



# REGIONALISIERTE BLITZAUSWERTUNG (REBLAUS)

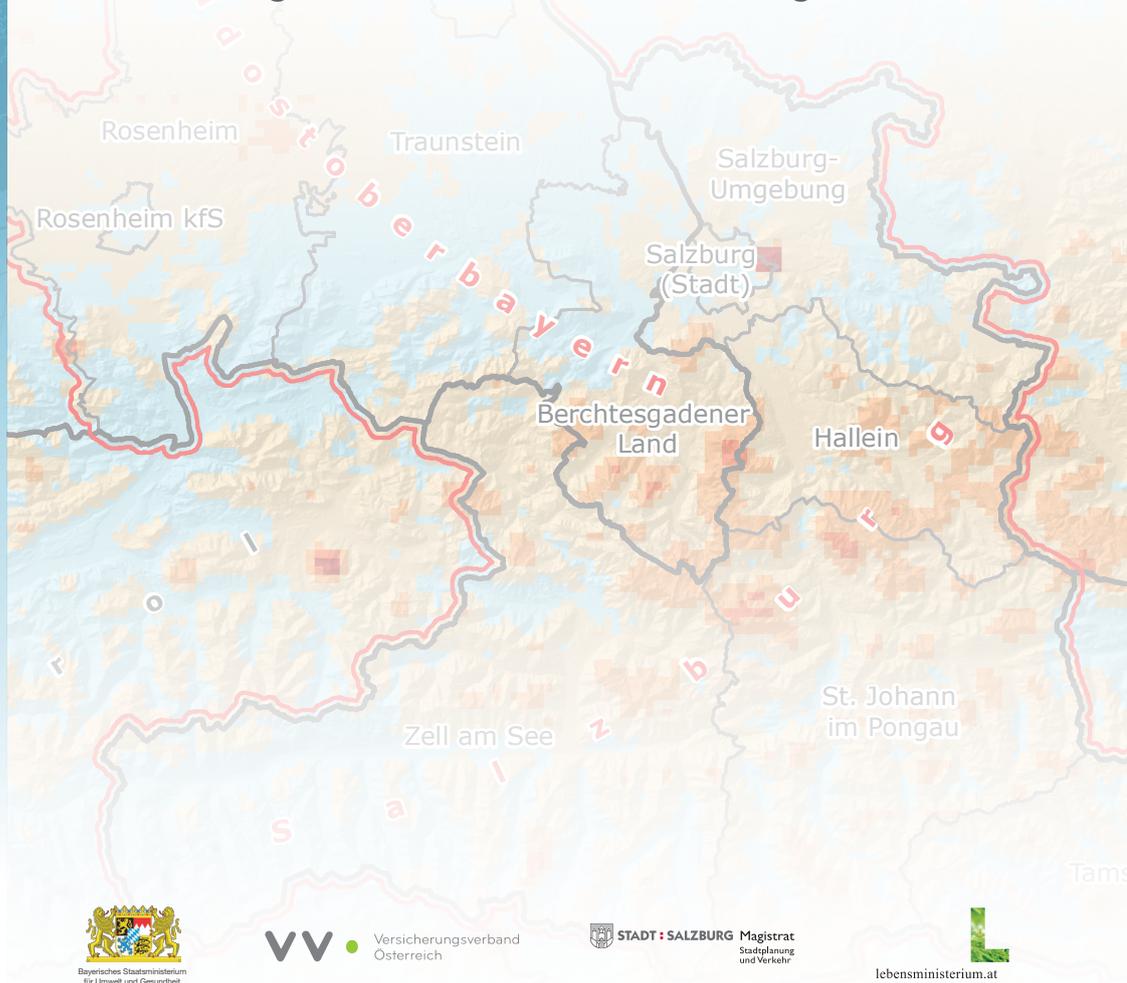
gemeinsam grenzenlos gestalten

**INTERREG**  
Bayern – Österreich  
2007-2013



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung

## Grenzübergreifendes Risiko- und Naturgefahrenmanagement durch Regionalisierte Blitzauswertung



**r s a iSPACE**

**OVE** Österreichischer Verband  
für Elektrotechnik

**IPP** Max-Planck-Institut  
für Plasmaphysik



**VV** Versicherungsverband  
Österreich

**STADT SALZBURG** Magistrat  
Stadtplanung  
und Verkehr

**L**  
Icbensministerium.at





### **Projektleitung und Kontakt**

Thomas Prinz  
Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH - Studio iSPACE  
Schillerstraße 25, 5020 Salzburg, Austria  
office.ispace@researchstudio.at; ispace.researchstudio.at

### **Projektpartner**

Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH, Studio iSPACE, Forschungsstudio für georeferenzierte Technologien und Anwendungen; ispace.researchstudio.at (Lead Partner)

Österreichischer Verband für Elektrotechnik (ÖVE),  
Abteilung Austrian Lightning Detection & Information System (ALDIS); www.ove.at; www.aldis.at

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Projekt Energie und Systemstudien; www.ipp.mpg.de

### **Fördergeber**

Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO); www.vvo.at

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW),  
Abteilung V/4, Immissions- und Klimaschutz; www.lebensministerium.at

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG),  
Referat 75, Luftreinhaltung und Anlagensicherheit; www.stmug.bayern.de

Magistrat der Stadt Salzburg, Abteilung 5 Raumplanung und Baubehörde; www.stadt-salzburg.at

### **Unterstützer**

Amt der Salzburger Landesregierung,  
Abteilung 7 Raumplanung, Abteilung 5 Umweltschutz; www.salzburg.gv.at

EuRegio Salzburg - Berchtesgadener Land - Traunstein; www.euregio-salzburg.at

### **Inhaltliche Bearbeitung**

Wolfgang Spitzer, Thomas Prinz, Christian Neuwirth, Barbara Hochwimmer, Alexander Keul,  
Gerhard Diendorfer, Wolfgang Schulz, Thomas Hamacher, Johannes Dorfner

Dieses Projekt wird über die Strukturfonds der EU „Ziel Europäische Territoriale Zusammenarbeit“ kofinanziert.  
Interreg IV A - Förderkennzeichen PCode: J00169; Laufzeit: 01/2009-09/2011

Salzburg, September 2011



## VORWORT

### Versicherungsverband Österreich

Durch Blitzschläge entstehen jährlich den Kunden Schäden in zweistelligen Millionenhöhen.

Die Beschäftigung mit Naturgefahren wird aus diesem Grund für die Versicherungsbranche immer bedeutender und wichtiger.

Bemühungen, Risikoeinschätzungen für Naturgefahren zu intensivieren und zu verbessern, sind daher auch dem österreichischen Versicherungsverband VVO ein wesentliches Anliegen und konnten auch durch die Unterstützung des Projektes „REBLAUS“ aktive Umsetzung erfahren.

Die Ergebnisse dieses grenzübergreifenden Projektes REBLAUS (Regionalisierte Blitzauswertung) flossen auch in „HORA“ (Hochwasserzonierung Austria) ein, einem Risikozonierungsmodell, das der österreichische Versicherungsverband gemeinsam mit dem Lebensministerium entwickelt hat.

Allen Beteiligten des Projektes REBLAUS gilt Dank und Anerkennung für ihren Beitrag und ihre Leistung. REBLAUS stellt ein gelungenes Beispiel für ein Private Public Partnership dar, an dem sich der österreichische Versicherungsverband gerne beteiligt und seinen aktiven Beitrag zur Naturgefareneinschätzung leisten kann.

**Dir. Dr. Louis Norman-Audenhove**

Generalsekretär  
Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO)

# Inhalt

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Projektziele .....	2
1.2. Methodik .....	3
1.3. Risikomanagement und Geoinformatik .....	3
1.4. Grenzübergreifender Untersuchungsraum .....	8
<b>2. Forschungsstand</b>	<b>10</b>
2.1. Gewitterarten .....	10
2.2. Gewitter und Blitze .....	11
2.3. Blitzerfassung und Ortungsqualität.....	12
2.4. Schadenswirkung von Blitzschlägen .....	14
2.4.1. Physiologische Wirkung von Elektrizität .....	14
2.4.2. Wirkung von Blitzschlägen .....	15
2.4.3. Klassifikation von Blitzrisiken.....	16
2.5. Blitzschutz von Personen .....	17
2.6. Blitzschutz von Gebäuden.....	18
2.6.1. Äußerer Blitzschutz .....	18
2.6.2. Innerer Blitzschutz .....	19
2.7. Blitzschutz im Stromnetz .....	20
2.7.1. Struktur des Stromnetzes .....	20
2.7.2. Schutzprinzipien .....	23
<b>3. Grenzübergreifende GIS-Datenbasis</b>	<b>24</b>
3.1. Orientierungsdaten .....	25
3.2. Blitzeinschläge.....	26
3.3. Blitzschäden .....	26
3.4. Regionalstatistik .....	27
3.5. Raumordnung / Raumplanung .....	28
3.6. Klima / Wetter .....	29
3.7. Topographie .....	30



<b>4. Analyse der Blitzeinschläge 1998-2009</b>	<b>31</b>
4.1. Schätzung der Blitzdichte .....	31
4.2. Visualisierung der Blitzdichte.....	34
4.3. kartographische Regionalisierung der Blitzdichte.....	35
4.4. Raumzeitliche Variation der Blitzdichte .....	38
<b>5. Analyse raumzeitlicher Zusammenhänge</b>	<b>45</b>
5.1. Blitzdichte und Topographie .....	45
5.2. Blitzdichte und Klima / Wetter.....	56
5.3. Blitzschäden und Blitzdichte.....	61
5.3.1. Fallstudien schadensreicher Tage.....	66
<b>6. Beiträge zur Risikoprävention</b>	<b>68</b>
6.1. Wissensstand der Bevölkerung .....	69
6.2. Schadenswirkung von Blitzeinschlägen auf die Stromversorgung .....	72
6.2.1. Stochastisches Modell.....	72
6.3. Modellansatz zum gebäudebezogenen Blitzrisiko in GIS.....	76
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>79</b>
7.1. Projektwirkung und grenzübergreifende Kooperation .....	81
7.2. Ausblick .....	84
<b>8. Verzeichnisse</b>	<b>85</b>
8.1. Abbildungen.....	85
8.2. Tabellen.....	86
8.3. Literatur .....	87
<b>9. Anhang</b>	<b>92</b>



# 1. Einleitung

Eine Blitzentladung ist ein faszinierendes aber auch ehrfurchtgebietendes Naturschauspiel. Das Ereignis selbst ist gekennzeichnet von vielen Bestwerten: Die Luft im Blitzkanal erwärmt sich auf bis zu 30.000 Grad. Die Entladung erreicht eine Geschwindigkeit von etwa 100.000 km/Sekunde und eine Spannung von bis zu 100 Mio. Volt bei Stromstärken von 30.000 Ampere und mehr.

Mehr als 330.000-mal hat ein solches Ereignis in den letzten 12 Jahren (1998-2009) im Land Salzburg und Südostoberbayern stattgefunden. Dementsprechend nicht weniger eindrucksvoll ist auch die Schadensstatistik von Blitzeinschlägen: Fachexperten schätzen allein den Schaden an elektrischen Geräten in Österreich auf jährlich 30 Mio. Euro; Tendenz steigend (ALLIANZ 2006). Etwa ein Zehntel aller Brände wird durch Blitze verursacht mit ca. 15 Mio. Euro Schaden in Österreich (KFV 2008). Aber nicht nur wirtschaftliche Verluste sind zu verzeichnen; immer wieder kommt es vor, dass Menschen oder Tiere direkt oder indirekt (bspw. durch Brand) durch Blitze verletzt oder gar getötet werden. So wurden in Österreich in den letzten 50 Jahren (1957-2007) 785 Personen durch Blitzschlag verletzt, 236 davon tödlich (BMWFJ 2008).

Die Tendenz bei Personenschaden ist langfristig zwar fallend, da etwa durch geänderte Arbeitsabläufe in der Landwirtschaft weniger Menschen ungeschützt im Freien arbeiten und damit weniger einer direkten Blitzgefahr ausgesetzt sind. Vor dem Hintergrund steigenden Blitzaufkommens und auch geänderten Freizeitverhaltens unserer Gesellschaft (Outdoor-Aktivitäten) könnte es aber hier zu einer Trendumkehr kommen (ALDIS 2011). Der Klimawandel wird nach Vorhersagen (siehe bspw. LEBENSMINISTERIUM 2006 oder auch MUNICH RE 2011) im Alpenraum zu einem Anstieg der Frequenz und Intensität von meteorologischen Extremereignissen und damit auch von Starkniederschlägen und Gewittern führen, wie dies auch schon die vergangenen Jahre zeigen (VVO 2011). Dementsprechend wird in Zukunft mit höheren Risiken für Infrastruktur, Gebäude und Versorgungssicherheit zu rechnen sein.

Die Forschung kann mittlerweile den physikalischen Vorgang einer Blitzentladung recht gut erklären. Mit Hilfe von Blitzortungssystemen lassen sich die räumliche Lage, der exakte Zeitpunkt und viele weitere Parameter von Blitzereignissen bestimmen. Forschungsbedarf besteht jedoch bei Fragestellungen, die auf kleinräumige und damit bevölkerungs- und raumplanungsrelevante Aussagen abzielen: *Wie hängt die Blitzschlaghäufigkeit mit der Geländeform, der Landbedeckung oder der Hauptwetterlage zusammen? Wie stark sind heutige oder zukünftige Siedlungsflächen von Gewitter und Blitzschlag gefährdet? Lassen sich Schadensprognosen erstellen? Wie kann die Bevölkerung für Blitz- und Unwetterisiko sensibilisiert werden?*

Zu diesem wichtigen Themenfeld wird im Ziel-3-Programm Bayern-Österreich 2007-2013 (INTERREG IV A) das gegenständliche Projekt „Grenzübergreifendes Risiko- und Naturgefahrenmanagement durch Regionalisierte Blitzauswertung“ (Kurztitel „Reblaus“) im Raum Südostoberbayern und Land Salzburg aktiv. Als Pilotprojekt zum grenzüberschreitenden Umgang mit Risiko und Naturgefahren verfolgt Reblaus einen integrativen Ansatz, der Gefahrenmanagement und Prävention, Raum- und Standortplanung sowie alpine Topographie und Infrastruktur vernetzt betrachtet. Naturgefahren und damit verbundene Risiken halten sich nicht an administrative Grenzen und ebenso wenig an behördliche Zuständigkeiten (vgl. KANONIER 2004). Reblaus widmet sich daher auch der dadurch erforderlichen Zusammenarbeit über Landes- und Fachdomänengrenzen hinweg.

Das Projekt bildet einen neuen, grenzübergreifenden Forschungsverbund. Das Research Studio iSPACE arbeitet dabei als Lead Partner mit dem Österreichischen Verband für Elektrotechnik / Abteilung ALDIS (Austrian Lightning Detection & Information System) und dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (Projekt Energie- und Systemstudien) zusammen. So werden spezifische Kernkompetenzen (Geoinformatik, Raumplanung, Risikomodellierung, Meteorologie, Blitzforschung, Blitzortung, Blitzschutz, Blitzphysik, Versorgungssicherheit, Umweltpsychologie) integriert und ermöglichen die interdisziplinäre Umsetzung der anwendungsorientierten und wissenschaftlichen Projektziele (siehe Kap. 1.1).



Das Projekt wird vom Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO), vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW)<sup>1</sup>, vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG)<sup>2</sup> sowie vom Magistrat der Stadt Salzburg<sup>3</sup> kofinanziert. Weitere Institutionen und Behörden (Amt der Salzburger Landesregierung<sup>4</sup>; EuRegio Salzburg - Berchtesgadener Land - Traunstein) unterstützen das Projekt.

Mehrere Kooperationsveranstaltungen und Projektworkshops, die laufende Abstimmung und die begleitende Öffentlichkeitsarbeit im Projekt (Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag, mehrere Projektvorstellungen, Reblaus-Newsletter, wissenschaftliche Publikationen, Website, Projektposter, Projektfolder etc., siehe auch Kap. 7.1) unterstützen einerseits eine anwendungsorientierte Umsetzung der Projektziele sowie die entsprechende Kommunikation der Ergebnisse zu deren Inwertsetzung für Planer, Fachbehörden, Risikomanagement, Prävention, Zivilschutz, Versicherungswirtschaft und Bürger.

## 1.1. Projektziele

Das Projekt Reblaus skizziert als übergeordnetes Ziel einen prototypischen Pilotansatz zum grenzübergreifenden und interdisziplinären Umgang mit Naturgefahren und damit verbundenen Risiken am Beispiel Blitzgefahr. Die Umsetzung erfolgt dabei in der erstmaligen systematischen regionalisierten Auswertung von mehr als 1 Million Wolke-Erde Blitzen des Zeitraums 1998-2009 in einem 200x200km großen Untersuchungsraum in Zusammenarbeit mit Wissensträgern aus Bayern und Salzburg sowie nationalen und regionalen Behörden. Übertragbarkeit der Modellansätze auf andere Naturgefahren – wie Starkniederschläge oder Hagel – sowie ein starker Anwendungsbezug für unterschiedliche Zielgruppen (Fachbehörden, Risikomanagement, Prävention, Zivilschutz, Versicherungswirtschaft und Bürger) wird dabei in den Projektzielen und ihrer Umsetzung mitberücksichtigt. Die Projektergebnisse unterstützen die Standortbewertung und Schadensprävention in der Region Südostoberbayern und im Land Salzburg und damit ein grenzübergreifendes Naturgefahrenmanagement:

- **Integrativer Pilotansatz zum grenzüberschreitenden Umgang mit Risiko und Naturgefahren**
- **Vernetzung unterschiedlichster risikorelevanter Sachgebiete** und Akteure (Gefahrenmanagement – Prävention – Raumplanung – Standortplanung – alpine Topographie – Infrastruktur)
- **Grenzübergreifendes Angebot an neuen Daten, Darstellungs- und Auswertesystemen** zur Blitzgefährdung als Grundlage für übertragbare Risikomodelle (Gefahrenhinweiskarten – Risikomodelle – raumbezogene Indikatoren)
- **Verbesserte Vorbeugung** durch **begleitende Öffentlichkeitsarbeit** in einer grenzüberschreitenden Kooperation, **Wissenstransfer** in der Region durch laufende Abstimmung mit Fachbehörden sowie **Partnerschaften** durch grenzübergreifende Vernetzung planungsrelevanter Akteure

Innerhalb dieses Projektrahmens hat Reblaus v.a. auch die Absicht, methodische Grundlagen für übertragbare Risikomodelle im Bereich Naturgefahren zu entwickeln, wobei man sich an der Schnittstelle zwischen anwendungsorientierten und wissenschaftlichen Zielsetzungen bewegt. Im gegenständlichen Anwendungsbereich *Blitzgefährdung* wird u.a. konkret angestrebt, in einer explorativen Datenanalyse Faktoren zu finden, die die raumzeitliche Variation des Blitzaufkommens in der Region möglicherweise mitbestimmen. Ferner soll die Wirkung von Blitzeinschlägen in der Energieversorgung zusammen mit Blitzschadenskosten abgeschätzt und das Risikobewusstsein in der Bevölkerung erhoben werden<sup>5</sup>:

- Grenzübergreifende multithematische räumliche Datenbasis in einem Geoinformationssystem (siehe Kap. 3)
- Aufbereitung von Schutzprinzipien für Personen, Gebäude und Energieversorgung (in Kap. 2)

<sup>1</sup> BMLFUW: Abteilung V/4, Immissions- und Klimaschutz

<sup>2</sup> StMUG: Referat 75, Luftreinhaltung und Anlagensicherheit

<sup>3</sup> Stadt Salzburg: Abteilung 5 Raumplanung und Baubehörde

<sup>4</sup> Land Salzburg: Abteilung 7 Raumplanung, Abteilung 5 Umweltschutz

<sup>5</sup> Dabei werden naturgemäß ausschließlich Wolke-Erde Blitze und keine Wolke-Wolke Blitze untersucht.



- Prototyp zur räumlich genaueren Blitzdichteschätzung als Grundlage für kleinräumige Auswertungen und Kartendarstellungen (in Kap. 4)
- Indikatoren zu raumzeitlichen Zusammenhängen durch Gegenüberstellung von Blitzaufkommen, Topographie, Klima/Wetter, Siedlungsstruktur und Blitzschäden als Grundlage für die Beurteilung räumlicher Verteilungsmuster (Kap. 5)
- Kartographische Produkte zur regionalen Blitzgefahr (Gefahrenhinweiskarten), interaktiver Online-Kartendienst [www.reblaus-interreg.eu](http://www.reblaus-interreg.eu) (in Kap. 4, Kap. 5 und Kap. 6 bzw. Anhang)
- Stochastisches Modell zur Wirkung von Blitzeinschlägen auf die Stromversorgung sowie zur Abschätzung von Blitzschadenskosten, prototypisches Modell einer großflächigen gebäudebezogenen Blitzrisikoabschätzung (in Kap. 6)
- Kennzahlen zum Wissensstand der Bevölkerung bezüglich Gewitter und Verhaltensregeln über Umfragen für zielgerichtete Maßnahmen der Bewusstseinsbildung (in Kap. 6)

## 1.2. Methodik

Die Umsetzung des Projektes erfolgt entsprechend dem integrativen Ansatz und der interdisziplinären Projektpartnerschaft sehr vielschichtig: Geographische Informationssysteme (GIS) dienen der Erstellung einer gemeinsamen grenzübergreifenden räumlichen Datenbasis und damit einer Grundlage zur Auswertung des regionalen Blitzaufkommens (siehe Kap. 3). Die Abschätzung von Blitzschadenskosten erfolgt über stochastische Modelle (siehe Kap. 6.2). Geographische Regionalisierungsverfahren und Punktdichteschätzmethoden werden in der Erstellung kartographischer Visualisierungen eingesetzt (bspw. in Kap. 4). Deskriptive Statistik sowie strukturentdeckende Verfahren aus dem Bereich Geostatistik dienen der Analyse möglicher räumlicher Zusammenhänge (Kap. 5). Für kasuistische Betrachtungen von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen werden auch Fallstudien schadensreicher Tage herangezogen (siehe Kap. 5.3). Sozialwissenschaftliche Zugänge erheben den Wissensstand der Bevölkerung und entdecken ihre Defizite sowie den Informationsbedarf (Kap. 6.1).

## 1.3. Risikomanagement und Geoinformatik

Der Begriff „Risiko“ ist neben der Naturgefahrenforschung in vielen Disziplinen (Ökonomie, Soziologie etc.) und auch in der Alltagssprache gebräuchlich. In den Sozialwissenschaften bspw. steht in erster Linie die subjektive Beurteilung des Risikos im Vordergrund. Nach BANSE & BECHMANN (1998) basiert hier die Risikobewertung auf intuitiver Wahrnehmung oder rein erfahrungsorientierten Erfolgs- bzw. Misserfolgsmöglichkeiten und möglichen Zusammenhängen zwischen Handlungen und Folgen. Die Risikobewertung verzichtet dabei naturgemäß oft auf eine Quantifizierung. Anders verhält es sich in naturwissenschaftlich-technischen Fächern bspw. nach KEILER & FUCHS (2007): *Aus naturwissenschaftlich-technischer Sicht wird Risiko allgemein als Funktion der Eintretenswahrscheinlichkeit des untersuchten Prozesses und der Höhe des resultierenden Schadensausmaßes definiert.*

Es wird also ein Zusammenhang zwischen dem Prozess und dem vorhandenen Schadenspotenzial hergestellt. Dabei kommt zum Ausdruck, dass ein naturräumlicher Prozess erst bei Vorhandensein eines verletzlichen / empfindlichen Objektes Risikopotenzial aufweist. Darüber hinaus steht bei der Abschätzung des Risikos die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit, mit der ein gewisses Szenario auftritt, im Vordergrund. Typischerweise wird die Wahrscheinlichkeit, mit der ein gewisser Prozess bzw. ein Szenario eintritt, sowie das dazu korrespondierende Schadensausmaß in einer mathematischen Formel ausgedrückt. Die Schätzung des Schadensausmaßes erfolgt dabei über den Wert des Objekts (z.B. Versicherungssumme) und über die Verletzlichkeit, die als Funktion der Prozessintensität betrachtet wird. Bei beweglichen Objekten (z.B. Fahrzeuge, Lebewesen) muss zudem die Präsenzwahrscheinlichkeit Berücksichtigung finden (KEILER & FUCHS 2007, siehe auch Kap. 2.4.3 *Klassifikation von Blitzrisiken*).

Grundsätzlich dient die Abschätzung des Risikos der Ableitung von Handlungsempfehlungen bzw. der Unterstützung von planerischen Maßnahmen. Zur Umsetzung einer ganzheitlichen Sicherheitsplanung bietet sich deshalb ein konzeptionelles Modell an, das neben der angesprochenen Risikoabschätzung in weiterer Folge auch eine Inwertsetzung des Risikos vornimmt.

Dieses sog. „Risikokzept“ beinhaltet folgende Elemente, deren Zusammenwirken in Abb. 1 schematisch dargestellt ist (BUWAL 1999):

- **Risikoanalyse:** Systematisches Verfahren, um ein Risiko hinsichtlich der Eintretenswahrscheinlichkeit und des Ausmaßes der Folgen zu charakterisieren (entspricht der Risikoabschätzung nach KEILER & FUCHS 2007).
- **Risikobewertung:** Die Ergebnisse der Risikoanalyse dienen der Abwägung, welche Risiken akzeptierbar sind bzw. akzeptiert werden müssen. *Risikobeurteilung* wird synonym zu *Risikobewertung* verwendet.
- **Risikomanagement:** Die in der Risikobewertung formulierten Ziele werden mittels verschiedener Maßnahmen und Methoden zur Erreichung des angestrebten Sicherheitsstandards umgesetzt. Dabei spielen auch sich dynamisch verändernde Umstände eine Rolle.

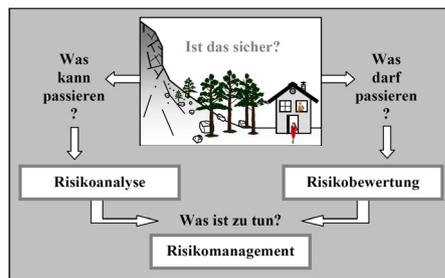


Abb. 1 Risikokzept als eine Möglichkeit zum ganzheitlichen und systematischen Umgang mit Risiken [aus BUWAL 1999]

Im Zentrum des Risikokonzepts steht die Frage der Sicherheit, wobei sich aus der Risikoanalyse und der Risikobewertung konkrete Handlungsmöglichkeiten ableiten, die im Risikomanagement behandelt werden. Die Umsetzung des Risikokonzepts zur Beantwortung sicherheitsrelevanter Fragestellungen kann durch die Berücksichtigung der räumlichen Komponente und die Einbindung geographischer Information wesentlich unterstützt werden.

**Rolle der Geoinformation im Risikomanagement**

Viele umweltbezogene und auch technologische Risiken weisen eine räumliche Dimension auf: Unwetter, Muren, Lawinen, Überschwemmungen, Waldbrände, Schadstoffaustritte, Erdbeben, Reaktorunfälle etc. (FEDRA 2006). Die Wirkungsbereiche reichen räumlich von wenigen Metern bis hin zu mehreren Tausend Kilometern (BITTNER, GÜNTHER & MERZ 2009, siehe Abb. 2).

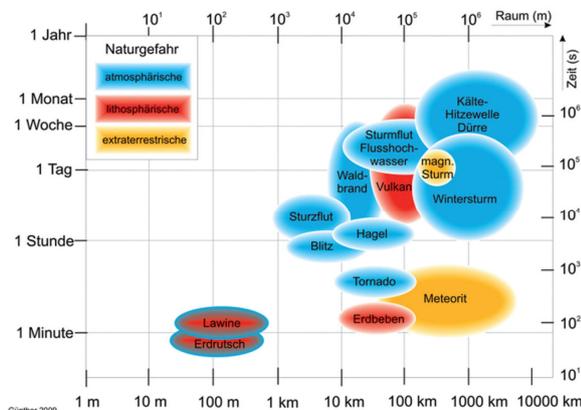


Abb. 2 Räumliche Wirkungsbereiche und Dauer von Ereignissen für Naturgefahren in Deutschland [aus BITTNER, GÜNTHER & MERZ 2009]

Die Kombination und Analyse räumlicher Daten in Geoinformationssystemen (GIS) erlaubt es, das Prozessverhalten abzubilden. Dies beinhaltet sowohl die Ableitung statischer Indikatoren (z.B. Exposition bestimmter Standorte für verschiedene Naturgefahren) als auch die Modellierung dynamischer Prozesse in Form von Simulationen. GIS ermöglicht darüber hinaus die Verschneidung der modellierten Prozesse bzw. Gefährdungsbereiche mit verschiedenen Infrastrukturthemen. Dadurch kann auf das Risikopotenzial geschlossen werden. Der grundlegende Vorteil besteht darin, dass sich quantitative Aussagen für größere Raumeinheiten im Überblick mit variablen Detailgrad ableiten lassen (WICHMANN 2006).

Vorrangiges Ziel ist, möglichst genau zu wissen, wo und wann es zu einem Schaden kommt. Diese Vorkenntnis hilft, das Schadensausmaß durch Präventivmaßnahmen zu minimieren. Geoinformation ist aufgrund der Einbindung der räumlichen Komponente in die Analyse ein geeignetes und bewährtes Werkzeug, Risikomanagement zu betreiben. Die bessere Kenntnis des räumlichen Auftretens der Gefahrenereignisse hilft, proaktive Schritte zu setzen und somit Schäden zu minimieren (ESRI 2009).

Um möglichst schnell auf Veränderungen einzelner Systemkomponenten reagieren zu können, wird teils auf Echtzeit-Lösungen zurückgegriffen. Neben Vollständigkeit und Genauigkeit wird dabei auch auf die Aktualität des zur Analyse herangezogenen Datenbestandes Wert gelegt (MITTLBÖCK & RESCH 2008). Die von Sensoren in gewissen Zeitintervallen aufgenommenen räumlichen Daten werden zwischengespeichert, konvertiert und unmittelbar analysiert, wodurch der zeitdynamischen Variabilität eines Risikofaktors Rechnung getragen werden kann. FEDRA (2006) unterstreicht bspw. die Wichtigkeit der Einbindung meteorologischer oder ozeanographischer Echtzeitdaten zur Erfassung zeitdynamischer Risikowentwicklungen.

Die Verwendung räumlicher Daten erleichtert auch eine adäquate Visualisierung des modellierten Sachverhaltes mittels analoger oder digitaler Karten und somit eine einfache Kommunikation des räumlichen Risikos. Dabei ist es Ziel, Entscheidungsträgern und Experten Visualisierungen bereitzustellen, die den Wissensaustausch erleichtern und somit zur Entscheidungsfindung beitragen sowie die Kommunikation der Inhalte an ein Laienpublikum ermöglichen (BASTA et al. 2005). Die in sog. „Risk Maps“ verwendeten Signaturen bzw. Risikobewertungen basieren häufig auf einer Matrixstruktur, in der die Auswirkungen verschiedener Ereignismagnituden (Impact) der Eintrittswahrscheinlichkeit (Likelihood) gegenübergestellt werden (vgl. Abb. 3). Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird dabei über die Ereignisfrequenz eines Prozesses in der Vergangenheit bewertet (VEULLIET, STÖTTER & WECK-HANNEMANN 2009).

Impact	5. Extreme					
	4. Very High					
	3. Medium					
	2. Low					
	1. Negligible					
		1. Rare	2. Unlikely	3. Moderate	4. Likely	5. Almost Certain
		Likelihood				

Abb. 3 Beispiel einer Signaturmatrix für eine „Risk Map“  
[aus FISHERIES AND OCEANS CANADA 2009]

Der Vorteil, der mit dem Einsatz dieser Methodik sowie mit der Verwendung von GIS i.Allg. einhergeht, liegt in der räumlichen Betrachtung des Prozessgeschehens, was eine gezielte Bündelung der vorhandenen Ressourcen zur Erhöhung der Sicherheit ermöglicht. Darüber hinaus stellen Geoinformationssysteme



teme eine Schnittstelle zwischen verschiedenen Fachdomänen dar und dienen somit zur interdisziplinären Kommunikation räumlicher Sachverhalte.

Versicherungsunternehmen (bspw. Münchner Rück) nutzen hierbei verstärkt mobile GIS-Lösungen zur Schadensinspektion, wodurch eine zeitnahe Interaktion zwischen den Technikern vor Ort und den Analysten im Unternehmen gewährleistet wird. Durch die sukzessive Ergänzung des Schadensdatenbestandes können mittels räumlicher Analyseverfahren zudem Kumulsituationen (Hot Spots) frühzeitig identifiziert werden. Für Erstversicherer ergibt sich daraus der Vorteil transparenterer Gefährdungsinformationen, die auch für die Kundenakquise zur Verfügung stehen (SIEBERT 2006).

Darüber hinaus ist es aufgrund technologischer Weiterentwicklungen sowie der kontinuierlichen Verbesserung der Datenqualität bzw. Datenverfügbarkeit zunehmend möglich, realitätsnahe Prognosen zu erstellen, wodurch der Einsatz von Geoinformationssystemen im Risikomanagement an Bedeutung gewinnen wird. V.a. im Zusammenhang mit großen Datenmengen geht dabei der aktuelle Trend in Richtung Cloud-Computing Anwendungen, wodurch eine gemeinsame Nutzung raumbezogener Informationen sowie die Durchführung umfangreicher räumlicher Analysen gewährleistet werden. Dies erleichtert auch die rasche Bereitstellung großer Datenmengen oder die Möglichkeit des allgegenwärtigen Zugriffs auf spezifische Anwendungen (HILLMANN-KÖSTER & SEMMLER 2011). GIS-Lösungen für die Analyse und Bewertung räumlicher Risiken werden deshalb auch zukünftig verstärkt auf solchen „Multiuser-Ansätzen“ basieren.

GIS-gestützte Anwendungen können also auf verschiedenste Weise zu Analyse, Bewertung und Management von Risiken beitragen. V.a. für naturräumliche Fragestellungen und die Modellierung von Naturgefahren ist ein raumbezogener Ansatz ein adäquates Mittel, um Prozesse nachzubilden und ihr Risikopotenzial zu analysieren, eine Ergebnisinterpretation vorzunehmen, entsprechende Rückschlüsse zu ziehen und letztlich entscheidungsunterstützend auf die Wahl geeigneter Maßnahmen zu wirken. Im Folgenden werden verschiedene Beispiele für die GIS-basierte Umsetzung des Risikokonzeptes besprochen.

### **Anwendungsbeispiele**

- **Waldbrand:** Ein Beispiel für ein Konzept zur Entscheidungsunterstützung im Risikomanagement ist das *Forest Fire Risk Information Management System* (CHI & HAN 2006): Zur Lokalisierung potenzieller Ausgangspunkte von Waldbränden werden vergangene Ereignisse (10 Jahre) als Referenz herangezogen. Neben einer Waldklassifikation (Waldtyp, Baumdurchmesser) werden auch Infrastruktureinrichtungen (Schadenspotenzial, Abschätzung der Vulnerabilität) und die Möglichkeiten zur Feuerbekämpfung (Nähe zu Feuerwachen, Löschwasserbestände) in die Risikoanalyse einbezogen. Basierend auf diesen räumlichen Informationen wurde eine Applikation entwickelt, die das Waldbrandrisiko in Form von „Risk Maps“ darstellt und der Optimierung der Feuerbekämpfung dient.
- **Tierseuchen:** Beispielhaft für eine auf Echtzeitdaten basierende Risikoanalyse kann eine Studie zur Ausbreitung von Tierseuchen herangezogen werden (RUBEL & FUCHS 2005). Zur Simulation der räumlichen Übertragung der Maul- und Klauenseuche finden Daten zu Tierpopulationen gruppiert nach infizierten und nicht infizierten Tieren Eingang in die Modellierung eines fiktiven Szenarios. Da sich das Virus über die Luft ausbreitet, werden Echtzeit-Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes für eine Ausbreitungsberechnung verwendet. So wird die von erkrankten Tieren ausgehende Virusemission über die Luft modelliert und das Risiko für landwirtschaftliche Betriebe in der Umgebung des Seuchenursprungs in Abhängigkeit der aktuellen Wetterverhältnisse ermittelt.
- **Hochwasser:** Eine Anwendung, die v.a. auch die Information der Öffentlichkeit neben der Administration anspricht, ist das Projekt „Hochwasser Risikoflächen Austria“ (HORA). HORA wurde in Folge des Hochwassers im August 2002 von der Österreichischen Versicherungswirtschaft und dem Lebensministerium initiiert (VVO 2010) und erlaubt einen freien Internetzugriff auf die Ergebnisse einer Risikozonierung. Dabei werden drei Zonen von Überschwemmungsgebieten für 25 Tsd. Flusskilometer berechnet, die einem Erwartungswert der Jährlichkeit 30, 100 und 200 Jahre entsprechen (BMLFUW 2006). Diese Gefährdungszonen sind in der Plattform „eHORA“ ([www.hora.gv.at](http://www.hora.gv.at)) durch zusätzliche topographische Basisinformationen ergänzt und auch über



Adresssuche abfragbar. Grundsätzlich ist es Absicht, durch die Veröffentlichung der Gefährdungsbereiche eine Förderung des Gefahrenbewusstseins zu erzielen. Dazu werden die Grenzen aktiver Schutzmaßnahmen und die Notwendigkeit einer angepassten Nutzung in gefährdeten Räumen aufgezeigt. Daneben ist HORA ein Instrument zur Ersteinschätzung des Risikos bzw. zur Prioritätenfestlegung im Hochwasserschutz für Gemeinden, Länder und Bund. Aus Sicht der Vorbeugung liegt der Mehrwert einerseits in der verbesserten Risikowahrnehmung der Bevölkerung, andererseits in der Bewertung von Gefahrenpotenzialen als Grundvoraussetzung für Versicherbarkeit (BMLFUW 2006). Mit der hauptsächlichen Informationsabsicht von HORA wird naturgemäß auf eine ganzheitliche Betrachtung von Risiko durch Einbezug von Schadenspotenzialen verzichtet. Die Web-Applikation kann allerdings aufgrund der Visualisierung von zusätzlichen Infrastrukturthemen eine erste Beurteilung des Risikos unterstützen. Mittlerweile sind in HORA neben Hochwasser auch Erdbeben, Sturm, Hagel, Schneelast und Wetterwarnungen integriert.

- **Überschwemmungen und Alpine Naturgefahren:** Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) – eine Behörde des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (StMUG) – betreibt auf dem Portal *Bodeninformationssystem Bayern (BIS)* (<http://www.bis.bayern.de>) räumliche Informationsdienste zu verschiedenen Naturgefahren: Der Informationsdienst *Überschwemmungsgefährdete Gebiete* (IÜG)<sup>1</sup> stellt häufige, mittlere und seltene Hochwasserereignisse in einer Standard- sowie einer Expertenversion für Bayern dar. Der Informationsdienst *Alpine Naturgefahren* (IAN)<sup>2</sup> liefert für den bayerischen Alpenraum Verortungen von Ereignissen verschiedener Arten von Georisiken (Massenbewegungen, Schadenslawinen, Wildbachereignissen) sowie auch Karten zu Aktivitätsbereichen und Gefahrenhinweiskarten. Damit wird der Zielgruppe *Bürger, Gemeinden und Planer* die Möglichkeit gegeben, sich über die Naturgefahrensituation in einem frei definierbaren Raumausschnitt zu informieren und dies bei Investitionen, Planungen und Vorsorgemaßnahmen zu berücksichtigen (LFU 2005). Zu diesen Grundinformationen kann der Nutzer auf viele weitere ergänzende räumliche Datenschichten zurückgreifen und so – trotzdem hier wie bei HORA (s.o.) keine ganzheitliche Risikobetrachtung vorgenommen wird – eine erste Beurteilung der Gefahrensituation vornehmen. Die bayerische Plattform „Naturgefahren“ (<http://www.naturgefahren.bayern>) vereint unter Federführung des StMUG die oben genannten Dienste mit weiteren (Hochwasser, Trockenheit & Hitze, Unwetter, Lawinen & Schneedruck, Erdbeben und Sonstige Naturgefahren) und stellt übersichtlich Informationen zur Gefahrenentstehung, zu Vorbeugemaßnahmen und zu Warndiensten bereit.

Im Gegensatz zu ortsgebundenen Naturgefahren wie etwa Hochwasser oder Lawinen wurde der Ereigniskomplex *Blitzschlag* bisher kaum einer flächendeckenden Gefährdungsbeurteilung unterzogen. Im Projekt Reblaus kommt der regionalisierten Betrachtung dieses Phänomens deshalb eine übergeordnete Bedeutung zu. Die abgeleiteten *Gefahrenhinweiskarten* dienen dabei der ersten groben Identifikation von Verdachtsflächen einer diesbezüglichen Gefährdung. Die im Zuge dieses Projekts vorgenommenen Regionalisierungen sind daher eine wesentliche Grundlagen und ein erster Schritt zur Erstellung von Gefahrenkarten, Risikokarten und Gefahrenzonenplänen.

<sup>1</sup> zugänglich über: <http://www.lfu.bayern.de> → Wasser → Überschwemmungsgefährdete Gebiete

<sup>2</sup> zugänglich über: <http://www.lfu.bayern.de> → Wasser → Informationsdienst Alpine Naturgefahren



## 1.4. Grenzübergreifender Untersuchungsraum

Das grenzübergreifende Projektgebiet im Projekt „Regionalisierte Blitzauswertung“ umfasst mit Land Salzburg und Südostoberbayern<sup>1</sup> eine Fläche von mehr als 12.000km<sup>2</sup> (vgl. Abb. 4 bzw. Tab. 1) und setzt sich aus sechs Bayerischen Landkreisen<sup>2</sup> sowie sechs Salzburger Bezirken<sup>3</sup> zusammen. Naturräumlich liegt es im Übergangsbereich vom Alpenvorland im Norden bis zu den Zentralalpen im Süden und deckt damit in seiner etwa 160km Nord-Süd Ausdehnung ein breites Spektrum an orographischer Prägung ab. Die höchsten Erhebungen finden sich in den Hohen Tauern im Südwesten des Projektgebietes (Gemeinde Neukirchen am Großvenediger im Bezirk Zell am See: Großvenediger 3.662m) wohingegen im Mündungsbereich der Salzach in den Inn (Gemeinde Haiming im Landkreis Altötting) mit etwa 350m der niedrigste Punkt liegt. Die Region beheimatet in den 271 Gemeinden mehr als 1,3 Mio. Menschen und weist etwa 500 Tsd. Arbeitsplätze auf (Tab. 1).

Für die Analysen im vorliegenden Projekt wird der Untersuchungsraum auf ein das eigentliche Projektgebiet großzügig umschreibendes Rechteck „Reblaus-Analysegebiet“ ausgedehnt (siehe Abb. 4). Dieses 200x200km große Analysegebiet reicht von der Stadt München im Westen bis nach Linz im Osten bzw. von Landshut im Norden bis nach Linz (Osttirol) im Süden. Der somit 40.000km<sup>2</sup> große Raum beinhaltet etwa 1.000 Gemeinden, 5 Mio. Einwohner und 2 Mio. Arbeitsplätze.

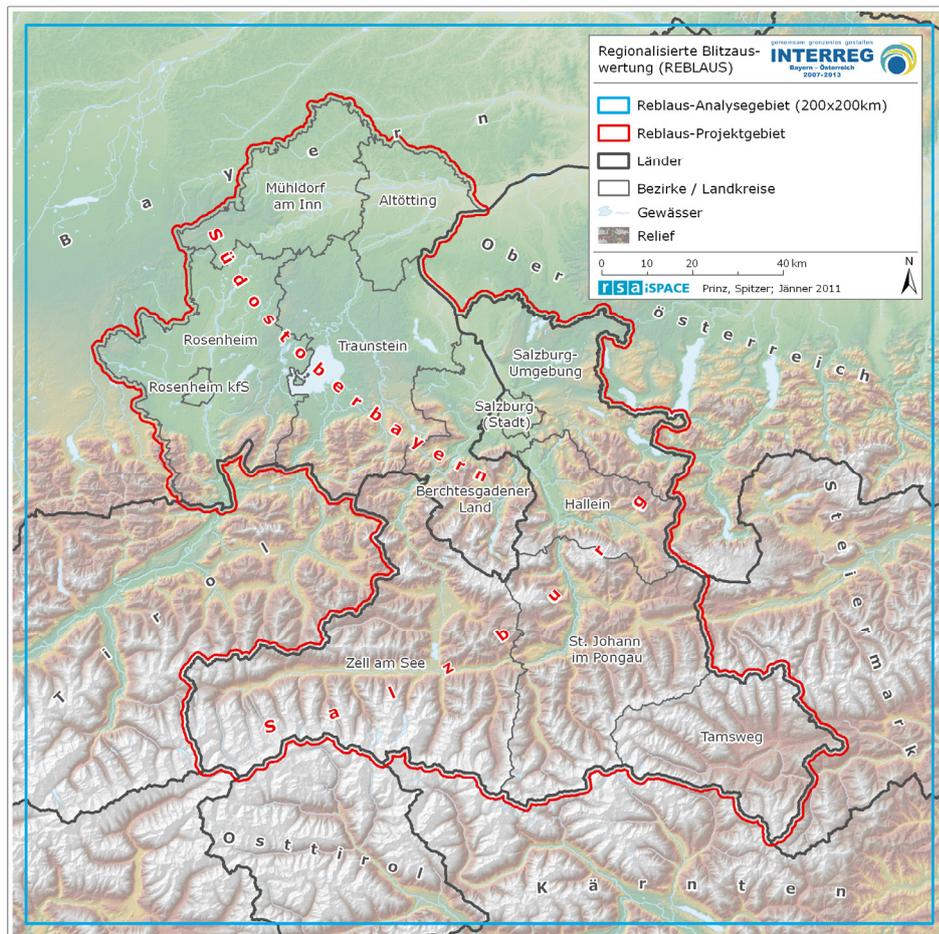


Abb. 4 Grenzübergreifendes Untersuchungsraum Südostoberbayern - Land Salzburg

[rote Umrahmung: *Reblaus-Projektgebiet*: Südostoberbayern und Land Salzburg; blaue Umrahmung: *Reblaus Analysegebiet*: 200x200km]

<sup>1</sup> „Südostoberbayern“ ist die Bezeichnung einer von 18 Planungsregionen der Raumordnung im Freistaat Bayern.

<sup>2</sup> Altötting, Berchtesgadener Land, Mühldorf am Inn, Rosenheim, Traunstein, kreisfreie Stadt Rosenheim

<sup>3</sup> Salzburg (Stadt), Salzburg-Umgebung, Hallein, St. Johann im Pongau, Zell am See, Tamsweg



Tab. 1 Kennzahlen zum Reblaus-Projektgebiet

[aus: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG 2010; STATISTIK AUSTRIA 2010]

		Reblaus-Projektgebiet	Südostoberbayern	Land Salzburg
Fläche (km <sup>2</sup> )		12.381	5.222	7.159
Bezirke / Landkreise (Anzahl)		12	6	6
Gemeinden (Anzahl)		271	152	119
Einwohner (mit Hauptwohnsitz, 01.01.2010)		1.330.366	800.505	529.861
Arbeitsplätze	Beschäftigte am Arbeitsort (15.05.2001)	497.375	-	244.378
	soz.-vers.-pflichtig Beschäftigte am Arbeitsort (30.06.2010)		252.997	-

Die Zahl der Blitzeinschläge<sup>1</sup> – eine wesentliche Größe im Projekt Reblaus – beläuft sich im 12 jährigen Betrachtungszeitraum 1998-2009 im gesamten Analysegebiet auf mehr als 1 Mio. (siehe Tab. 2). Die so resultierenden durchschnittlichen jährlichen 2,24 Blitze je km<sup>2</sup> täuschen aber eine Gleichverteilung vor und über die starke räumliche und zeitliche Differenzierung hinweg. Der Wertebereich der Blitzdichte reicht bei langjähriger Betrachtung je nach Blitzdichteschätzverfahren (siehe Kap. 4.1) von unter 1 bis weit über 10 Blitze je km<sup>2</sup> und Jahr. Mögliche Erklärungen dieser großen Wertestreuung werden in den Analyseabschnitten Kap. 4 und Kap. 5 gesucht.

Tab. 2 Kennzahlen zum Blitzaufkommen 1998-2009 im Reblaus-Analysegebiet bzw. Projektgebiet

[vgl. hierzu auch Abb. 4]

	Blitzeinschläge (Wolke-Erde; 1998-2009)	Blitzdichte (Ø jährliche Zahl der Blitzeinschläge je km <sup>2</sup> )
Reblaus-Analysegebiet	1.076.151	2,24
Reblaus-Projektgebiet	330.854	2,22
Südostoberbayern	129.104	2,06
Land Salzburg	201.750	2,35

<sup>1</sup> Wolke-Erde Blitze, vgl. Kap. 2.2



## 2. Forschungsstand

### 2.1. Gewitterarten

Gewitter sind meteorologische Erscheinungen mittlerer Größe (Horizontalausdehnung: 10-100km), die häufig als Verbund starker Regenfälle, Windböen, Blitzen und Hagelschauer auftreten. Die Gewitterentstehung setzt grundsätzliche Bedingungen voraus, die ihrer Unterscheidung in drei Arten dienen (vgl. HÄCKEL 1999 bzw. HYDROTEC 2008):

- **Luftmassengewitter**
- **Orographische Gewitter**
- **Frontgewitter**

Luftmassengewitter (Sommergewitter, Wärmegewitter) entstehen durch die Labilisierung warmer und feuchter Luftmassen aufgrund der Sonneneinstrahlung (HÄCKEL 1999). Mit der Erwärmung wird eine Konvektionsströmung eingeleitet, die einen vertikalen Transport des Luftpakets in die Höhe bewirkt. Durch den Aufstieg kommt es zu trockenadiabatischer Abkühlung ( $1^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$ ) bis das Kondensationsniveau erreicht ist und Wolken gebildet werden. Ist die Umgebungsluft trotz Abkühlung des Luftpakets noch immer kälter, bleibt die Konvektionsströmung erhalten und Gewitterwolken mit großer Vertikalerstreckung entstehen. Dieser Vorgang wird durch Freiwerden latenter Wärme aus dem Kondensationsprozess verstärkt (BRANDT, KIENZLE & TRIPPLER 2008). Frontgewitter und orographische Gewitter unterscheiden sich in der Entstehung grundlegend von Luftmassengewittern. BRANDT, KIENZLE & TRIPPLER 2008 sprechen in diesem Zusammenhang von erzwungener Konvektion, also einer Konvektion, die an einen äußeren Antrieb gekoppelt ist. Orographische Gewitter entstehen dadurch, dass feuchte Luftmassen auf ein topographisches Hindernis aufgleiten verbunden mit einem Hebungseffekt und vergleichbaren Folgeprozessen wie bei Luftmassengewittern (s.o.). Dadurch erklärt sich bspw. das Gewitteraufkommen im Alpenvorland durch Luftvorstöße aus Nordwesten zusammen mit der Orographie der Alpen (HÄCKEL 1999). Frontgewitter treten anders als orographische Gewitter an den Fronten der Zyklone, also an der Grenzfläche zwischen warmen und kalten Luftmassen auf. Nachdem die kalte Luftschicht schwerer ist, werden die warmen Luftmassen abrupt angehoben, wodurch es zu einer Labilisierung und in weiterer Folge zur Gewitterentstehung kommt (HUPFER & KUTTLER 2006).

Die Prozesse, die zur Entstehung eines Gewitters beitragen, sind weiters an einige grundlegende Voraussetzungen gebunden: Das Vorhandensein feuchter Luftmassen etwa treibt die Gewitterdynamik zusätzlich an. HÄCKEL (1999) verweist bspw. darauf, dass besonders wasserreiche Wolken wegen der großen Menge freigewordener Kondensationsenergie (latente Wärmeenergie) äußerst labil sind und deshalb starke Konvektionswinde von bis zu 30m/s ermöglichen. Eine Hebung der Luftmassen ist bei allen Gewitterarten grundlegend. Während Luftmassengewitter kräftige Sonneneinstrahlung benötigen und daher durch die zunehmende Erwärmung im Tagesverlauf verstärkt nachmittags auftreten (Sommer- bzw. Wärmegewitter), weisen Frontgewitter keinen charakteristischen Tagesgang auf (HUPFER & KUTTLER 2006). Bei Luftmassengewittern ist typischerweise schwüles Wetter (hohe Luftfeuchtigkeit bei hohen Temperaturen) Voraussetzung für ein kommendes Gewitter (BRANDT, KIENZLE & TRIPPLER 2008). Orographische Gewitter entstehen durch geländebedingte Strömungskonvergenzen, weshalb sich in topographisch gegliedertem Gelände bevorzugte Entstehungsgebiete ausbilden. Neben der Hebung der Luftmassen durch die Überströmung eines Gebirgszuges können auch kleinräumige Hangwindssysteme feuchte Luft aus tiefer liegenden Regionen herantransportieren und so zur Gewitterentstehung beitragen. In Abhängigkeit von Hangexposition, Hanglänge, Hangneigung und Windrichtung kommt es zu verschieden starken Aufwinden. Besonders über Gipfeln und Kämmen entstehen dabei ausgeprägte Strömungskonvergenzen, die eine Luftmassenhebung bewirken (BMLFUW 2007).

Diese Gründe sind mit ausschlaggebend für die erhebliche räumliche und zeitliche Variabilität der Gewitterhäufigkeit (HÄCKEL 1999)<sup>1</sup>. Damit sind auch die direkten Folgen von Gewittern wie etwa das Auftreten von Blitzentladungen einer entsprechenden raumzeitlichen Variation unterworfen.

<sup>1</sup> POTTER & GORMAN (1996) sprechen in dem Zusammenhang von *räumlicher Zufallsverteilung* konvektiver Starkniederschläge.



## 2.2. Gewitter und Blitze

Die Blitzentladung hat ihren Ursprung in der elektrisch geladenen Gewitterwolke, wobei der genaue Mechanismus der Ladungstrennung innerhalb der Gewitterwolke bis heute nicht vollständig geklärt ist. Im Wesentlichen wird zwischen der mikroskopischen Ladungstrennung an den Niederschlagspartikeln und der makroskopischen Ladungstrennung innerhalb der Gewitterwolke unterschieden. Es wird davon ausgegangen, dass im einfachsten Fall in der Wolke zwei Ladungszentren vorliegen, wobei in den oberen Regionen der Wolke positive Ladungen auf Eiskristallen und in den unteren Regionen negative Ladungen auf Wassertröpfchen zu finden sind. An der Wolkenuntergrenze finden sich meist noch geringe Mengen positiver Ladung (RAKOV & UMAN 2003). Abb. 5 zeigt schematisch die Ladungsverteilung innerhalb einer Gewitterwolke.



Abb. 5 Typische Ladungsverteilung innerhalb einer Gewitterwolke  
[verändert nach PIDWIRNY 2010]

Die Einteilung der Blitzentladungen erfolgt nach der Polarität der vom Blitz aus der Wolke abgeführten Ladung und nach der Vorwachsrichtung des Leitblitzes, der im Folgenden noch näher beschrieben wird. Diese Form der Einteilung wurde von einem der Pioniere der moderneren Blitzforschung – Prof. Berger (BERGER 1978) – vorgeschlagen. Die am ausführlichsten untersuchte Entladungsform stellt der negative Wolke-Erde Blitz (negativer Abwärtsblitz) dar, da mehr als 90% aller Blitze diesem Typus entsprechen und diese Form der Entladung daher auch für Fragen des Blitzschutzes grundlegende Bedeutung hat.

Der negative Abwärtsblitz wird häufig eingeleitet durch sog. Vorentladungen innerhalb der Gewitterwolke. Auch wenn über den genauen physikalischen Vorgang und die Lokalisierung der genannten Vorentladungen noch Unklarheit herrscht, so wird angenommen, dass durch diese Vorentladungen Ladungsverschiebungen innerhalb der Wolke stattfinden. Diese Ladungsverschiebungen dürften ihrerseits zu einer entsprechenden Ladungskonzentration und in der Folge zur Initialisierung des ersten Leitblitzes (engl. Stepped Leader) führen.

Der erste Leitblitz wächst mit mehr oder weniger starker Verästelung in Ruckstufen von der Wolke in Richtung Erde (abwärts), wobei die einzelnen Stufen Längen von 10 bis 200m aufweisen und eine mittlere Vorwachsrichtung von 0,1 bis 3m/μs beobachtet wird (UMAN 1987). Die Pausenzeiten zwischen den Ruckstufen liegen im Bereich von 37 bis 124μs. Nähert sich der negativ geladene Leitblitzschlauch dem Erdboden, so steigt dadurch an der Spitze exponierter Objekte (Türme, Bäume, Häuser u.ä.m.) die elektrische Feldstärke rasch an, bis die Durchbruchfeldstärke von Luft überschritten wird. In der Folge starten von diesen Objekten Fangentladungen, die dem "Kopf" des Leitblitzes entgegen wachsen. Es ist dabei durchaus möglich, dass gleichzeitig Fangentladungen von mehreren Objekten ausgehen. Der tatsächliche Einschlagspunkt am Boden wird durch jene Fangentladung bestimmt, die als erstes mit dem Leitblitzkopf zusammentrifft und damit eine durchgehende Verbindung zwischen dem geladenen Leitblitzschlauch und dem Erdboden herstellt. Die Länge dieser Fangentladungen, auch als Enddurchschlagstrecke bezeichnet, liegt im Bereich von einigen 10m. Sowohl theoretische Überlegungen als auch Experimente zeigen, dass die Länge der Fangentladung mit steigender Blitzstromamplitude zunimmt. Die Enddurchschlagstrecke ist von grundlegender Bedeutung für die Dimensionierung von Blitzschutzanlagen. Das sog. "Blitzkugelverfahren" zur Bestimmung des Schutzbereiches von Fangvorrichtungen einer Blitzschutzanlage basiert auf dem genannten Zusammenhang zwischen Ladungskonzentration im Leitblitzkanal und der daraus resultierenden Länge der Fangentladung.



Nach dem Zusammentreffen von Leitblitzkopf und Fangentladung beginnt die Hauptentladung (engl. Return Stroke), jener Prozess, der schlechthin als Blitz bezeichnet wird. Sie nimmt ihren Ausgang am Treffpunkt von Leitblitzkopf und Fangentladung und pflanzt sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von  $130\text{m}/\mu\text{s}$  in Richtung Wolke fort. Am Einschlagspunkt tritt der bekannte impulsförmige Strom mit einer Amplitude von einigen  $1000\text{A}$  bis zu einigen  $100.000\text{A}$  auf. Während der Hauptentladung wird in erster Linie die im Leitblitzschlauch gespeicherte negative Ladung zur Erde abgeführt. In Abb. 6 sind die drei wesentlichen Phasen der Blitzentladung schematisch dargestellt.

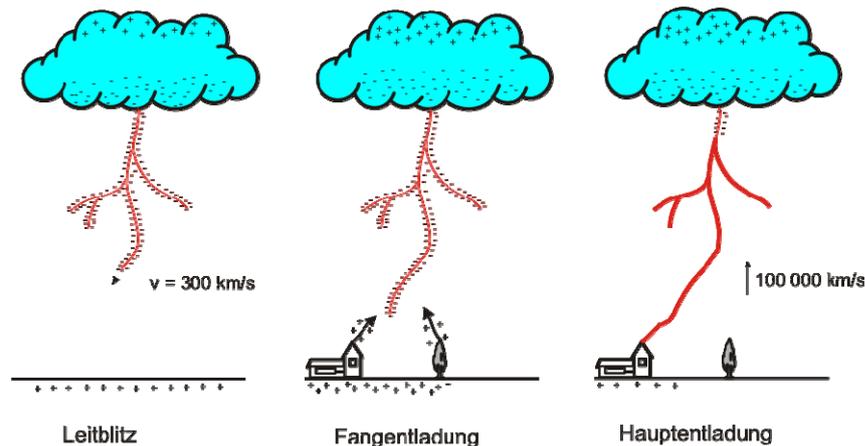


Abb. 6 Die drei wesentlichen Phasen einer Blitzentladung [ALDIS]

Der Energieumsatz im hell aufleuchtenden Blitzkanal führt zu einer Aufheizung auf eine Temperatur von ca.  $30.000^\circ\text{K}$  und damit zu hohem Überdruck, der sich in Form einer Stoßwelle, dem Donnerknall, ausgleicht (RAKOV & UMAN 2003).

### 2.3. Blitzerfassung und Ortungsqualität

ALDIS, das Austrian Lightning Detection & Information System, ist ein Gemeinschaftsprojekt von ÖVE<sup>1</sup>, Siemens und Verbund zur Blitzortung und Blitzdokumentation im zentraleuropäischen Raum und liefert exakte Blitzdaten an Wetterdienste, Energieversorgungsunternehmen, Versicherungen und Sachverständige (DIENDORFER & SCHULZ 2008). Die "Real-time"-Erfassung und Beobachtung der Gewittertätigkeit basiert grundsätzlich auf der Funkortung des Blitzkanals, der ein breitbandiges elektromagnetisches Signal aussendet, das einzelne vielleicht schon einmal als Knacksgeräusch im Rundfunkempfang während eines Gewitters wahrgenommen haben.

Die Grundkonfiguration eines Blitzortungssystems, wie sie auch ALDIS zugrunde liegt, besteht aus folgenden Komponenten:

- **Sensoren** zur Bestimmung des Feldeinfallswinkels und des exakten Ereigniszeitpunktes
- **Zentralrechner** (Total Lightning Processor - TLP) zur Berechnung des Einschlagpunktes

Die von den einzelnen Sensoren als Blitze erkannten und ausgewerteten Daten werden mit einer exakten Zeitmarke (basierend auf GPS Satelliten Signalen) versehen und zum Zentralrechner TLP übertragen. Die erste Aufgabe des TLP besteht darin, aufgrund der exakten Zeitmarken alle Sensordaten zu gruppieren, die zum selben Blitzschlag gehören. Stehen für einen Blitzschlag die Daten von mindestens zwei Sensoren zur Verfügung, kann der Einschlagpunkt bestimmt werden.

<sup>1</sup> Österreichischer Verband für Elektrotechnik



Neben den Koordinaten des Einschlagspunktes stellt der TLP zu jeder erfassten Blitzentladung noch einige weitere Informationen zur Verfügung:

- Uhrzeit
- Polarität (positiv/negativ)
- Blitzstromamplitude in kA

Der Einschlagspunkt des Blitzes kann grundsätzlich sowohl aus den Richtungsinformationen (Magnetic Direction Finding - MDF) als auch aus den Zeitdifferenzen (Time of Arrival -TOA) der einzelnen Sensormeldungen ermittelt werden. Da die in Österreich eingesetzten Sensoren beide Informationen liefern, kommt ein kombiniertes Verfahren zur Anwendung, bei dem sowohl Richtung als auch Zeit aller Sensoren ausgewertet wird. Bedingt durch die relativ großen Abstände von bis zu mehreren hundert Kilometern zwischen den Messstellen ist es generell erforderlich, alle Ortungsberechnungen auf Basis der sphärischen Geometrie durchzuführen, d.h. die Erde wird als Ellipsoid nachgebildet.

Der Vorteil dieses kombinierten Verfahrens (Verwendung von Winkel und Zeit) liegt darin, dass bereits mit zwei Sensoren, die eine Entladung erfassen, eine Ortung möglich ist. Im Gegensatz dazu benötigen Systeme, die einzig auf Basis der Zeitdifferenzen arbeiten, mindestens vier Sensoren für die eindeutige Bestimmung des Einschlagspunktes. Damit ist es möglich, in Österreich auch stromschwache Blitze zu orten, da die kleineren Signale dieser stromschwachen Blitze noch immer von zumindest zwei Sensoren registriert werden.

Die bei einer einzelnen Blitzentladung tatsächlich erreichbare Ortungsgenauigkeit hängt von einer Reihe von Einflussfaktoren ab, wie z.B. der Anzahl der beteiligten Sensoren, der Distanz des Einschlagspunktes zu den Sensoren oder dem statistischen Fehler bei der Winkel- und Zeitmessung. Für die Gesamtheit aller in Österreich georteten Blitzeinschläge kann eine durchschnittliche Genauigkeit von besser als 400m angenommen werden. Diese Genauigkeit wurde auch im Rahmen der direkten Messung von Blitzströmen am Sender Gaisberg verifiziert (DIENDORFER et al. 2009).

Eine weitere wichtige Aufgabe eines Ortungssystems ist die möglichst eindeutige Klassifizierung von Blitzsignalen in Wolke-Erde Entladungen einerseits und Wolke-Wolke Entladungen andererseits. Zusätzlich müssen die Feldverläufe von Blitzen auch von anderen empfangenen elektromagnetischen Signalen (Störsignalen) ausgefiltert werden. Als mögliche Störquellen kommen alle künstlichen und natürlichen Felderzeuger (Korona von Hochspannungsleitungen, Fernmeldesender, Motorzündungen usw.) in Frage. Die Unterscheidung zwischen Blitzen und Störsignalen erfolgt durch ein Verfahren, das einen Blitz aufgrund mehrerer charakteristischer Merkmale des elektromagnetischen Feldes klassifiziert. Es müssen mehrere Kriterien erfüllt sein, damit ein elektromagnetisches Signal als Wolke-Erde oder Wolke-Wolke Blitz registriert wird. Mittels dieses Verfahrens können Störimpulse mit hoher Sicherheit ausgeschieden werden. Zur exakten Zeitbestimmung des Eintreffens des Blitzfeldes bei den Sensoren hat jeder Sensor einen GPS Empfänger eingebaut, dessen Zeitangabe laufend mit Hilfe der GPS Satelliten synchronisiert wird. Damit kann der absolute Zeitfehler zwischen den mehrere hundert Kilometer entfernten Sensoren kleiner als 300 Nanosekunden gehalten werden.

Die ALDIS Sensoren sind auch in das übernationale Blitzortungssystem EUCLID<sup>1</sup> integriert. Dieses Blitzortungssystem besteht mittlerweile aus Sensoren in den Ländern Schweiz, Deutschland, Frankreich, den Benelux Ländern, Tschechien, Slowakei, Slowenien, Italien, Norwegen, Schweden, Finnland, Spanien, Portugal, Großbritannien, Ungarn, Polen und Österreich. Alle Sensoren der angrenzenden Länder sind auch in das ALDIS Netzwerk integriert und helfen damit, die gute Performance des ALDIS Netzwerkes noch weiter zu erhöhen. Dies ist insbesondere für das grenzübergreifende Projektgebiet von Bedeutung.

Unter anderem wurde zum Zweck der Überprüfung des ALDIS Systems im Jahr 1998 am 100m hohen ORS<sup>2</sup> Sender am Gaisberg bei Salzburg mit direkten Blitzstrommessungen begonnen. Typisch für hohe Türme, die wie am Gaisberg auch noch exponiert auf einem höheren Berg stehen, ist eine große Anzahl

<sup>1</sup> EUCLID: EEuropean Cooperation for LLightning Detection (<http://www.euclid.org>)

<sup>2</sup> ORS: Österreichische Rundfunksender



von sog. Aufwärtsblitzen. Bei diesen Entladungen wird der Leitblitz an der Turmspitze initiiert und wächst in Richtung Wolke vor. Damit beginnt der Stromverlauf mit einem sog. Initial Continuing Current (ICC), dem manchmal pulsformige Ströme überlagert sind. Bei ca. 1/3 der Blitze folgen nach Ende des ICC eine oder mehrere Leader-Return Stroke Sequenzen nach, genauso wie die Folgeblitze bei den Abwärtsblitzen.

In den Jahren 2000-2009 sind am Gaisberg insgesamt 206 Blitze aufgetreten, bei denen mindestens ein Return Stroke dem ICC folgte. Diese Klasse der Blitze ist den Abwärtsblitzen am ähnlichsten und wird daher zur Verifikation der Ortungsqualität verwendet. Blitze, bei denen mindestens einer der Folgeblitze eine Amplitude von 10kA oder mehr hatte, wurden von ALDIS zu 100% geortet. Berücksichtigt man alle Blitze mit Return Strokes ab 2kA so wurde immer noch eine Detection Efficiency von 96% ermittelt. Die Detection Efficiency der einzelnen Strokes ist immer geringer, als jene für die Gesamtblitze, da es ja ausreicht, nur einen von mehreren Strokes zu orten, damit der Blitz als solches geortet ist. Am Gaisberg wurde für das ALDIS System eine Stroke Detection Efficiency von 80% für alle Strokes >2kA ermittelt, die kontinuierlich auf 97% für alle Strokes mit Amplituden >10kA ansteigt. Es ist anzunehmen, dass die Detection Efficiency von „normalen“ Abwärtsblitzen mindestens so hoch oder höher ist als am Gaisberg verifiziert wurde, da Erstblitze bei Abwärtsblitzen eher größere Amplituden haben und daher leichter zu orten sind.

Die Ortungsgenauigkeit wird am Gaisberg für jeden Stroke als Differenz zwischen dem bekannten Standort des Sendemastes und den Koordinaten der georteten und zeitlich eindeutig zuordenbaren Entladung bestimmt. Für die rund 700 auswertbaren Folgeblitze ergibt sich so eine statistische Verteilung der Ortungsfehler mit einem Median des Ortungsfehlers von 319m. Dabei ist zu bedenken, dass größere Ortungsfehler meist bei Strokes mit kleinen Stromwerten auftreten, da in diesem Fall nur wenige bzw. nur das absolut notwendige Minimum an Sensoren für eine Ortung zur Verfügung stehen. Verschiedene Verbesserungen in den letzten Jahren bei ALDIS haben auch zu einer Verbesserung der Ortungsgenauigkeit geführt. Betrachtet man nur die 260 Strokes in den letzten Jahren (2004-2009), so reduziert sich der Medianwert des Ortungsfehlers auf 260m.

Die Auswertungen der Gaisbergdaten bestätigen die hohe Qualität der ALDIS (EUCLID) Blitzortung im Raum Salzburg und damit im gesamten grenzübergreifenden Untersuchungsraum des gegenständlichen Projektes Reblaus.

Bei etwa der Hälfte aller Blitzschläge zur Erde folgen im Kanal des sog. Erstblitzes weitere Folgeblitze nach und treffen in der Regel denselben Einschlagspunkt mit einem zeitlichen Abstand von nur wenigen Millisekunden (ms) bis zu einigen 100ms. Das Blitzortungssystem lokalisiert jeden einzelnen Teilblitz (Strokes) und gruppiert diese dann raumzeitlich (alle Strokes innerhalb 1,5 Sekunden und innerhalb von 10km) zu einem "Flash" (Gesamtblitz) zusammen. Im Projekt Reblaus werden in der Regel **Gesamtblitze (Flashes)** analysiert.

## 2.4. Schadenswirkung von Blitzschlägen

### 2.4.1. Physiologische Wirkung von Elektrizität

Die Gefährdung von Menschen und Lebewesen durch Elektrizität wird primär nicht durch die elektrische Spannung, sondern durch den Strom verursacht. Wesentliche Größen zur Beschreibung der Wirkung des Stroms sind seine Stärke  $I_B$ , gemessen in der Einheit Ampere, und die Dauer  $t_F$ , die er auf den Menschen wirkt. Darüber hinaus hat der Weg des Stroms durch den Körper Einfluss auf die Gefährlichkeit. Prinzipiell gilt: er ist umso gefährlicher, je stärker das Herz vom Strom durchflossen wird.

Abb. 7 zeigt Wertebereiche von  $I_B$  und  $t_F$  sowie ihre assoziierten Gefahren. Unterhalb von Stromstärken von 1mA – gekennzeichnet durch Linie (a) – ist ein durch den Körper fließender Strom i.Allg. nicht wahrnehmbar. Zwischen 1mA und 10mA entstehen bereits Muskelkrämpfe. Oberhalb der Loslassschwelle (b) kann eine umgriffene Elektrode nicht mehr selbstständig losgelassen werden. Ab der Sicherheitskurve ( $c_1$ ) kann Herzkammerflimmern auftreten. Dieses äußert sich in einem unregelmäßigen Herzschlag, der zu einem Zusammenbruch des Blutkreislaufs führt. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist in der Nähe von ( $c_1$ ) noch sehr gering, steigt jedoch mit höherer Stromstärke oder längerer Dauer schnell an. Bei ( $c_2$ ) beträgt die Auftrittswahrscheinlichkeit für Herzkammerflimmern 5%, bei Kurve ( $c_3$ ) bereits 50%. Diese



Wahrscheinlichkeiten gelten für einen Stromweg von Hand zu Fuß. Bei anderen Stromwegen ist das Risiko kleiner, kann für einzelne (Hand-Brust-Hand) aber auch größer sein. Jenseits der Kurve ( $c_3$ ) treten Herzrhythmusstörungen nur für kurze Durchströmungsdauern auf. Dafür nehmen organische Schäden durch Verbrennungen zu. Die Form der Kurven ( $c_1$ ) bis ( $c_3$ ) sagt insgesamt aus, dass ein starker, kurzzeitiger Strom genauso gefährlich sein kann wie ein kleiner Strom über einen längeren Zeitraum.

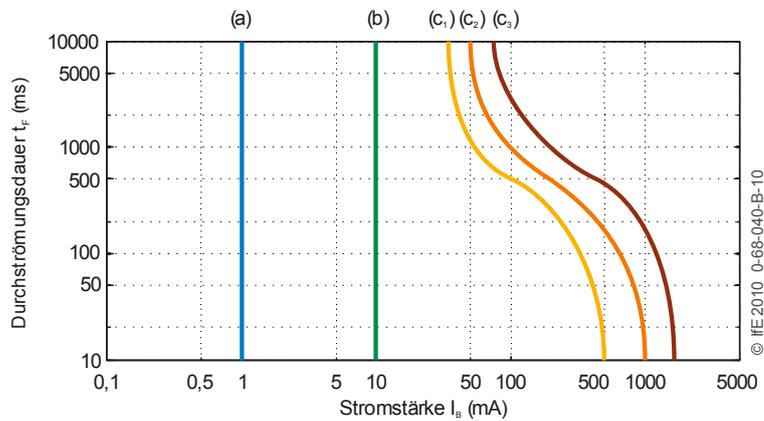


Abb. 7 Klassifizierung von Körperströmen  
[gemäß VDE V 0140 Teil 479: HEUCK & DETTMANN 2002]

In technischen Anlagen ist jedoch nicht der Strom, sondern die Spannung die festgelegte Größe. Um von den vorherigen Ausführungen zu Aussagen über zulässige Spannungen in technischen Anlagen zu gelangen, ist die Abschätzung des Körperwiderstandes  $R_B$  nötig. Grundsätzlich ist dieser nicht konstant, sondern hängt sehr stark von der Größe und Leitfähigkeit der Kontaktfläche von Körper und Stromkreis, dem Stromweg im Körper und dem Wert der Kontaktspannung selbst ab. Eine konservative Abschätzung für den Körperwiderstand zwischen Hand und Fuß ist  $1100\Omega$ . Setzt man als größten dauerhaft akzeptablen Wert des Berührungstroms  $46\text{mA}$  an, so erhält man mit dem Ohmschen Gesetz  $U_B = R_B \cdot I_B$  als Wert für die maximal dauernd zulässige Berührungsspannung  $U_B = 50\text{V}$ . Oberhalb dieses Wertes ist von einer lebensbedrohlichen Gefahr auszugehen.

Demnach überschreitet bereits  $230\text{V}$  bzw.  $400\text{V}$  die dauerhaft zulässige Berührungsspannung. Berührungen mit Stromleitungen im Haus verursachen demnach v.a. Herzkammerflimmern. Höhere Spannungen, wie sie im Mittel- und Hochspannungsnetz, aber auch bei Blitzen auftreten, rufen hingegen primär Verbrennungen hervor.

### 2.4.2. Wirkung von Blitzschlägen

Die Hauptgefahr eines Blitzes geht von der hohen elektrischen Stromstärke aus, die für einen Menschen lebensgefährlich ist. Das größte Risiko für einen Blitzschlag hat ein Mensch exponiert auf ebener Fläche. Wird ein Mensch direkt vom Blitz getroffen, sind schwere Verbrennungen durch über die Hautoberfläche fließenden Strom die Folge. Ein Teil des Stroms fließt durch den Körper und kann durch Stimulation der Nerven zu Muskelkrämpfen und Herzstillstand führen. Bei Blitzeinschlägen in unmittelbarer Nähe breitet sich der Blitzstrom im Boden in alle Richtungen aus. Es bildet sich ein sog. Potenzialrichter aus. Zwischen den Füßen kann sich so eine Schrittspannung aufbauen, die zu einem Stromfluss durch den Körper führt. Darum sollte man bei Gewitter im freien Gelände – sofern man nicht Schutz findet – die Beine eng geschlossen halten, um die maximale Höhe der Schrittspannung möglichst zu verringern.

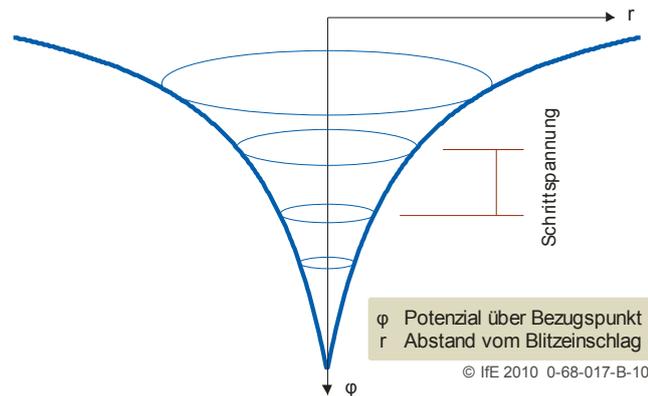


Abb. 8 Potenzialtrichter beim Blitzeinschlag  
[nach DEHN+SÖHNE 2007]

An Gebäuden können Blitze schwere Schäden anrichten. Der Blitzstrom erhitzt das durchflossene Material stark. Dies führt zur Verformung und Rissbildung durch thermische Expansion. Wasser verdampft schlagartig und verursacht dadurch explosionsartige Schäden an Bäumen, Kaminen und Dächern. Brennbares fängt Feuer, wenn es über seine Zündtemperatur erhitzt wird.

Elektrische Anlagen sind besonders durch Blitze gefährdet, da ihre leitenden Bauteile sie prinzipbedingt besonders anfällig für elektrische Entladungen machen. Einerseits stellt der Blitzstrom direkt eine Gefahr wegen Überlastung der Leitungen und Bauteile dar. Andererseits kann aber auch ein Blitz elektrische Bauteile berührungslos durch induzierte Überspannung schädigen. Hierzu reicht es, wenn der Blitz in geringer Entfernung einschlägt. Empfindliche Geräte werden deshalb durch zusätzliche Schutzmaßnahmen wie Metallgehäuse von den Wirkungen eines Blitzes abgeschirmt.

Der für induzierte Überspannungen wichtige Parameter ist nicht der maximale Blitzstrom, sondern die Stromsteilheit, d.h. die Anstiegsgeschwindigkeit der Stromstärke. Mathematisch beschrieben wird die Induktionsspannung durch den Term:

$$U_{ind} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Dabei steht die zeitliche Ableitung des Blitzstroms  $di/dt$  für die Stromsteilheit. Die Induktivität  $L$  repräsentiert die Empfänglichkeit eines Gerätes für den Strom. Sie ist in hohem Maße abhängig von der Entfernung des Blitzes und der Geometrie der leitenden Elemente. Leitende Anordnungen in Form von Schleifen oder Spulen erhöhen die Induktivität. Schließlich ist die Höhe der Spannung  $U_{ind}$ , ab der es zu der Beschädigung eines Gerätes kommen kann, in hohem Maße geräteabhängig.

### 2.4.3. Klassifikation von Blitzrisiken

In Kap. 2.6 (*Blitzschutz von Gebäuden*) werden technische und nichttechnische Maßnahmen vorgestellt, die die genannten Gefährdungen durch Blitze verringern oder beseitigen. Zur Planung und Realisierung solcher Maßnahmen werden die in Deutschland und Österreich verwendeten Europanormen EN 62305-1 bis 4<sup>1</sup> eingesetzt. Sie regeln das Vorgehen zur Abschätzung der Art und Höhe von Blitzschäden und beschreiben den Stand der Technik zur Planung, Aufbau und Wartung von Blitzschutzanlagen.

<sup>1</sup> verfügbar über den VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.) oder OVE (Österreichischer Verband für Elektrotechnik). Die wesentlichen Inhalte und Neuerungen sind in einer vierteiligen Beitragsreihe im Fachmagazin *Elektrojournal* erschienen, die unter <http://www.aidis.at/blitzschutz/vorschriften.html> zugänglich sind (bspw. KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008).



Die einzelnen Teile behandeln die folgenden Themen:

- Teil 1 *Allgemeine Grundsätze*
- Teil 2 *Risiko-Management*
- Teil 3 *Schutz von baulichen Anlagen und Personen*
- Teil 4 *Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen*

Die durch Blitze verursachten Schäden werden gemäß Teil 2 der Norm nach vier verschiedenen Schadensarten unterschieden:

- Verlust von Menschenleben (L1)
- Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit (L2)
- Verlust von unersetzlichem Kulturgut (L3)

Auf Basis der natürlichen Gegebenheiten wird für jede Schadensart getrennt das zu erwartende Risiko berechnet. Die Berechnung erfolgt prinzipiell nach folgender Gleichung:

$$R = N \cdot P \cdot L$$

Das Blitzrisiko  $R$  in der Einheit  $a^{-1}$  setzt sich demnach aus drei Komponenten zusammen. Die Blitzhäufigkeit  $N$  gibt die Anzahl der zu erwartenden Blitzeinschläge in das untersuchte Objekt pro Jahr an. Die Schadenswahrscheinlichkeit  $P$  trägt dem Umstand Rechnung, dass nicht jeder Blitzeinschlag auch zu einem Schadensfall führt. Bauliche und natürliche Gegebenheiten können eine schützende Wirkung haben und so bereits das Risiko deutlich reduzieren. Der Verlustfaktor  $L$  schließlich nimmt eine Wertung der Schadensart vor. So kann der Ausfall eines technischen Gerätes entweder nur geringe wirtschaftliche ( $L$  klein) oder erhebliche sicherheitskritische Folgen mit Lebensgefahr für Menschen ( $L$  groß) haben. Ist die Risikoanalyse durchgeführt, wird das ermittelte Risiko mit einem akzeptierbaren Risiko  $R_T$  verglichen. In Tab. 3 sind typische Werte für die Schadensarten L1 bis L3 dargestellt. Die Norm VDE 0185-305-2 enthält das detaillierte Vorgehen zur Bestimmung des Blitzrisikos für alle Schadensarten und -quellen.

Tab. 3 Typische Werte für akzeptierbares Risiko

Schadensart	Akzeptierbares Risiko $R_T$
L1	$10^{-5}a^{-1}$
L2, L3	$10^{-3}a^{-1}$

Gilt  $R \leq R_T$ , so ist der vorhandene Blitzschutz ausreichend und keine Maßnahmen müssen ergriffen werden. Im Falle von  $R > R_T$  ist ein der Schadensart angemessenes Blitzschutzsystem zu errichten.

Für die Schadensart wirtschaftliche Verluste (L4) ist der Vergleich mit einem akzeptierbaren Risiko nicht zweckmäßig. Vielmehr werden die zu erwartenden Schäden quantifiziert. Hierfür wird dieselbe Methodik – erweitert nur um die erwartete Schadenshöhe im Falle eines Blitzeinschlags – verwendet. Diese werden mit den Vermeidungskosten durch Anbringen eines Blitzschutzsystems verglichen. Sind die Kosten für das Blitzschutzsystem niedriger als die dadurch vermiedenen Schäden, ist die Anschaffung wirtschaftlich und sollte entsprechend durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise ist selbstverständlich nur dann anwendbar, wenn die anderen Schadensarten, insbesondere die Gefährdung von Personen, im Falle eines Blitzschlags ausgeschlossen werden kann.

## 2.5. Blitzschutz von Personen

Besten Schutz vor Gewittern bieten Gebäude mit Blitzschutzanlage. Ebenfalls guten Schutz bieten Fahrzeuge mit Metallkarosserie wie beispielsweise Autos, Eisenbahnwagen, Campingwagen oder Metallkabinen von Seilbahnen. Der geschlossene Metallkorb, der sog. Faradaysche Käfig, schirmt das elektrische Feld des Blitzes nahezu vollständig ab.

Die zweitbeste Möglichkeit zum Schutz sind Gebäude ohne Blitzschutzanlage, große Zelte oder die Umgebung von Gebäuden oder Metallmasten. Von Wänden und Masten ist ein Abstand von mindestens



3 Metern zu halten, um Überschlägen vorzubeugen. Auch ein Wald mit gleichmäßig hohen Bäumen bietet hinreichend Schutz. Um im Falle eines Blitzschlags in unmittelbarer Nähe die gefährliche Schrittspannung zu verringern, sollten die Füße eng geschlossen gehalten werden (vgl. Kap. 2.4.2).

Sind keine Schutz bietenden Gegebenheiten vorhanden, befindet man sich also auf freier Fläche, sind möglichst Vertiefungen im Boden aufzusuchen. Um nicht als einziger erhöhter Punkt exponiert zu sein, verbleibt noch die Hockstellung mit geschlossenen Beinen. Die Hände dürfen nicht am Boden abgestützt werden. Auf keinen Fall sollte man Schutz unter einzelnen Bäumen suchen oder sich flach auf den Boden legen. Von Gegenständen mit Metallteilen wie Regenschirme oder Fahrräder sind einige Meter Abstand zu halten.

Weitere Informationen zum Schutz vor Blitzeinwirkungen sind in ABB (2003) zu finden. VDE (2006) enthält detaillierte Ratschläge zum richtigen Verhalten bei Gewitter. Im Anhang des gegenständlichen Berichtes findet sich zu diesem Thema auch das Merkblatt *Was tun, wenn ein Gewitter droht* der AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt) in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe SABA des Fachausschusses "Blitzschutz" im Österreichischen Verband für Elektrotechnik.

In Kap. 6.1 werden die Ergebnisse der u.a. in Reblaus durchgeführten Befragung der Bevölkerung zum zu ihrem Wissensstand bezüglich Risikobewusstsein und Verhalten bei Unwetter und Blitzgefahr vorgestellt.

## 2.6. Blitzschutz von Gebäuden

Die Aufgabe des Blitzschutzes für ein Gebäude ist dessen Schutz bei direkten Blitzschlägen ebenso wie dessen Schutz vor indirekten Folgen. Es wird unterschieden zwischen dem **äußeren Blitzschutz**, der direkte Blitzeinschläge auf das zu schützende Gebäude aufnimmt, und dem **inneren Blitzschutz**, der Anlagen und elektrische Installationen gegen Blitzstrom und Überspannung absichert. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die grundlegenden Prinzipien. Genauere Informationen zur sachgerechten Auslegung des Blitzschutzes sind in (ABB 2004) zu finden.

### 2.6.1. Äußerer Blitzschutz

Der *äußere Blitzschutz* dient der Aufnahme direkter Blitzeinschläge. Bei korrekter Auslegung werden nahezu alle Einschläge in das zu schützende Gebäude ohne Schäden abgeleitet. Er besteht aus einer Fangeinrichtung, einer Vorrichtung zum Ableiten des Blitzstroms sowie einer Erdungsanlage. Die Schutzwirkung wird dadurch erreicht, dass der Blitz kontrolliert um das Gebäude herum geleitet wird.

Die Fangeinrichtung besteht aus blanken Metallstangen und -leitungen, die man auf dem Dach des zu schützenden Gebäudes montiert. Dachflächen sind mit einem Gitter von blanken Leitern auszurüsten. Die Maschenweite dieses Gitters und die Länge der Fangstangen sind bestimmt durch die zu erzielende Blitzschutzklasse. Tab. 4 zeigt die für eine bestimmte Blitzschutzklasse benötigte Dichtheit des Gitters.

Tab. 4 Parameter von Blitzschutzklassen (EN 62305-3)

Schutzklasse	Einfangwirksamkeit	$P_B$	Radius Blitzkugel	Maschenweite
I	99%	0,02	20m	5m × 5m
II	97%	0,05	30m	10m × 10m
III	91%	0,1	45m	15m × 15m
IV	84%	0,2	60m	20m × 20m

In Abb. 9 ist die Methodik zur Bestimmung des Schutzraums unter Fangeinrichtungen skizziert, hier am Beispiel von zwei Fangstangen. Er ergibt sich durch Abrollen einer gedachten Blitzkugel über der Fangeinrichtung. Ihr Radius  $r$  ergibt sich durch die gewünschte Schutzklasse. Der Bereich, der zwischen und unter den Fangeinrichtungen nicht von der Kugel berührt wird, ist der Schutzraum. Im Idealfall befindet sich das zu schützende Gebäude komplett im Schutzraum der Fangeinrichtungen. Ist dies nicht der Fall, müssen zusätzliche Schutzeinrichtungen angebracht werden.

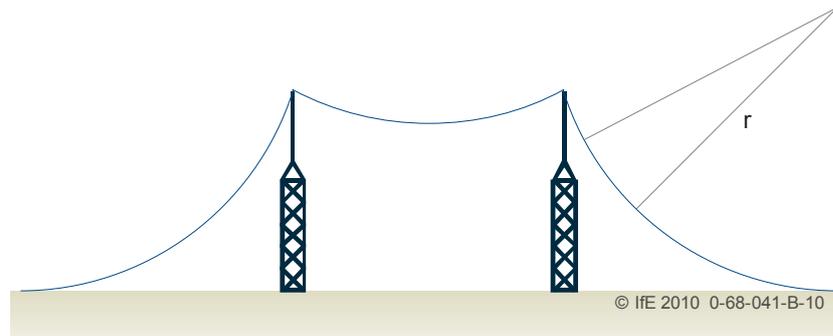


Abb. 9 Schutzraum von Fangstangen

In der Gebäudeplanung wird häufig eine Vereinfachung des allgemeinen Blitzkugelverfahrens angewandt. Die Schutzwirkung einer Fangeinrichtung auf seine Umgebung kann für geringe Bauhöhen mit einem konstanten Schutzwinkel angenähert werden. Die Fangeinrichtungen müssen mit gut leitenden Ableitungen zur Erde verbunden sein. Diese sollten möglichst niederinduktiv sein, d.h. möglichst keine starken Knicke und auf keinen Fall Schleifen aufweisen. Eine symmetrische Verteilung mehrerer Ableitungen um das Gebäude verringert das beim Blitz entstehende magnetische Feld im Hausinneren. Dies führt zu geringeren induzierten Überspannungen in der elektrischen Installation.

Die Erdungsanlage besteht bestenfalls aus einem großflächigen Fundamenterder. Dies ist ein ringförmiger, unisolierter Leiter, der im oder unter dem Fundament des Hauses eingebettet wird. Eine zweite Möglichkeit stellt ein um das Gebäude geschlossener Ringerder dar. Einzelne Staberder hingegen erzeugen in ihrer Umgebung bei Ableitung eines Blitzes gefährlich starke Schrittspannungen. Dieses Risiko kann durch die Verwendung mehrerer verbundener Erdungsstäbe verringert werden.

Mit Hilfe eines äußeren Blitzschutzes können Gebäudeschäden durch direkte Einschläge in das Gebäude nahezu ausgeschlossen werden. Tritt dennoch Überspannung in elektrischen Anlagen auf, so ist es die Aufgabe des inneren Blitzschutzes, ihre Wirkung auf Geräte zu minimieren.

## 2.6.2. Innerer Blitzschutz

Die Aufgabe des *inneren Blitzschutzes* ist das Verhindern von Funkenbildung innerhalb von Gebäuden sowie die Aufnahme von Überspannung, um die angeschlossenen Geräte zu schützen. Überspannungen können sowohl von direkten Blitzeinschlägen als auch indirekt durch elektromagnetische Induktion entstehen.

Wichtigste Komponente des inneren Blitzschutzes ist der sog. Potenzialausgleich. Er ist die leitende Verbindung des Bezugspotenzials („Erde“) der elektrischen Versorgungsleitung mit allen leitfähigen Verteilnetzen in einem Gebäude. Dazu zählen Telefon- und Kabelnetz ebenso wie metallene Wasserrohre und Gasleitungen. Unterbleibt dieser Ausgleich, so können bei einem Blitzeinschlag zwischen den Komponenten verschiedener Netze kurzzeitig Potenzialunterschiede von mehreren Tausend Volt entstehen. Dies birgt während eines Gewitters das Risiko von Funkenüberschlag oder Stromschlägen bei Berührung.

Idealerweise ist der äußere Blitzschutz von metallenen und elektrischen Anlagen im Inneren des Gebäudes strikt zu trennen, d.h. die Blitzableiter müssen einen Mindestabstand von allen Versorgungsleitungen haben. Falls dies nicht möglich ist, sollten alle elektrischen Leitungen mittels Blitzstromableitern in den Potenzialausgleich eingebunden werden. Nachteil hierbei ist, dass alle so eingebundenen Leiter, z.B. Bewehrungen auf Dächern oder Aufzugschienen, im Falle eines Einschlags in das Gebäude kurzzeitig den Blitzstrom führen. Dies ist bei der Planung des restlichen inneren Blitzschutzes zu berücksichtigen.

Der Anschluss der elektrischen Leitungen an den Potenzialausgleich erfolgt über Überspannungsschutzgeräte (engl. Surge Protective Device, kurz SPD). Die Reduzierung des Blitzstroms erfolgt in bis zu drei Stufen, jede mit einem eigenen SPD-Typ. Grobschutz (Typ I) hat die Aufgabe, den Großteil des Blitzstroms abzuleiten und so die Überspannung für die nächsten Schutzstufen zu reduzieren. Der Feinschutz (Typ II und III) reduziert noch verbleibende kurzzeitige Überspannungen auf ein von Geräten tolerierbares Maß.



## 2.7. Blitzschutz im Stromnetz

### 2.7.1. Struktur des Stromnetzes

Das Stromnetz in Deutschland bzw. Österreich ist hierarchisch gegliedert nach den Spannungsniveaus, auf denen elektrische Energie transportiert wird, wie Abb. 10 zeigt. Hoch- und Höchstspannungsnetze bilden die oberste Ebene des Netzes und dienen dem Transport großer Energiemengen über weite Strecken.

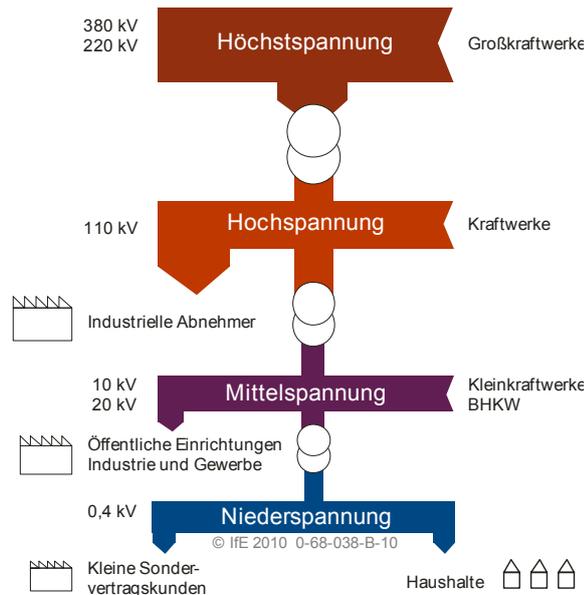


Abb. 10 Struktur von Verbundnetzen

[Darstellung angelehnt an HEUCK & DETTMANN 2002]

Auf Höchstspannungsebene speisen ausschließlich große Kraftwerksblöcke mit einer Leistung von mehreren Hundert Megawatt ein. Über große Leistungstransformatoren wird der Strom in Verbrauchsnähe auf ein niedrigeres Spannungsniveau gebracht. In der Hochspannungsebene speisen mittelgroße Kraftwerke im zwei- bis dreistelligen Megawattbereich ein. Zudem sind große Industrieverbraucher direkt an dieser Spannungsebene angeschlossen. Das Mittelspannungsnetz verteilt den Strom regional an Transformatorstationen des Niederspannungsnetzes und direkt an Großverbraucher. Kleinere Kraftwerke, z.B. Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK) von Stadtwerken, speisen in dieses Netz ein. Das Niederspannungsnetz schließlich arbeitet bei der haushaltsüblichen Spannung von 400V/230V und dient der Anbindung der privaten Haushalte und aller sonstigen Kleinverbraucher an das Netz.

In Tab. 5 sind für das deutsche Stromnetz die Gesamtlänge der elektrischen Leitungen sowie die Anzahl der Transformatoren je Spannungsebene zusammengefasst. Die Transformatoren verbinden die angegebene mit der darunterliegenden Spannungsebene. Sowohl Leitungslänge als auch Transformatoranzahl sind auf Nieder- und Mittelspannung deutlich größer als im Hoch- und Höchstspannungsnetz, was auf die große Anzahl an Ornetzstationen zurückzuführen ist. Die transportierte Energiemenge ist jedoch in allen Spannungsebenen annähernd gleich, da die Kapazitäten von Leitung und Transformator bei hohen Spannungen sehr viel höher ausgelegt sind.



Tab. 5 Kennzahlen des Stromnetzes in Deutschland  
(BDEW 2010)

Spannungsniveau	Nieder- spannung	Mittel- spannung	Hoch- spannung	Höchst- spannung
Leitungslänge (km)	1.067.100	493.000	75.200	36.000
Anzahl Transformatoren	-	560.000	7.500	1.100

Tab. 6 fasst ähnliche Daten für das Stromnetz der Betreibergesellschaft Salzburg Netz zusammen. Auch hier ist die Leitungslänge der Niederspannung mit knapp 11.000km deutlich über dem der Hochspannungsebene mit 600km. Typisch ist auch der Anteil an Erdkabeln je Spannungsebene. Bei hohen Spannungen dominieren Freileitungen, da die Isolierung durch Abstand auf Masten deutlich geringere Baukosten verursacht, als die Verlegung von stark isolierten Erdkabeln. Zudem wird die Wartung und Reparatur wesentlich vereinfacht. Im Niederspannungsbereich fällt das Isolationsproblem auf Grund der geringen zu übertragenden Leistungen je Kabel weg. Zudem wäre der Platzbedarf für Kabeltrassen und Masten bei dieser Leitungslänge zu hoch. Nur im ländlichen Raum werden zum Anschluss abgelegener Verbraucher noch Freileitungen eingesetzt. Unterirdische Mittelspannung wird hauptsächlich in Städten zur Versorgung der einzelnen Stadtteile verwendet. In Dörfern werden die örtlichen Umspannstationen meist per Freileitung versorgt.

Tab. 6 Netzstruktur der Betreibergesellschaft Salzburg Netz  
(SALZBURG NETZ GMBH 2010)

Spannungsniveau	Nieder- spannung	Mittel- spannung	Hoch- spannung
Leitungslänge (km)	10.700	4.200	600
Anteil Erdkabel	90%	50%	6%

Schließlich zeigt Abb. 11 die räumliche Struktur der Übertragungsnetze auf Höchstspannungsebene im Raum Salzburg sowie die Lage von Kraftwerken.



Abb. 11 Höchstspannungsnetz im Raum Salzburg  
(ENTSO-E 2010)

Mittelspannungsnetze sind als Strahlennetz oder als Ringnetz ausgeführt. Letzteres bietet den Vorteil, dass ein Leitungsabschnitt zur Wartung abgeschaltet werden kann, ohne dass die Versorgung eines Verbrauchers unterbrochen werden muss. Transformatoren im Niederspannungsnetz sind die Abneh-

mer der Leistung. Einige Großabnehmer wie Krankenhäuser und Fabriken mit eigenen Umspannwerken sind ebenfalls direkt an das Mittelspannungsnetz angeschlossen. Abb. 12 zeigt ausschnittsweise die typische Struktur des Mittelspannungsnetzes. Über Hochleistungstransformatoren werden Umspannstationen gespeist. In ringförmigen Leitungen werden die Netzstationen gespeist, die die Verbindung zur Niederspannungsebene darstellen. Zwischen Netzstation und Mittelspannungsleitung sind jeweils Leistungsschalter angebracht, mit denen die Verbindung zum Leiter unterbrochen werden kann. Im Normalbetrieb wird die Ringstruktur durch eine offene Trennstelle unterbrochen. Im Fehlerfall an einem beliebigen Leitungsabschnitt zwischen zwei Netzstationen kann dieser Abschnitt beidseitig getrennt werden und die ansonsten stromlosen Netzstationen werden durch die dann geschlossene Trennstelle versorgt. Dies ermöglicht es, Störungen in Leitungen ohne Ausfall der Stromversorgung zu beheben.

Da dies jedoch immer nur für einen Fehler pro Ring gleichzeitig möglich ist, ohne dass es zu Ausfällen kommt, folgt diese Auslegung dem (n-1)-Kriterium. Danach ist der Ausfall eines Betriebsmittels vom Rest des Systems ohne Überlastung zu verkraften. Auf der Ebene von Hoch- und Höchstspannung sind Netze und der konventionelle Kraftwerkspark nach diesem Kriterium ausgelegt. Bis auf seltene Ausnahmen kann damit die Versorgung mit einer hohen Zuverlässigkeit gewährleistet werden.

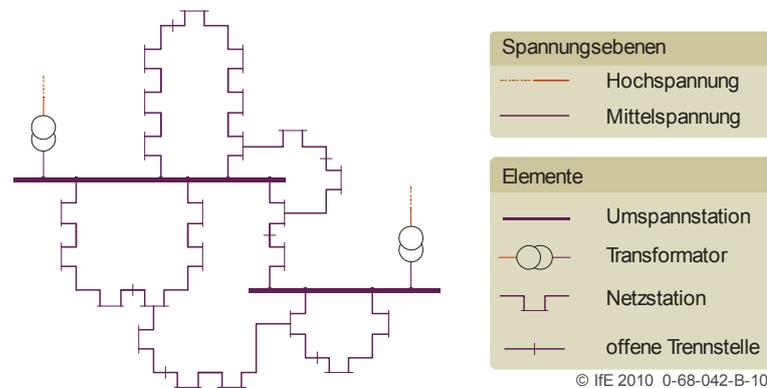


Abb. 12 Netzstruktur im Mittelspannungsnetz  
 [HEUCK & DETTMANN 2002]

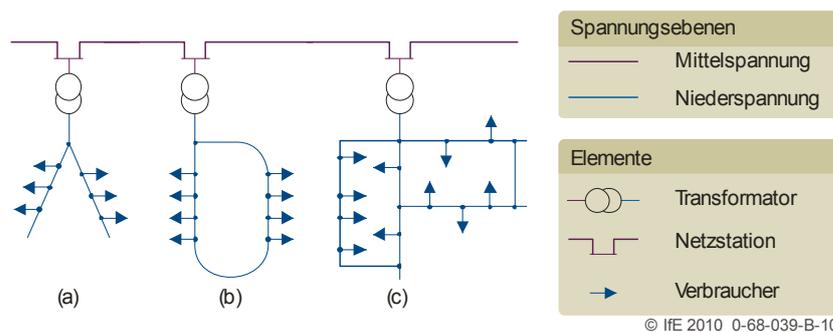


Abb. 13 Netzstruktur im Niederspannungsnetz. (a) Sternleitung, (b) Ringleitung, (c) vermaschtes Netz  
 [HEUCK & DETTMANN 2002]

Niederspannungsnetze sind von der Struktur meist sternförmig (a), seltener ringförmig (b) aufgebaut, wie in Abb. 13 gezeigt. Sie stellen die letzte Meile vom Umspanntransformator zum Hausanschluss dar. In Städten trifft man häufig stark vermaschte Netze (c) an, teilweise mit mehreren Einspeisepunkten.

Sternförmige Netze verursachen die geringsten Investitionskosten, weisen jedoch die geringste Zuverlässigkeit auf. Bei einem Fehler in einer Leitung sind alle nachfolgend angeschlossenen Verbraucher stromlos. Versorgungsunternehmen begegnen dieser Schwäche durch mobile Notstromaggregate, die im Fehler- oder Wartungsfall kurzzeitig die Versorgung der Verbraucher übernehmen.



Ringleitungen weisen durch die geschlossene Struktur genau wie im Mittelspannungsnetz eine höhere Zuverlässigkeit auf. Einfache Fehler in Leitungen können ohne Unterbrechung der Stromversorgung verkraftet werden.

Vermaschte Netze sind am anspruchsvollsten zu betreiben, verfügen auf Grund ihrer Struktur aber auch über das größte Maß an Redundanz. Durch mehrere Einspeisepunkte kann dieses Netz sogar beim Ausfall einzelner Netzstationen die Versorgung gewährleisten. Allerdings ist im Fehlerfall die Eingrenzung der Fehlerausbreitung am schwierigsten zu beherrschen.

## 2.7.2. Schutzprinzipien

Freileitungen sind die am stärksten von Blitzeinschlag gefährdeten Anlagen. Deshalb verläuft oberhalb der stromführenden Leiter stets eine Erdleitung, die bei jedem Strommasten über dessen Stahlskelett mit einer Erdungsanlage verbunden ist. Sie fängt einen Großteil aller Blitzenladungen ab und leitet sie über die Masten verteilt ab. Die Gefahr einer Schrittspannung am Boden wird durch die Verbindung der Strommasten untereinander verringert, da so mehrere Erder jeweils einen Teil des Blitzstroms abführen.

Trifft ein Blitz dennoch eine Freileitung, so sind die internen Schutzmaßnahmen des Netzes aktiv. Umspannstationen sind mit Überspannungsableitern ausgestattet, die die Ausbreitung von Überspannungen verhindern oder zumindest dämpfen. Die Ausbreitung von Überspannungen jeglicher Art – nicht nur durch Blitze verursacht – auf niedrigere Spannungsebenen wird jedoch nicht in jedem Fall verhindert.

Abb. 14 zeigt schematisch die möglichen Verläufe des Blitzstroms für einen Einschlag in ein Leiterseil, sowie für einen Einschlag in das Erdseil. Beim Einschlag in einen Leiter (a) teilt sich der Blitzstrom  $i_B$  auf in zwei Teilströme  $i_L$  der halben Stromstärke, die sich in beide Richtungen von der Einschlagstelle aus fortpflanzen. Es kann zum Überschlag ( $i_M$ ) auf das Mastgestell kommen, wenn die Isolationsfestigkeit des Leitungsisolators überschritten wird. Schlägt der Blitz in das Erdseil ein (b), so können die benachbarten Maste im Normalfall ihre Aufgabe als Erdungsanlage erfüllen. Bei ungünstigen Bedingungen oder besonders starken Blitzen kann es zu einem sog. rückwärtigen Überschlag auf das Leiterseil kommen.

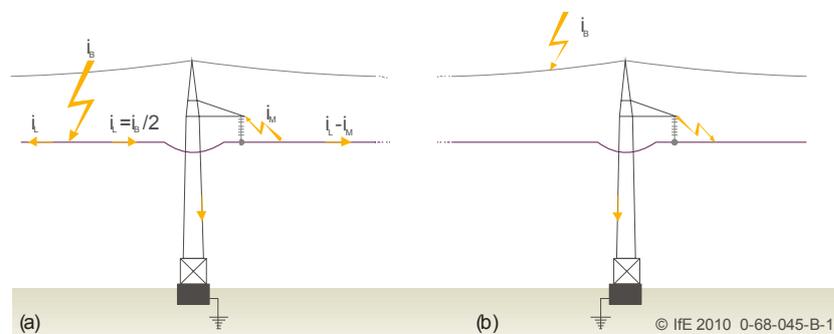


Abb. 14 Blitzeinschlag in eine Freileitung (schematisch)

[OEDING & OSWALD 2004]

Im Niederspannungsnetz selbst werden sog. Niederspannungs-Hochleistungs-Sicherungen eingesetzt. Sie sind in der Netzstation, aber auf der unteren Spannungsebene des Transformators, angeschlossen.



### 3. Grenzübergreifende GIS-Datenbasis

Ein wesentlicher Baustein eines integrativen Risiko- und Naturgefahrenmanagements und damit auch des gegenständlichen Pilotansatzes im Projekt „Reblaus“ ist eine grenzübergreifende räumliche Datenbasis (Abb. 15). Diese Geodatenbasis wird auf Grundlage der von den Projektpartnern, -förderern und Unterstützern bereitgestellten aber auch öffentlich zugänglicher Daten aus entsprechend unterschiedlichen Datensystemen erstellt. Bei diesen teils bereits räumlichen, teils nur indirekt<sup>1</sup> räumlichen Daten handelt es sich um in unterschiedlichsten Formaten, räumlichen Bezugssystemen, Standards und Definitionen und grenzübergreifend oft nur bedingt vergleichbar vorliegenden Informationen, die eine Harmonisierung notwendig machen.

Ziel ist, neben der Vorhaltung der Daten im jeweiligen ursprünglichen Format auch eine grenz- und themenübergreifend vergleichbare Datenstruktur auf Basis eines grenzübergreifenden Rasters (1x1km) zu ermöglichen. D.h. es werden dadurch bspw. Landnutzungsdaten sowohl mit den originalen unregelmäßigen Vektorgeometrien als auch auf regelmäßige Rasterzellen konvertiert<sup>2</sup> bereitgestellt.

Die Wahl der Rasterauflösung von 1km zur darauffolgenden Visualisierung und Analyse (siehe Kap. 4 und Kap. 5) liegt einerseits in der statistischen Aussagekraft der Blitzeinschlagsdaten (abhängig von der räumlichen Ortungsgenauigkeit, vgl. Kap. 2.3) und andererseits in der Verfügbarkeit von ergänzenden Daten v.a. seitens Statistik Austria (siehe Kap. 3.4) begründet. Die Rasterorientierung ist angelehnt an die von Statistik Austria angebotene Regionalstatistik (geographische Raster in der Projektion MGI Austria Lambert, vgl. WONKA 2006; PRINZ, STROBL & WONKA 2004; KAMINGER & WONKA 2004). Der Visualisierungs- und Analysebereich – das Reblaus-Analysegebiet – umschreibt das eigentliche Projektgebiet großzügig durch ein 200x200km Quadrat (vgl. Kap. 1.4) und liefert bei einer 1km-Auflösung 40.000 Rasterzellen zur Verarbeitung.

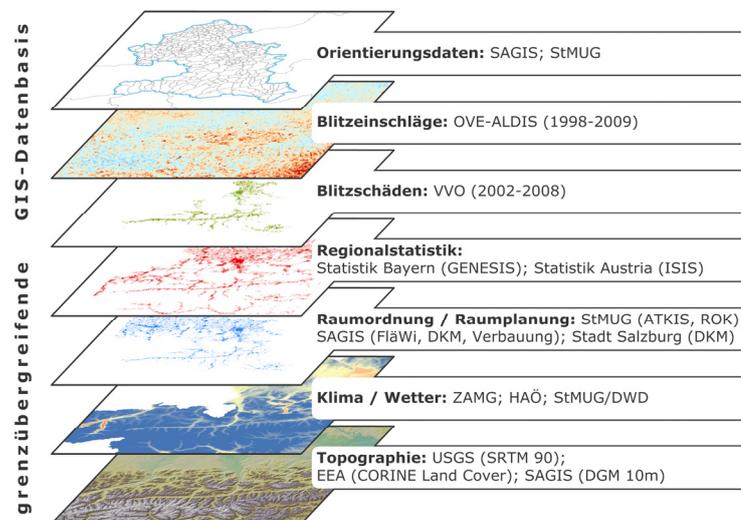


Abb. 15 Themenschichten der grenzübergreifenden Datenbasis im Projekt Reblaus

Zu beachten ist, dass naturgemäß nicht alle Daten das Reblaus-Analysegebiet zur Gänze abdecken, wodurch räumliche Einschränkungen in den Auswertemöglichkeiten unvermeidbar sind (siehe Abb. 16 bzw. die Detailbeschreibungen der Kapitel 3.1 bis 3.7). Im gegenständlichen Kapitel werden die einzelnen Eingangsdaten, die thematischen und geographischen Harmonisierungsarbeiten und die Aufbereitungsschritte hin zur grenzübergreifenden Reblaus-Datenbasis folgender Datenschichten beschrieben (vgl. hierzu auch Illustration Abb. 15): *Orientierungsdaten* (Kap. 3.1), *Blitzeinschläge* (Kap. 3.2), *Blitz-*

<sup>1</sup> bspw. bei Raumbezug über ein Adressfeld

<sup>2</sup> Die je nach Datenschicht unterschiedliche Vorgehensweise dieser Konversion auf das übergeordnete Raster wird in der Regel in den einzelnen Kapiteln 3.1 bis 3.7 erläutert.



schäden (Kap. 3.3), *Regionalstatistik* (Kap. 3.4), *Raumordnung / Raumplanung* (Kap. 3.5), *Klima / Wetter* (Kap. 3.6), *Topographie* (Kap. 3.7).

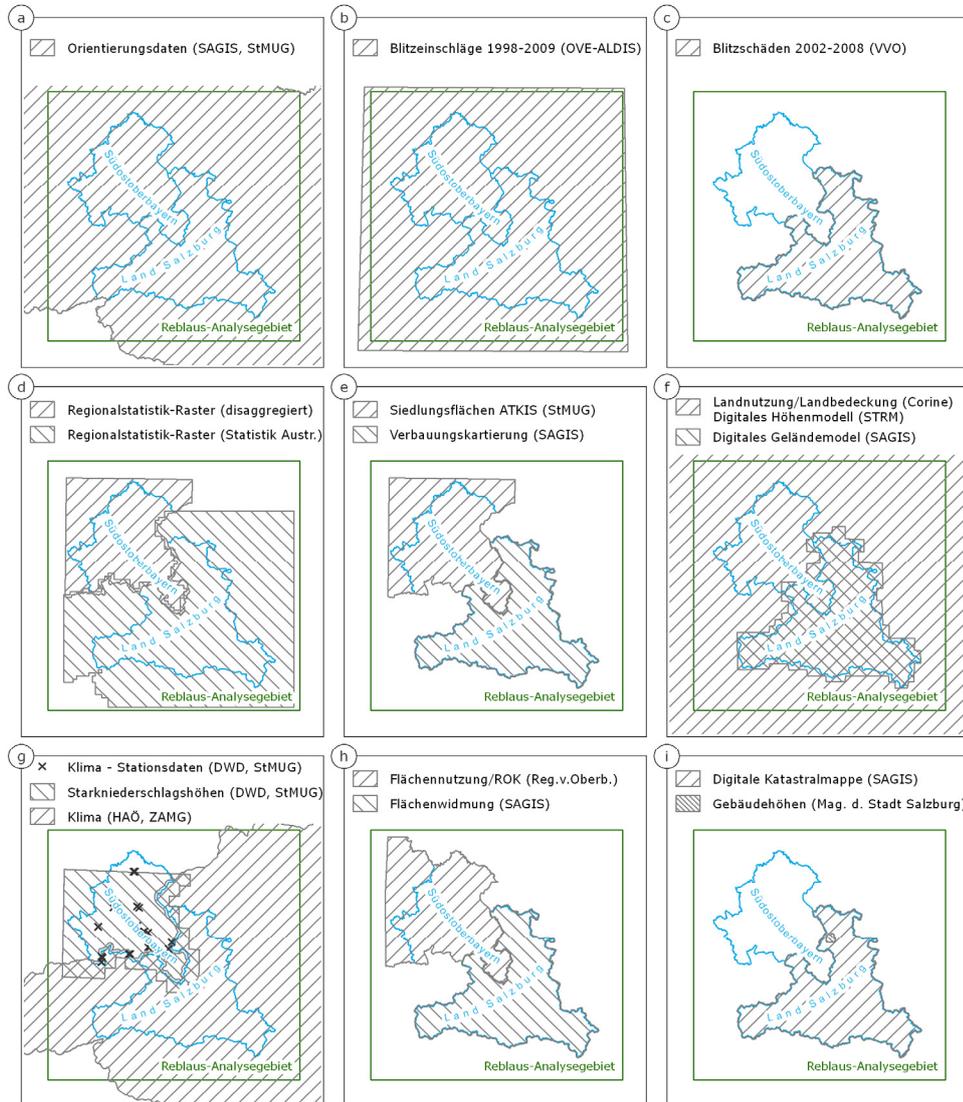


Abb. 16 Räumliche Verfügbarkeit einzelner Datenschichten der grenzübergreifenden GIS-Datenbasis

### 3.1. Orientierungsdaten

Orientierungsdaten umfassen v.a. Datenschichten, die einerseits eben zur Orientierung in kartographischen Darstellungen aber auch z.B. als Raumbezugsabgrenzung für einzelne Analyseschritte und standortbezogene Auswertungen notwendig sind. Dies sind u.a. administrative Grenzlinien (Gemeinden, gemeindefreie Gebiete, Bezirke, Landkreise, Länder und dgl.), ein Verkehrsnetz, Gewässer (Flüsse, Seen) aber natürlich auch Höhen- und Landbedeckungsinformationen, die in Kap. 3.7 beschreiben werden.

Die administrativen Grenzen (für Land Salzburg bereitgestellt von SAGIS<sup>1</sup>; für Südostoberbayern aus ATKIS<sup>2</sup> entnommen und bereitgestellt von StMUG<sup>3</sup>) beinhalten neben den länderspezifischen Identifika-

<sup>1</sup> Salzburger Geographisches Informationssystem

<sup>2</sup> Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

<sup>3</sup> Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit



tionsschlüsseln auch die europäisch einheitliche NUTS- und LAU-Codierung<sup>1</sup> von Eurostat (statistisches Amt der Europäischen Union) und damit die Grundlage für eine verhältnismäßig einfache Verknüpfung unterschiedlichster Themengebiete über diesen räumlichen Schlüssel (bspw. Gemeindestatistiken aus den Datenbanken ISIS<sup>2</sup> und GENESIS<sup>3</sup>). Daten zu Verkehrswegen der Fa. Navteq werden neben Orthophotos für Detailansichten im Land Salzburg von SAGIS zur Verfügung gestellt; grenzübergreifende Gewässerdaten werden dem Hydrologischen Atlas Österreichs entnommen. Diese Orientierungsdaten sind für beinahe den gesamten Analysebereich im Projekt verfügbar (siehe Abb. 16a).

### 3.2. Blitzeinschläge

Blitzeinschlagsdaten stellen für das Projekt Reblaus die wesentliche Eingangsgröße dar und werden von ÖVE-ALDIS<sup>4</sup> bereitgestellt (siehe zur Blitzerfassung und Ortungsqualität Kap. 2.3). Aus dem System von ALDIS stehen Blitzeinschlagsdaten des Netzwerkes EUCLID<sup>5</sup> für 12 Jahre (1998-2009) als ASCII-Datei mit den Attributen Stroke-Nummer, Datum und Uhrzeit, geographische Länge und Breite, Wolke-Wolke / Wolke-Erde Kennzeichnung (u.a., vgl. Kap. 2.3) zur Verfügung. Die räumliche Verfügbarkeit umschließt das Reblaus-Analysegebiet (siehe Abb. 16b) und umfasst damit eine Fläche von mehr als 40.000km<sup>2</sup> (Quadrat: ca. 200x200km)<sup>6</sup>.

Für die Auswertung von Blitzeinschlägen im vorliegenden Projekt (v.a. in Kap. 5) wird die *durchschnittliche jährliche Anzahl der Blitzeinschläge pro km<sup>2</sup>* (kurz: **Blitzdichte**) verwendet. Der ausführlichen Beschreibung der Berechnung dieser Kenngröße Blitzdichte widmet sich ein eigener Abschnitt des gegenständlichen Berichtes (Kap. 4.1 *Schätzung der Blitzdichte*). Darin werden die im Projekt verwendeten Begriffe **lokale Blitzdichte**, **fokale Blitzdichte** und **probabilistische Blitzdichte** erläutert.

### 3.3. Blitzschäden

Über den Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO) stehen für sieben Jahre (2002-2008) etwa 8.000 anonymisierte Blitzschadensfälle im Land Salzburg (siehe Abb. 16c) bereit, die auf Blitzschlag (*direkt zündend; direkt nicht-zündend; indirekt; sonstige Schadenursache durch atmosphärische Elektrizität*) zurückzuführen sind. Diese Schadensdaten weisen sowohl ein Adressfeld als auch das jeweilige Schadensdatum auf, wodurch eine raumzeitliche Verarbeitung möglich wird.

Die Georeferenzierung der Blitzschäden erfolgt – als Adresskodierung nach erforderlichen aufwändigen Standardisierungsarbeiten der Adressschreibweise – zu Adressdaten (bereitgestellt von Land Salzburg / SAGIS). In Abhängigkeit von der Güte und Vollständigkeit der in den Blitzschadensdaten vorhandenen Adressinformationen (Postleitzahl, Straße, Hausnummer) können vier unterschiedliche Verortungsqualitäten erzielt werden (siehe auch Abb. 17):

- **adressgenaue Verortung** über Postleitzahl, Straße und Hausnummer
- **straßengenaue Verortung** über Postleitzahl und Straße
- **gemeindgenaue Verortung** über Postleitzahl
- **keine Verortung** möglich

Insgesamt werden so etwa 95% aller Blitzschäden zumindest gemeindegenau verortet. 5.731 Schadensfälle (72%) davon eignen sich durch adressgenaue Verortung für die detaillierten großmaßstäbigen Auswertungen in Kap. 5.3 zur Gegenüberstellung von Blitzschäden und Blitzaufkommen.

<sup>1</sup> NUTS: Nomenclature of territorial units for statistics; LAU: Local Administrative Units

<sup>2</sup> Integriertes Statistisches Informationssystem (siehe auch Kap. 3.4)

<sup>3</sup> GEmeinsames NEues Statistisches Informationssystem (siehe auch Kap. 3.4)

<sup>4</sup> Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Abteilung ALDIS

<sup>5</sup> EUCLID: EUropean Cooperation for LIghtning Detection (<http://www.euclid.org>)

<sup>6</sup> Bereitstellung erfolgt in geographischen Koordinaten (Ausdehnung: Länge: 11,5° bis 14,3°, Breite: 46,7° bis 48,6°)

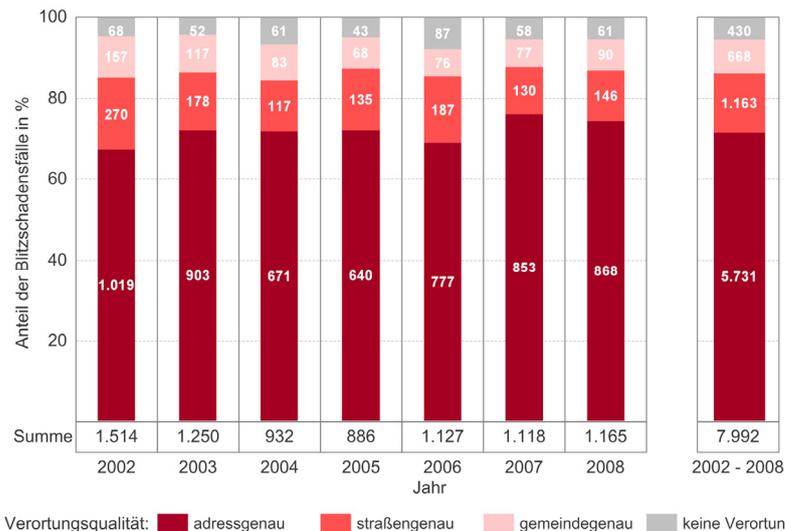


Abb. 17 Blitzschadensfälle im Land Salzburg der Jahre 2002 bis 2008 nach Verortungsqualität

### 3.4. Regionalstatistik

Kennzahlen aus dem Bereich der Regionalstatistik sind im vorliegenden Projekt grundlegend für die räumliche Ableitung des Siedlungsraumes, für die Bewertung des Raumes hinsichtlich der Intensität der seiner Nutzung für Siedlungszwecke und damit der Betroffenheit von bspw. der Wohnbevölkerung sowie für die Abschätzung eines möglichen Schadenspotenzials. Die dafür notwendigen Grundlagen sind im Projektgebiet großteils über die Portale nationaler Statistikinstitute verfügbar (siehe hierzu auch SPITZER, PRINZ & HERBST 2010):

- **GENESIS** („Gemeinsames NEues Statistisches InformationsSystem“) ist eine gemeinsame Initiative der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder Deutschlands und stellt **kostenfreie** Datenbanken bereit, die von den jeweiligen Statistischen Landesämtern befüllt werden, jedoch einheitlich gestaltet, bedienbar und abrufbar sind.
- **ISIS** (Integriertes Statistisches InformationsSystem) ist eine grundsätzlich **kostenpflichtige** Datenbank regionalstatistischer Daten in Österreich und wird von Statistik Austria betrieben.

Neben regionalstatistischen Daten auf Basis administrativer Einheiten (Gemeinden, Bezirke, Landkreise, Länder) werden im Projekt Reblaus v.a. auch Daten auf Basis der regionalstatistischen Raster (siehe Abb. 16d) verarbeitet. Diese stehen für Österreich seitens Statistik Austria seit der Großzählung 2001 einheitlich zur Verfügung<sup>1</sup>. In Deutschland wird eine derartige Rasterstatistik nicht angeboten, weswegen für Südostoberbayern auf Basis von Gemeindestatistiken Verfahren zur *Verfeinerung der gemeindebezogenen Einwohnerzahl auf geographische Raster* (räumliche Disaggregation) herangezogen werden. Methodisch wird dabei auf das Interreg IV A - Projekt *EuRegionale Raumanalyse (EULE)* (HERBST, PRINZ & SPITZER 2011) zurückgegriffen. Die notwendigen kleinräumigen Bezugsflächen (ATKIS Basis-DLM, siehe Abschnitt *Siedlungsflächen / Verbauung* in Kap. 3.5) für Südostoberbayern werden seitens des StMUG (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit)<sup>1</sup> bereitgestellt. Die grenzübergreifende DIS-Datenbasis enthält neben regionalstatistischen Kennzahlen auf Gemeindeebene also auch Regionalstatistik auf Ebene des 1x1km Rasters (u.a.):

- **Reblaus-Projektgebiet** (Südostoberbayern und Land Salzburg): Zahl der Einwohner mit Hauptwohnsitz 2008
- nur **Land Salzburg**: Zahl der Beschäftigten am Arbeitsort (Arbeitsplätze) 2001, Zahl der Gebäude 2001 differenziert nach Nutzung, Zahl der Einwohner mit Hauptwohnsitz 2001 differenziert nach Altersklassen und Geschlecht

<sup>1</sup> Das dabei verwendete Raster in der Projektion MGI Austria Lambert (vgl. WONKA 2006; PRINZ, STROBL & WONKA 2004; KAMINGER & WONKA 2004) wird in Reblaus auch als räumliche Orientierungshilfe verwendet (siehe Einleitung zu Kap. 3).



### 3.5. Raumordnung / Raumplanung

#### Siedlungsflächen / Verbauung

Zur grenzübergreifenden Abbildung der Verbauungs- und Siedlungsstruktur stehen ATKIS-Siedlungsflächen (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) für ein Südostoberbayern umschreibendes Rechteck (Abb. 16e) – bereitgestellt durch das StMUG<sup>1</sup> – zur Verfügung. Im Land Salzburg kann die Verbauungskartierung von Land Salzburg / SAGIS<sup>2</sup> herangezogen werden, die durch Gebäude verbaute Flächen ausweist, welche sich in der Regel an den Grundparzellengrenzen orientieren (vgl. BRAUMANN & PHILIPP 2005).

Diese Daten zur Siedlungsstruktur weisen zwar inhaltlich ähnlichen Aussagegehalt auf, betrachten jedoch Siedlungs- bzw. Verbauungsflächen in verschiedenen Maßstäben. Um eine grenzübergreifend annähernd vergleichbare Grundlage zu erstellen, werden aus den ATKIS-Daten (Basis-DLM)<sup>3</sup> die Objektarten 2111 (*Wohnbaufläche*), 2112 (*Industrie- und Gewerbefläche*), 2113 (*Fläche gemischter Nutzung*) und 2114 (*Fläche besonderer funktionaler Prägung*) ausgewählt, mit der Verbauungskartierung zusammengeführt und anschließend räumlich aggregiert. Dadurch werden Flächen innerhalb einer Distanz von 75m zusammengeführt und Lücken <5.000m<sup>2</sup> innerhalb von Siedlungsflächen geschlossen<sup>4</sup>. Daraus resultiert eine Datenschicht für die GIS-Datenbasis, die *grenzübergreifende Siedlungsflächen* in vergleichbarer Weise abbildet, jedoch keine Verkehrsflächen beinhaltet.

#### Flächenwidmung / Flächennutzung

Für die Abbildung der Raumordnungsstruktur im Reblaus-Projektgebiet (Südostoberbayern und Land Salzburg) wird auf einen grenzübergreifend harmonisierten Datenbestand zur Flächenwidmung / Flächennutzung aus dem Projekt EuRegionale Raumanalyse (HERBST, PRINZ & SPITZER 2011) zurückgegriffen (räumliche Verfügbarkeit: Abb. 16h). Dieser baut auf dem *Digitalen Flächenwidmungsplan Salzburg* von Land Salzburg / SAGIS (Stand 2009) sowie auf dem *Raumordnungskataster Bayern* (ROK) von der Regierung von Oberbayern (Stand 2008) auf. Nach der Vereinheitlichungssystematik in Abb. 18 können folgende grenzübergreifende Klassen der Flächenwidmung / Flächennutzung abgeleitet werden:

- Wohngebiete
- Mischgebiete
- Gewerbegebiete
- Industriegebiete
- Sonstige Widmungen

Salzburg	grenzübergreifende Klassen	Südostoberbayern
Reine Wohngebiete Erweiterte Wohngebiete	→ Wohngebiet	← Wohnbaufläche
Kerngebiete Ländliche Kerngebiete Dorfgebiete	→ Mischgebiet	← Gemischte Baufläche
Gewerbegebiete Betriebsgebiete	→ Gewerbegebiet	← Gewerbliche Baufläche
Industriegebiete	→ Industriegebiet	← Industriegebiet

Abb. 18 Klassifikation zur Vereinheitlichung von Flächenwidmungs- / Flächennutzungsdaten

[aus HERBST, PRINZ & SPITZER 2011]

<sup>1</sup> Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Referat 75, Luftreinhaltung und Anlagensicherheit

<sup>2</sup> SAGIS: Salzburger Geographisches Informationssystem

<sup>3</sup> Diese ATKIS-Daten werden auch als kleinräumige Bezugsflächen in der räumlichen Verfeinerung der gemeindebezogenen Einwohnerzahl auf geographische Raster – beschrieben in Kap. 3.4 – verwendet.

<sup>4</sup> Die Wahl der Generalisierungsparameter erfolgte durch visuellen Vergleich mit Orthophotos.



## Kataster

Für einen Teil des Stadtgebietes von Salzburg wird die Digitale Katastralmappe (DKM)<sup>1</sup> vom Magistrat der Stadt Salzburg (Abteilung 5 Raumplanung und Baubehörde) zur Verfügung gestellt. Der Zweck der DKM ist, Flächen gleicher Besitzverhältnisse, gleicher Bodennutzung und gleicher Geländebeschaffenheit zusammenzufassen und zu nummerieren (BRANDSTÖTTER & PAUL 2003). Die in der DKM auch enthaltene Nutzung *Gebäude* aus der Benützungsort *Bauflächen* wurde von der Abteilung 5 *Raumplanung und Baubehörde* um Gebäudehöhen zur Abschätzung von Nachverdichtungspotenzialen ergänzt (siehe hierzu REITHOFER 2008). Diese Gebäudeumrisse und -höhen werden im Projekt Reblaus im Kap. 6.3 zur prototypischen Abschätzung der Zahl von direkten Blitzschlägen in Gebäude herangezogen. Ergänzend zu dieser erweiterten DKM steht für das gesamte Land Salzburg von SAGIS die gebräuchliche DKM mit Stand Mitte 2007 bereit (räumliche Verfügbarkeit siehe Abb. 16i).

## 3.6. Klima / Wetter

Das Klima ist ein bedeutender Faktor für die räumliche Differenzierung der Blitzaktivität. Dies macht eine umfassende Betrachtung der atmosphärischen Gegebenheiten erforderlich, wobei für das Österreichische Staatsgebiet die *Anzahl der schwülen Tage* pro Jahr (entnommen aus dem Meteorologischen Atlas Österreichs, ZAMG<sup>2</sup>), der *orographische Gewitterindex* sowie verschiedene *Starkniederschlagskategorien* (entnommen aus dem Hydrologischen Atlas Österreichs HAÖ des BMLFUW<sup>3</sup>, BMLFUW 2007) als räumliche Klimaindikatoren zur Verfügung stehen.

Der Datensatz zur Anzahl der schwülen Tage beruht auf dem Grenzwertkriterium einer Äquivalenttemperatur  $>56,1^{\circ}\text{C}$ . Von einem schwülen Tag spricht man, wenn bei einer angenommenen vollständigen Kondensation der gesamten in der Luft gebundenen Feuchtigkeit die angeführte Temperatur überschritten wird. Der Jahresmittelwert basiert dabei auf der sog. ÖKLIM-Zeitreihe, die die Jahre 1961 bis 1990 umfasst und mit einer Rasterauflösung von 250m wiedergegeben wird. Dabei ist zu beachten, dass ab 1.500m Meereshöhe keine Schwüle zu erwarten ist und generell eine starke Abhängigkeit von der Topographie gegeben ist (AUER et al. 2001).

Demgegenüber weist die Starkniederschlagsdatei mit einer Rasterweite von 5.500m eine verhältnismäßig grobe Auflösung auf. Die hierbei verspeicherte Starkniederschlagsmagnitude beruht auf extremwertstatistischen Berechnungen und der Interpolation punktuell vorhandener Klimadaten aus 1.444 Stationen, von denen 662 Stationen eine lückenlose Aufzeichnung der Standardperiode 1961-1990 gewährleisten. Die Ergebnisse daraus können als Wahrscheinlichkeitskategorien zur räumlich differenzierten Abschätzung des Starkniederschlagsrisikos verstanden werden. Ein Beispiel für eine solche Kategorie wäre die maximale Niederschlagsmenge in mm, die sich bei 15-minütiger Dauerstufe mit 2-jährigem Wiederkehrintervall ergibt. Insgesamt beinhaltet der Datensatz 12 Wahrscheinlichkeitskategorien für 15-, 60- und 180-minütige Niederschläge bzw. für einen 2-, 10-, 50- und 100-jährigen Wiederkehrintervall (BMLFUW 2007).

Der orographische Gewitterindex basiert auf empirischen Schätzmethoden und erlaubt Aussagen zur Gewitterexposition im topographisch gegliederten Gelände. Bestimmende Faktoren sind dabei Hangneigung, Hangexposition bzw. geschätzte Stärke und Richtung des aufwärtsgerichteten Luftstroms. Auf diese Art wird mithilfe des Höhenmodells die Stärke der Strömungskonvergenz über Gipfeln, Rücken und Graten geschätzt, wobei im Falle großer Höhenunterschiede zwischen Talboden und Erhebung von verstärkten Konvergenzen ausgegangen werden kann. Die anabatischen Luftströme sind entweder durch die erzwungene Hebung der Luftmassen beim Überströmen eines Gebirgsmassivs oder durch den Transport feuchter Luftmassen infolge kleinräumiger Hangwindssysteme bedingt. Nachdem die Strömungskonvergenz mit dem Aufsteigen feuchter Luftmassen einhergeht, wird ein hohes Konvergenzmaß einer ausgeprägten Gewitterexposition gleichgesetzt (BMLFUW 2007, vgl. auch Kap. 2.1 *Gewitterarten*).

<sup>1</sup> Die DKM wird vom BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) erstellt und verwaltet.

<sup>2</sup> Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

<sup>3</sup> Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft



Diese Daten stehen als deskriptive Datenschichten zur Erklärung der räumlichen Verteilung der Blitzaktivität sowie für die kartographische Aufbereitung verschiedener Inhalte im österreichischen Teil des Analysegebietes zur Verfügung (siehe Abb. 16g). Zur grenzübergreifenden Erweiterung dieser Rasterdatenbestände wird auf mehrere Starkniederschlagskategorien für die Region Südostoberbayern (bereitgestellt vom DWD – Deutscher Wetterdienst) zurückgegriffen (siehe Abb. 16g). Dies umfasst Starkniederschlagshöhen im 8,5x8,5km Raster für 15-, 60- und 180-minütige Niederschläge bei 1- bzw. 100-jährigem Wiederkehrintervall, die wiederum mittels extremwertstatistischer Methoden von den Niederschlagsregistrierungen zwischen 1951 und 1980 aus ca. 200 Stationen (deutschlandweit) abgeleitet wurden (MALITZ 2011). Die bereitgestellten Bilddateien werden ausschließlich zur kartographischen Visualisierung und vergleichenden Darstellung genutzt.

Daneben werden für den Raum Südostoberbayern räumlich undifferenzierte Gebietsmittelwerte auf Grundlage von Stationsaufzeichnungen (bereitgestellt vom DWD – Deutscher Wetterdienst) für jeden Tag von 1998 bis 2009 ermittelt (siehe Abb. 16g). Dabei stehen für die meteorologischen Kennzahlen *Äquivalenttemperatur*, *Sättigungsdampfdruck*, *Dampfdruck*, *relative Luftfeuchtigkeit* und *spezifische Luftfeuchtigkeit* jeweils 15 Stationen und für die *Tagesmitteltemperatur* 25 Stationen zur Verfügung. Der Bezug der Originaldaten auf die koordinierte Weltzeit (UTC) wird in der Auswertung beibehalten (14 Uhr UTC = 15 Uhr MEZ). Die Klimazeitreihen beinhalten Messungen zu drei Zeitpunkten (7, 14 und 21 Uhr UTC). Für die Analysen in Kap. 5.2 wird davon 14 Uhr (UTC) verwendet, da die Blitzaktivität im Analysegebiet in den Nachmittagsstunden ein Maximum erreicht.

### 3.7. Topographie

#### Digitales Geländemodell

Sowohl für kartographische Darstellungen als auch für verschiedenste Auswertungen im Zusammenhang mit der Blitzaktivität sind digitale Geländeinformationen grundlegend. Im Projekt Reblaus stehen dafür zwei Datensätze unterschiedlicher Granulierung und räumlicher Verfügbarkeit (siehe hierzu Abb. 16f) bereit: **SRTM-Daten** (Shuttle Radar Topography Mission) sind Ergebnis einer Space Shuttle Mission im Februar 2000. Diese Höheninformationen werden vom USGS (United States Geological Survey) beinahe weltweit (mit Ausnahme der höheren Breiten) mit einer Bodenauflösung von 90m zur Verfügung gestellt. Für den Einsatz in der grenzübergreifenden GIS-Datenbasis wird eine Aggregation auf den 1km Raster erforderlich, die überwiegend über Mittelwertbildung erfolgt. Darüber hinaus werden Hangneigung, Hangorientierung, Geländekurvatur und Reliefschummerung abgeleitet. Das **Digitale Geländemodell** (DGM) von **SAGIS / Land Salzburg** steht für das Land Salzburg mit der Aktualität 2002 und einer Auflösung von 10m zur Verfügung. Neben kartographischen Detaildarstellungen (bspw. Reliefschummerung) wird diese Höheninformation v.a. in Kap. 6.3 (Bestimmung des Standortfaktors  $C_d$ ) genutzt.

#### Landnutzung / Landbedeckung

Eine europaweit einheitliche Klassifikation und Erhebung von Daten zur Landbedeckung bzw. Landnutzung steht aus dem Projekt *CORINE Land Cover* (CORINE: Coordinated Information on the European Environment) der Europäischen Umweltagentur (EEA - European Environment Agency) zur Verfügung (räumliche Verfügbarkeit siehe Abb. 16f). Dadurch wird eine grenzübergreifend vergleichbare Auswertung des Blitzaufkommens hinsichtlich unterschiedlicher Landnutzungsklassen wesentlich vereinfacht.

CORINE Land Cover weist Informationen als 100m Raster auf drei hierarchischen thematischen Genauigkeitsstufen aus (Level 1, Level 2, Level 3), die auf Grundlage von Fernerkundungsdaten erhoben werden. Für Reblaus wird der frei verfügbare Datensatz des Erhebungszeitraumes 2000 herangezogen. Zur Aggregation auf das grenzübergreifende Reblaus-Analyseraster 1x1km wird ein Majority-Filter herangezogen. Es wird also die überwiegende Landnutzungsklasse des 100m Rasters auf den 1x1km Raster übertragen. In Kap 5.1 werden diese Daten mit dem Blitzaufkommen in Bezug gesetzt.



## 4. Analyse der Blitzeinschläge 1998-2009

Das vorliegende Kapitel behandelt etablierte und neue Methoden zur Schätzung der räumlichen Blitzdichte (lokale, fokale und probabilistische Blitzdichte: Kap. 4.1), die Möglichkeiten der kartographischen Visualisierung (Kap. 4.2) bzw. Regionalisierung der Blitzdichte (Kap. 4.3) sowie die raumzeitliche Struktur und Variation des Blitzdatenbestandes der Jahre 1998 bis 2009 (Kap. 4.4). Wie im gesamten Projekt werden auch hier stets Wolke-Erde Blitze und keine Wolke-Wolke Blitze behandelt.

### 4.1. Schätzung der Blitzdichte

Das Ortungsverfahren von Blitzeinschlägen erlaubt in der Regel eine Genauigkeit der Positionsbestimmung im Bereich von 300 bis 1.000m (vgl. hierzu die Ausführungen in Kap. 2.3). Der über Koordinaten definierte Ortungspunkt ist also nicht eindeutig, sondern einer gewissen Unsicherheit unterworfen und stellt im eigentlichen Sinne den Punkt der höchsten Wahrscheinlichkeit des Blitzereignisses dar.

Mit jedem Blitzereignis wird auch die räumliche Genauigkeit der Blitzortung gespeichert. Diese entspricht einer 2-dimensionalen Normalverteilung und wird über eine Fehlerellipse repräsentiert, innerhalb derer das Blitzereignis mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% liegt. Die Parameter der Fehlerellipse sind *Länge der großen Halbachse*, *Länge der kleinen Halbachse* sowie *Inklination* (Winkel zwischen der großen Halbachse und Nord) (vgl. UMPRECHT 2009; CUMMINS, KRIDER & MALONE 1998; Abb. 19).

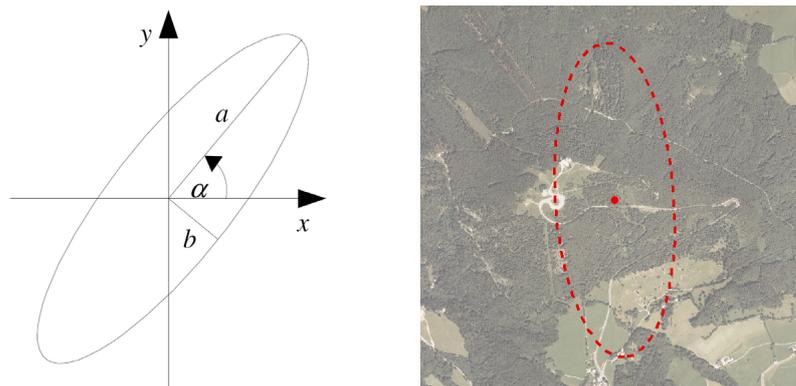


Abb. 19 Fehlerellipse einer Blitzortung

[links: große und kleine Halbachse sowie Inklination aus KOSMAC, LAKOTA JERICKE & DJURICA 2009; rechts: Beispiel eines Ereignisses des 14. Oktober 2009 am Gaisberg in Salzburg]

Das gängige Maß zur Beschreibung des Blitzaufkommens ist die *durchschnittliche jährliche Anzahl der Blitzeinschläge pro km<sup>2</sup>* (**Blitzdichte** oder **Mean Ground Flash Density**). Zur Bestimmung dieser Größe kennt die Praxis zwei etablierte Methoden:

- Lokale Blitzdichte (**local flash density**: LFD)
- Fokale Blitzdichte (**focal flash density**: FFD)

Diese wird um eine im vorliegenden Projekt neu entwickelte Verfahrensweise ergänzt:

- Probabilistische Blitzdichte (**probabilistic flash density**: PFD)

Bei der **lokalen Blitzdichte** (LFD) wird für ein überlagerndes Raster (1x1km) die Zahl der Blitzeinschlagspunkte<sup>1</sup> in jeder Rasterzelle gezählt. Diese einfache Art der Aggregation (lokale Blitzdichte) wird in Überblickskarten und großräumigen Analysen verwendet (siehe Abb. 20 links). Demgegenüber hat sich die **fokale Blitzdichte** für die Risikoanalyse von Gebäuden (bspw. nach OVE/ÖNORM

<sup>1</sup> Punkte der höchsten Wahrscheinlichkeit; im Normalfall und im vorliegenden Projekt ausschließlich werden Gesamtblitze (Flashes) aggregiert, für spezielle Auswertungen können auch die Stroke-Punkte zur Bestimmung einer durchschnittlichen jährlichen Stroke-Dichte herangezogen werden (siehe Kap. 2.3 zur Unterscheidung von Stroke und Flash).

EN62305-2: KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008) über eine Mittelwertbildung der lokalen Blitzdichte in einer 3x3km Umgebung als gleitendes Mittel etabliert (siehe Abb. 20 rechts). Die durch diese Glättung größere Zahl an in die Dichteschätzung einfließenden Ereignissen berücksichtigt die Ortungsgenauigkeit und erhöht damit auch die Genauigkeit<sup>1</sup> der Blitzdichte.

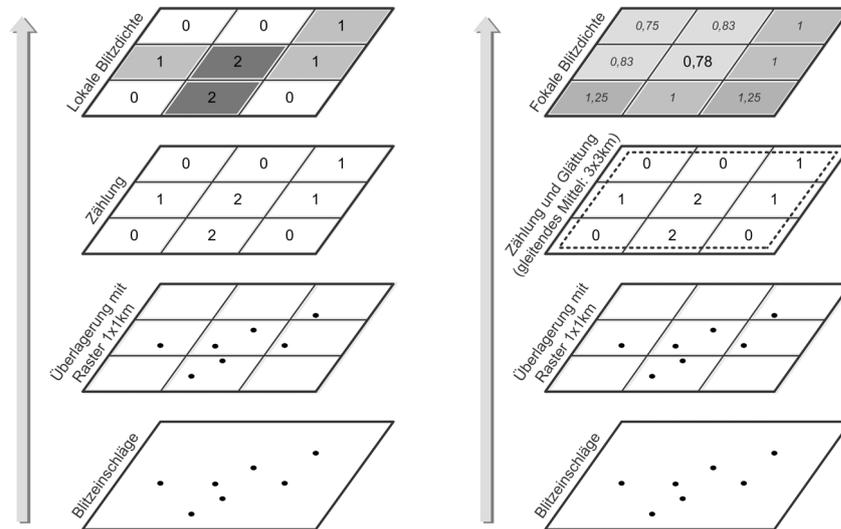


Abb. 20 links: Schätzung der lokalen Blitzdichte (LFD); rechts: Schätzung der fokalen Blitzdichte (FFD)

[zur FFD rechts: Für die mittlere Rasterzelle ergibt sich eine fokale Blitzdichte von 0,78 aus dem Mittelwert der mittleren sowie ihrer acht umgebenden Rasterzellen]

Für das vorliegende Projekt Reblaus wird mit der **probabilistischen Blitzdichte** (PFD) ergänzend zu diesen beiden etablierten Methoden eine Verfahrensweise in Anlehnung an CAMPOS & PINTO (2007), KOSMAC, LAKOTA JERICEK & DJURICA (2009) sowie BOURSCHEIDT, PINTO & NACCARATO (2010) entwickelt, die eine verbesserte Abbildung der Ortungsgenauigkeit erlaubt und ein realitätsnäheres Ergebnis der Blitzdichteschätzung verspricht. Als Grundlage dienen die Parameter der Fehlerellipse (große Halbachse, kleine Halbachse, Inklination), innerhalb derer das Blitzereignis mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% liegt (vgl. CUMMINS, KRIDER & MALONE 1998). Für jeden einzelnen Blitzortungspunkt wird – umgesetzt in ArcGIS ModelBuilder – ausgehend von der gespeicherten 50%-Fehlerellipse eine 2-dimensionale gaußsche Normalverteilung (abstrahiert über zehn Fehlerellipsen von 10 bis 99% Wahrscheinlichkeit) modelliert (siehe Abb. 21).

<sup>1</sup> Die Genauigkeit steigt mit der Anzahl der Ereignisse in einer Rasterzelle. Bei 80 Ereignissen wird eine Genauigkeit von  $\pm 20\%$  erreicht. Regionen mit geringem Gewitteraufkommen erfordern daher längere Erfassungszeiträume bzw. größere Rasterzellen (vgl. DIENDORFER 2008).

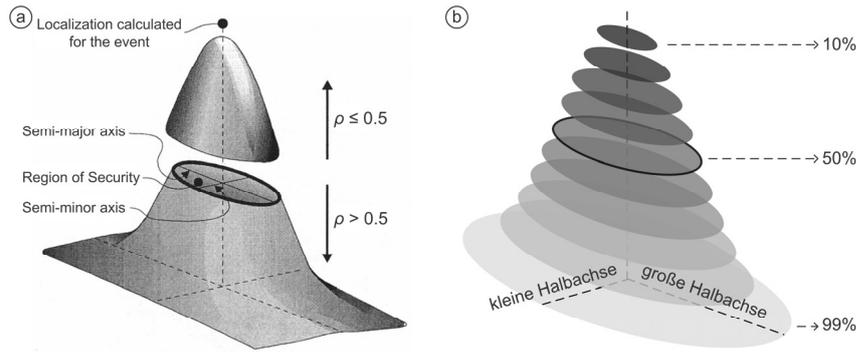


Abb. 21 2-dimensionale gaußsche Normalverteilung einer 50% Fehlerellipse (a); Abstraktion über zehn Fehlerellipsen 10%-99% (b)

[a: verändert nach CAMPOS & PINTO 2007]

Mit folgender Gleichung lässt sich nach CAMPOS & PINTO (2007) für eine beliebige Wahrscheinlichkeit  $\rho$  (0 bis <1) der entsprechende Skalierfaktor für die Halbachsen berechnen. Aus Tab. 7 sind die Skalierfaktoren für zehn Wahrscheinlichkeiten ersichtlich.

$$\text{Skalierfaktor}_\rho = \sqrt{-2 \ln(1 - \rho)}$$

Tab. 7 Skalierfaktoren der Halbachsen der Fehlerellipse für ausgewählte Wahrscheinlichkeiten

[vgl. CAMPOS & PINTO 2007 sowie KOSMAC, LAKOTA JERICEK & DJURICA 2009]

Wahrscheinlichkeit ( $\rho$ )	Skalierfaktor
10% (0,10)	0,4590
20% (0,20)	0,6680
30% (0,30)	0,8446
40% (0,40)	1,0108
50% (0,50)	1,1774
60% (0,60)	1,3537
70% (0,70)	1,5518
80% (0,80)	1,7941
90% (0,90)	2,1460
99% (0,99)	3,0349

Die konkrete Umrechnung der Länge einer gegebenen Halbachse für die gewünschte Wahrscheinlichkeit  $\rho$  erfolgt nach folgender Gleichung (vgl. GOTTHARDT 1968, CAROSIO 2008 bzw. BOURSCHIEDT, PINTO & NACCARATO 2010). Dabei entspricht der Wert 1,1774 dem Skalierfaktor der gegebenen 50%-Wahrscheinlichkeit in Tab. 7.

$$\text{Halbachse}_\rho = \frac{\text{Halbachse}_{\rho=0,5}}{1,1774} \times \text{Skalierfaktor}_\rho$$

Nach Überlagerung durch das 1x1km Raster werden die Flächenanteile der zehn modellierten Fehlerellipsen je Blitzortungspunkt für jede Rasterzelle gewichtet aufsummiert. Dies ergibt eine Blitzdichteoberfläche (probabilistische Blitzdichte), die die Ortungsgenauigkeit jedes Blitzereignisses individuell berücksichtigt (siehe hierzu Abb. 22). Dieses verhältnismäßig rechenintensive Verfahren zur Schätzung der probabilistischen Blitzdichte wird im vorliegenden Projekt auf den verfügbaren Datenbestand zu Blitzeinschlägen (siehe Kap. 3.2) angewendet und getestet, allerdings nur vereinzelt für räumliche Auswertungen herangezogen.

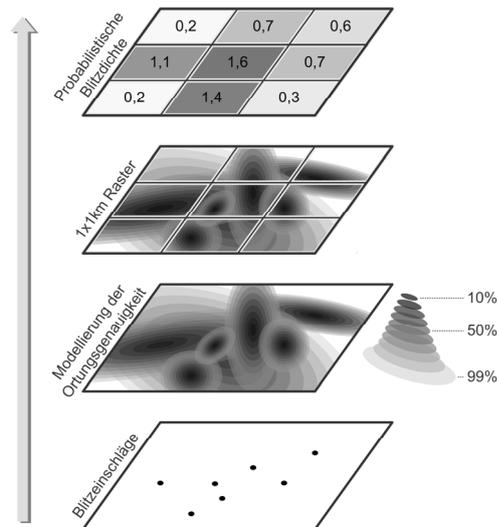


Abb. 22 Schätzung der probabilistischen Blitzdichte (PFD)

In Projekt Reblaus wird im Regelfall die fokale Blitzdichte für die Analyse verwendet, da diese eine belastbare und erprobte Kenngröße ist. Mitunter (bspw. in Kap. 5.3.1) wird jedoch auch auf die probabilistische Blitzdichte zurückgegriffen.<sup>1</sup>

## 4.2. Visualisierung der Blitzdichte

Die räumliche Visualisierung des Blitzaufkommens erfolgt im Regelfall als Blitzdichte. International ist auch der Begriff *Ground Flash Density*  $N_g$  gebräuchlich. Dabei wird unter Ausschluss der Wolke-Wolke Blitze die *durchschnittliche jährliche Anzahl der Blitzeinschläge pro km<sup>2</sup>* auf Basis eines 1x1km Rasters bspw. in einem Blau-Rot Farbverlauf als Choroplethenkarte dargestellt.

Die kartographischen Visualisierungen im Anhang (Karte 01, Karte 02 und Karte 03, auszugsweise vereinfacht dargestellt in Abb. 23) zeigen jeweils die Blitzdichte 1998-2009 der drei in Kap. 4.1 erläuterten Aggregationsmethoden (lokale, fokale und probabilistische Blitzdichte) mit ihren unterschiedlichen Glättungsgraden (siehe Tab. 8) zusammen mit einer Reliefschummerung. Ersichtlich wird dabei eine in Teilräumen sehr starke orographische Prägung der Blitzdichte, d.h. es spiegeln sich Berg-Tal-Strukturen und signifikante Höhenrücken wider (v.a. im südlichen Bereich des Landes Salzburg). Andererseits ist ein gewisses Gefälle der Blitzdichte von Südost nach Nordwest auffällig. So sind die höchsten großräumigen Dichtewerte an der Grenze zur Steiermark bzw. Kärnten im Süden des Reblaus-Projektgebietes festzustellen. Die absoluten Spitzenwerte in der Blitzdichte hingegen finden sich an markanten Erhebungen wie Gaisberg und Kitzbüheler Horn<sup>2</sup> mit mehr als 10 Blitzen je km<sup>2</sup> und Jahr<sup>3</sup>.

Die Prüfung bzw. quantitative Bewertung dieser und weiterer visuell erkennbarer Strukturen in der Blitzdichte erfolgt in Kap. 5 *Analyse raumzeitlicher Zusammenhänge*.

<sup>1</sup> Der Beitrag *GIS-basierte Methode zur genaueren Schätzung der Blitzdichte* (SPITZER, SCHULZ, PRINZ & KEUL 2011) beschreibt diese im Projekt Reblaus entwickelte Methode.

<sup>2</sup> Gaisberg und Kitzbüheler Horn nehmen mit ihren Sendeanlagen eine Sonderstellung ein, da dort viele Aufwärtsblitze ausgelöst werden (DIENDORFER, MAIR & PICHLER 2005).

<sup>3</sup> Die Spitzenwerte variieren je nach Dichteberechnung und Rasterorientierung stark (vgl. hierzu Tab. 8).

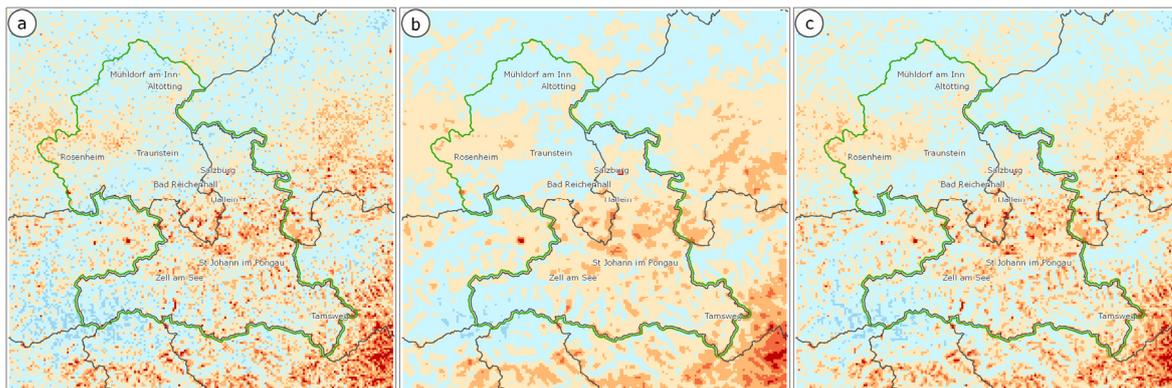


Abb. 23 Blitzdichtevarianten im Vergleich (vereinfachte Auszüge aus Karte 01, Karte 02 und Karte 03)  
[Zeitraum 1998-2009: lokale Blitzdichte (a); fokale Blitzdichte (b); probabilistische Blitzdichte (c)]

Tab. 8 Kennzahlen zur Blitzdichte 1998-2009 nach verschiedenen Schätzmethoden

	Minimum	Maximum	Mittelwert ( $\mu$ )	Standardabweichung ( $\sigma$ )
Lokale Blitzdichte (LFD): Abb. 23a	0,25	26,00	2,24	0,86
Fokale Blitzdichte (FFD): Abb. 23b	0,73	6,37	2,24	0,63
Probabilistische Blitzdichte (PFD): Abb. 23c	0,57	22,53	2,24	0,77

### 4.3. kartographische Regionalisierung der Blitzdichte

Die Kartographie steht gerade bei naturräumlichen und damit oft flächenfüllenden Themenschichten (bspw. Landbedeckung, Lufttemperatur, Geologie, Geländehöhe etc.) immer wieder vor der Schwierigkeit, zwei thematische Oberflächen gemeinsam überlagert darzustellen. Dafür haben sich Schraffur-Signaturen - in gerade früher oft komplexem Ausmaß (siehe bspw. ARNBERGER 1977 oder IMHOF 1972) - etabliert, die als Menge mehrerer paralleler und gerader Linien in der Gesamtbetrachtung einen impliziten flächenhaften Eindruck vermitteln.

V.a. im Kapitel *Analyse raumzeitlicher Zusammenhänge* (Kap. 5) des vorliegenden Berichts ist eine kartographische Überlagerung der flächenhaften Blitzdichte mit verschiedenen ebenso flächenhaften Datenschichten zur visuellen Interpretation zusätzlich zur quantitativen Analyse, die von obiger Herausforderung naturgemäß nicht betroffen ist, erforderlich. Für diesen Darstellungszweck wird im vorliegenden Abschnitt eine *kartographische Regionalisierung der Blitzdichte* umgesetzt.

Ziel dieses ausdrücklich kartographischen Produktes ist eine stark generalisierte Darstellung der großräumigen Blitzdichtestruktur im Analysegebiet, weshalb als Basis die fokale Blitzdichte auf Basis des 2,5x2,5km Rasters verwendet wird.

Die Vorgehensweise zur kartographischen Regionalisierung der Blitzdichte ist in Abb. 24 illustriert: Aus der Werteverteilung der fokalen Blitzdichte werden die mittlere Blitzdichte ( $\mu$ ) und die Standardabweichung der Blitzdichte ( $\sigma$ ) abgeleitet (Abb. 24a). Darauf aufbauend werden diejenigen Rasterzellen ausgewählt, deren Blitzdichtewert außerhalb (kleiner oder größer) einer halben Standardabweichung liegen (*Mittelwert  $\pm \frac{1}{2}$  Standardabweichung*) (vgl. Abb. 24b):

- überdurchschnittliche Blitzdichte:  $FFD > \mu + 0,5\sigma$  (Schwellwert = 2,510)
- unterdurchschnittliche Blitzdichte:  $FFD < \mu - 0,5\sigma$  (Schwellwert = 1,973)

Diese Auswahl wird nach Anwendung verschiedener aus kartographischer Sicht notwendiger Generalisierungsverfahren (Größenauswahl, Grenzlinienglättung, Lückenschließung, siehe Abb. 24c) mit einer randlosen Schraffur versehen (Abb. 24d) und ergibt letztlich eine Darstellungsform der 12-jährigen Blitzdichte, die sich zur Überlagerung anderer flächendeckender Themenschichten in kartographischen Visualisierungen eignet und bspw. in Kap. 4.4 oder Kap. 5 verwendet wird:

- **Regionen hoher (12-jähriger) Blitzdichte**
- **Regionen geringer (12-jähriger) Blitzdichte**

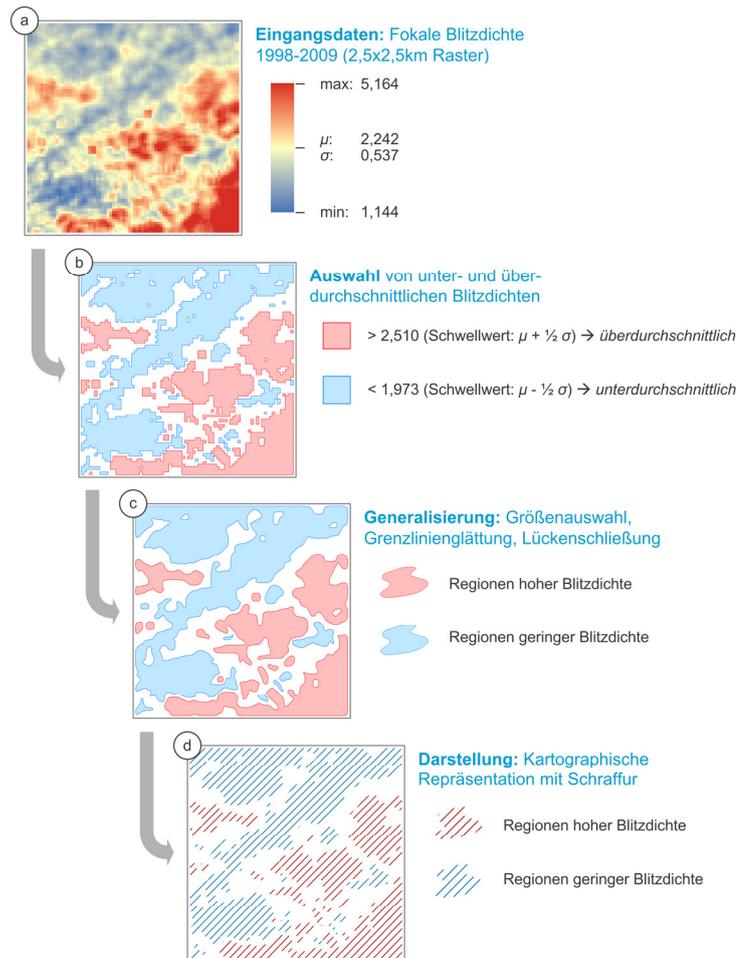


Abb. 24 Vorgehensweise der kartographischen Regionalisierung der Blitzdichte

Abb. 25 zeigt diese Regionalisierung der Blitzdichte nach der Verfahrensweise aus Abb. 24 für das Reblaus-Analysegebiet. Deutlich treten das Alpenvorland im Norden sowie die Hohen Tauern und das Inntal in Tirol als Regionen geringer Blitzdichte hervor. Zu den Regionen hoher Blitzdichte zählen weite Bereiche der nördlichen Kalkalpen (bspw. Tennengebirge, Berchtesgadener Alpen, Hagengebirge, Totes Gebirge, Sensengebirge) sowie ausgedehnte Räume südlich der hohen Tauern (Villgratner Berge in Osttirol, Gurktaler Alpen, Nockberge) aber auch die Gegend westlich des Chiemsees.

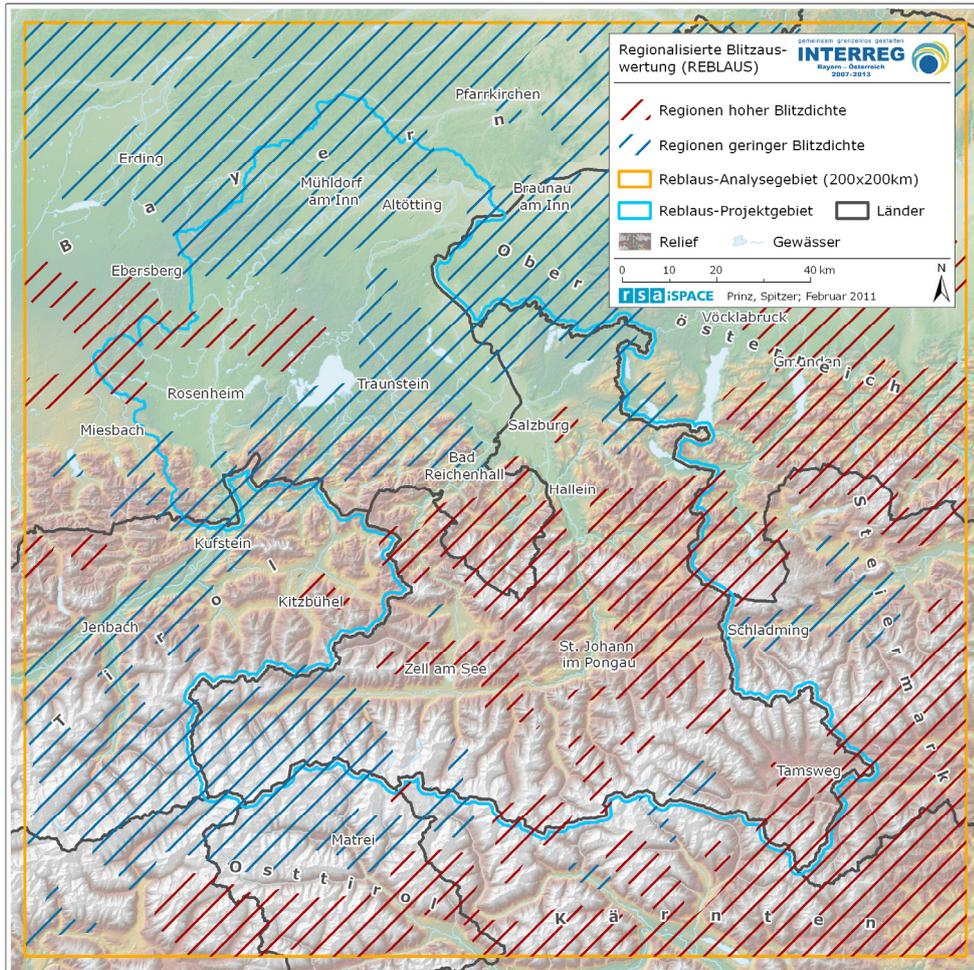


Abb. 25 Regionalisierung der fokalen Blitzdichte 1998-2009 zu *Regionen geringer Blitzdichte* bzw. *Regionen hoher Blitzdichte* im Reblaus-Analysegebiet

Diese Regionalisierung in Abb. 25 zeigt einen mehrjährigen Überblick, verbirgt aber gleichzeitig diejenigen Räume, die in jedem einzelnen Jahr von einer überdurchschnittlichen Blitzdichte betroffen sind. Zur Ausweisung dieser „Blitznester“ wird auf Basis der fokalen Blitzdichte (Raster 1x1km) der einzelnen Jahre 1998-2009 der jeweilige jährliche Mittelwert der Blitzdichte berechnet. Darauf aufbauend werden diejenigen Rasterzellen ausgewählt, die in jedem einzelnen Jahr über bzw. unter dem Jahresschnitt liegen. Die Anwendung kartographischer Generalisierungsverfahren (vgl. Abb. 24) ergibt schließlich:

- **Regionen mit überdurchschnittlicher jährlicher Blitzdichte**
- **Regionen mit unterdurchschnittlicher jährlicher Blitzdichte**

Abb. 26 zeigt diese alljährlich auftretenden „Blitznester“ im Reblaus-Analysegebiet in roter Schraffur. Dabei treten v.a. markante Gebirge hervor, bspw.: Gaisberg in Salzburg, Kitzbüheler Horn<sup>1</sup>, Untersberg, Watzmann und Hoher Göll in den Berchtesgadener Alpen, Tennengebirge, Traunstein im Bezirk Gmunden, Dachsteinmassiv, Großer Priel im Toten Gebirge, Gurktaler Alpen in Kärnten. Blau schraffiert sind diejenigen Gebiete dargestellt, die in jedem Jahr des Zeitraums 1998-2009 eine unterdurchschnittliche Blitzdichte aufweisen. Neben vereinzelt kleinräumigen „blitzarmen“ Gegenden stehen hier v.a. die Hohen Tauern großräumig, das Inntal in Tirol sowie Bereiche südlich des Chiemsees hervor.

<sup>1</sup> Zur Sonderstellung von Gaisberg und Kitzbüheler Horn (Sendeanlagen lösen auch Aufwärtsblitze aus) siehe auch Kap. 2.3, Kap. 4.2 sowie DIENDORFER, MAIR & PICHLER (2005).

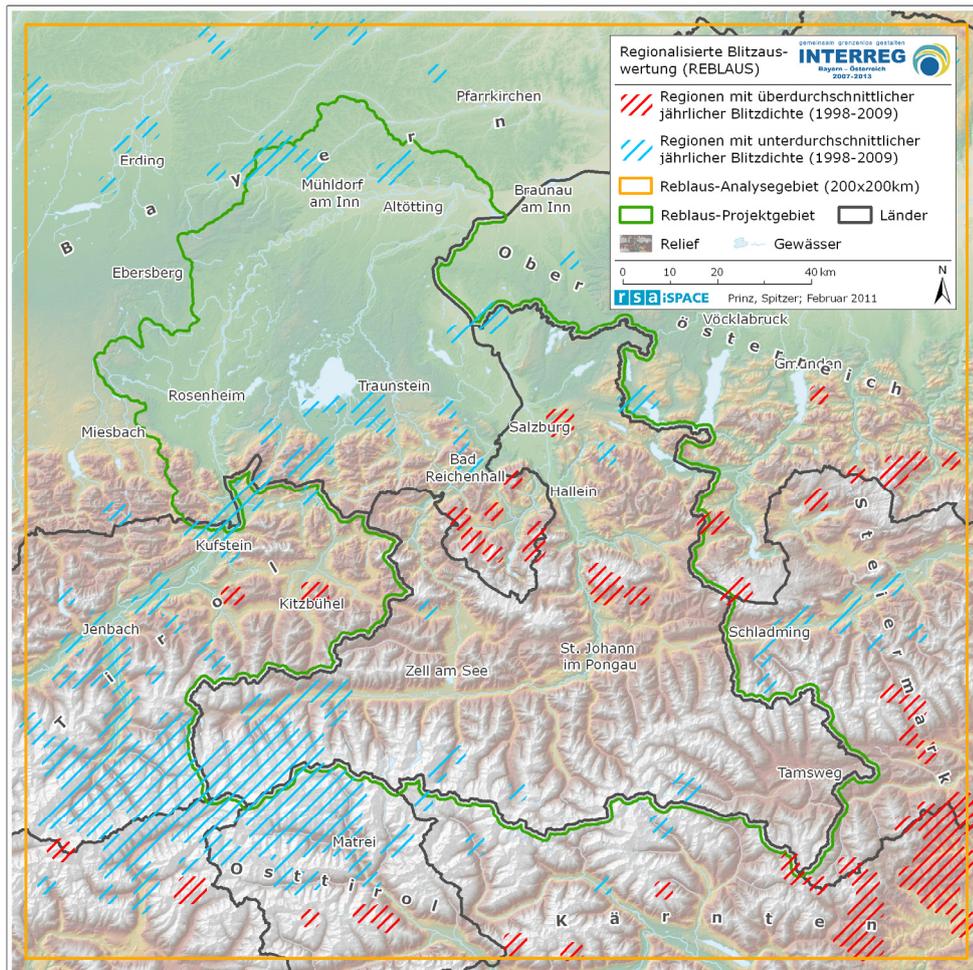


Abb. 26 Regionen mit über- oder unterdurchschnittlicher jährlicher Blitzdichte (Zeitraum 1998-2009)

#### 4.4. Raumzeitliche Variation der Blitzdichte

Die Analyse der raumzeitlichen Variabilität des Blitzaufkommens bezweckt einen Überblick zur Datenstruktur sowie ein besseres Verständnis der Blitzschlagcharakteristik und Verteilung im Untersuchungsraum. Gemeinhin sei zu den Verteilungsmustern von Blitzen erwähnt, dass die Blitzentstehung zwangsläufig an das Auftreten von Gewittern gebunden ist (FINKE & HAUF 1996), wodurch ein ähnlicher raumzeitlicher Verlauf vorliegt, der nach POTTER & GORMAN (1996) häufig einer Zufallsverteilung entspricht.

Allerdings lassen sich im Untersuchungsraum dennoch Räume identifizieren, die über- oder unterdurchschnittliches Blitzaufkommen im Zeitraum 1998-2009 aufweisen (Regionen hoher bzw. geringer Blitzdichte: siehe Abb. 25 oder Abb. 26 in Kap. 4.3). Im Folgenden wird untersucht, worauf diese Regionen zurückzuführen sind: *Stehen die Regionen hoher Blitzdichte mit dem Auftreten weniger Extremereignisse im Zusammenhang oder entspricht der zeitliche Verlauf der Blitzaktivität einem periodisch wiederkehrenden Jahresgang?*

Um diesbezügliche Aussagen zu ermöglichen, wird in einem ersten Schritt die Varianz zwischen den zwölf fokalen Blitzdichten der Einzeljahre im Zeitraum 1998-2009 ermittelt, wobei sich Varianzwerte im Analysegebiet zwischen 0,06 und 12,6 ergeben (siehe Abb. 27). Geringe Varianzen bedeuten, dass in jedem Jahr in etwa gleich viele Blitzeinschläge aufgezeichnet wurden. Dagegen weisen hohe Varianzen auf große Unterschiede in den einzelnen Jahren hin.

Die höchsten Varianzwerte zwischen den einzelnen Jahren sind im Bezirk Hallein und im Gebiet des Tennen- und Hagengebirges zu finden. Zudem weisen auch der Bezirk Tamsweg im Grenzgebiet zur Steiermark, der Bezirk Gmunden (Oberösterreich) sowie Bereiche nordöstlich von Rosenheim ausgeprägte Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren auf. Relativ geringe Varianz zeigt sich generell im Alpenvorland, in den Landkreisen Traunstein und Mühldorf sowie im Bereich der Hohen Tauern im



Südwesten des Analysegebietes. Die als zweite Datenschicht in Abb. 27 visualisierten Regionen hoher bzw. geringer 12-jähriger Blitzdichte lassen dabei erkennen, dass eine hohe Varianz zwischen den einzelnen Jahren häufig in Regionen hoher Blitzdichte liegt und umgekehrt geringe Blitzdichte zumeist mit niedriger Varianz einhergeht.

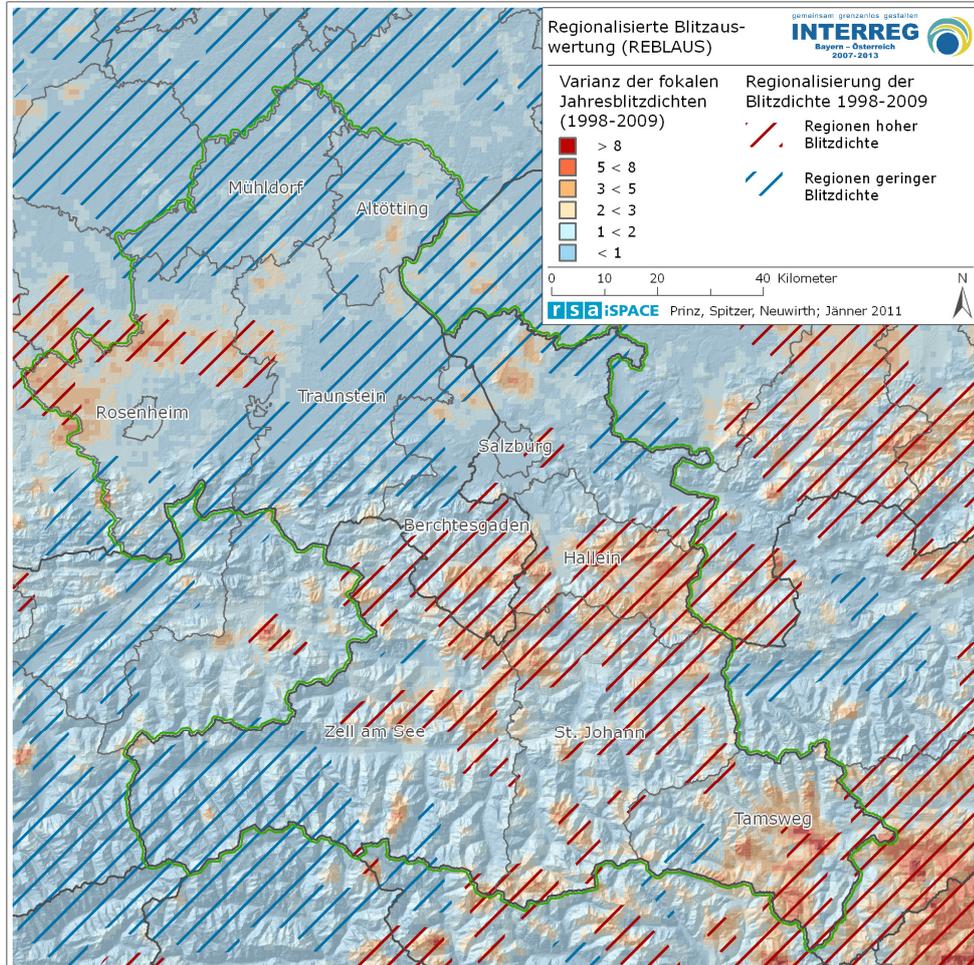


Abb. 27 Varianz der fokalen Jahresblitzdichten (1998-2009) im 1x1km Raster überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte  
[zur Regionalisierung siehe Kap. 4.3]

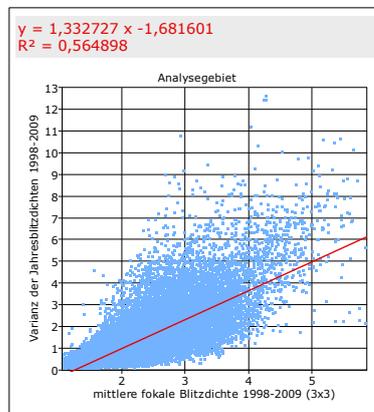


Abb. 28 Regression von Varianz der Jahresblitzdichten 1998-2009 auf die fokale Blitzdichte 1998-2009



Abb. 28 zeigt hierzu den Zusammenhang als Regression der Varianz der Jahresblitzdichten (1998-2009) auf die fokale Blitzdichte 1998-2009. Es zeigt sich ein deutlich positiver Zusammenhang: Mit zunehmender Blitzdichte steigt auch die jährliche Blitzdichtenvarianz.

Aufschlüsse über die Zusammensetzung der 12-jährigen Blitzdichteverteilung liefert darüber hinaus die Darstellung der Einzeljahresblitzdichten (siehe hierzu Abb. 29 bzw. Karte 04 im Anhang). Besonders hervorzuheben sind die Jahre 2006 und 2007 mit 141.711 bzw. 118.783 erfassten Wolke-Erde Blitzeinschlägen im Analysegebiet (200x200km)<sup>1</sup>. Vergleichsweise geringe Aktivität ist hingegen für die Jahre 1999 und 2001 dokumentiert, für die 41.165 bzw. 58.358 Einschläge detektiert wurden (Abb. 29).

Die Überlagerung der Einzeljahresblitzdichten mit den Regionen hoher bzw. geringer Blitzdichte (Karte 04 im Anhang) zeigt überdies, dass diese Regionen teils auf die Blitzschlagverteilung einzelner Jahre zurückzuführen sind, wodurch sich die in Abb. 28 gezeigte starke Varianz bei ausgeprägter Blitzaktivität erklärt. Die Regionen hoher Blitzdichte nördlich bzw. nordöstlich der Stadt Rosenheim weisen bspw. in den Jahren 1998 bis 2001 vergleichsweise geringe Blitzaktivitäten auf und sind daher in erster Linie auf das gehäufte Auftreten von Blitzeinschlägen in den Jahren 2006 bis 2009 bzw. in geringerem Maße auf die Jahre 2002 und 2004 zurückzuführen.

Dagegen lassen Regionen geringer Blitzdichte eine eher geringe Varianz zwischen den Einzeljahren erkennen. Gut nachzuvollziehen ist dies v.a. für die Hohen Tauern im Südwesten von Abb. 27. Obwohl im gesamten Analysegebiet das Blitzaufkommen der einzelnen Jahre stark variiert (Abb. 29) weist dieser Raum eine gewisse Kontinuität im jährlichen Blitzaufkommen auf. Ähnliches ist auch in anderen Regionen geringer Blitzaktivität zu beobachten. Dies bedeutet allerdings nicht zwingend, dass hier keine blitzreichen Perioden auftreten können, wie Karte 04 im Anhang zeigt.

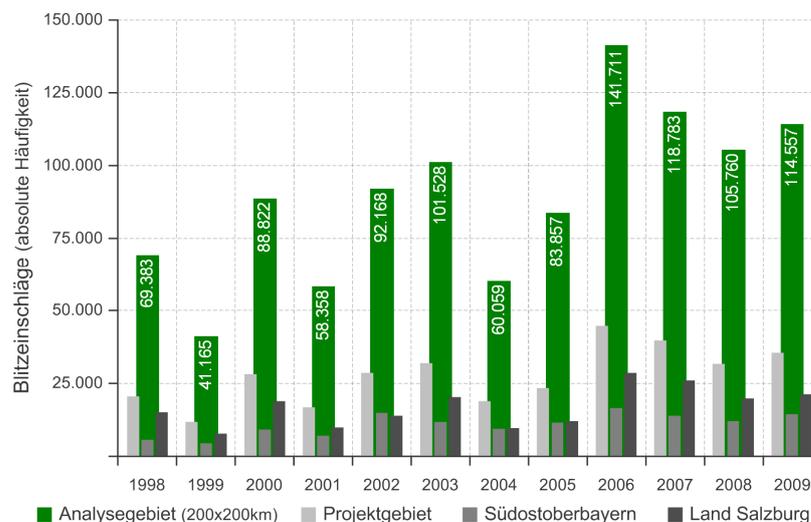


Abb. 29 Entwicklung der Blitzaktivität 1998-2009

Abb. 30 zeigt hierzu den durchschnittlichen Jahresgang der Blitzaktivität. Er ist geprägt von zyklischen Schwankungen mit verstärktem Blitzaufkommen in den Sommermonaten (Juni bis August) sowie im Mai. Allerdings ist die Spannweite der einzelnen Monatswerte beträchtlich. Die Sommersaison ist auch jene Zeit, in der Extremereignisse überwiegend stattfinden, wie Karte 05 im Anhang mit den neun blitzreichsten Tagen der Zeitreihe 1998-2009 zeigt. Fast alle Extremereignisse liegen dabei in der Blitzsaison Juni-August.

<sup>1</sup> Die beträchtlichen Unterschiede im Jahresblitzaufkommen sind zum Teil auch auf kontinuierliche Verbesserungen in der Blitzortung zurückzuführen.

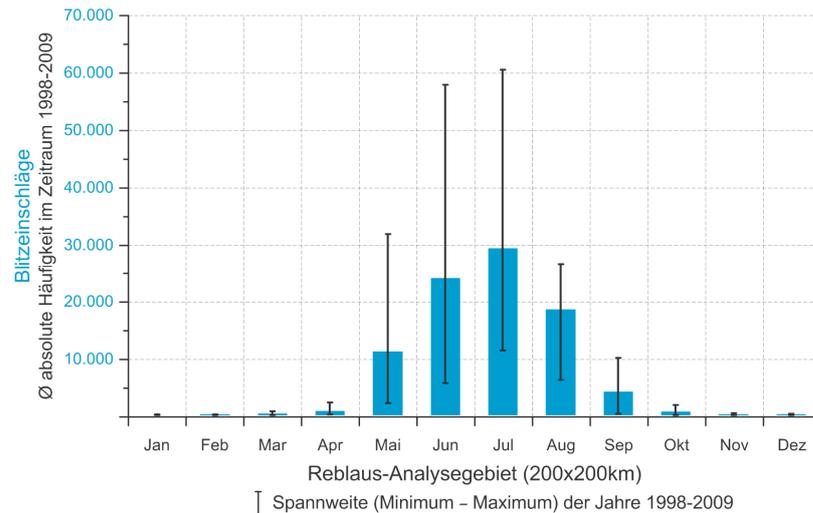


Abb. 30 Jahresgang der Blitzdichte 1998-2009

[Durchschnittliche monatliche Blitzaktivität sowie Spannweite im Reblaus-Analysegebiet 1998-2009]

Vergleicht man die blitzreichsten Tage in Karte 05 mit den fokalen Blitzdichten der Einzeljahre in Karte 04, wird deutlich, dass extreme Tagesereignisse die jährlichen Blitzdichtemuster prägen können. Ein Beispiel dafür ist der 20. Juni 2007 mit 13.134 Blitzeinschlägen. Hierbei stellt das Zentrum dieser Tagesblitzaktivität im Bezirk Tamsweg auch für die Blitzdichte des gesamten Jahres 2007 ein markantes Gebiet mit hoher Blitzaktivität dar. Am 26. Mai 2009 wurden 12.418 Blitzeinschläge im Analysegebiet – überwiegend im Alpenvorland – aufgezeichnet. U.a. ist dabei der Landkreis Mühldorf am Inn von verstärkter Blitzaktivität betroffen. Die sich daraus ergebenden Muster der fokalen Tagesblitzdichte sind auch bei der Jahresblitzdichte 2009 in Karte 04 eindeutig zu erkennen und damit entscheidend für das Jahresblitzaufkommen.

Bei weiterer Untergliederung der Tagesblitzaufkommen zwischen 1998 und 2009 in einstündige Zeitintervalle wird deutlich, dass im Analysegebiet v.a. in den Nachmittagsstunden mit vermehrter Blitzaktivität zu rechnen ist. Speziell zwischen 14 und 18 Uhr wird das Maximum an Blitzeinschlägen im Tagesverlauf erreicht. Der Einbezug der Meereshöhe (Abb. 31a) zeigt schließlich, dass dieses Maximum in der Höhenstufe 1.200 bis 1.900m auftritt.

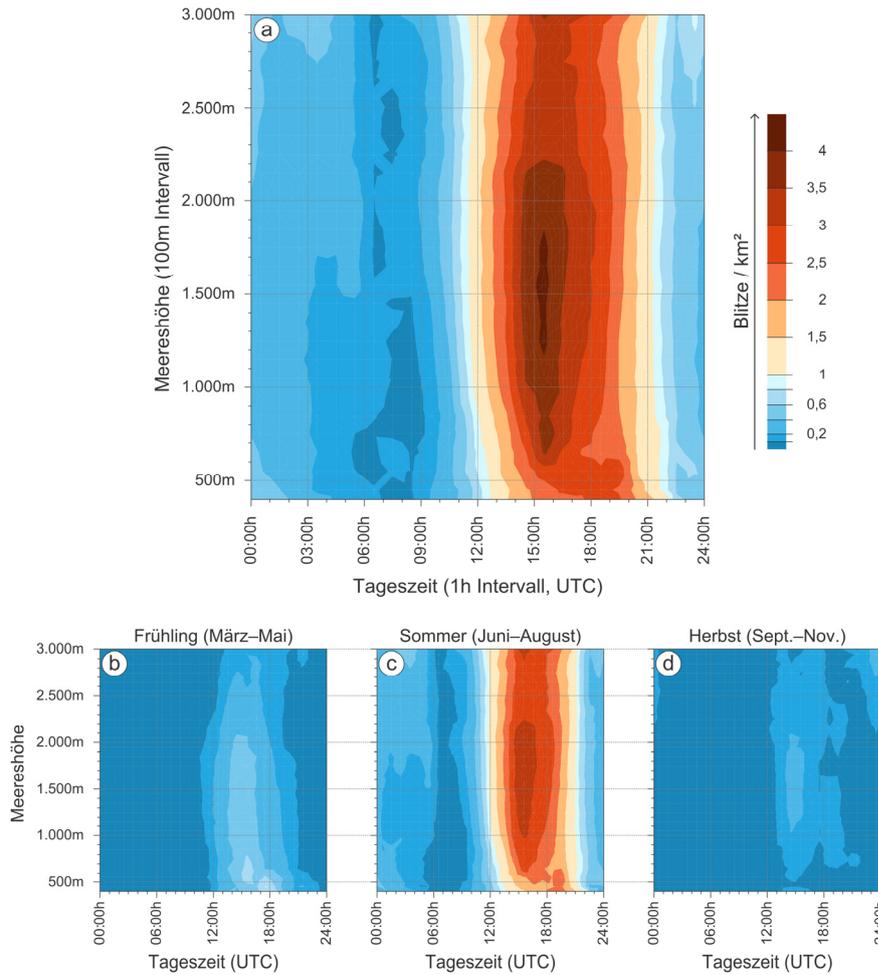


Abb. 31 Durchschnittlicher Tagesgang der Blitzaktivität 1998-2009 nach Meereshöhe und Jahreszeit

[Summe der Blitzeinschläge im Zeitraum 1998-2009 je km<sup>2</sup> nach Tageszeit (1h-Intervall) und Höhenstufe (100m-Intervall); a: ganzes Jahr, b: Frühling, c: Sommer, d: Herbst]

Im Vergleich zur Entwicklung der Blitzaktivität 1998-2009 (Abb. 29, s.o.) wird durch eine zeitliche Aggregation des Blitzaufkommens zu *Gewittertagen* die Entwicklung geglättet, da heftige Einzelereignisse mit sehr vielen Blitzeinschlägen zu einem Gesamt ereignis zusammengefasst werden:

- **Gewittertag:** Tag mit mindestens einem Blitzeinschlag im Raumbezug <sup>1</sup>

Abb. 32 zeigt hierzu die durchschnittliche Zahl der jährlichen Gewittertage im Zeitraum 1998-2009 für das Analysegebiet sowie Teilräume. Es zeigt sich im Vergleich zu Abb. 29, dass gerade die blitzreichen Jahre 2006 und 2007 auf verhältnismäßig wenige, aber umso intensivere Gewitter zurückzuführen sind. Im Reblaus-Betrachtungszeitraum tritt das Jahr 2000 als das Jahr mit den meisten Gewittertagen hervor, hinsichtlich des Blitzaufkommens ist das Jahr 2006 das stärkste (Abb. 29). Im gesamten Analysegebiet wird an durchschnittlich 203 Tagen im Jahr zumindest ein Blitzeinschlag geortet; im Projektgebiet an 145 Tagen, in Südostoberbayern an 105 Tagen und im Land Salzburg an 126 Tagen. Abb. 33 zeigt die durchschnittliche Zahl der jährlichen Gewittertage auf Basis des 2,5x2,5km Rasters, wobei das Minimum bei 3, das Maximum bei 17 Gewittertagen liegt. Dabei wird ein der Blitzdichte (siehe bspw. Abb. 32) äußerst ähnliches Muster mit der typischen topographischen Prägung erkennbar. Räume mit hoher langjähriger Blitzdichte weisen auch eine hohe langjährige Zahl an Gewittertagen auf. Das Punkstreudiagramm in Abb. 34 unterstreicht diesen Zusammenhang mit dem erkennbaren beinahe perfekt linearen Trend.

<sup>1</sup> Entgegen dem typischen Verständnis eines Gewittertages (Beobachtung eines Gewitters) wird hier in Anlehnung an WAKONIGG (2010) ein vereinfachter numerischer Zugang gewählt.

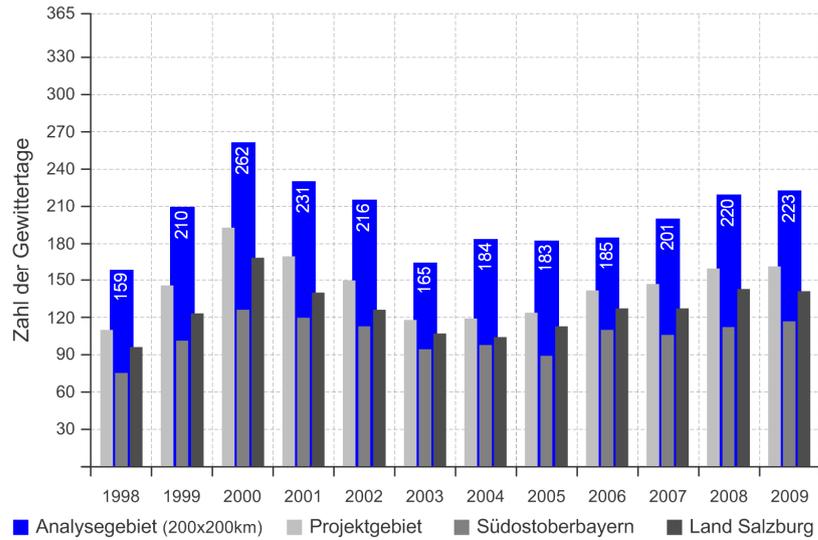


Abb. 32 Zahl der Gewittertage im Zeitraum 1998-2009

[Gewittertag: Tag mit mindestens einem Blitzeinschlag]

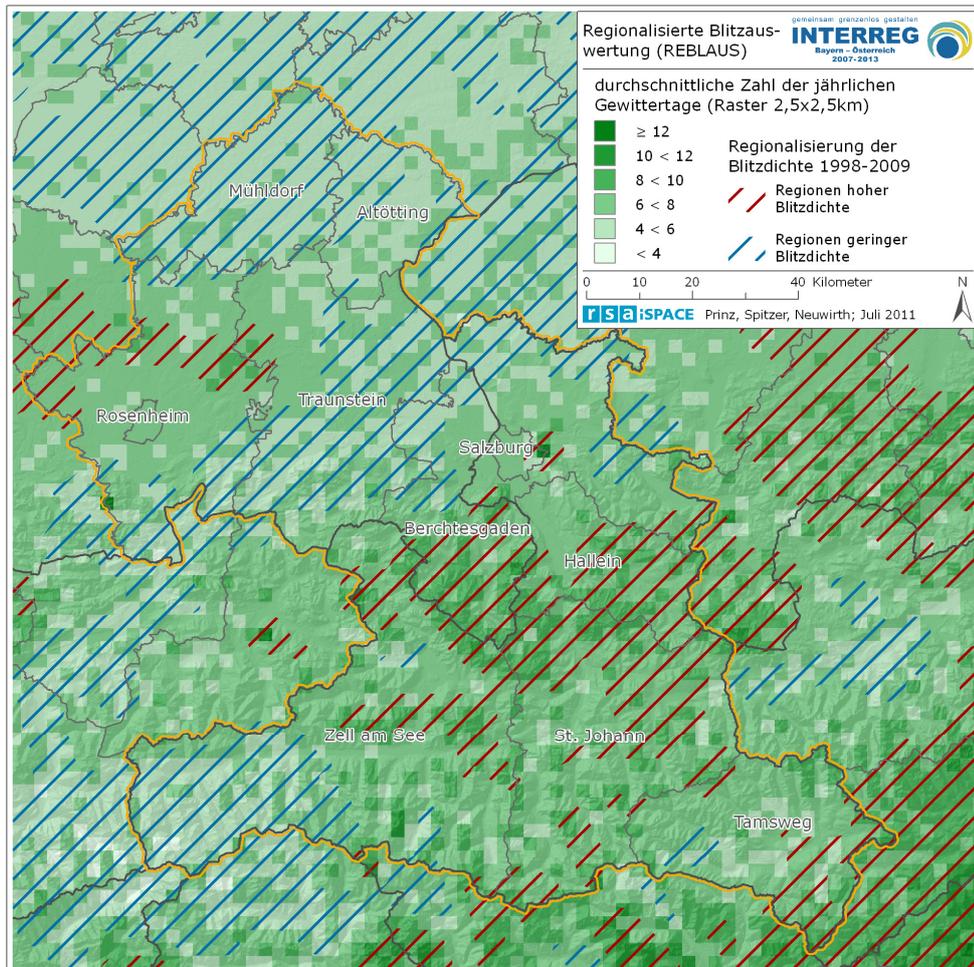


Abb. 33 durchschnittliche Zahl der jährlichen Gewittertage 1998-2009 überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte

[Raster: 2,5x2,5km; Gewittertag: Tag mit mindestens einem Blitzeinschlag; zur Regionalisierung siehe Kap. 4.3]

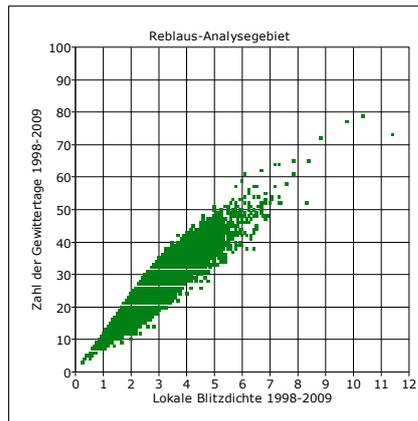


Abb. 34 Zusammenhang zwischen lokaler Blitzdichte und Zahl der Gewittertage der Jahre 1998-2009  
 [Raster 1x1km; Reblaus-Analysegebiet]



## 5. Analyse raumzeitlicher Zusammenhänge

Die Analyse räumlicher Zusammenhänge erfolgt auf Grundlage der in Kap. 3 beschriebenen grenzübergreifenden GIS-Datenbasis. Das 200x200km Quadrat um das Reblaus-Projektgebiet enthält bei einer 1x1km-Auflösung 40.000 auszuwertende Rasterzellen. Dabei wird eine räumlich differenzierte Vorgangsweise gewählt, die es erlaubt, nicht nur das gesamte Reblaus-Analysegebiet, sondern auch beinahe willkürlich definierbare Teilräume (bspw. einzelne Bezirke, Landkreise oder Landnutzungszonen) zu bearbeiten.

Räumliche Zusammenhänge zwischen metrisch skalierten Daten (bspw. Blitzdichte und Meereshöhe) werden in Punktreudiagrammen visualisiert. Die dargestellte Punktwolke wird mittels einfacher linearer Regression beschrieben. Neben der Art des Zusammenhanges (Regressionsgerade und Gleichung) wird die Stärke des linearen Zusammenhanges über den quadrierten Korrelationskoeffizienten nach Pearson ( $R^2$ ) beschrieben<sup>1</sup>. Auswertungen, die nominal- oder ordinalskalierte Daten einbeziehen (bspw. Landnutzungsklassen), werden über Häufigkeiten bzw. mittlere Blitzdichten vorgenommen. Für die einzelnen Themenfelder finden sich zum Teil Analysekarten im Anhang (Kap. 9). Auszüge aus diesen Kartenblättern werden zusätzlich im vorliegenden Textteil dargestellt und beschrieben.

Im aktuellen Kap. 5 (*Analyse raumzeitlicher Zusammenhänge*) erfolgen keine Hypothesenprüfungen, sondern allein Analysen zur möglichen Formulierung von Hypothesen bzw. zur Feststellung weiteren Forschungsbedarfs<sup>2</sup>. Es werden dabei stets ausschließlich Wolke-Erde Blitze untersucht, die in der Regel als fokale Blitzdichte ausgewertet werden. In Einzelfällen kommen aber auch andere Verfahren der Blitzdichteschätzung aus Kap. 4.1 v.a. zu Testzwecken zur Anwendung.

### 5.1. Blitzdichte und Topographie

Das vorliegende Kapitel behandelt mögliche räumliche Zusammenhänge zwischen Blitzdichte und verschiedenen topographischen Kennzahlen, wie Meereshöhe, Geländeoberflächenformen oder Landbedeckungsklassen. Grundlage dafür ist die grenzübergreifend harmonisierte GIS-Datenbasis mit der Rasterauflösung 1x1km (siehe Kap. 3).

#### Blitzdichte und Meereshöhe

Die Prüfung eines möglichen räumlichen Zusammenhanges zwischen Blitzdichte und Meereshöhe stellt aufgrund der scheinbaren visuellen Offensichtlichkeit (siehe hierzu Abb. 23 bzw. Karte 01, Karte 02 und Karte 03 im Anhang) den Ausgangspunkt für diesen analytischen Teil von Reblaus dar.

Die fokale Blitzdichte<sup>3</sup> variiert im gesamten Reblaus-Analysegebiet im Bereich von 0,7 bis 6,4 Blitzen je km<sup>2</sup> und Jahr, ebenso stark wie die Meereshöhe<sup>4</sup> mit Werten zwischen ca. 250m und 3.400m. Diese beiden Kennzahlen sind einander auf Basis des 1x1km Rasters im Streudiagramm in Abb. 35 (links) gegenübergestellt. Es zeigt sich dabei in diesem 40.000km<sup>2</sup> großen Raum bereits ein gewisser Trend, der auf einen positiven Zusammenhang hindeutet. Die Stärke des Zusammenhanges ist allerdings mit  $R^2 = 0,096$  äußerst gering. Werden nun Teilräume betrachtet, so ist eine regionalspezifische Struktur der Abhängigkeit der Blitzdichte von der Meereshöhe erkennbar (siehe hierzu auch Karte 06). So sind bspw. der Bezirk Hallein, der Landkreis Berchtesgadener Land (Abb. 35 Mitte) oder der Bezirk Salzburg-Umgebung von eindeutig positiven und verhältnismäßig starken (ca.  $R^2 = 0,5$ ) Zusammenhängen geprägt. Dagegen ist in anderen Räumen kein eindeutiger Trend feststellbar (bspw. Landkreis Rosenheim oder Bezirk Zell am See: Abb. 35 rechts).

<sup>1</sup> Dieses Bestimmtheitsmaß  $R^2$  gibt einen Hinweis darauf, welcher Anteil (%) der Wertestreuung der abhängigen Variablen durch die unabhängige Variable erklärt werden kann.

<sup>2</sup> Die methodischen Möglichkeiten der multiplen Regression oder geographisch gewichteter Regression werden in Reblaus bewusst zu Gunsten der bedeutend anschaulicheren einfachen linearen Regression ausgeklammert.

<sup>3</sup> fokale Blitzdichte: siehe Erläuterungen in Kap. 4.1

<sup>4</sup> mittlere Meereshöhe abgeleitet aus dem SRTM-Höhenmodell, siehe Kap. 3.7

Bei Verwendung der probabilistischen Blitzdichte<sup>1</sup> an Stelle der fokalen Blitzdichte zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede in Art und Stärke der räumlichen Zusammenhänge (vgl. hierzu Abb. 35 gegenüber Abb. 36 bzw. Karte 06 gegenüber Karte 07).

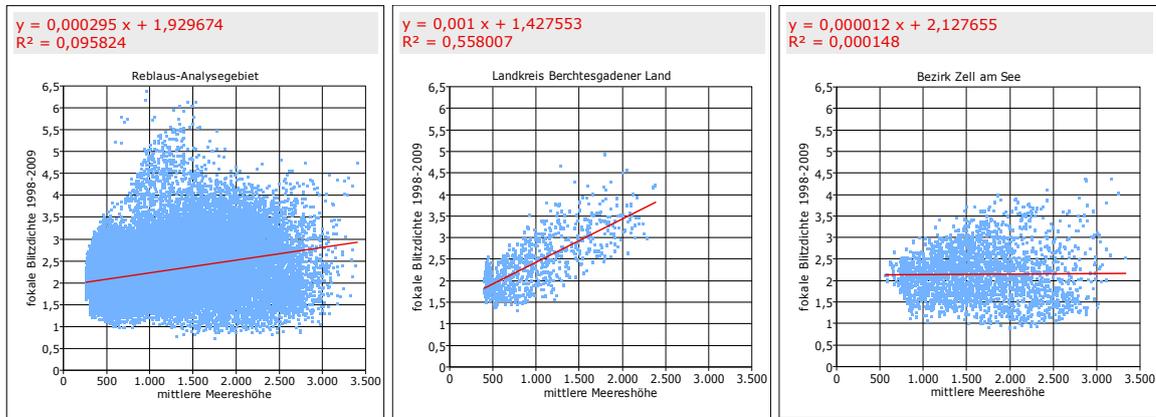


Abb. 35 Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf mittlere Meereshöhe

[Ausschnitte aus Karte 06; links: Reblaus Analysegebiet; Mitte: Landkreis Berchtesgadener Land; rechts: Bezirk Zell am See]

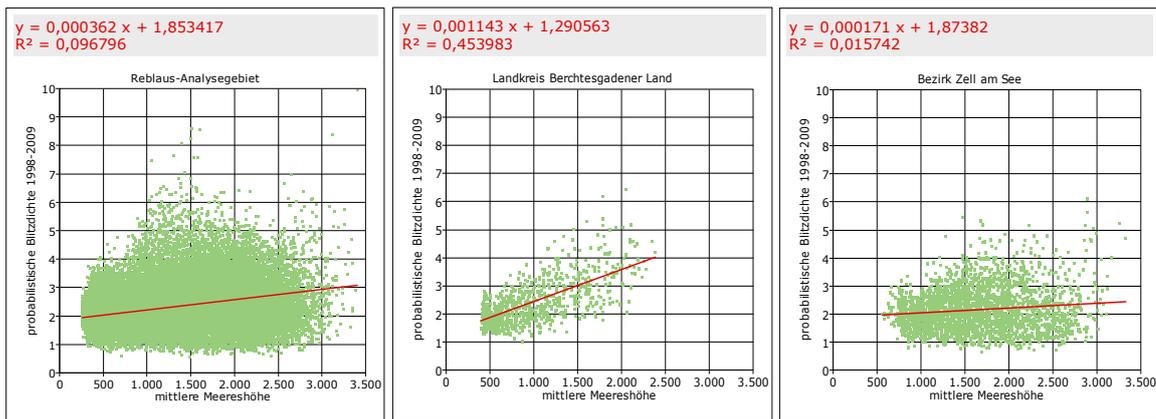


Abb. 36 Regression von probabilistischer Blitzdichte 1998-2009 auf mittlere Meereshöhe

[Ausschnitte aus Karte 07; links: Reblaus Analysegebiet; Mitte: Landkreis Berchtesgadener Land; rechts: Bezirk Zell am See]

Eine deutlichere Beschreibung der aus Abb. 23 scheinbar offensichtlichen orographischen Prägung der Blitzdichte liefert eine Transformation der Blitzdichtewerte und der Höhenwerte nach folgender Formel:

$$Z = \frac{X - \mu_u}{\sigma_u}$$

Dabei werden die Ausgangswerte (X) jeder Rasterzelle mit dem Mittelwert ( $\mu$ ) in ihrer unmittelbaren Umgebung verglichen und in der Einheit Standardabweichung ( $\sigma$ ) als positive oder negative Abweichung vom Mittelwert angegeben. Die resultierenden standardisierten Werte Z können als *überdurchschnittlich hoher Wert im Vergleich zur Umgebung* oder als *unterdurchschnittlich niedriger Wert im Vergleich zur Umgebung* interpretiert werden.

Das Ergebnis einer Regression standardisierter Werte (X) bei Verwendung einer Umgebung von 5x5 Rasterzellen zur Standardisierung der Blitzdichte sowie der Meereshöhe zeigt Abb. 37 (links). Im Vergleich zum Resultat bei Verwendung der Ausgangswerte (Abb. 35 links) zeigt diese Vorverarbeitung ei-

<sup>1</sup> probabilistische Blitzdichte: siehe Erläuterungen in Kap. 4.1

nen eindeutigeren räumlichen positiven und auch stärkeren Zusammenhang. Ist eine Rasterzelle im Vergleich zu ihrer Umgebung höher gelegen, so ist auch die Blitzdichte meist verhältnismäßig hoch, unabhängig davon, ob es sich um ein Gebiet mit insgesamt hoher oder niedriger Blitzdichte handelt. Der Nachteil einer derartigen Standardisierung ist allerdings, dass aus dieser Art der Regression keine Aussagen abgelesen werden können, um welchen Wert genau die Blitzdichte mit der Höhe zunimmt, da die ursprünglichen Einheiten (Blitze/km<sup>2</sup> und Meter) nicht mehr enthalten sind.

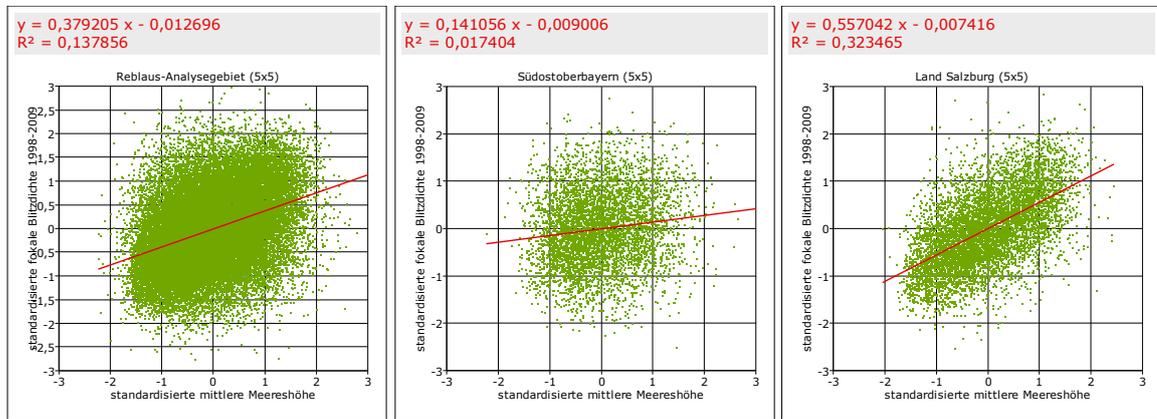


Abb. 37 Regression von standardisierter Blitzdichte 1998-2009 auf standardisierte mittlere Meereshöhe [Umgebungsdefinition für Standardisierung: 5x5 Rasterzellen; links: Reblaus Analysegebiet; Mitte: Südostoberbayern; rechts: Land Salzburg]

Ergänzend zu den oben behandelten Regressionen zeigt Tab. 9 durchschnittliche Werte der fokalen Blitzdichte nach Höhenstufen. Die verhältnismäßig geringe Varianz für die drei großen Räume Reblaus-Analysegebiet, Südostoberbayern und Land Salzburg bestätigt den oben identifizierten geringen globalen Zusammenhang zwischen Blitzdichte und Meereshöhe.

Tab. 9 durchschnittliche fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Höhenstufen

mittlere Meereshöhe	Ø fokale Blitzdichte 1998-2009		
	Reblaus-Analysegebiet	Südostoberbayern	Land Salzburg
<600m	2,01	2,01	2,01
≥600m bis <800m	2,13	1,95	2,21
≥800m bis <1.000m	2,24	2,01	2,24
≥1.000m bis <1.200m	2,37	2,17	2,33
≥1.200m bis <1.400m	2,46	2,34	2,37
≥1.400m bis <1.600m	2,53	2,68	2,45
≥1.600m bis <1.800m	2,55	3,17	2,48
≥1.800m bis <2.000m	2,57	3,29	2,51
≥2.000m	2,45	3,53	2,41

### Blitzdichte und Geländeform

Aus den bereitstehenden digitalen Geländedaten (SRTM: siehe Kap. 3.7) lassen sich neben der impliziten Höheninformation auch verschiedene weitere topographische Parameter (Hangneigung, Hangorientierung, Großreliefformen) ableiten. Den Beobachtungen zur Blitzdichte im Zusammenhang mit einer Auswahl dieser Parameter zur Geländeform widmet sich der gegenständliche Abschnitt.



Über gängige Methoden<sup>1</sup> lassen sich aus den Höheninformationen des 1x1km Rasters drei einfache Klassen des Großreliefs ableiten. Karte 08 (Anhang) zeigt folgende Großreliefformen im Analysegebiet:

- **Hohlformen:** größere Senken, Täler und Mulden
- **Ebenen:** meist ebene Flächen sowie vereinzelte langgestreckte Hänge und Übergangsbereiche zwischen Hohl- und Vollformen<sup>2</sup>
- **Vollformen:** größere Erhebungen, Berge und Höhenrücken

Eine Auswertung zur fokalen Blitzdichte in diesen Großreliefformen des Reblaus-Analysegebietes zeigt Abb. 38 als Ausschnitt aus Karte 08. Dabei wird gesondert auf saisonale Unterschiede (Frühling, Sommer, Herbst) eingegangen.

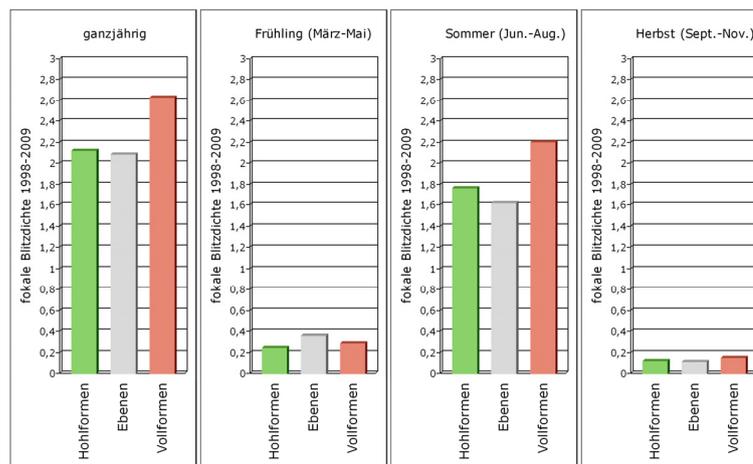


Abb. 38 fokale Blitzdichte 1998-2009 in den Klassen des Großreliefs differenziert nach Jahreszeiten  
[Reblaus-Analysegebiet; Ausschnitt aus Karte 08 im Anhang; ohne Winter]

Im ganzjährigen Schnitt ist mit etwa 2,6 Blitzen pro km<sup>2</sup> eine deutlich höhere Blitzdichte in Vollformen als in Ebenen oder Hohlformen zu beobachten. Dies deckt sich auch mit den Erkenntnissen aus den Auswertungen zu Blitzdichte und Meereshöhe (s.d.). Beachtenswert ist allerdings der Unterschied in der Verteilung der Blitzdichte auf die Großreliefformen zwischen den Frühlingsmonaten (März-Mai) und den Sommermonaten (Juni-August). Während die Klasse *Ebenen* im Sommer ein verhältnismäßig geringes Blitzaufkommen aufweist, sind hier im Frühling die meisten Blitze zu verzeichnen. Es wird vermutet, dass dieser Unterschied mit der Gewitterart (siehe Kap. 2.1) zusammenhängt. Im Frühjahr und Herbst überwiegen die Frontgewitter, bei denen sich die Gewitteraktivität gleichmäßig auf alle Formen des Großreliefs verteilt. Im Sommer sind anscheinend orographische Gewitter häufiger.

Die Ableitung von Hangorientierung und Hangneigung aus digitalen Geländedaten gehört zum gängigen Methodensatz der Geoinformatik. Allerdings hängt die Güte der Ergebnisse äußerst stark von der Qualität und der räumlichen Auflösung der verwendeten digitalen Höheninformation ab. So werden Hangneigungen durch gröbere Auflösungen stets abgeflacht (siehe Abb. 39 bzw. PRINZ & SPITZER 2008a). Da als gemeinsame räumliche Auflösung in der grenzübergreifenden GIS-Datenbasis (siehe Kap. 3) bedingt durch die 1x1km-Blitzdichte<sup>3</sup> ein 1x1km-Raster gewählt wird, werden hier auf Basis des SRTM-Höhenmodells (siehe Kap. 3.7) ausschließlich die Neigung und Orientierung des Großreliefs, nicht aber der kleinräumigen Geländeformen betrachtet.

<sup>1</sup> Ein geglättetes Höhenmodell (gleitendes Mittel in einer Rasterzellenumgebung von 9x9 Zellen) wird von der ursprünglichen Höheninformation abgezogen. Das resultierende Differenzraster weist für Vollformen eher positive Werte, für Hohlformen eher negative Werte auf. Für den gegenständlichen Analysefall werden als Klassengrenzen  $\leq -50$  für Hohlformen,  $> -50$  und  $\leq 50$  für Ebenen und  $> 50$  für Vollformen gewählt.

<sup>2</sup> Ebenen sind die dominante Großreliefform in der nördlichen Hälfte des Reblaus-Analysegebietes, dem bayerischen und oberösterreichischen Alpenvorland.

<sup>3</sup> Eine feinere Auflösung der Blitzdichte ist aus Gründen der Güte der Blitzdichteschätzung nicht zielführend (vgl. Kap. 4.1 bzw. DIENDORFER 2008).

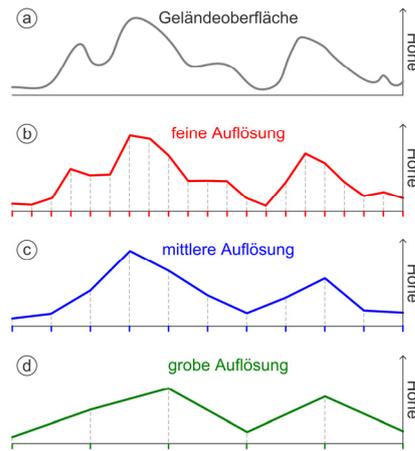


Abb. 39 Auflösungsbedingte Abflachung der realen Geländeoberfläche bei digitalen Geländemodellen  
[verändert nach PRINZ & SPITZER 2008a]

Die beiden Polarkoordinatendiagramme (Abb. 40 und Abb. 41) zeigen die Werte der fokalen Blitzdichte für Hangorientierungsklassen im 10° Abstand. Abb. 40 differenziert dabei das Reblaus-Analysegebiet nach Jahreszeiten; Abb. 41 betrachtet verschiedene Teilräume (Bezirke oder Landkreise). Während für die gesamten 200x200km in Abb. 40 eine beinahe idealtypische Gleichverteilung der Blitzdichte auf alle Hangorientierungen – weitgehend unabhängig von der Jahreszeit – beobachtbar ist, zeigen sich kleinere Teilräume etwas vielschichtiger. So hat etwa der Bezirk Hallein (blaue Linie in Abb. 41) ein Blitzdichtemaximum in Ost- bzw. Nordost-Hängen. Der unmittelbar angrenzende Landkreis Berchtesgadener Land (grüne Linie in Abb. 41) eher in Nordwest-Hängen. Obwohl die verschiedenen Hangorientierungen in den beiden Teilräumen annähernd gleichverteilt sind, liegen die Westhänge des Hagengebirges (markante Trennlinie und Landesgrenze zwischen Bayern und Land Salzburg) im Landkreis Berchtesgadener Land, die Osthänge im Bezirk Hallein. Das Hagengebirge (v.a. der *Hohe Göll*) weist eine überdurchschnittlich hohe Blitzdichte (siehe Abb. 23 bzw. Karte 02) auf und ist aufgrund seiner Exposition stark mitverantwortlich für die Unterschiede in den beiden Teilräumen.

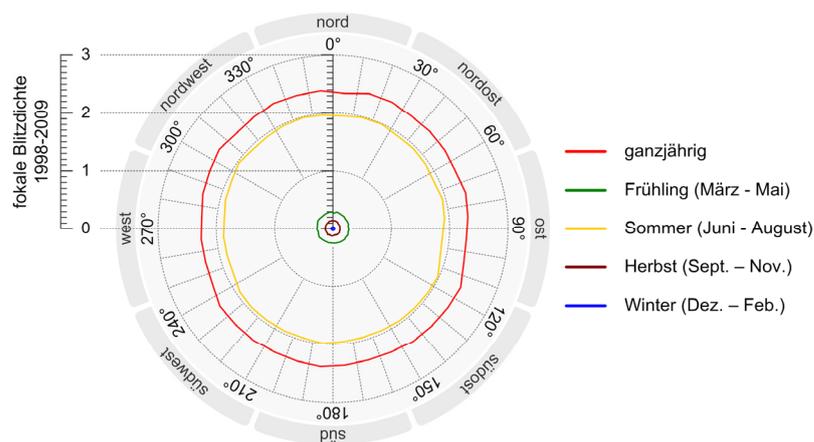


Abb. 40 fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Hangorientierung (10°-Klassen) differenziert nach Jahreszeiten  
[Berechnung für Flächen  $\geq 5^\circ$  Hangneigung; Reblaus-Analysegebiet]

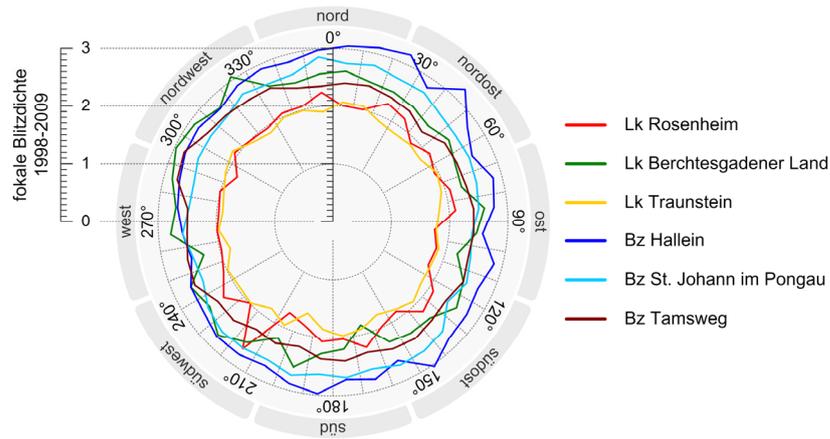


Abb. 41 fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Hangorientierung (10°-Klassen) für ausgewählte Teilräume

[Berechnung für Flächen  $\geq 5^\circ$  Hangneigung; Lk = Landkreis, Bz = Bezirk; der Teilraum Landkreis Rosenheim beinhaltet die kreisfreie Stadt Rosenheim]

Eine Gegenüberstellung von fokaler Blitzdichte und Hangneigung ist als Streudiagramm in Abb. 42 (Ausschnitte aus Karte 09) dargestellt. Im Reblaus-Analysegebiet ist ein leicht positiver aber sehr schwacher Zusammenhang feststellbar. In einzelnen Teilräumen ist dieser Zusammenhang sehr unterschiedlich und uneindeutig (siehe Karte 09). Sofern eine Hangneigungsvariation gegeben ist (v.a. im südlichen topographisch stärker geprägten Teil), ist meist ein leicht positiver Zusammenhang erkennbar. Die Bezirke Zell am See und Tamsweg zeigen jedoch keinen bzw. sogar einen leicht negativen Trend.

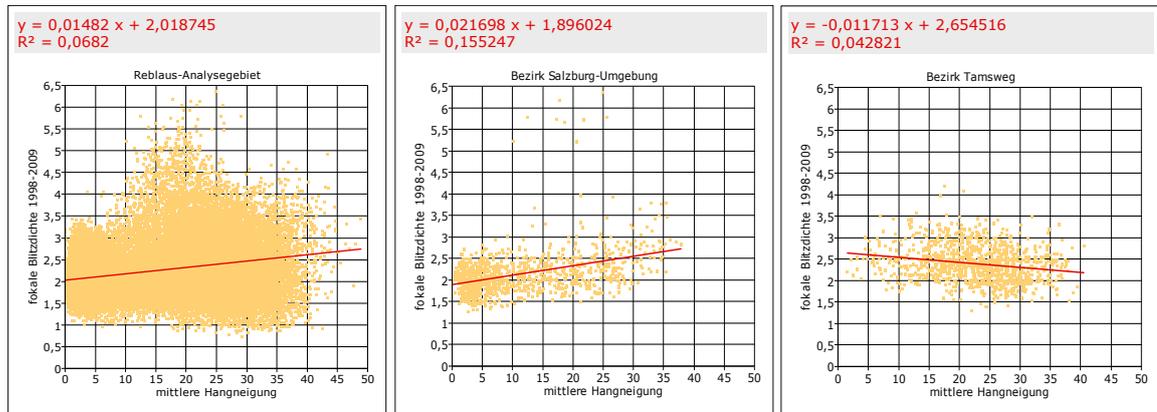


Abb. 42 Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf die mittlere Hangneigung

[Ausschnitte aus Karte 09; links: Reblaus Analysegebiet; Mitte: Bezirk Salzburg-Umgebung; rechts: Bezirk Tamsweg]

Die Diagramme in Abb. 43 betrachten kombinierte Hangorientierungs- und Hangneigungsklassen im Reblaus-Analysegebiet in zwei unterschiedlichen Detailgraden. Es zeigt sich, dass – beinahe unabhängig von der Orientierung – die Blitzdichte bis zu mittleren Hangneigungen (ca. 20°) ansteigt, über 25° jedoch wieder abnimmt. Ein leichtes lokales Maximum ist in Südosthängen mittlerer Hangneigung zu erkennen.

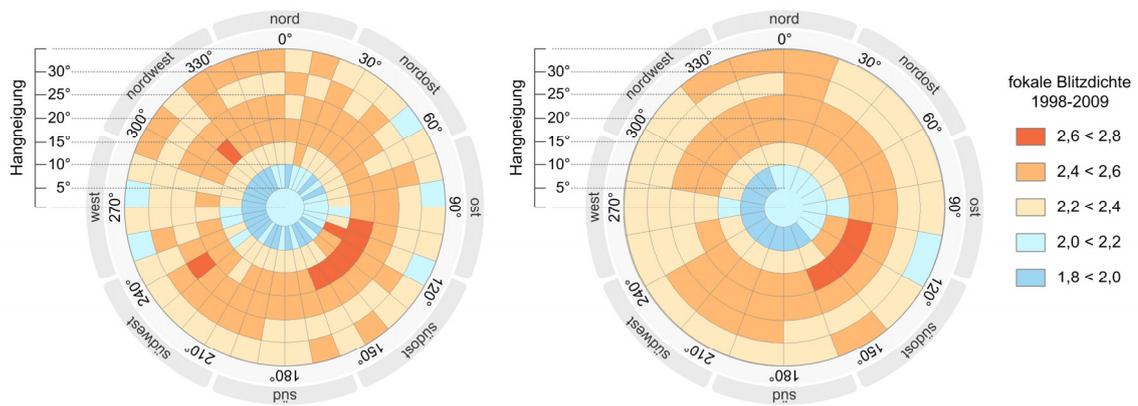


Abb. 43 fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Hangorientierung und Hangneigung  
[Reblaus-Analysegebiet; links: Hangorientierung 10°-Klassen; rechts: Hangorientierung 20°-Klassen]

### Blitzdichte und Landnutzung / Landbedeckung / Siedlungsstruktur

Die Landnutzung bzw. Landbedeckung ist typischerweise stark orographisch geprägt. So finden sich bspw. naturnahe Flächen und Wälder vorzugsweise in den höheren und damit südlichen Lagen des Analysegebietes, landwirtschaftliche Flächen eher im nördlichen Teil. Die siedlungsstrukturelle Nutzungsintensität überwiegt in den Tälern und nimmt naturgemäß mit der Meereshöhe ab.

Die Überlagerung der zur Verfügung stehenden grenzübergreifend vergleichbaren Datengrundlagen zur Landnutzung / Landbedeckung (Corine Landcover, siehe Kap. 3.7) mit der regionalisierten Blitzdichte in Abb. 44 (vgl. hierzu Kap. 4.3) wird in Abb. 45 mit der fokalen Blitzdichte 1998-2009 quantitativ ausgewertet. Dabei wird zwischen Lagen <800m Meereshöhe (überwiegend Alpenvorland) und  $\geq 800\text{m}$  (überwiegend Innergebirg) unterschieden, um den Einfluss der Störvariablen *Orographie* etwas abzuschwächen. So zeigen die mit blauen Balken dargestellten Bereiche unter 800m keine große Variation der Blitzdichte. Die Werte streuen nur gering um den Mittelwert von 2,2. Einzig *Wälder und naturnahe Flächen* – naturgemäß vorwiegend in höheren Lagen zu finden ( $\geq 800\text{m}$ , grüne Balken) – weisen höhere Blitzdichten auf. Hier zeigt sich deutlich die Höhenabhängigkeit der Blitzdichte, da gerade die Klassen *Wälder, Strauch und Krautvegetation*<sup>1</sup> sowie *offene Flächen ohne / mit geringer Vegetation*<sup>2</sup> durch überdurchschnittliche Blitzdichten (ca. 2,5) gekennzeichnet sind.

Der oft gehegte Verdacht, dass Wasserflächen / Seen gegenüber ihrem Umland ein höheres Blitzaufkommen aufweisen, bestätigt sich in der globalen, langzeitlichen Analyse nicht (siehe Abb. 45). Auch das Fallbeispiel Chiemsee zeigt in einer detaillierten Untersuchung keine Auffälligkeiten: Sowohl Chiemsee als auch die umliegende Region weisen Blitzdichtewerte von etwa 2 auf (siehe auch Abb. 44).

<sup>1</sup> beinhaltet auch Almen und Wald-Strauch-Übergangsstadien

<sup>2</sup> beinhaltet auch Felsflächen und Gletscher

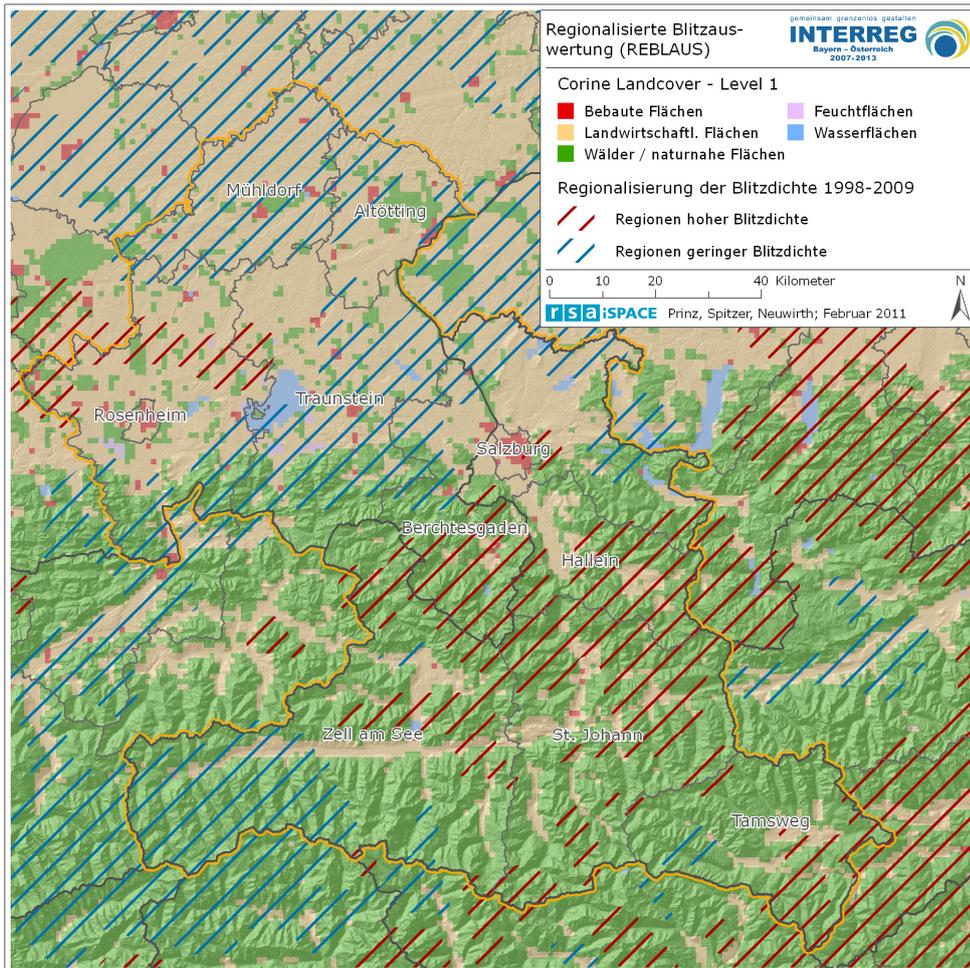


Abb. 44 Landnutzungs- / Landbedeckungsklassen von Corine Landcover (Level 1) überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte  
[zur Regionalisierung siehe Kap. 4.3]

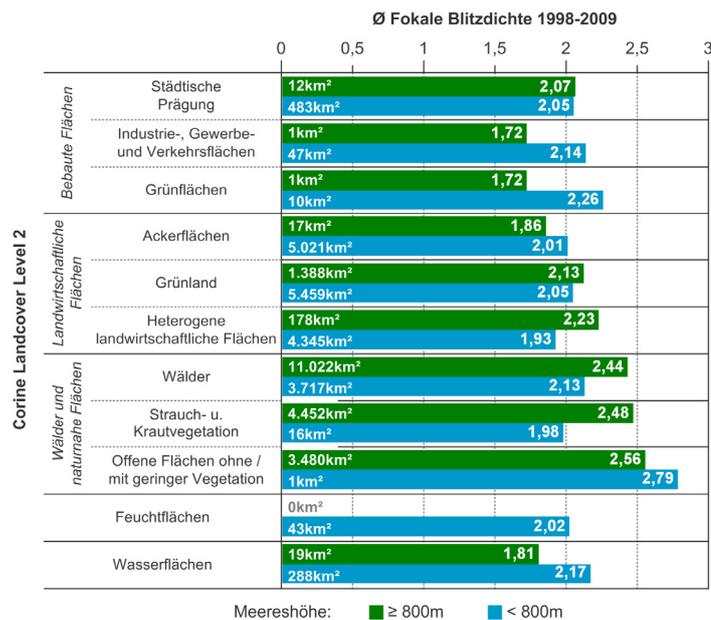


Abb. 45 Fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Klassen der Landnutzung / Landbedeckung und Meereshöhe  
[Corine Landcover Level 2; grün: Lagen ≥ 800m Meereshöhe, blau: Lagen < 800m Meereshöhe; Reblaus-Analysegebiet; 1x1km-Raster]

Eine Auswertung verschiedener siedlungsstruktureller Kennzahlen nach Klassen der fokalen Blitzdichte 1998-2009 auf Basis des 1x1km Rasters im Reblaus Projektgebiet zeigt Tab. 10. Der weitaus größte Teil der Siedlungsflächen findet sich in Tallagen, die im Schnitt etwa 2 jährliche Blitzeinschläge je km<sup>2</sup> aufweisen. Deshalb sind weder bei Siedlungsflächen<sup>1</sup>, noch bei Flächenwidmung<sup>1</sup> und naturgemäß daher auch nicht hinsichtlich der Einwohnerverteilung<sup>1</sup> Unterschiede in der Blitzdichteverteilung zu beobachten (siehe auch Karte 10 im Anhang). Die gesamte Siedlungsstruktur verteilt sich in etwa zu gleichen Teilen auf die Blitzdichteklassen 1≤2 und 2≤3. In Räumen mit einer Blitzdichte >3 finden sich nur 1% der Siedlungsflächen, nur 700 der 1,3Mio. Einwohner und keine nennenswerten für Siedlungszwecke gewidmeten Gebiete. Ein Zusammenhang der Blitzdichte mit der Intensität siedlungsstruktureller Nutzung (bspw. Stadt-Land-Kontinuum) kann in der gegenwärtigen großräumigen Auswertung nicht festgestellt werden (siehe auch Regressionen in Abb. 46).

Tab. 10 Siedlungsstrukturelle Kennzahlen nach Blitzdichteklassen im Reblaus-Projektgebiet

[Siedlungsflächen; Flächenwidmung / Flächennutzung; Wohnbevölkerung; Auswertung auf Basis des 1x1km Raster; Südostoberbayern und Land Salzburg]

	Fokale Blitzdichte (1998-2009)						Summe
	<1	1 ≤ 2	2 ≤ 3	3 ≤ 4	4 ≤ 5	>5	
Fläche (km <sup>2</sup> )	9	4.638	6.644	1.038	41	9	12.379
Siedlungsflächen (km <sup>2</sup> )	-	321,1	309,9	6,9	-	0,1	638,3
Flächenwidmung / Flächennutzung (km <sup>2</sup> )	Wohngebiete	-	98,1	92,4	1,4	-	192,1
	Mischgebiete	-	42,9	36,3	0,8	-	80,0
	Gewerbegebiete	-	21,0	24,5	0,3	-	45,8
	Industriegebiete	-	8,8	6,0	-	-	14,8
	Sonstige	-	20,3	22,0	0,8	-	43,1
Einwohner mit Hauptwohnsitz 2008 (Anzahl)	-	655.039	659.575	9.783	32	688	1.325.117

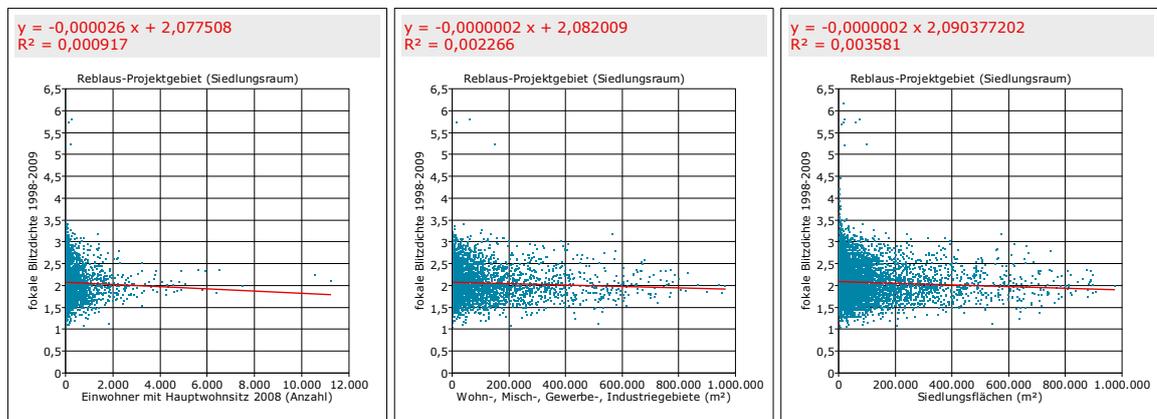


Abb. 46 Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf Kennzahlen zur siedlungsstrukturellen Nutzung

[jeweils Siedlungsraum<sup>2</sup> im Reblaus-Projektgebiet; links: Anzahl der Einwohner mit Hauptwohnsitz (01.01.2008); Mitte: Fläche von Wohn-, Misch-, Gewerbe- und Industriegebieten (m<sup>2</sup>); rechts: Siedlungsflächen (m<sup>2</sup>)]

Karte 11 (Anhang) zeigt die mittlere lokale Blitzdichte im Siedlungsraum<sup>2</sup> für die 271 Gemeinden des Reblaus-Projektgebietes überlagert von Größenpunkten der Zahl der Einwohner mit Hauptwohnsitz zu Jahresbeginn 2009. Der Ausschluss von Flächen außerhalb des Dauersiedlungsraumes lässt erkennen,

<sup>1</sup> grenzübergreifend vergleichbare Siedlungsflächen: siehe Kap. 3.5; grenzübergreifende Flächenwidmung / Flächennutzung: siehe Kap. 3.5; Daten zur Einwohnerverteilung: siehe Kap. 3.4  
<sup>2</sup> Der Siedlungsraum wird hier – im Gegensatz zur Vorgehensweise in Kap. 5.3 – über 1x1km Rasterzellen, die zumindest einen Einwohner 2008 aufweisen, abgegrenzt.



dass die Blitzdichte im Siedlungsraum selbst in den südlichen Teilen des Projektgebietes nahe dem allgemeinen Durchschnitt liegt. D.h. die Räume mit erhöhten Blitzdichten sind überwiegend unbesiedelt. Wie schon bspw. in Karte 02 gezeigt, ist gerade im Siedlungsraum des Oberpinzgaus (oberes Salzbachtal, bspw. Neukirchen am Großvenediger) die Blitzdichte verhältnismäßig gering. Demgegenüber verzeichnen einzelne Gemeinden im Bezirk Hallein (bspw. Abtenau) aber v.a. auch der nördliche Landkreis Rosenheim (von Bad Endorf bis Bruckmühl) höhere Blitzdichten von bis zu drei Blitzen je km<sup>2</sup> und Jahr im Siedlungsraum. Nachfolgend sind die zehn Gemeinden mit den höchsten (Tab. 11) bzw. mit den geringsten (Tab. 12) Blitzdichten im Siedlungsraum aufgelistet.

Tab. 11 Gemeinden mit den höchsten Blitzdichten im Siedlungsraum 1998-2009

[in absteigender Reihenfolge; Gemeinden im Reblaus-Projektgebiet; vgl. auch Karte 11 im Anhang]

Gemeinde	Bezirk / Landkreis	Ø lokale Blitzdichte im Siedlungsraum
Höslwang	Rosenheim	3,11
Feldkirchen-Westerham	Rosenheim	2,86
Halfing	Rosenheim	2,85
Sankt Kolomann	Hallein	2,84
Eggstätt	Rosenheim	2,84
Abtenau	Hallein	2,77
Schönau am Königssee	Berchtesgadener Land	2,76
Ramerberg	Rosenheim	2,76
Ramsau bei Berchtesgaden	Berchtesgadener Land	2,76
Schonstett	Rosenheim	2,71

Tab. 12 Gemeinden mit den geringsten Blitzdichten im Siedlungsraum 1998-2009

[in aufsteigender Reihenfolge; Gemeinden im Reblaus-Projektgebiet; vgl. auch Karte 11 im Anhang]

Gemeinde	Bezirk / Landkreis	Ø lokale Blitzdichte im Siedlungsraum
Neukirchen am Großvenediger	Zell am See	1,21
Kiefersfelden	Rosenheim	1,34
Krimml	Zell am See	1,36
Wald im Pinzgau	Zell am See	1,39
Mittersill	Zell am See	1,40
Muhr	Tamsweg	1,42
Bramberg am Wildkogel	Zell am See	1,44
Dorfbeuern	Salzburg-Umgebung	1,44
Hollersbach im Pinzgau	Zell am See	1,45
Erharting	Mühdorf am Inn	1,47

### Blitzdichte und orographischer Gewitterindex

Aufgrund der alpinen Prägung großer Teile des Analysegebietes wird eine Überprüfung des Beitrags der orographischen Gewitterexposition als Einflussfaktor für die Blitzaktivität durchgeführt. Dies erfolgt durch Gegenüberstellung der fokalen Blitzdichte mit dem orographischen Gewitterindex (siehe Kap. 3.6).

Abb. 47 zeigt den orographischen Gewitterindex in Überlagerung mit Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte als kartographische Repräsentation der fokalen Blitzdichte (siehe Kap. 4.3). Dabei zeigt sich visuell ein scheinbar plausibler Zusammenhang zwischen Gewitterexposition und Blitzdichte, wobei v.a. die Index-Maximalwerte im Bezirk Hallein bzw. an den nördlichen Grenzen der Bezirke St. Johann und Zell am See gut mit Regionen hoher Blitzdichte korrespondieren. Eine etwas weniger eindeutige Übereinstimmung ist demgegenüber beispielsweise für die Region geringer Blitzdichte im Grenzgebiet zwi-



schen den Bundesländern Salzburg und Tirol gegeben, da hier zum Teil geringe Blitzdichten auf hohe Gewitterindexwerte treffen.

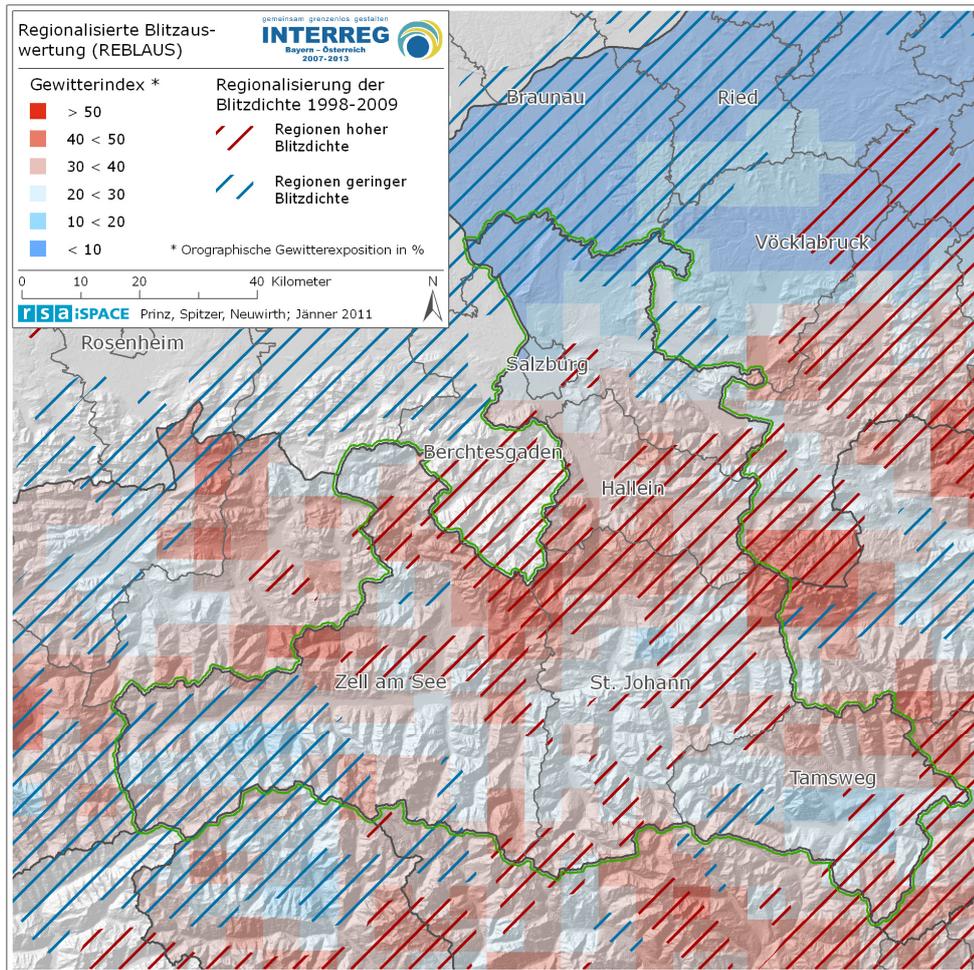


Abb. 47 Orographischer Gewitterindex überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte

[Orographischer Gewitterindex: Exposition für orographische Gewitter im topographisch gegliederten Gelände; zur Regionalisierung siehe Kap. 4.3]

Um bei der rechnerischen Überprüfung des tatsächlichen Zusammenhangs die alpinen Salzburger Bezirke einem ebeneren Landschaftsausschnitt gegenüberstellen zu können, wird hier das Analysegebiet um die angrenzenden oberösterreichischen Bezirke Ried, Braunau und Vöcklabruck erweitert. Trotz der markanten, topographischen Unterschiede ergeben sich jedoch keine nennenswerten Tendenzen, die auf eine Reliefabhängigkeit des Zusammenhangs hinweisen würden. Die Einzelergebnisse auf Bezirksebene weisen dabei sowohl positive als auch negative Zusammenhänge mit relativ schwachen Korrelationen zwischen  $R^2 = 0,15$  im Bezirk Ried und  $R^2 = 0,000014$  im Bezirk Tamsweg auf (siehe Karte 12 im Anhang) die hohe Schwankungsbreite lässt sich vermutlich auf die grobe Auflösung des Gewitterindex-Ausgangsdatensatzes zurückführen<sup>1</sup>. Durch die Verwendung eines größeren Raumausschnittes erfolgt eine Abschwächung des Einflusses einzelner Ausreißer auf das Endergebnis, wodurch sich jeweils positive Zusammenhänge ergeben (siehe Abb. 48). Da die fokale Blitzdichte aber neben Blitzen orographischer Gewitter natürlich auch Blitze von Luftmassen- und Frontgewittern (vgl. Kap. 2.1 zu Gewitterarten) beinhaltet und diese drei Typen in den Blitzeinschlägen derzeit nicht zu trennen sind, werden diese Zusammenhänge wohl unterschätzt.

<sup>1</sup> So finden bspw. im Bezirk Ried nur 26 verschiedene Werteausprägungen Eingang in die Regression.

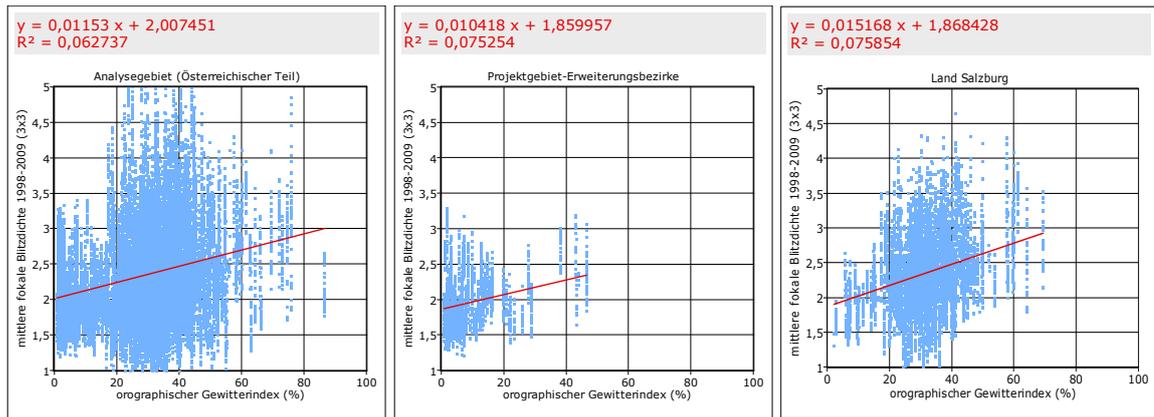


Abb. 48 Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf den orographischen Gewitterindex

[Ausschnitte aus Karte 12; links: Analysegebiet (Österreichischer Teil); Mitte: Projektgebiet-Erweiterungsbezirke; rechts: Land Salzburg]

## 5.2. Blitzdichte und Klima / Wetter

In diesem Kapitel werden mögliche räumliche Zusammenhänge zwischen der Blitzdichte und mehreren klimatischen Kennzahlen – wie mittlere Niederschlagsmenge, Lufttemperatur oder Äquivalenttemperatur – untersucht. Aufgrund des Fehlens langjähriger, räumlicher Klimazeitreihen (30-jährige Mittelwerte) für die Region Südostoberbayern wird auf Tagesmittelwerte (*Wetterkennzahlen*) zurückgegriffen. Grundlage der Analyse ist die in Kap. 3 beschriebene grenzübergreifende harmonisierte GIS-Datenbasis der Rasterauflösung 1x1km.

### Blitzdichte und Starkniederschläge

Da die Entstehung von Blitzen ursächlich mit Kondensations- und Niederschlagsprozessen zusammenhängt (siehe dazu Kap. 2.2), wird die räumliche Entsprechung von Blitzaufkommen und verschiedenen Niederschlagskategorien überprüft. Die hierfür herangezogenen Niederschlagsdaten beruhen auf extremwertstatistischen Wahrscheinlichkeitsangaben, wobei mit verschiedenen Niederschlagsdauerstufen und Wiederkehrintervallen unterschiedliche Starkniederschlagskategorien in die Analyse einfließen (Durchrechnungszeitraum 1961-1990, siehe hierzu Kap. 3.6).

Eine visuelle Gegenüberstellung von Blitzdichte und Starkniederschlag ist in Abb. 49 ersichtlich. Als Starkniederschlagskategorie findet dabei ein Ereignis mit 100-jährigem Wiederkehrintervall und 15-minütiger Dauerstufe Verwendung. Hier zeigt sich, dass v.a. der Alpennordrand sowie auch große Teile der Salzburger Gebirgsbezirke Zell am See und St. Johann eine ausgeprägte Starkniederschlagsexposition aufweisen. Die Maximalwerte von >75mm Niederschlag treten mit Ausnahme von Tamsweg in allen Salzburger Bezirken auf, wobei Hallein zu einem Gutteil von dieser Klasse eingenommen wird. Die zur Verdeutlichung der Blitzdichte dargestellte Regionalisierung (siehe hierzu Kap. 4.3) korrespondiert dabei gut mit dieser maximalen Niederschlagsintensitätsstufe. Zudem kommt es bspw. im Südwesten der Karte Abb. 49 zur Überschneidung einer großflächigen *Region geringer Blitzdichte* mit vergleichsweise geringen Niederschlagsmengen.

Für eine quantitative Beurteilung des Zusammenhangs stehen 12 Starkniederschlagskategorien zur Verfügung, wobei sich das Berechnungsgebiet auf die gesamte Schnittfläche der räumlichen Datenverfügbarkeit bezieht (vgl. Abb. 16g). Es ergeben sich für alle Regressionsfunktionen schwach positive Steigungen, was bedeutet, dass eine Zunahme der Niederschlagsmenge jeweils eine gesteigerte Blitzdichte mit sich bringt. Nachdem sich die Ergebnisse der jeweiligen Kategorien nur unwesentlich voneinander unterscheiden, ist hier exemplarisch die maximale sowie minimale Korrelation in Abb. 50 dargestellt.

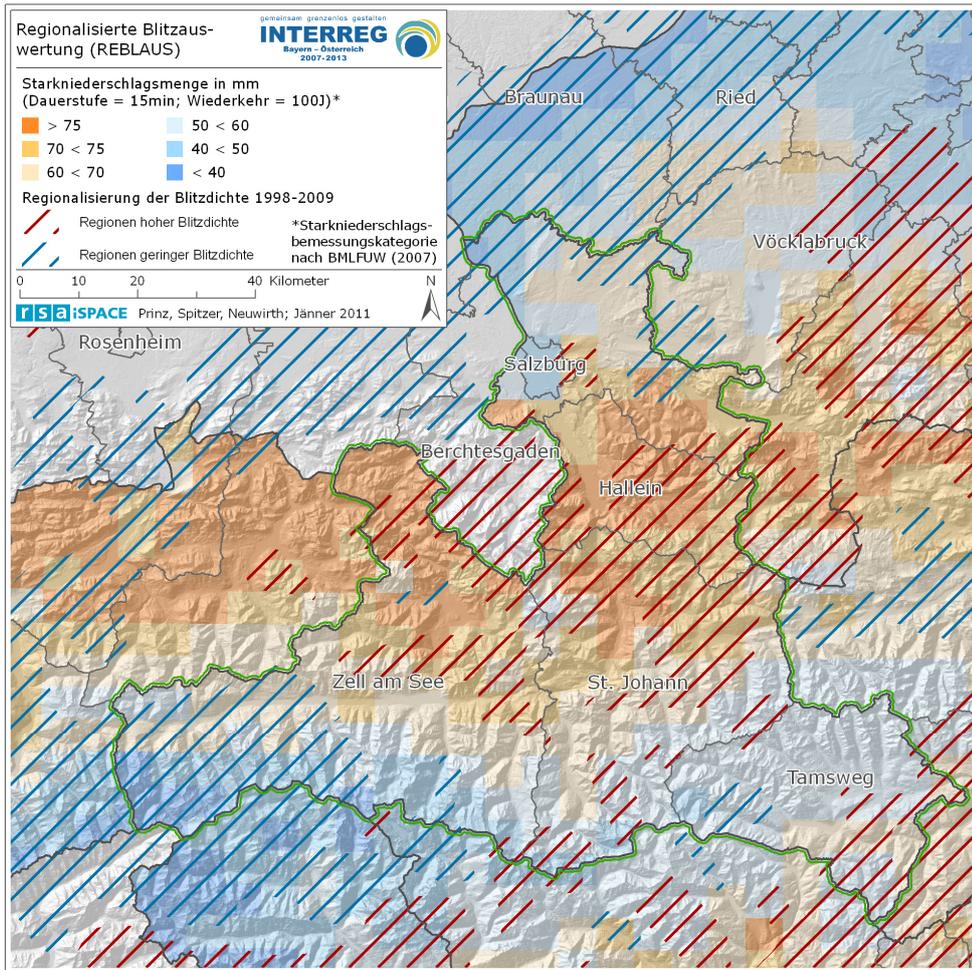


Abb. 49 Wahrscheinlichkeitskategorie für Starkniederschlag Niederschlagsmenge bei 15-minütiger Dauerstufe mit 100-jährigem Wiederkehrintervall überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte [zur Regionalisierung siehe Kap. 4.3]

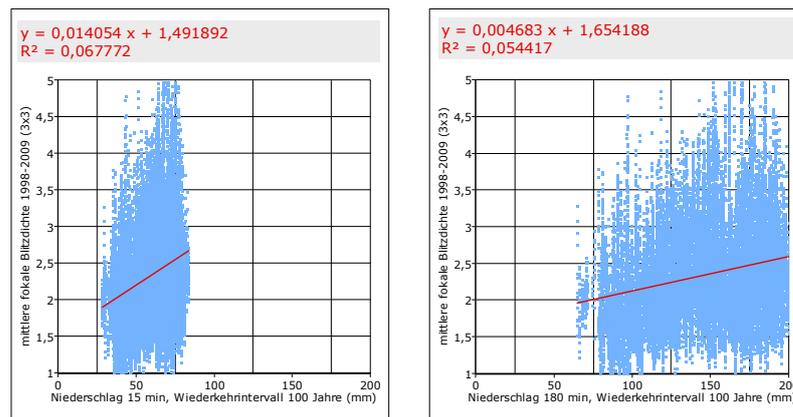


Abb. 50 Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf Starkniederschlagsmenge [links: Regression auf Starkniederschlagsmenge Dauerstufe 15min, Wiederkehrintervall 100 Jahre; rechts: Regression auf Starkniederschlagsmenge Dauerstufe 180min, Wiederkehrintervall 100 Jahre]

Trotz der großen Ähnlichkeit zwischen den Einzelkategorien fällt auf, dass mit zunehmender Dauerstufe ein kontinuierlicher Rückgang der Korrelation einhergeht. Der maximalen Korrelation bei 15-minütiger Dauerstufe mit 100-jährigem Wiederkehrintervall steht hier ein Minimalwert bei 180-minütiger Dauerstufe und 100-jährigem Wiederkehrintervall gegenüber. Die visuelle Gegenüberstellung dieser Starkniederschlagskategorie mit der Blitzaktivität im Raum Südostoberbayern lässt hingegen auf einen verhältnis-



mäßig starken positiven Zusammenhang schließen. V.a. im Süden der Region (Landkreis Berchtesgaden) gehen die Maximalniederschlagsmengen mit verstärktem Blitzaufkommen einher. Weniger Übereinstimmung ist hingegen für das Gebiet nördlich von Rosenheim ersichtlich, wo geringere Niederschlagsmengen auf eine ausgeprägte Blitzaktivität treffen (siehe Abb. 51).

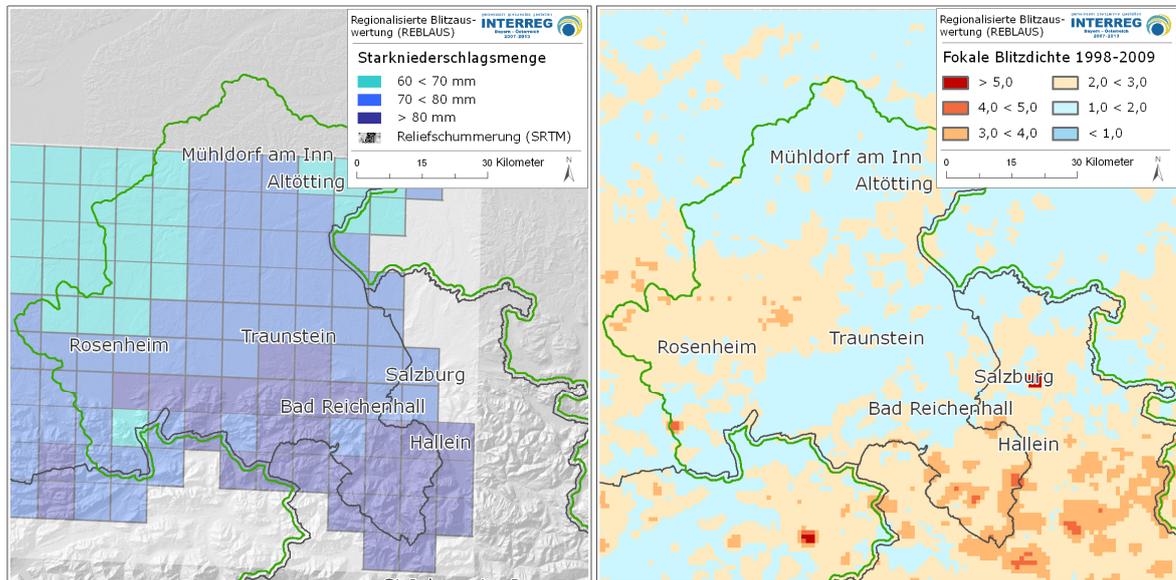


Abb. 51 Starkniederschlagsmenge (links) und Blitzdichte (rechts) im Raum Südostoberbayern

[links: Wahrscheinlichkeitskategorie für Starkniederschlag *Niederschlagsmenge bei 180-minütiger Dauerstufe mit 100-jährigem Wiederkehrintervall*; rechts: fokale Blitzdichte 1998-2009]

Der visuelle Vergleich der Starkniederschlagskategorien zeigt, dass sich die räumlichen Niederschlagsverteilungen der verschiedenen Kategorien markant voneinander unterscheiden. Dabei kann – anders als bei der in Abb. 51 dargestellten Starkniederschlagskategorie – zumeist keine Kausalität zwischen Starkniederschlagsmenge und Blitzdichteverteilung durch visuelle Gegenüberstellung abgeleitet werden. Auf eine kartographische Aufbereitung dieser Inhalte wird daher verzichtet.<sup>1</sup>

### Blitzaufkommen und Wetterkennzahlen

Für lokale und regionale Einzelfallanalysen sind thermodynamische Indizes<sup>2</sup> von Bedeutung, für eine mittlere mehrjährige Betrachtung sind sie hingegen wegen starker zeitlicher wie räumlicher Variabilität weniger geeignet. In der gegenständlichen Untersuchung werden daher mittlere Bodenwerte der Klimaelemente Temperatur (Abb. 52), Luftfeuchte (Abb. 53) und Luftdruck (Abb. 54) mit dem Blitzaufkommen verglichen. Dabei handelt es sich um Gebietsmittelwerte für die Region Südostoberbayern, die sich aus dem Durchschnittswert der verfügbaren Stationsaufzeichnungen<sup>3</sup> errechnen (siehe auch Kap. 3.6). Die hohe zeitliche Auflösung (tageweise) ermöglicht es hierbei, kurzfristige Schwankungen dieser Mittelwerte und deren Bedeutung für die Blitzaktivität zu veranschaulichen.

Nach PRICE (2008) ist die Sonneneinstrahlung und die damit einhergehende Erwärmung der Erdoberfläche eine treibende Kraft für die Blitzentstehung. Blitzschlagmaxima treten demnach zeitversetzt nach dem Höhepunkt der Erwärmung ein (siehe hierzu auch Kap. 2.1 sowie Kap. 2.2). Dies zeigt sich auch für den Raum Südostoberbayern in Abb. 52. Erwartungsgemäß überschneiden sich die jährlichen Ma-

<sup>1</sup> Eine Quantifizierung des Zusammenhanges für den Raum Südostoberbayern ist mit den zur Verfügung stehenden Daten nicht möglich (siehe Kap. 3.6).

<sup>2</sup> Meteorologisch-synoptisch wird zur Analyse und Prognose des Gewitter- bzw. Blitzrisikos die allgemeine Wetterlage und die Thermodynamik der Atmosphäre betrachtet, die routinemäßig anhand von Instabilitäts-Kennzahlen errechnet wird. So listen etwa die globalen Radiosondendaten der University of Wyoming pro Aufstieg und Station 23 Indizes auf.

<sup>3</sup> Lücken in der Zeitreihe bei einzelnen Stationen können aufgrund der Höhenabhängigkeit der Klimaelemente die Mittelwerte beeinflussen.

ximaltemperaturen und die Blitzschlagsaison (Mai-August). In den kühleren Jahreszeiten hingegen ist das Blitzaufkommen sehr gering. Trotzdem ergibt sich daraus eine verhältnismäßig geringe Korrelation ( $R^2 = 0,0623$ ), da sich an Gewittertagen Schönwetterbedingungen und Frontdurchgänge statistisch überlagern.

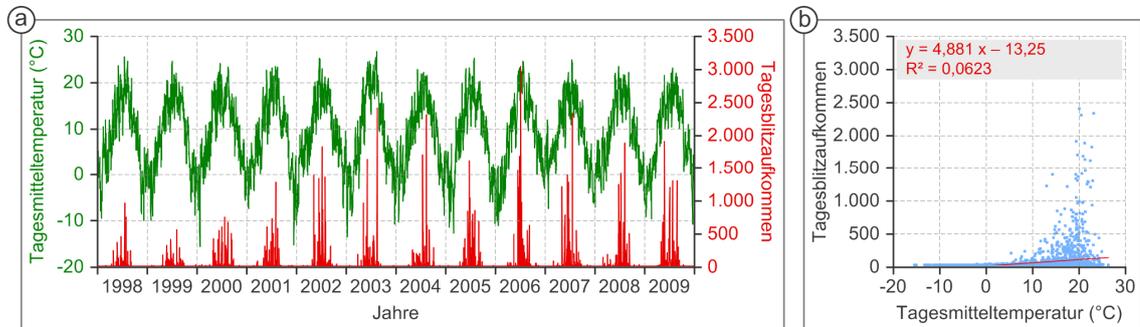


Abb. 52 *Tagesmitteltemperatur* und *Tagesblitzaufkommen* in Südostoberbayern 1998-2009

[a: Zeitreihe; b: Punktreudiagramm mit Regression; Tagesmitteltemperatur: Mittelwert der verfügbaren Aufzeichnungen zur Tagesstemperatur von 25 Stationen (°C); Tagesblitzaufkommen: Wolke-Erde Blitze]

Ähnlich verhält es sich bei Verwendung der Äquivalenttemperatur. Als Äquivalenttemperatur wird dabei jene Lufttemperatur bezeichnet, bei der der gesamte vorhandene Wasserdampf kondensiert und mit seiner dabei freiwerdenden latenten Wärmeenergie die Lufttemperatur erhöht ( $R^2 = 0,0809$ : Abb. 53).

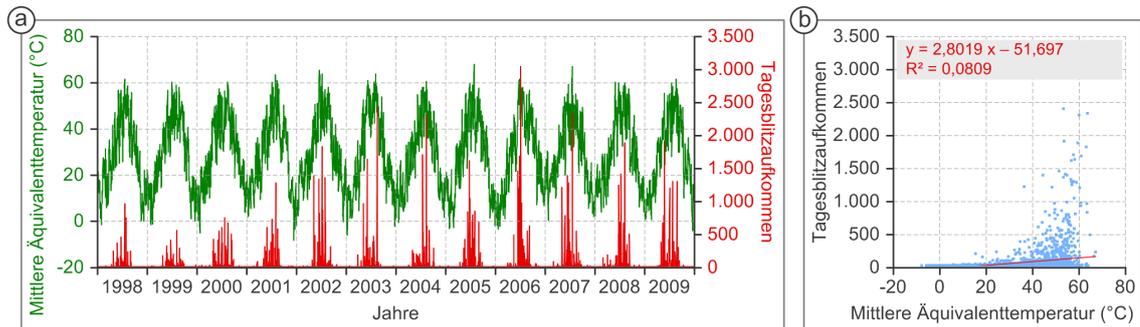


Abb. 53 *Mittlere Äquivalenttemperatur* und *Tagesblitzaufkommen* in Südostoberbayern 1998-2009

[a: Zeitreihe; b: Punktreudiagramm mit Regression; Mittlere Äquivalenttemperatur: Mittelwert der verfügbaren Aufzeichnungen zur Äquivalenttemperatur um 14 Uhr UTC von 15 Stationen (°C); Tagesblitzaufkommen: Wolke-Erde Blitze]

Zwischen Luftdruck<sup>1</sup> und Blitzaktivität ist – wenig überraschend – kein Zusammenhang festzustellen (siehe Abb. 54), da Gewitter über das Jahr nicht nur als Folge sommerlicher Sonneneinstrahlung in Hochdruckgebieten auftreten, sondern auch an Luftmassengrenzen (Fronten), wobei der Luftdruck ebenso abfallen wie ansteigen kann.

<sup>1</sup> Bei der Wetterkennzahl *Mittlerer Luftdruck* ist allerdings zu beachten, dass fehlende Daten einzelner Stationen teils stark variierende Mittelwerte ergeben. So ist der Anstieg des Luftdrucks im Jahr 1998 (Abb. 54) bspw. auf den Ausfall der hoch gelegenen Station Rauschberg (1.640m.ü.M.) zurückzuführen.

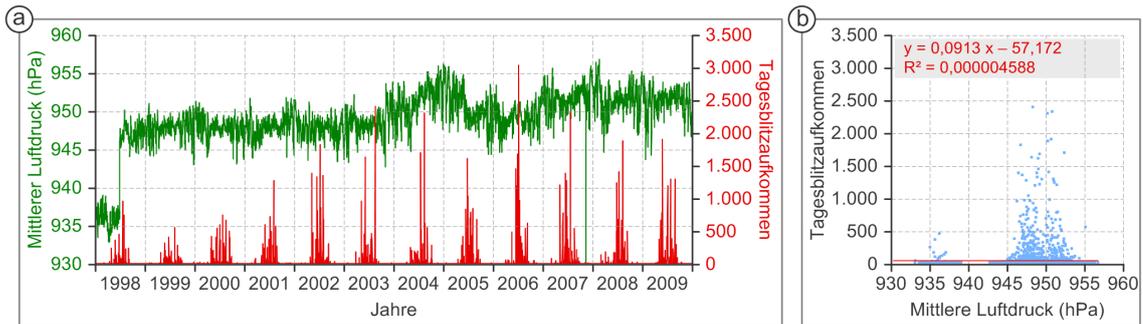


Abb. 54 Mittlerer Luftdruck und Tagesblitzaufkommen in Südostoberbayern 1998-2009

[a: Zeitreihe; b: Punkstreuendiagramm mit Regression; Mittlerer Luftdruck: Mittelwert der verfügbaren Aufzeichnungen zum Luftdruck um 14 Uhr von 15 Stationen UTC (hPa); Tagesblitzaufkommen: Wolke-Erde Blitze]

### Blitzdichte und Schwüle

Nach XIONG et al. (2006) sind Temperatur und Luftfeuchte die bestimmenden Faktoren für die Blitzaktivität. Die Ausprägung dieser Klimaelemente kann durch die Äquivalenttemperatur ausgedrückt werden, wobei laut AUER et al. (2001) ab  $TAE^1 > 56,1^\circ C$  von einem *schwülen Tag* die Rede ist (siehe Kap. 3.6).

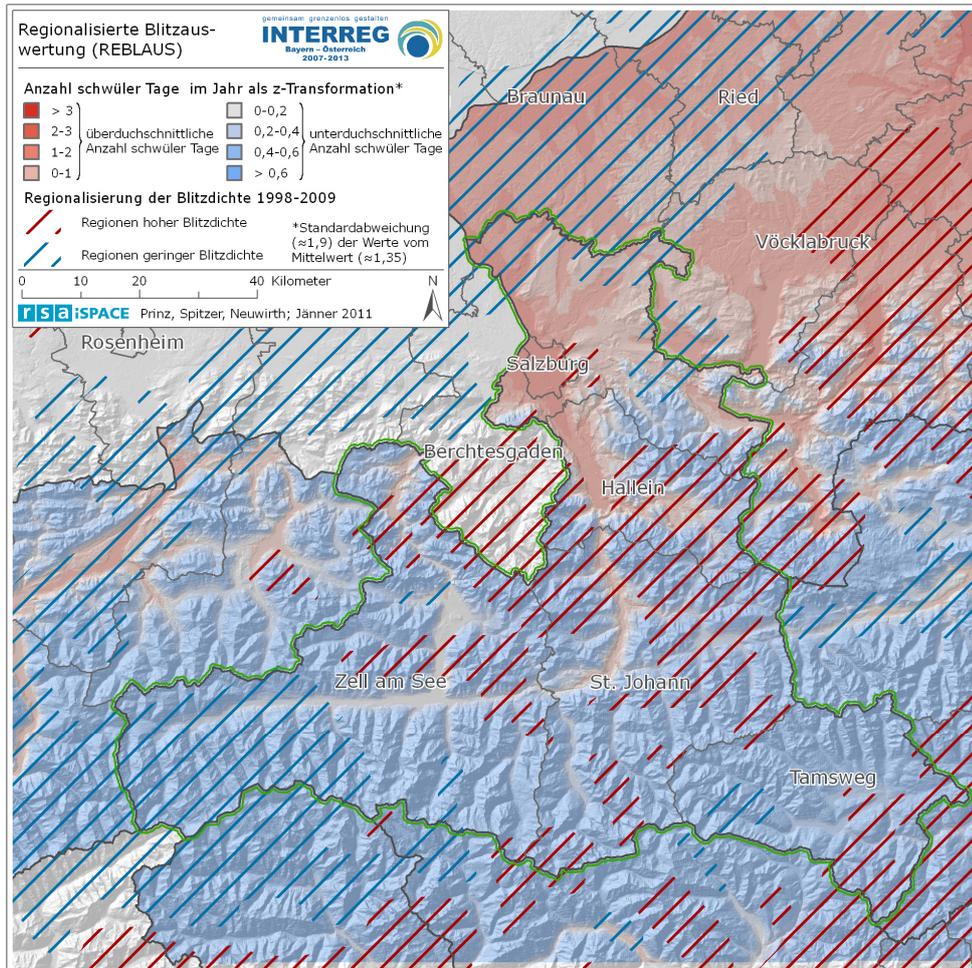


Abb. 55 Durchschnittliche jährliche Anzahl schwüler Tage 1961-1990 (standardisiert) überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte

[zur Regionalisierung siehe Kap. 4.3]

<sup>1</sup> TAE: Äquivalenttemperatur berechnet aus Lufttemperatur und spezifischer Luftfeuchte



Abb. 55 zeigt die Anzahl der schwülen Tage des Zeitraums 1961-1990 in standardisierter Form (z-Transformation), die positive bzw. negative Abweichungen vom Mittelwert im vorliegenden Raumschnitt in der Einheit Standardabweichung (hier 1,9) dargestellt. Bereiche mit rosa bis roter Farbschmierung weisen eine überdurchschnittliche, Gebiete mit grauer bis blauer Farbschmierung eine unterdurchschnittliche Anzahl schwüler Tage im Jahr auf. Um eine visuelle Interpretation der Zusammenhänge zu gewährleisten, sind die schwülen Tage mit den Regionen hoher bzw. geringer Blitzdichte (siehe hierzu Kap. 4.3) überlagert.

Grundsätzlich wäre zu erwarten, dass dort wo häufiger schwüle Tage (höhere Temperaturen und höhere Luftfeuchte) vorkommen die Bedingungen für Entstehung von Wärmegewittern (siehe Kap. 2.1) und damit für höhere Blitzdichten günstig sind. Auf den ersten Blick (Abb. 55) kann diese Annahme nicht bestätigt werden, da sich die Regionen hoher Blitzdichte hauptsächlich über hochgelegenen Gelände – wie bspw. Tennen- oder Hagengebirge (Bezirks Hallein, Landkreis Berchtesgadener Land) oder den Gurktaler Alpen im Südosten (Grenzgebiet Salzburg-Steiermark) – mit vernachlässigbarer Anzahl schwüler Tage befinden. Die Ausnahme bildet eine im Westen des Oberösterreichischen Traunviertels (Umgebung Traunsee) gelegene Region hoher Blitzdichte, die eine überdurchschnittliche Anzahl schwüler Tage aufweist.

Diese paradoxe Situation ist v.a. durch gegensätzliche Abhängigkeit der Variablen von der Höhenlage bedingt. Während mit zunehmender Meereshöhe eine Abnahme der Anzahl schwüler Tage einhergeht, verhält sich die Blitzaktivität bis zur Kulmination bei etwa 1.900m genau gegensätzlich (siehe hierzu Abb. 31). Um diesen höhenbedingten Effekt (Störvariable) in der Regressionsanalyse abzuschwächen, erfolgt die Berechnung für verschiedene Höhenstufen.

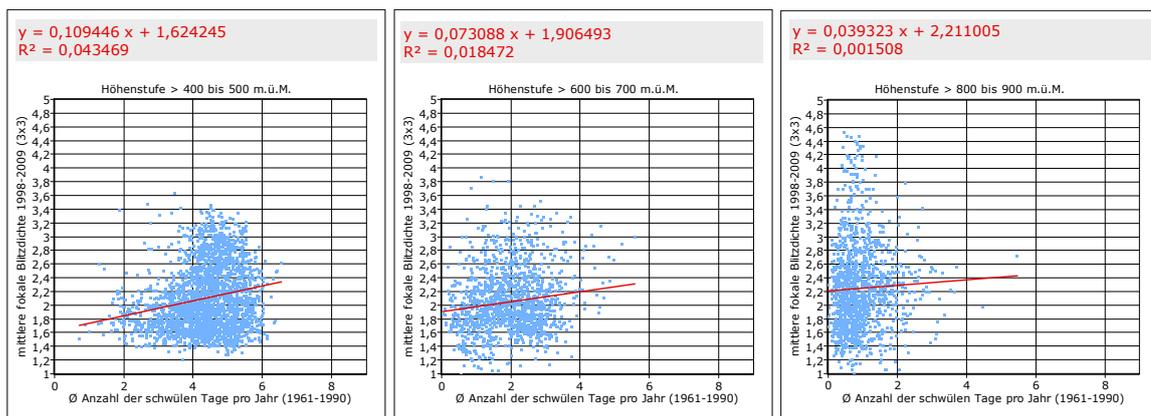


Abb. 56 Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf durchschnittliche jährliche Anzahl schwüler Tage 1961-1990

[Ausschnitte aus Karte 13; links: Höhenstufe 400-500m; Mitte: 600-700m; rechts: 800-900m]

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse für den österreichischen Teil des Analysegebietes in Abb. 56 zeigen für die gewählten Höhenstufen leicht positive und schwache Zusammenhänge, wobei die Zusammenhänge mit zunehmender Höhenlage schwächer werden. Diese Tendenz ist für alle Höhenstufen zu beobachten (siehe Karte 13 im Anhang). Festzuhalten ist, dass in geringerer Höhenlage die Anzahl der schwülen Tage einen eher größeren Einfluss auf die Blitzdichte hat. Dies ist allerdings wenig überraschend, da bereits ab 1.200m Meereshöhe kaum noch Wetterverhältnisse mit einer Äquivalenttemperatur >56,1°C auftreten (AUER et al. 2001).

### 5.3. Blitzschäden und Blitzdichte

Der Zusammenhang zwischen Blitzaktivität und ihrer Schadenswirkung ist u.a. aus Sicht der Risikoprävention und der Sachversicherer von Belang. Unter der Annahme, dass höheres Blitzaufkommen eine größere Zahl an Schäden zur Folge hat, wird hier die raumzeitliche Blitzaktivität den Blitzschäden im Land Salzburg (bereitgestellt vom VVO; siehe dazu Kap. 3.3) gegenübergestellt. Dabei wird naturgemäß nicht die absolute Zahl an Blitzschäden, sondern eine Blitzschadensdichte im Siedlungsraum herange-

zogen, damit in den Auswertungen eine gewisse Verhältnismäßigkeit von Schäden zum Schadenspotenzial erlangt wird:

- **Blitzschadensdichte:** Anzahl der Blitzschäden 2002-2008 je 1.000 Einwohner 2008 und Arbeitsplätze 2001 (Summe)<sup>1</sup>
- **Siedlungsraum:** 1x1km Rasterzellen, die zumindest einen Einwohner 2008 oder Arbeitsplatz 2001 aufweisen<sup>1</sup>

Tab. 13 zeigt eine Übersicht zu den im Zeitraum 2002-2008 stattgefundenen Blitzschäden sowie Blitzeinschlägen für den Siedlungsraum im Land Salzburg differenziert nach Bezirken. Angeführt sind dabei neben der Größe des Siedlungsraumes und der Anzahl an Einwohnern und Arbeitsplätzen auch die entsprechenden Blitzeinschlags- sowie Blitzschadensdichten. Die Kennzahl *Blitze je Schaden* in Tab. 13 dient dabei als Maß für die mittlere Schadenswirkung eines Blitzeinschlages.

Tab. 13 Blitzschäden und Blitzeinschläge 2002-2008 im Siedlungsraum des Landes Salzburg  
[Auswertung auf Basis von Gemeinden]

	Land Salzburg	Salzburg (Stadt)	Salzburg - Umgebung	Hallein	Zell am See	St. Johann	Tamsweg
Siedlungsraum (km²)	2.578	69	734	320	642	582	231
Anzahl der Einwohner 2008 und Arbeitsplätze 2001 (Summe)	769.401	248.739	190.766	75.864	117.467	108.661	27.904
Blitzschäden 2002-2008	Anzahl	7.562 (100%)	656 (8,7%)	1.783 (23,6%)	385 (5,1%)	2.551 (33,7%)	703 (9,3%)
	Schadensdichte	9,8	2,6	9,3	5,1	21,7	25,2
Blitzeinschläge 2002-2008 (Siedlungsraum)	Anzahl	42.519 (100%)	1.096 (2,6%)	11.738 (27,6%)	6.579 (15,5%)	9.458 (22,2%)	4.035 (9,5%)
	Ø jährliche Blitzdichte	2,4	2,27	2,28	2,94	2,10	2,36
Blitze je Schaden (Siedlungsraum)	5,6	1,7	6,6	17,1	3,7	6,5	5,7

Eine hohe Zahl an Schäden geht nicht zwangsläufig mit einer hohen Schadensdichte einher (Tab. 13). Dicht und sehr konzentriert besiedelte Gebiete – wie die Stadt Salzburg – zeigen bspw. angesichts ihrer kleinen Siedlungsfläche mit 656 verhältnismäßig viele Schäden. Zieht man allerdings ihr Schadenspotenzial in Betracht, so ergibt sich eine eher geringe Schadensdichte von 2,6. Gleichzeitig sind aber im Schnitt nur 1,7 Blitzeinschläge erforderlich, um einen einzigen Schadensfall hervorzurufen. Ländliche Siedlungsstrukturen (bspw. Bezirk Salzburg-Umgebung) zeichnen hier ein gegensätzliches Bild: Höhere Schadensdichten aufgrund wenig konzentrierter Streusiedlungsstruktur; verhältnismäßig viele Blitzeinschläge je Schadensfall (vgl. auch GDV 2007). Im Bezirk Hallein verursacht bspw. nur jeder zwanzigste Blitzeinschlag im Siedlungsraum einen Schadensfall. Dennoch können wenige Extremereignisse bei entsprechend ungünstigem Verlauf auch in weniger dicht besiedelten Räumen große Wirkung zeigen. So sind bspw. die Blitzereignisse von drei einzelnen Tagen<sup>2</sup> allein für 1/6 (117) der 703 Schadensfälle im Bezirk Tamsweg ursächlich.

Abb. 57 zeigt Blitzdichte sowie Blitzschadensdichte für den Siedlungsraum aller 119 Gemeinden im Land Salzburg und unterstreicht das oben identifizierte Land-Stadt-Gefälle in der Blitzschadensdichte (schwarze Größenpunkte). Auffällig ist dabei, dass die Schadensdichte offensichtlich weitgehend unabhängig von der Blitzdichte ist. So treten bspw. im Oberpinzgau geringe Blitzdichten gemeinsam mit ho-

<sup>1</sup> Auf Basis des 1x1km Rasters steht die Zahl der Einwohner mit Hauptwohnsitz für 2008 zur Verfügung. Zur Zahl der Arbeitsplätze (Beschäftigte am Arbeitsort) liefert die Volkszählung 2001 (Arbeitsstättenzählung) die jüngsten Informationen (siehe auch Kap. 3.4 zur Regionalstatistik)

<sup>2</sup> 20. Juni 2007: 2.042 Blitzeinschläge mit 37 Schäden; 25. Mai 2007: 634 Blitzeinschläge mit 44 Schäden; 21. Juli 2006: 995 Blitzeinschläge mit 36 Schäden



hen Schadensichten auf; im Salzburger Zentralraum sind dagegen höhere Blitzdichten und geringe Blitzschadensdichten festzustellen. Die Gemeinden Göriach und Lessach (Bezirk Tamsweg) oder Maria Alm, Mühlbach und Dienten (Bezirk Zell am See) weisen Blitzschadensdichten von mehr als 30 auf.

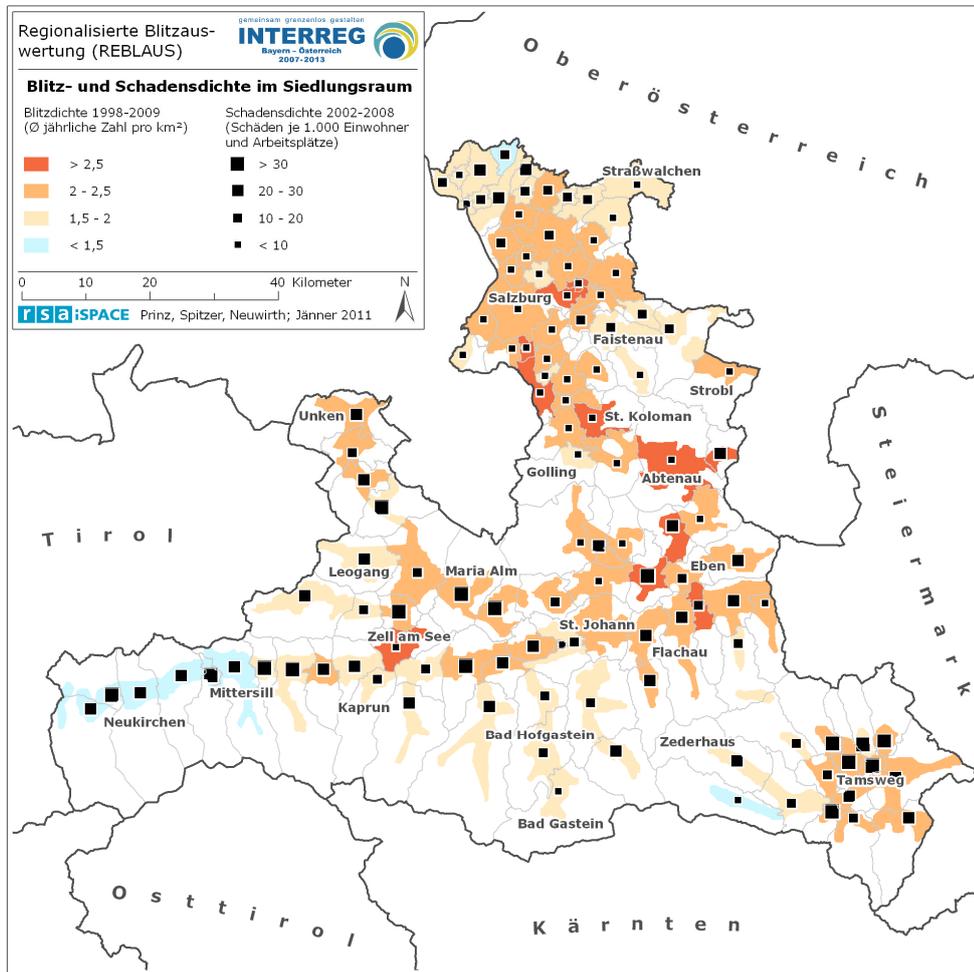


Abb. 57 Blitzdichte und Schadensdichte (2002-2008) im Siedlungsraum der Gemeinden im Land Salzburg [Darstellung des Siedlungsraumes über eine generalisierte kartographische Darstellungsfläche]

Tab. 14 Blitzschäden 2002-2008 nach Blitzdichteklassen [Auswertung auf Basis des 1x1km Rasters]

Fokale Blitzdichte (2002-2008)	Land Salzburg		
	Anzahl der Einwohner 2008 und Arbeitsplätze 2001 (%)	Blitzschäden 2002-2008	
		Anzahl	Blitzschadensdichte
<1	0	0	-
≥1 bis <2	100.214 (13,0%)	1.306 (22,8%)	13,0
≥2 bis <3	622.827 (80,9%)	3.904 (68,3%)	6,3
≥3 bis <4	45.542 (5,9%)	502 (8,8%)	11,0
≥4 bis <5	408 (0,1%)	4 (0,1%)	9,8
≥5	659 (0,1%)	3 (0,1%)	4,6
<b>Summe</b>	<b>769.650</b>	<b>5.719</b>	<b>7,4</b>

Eine Klassifizierung des Siedlungsraums nach der fokalen Blitzdichte 2002-2008 zeigt darüber hinaus, dass sich 2/3 aller Schäden in Räumen mit 2 bis 3 jährlichen Blitzeinschlägen je km<sup>2</sup> ereigneten (siehe Tab. 14), in der sich auch der überwiegende Teil der Siedlungsflächen befindet. Zu erklären ist dies mit

der einerseits bereits in Kap. 5.1 identifizierten Zunahme des Blitzaufkommens mit der Höhe und andererseits mit dem naturgemäß geringen Schadenspotenzial in höheren Lagen.

Die Quantifizierung raumzeitlicher Zusammenhänge zwischen Blitzeinschlägen und Blitzschäden erfolgt im Folgenden: In Abb. 58a ist der zeitliche Ablauf des Blitz- sowie Schadensaufkommens im Zeitraum 2002-2008 tageweise gegenübergestellt. Die Regression in Abb. 58b unterstreicht die offensichtliche Kongruenz mit einer starken zeitlichen Korrelation von  $R^2 = >0,5$ .

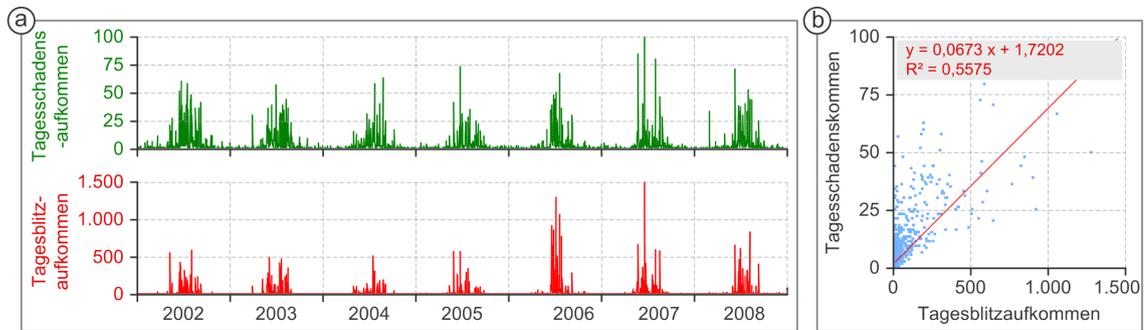


Abb. 58 *Tagesschadensaufkommen und Tagesblitzaufkommen* (Land Salzburg, Siedlungsraum, 2002-2008)

[a: Zeitreihe; b: Punkstreuendiagramm mit Regression; Tagesschadensaufkommen: gemeindegenu verortete Blitzschadensfälle; Tagesblitzaufkommen: Wolke-Erde Blitze]

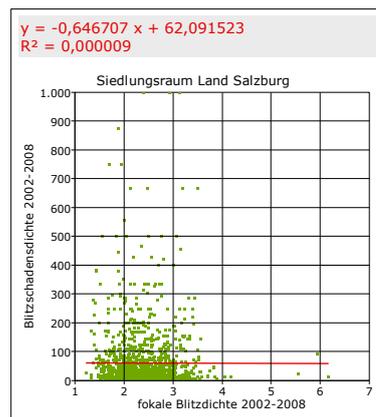


Abb. 59 *Regression von Blitzschadensdichte auf fokale Blitzdichte*

[Zeitraum 2002-2008; 1x1km Raster; Siedlungsraum Land Salzburg]

Im Gegensatz zum zeitlichen (Abb. 58) ist kein räumlicher Zusammenhang von Blitzeinschlägen und Blitzschäden auszumachen, u.a. deshalb, weil die Variation der Blitzdichte innerhalb des Siedlungsraumes gering ist (siehe Tab. 10 und Tab. 13). Abb. 59 zeigt dazu die Regression von Blitzschadensdichte auf Blitzdichte im 1x1km Raster. Dies lässt sich möglicherweise auch auf indirekte Blitzschäden und damit auf eine weniger exakte räumliche Übereinstimmung von Blitzeinschlag und Blitzschäden zurückführen (siehe zur möglichen Entfernung zwischen Blitzeinschlag und Schadensort auch Tab. 16 in Kap. 6.2). Zudem verursacht auch nur im Mittel allerhöchstens 1/5 aller Blitzeinschläge im Siedlungsraum ein Schadensereignis (Tab. 13). Abb. 60 stellt hierzu für die 5.731 adressgenau verorteten Blitzschadensfälle die Distanz für jeden Blitzschaden zum raumzeitlich nächsten Blitzeinschlag und damit zum „wahrscheinlichsten Schadensverursacher“ als absolute sowie kumulierte Häufigkeit dar. Dabei ist das jeweilige Schadensdatum (Tag) die kleinstmögliche zeitliche Auflösung. Etwa ein Viertel aller Schäden ist weniger als 1km vom raumzeitlich nächsten Blitzeinschlag entfernt, die Hälfte weniger als 3km. Für ein Viertel aller Blitzschäden kann erst in einer Entfernung von mehr als 14km am selben Tag ein Blitzeinschlag gefunden werden. Die Ursächlichkeit eines derart weit entfernten Blitzeinschlages für einen Schadensfall ist allerdings anzuzweifeln, da nach Tab. 16 in Kap. 6.2 eine Schadenswirkung ab einer Entfernung von 3km (inkl. Sicherheitszuschlag von 1km) wenig wahrscheinlich ist (siehe auch KERN, DIKTA & KRICHEL 2007).

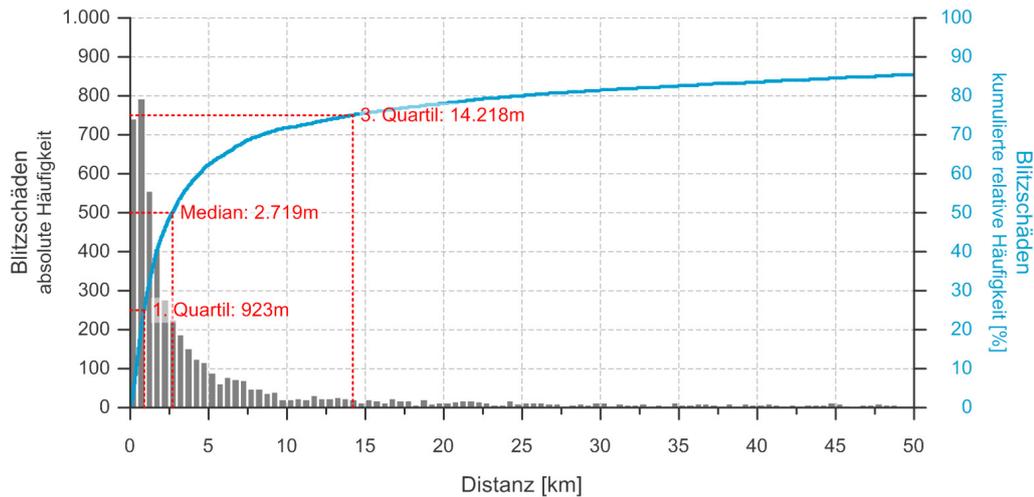


Abb. 60 absolute (links) und relative (rechts) Häufigkeit von Blitzschäden nach Distanz zum raumzeitlich nächsten Blitzeinschlag

[adressgenau verortete Blitzschäden im Land Salzburg, Blitzeinschläge im Reblaus-Analysegebiet, Zeitraum 2002-2008, tageweise Zuordnung]

In Kap. 6.3 wird nach ÖVE/ÖNORM EN 62305-2, Teil Risikomanagement (KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008) die erwartete Anzahl an direkten Blitzeinschlägen in eine bauliche Anlage je Jahr  $N_D$  prototypisch für ein Teilgebiet der Stadt Salzburg flächendeckend berechnet. Der Kehrwert von  $N_D$  gibt an, mit welcher Häufigkeit statistisch mit einem Direkteinschlag zu rechnen ist (bspw. 1 Direkteinschlag alle 100 Jahre). In Abb. 61 sind nun die 475 Blitzschäden in diesem Teilraum der Stadt Salzburg des Zeitraums 2002-2008 mit dem Kehrwert von  $N_D$  (Ergebnis nach Schritt d in Abb. 70) gegenübergestellt. Es wird ersichtlich, dass der überwiegende Teil der Blitzschäden Gebäuden zuzuordnen ist, deren Direkteinschlagsgefahr  $N_D$  aufgrund ihrer Größe (Fläche, Höhe) und Lage in ihrer Umgebung verhältnismäßig hoch ist. Es spiegelt sich hier also die Bebauungsstruktur wider: Ein- und Zweifamilienhäuser, die sich gut in die Siedlungsstruktur integrieren, weisen typischerweise Werte von  $1/N_D > 400$  auf. Die Häufigkeit von Blitzschäden ist auf dieser rechten Hälfte von Abb. 61 mit weniger als  $\frac{1}{4}$  vergleichsweise gering.

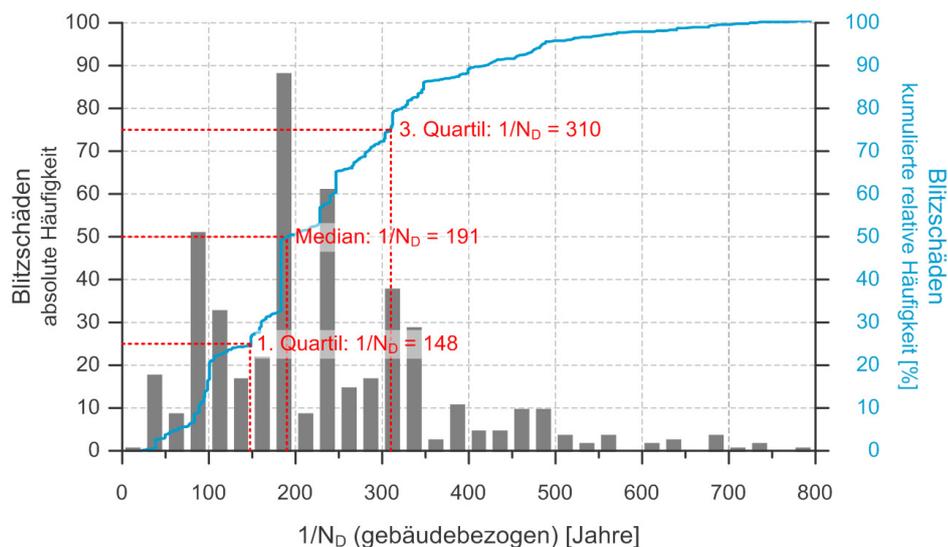


Abb. 61 absolute (links) und relative (rechts) Häufigkeit von Blitzschäden nach dem Kehrwert der erwarteten Anzahl an Direkteinschlägen in eine bauliche Anlage  $N_D$

[475 adressgenau verortete Blitzschäden in einem Teilraum der Stadt Salzburg des Zeitraums 2002-2008, siehe auch Kap. 6.3]



### 5.3.1. Fallstudien schadensreicher Tage

Wie bereits in Kap. 4.4 festgestellt, weist die Blitzaktivität und folglich auch die dadurch verursachte Schadenswirkung einen zeitlich diskontinuierlichen Verlauf auf. So ist das Gesamtschadensaufkommen in der Regel auf wenige Einzelereignisse zurückzuführen.<sup>1</sup> Um den Hergang herausragender Schadensereignisse v.a. in Hinblick auf die damit verbundenen meteorologischen Gegebenheiten nachvollziehbar zu machen, werden die fünf schadensreichsten Tage<sup>2</sup> im Land Salzburg im Zeitraum 2002-2008 (siehe Tab. 15) einer genaueren Betrachtung unterzogen.

Tab. 15 Blitzaktivität im Siedlungsraum an den schadensreichsten Tagen im Land Salzburg (2002-2008)

		20.06.2007	25.05.2007	02.08.2007	25.06.2005	10.06.2008
Anzahl der Blitzschäden	gemeindegau verortet	101	84	80	73	71
	adressgenau verortet	81	67	65	55	57
Blitzeinschläge (Siedlungsraum)	Anzahl	2.042	634	541	526	592
	Tagesgang (UTC)	12:45 - 22:12	11:18 - 18:28	13:12 - 22:42	09:54 - 23:08	13:17 - 21:59

Bezieht man die Schäden der schadensreichsten Tage auf das Wolke-Erde Blitzaufkommen im Siedlungsraum, wird in Tab. 15 deutlich, dass v.a. die Schäden am 20.06.2007 auf eine ausgeprägte Blitzaktivität zurückzuführen sind. Demgegenüber kommt es an allen anderen Schadenstagen zu vergleichsweise geringerem Blitzaufkommen, wobei die erhöhte Schadenswirkung einzelner Blitze eine räumliche Konzentration der Entladungen in dichter besiedeltem Gebiet vermuten lässt. Der Tagesgang weist jeweils einen Gewitterschwerpunkt ab Mittag bis in die späten Abendstunden auf. Lediglich am 25.06.2007 und am 25.05.2007 wurden bereits vormittags Blitze registriert. dabei ist allerdings zu beachten, dass sich die Zeitangabe – wie in der Meteorologie üblich – auf die sog. Koordinierte Weltzeit (UTC) bezieht und daher zur Mitteleuropäischen Zeitzone eine Zeitverschiebung um -1 Stunde (bei Sommerzeit -2 Stunden) vorliegt.

Die Bewertung der Schadenstage beinhaltet die Analyse des räumlichen Zusammenhangs zwischen probabilistischer Tagesblitzdichte (siehe Erläuterungen in Kap. 4.1) und adressgenau verorteten Blitzschäden sowie die Visualisierung des raumzeitlichen Tagesganges der Blitzaktivität. Zur meteorologisch-synoptischen Analyse und Prognose von Gewitter- (und damit) Blitzrisiko wird die allgemeine Wetterlage (Europakarte) und die Thermodynamik der Atmosphäre betrachtet, welche sich routinemäßig anhand von Instabilitäts-Kennzahlen errechnet. Auf folgende fünf Kennzahlen wird dabei zurückgegriffen:

- **K-Index:** Der K-Index kennzeichnet die Konvektion (die Intensität der Vertikalbewegung der Luft) über eine Formel aus den Temperaturen in 850hP, 700hP und 500hP und den Taupunkt in 850hP und 700hP. K-Werte über 30 sprechen für zahlreiche Gewitter. Die Werte werden mittels Radiosonde (Ballonaufstieg mit Messgerät) vom Boden bis in größere Höhen gemessen.
- **TT-Index:** Der Total Totals (TT)-Index errechnet sich aus der Temperaturdifferenz 850hP vs. 500hP und dem Taupunkt in 850hP. Ein TT von 48 tritt bei vereinzelt mittleren und lokal schweren Gewittern auf, ein TT von 52 bei vereinzelt bis verbreitet schweren Gewittern.
- **SWEAT-Index:** Der Severe Weather Threat (SWEAT)-Index ist komplexer und unterscheidet zwischen einfacher und starker Konvektion, indem er den TT ebenso aufnimmt wie Windgeschwindigkeit und -stärke in 850hP und 500hP. SWEAT 250 spricht für starke Sturmentwicklung, ab SWEAT 400 können Tornados auftreten.
- **CAPE-Index:** Der Convective Available Potential Energy (CAPE)-Index berechnet den vertikal integrierten Auftrieb eines aufsteigenden Luftpakets. In die Formel geht auch die Schwerkraft mit

<sup>1</sup> Bsp. Bezirk Tamsweg: 1/6 aller Schäden von sieben Jahren (2002-2008) sind an drei extremen Tagen passiert.

<sup>2</sup> Schadensreichste Tage nach gemeindegau verorteten Blitzschäden



ein. Zwischen CAPE 1.000 und 2.500 tritt mittel unstabiles Wetter auf, ab 2500 hohe Instabilität mit schweren Gewittern.

- **BRN:** Die Bulk Richardson Number (BRN) errechnet die Auftriebsenergie (Instabilität) aus CAPE und der vertikalen Windscherung (Änderung von Windrichtung und -stärke innerhalb von 6.000m). Ab BRN 50 wird die Entwicklung mehrerer Sturmszellen begünstigt.

Ein Vergleich dieser Inhalte mit der Tagesblitzsituation liegt in Fallstudien für die fünf schadensreichsten Tage (Tab. 15) im Anhang (Kap. 9) in Form von Übersichtsblättern zu den Tagessituationen vor.



## 6. Beiträge zur Risikoprävention

Ein vorbeugender Umgang mit Naturgefahren bedarf eines integrativen Risikomanagements durch den Einbezug vieler Disziplinen und Beteiligter, damit wirtschaftliche, ökologische, sozial ausgewogene und damit nachhaltige Schutzkonzepte entwickelt werden können. In der Risikoprävention werden dazu drei grundsätzliche Kategorien von Maßnahmen unterschieden (StMUG 2011; HOLLENSTEIN 1996; vgl. hierzu auch Kap. 1.3):

- **Reduktion der Gefährdung:** Eine Reduktion der Gefährdung wird z.B. durch bauliche Schutzmaßnahmen erzielt. Diese Strategie findet v.a. im Zusammenhang mit Naturgefahren häufig Verwendung. Potenziell gefährliche Prozesse sind dabei bis zu einem gewissen Grad – dem sog. Bemessungsereignis – berechen- bzw. kontrollierbar. Nachteilig an diesem Ansatz ist die häufig mit der Gefährdungsreduktion einhergehende verstärkte Nutzung und die damit verbundene Erhöhung des Risikos bei Ereignissen, die das Bemessungsereignis übersteigen.
- **Reduktion der Exposition:** Unter Reduktion der Exposition versteht man die dauerhafte Verringerung des Risikos durch die Begrenzung der Nutzungsintensität. Hier bedarf es rechtlicher Maßnahmen und sorgfältig vorbereiteter Kommunikationsstrategien zur Umsetzung.
- **Reduktion der Empfindlichkeit:** Von Reduktion der Empfindlichkeit also der Schadensanfälligkeit spricht man, wenn alle Objekte im Prozessraum, die gegenüber diesem Prozess empfindlich sind, temporär aus dem Wirkungsgebiet entfernt werden. Voraussetzung dafür ist die genaue Kenntnis möglicher Ereignisse. Dabei können auch ursprünglich empfindliche Objekte so umgestaltet werden, dass sie unempfindlich für potenziell gefährliche Einflüsse sind.

Aus Sicht der Risikoprävention in der Blitzgefährdung können am ehesten mit den beiden letzten Maßnahmenkategorien entsprechende Schutzkonzepte erstellt werden; die *Reduktion der Gefährdung* erscheint kaum möglich. Maßnahmen zur *Reduktion der Exposition* betreffen meist den Blitzschutz von Personen durch entsprechende Verhaltensregeln (siehe hierzu Kap. 2.5 bzw. das Verhaltensmerkblatt im Anhang). Der Blitzschutz von baulichen und technischen Anlage (siehe Kap. 2.6 und Kap. 2.7) dient der *Reduktion der Empfindlichkeit*.<sup>1</sup>

Für die Entwicklung weiterer oder darauf aufbauender Risikostrategien (bspw. zur Reduktion der Exposition von Gebäuden durch entsprechende Standortwahl, verstärkte Sensibilisierung der Bevölkerung) ist die Gewinnung konkreter Informationen zur Gefährdung notwendig. Gegenständliches Kapitel liefert dazu wesentliches Wissen über die Wahrnehmung des Risikos in der Bevölkerung (Kap. 6.1), über die mögliche Schadenswirkung von Blitzeinschlägen in der Versorgungsinfrastruktur (Kap. 6.2) und über die Möglichkeiten einer großflächigen GIS-gestützten Risikomodellierung (Kap. 6.3).

### Berücksichtigung von Naturgefahren in der Raumordnung

Die Raumordnung bezieht in der Regel naturräumliche Gefährdung in den Grundsätzen und Zielen in Planungsmaßnahmen mit ein. So ist dies bspw. im Salzburger Raumordnungsgesetz 2009 (ROG 2009: LAND SALZBURG 2009) allgemein bestimmt (vgl. auch KANONIER 2004): „Die Bevölkerung ist vor Gefährdung durch Naturgewalten und Unglücksfälle außergewöhnlichen Umfanges sowie vor Umweltschäden, -gefährdungen und -belastungen durch richtige Standortwahl dauergenutzter Einrichtungen und durch Schutzmaßnahmen bestmöglich zu schützen.“

In Bayern ist neben der generellen Absicht v.a. die Berücksichtigung alpiner Naturgefahren (Hangbewegungen, Erosions-, Wildbach- und Lawinenschutz) explizit erklärt (bspw. in Teil B: Ziele und Grundsätze zur nachhaltigen Entwicklung der raumbedeutsamen Fachbereiche des Landesentwicklungsprogramms Bayern 2006: STMWIVT 2006). Speziell seit dem Hochwassers 2002 wird verstärkt die zentrale Rolle der Raumplanung im vorbeugenden Naturgefahrenschutz gesehen. So ist etwa ein Arbeitsschwerpunkt der Österreichischen Raumordnungskonferenz der Jahre 2003 bis 2005 auf den Umgang der Raumord-

<sup>1</sup> So schreibt etwa das Salzburger Bautechnikgesetz (LAND SALZBURG 1976) die Anbringung eines Blitzableiters auf Gebäuden vor, wenn sie a) wegen ihrer Höhe, Flächenausdehnung, Lage und Umgebung, Bauweise, Ein- und Ausbauten, Einrichtungen, ihres Verwendungszweckes oder Inhaltes durch Blitzschlag gefährdet sind; b) größeren Menschenansammlungen dienen; c) vom Standpunkt des Blitzschutzes eine Gefahr für die Nachbarschaft darstellen.



nung mit Naturgefahren gelegt. Zahlreiche Studien und Workshops (bspw. KANONIER 2004) resultieren in der ÖROK-Empfehlung Nr. 52 zum präventiven Umgang mit Naturgefahren in der Raumordnung, die den Schwerpunkt auf die Hochwassergefährdung legt (ÖROK 2005). Deutlich wird, dass das Thema *Naturgefahren* in der jüngeren Vergangenheit verstärkt Eingang in die Raumordnungsinstrumente verschiedener Ebenen – von den Raumordnungsgesetzen über Landesplanungsgesetze und Landesentwicklungsprogramme bis hin zur örtlichen Raumplanung (Flächenwidmungspläne, Bauleitpläne, Bauordnungen, Bautechnikgesetz) – gefunden hat.

Aber auch die Einflussnahme über die Abstimmung von Förderungsstrukturen auf Gefahrenzonenpläne ist eine denkbare Strategie (ÖROK 2005). Denn die Berücksichtigung von Gefahrenzonenplänen lässt sich rechtlich oft schwer erzwingen. Nach WLV (2005) wird daher bspw. im Land Salzburg die Freihaltung von Gefahrenzonen durch den sog. *Hinderungsgrund* gesteuert, welcher bei Nichtbeachtung des Gefahrenzonenplans eine *Hinderung* der Zuteilung staatlicher Förderungen für den Schutz vor Naturgefahren zur Folge hat. Eine diesbezügliche Regulierung kann allerdings nur im Falle räumlich expliziter Naturgefahren erfolgen, deren Magnitude sowie Auftretenswahrscheinlichkeit auch auf lokaler Maßstabsebene quantifizierbar ist. Alpine Naturgefahren wie Murgänge oder Lawinen werden hierzu auf Grundlage der Erfahrung rechtlicher Gutachter unter der Einbeziehung rechnerischer und historischer Verfahren bewertet (WLV 2005). Die Naturgefahr *Unwetter- und Blitzschlag* ist hingegen ein kaum vorhersehbares und räumlich schwierig konkretisierbares Risiko, weshalb in diesem Themenbereich keine grenzscharfe Gefahrenzonierung durchgeführt werden kann. Die Einflussnahme erfolgt daher hier verstärkt über die Verordnung einer Reduktion der Schadensanfälligkeit durch Bauvorschriften (bspw. Blitzschutzvorschrift: ÖVE/ÖNORM EN 62305<sup>1</sup> oder Bautechnikgesetz: bspw. LAND SALZBURG 1976).

Für die Standortwahl von besonders schadensanfälligen oder versorgungsrelevanten Einrichtungen oder technischen Anlagen, von denen im Schadensfall eine Gefährdung ausgeht, ist eine vermehrte Berücksichtigung der Blitz-/ Unwettergefahr geboten, da auch technischer Blitzschutz stets ein gewisses Maß *akzeptablen Risikos* offen lässt und damit keine absolute Ausfall- oder Schadenssicherheit gewährleisten kann. Für die Wahl eines geeigneten Standorts für Windkraftanlagen bspw. stellt die Abschätzung der örtlichen Blitzaktivität einen integralen Bestandteil der ganzheitlichen Risikobewertung dar (SWOBODA 2003). Die Ableitung von Gefährdungsbereichen aus mehrjährigen Aufzeichnungen der Blitzaktivität kann somit als Entscheidungsgrundlage dienen. Anders als bei der für alpine Naturgefahren üblichen Gefahrenzonenplanung ist dies jedoch aufgrund des räumlich zufallsverteilten Charakters der Naturgefahr *Unwetter- und Blitzschlag* lediglich als ergänzende Maßnahme zum obligatorischen Gebäudeblitzschutz sinnvoll. Besondere Anforderungen an den Blitzschutz bestehen aber auch bei hoch sensiblen infrastrukturellen Einrichtungen (wie Krankenhäuser, Gasdruckregelanlagen oder Biogasanlagen)<sup>2</sup>.

## 6.1. Wissensstand der Bevölkerung

Entscheidend für erfolgreiche und zielgerichtete Maßnahmen zur Sensibilisierung der Bevölkerung für *Unwetter- und Blitzgefahr* ist die Kenntnis ihres Informationsstandes. Im Projekt Reblaus wird dieses Wissen – ergänzend zu einer bestehenden langjährigen Studienreihe<sup>3</sup> des Umweltpsychologen Prof. Keul im Fachbereich Psychologie der Universität Salzburg (siehe bspw. KEUL 2009) – durch eine Online-Umfrage auf der Reblaus-Projektwebseite ([www.reblaus-interreg.eu](http://www.reblaus-interreg.eu)) sowie durch schriftliche Befragungen erhoben. Das Fragebogendesign (siehe Fragebogen in Kap. 9 Anhang) orientiert sich dabei auch an den bewährten Verhaltensregeln (z.B. in Kap. 2.5 oder Merkblatt *Was tun, wenn ein Gewitter droht* im Anhang), um eine Überprüfung des Handlungswissens zu ermöglichen. Die Umfrage ist mit Ende Juli 2011 abgeschlossen. Auf der Reblaus-Projektwebseite ([www.reblaus-interreg.eu](http://www.reblaus-interreg.eu)) findet sich seither die Auflösung zu diesem Wissensquiz.

<sup>1</sup> verfügbar über den VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.) oder ÖVE (Österreichischer Verband für Elektrotechnik). Die wesentlichen Inhalte und Neuerungen sind in einer vierteiligen Beitragsreihe im Fachmagazin *Elektrojournal* erschienen, die unter <http://www.aldis.at/blitzschutz/vorschriften.html> zugänglich sind (bspw. KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008).

<sup>2</sup> siehe hierzu bspw. die Fachinformationen des ÖVE zum Blitzschutz unter <http://oek.ove.at/info/fach.html>

<sup>3</sup> Die ersten Erhebungen der Studienreihe wurden im Jahr 2008 im Rahmen des Projektes COST P18 *The Physics of Lightning Flash and Its Effects* in Zusammenarbeit mit ALDIS (Austrian Lightning Detection & Information System) durchgeführt.

Schriftlich befragt wurden im Laufe des Projektes Reblaus 133 Einwohner aus Salzburg und Oberösterreich, 108 aus Südbayern, 46 österreichische Akademiker und 60 Nutzer von *Aldis mobile* (Gewitterwarnplattform: <http://mobile.aldis.at>). Damit hat die Gesamtstichprobe mit inzwischen etwa 900 Befragten eine hohe Repräsentativität. Die Ergebnisse sind teilweise beruhigend teilweise zeigen sie aber Wissenslücken auf:

Generell halten sich etwa 70% zum Thema *Gewitter* für gut informiert. Bayern beziehen ihre Information dabei v.a. aus dem Fernsehen, Österreicher auch aus dem Internet (Abb. 62 links). Bis zu 30% der Befragten geben i.Allg. an, Angst vor Gewittern zu haben; Nutzer von Aldis mobile dagegen nur zu 12% (Abb. 62 rechts).

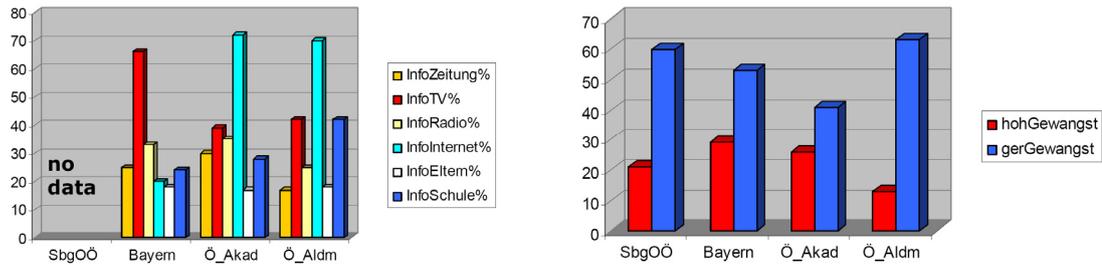


Abb. 62 Anteil der Gewitterinformationsquellen (links); Anteil der Befragten mit Gewitterangst (rechts)

[SbgOÖ: Salzburger / Oberösterreicher; Bayern: Südbayern; Ö\_Akad: österr. Akademiker; Ö\_Aldm: Nutzer Aldis mobile; hohGewangst: große Gewitterangst; gerGewangst: geringe Gewitterangst]

Als Testaufgabe ist aus einer Zeitspanne zwischen Blitz und Donner (3 Sekunden) die Entfernung zu berechnen.<sup>1</sup> Etwa ¾ der Akademiker und Nutzer von Aldis mobile aber nur etwa 30% der breiten Bevölkerung lösen diese Fragestellung richtig (siehe Abb. 63 links). Dabei passiert oft ein typischer Laienfehler mit der Gleichsetzung von Sekunden und Kilometer (Abb. 63 rechts). Insgesamt liegt hier die ländliche etwas besser als die städtische Bevölkerung (KEUL 2009).

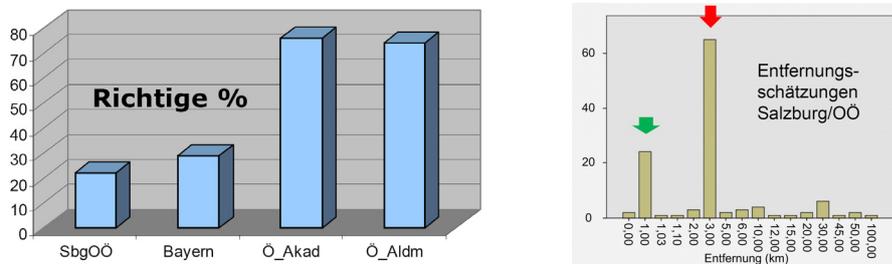


Abb. 63 Anteil richtiger Entfernungsabschätzung (links); Häufigkeit der Entfernungsabschätzung in km der Salzburger / Oberösterreicher (rechts)

[SbgOÖ: Salzburger / Oberösterreicher; Bayern: Südbayern; Ö\_Akad: österr. Akademiker; Ö\_Aldm: Nutzer Aldis mobile; grüner Pfeil: richtig (1km), roter Pfeil falsch (3km)]

Die Zahl jährlicher Blitzeinschläge pro Quadratkilometer im Alpenvorland (im Schnitt etwa 1-2 Blitze, siehe Kap. 4.2) wird meist überschätzt, auch von Akademikern. Besser sieht es hingegen beim medizinischen Notfall aus: Über 60% wissen, dass ein Blitztreffer Herzstillstand auslösen kann und sofort Beatmung und Herzmassage notwendig sind (siehe Abb. 64).

<sup>1</sup> Um eine ungefähre Entfernungsabschätzung vorzunehmen, kann die Zeitspanne zwischen Blitz und Donner in Sekunden gezählt werden. Da die Schallgeschwindigkeit etwa 340m/s beträgt, ergibt die Teilung der gezählten Zeitspanne durch 3 eine näherungsweise Entfernung des eigenen Standortes zum Gewitter in km.

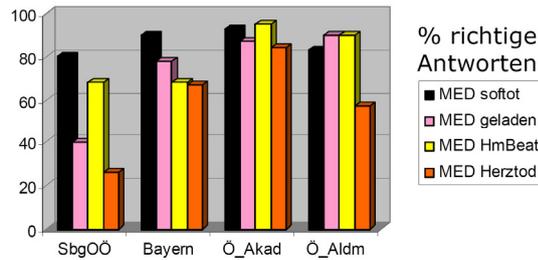


Abb. 64 Anteil richtiger Antworten zu medizinischem Wissen

[SbgOO: Salzburger / Oberösterreich; Bayern: Südostbayern; Ö\_Akad: österr. Akademiker; Ö\_Aldm: Nutzer Aldis mobile; softly: Blitzopfer sind sofort tot; geladen: Blitzopfer sind elektrisch geladen; HmBeat: bei Blitzopfern ist Herzmassage / Beatmung notwendig; Herztod: Blitztod ist ein Herztod]

Die Mehrheit der Befragten lehnt abergläubische Inhalte (z.B. Kirchenglocken vertreiben Gewitter) ab. Dennoch glauben viele fälschlicherweise, dass ein eingeschaltetes Mobiltelefon Blitze anzieht. Elementare Tipps zur Sicherheit bei Gewitter sind den meisten bekannt: Nicht unter Bäume stellen, raus aus dem Wasser, weg von Hochspannungsmasten, Waldrändern, Zäunen, hinein in ein Gebäude oder ins Auto. Dennoch wissen in Salzburg und Oberösterreich nur 30-40%, dass man sich im Freien im Notfall mit geschlossenen Füßen hinkauern und drei Meter Abstand zu Bäumen oder anderen Objekten halten soll. In Bayern wiederum ist nur etwa 30% der Befragten bekannt, dass auch eine (trockene) Geländemulde Schutz bieten kann (siehe Abb. 65 und Abb. 66).

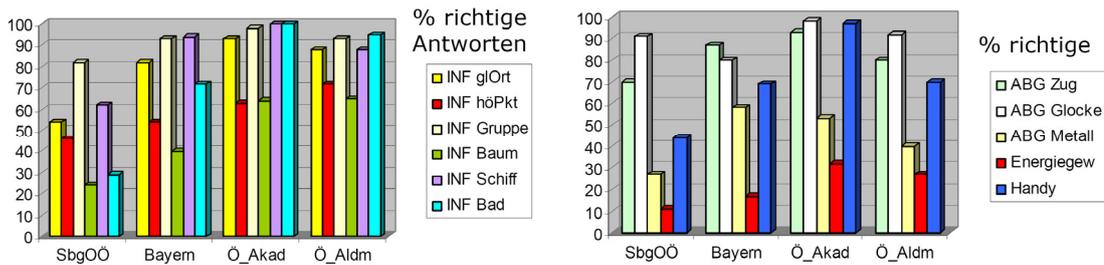


Abb. 65 Anteil richtiger Antworten zu Blitz-Mythen

[SbgOO: Salzburger / Oberösteircher; Bayern: Südostbayern; Ö\_Akad: österr. Akademiker; Ö\_Aldm: Nutzer Aldis mobile; gOrt: Blitzschlag nie zweimal am selben Ort; höPkt: Blitzschlag immer am höchsten Punkt; Gruppe: in Gruppe ist man sicher; Baum: unterschiedliches Blitzaufkommen nach Baumarten; Schiff: auf einem Schiff ist man sicher; Bad: im Wasser ist man sicher; Zug: Zugluft kann Blitz anziehen; Glocke: Kirchenglocken vertreiben Gewitter; Metall: Metall zieht Blitze an; Energiegew: Aus Blitzen kann man viel Energie gewinnen; Handy: Mobiltelefon zieht Blitze an]

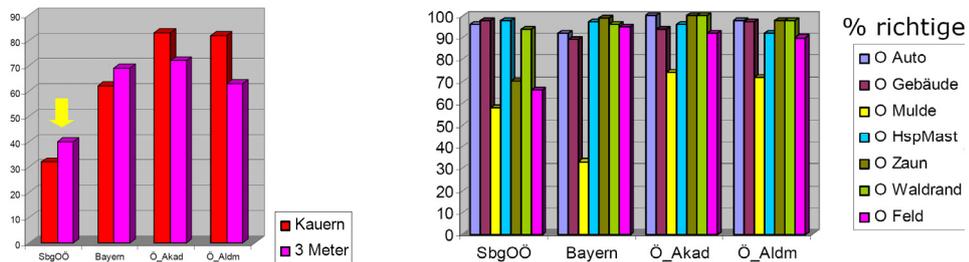


Abb. 66 Anteil richtiger Antworten zum Notfall-Verhalten bei Gewitter

[SbgOO: Salzburger / Oberösteircher; Bayern: Südostbayern; Ö\_Akad: österr. Akademiker; Ö\_Aldm: Nutzer Aldis mobile; Kauern: mit geschlossenen Füßen in der Hocke kauern; 3 Meter: drei Meter Abstand zu Bäumen; Auto: Auto bietet Schutz; Gebäude: Gebäude bietet Schutz; Mulde: Mulde bietet Schutz; HspMast: unter Hochspannungsmast ist man sicher; Zaun: neben Metallzaun ist man sicher; Waldrand: am Waldrand ist man sicher; Feld: auf offenem Feld ist man sicher]

Auf einer Liste von Naturgefahren (Sturm, Nebel, Hitze, Gewitter, Lawinen etc.) wird Gewittern und Blitzen meist eine mittlere Gefährlichkeit zugeordnet. Vom Standpunkt der Sicherheit kann aber jedes Gewitter im Freien ungeschützt sehr gefährlich werden.



Die Wahrnehmung des Risikos in der Bevölkerung ist im Grunde zufriedenstellend: Der allgemeine Wissensstand ist hoch, das medizinische Wissen erscheint gut und abergläubische Inhalte gibt es kaum mehr. Das „überlebenswichtige“ Handlungswissen zum richtigen Verhalten bei Gewitter ist aus der Umfrage zwar als beruhigend zu beurteilen, allerdings stellt sich die Frage, ob dies auch in der Praxis tatsächlich so umgesetzt wird. Hier bestehen aber teils noch spezifische Wissenslücken (Hocke, drei Meter Abstand zu Bäumen etc.).

## 6.2. Schadenswirkung von Blitzeinschlägen auf die Stromversorgung

In diesem Abschnitt werden die in Kap. 2.4 beschriebenen Wirkungen von Blitzeinschlägen mit Betrachtungen über das Stromnetz kombiniert. So wird abgeschätzt, in welchem Maße ein Blitzeinschlag in Freileitungen auf der Mittel- oder der Niederspannungsebene Schäden in Haushalten verursachen kann. Daraus werden über ein stochastisches Rechenmodell in Kap. 6.2.1 Aussagen über die Rentabilität von Blitzschutzmaßnahmen abgeleitet.

### Studie zur örtlichen Verteilung von Blitzschäden

Eine im Auftrag der deutschen Versicherungswirtschaft erstellte Studie der FH Aachen (KERN, DIKTA & KRICHEL 2007) erarbeitet eine Abschätzung der Entfernung, bis zu der von einem Blitz Schäden erwartet werden können. Dazu werden über 35.000 verortete Schadensmeldungen aus dem Jahr 2005 mit Blitzpositionen in Verbindung gebracht. Aus diesen Daten wird ein mathematisches Modell für die Schadenswahrscheinlichkeit als Funktion mehrerer Parameter nachgebildet.

Schlägt ein Blitz in einer Entfernung von mehr als 2.000m vom Schadensort ein, ist auch unter ungünstigsten Bedingungen ein Schadenseintritt an elektronischen Geräten in höchstem Maße unwahrscheinlich. Einzelne, frei stehende Gebäude, die mittels eigener Stickleitung an das Stromnetz angeschlossen sind, können bis zu einer Entfernung von 2.000m zum Einschlagsort des Blitzes unter ungünstigen Bedingungen von einem Überspannungsschaden betroffen sein. In dörflicher Umgebung ist ein Schadenseintritt bei einem Abstand von mehr als 1.000m unwahrscheinlich. Dieser Wert sinkt auf 500m in städtischer/vorstädtischer Umgebung. Tab. 16 zeigt die maximalen Entfernungen zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort, bis zu der noch eine signifikante Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Schaden durch einen Blitzeinschlag verursacht wird.

Tab. 16 Maximale Entfernung zwischen Blitzeinschlag und Schadensort, in der eine signifikante Schadenswahrscheinlichkeit besteht

[KERN, DIKTA & KRICHEL 2007]

Einkopplung	Stadt	Vorstadt	Dorf	Sonderfall
Induktion	500m	500m	700m	700m
Leitung	200m	500m	1.000m	2.000m

Diese Entfernungen werden den Versicherungen zur Plausibilitätsprüfung von Schadensmeldungen von Blitzschäden empfohlen. Da Blitzortungssysteme selbst noch eine Ortungsunsicherheit (siehe hierzu Kap. 2.3) haben, wird in der Studie empfohlen, eine Sicherheitsmarge von 1.000m zu addieren.

### 6.2.1. Stochastisches Modell

Ausgehend von der Blitzdichte  $n_{\text{Blitz}}$  pro Jahr pro Quadratkilometer in einem zu betrachtenden Gebiet sollen die erwarteten jährlichen Kosten durch Blitzschäden abgeschätzt werden, die durch Einschläge in das Stromnetz verursacht werden. Hierzu wird folgender Modellierungsansatz gewählt. Die jährlichen Folgekosten durch Blitzschäden  $K_{\text{Blitz}}$  in der Einheit €/a werden über folgenden Ansatz berechnet:

$$K_{\text{Blitz}} = N_{\text{Schad}} \cdot K_{\text{Schad}}$$

Darin bezeichnet  $K_{\text{Schad}}$  die Schadenskosten in € für den Fall, dass ein Blitz im Stromnetz auftritt. Die Größe  $N_{\text{Schad}}$  quantifiziert die Häufigkeit eines Blitzes mit Schadenswirkung in der Einheit 1/a.

Zur Abschätzung von  $K_{Schad}$  werden Daten zur durchschnittlichen Schadenshöhe bei gemeldeten Blitzschäden des Versicherungsverbandes Österreich (VVO) herangezogen. Zur Verfügung stehen insgesamt 130.000 anonymisierte Schadensmeldungen aus dem Zeitraum von 2001 bis 2010. Die ermittelten Beträge werden nach den Kategorien *Gebäude* und *Inhalt* unterteilt, je nachdem ob Schäden am Gebäude selbst oder an Gegenständen im Haushalt auftreten. Die durchschnittlichen Kosten je Schadensfall sind in Tab. 17 zusammengefasst.

Tab. 17 Durchschnittliche Schadenshöhe je Meldung, wenn Schadensbetrag größer null  
[VVO - Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs]

	Blitz zündend	Blitz nicht zündend	Überspannung durch Blitz	Fallzahl
Gebäude	38.886€	1.851€	486€	ca. 45.000
Inhalt	583€	1.033€	258€	ca. 85.000

Abb. 67 links zeigt die durchschnittliche Schadenshöhe je Meldung in logarithmischem Maßstab. Zündende – also Feuer verursachende – Blitzeinschläge verursachen am Gebäude deutlich höhere Schäden als nicht zündende Einschläge oder Überspannung. In der rechten Hälfte werden die absoluten jährlichen Gesamtschäden für die Schadensarten verglichen. Da Schäden durch Überspannung weit über 90% aller Schadensfälle ausmachen, tragen sie trotz der vergleichsweise niedrigen Kosten von unter 500€ je Fall mit über 2.000.000€ Schadenshöhe je Kategorie den größten Anteil an den durch Blitze verursachten Schäden.

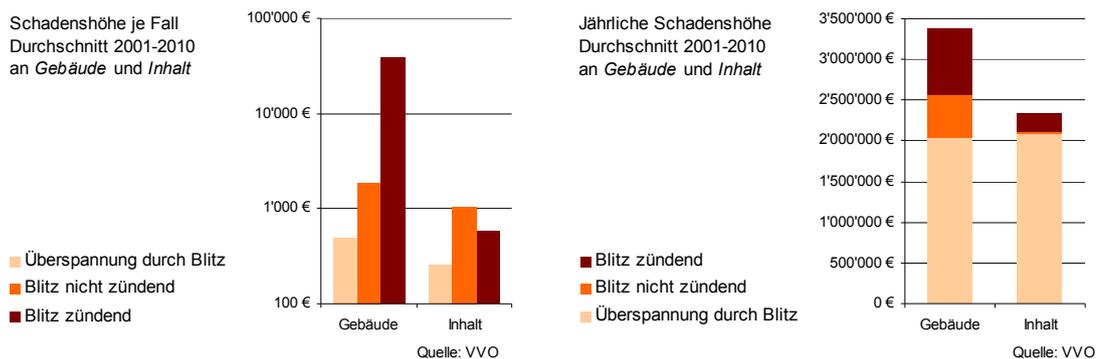


Abb. 67 Durchschnittlicher Betrag je Schadensmeldung (links) und jährliche Gesamtschadenshöhe (rechts)  
[VVO - Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs]

Dieser Umstand wird in Abb. 68 detaillierter analysiert. Sie stellt die Verteilung der Schadensmeldungen unterteilt nach Schadensart dar, links für Gebäude, rechts für den Inhalt. In beiden Fällen machen Überspannungsschäden jeweils knapp 95% aller Schadensereignisse aus. Direkt daneben ist jeweils noch die prozentuale Verteilung der gesamten jährlichen Schadenszahlungen gezeigt. Trotz der verschwindend geringen Anzahl von Ereignissen zündender Blitze bei Gebäudeschäden von 0,5% machen sie – mit fast 40.000€ Schaden pro Fall – knapp ein Viertel der Gesamtkosten für Gebäudeschäden aus. Nicht zündende Blitze stellen 5% der gemeldeten Schadensereignisse, jedoch über 15% der Schadenskosten.

Schäden am Gebäudeinhalt gehen sowohl nach der Fallzahl als auch monetär zu 90% von Überspannung aus. Nicht zündende Blitzeinschläge sind für den Gebäudeinhalt mit einem Anteil von 0,2% vernachlässigbar selten.

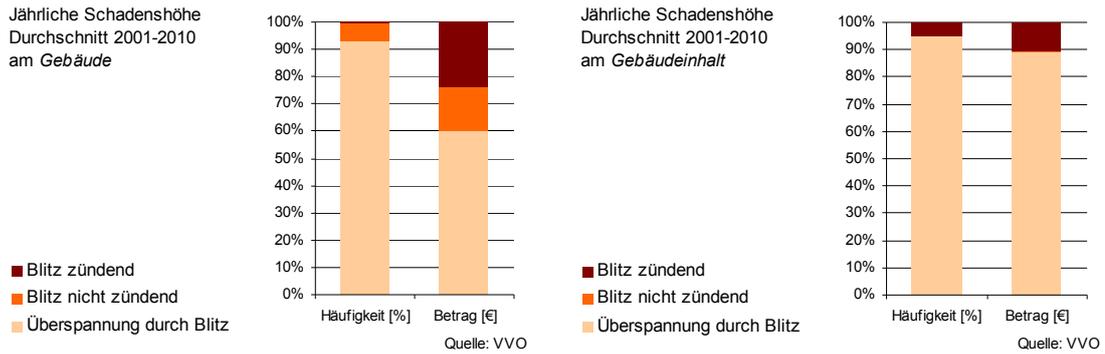


Abb. 68 Verteilung von Häufigkeit und Schadenshöhe nach Blitzart für Gebäudeschäden (links) und Schäden am Gebäudeinhalt (rechts)

[VVO - Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs]

Bildet man das gewichtete Mittel über die Schadenskosten für Überspannungsschäden über Gebäude- und Inhaltsschäden, so erhält man einen durchschnittlichen Wert von 365€. Über alle Schadensarten gemittelt, also unter Einschluss direkter Blitzschläge, erhöht sich dieser Wert auf 478€. Damit werden die Schadenskosten pro Schadensfall  $K_{Schad}$  auf 350€ bis 500€ eingegrenzt.

Was bleibt, ist die Modellierung der Häufigkeit  $N_{Schad}$  von Blitzen, die Schäden bei Endverbrauchern anrichten. Diese Größe wird zunächst einmal von der Blitzdichte  $n_{Blitz}$  (siehe Kap. 4) bestimmt. Diese wird weiträumig zunächst durch das Vorkommen von Gewittern, lokal durch zahlreiche Faktoren wie der Topographie, Vegetation und Bebauung beeinflusst. Durch Messung und Verortung von Blitzen können statistische Aussagen über diese Größe getroffen werden. So liegt die durchschnittliche Blitzdichte für das Land Salzburg bei 2,35 Blitzen pro  $km^2$  und Jahr (siehe Tab. 2). In anderen Regionen können diese Werte aber sehr stark abweichen und reichen von 0,75 im Raum Wien bis hin zu 4,0 in Gegenden der Steiermark (vgl. auch Karte 02 im Anhang).

Für die Untersuchung eines konkreten Schadensfalls an einem bestimmten Objekt geht man über von dieser flächenbezogenen Größe hin zur objektbezogenen Blitzhäufigkeit  $N_{Blitz}$ . Sie zählt die jährlichen direkten Einschläge in ein untersuchtes Objekt mit der äquivalenten Fangfläche  $A$ .

$$N_{Blitz} = A \cdot n_{Blitz}$$

In Abb. 69 wird die Berechnung von  $A$  exemplarisch für ein freistehendes, quaderförmiges Gebäude mit den Seitenlängen  $B$  und  $L$  sowie der Höhe  $H$  dargestellt. Ist das Gebäude nicht freistehend oder besonders exponiert, werden Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung von Standort und Bebauungsdichte mit der Fangfläche verrechnet (siehe Tab. 20 in Kap. 6.3). In Rahmen des gegenständlichen stochastischen Modells wird von Korrekturfaktoren kein Gebrauch gemacht.

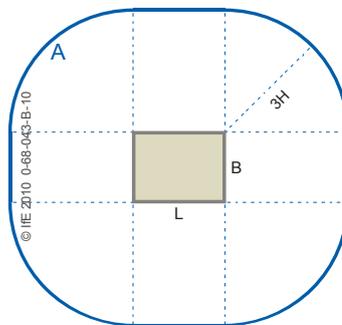


Abb. 69 Äquivalente Fangfläche eines freistehenden Gebäudes  
[nach DEHN+SÖHNE 2007]

Da im Folgenden jedoch nicht die Blitzeinschläge in ein Gebäude, sondern für elektrische Versorgungsleitungen abgeschätzt werden sollen, wird hier ein anderes Rechenverfahren angewandt. In Tab. 18

werden Formeln zur Berechnung der äquivalenten Fangflächen für Einschläge in und neben Stromleiter gemäß EN 62305-2 (siehe hierzu auch Kap. 2.4.3) gezeigt. Dabei ist L die Länge und h die Höhe des Leiterseils über Grund. Der spezifische Widerstand  $\rho$  des Erdbodens wird hier zu  $500\Omega\text{m}$  angenommen. Die Formel für Freileitungen legt einen Korridor um die Leitung, der sich beidseitig von der Leitung um ihre dreifache Höhe erstreckt und ähnelt damit strukturell dem Verfahren zur Berechnung der Fangfläche eines Gebäudes. Zur Abschätzung der indirekten Fangfläche wird dieser Korridor beidseitig auf 500m erweitert.

Tab. 18 Berechnung der äquivalenten Fangflächen von Stromleitern (nach EN 62305-2)

	$A_d$ (Direkter Einschlag)	$A_i$ (Indirekt in Umgebung)
Freileitung	$6 \cdot h \cdot L$	$1000 \cdot h \cdot L$
Erdkabel	$L \cdot \sqrt{\rho / (\Omega\text{m})} \cdot \text{m}$	$25 \cdot L \cdot \sqrt{\rho / (\Omega\text{m})} \cdot \text{m}$

Wendet man diese Formeln auf die Kennzahlen des Stromnetzes im Land Salzburg an, so erhält man die in Tab. 19 angegebenen Werte. Die Fangfläche für direkte Blitzeinschläge auf Mittelspannungsebene  $A_{Md} = 237\text{km}^2$  ist mit der auf Niederspannungsebene  $A_{Nd} = 267\text{km}^2$  vergleichbar. Diese beiden Werte sind jedoch nicht direkt zu addieren, da nicht jeder Blitzeinschlag auf der Mittelspannungsebene zu einer Wirkung auf Niederspannungsebene führt. Die Wahrscheinlichkeit hierfür werde mit  $p_{M2N}$  bezeichnet. Damit ergibt sich für die Niederspannungsebene des Versorgungsnetzes im Land Salzburg folgende objektbezogene Blitzhäufigkeit:

$$N_{\text{Blitz},d} = n_{\text{Blitz}} \cdot (A_{Md} \cdot p_{M2N} + A_{Nd})$$

Dabei repräsentieren  $A_{Md}$  und  $A_{Nd}$  die äquivalenten Fangflächen des Mittel- bzw. Niederspannungsnetzes (Summe Erdleitung und Freileitung) für direkte Blitzeinschläge aus der Spalte  $A_d$  in Tab. 19. Je nach Größe von  $p_{M2N}$  sind so Werte für  $N_{\text{Blitz},d}$  zwischen  $627\text{a}^{-1}$  und  $1.184\text{a}^{-1}$  zu erwarten.

Tab. 19 Äquivalente Fangfläche der Versorgungsleitungen im Land Salzburg

		L (km)	h (m)	$A_d$ (km <sup>2</sup> )	$A_i$ (km <sup>2</sup> )
Mittelspannung	Freileitung	2.109	15	190	2.109
	Erdkabel	2.082	-	47	1.164
Niederspannung	Freileitung	1.085	8	52	1.085
	Erdkabel	9.632	-	215	5.385

Diese Werte werden nun mit Hilfe der Versicherungsstatistik auf Plausibilität überprüft. Die Stichprobe umfasst einen Zeitraum von 10 Jahren und beinhaltet etwa 130.000 Fälle von Blitzschäden auf Basis einer Grundgesamtheit von etwa 500.000 Versicherten. Dies entspricht 0,026 Schäden pro Kunde und Jahr. Geht man davon aus, dass die Kundenzahl mit der Zahl der versicherten Haushalte in etwa identisch ist und multipliziert man die Schadenshäufigkeit pro Kunde mit 220.000 Haushalten im Land Salzburg, so ergibt sich eine erwartete Schadenshäufigkeit von  $5.720\text{a}^{-1}$ . Dies liegt deutlich über dem abgeschätzten Wertebereich von  $N_{\text{Blitz},d}$ , der bislang jedoch nur direkte Einschläge ins Stromnetz berücksichtigt. Das heißt, direkte Blitzeinschläge verursachen selbst im ungünstigsten Fall maximal 20% der Schadensfälle.

Schätzt man  $N_{\text{Blitz},i}$  analog für indirekte Blitzeinschläge ab, so fällt zunächst auf, dass die Summe der äquivalenten Fangflächen  $A_i$  größer ist als die Gesamtfläche des Landes Salzburgs. Dies liegt daran, dass jede Versorgungsleitung einen extrem breiten Korridor zugeschrieben bekommt. Während dies bei der Betrachtung von Einzelobjekten akzeptabel ist, führt die Vorgehensweise bei einer großflächigen Rechnung zu starken Überlappungen der Fangflächen untereinander, insbesondere auf der Niederspannungsebene, das als Verteilnetz in Siedlungsgebieten sehr engmaschig ausgebaut ist. Man erhält als Bereich für  $N_{\text{Blitz},i}$  Werte zwischen  $15.204\text{a}^{-1}$  und  $22.896\text{a}^{-1}$ . Diese sind nun um einen Faktor 3 bis 4 größer als die aus Versicherungsdaten abgeschätzte jährliche Schadenshäufigkeit von  $5.720\text{a}^{-1}$ . Diese Diskrepanz kann nun daraus resultieren, dass die Versicherungsdaten die Zahl der tatsächlichen Scha-



denfalls unterschätzen, die Abschätzung der äquivalenten Fangflächen die Zahl indirekter Blitzeinschläge überschätzt, oder dass nicht jedes Blitzereignis zu einem Schadensfall führt. Ohne zusätzliche Daten zur Häufigkeit des Auftretens von Überspannungen im Stromnetz, ohne Schadensfall beim Endverbraucher kann nicht abgeschätzt werden, wie hoch der Anteil der genannten Fehlerquellen tatsächlich ist.

Das Vorhandensein von Schutzeinrichtungen im Stromnetz bzw. beim Endverbraucher sorgt dafür, dass nicht jeder Blitzeinschlag auch zu einem Schadensfall führt. Dies wird über die Schadenswahrscheinlichkeit  $p_{\text{Schad}}$  modelliert. Somit erhält man für die Zahl von Schadensereignissen pro Jahr folgenden Ausdruck:

$$N_{\text{Schad}} = N_{\text{Blitz}} \cdot P_{\text{Schad}}$$

Nimmt man an, dass direkte Blitzeinschläge zu 100% zu einem Schadensfall führen, können knapp 1.200 der etwa 5.700 Schadensfälle pro Jahr auf sie zurückgeführt werden. Die verbleibenden rund 4.500 Schadensfälle würden dann durch indirekte Blitzwirkungen verursacht. Je nach dem verwendeten Wert von  $N_{\text{Blitz}}$ , zwischen  $15.000\text{a}^{-1}$  und  $23.000\text{a}^{-1}$  lässt sich daraus auf eine Schadenswahrscheinlichkeit von 20% bis 30% für indirekte Einschläge folgern.

### 6.3. Modellansatz zum gebäudebezogenen Blitzrisiko in GIS

Wie in Kap. 2.4.3 und auch Kap. 6.2 bereits angesprochen wird nach ÖVE/ÖNORM EN 62305-2, Teil Risikomanagement (KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008) die erwartete Anzahl an direkten Blitzeinschlägen in eine bauliche Anlage je Jahr auf Basis der objektbezogenen Blitzdichte, der Gebäudegrundfläche und -höhe unter Einbezug von Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung von Standort und Bebauungsdichte abgeschätzt. Gegenständliches Kap. 6.3 skizziert einen prototypischen Ansatz zur großräumigen Abschätzung eines Teils der Schadensursachen<sup>1</sup> des Gesamtrisikos  $R^2$  in einem Geographischen Informationssystem für einen Ausschnitt der Stadt Salzburg:

#### → Erwartete Anzahl an Direkteinschlägen in eine bauliche Anlage $N_D$ <sup>1</sup>

Nach KERN, LANDERS & DIENDORFER (2008) gilt für diese erwartete Anzahl an Direkteinschlägen je Jahr in eine bauliche Anlage  $N_D$ :

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6}$$

Darin bezeichnet  $N_g$  die objektbezogene fokale Blitzdichte<sup>3</sup>,  $A_d$  die äquivalente Fangfläche der baulichen Anlage und  $C_d$  einen Standortfaktor, der den Einfluss der näheren topographischen Umgebung (Bebauung, Gelände, Bäume) parametrisiert.<sup>4</sup>

Die äquivalente Fangfläche  $A_d$  wird aus den Gebäudegrundrissen der digitalen Katastralmappe DKM (siehe Abschnitt Kataster in Kap. 3.5), die für einen Ausschnitt der Stadt Salzburg mit Gebäudehöhen<sup>5</sup> versehen ist, berechnet, indem ein Puffer mit der Distanz der dreifachen Gebäudehöhe um jeden Grundriss gelegt wird (vgl. hierzu die Illustration Abb. 69). Der Standortfaktor  $C_d$  kann in Abhängigkeit der relativen Lage des Gebäudes zu seiner Umgebung die Werte in Tab. 20 annehmen und wird aus Meeres-

<sup>1</sup> Weitere Schadensursachen neben Direkteinschlägen in eine Gebäude: Blitzeinschlag in den Erdboden neben der baulichen Anlage; direkter Einschlag in die eingeführte Versorgungsleitung; Blitzeinschlag in den Erdboden neben der eingeführten Versorgungsleitung (siehe KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008)

<sup>2</sup> Das Gesamtrisikos  $R$  berücksichtigt die Anzahl gefährlicher Ereignisse, die Schadenswahrscheinlichkeit und den Verlust (vgl. hierzu Kap. 2.4.3 sowie KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008).

<sup>3</sup> Die im gegenständlichen Bericht als fokale Blitzdichte bezeichnete geglättete Blitzdichte-Aggregation entspricht der in ÖVE/ÖNORM EN 62305-2 verwendeten lokalen Blitzdichte (siehe hierzu auch Kap. 4.1).

<sup>4</sup> Beispielsrechnung: Ein freistehendes Gebäude mit quadratischem Grundriss von 10x10m und einer Höhe von 10m erhält bei einer jährlichen Blitzdichte von 2 pro km<sup>2</sup> einen Wert für  $N_D$  von 0,0083. Vergrößert man den Grundriss auf 50x50m, erhöht sich  $N_D$  auf 0,0227. Wird zusätzlich die Gebäudehöhe auf 20m verdoppelt, ergibt  $N_D$  0,0516. Ist das Gebäude in die Siedlungsstruktur gut integriert halbiert sich bzw. viertelt sich die Direkteinschlagsgefahr je nach Ausprägung des Standortfaktors  $C_d$  (Tab. 20).

<sup>5</sup> Für einige Gebäude (v.a. Altstadt) liegen keine Gebäudehöhen vor. Diesen wird pauschal eine Höhe von 12m zugewiesen.

höhe und Kurvatur<sup>1</sup> des Geländemodells (10m, SAGIS, siehe Kap. 3.7) in Kombination mit Gebäudehöhe in einer Umgebungsanalyse für jedes Gebäude abgeleitet. Dabei können allerdings die in Tab. 20 angesprochenen Bäume mangels Daten nicht berücksichtigt werden. Um den grundsätzlichen räumlichen Trend von  $N_D$  zu visualisieren bzw. die naturgemäß in den Daten vorhandenen Ungenauigkeiten zu glätten, werden die gebäudebezogenen Ergebnisse einer Interpolation durch Kriging<sup>2</sup> unterzogen. In Abb. 70 ist der Daten- und Modellierungsfluss als Übersicht abgebildet.

Tab. 20 Mögliche Ausprägungen des Standortfaktors  $C_d$   
[nach ÖVE/ÖNORM EN 62305-2: KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008]

Relative Lage der baulichen Anlage	$C_d$
Objekt ist umgeben von höheren Objekten oder Bäumen	0,25
Objekt ist umgeben von Objekten oder Bäumen mit gleicher oder niedriger Höhe	0,5
Freistehendes Objekt: keine weiteren Objekte in der Nähe (innerhalb einer Entfernung von 3 x Gebäudehöhe)	1
Freistehendes Objekt auf einer Bergspitze oder einer Kuppe	2

Der Wertebereich dieser prototypischen Abschätzung von  $N_D$  auf Gebäudeebene (nach Schritt d in Abb. 70) liegt im gewählten Beispielsraum der Stadt Salzburg etwa zwischen 0,0005 und 0,1. Dies entspricht als Kehrwert dem Bereich von 1 *Direkteinschlag alle 2.000 Jahre* bzw. 1 *Direkteinschlag alle 10 Jahre*. Für Gebäude mit kleiner Fläche und geringer Höhe umgeben von höheren Gebäuden (bspw. eingeschossige Häuser, Einzelgaragen etc.) wird also nur alle 2.000 Jahre ein direkter Blitzeinschlag geschätzt, für große und v.a. hohe Gebäude (Hochhäuser, Schornsteine etc.) ist die Wahrscheinlichkeit mit bis zu 10 Jahre deutlich größer. Der Mittelwert beträgt 0,003 oder 300 Jahre.

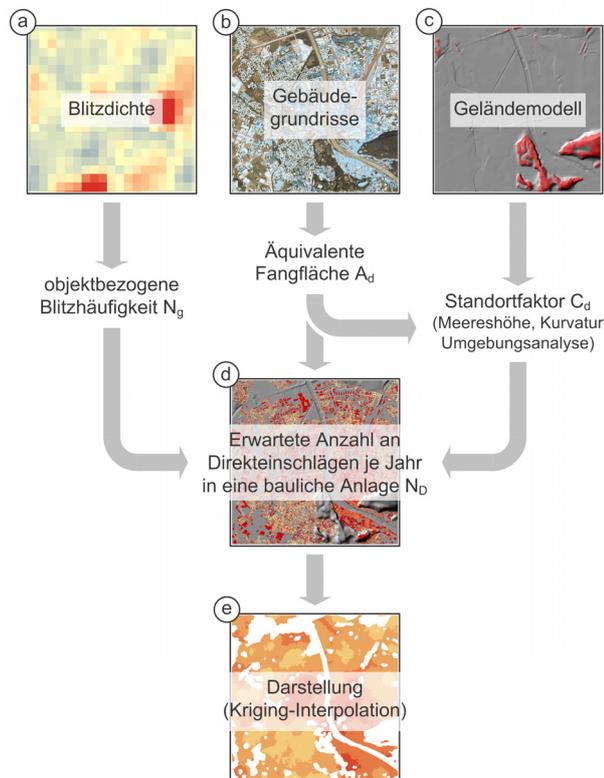


Abb. 70 prototypische Modellierung der gebäudebezogenen Direkteinschlagsgefahr in GIS  
[nach Berechnungsvorschrift in ÖVE/ÖNORM EN 62305-2: KERN, LANDERS & DIENDORFER 2008]

<sup>1</sup> Zur Methodik der Ableitung von Geländekurvaturen siehe in Kap. 5.1 (Abschnitt *Blitzdichte und Geländeform*)

<sup>2</sup> Die Wahl der Parameter der Kriging-Interpolation erfolgt dabei hinsichtlich optimaler kartographischer Repräsentation.

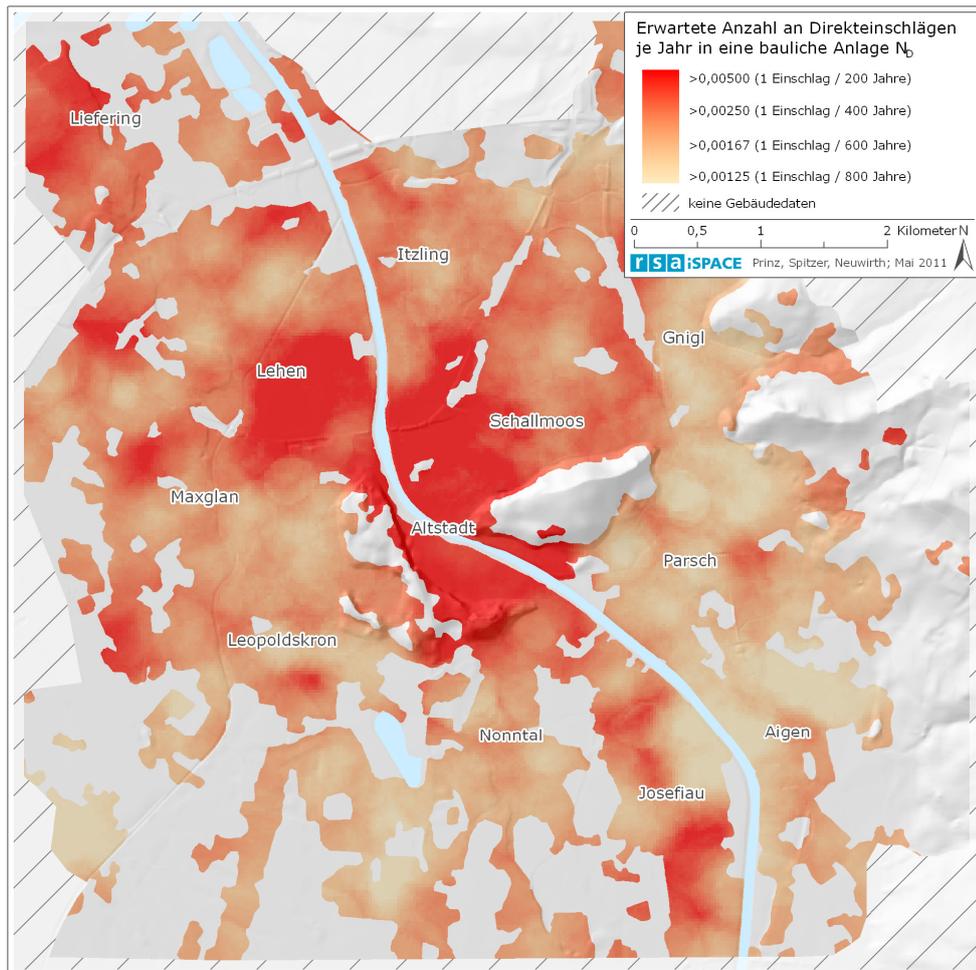


Abb. 71 Kriging-Interpolation der *Erwarteten Anzahl an Direkteinschlägen in eine bauliche Anlage ND*  
[Verfahrensweise in Abb. 70, Darstellung für kartographische Siedlungsmaske der Stadt Salzburg]

Das räumliche Ergebnis der interpolierten (und damit geglätteten) erwarteten Anzahl an Direkteinschlägen je Jahr in eine bauliche Anlage  $N_D$  (nach Schritt e in Abb. 70) zeigt Abb. 71. Dunkle, rote Bereiche zeigen Gebiete, in denen die Gebäude der vorhandenen Bebauungsstruktur verhältnismäßig oft (etwa alle 200 Jahre) von Direkteinschlägen betroffen sind. Die Gebäude in hellroten bis gelben Räumen sind weniger stark gefährdet. Das Ergebnis korreliert naturgemäß stark mit der vorhandenen Gebäudestruktur. Große und relativ hohe Blockbebauung in der Alt- und Neustadt sowie im Stadtteil Lehen weisen eine deutlich höhere Gefährdung auf als die typischen, weniger dicht bebauten Ein- und Zweifamilienhausstrukturen im Süden (Nonntal, Aigen, Josefiu: Abb. 71).

Eine weitere Verwendung dieser gebäudebezogenen Direkteinschlagsgefahr  $N_D$  (nach Schritt d in Abb. 70) findet in Kap. 5.3 durch die Gegenüberstellung mit Blitzschäden zwischen 2002 und 2008 statt.



## 7. Zusammenfassung

Das Projekt Reblaus erarbeitet in einem neuartigen Forschungsverbund die Möglichkeiten eines interdisziplinären und grenzüberschreitenden Ansatzes zum Umgang mit Risiko und Naturgefahren am Beispiel *Blitzgefahr*. Die Thematik wird durch die Verknüpfung der spezifischen Kernkompetenzen der Projektpartner und Fördergeber (Geoinformatik, Raumplanung, Risikomodellierung, Meteorologie, Blitzforschung, Blitzortung, Blitzschutz, Blitzphysik, Versorgungssicherheit, Umweltpsychologie) integrativ behandelt. Dies ermöglicht – trotz weniger zur Verfügung stehender Grundlagenarbeiten zur regionalen Blitzgefährdung – die Ableitung erster anwendungsorientierter Ergebnisse. Laufende Abstimmung in der Projektsteuerungsgruppe und eine begleitende Öffentlichkeitsarbeit (bspw. Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag) unterstützen den Praxisbezug des Projektes.

Neben der Aufbereitung wichtiger fachlicher Grundlagen (Kap. 2 *Forschungsstand*: Entstehung, Erfassung und Schadenswirkung von Blitzen, Blitzschutzprinzipien), der Konzeption und Erstellung einer gemeinsamen vielschichtigen Datenbasis als Arbeitsgrundlage (Kap. 3 *Grenzübergreifende GIS-Datenbasis*) sind v.a. auch den Kapiteln 4, 5 und 6 eine Reihe relevanter Ergebnisse zu entnehmen, die einen zukunftsorientierten, grenzübergreifenden Umgang mit der Unwetter- und Blitzgefährdung und die notwendige Sensibilisierung zum Thema unterstützen. Die nachfolgenden Abschnitte stellen für die Fülle an Einzelergebnissen eine zusammenfassende Übersicht dar:

### **Ergebnisse aus der Analyse der Blitzeinschläge 1998-2009 (Kap. 4)**

Dieser Erstzugang zur Auswertung der raumzeitlichen Verteilung von Blitzeinschlägen liefert neben einem neu entwickelten Verfahren zur genaueren Schätzung der Blitzdichte (Prototyp: probabilistische Blitzdichte: Kap. 4.1) wesentliche Erkenntnisse über das Blitzaufkommen in der Region:

Mit durchschnittlich etwa 30 Tsd. jährlichen Blitzeinschlägen zählt die Region Südostoberbayern und Land Salzburg zu den blitzreicheren Räumen Mitteleuropas. Die Blitzdichte (bspw. Karte 02) variiert bei einem Mittelwert von etwa zwei Blitzen je km<sup>2</sup> und Jahr raumzeitlich sehr stark und bildet typische Muster und „Hot Spots“ mit Spitzen in den Sommermonaten bzw. an Nachmittagen (bspw. Abb. 31) aus, die sich nach kartographischer Herausarbeitung zur leicht verständlichen Darstellung der Blitzgefährdung eignen (bspw. Abb. 25 und Abb. 26). So lassen sich Räume identifizieren, die mehr oder weniger stark hinsichtlich Unwetter und Blitz gefährdet sind (Gefahrenhinweiskarten). Diese Arbeiten liefern auch Erkenntnisse über die Plausibilität nachfolgender Aussagen zu raumzeitlichen Zusammenhängen: Die verfügbare Messreihe ist für statistisch abgesicherte Ergebnisse zurzeit noch zu kurz. Die langjährige Blitzdichte kann nämlich vereinzelt immer noch auf wenige heftige Gewitter zurückgeführt werden (Kap. 4.4). Deutlich treten jedoch generelle Berg-Tal-Strukturen und ein Südost-Nordwest-Gefälle in der langjährigen Blitzdichte hervor. Die Spitzenreiter im Blitzaufkommen sind der Gaisberg und das Kitzbüheler Horn (>10 Blitzeinschläge je km<sup>2</sup> und Jahr), da die dort befindlichen Sendeanlagen auch Aufwärtsblitze auslösen. Durchschnittlich wird an etwa 145 Tagen im Jahr zumindest ein Blitzeinschlag (Gewittertag) in Südostoberbayern oder im Land Salzburg geortet (Abb. 32).

### **Ergebnisse aus der Analyse raumzeitlicher Zusammenhänge (Kap. 5)**

Die Analyse raumzeitlicher Zusammenhänge erkundet in explorativer Weise mögliche raumzeitliche Abhängigkeiten der Blitzdichte von verschiedenen topographischen und klimatischen Parametern. Das statistische Grundrauschen, das sich durch die verhältnismäßig kurze Zeitreihe (1998-2009) und das elementare, seltene Phänomen einer Blitzentladung ergibt, erlaubt es im Projekt Reblaus selbst nicht, statistisch gesicherte Aussage zu tätigen. Es können allerdings einige Verdachtsmomente zu Zusammenhängen geäußert und Auffälligkeiten gefunden werden:

Deutlich lässt sich eine orographische Prägung des Blitzaufkommens feststellen: Im Schnitt steigt die Blitzdichte mit der Meereshöhe um etwa 0,3 jährliche Blitzeinschläge je 1.000m Höhendifferenz. In einzelnen Gebirgsstöcken – bspw. in den Berchtesgadener Alpen – ist dieser Zusammenhang aber sehr viel stärker. Ab etwa 2.000m Meereshöhe ist allerdings oft kein Anstieg, sondern teils sogar ein Rückgang der Blitzaktivität erkennbar, weshalb etwa in den Hohen Tauern (Oberpinzgau) die Blitzdichte über alle Höhenstufen hinweg gleichverteilt erscheint (siehe bspw. Abb. 35 in Kap. 5.1). Es wird vermutet,



dass in diesen höheren Lagen die Bedingungen zur Bildung sommerlicher Wärmegewitter fehlen, bzw. dass die Wolkenbasis oft unterhalb der höchsten Erhebungen liegt.

Für die verschiedenen Geländeformen ergibt sich ein ähnliches Bild: Größere Erhebungen, Geländekuppen, Berge und Höhenrücken weisen eine deutlich höhere Blitzdichte auf als Ebenen und Täler (siehe Abb. 38). Unterschiede der Blitzdichte bezüglich der Hangneigung und Hangorientierung bleiben dagegen eher unauffällig (Abb. 43). Auch die Art der Landbedeckung hat – sofern man die Höhenabhängigkeit in der Landnutzung berücksichtigt – offenbar keinen Einfluss auf das Blitzaufkommen. So weisen bspw. Wasserflächen ein ähnliches Blitzaufkommen auf wie die sie umgebenden Landflächen (Abb. 45).

Ähnliches gilt für die Siedlungsstruktur: Da höhere Blitzdichten überwiegend auch in höheren Lagen auftreten und Siedlungen sich meist in Tälern bzw. im Flachland (unter 1.000m Meereshöhe) befinden, entspricht die Blitzdichte in Siedlungen mit 2 jährlichen Blitzeinschlägen je km<sup>2</sup> in etwa derjenigen dieser Höhestufe (Tab. 10). Bemerkenswert ist aber, dass der Siedlungsraum im Alpenvorland deutlich höheres Blitzaufkommen erfährt als inneralpin (siehe Karte 11). Die orographische Gewitterexposition – ein Modell des Lebensministeriums BMLFUW zur Schätzung des orographischen Einflusses auf die Gewittertätigkeit – erweist sich als recht stimmig mit dem tatsächlichen Blitzaufkommen der Jahre 1998-2009 (bspw. Abb. 48).

Gebiete mit größerer Starkniederschlagsmenge und -häufigkeit sind offensichtlich entsprechend blitzreicher. V.a. die nördlichen Kalkalpen (bspw. Tennengebirge, Berchtesgadener Alpen) zeigen dies (siehe bspw. Abb. 49 oder Abb. 51). Die Jahresverläufe der Blitzaktivität gleichen den Klimatelementen Temperatur (Abb. 52) und Luftfeuchte (Abb. 53) mit ihren sommerlichen Spitzen. Ein direkter, stärkerer Zusammenhang der Tageswerte lässt sich allerdings nicht feststellen. Die Luftschwüle zeigt räumlich, nach Ausschalten der Störvariable Meereshöhe, einen schwach positiven Zusammenhang mit dem Blitzaufkommen: Je mehr schwüle Tage ein Raum aufweist, desto höher ist das Blitzaufkommen (siehe Abb. 56).

Mit Blitzeinschlägen ist grundsätzlich überall zu rechnen, auch wenn sich Regionen höherer oder geringerer Gefährdung ausweisen lassen. In einer konkreten Gewittersituation ist die Gefahr entsprechend groß. Insbesondere in exponierten höheren Lagen (Berggipfel oder Kuppen) kommt es – weitgehend unabhängig von der Landbedeckung – zu einem vermehrten Blitzaufkommen.

Hinsichtlich der Schadenswirkung von Blitzeinschlägen zeigt Kap. 5.3 trotz der naturgemäß zwingenden Ursächlichkeit keinen Zusammenhang zwischen der räumlichen Blitzschadensdichte und der räumlichen Blitzeinschlagsdichte. Die Zahl der Blitzschäden hängt vielmehr vom vorhandenen Schadenspotenzial ab, das sich überwiegend innerhalb des Siedlungsraumes befindet, der seinerseits bezüglich der Blitzdichte nur wenig variiert. Allerdings weisen kleine ländliche Gemeinden und Streusiedlungen eine deutlich höhere Blitzschadensdichte auf als größere Gemeinden oder städtische Strukturen. Die individuelle Gefährdung ist also in Streusiedlungen höher als in kompakten Siedlungskörpern (Abb. 57). Auf der anderen Seite wird bspw. in der Stadt Salzburg im Mittel etwa jeder zweite Blitzeinschlag im Siedlungsraum schadenswirksam; in ländlicheren Gebieten – etwa im Bezirk Salzburg-Umgebung – bspw. nur jeder siebente (Tab. 13).

Blitzschäden (direkte und indirekte) und dafür ursächliche Blitzeinschläge sind im Schnitt weniger als 3km voneinander entfernt (Abb. 60) und treten überwiegend bei – aufgrund ihrer Größe und Lage – stärker gefährdeten Gebäuden auf (Abb. 61). Dies lässt sich auch anhand erster detaillierter Fallstudien von fünf schadensreichen Tagen zeigen (Kap. 5.3.1).

## **Ergebnisse für die Risikoprävention (Kap. 6)**

Im Abschnitt *Beiträge zur Risikoprävention* (Kap. 6) des Projektes werden wesentliche Informationen erarbeitet, die der Stärkung des Risikobewusstseins für Unwetter und Blitzgefahr sowohl in der Öffentlichkeit als auch in der vorausschauenden Raum- und Standortplanung dienen. Einleitend werden dazu kurz Möglichkeiten und Grenzen der Raumplanung in der Berücksichtigung naturräumlicher Gefährdung und damit die mögliche Einflussnahme auf die Vorbeugung von Schäden erörtert. Anschließend befasst sich Kap. 6.1 mit der Wahrnehmung des Risikos in der Bevölkerung, Kap. 6.2 mit den möglichen Schadensauswirkungen von Blitzeinschlägen in der Versorgungsinfrastruktur und Kap. 6.3 mit einem ersten prototypischen Ansatz einer großflächigen GIS-gestützten Risikomodellierung:



Die Wahrnehmung des Risikos *Unwetter und Blitze* in der Bevölkerung – untersucht in Umfragen (siehe Kap. 6.1) – ist im Wesentlichen beruhigend. Die Bevölkerung nutzt das Informationsangebot aus verschiedenen Medien (Internet, Fernsehen), medizinisches Wissen ist vorhanden und Mythen um Blitz und Gewitter sind kaum mehr verbreitet. Auch das „überlebenswichtige“ Wissen zum richtigen Verhalten im Gewitterfall ist im Großen und Ganzen mit ein paar Lücken (Hocke, Abstand zu Bäumen) bekannt. Wie und ob das Wissen in der Praxis umgesetzt wird, bleibt aber naturgemäß verborgen.

Der Abschätzung der Schadenswirkung von Blitzeinschlägen im Stromnetz und in weiterer Folge auch in Haushalten sowie einer ersten Kostenschätzung widmet sich Kap. 6.2. Dabei wird eine Modellrechnung auf Basis von Realdaten (Schadensmeldungen von Versicherungen) und zur Verfügung stehender Grundlagenarbeiten erstellt und so parametrisiert und eingeregelt, dass sich ein erster Modellansatz für differenzierte Schadensschätzungen (direkte, indirekte Schäden, Mittelspannung, Niederspannung etc.) ergibt. Diese Schätzungen fördern entscheidungsunterstützend die vorbeugenden Aufgaben der Planung und auch des Versicherungswesens.

Ein prototypisches GIS-Modell zeigt schließlich in Kap. 6.3 am Beispiel der erwarteten Anzahl an Direkteinschlägen in Gebäude der Stadt Salzburg die Möglichkeiten einer großräumigen Blitzrisikoabschätzung auf. Die resultierende Kartensicht (Abb. 71) erleichtert mit Überblicksinformation die Identifikation von gefährdeten Stadtteilen nach ihrer baulichen Prägung und unterstützt so etwa die Stadtplanung in Prävention und Gefahrenbewusstseinsbildung.

## 7.1. **Projektwirkung und grenzübergreifende Kooperation**

Die im Projekt Reblaus erarbeiteten Ergebnisse erweitern die Kenntnis zur regionalen Gefährdung durch Blitzschlag und damit auch verwandten Risiken wie Unwetter und Hagel. Die entwickelten, oft räumlich expliziten Planungsgrundlagen ermöglichen es, das Blitzrisiko großräumig in Standortbewertungen, Regional- und Landesplanungen mit zu berücksichtigen. Besonders gefährdete oder sensible Einrichtungen (bspw. kritische Infrastrukturen oder Windkraftanlagen<sup>1</sup>) lassen sich dadurch in der Standort- und Risikoanalyse besser beurteilen. Zusammen mit der im Projekt erreichten Sensibilisierung der Öffentlichkeit (Verhaltensregeln) wird damit ein wesentlicher Beitrag zur verbesserten Vorbeugung von Schäden und zum Schutz von Personen geleistet.

Wesentlich für eine nachhaltige Wirkung des Projektes in der Region sind begleitende Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit. Der Bayerisch-Salzburger Blitzschutztag (s.u.), mehrere Projektvorstellungen, laufende Projekt-Newsletter, wissenschaftliche Publikationen, die Reblaus-Website mit Kartendienst ([www.reblaus-interreg.eu](http://www.reblaus-interreg.eu), siehe auch Abb. 72), ein Projektposter, deutsch- und englischsprachige Projektfolder (siehe Anhang) sowie der vorliegende Endbericht leisten hier neben dem im Projekt aufgebauten grenzübergreifenden Wissensnetzwerk ihren Beitrag zum Thema.

<sup>1</sup> Reblaus stellt bspw. für Untersuchungen zu möglichen Standorten von Windenergieanlagen im Rahmen einer Diplomarbeit (in Kooperation der Abteilung Raumplanung der Salzburger Landesregierung) Datenschichten zur Blitzdichte bereit.



## Veranstaltungen und Öffentlichkeitsarbeit

Über die gesamte Laufzeit des Projektes Reblaus hinweg werden regelmäßig Workshops zur Vernetzung und wechselseitigen Abstimmung sowie Projektpräsentationen abgehalten und Informationsmaßnahmen zur breiteren Streuung der Ergebnisse gesetzt. Dadurch sind sowohl eine intensive Zusammenarbeit der Projektpartner und weiterer Akteure als auch die Einbindung von Multiplikatoren und damit eine Breitenwirkung gewährleistet. Ausgewählte Aktivitäten:

- **Startworkshop** am 24. Juni 2009 in Salzburg: Projektpartner
- **1. Reblaus-Newsletter** am 19. November 2011
- **Projektworkshop** am 14. Jänner 2010 in Salzburg: Projektpartner
- **2. Reblaus-Newsletter** am 6. Juni 2010
- Start der **Reblaus-Projektwebsite** [www.reblaus-interreg.eu](http://www.reblaus-interreg.eu) mit Projektinformationen, interaktivem Online-Kartendienst und Gewitter-Umfrage der Universität Salzburg (Anhang) am 6. Juni 2010 (siehe auch Abb. 72)
- **Projektworkshop** am 2. Juli 2010 in Salzburg: Projektpartner, Fördergeber, Unterstützer
- **Projektvorstellung** am 19. August 2010 in Salzburg: Studierende der Universität Salzburg
- **Projektworkshop** am 9. Dezember 2010 in Salzburg: Projektpartner
- **3. Reblaus-Newsletter** am 25. Jänner 2011
- **Projektposter** *Regionalisierte Blitzauswertung* (siehe Anhang)
- Organisationsmeeting zum **Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag** am 14. März 2011 in Salzburg
- **Projektworkshop** am 14. März 2011 in Salzburg: Projektpartner, Fördergeber, Unterstützer
- **Projektvorstellung** am 5. Mai 2011 in Salzburg: RSA iSPACE Open House
- **Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag** am 20. Juni 2011 in Salzburg (s.u. bzw. Anhang)
- **4. Reblaus-Newsletter** am 1. Juli 2011
- **Präsentation** *GIS-basierte Methode zur genaueren Schätzung der Blitzdichte* am 6. Juli 2011: AGIT 2011 (Symposium für Angewandte Geoinformatik, Salzburg), **Publikation** im Tagungsband
- **Projektfolder deutsch** *Regionalisierte Blitzauswertung* (siehe Anhang)
- **Projektfolder englisch** *Regional analysis of lightning activity* (siehe Anhang)
- **Präsentation** *GIS analysis of Austrian-Bavarian CG lightning data* am 7. Oktober 2011: ECSS 2011 (6th European Conference on Severe Storms 2011, Palma de Mallorca), **Publikation** im Tagungsband

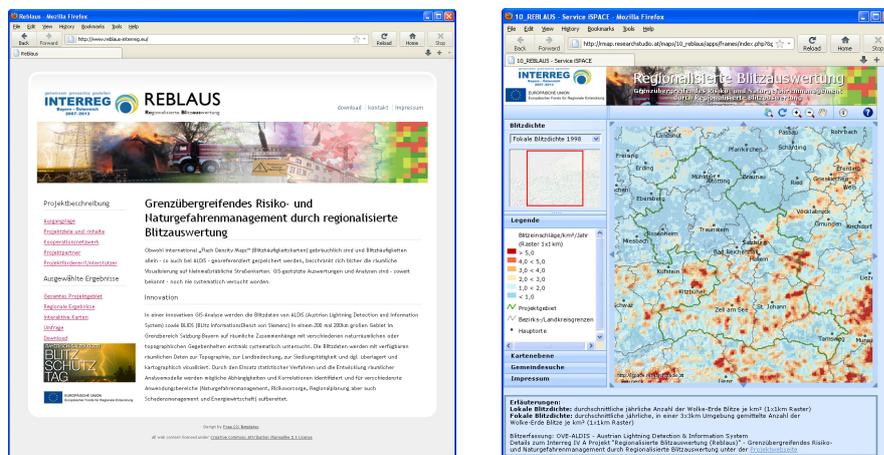


Abb. 72 Projektwebseite und interaktiver Kartendienst

[Screenshots der Reblaus-Projektwebseite [www.reblaus-interreg.eu](http://www.reblaus-interreg.eu) (links) des darüber zugänglichen interaktiven Kartendienstes (rechts)]



## Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag

Die Reblaus-Veranstaltung *Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag* wurde am 20. Juni 2011 von den Projektpartnern in Kooperation mit BAU Akademie Lehrbauhof Salzburg und der Fachgruppe der Ingenieurbüros der Wirtschaftskammer Salzburg im Lehrbauhof Salzburg durchgeführt (siehe Einladung im Anhang). In dieser Veranstaltung wurden für die Zielgruppen Planer, Fachbehörden, Baumeister und Bauleiter, Architekten sowie Elektroplanung und -ausführung folgende Programmpunkte präsentiert:

- Überblick und ausgewählte Ergebnisse zum Projekt Regionalisierte Blitzauswertung (Reblaus)
- Verhaltensregeln, Blitzwissen und Sicherheitsverhalten der Bevölkerung in Bayern / Salzburg
- Blitzforschung und Blitzortung (Blitzphysik, Blitztypen, Blitzstromparameter) und Verhaltensregeln bei Gewitter
- Blitzschutz von Gebäuden (Vorschriften, OVE/ÖNORM EN 62305) und Blitzschutz von Photovoltaik- und Windkraftanlagen

Das große regionale Interesse am Thema „Blitzgefahr – Blitzschutz“ bezeugen die Teilnehmerzahl (etwa vierzig Teilnehmer von KMUs aus der Region, Mitarbeiter von Behörden und Versicherungen, siehe Abb. 73) sowie zahlreiche Pressemeldungen zur Veranstaltung (Auswahl):

- Salzburger Nachrichten vom 21. Juni 2011
- Salzburger Wirtschaft vom 1. Juli 2011
- Salzburger Krone vom 21. Juni 2011
- Salzburger Landeskorrespondenz vom 14. Juni 2011
- oesterreich.orf.at (<http://salzburg.orf.at/stories/523019>) vom 27. Juni 2011
- Radio Salzburg vom 25. Juni 2011 vom 26. Juni 2011



Abb. 73 Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag am 20. Juni 2011 im Lehrbauhof Salzburg



## 7.2. Ausblick

Im vorliegenden Projekt *Regionalisierte Blitzauswertung* werden Grundlagen für mögliche Ansätze eines grenzübergreifenden und integrativen Naturgefahrenmanagement erarbeitet. Aus der Projektumsetzung ergeben sich mögliche Weiternutzungen der so bereits verfügbaren Ergebnisse sowie weitere mögliche darauf aufbauende Entwicklungspfade:

Im Projekt werden räumliche Planungsgrundlagen und Gefahrenhinweiskarten entwickelt, die vor erhöhtem Risiko warnen, räumliche Kenngrößen zum Risiko abgeleitet und mögliche Gefährdungszonen (*Regionalisierung*) ausgewiesen. Diese dienen nicht nur der Unterstützung eines grenzübergreifenden Naturgefahrenmanagements, sondern auch der verbesserten individuellen Vorbeugung. So ist bspw. die Einbindung einer regionalisierten Blitzdichte in die etablierte räumliche Naturgefahreninformationsplattform HORA des Lebensministeriums und Versicherungsverbandes als Erstinformation zur Blitzgefahr oder auch in die Informationsdienste des StMUG als Risikozonierung (bayerische Plattform „Naturgefahren“) zusätzlich zu den bestehenden Informationen denkbar.

Der entwickelte Ansatz eines integrativen grenzüberschreitenden Umganges mit Risiko und Naturgefahren und die entwickelten räumlichen Risikomodelle wurden mit Hilfe der Geoinformatik anwendungsorientiert entworfen. Es ist deshalb sowohl die Übertragbarkeit des Ansatzes auf einen größeren Raum (bspw. österreich- und/oder bayernweite Umsetzung) als auch die Übertragbarkeit auf andere Naturgefahren (bspw. Starkregen, Sturm, Hagel und dgl.) möglich. Einige prototypische methodische Detailentwicklungen aus dem Projekt (bspw. probabilistische Schätzung der Blitzdichte; Visualisierungstechniken) versprechen eine Verbesserung von konkreten Risikoabschätzungen oder Informationsmaßnahmen in der Praxis.

Prototypisch wurde in Reblaus der Ansatz zur Modellierung eines Teils des gebäudebezogenen Blitzrisikos für große Gebiete mittels GIS skizziert. Hier werden Möglichkeiten zur weiteren Verfeinerung (bspw. Abschätzung indirekter Blitzeinschlagsrisiken) oder die modellhafte Umsetzung des Blitzkugelverfahrens in GIS gesehen, um für die Blitzschutzplanungspraxis und die vorausschauende Raum- und Standortplanung wichtige Überblicksinformationen bereitstellen zu können.

Ebenso ist eine Erweiterung der nun bestehenden räumlichen Grundlagen zur Risikoanalyse um eine räumliche Risikobewertung (Abwägung akzeptabler Risiken) hin zu einem ganzheitlichen räumlichen Risikokonzept für Blitzgefahr (mit Zielen und Maßnahmen) denkbar.

Auswertungsseitig ergeben sich mit den geschaffenen Erstinformationen viele weitere interessante Aspekte: So wäre bspw. aus der raumzeitlichen detaillierten Blitzdatenbestand die Ausweisung von Gewitterzugbahnen und damit eventuell verbesserte kurzfristige Warnvorhersagen möglich. Eine detailliertere Analyse der festgestellten Verdachtsmomente zu raumzeitlichen Zusammenhängen über verfeinerte Modelle und längere Zeitreihen versprache belastbarere Erkenntnisse. Dies ließe sich bspw. auch über die analytische Trennung des Blitzdatenbestandes in verschiedene Gewitterarten begünstigen. Damit könnten es in Zukunft möglich sein, auch konkretere Standortempfehlungen für die Raumplanung auszusprechen, die bislang noch nicht möglich sind.

Dazu bietet sich bspw. auch an, die in Reblaus identifizierten gefährdeten Räume mit bestehenden oder geplanten sensiblen infrastrukturellen Einrichtungen zu überlagern und damit die Standortbeurteilung zu unterstützen. Aber auch die Gegenüberstellung von Blitzgefahr und Blitzschadensausmaß birgt noch vielerlei Möglichkeiten. So könnte eine Gegenüberstellung des Schadensausmaßes in Mehrfamilienhäusern, die in der Regel Blitzschutzmaßnahmen aufweisen müssen, im Vergleich zu Ein- und Zweifamilienhäusern wesentliche Informationen für zukünftige vorbeugungsorientierte Richtlinien liefern.

Für diese möglichen zukünftigen Arbeiten stehen mit den Ergebnissen des Projektes *Regionalisierte Blitzauswertung* (Reblaus) erste wichtige grenzübergreifende Grundlagenarbeiten bereit.



## 8. Verzeichnisse

### 8.1. Abbildungen

Abb. 1	Risikokzept als eine Möglichkeit zum ganzheitlichen und systematischen Umgang mit Risiken .....	4
Abb. 2	Räumliche Wirkungsbereiche und Dauer von Ereignissen für Naturgefahren in Deutschland .....	4
Abb. 3	Beispiel einer Signaturmatrix für eine „Risk Map“ .....	5
Abb. 4	Grenzübergreifendes Untersuchungsraum <i>Südostoberbayern - Land Salzburg</i> .....	8
Abb. 5	Typische Ladungsverteilung innerhalb einer Gewitterwolke .....	11
Abb. 6	Die drei wesentlichen Phasen einer Blitzenladung .....	12
Abb. 7	Klassifizierung von Körperströmen .....	15
Abb. 8	Potenzialtrichter beim Blitzeinschlag .....	16
Abb. 9	Schutzraum von Fangstangen .....	19
Abb. 10	Struktur von Verbundnetzen .....	20
Abb. 11	Höchstspannungsnetz im Raum Salzburg .....	21
Abb. 12	Netzstruktur im Mittelspannungsnetz .....	22
Abb. 13	Netzstruktur im Niederspannungsnetz. (a) Sternleitung, (b) Ringleitung, (c) vermaschtes Netz .....	22
Abb. 14	Blitzeinschlag in eine Freileitung (schematisch) .....	23
Abb. 15	Themenschichten der grenzübergreifenden Datenbasis im Projekt Reblaus .....	24
Abb. 16	Räumliche Verfügbarkeit einzelner Datenschichten der grenzübergreifenden GIS-Datenbasis .....	25
Abb. 17	Blitzschadensfälle im Land Salzburg der Jahre 2002 bis 2008 nach Verortungsqualität .....	27
Abb. 18	Klassifikation zur Vereinheitlichung von Flächenwidmungs- / Flächennutzungsdaten .....	28
Abb. 19	Fehlerellipse einer Blitzortung .....	31
Abb. 20	links: Schätzung der lokalen Blitzdichte (LFD); rechts: Schätzung der fokalen Blitzdichte (FFD) .....	32
Abb. 21	2-dimensionale gaußsche Normalverteilung einer 50% Fehlerellipse (a); Abstraktion über zehn Fehlerellipsen 10%-99% (b) .....	33
Abb. 22	Schätzung der probabilistischen Blitzdichte (PFD) .....	34
Abb. 23	Blitzdichtevarianten im Vergleich (vereinfachte Auszüge aus Karte 01, Karte 02 und Karte 03) .....	35
Abb. 24	Vorgehensweise der kartographischen Regionalisierung der Blitzdichte .....	36
Abb. 25	Regionalisierung der fokalen Blitzdichte 1998-2009 zu <i>Regionen geringer Blitzdichte</i> bzw. <i>Regionen hoher Blitzdichte</i> im Reblaus-Analysegebiet .....	37
Abb. 26	Regionen mit über- oder unterdurchschnittlicher jährlicher Blitzdichte (Zeitraum 1998-2009) .....	38
Abb. 27	Varianz der fokalen Jahresblitzdichten (1998-2009) im 1x1km Raster überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte .....	39
Abb. 28	Regression von Varianz der Jahresblitzdichten 1998-2009 auf die fokale Blitzdichte 1998-2009 .....	39
Abb. 29	Entwicklung der Blitzaktivität 1998-2009 .....	40
Abb. 30	Jahresgang der Blitzdichte 1998-2009 .....	41
Abb. 31	Durchschnittlicher Tagesgang der Blitzaktivität 1998-2009 nach Meereshöhe und Jahreszeit .....	42
Abb. 32	Zahl der Gewittertage im Zeitraum 1998-2009 .....	43
Abb. 33	durchschnittliche Zahl der jährlichen Gewittertage 1998-2009 überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte .....	43
Abb. 34	Zusammenhang zwischen lokaler Blitzdichte und Zahl der Gewittertage der Jahre 1998-2009 .....	44
Abb. 35	Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf mittlere Meereshöhe .....	46
Abb. 36	Regression von probabilistischer Blitzdichte 1998-2009 auf mittlere Meereshöhe .....	46
Abb. 37	Regression von standardisierter Blitzdichte 1998-2009 auf standardisierte mittlere Meereshöhe .....	47
Abb. 38	fokale Blitzdichte 1998-2009 in den Klassen des Großreliefs differenziert nach Jahreszeiten .....	48
Abb. 39	Auflösungsbedingte Abflachung der realen Geländeoberfläche bei digitalen Geländemodellen .....	49
Abb. 40	fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Hangorientierung (10°-Klassen) differenziert nach Jahreszeiten .....	49
Abb. 41	fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Hangorientierung (10°-Klassen) für ausgewählte Teilräume .....	50
Abb. 42	Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf die mittlere Hangneigung .....	50
Abb. 43	fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Hangorientierung und Hangneigung .....	51



Abb. 44	Landnutzungs- / Landbedeckungsklassen von Corine Landcover (Level 1) überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte .....	52
Abb. 45	Fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Klassen der Landnutzung / Landbedeckung und Meereshöhe .....	52
Abb. 46	Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf Kennzahlen zur siedlungsstrukturellen Nutzung .....	53
Abb. 47	Orographischer Gewitterindex überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte.....	55
Abb. 48	Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf den orographischen Gewitterindex.....	56
Abb. 49	Wahrscheinlichkeitskategorie für Starkniederschlag <i>Niederschlagsmenge bei 15-minütiger Dauerstufe mit 100-jährigem Wiederkehrintervall</i> überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte.....	57
Abb. 50	Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf Starkniederschlagsmenge .....	57
Abb. 51	Starkniederschlagsmenge (links) und Blitzdichte (rechts) im Raum Südostoberbayern .....	58
Abb. 52	<i>Tagesmitteltemperatur</i> und <i>Tagesblitzaufkommen</i> in Südostoberbayern 1998-2009 .....	59
Abb. 53	<i>Mittlere Äquivalenttemperatur</i> und <i>Tagesblitzaufkommen</i> in Südostoberbayern 1998-2009 .....	59
Abb. 54	<i>Mittlerer Luftdruck</i> und <i>Tagesblitzaufkommen</i> in Südostoberbayern 1998-2009.....	60
Abb. 55	Durchschnittliche jährliche Anzahl schwüler Tage 1961-1990 (standardisiert) überlagert von Regionen geringer bzw. hoher Blitzdichte .....	60
Abb. 56	Regression von fokaler Blitzdichte 1998-2009 auf durchschnittliche jährliche Anzahl schwüler Tage 1961-1990 .....	61
Abb. 57	Blitzdichte und Schadensdichte (2002-2008) im Siedlungsraum der Gemeinden im Land Salzburg .....	63
Abb. 58	<i>Tagesschadensaufkommen</i> und <i>Tagesblitzaufkommen</i> (Land Salzburg, Siedlungsraum, 2002-2008).....	64
Abb. 59	Regression von Blitzschadensdichte auf fokale Blitzdichte .....	64
Abb. 60	absolute (links) und relative (rechts) Häufigkeit von Blitzschäden nach Distanz zum raumzeitlich nächsten Blitzeinschlag .....	65
Abb. 61	absolute (links) und relative (rechts) Häufigkeit von Blitzschäden nach dem Kehrwert der erwarteten Anzahl an Direkteinschlägen in eine bauliche Anlage $N_D$ .....	65
Abb. 62	Anteil der Gewitterinformationsquellen (links); Anteil der Befragten mit Gewitterangst (rechts).....	70
Abb. 63	Anteil richtiger Entfernungsabschätzung (links); Häufigkeit der Entfernungsabschätzung in km der Salzburger / Oberösterreichischer (rechts).....	70
Abb. 64	Anteil richtiger Antworten zu medizinischem Wissen.....	71
Abb. 65	Anteil richtiger Antworten zu Blitz-Mythen.....	71
Abb. 66	Anteil richtiger Antworten zum Notfall-Verhalten bei Gewitter .....	71
Abb. 67	Durchschnittlicher Betrag je Schadensmeldung (links) und jährliche Gesamtschadenshöhe (rechts).....	73
Abb. 68	Verteilung von Häufigkeit und Schadenshöhe nach Blitzart für Gebäudeschäden (links) und Schäden am Gebäudeinhalt (rechts).....	74
Abb. 69	Äquivalente Fangfläche eines freistehenden Gebäudes .....	74
Abb. 70	prototypische Modellierung der gebäudebezogenen Direkteinschlagsgefahr in GIS .....	77
Abb. 71	Kriging-Interpolation der <i>Erwarteten Anzahl an Direkteinschlägen in eine bauliche Anlage ND</i> .....	78
Abb. 72	Projektwebseite und interaktiver Kartendienst.....	82
Abb. 73	Bayerisch-Salzbürger Blitzschutztag am 20. Juni 2011 im Lehrbauhof Salzburg.....	83

## 8.2. Tabellen

Tab. 1	Kennzahlen zum Reblaus-Projektgebiet .....	9
Tab. 2	Kennzahlen zum Blitzaufkommen 1998-2009 im Reblaus-Analysegebiet bzw. Projektgebiet .....	9
Tab. 3	Typische Werte für akzeptierbares Risiko.....	17
Tab. 4	Parameter von Blitzschutzklassen (EN 62305-3).....	18
Tab. 5	Kennzahlen des Stromnetzes in Deutschland .....	21
Tab. 6	Netzstruktur der Betreibergesellschaft Salzburg Netz .....	21
Tab. 7	Skalierfaktoren der Halbachsen der Fehlerellipse für ausgewählte Wahrscheinlichkeiten .....	33
Tab. 8	Kennzahlen zur Blitzdichte 1998-2009 nach verschiedenen Schätzmethode .....	35
Tab. 9	durchschnittliche fokale Blitzdichte 1998-2009 nach Höhenstufen .....	47
Tab. 10	Siedlungsstrukturelle Kennzahlen nach Blitzdichteklassen im Reblaus-Projektgebiet .....	53
Tab. 11	Gemeinden mit den höchsten Blitzdichten im Siedlungsraum 1998-2009.....	54
Tab. 12	Gemeinden mit den geringsten Blitzdichten im Siedlungsraum 1998-2009 .....	54
Tab. 13	Blitzschäden und Blitzeinschläge 2002-2008 im Siedlungsraum des Landes Salzburg .....	62



Tab. 14	Blitzschäden 2002-2008 nach Blitzdichteklassen .....	63
Tab. 15	Blitzaktivität im Siedlungsraum an den schadensreichsten Tagen im Land Salzburg (2002-2008) .....	66
Tab. 16	Maximale Entfernung zwischen Blitzschlag und Schadensort, in der eine signifikante Schadenswahrscheinlichkeit besteht .....	72
Tab. 17	Durchschnittliche Schadenshöhe je Meldung, wenn Schadensbetrag größer null .....	73
Tab. 18	Berechnung der äquivalenten Fangflächen von Stromleitern (nach EN 62305-2).....	75
Tab. 19	Äquivalente Fangfläche der Versorgungsleitungen im Land Salzburg .....	75
Tab. 20	Mögliche Ausprägungen des Standortfaktors $C_d$ .....	77

### 8.3. Literatur

- ABB – AUSSCHUSS FÜR BLITZSCHUTZ UND BLITZFORSCHUNG DES VDE (Hrsg., 2003): Wie kann man sich gegen Blitzeinwirkungen schützen? - Online: <http://www.vde.com>, verfügbar am 24. 2. 2011.
- ABB – AUSSCHUSS FÜR BLITZSCHUTZ UND BLITZFORSCHUNG DES VDE (Hrsg., 2004): Leitfaden Blitz- und Überspannungsschutz für bauliche Anlagen und elektrische Installationen. - Online: <http://www.vde.com>, verfügbar am 24. 2. 2011.
- ALDIS – AUSTRIAN LIGHTNING DETECTION & INFORMATION SYSTEM (2011): FAQ. Blitze und Gewitter. Wie viele Menschen werden vom Blitz getötet oder verletzt? - Online: <http://www.aldis.at/info/faq.php>, verfügbar am 9. 5. 2011.
- ALLIANZ ELEMENTAR VERSICHERUNGS-AKTIENGESELLSCHAFT (Hrsg., 2006): Presse Information. Allianz gibt Tipps gegen Blitzschlagsschäden. Blitzsaison 2006 bricht alle Rekorde. - Online: <http://www.unternehmen.allianz.at/presse>, verfügbar am 9. 5. 2011.
- AUER, I. et al. (2001): ÖKLIM – Digitaler Klimaatlas Österreichs. CD-Rom. - o.O.
- ARNBERGER, E. (1977): Thematische Kartographie. - Braunschweig (= Das Geographische Seminar).
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2006): Hochwasserrisikozonierung Austria. - Online: [http://gis.lebensministerium.at/ehora/lfrz/services/eHORA/metadaten/Hochwasserrisikozonierung\\_Austria.pdf](http://gis.lebensministerium.at/ehora/lfrz/services/eHORA/metadaten/Hochwasserrisikozonierung_Austria.pdf), verfügbar am 9. 9. 2010.
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2007): Hydrologischer Atlas Österreichs. - Wien.
- BMWFJ – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND (2007): Elektronunfallstatistik 2007. - Online: <http://www.bmwfj.gv.at/technikundvermessung/elektrotechnik>, verfügbar am 9. 5. 2011.
- BANSE, G. & G. BECHMANN (1998): Interdisziplinäre Risikoforschung. Eine Bibliographie. - Opladen.
- BASTA, C., J. NEUVEL & S. ZLATANOVA (2005): "Bridging the gap" between professionals involved in risk prevention using GIS as a shared decision support system. A comparative study in UK and dutch practices. - Online: [http://www.gdmc.nl/publications/2005/Risk\\_prevention\\_GIS.pdf](http://www.gdmc.nl/publications/2005/Risk_prevention_GIS.pdf), verfügbar am 17. 11. 2010.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (Hrsg., 2010): Genesis-Online. Datenbank. - Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de>, verfügbar am 6. 12. 2010.
- BDEW – BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Informationen zur Netztechnik. Homepage des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW). - Online: <http://www.bdew.de>. - verfügbar am 17. 9. 2010.
- BERGER, K. (1978): Blitzstrom-Parameter von Aufwärtsblitzen. In: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins. Jahrgang 69, S.353-60.
- BETZ, H., U. SCHUMANN & P. LAROCHE (Hrsg., 2009): Lightning: Principles, Instruments and Applications. Review of Modern Lightning Research. - o.O.
- BEYER, M. et al. (1986): Hochspannungstechnik. Theoretische und praktische Grundlagen für die Anwendung. - Berlin u.a..
- BIEGELMEIER, G. (1987): Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere, Lehrbuch der Elektropathologie. - Berlin.
- BITTNER, R., K. GÜNTHER & B. MERZ (2009): Naturkatastrophen in Deutschland. In: Special. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, 6/2009, S.7-10.
- BOURScheidt, V., O. PINTO & K. NACCARATO (2010): Using the gaussian-based confidence ellipse provided by lightning location systems to create more reliable lightning density maps. In: 21st International Lightning Detection Conference. - Orlando. - Online: <http://www.vaisala.com>, verfügbar am 1. 2. 2011.
- BRANDSTÖTTER, E. & G. PAUL (2003): Bodenbedeckung in den Geobasisdaten des BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. In: Tagungsband zum Workshop „Geodaten zur Landbedeckung in Österreich“ 2004, S.79-83.
- BRANDT, K., M. KIENZLE & S. TRIPPLER (2008): Unwetter und wie sie sich schützen. - Bonn.
- BRAUMANN, C. & K. PHILIPP (2005): Erhebung der verbauten Flächen im Land Salzburg. In: Raumplanung aktuell. Die Zeitschrift für die Salzburger Raumentwicklung, Heft 4, S.25-28.



- BUWAL – BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg., 1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Methode. - Bern. - Online: <http://www.bafu.admin.ch>, verfügbar am 17. 11. 2010.
- CAMPOS, D. & O. PINTO (2007): Investigation about the intensity and location of the maximum cloud-to-ground lightning flash density in the city of Sao Paulo. In: IX International Symposium on Lightning Protection. 26th-30th November 2007. - Foz do Iguacu. - Online: <http://ws9.iee.usp.br/sipdax/papersix/sessao02/2.12.pdf>, verfügbar am 12. 11. 2010.
- CHI, K. & J. HAN (2006): Development of forest fire risk information management system using GIS technology. - Online: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part7/PDF/230.pdf>, verfügbar am 17. 11. 2010.
- CUMMINS, K., E. KRIDER & M. MALONE (1998): The U.S. National Lightning Detection Network and Applications of Cloud-to-Ground Lightning by Electric Power Utilities. In: IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, S.465-480. - Online: <http://www.atmo.arizona.edu>, verfügbar am 10. 11. 2010.
- DEHN+SÖHNE (2007): Blitzplaner. Blitzschutz, Überspannungsschutz, Arbeitsschutz. - Neumarkt. - Online: [http://lightning-protection-zone.net/pdf/blitzplaner/BBP\\_2007\\_gesamt.pdf](http://lightning-protection-zone.net/pdf/blitzplaner/BBP_2007_gesamt.pdf), verfügbar am 24. 2. 2007.
- DEIERLING, W. (2000): Untersuchung des statistischen Zusammenhanges zwischen Blitzdichte und Niederschlagsmenge. Diplomarbeit am Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover. - Hannover.
- DIENDORFER, G. (2008): Some Comments on the achievable accuracy of local ground flash density values. In: 29th International Conference on Lightning Protection. - Uppsala, S.281-286.
- DIENDORFER, G. et al. (2009): Review of CIGRE Report "Cloud-to-Ground Lightning Parameters Derived from Lightning Location Systems – The Effects of System Performance". CIGRE SC C4, Colloquium. - Kushiro.
- DIENDORFER, G. & W. SCHULZ (2008): ALDIS Austrian Lightning Detection and Information System 1992-2008. In: Elektrotechnik & Informationstechnik (e&i), 125. Jahrgang, Nr. 5, S.209-213.
- DIENDORFER, G., M. MAIR & H. PICHLER (2005): Blitzstrommessung am Sender Gaisberg. (= Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Band 89).
- DORAU, F. (2006): Blitzaktivität im Vergleich mit Wetterradar-Beobachtungen. Diplomarbeit an der Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie der Universität Wien. - Wien.
- ENTSO-E – EUROPEAN NETWORK OF TRANSMISSION SYSTEM OPERATORS FOR ELECTRICITY (2010): ENTSO-E Grid Map. - Online: <https://www.entsoe.eu/resources/grid-map>, verfügbar am 24. 2. 2011.
- ESRI (2009): Geointelligente Lösungen für Versicherer. Dossier. - Online: <http://esri.de/industries/insurance>, verfügbar am 17. 11. 2010.
- FEDRA, K. (2006): Technological Risk Assessment and Management: GIS, simulation models and real-time expert systems. In: Map Middle East 2006, Proceedings. - Online: <http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2006>, verfügbar am 11. 1. 2011.
- FINKE, U. & T. HAUF (1996): The characteristics of lightning occurrence in southern germany. In: Contributions to Atmospheric Physics, 69, S.361-374.
- FIR0002 (2007): Wolke-Erde-Blitz. Foto auf Wikipedia; aufgenommen von Nutzer Fir0002/Flagstaffotos im Januar 2007; veröffentlicht unter der Creative Commons BY-SA Lizenz ([creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/)). - Online: <http://de.wikipedia.org/wiki/Blitz>, verfügbar am 20. 9. 2010.
- KEILER, M. & S. FUCHS (2007): Das Risikokzept in der Naturgefahrenforschung. In: 1. Departmentkongress Bautechnik und Naturgefahren 2007. - Online: <http://www.baunat.boku.ac.at>, verfügbar am 16. 11. 2010.
- KEUL, A. et al. (2009): Lightning Knowledge an Folk Beliefs in Austria. In: Journal of Lightning Research, 2009, 1, S.22-29.
- FISHERIES AND OCEANS CANADA (2009): Initial IRM Implementation Guidelines. - Online: <http://www.dfo-mpo.gc.ca/ae-ve/irm-gir/guide-eng.htm>, verfügbar am 8. 9. 2010.
- GDV - GESAMTVERBAND DER DEUTSCHEN VERSICHERUNGSWIRTSCHAFT E.V. (2007): Schäden durch Blitz und Überspannung. Abschlussbericht der ad hoc Arbeitsgruppe „BLUES“ der Sachversicherer im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.. - Berlin. - Online: [http://www.elab-juelich.de/Kern/Forschungsprojekte/p3/Abschlussbericht\\_Blues.pdf](http://www.elab-juelich.de/Kern/Forschungsprojekte/p3/Abschlussbericht_Blues.pdf), verfügbar am 17. 5. 2011.
- GOTTHARDT, E. (1968): Einführung in die Ausgleichsrechnung. - Karlsruhe.
- HÄCKEL, H. (1999): Meteorologie. 6. Auflage. - Stuttgart.
- HERBST, S., T. PRINZ & W. SPITZER (2011): Entscheidungsgrundlagen für eine grenzübergreifende ÖPNV-Planung. Endbericht Teil 2 zum Interreg IV A - Projekt: EuRegionale Raumanalyse EuRegionale Raumpotenziale, Raumindikatoren und Raumszenarien als Entscheidungsgrundlage für eine innovative Raumentwicklung in Südostoberbayern / Salzburg (EULE). - Salzburg.
- HEUCK, K. & K. DETTMANN (2002): Elektrische Energieversorgung. - Braunschweig, Wiesbaden.
- HOLLENSTEIN, K. (1996): Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. - Zürich. Doktorarbeit, ETH Zürich. - Online: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch>, verfügbar am 8. 9. 2010.
- HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg., 2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. - Stuttgart.



- HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH (2008): URBAS - Urbane Sturzfluten. Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten. - Online: <http://www.urbanesturzfluten.de>, verfügbar am 8. 6. 2011.
- IMHOF, E. (1972): Thematische Kartographie. - Berlin (= Lehrbuch der Allgemeinen Geographie).
- IMK – INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMAFORSCHUNG (2007): Heftige Gewitter, Starkregen. - Online: [http://www.wettergefahren-fruehwarnung.de/Ereignis/20070623\\_e.html](http://www.wettergefahren-fruehwarnung.de/Ereignis/20070623_e.html), verfügbar am 15. 2. 2010.
- KAMINGER, I. & E. WONKA (2004): Von einer Österreichgliederung nach Gemeinden zu Planquadraten: Statistik Austria erweitert sein regionalstatistisches Angebot. In: M. SCHRENK (Hrsg.): Computergestützte Raumplanung - Beiträge zum Symposium CORP 2004. - Wien, S.549-554.
- KANONIER, A. (2004): Naturgefahren im österreichischen Raumordnungsrecht. Übersicht hinsichtlich der raumordnungsgesetzlichen Bestimmungen bezüglich Naturgefahren im Raumordnungsrecht der Länder. Endbericht. Studie im Auftrag der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK). - Wien.
- KARWATH, A. (2005): Wolke-Wolke-Blitz. Foto auf Wikipedia; aufgenommen von André Karwath am 22. 6. 2005; veröffentlicht unter der Creative Commons BY-SA Lizenz ([creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/)). - Online: <http://de.wikipedia.org/wiki/Blitz>, verfügbar am 20. 9. 2010.
- KERN, A., G. DIKTA & F. KRICHEL (2007): Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und Überspannungsschäden in der Schadensregulierung. Endbericht. Studie im Auftrag des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV). - Online: [http://www.elab-juelich.de/Kern/Forschungsprojekte/p3/Studie\\_FH\\_Aachen.pdf](http://www.elab-juelich.de/Kern/Forschungsprojekte/p3/Studie_FH_Aachen.pdf), verfügbar am 24. 2. 2011.
- KERN, A., E. LANDERS & G. DIENDORFER (2008): ÖVE/ÖNORM EN 62305 - Teil 2: Risikomanagement. Die neue österreichische Blitzschutznormung (2). - Online: [http://www.aldis.at/blitzschutz/Blitzschutznorm\\_Teil2\\_EJ7\\_08.pdf](http://www.aldis.at/blitzschutz/Blitzschutznorm_Teil2_EJ7_08.pdf), verfügbar am 28. 1. 2011.
- KfV – KURATORIUM FÜR VERKEHRSSICHERHEIT (Hrsg., 2008): Freizeitunfallstatistik 2007. - Wien. - Online: <http://www.kfv.at/unfallstatistik>, verfügbar am 9. 5. 2011.
- LAND SALZBURG (2003): Salzburger Landesentwicklungsprogramm. Gesamtüberarbeitung 2003. - Salzburg, (= Entwicklungsprogramme und Konzepte, Heft 3).
- LAND SALZBURG (2009): 30. Gesetz vom 17. Dezember 2008 über die Raumordnung im Land Salzburg (Salzburger Raumordnungsgesetz 2009 - ROG 2009). - Salzburg.
- LAND SALZBURG (1976): Gesetz vom 7. Juli 1976 über die technischen Bauvorschriften im Lande Salzburg (Bautechnikgesetz - BauTG). - Salzburg.
- LEBENSMINISTERIUM (Hrsg., 2006): Klimawandel im Alpenraum. Auswirkungen und Herausforderungen. - Wien. - Online: <http://www.umwelt.net.at/filemanager/download/15974>, verfügbar am 12. 5. 2011.
- LFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg., 2005): Schutz vor Naturgefahren in Bayern. Informationsdienste im Internet. - München. - Online: <http://www.bestellen.bayern.de>, verfügbar am 29. 7. 2011.
- LOBODA, M. (2009): Lightning Protection of Structures. In: H. BETZ, U. SCHUMANN & P. LAROCHE (Hrsg., 2009): Lightning: Principles, Instruments and Applications. - o.O., S.573-592.
- KOSMAC, J., G. LAKOTA JERICEK & V. DJURICA (2009): Evaluation of Lightning Threat in Distribution Networks. In 20th International Conference on Electricity Distribution. Prague, 8-11 June 2009, Paper 0726. - Online: <http://www.cired.be>, verfügbar am 2. 11. 2010.
- MALITZ, G. (2011): Aussagen zu Starkniederschlagshöhen für das EU-Projekt „REBLAUS“. - unveröffentlicht.
- MITTLBÖCK, M. & B. RESCH (2008): Standardisierte Integration von Real-time Sensormessungen für zeitnahe GIS-Analyse. - In: J. STROBL, T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2008. - Heidelberg, S.112-117.
- MUNICH RE – MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT (2011): NATHAN. Weltkarte der Naturgefahren. Version 2011. - München. - Online: [http://www.munichre.com/publications/302-05971\\_de.pdf](http://www.munichre.com/publications/302-05971_de.pdf), verfügbar am 17. 5. 2011.
- HILLMANN-KÖSTER, B. & M. SEMMLER (2011): Arbeiten in der Cloud. In: GIS. TRENDS + MARKETS. The Geoinformatics News Magazine. - Raunheim. - Online: [http://www.pbinsight.eu/ger/files/press/42-49\\_cloud\\_computing\\_pbbi.pdf](http://www.pbinsight.eu/ger/files/press/42-49_cloud_computing_pbbi.pdf), verfügbar am 9. 6. 2011.
- OEDING, D. & B. OSWALD (2004): Elektrische Kraftwerke und Netze. - Berlin Heidelberg.
- ÖROK – ÖSTERREICHISCHE RAUMORDNUNGSKONFERENZ (2005): ÖROK-Empfehlung Nr. 52 zum präventiven Umgang mit Naturgefahren in der Raumordnung (Schwerpunkt Hochwasser). - Wien.
- PIDWIRNY, M. (2010): Fundamentals of physical geography (2nd Edition). Chapter 7: Introduction to the Atmosphere. - Online: <http://www.physicalgeography.net>, verfügbar am 5. 5. 2011.
- POTTER, D. & S. GORMAN (1996): Spatial relationship among lightning, precipitation and vegetation cover in watersheds of the Rio Puerco Basin. An introduction. - Online: <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/35704>, verfügbar am 4. 11. 2010.
- PRICE, C. (2008): Thunderstorms, Lightning and Climate Change. - Online: <http://www.iclp-centre.org/pdf/Invited-Lecture-1.pdf>, verfügbar am 23. 11. 2010.



- PRINZ, T. & W. SPITZER (2008a): Endbericht zum Projekt: Neuabgrenzung des Dauersiedlungsraumes für das Land Salzburg. Projekt im Auftrag von Amt der Salzburger Landesregierung - Abt. 7 Raumplanung. - Online: <http://www.salzburg.gv.at>, verfügbar am 16. 2. 2010.
- PRINZ, T. & W. SPITZER (2008b): Indikatoren zur nachhaltigen Raumentwicklung - Ausgewählte Ergebnisse einer Forschungskoooperation des Forschungsstudios iSPACE mit dem Land Salzburg. In: Raumplanung aktuell. Sonderheft Raumforschung und GIS, S.30-35.
- PRINZ, T., J. STROBL & E. WONKA (2004): Flexible Aggregation regionalstatistischer Erhebungen - neue Produkte der Statistik Austria. In: J. STROBL, T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004. Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg. - Heidelberg, S.556-561.
- PRINZ, T. et al. (2009): EuRegionale Raumanalyse - Grenzübergreifende Einzugsbereiche infrastruktureller Einrichtungen im Grenzraum Bayern/Salzburg. In: J. STROBL, T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2009. - Heidelberg, S.474-479.
- PRINZ, T. et al. (in press): GIS Analysis of Austrian-Bavarian Cloud-to-Ground lightning data. In: Proceedings of 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011) , 3-7 October 2011, Palma de Mallorca.
- REITHOFER, J. (2008): Das Nachverdichtungspotential der Stadt Salzburg. In: Raumplanung aktuell. Die Zeitschrift für die Salzburger Raumentwicklung. Sonderheft: Raumforschung und GIS. - Salzburg.
- RAKOV, V. & M. UMAN (2003): Lightning: Physics and Effects. - New York.
- RUBEL F & K. FUCHS (2005): A decision-support System for real time risk assessment of airborne spread of the foot-and-mouth disease virus. - Online: <http://www.schattauer.de>, verfügbar am 9. 9. 2010.
- SALZBURG NETZ GMBH (2010). Netzstruktur. - Online: <http://salzburgnetz.at/Netzstruktur.1764.0.html>, verfügbar am 17. 9. 2010.
- SCHNÜRCH, D., T. PRINZ & S. HERBST (2011): Grenzübergreifende Wohnstandortanalyse und -bewertung. Endbericht Teil 3 zum Interreg IV A - Projekt: EuRegionale Raumanalyse EuRegionale Raumpotenziale, Raumindikatoren und Raumszenarien als Entscheidungsgrundlage für eine innovative Raumentwicklung in Südostoberbayern / Salzburg (EULE). - Salzburg.
- SCHULZ, W. & G. DIENDORFER (1999): Lightning Characteristics as a Function of Altitude Evaluated from Lightning Location Network Data. Paper presented at the International Conference on Lightning and Static Electricity. - Toulouse. - Online: [http://www.aldis.at/pdf/icolse99\\_correlation.pdf](http://www.aldis.at/pdf/icolse99_correlation.pdf), verfügbar am 25. 1. 2011.
- SCHULZ, W. & G. DIENDORFER (2000): Evaluation of a lightning location algorithm using an elevation model. Paper presented at the 25<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection (ICLP). - Rhodos. - Online: [http://www.aldis.at/pdf/iclp2000\\_loc\\_alg.pdf](http://www.aldis.at/pdf/iclp2000_loc_alg.pdf), verfügbar am 18. 1. 2011.
- SIEBERT, A. (2006): Geoinformationstechnologie – zentraler Bestandteil des Risikomanagements in der Münchner Rück. - Online: [http://www.wigeogis.at/hp10de/pdf/SuccessStories/WA\\_0601\\_Muenchner\\_Rueck.pdf](http://www.wigeogis.at/hp10de/pdf/SuccessStories/WA_0601_Muenchner_Rueck.pdf), verfügbar am 31. 5. 2011.
- SPITZER, W., T. PRINZ & S. HERBST (2010): Grenzübergreifende Bewertung und Analyse des Verflechtungsraumes Salzburg. Endbericht Teil 1 zum Interreg IV A - Projekt: EuRegionale Raumanalyse EuRegionale Raumpotenziale, Raumindikatoren und Raumszenarien als Entscheidungsgrundlage für eine innovative Raumentwicklung in Südostoberbayern / Salzburg (EULE). - Salzburg.
- SPITZER, W., W. SCHULZ, T. PRINZ & A. KEUL (2011): GIS-basierte Methode zur genaueren Schätzung der Blitzdichte. In: J. STROBL, T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2011. Beiträge zum 23. AGIT-Symposium, S.599-604. - Salzburg.
- STATISTIK AUSTRIA (Hrsg., 2010): Datenbank ISIS (Integriertes Statistisches Informationssystem). - Online: [http://www.statistik.at/web\\_de/services/datenbank\\_isis/index.html](http://www.statistik.at/web_de/services/datenbank_isis/index.html), verfügbar am 6. 12. 2010.
- STMUG – BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (2011): Strategien zum Schutz vor Naturgefahren. - Online: [http://www.naturgefahren.bayern.de/wir\\_ueber\\_uns/strategien.htm](http://www.naturgefahren.bayern.de/wir_ueber_uns/strategien.htm), verfügbar am 4.8. 2011.
- STMWIVT – BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (2006): Landesentwicklungsprogramm Bayern 2006. - München.
- SWOBODA, D. (2003): Literaturrecherche zu Blitzschutzmaßnahmen von Windenergie-Anlagen unterschiedlicher Leistungsklassen. - Diplomarbeit, Fachhochschule Aachen. - Online: [http://www.elab-juelich.de/Kern/BA\\_MA\\_DA/DA\\_SWOBODA.PDF](http://www.elab-juelich.de/Kern/BA_MA_DA/DA_SWOBODA.PDF), verfügbar am 05. 8. 2011.
- UMAN, M. (1987): The Lightning Discharge, Academic Press. - Orlando.
- UMPRECHT, H. (2009): Extreme Lightning Parameters in Austria. Master Thesis. Technische Universität Wien. - Stixneusiedl.
- VDE – VERBAND DER ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK E.V. (2006): Fußball bei Gewitter? Richtiges Verhalten im Freien. VDE/DFB-Merkblatt. - Online: <http://www.vde.com/de/Ausschuesse/Blitzschutz/Publ/Empfehlungen-Merkblaetter/Allgemein/Seiten/Fussball-bei-Gewitter.aspx>, verfügbar am 24. 2. 2011.
- VEULLIET, E., J. STÖTTER & H. WECK-HANNEMANN (2009): Sustainable natural hazard management in alpine environments. - Berlin.



- VVO – VERBAND DER VERSICHERUNGSUNTERNEHMEN ÖSTERREICHS (2010): HORA - Hochwasserrisikozone. - Online: <http://www.vvo.at/hora-hochwasserrisikozone-2.html>, verfügbar am 9. 9. 2010.
- VVO – VERBAND DER VERSICHERUNGSUNTERNEHMEN ÖSTERREICHS (Hrsg., 2011): Jahresbericht 2010. Versicherungsverband Österreich. Österreichische Versicherungen sind sicher. - Wien. - Online: <http://www.vvo.at/jahresbericht>, verfügbar am 23. 5. 2011.
- WAKONIGG, H. (2010): Gewitter und Hagel. Kapitel 5. In: F. PRETTENTHALER, A. PODESSER & H. PILGER (Hrsg., 2010): Klimaatlas Steiermark. (= ÖAW Studien zum Klimawandel in Österreich, Band 4). - Online: <http://www.umwelt.steiermark.at>, verfügbar am 2. 8. 2011.
- WICHMANN, V. (2006): Modellierung geomorphologischer Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet. Abgrenzung und Klassifizierung der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS. - Eichstätt, Ingolstadt. (= Eichstätter geographische Arbeiten, Band 15).
- WLV – WILDBACH UND LAWINENVERBAUUNG (Hrsg., 2005): 30 Jahre Gefahrenzonenplan in Österreich. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions-, und Steinschlagschutz, Band 152. - Salzburg.
- WONKA, E. (2006): Regionalstatistik in Österreich. Von der Tabelle zu räumlicher Analyse und Visualisierung. - Salzburg, Wien. (= Salzburger geographische Arbeiten, Band 39).
- XIONG, Y.J.; QUIE, X.S.; ZHOU, Y.J.; YUAN, T.; ZHANG, T.L. (2006): Regional responses of lightning to relative humidity of the surface. - Online: <http://www.spaceweather.ac.cn/publication/jgrs/chinese/49/02/xyj.pdf>, verfügbar am 23. 11. 2010.
- YOUNES, C. & O. DUARTE (2007): Finding relations between ground flash density and geographical relief using data mining tools. . In: IX International Symposium on Lightning Protection. 26th-30th November 2007. - Foz do Iguacu, Brazil. - Online: <http://ws9.iee.usp.br/sipdax/papersix/sessao02/2.2.pdf>, verfügbar am 28. 1. 2011.



## 9. Anhang

### Karten

- Karte 01 Lokale Blitzdichte
- Karte 02 Fokale Blitzdichte
- Karte 03 Probabilistische Blitzdichte
- Karte 04 Fokale Blitzdichte der Einzeljahre und Jahresgang
- Karte 05 Fokale Blitzdichte der blitzreichsten Tage
- Karte 06 Regression von fokaler Blitzdichte auf Meereshöhe
- Karte 07 Regression von probabilistischer Blitzdichte auf Meereshöhe
- Karte 08 Fokale Blitzdichte im Großrelief nach Saison
- Karte 09 Regression von fokaler Blitzdichte auf Hangneigung
- Karte 10 Fokale Blitzdichte und Einwohner auf Rasterebene
- Karte 11 Lokale Blitzdichte im Siedlungsraum und Einwohner nach Gemeinden
- Karte 12 Regression von fokaler Blitzdichte auf orographischen Gewitterindex
- Karte 13 Regression von fokaler Blitzdichte auf schwüle Tage nach Höhenstufen

### Fallstudien

- Tagessituation 20. Juni 2007
- Tagessituation 25. Mai 2007
- Tagessituation 2. August 2007
- Tagessituation 10. Juni 2008
- Tagessituation 25. Juni 2005

### Fragebogen

Gewitter-Umfrage der Universität Salzburg 2010 auf der Reblaus-Projektwebseite (<http://www.reblaus-interreg.eu>)

### Verhaltensregeln

Merkblatt „Was tun, wenn ein Gewitter droht“ der AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt) in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe SABA des Fachausschusses "Blitzschutz" im Österreichischen Verband für Elektrotechnik

### Projektposter

Regionalisierte Blitzauswertung. Geoinformation – Risikomodelle – Prävention

### Projektfolder

deutschsprachig: Regionalisierte Blitzauswertung (Reblaus)  
englischsprachig: Regional analysis of lightning activity

### Bayerisch-Salzburger Blitzschutztag

Einladung zum „Bayerisch-Salzburger Blitzschutztag“ am 20. Juni 2011 im Lehrbauhof Salzburg





EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung

gemeinsam grenzenlos gestalten  
**INTERREG**  
Bayern – Österreich  
2007-2013



## PROJEKTPARTNER

- Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH - Studio iSPACE (Lead Partner), Forschungsstudio für georeferenzierte Technologien und Anwendungen  
<http://ispace.researchstudio.at>
- Österreichischer Verband für Elektrotechnik (ÖVE), Abteilung Austrian Lightning Detection & Information System (ALDIS);  
[www.ove.at](http://www.ove.at); [www.aldis.at](http://www.aldis.at)
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Projekt Energie und Systemstudien  
[www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de)

**r s a iSPACE**

**OVE** Österreichischer Verband für Elektrotechnik

**ipp** Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

## FÖRDERGEBER

- Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO)  
[www.vvo.at](http://www.vvo.at)
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Abteilung V/4, Immissions- und Klimaschutz  
[www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at)
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Referat 75 Luftreinhaltung und Anlagensicherheit  
[www.stmug.bayern.de](http://www.stmug.bayern.de)
- Magistrat der Stadt Salzburg, Abteilung 5 Raumplanung und Baubehörde  
[www.stadt-salzburg.at](http://www.stadt-salzburg.at)

**VVO** Versicherungsverband Österreich

**L**  
lebensministerium.at



**STADT · SALZBURG** Magistrat  
Stadtplanung und Verkehr

## UNTERSTÜTZER

- Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 7 Raumplanung, Abteilung 5 Umweltschutz  
[www.salzburg.gv.at](http://www.salzburg.gv.at)
- EuRegio Salzburg - Berchtesgadener Land - Traunstein  
[www.euregio-salzburg.at](http://www.euregio-salzburg.at)

**Land Salzburg**  
Für unser Land!

**EuRegio**  
Salzburg-Berchtesgadener Land-Traunstein