plausibel ist. Die folgenden Schlussfolgerungen werden sich an die Themensequenz dieses Berichtes halten, jedoch immer wieder Schwerpunkte zum Thema Klima und Klimawandel einflechten und von einem Ausblick zu weiteren, nach Ansicht der Autoren durchaus sinnvollen weiteren Schritten zu Thema Blitzklimatologie in Sachsen abgeschlossen.

## 5.1 Schlussfolgerungen

In den Grundlagen (► Kap. 2) wurden die drei Haupttypen von Gewittern kurz beschrieben. Aus deren jeweiliger Genese kann grundsätzlich geschlossen werden, dass eine stärkere Erwärmung der Atmosphäre bei gleichzeitig feuchten Verhältnissen der Zunahme von Gewittern und damit Blitzschlägen eher förderlich ist. Dennoch darf nicht vergessen werden, dass trotz – im globalen Vergleich – überproportionalem Temperaturanstieg in Sachsen diese Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur inkrementell eher gering ist im Vergleich zu subtropischen oder gar tropischen Verhältnissen. Dennoch ist allein wegen der statistisch sehr wahrscheinlichen Zunahme wärmerer und heißer Tage im Sommerhalbjahr (dem Zeitfenster der höchsten Gewitterhäufigkeiten) grundsätzlich mit mehr als mit weniger Gewittern und damit auch Blitzschlag zu rechnen – unabhängig von dem zu betrachteten Zeitfenster (z. B. 2050 oder später).

Auch das in den Grundlagen angesprochene Phänomen der mesoskaligen konvektiven Systeme (MCS) und Komplexe (MCC) deutet sich in den untersuchten Daten an, obgleich es nicht Aufgabe dieser ersten Arbeit sein konnte, dies näher zu untersuchen. Die für Thüringen nachgewiesene bimodale Verteilung der maximalen Blitzhäufigkeit mit einem deutlich geringeren ersten Modus in den frühen Morgenstunden bestätigte sich für Sachsen mit einem angesichts der höheren Datendichte auch entsprechend stärkeren Signal – welches dennoch deutlich schwächer bleibt als das Hauptsignal in der zweiten Tageshälfte (► Abbildung 6 und Abbildung 14).

### 5.1.1 Fehlerbetrachtung

Sehr ernst zu nehmen – und dies muss vor den weiteren Schlussfolgerungen noch einmal ganz deutlich formuliert werden – sind die folgenden Argumente zur Qualität der Daten und zum Datenumfang, bevor folgende „Zuspitzungen“ der Ergebnisse falsch verstanden oder überinterpretiert werden.

Zunächst einmal handelt es sich um einen sehr guten Datensatz, der in sich konsistent ist und in jeder Hinsicht Vertrauen verdient. Es werden genau 14 Jahre abgedeckt; bei großzügiger Interpretation eine halbe Klimanormale sensu WMO. Es ist bekannt, dass selbst 30-Jahres-Zeitfenster nur bedingt geeignet sein können, tatsächlich und zweifelsfrei Klimawandelsignale zu identifizieren und interpretieren zu können. Deshalb empfehlen die Autoren auch, diese Studie fortzuschreiben. Zusätzlich ist auf weitere systematische Schwächen hinzuweisen. Das BLIDS-System ist seit 1992 in Betrieb. Bis zum Jahr 2002 wurden immer wieder Neuerungen eingebracht, die auch nach Aussage der Verantwortlichen bei Siemens dazu führen, dass diese älteren Daten nur bedingt mit den neueren Daten vergleichbar sind. Dies gälte im pessimistischen Fall für 2 von 14 Jahren, also für etwa 14 % der Daten. Nach Einschätzung der Autoren gibt es jedoch keine deutlichen Anzeichen für Besorgnis in dieser Hinsicht. Bedeutsamer kann der Fehler in der Ortsauflösung sein. Bei einer Genauigkeit von 300 bis 800 Metern für den überwiegenden Teil des Datensatzes (bis 2010), im negativen Fall also von beinahe einem Kilometer, ist es angesichts der oft kleinteiligen Landnutzung in Sachsen durchaus möglich, dass Einzelsignale, besonders wenn sie für starke Extreme gerechnet werden, einer „falschen“ Landnutzung zugeordnet werden. Dies konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht abschließend getestet werden (► Kap. 4.9; Abbildung 39) und gilt analog für die Blitzzuordnung (Wolke-Wolke, Wolke-Erde; ► Kap. 3.1). Für das Startjahr 1999 ist zu beachten, dass es dort Fehler mit der Zuweisung der korrekten Stromstärke der Blitze gab (► Kap. 3.2). Ein weiterer „Fehler“ liegt Literaturangaben zufolge bei der korrekten Identifikation vor allem der Stromstärke und Polarität von Einzelblitzen (► Kap. 4.4). Obwohl dies in der vorliegenden Studie nicht weiter verfolgt werden konnte und auch nicht von wesentlicher Bedeutung für die Aussagen ist, würde es sich grundsätzlich lohnen, diese Frage zumindest qualitativ zu klären, um das Thema bei Detailfragen in einer Interpretation nutzen zu können.

### 5.1.2 Blitz und Teilblitze

Ein einzelnes Blitzereignis kann oft in mehrere Teilblitzereignisse differenziert werden, die innerhalb eines sehr kurzen, optisch kaum wahrnehmbaren Zeitfensters (1 Sekunde) stattfinden. In der Literatur sind unterschiedliche Ansichten dazu vertreten, wie damit umzugehen sei. Angesichts der geschilderten systematischen Unsicherheiten (► Kap. 5.1.1) haben sich die Autoren deshalb wie schon in der Thüringenstudie sehr bewusst dafür entschieden, die Teilblitze zu jeweils einem Blitzereignis zusammenzuführen. Die Ergebnisse sind dadurch belastbarer, diese Auffassung konnte auch durch die Fa. Siemens (mdl. Mitteilung THERN) bestätigt werden.

Das Phänomen einer gewissen Zyklizität in Blitzaufkommen und dem Verhältnis von Teilblitzen und Blitzen (► Kap. 4.2) sowie in der maximalen Blitzanzahl (► Kap. 4.3) steht im Raum, kann jedoch nur grob hypothetisch angerissen werden. Es ist natürlich denkbar, dass in Jahren (Sommerhalbjahren) spezifischer großskaliger Konstellationen (NAO, ENSO etc.) Wärme- und Feuchteanomalien im sächsischen Raum auftauchen, die zu entsprechenden Signalen führen können. Diese Thematik konnte im Rahmen des Projektes nicht näher untersucht werden, sollte jedoch für die Zukunft nicht in Vergessenheit geraten.

Auch die heterogenen Signale der Analyse von Wolke-Wolke (CC) und Wolke-Boden (CG)-Blitzen (► Abbildung 7) darf nicht überbewertet werden. Die deutlich geringere Zahl von Ereignissen im Winterhalbjahr führt zwangsläufig zu einem Artefakt mit höherer statistischer Schwankung im Gesamtkollektiv. Dies weiter interpretieren zu wollen, halten die Autoren nicht für hilfreich.

### 5.1.3 Weitere Blitzcharakteristiken

In dem 14-Jahres-Fenster ereigneten sich in Sachsen beinahe 700.000 Blitze, also etwa 50.000 im Jahr. Den meisten Bürgern dürfte dies neu und fremd zugleich sein, eben wegen des überwiegend sehr lokalen Charakters von Gewitterzellen und Blitzen. Zu bedenken ist dabei zugleich die starke interannuelle Variabilität mit 22.500 (1999) bis 86.000 (2007) Blitzen pro Jahr. Wesentlich und eine Kernhypothese dieser Studie ist dabei die Beobachtung, dass sich die Stromstärke der Ereignisse mit der Zeit erhöht (= steigendes Risiko) bei zugleich einer Veränderung der Frequenz (weniger Blitztage). Dies wäre ein Verhalten analog zur Beobachtung auch anderen Extremwetterverhaltens, so von Starkniederschlägen und auch Dürren (► Abbildung 9; Kap. 4.3; HÄNSEL 2009).

Interessant und unbedingt weiter zu verfolgen ist die Andeutung einer Signalverstärkung bei den extremen Blitzen (neg. u. pos.; ► Abbildung 9). Sollte sich dieses Signal auch bei deutlich erweitertem Zeitfenster (>20 Jahre) bestätigen, so wäre dies sicherlich ein weiteres Argument für die These, dass ein zunehmender regionaler Klimawandel sich im Hinblick auf die bislang beobachteten Trends fortsetzt. Besondere Aufmerksamkeit verdient sicherlich auch das extreme Ende der Extremverteilung – Tage mit außergewöhnlicher Blitzintensität (► Tabelle 5). Diese besonderen Extreme sind an Wetterkonstellationen gekoppelt, von denen die regionale Klimaforschung annimmt, dass sie für die absehbare Zukunft eher zu- als abnehmen werden (BERNHOFER et al. 2009, 2011).

Bemerkenswert ist der zeitliche Versatz von etwa einem Monat bei der jahreszeitlichen Blitzfrequenz zwischen Thüringen und Sachsen (► Abbildung 15). Dabei muss einerseits die unterschiedliche Kollektivgröße beachtet werden und andererseits, dass in Thüringen ein Signalplateau ein Maximum für die Monate Juni und Juli zeigt, während in Sachsen wie in Thüringen die Frequenz ab April ansteigt, doch im Juli deutlich höher liegt als in Thüringen. Auch diese Phänomenologie konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht abschließend geklärt werden. Für die Praxis dürfte dies weniger von Bedeutung sein, denn risikoreicher sind in jedem Fall die

Monate von Mai bis August. Letzteres steht in guter Übereinstimmung mit analogen Arbeiten zum Beispiel in Österreich oder auch den USA.

Ein weiterer zeitlicher Versatz zwischen Thüringen und Sachsen konnte für den Tagesgang ermittelt werden (► Abbildung 17). Mit ein bis zwei Stunden Verzögerung tritt das Maximum der Blitzeinschläge in Sachsen (15:00 bis 16:00 Uhr) gegenüber Thüringen (14:00 bis 15:00 Uhr) auf. Obwohl dies im Rahmen des Projektes nicht näher untersucht werden konnte, erscheint es doch nicht unplausibel anzunehmen, dass bei der in beiden Fällen dominanten Westdrift diese Verzögerung tatsächlich das Durchziehen von Gewitterfronten repräsentiert. Dies könnte im Rahmen einer Detailuntersuchung sicherlich verifiziert bzw. falsifiziert werden.

#### 5.1.4 Stromstärke von Blitzen

Die aus der Literatur bekannten maximalen Stromstärken können für den untersuchten Datensatz ebenso bestätigt werden wie die Beobachtung, dass negative Pulse eher etwas schwächer sind als positive (► Kap. 4.4). So wurden Minima von -290 kA und Maxima von beinahe 460 kA beobachtet. Letzteres würde die generelle Angabe von maximal 300 kA deutlich übertreffen. Wesentlich ist auch, dass knapp 40 % aller Blitze positiv geladen waren, wobei auch dies starken interannuellen Schwankungen unterliegt (18 % im Jahr 1999 und 46 % im Jahr 2005) – und dass diese extremen Stromstärken bei Wolke-Boden-Blitzen auftreten, also besonders risikoreiche Konstellationen darstellen. Bemerkenswert ist in jedem Fall, dass über den Zeitraum die Stärke negativer Signale zugunsten positiver Signale abnahm. Auch dies lohnt sich, in Zukunft weiter zu verfolgen.

Nicht weniger wichtig ist die Beobachtung einer Zunahme positiver und negativer „Superblitze“ in Sachsen. Dies passt zu der parallelen Erfahrung der Zunahme von Blitzintensitäten bei ansonsten geänderten Frequenzen (► Kap. 5.1.3). Die Tabelle 6 zeigt sehr anschaulich eine nahezu stetige Zunahme dieser ausgeprägten Extremereignisse im 14-Jahres-Fenster. Diese Beobachtung sollte unbedingt fortgesetzt werden.

#### 5.1.5 Blitzdichte

Die Blitzdichte in Sachsen ( $1 \text{ bis } 5 \text{ fl*km}^{-2}\text{*a}^{-1}$ ) variiert wie auch in anderen Regionen interannuell sehr stark. Dennoch ist es bemerkenswert, dass in Sachsen die absolut höchsten bislang gemessenen Blitzdichten innerhalb Deutschlands auftreten. Dabei ist, wie die Abbildung 25 deutlich macht, keineswegs das gesamte Bundesland gleichermaßen betroffen: Die höchsten Blitzdichten wurden für das mittlere und östliche Erzgebirge ermittelt. Die Frage, warum sich eine Negativanomalie wie ein Gürtel von West nach Ost durch das geografische Zentrum Sachsens zieht, kann nur hypothetisch beantwortet werden – die dominant aus südlichen Richtungen anströmenden Gewitter (über das Erzgebirge; also orografische Gewitter) verlieren zunächst Energie im Erzgebirgsraum. Bei ihrem weiteren Zug Richtung Norden führt aufsteigende Warmluft im sächsischen Tiefland wiederum zur Zellenbildung, die sich in (deutlich schwächeren bzw. geringer dichten) Ereignissen im zentralen Norden Sachsen (Grenzbereich zu Brandenburg) entlädt.

Im Hinblick auf die Naturräume Sachsens ist allein wegen der relativen Kleinräumigkeit der entsprechenden Differenzierung einerseits und einer nicht vorhandenen tieferen Analyse andererseits kaum eine belastbare Aussage zu machen, die über die selbsterklärende Darstellung von Abbildung 26 hinausginge. Viel aufschlussreicher ist da die in Abbildung 27 und Abbildung 28 gezeigte jahresdurchschnittliche und monatsaufgelöste Blitzdichte im Suchraum (Achtung, unterschiedliche Skalen, auch innerhalb von Abbildung 28!). Nicht nur wird die bereits angesprochene starke interannuelle Variabilität deutlich, sondern es lässt sich eindrucksvoll erkennen, dass die besonders blitzintensiven Ereignisse überwiegend aus dem tschechisch-böhmischen Raum nach Sachsen kommen (► Abbildung 27). Die monatliche Auflösung wiederum zeigt nicht nur die deutlich dominierenden Monate Mai bis August (Achtung, unterschiedliche Skalen in der Abbildung!), sondern

wiederum die offensichtlich bevorzugten Zugbahnen aus (süd)westlichen Richtungen. Dies ist wiederum angesichts der beobachteten Veränderung der Frequenz von Großwetterlagen auch von klimatologischer Bedeutung (► Kap. 3.3, 4.7, 5.1.7).

### 5.1.6 Morphologische Höhenlage

Bereits in der Thüringenstudie konnte bestätigt werden, dass ein, wenngleich statistisch schwacher, Zusammenhang zwischen morphologischer Höhe über Normalnull und Blitzhäufigkeit besteht. Mit dem deutlich größeren Datenkollektiv aus Sachsen konnte dieser Zusammenhang bestätigt werden (► Abbildung 31), doch der Zusammenhang ist nicht linear, weil Anströmungen und die entsprechende Lage z. B. von Gebirgsketten etc. hierbei eine wichtige Rolle spielen.

### 5.1.7 Wetterlagen

Schon mehrfach wurde die Bedeutung von Wetterlagen für die Entstehung bzw. auch die Signalstärke von Gewitterereignissen und Blitzen angesprochen. In Sachsen wird bereits seit 1999 recht intensiv analytisch und projektiv an der Frage des Verhaltens von Großwetterlagen im Suchraum gearbeitet und entsprechend viel und dichte Arbeiten liegen zu diesem Thema vor.

In Analogie zu der Studie für Thüringen konzentrierte sich die vorliegende Arbeit auf die Analyse extremer Blitz- und Gewitterereignisse ( $\geq 500$  fl pro Tag). Deutlich wird, dass die Westlage zyklonal (WZ) den höchsten Anteil an Blitztagen zeigt, gefolgt von Südwest zyklonal (SWZ) und Trog Westeuropa (TRW) sowie mit Abstrichen dem Hoch Mitteleuropa mit der Hochdruckbrücke (BM). Alle weiteren Konstellationen zeigen erheblich viel geringere Anteile. Damit kann auf diese vier GWL fokussiert werden, die auch in ihrem Auftreten im Jahresverlauf zusammen mit Trog Mitteleuropa (TRM) die fünf absolut stärksten GWL stellen. Während in den vergangenen fünf Jahrzehnten ein leichter relativer Rückgang der Westlagen (z. B. WZ) zugunsten der Südwestlagen (z. B. SWZ) festzustellen ist, lässt sich ebenfalls eine Tendenz zu einer Zunahme blockierender Wetterlagen (z. B. BM) feststellen. Damit wäre zumindest klar, dass auch in Zukunft nicht mit einem Rückgang der Blitzhäufigkeit bzw. -intensitäten gerechnet werden kann. Wesentlich ist jedoch, dass die Südwestlagen mit ihrer überdurchschnittlichen Zunahme gegenüber anderen westlichen Strömungen zugleich mit Abstand die blitzintensivsten Zustände repräsentieren – hier also eher mit einer Zunahme zu rechnen ist, zumindest wenn auch genügend Feuchtigkeit im System steckt (► Abbildung 37). Auch bei dieser Fragestellung wird es sich lohnen, die weitere Entwicklung in Zukunft kritisch zu beobachten.

### 5.1.8 Sonstige Klimaparameter

Es war im Rahmen dieser ersten Studie weder beabsichtigt noch angesichts des besprochenen Aufwandes möglich, den Zusammenhang von Blitz- und Gewitterereignissen präziser und höher aufgelöst mit weiteren klimatologischen Kenngrößen zu analysieren. Es ließe sich auch zu Recht die Frage stellen, ob dies angesichts von 14 Jahren durchgehender Daten schon gerechtfertigt wäre und wie robust die Ergebnisse bestenfalls sein könnten.

Der Versuch, dennoch mit durchschnittlichen Klimakenngrößen und den vorliegenden Blitzdaten statistisch auffällige Zusammenhänge zu ergründen (► Kap. 4.8; Abbildung 38) führte lediglich zu der Erkenntnis, dass keine Zusammenhänge zwischen Blitzhäufigkeiten oder -intensitäten und einzelnen Klimakenngrößen nachweisbar waren. Eine intensivere Analyse steht aus und sollte zumindest bei Vorliegen eines größeren Datensatzes (mindestens 20 Jahre) in Angriff genommen werden.

## 5.2 Ausblick

Wie bereits mehrfach in den Schlussfolgerungen angesprochen, ergeben sich aus der vorliegenden Studie zwanglos weitere grundsätzlich lohnende Fragestellungen, die bislang nicht oder nur sehr oberflächlich betrachtet werden konnten. Dazu gehört die **Landnutzung**. Größere Flächen zusammenhängender Landnutzung gibt es durchaus auch in Sachsen und es könnte interessant sein, ausgewählte Teilflächen zu untersuchen, ob hier ein differenziertes Landnutzungssignal heraus zu extrahieren ist. Sicher nicht einfach, weil die dominanten Zugbahnen nur bedingt mit größeren Flächen gleicher Landnutzung übereinstimmen. Wiederum würde ein längerer Beobachtungszeitraum helfen, Aussagen robuster zu machen.

**Einzelgewitterereignisse** genauer zu untersuchen würde sich dagegen schon jetzt lohnen. Ansatzweise zeigt dies Tabelle 5, doch wurde keines dieser ausgeprägten Extreme auf seine spezifischen atmosphärischen Konstellationen hin untersucht. Der Aufwand wäre nicht unerheblich und dennoch ein wichtiger Beitrag für eine tiefere Blitz- und Gewitterklimatologie Sachsens.

Das Thema Zyklizitäten (z. B. 2002, 2007, 2012), das ebenfalls mehrfach in der Analyse hypothetisch auftaucht, verdient zweifellos Aufmerksamkeit, wengleich erst in sechs bis elf Jahren – wenn nämlich einerseits der Beobachtungszeitraum einer Klimanormalen näher kommt und andererseits die Kenntnis der Veränderung der Großwetterlagen etwas weiter fortgeschritten ist, einschließlich der Integration in Klimamodelle. Mit zusätzlichen Daten aus etwa fünf weiteren Jahren (also ab 2018) sollten der **zeitliche Versatz im Tages- und Jahresgang**, die **Verstärkung und Änderung des Blitzsignals mit der Zeit** und die **Veränderung der Dominanz von Polarität und Blitzstärke** genauer untersucht werden. Das wäre zwar auch mit dem bestehenden Datensatz bereits möglich, dennoch ist absehbar, dass bei den Ergebnissen wiederum die Unsicherheit aufgrund einer noch unzureichenden Fallzahl für diese wichtigen Detailuntersuchungen von Extremverhalten die Aussagen eingrenzt. Schließlich die vermutlich spannendste Frage nach **Wetterlagen und Klimatologie**: Hier gilt es, in Zukunft alle Zusammenhänge zu untersuchen, nicht nur der ausgeprägten Extreme, und eine Tiefenprüfung auf Ereignisbasis (Trajektorien bzw. Luftmassenherkunft) durchzuführen. Das ließe sich wiederum bereits mit dem vorliegenden Datensatz erarbeiten, wobei der Aufwand größer wäre als bei der hier vorliegenden Studie.

Als Fazit wird deutlich, dass die vorgelegte Studie äußerst erfolgreich „Neuland urbar“ machen und wesentliche Grundlagen für eine „Sächsische Gewitter- und Blitzklimatologie“ legen konnte. Zugleich ist von einer auch zeitlich so eingegrenzten Studie nicht zu erwarten, dass alle damit verbundenen Fragen beantwortet werden. Dennoch zeigt die o. g. Liste, dass es sowohl Themen gibt, die unmittelbar und mit dem vorliegenden Datensatz bearbeitbar sind – mit sehr guter Aussicht auf Erfolg, während weitere, nicht minder wichtige und spannende Fragen heute noch nicht beantwortet werden können. Dabei sollte der Fragenkatalog mitnichten vergessen werden, sondern verdient es, in etwa fünf bis zehn Jahren wieder hervorgeholt und mit dem dann ergänzten Datensatz (bis 2017 bzw. 2022) einer erneuerten Tiefenanalyse unterzogen zu werden. Die hier vorgelegte Arbeit legt dazu eine äußerst robuste und umfangreiche Basis vor, die auch ohne weitere Studien bereits wesentliche Fragen beantworten und die Ausgangshypothesen der Autoren vollumfänglich bestätigen konnte.

# Literaturverzeichnis

- AHRENS, C. D. (2013): *Meteorology today – An introduction to weather, climate, and the environment*. International Edition. 10. Aufl., Brooks/Cole, Cengage Learning; 640 S.
- BAATZ, H. (1985): *Mechanismus der Gewitter und Blitze*. VDE-Schriftenreihe 34, 2. Auflage, VDE Verlag, Berlin, 54 S.
- BAUR, F.; HESS, P. & NAGEL, H. (1940): *Kalender der Großwetterlagen Europas 1881–1939*. Bad Homburg v. d. H., 35 S.
- BAZELYAN, E. M. & RAIZER, Y. P. (2000): *Lightning Physics and lightning protection*. Institute of Physics Publishing, London, 325 S.
- BERHOFER, C.; MATSCHULLAT, J. & BOBETH, A. (Hrsg.) (2009): *Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden*. Rhombos-Verlag, Berlin; 117 S.
- BISSOLLI, P. & DITTMANN, E. (2001): The objective weather types classification of the German Weather Service and its possibilities of application to environmental and meteorological investigations. *Meteorologische Zeitschrift* 10, 4: 253–260
- BROOK, M.; NAKANO, M.; KREHBIEL, P. & TAKEUTI, T. (1982): The electrical structure of Hokuriku winter thunderstorms. *Journal of Geophysical Research* 87: 1207–1215
- CUMMINS, K. L.; MURPHY, M. J.; BARDO, E. A.; HISCOX, W. L.; PYLE, R. B. & PIFER, A. E. (1996): A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network. *Journal of Geophysical Research* 103, D8: 9035–9044
- DISSING, D. & VERBYLA, D. L. (2003): Spatial patterns of lightning strikes in interior Alaska and their relation to elevation and vegetation. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 770–782
- DITTMANN, E.; BARTH, S.; MÜLLER-WESTERMEIER, G. & LANG, J. (1995): Objektive Wetterlagenklassifikation. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 197: 41 S.
- DORAU, F. (2006): *Blitzaktivität im Vergleich mit Wetterradar-Beobachtungen*. Diplomarbeit, Universität Wien, 100 S., online verfügbar:  
[http://imgw.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/inst\\_met\\_und\\_geo/Abschlussarbeiten/Master\\_Diplomarbeiten/DA\\_Dorau.pdf](http://imgw.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/inst_met_und_geo/Abschlussarbeiten/Master_Diplomarbeiten/DA_Dorau.pdf) [05.08.2013]
- DRÜE, C.; HAUF, T.; FINKE, U.; KEYN, S. & KREYER, O. (2007): Comparison of a SAFIR Lightning detection network in northern Germany to the operational BLIDS network. *Journal of Geophysical Research* 112, D18114
- DWD (2010, 2011, 2012): *WitterungsReport Express*. Monatliche Publikation des Deutschen Wetterdienstes
- DWD (2013): *Objektive Wetterlagenklassifikation von 1979–2013*. Online verfügbar:  
[http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU23/wetterlagenklassifikation/online\\_\\_wkdaten,templateId=raw,property=publicationFile.txt/online\\_wkdaten.txt](http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU23/wetterlagenklassifikation/online__wkdaten,templateId=raw,property=publicationFile.txt/online_wkdaten.txt) [20.08.2013]
- FIEDLER, B. (2012): *Raum-zeitliches Auftreten von Blitzereignissen in Thüringen*. Diplomarbeit (unveröff.), TU Bergakademie Freiberg, 119 S.
- FINKE, U. (1999): Space-time correlations of lightning distribution. *Monthly Weather Review* 127: 1850–1861
- FINKE, U. & HAUF, T. (1996): The characteristics of lightning occurrence in southern Germany. *Beiträge zur Physik der Atmosphäre* 69, 3: 361–374
- HÄCKEL, H. (2008): *Meteorologie*. 6. Auflage, Eugen Ulmer Kg, Stuttgart, 447 S.
- HÄNSEL, S. & HOY, A. (2013): *Atmosphärische Zirkulationsmuster sowie Trocken- und Nassphasen in regionalen Klimaprojektionen*. Produktbericht 2.1b des Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden (REGKLAM), 137 S.

- HESS, P. & BREZOWSKY, H. (1952): Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 33: 39 S.
- HESS, P. & BREZOWSKY, H. (1969): Katalog der Großwetterlagen Europas. 2. Auflage. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 15, 113: 56 S.
- HESS, P. & BREZOWSKY, H. (1977): Katalog der Großwetterlagen Europas. 3. Auflage. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 15, 113: 68 S.
- HOY, A.; SEPP, M. & MATSCHULLAT, J. (2013): Atmospheric circulation variability in Europe and northern Asia (1901 to 2010). *Theoretical and Applied Climatology* 113, 3-4, 643–658
- JARVIS, A.; REUTER, H. I.; NELSON, A. & GUEVARA, E. (2008): Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); online verfügbar: <http://srtm.csi.cgiar.org> [28.08.2013]
- KESSLER, E. (1986): Thunderstorm morphology and dynamics. In: *Thunderstorms – a social, scientific, and technological documentary*. Band 2, University of Oklahoma Press, 412 S.
- KLOSE, B. (2008): *Meteorologie. Eine interdisziplinäre Einführung in die Physik der Atmosphäre*. Springer, Berlin, 396 S.
- MANOOCHHRNIA, P.; PRICE, C.; RACHIDI, F.; RUBINSTEIN, M. & SCHULZ, W. (2008): Link between lightning activity and temperature: A regional study in Switzerland. *European Electromagnetics (EUROEM)*, Lausanne, Switzerland
- POELMAN, D. R.; SCHULZ, W. & VERGEINER, C. (2013): Performance characteristics of distinct lightning detection networks covering Belgium. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 30: 942–951
- RABIN, R. M.; STADLER, S.; WETZEL, P. J.; STENSRUD, D. J. & GREGORY, M. (1990): Observed effects of landscape variability on convective clouds. *Bulletin American Meteorological Society* 71, 3: 272–280
- RAKOV, V. A. & UMAN, M. A. (2003): *Lightning: Physics and effects*. Cambridge University Press, Cambridge, 687 S.
- REUTER, H. I.; NELSON, A. & JARVIS, A. (2007): An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data. *International Journal of Geographic Information Science* 21, 9: 983–1008
- SCHMIDT, K.; BETZ, H. D.; OETTINGER, W. P.; WIRZ, M. & DIENDORFER, G. (2004): A new lightning detection network in southern Germany. 27<sup>th</sup> ICLP 2004, Avignon, France
- SCHROEDER, M. J. & BUCK, C. C. (1970): *Fire weather*. Agricultural handbook 360, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington D.C., 229 S.
- SCHULZ, W.; CUMMINS, K.; DIENDORFER, G. & DORNINGER, M. (2005): Cloud-to-ground lightning in Austria: A 10-year study using data from a lightning location system. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres* 110, 9: 1–20
- SCHULZ, W. & DIENDORFER, G. (2005): Qualitätsverbesserung des deutschen Blitzortungssystems. *ETZ, Elektrotechnik und Automation* 126, 2: 76–79
- SHAO, X. M.; STANLEY, M.; REGAN, A.; HARLIN, J.; PONGRATZ, M. & STOCK, M. (2006): Total lightning observations with the new and improved Los Alamos Sferic Array (LASA). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 23:, 1273–1288
- SPITZER, W.; SCHULZ, W.; PRINZ, T. & KEUL, A. (2011): GIS-basierte Methode zur genaueren Schätzung der Blitzdichte. Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik (AGIT), Salzburg, Österreich. *Angewandte Geoinformatik*, S. 599–605
- STULL, R. B. (1988): *An introduction to boundary layer meteorology*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, 777 S.
- TAKAGI, N.; TAKEUTI, T. & NAKAI, T. (1986): On the occurrence of positive ground flashes. *Journal of Geophysical Research* 91, D9: 9905–9909
- WERNER, P. C. & GERSTENGARBE, F. W. (2010): *Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881–2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky*. 7. Aufl., PIK Report 119: 140 S.
- WOLF, B. (2000) *Analyse der Niederschlagstrends in Sachsen nach objektiven Verfahren*. Diplomarbeit (unveröff.), IÖZ, TU Bergakademie Freiberg; liegt im LfULG vor

# Anhang

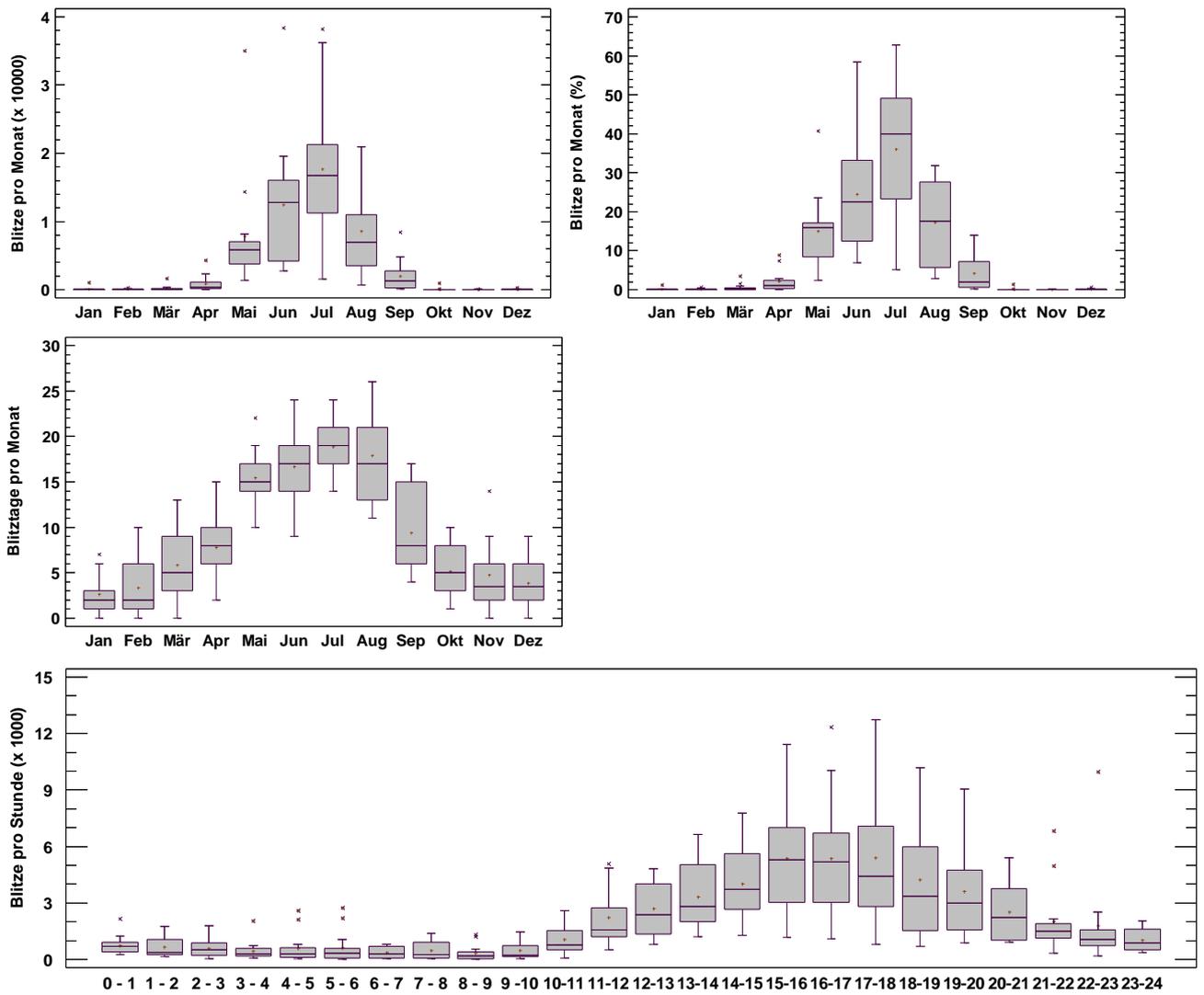


Abbildung 40: A) Jahrgang der absoluten Blitzhäufigkeit, B) Jahrgang der relativen Blitzhäufigkeit, C) Jahrgang der absoluten Häufigkeit der Blitztage, D) Tagesgang der absoluten Blitzhäufigkeit

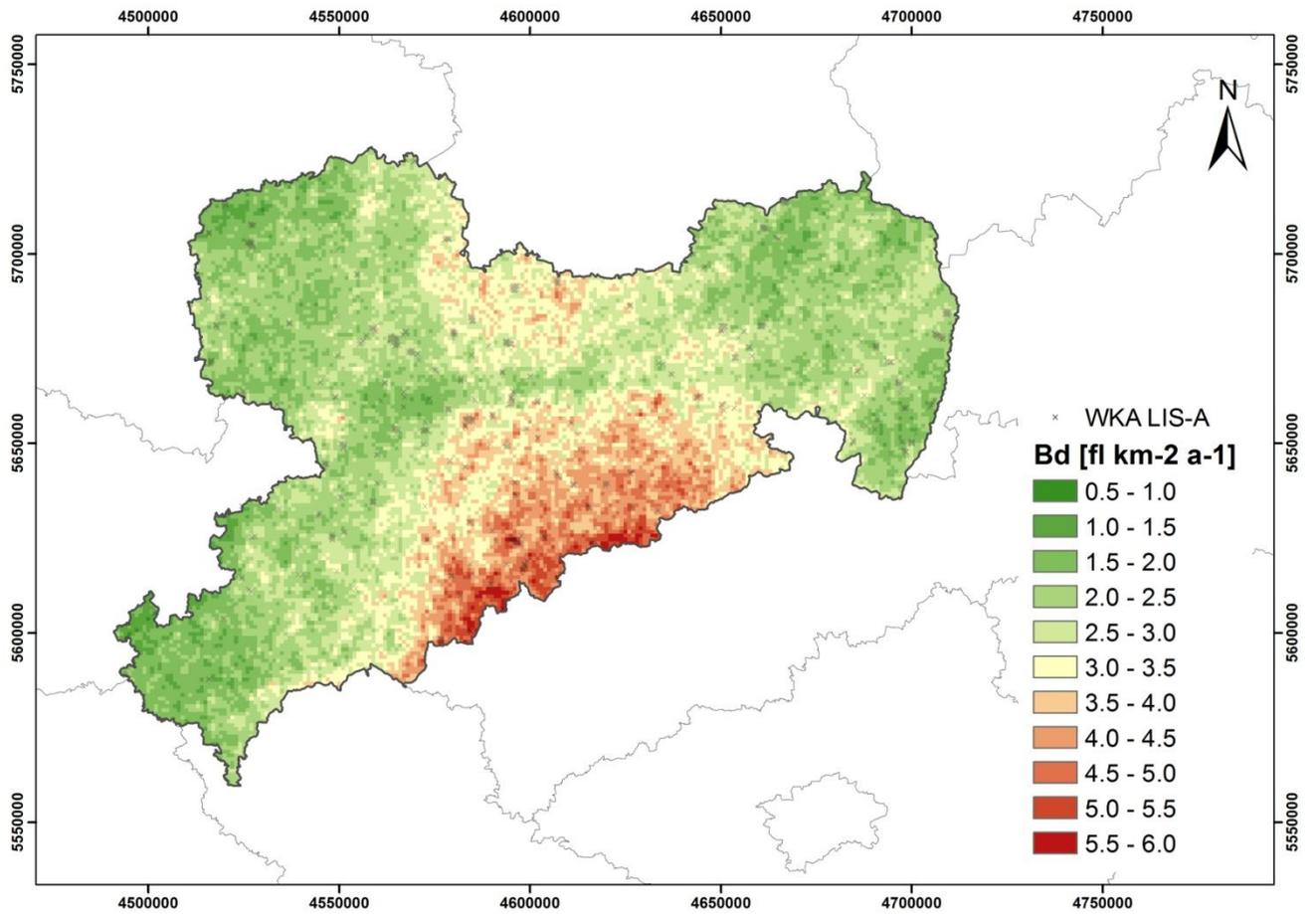


Abbildung 41: Blitzdichten in Sachsen im Zeitraum 1999–2012 (Suchradius = Zellgröße = 1 km) und Standorte von Windkraftanlagen (nach LIS-A)

**Herausgeber:**

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

**Autoren:**

Dr. Anne Schucknecht, Prof. Jörg Matschullat  
Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum, TU Bergakademie Freiberg  
Brennhausgasse 14, 09599 Freiberg  
Telefon: + 49 3731 39-2297  
Telefax: + 49 3731 39-4060  
E-Mail: joerg.matschullat@ioez.tu-freiberg.de

**Redaktion:**

Andreas Völlings  
LfULG, Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/Referat Klima, Luftqualität  
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden  
Telefon: + 49 351 2612-5101  
Telefax: + 49 351 2612-5199  
E-Mail: andreas.voellings@smul.sachsen.de

**Titelfoto:**

Bianca Fiedler  
(aufgenommen am 11.09.2012 in Dresden-Klotzsche mit Blick in Richtung Dresden-Neustadt)

**Redaktionsschluss:**

30.11.2013

**ISSN:**

1867-2868

**Hinweis:**

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

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von politischen Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.