

**Flächenhafte Analyse von
Schneelastmesswerten in fünf
Landkreisen und ihr Vergleich
mit den Schneelastzonen-
daten der DIN 1055-5:2005 als Pilot-
untersuchung für die Überarbeitung
der Schneelastzonenkarte
Amtliches Gutachten**

T 3348

T 3348

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-7388-0062-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

DWD

Amtliches Gutachten

**Forschungsvorhaben: Flächenhafte Analyse
von Schneelastmesswerten in fünf
Landkreisen und ihr Vergleich mit den
Schneelastzonenaten der DIN 1055-5:2005
als Pilotuntersuchung für die Überarbeitung
der Schneelastzonenkarte**

Auftraggeber:
Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 B
10829 Berlin



Deutscher Wetterdienst

Abteilung Klima- und Umweltberatung
Stahnsdorf, Mai 2017



AMTLICHES GUTACHTEN

**Forschungsvorhaben: Flächenhafte Analyse
von Schneelastmesswerten in fünf Landkreisen
und ihr Vergleich mit den Schneelastzonen
daten der DIN 1055-5:2005 als Pilotuntersuchung
für die Überarbeitung der Schneelastzonenkarte**

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 B
10829 Berlin

wissenschaftliche Bearbeitung: Dr. Bodo Wichura
Dipl.-Geogr. Kristin Hoffmann

Stahnsdorf, 05.05.2017

Dr. Frank Kreienkamp
Leiter Regionales Klimabüro
Potsdam

Dr. B. Wichura
Gutachter

Dieses Gutachten ist urheberrechtlich geschützt, außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte ist seine Vervielfältigung oder Weitergabe an Dritte sowie die Mitteilung seines Inhaltes, auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes gestattet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Meteorologische Grundlagen zur Schneelast	7
3	Datengrundlage	9
3.1	Allgemeine Kriterien zur Datenauswahl	9
3.2	Landkreis Passau	10
3.3	Landkreis Rottal-Inn	10
3.4	Landkreis Berchtesgadener Land	10
3.5	Landkreis Traunstein	11
3.6	Landkreis Miesbach	11
4	Methodik der Schneelastauswertungen	11
4.1	Schneelasten in Normen (DIN 1055-5:2005, DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)	11
4.2	Regression zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe als Grundlage für die Nutzung von Schneehöhenmessungen in Schneelastanalysen	12
4.3	Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten	13
4.4	Räumliche Darstellung und Interpolation der an den Messstandorten ermittelten Schneelasten	14
4.5	Umrechnung der interpolierten Schneelasten in Schneelastzonenraster	15
4.6	Generalisierung der Schneelastzonenraster und Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden	16
5	Ergebnisse	17
5.1	Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe	17
5.1.1	Landkreis Passau	18
5.1.2	Landkreis Rottal-Inn	19
5.1.3	Landkreis Berchtesgadener Land	19
5.1.4	Landkreis Traunstein	20
5.1.5	Landkreis Miesbach	21

5.2	Untersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe	22
5.3	Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten	24
5.3.1	Landkreis Passau	25
5.3.2	Landkreis Rottal-Inn	25
5.3.3	Landkreis Berchtesgadener Land	26
5.3.4	Landkreis Traunstein	26
5.3.5	Landkreis Miesbach	27
5.3.6	Landkreise Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)	28
5.4	Räumliche Darstellung der an den Messstandorten ermittelten Schneelasten	28
5.4.1	Landkreis Passau	28
5.4.2	Landkreis Rottal-Inn	29
5.4.3	Landkreis Berchtesgadener Land	29
5.4.4	Landkreis Traunstein	29
5.4.5	Landkreis Miesbach	29
5.5	Umrechnung der interpolierten Schneelasten in Schneelastzonenraster	30
5.5.1	Landkreis Passau	30
5.5.2	Landkreis Rottal-Inn	30
5.5.3	Landkreis Berchtesgadener Land	31
5.5.4	Landkreis Traunstein	31
5.5.5	Landkreis Miesbach	32
5.6	Generalisierung der Schneelastzonenraster und Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden	32
6	Empfehlungen für die Methodik einer möglichen Überarbeitung der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005	36
7	Zusammenfassung	38
8	Literatur	40
	Tabellenverzeichnis	42
	Abbildungsverzeichnis	42
	Anhang A. Bericht über die DWD-Untersuchungen zur Schneelast in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu, Sitzung des AK Schneelastkarte am 19.11.2010 (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)	43
	Anhang B. Erster Zwischenbericht Forschungsvorhaben (per E-Mail an den Auftraggeber am 05.04.2012)	62

Anhang C. Zweiter Zwischenbericht Forschungsvorhaben (per E-Mail an den Auftraggeber am 21.09.2012, vorgestellt bei der Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.01.2013 in Berlin)	96
Anhang D. Untersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe (vorgestellt bei der Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.01.2012 in Berlin)	129
Anhang E. Ergebnisse der Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)	134
Anhang F. Charakteristische Schneelasten s_k und zugehörige untere und obere Grenzen des 68-%-Konfidenzintervalls s_{ku} bzw. s_{ko}, ermittelt aus Schneehöhen mit Hilfe der Regression Jahresmaxima an Messstationen des DWD im Landkreis Passau unter Verwendung von Messwerten aus n Jahren	136
Anhang G. Wie Anhang F für den Landkreis Rottal-Inn	138
Anhang H. Wie Anhang F für den Landkreis Berchtesgadener Land	140
Anhang I. Wie Anhang F für den Landkreis Traunstein	142
Anhang J. Wie Anhang F für den Landkreis Miesbach	145
Anhang K. Wie Anhang F für den Landkreis Garmisch-Partenkirchen (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)	147
Anhang L. Wie Anhang F für den Landkreis Oberallgäu (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)	148
Anhang M. Neuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden auf der Grundlage der im Forschungsvorhaben ermittelten interpolierten und generalisierten Raster charakteristischer Schneelasten (Regression Jahresmaxima) und Vergleich mit den Schneelastzonen der DIN 1055-5:2005	150

1 Einleitung

Im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin, werden im vorliegenden Gutachten die verfügbaren DWD-Zeitreihen der Wasseräquivalente der Schneedecke und der Schneehöhen in fünf bayerischen Landkreisen (Passau, Rottal-Inn, Berchtesgadener Land, Traunstein, Miesbach) und in den angrenzenden Regionen extremwertstatistisch untersucht.

Aus den Ergebnissen für die Messstationen, an denen sowohl Wasseräquivalent- als auch Schneehöhenmessungen vorliegen, werden Regressionsbeziehungen zwischen der Schneehöhe und dem Wasseräquivalent abgeleitet. Mit Hilfe dieser Ergebnisse werden - in Ergänzung zu den Messdaten des Wasseräquivalents, wie in der DIN 1055-5:2005 geschehen - auch die Messwerte von Stationen, an denen nur die Schneehöhe gemessen wird, für die Schneelastzonenanalyse genutzt.

Die Herangehensweise ist vergleichbar mit dem Ansatz, der der DIN 1055-5:1975 zugrunde lag. Auf der Grundlage der Datenanalysen wird die Gültigkeit der Schneelastzonierung der DIN 1055-5:2005¹ in den fünf Landkreisen geprüft. Vorschläge zur Modifikation der Schneelastzonierung werden angegeben.

Das Vorhaben ist eine Pilotuntersuchung für eine mögliche Überarbeitung der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 im Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland. Die Arbeiten prüfen die Methodik und schaffen die Voraussetzungen für eine flächendeckende Analyse der Schneelasten unter Nutzung aller verfügbaren Schneemessdaten im Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Hintergrund der Untersuchungen ist, dass der Entwurf der Schneelastzonenkarte für die DIN 1055-5:2005 allein auf der Grundlage von Messdaten des Wasseräquivalents von 331 Stationen des DWD im Rahmen eines europäischen Projekts erarbeitet wurde (SANPAOLESI et al., 1998; SANPAOLESI et al., 1999). Der Entwurf der Schneelastzonenkarte für die DIN 1055-5:2005 wurde durch ein DWD-Gutachten überarbeitet, in dem Daten von 16 zusätzlichen Stationen genutzt und eine Station gestrichen wurden (PIEHL und SCHORLEMMER, 2002). Die Zielstellung dieses Gutachtens war, auf der Grundlage der ergänzten Datenbasis im Norden und Osten Deutschlands und einer geänderten Vorgehensweise bei der Schneelastzonierung (erst Zonenfestlegung, dann Untersuchung der Höhenabhängigkeit der Schneelast in der jeweiligen Zone) eine realistischere Darstellung der Schneelastzonen für das Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland zu erreichen. Eine zusätzliche Erweiterung der Datenbasis um Schneehöhenmessungen war sowohl aus methodischen Gründen als auch aus Kosten- und Zeitgründen nicht Bestandteil der Untersuchungen.

In einem ersten Treffen des Arbeitskreises (AK) Schneelastkarte am 31.03.2009 beim DIBt in Berlin wurden - ausgehend von der Anfrage der Fachkommission Bautechnik an das DIBt - die zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erkenntnisse über Probleme der Schneelastzonierung in einzelnen Bundesländern (Bayern, Baden-Württemberg, Sachsen) diskutiert. Im Ergebnis der Diskussion sollte ausgehend von konkreten Anfragen der Bundesländer Bayern, Baden-

¹ Die Regelungen der DIN 1055-5:2005 zu Schneelasten wurden in die DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12 übernommen, die von den Bundesländern beginnend ab Mai 2012 eingeführt wurde (siehe „Verzeichnis Eingeführte Technische Baubestimmungen“, www.dibt.de). Zum Zeitpunkt der Beantragung des Forschungsprojekts war die DIN 1055-5:2005 gültig. Im vorliegenden Bericht wird deshalb auf die DIN 1055-5:2005 Bezug genommen. Alle Bezüge auf die DIN 1055-5:2005 hinsichtlich der Schneelasten sind auf die DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12 übertragbar.

Württemberg und Sachsen die Schneelastzonenkarte stichprobenartig für einzelne Regionen geprüft werden.

Die Teilnehmer stimmten darin überein, dass für eine Prüfung der Schneelastzonenkarte zusätzlich zu den Messdaten des Wasseräquivalents auch Messreihen der Schneehöhe herangezogen werden. Diese Verbreiterung der Datenbasis für die Schneelastzonierung machte Untersuchungen zum Zusammenhang Schneehöhe/Wasseräquivalent in den einzelnen Regionen notwendig. Eine derart erweiterte Datenbasis ist mit derjenigen vergleichbar, die für die Erarbeitung der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:1975 genutzt wurde (CASPAR und KREBS, 1971).

Im Ergebnis des ersten Treffens des AK Schneelastkarte am 31.03.2009 beim DIBt in Berlin wurden durch die Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg „Schwerpunktregionen“ zur stichprobenartigen Prüfung der Schneelastzonenkarte festgelegt. Der DWD analysierte für die zunächst angegebenen vier Regionen in Bayern und für zwei Regionen in Baden-Württemberg die Verfügbarkeit von Messreihen des Wasseräquivalents und der Schneehöhe (in den Regionen 170 Messreihen in Bayern, 68 Messreihen in Baden-Württemberg) sowie deren Verwendbarkeit (z. B. Zeitreihenlänge, Datenausfälle). Nach einem DWD-Angebot zur Datenanalyse an das DIBt (30.10.2009) erfolgte Anfang Juli 2010 eine weitere Abstimmung zwischen DIBt und DWD, die zur Übereinkunft führte, dass der DWD zunächst für ein bis zwei Regionen erste Untersuchungen vornimmt und die Ergebnisse dem AK Schneelastkarte vorstellt. Im Resultat dieser Untersuchungen sollten Aufwand und Kosten nachfolgender Arbeiten besser abschätzbar sein und damit im Anschluss ein Bauforschungsantrag formuliert werden.

Die Ergebnisse der DWD-Untersuchungen zur Schneelast in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu wurden auf der 2. Sitzung des AK Schneelastkarte am 19.11.2010 beim DIBt in Berlin vorgestellt (Anhang A). Auf der Grundlage dieser Untersuchungen reichte der DWD am 08.12.2010 den Forschungsantrag zum vorliegenden Vorhaben ein. Der Vertrag wurde nach verschiedenen (formalen) Änderungsanträgen des DWD durch das DIBt am 15.08.2011 unterzeichnet, so dass die Bearbeitung des Forschungsvorhabens mit einer Verzögerung von 8 Monaten begonnen werden konnte.

Der erste Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben (Anhang B) wurde dem Auftraggeber am 05.04.2012 per E-Mail übergeben. Der zweite Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben (Anhang C) wurde dem Auftraggeber am 21.09.2012 per E-Mail übergeben. Er wurde auf der 3. Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.01.2013 beim DIBt in Berlin vorgestellt. Auf Anfrage von Herrn DI W. Schwind vom 15.01.2013 erfolgten zusätzliche Untersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe, deren Ergebnisse ebenfalls auf der 3. Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.01.2013 beim DIBt in Berlin vorgestellt wurden (Anhang D). Die Mitglieder des AK Schneelastkarte beauftragten auf der 3. Sitzung des AK Schneelastkarte den DWD abschließend mit der Zuordnung der neu ermittelten Schneelastzonen zu den Gemeinden in den bearbeiteten Landkreisen. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden auf der Sitzung des DIN NA 005-51-02 Arbeitsausschusses „Einwirkungen auf Bauten“ am 09.10.2014 in Kurzform dargestellt. Auf der 4. Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.10.2015 erfolgte eine zum Teil kontroverse Diskussion der Ergebnisse durch die Mitglieder des AK mit dem Gast Herrn Dr. Kasperski (Ruhr-Universität Bochum). Im Ergebnis dieser Sitzung schätzten die Mitglieder des AK Schneelastkarte den Auftrag des Forschungsvorhabens als erfüllt ein. In einem Arbeitstreffen beim Ingenieurbüro Schwind Ingenieure GmbH & Co. KG am 05. und 06.07.2016 in Mittenwald wurden durch den Auftragnehmer und Herrn Dipl.-Ing. (FH) W. Schwind letzte Detailfragen zu den Ergebnissen des Vorhabens diskutiert und weitgehend geklärt.

Aufgrund der hohen Auslastung der personellen Ressourcen beim DWD in anderen Projekten, der fortdauernden Diskussionen zur Bewertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens und seiner Erweiterung (Generalisierung der Schneelastzonenraster und Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden) wurde der Abschluss des Forschungsvorhabens in Abstimmung mit den Mitgliedern des AK Schneelastkarte wiederholt verschoben.

Das vorliegende Gutachten ist der Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Es fasst die mit den Mitgliedern des AK Schneelastkarte diskutierten Zwischenberichte zusammen und stellt die meteorologischen Grundlagen zur Schneelast (Abschnitt 2), das verwendete Datenmaterial (Abschnitt 3), die Methodik der Auswertungen (Abschnitt 4) und die Ergebnisse des Forschungsvorhabens (Abschnitt 5) dar. In Abschnitt 6 wird der vorliegende Abschlussbericht zusammengefasst. In Anhang A bis Anhang E sind die im Verlauf des Forschungsvorhabens vorgelegten Zwischenberichte und Arbeitsergebnisse dokumentiert. Da in den Zwischenberichten bereits auf die Grundlagen zur Schneelast, das Datenmaterial, die Methodik der Auswertungen und die Ergebnisse des Forschungsvorhabens eingegangen wurde, wird in den Abschnitten 2 bis 5 auf die zugehörigen Teile der Zwischenberichte verwiesen (z. B. „Bericht B.1“ als Verweis auf die Seite 1 des in Anhang B dokumentierten Zwischenberichts).

2 Meteorologische Grundlagen zur Schneelast

DIN 1055-5:2005² definiert den Rechenwert s und den charakteristischen Wert der Schneelast s_k wie folgt:

„Der Rechenwert der Schneelast s wird auf der Grundlage des charakteristischen Wertes der Schneelast s_k am Boden ermittelt. Der charakteristische Wert entspricht der 98%-Fraktile der Jahresmaxima und hat somit eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02. Dies entspricht einer mittleren Wiederkehrperiode von 50 Jahren.“

Der charakteristische Wert der Schneelast ist somit ein in Abhängigkeit von den geographischen und meteorologischen Verhältnissen aufgrund von Messergebnissen mit statistischen Auswertungsverfahren ermittelter Wert *ohne* die Berücksichtigung einer Abminderung der Dachschneelast gegenüber den Schneverhältnissen am Boden³.

Die Beobachteranleitung des Deutschen Wetterdienstes (1986) enthält Vorschriften zur Messung der Schneedecke und des dazugehörigen Wasseräquivalents. Sobald eine *Schneedecke* vorhanden ist, wird ihre Höhe zum morgendlichen Klimabeobachtungstermin gemessen. Da der Schnee gewöhnlich nicht gleichmäßig liegt, wird die Höhe der Schneedecke an mehreren Stellen gemessen und daraus ein Mittel gebildet. Die Schneedeckenhöhe für sich allein ist aber keine eindeutige Größe, um die *Schneelast* mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen. Aufgrund der unterschiedlichen Konsistenz können zwei gleich hohe Schneedecken deutlich unterschiedliche Schneelasten aufweisen.

Der Wassergehalt der Schneedecke wird an ausgewählten Stationen des Deutschen Wetterdienstes aus dem Schmelzwasser einer aus der Schneedecke ausgestochenen Schneemenge (Volumen, bezogen auf die ausgestochene Fläche) bestimmt. Er wurde *bis zum Jahr 2008 an jedem Montag, Mittwoch und Freitag* möglichst zum morgendlichen Klimabeobachtungstermin ermittelt, *sofern eine mindestens 5 cm hohe Schneedecke lag. Ab dem Jahr*

² Aktueller Nachweis: DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12.

³ Diese Festlegung beinhaltet einen wesentlichen Unterschied zu den Regelschneelasten in der DIN 1055-5:1975. Diese Regelschneelasten stellten in Abhängigkeit von den geographischen und meteorologischen Verhältnissen berechnete Werte dar, die eine Abminderung (Faktor 0,8) für Dachschneelasten gegenüber den Schneelasten am Boden berücksichtigten und für ein mittleres Wiederkehrintervall von 20 Jahren gültig waren.

2008 wird der Wassergehalt der Schneedecke an ausgewählten Stationen des Deutschen Wetterdienstes *täglich* zum morgendlichen Klimabeobachtungstermin ermittelt, *sofern eine mindestens 5 cm hohe Schneedecke liegt*.

Für den Wassergehalt einer Schneedecke wird häufig auch das Synonym absolutes Wasseräquivalent (Bericht B.3, Bericht C.3) verwendet. Aus dem Verhältnis zwischen gemessenem absoluten Wasseräquivalent und der zugehörigen Schneehöhe ergibt sich das spezifische Wasseräquivalent der Schneedecke. Die Schneerohwichte (vergleichbar mit der Schneedichte⁴) entspricht dem spezifischen Wasseräquivalent (Bericht B.4, Bericht C.4; siehe z. B. CHRISTOFFER und KÖHLER, 1988). Die durch eine Schneedecke ausgeübte Kraft pro Flächeneinheit, also die Schneelast, ergibt sich aus der Multiplikation der Schneerohwichte mit der zugehörigen Schneehöhe (Bericht B.15, Bericht C.13). Die Einheit der Schneelast ist kN/m².

Das spezifische Wasseräquivalent einer Schneedecke ist abhängig von:

- der Konsistenz des gefallenen Schnees („trockener“ oder „nasser“ Schnee je nach Wetterlage),
- der Höhe der Schneedecke,
- den meteorologischen Randbedingungen, wie z. B. dem Temperaturverlauf und somit letztendlich auch
- von der Höhe über NN.

GRÄNZER (1989) hat zur Bestimmung der Schneelast einen Ansatz verwendet, in den neben der Schneehöhe eine lokale Rohdichteverteilung innerhalb der Schneesicht eingeht. Die gewählte lokale Rohdichteverteilung ergab eine gute Übereinstimmung mit den Verteilungen, die in den Mittelgebirgen anhand von Messungen ermittelt wurden.

Die Schneeverhältnisse an einem Standort werden hauptsächlich durch dessen orografische Exposition bestimmt, die neben seiner Höhenlage auch die Position zu Gebirgszügen (Stau- oder Leelage) und seine geographische Breite einschließt.

Freie Standorte, also Lagen mit einer uneingeschränkten Sonneneinstrahlung und Lagen mit erhöhten Windgeschwindigkeiten, weisen häufig geringere Schneehöhen auf als windgeschützte Standorte.

Der Einfluss des Waldes auf die Schneeverhältnisse wurde für forsttechnische Zielsetzungen untersucht (z. B. KRONFUSS, 1970; BRECHTEL, 1972). Der stärkere Wind führt über Freiflächen im Vergleich zu Standorten im Wald zwar zu einer Verdichtung der Schneedecke und damit zu einem höheren spezifischen Wasseräquivalent, aber bereits MARTINEC (1966) zeigte anhand von Schneehöhen- und Wasseräquivalentmessungen im Böhmerwald, dass der Abschmelzprozess mit zunehmender Schneedichte schneller vonstatten geht.

Maximale Schneelasten entstehen selten infolge eines einzigen Niederschlagsereignisses. Große Schneehöhen werden im Allgemeinen dann gemessen, wenn sich zuvor die Schneedecke über einen längeren Zeitraum aufgebaut hat. Tauprozesse und Verdunstung können zwischenzeitlich zu einer Abnahme der Schneehöhe führen. Sie können mit einer gleichzeitigen Abnahme des Wasseräquivalents verbunden sein. Das Wasseräquivalent ändert sich jedoch nicht zwingend bei Abnahme der Schneehöhe (Verdichtung der Schneedecke durch Transformationsprozesse). Eine Abnahme der Schneehöhe (und des Wasseräquivalents) kann in Wäldern und teilweise auch in bebauten Gebieten infolge der Abschattung von Strahlung und der Verringerung der Windeinwirkung schwächer ausgeprägt sein als in offe-

⁴ Die Schneedichte ergibt sich aus der Schneerohwichte durch Division mit der Schwerebeschleunigung g (9,81 m/s², für praktische Anwendungen häufig auf 10 m/s² gerundet).

nen Arealen. Die maximalen Schneehöhen (und Wasseräquivalente) können in derartigen Gebieten also höher sein als in offenen Arealen.

Tauprozesse werden auf den nach Süden geneigten Hängen und Dachflächen durch die intensivere Sonneneinstrahlung verstärkt. In dichter bebauten Ortschaften führt die höhere Wärmespeicherkapazität betonierter Flächen und ihre bessere Wärmeleitung zu einer Beschleunigung der Schneeschmelze auf den Straßen und versiegelten Freiflächen. Die Wärmestrahlung der Gebäude und die dadurch allgemein höhere Lufttemperatur begünstigen das Abtauen der Schneedecke auch auf Dachflächen und benachbarten Grünflächen der Gebäude, sofern diese nicht im Schatten der Umgebungsbebauung liegen.

Durch Windeinwirkung kann es zur Verfrachtung von Teilen der Schneedecke kommen. Allgemein nimmt die Wahrscheinlichkeit der Schneeverfrachtung mit zunehmender Windgeschwindigkeit, abnehmender Schneewichte und wenig gegliederter, hindernisfreier Umgebung zu. Die Ablagerung des verfrachteten Schnees erfolgt im Allgemeinen an geschützten Standorten (z. B. im Lee von Hindernissen, in Mulden). Genaue Angaben zur Größenordnung der durch Windeinwirkung verfrachteten Schneemassen sind aufgrund der meist komplexen Wechselwirkungen zwischen den meteorologischen Randbedingungen (insbesondere Windgeschwindigkeit aber auch Temperatur, Niederschlagsmenge und -art als Einflussfaktoren auf die Schneewichte) und den Umgebungsbedingungen des betrachteten Standortes im Allgemeinen nicht möglich.

3 Datengrundlage

3.1 Allgemeine Kriterien zur Datenauswahl

Für die Auswertungen des Forschungsvorhabens wurden die Messreihen von DWD-Stationen in den untersuchten Landkreisen Passau, Rottal-Inn, Berchtesgadener Land, Traunstein und Miesbach sowie aus deren naher Umgebung ausgewählt, die den folgenden Kriterien (Bericht B.8, Bericht C.7) entsprechen:

- Messreihen mit mindestens 6 Jahren Wasseräquivalentmessungen und/oder
- Messreihen mit mindestens 10 Jahren Schneehöhenmessungen sowie
- Messreihen mit mindestens 6 Jahren zeitgleichen Schneehöhen- und Wasseräquivalentmessungen.

Bei der Stationsauswahl wurden nur Zeitreihen von Stationen akzeptiert, die bei Standortverlegungen die Bedingung erfüllten, dass der Betrag der NN-Höhendifferenz ≤ 100 m war. Größere NN-Höhendifferenzen im Rahmen von Standortverlegungen ließen inhomogene Zeitreihen der Schneehöhen und/oder des Wasseräquivalents vermuten und wurden deshalb nicht berücksichtigt.

Stationen aus angrenzenden Landkreisen wurden in die Analysen mit einbezogen, um eine bessere räumliche Abdeckung der Analysen zu ermöglichen und eine breitere Datenbasis (mehr Messstationen) zu erhalten. Bei der Auswahl von Stationen aus angrenzenden Landkreisen wurde berücksichtigt, dass diese Stationen eine annähernd ähnliche Höhenlage über NN wie die Stationen im jeweils betrachteten Landkreis aufweisen und in tolerierbarer Entfernung liegen.

Die Messdaten wurden hinsichtlich ihrer Plausibilität geprüft (Bericht B.12, Bericht C.10). Die Plausibilitätsprüfung erfolgte für Stationen mit Messwerten des Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ und der Schneehöhe mit Hilfe sinnvoller Grenzwerte des spezifischen Wasseräquivalents $sW\ddot{A}$ (siehe Abschnitt 2), umgerechnet auf die Schneedichte SD (siehe Bericht B.4, Bericht C.4). Als Grenzwerte wurden genutzt:

- unterer Grenzwert: $SD < 50 \text{ kg/m}^3$ (trockener Neuschnee hat keine kleinere SD),
- oberer Grenzwert: $SD > 600 \text{ kg/m}^3$ (gelagerter Schnee hat selten eine höhere SD, ansonsten Übergang zu Firnschnee, tritt nur an extremen Standorten mit Ablagerungen > 1 Jahr auf).

Damit sind bei den Bedingungen:

- $W\ddot{A} < 0,5 * SH$
- $W\ddot{A} > 6,0 * SH$

fehlerhafte Messwerte zu vermuten (siehe Gleichung (1)).

Für Messwerte von Stationen mit Schneehöhenmessungen erfolgte die Prüfung auf unrealistisch hohe Messergebnisse der Schneehöhe. In fraglichen Fällen wurden zusätzlich Messergebnisse aus der Stationsumgebung zum Vergleich herangezogen.

Fehlerhafte Messwerte wurden - wenn möglich (z. B. Datenübermittlungsfehler) - berichtigt oder eliminiert.

3.2 Landkreis Passau

Die Stationsauswahl der für die Auswertungen genutzten DWD-Messstationen für den Landkreis Passau ist in Bericht B.9 in einer Übersichtskarte dargestellt. Insgesamt konnten Messungen von 56 Stationen analysiert werden, davon 10 Messstationen, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ als auch der Schneehöhe SH vorlagen. An 46 Stationen lagen allein Messwerte der Schneehöhe SH vor.

Die Übersichtskarte (Bericht B.9) zeigt, dass die räumliche Verteilung der Messstandorte im gesamten Landkreis befriedigend ist. Die Stationen sind nahezu homogen im Landkreis verteilt, lediglich im Süden und im Nordwesten wäre eine größere Stationsdichte wünschenswert.

3.3 Landkreis Rottal-Inn

Die Stationsauswahl der für die Auswertungen genutzten DWD-Messstationen für den Landkreis Rottal-Inn ist in Bericht B.10 in einer Übersichtskarte dargestellt. Insgesamt konnten Messungen von 58 Stationen analysiert werden, davon 10 Messstationen, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ als auch der Schneehöhe SH vorlagen. An 48 Stationen lagen allein Messwerte der Schneehöhe SH vor.

Die Übersichtskarte (Bericht B.10) zeigt, dass die räumliche Verteilung der Messstandorte im gesamten Landkreis befriedigend ist. Die Stationen sind nahezu homogen im Landkreis verteilt, lediglich im Zentrum und im Nordosten wäre eine größere Stationsdichte wünschenswert. Die Verteilung der Messstandorte, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ als auch der Schneehöhe SH vorlagen, ist innerhalb des Landkreises inhomogen. Im Osten liegen nahezu keine Messstationen, die beide Parameter messen. Hier musste auf eine größere Anzahl von Messstationen, östlich außerhalb des Landkreises Rottal-Inn, zurückgegriffen werden.

3.4 Landkreis Berchtesgadener Land

Die Stationsauswahl der für die Auswertungen genutzten DWD-Messstationen für den Landkreis Berchtesgadener Land ist in Bericht B.11 in einer Übersichtskarte dargestellt. Insgesamt konnten Messungen von 48 Stationen analysiert werden, davon 13 Messstationen, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ als auch der Schneehöhe SH vorlagen. An 45 Stationen lagen allein Messwerte der Schneehöhe SH vor.

Die Übersichtskarte (Bericht B.11) zeigt, dass die räumliche Verteilung der Messstandorte im gesamten Landkreis teilweise unbefriedigend ist. Die Stationen sind in der Mitte und im Norden homogen im Landkreis verteilt. Im Süden sind allerdings keine Messstationen verfügbar. Auch auf Messwerte aus Nachbarlandkreisen (in Deutschland) konnte im Süden des Landkreises Berchtesgadener Land nicht zurückgegriffen werden. Aus den genannten Gründen sind räumliche Analysen zur Schneelast in diesem Bereich mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht möglich.

3.5 Landkreis Traunstein

Die Stationsauswahl der für die Auswertungen genutzten DWD-Messstationen für den Landkreis Traunstein ist in Bericht C.8 in einer Übersichtskarte dargestellt. Insgesamt konnten Messungen von 103 Stationen analysiert werden, davon 21 Messstationen, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents WÄ als auch der Schneehöhe SH vorlagen. An 82 Stationen lagen allein Messwerte der Schneehöhe SH vor.

Die Übersichtskarte (Bericht C.8) zeigt, dass die räumliche Verteilung der Messstandorte im gesamten Landkreis befriedigend ist. Die Stationen sind nahezu homogen im Landkreis verteilt. Die Verteilung der Messstandorte, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents WÄ als auch der Schneehöhe SH vorlagen, ist innerhalb des Landkreises befriedigend.

3.6 Landkreis Miesbach

Die Stationsauswahl der für die Auswertungen genutzten DWD-Messstationen für den Landkreis Miesbach ist in Bericht C.9 in einer Übersichtskarte dargestellt. Insgesamt konnten Messungen von 60 Stationen analysiert werden, davon 15 Messstationen, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents WÄ als auch der Schneehöhe SH vorlagen. An 45 Stationen lagen allein Messwerte der Schneehöhe SH vor.

Die Übersichtskarte (Bericht C.9) zeigt, dass die räumliche Verteilung der Messstandorte im gesamten Landkreis befriedigend ist. Die Stationen sind nahezu homogen im Landkreis verteilt, lediglich im Süden wäre eine größere Stationsdichte wünschenswert. Die Verteilung der Messstandorte, an denen sowohl Messwerte des Wasseräquivalents WÄ als auch der Schneehöhe SH vorlagen, ist innerhalb des Landkreises inhomogen. Im Südwesten liegen keine Messstationen, die beide Parameter messen. Hier musste auf Messstationen südwestlich außerhalb des Landkreises Miesbach zurückgegriffen werden.

4 Methodik der Schneelastauswertungen

4.1 Schneelasten in Normen (DIN 1055-5:2005, DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)

Die DIN 1055-5:2005⁵ gibt für Höhen bis 1500 m über NN charakteristische Schneelasten an (Bilder 1 und 2 sowie Gleichungen 1 bis 3 der DIN 1055-5:2005). Die charakteristischen Werte der Schneelast entsprechen dem 98%-Fraktile der Jahresmaxima der Schneelasten. Die charakteristischen Werte der Schneelast haben damit eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02, was einem mittleren Wiederkehrintervall von 50 Jahren entspricht.

Die charakteristischen Werte der Schneelast in der DIN 1055-5:2005 wurden im Rahmen eines europäischen Projekts (SANPAOLESI et al., 1998) und im Rahmen von Zusatzauswertungen des DWD (PIEHL und SCHORLEMMER, 2002) aus Messwerten des Wasseräquivalents an 346 DWD-Messstationen in Abhängigkeit von den geographischen und meteorologi-

⁵ Aktueller Nachweis: DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12.

schen Verhältnissen ermittelt. Nicht verwendet wurden die Messungen der Schneehöhe, die an deutlich mehr Messstellen des DWD verfügbar sind. Der Grund für diese Vorgehensweise lag darin begründet, dass für die Nutzung von Schneehöhenmesswerten im Rahmen einer Schneelastanalyse immer zusätzliche Untersuchungen und/oder Annahmen zur/über die Schneerohwichte gemacht werden müssen.

Die charakteristische Schneelast s_k am Boden kann direkt auf der Grundlage von Analysen der Messwerte des absoluten Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ der Schneedecke bestimmt werden. Dafür werden die 98-%-Fraktile der Schneelast durch die statistische Auswertung der direkten Messwerte der Jahresmaxima des absoluten Wasseräquivalents mit Hilfe einer Extremwertverteilung (Gumbel-Verteilung, Bericht B.19, Bericht C.17) bestimmt.

Für die Prüfung der Schneelastzonenkarte im aktuellen Forschungsvorhaben wurden zusätzlich zu den Messdaten des absoluten Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ auch Messreihen der Schneehöhe SH herangezogen. Diese Verbreiterung der Datenbasis für die Schneelastzonierung machte Untersuchungen zum Zusammenhang Schneehöhe/Wasseräquivalent in den einzelnen Regionen notwendig.

4.2 Regression zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe als Grundlage für die Nutzung von Schneehöhenmessungen in Schneelastanalysen

Die charakteristische Schneelast s_k am Boden kann auf der Grundlage von Analysen der Messwerte der Schneehöhe SH ermittelt werden, wenn die Schneerohwichte SW verfügbar ist. Plausible Werte der Schneerohwichte können mit einer Regressionsanalyse aus Messwerten des absoluten Wasseräquivalents $W\ddot{A}$ und der Schneehöhe SH , gemessen am selben Ort und zur selben Zeit, abgeleitet werden.

Die Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent $W\ddot{A}$ und der Schneehöhe SH erfolgten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens für Zeitreihen von allen für einen untersuchten Landkreis verfügbaren Messstationen, an denen zeitgleich Messreihen für beide Parameter vorliegen. Die Regressionsanalysen wurden durchgeführt für (Bericht B.13, Bericht C.11)

- die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und die zugehörigen Schneehöhen (Regression der Jahresmaxima),
- alle Messwerte des Wasseräquivalents und die zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression).

Ermittelt man die lineare Regression zwischen der Schneehöhe SH und dem Wasseräquivalent $W\ddot{A}$, dann ist die Steigung der Regressionsgeraden ein Maß für das spezifische Wasseräquivalent $sW\ddot{A}$ oder für die Schneewichte SW (Gleichung (1)).

$$sW\ddot{A} \left[\frac{mm}{cm} \right] = \frac{W\ddot{A} [mm]}{SH [cm]} \rightarrow W\ddot{A} [mm] = sW\ddot{A} \left[\frac{mm}{cm} \right] SH [cm]$$

mit

$$sW\ddot{A} \left[\frac{mm}{cm} \right] = SW \left[\frac{kN}{m^3} \right]$$

$$\rightarrow W\ddot{A} [mm] = SW \left[\frac{kN}{m^3} \right] SH [cm] \quad (1)$$

In allgemeiner Form einer linearen Regressionsgleichung:

$$W\ddot{A} [mm] = SW \left[\frac{kN}{m^3} \right] SH [cm] + b [mm]$$

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Ermittlung der Schneewichte SW für die Messdaten einer betrachteten Region können mit den früheren Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes (z. B. CASPAR und KREBS, 1974) sowie mit anderen Literaturangaben (z. B. GRÄNZER, 1989) verglichen und geprüft werden (siehe Abschnitt 5.2 für Aussagen zu Beziehung Schneedichte/Schneehöhe).

Mit Hilfe der für die betrachtete Region (Landkreis und Umgebung) ermittelten Schneerohwichte und der zugehörigen Konstante b können nach Gleichung (1) aus Schneehöhenmessungen, die an zusätzlichen Messstationen in der betrachteten Region verfügbar sind, die zugehörigen absoluten Wasseräquivalente abgeleitet werden.

Im aktuellen Forschungsvorhaben wurden die Ergebnisse der Regressionsanalysen Wasseräquivalent/Schneehöhe genutzt, um aus den Zeitreihen der Schneehöhen die Zeitreihen Wasseräquivalente an *allen* Messstationen abzuleiten.

Die Berechnungen der Zeitreihen der Wasseräquivalente erfolgen auf der Grundlage der

- a) Regressionsgleichungen der Jahresmaxima (siehe (a) oben),
- b) Regressionsgleichungen der mittleren Regression (siehe (b) oben).

Aus den derart berechneten Zeitreihen der Wasseräquivalente werden deren Jahresmaxima an allen Messstationen bestimmt.

4.3 Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten

Die charakteristische Schneelast s_k am Boden wird mit Hilfe der 98-%-Fraktile der Schneelast (entspricht einem mittleren Wiederkehrintervall von 50 Jahren) durch die statistische Auswertung der aus den Schneehöhenmessungen abgeleiteten Jahresmaxima des absoluten Wasseräquivalents abgeleitet. Die Jahresmaxima des absoluten Wasseräquivalents werden mit Hilfe der Fisher-Tippett-Extremwertverteilung, Typ I: Gumbel-Verteilung

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right\} \quad (2)$$

analysiert. Die Parameter a und b in Gleichung (2) können mit Hilfe verschiedener Methoden ermittelt werden (siehe Bericht B.19 und Bericht B.20, Bericht C.17 und Bericht C.18):

- Methode der kleinsten Quadrate,
- Maximum-Likelihood-Methode,
- Momentenmethode.

Als Auswahlkriterium für die genutzte Methode zur Parameterbestimmung wurde die bestmögliche Kurvenanpassung an die jeweilige Verteilung der Messwerte angewendet.

Die berechneten Wasseräquivalente für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren wurden mit den an der jeweiligen Station gemessenen Maxima der Wasseräquivalente verglichen (siehe Abschnitt 5.2, Bericht D.9, Bericht D.10 für Beispiele).

Aufgrund der begrenzten Anzahl von Messdaten, die für die Analyse der Parameter nach Gleichung (2) für die einzelnen Stationen zur Verfügung standen, aufgrund der Unsicherheiten bei der Parameterschätzung selbst sowie aufgrund der Unsicherheiten, die aus der Wahl des Modells nach Gleichung (2) resultieren, sind die ermittelten charakteristischen Schneelasten mit einer statistischen Unsicherheit behaftet. Um den Grad der Unsicherheit abzuschätzen, wurden die zugehörigen Konfidenzintervalle bestimmt.

Die untere und die obere Grenze des Konfidenzintervalls s_{ku} bzw. s_{ko} der ermittelten charakteristische Schneelast s_k am Boden lässt sich mit Hilfe der zugehörigen Standardabweichung

S_k und dem Perzentil t der standardisierten Normalverteilung ermitteln (KITE, 1975; BÅ et al., 2001):

$$(s_{ku}, s_{ku}) = s_k \pm tS_k \quad (3)$$

(KITE, 1975) zeigte, dass für die Analyse der Unsicherheiten von Ereignisschätzungen in Wiederkehrintervallen T deren Normalverteilung angenommen werden kann (Voraussetzung für Gleichung (3)). S_k lässt sich für die Gumbelverteilung aus dem Frequenzfaktor k_T , der Anzahl der in die Extremwertberechnung eingegangenen Messwerte n , dem Parameter b (Gleichung (2)) und der Euler-Konstante $\gamma_E = 0,57722$ berechnen (KITE, 1975; ABILD, 1994; BÅ et al., 2001):

$$S_k = \frac{b\pi}{\sqrt{6n}} \sqrt{1 + 1,14k_T + 1,1k_T^2} \quad (4)$$

$$k_T = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[-\ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) - \gamma_E \right]$$

Für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren ergibt sich für den Frequenzfaktor ein Wert von $k_T = 2,5923$.

4.4 Räumliche Darstellung und Interpolation der an den Messstandorten ermittelten Schneelasten

Die für alle Messstandorte berechneten Schneelasten wurden in einem geographischen Informationssystem (GIS ESRI® ArcMap™, Version 10.0) dargestellt und interpoliert. Im Rahmen der Analysen wurden Höhendaten über NN des digitalen Landschaftsmodells DLM250 (ATKIS®, ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) genutzt (Bericht B.21, Bericht C.19).

Die räumliche Interpolation der Punktdaten der Schneelasten an den Messstationen erfolgte mit dem Verfahren Universal Kriging. Das in einfacher Form wie folgt beschrieben werden kann (<http://de.wikipedia.org/wiki/Kriging>):

„Unter Kriging (oder auch: Krigen) versteht man ein geostatistisches Verfahren, mit dem man Werte an Orten, für die keine Stichprobe vorliegt, durch umliegende Messwerte interpolieren oder auch annähern kann. [...] Der wesentliche Vorteil gegenüber einfacheren Methoden wie beispielsweise der Inversen Distanzgewichtung ist die Berücksichtigung der räumlichen Varianz, die sich mit Hilfe der Semivariogramme ermitteln lässt. Für einen gesuchten Wert werden dabei die Gewichte der in die Berechnung einfließenden Messwerte so bestimmt, dass die Schätzfehlervarianz möglichst gering ist. Der Fehler hängt dabei von der Qualität des Variogramms bzw. der Variogrammfunktion ab.“

Das Verfahren Universal Kriging wurde für die Auswertungen im aktuellen Forschungsvorhaben unter Berücksichtigung der räumlichen Anisotropie der Messstandorte und der Orografie mit Hilfe der Standardroutinen des GIS ArcMap™ (ESRI® ArcMap™, Version 10.0) angewendet. Damit werden im vorliegenden Fall insbesondere die räumlichen Variationen der Höhe über NN berücksichtigt und die Interpolationsergebnisse führen zu einer realistischeren räumlichen Verteilung der interpolierten Schneelasten im Vergleich zu anderen Interpolationsmethoden (z. B. Inverse Distance Weighting).

Die mit Hilfe des genannten Interpolationsverfahrens erstellten Raster (Rastergröße $0,01^\circ \times 0,01^\circ$, ca. $0,75 \text{ km} \times 1,11 \text{ km}$) der charakteristischen Schneelasten am Boden stellen - zusammen mit den Höhendaten über NN des digitalen Landschaftsmodells DLM250 (ATKIS®, ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) - die Ausgangsdatenbasis für die nachfolgende Zuordnung der Schneelastzonen dar.

4.5 Umrechnung der interpolierten Schneelasten in Schneelastzonenraster

Die DIN 1055-5:2005 gibt Berechnungsformeln für die charakteristische Schneelast s_k am Boden [kN/m²] in Abhängigkeit von der Geländehöhe über Meeresebene [m] für die Schneelastzonen 1 bis 3 an (Gleichung (5)). Die charakteristischen Werte der Schneelast s_k am Boden in den Zonen 1a und 2a ergeben sich jeweils durch Erhöhung der Werte aus den Zonen 1 und 2 mit dem Faktor 1,25. Die zugehörigen Sockelbeträge werden in gleicher Weise angehoben.

Die Berechnung der charakteristischen Werte der Schneelast s_k am Boden für die Schneelastzonen 1a und 2a macht eine einfache Analyse der Schneelastzonen, ausgehend von Berechnungsformeln für die Schneelastzonen 1 bis 3 nach Gleichung (5), unmöglich.

$$\begin{aligned} \text{Zone 1: } s_k &= 0,19 + 0,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2 \\ \text{Zone 2: } s_k &= 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2 \\ \text{Zone 3: } s_k &= 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Aus diesem Grund musste ein Verfahren gefunden werden, mit dem sich die Schneelastzonen 1 bis 3 sowie die Zonen 1a und 2a in einem einheitlichen Verfahren aus den interpolierten Schneelasten (siehe Abschnitt 4.4) berechnen lassen.

Die höhenabhängigen Schneelastkurven für die Schneelastzonen 1 bis 3, 1a und 2a können mit Polynomen 2. Grades approximiert werden (Bericht B.22, Bericht C.20).

$$s_k = a_z A^2 + b_z A + c_z \quad (6)$$

Die Koeffizienten k_z (= a_z , b_z und c_z) dieser Polynome wiederum können mit einer linearen Regression in Abhängigkeit von den Schneelastzonen 1 bis 3, 1a und 2a angenähert werden. Dabei wurden für die Berechnung der Regression die Zonen Z zunächst wie folgt definiert (Zone 1 -> $Z = 1$, Zone 1a -> $Z = 2$, Zone 2 -> $Z = 3$, Zone 2a -> $Z = 4$, Zone 3 -> $Z = 5$).

$$k_z = d_k Z + e_k \quad (7)$$

Die mit den Regressionsanalysen entsprechend Gleichung (7) ermittelten Regressionskoeffizienten d_k und e_k (Werte siehe Bericht B.23, Bericht C.21) werden in die Polynomgleichungen (6) eingesetzt. Die Polynomgleichung wird nach den Schneelastzonen Z umgeformt.

$$Z = \frac{s_k - e_a A^2 - e_b A - e_c}{d_a A^2 + d_b A + d_c} \quad (8)$$

Vergleicht man die nach den Polynomgleichungen (6) berechneten höhenabhängigen Schneelastkurven mit denjenigen nach Gleichung (5), dann ergeben sich für die Ermittlung der Schneelastzonen Z nach Gleichung (8) die in Tabelle 1 zusammengefassten Zonenzuordnungen.

Tabelle 1: Zuordnung der Zonenwerte Z nach Gleichung (8) zu den Schneelastzonen 1 bis 3 und 1a und 2a nach DIN 1055-5:2005 (siehe Bericht B.23, Bericht C.21)

Schneelastzone SLZ	Entspricht einem Z
1	1,19
1a	1,66
2	3,10
2a	4,05
3	5,01

Mit Hilfe von Gleichung (8) konnten aus den Rasterdaten der charakteristischen Werte der Schneelast s_k und den Rasterdaten der Geländehöhe über Meeresniveau A für die betrachteten Regionen die resultierenden Schneelastzonenraster berechnet werden.

4.6 Generalisierung der Schneelastraster und Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden

Ausgehend von der Diskussion der Ergebnisse der nach Abschnitt 4.5 ermittelten interpolierten Schneelastraster und der resultierenden Schneelastzonenraster (siehe Abschnitt 5.5) beauftragten die Mitglieder des AK Schneelastkarte während der 3. Sitzung des AK Schneelastkarte den DWD zusätzlich mit der Zuordnung der in sieben Landkreisen (Ergebnisse der Analysen des Forschungsauftrags *plus* Ergebnisse der DWD-Voruntersuchungen für die Landkreise Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu) neu ermittelten Schneelastzonen zu den Gemeinden.

Die Gründe für eine Gemeindezuordnung der neu ermittelten Schneelastzonen sind:

- Zu der aktuell vorliegenden Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) gibt es eine Schneelastzonentabelle, die frei zugänglich im Internet abgerufen werden kann (<https://www.dibt.de/de/Geschaeftsfelder/BRL-TB.html>) -> „Zuordnung der Schneelastzonen nach Verwaltungsgrenzen“).
- Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen sollen in generalisierter Form, d. h. ohne die große Variabilität der berechneten Raster (Rastergröße $0,01^\circ \times 0,01^\circ$, ca. $0,75 \text{ km} \times 1,11 \text{ km}$) nutzerfreundlich verfügbar gemacht werden.

Aufgrund der Resultate zur abweichenden Höhenabhängigkeit der neu ermittelten Schneelasten im Vergleich zu denen, die nach der Höhenformel in der aktuell gültigen Norm (siehe Abschnitt 5.5) abgeleitet werden, wurde vorgeschlagen, die neuen Schneelastzonenzuordnungen in den betrachteten Regionen nur für Höhenlagen kleiner 1000 m über NN vorzunehmen. Für Höhen $> 1000 \text{ m}$ über NN könnten in den betrachteten Regionen zunächst Sonderregelungen - vergleichbar mit der Festlegung „... gilt in der Regel nicht für Orte, die höher als 1500 m über NN liegen ...“ der DIN 1055-5:2005 angewendet werden.

Eine Generalisierung der nach Abschnitt 4.5 ermittelten Schneelastzonenraster (siehe Abschnitt 5.5) auf der Grundlage der Rasterwerte der Schneelastzonen (z. B. Zuordnung der Schneelastzone in einer Gemeinde auf der Grundlage der überwiegenden Anzahl der Schneelastzonenrasterwerte in einer Gemeinde) erwies sich nach Testauswertungen mit dem GIS jedoch als unbrauchbar.

Aus diesem Grund wurde die Generalisierung ausgehend von den interpolierten Rastern der charakteristischen Schneelasten (Grundlage Regression Jahresmaxima) vorgenommen. Alle Rasterelemente mit einer Höhe $> 1000 \text{ m}$ über NN wurden aus der Bearbeitung ausgeschlossen („bereinigte“ Raster der charakteristischen Schneelasten und der Höhe über NN).

Mit den verbliebenen Rasterelementen erfolgte eine Berechnung der mittleren charakteristischen Schneelast und der mittleren Höhe über NN für die Areale der einzelnen Gemeinden. Aus den resultierenden „Gemeindewerten“ (Flächenmittelwerte der charakteristischen Schneelasten und der Höhe über NN) wurden die zugehörigen „Gemeindewerte“ der Schneelastzonen nach der in Abschnitt 4.5 beschriebenen Vorgehensweise ermittelt.

Die derart generalisierten „Gemeindewerte“ der Schneelastzonen wurden abschließend einer Prüfung unterzogen und in Einzelfällen durch den Gutachter korrigiert. Derartige Korrekturen waren meist in Regionen notwendig, in denen durch das Höhenkriterium nur sehr ausgedünnte „bereinigte“ Raster der charakteristischen Schneelasten und der Höhe über NN in die weitere Bearbeitung eingingen. In diesen Regionen war die Datengrundlage (restliche Rasterelemente) teilweise zu klein, um sinnvolle Ergebnisse zu liefern.

Zusätzlich zu den Schneelastzonen 1 bis 3, 1a und 2a wurde die Schneelastzone 3a eingeführt, um eine Differenzierung der Schneelasten in Regionen vornehmen zu können, in denen die vorliegenden Analysen Schneelasten mit einer Zonenzuordnung > Zone 3 ergaben. Die charakteristische Schneelast s_k am Boden in der Zone 3a ergibt sich, wie auch für die Zonen 1a und 2a, durch Erhöhung der Werte aus der Zone 3 mit dem Faktor 1,25.

Für die Analysen zur Gemeindezuordnung wurden Vektordaten „Verwaltungsgrenzen 1:1000000, VG1000“ des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (VG1000; © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie), Stand vom 31.12.2002, genutzt.

5 Ergebnisse

5.1 Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe

Die Ergebnisse von Regressionsanalysen zwischen dem absoluten Wasseräquivalent und der Schneehöhe wurden im aktuellen Forschungsvorhaben genutzt, um aus den Zeitreihen der Schneehöhen die Zeitreihen Wasseräquivalente an *allen* Messstationen, d. h. sowohl an den Messstandorten, an denen nur Schneehöhenmessungen vorliegen als auch an jenen, für die Wasseräquivalent- und Schneehöhemessdaten verfügbar sind, abzuleiten.

Die genannten Regressionsanalysen erfolgten für verschiedene Landkreise mit unterschiedlichen Randbedingungen (z. B. Orografie im Landkreis) und unterschiedlichem Ausgangsdatenmaterial (z. B. Zeitreihenlänge, Messzeitraum). Vor Beginn der Analysen in den einzelnen Landkreisen wurden die nachfolgenden Fragestellungen beispielhaft für den Landkreis Passau untersucht:

- 1) Gibt es einen engen und statistisch gesicherten Zusammenhang zwischen dem absoluten Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den untersuchten Landkreis?
- 2) Welche Ausgangsdaten sollten für die Regressionsuntersuchungen genutzt werden?
 - a) Hängen die Ergebnisse der Regressionsanalysen von der Zeitreihenlänge ab?
 - b) Hängen die Ergebnisse der Regressionsanalysen vom verwendeten Messzeitraum ab?
 - c) Was geschieht mit redundanten WÄ-SH-Wertepaaren⁶?

Die Analysen belegen, dass die Abweichungen in den Resultaten der Regressionsanalysen klein sind, und keine systematischen Abweichungen in Abhängigkeit von der Zeitreihenlänge und/oder vom Messzeitraum sowie von der Verwendung oder dem Ausschluss von redundanten Wertepaaren zeigen.

⁶ Redundanzen in WÄ-SH-Wertepaaren können bei der Analyse der Jahresmaxima der WÄ entstehen: Einem (maximalen) WÄ-Messwert können mehrere SH-Messwerte zugeordnet sein. Grund: Gleiches WÄ der Schneedecke bei Transformation („Setzen“ der Schneedecke).

Exemplarisch dargestellt werden die Ergebnisse entsprechender Untersuchungen für die Regressionsanalysen der Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhe (Regression der Jahresmaxima) im Landkreis Passau in Bericht B.17 und Bericht C.15. Die Regressionsanalysen wurden für drei unterschiedliche Messzeiträume (Gesamtzeitraum 1936 - 2010, Teilzeiträume 1936 - 1989 und 1990 - 2010) mit verschiedenen Zeitreihenlängen (75 Jahre, 54 bzw. 21 Jahre vorgenommen). Redundante Messwerte wurden für die Analysen in Bericht B.17 und Bericht C.15 beibehalten. Es zeigt sich, dass unabhängig von der Zeitreihenwahl (Zeitreihenlänge, Messzeitraum)

- die Regressionsanalysen jeweils einen engen und statistisch gesicherten Zusammenhang zwischen dem absoluten Wasseräquivalent und der Schneehöhe aufzeigen (es ergeben sich signifikante Korrelationskoeffizienten r von 0,90; 0,92 und 0,87 für die Zeiträume 1936 - 2010; 1936 - 1989 bzw. 1990 - 2010; Signifikanzniveau jeweils 99,99 %),
- die Abweichungen der ermittelten Schneewichten SW nur sehr klein sind, die prozentualen Abweichungen betragen -1 % (1936 - 1989) bis +3 % (1990 - 2010) vom Langzeitwert 1936 - 2010,
- die Abweichungen der ermittelten Konstanten b größer sind, die prozentualen Abweichungen betragen +16 % (1936 - 1989) bis -8 % (1990 - 2010) vom Langzeitwert 1936 - 2010,
- der Einfluss redundanter Messwerte sehr klein ist, die prozentualen Abweichungen bei Ausschluss redundanter Messwerte betragen bei den ermittelten Schneewichten SW -2 % (1936 - 1989) bis +3 % (1990 - 2010) vom Langzeitwert 1936 - 2010 und bei den ermittelten Konstanten b +18 % (1936 - 1989) bis -7 % (1990 - 2010) vom Langzeitwert 1936 - 2010.

Aufgrund der Ergebnisse der exemplarischen Untersuchungen zum Einfluss der Zeitreihenlänge, des Messzeitraums sowie dem Einfluss redundanter Wertepaare im Landkreis Passau wurde entschieden, bei den Regressionsanalysen zwischen Wasseräquivalent und der Schneehöhe alle verfügbaren Messdaten der jeweiligen Messstationen zu verwenden. Im Sinne einer Vergrößerung der jeweils verfügbaren Stichprobe wurde deshalb darauf verzichtet, die Messzeiträume (und damit die Zeitreihenlänge) zu vereinheitlichen und redundante Messwerte auszuschließen.

5.1.1 Landkreis Passau

Die Regressionsanalysen für die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (Regression der Jahresmaxima) im Landkreis Passau ergeben eine Schneewichte von $2,88 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 288 kg m^{-3} , siehe Bericht B.25). Diese Schneedichte entspricht der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24). Sie beschreibt die Dichte eines gealterten, evtl. durch Wind verfrachteten Schnees. Dieses Ergebnis ist plausibel, wenn man die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und die zugehörigen Schneehöhen betrachtet, da maximale Wasseräquivalente in der betrachteten Region überwiegend aus Schneedecken resultieren, die bereits länger liegen.

Die Regressionsanalysen für alle Messwerte des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression) im Landkreis Passau ergeben eine Schneewichte von $2,34 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 234 kg m^{-3} , siehe Bericht B.28). Diese Schneedichte entspricht ebenfalls der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24), ist jedoch kleiner als diejenige der Regression der Jahresmaxima. Sie beschreibt die Dichte eines gealterten oder durch Wind verfrachteten Schnees. Das Resultat ist ebenfalls plausibel im Vergleich zum Ergebnis der Regression der Jahresmaxima, da bei der Betrachtung aller

Messwerte auch Wasseräquivalente und zugehörige Schneehöhen einbezogen sein können, die weniger gealtert sind.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Passau sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Passau (siehe Bericht B.25 bis Bericht B.31)

	Regression Jahresmaxima	Mittlere Regression
Regressionsgleichung	$y = 2,8753x - 9,7374$	$y = 2,3402x - 1,1818$
Bestimmtheitsmaß r^2 (Signifikanzniveau)	0,8055 (99,99 %)	0,7884 (99,99 %)

5.1.2 Landkreis Rottal-Inn

Die Regressionsanalysen für die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (Regression der Jahresmaxima) im Landkreis Rottal-Inn ergeben eine Schneewichte von $2,21 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 221 kg m^{-3} , siehe Bericht B.26). Diese Schneedichte liegt im unteren Bereich der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24). Sie beschreibt die Dichte eines gealterten, evtl. durch Wind verfrachteten Schnees. Dieses Ergebnis ist plausibel, wenn man die im Vergleich zum Landkreis Passau kleineren Jahresmaxima des Wasseräquivalents und die zugehörigen Schneehöhen betrachtet. Offenbar sind die Umgebungsbedingungen (insbesondere Orografie) im Landkreis Rottal-Inn derart, dass maximale Wasseräquivalente aus weniger hohen Schneedecken resultieren, die einer geringeren Transformation (z. B. durch Alterung) unterliegen und damit geringere Schneedichten aufweisen.

Die Regressionsanalysen für alle Messwerte des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression) im Landkreis Rottal-Inn ergeben eine Schneewichte von $1,90 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 190 kg m^{-3} , siehe Bericht B.29). Diese Schneedichte entspricht der Klasse „feuchter Lockerschnee“ (vergleiche Bericht B.24). Sie beschreibt die Dichte von Neuschnee bei Temperaturen um 0 °C oder von geringfügig gealtertem Neuschnee. Das Resultat ist plausibel im Vergleich zum Ergebnis der Regression der Jahresmaxima, da bei der Betrachtung aller Messwerte auch Wasseräquivalente und zugehörige Schneehöhen einbezogen sein können, die aus Neuschneefällen resultieren.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Rottal-Inn sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Rottal-Inn (siehe Bericht B.25 bis Bericht B.31)

	Regression Jahresmaxima	Mittlere Regression
Regressionsgleichung	$y = 2,2059x - 2,6870$	$y = 1,9037x - 0,0550$
Bestimmtheitsmaß r^2 (Signifikanzniveau)	0,6930 (99,99 %)	0,6569 (99,99 %)

5.1.3 Landkreis Berchtesgadener Land

Die Regressionsanalysen für die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (Regression der Jahresmaxima) im Landkreis Berchtesgadener Land ergeben eine Schneewichte von $2,97 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 297 kg m^{-3} , siehe Bericht B.27). Diese Schneedichte liegt am oberen Rand der Klasse

„Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24) und beschreibt die Dichte eines merklich gealterten Schnees. Dieses Ergebnis ist plausibel, wenn man die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und die zugehörigen Schneehöhen betrachtet, da maximale Wasseräquivalente in der betrachteten Region überwiegend aus Schneedecken resultieren, die sich über längere Zeiträume akkumulieren.

Die Regressionsanalysen für alle Messwerte des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression) im Landkreis Berchtesgadener Land ergeben eine Schneewichte von $2,42 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 242 kg m^{-3} , siehe Bericht B.30). Diese Schneedichte entspricht ebenfalls der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24), ist jedoch kleiner als diejenige der Regression der Jahresmaxima. Sie beschreibt die Dichte eines gealterten Schnees. Das Resultat ist ebenfalls plausibel im Vergleich zum Ergebnis der Regression der Jahresmaxima, da bei der Betrachtung aller Messwerte auch Wasseräquivalente und zugehörige Schneehöhen einbezogen sein können, die weniger gealtert sind. Anzumerken ist die größere Streuung der Messwerte, insbesondere bei größeren Schneehöhen (vergleiche Ergebnisse Passau, Bericht B.28). Dieses Resultat macht deutlich, dass im betrachteten Landkreis die Schneeablagerungsbedingungen offenbar räumlich weniger homogen sind, was zu einer größeren Streuung der Resultate führt.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Berchtesgadener Land sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Berchtesgadener Land (siehe Bericht B.25 bis Bericht B.31)

	Regression Jahresmaxima	Mittlere Regression
Regressionsgleichung	$y = 2,9671x - 14,4850$	$y = 2,4215x - 3,7218$
Bestimmtheitsmaß r^2	0,7820	0,7527
(Signifikanzniveau)	(99,99 %)	(99,99 %)

5.1.4 Landkreis Traunstein

Die Regressionsanalysen für die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (Regression der Jahresmaxima) im Landkreis Traunstein ergeben eine Schneewichte von $2,97 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 297 kg m^{-3} , siehe Bericht C.23). Diese Schneedichte liegt am oberen Rand der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24) und beschreibt die Dichte eines merklich gealterten Schnees. Dieses Ergebnis ist plausibel, wenn man die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und die zugehörigen Schneehöhen betrachtet, da maximale Wasseräquivalente in der betrachteten Region überwiegend aus Schneedecken resultieren, die sich über längere Zeiträume akkumulieren. Das Ergebnis ist nahezu identisch mit dem für den Landkreis Berchtesgadener Land ermittelten Resultat (siehe 5.1.3), lediglich der Korrelationskoeffizient ist für den Landkreis Traunstein höher. Dieses Ergebnis ist plausibel, da beide Landkreise aneinander angrenzen und der Landkreis Traunstein aufgrund seiner Topografie wahrscheinlich räumlich homogenere Schneeablagerungsbedingungen aufweist.

Die Regressionsanalysen für alle Messwerte des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression) im Landkreis Traunstein ergeben eine Schneewichte von $2,43 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 243 kg m^{-3} , siehe Bericht C.25). Diese Schneedichte entspricht ebenfalls der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24), ist jedoch kleiner als diejenige der Regression der Jahresmaxima. Sie beschreibt die Dichte eines gealterten Schnees. Das Resultat ist ebenfalls plausibel im Vergleich zum Ergebnis

der Regression der Jahresmaxima, da bei der Betrachtung aller Messwerte auch Wasseräquivalente und zugehörige Schneehöhen einbezogen sein können, die weniger gealtert sind. Anzumerken ist einerseits die merklich größere Streuung der Messwerte, insbesondere bei größeren Schneehöhen (vergleiche Ergebnisse Passau, Bericht B.28). Andererseits sind die Ergebnisse der mittleren Regression nahezu identisch mit den für den Landkreis Berchtesgadener Land ermittelten Resultaten, was auf gleiche Gründe, wie die für die Regression der Jahresmaxima genannten, zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Traunstein sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Traunstein (siehe Bericht C.23 bis Bericht C.27)

	Regression Jahresmaxima	Mittlere Regression
Regressionsgleichung	$y = 2,9651x - 15,3775$	$y = 2,4269x - 4,1110$
Bestimmtheitsmaß r^2 (Signifikanzniveau)	0,7947 (99,99 %)	0,7613 (99,99 %)

5.1.5 Landkreis Miesbach

Die Regressionsanalysen für die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (Regression der Jahresmaxima) im Landkreis Miesbach ergeben eine Schneewichte von $2,88 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 288 kg m^{-3} , siehe Bericht C.24). Diese Schneedichte entspricht der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24). Sie beschreibt die Dichte eines gealterten, evtl. durch Wind verfrachteten Schnees. Dieses Ergebnis ist plausibel, wenn man die Jahresmaxima des Wasseräquivalents und die zugehörigen Schneehöhen betrachtet, da maximale Wasseräquivalente in der betrachteten Region überwiegend aus Schneedecken resultieren, die bereits länger liegen.

Die Regressionsanalysen für alle Messwerte des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression) im Landkreis Miesbach ergeben eine Schneewichte von $2,43 \text{ kN m}^{-3}$ (entspricht einer Schneedichte von rund 243 kg m^{-3} , siehe Bericht C.26). Diese Schneedichte entspricht ebenfalls der Klasse „Packschnee“ (vergleiche Bericht B.24), ist jedoch kleiner als diejenige der Regression der Jahresmaxima. Sie beschreibt die Dichte eines gealterten oder durch Wind verfrachteten Schnees. Das Resultat ist ebenfalls plausibel im Vergleich zum Ergebnis der Regression der Jahresmaxima, da bei der Betrachtung aller Messwerte auch Wasseräquivalente und zugehörige Schneehöhen einbezogen sein können, die weniger gealtert sind.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Miesbach sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Miesbach (siehe Bericht C.23 bis Bericht C.27)

	Regression Jahresmaxima	Mittlere Regression
Regressionsgleichung	$y = 2,8822x - 8,9607$	$y = 2,4298x - 3,0517$
Bestimmtheitsmaß r^2 (Signifikanzniveau)	0,7860 (99,99 %)	0,7721 (99,99 %)

5.2 Untersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe

Auf Anfrage von Herrn DI W. Schwind vom 15.01.2013 erfolgten exemplarisch für einen Landkreis zusätzliche Untersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe, deren Ergebnisse während der 3. Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.01.2013 beim DIBt in Berlin vorgestellt wurden (Anhang D).

In den Untersuchungen geht es um die von Herrn DI W. Schwind aufgeworfene Fragestellung, ob die Nutzung der Regressionsanalysen der Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhe (Regression der Jahresmaxima, siehe Abschnitte 4.2, 5.1, 5.4 - 5.6) zu sinnvollen Ausgangsdaten für die Schneelastbestimmung (siehe Abschnitt 5.4) und Schneelastzonierung (siehe Abschnitte 5.5, 5.6) führen können, oder ob damit die aus den Schneehöhenmessungen im jeweils betrachteten Landkreis ermittelten Schneelasten (Abschnitt 5.4) und Schneelastzonen (Abschnitte 5.5, 5.6) überbestimmt bzw. zu hoch ermittelt werden.

Um diese Fragestellung zu beantworten, wurden exemplarisch für den Landkreis Traunstein zusätzliche Analysen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe vorgenommen. Zunächst erfolgte eine Untersuchung aller im Landkreis verfügbaren Messwerte der Schneedichte, ermittelt jeweils für die Jahresmaxima des Wasseräquivalents, in Abhängigkeit von der zugehörigen gemessenen Schneehöhe (siehe Bericht D.2). Die Messwerte zeigen eine große Streuung. Der berechnete polynomische Zusammenhang zwischen Schneehöhe und Wasseräquivalent ist dementsprechend durch einen kleinen Korrelationskoeffizienten gekennzeichnet (Magenta in Bericht D.2).

Wenn man das absolute Glied in der polynomischen Regressionsgleichung zwischen Schneehöhe und Wasseräquivalent auf einen Wert von 160 kg m^{-3} festlegt (entspricht angenähert dem absoluten Glied der Auswertungen von CASPAR und KREBS, 1971), dann ändert sich der Korrelationskoeffizient geringfügig.

Die resultierende Kurve (Grün in Bericht D.3) zeigt einen für Schneelastanalysen sinnvollen Verlauf mit einem Anstieg der Schneedichte für Schneehöhen zwischen 0 cm und 75 cm. Die nachfolgend nahezu konstante Schneedichte von etwa 280 kg m^{-3} für Schneehöhen zwischen 76 cm und 140 cm kommt der mittels Regression der Jahresmaxima ermittelten Schneedichte des überwiegenden Teils der untersuchten Landkreise nahe (vergleiche Tabelle 2, Tabelle 4 - Tabelle 6). Eine mit zunehmender Schneehöhe nahezu konstante Schneedichte erscheint im Hinblick auf die Schneedeckenphysik zunächst nicht sinnvoll. Man kann ein derartiges Ergebnis jedoch mit einem „Sättigungszustand“ der Schneedecke interpretieren, der sich *im Mittel* aus den verschiedensten Randbedingungen und Transformationsprozessen einer Schneedecke (vergleiche Abschnitt 2) ergibt. Für Schneehöhen $> 140 \text{ cm}$ steigt die Schneedichte erneut an, mit einer Steigung, die schnell zu unrealistischen Werten der Schneedichte einer abgelagerten Schneedecke (ohne mehrjährige Ablagerung) führen kann. Wahrscheinlich begrenzten CASPAR und KREBS (1971) aus diesem Grund die Gültigkeit der von ihnen gefundenen Polynomgleichung auf Schneehöhen bis 153 cm (grau gestrichelt in Bericht D.3).

Im nachfolgenden Diagramm (Bericht D.4) sind alle im Landkreis verfügbaren Messwerte der Schneedichte, ermittelt jeweils für die Jahresmaxima der Schneehöhe, in Abhängigkeit von der zugehörigen gemessenen Schneehöhe, eingetragen. Es zeigt sich, dass die zuvor erwähnten Polynome für den überwiegenden Teil der Schneedichtewerte, ermittelt jeweils für die Jahresmaxima der Schneehöhe, die obere Einhüllende darstellen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die aus der Regression der Jahresmaxima (siehe Abschnitte 4.2, 5.1, 5.4 - 5.6) und den Schneehöhen berechneten Wasseräquivalente als Ausgangsdaten für die Schneelastbestimmung (siehe Abschnitt 5.4) zu verwenden: In der Regressionsgleichung

zwischen den Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhe wird mit der Steigung eine für den jeweiligen Landkreis zutreffende Schneedichte ermittelt, mit deren Hilfe nachfolgend die Schneehöhenmessdaten in Wasseräquivalente umgerechnet werden können (siehe Gleichung (1)). Wendet man das Ergebnis dieser Regression der Jahresmaxima (Wasseräquivalent, zugehörige Schneehöhe) auf die Jahresmaxima der Schneehöhen an, dann werden die Wasseräquivalente nicht generell überbestimmt. Vielmehr ergibt sich daraus lediglich die obere Einhüllende der Wasseräquivalentmesswerte bei maximaler Schneehöhe. Eine derartige Vorgehensweise ist für Normungsfragestellungen zielführend, da sie sinnvolle Ergebnisse im Hinblick auf eine sichere Bemessung liefert.

In Bericht D.5 ist zusätzlich die von CASPAR und KREBS (1971) ermittelte Polynombeziehung zwischen Schneehöhe (SH in m) und Schneedichte (SD in kg m^{-3}) eingetragen (Symbole in Lila).

$$SD = 159,81 + 129,82 SH - 81,09 SH^2 + 59,907 SH^3 - 20,652 SH^4 \quad (9)$$

Es zeigt sich, dass bei Verwendung von Gleichung (9) insbesondere für kleine Schneehöhen eine noch größere Anzahl von Schneedichtewerten oberhalb des Polynoms mit einem festgelegten absoluten Glied von 160 kg m^{-3} (Grün in Bericht D.5) liegt. Das bedeutet, dass eine derartige Approximation die Schneedichte und ein daraus ermitteltes Wasseräquivalent insbesondere für kleine Schneehöhen unterbestimmen würde.

In Bericht D.6 sind die Ergebnisse der Schneelastberechnungen für den Landkreis Traunstein, ermittelt aus

- dem Polynom nach Gleichung (9) (Lila in Bericht D.5) und
- dem Polynom aus Messdaten mit einem festgelegten absoluten Glied von 160 kg m^{-3} (Grün in Bericht D.5)

über den Resultaten der Schneelastberechnungen, ermittelt aus den Jahresmaxima der Schneehöhe mit Hilfe der Regression der Jahresmaxima (siehe Tabelle 5), aufgetragen. Es zeigt sich, dass bei Verwendung von Gleichung (9) die Schneelasten generell unterbestimmt werden.

Nutzt man lediglich die mit Hilfe der Regression der Jahresmaxima bestimmte Schneedichte (siehe Gleichung (1) und Tabelle 5) als konstanten Wert, um mit deren Hilfe aus den Jahresmaxima der Schneehöhen die zugehörigen Wasseräquivalente zu bestimmen, dann wäre insbesondere für kleine Schneehöhen eine Überbestimmung der resultierenden Schneelasten möglich (rote Linie in Bericht D.5).

Allerdings wird bei Verwendung der Regressionsgleichungen (siehe Gleichung (1) und Tabelle 2 - Tabelle 6) für die Berechnung der Wasseräquivalente aus den Schneehöhen *nicht allein* die Schneedichte (der Anstieg der jeweiligen Regressionsgeraden) verwendet, sondern auch das ermittelte absolute Glied. Berücksichtigt man *beide* Regressionsparameter, dann wird deutlich, dass die resultierende Beziehung zwischen der Schneedichte und der Schneehöhe nicht zu einem linearen Ausdruck führt (Gleichungen, siehe Bericht D.8).

In Bericht D.7 sind die aus der Regressionsgleichung der Jahresmaxima resultierenden Werte der Schneedichten über den Schneehöhen dargestellt (graue Quadrate). Es zeigt sich, dass für Schneehöhen ab etwa 20 cm bis 140 cm die Schneedichten nahezu mit den Werten übereinstimmen, die aus den Schneehöhen mit Hilfe des Polynoms mit einem festgelegten absoluten Glied von 160 kg m^{-3} resultieren (Grün in Bericht D.7). Bei Schneehöhen unter 20 cm ergeben sich kleinere Schneedichten, bei Schneehöhen unter 10 cm sogar kleinere Schneedichten als sie nach Gleichung (9) ermittelt werden.

Um die Güte der Schneelastbestimmung auf der Grundlage der Regressionsanalysen der Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhe (Regression der Jahresmaxima), angewendet auf die Jahresmaxima der Schneehöhen (Gleichung (1) und Tabelle 5) im Vergleich zu realen Messwerten zu prüfen, erfolgte in Bericht D.9 eine Regressionsanalyse mit den Schneelasten, die an den Stationen im Landkreis Traunstein direkt aus Wasseräquivalentmessungen abgeleitet wurden. Es zeigt sich, dass im Mittel die aus den Schneehöhen mit Hilfe der Regression Jahresmaxima ermittelten Schneelasten unter 300 kg m^{-2} geringfügig über- und über 500 kg m^{-2} etwas unterbestimmt werden. Dieses Ergebnis gilt unter Einbeziehung aller Zeitreihen der Wasseräquivalente, unabhängig von ihrer zeitlichen Länge. Berücksichtigt man in der Regressionsanalyse lediglich die langen Zeitreihen (> 28 Jahre), dann ergibt sich eine Regressionsgerade mit dem Anstieg von 0,99 (Bericht D.10). Die per Regression der Jahresmaxima (Tabelle 5) berechneten Schneelasten liegen damit um nahezu konstant den Wert des absoluten Gliedes von rund 70 kg m^{-2} (siehe Regressionsgleichung in Bericht D.10) über den gemessenen Werten des Wasseräquivalents. Das führt für Schneelasten $> 600 \text{ kg m}^{-2}$ zu ca. 10 % höheren berechneten Werten. Diese Überbestimmung wird, unter Berücksichtigung weiterer möglicher Fehlerquellen bei der (räumlichen) Analyse der Schneelasten (z. B. bei Extremwertanalysen, vergleiche Abschnitt 5.3; bei der räumlichen Interpolation der Schneelasten, der Ableitung der zugehörigen Schneelastzonen oder der Generalisierung der Schneelasten) und im Hinblick auf die Zielstellung einer sicheren Bemessung, als akzeptabel eingeschätzt.

5.3 Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten

Ausgehend von den ermittelten Jahresmaxima der Wasseräquivalente an allen Messstationen (siehe Abschnitte 4.2 und 5.1) wurden die Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten durchgeführt. Die Extremwertanalysen erfolgten auf der Grundlage der Zeitreihen der Jahresmaxima der Wasseräquivalente, die

- a) aus den Regressionsgleichungen der Jahresmaxima und
- b) aus den Regressionsgleichungen der mittleren Regression

ermittelt wurden (siehe Abschnitt 5.1 und Bericht B.14, Bericht C.12).

Die Ergebnisse der Extremwertanalysen der Jahresmaxima der Wasseräquivalente aus den Regressionsgleichungen der Jahresmaxima sind für die einzelnen Messstationen in Bericht B.32 bis Bericht B.34, in Bericht C.28 bis Bericht C.30, in Bericht E.1 sowie in Bericht E.3 dargestellt. Die zugehörigen Zahlenwerte der charakteristischen Schneelasten s_k und die zugehörigen unteren und oberen Grenzen des 68%-Konfidenzintervalls⁷ s_{ku} bzw. s_{ko} (siehe Gleichung (3) in Abschnitt 4.3) sind in Anhang F bis Anhang L zusammengefasst. Anhang F bis Anhang L zeigen, dass die Beträge der unteren und oberen Grenzen des 68%-Konfidenzintervalls im Mittel um ca. 14 % von den Beträgen der charakteristischen Schneelasten abweichen. Betrachtet man die Größenordnung der Abweichung von s_{ku} und s_{ko} vom Betrag der charakteristischen Schneelasten s_k in Anhang F bis Anhang L, dann wird deutlich, dass sie insbesondere von der Länge der verwendeten Zeitreihe abhängig ist (neben der Standardabweichung der ermittelten Gumbelverteilung, siehe Faktor $b\pi/\sqrt{6}$ in Gleichung (4)). Die Breite des Konfidenzintervalls wird kleiner für lange Zeitreihen (Minima der Abweichungen s_{ku}/s_{ko} von s_k von 6 %), sie vergrößert sich für kurze Zeitreihen (Maxima 40 %). Kurze Zeitreihen (< 10 Jahre Zeitreihenlänge) wurden im Hinblick auf eine möglichst hohe räumliche Dichte in die Analysen einbezogen. Sehr kurze Zeitreihen (< 6 Jahre Zeitreihenlänge)

⁷ Bei Wahl eines 68%-Konfidenzintervalls ist das Perzentil t der standardisierten Normalverteilung $t \approx 1$, d.h. die Grenzen des Konfidenzintervalls entsprechen der Standardabweichung S_k („1-Sigma“).

sind angegeben. Sie dienen lediglich der räumlichen Zusatzinformation und wurden in der weiteren Bearbeitung entsprechend kritisch bewertet.

Die Ergebnisse der Extremwertanalysen der Jahresmaxima der Wasseräquivalente aus den mittleren Regressionsgleichungen sind für die einzelnen Messstationen in Bericht B.35 bis Bericht B.37 sowie in Bericht C.31 bis Bericht C.33 zusammengefasst.

5.3.1 Landkreis Passau

Bericht B.32 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (Regression Jahresmaxima) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten⁸. Es wird deutlich, dass - insbesondere für die Messstandorte in größeren Höhen über NN - mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Von den 46 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 34 Standorte (73 %, siehe Bericht B.39) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 3 Standorte (7 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und 9 Standorte (20 %) könnten einer kleineren Schneelastzone zugeordnet werden.

Bericht B.35 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (mittlere Regression) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten. Auch für die aus den mittleren Regressionsgleichungen ermittelten charakteristischen Schneelasten bleibt der Befund bestehen, dass - insbesondere für die Messstandorte in größeren Höhen über NN - mit den aktuellen Auswertungen für mehr als die Hälfte der analysierten Stationen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Von den 46 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 26 Standorte (57 %, siehe Bericht B.53) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 8 Standorte (17 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und 12 Standorte (26 %) könnten einer kleineren Schneelastzone zugeordnet werden.

Die Ergebnisse der Auswertungen zeigen für die Orte Schöllnach, Büchlberg-Tannöd und Tittling bei geringen Ortshöhen große Schneelasten. Diese Stationen wiesen im Winter 2005/2006 außerordentlich große Schneehöhen auf. Es wurde daraufhin untersucht, ob diese Werte unter Zugrundelegung der Regelungen des Final Report (SANPAOLESI et al., 1998) als außergewöhnliche Schneelasten einzustufen sind. Ein maximaler Schneelastwert einer Messreihe kann dann als außergewöhnlich eingestuft werden, wenn der Quotient aus diesem Maximalwert der Schneelast und der charakteristischen Schneelast, bestimmt ohne den Maximalwert der Zeitreihe, den Wert 1,5 überschreitet. Diese Forderung ist für Tittling mit einem Quotienten von 1,5 nahezu erfüllt, für die Orte Büchlberg-Tannöd und Schöllnach nicht.

5.3.2 Landkreis Rottal-Inn

Bericht B.33 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (Regression Jahresmaxima) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten.⁸ Es wird deutlich, dass lediglich an einigen Messstandorten in größeren Höhen über NN außerhalb des Landkreises, die im Hinblick auf die räumliche Interpolation der Schneelasten in die Analysen aufgenommen wurden, mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteris-

⁸ Die Ergebnisse sind für die verwendeten Messstandorte nach der Höhe über NN aufsteigend sortiert.

tische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Von den 50 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 11 Standorte (22 %, siehe Bericht B.44) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 21 Standorte (42 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 18 Standorte (36 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

Bericht B.36 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (mittlere Regression) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten. Auch für die aus den mittleren Regressionsgleichungen ermittelten charakteristischen Schneelasten wird deutlich, dass lediglich an einzelnen Messstandorten in größeren Höhen über NN außerhalb des Landkreises, die im Hinblick auf die räumliche Interpolation der Schneelasten in die Analysen aufgenommen wurden, mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Von den 50 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 8 Standorte (16 %, siehe Bericht B.57) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 21 Standorte (42 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 21 Standorte (42 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

5.3.3 Landkreis Berchtesgadener Land

Bericht B.34 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (Regression Jahresmaxima) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten⁸. Es wird deutlich, dass für eine große Anzahl von Messstandorten mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Lediglich in Regionen mit kleineren Höhenlagen über NN und an Standorten mit sehr großen NN-Höhen (> 900 m über NN) sind kleinere Schneelasten im Vergleich zu den Normwerten zu verzeichnen. Von den 52 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 29 Standorte (56 %, siehe Bericht B.48) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 11 Standorte (21 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 12 Standorte (23 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

Bericht B.37 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (mittlere Regression) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten. Auch für die aus den mittleren Regressionsgleichungen ermittelten charakteristischen Schneelasten wird deutlich, dass für mehr als ein Drittel der Messstandorte mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Lediglich in Regionen mit kleineren Höhenlagen über NN und an Standorten mit sehr großen NN-Höhen (> 900 m über NN) sind kleinere Schneelasten im Vergleich zu den Normwerten zu verzeichnen. Von den 52 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 19 Standorte (36 %, siehe Bericht B.61) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 14 Standorte (27 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 19 Standorte (37 %, Rundungsdifferenz) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

5.3.4 Landkreis Traunstein

Bericht C.28 und Bericht C.29 zeigen die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (Regression Jahresmaxima) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort

ermittelten Werten.⁸ Es wird deutlich, dass für eine große Anzahl von Messstandorten in größeren Höhenlagen über NN (überwiegend >600 m über NN) mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Lediglich in Regionen mit kleineren Höhenlagen über NN (meist < 600 m über NN) sind kleinere Schneelasten im Vergleich zu den Normwerten zu verzeichnen. Von den 82 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 41 Standorte (50 %, siehe Bericht C.35) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 24 Standorte (29 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 17 Standorte (21 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

Bericht C.31 und Bericht C.32 zeigen die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (mittlere Regression) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten. Auch für die aus den mittleren Regressionsgleichungen ermittelten charakteristischen Schneelasten wird deutlich, dass für etwa ein Viertel der Messstandorte mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Von den 82 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 21 Standorte (26 %, siehe Bericht C.53) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 34 Standorte (41 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 27 Standorte (33 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

5.3.5 Landkreis Miesbach

Bericht C.30 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (Regression Jahresmaxima) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten.⁸ Es wird deutlich, dass für etwas mehr als ein Drittel der Messstandorte mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. In Regionen mit kleineren Höhenlagen über NN und an Standorten mit sehr großen NN-Höhen (> 1000 m über NN) sind überwiegend kleinere Schneelasten im Vergleich zu den Normwerten zu verzeichnen. Von den 45 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 16 Standorte (36 %, siehe Bericht C.44) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 7 Standorte (16 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 22 Standorte (48 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

Bericht C.33 zeigt die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (mittlere Regression) im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten. Auch für die aus den mittleren Regressionsgleichungen ermittelten charakteristischen Schneelasten wird deutlich, dass für etwa ein Fünftel der Messstandorte mit den aktuellen Auswertungen höhere charakteristische Schneelasten ermittelt wurden, als auf der Grundlage der Normangaben. Von den 45 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung müssten nach den vorliegenden Ergebnissen 8 Standorte (18 %, siehe Bericht C.57) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 10 Standorte (22 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 27 Standorte (60 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

5.3.6 Landkreise Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)

Bericht E.1 und Bericht E.3 zeigen die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (Regression Jahresmaxima) in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten⁸. Für den Landkreis Garmisch-Partenkirchen müssten nach den vorliegenden Ergebnissen von den 26 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung lediglich 2 Standorte (8 %) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 4 Standorte (15 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 20 Standorte (77 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden. Für den Landkreis Oberallgäu müssten nach den vorliegenden Ergebnissen von den 37 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung 7 Standorte (19 %) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 13 Standorte (35 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 17 Standorte (46 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

Bericht E.2 und Bericht E.4 zeigen die an den Messstationen des DWD ermittelten charakteristischen Schneelasten (mittlere Regression) in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu im Vergleich zu den nach der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) für den Standort ermittelten Werten. Für den Landkreis Garmisch-Partenkirchen müsste nach den vorliegenden Ergebnissen von den 26 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung kein Standort einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 4 Standorte (15 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 22 Standorte (85 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden. Für den Landkreis Oberallgäu müssten nach den vorliegenden Ergebnissen von den 37 Standorten im Landkreis und dessen Umgebung 2 Standorte (5 %) einer höheren Schneelastzone zugeordnet werden, für 12 Standorte (32 %) entspricht die ermittelte Schneelast der gültigen Schneelastzone und für 23 Standorte (62 %) könnte eine kleinere Schneelastzone zugeordnet werden.

5.4 Räumliche Darstellung der an den Messstandorten ermittelten Schneelasten

Die ermittelten charakteristischen Schneelasten wurden mit einem geographischen Informationssystem (GIS ESRI® ArcMap™, Version 10.0) räumlich dargestellt (siehe Abschnitt 4.4). Auf der Grundlage der räumlichen Zuordnung lassen sich die Ergebnisse mit den Normausagen nach DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) lagebezogen vergleichen und interpretieren.

5.4.1 Landkreis Passau

Bericht B.38 und Bericht B.52 stellen die Resultate der ermittelten charakteristischen Schneelasten räumlich dar⁹. Bericht B.38 und Bericht B.52 zeigen, dass die größeren Schneelasten im Vergleich zu den aktuellen Normwerten insbesondere am westlichen Anstieg zu den Höhenlagen des Bayerischen Waldes aus der Donauebene heraus (im mittleren und nördlichen Teil des Landkreises) zu verzeichnen sind. Für die Regionen im Südteil des Landkreises zeigen die Auswertungen überwiegend kleinere Schneelasten im Vergleich zu den aktuellen Normwerten. Diese Ergebnisse sind aus klimatologischer Sicht plausibel und

⁹ Die eingetragenen Punktsymbole verdeutlichen die Ergebnisse sowohl durch die Farbgebung als auch durch die Symbolgröße. Die Farbskala gibt an, welcher Schneelastzone nach DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) der ermittelte Wert der charakteristischen Schneelast entspricht. Die Symbolgröße ist dem Betrag der ermittelten charakteristischen Schneelasten proportional.

lassen sich mit der Luv- (Anstieg zum Bayerischen Wald) und Leewirkung (Höhenlagen im Süden des Landkreises, liegen im Lee von westlich und nordwestlich vorgelagerten Anstiegen) des Reliefs begründen.

5.4.2 Landkreis Rottal-Inn

Bericht B.43 und Bericht B.56 stellen die Resultate der ermittelten charakteristischen Schneelasten räumlich dar⁹. Bericht B.43 und Bericht B.56 zeigen, dass die charakteristischen Schneelasten an allen unmittelbar im Landkreis liegenden Messstationen den Normwerten entsprechen oder kleiner sind. Diese Ergebnisse sind aus klimatologischer Sicht plausibel und lassen sich mit der Topografie im Landkreis und in seiner Umgebung begründen.

5.4.3 Landkreis Berchtesgadener Land

Bericht B.47 und Bericht B.60 stellen die Resultate der ermittelten charakteristischen Schneelasten räumlich dar⁹. Bericht B.47 und Bericht B.60 zeigen, dass die charakteristischen Schneelasten im Nordwest- und Südteil des Landkreises überwiegend höheren Schneelastzonen entsprechen. Insbesondere an den Anstiegen zu den Höhenlagen der Chiemgauer Alpen und des Lattengebirges (im nördlichen und mittleren Teil des Landkreises) zeigen die Auswertungen deutlich größere Schneelasten im Vergleich zu den aktuellen Normwerten. Diese Ergebnisse sind aus klimatologischer Sicht plausibel und lassen sich mit den aus der Topografie im Landkreis resultierenden Luv- (Anstiege zu den Höhenlagen der Chiemgauer Alpen und des Lattengebirges) und Leewirkungen (Regionen im Nordosten des Landkreises und in einigen Tallagen) begründen.

5.4.4 Landkreis Traunstein

Bericht C.34, Bericht C.38 bis Bericht C.40 sowie Bericht C.52 stellen die Resultate der ermittelten charakteristischen Schneelasten räumlich dar¹⁰. Die Abbildungen zeigen, dass die charakteristischen Schneelasten in größeren Arealen im Südosten und Süden des Landkreises höheren Schneelastzonen entsprechen. Im Nord- und Mittelteil des Landkreises werden die charakteristischen Schneelasten nach DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) durch die vorliegenden Auswertungen meist bestätigt (Norden und Nordwesten des Landkreises) oder entsprechen kleineren Schneelastzonen (im Übergangsbereich zwischen Nordwest- und Südostteil). Die Überschreitung der Schneelasten in Tallagen im Südosten und Süden des Landkreises lassen sich aus klimatologischer Sicht mit der Luv- und Leewirkung (keine Verfrachtung von abgelagertem Schnee aus der Tallage heraus, zusätzliche Ablagerung von verfrachtetem Schnee von exponierten Standorten in der Umgebung in die Tallagen) der umliegenden Höhenzüge sowie mit der Modifikation der Strahlungsbedingungen (Abschattung bei niedrigen Sonnenständen, erhöhte Albedo der Hanglagen bei Schneebedeckung) und der daraus resultierenden Änderungen des lokalen Wärmehaushalts begründen.

5.4.5 Landkreis Miesbach

Bericht C.43, Bericht C.47 bis Bericht C.49 sowie Bericht C.56 stellen die Resultate der ermittelten charakteristischen Schneelasten räumlich dar¹⁰. Die Abbildungen zeigen, dass die charakteristischen Schneelasten im Südwesten und Südosten des Landkreises in Tallagen

¹⁰ Die eingetragenen Punkt- und Säulensymbole verdeutlichen die Ergebnisse sowohl durch die Farbgebung als auch durch die Symbolgröße. Die Farbskala gibt an, welcher Schneelastzone nach DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) der ermittelte Wert der charakteristischen Schneelast entspricht. Die Symbolgröße ist dem Betrag der ermittelten charakteristischen Schneelasten proportional.

die Werte nach DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) überschreiten. In großen Regionen im Nord- und Mittelteil des Landkreises werden die charakteristischen Schneelasten durch die vorliegenden Auswertungen bestätigt oder entsprechen kleineren Schneelastzonen. Die Überschreitung der Schneelasten in Tallagen im Südwesten und Südosten des Landkreises lassen sich aus klimatologischer Sicht mit der Luv- und Leewirkung der umliegenden Höhenzüge sowie mit der Modifikation der Strahlungsbedingungen und der daraus resultierenden Änderungen des lokalen Wärmehaushalts begründen.

5.5 Umrechnung der interpolierten Schneelasten in Schneelastzonenraster

Die ermittelten charakteristischen Schneelasten wurden mit einem geographischen Informationssystem (GIS ESRI® ArcMap™, Version 10.0) mit dem Verfahren Universal Kriging räumlich interpoliert (siehe Abschnitt 4.4). Aus dem erstellten Raster der interpolierten charakteristischen Schneelasten am Boden wurde mit Hilfe der Höhendaten über NN des digitalen Landschaftsmodells DLM250 (ATKIS®, ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) nach dem in Abschnitt 4.5 beschriebenen Verfahren ein Raster der zugehörigen Schneelastzonenwerte berechnet.

5.5.1 Landkreis Passau

Bericht B.40 (Grundlage Regression Jahresmaxima) und Bericht B.54 (Grundlage mittlere Regression) zeigen die berechneten Raster der Schneelastzonen für den Landkreis im Vergleich zur Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)¹¹. Ausgehend von den Punktwerten der charakteristischen Schneelasten bestätigen die interpolierten Rasterwerte der Schneelastzonen die Feststellungen aus Abschnitt 5.4.1.

Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen neu berechneten Rastern der Schneelastzonen und der Schneelastzonenkarte nach Norm ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN im betrachteten Landkreis zu suchen.

Die aus den topografischen Gegebenheiten und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen in der betrachteten Region resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) verankert sind.

Im Unterschied zu den Ergebnissen anderer Landkreise (siehe Abschnitte 5.5.3, 5.5.4, 5.5.5) führen die Analysen im Landkreis Passau dazu, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelastzonen zu einer Zonenzuordnung führen, die im Vergleich zur Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) größer ist. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die in der aktuell gültigen Norm angegebene Höhenformel die Schneelasten in der Region mit zunehmender Höhe über NN zu klein bestimmt. Die Ergebnisse können ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung sein.

5.5.2 Landkreis Rottal-Inn

Bericht B.45 (Grundlage Regression Jahresmaxima) und Bericht B.58 (Grundlage mittlere Regression) zeigen die berechneten Raster der Schneelastzonen für den Landkreis im Vergleich zur Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)¹¹.

¹¹ Das neu berechnete Raster der Schneelastzonen überdeckt die Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12), die dem Ergebnistraster zum Vergleich in aufgehellter Form hinterlegt wurde. Unter der Schneelastzonenkarte liegt (durchscheinend) das Raster Höhendaten über NN des digitalen Landschaftsmodells DLM250 (ATKIS®, ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie).

Ausgehend von den Punktwerten der charakteristischen Schneelasten bestätigen die interpolierten Rasterwerte der Schneelastzonen die Feststellungen aus Abschnitt 5.4.2.

Die Schneelastzonen nach Norm entsprechen in größeren Arealen des Landkreises den ermittelten Rasterwerten oder sie werden unterschritten.

Nach den vorliegenden Ergebnissen könnten große Areale im Südteil des Landkreises in kleinere Schneelastzonen eingegliedert werden.

5.5.3 Landkreis Berchtesgadener Land

Bericht B.49 (Grundlage Regression Jahresmaxima) und Bericht B.62 (Grundlage mittlere Regression) zeigen die berechneten Raster der Schneelastzonen für den Landkreis im Vergleich zur Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)¹¹. Ausgehend von den Punktwerten der charakteristischen Schneelasten bestätigen die interpolierten Rasterwerte der Schneelastzonen die Feststellungen aus Abschnitt 5.4.3.

Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen neu berechneten Rastern der Schneelastzonen und der Schneelastzonenkarte nach Norm ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN im betrachteten Landkreis zu suchen.

Die aus den topografischen Gegebenheiten und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen in der betrachteten Region resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) verankert sind. Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelasten zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN in der Umgebung. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die in der aktuell gültigen Norm angegebene Höhenformel die Schneelasten mit zunehmender Höhe über NN zu groß bestimmt. Die Ergebnisse können ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung sein.

5.5.4 Landkreis Traunstein

Bericht C.36 bis Bericht C.40 (Grundlage Regression Jahresmaxima) und Bericht C.54 (Grundlage mittlere Regression) zeigen die berechneten Raster der Schneelastzonen für den Landkreis im Vergleich zur Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)¹¹. Ausgehend von den Punktwerten der charakteristischen Schneelasten bestätigen die interpolierten Rasterwerte der Schneelastzonen die Feststellungen aus Abschnitt 5.4.4.

Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen neu berechneten Rastern der Schneelastzonen und der Schneelastzonenkarte nach Norm in größeren Höhen über NN (überwiegend Berglagen > 800 m über NN) ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN im betrachteten Landkreis zu suchen.

Die aus den topografischen Gegebenheiten und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen in der betrachteten Region resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) verankert sind. Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelasten zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN in der Umgebung. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die in der aktuell gültigen Norm angegebene Höhenformel die Schneelasten mit zunehmender Höhe über NN zu groß bestimmt. Die Ergebnisse können ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung sein.

5.5.5 Landkreis Miesbach

Bericht C.45 bis Bericht C.49 (Grundlage Regression Jahresmaxima) und Bericht C.58 (Grundlage mittlere Regression) zeigen die berechneten Raster der Schneelastzonen für den Landkreis im Vergleich zur Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)¹¹. Ausgehend von den Punktwerten der charakteristischen Schneelasten bestätigen die interpolierten Rasterwerte der Schneelastzonen die Feststellungen aus Abschnitt 5.4.5.

Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen neu berechneten Rastern der Schneelastzonen und der Schneelastzonenkarte nach Norm in größeren Höhen über NN (überwiegend Berglagen > 800 m über NN) ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN im betrachteten Landkreis zu suchen.

Die aus den topografischen Gegebenheiten und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen in der betrachteten Region resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) verankert sind. Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelasten zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN in der Umgebung. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die in der aktuell gültigen Norm angegebene Höhenformel die Schneelasten mit zunehmender Höhe über NN zu groß bestimmt. Die Ergebnisse können ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung sein.

5.6 Generalisierung der Schneelastzonenraster und Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden

Aufgrund der Resultate zur abweichenden Höhenabhängigkeit der neu ermittelten Schneelasten im Vergleich zu den nach der Höhenformel in der aktuell gültigen Norm (siehe Abschnitt 5.5) ermittelten Schneelasten erfolgten erste Auswertungen zur Generalisierung der Schneelastzonenraster und zur Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden auf der Grundlage „höhenbereinigter“ Schneelastzonenraster. Dafür wurden die in Abschnitt 5.5 ermittelten Schneelastzonenraster (Abbildung 1) zunächst um alle Rasterelemente mit einer Höhe > 1000 m über NN „bereinigt“, d. h. die Rasterelemente wurden aus der Bearbeitung ausgeschlossen (Abbildung 2).

Eine Generalisierung der „bereinigten“ Schneelastzonenraster (siehe Abbildung 2) durch Zuordnung der Schneelastzone in einer Gemeinde auf der Grundlage der Rasterwerte der Schneelastzonen (z. B. Zuordnung der Schneelastzone in einer Gemeinde auf der Grundlage der überwiegenden Anzahl der Schneelastzonenrasterwerte in einer Gemeinde) erwies sich nach Testauswertungen mit dem GIS jedoch als unbrauchbar.

Deshalb wurde die Generalisierung ausgehend von den interpolierten Rastern der charakteristischen Schneelasten (Grundlage Regression Jahresmaxima) vorgenommen und nach der in Abschnitt 4.6 dargestellten Vorgehensweise durchgeführt.

Die Ergebnisse der generalisierten „Gemeindewerte“ der Schneelastzonen sind in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigte sich, dass in einigen Gemeinden durch das Höhenkriterium nur sehr ausgedünnte „bereinigte“ Raster der charakteristischen Schneelasten und der Höhe über NN in die weitere Bearbeitung eingingen. In diesen Gemeinden war die Datengrundlage (restliche Rasterelemente) teilweise zu klein, um sinnvolle Ergebnisse zu liefern.

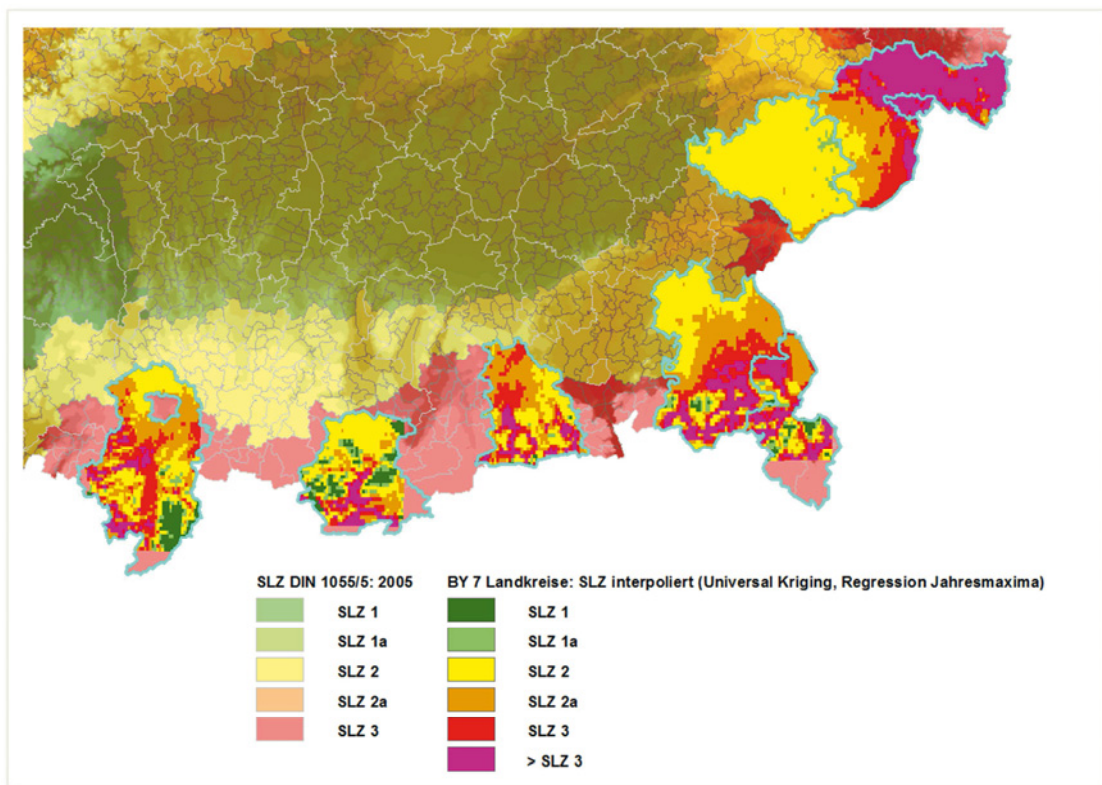


Abbildung 1: Raster der Schneelastzonen¹¹ in sieben Landkreisen in Bayern, ermittelt auf der Grundlage der Interpolation von charakteristischen Schneelasten aus Messdaten von Wasseräquivalent und Schneehöhe an DWD-Stationen

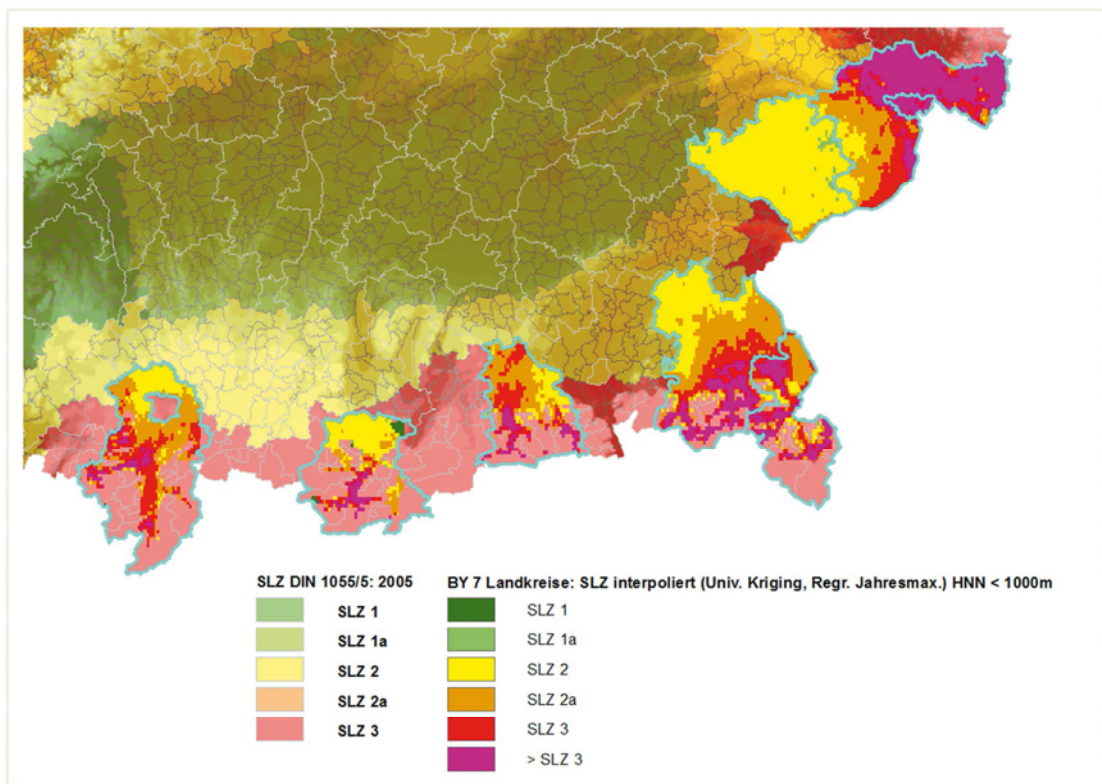


Abbildung 2: Wie Abbildung 1 für alle Rasterelemente in Höhen < 1000 m über NN

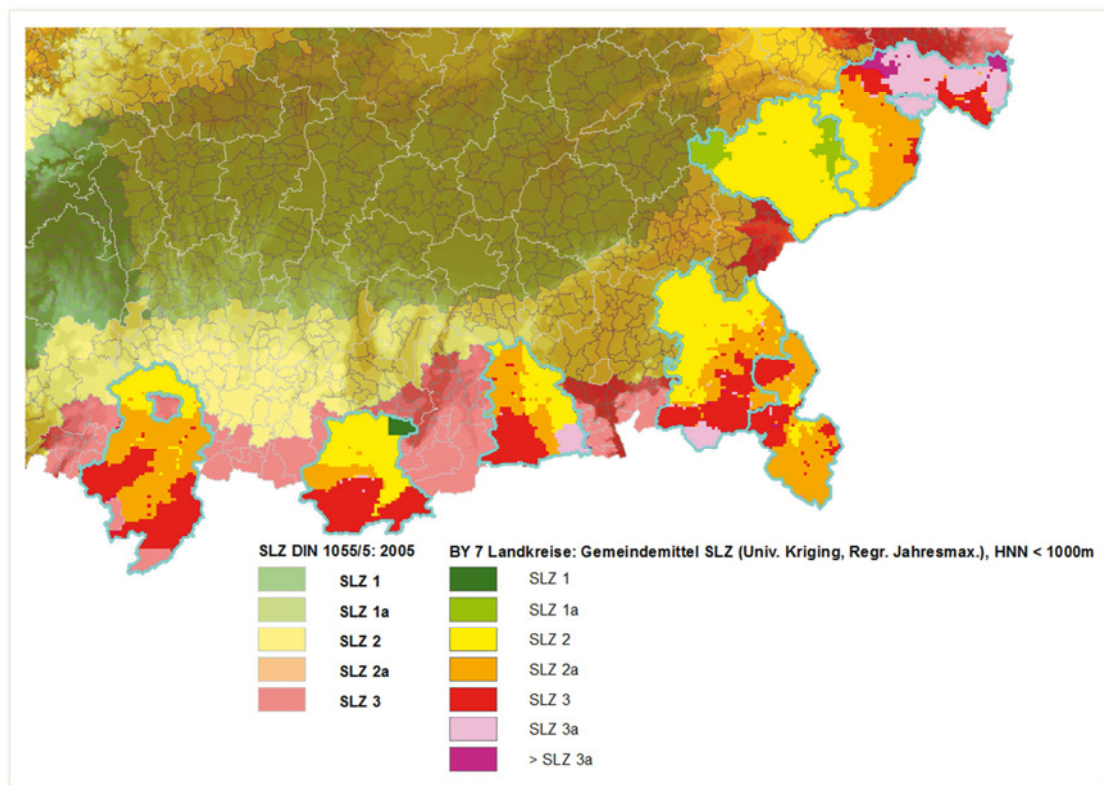


Abbildung 3: Raster der generalisierten Schneelastzonen¹¹ in sieben Landkreisen in Bayern, ermittelt auf der Grundlage von Flächenmittelwerten der charakteristischen Schneelasten und der zugehörigen Flächenmittelwerte der Höhe über NN für Rasterelemente in Höhen < 1000 m über NN.

Weiterhin kam es in einigen Gemeinden offenbar durch die Flächenmittlungen der charakteristischen Schneelasten und der Höhe über NN zu unrealistischen Ergebnissen der resultierenden „Gemeindewerte“ der Schneelastzonen.

Aus den genannten Gründen wurden die generalisierten „Gemeindewerte“ der Schneelastzonen abschließend einer Prüfung unterzogen und in Einzelfällen durch den Gutachter korrigiert. Das Ergebnis der korrigierten Karte der generalisierten „Gemeindewerte“ der Schneelastzonen ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Resultate der Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden wurden in Anhang M zusammengefasst. Sie stehen auch Form einer Excel-Datei als Ergänzung zum vorliegenden Gutachten zur Verfügung.

Die neu ermittelten Zuordnungen der Gemeinden zu den Schneelastzonen wurden mit denjenigen nach der aktuell gültigen Norm verglichen. In den 195 Gemeinden wurden nach den vorliegenden Ergebnissen 32 Gemeinden (17 %, siehe Abbildung 5) einer höheren Schneelastzone zugeordnet, in 59 Gemeinden (30 %) entspricht die neu ermittelte Schneelastzone der aktuell nach Norm gültigen Schneelastzone und für 104 Gemeinden (53 %) erfolgte die Zuordnung einer kleineren Schneelastzone.

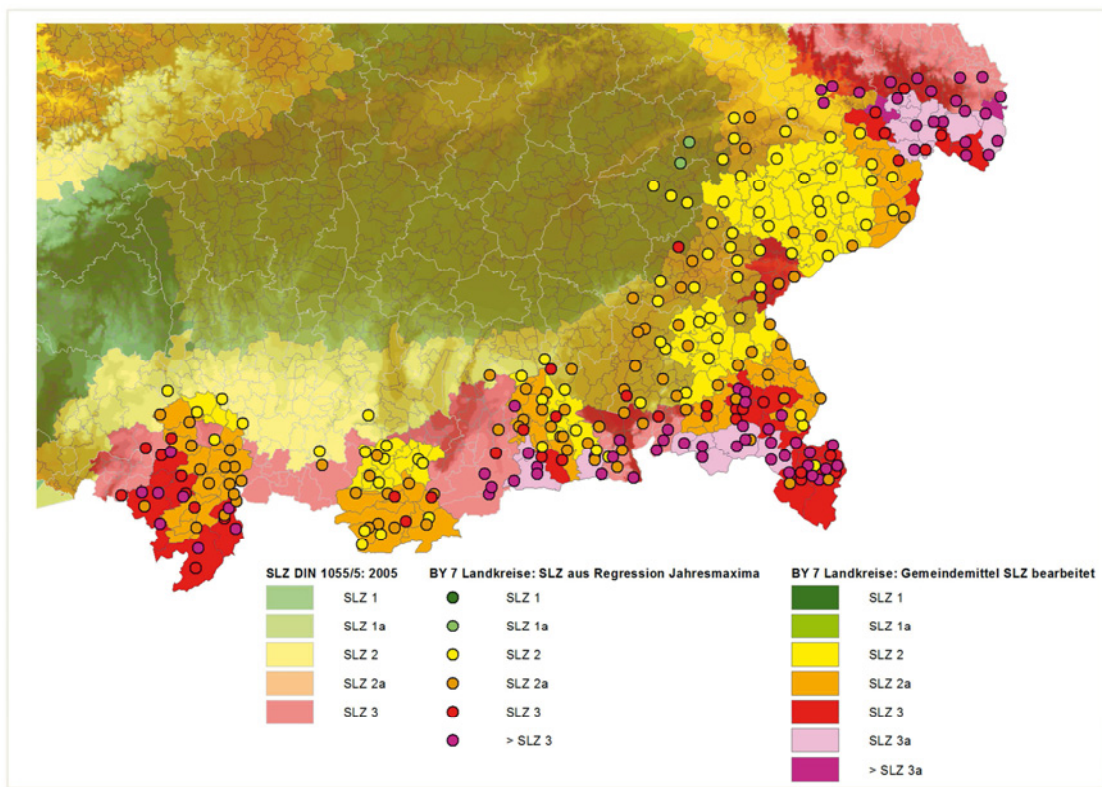


Abbildung 4: Wie Abbildung 3, manuell nachbearbeitet. Zum Vergleich eingetragen sind die charakteristischen Schneelasten, ermittelt aus Messdaten von Wasseräquivalent und Schneehöhe an DWD-Stationen (Regression Jahresmaxima).

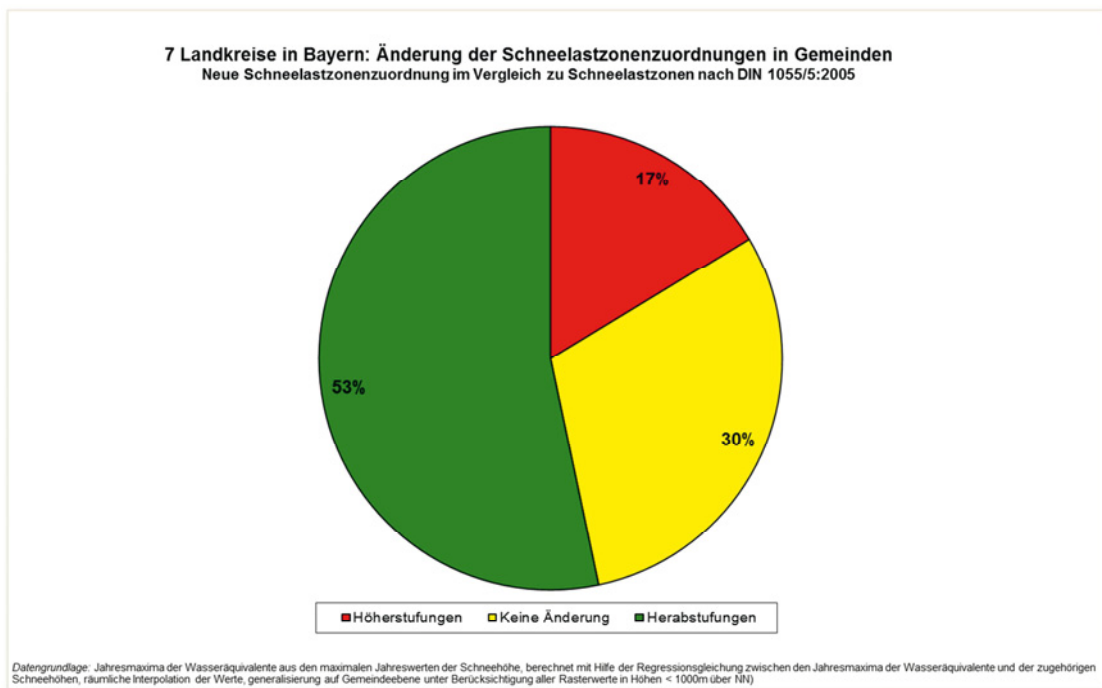


Abbildung 5: Änderung der Schneelastzonenzuordnungen in sieben Landkreisen in Bayern im Vergleich zu Schneelastzonen nach DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12)

6 Empfehlungen für die Methodik einer möglichen Überarbeitung der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005

Im Forschungsvorhaben wurde eine Methodik für Schneelastzonenanalysen angewendet, die auf einer Erhöhung der räumlichen Auflösung der Schneelastinformationen unter Nutzung von Wasseräquivalent- und von Schneehöhenmessdaten beruht. Schneehöhenmessdaten sind mit einer höheren Stationsdichte verfügbar als Messwerte des Wasseräquivalents. Um die räumlich höher aufgelösten Informationen der Schneehöhenmessungen für Schneelastanalysen nutzbar zu machen, sind Informationen zur Schneedichte erforderlich.

Die Ergebnisse des vorliegenden Berichts zeigen, dass gebietsbezogene Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe als Grundlage für die Nutzung von Schneehöhenmessungen dienen können (Abschnitte 4.2 und 5.1). Die Resultate geben Hinweise darauf, dass derartige Analysen für größere Areale mit ähnlichen topografischen Randbedingungen zu ähnlichen Ergebnissen führen können (siehe z. B. Ergebnisse der Regressionsanalysen für die Landkreise Berchtesgadener Land und Traunstein in Tabelle 4 und Tabelle 5). Dementsprechend sollte bei weitergehenden Auswertungen zunächst eine Regionalisierung der Schneedichteanalysen erfolgen (Ausgrenzung von Regionen mit ähnlicher Schneehöhe-/Wasseräquivalentabhängigkeit).

Die Untersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe zeigen, dass die Nutzung der Regressionsbeziehungen zwischen den Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhe (Regression der Jahresmaxima, siehe Abschnitte 4.2, 5.1) zu Schneedichten führt, die der oberen Einhüllenden der Schneedichten für die Jahresmaxima der Schneehöhe entsprechen (Abschnitt 5.2). Die Regression der Jahresmaxima führt damit zu Wasseräquivalenten, die für Normungsfragestellungen relevant und im Sinne einer sicheren Bemessung zielführend sind. Es wird empfohlen, derartige Analysen auch für zukünftige Anwendungen zu verwenden.

Die Ergebnisse der Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten belegen, dass die Nutzung der Jahresmaxima des absoluten Wasseräquivalents und die Verwendung der Gumbel-Verteilung (siehe Abschnitt 4.3) zu sinnvollen und verwertbaren Ergebnissen der charakteristischen Schneelasten führen (Abschnitt 5.3). Betrachtet man die zugehörigen Konfidenzintervalle, dann wird deutlich, dass deren Breite insbesondere von der Länge der verwendeten Zeitreihe abhängig ist. Folgerichtig sollten bevorzugt längere Zeitreihen (Zeitreihenlänge ≥ 25 Jahre) in die Analysen einfließen. Diese Forderung steht im Widerspruch zur Forderung nach einer möglichst hohen räumlichen Dichte der Schneelastinformationen als Voraussetzung für einen fundierten Raumbezug der Schneelastzonenzuordnung. Deshalb sollte in weitergehenden Untersuchungen ein Kompromiss zwischen der regionalen Datenverfügbarkeit und den verwendeten Zeitreihenlängen gefunden werden. Auch die Fragestellung nach einer Vereinheitlichung des betrachteten Untersuchungszeitraumes (Datengrundlage) sollte vor dem Hintergrund der Datenverfügbarkeit betrachtet werden: Solange aus sehr langen Zeitreihen von Schneehöhen- und/oder Wasseräquivalentmessungen keine Hinweise auf mögliche (Klima-)Trends abzuleiten sind, sollten im Hinblick auf eine räumliche Verdichtung des verfügbaren Datenmaterials auch in zukünftigen Analysen Zeitreihen aus unterschiedlichen Untersuchungszeiträumen Verwendung finden.

Für weitergehende Untersuchungen der Schneelastzonenzuordnung wird empfohlen, auch andere Methoden der Parameterbestimmung in den Extremwertanalysen zu verwenden (beispielsweise Peaks Over Threshold, POT), mit deren Hilfe die Stichprobe bei gleichbleibender Zeitreihenlänge vergrößert werden kann. Derartige Methoden werden, ebenso wie Ansätze zur Behandlung von außergewöhnlichen Ereignissen, in der Fachliteratur diskutiert

(siehe z. B. SANPAOLESI et al., 1998; SADOVSKÝ et al., 2012; KASPERSKI, 2014). Sie standen aufgrund der vergleichsweise großen Datendichte und der Eigenschaften der Messwerte in den betrachteten Landkreisen (hohe räumliche Stationsdichte; Jahreswerte an den Messstationen immer verfügbar; keine außergewöhnlichen Ereignisse) im vorliegenden Forschungsvorhaben nicht zur Diskussion, sollten aber bei Betrachtung anderer Regionen (z. B. Binnenland: geringere Stationsdichte; nicht in jedem Winter Schneedaten an allen Stationen verfügbar; Auftreten außergewöhnlicher Ereignisse) berücksichtigt werden.

Die Verfahren zur räumlichen Darstellung (siehe Abschnitte 4.4 und 5.4) und zur Interpolation der an den Messstandorten ermittelten charakteristischen Schneelasten mit Hilfe eines geostatistischen Verfahrens (Abschnitte 4.5 und 5.5) haben sich ebenso bewährt, wie die Vorgehensweise zur Generalisierung der Schneelastzonenraster und Zuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden (Abschnitte 4.6 und 5.6). Eine vergleichbare Herangehensweise wird für zukünftige Anwendungen empfohlen.

Für weitergehende Untersuchungen sollte geprüft werden, ob anstelle der Schneelastzonierung (Angabe von Schneelastzonen in einer Karte) eine andere Herangehensweise gewählt werden kann: Es wird, möglicherweise in Abhängigkeit von größeren geographischen Arealen, nur noch eine Formel generiert, die sich an die europäischen Formeln (siehe SANPAOLESI et al., 1998; SANPAOLESI et al., 1999) anlehnt. Diese Formel beschreibt dann die Abhängigkeit der Schneelast von der Ortshöhe über NN und weist einen ortsabhängigen Z-Faktor auf, der jeweils an die vor Ort ermittelten Schneelasten angepasst ist. Die Werte der Z-Faktoren (eine Nachkommastelle) könnten dann, wie bereits in der aktuellen Tabelle zur Zuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden, in einer Liste geführt werden. Eine derartige Tabelle sollte, aufgeteilt nach Gemeinden - und wo aufgrund großer Reliefunterschiede erforderlich, auch nach Ortschaften mit einer vorgegebenen Untergrenze der Einwohnerzahl - für Gemeinden/Orte bis etwa 1000 m über NN gelten. In größeren Höhen über NN werden NN-Höhenformeln ungenau (siehe Abschnitt 4.6). Eine derartige Herangehensweise der Angabe von Z-Werten anstelle der Analyse von (ganzzahligen) Schneelastzonen(werten) hätte den Vorteil, dass die Problematik der Zuordnung ganzer Verwaltungseinheiten in eine einheitliche Schneelastzone nicht notwendig wäre. Damit würde die Problematik der zum Teil unplausiblen Schneelastzonenzuordnung zu Verwaltungseinheiten (Gemeinden) gelöst werden.

7 Zusammenfassung

Als Pilotuntersuchung für eine Prüfung der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 wurden in fünf bayerischen Landkreisen (Passau, Rottal-Inn, Berchtesgadener Land, Traunstein, Miesbach) alle verfügbaren DWD-Messdaten des Wasseräquivalents und der Schneehöhe (siehe Abschnitt 3) extremwertstatistisch analysiert (Abschnitt 4.3) und interpoliert (Abschnitt 4.4). Das Ziel der Untersuchungen war eine Erhöhung der räumlichen Auflösung der Schneelastinformationen mit geeigneten Messdaten. Schneehöhenmessdaten sind beim Deutschen Wetterdienst (DWD) mit einer höheren Stationsdichte verfügbar als Messwerte des Wasseräquivalents. Um die räumlich höher aufgelösten Informationen der Schneehöhenmessungen für Schneelastanalysen nutzbar zu machen, sind Informationen zur Schneedichte erforderlich (Abschnitt 4.2).

Repräsentative Werte der Schneedichte in den untersuchten Regionen wurden auf der Grundlage von Regressionsanalysen zwischen der Schneehöhe und dem Wasseräquivalent für die Messorte abgeleitet, an denen beide Parameter gleichzeitig gemessen werden (Abschnitt 5.1). Die Untersuchungen zeigen, dass die Regressionsbeziehungen zwischen den Jahresmaxima des Wasseräquivalents und den zugehörigen Schneehöhen zu Schneedichten führen, die den oberen Einhüllenden der Schneedichten für die Jahresmaxima der Schneehöhe entsprechen (Abschnitt 5.2). Die Regression führt damit zu Wasseräquivalenten, die für Normungsfragestellungen relevant und im Sinne einer sicheren Bemessung zielführend sind.

Mit den ermittelten Regressionsbeziehungen zur Schneedichte konnten an allen Standorten mit Schneehöhenmessungen die Wasseräquivalente ermittelt und nachfolgend mit Hilfe von Extremwertanalysen die charakteristischen Schneelasten und die zugehörigen Schneelastzonen bestimmt werden (Abschnitt 5.3). Der Vergleich der stationsbezogenen Schneelastzonenzuordnungen mit den Schneelastzonierungen der DIN 1055-5:2005 führt für viele Standorte zu Ergebnissen, die Änderungen der Schneelastzonenzuordnung nahelegen (Abschnitt 5.4). Die Abweichungen von den aktuellen Schneelastzonenzuordnungen sind von der betrachteten Region abhängig. Im Landkreis Miesbach überwiegen die stationsbezogenen Zuordnungen zu kleineren Schneelastzonen. Im Landkreis Rottal-Inn stimmt die überwiegende Zahl der stationsbezogenen Ergebnisse mit den aktuellen Zuordnungen überein, während sich in den Landkreisen Traunstein, Berchtesgadener Land und Passau mehr Abweichungen zu höheren Schneelastzonen ergeben.

Ausgehend von den mit höherer Stationsdichte vorliegenden Schneelastinformationen erfolgte deren räumliche Interpolation mit Hilfe eines geostatistischen Verfahrens (siehe Abschnitt 4.4). Aus den resultierenden Schneelastrastern wurden Schneelastzonenraaster abgeleitet und mit den aktuellen Schneelastzonierungen der DIN 1055-5:2005 verglichen (Abschnitt 5.5). Die Ergebnisse zeigen, dass die aus den topografischen Gegebenheiten und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten sich in den betrachteten Regionen häufig von denjenigen unterscheiden, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055-5:2005 verankert sind. Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die interpolierten Schneelasten überwiegend zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN. Die markanten vertikalen NN-Höhengradienten in den betrachteten Regionen sind als der Grund für die genannten Befunde anzusehen. Im Umkehrschluss ist zu vermuten, dass auf der Grundlage der Zonenzuordnungen der DIN 1055-5:2005 mit zunehmender Höhe über NN die Schneelasten in den betrachteten Regionen zu groß bestimmt werden. Die Ergebnisse können ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung (z. B. in einer „alpinen Region“) sein.

Auf der Grundlage der interpolierten Schneelastraster erfolgte eine objektive gemeindebezogene Generalisierung der Schneelastzonenzuordnung unter Ausschluss der Höhenlagen größer 1000 m über NN (Abschnitt 4.6). Der Vergleich der Neuzuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden der betrachteten fünf Landkreise mit den aktuell gültigen Zonenzuordnungen der DIN 1055-5:2005 konkretisiert die Ergebnisse der stationsbezogenen Schneelastzonenzuordnungen (Abschnitt 5.6): In den betrachteten 195 Gemeinden wurden 32 Gemeinden (17 %) einer höheren Schneelastzone zugeordnet, in 59 Gemeinden (30 %) entspricht die neu ermittelte Schneelastzone der aktuell gültigen Schneelastzone und für 104 Gemeinden (53 %) erfolgte die Zuordnung zu einer kleineren Schneelastzone.

Die Ergebnisse der Untersuchungen für die betrachteten Landkreise zeigen, dass in einigen Regionen größere Schneelasten ermittelt wurden, als durch die bisherigen Normansätze der DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12) abgedeckt. In anderen Regionen der Landkreise wurden mit den bisherigen Normansätzen vergleichbare oder kleinere Schneelasten ermittelt. Im Sinne einer sicheren Bemessung und der Wirtschaftlichkeit sollten im Ergebnis dieses Forschungsvorhabens die aktuell gültigen Schneelastzonenwerte in den betrachteten Gemeinden geprüft und ggf. angepasst werden.

Ausgehend von den Ergebnissen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden Empfehlungen für die Methodik einer möglichen Überarbeitung der Schneelastzonenkarte der DIN 1055-5:2005 abgeleitet (Abschnitt 6).

8 Literatur

- ABILD, J. (1994): Application of the wind atlas method to extremes of wind climatology, Risoe National Laboratory, Roskilde, pp. 176.
- BÂ, K.M.; C. DÍAZ-DELGADO; A. CÂRSTEANU (2001): Confidence Intervals of Quantiles in Hydrology Computed by an Analytical Method. *Natural Hazards*, 24(1): 1-12.
- BEHRENS, U.; G. HOLLAZ; H.-D. PIEHL (1988): Klimadaten der Deutschen Demokratischen Republik - ein Handbuch für die Praxis, Reihe B, Bd. 9 "Schnee"; Potsdam.
- BRECHTEL, H. (1972): Einfluß von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen auf die Schneeansammlung und Schneeschmelze in den Hochlagen des Vogelsberges.
- CASPAR, J.W.; M. KREBS (1974): Auswertung langjähriger Beobachtungen über Schneehöhen und Schneelasten. Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt im Auftrag des Fachnormausschusses Bauwesen der DIN, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes.
- CHRISTOFFER, J.; U. KÖHLER (1988): Die Schneelast auf Dächern. *Meteorologische Rundschau* 41(3). 79-86.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1986): Anleitung für die Beobachter an den Klimahauptstationen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a.M.
- DIN 1055-5 (1975): Lastannahmen für Bauten, Verkehrslasten, Schneelast und Eislast. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN 1055-5 (2005): Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 5: Schnee- und Eislasten. Beuth-Verlag, Berlin.
- GRÄNZER, M. (1989): Angabe von Schneelasten, geographisch nach Zonen gegliedert, für den Eurocode „Lasten“, Teil 7. Schlussbericht des Forschungsvorhabens der Landesstelle für Baustatik Baden-Württemberg. 38 S.
- KASPERSKI, M. (2014): Discussion of “Exceptional snowfalls and the assessment of accidental loads for structural design” by Sadovsky et al. [*Cold Regions Science and Technology* 72 (2012) 17-22]. *Cold Regions Science and Technology*, 101: 83-86.
- KITE, G. (1975): Confidence limits for design events. *Water Resources Research*, 11(1): 48-53.
- KNAUF, D. (1975): Die Abflussbildung in schneebedeckten Einzugsgebieten des Mittelgebirges. Dissertation an der Technischen Hochschule Darmstadt. Technischer Bericht Nr. 17, Institut für Hydraulik und Hydrologie der TH Darmstadt.
- KRONFUSS, H. (1970): Räumliche Korrelation zwischen der Windstärke in Bodennähe und der Schneedeckenandauer; Beitrag zur klimaökologischen Standortkartierung für Hochlagenaufforstungen oberhalb der Waldgrenze im Bereich der subalpinen Stufe bei Obergurgl im Oetztal, Tirol.
- MARTINEC, J. (1966): Einfluß meteorologischer Faktoren auf die Abnahme des Wasserwertes und auf den Abfluß. In: *Meteorologische Ergebnisse der Konferenz über Meteorologie in Liblice b. Prag* (13.-16.10.1964).
- PIEHL, H.-D.; J. SCHORLEMMER (2002): Zur Überarbeitung der Schneelastzonenkarte DIN 1055 Teil 5E (2001). Amtliches Gutachten des Deutschen Wetterdienstes im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Offenbach, 62 S.
- SADOVSKÝ, Z.; P. FAŠKO.; K. MIKULOVÁ; J. PECHO (2012): Exceptional snowfalls and the assessment of accidental snow loads for structural design. *Cold Regions Science and Technology*, 72: 17-22.

SANPAOLESI, L.; D. CURRIE; P. SIMS; C. SACRÉ; U. STIEFEL; S. LOZZA; B. EISELT; R. PECKHAM; G. SOLOMOS; I. HOLLAND; R. SANDVIK; M. GRÄNZER; G. KÖNIG; D. SUKHOV; R. DEL CORSO; P. FORMICHI (1998): Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works. Snow loads. Final Report, Contract N° 500269, Commission of the European Communities, Pisa, pp. 55.

SANPAOLESI, L.; D. CURRIE; P. SIMS; C. SACRÉ; U. STIEFEL; S. LOZZA; B. EISELT; R. PECKHAM; G. SOLOMOS; I. HOLLAND; R. SANDVIK; M. GRÄNZER; G. KÖNIG; D. SUKHOV; R. DEL CORSO; P. FORMICHI (1999). Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works snow loads: Final report. Contract n° 500990, University of Pisa, Pisa, pp. 172.

Tabellenverzeichnis

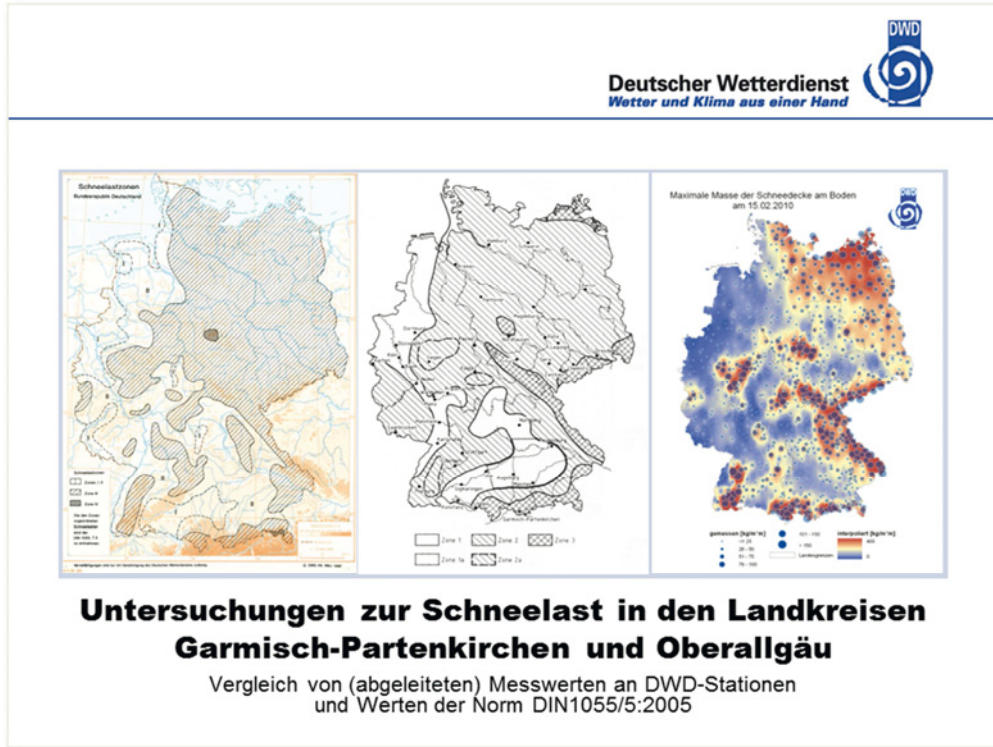
Tabelle 1: Zuordnung der Zonenwerte Z nach Gleichung (8) zu den Schneelastzonen 1 bis 3 und 1a und 2a nach DIN 1055-5:2005 (siehe Bericht B.23, Bericht C.21).....	16
Tabelle 2: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Passau (siehe Bericht B.25 bis Bericht B.31)	19
Tabelle 3: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Rottal-Inn (siehe Bericht B.25 bis Bericht B.31)	19
Tabelle 4: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Berchtesgadener Land (siehe Bericht B.25 bis Bericht B.31)	20
Tabelle 5: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Traunstein (siehe Bericht C.23 bis Bericht C.27)	21
Tabelle 6: Ergebnisse der Regressionsanalysen zwischen dem Wasseräquivalent und der Schneehöhe für den Landkreis Miesbach (siehe Bericht C.23 bis Bericht C.27)	21

Abbildungsverzeichnis


Abbildung 1: Raster der Schneelastzonen ¹¹ in sieben Landkreisen in Bayern, ermittelt auf der Grundlage der Interpolation von charakteristischen Schneelasten aus Messdaten von Wasseräquivalent und Schneehöhe an DWD-Stationen.....	33
Abbildung 2: Wie Abbildung 1 für alle Rasterelemente in Höhen < 1000 m über NN	33
Abbildung 3: Raster der generalisierten Schneelastzonen ¹¹ in sieben Landkreisen in Bayern, ermittelt auf der Grundlage von Flächenmittelwerten der charakteristischen Schneelasten und der zugehörigen Flächenmittelwerte der Höhe über NN für Rasterelemente in Höhen < 1000 m über NN.	34
Abbildung 4: Wie Abbildung 3, manuell nachbearbeitet. Zum Vergleich eingetragen sind die charakteristischen Schneelasten, ermittelt aus Messdaten von Wasseräquivalent und Schneehöhe an DWD-Stationen (Regression Jahresmaxima).....	35
Abbildung 5: Änderung der Schneelastzonenzuordnungen in sieben Landkreisen in Bayern im Vergleich zu Schneelastzonen nach DIN 1055-5:2005 (DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12).....	35

Anhang A. Bericht über die DWD-Untersuchungen zur Schneelast in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu, Sitzung des AK Schneelastkarte am 19.11.2010 (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)

Bericht A.1




Bericht A.2



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Motivation

- ➔ Der Entwurf der Schneelastzonenkarte für die DIN 1055/5:2005 entstand auf der Grundlage von Messdaten von 331 Stationen des DWD (Messwerte des Wasseräquivalents und Zusatzinformationen) im Rahmen eines europäischen Projekts.
Sanpaolosi et al.: Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works snow loads, Pisa, 1998
- ➔ Der Entwurf der Schneelastzonenkarte für die DIN 1055/5:2005 wurde durch ein DWD-Gutachten überarbeitet. Daten von 19 zusätzlichen Stationen wurden genutzt. Zielstellungen waren:
 - ➔ Die Datenbasis wurde auf 346 Stationen (Messwerte des Wasseräquivalents und Zusatzinformationen) ausgebaut. (Eine zusätzliche Erweiterung der Datenbasis war sowohl aus methodischen Gründen als auch aus Kosten- und Zeitgründen nicht Bestandteil der Untersuchungen.)
 - ➔ Ergänzung der Datenbasis erfolgte insbesondere im Norden und Osten Deutschlands.
 - ➔ Die Vorgehensweise bei der Zonierung wurde geändert (erst Zonenfestlegung, dann Untersuchung der Höhenabhängigkeit der Schneelast in der jeweiligen Zone).Piehl, Schorlemmer: Überarbeitung der Schneelastzonenkarte DIN 1055/5: 2005, Offenbach, 2002

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin



Bericht A.3



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Motivation

- 1. Treffen der AG Schneelastkarte zur Erörterung einer möglichen Überarbeitung der Schneelastzonenkarte am 31.03.2009 in Berlin:
 - Ausgehend von Anfragen der Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen soll die Schneelastzonenkarte zunächst stichprobenartig in einzelnen Regionen geprüft werden.
 - Für die Prüfung der Schneelastzonenkarte sollen zusätzlich zu den Messdaten des Wasseräquivalents auch Messreihen der Schneehöhe genutzt werden. Die Verbreiterung der Datenbasis ist nur auf der Grundlage von Untersuchungen zum Zusammenhang Schneehöhe/Wasseräquivalent in den einzelnen Regionen möglich.
 - Eine derart erweiterte Datenbasis ist mit derjenigen vergleichbar, die für Erarbeitung der Schneelastzonenkarte der DIN 1055/5:1975 genutzt wurde.
(Caspar, Krebs: Auswertung langjähriger Beobachtungen über Schneehöhen und Schneelasten (DIN 1055, Bl. 5), Offenbach, 1971)



Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

Bericht A.4



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Organisatorisches

- Im Ergebnis des 1. Treffens der AG Schneelastkarte am 31.03.2009 sollte nach Benennung der „Schwerpunktregionen“ durch die Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen ein Angebot an DIBt erfolgen.
 - Bayern (BY): Festlegung auf der Sitzung
 - Baden-Württemberg (BW): Festlegung per Schreiben vom 30.04.09
 - Sachsen: keine Benennung einer Schwerpunktregion bis Anfang 08/09
- Analyse der verfügbaren Datenreihen und deren Verwendbarkeit (z.B. Zeitreihenlänge, Datenausfälle u.ä.) für 4 Regionen in BY (170 Messreihen) und für 2 Regionen in BW (68 Messreihen)
- Angebot DWD an DIBt vom 30.10.09
- Bis Februar 2010 kein Auftrag durch DIBt. (Schreiben vom 09.02.2010 nicht beim DWD eingegangen.)
- Anfang Juli 2010 Abstimmung DIBt/DWD:
 - Übereinkunft, dass DWD zunächst für 1-2 Regionen erste Untersuchungen vornimmt und Ergebnisse vorstellt.
 - Im Resultat dieser Untersuchungen sind Aufwand und Kosten besser abschätzbar und Bauforschungsantrag wird im Anschluss formuliert.



Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

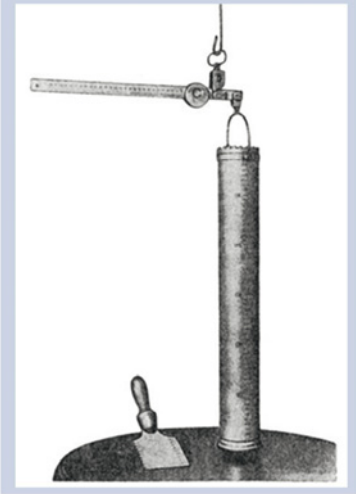
Bericht A.5




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Messung des Wasseräquivalents einer Schneedecke


- ➔ **Das Wasseräquivalent einer Schneedecke** ist der Oberbegriff für das absolute und das spezifische Wasseräquivalent.
- ➔ **Das absolute Wasseräquivalent einer Schneedecke** gibt an, welchen Wassergehalt der gesamte ausgestochene Schnee hat. (Maßeinheit: mm)
- ➔ **Das spezifische Wasseräquivalent einer Schneedecke** gibt an, welchen durchschnittlichen Wassergehalt der ausgestochene Schnee pro cm Schneehöhe hat. (Maßeinheit: mm/cm)



Schneesonde zur Messung des Wasseräquivalents

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin 

Bericht A.6



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Wasseräquivalent, Schneewichte/Schneedichte, Schneelast/flächenbezogene Schneemasse

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] = \frac{WA [mm]}{H_{as} [cm]} \quad (1)$$

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] \times 100 = \frac{SW \left[\frac{kN}{m^2} \right]}{SL \left[\frac{kN}{m^2} \right]} \times 100 \rightarrow SD \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$SW \left[\frac{kN}{m^2} \right] \times \frac{SH [cm]}{100} = SL \left[\frac{kN}{m^2} \right] \times 100 \rightarrow mA_{Schw} \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

aus (1) & (2)

$$\frac{WA [mm]}{100} = \frac{SL \left[\frac{kN}{m^2} \right]}{SL \left[\frac{kN}{m^2} \right]} \rightarrow SL \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$


$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] \approx SW \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] \times 100 \rightarrow SD \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$SL \left[\frac{kN}{m^2} \right] \times 100 \rightarrow mA_{Schw} \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$SL \left[\frac{kN}{m^2} \right] \times 100 \rightarrow SL \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

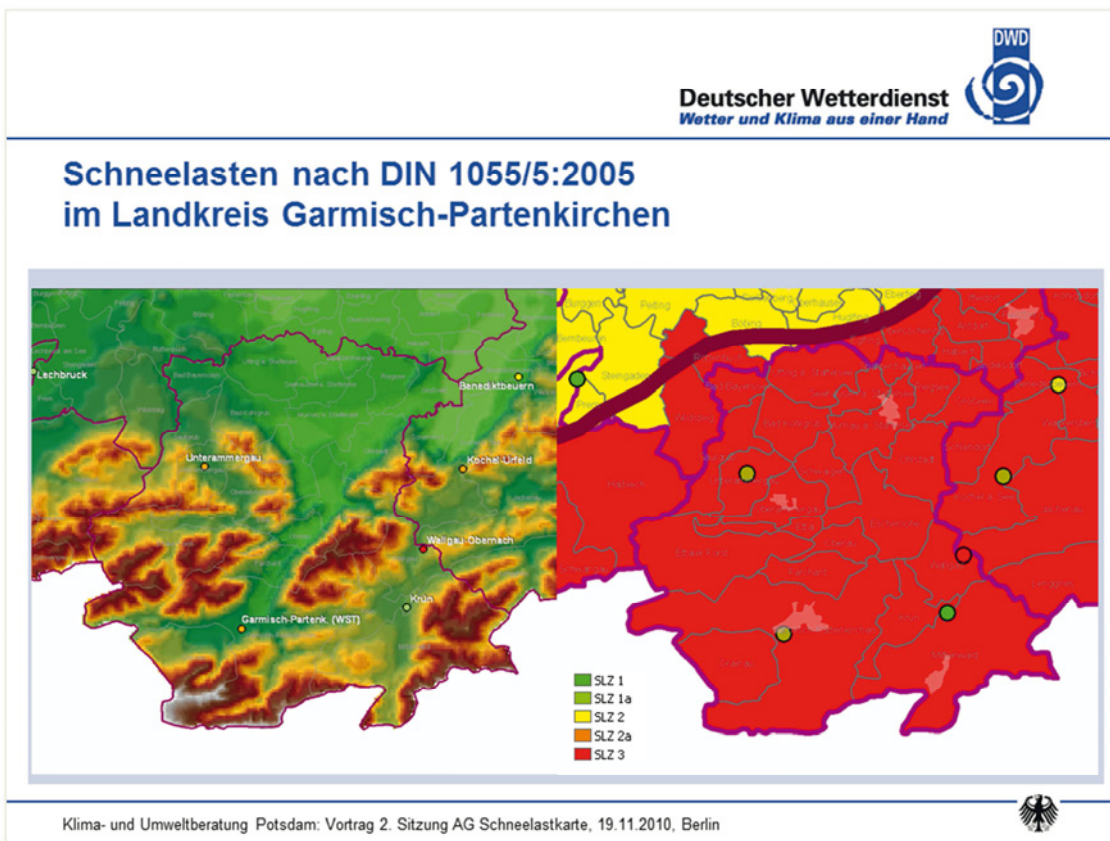
Größe	Bedeutung	Beschreibung
sWA	spezifisches Wasseräquivalent	Das spezifische Wasseräquivalent einer Schneedecke gibt an, welchen durchschnittlichen Wassergehalt [mm] der ausgestochene Schnee, bezogen auf die (zugehörige) Schneehöhe [cm], hat.
WA	absolutes Wasseräquivalent	Das absolute Wasseräquivalent einer Schneedecke gibt an, welchen Wassergehalt [mm] der gesamte ausgestochene Schnee hat.
H _{as}	Höhe ausgestochener Schnee	Höhe ausgestochener Schnee [cm]
SW	Schneewichte	Die Schneewichte [kN/m ²] ist das Verhältnis der Gewichtskraft von Schnee zu seinem Volumen. Dichte und Wichte von Schnee unterscheiden sich um den Faktor Fallbeschleunigung g, in der Praxis häufig auf den Faktor 10 m/s ² aufgerundet.
SD	Schneedichte	Die Schneedichte [kg/m ³] ist das Verhältnis der Masse von Schnee zu seinem Volumen.
SH	Gesamtschneehöhe	Höhe Gesamtschneedecke [cm]
SL	Schneelast	Die von einer Schneedecke aufgrund ihrer (Gesamt-)Masse ausgeübte Kraft auf eine Fläche [kN/m ²]. Die Schneelast und die flächenbezogene Schneemasse unterscheiden sich um den Faktor der Fallbeschleunigung g, in der Praxis häufig auf den Faktor 10 m/s ² aufgerundet.
mA _{Schw}	flächenbezogene Schneemasse	Die auf eine (Einheits-)Fläche bezogene Masse der Schneedecke [kg/m ²].

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin 

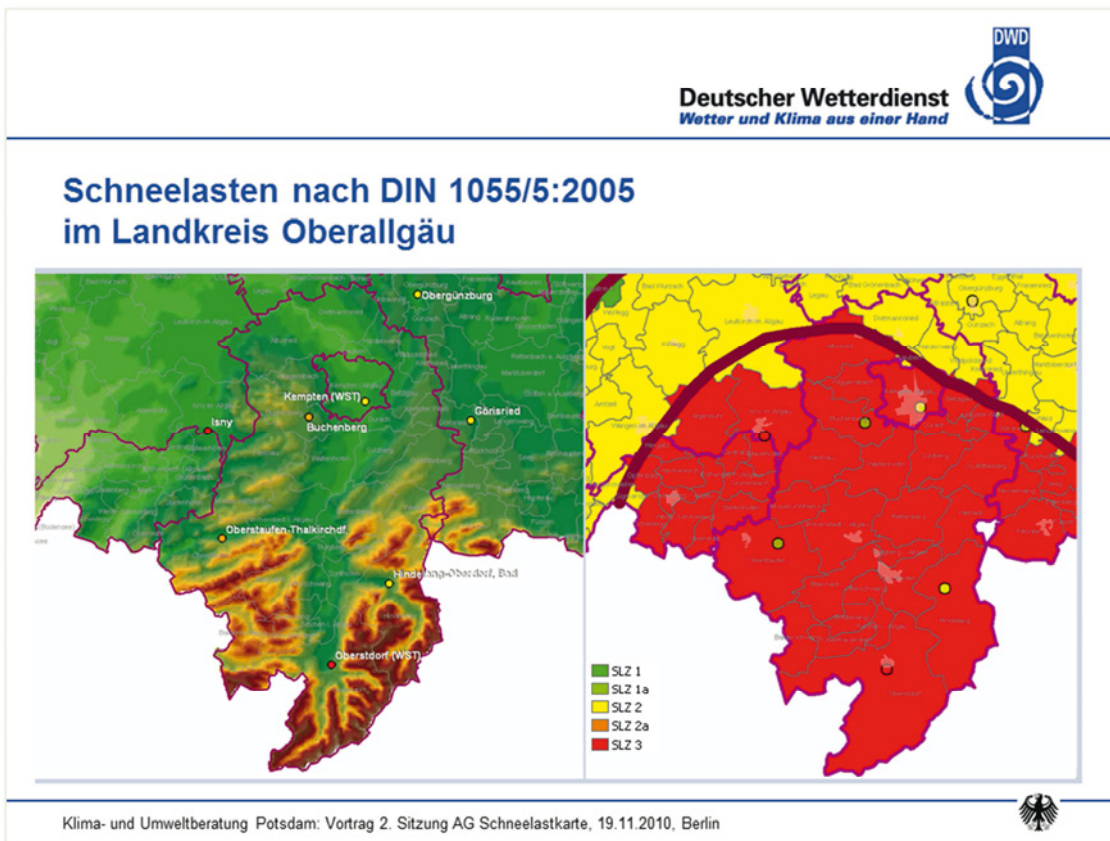
Gz.: KU1PD 0603/09

Deutscher Wetterdienst, Regionales Klimabüro Potsdam
Güterfelder Damm 87-91, 14532 Stahnsdorf

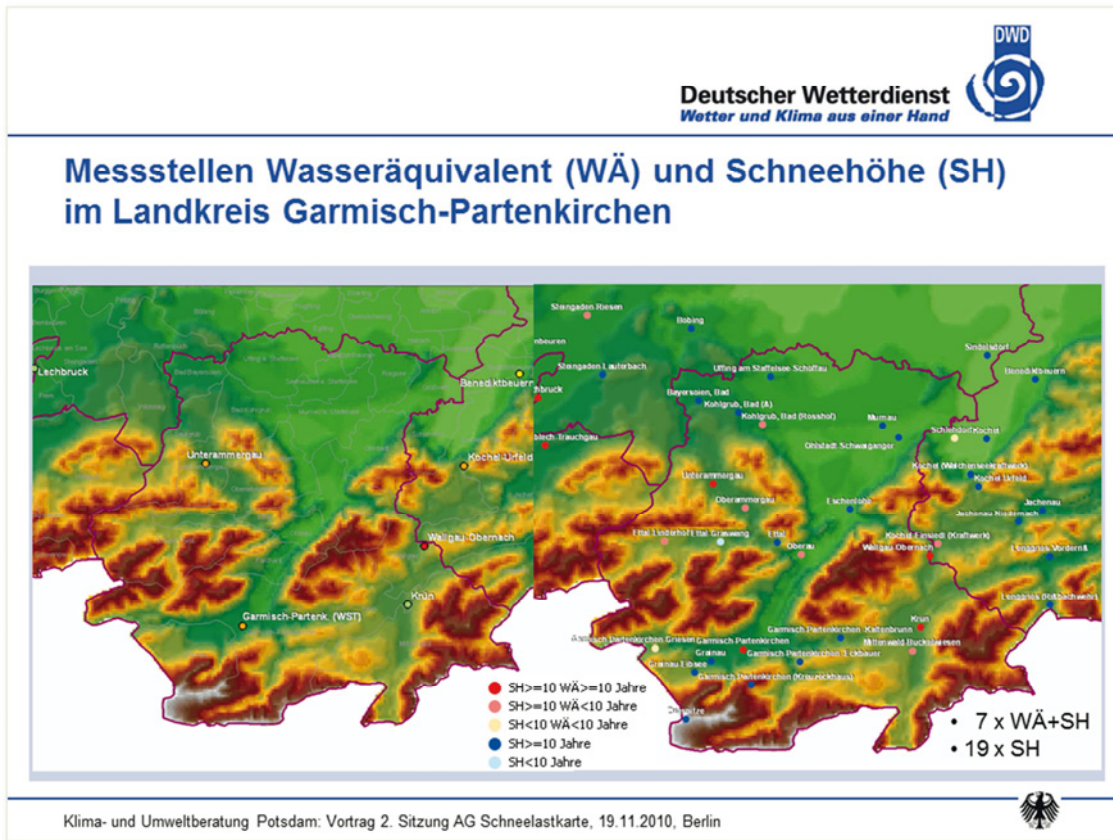
Bericht A.7



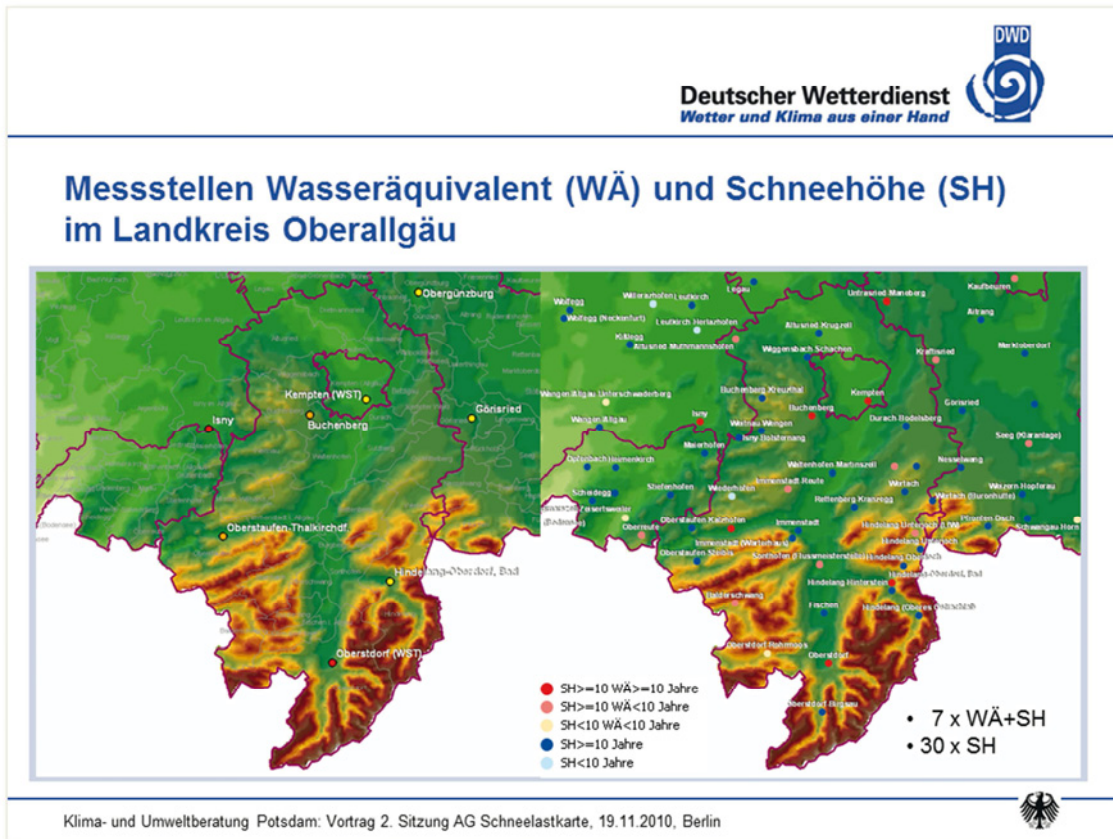
Bericht A.8




Bericht A.9



Bericht A.10



Bericht A.11



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Zusammenhang Wasseräquivalent - Schneehöhe

- Berechnung der Regression zwischen
 - Schneehöhe SH und
 - (absolutem) Wasseräquivalent WÄ
- Steigung entspricht der Schneedichte
- Fragen:
 - Gibt es einen engen Zusammenhang für die jeweilige Region?
 - Welche Regressionsbeziehung sollte genutzt werden?

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] = \frac{WA [mm]}{H_{sch} [cm]} \tag{1}$$

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] \times 100 = SW \left[\frac{kN}{m^2} \right] \rightarrow SD \left[\frac{kg}{m^3} \right] \tag{2}$$

$$SW \left[\frac{kN}{m^2} \right] \times \frac{SH [cm]}{100} = SL \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$


$$SL \left[\frac{kN}{m^2} \right] \times 100 \rightarrow mA_{s,linear} \left[\frac{kg}{m} \right]$$

aus (1) & (2)

$$\frac{WA[mm]}{100} = \frac{SL \left[\frac{kN}{m^2} \right]}{100} \rightarrow SL \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

Bericht A.12

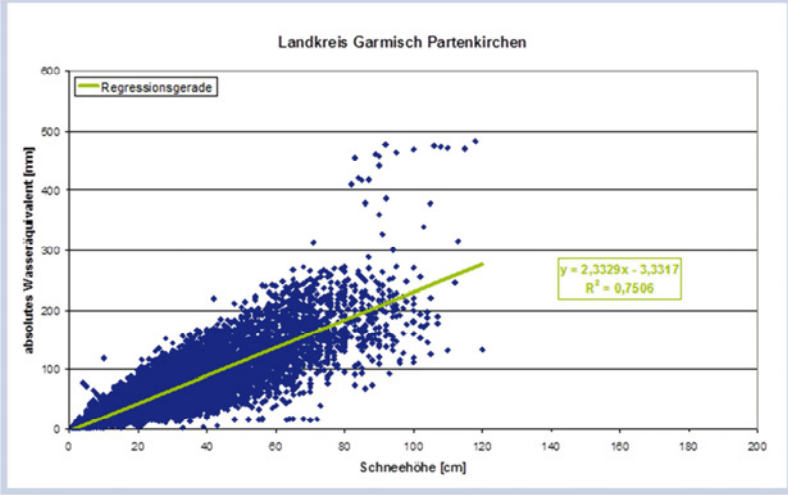


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Regression Wasseräquivalent – Schneehöhe Alle Werte

- enger Zusammenhang,
- gilt für „mittlere“ Verhältnisse,
- Schneedichte von rund 230 kg/m³ entspricht der Klasse „Packschnee“ (kein Neuschnee, gealterter Schnee),
- Sinnvoll für Schneelastuntersuchungen ?

Landkreis Garmisch Partenkirchen



absolutes Wasseräquivalent [mm]


Schneehöhe [cm]

y = 2,3328x - 3,3317
R² = 0,7506

Streudiagramm und Regressionsgerade für alle Messwerte von SH und WÄ

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin


Bericht A.13




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Schneearten und zugehörige Schneedichte (nach KNAUF, 1975)

Bezeichnung	Beschreibung	Schneedichte (kg/m ³)	
		von	bis
Wildschnee	Neuschnee bei großer Kälte und Windstille	10	50
Trockener Lockerschnee	Neuschnee, unmittelbar nach Ablagerung bei Temperatur unter 0°C	50	100
Feuchter Lockerschnee	Neuschnee bei Temperaturen um 0°C	100	200
Packschnee	durch Wind verfrachteter Lockerschnee	200	300
Reifer Schnee	Schnee im isothermischen Beharrungszustand bei kapillarer Sättigung	400	450
Schneesumpf	mit Wasser übersättigter Schnee in Zonen stauender Nässe	500	800
<i>Sonderformen im Hochgebirge</i>			
Schwimmschnee	durch Reifdiagenese entstandene Schicht aus grobkörnigen Kristallen mit geringem Zusammenhalt	200	300
Firmschnee	durch Druckdiagenese entstandene Übergangsform des Schnees bei der Gletscherbildung	400	700
Firmeis	aus Schnee entstandene Eismassen	800	1000

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin 

Bericht A.14

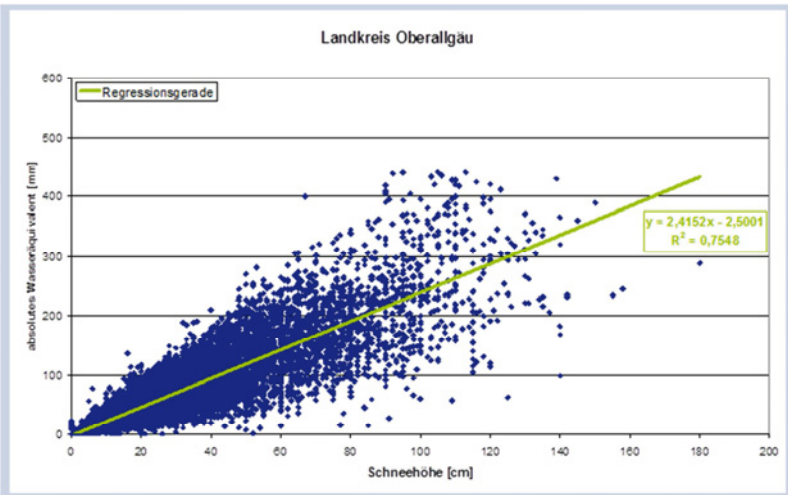


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Regression Wasseräquivalent – Schneehöhe Alle Werte


- ➔ enger Zusammenhang,
- ➔ gilt für „mittlere“ Verhältnisse,
- ➔ Schneedichte von rund 240 kg/m³ entspricht der Klasse „Packschnee“ (kein Neuschnee, gealterter Schnee),
- ➔ Sinnvoll für Schneelastuntersuchungen ?

Streudiagramm und Regressionsgerade für alle Messwerte von SH und WÄ

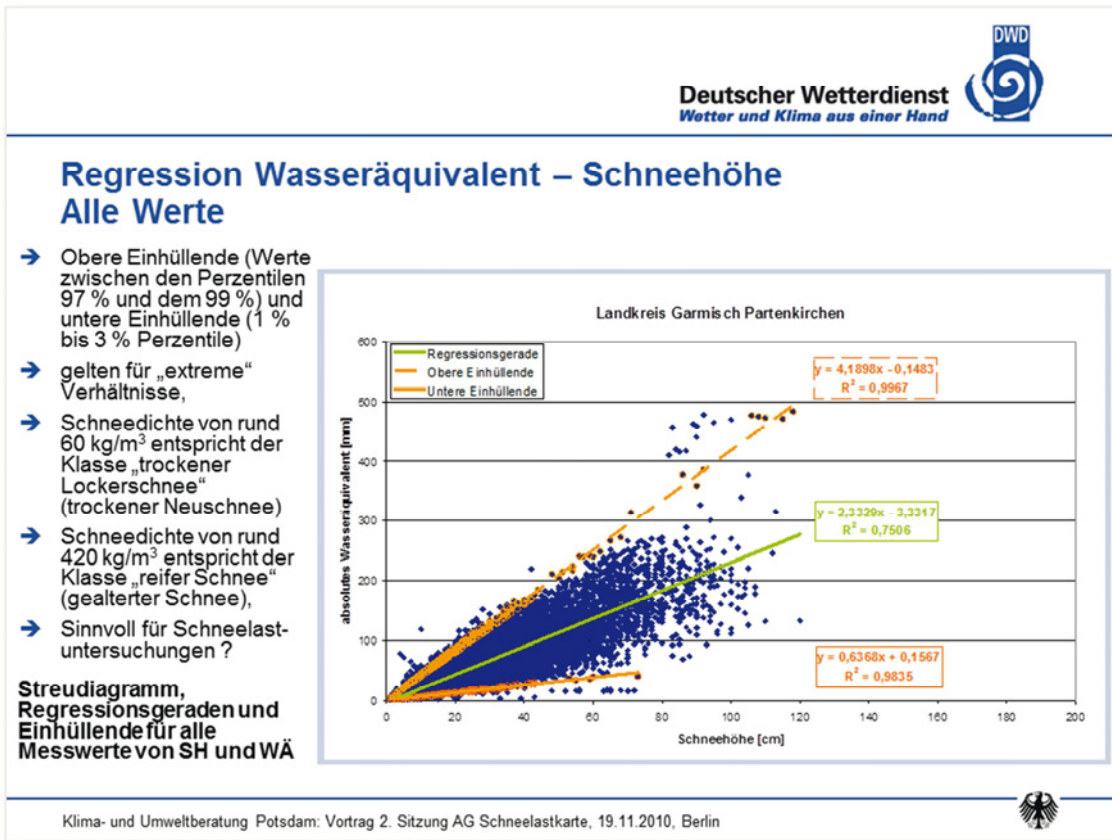


Landkreis Oberallgäu

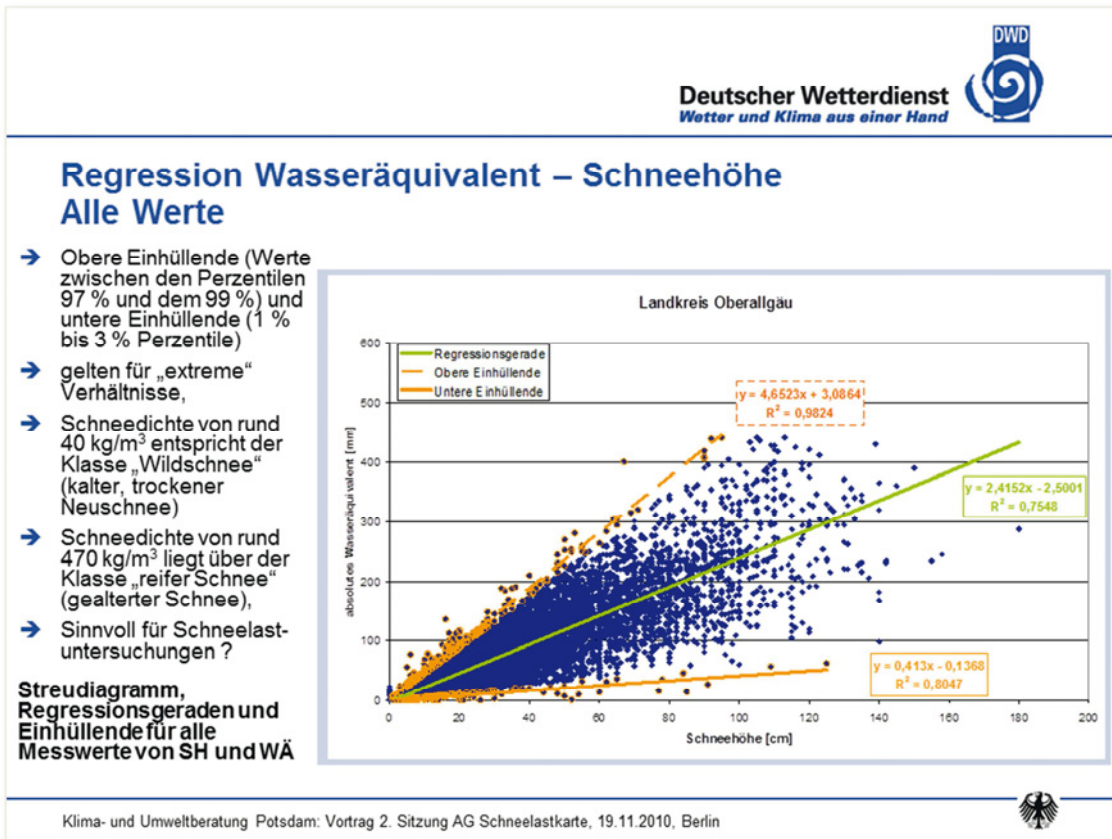
$y = 2,4152x - 2,5001$
 $R^2 = 0,7548$

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin 

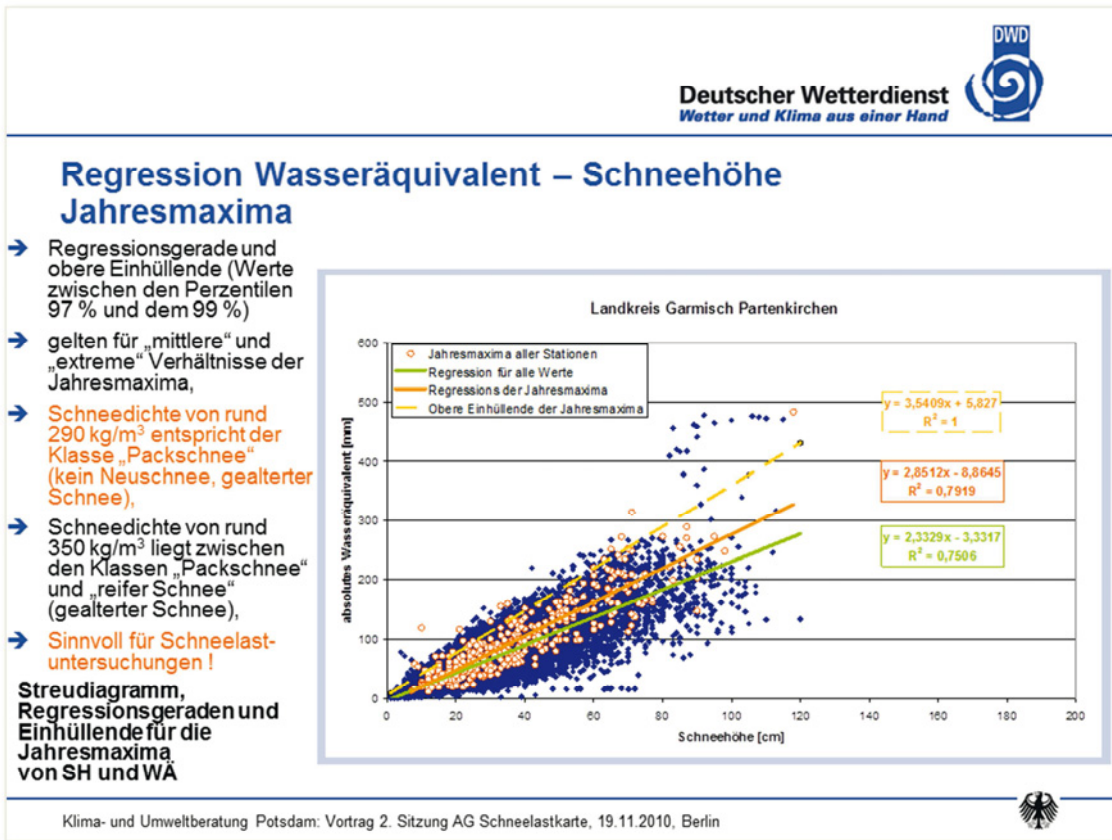
Bericht A.15



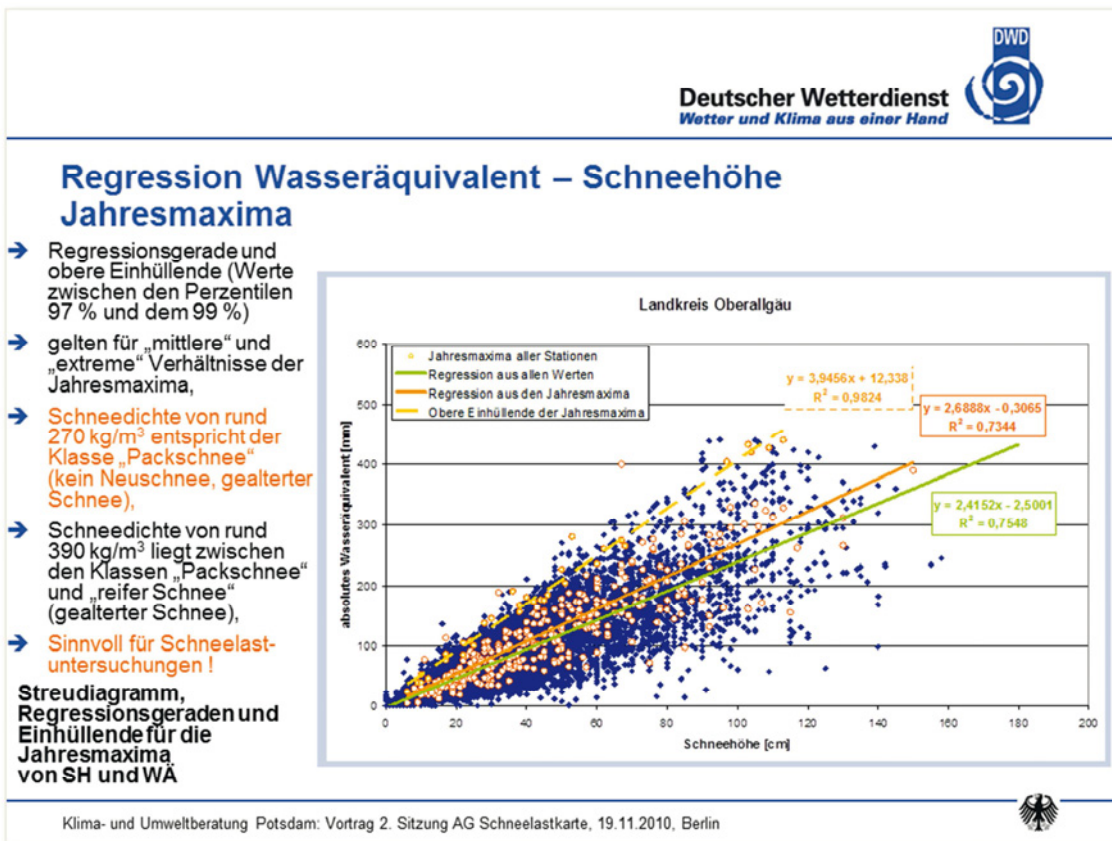
Bericht A.16




Bericht A.17



Bericht A.18




Bericht A.19




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Abgeleitete Zeitreihen des Wasseräquivalents

- Die Ergebnisse der Regressionsanalysen Wasseräquivalent/Schneehöhe werden genutzt, um aus den Zeitreihen der Schneehöhen (x) die Zeitreihen Wasseräquivalente (y) abzuleiten.
- Ergebnisse der Regressionsanalysen für Lk Garmisch-Partenkirchen:
 - Mittlere Regression $y = 2,3329x - 3,3317$
 $R^2 = 0,7506$
 - Regression der Jahresmaxima $y = 2,8512x - 8,8645$
 $R^2 = 0,7919$
- Ergebnisse der Regressionsanalysen für Lk Oberallgäu:
 - Mittlere Regression $y = 2,4152x - 2,5001$
 $R^2 = 0,7548$
 - Regression der Jahresmaxima $y = 2,6888x - 0,3065$
 $R^2 = 0,7344$

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin 

Bericht A.20



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Analyse der Schneelasten für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren


- Aus den Jahresmaxima der Wasseräquivalent – Zeitreihen werden mit Hilfe von Extremwertanalysen für alle Stationen die Schneelasten für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren ermittelt.

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right\}$$

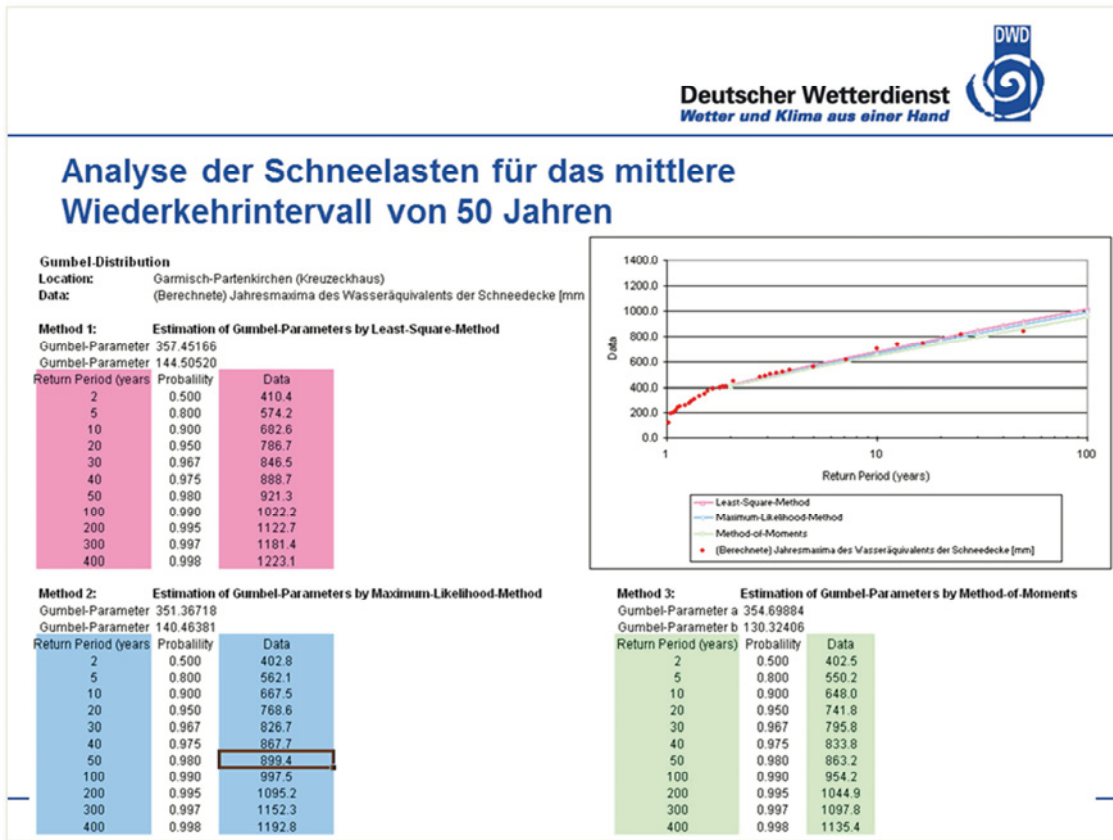
$$\hat{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \exp(-x_i/\hat{b})}{\sum_{i=1}^n \exp(-x_i/\hat{b})}$$

$$\hat{a} = -\hat{b} \ln\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp(-x_i/\hat{b})\right\}$$

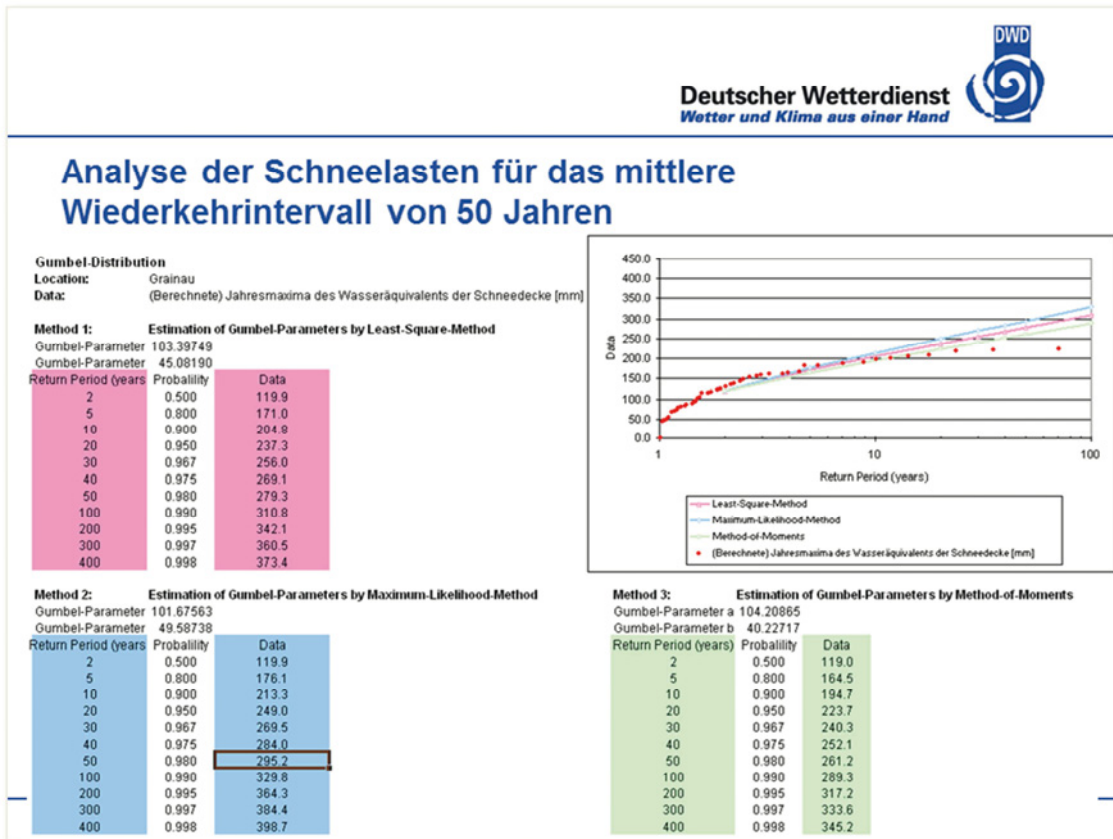
- **Fisher-Tippett Extremwertverteilung,**
Typ I: Gumbel-Verteilung
- Parameter a und b werden bestimmt mit Hilfe verschiedener Methoden:
 - Methode der kleinsten Quadrate,
 - Maximum-Likelihood-Methode,
 - Momentenmethode.

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin 


Bericht A.21



Bericht A.22



Bericht A.23



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Zonenzuordnung der analysierten Schneelasten

→ Den Schneelasten (SL) an allen untersuchten Stationen wird ein Zonenwert (SLZ) zugeordnet.

→ Grundlage ist die einheitliche Höhenformel der DIN 1055/5:2005, in der die SL in Abhängigkeit von SLZ und der Standorthöhe über NN (H).

Piehl, Schorlemmer: Überarbeitung der Schneelastzonenkarte DIN 1055/5:2005, Offenbach, 2002; beruhend auf einem Vorschlag von Gränzer (2002)


$$SL = 0,06043 \cdot (SLZ + 2,13137) + (SLZ - 0,09265) \cdot \left(\frac{H + 140}{760} \right)^2 \quad (1)$$

→ Daraus leiten sich die Höhenformeln der Schneelastzonen 1 bis 3 der DIN 1055/5:2005 ab.

$$Z1: SL = 0,19 + 0,91 \cdot \left(\frac{H + 140}{760} \right)^2$$


$$Z2: SL = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{H + 140}{760} \right)^2 \quad (2)$$

$$Z3: SL = 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{H + 140}{760} \right)^2$$



Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

Bericht A.24



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Räumliche Interpolation der analysierten Schneelasten


→ Umstellung von Gleichung (1) nach Z:

$$SLZ = \frac{[SL + 0,09265 \cdot ((H + 140) / 760)^2 - (0,06043 \cdot 2,13137)]}{[0,06043 + ((H + 140) / 760)^2]}$$

→ Die Zonenzuordnungen (SLZ) an allen untersuchten Stationen werden in einem GIS interpoliert.

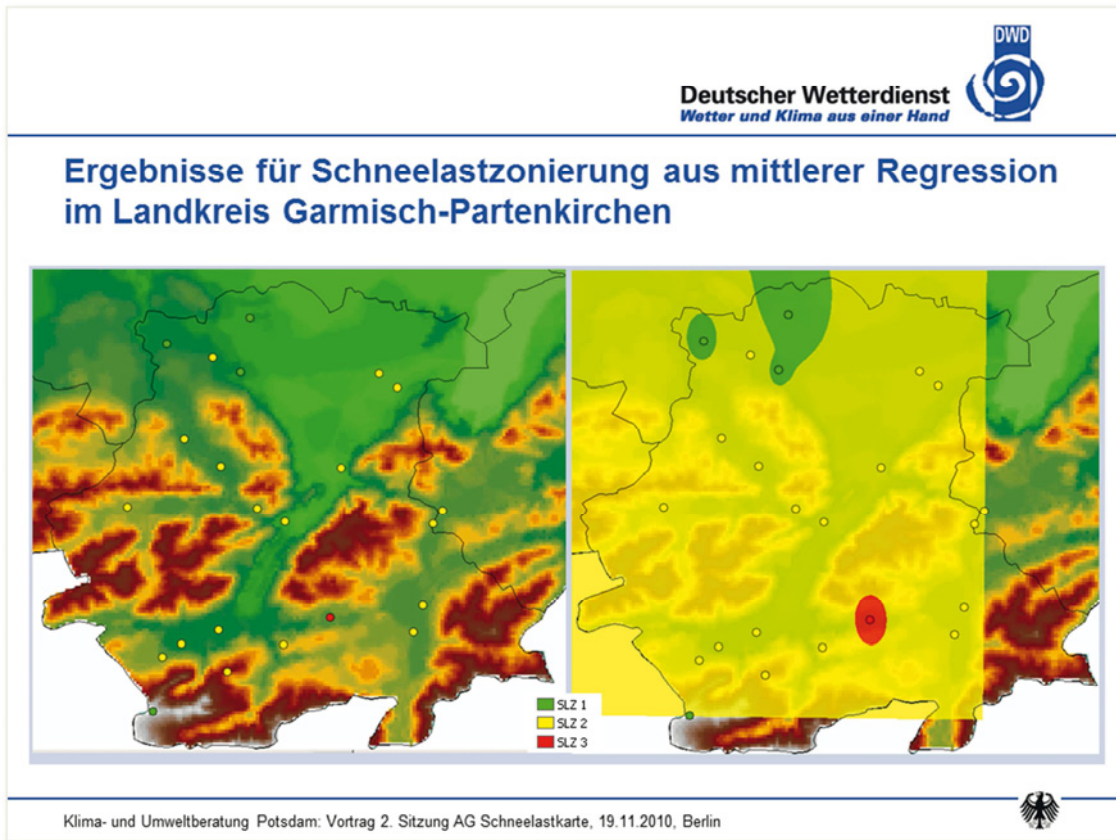
- Geographisches Informationssystem GIS ArcMap®, Version 9.2
- Nutzung Daten: ATKIS®, Digitales Landschaftsmodell DLM250, ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

→ Räumliche Interpolation mit inverser Distanzwichtung (IDW).

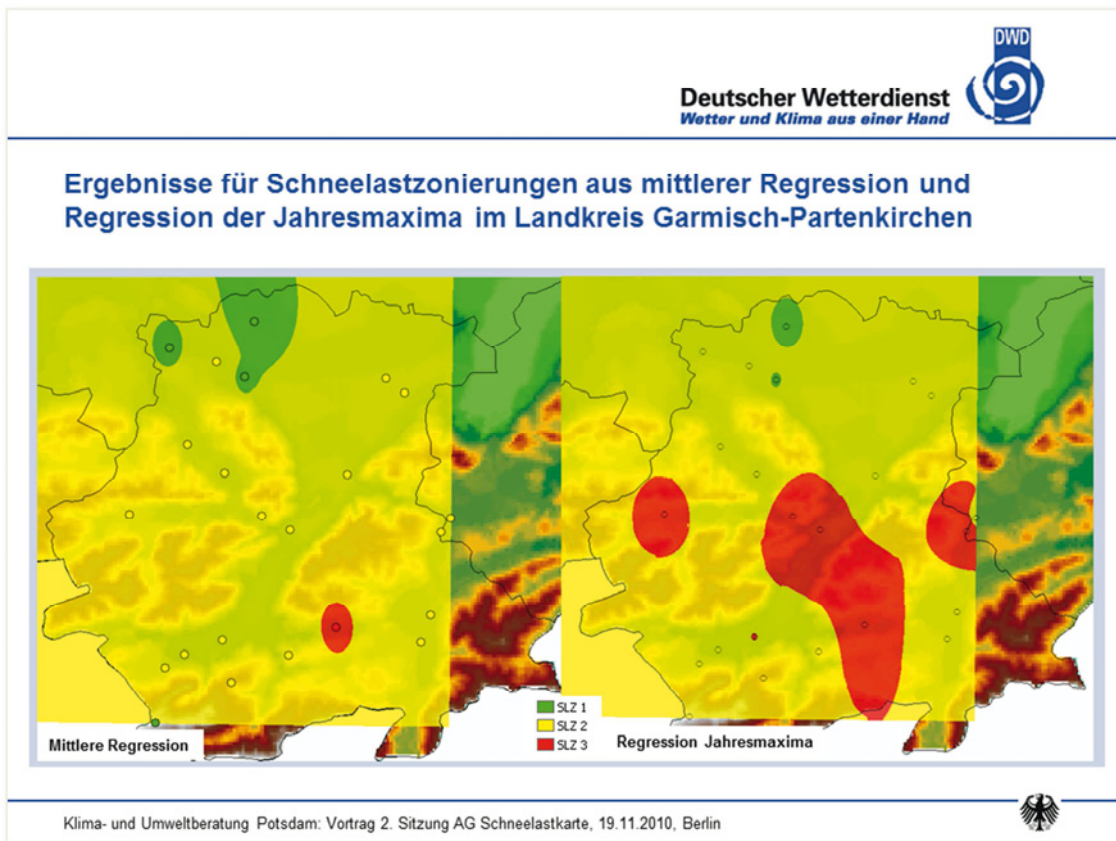


Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

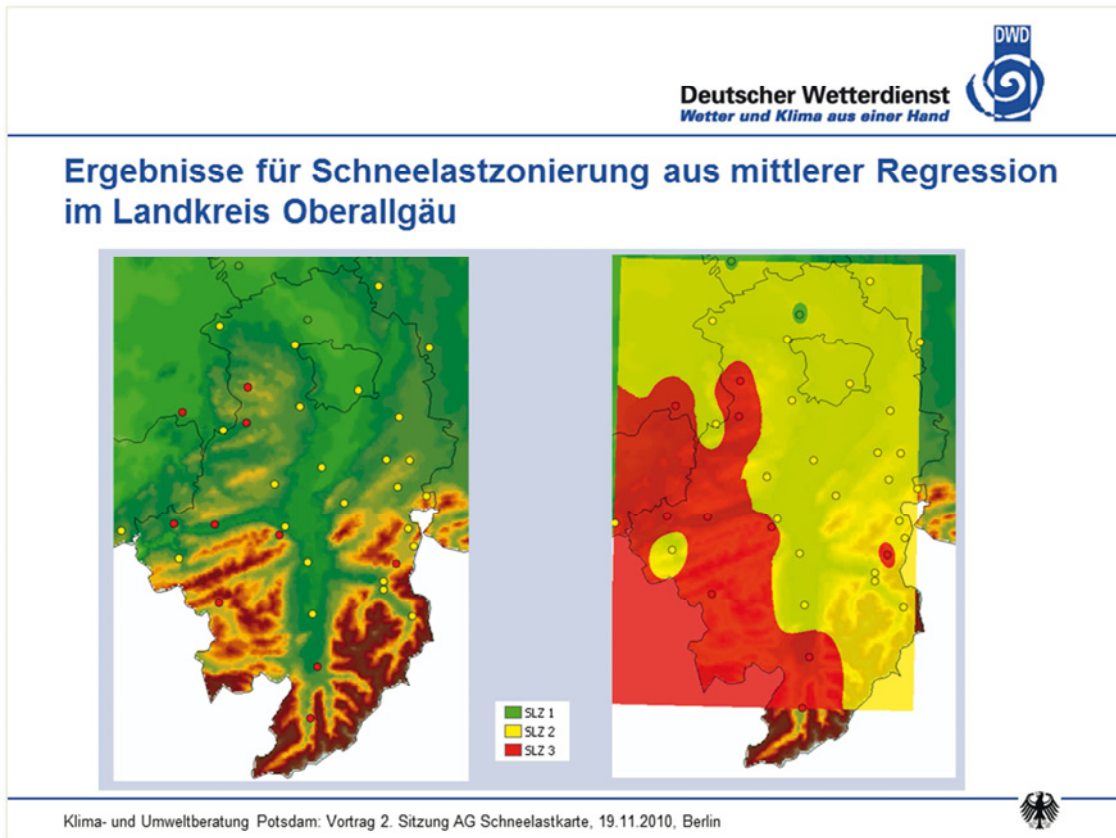
Bericht A.25



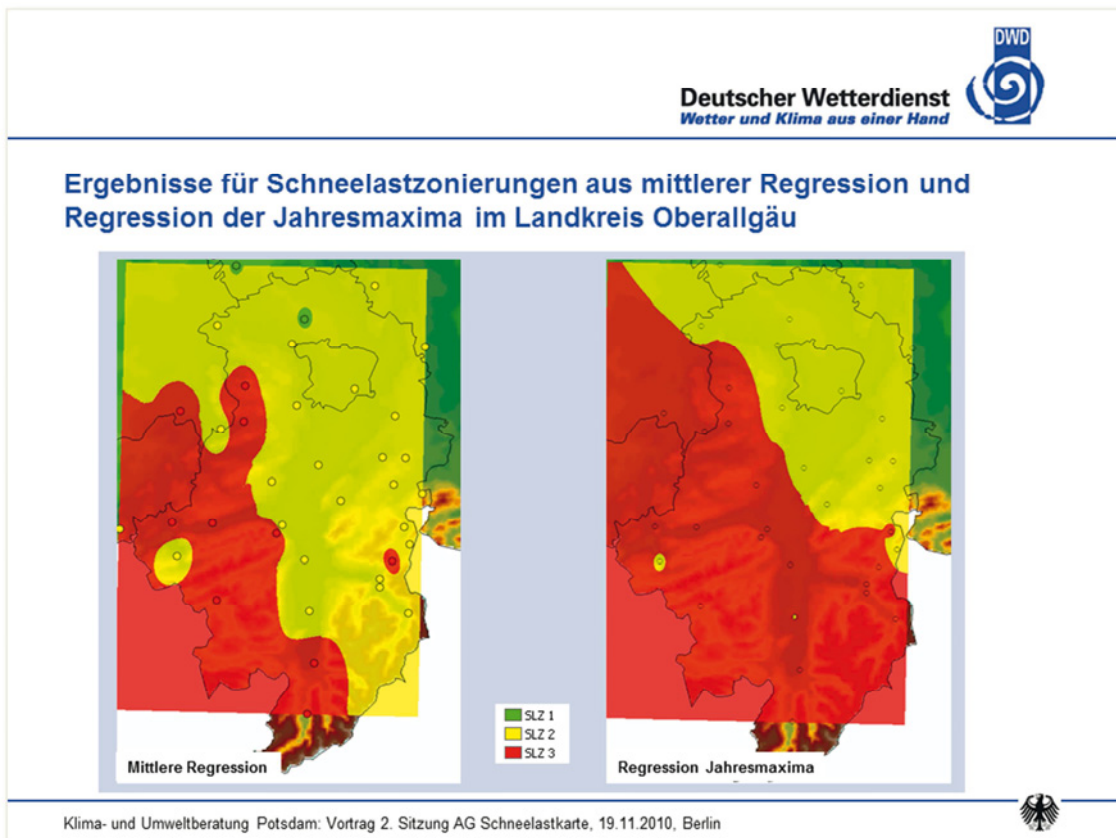
Bericht A.26




Bericht A.27



Bericht A.28




Bericht A.29


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastzonierungen aus mittlerer Regression und Regression der Jahresmaxima

- ➔ Die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten werden in größeren Arealen der Landkreise Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu unterschritten.
- ➔ Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen den Resultaten der Messwertanalysen und den Normwerten ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN zu suchen.
- ➔ Die aus den topographischen Gegebenheiten - und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen - in den betrachteten Regionen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen der DIN 1055/5:2005.




Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

Bericht A.30


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

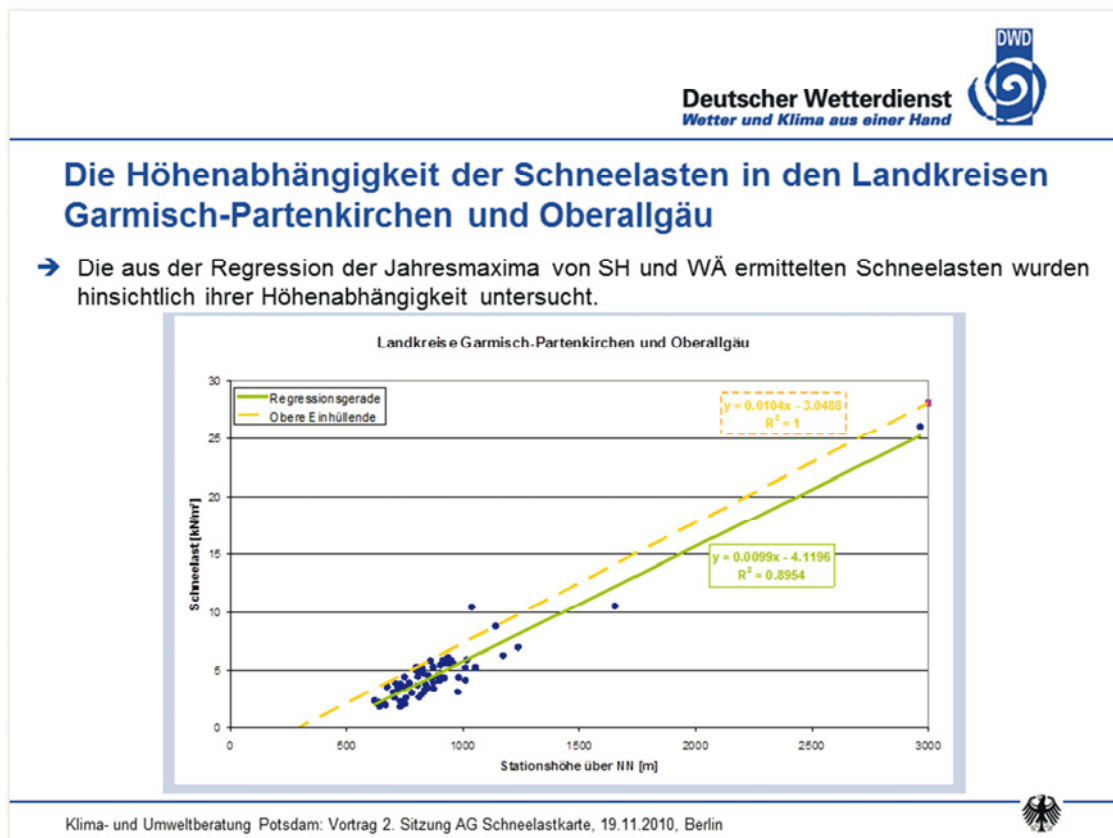
Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastzonierungen aus mittlerer Regression und Regression der Jahresmaxima

- ➔ Die Schneelastzonierung auf der Grundlage einer räumliche Interpolation mit inverser Distanzwichtung (IDW) stellt ein rein mathematisches Verfahren dar, das nicht die topographischen Gegebenheiten – und die daraus resultierenden meteorologischen Verhältnisse – berücksichtigt.
- ➔ Die Resultate für die Schneelastzonierungen aus der Regression der Jahresmaxima von SH und WÄ erscheinen insgesamt plausibler als diejenigen aus den jeweiligen mittleren Regressionen.
- ➔ Insbesondere im Hinblick auf den Reliefverlauf ergeben sich aus der räumlichen Interpolation z. T. unrealistische Resultate der Zonenverläufe.

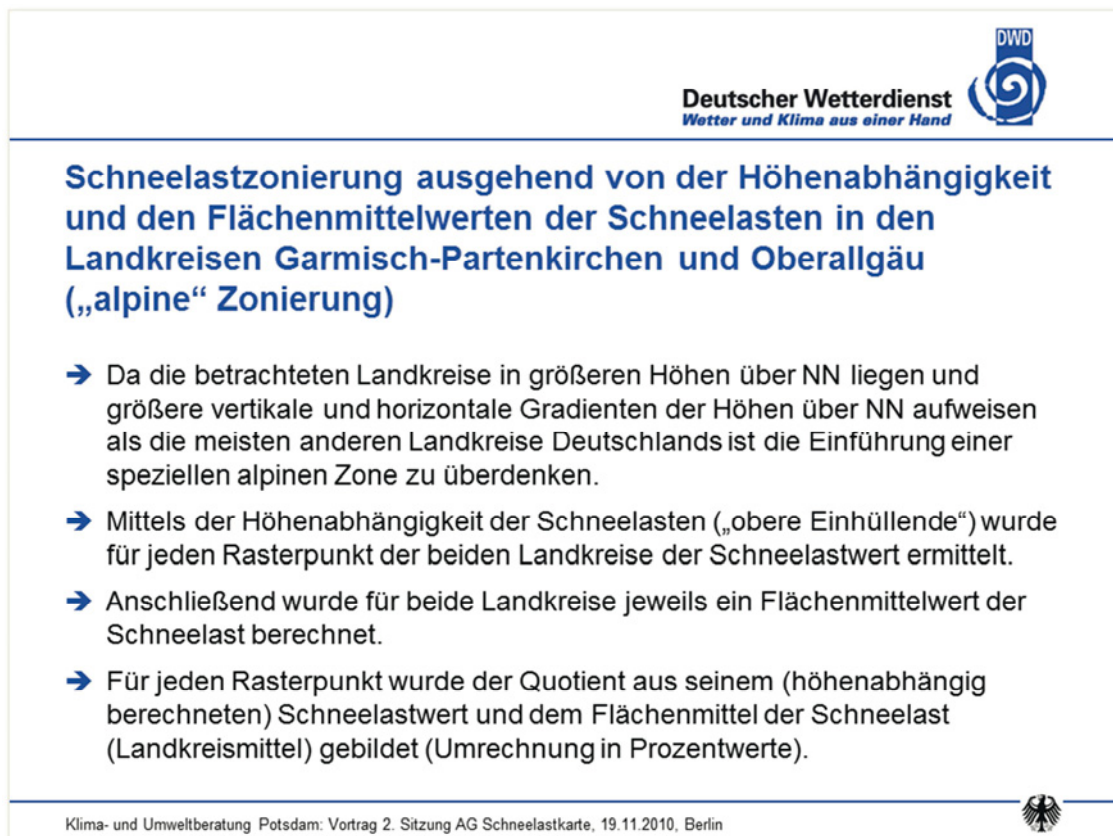


Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin


Bericht A.31



Bericht A.32



Bericht A.33



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Schneelastzonierung ausgehend von der Höhenabhängigkeit und den Flächenmittelwerten der Schneelasten in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu („alpine“ Zonierung)


→ Die neuen Schneelastzonen („alpine“ Zonierung) wurden nach folgenden Quotienten eingeteilt:

Zone I	< 80%
Zone II	>= 80% und < 100%
Zone III	>= 100%


Vergleichbar mit Quotientenbildung bei Piehl, Schorlemmer: Überarbeitung der Schneelastzonenkarte DIN 1055/5: 2005, Offenbach, 2002

→ Eine derartige Neuzonierung gibt zunächst einmal nur einen Überblick über mögliche (neue) Zonenverläufe. Die zugehörigen Schneelasten und deren Höhenabhängigkeit in den jeweils ausgegrenzten Zonen wären zu definieren.

Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

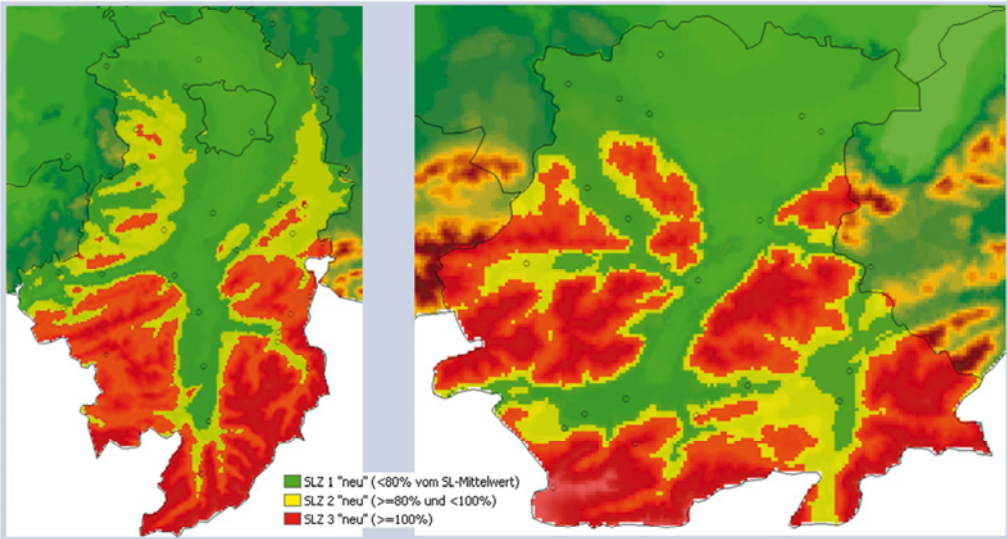


Bericht A.34




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Ergebnisse für Schneelastzonierungen ausgehend von der Höhenabhängigkeit und den Flächenmittelwerten der Schneelasten in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu („alpine“ Zonierung)



Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin




Bericht A.35


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Zusammenfassung der Schneelastzonierungen ausgehend von der Höhenabhängigkeit und den Flächenmittelwerten der Schneelasten in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu („alpine“ Zonierung)

- Neue Schneelastzonen („alpine“ Zonierung) können ausgehend von der Höhenabhängigkeit und den Flächenmittelwerten der Schneelasten ausgegrenzt werden.
- Eine derartige Vorgehensweise setzt die Kenntnis der Höhenabhängigkeit der Schneelasten voraus. Sie kehrt damit die von Piehl/Schorlemmer (2002) genutzte Herangehensweise um (und stimmt erneut mit dem Ansatz von Sanpaolesi et al., 1998) überein.
- Diese Vorgehensweise erscheint für begrenzte geographische Regionen sinnvoller.
- Es stellt sich allerdings die Frage nach der Vereinheitlichung in mehreren Regionen (Vereinheitlichung der zu den Zonen gehörigen Schneelasten und der Höhenabhängigkeit in den Zonen) im Sinne einer einfach zu handhabenden Schneelastzonenkarte (z.B. eine alpine Zone mit entsprechenden „Unterzonen“).




Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

Bericht A.36


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Fazit

- Die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten werden in größeren Arealen der Landkreise Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu unterschritten.
- Im Hinblick auf den Reliefverlauf ergeben sich aus der räumlichen Interpolation z. T. unrealistische Resultate der Zonenverläufe. Die räumliche Interpolation stellt ein rein mathematisches Verfahren dar, das nicht ausreichend die topographischen Gegebenheiten berücksichtigt.
- Eine Änderung der Zonenverläufe im Rahmen der Schneelastdefinitionen der DIN 1055/5:2005 (Schneelastwerte und ihre Höhenabhängigkeit in den jeweiligen Zonen) erscheint aufgrund der den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN in den betrachteten Regionen nicht zu einem befriedigenden Ergebnis zu führen.



Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin


Bericht A.37



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Fazit

- ➔ „Neue“ Schneelastzonen („alpine“ Zonierung) könnten ausgehend von der Höhenabhängigkeit und den Flächenmittelwerten der Schneelasten ausgegrenzt werden.
- ➔ Eine Vereinheitlichung der zu den „neue“ Zonen gehörigen Schneelasten ihrer Höhenabhängigkeit (in den Zonen) im Sinne einer einfach zu handhabenden Schneelastzonenkarte (z.B. eine „alpine“ Zone mit entsprechenden „Unterzonen“) müsste untersucht werden.
- ➔ Eine derartige Herangehensweise setzt die Analyse der Schneelasten in weiteren Regionen voraus.



Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

Bericht A.38



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dr. Bodo Wichura
Deutscher Wetterdienst
Regionale Klima- und Umweltberatung Potsdam
Michendorfer Chaussee 23
14473 Potsdam
<mailto:bodo.wichura@dwd.de>
Tel.: +49 (0) 331 / 316360
Fax: +49 (0) 331 / 316299

Vielen Dank an:
Herrn Alexander Pasternack (Student FU Berlin)





Klima- und Umweltberatung Potsdam: Vortrag 2. Sitzung AG Schneelastkarte, 19.11.2010, Berlin

Anhang B. Erster Zwischenbericht Forschungsvorhaben (per E-Mail an den Auftraggeber am 05.04.2012)

Bericht B.1


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Ergebnisse zu Untersuchungen der Schneelast in den Landkreisen Passau, Rottal-Inn, Berchtesgadener Land

Vergleich von (abgeleiteten) Messwerten an DWD-Stationen
mit Werten der Norm DIN1055/5:2005

Zwischenbericht zum DIBt-Forschungsvorhaben „Flächenhafte Analyse von Schneelastmesswerten in fünf Landkreisen und ihr Vergleich mit den Schneelastzonenkarten der DIN 1055/5:2005 als Pilotuntersuchung für die Überarbeitung der Schneelastzonenkarte“


Bericht B.2


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Gliederung

- Grundlagen
- Aktuelle Schneelastzonen
- Stationsauswahl
- Prüfung der Messwerte
- Methodik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.3

Grundlagen

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Wasseräquivalent, Schneedichte und Schneelast

- ➔ Das **absolute Wasseräquivalent einer Schneedecke** (mm) gibt an, welchen Wassergehalt der gesamte ausgestochene Schnee hat.
- ➔ Das **spezifische Wasseräquivalent einer Schneedecke** (mm/cm) gibt an, welchen durchschnittlichen Wassergehalt der ausgestochene Schnee pro cm Schneehöhe hat.
- ➔ Die **Schneedichte** (kg/m³) ist die Masse des gefallenen Schnees bezogen auf die Volumeneinheit im Zustand der natürlichen Lagerung.
- ➔ Die **Schneelast** (kN/m²) ist die Kraft, die eine Schneedecke aufgrund ihrer (Gesamt-) Masse auf eine Fläche, auf der sie lagert, ausübt.

Schneedichte
Quelle: <http://www.dwd.de>

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.4

Grundlagen

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Wasseräquivalent, Schneedichte und Schneelast

- ➔ Umrechnung von spezifischem Wasseräquivalent (sWA) zu Schneedichte (SD):

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] \times 100 \quad \longrightarrow \quad SD \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$
- ➔ Umrechnung von absolutem Wasseräquivalent zu Schneelast:

$$\frac{WA[mm]}{100} \approx SL \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

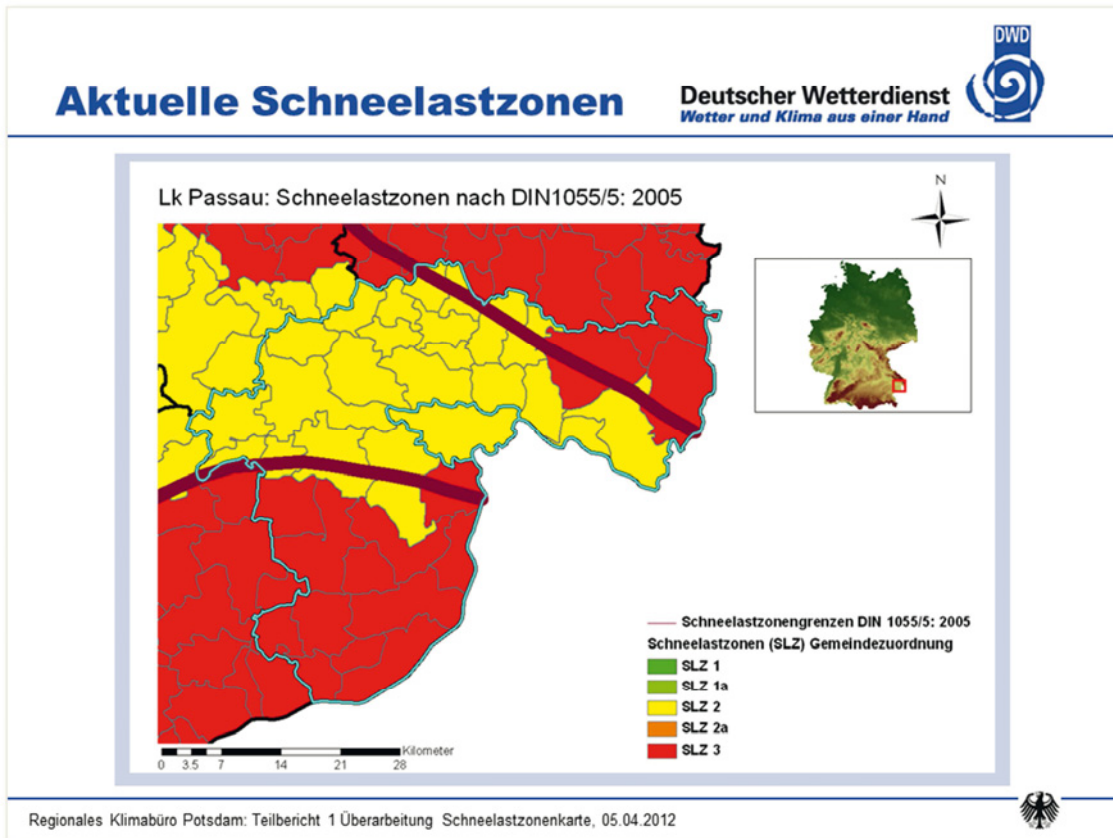
$$WA[mm] \quad \longrightarrow \quad SL \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$
- ➔ Schneedichte verschiedener Schneearten:

Schneeart	Schneedichte [kg/m ³]
Neuschnee	50 bis 100
Pulverschnee	100 bis 200
körniger Schnee	150 bis 450
gelagerter Schnee	350 bis 600
Firnschnee	500 bis 850
Gletschereis	700 bis 900

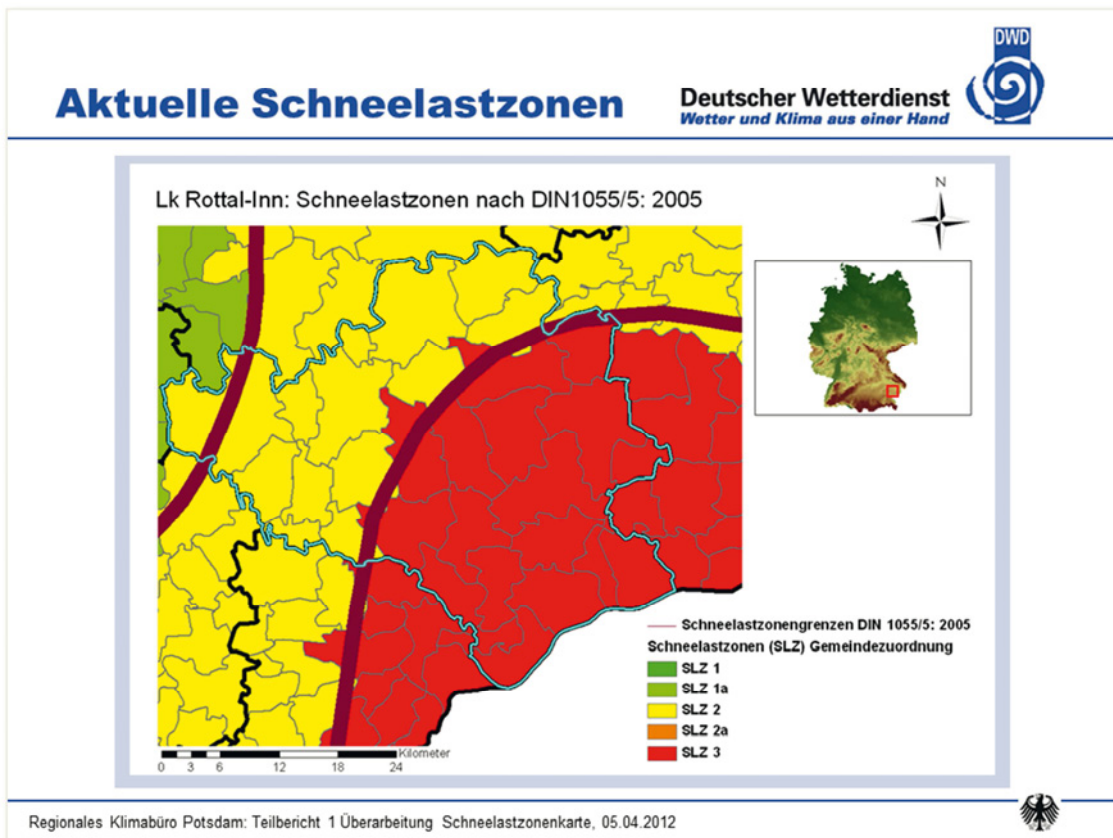
Schneelast
Quelle: www.dwd.de/lexikon

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

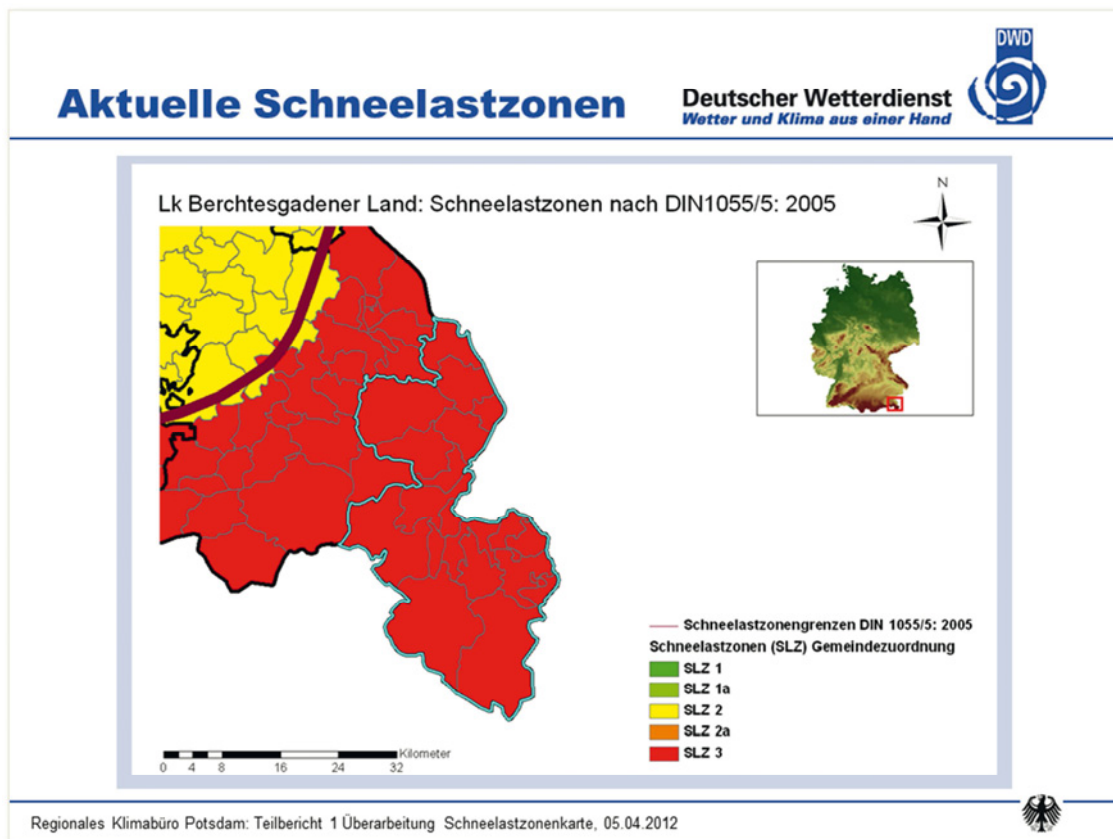
Bericht B.5



Bericht B.6



Bericht B.7



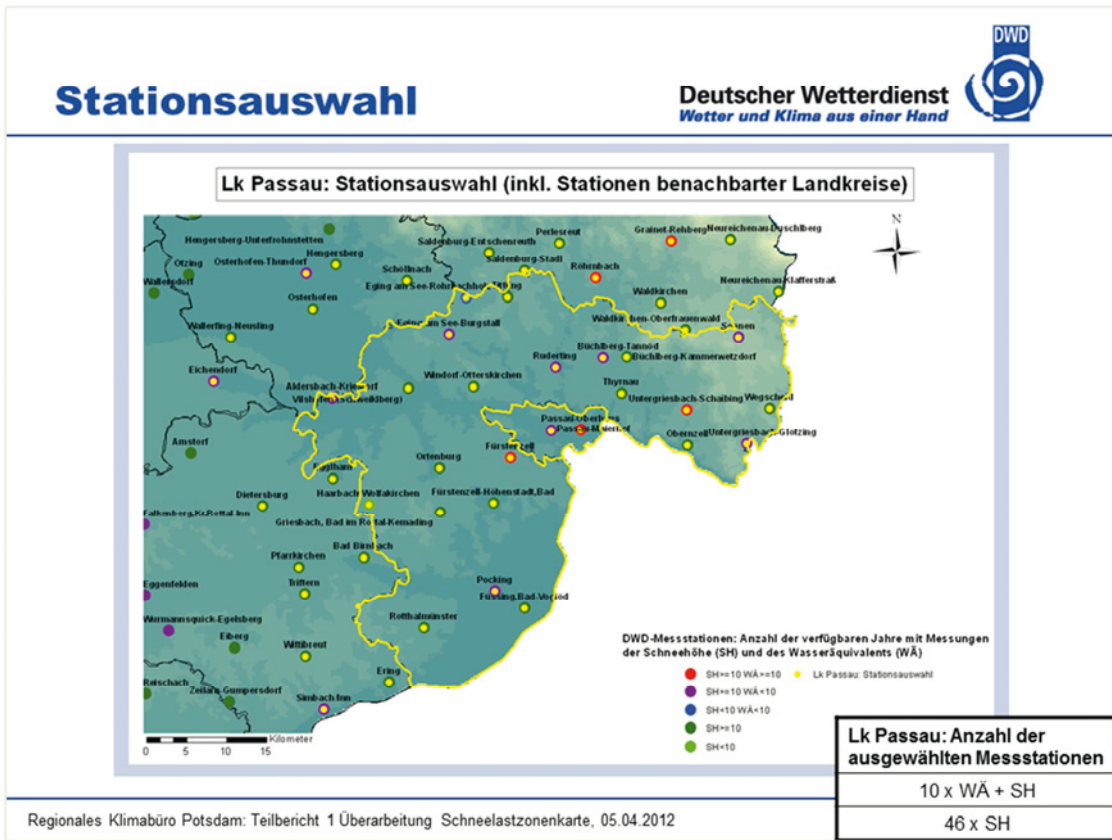
Bericht B.8

Stationsauswahl: Kriterien **Deutscher Wetterdienst**
Wetter und Klima aus einer Hand

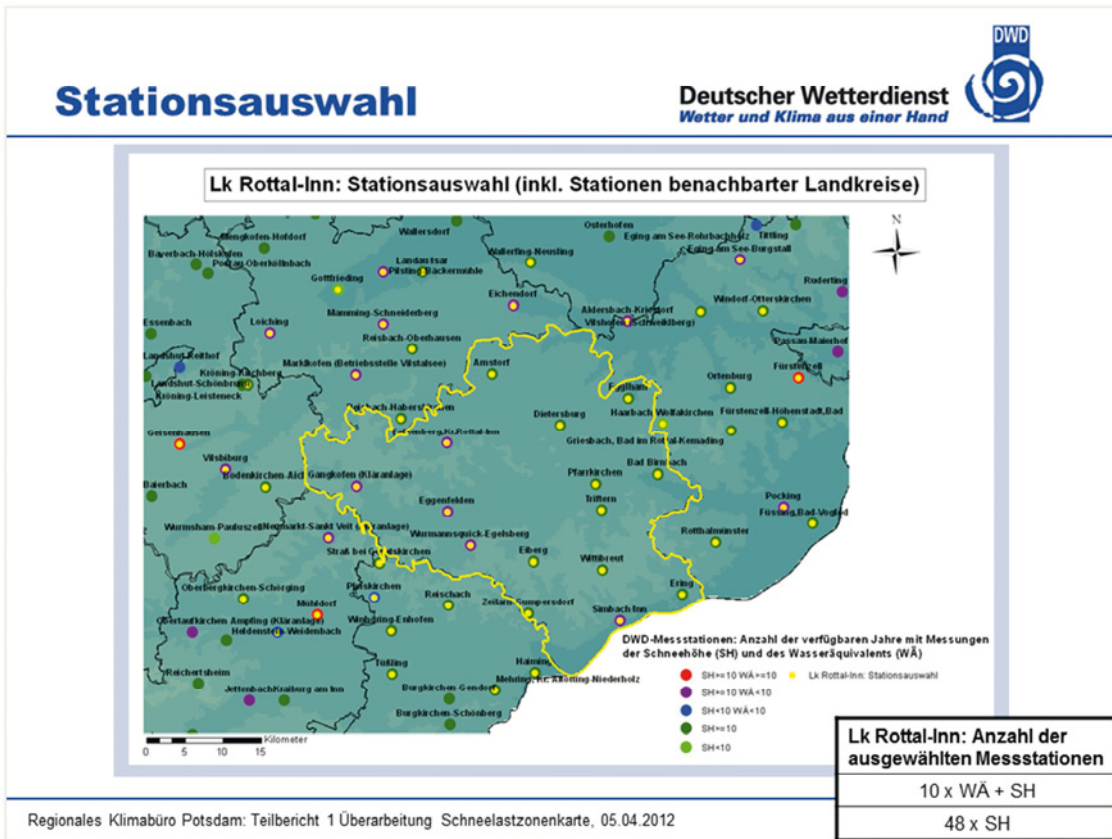
- Auswahl von DWD-Messstationen in den Landkreisen und ihrer Umgebung* mit:
 - mindestens 6 Jahren Wasseräquivalentmessungen,
 - mindestens 10 Jahren Schneehöhenmessungen,
 - zeitgleichen Schneehöhen- und Wasseräquivalentmessungen.
- *Dabei wurde berücksichtigt, dass die Stationen umgebender Landkreise:
 - eine annähernd ähnliche Höhenlage über NN wie die Stationen im betrachteten Landkreis aufweisen und
 - in tolerierbarer Entfernung liegen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

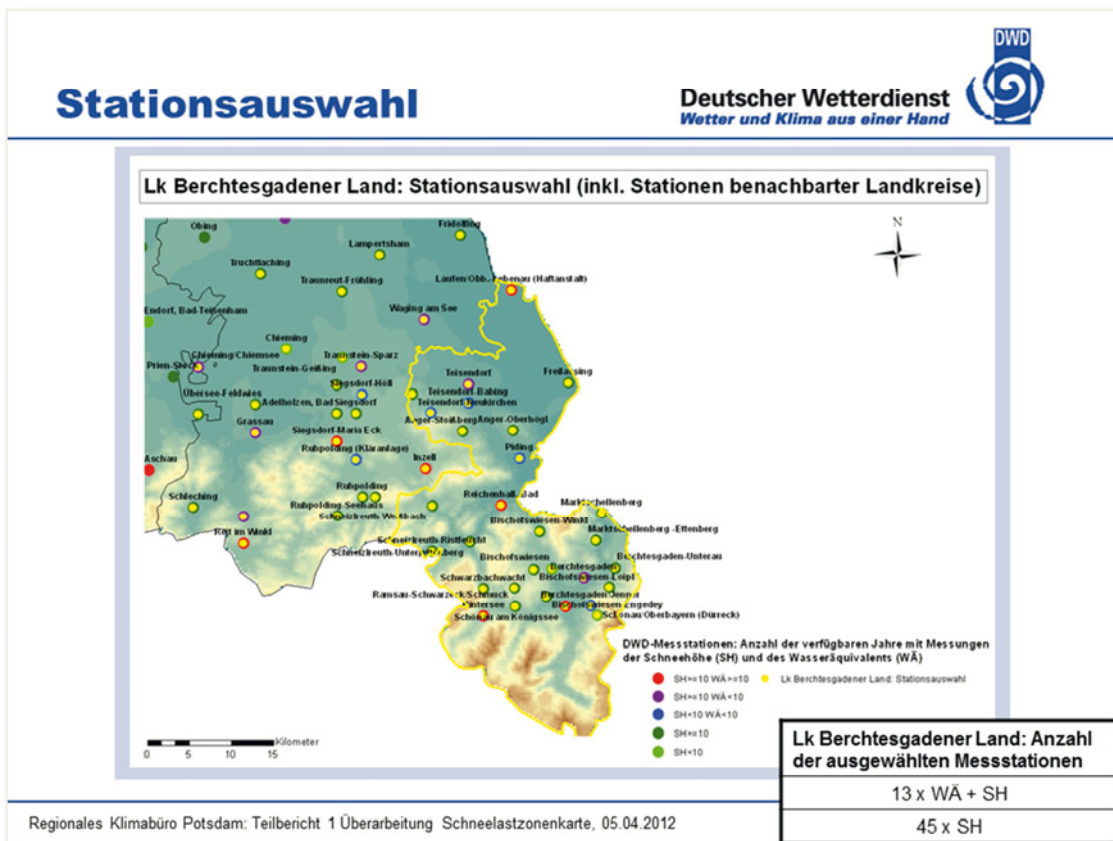
Bericht B.9



Bericht B.10



Bericht B.11



Bericht B.12

Prüfung der Messwerte

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

- ➔ Plausibilitätsprüfung der Messdaten:
 - ➔ Nutzung von sinnvollen („Grenz-“) Werten der Schneedichte (SD) zur Plausibilitätsprüfung der Wasseräquivalente (WÄ) und Schneehöhen (SH):
 - ➔ *unterer Grenzwert*: $SD < 50 \text{ kg/m}^3$ (trockener Neuschnee hat keine kleinere SD),
 - ➔ *oberer Grenzwert*: $SD > 600 \text{ kg/m}^3$ (gelagerter Schnee hat selten eine höhere SD, ansonsten Übergang zu Firnschnee, tritt nur an extremen Standorten mit Ablagerungen > 1 Jahr auf),
 - ➔ Folgerichtig sind bei Bedingungen


$$W\ddot{A} < 0,5 \cdot SH$$

$$W\ddot{A} > 6,0 \cdot SH$$
 fehlerhafte Messwerte zu vermuten.
- ➔ Eliminieren (oder wenn möglich berichtigen) von Messfehlern, Datenübertragungsfehlern und zu kurzen Messreihen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.13

Methodik: Überblick




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Vorgehensweise bei Schneelastanalysen für die Landkreise


- (1) Analysen zur Regression zwischen dem Wasseräquivalent WA und der Schneehöhe SH für alle Messstationen, an denen Zeitreihen für beide Messwerte vorliegen.
 - a) Regressionsanalysen für die **Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhe (Regression der Jahresmaxima)**,
 - b) Regressionsanalysen für die **alle Messwerte des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression)**.
- (2) Berechnung der Wasseräquivalente WA aus den Messungen der Schneehöhe SH an *allen* Messstationen auf der Grundlage der
 - a) unter (1a) abgeleiteten Regressionsgleichungen,
 - b) unter (1b) abgeleiteten Regressionsgleichungen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.14

Methodik: Überblick




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Vorgehensweise bei Schneelastanalysen für die Landkreise


- (3) Ermittlung der für ein mittleres Wiederkehrintervall von 50 Jahren gültigen Wasseräquivalente WA auf der Grundlage von Extremwertanalysen aus den
 - a) im Schritt (2a) abgeleiteten Jahresmaxima der Wasseräquivalente WA,
 - b) im Schritt (2b) abgeleiteten Jahresmaxima der Wasseräquivalente WA.
- (4) Räumliche Interpolation der
 - a) im Schritt (3a) abgeleiteten Schneelastwerte,
 - b) im Schritt (3b) abgeleiteten Schneelastwerte.
- (5) Umrechnung der räumlich interpolierten Schneelasten in Schneelastzonen für die
 - a) im Schritt (4a) abgeleiteten Schneelastwerte,
 - b) im Schritt (4b) abgeleiteten Schneelastwerte.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.15

Methodik



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent - Schneehöhe

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] = \frac{WA [mm]}{SH [cm]} \rightarrow WA [mm] = sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] SH [cm]$$


mit

$$sWA \left[\frac{mm}{cm} \right] = SW \left[\frac{kN}{m^3} \right]$$

$$\rightarrow WA [mm] = SW \left[\frac{kN}{m^3} \right] SH [cm]$$


- Berechnung der Regression zwischen
 - Schneehöhe SH und
 - (spezifischem) Wasseräquivalent (s)WA
- Steigung entspricht der Schneewichte SW
- Fragen:
 - Gibt es einen engen Zusammenhang für den jeweiligen Landkreis ?
 - Welche Ausgangsdaten sollten für die Regressionsbeziehung genutzt werden ?

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.16

Methodik




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

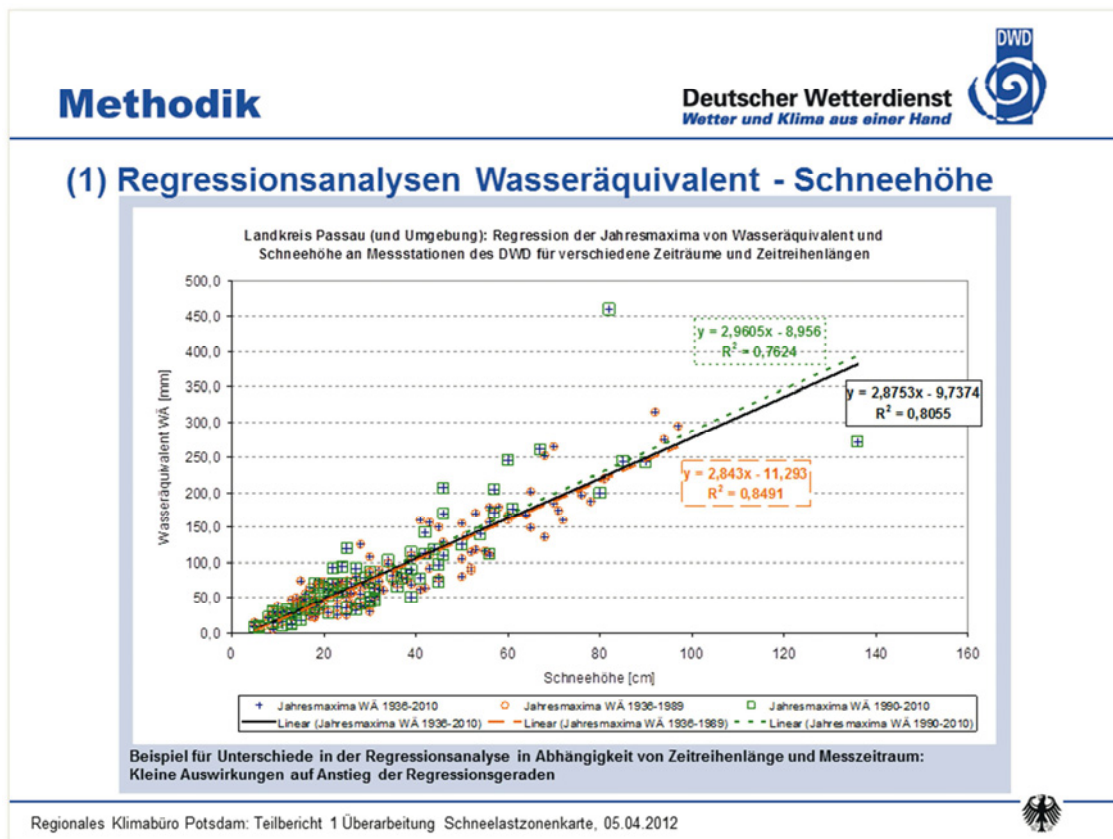
(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent - Schneehöhe

- Hängen die Ergebnisse der Regressionsanalysen von der Zeitreihenlänge ab?
- Hängen die Ergebnisse der Regressionsanalysen vom verwendeten Messzeitraum ab?
- Was geschieht mit redundanten WA-SH-Wertepaaren?
Redundanzen in WA-SH-Wertepaaren können bei der Analyse der Jahresmaxima der WA entstehen: Einem (maximalen) WA-Messwert können mehrere SH-Messwerte zugeordnet sein. Grund: Gleiches WA der Schneedecke bei Transformation („Setzen der Schneedecke“).
- Ergebnis der Untersuchungen zu den o. g. Fragestellungen: Die Abweichungen in den Resultaten der Regressionsanalysen sind klein.
- Entscheidung: Alle Messdaten mit der Gesamtzeitreihenlänge gehen in die Regressionsanalysen ein.

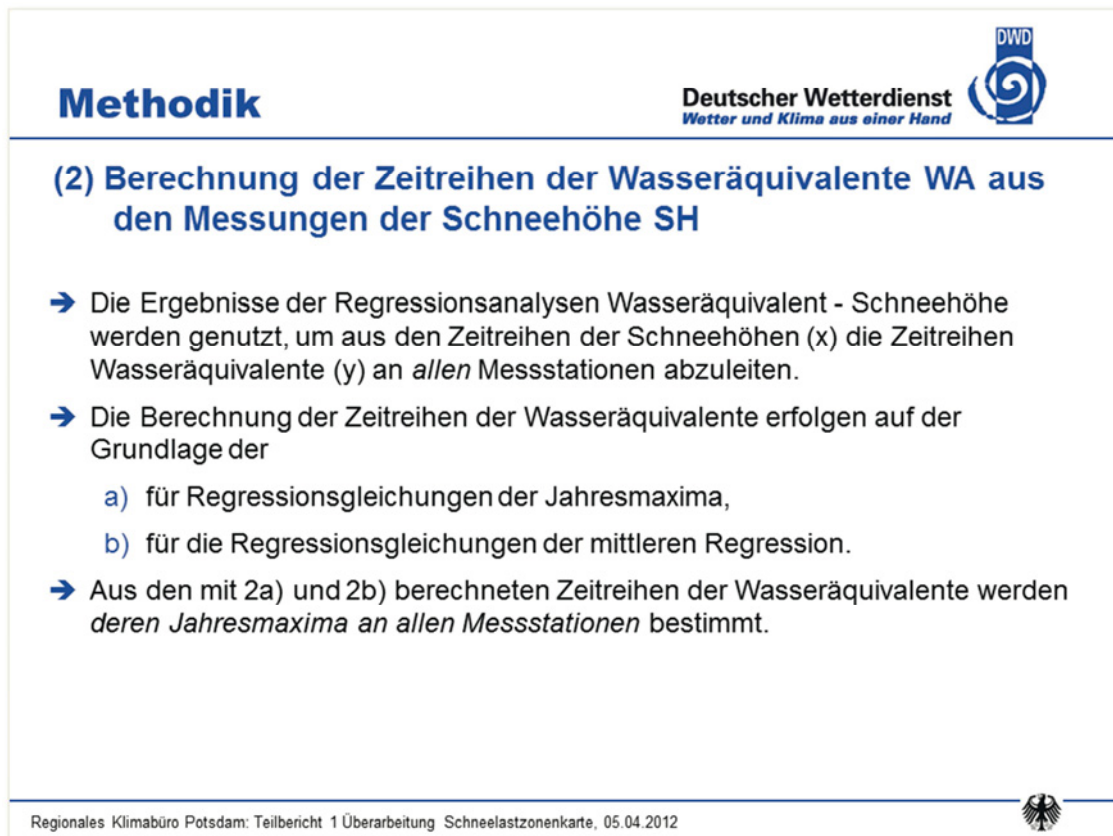
Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.17



Bericht B.18



Bericht B.19

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(3) Extremwertanalysen

→ Aus den mit 2a) und 2b) berechneten Jahresmaxima der Wasseräquivalente werden mit Hilfe von Extremwertanalysen für alle Stationen die Wasseräquivalente für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren ermittelt.

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right\}$$

→ **Fisher-Tippett Extremwertverteilung**, Typ I: Gumbel-Verteilung

→ Parameter a und b werden bestimmt mit Hilfe verschiedener Methoden:

- Methode der kleinsten Quadrate,
- Maximum-Likelihood-Methode,
- Momentenmethode.

$$\hat{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \exp(-x_i/\hat{b})}{\sum_{i=1}^n \exp(-x_i/\hat{b})}$$

$$\hat{a} = -\hat{b} \ln\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp(-x_i/\hat{b})\right\}$$

z.B. →

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.20

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(3) Extremwertanalysen

→ Die Extremwertanalysen erfolgen mit den unter 2a) und 2b) berechneten Jahresmaxima der Wasseräquivalente für alle Messstationen.

→ Als Auswahlkriterium für die genutzte Methode zur Parameterbestimmung wurde die bestmögliche Kurvenanpassung an die jeweilige Punktverteilung angewendet.

→ Die berechneten Wasseräquivalente für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren wurden mit den an der jeweiligen Station gemessenen Maxima der Wasseräquivalente verglichen.

→ Die berechneten Wasseräquivalente für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren entsprechen den charakteristischen Schneelasten.

Beispiel für das Ergebnis einer Extremwertanalyse mit verschiedenen Anpassungsmethoden (schematisch)

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.21

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(4) Räumliche Darstellung und Interpolation der Schneelasten

- ➔ Die an allen untersuchten Stationen berechneten Schneelasten werden in einem geographischen Informationssystem dargestellt und interpoliert.
 - ➔ Geographisches Informationssystem ESRI® ArcMap™, Version 10.0
 - ➔ Nutzung Daten: ATKIS®, Digitales Landschaftsmodell DLM250, ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
- ➔ Räumliche Interpolation mit dem Verfahren „Universal Kriging“.
 - ➔ „Unter Kriging (oder auch: Krigen) versteht man ein geostatistisches Verfahren, mit dem man Werte an Orten, für die keine Stichprobe vorliegt durch umliegende Messwerte interpolieren oder auch annähern kann.“ (<http://de.wikipedia.org/wiki/Kriging>)
 - ➔ „Der wesentliche Vorteil gegenüber einfacheren Methoden wie beispielsweise der Inversen Distanzgewichtung ist die Berücksichtigung der räumlichen Varianz, die sich mit Hilfe der Semivariogramme ermitteln lässt. Für einen gesuchten Wert werden dabei die Gewichte der in die Berechnung einfließenden Messwerte so bestimmt, dass die Schätzfehlervarianz möglichst gering ist. Der Fehler hängt dabei von der Qualität des Variogramms bzw. der Variogrammfunktion ab.“ (<http://de.wikipedia.org/wiki/Kriging>)
- ➔ Anwendung des „Universal Kriging“ unter Berücksichtigung einer räumlichen Anisotropie. Damit werden im vorliegenden Fall insbesondere die räumlichen Variationen der Höhe über NN berücksichtigt.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.22

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(5) Umrechnung der Schneelasten in Schneelastzonen

Berechnungsformeln für die charakteristische Schneelast S_k in für die Schneelastzonen 1 bis 3 gemäß DIN 1055/5: 2005

<p>Zone 1: $S_k = 0,19 + 0,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760}\right)^2$</p> <p>Zone 2: $S_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760}\right)^2$</p> <p>Zone 3: $S_k = 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760}\right)^2$</p>	<p>Dabei sind:</p> <p>A: Geländehöhe über Meeresniveau in m</p> <p>S_k: Charakteristischer Wert der Schneelast in kN/m^2</p> <p>* „Die charakteristischen Werte in den Zonen 1a und 2a ergeben sich jeweils durch Erhöhung der Werte aus den Zonen 1 und 2 mit dem Faktor 1,25. Die Sockelbeträge werden in gleicher Weise angehoben“</p>
---	--

Schneelasten nach DIN 1055/5 (2005)

- Die höhenabhängigen Schneelastkurven entsprechen Polynomen 2. Grades.

$$S_k = a_z A^2 + b_z A + c_z$$

- Die Koeffizienten k ($= a, b$ und c) der Polynome können mit einer linearen Regression angenähert werden.

$$k_z = d_k Z + e_k$$

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.23

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(5) Umrechnung der Schneelasten in Schneelastzonen

Zuordnung der Schneelastzonen zu den ermittelten Schneelasten

- Die Regressionskoeffizienten d_k und e_k werden in die (resultierende, angenäherte) Polynomgleichung eingesetzt. Die Polynomgleichung wird nach der Schneelastzone umgeformt.

$$Z = \frac{s_k - e_a A^2 - e_b A - e_c}{d_a A^2 + d_b A + d_c}$$

	a	b	c
d	0,0000009	0,002592	0,0507352
e	0,0000005	0,0001196	0,1706053

- Damit ergeben sich die Zonenzuordnungen:

Schneelastzone SLZ	Entspricht einem Z
1	1,19
1a	1,66
2	3,10
2a	4,05
3	5,01

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.24

Ergebnisse

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

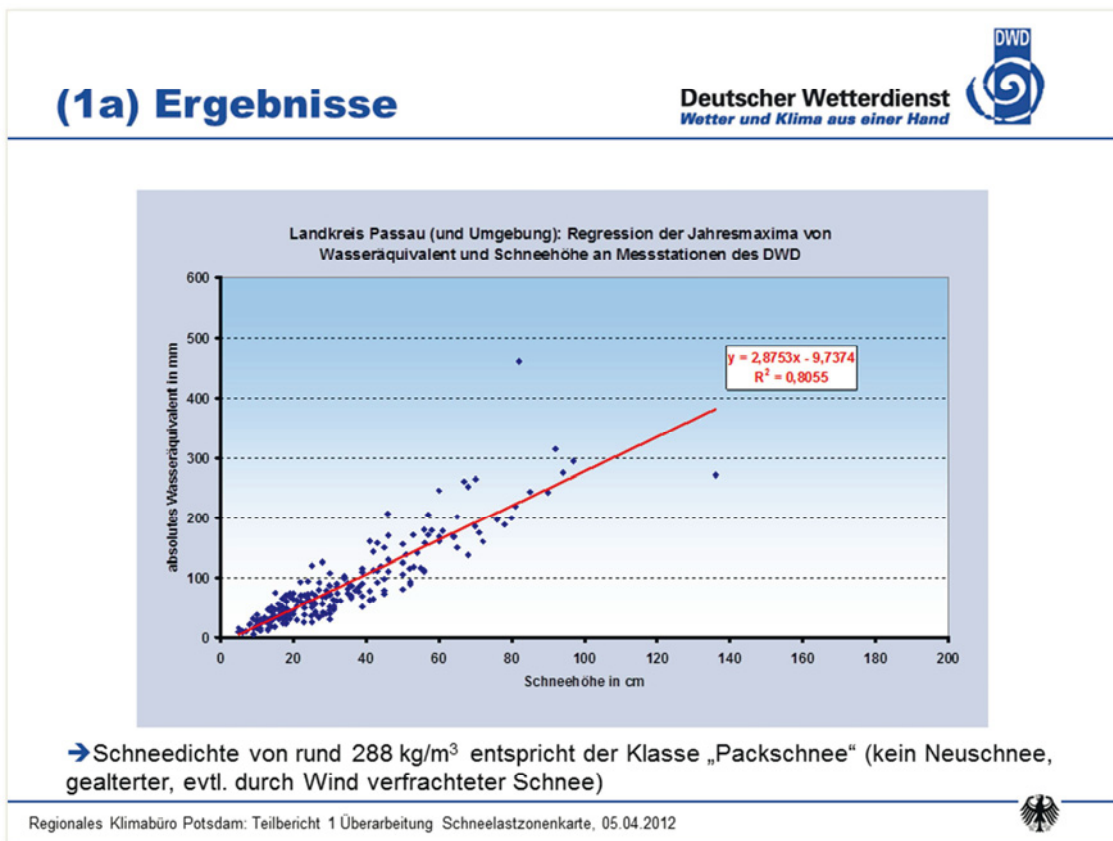
(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent - Schneehöhe

Bezeichnung	Beschreibung	Schneedichte (kg/m ³)	
		von	bis
Wildschnee	Neuschnee bei großer Kälte und Windstille	10	50
Trockener Lockerschnee	Neuschnee, unmittelbar nach Ablagerung bei Temperatur unter 0°C	50	100
Feuchter Lockerschnee	Neuschnee bei Temperaturen um 0°C	100	200
Packschnee	durch Wind verfrachteter Lockerschnee	200	300
Reifer Schnee	Schnee im isothermischen Beharrungszustand bei kapillarer Sättigung	400	450
Schneesumpf	mit Wasser übersättigter Schnee in Zonen stauender Nässe	500	800
<i>Sonderformen im Hochgebirge</i>			
Schwimmschnee	durch Reifdiagenese entstandene Schicht aus grobkörnigen Kristallen mit geringem Zusammenhalt	200	300
Firnschnee	durch Druckdiagenese entstandene Übergangsform des Schnees bei der Gletscherbildung	400	700
Firneis	aus Schnee entstandene Eismassen	800	1000

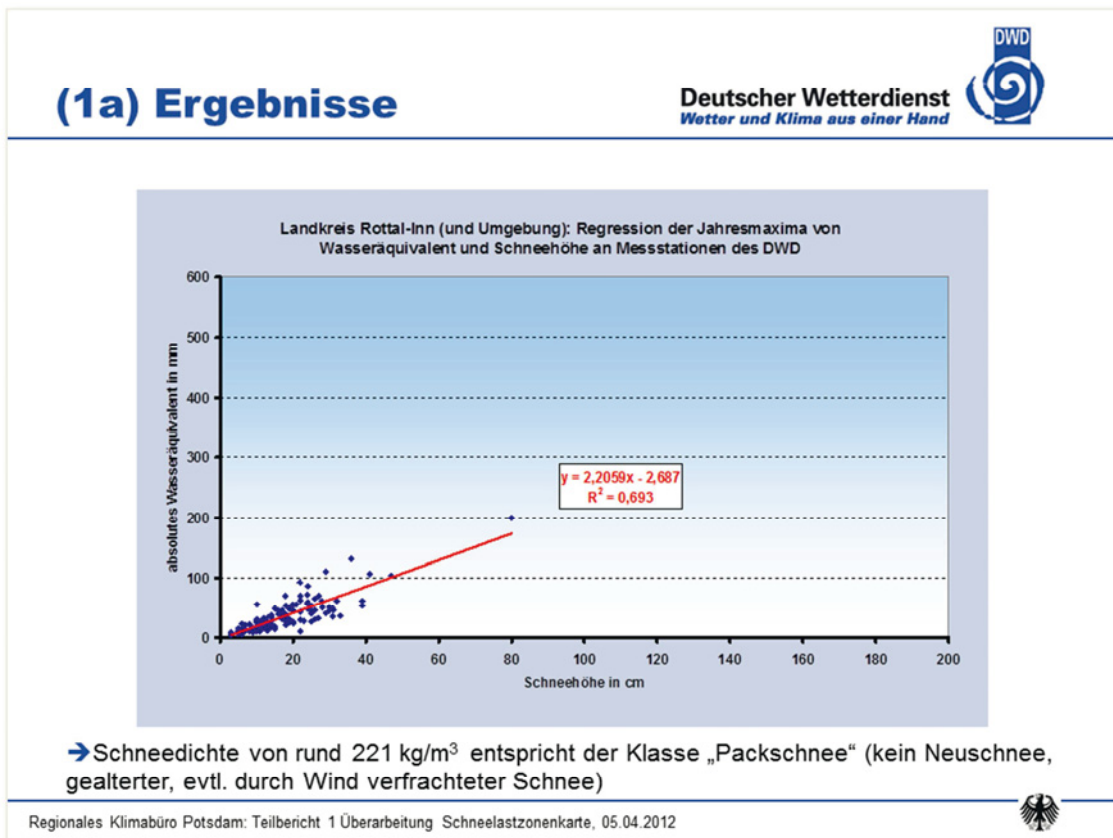
Zur Interpretation der Ergebnisse der Regressionsanalysen: Schnearten und zugehörige Schneedichte (nach KNAUF, 1975)

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

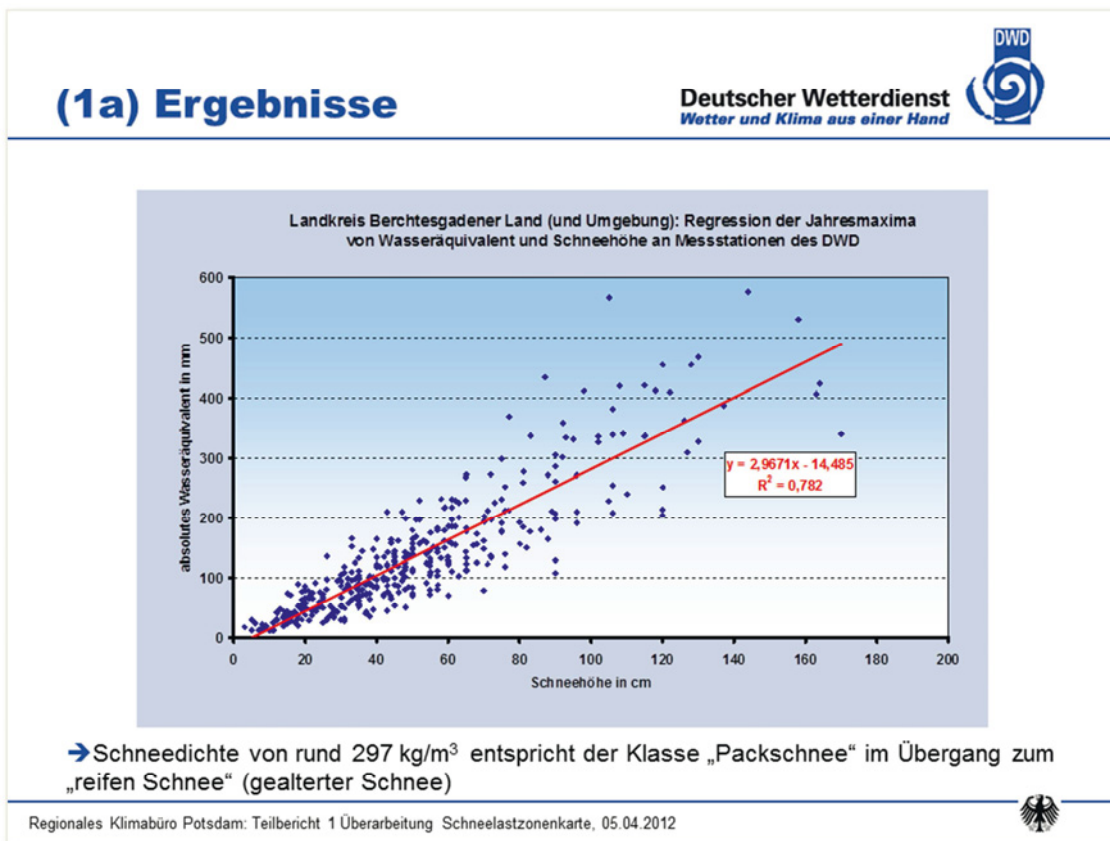
Bericht B.25



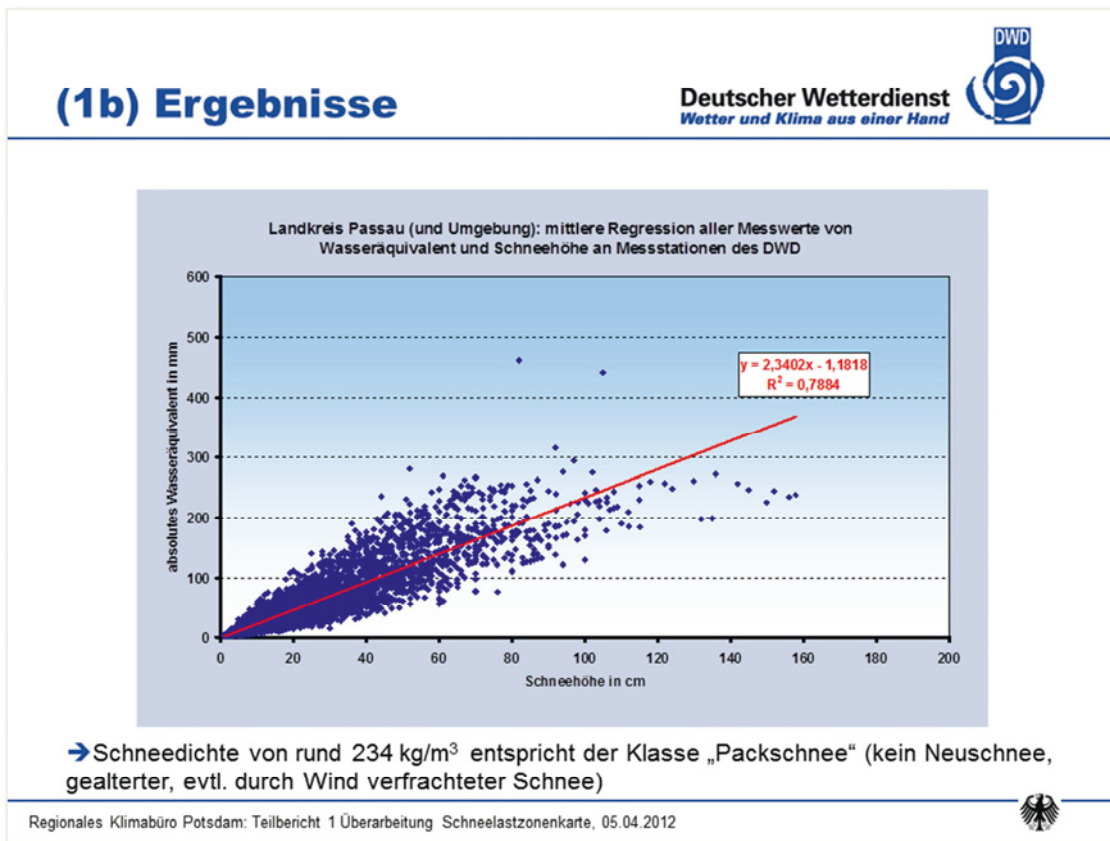
Bericht B.26



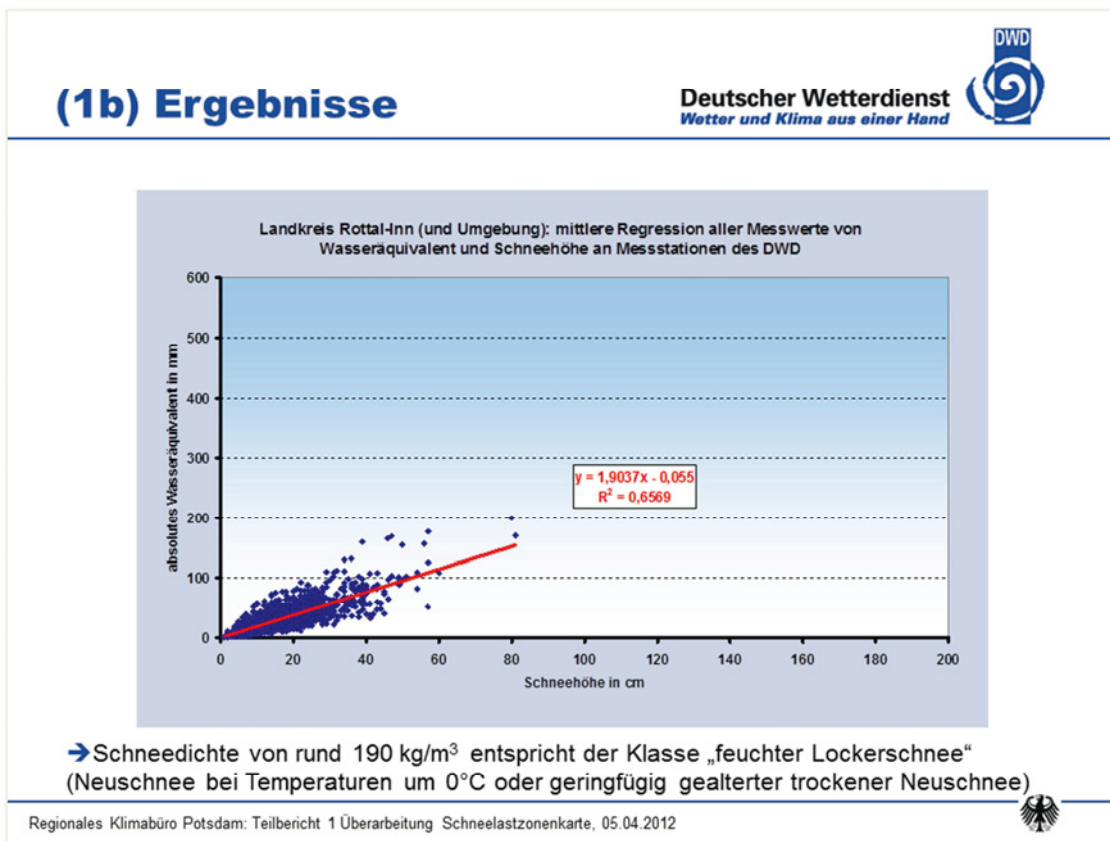
Bericht B.27



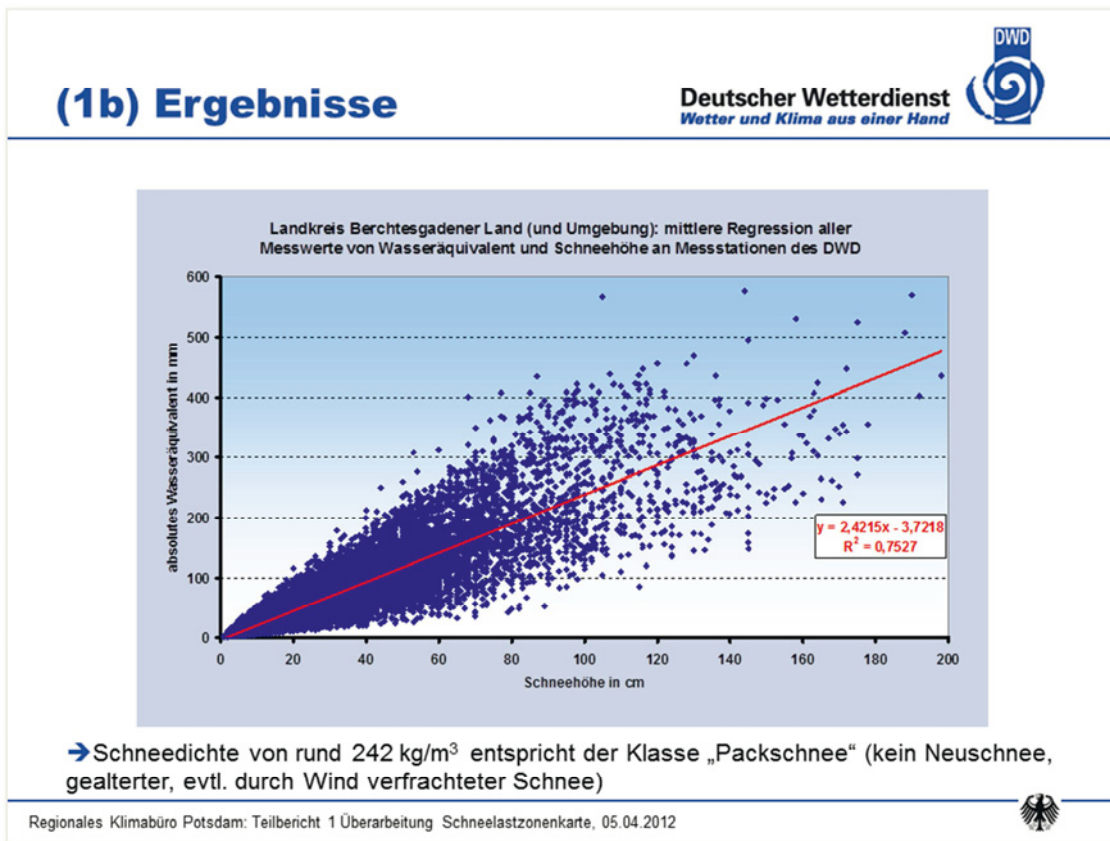
Bericht B.28



Bericht B.29



Bericht B.30



Bericht B.31

Ergebnisse

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent – Schneehöhe

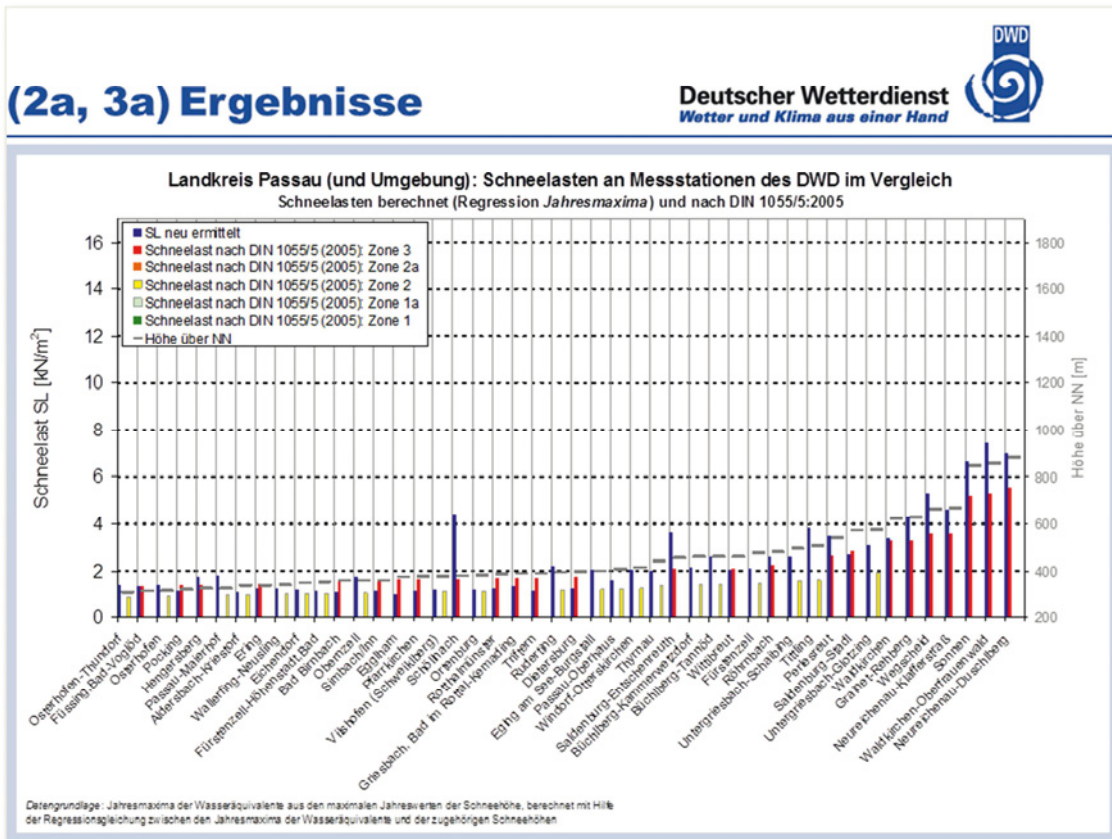
➔ Zusammenfassung der Ergebnisse der Regressionsanalysen:

Regression Jahresmaxima			
LK	Passau	Rottal-Inn	BG-Land
Regressionsgleichung	$y = 2,8753x - 9,7374$	$y = 2,2059x - 2,6870$	$y = 2,9671x - 14,4850$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,8055	0,6930	0,7820

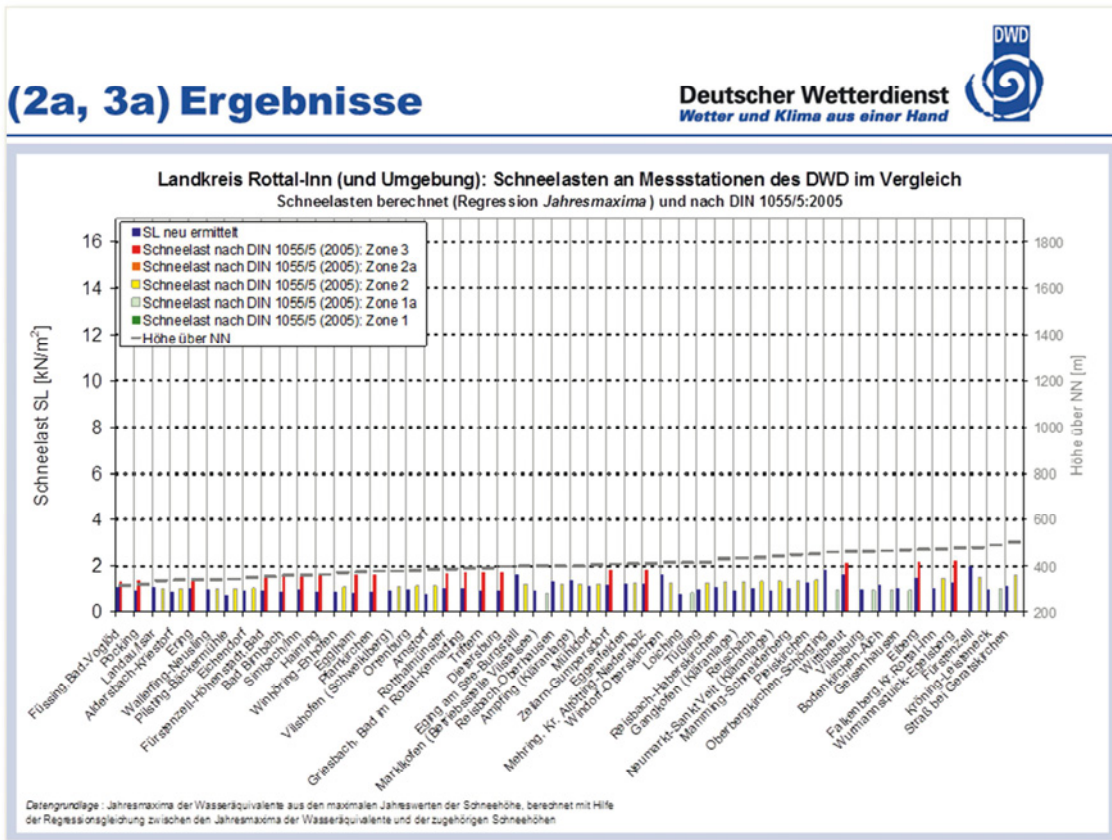
Mittlere Regression			
LK	Passau	Rottal-Inn	BG-Land
Regressionsgleichung	$y = 2,3402x - 1,1818$	$y = 1,9037x - 0,0550$	$y = 2,4215x - 3,7218$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,7884	0,6569	0,7527

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

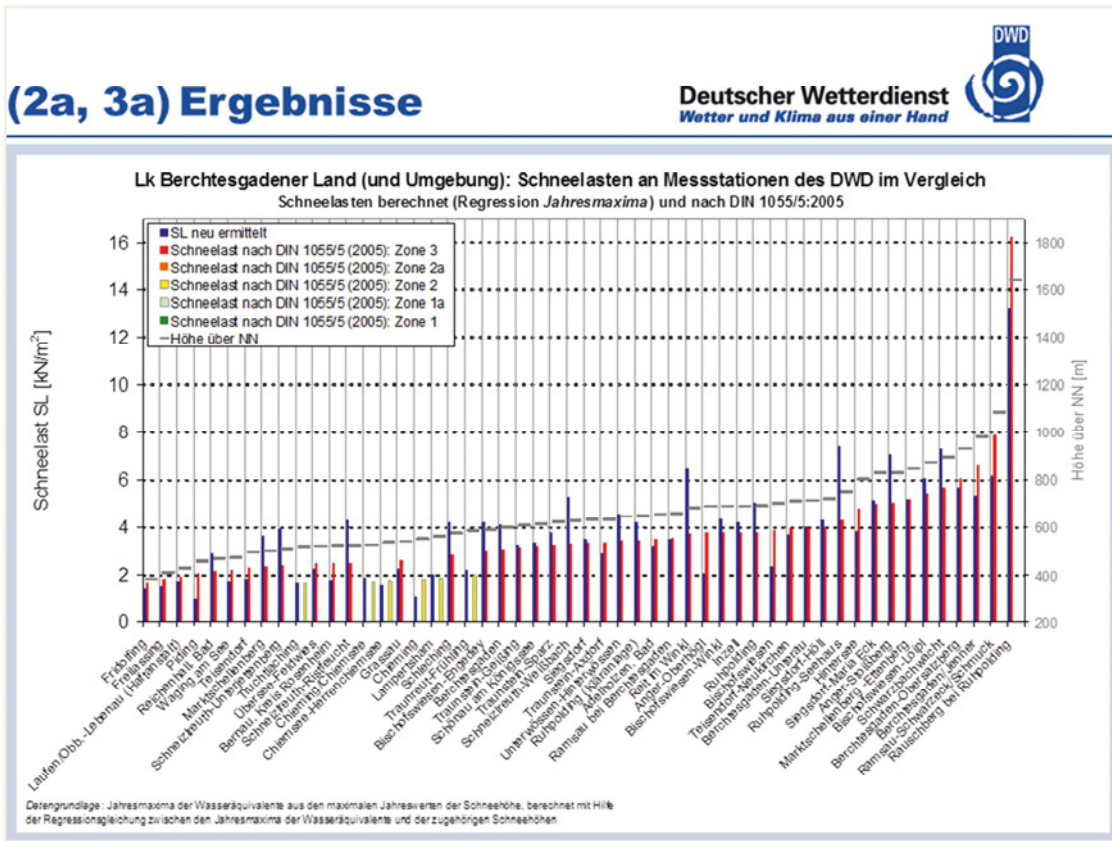
Bericht B.32



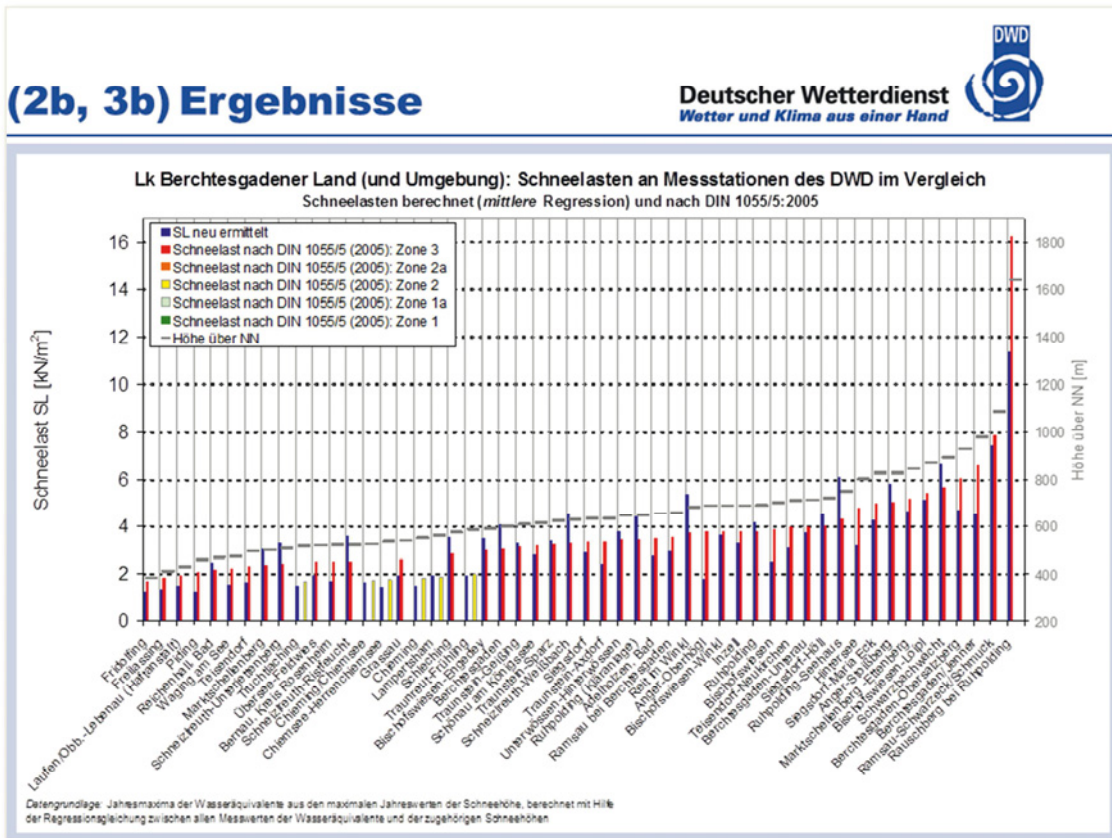
Bericht B.33



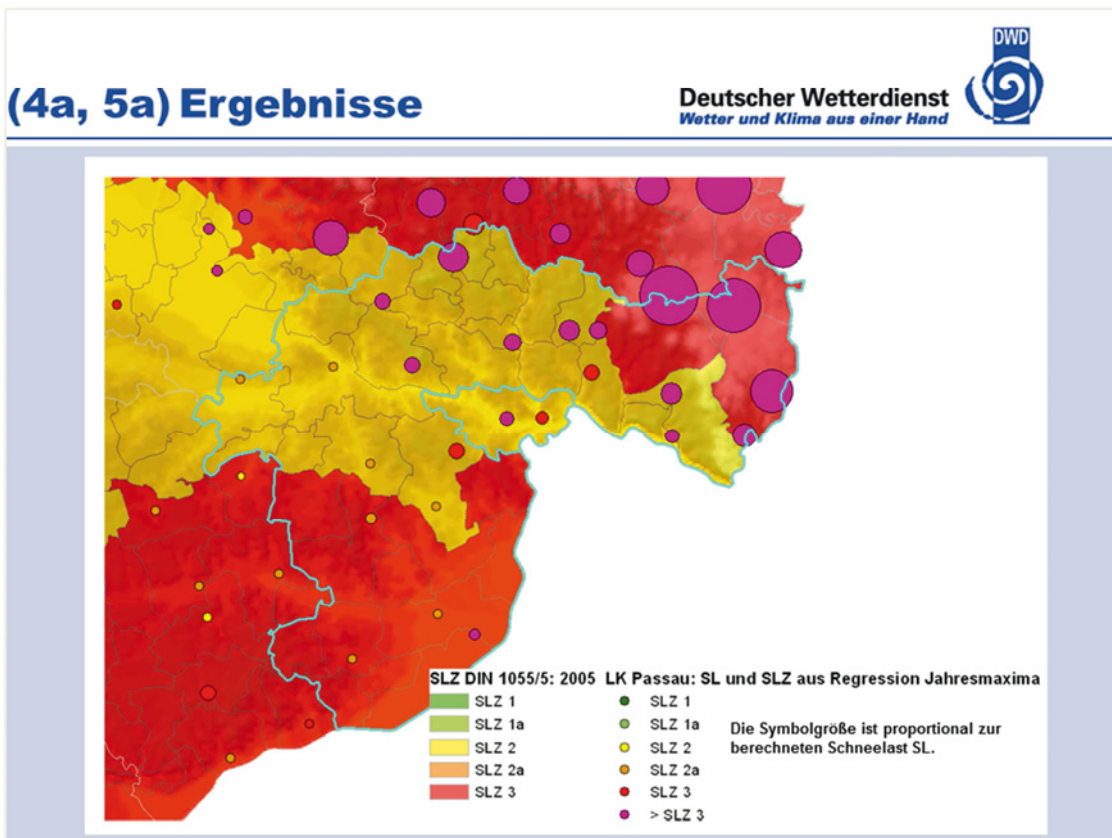
Bericht B.34



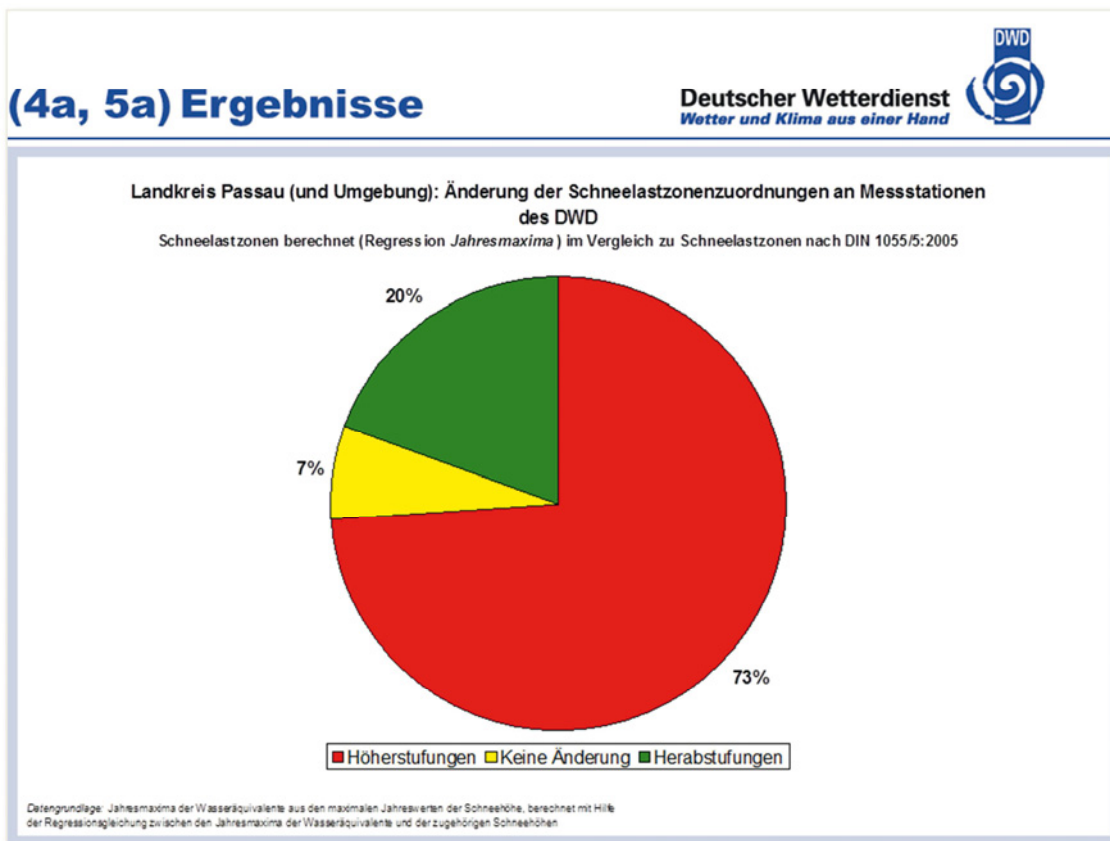
Bericht B.37



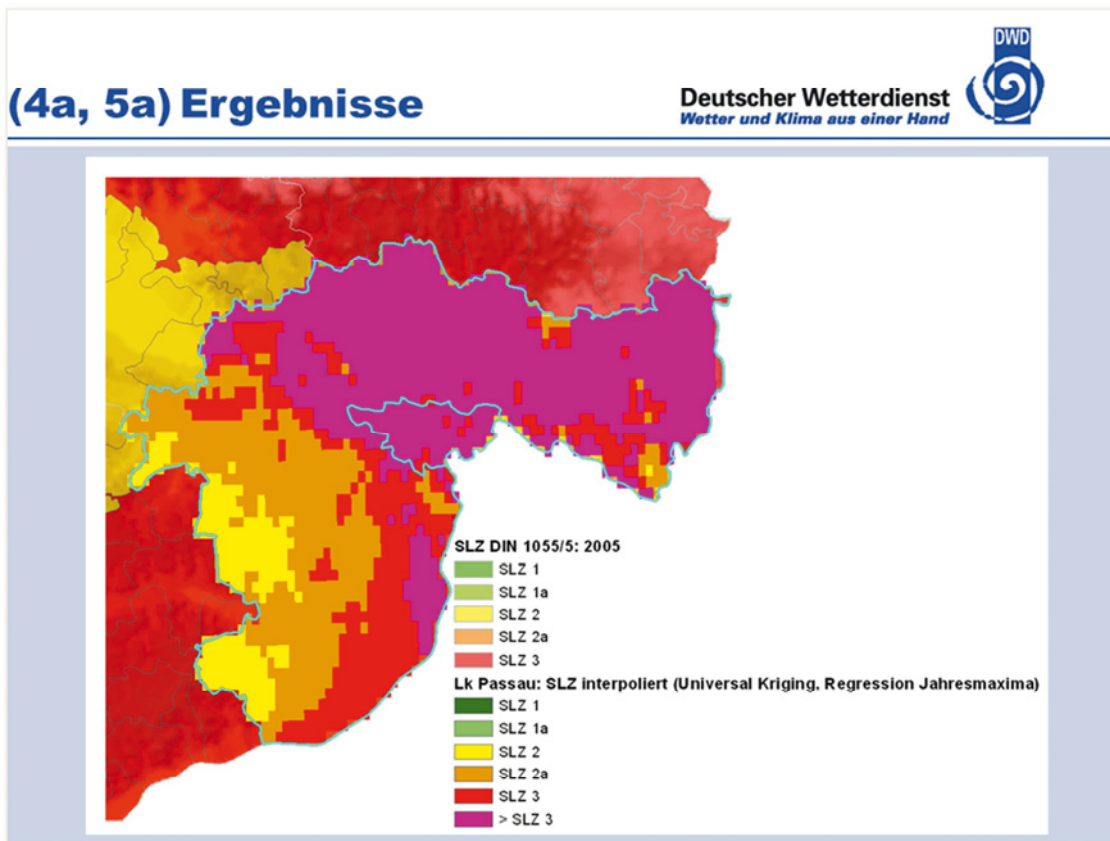
Bericht B.38



Bericht B.39




Bericht B.40



Bericht B.41

(4a, 5a) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Passau: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)


- Die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten werden in größeren Arealen des Landkreises überschritten.
- Nach den vorliegenden Ergebnissen müssten große Areale im Nord- und Mittelteil des Landkreises in höhere Schneelastzonen eingegliedert werden.
 - Insbesondere am westlichen Anstieg zu den Höhenlagen des Bayerischen Waldes aus der Donauebene heraus (im mittleren und nördlichen Teil des Landkreises) zeigen die Auswertungen deutlich größere Schneelasten im Vergleich zu den aktuellen Normwerten.
- Die Regionen im Südteil des Landkreises könnten in kleinere Schneelastzonen eingegliedert werden
 - In den größeren Höhenlagen im südlichen Teil des Landkreises zeigen die Auswertungen überwiegend kleinere Schneelasten im Vergleich zu den aktuellen Normwerten.
- Beide Ergebnisse lassen sich mit der Luv- (Anstieg zum Bayerischen Wald) und Leewirkung (Höhenlagen im Süden des Landkreises, liegen im Lee von westlich und nordwestlich vorgelagerten Anstiegen) aus klimatologischer Sicht begründen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.42

(4a, 5a) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

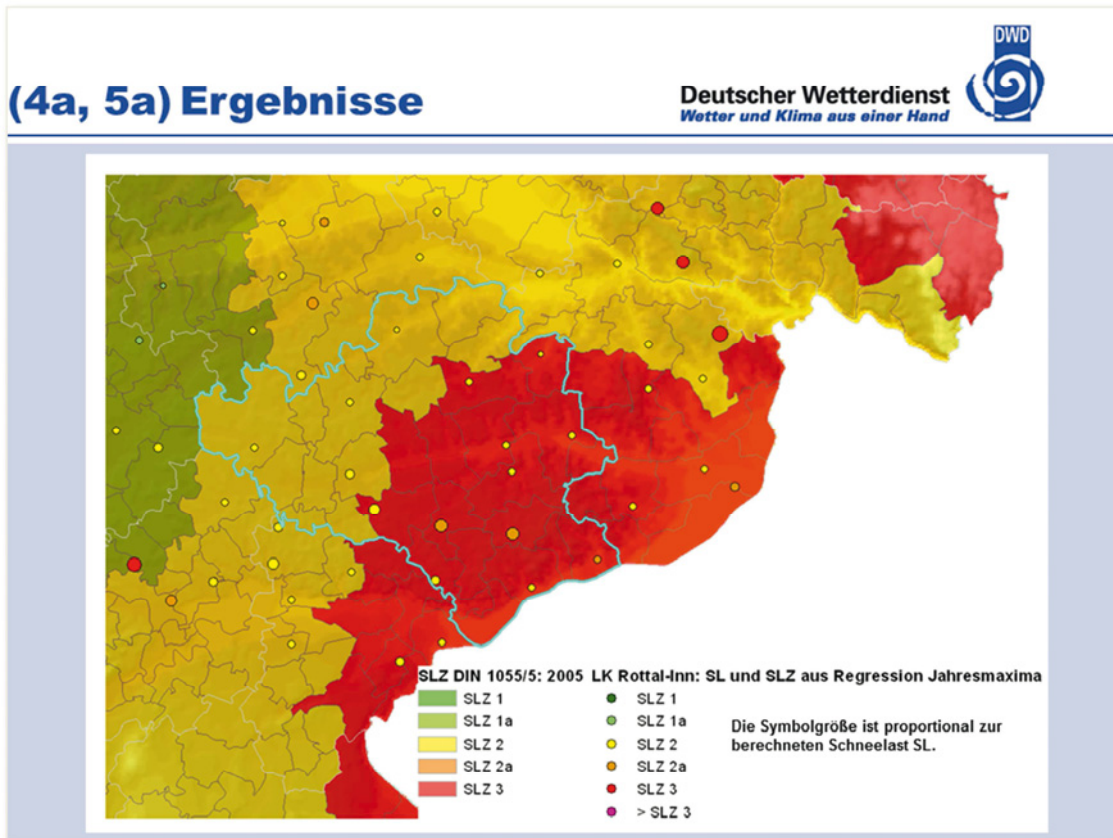
Landkreis Passau: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)

- Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen den Resultaten der Messwertanalysen und den Normwerten ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN zu suchen.
- Die aus den topografischen Gegebenheiten - und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen - in den betrachteten Regionen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055/5:2005 verankert sind.
 - Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelasten zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN in der Umgebung.
 - Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die Höhenabhängigkeit der Schneelasten in der aktuell gültigen DIN 1055/5: 2005 die Schneelasten mit zunehmender Höhe über NN zu groß bestimmt.
- Die Ergebnisse könnten ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung (z.B. in einer „alpinen Region“ als östlicher Teil von „Alpenvorland“) sein.

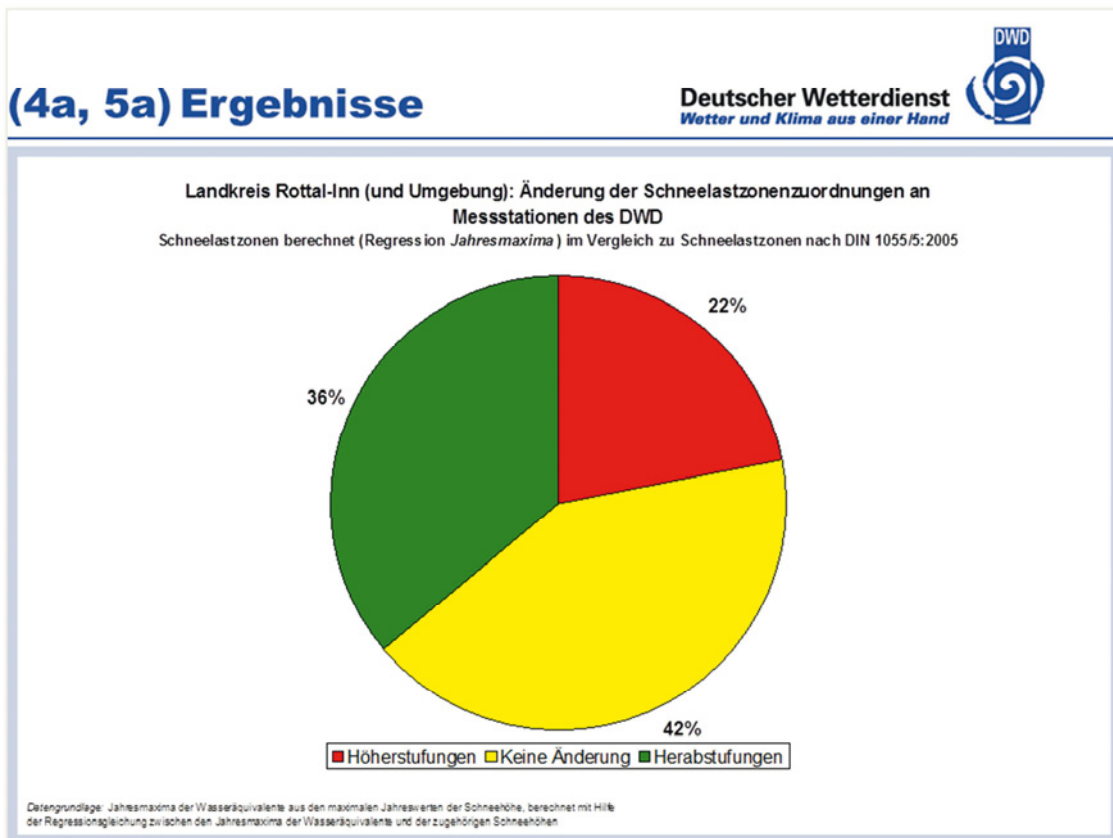
Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



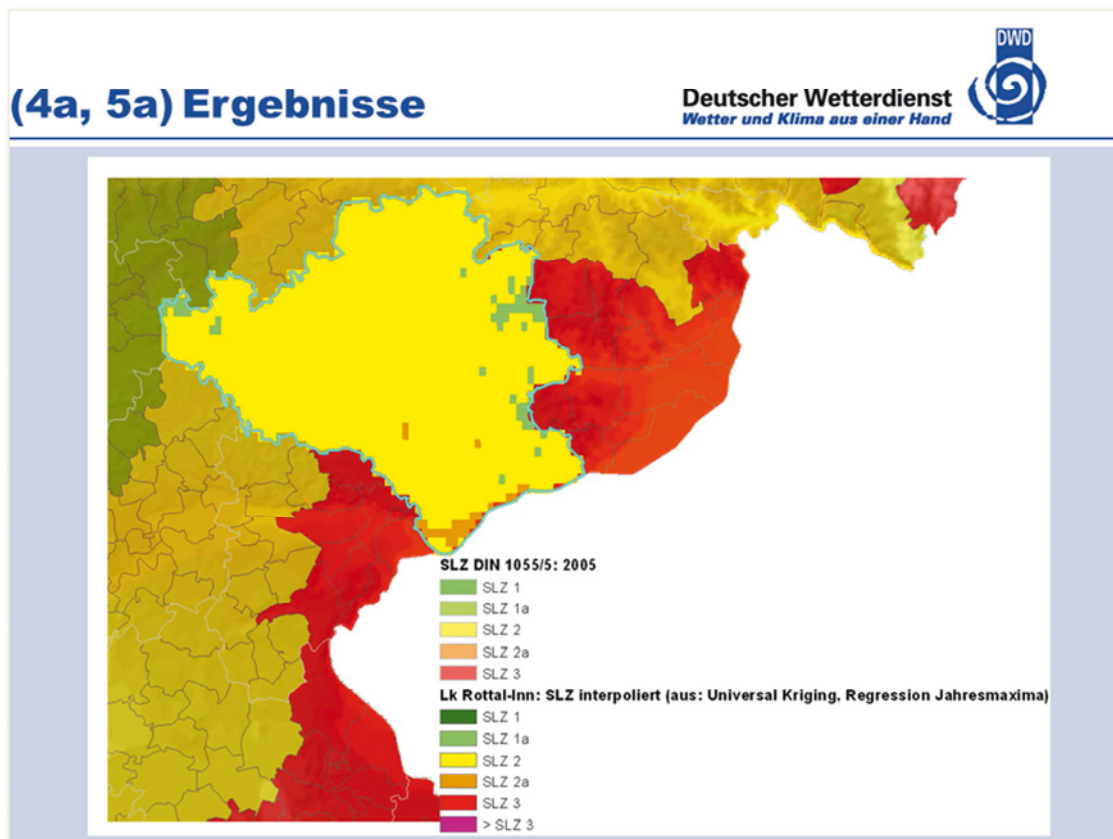
Bericht B.43



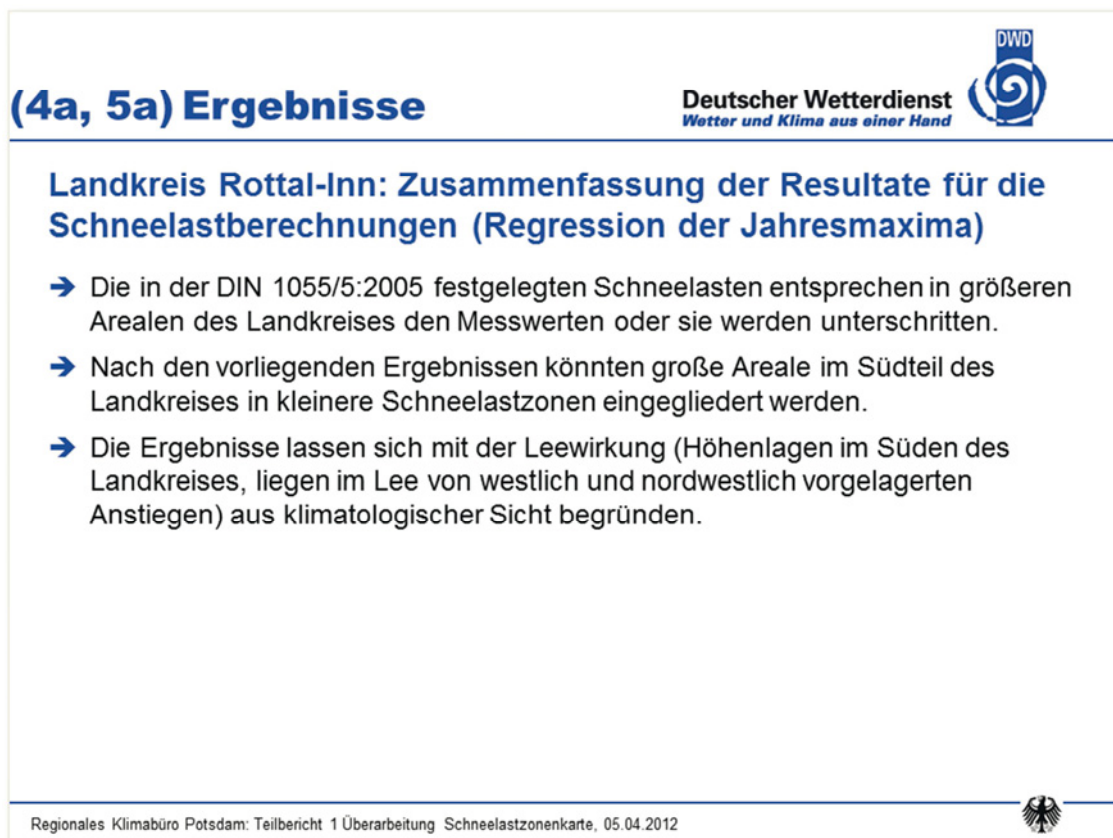
Bericht B.44



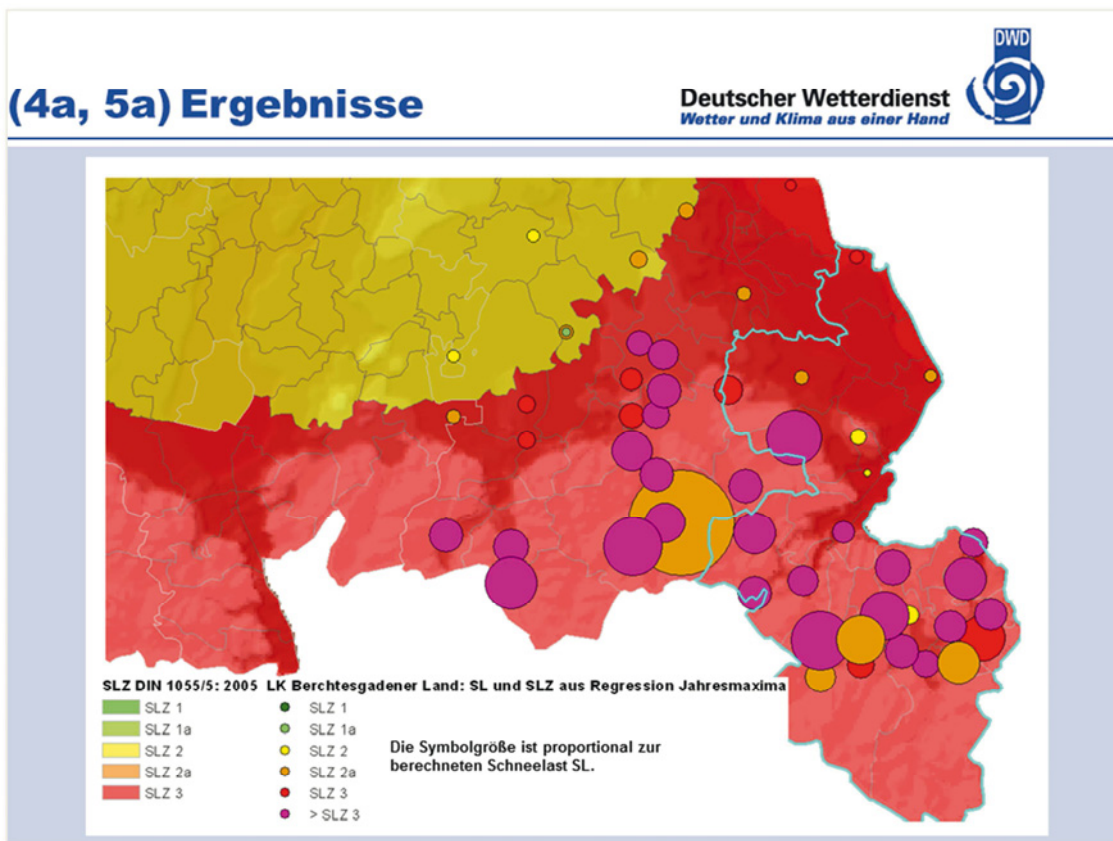
Bericht B.45



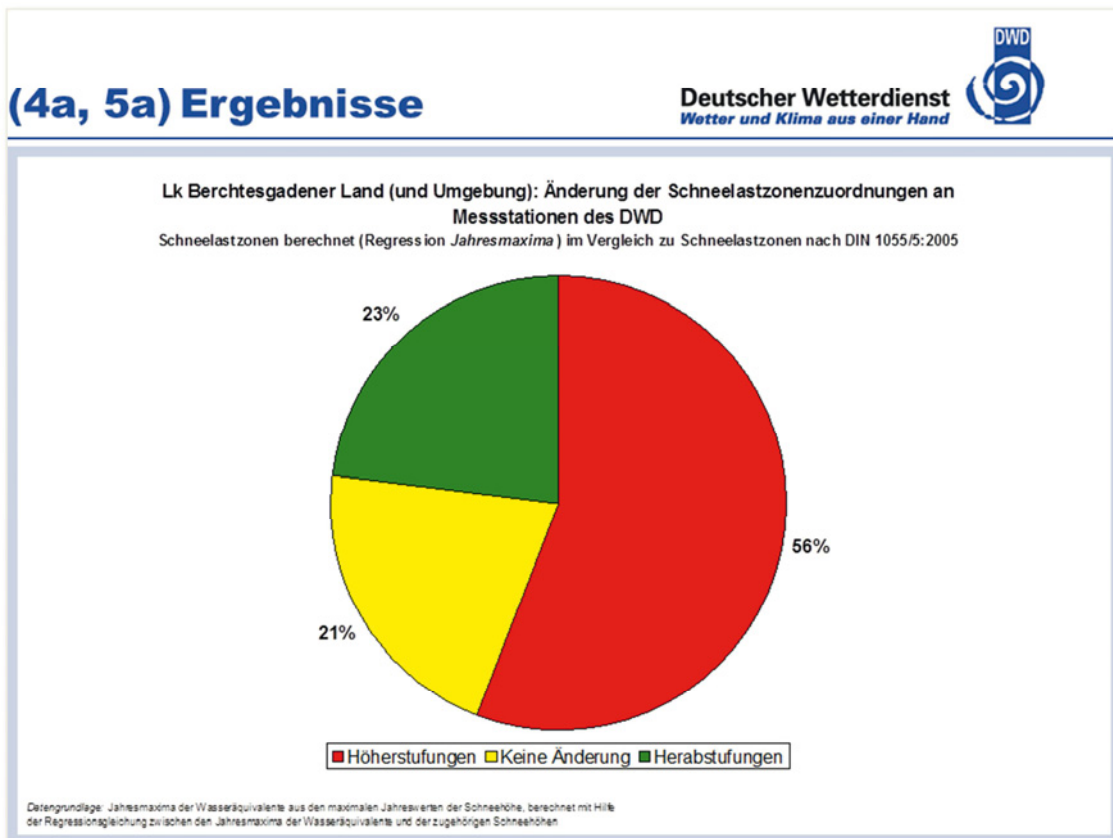
Bericht B.46



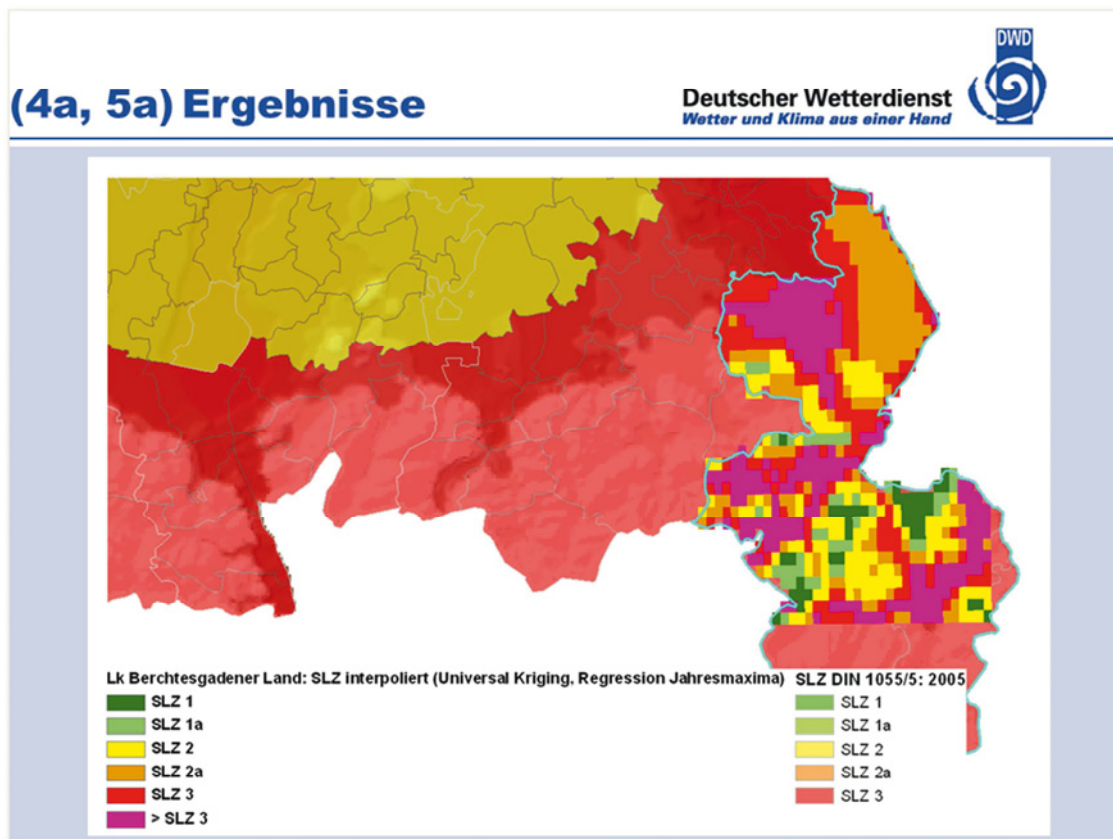
Bericht B.47



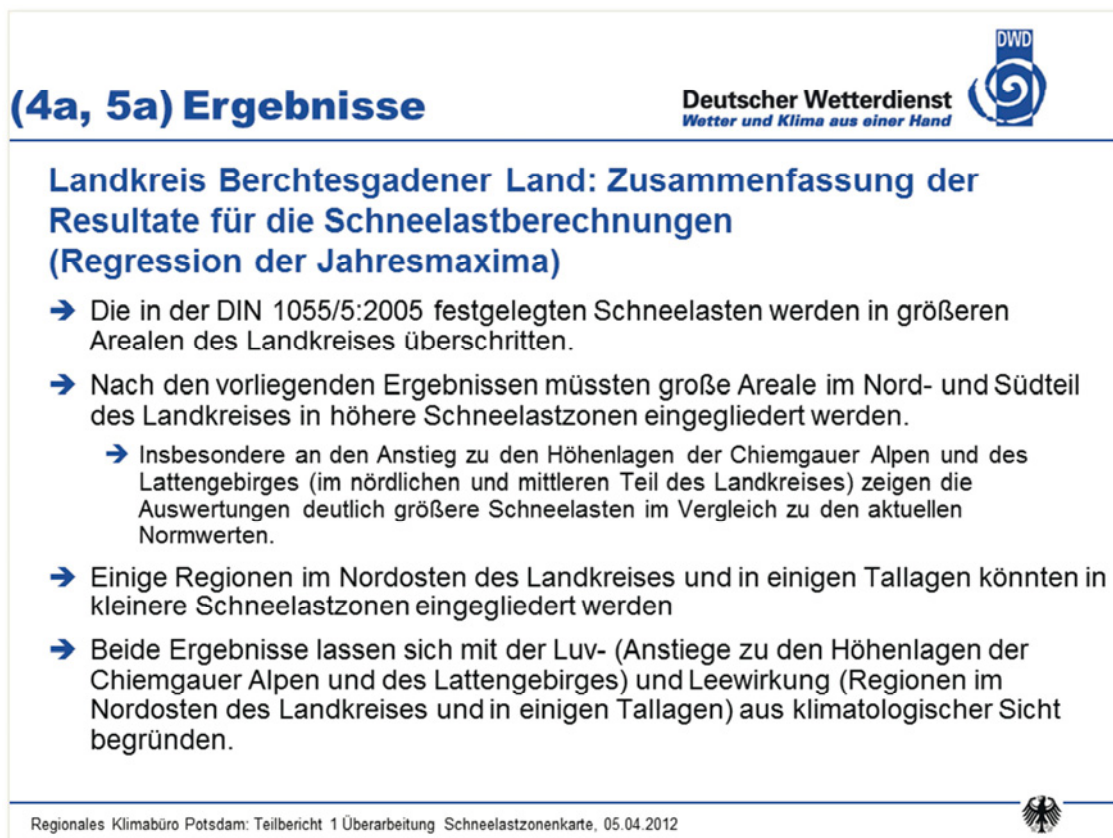
Bericht B.48



Bericht B.49




Bericht B.50



Bericht B.51

(4a, 5a) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Berchtesgadener Land: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)


- ➔ Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen den Resultaten der Messwertanalysen und den Normwerten ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN zu suchen.
- ➔ Die aus den topografischen Gegebenheiten - und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen - in den betrachteten Regionen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055/5:2005 verankert sind.
 - ➔ Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelasten zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN in der Umgebung.
 - ➔ Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die Höhenabhängigkeit der Schneelasten in der aktuell gültigen DIN 1055/5: 2005 die Schneelasten mit zunehmender Höhe über NN zu groß bestimmt.
- ➔ Die Ergebnisse könnten ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung (z.B. eine „alpine Region“) sein.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

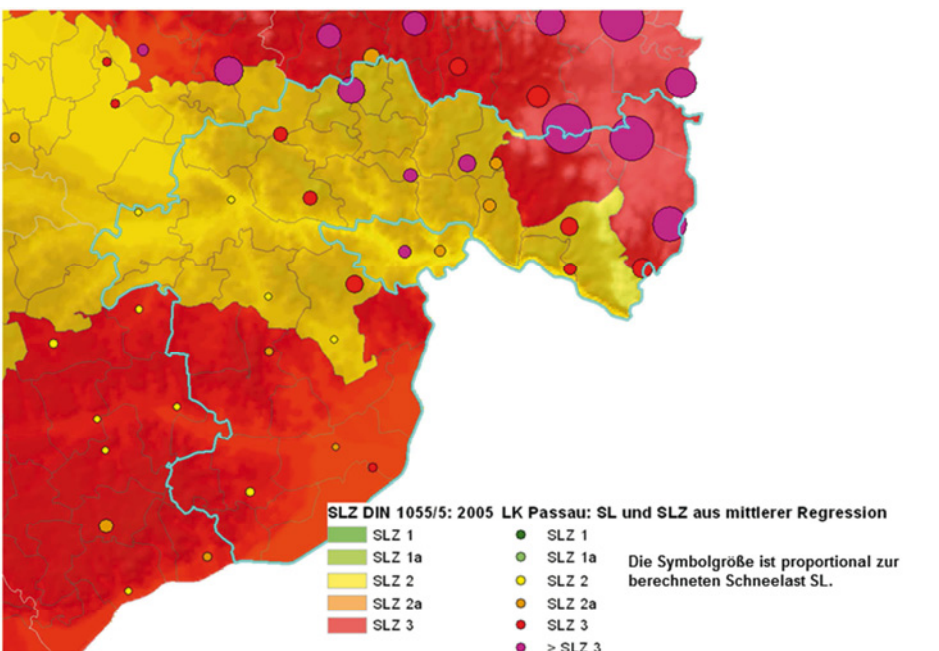


Bericht B.52

(4b, 5b) Ergebnisse

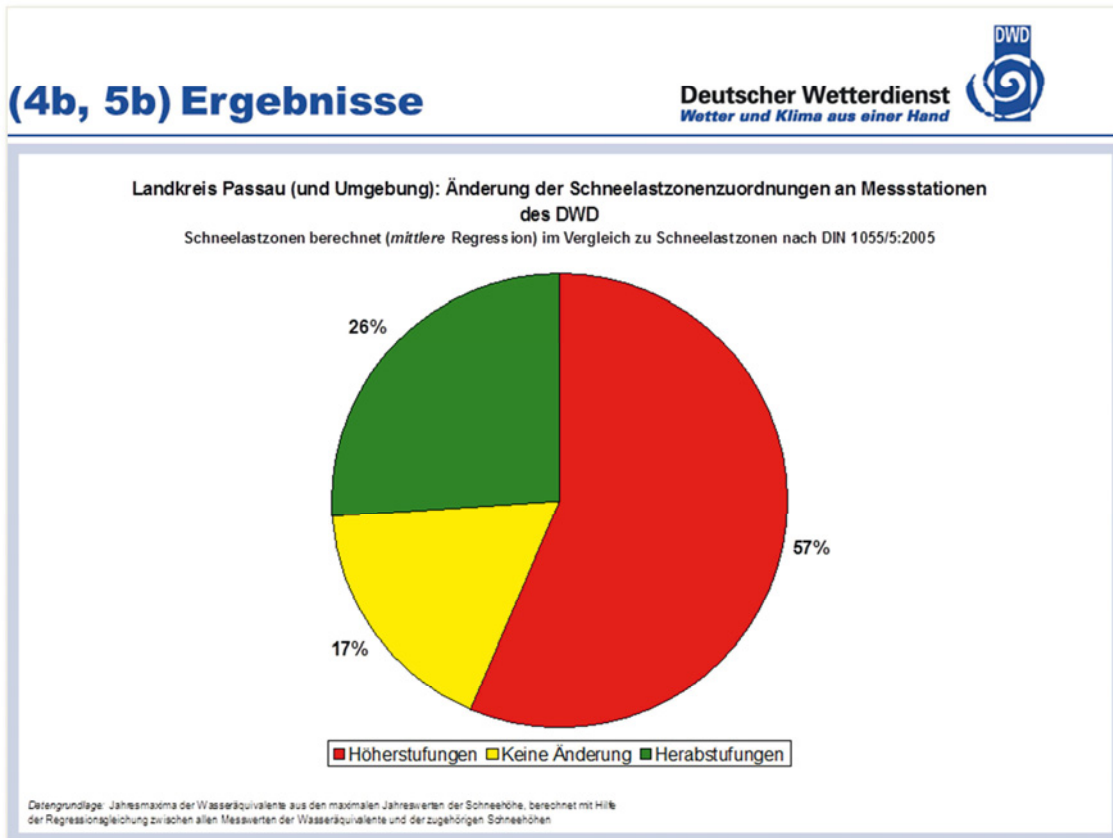


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

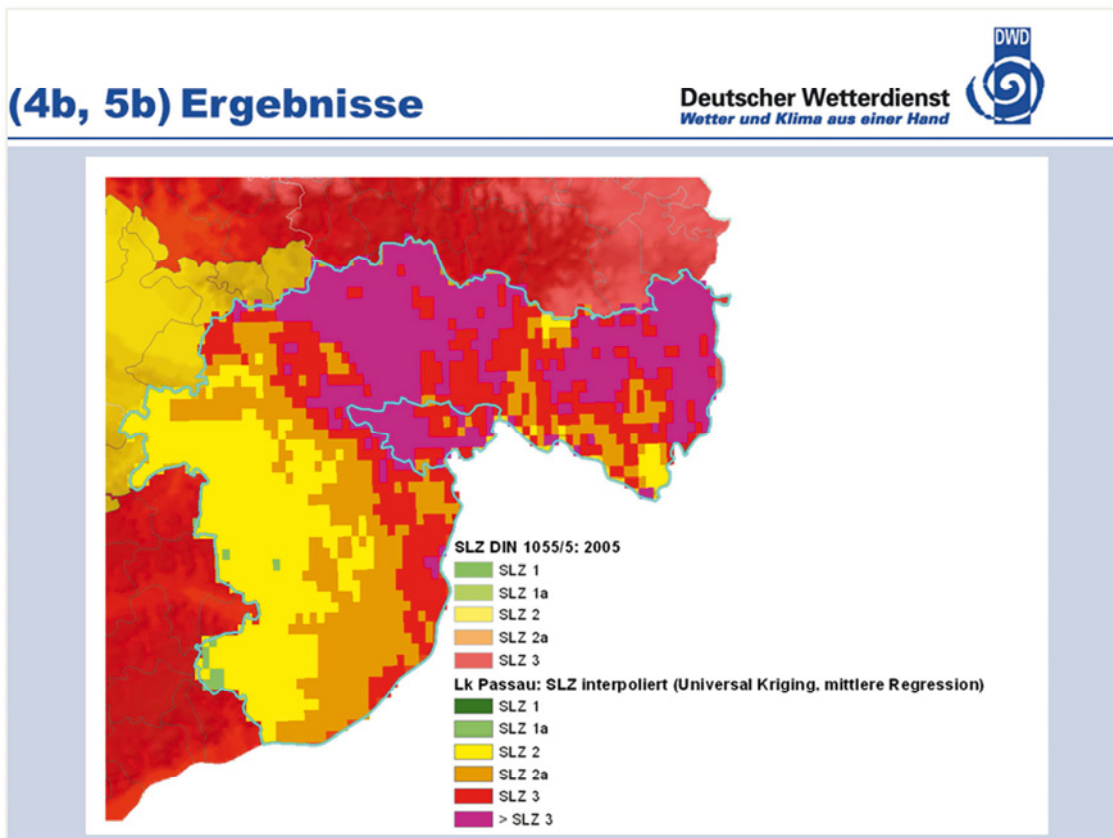


<p>SLZ DIN 1055/5: 2005</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ SLZ 1 ■ SLZ 1a ■ SLZ 2 ■ SLZ 2a ■ SLZ 3 	<p>LK Passau: SL und SLZ aus mittlerer Regression</p> <ul style="list-style-type: none"> ● SLZ 1 ● SLZ 1a ● SLZ 2 ● SLZ 2a ● SLZ 3 ● > SLZ 3 <p style="margin-top: 5px;">Die Symbolgröße ist proportional zur berechneten Schneelast SL.</p>
--	--

Bericht B.53



Bericht B.54



Bericht B.55

(4b, 5b) Ergebnisse

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Passau: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (mittlere Regression)

- ➔ Die Feststellungen der „Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)“ sind auch bei Betrachtung der Ergebnisse für die mittleren Regressionen uneingeschränkt gültig.
- ➔ Im Hinblick auf eine sichere Bemessung wird empfohlen, für weitergehende Schlussfolgerungen (z.B. Neuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden) die Resultate der Regression der Jahresmaxima zu verwenden.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012

Bericht B.56

(4b, 5b) Ergebnisse

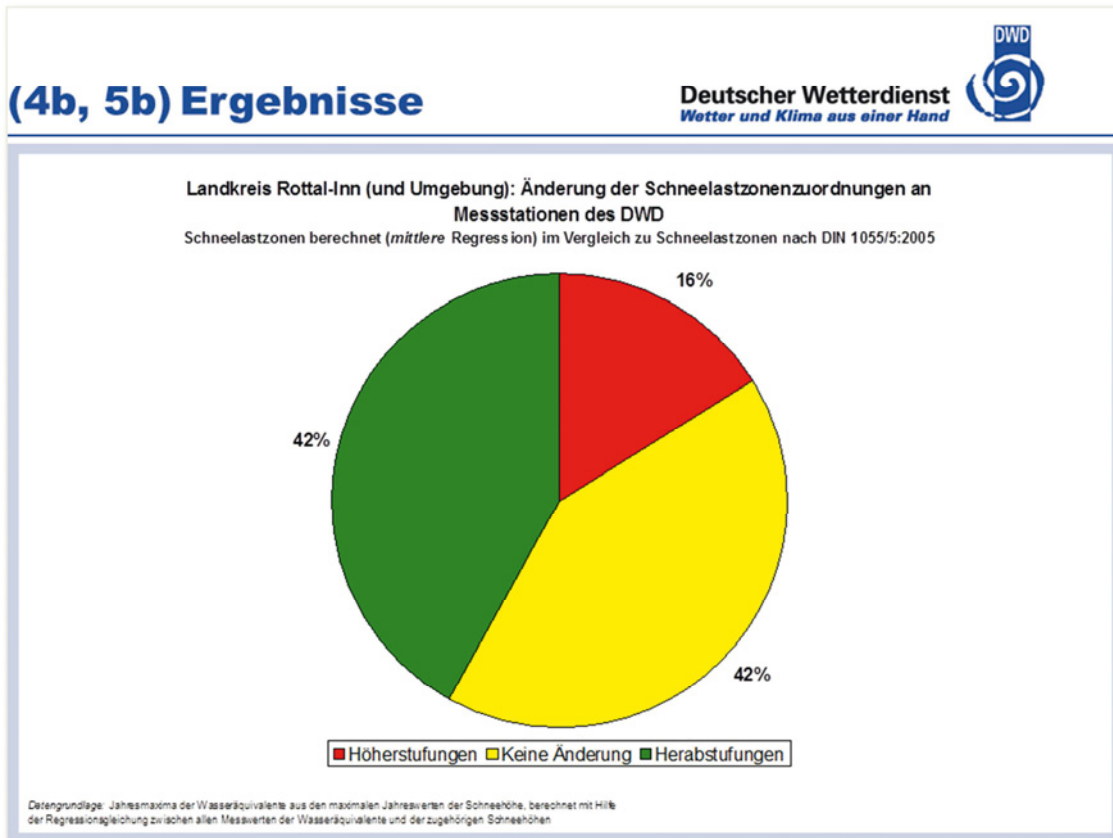
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

SLZ DIN 1055/5: 2005 LK Rottal-Inn: SL und SLZ aus mittlerer Regression

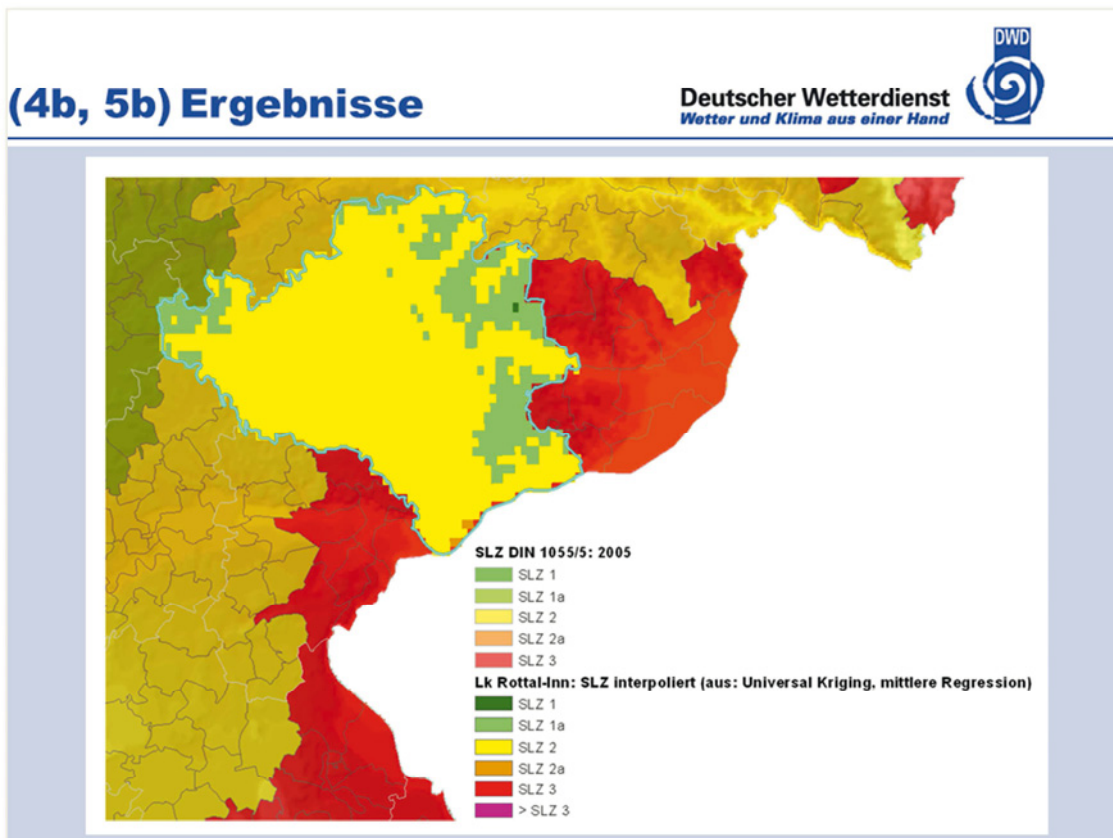
<ul style="list-style-type: none"> SLZ 1 SLZ 1a SLZ 2 SLZ 2a SLZ 3 	<ul style="list-style-type: none"> SLZ 1 SLZ 1a SLZ 2 SLZ 2a SLZ 3 > SLZ 3
--	---

Die Symbolgröße ist proportional zur berechneten Schneelast SL.

Bericht B.57




Bericht B.58



Bericht B.59

(4b, 5b) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

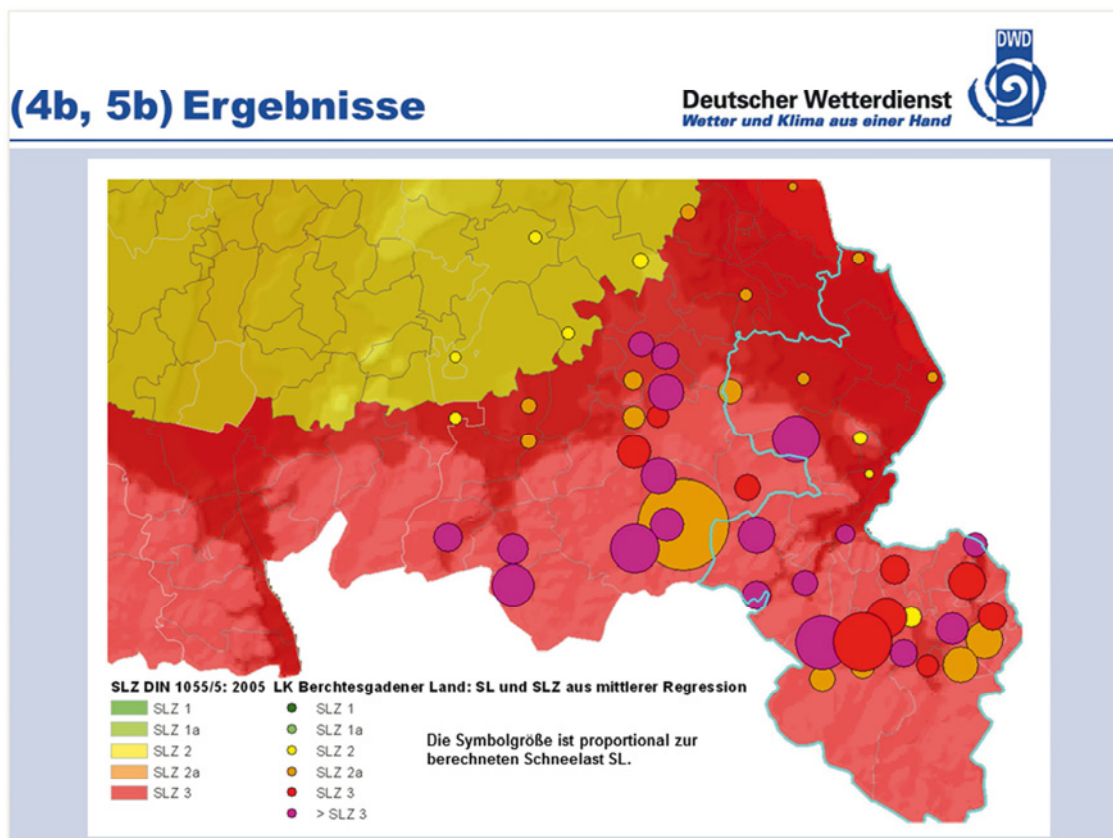
Landkreis Rottal- Inn: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (mittlere Regression)

- ➔ Die Feststellungen der „Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)“ sind auch bei Betrachtung der Ergebnisse für die mittleren Regressionen uneingeschränkt gültig.
- ➔ Im Hinblick auf eine sichere Bemessung wird empfohlen, für weitergehende Schlussfolgerungen (z.B. Neuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden) die Resultate der Regression der Jahresmaxima zu verwenden.

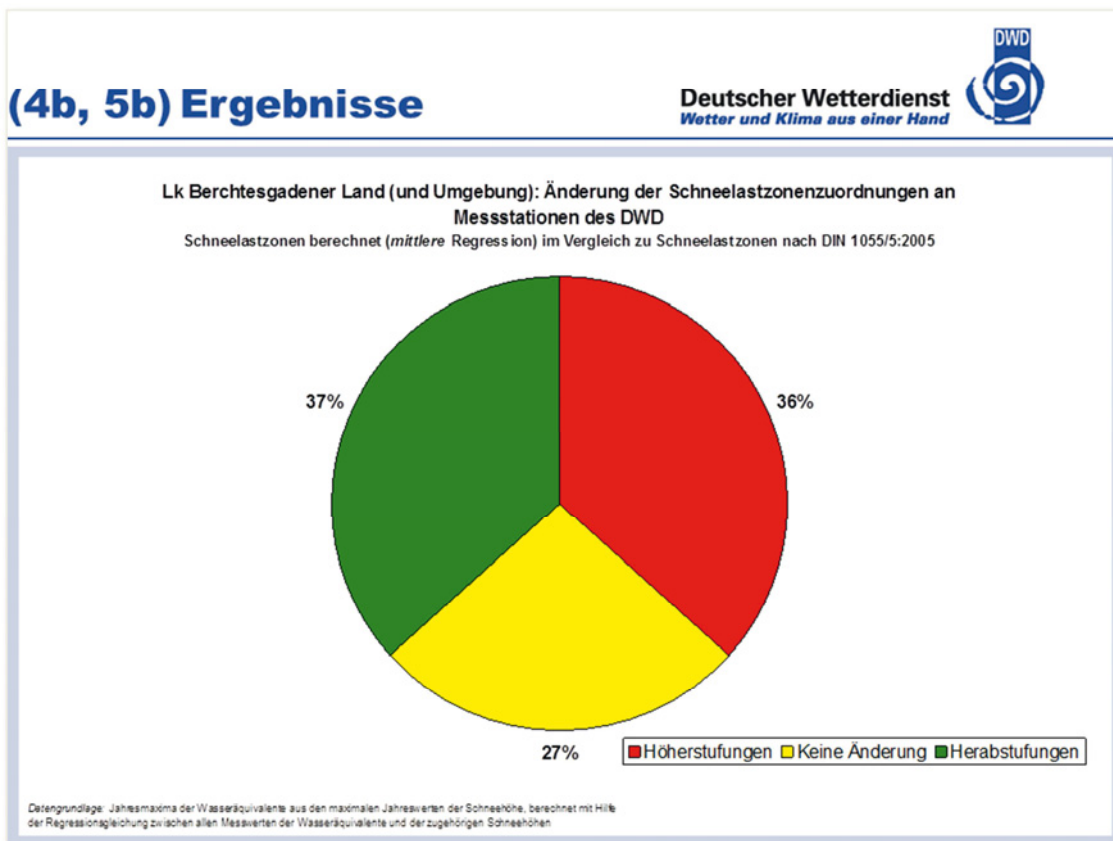
Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



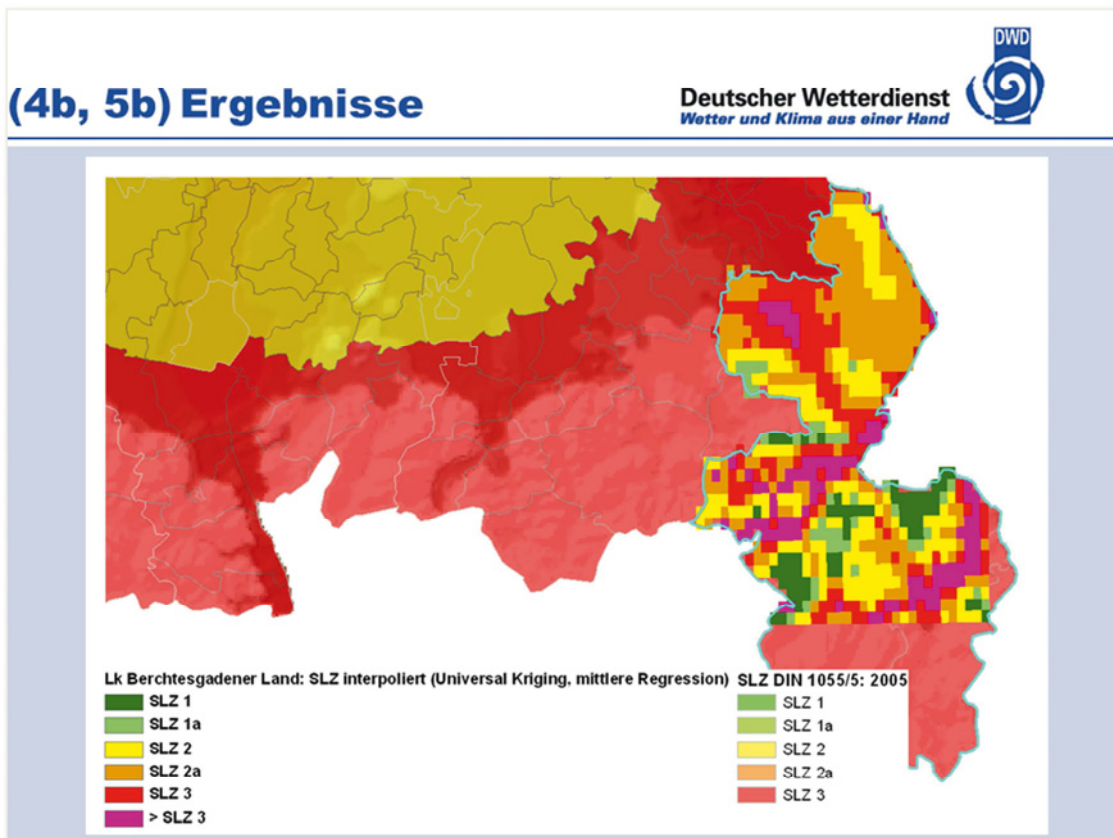
Bericht B.60



Bericht B.61




Bericht B.62



Bericht B.63

(4b, 5b) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Berchtesgadener Land: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (mittlere Regression)


- ➔ Die Feststellungen der „Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)“ sind auch bei Betrachtung der Ergebnisse für die mittleren Regressionen uneingeschränkt gültig.
- ➔ Im Hinblick auf eine sichere Bemessung wird empfohlen, für weitergehende Schlussfolgerungen (z.B. Neuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden) die Resultate der Regression der Jahresmaxima zu verwenden.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.64


Zusammenfassung



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


- ➔ Die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten werden in größeren Arealen der Landkreise Passau und Berchtesgadener Land überschritten.
- ➔ Nach den vorliegenden Ergebnissen müssten große Areale in den Landkreisen Passau und Berchtesgadener Land in höhere Schneelastzonen eingegliedert werden. Kleinere Flächen der Landkreise Passau und Berchtesgadener Land könnten in kleinere Schneelastzonen eingegliedert werden.
- ➔ Die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten werden in größeren Arealen des Landkreises Rottal-Inn unterschritten.
- ➔ Nach den vorliegenden Ergebnissen könnten große Areale des Landkreises Rottal-Inn in kleinere Schneelastzonen eingegliedert werden.
- ➔ Die Ergebnisse lassen sich in den einzelnen Landkreisen jeweils mit der Luv- und Leewirkung von nach- bzw. vorgelagerten Höhenzügen aus klimatologischer Sicht begründen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.65


Zusammenfassung



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


- ➔ Die aus den topografischen Gegebenheiten - und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen - in den betrachteten Regionen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich in den Landkreisen Passau und Berchtesgadener Land offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055/5:2005 verankert sind.
- ➔ Eine alleinige Änderung der Zonenverläufe im Rahmen der Schneelastdefinitionen der DIN 1055/5:2005 (Schneelastwerte und ihre Höhenabhängigkeit in den jeweiligen Zonen) scheint aufgrund der den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN in den den Landkreisen Passau und Berchtesgadener Land nicht zu einem befriedigenden Ergebnis zu führen.
- ➔ Die Ergebnisse der Landkreise Passau und Berchtesgadener Land können Argumente für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung (z.B. „alpine Region“ oder „Alpenvorland“ als Bestandteil der „alpinen Region“) sein.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.66


Zusammenfassung



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

- ➔ Die Ergebnisse der auf Grundlage der Regressionen der Jahresmaxima ermittelten Schneelasten sind auch bei Betrachtung der Ergebnisse für die mittleren Regressionen uneingeschränkt gültig.
(Die Ergebnisse für die mittleren Regressionen zeigen keine deutliche Abweichungen von den Resultaten der „neuen“ Schneelastzonierungen auf der Grundlage der Regressionen der Jahresmaxima.)
- ➔ Im Hinblick auf eine sichere Bemessung wird empfohlen, für weitergehende Schlussfolgerungen (z.B. Neuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden) die Resultate der Regression der Jahresmaxima zu verwenden.
- ➔ In einem „kurzfristigen“ Schritt könnten die Zuordnungen der Schneelastzonen zu den Gemeinden (Schneelasttabelle) geändert werden.
- ➔ Langfristig sollte die Prüfung der in der DIN 1055/5: 2005 veröffentlichten Schneelastzonenkarte angestrebt werden, um Schneelasttabelle und Schneelastzonenkarte in Übereinstimmung zu bringen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012



Bericht B.67



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Bearbeiter:

Dipl.-Geogr. Kristin Hoffmann
Dr. Bodo Wichura

Deutscher Wetterdienst
Regionales Klimabüro Potsdam
Michendorfer Chaussee 23
14473 Potsdam

<mailto:klima.potsdam@dwd.de>
Tel.: +49 (0) 331 / 316444
Fax: +49 (0) 331 / 316299



Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 1 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 05.04.2012 

Anhang C. Zweiter Zwischenbericht Forschungsvorhaben (per E-Mail an den Auftraggeber am 21.09.2012, vorgestellt bei der Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.01.2013 in Berlin)

Bericht C.1


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand




Ergebnisse zu Untersuchungen der Schneelast in den Landkreisen Traunstein und Miesbach

Vergleich von (abgeleiteten) Messwerten an DWD-Stationen mit Werten der Norm DIN1055/5:2005

2. Zwischenbericht zum DIBt-Forschungsvorhaben „Flächenhafte Analyse von Schneelastmesswerten in fünf Landkreisen und ihr Vergleich mit den Schneelastzonenkarten der DIN 1055/5:2005 als Pilotuntersuchung für die Überarbeitung der Schneelastzonenkarte“


Bericht C.2


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Gliederung*

- Grundlagen
- Aktuelle Schneelastzonen
- Stationsauswahl
- Prüfung der Messwerte
- Methodik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

* Die allgemein gültigen Darstellungen zu den Grundlagen, zur Prüfung der Messwerte und zur Methodik wurden aus dem ersten Zwischenbericht des Forschungsvorhabens vom 05.04.2012 übernommen. Sie sind im vorliegenden Bericht enthalten, um die Vollständigkeit und die Lesbarkeit unabhängig vom ersten Zwischenbericht zu gewährleisten.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.3

Grundlagen

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Wasseräquivalent, Schneedichte und Schneelast

- ➔ Das **absolute Wasseräquivalent einer Schneedecke** (mm) gibt an, welchen Wassergehalt der gesamte ausgestochene Schnee hat.
- ➔ Das **spezifische Wasseräquivalent einer Schneedecke** (mm/cm) gibt an, welchen durchschnittlichen Wassergehalt der ausgestochene Schnee pro cm Schneehöhe hat.
- ➔ Die **Schneedichte** (kg/m³) ist die Masse des gefallenen Schnees bezogen auf die Volumeneinheit im Zustand der natürlichen Lagerung.
- ➔ Die **Schneewichte** [kN/m³] ist das Verhältnis der Gewichtskraft von Schnee zu seinem Volumen im Zustand der natürlichen Lagerung.
- ➔ Die **Schneelast** (kN/m²) ist die Kraft, die eine Schneedecke aufgrund ihrer (Gesamt-) Masse auf eine Fläche, auf der sie lagert, ausübt.

Schneedichte
Quelle: <http://www.dwd.de>

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.4

Grundlagen

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Wasseräquivalent, Schneedichte und Schneelast

- ➔ Umrechnung von spezifischem Wasseräquivalent (sWÄ) zu Schneedichte (SD):

$$sWÄ \left[\frac{mm}{cm} \right] \times 100 \quad \longrightarrow \quad SD \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$
- ➔ Umrechnung von absolutem Wasseräquivalent zu Schneelast:

$$\frac{WÄ[mm]}{100} \approx SL \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

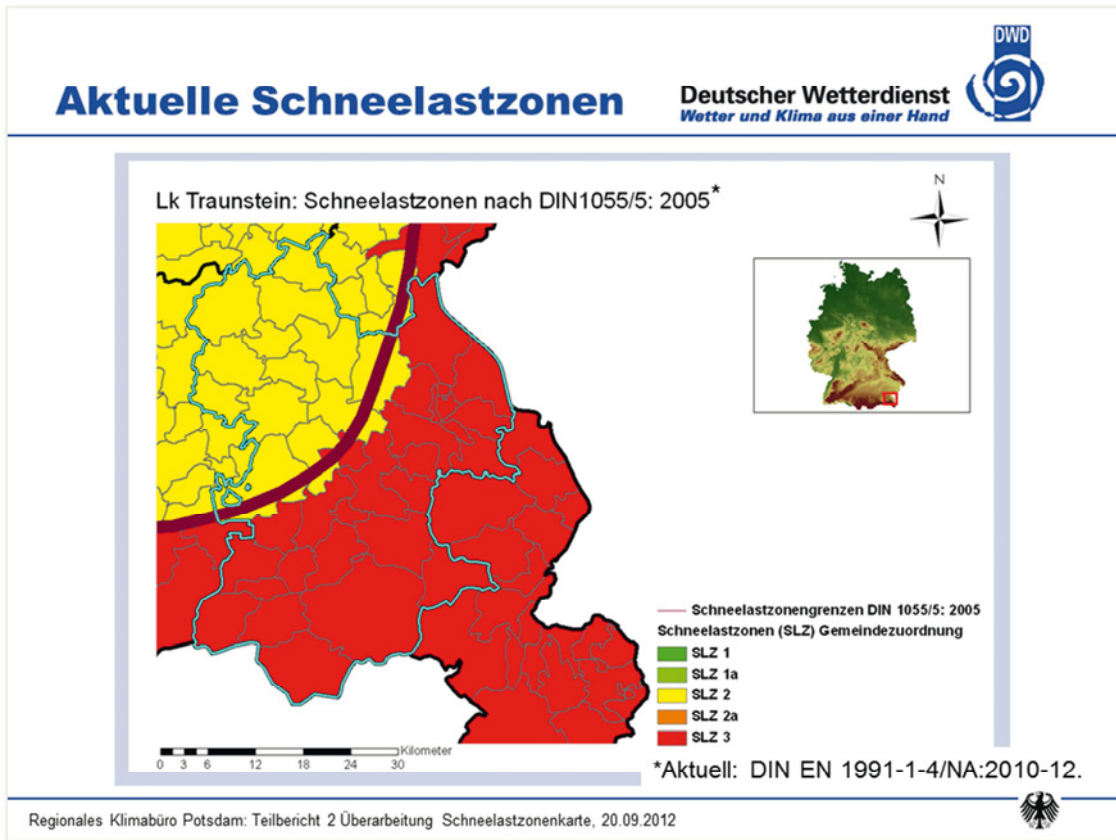
$$WÄ[mm] \quad \longrightarrow \quad SL \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$
- ➔ Schneedichte verschiedener Schneearten:

Schneeart	Schneedichte [kg/m ³]
Neuschnee	50 bis 100
Pulverschnee	100 bis 200
körniger Schnee	150 bis 450
gelagerter Schnee	350 bis 600
Firn Schnee	500 bis 850
Gletschereis	700 bis 900

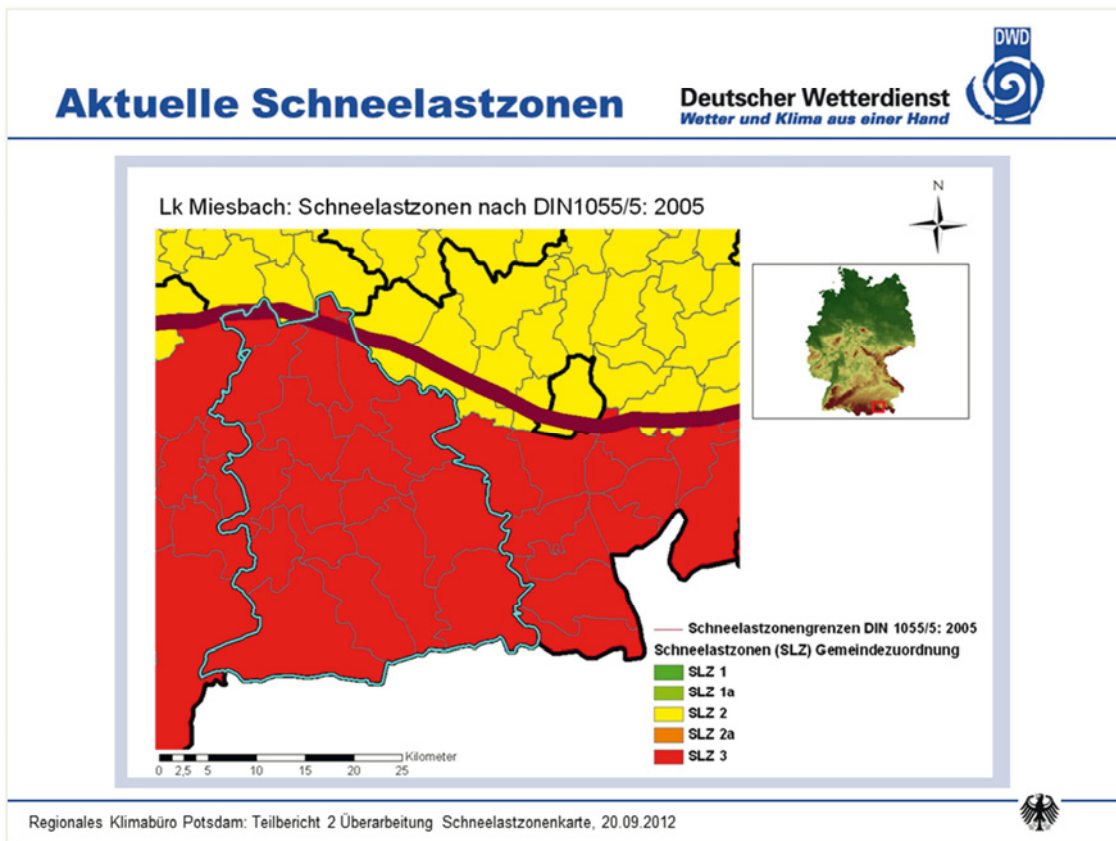
Schneelast
Quelle: www.dwd.de/lexikon

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.5



Bericht C.6



Bericht C.7

Stationsauswahl: Kriterien

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

- ➔ Auswahl von DWD-Messstationen in den Landkreisen und ihrer Umgebung* mit:
 - ➔ mindestens 6 Jahren Wasseräquivalentmessungen,
 - ➔ mindestens 10 Jahren Schneehöhenmessungen,
 - ➔ zeitgleichen Schneehöhen- und Wasseräquivalentmessungen.

- ➔ *Dabei wurde berücksichtigt, dass die Stationen umgebender Landkreise:
 - ➔ eine annähernd ähnliche Höhenlage über NN wie die Stationen im betrachteten Landkreis aufweisen und
 - ➔ in tolerierbarer Entfernung liegen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.8

Stationsauswahl

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

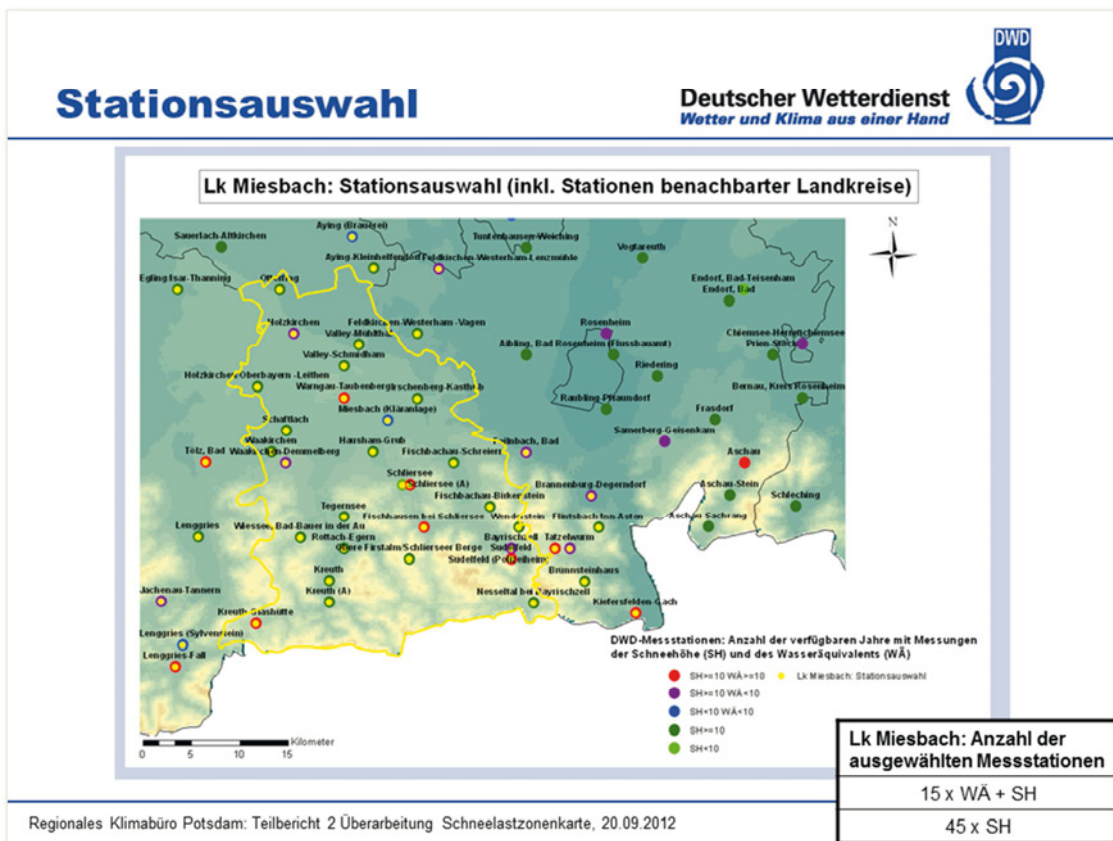
Lk Traunstein: Stationsauswahl (inkl. Stationen benachbarter Landkreise)

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

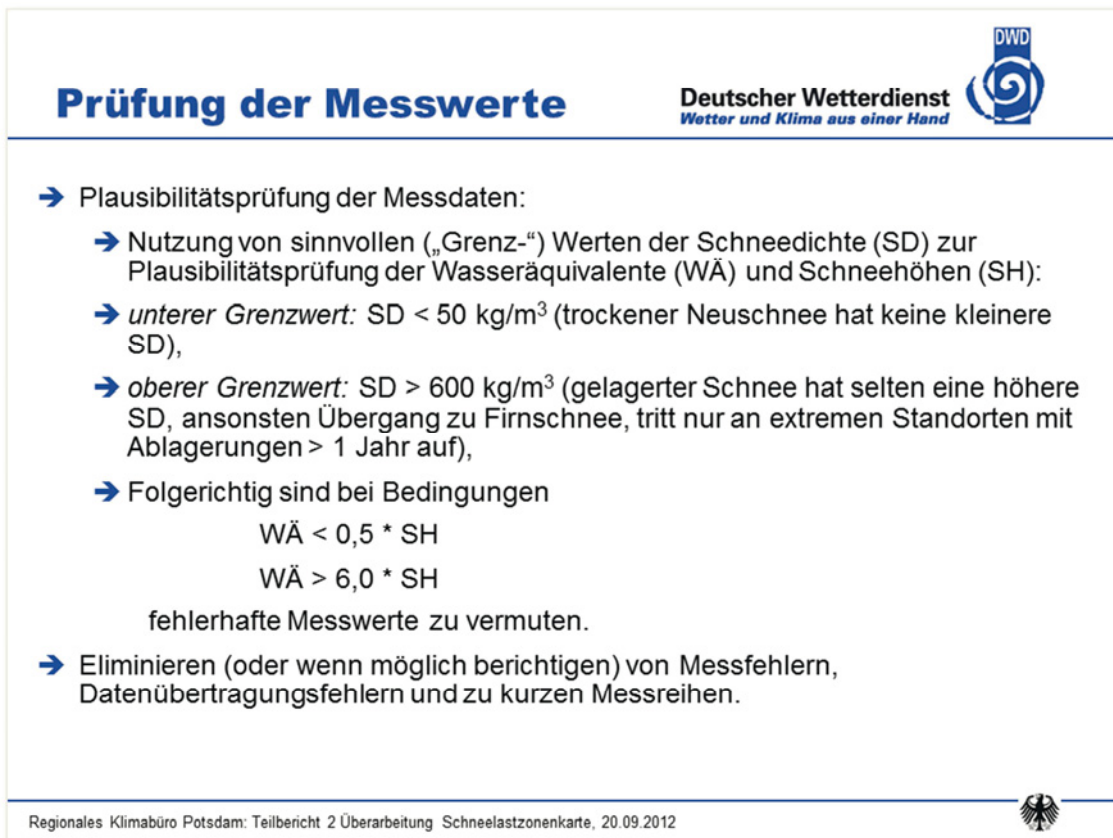
Lk Traunstein: Anzahl der ausgewählten Messstationen

21 x WÄ + SH
82 x SH

Bericht C.9




Bericht C.10



Bericht C.11

Methodik: Überblick



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Vorgehensweise bei Schneelastanalysen für die Landkreise


(1) Analysen zur Regression zwischen dem Wasseräquivalent WÄ und der Schneehöhe SH für alle Messstationen, an denen Zeitreihen für beide Messwerte vorliegen.

- a) Regressionsanalysen für die **Jahresmaxima des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhe (Regression der Jahresmaxima)**,
- b) Regressionsanalysen für die **alle Messwerte des Wasseräquivalents und der zugehörigen Schneehöhen (mittlere Regression)**.

(2) Berechnung der Wasseräquivalente WÄ aus den Messungen der Schneehöhe SH an *allen* Messstationen auf der Grundlage der


- a) unter (1a) abgeleiteten Regressionsgleichungen,
- b) unter (1b) abgeleiteten Regressionsgleichungen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.12

Methodik: Überblick



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Vorgehensweise bei Schneelastanalysen für die Landkreise

(3) Ermittlung der für ein mittleres Wiederkehrintervall von 50 Jahren gültigen Wasseräquivalente WA auf der Grundlage von Extremwertanalysen aus den

- a) im Schritt (2a) abgeleiteten Jahresmaxima der Wasseräquivalente WÄ,
- b) im Schritt (2b) abgeleiteten Jahresmaxima der Wasseräquivalente WÄ.


(4) Räumliche Interpolation der

- a) im Schritt (3a) abgeleiteten Schneelastwerte,
- b) im Schritt (3b) abgeleiteten Schneelastwerte.

(5) Umrechnung der räumlich interpolierten Schneelasten in Schneelastzonen für die


- a) im Schritt (4a) abgeleiteten Schneelastwerte,
- b) im Schritt (4b) abgeleiteten Schneelastwerte.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.13

Methodik



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent - Schneehöhe

$$sW\ddot{A} \left[\frac{mm}{cm} \right] = \frac{W\ddot{A} [mm]}{SH [cm]} \rightarrow W\ddot{A} [mm] = sW\ddot{A} \left[\frac{mm}{cm} \right] SH [cm]$$


mit

$$sW\ddot{A} \left[\frac{mm}{cm} \right] = SW \left[\frac{kN}{m^3} \right]$$

$$\rightarrow W\ddot{A} [mm] = SW \left[\frac{kN}{m^3} \right] SH [cm]$$


- Berechnung der Regression zwischen
 - Schneehöhe SH und
 - (spezifischem) Wasseräquivalent (s)WÄ
- Steigung entspricht der Schneewichte SW
- Fragen:
 - Gibt es einen engen Zusammenhang für den jeweiligen Landkreis ?
 - Welche Ausgangsdaten sollten für die Regressionsbeziehung genutzt werden ?

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.14

Methodik




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

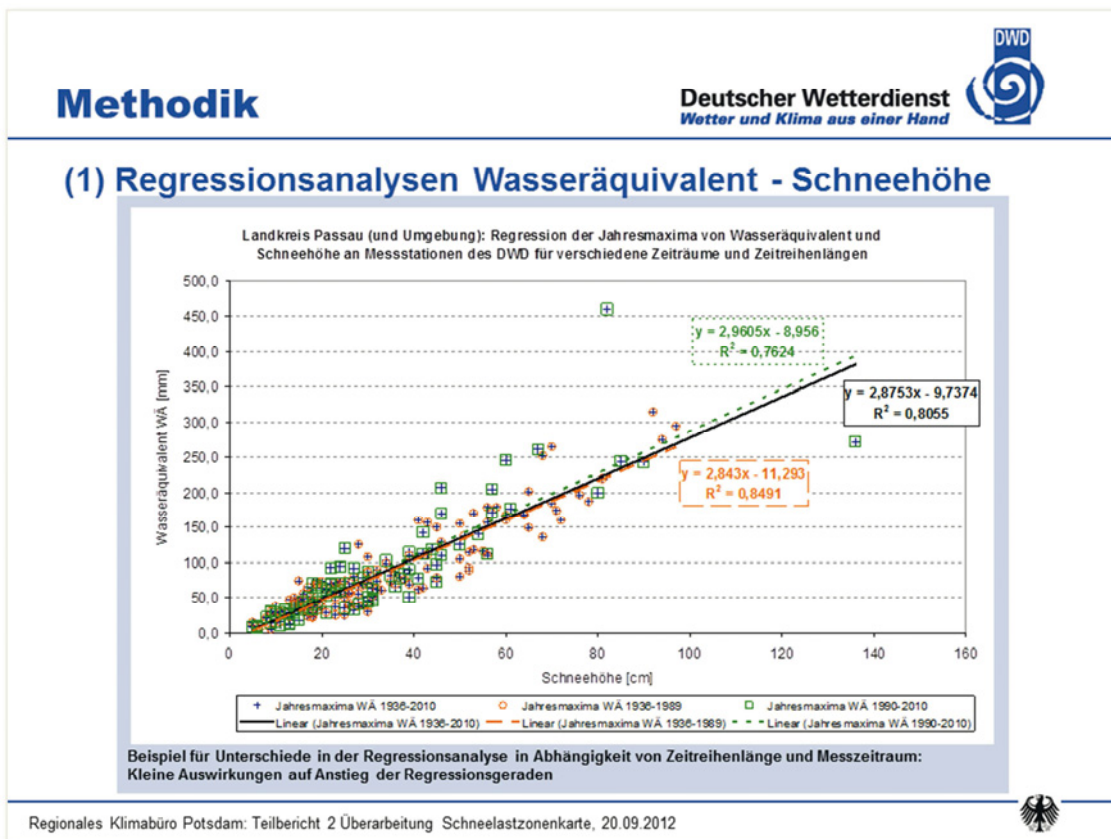
(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent - Schneehöhe

- Hängen die Ergebnisse der Regressionsanalysen von der Zeitreihenlänge ab?
- Hängen die Ergebnisse der Regressionsanalysen vom verwendeten Messzeitraum ab?
- Was geschieht mit redundanten WÄ-SH-Wertepaaren?
Redundanzen in WÄ-SH-Wertepaaren können bei der Analyse der Jahresmaxima der WÄ entstehen: Einem (maximalen) WÄ-Messwert können mehrere SH-Messwerte zugeordnet sein. Grund: Gleiches WÄ der Schneedecke bei Transformation („Setzen der Schneedecke“).
- Ergebnis der Untersuchungen zu den o. g. Fragestellungen: Die Abweichungen in den Resultaten der Regressionsanalysen sind klein.
- Entscheidung: Alle Messdaten mit der Gesamtzeitreihenlänge gehen in die Regressionsanalysen ein.

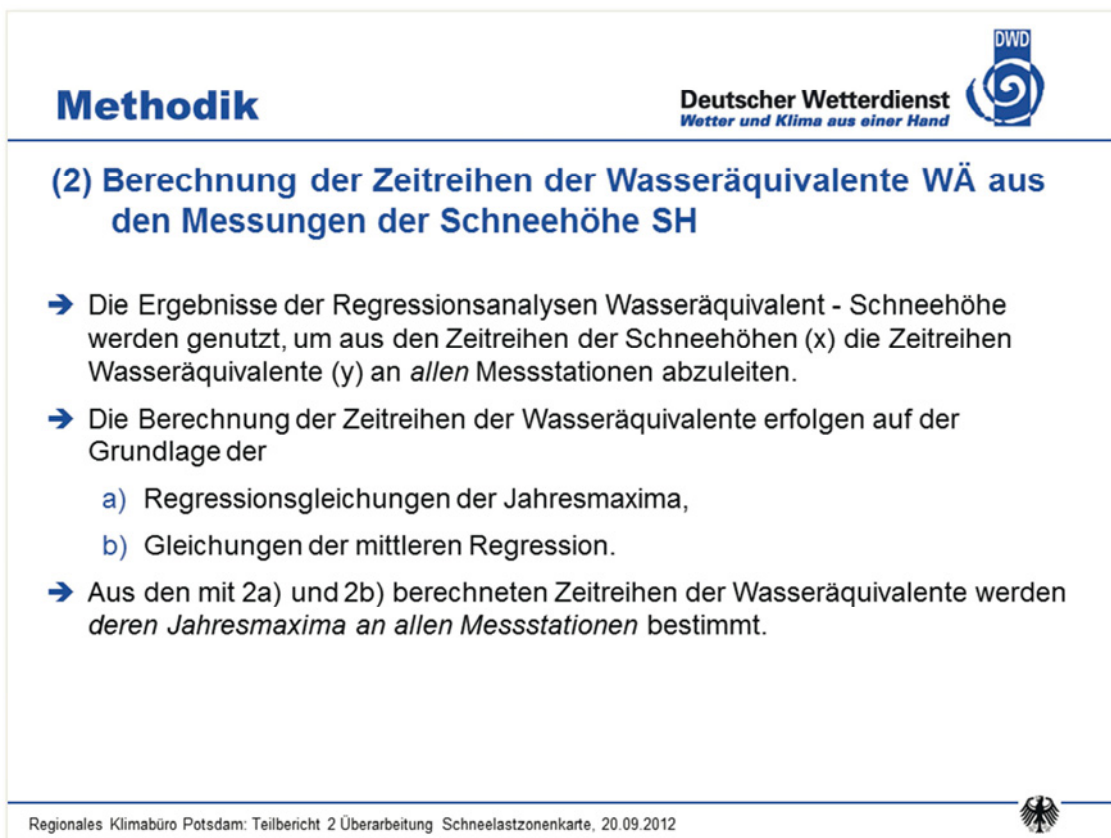
Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.15



Bericht C.16



Bericht C.17

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(3) Extremwertanalysen

→ Aus den mit 2a) und 2b) berechneten Jahresmaxima der Wasseräquivalente werden mit Hilfe von Extremwertanalysen für alle Stationen die Wasseräquivalente für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren ermittelt.

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right\}$$

$$\hat{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \exp(-x_i/\hat{b})}{\sum_{i=1}^n \exp(-x_i/\hat{b})}$$

$$\hat{a} = -\hat{b} \ln\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp(-x_i/\hat{b})\right\}$$

→ **Fisher-Tippett Extremwertverteilung**, Typ I: Gumbel-Verteilung

→ Parameter *a* und *b* werden bestimmt mit Hilfe verschiedener Methoden:

- Methode der kleinsten Quadrate,
- Maximum-Likelihood-Methode,
- Momentenmethode.

z.B. →

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.18

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(3) Extremwertanalysen

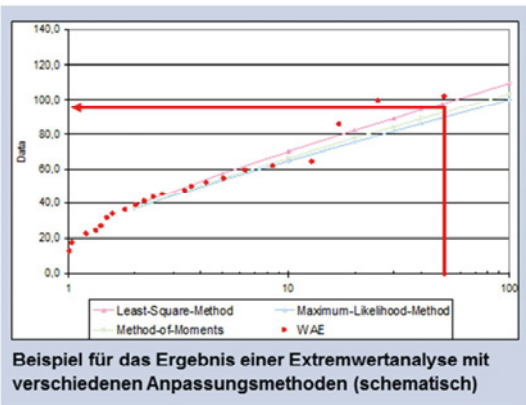
→ Die Extremwertanalysen erfolgen mit den unter 2a) und 2b) berechneten Jahresmaxima der Wasseräquivalente für alle Messstationen.

→ Als Auswahlkriterium für die genutzte Methode zur Parameterbestimmung wurde die bestmögliche Kurvenanpassung an die jeweilige Punktverteilung angewendet.

→ Die berechneten Wasseräquivalente für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren wurden mit den an der jeweiligen Station gemessenen Maxima der Wasseräquivalente verglichen.

→ Die berechneten Wasseräquivalente für das mittlere Wiederkehrintervall von 50 Jahren entsprechen den charakteristischen Schneelasten.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.19

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(4) Räumliche Darstellung und Interpolation der Schneelasten

- ➔ Die an allen untersuchten Stationen berechneten Schneelasten werden in einem geographischen Informationssystem dargestellt und interpoliert.
 - ➔ Geographisches Informationssystem ESRI® ArcMap™, Version 10.0
 - ➔ Nutzung Daten: ATKIS®, Digitales Landschaftsmodell DLM250, ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
- ➔ Räumliche Interpolation mit dem Verfahren „Universal Kriging“.
 - ➔ „Unter Kriging (oder auch: Krigen) versteht man ein geostatistisches Verfahren, mit dem man Werte an Orten, für die keine Stichprobe vorliegt durch umliegende Messwerte interpolieren oder auch annähern kann.“ (<http://de.wikipedia.org/wiki/Kriging>)
 - ➔ „Der wesentliche Vorteil gegenüber einfacheren Methoden wie beispielsweise der Inversen Distanzgewichtung ist die Berücksichtigung der räumlichen Varianz, die sich mit Hilfe der Semivariogramme ermitteln lässt. Für einen gesuchten Wert werden dabei die Gewichte der in die Berechnung einfließenden Messwerte so bestimmt, dass die Schätzfehlervarianz möglichst gering ist. Der Fehler hängt dabei von der Qualität des Variogramms bzw. der Variogrammfunktion ab.“ (<http://de.wikipedia.org/wiki/Kriging>)
- ➔ Anwendung des „Universal Kriging“ unter Berücksichtigung einer räumlichen Anisotropie. Damit werden im vorliegenden Fall insbesondere die räumlichen Variationen der Höhe über NN berücksichtigt.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.20

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(5) Umrechnung der Schneelasten in Schneelastzonen

Berechnungsformeln für die charakteristische Schneelast S_k in für die Schneelastzonen 1 bis 3 gemäß DIN 1055/5: 2005

<p>Zone 1: $S_k = 0,19 + 0,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760}\right)^2$</p> <p>Zone 2: $S_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760}\right)^2$</p> <p>Zone 3: $S_k = 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760}\right)^2$</p>	<p>Dabei sind: A: Geländehöhe über Meeresniveau in m S_k: Charakteristischer Wert der Schneelast in kN/m^2</p> <p>* „Die charakteristischen Werte in den Zonen 1a und 2a ergeben sich jeweils durch Erhöhung der Werte aus den Zonen 1 und 2 mit dem Faktor 1,25. Die Sockelbeträge werden in gleicher Weise angehoben“</p>
---	--

Schneelasten nach DIN 1055/5 (2005)

- Die höhenabhängigen Schneelastkurven entsprechen Polynomen 2. Grades.

$$s_k = a_z A^2 + b_z A + c_z$$

- Die Koeffizienten k ($= a, b$ und c) der Polynome können mit einer linearen Regression angenähert werden.

$$k_z = d_k Z + e_k$$

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.21

Methodik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(5) Umrechnung der Schneelasten in Schneelastzonen

Zuordnung der Schneelastzonen zu den ermittelten Schneelasten

- Die Regressionskoeffizienten d_k und e_k werden in die (resultierende, angenäherte) Polynomgleichung eingesetzt. Die Polynomgleichung wird nach der Schneelastzone umgeformt.

$$Z = \frac{s_k - e_a A^2 - e_b A - e_c}{d_a A^2 + d_b A + d_c}$$

	a	b	c
d	0,0000009	0,002592	0,0507352
e	0,0000005	0,0001196	0,1706053

- Damit ergeben sich die Zonenzuordnungen:

Schneelastzone SLZ	Entspricht einem Z
1	1,19
1a	1,66
2	3,10
2a	4,05
3	5,01

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.22

Ergebnisse

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

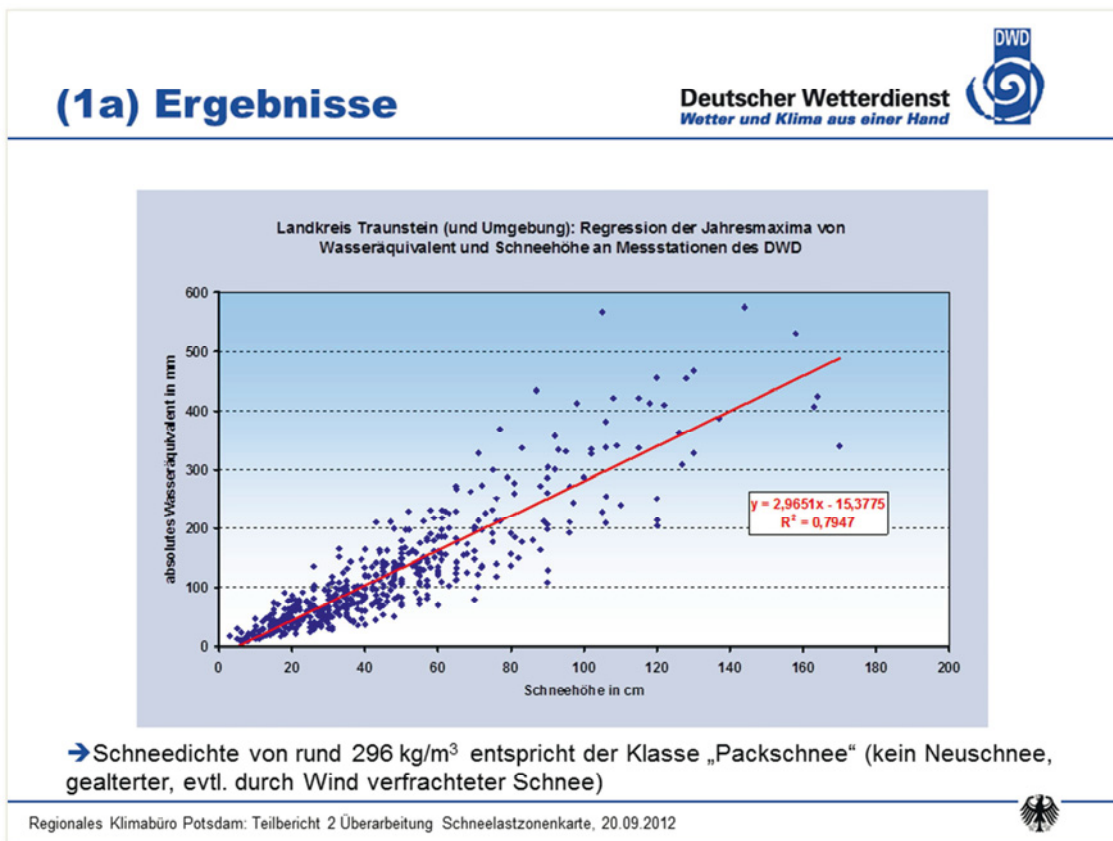
(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent - Schneehöhe

Bezeichnung	Beschreibung	Schneedichte (kg/m³)	
		von	bis
Wildschnee	Neuschnee bei großer Kälte und Windstille	10	50
Trockener Lockerschnee	Neuschnee, unmittelbar nach Ablagerung bei Temperatur unter 0°C	50	100
Feuchter Lockerschnee	Neuschnee bei Temperaturen um 0°C	100	200
Packschnee	durch Wind verfrachteter Lockerschnee	200	300
Reifer Schnee	Schnee im isothermischen Beharrungszustand bei kapillarer Sättigung	400	450
Schneesumpf	mit Wasser übersättigter Schnee in Zonen stauender Nässe	500	800
<i>Sonderformen im Hochgebirge</i>			
Schwimmschnee	durch Reifdiagenese entstandene Schicht aus grobkörnigen Kristallen mit geringem Zusammenhalt	200	300
Firnschnee	durch Druckdiagenese entstandene Übergangsform des Schnees bei der Gletscherbildung	400	700
Firneis	aus Schnee entstandene Eismassen	800	1000

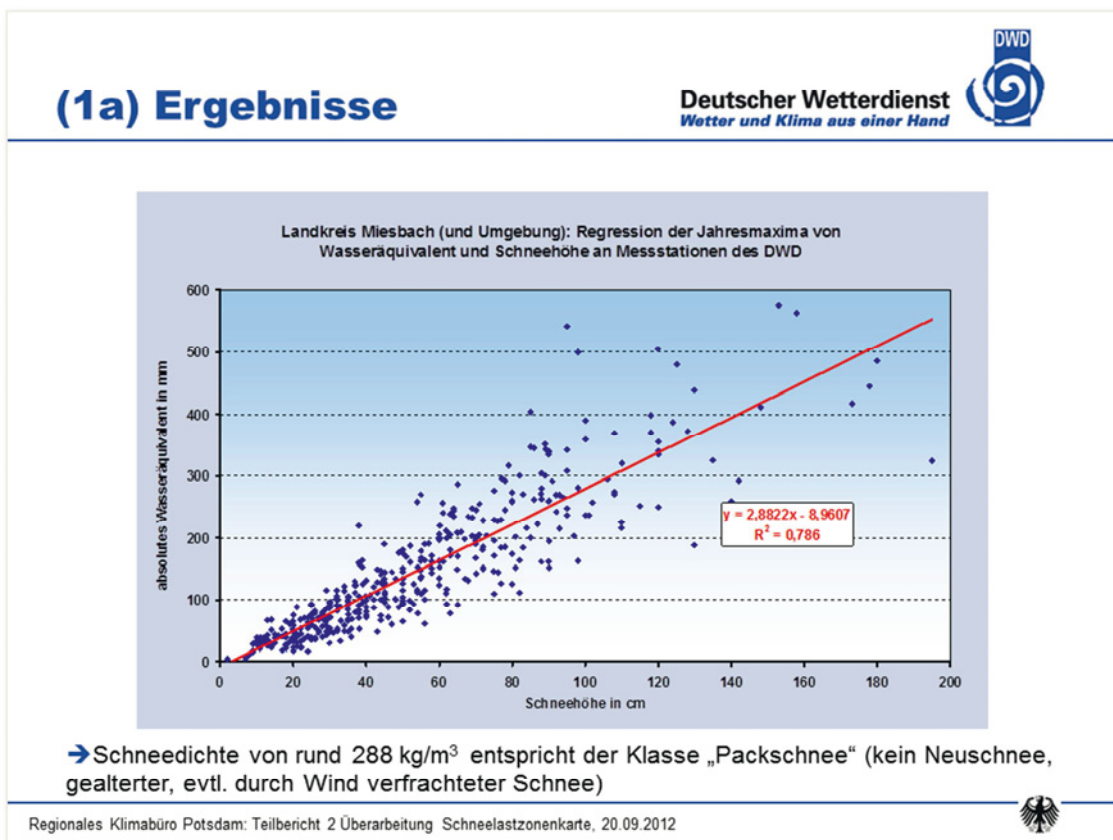
Zur Interpretation der Ergebnisse der Regressionsanalysen: Schnearten und zugehörige Schneedichte (nach KNAUF, 1975)

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

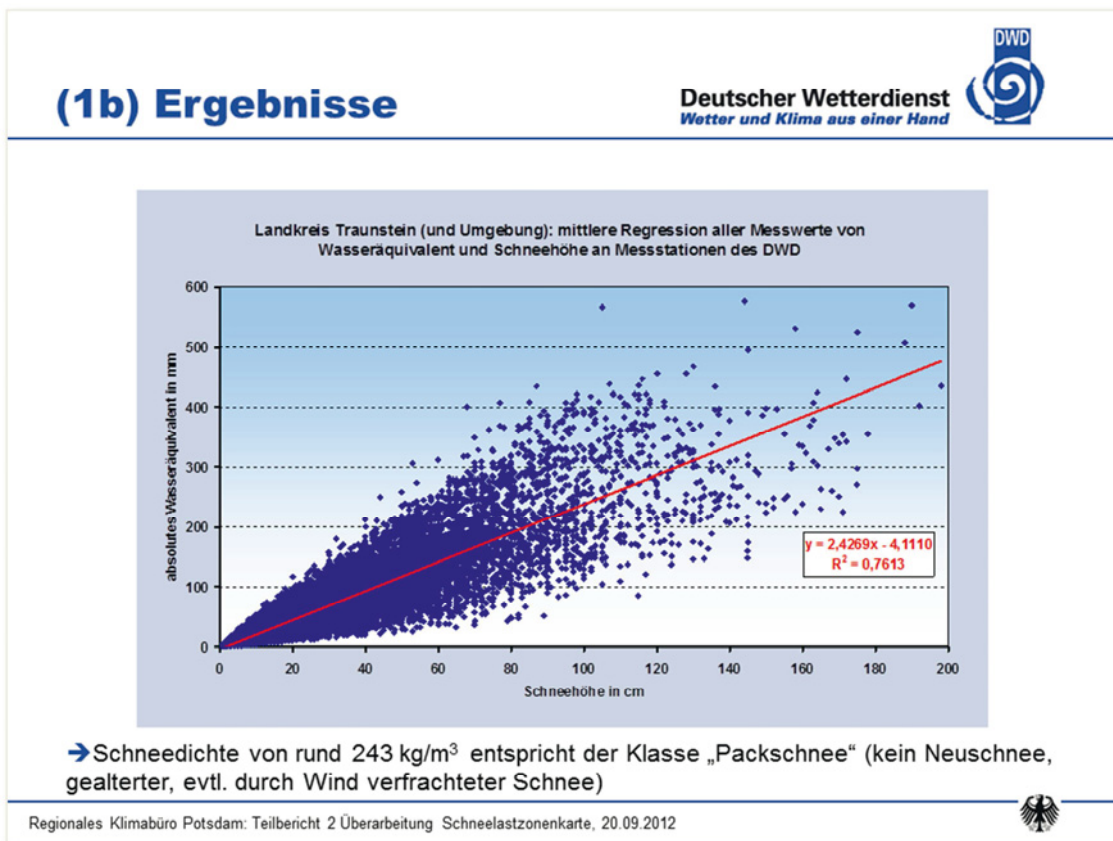
Bericht C.23



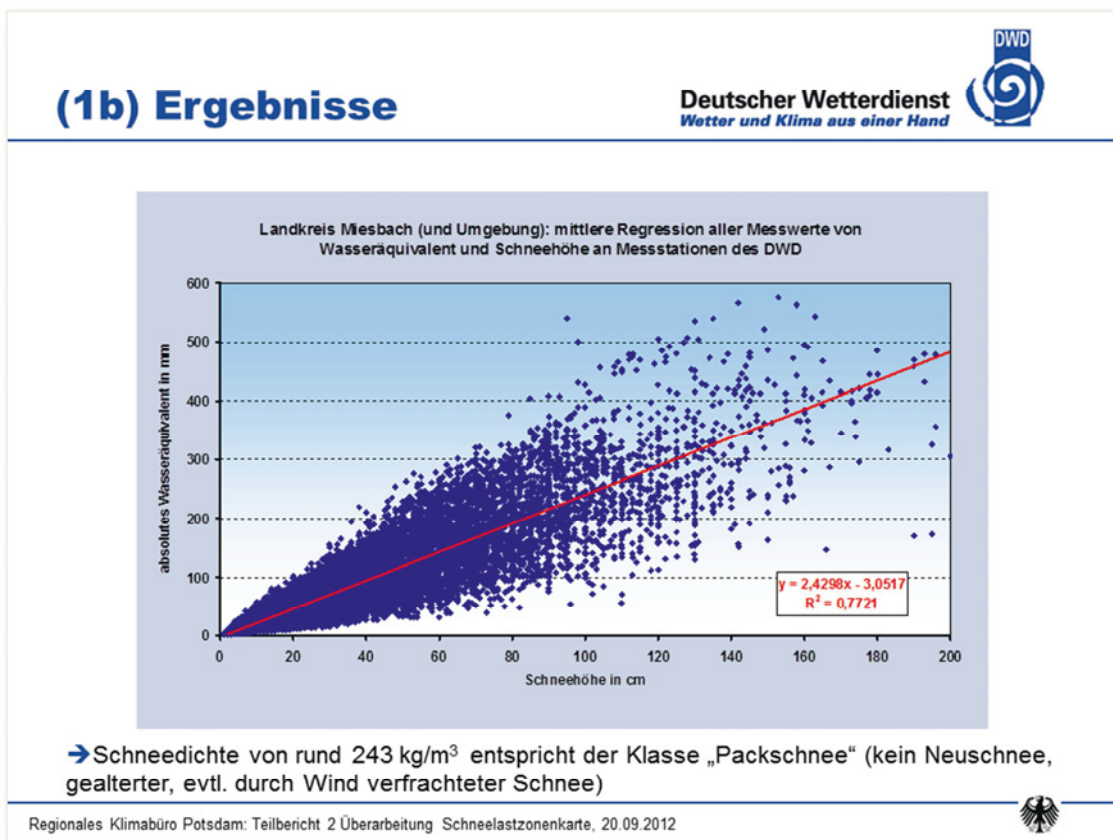
Bericht C.24



Bericht C.25



Bericht C.26



Bericht C.27

Ergebnisse

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(1) Regressionsanalysen Wasseräquivalent – Schneehöhe

➔ Zusammenfassung der Ergebnisse der Regressionsanalysen:

Regression Jahresmaxima

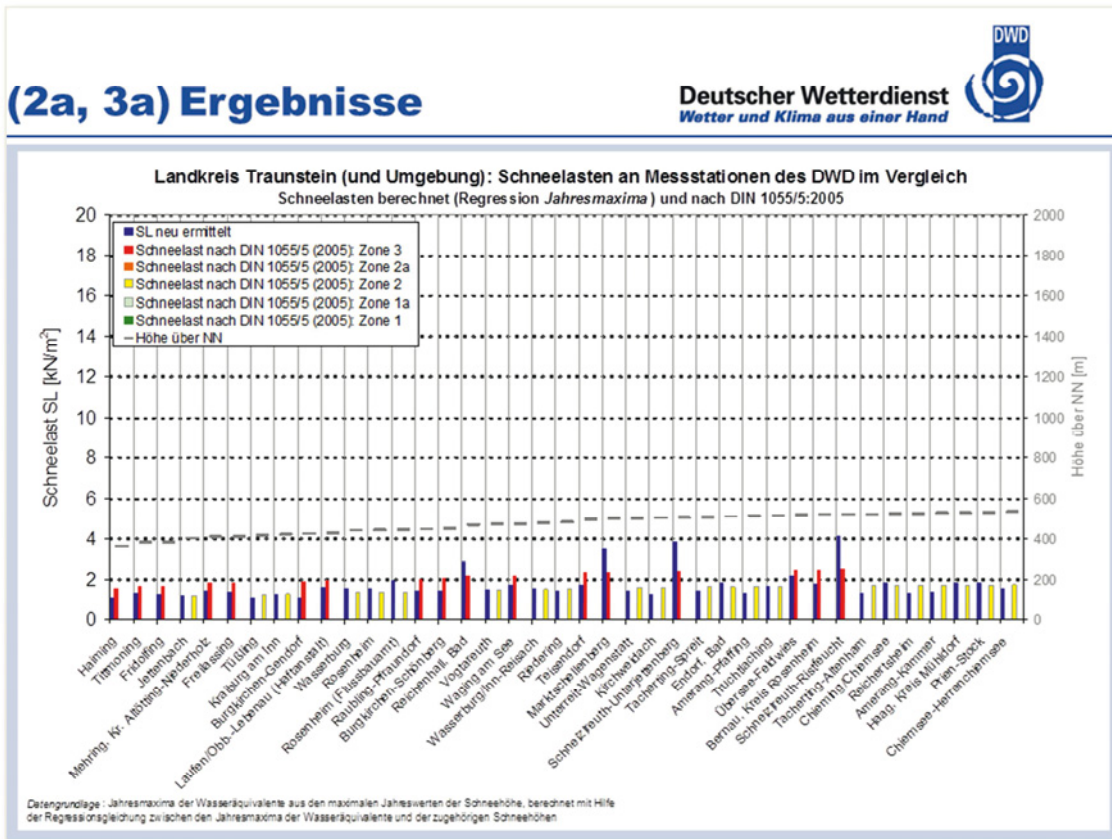
LK	Traunstein	Miesbach
Regressionsgleichung	$y = 2,9651x - 15,3775$	$y = 2,8822x - 8,9607$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,7947	0,7860

Mittlere Regression

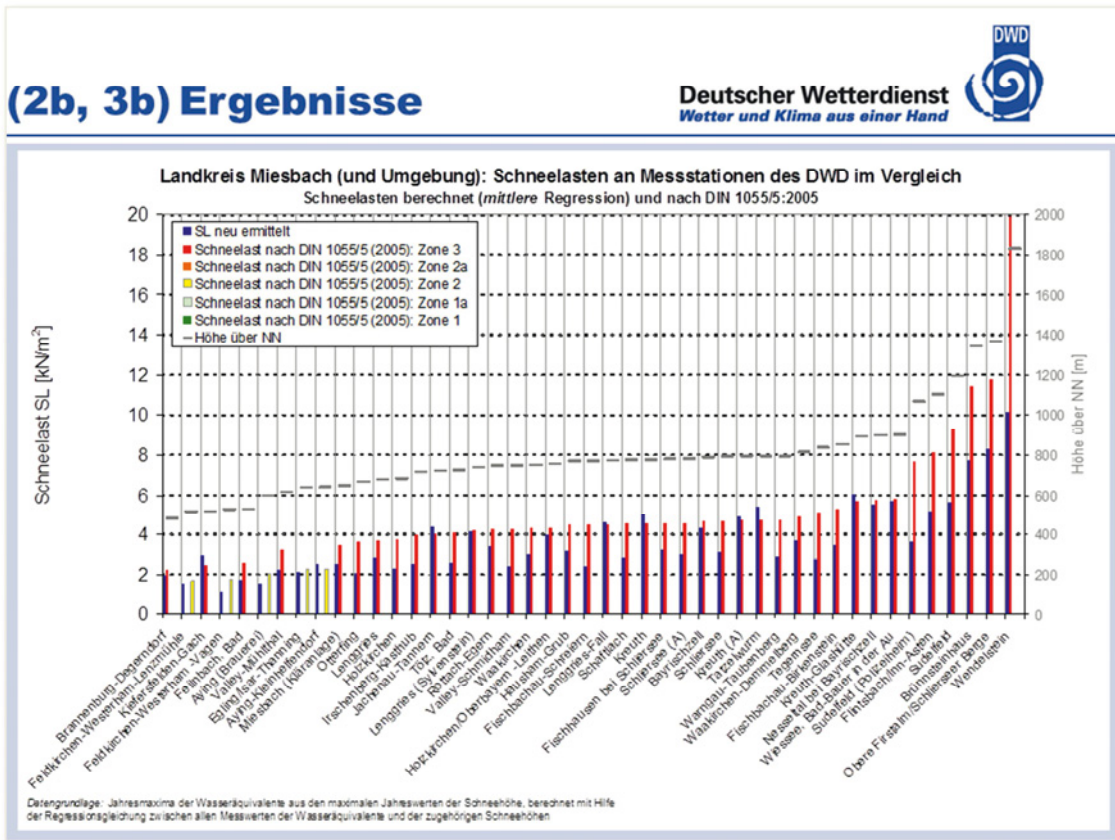
LK	Traunstein	Miesbach
Regressionsgleichung	$y = 2,4269x - 4,1110$	$y = 2,4298x - 3,0517$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,7613	0,7721

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

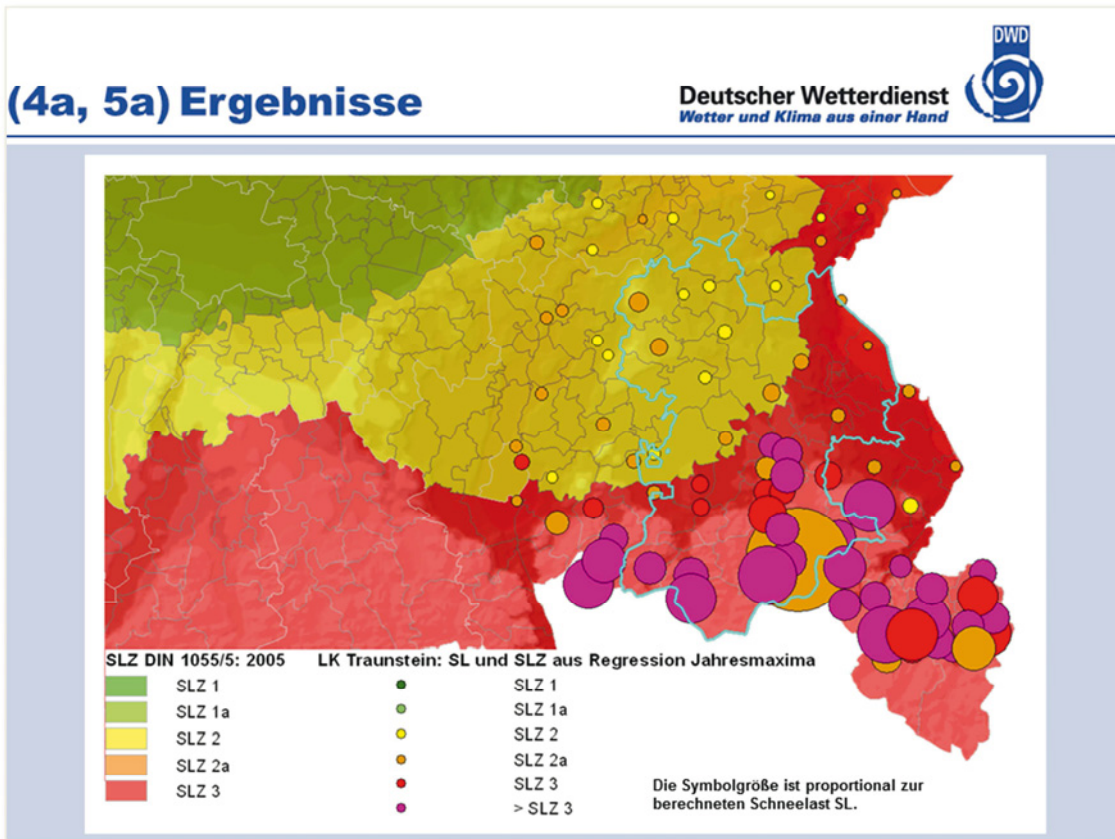
Bericht C.28



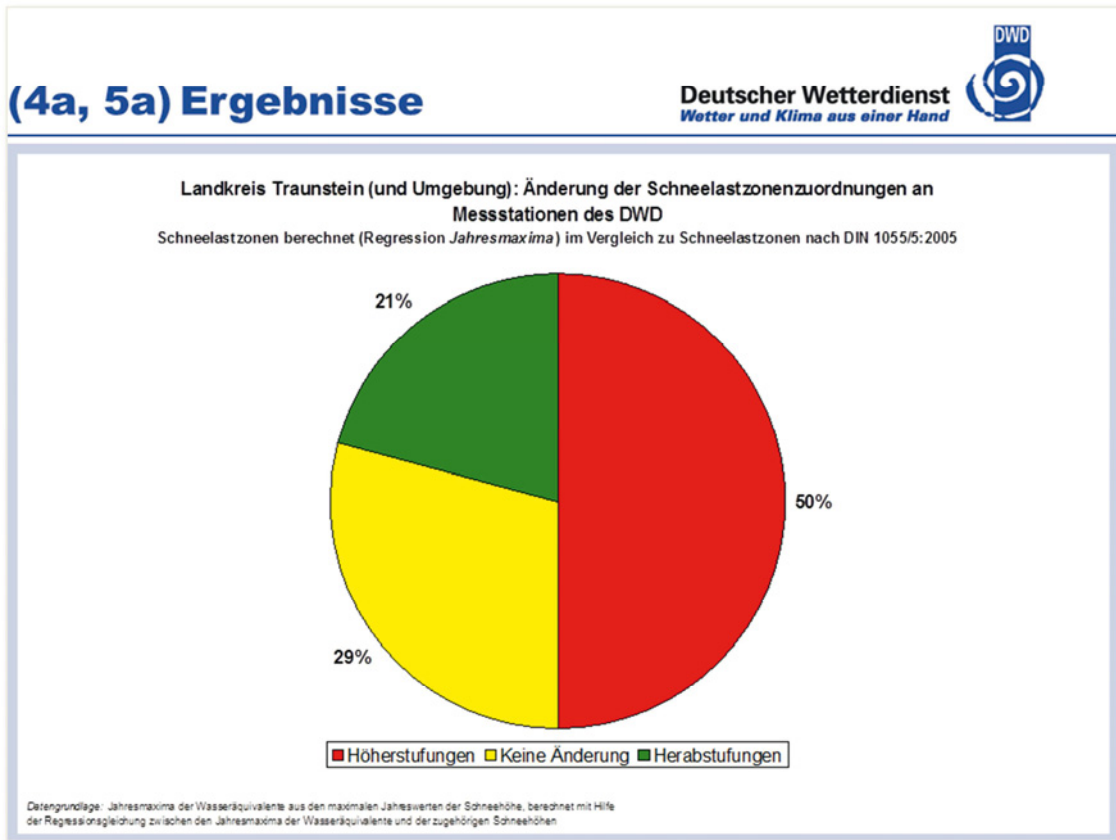
Bericht C.33



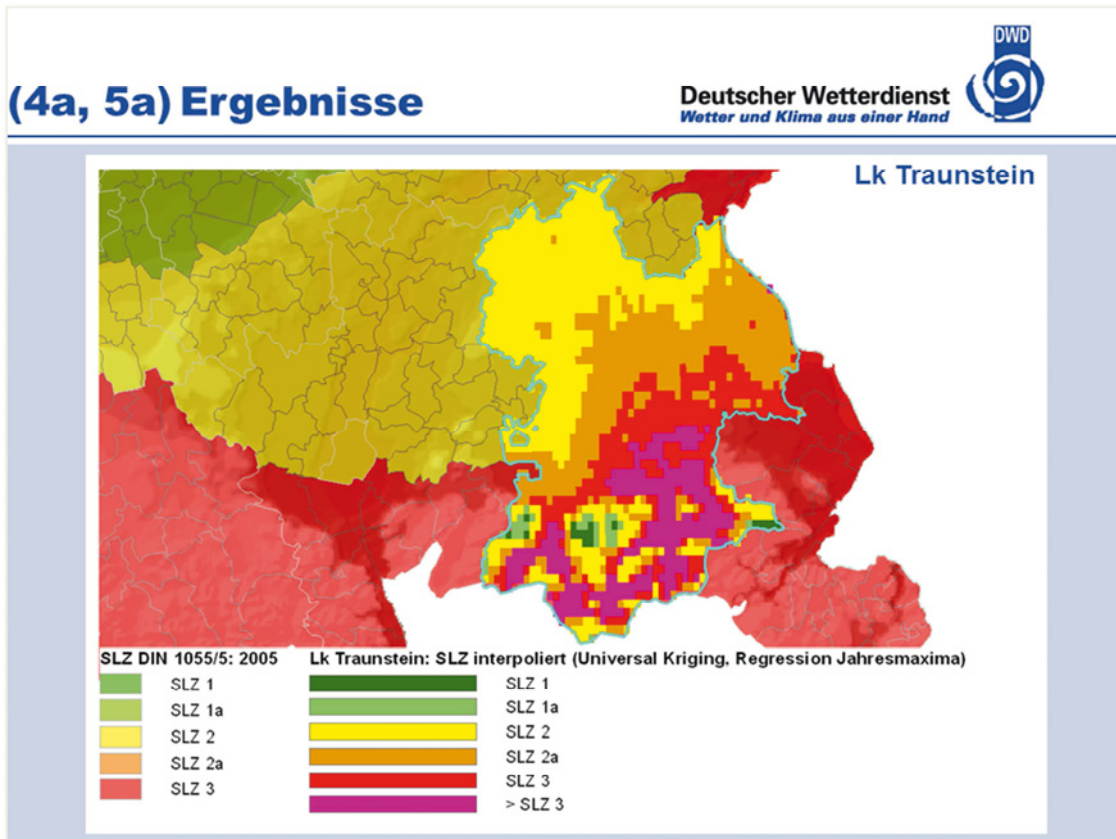
Bericht C.34



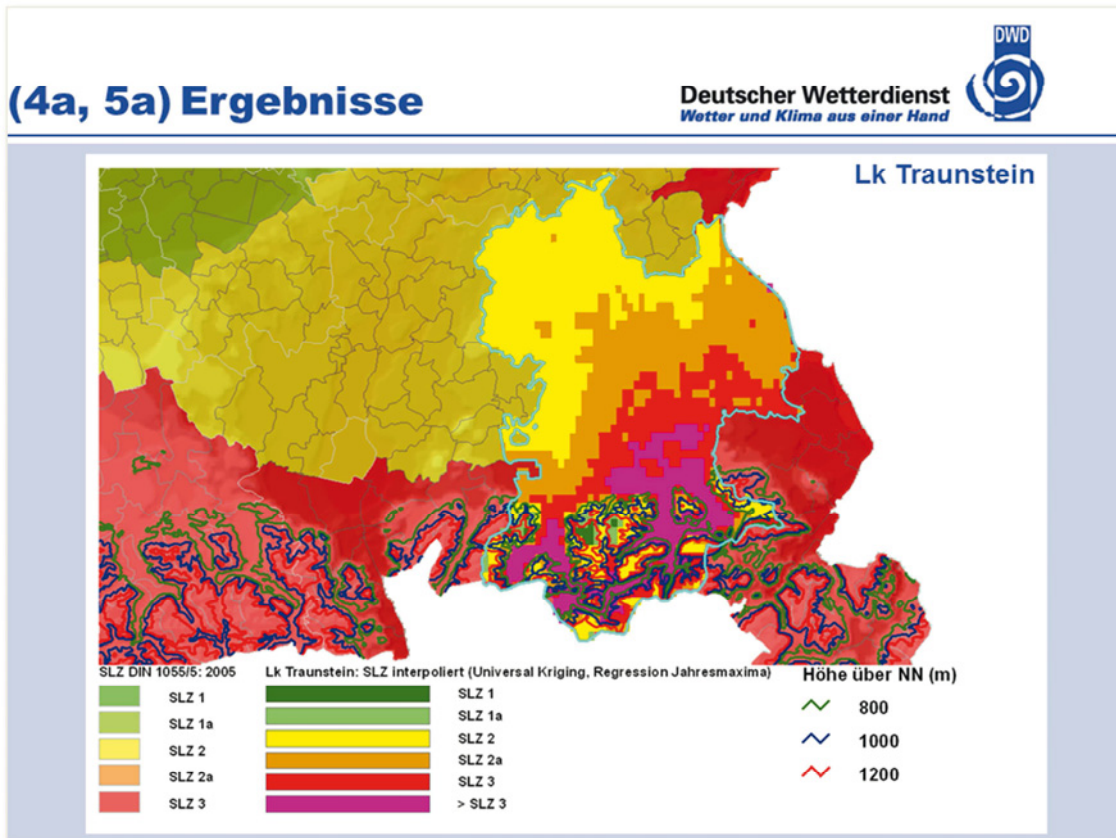
Bericht C.35



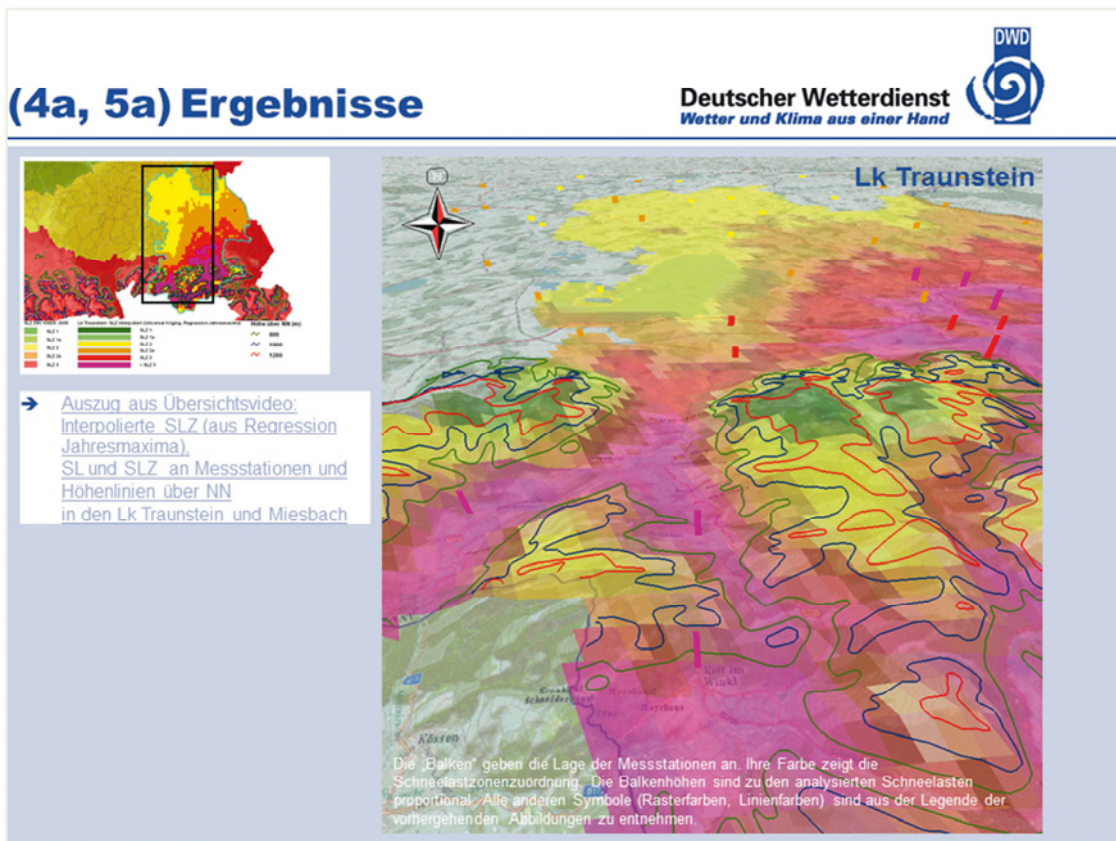
Bericht C.36



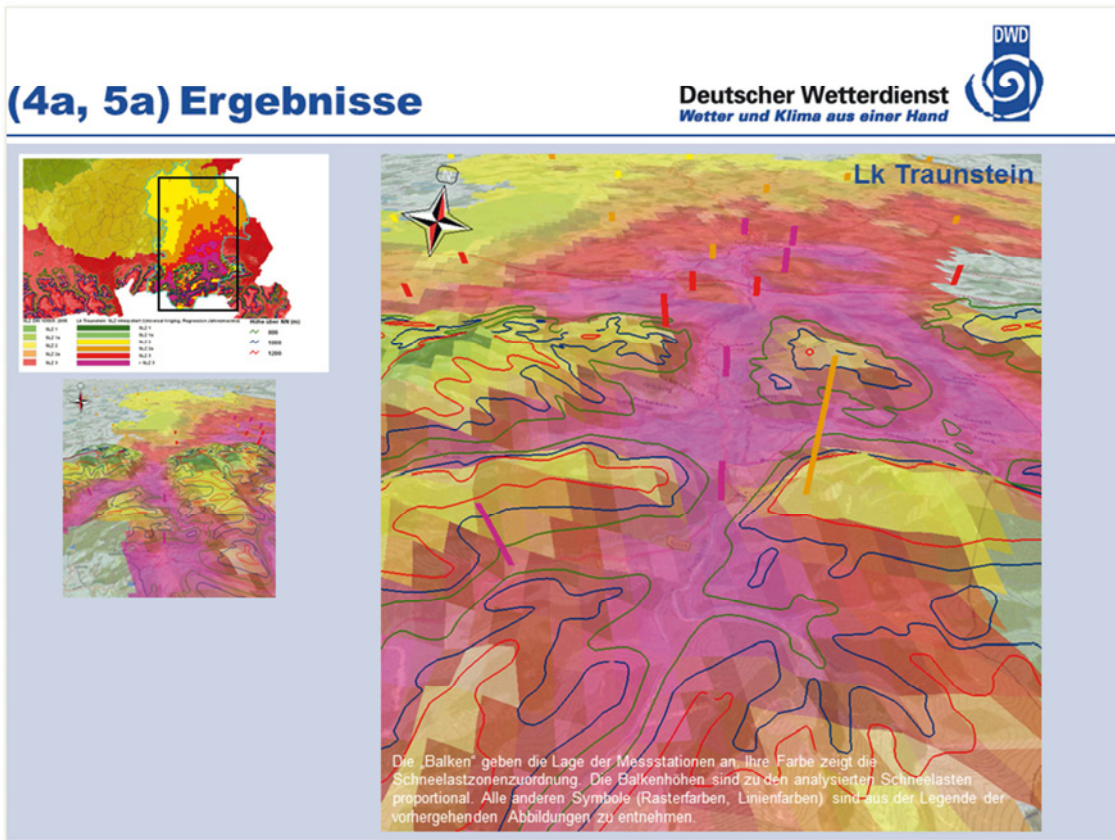
Bericht C.37



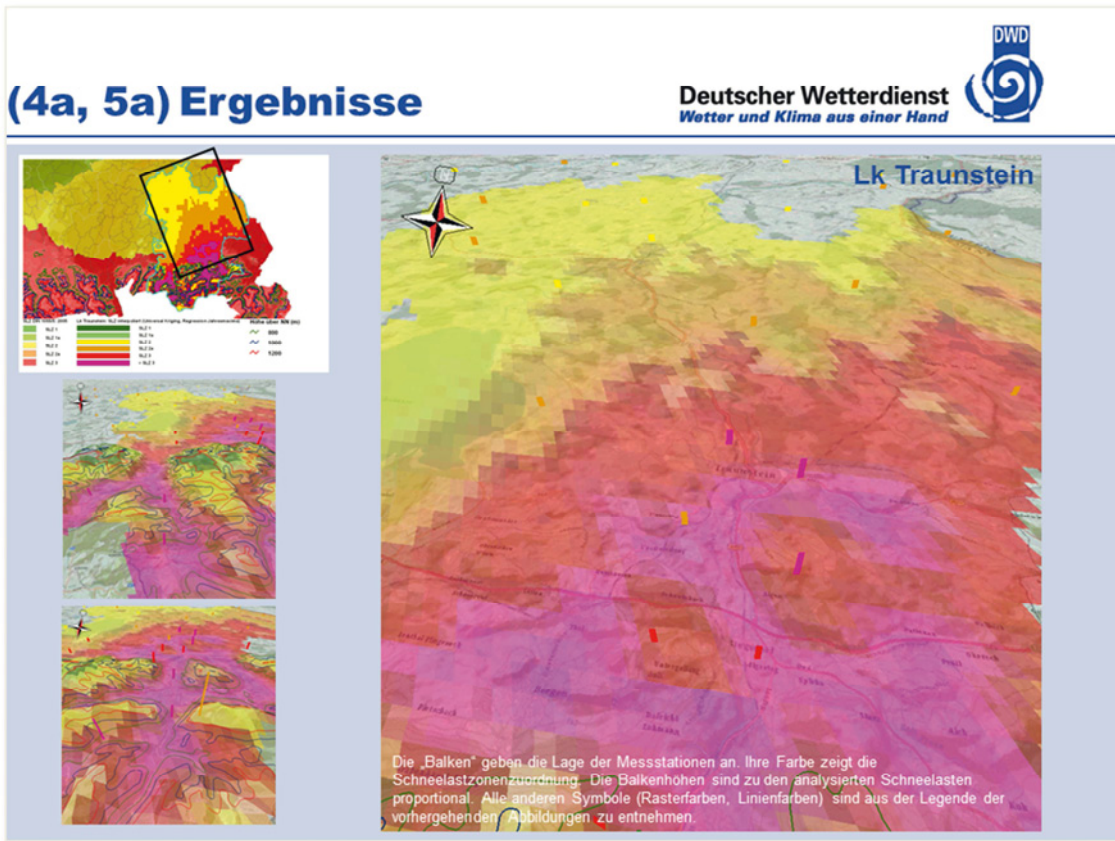
Bericht C.38



Bericht C.39




Bericht C.40



Bericht C.41

(4a, 5a) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Traunstein: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)


- ➔ Nach den vorliegenden Analysen werden im Südosten und Süden des Landkreises in Tallagen in größeren Arealen die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten überschritten.
- ➔ Damit müssten größere Areale im Südosten und Süden des Landkreises in höhere Schneelastzonen eingegliedert werden.
 - ➔ Insbesondere in den (höher gelegenen) Tallagen von Kössenerache, Lofer, Urschlauer Achen, Schwarz- und Weisslofer, Seetraun, Fischbach, Weisse Traun, Rote Traun, Traun, Sur und Saalach zeigen die Auswertungen größere Schneelasten im Vergleich zu den aktuellen Normwerten.
 - ➔ Diese Ergebnisse sind auf die Resultate der Schneelastanalysen an den Stationen Schleching, Unterwössen-Hinterwössen, Reit im Winkl, Ruhpolding-Seehaus, Ruhpolding (Kläranlage), Inzell, Schneizreuth-Weißbach, Schneizreuth-Ristfeucht, Schneizreuth-Unterjettenberg, Bad Reichenhall, Traunstein-Sparz, Traunstein-Geißing, Schönau am Königssee, Berchtesgaden, Berchtesgaden-Unterau, Marktschellenberg zurückzuführen, die in den genannten Tälern liegen oder vergleichbare Tallagen aufweisen.
- ➔ Die Schneelastzonen der Regionen im Nord- und Mittelteil des Landkreises (aktuell SLZ 2 und 3) werden durch die vorliegenden Auswertungen bestätigt (Norden und Nordwesten des Lk) oder könnten in kleinere Schneelastzonen eingegliedert werden (im Übergangsbereich zwischen Nordwest- und Südostteil des Lk, SLZ 2a anstelle von SLZ 3).
- ➔ In größeren Höhen über NN (überwiegend Berglagen > 800 m über NN) im Südosten und Süden des Landkreises werden die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten unterschritten.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.42

(4a, 5a) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

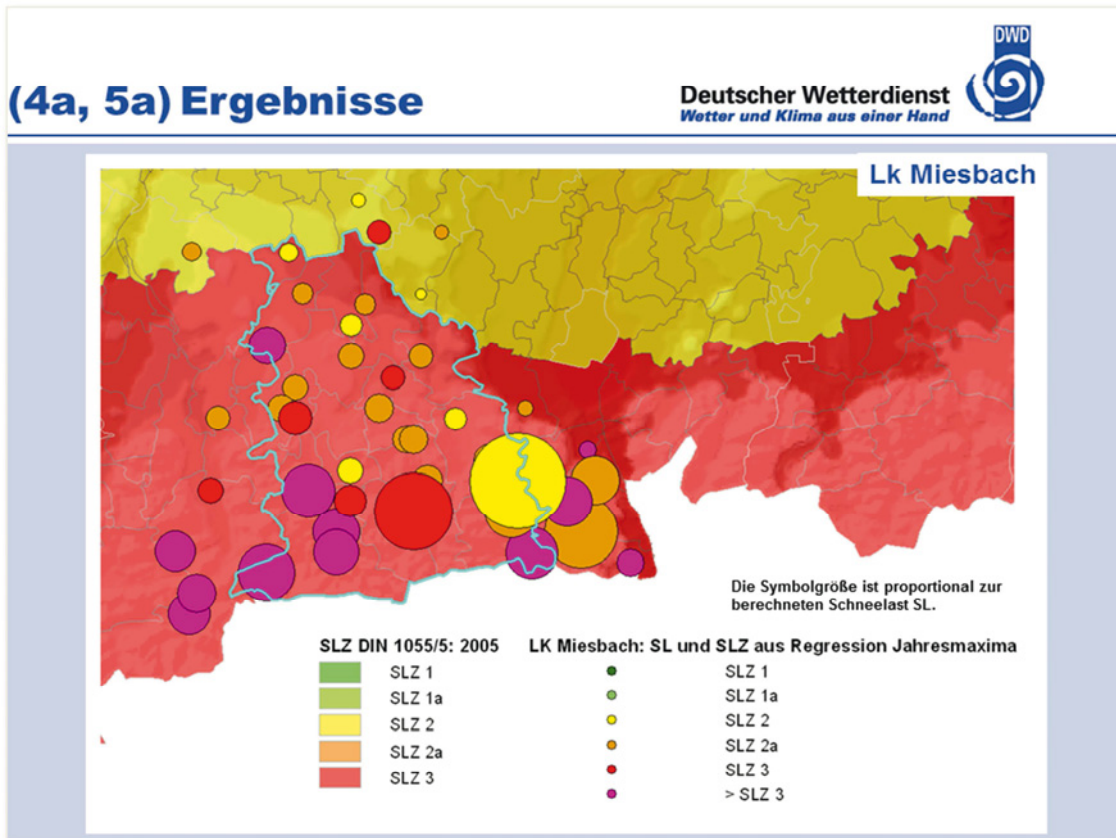
Landkreis Traunstein: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)

- ➔ Die Überschreitung der Schneelasten in Tallagen im Südosten und Süden des Landkreises lassen sich aus klimatologischer Sicht
 - ➔ mit der Luv- und Leewirkung (keine Verfrachtung von abgelagertem Schnee aus der Tallage heraus, zusätzliche Ablagerung von verfrachtetem Schnee von exponierten Standorten in der Umgebung in die Tallagen) der umliegenden Höhenzüge sowie
 - ➔ mit der Modifikation der Strahlungsbedingungen (Abschattung bei niedrigen Sonnenständen, erhöhte Albedo der Hanglagen bei Schneebedeckung) und der daraus resultierenden Änderungen des lokalen Wärmehaushalts begründen.
- ➔ Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen den Resultaten der Messwertanalysen und den Normwerten in größeren Höhen über NN (überwiegend Berglagen > 800 m über NN) im Südosten und Süden des Landkreises ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN zu suchen.
 - ➔ Die aus den topografischen Gegebenheiten - und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen - in den betrachteten Regionen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055/5:2005 verankert sind.
 - ➔ Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelasten zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN in der Umgebung.
 - ➔ Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die Höhenabhängigkeit der Schneelasten in der aktuell gültigen DIN 1055/5:2005 die Schneelasten mit zunehmender Höhe über NN in der betrachteten Region zu groß bestimmt.
- ➔ Die Ergebnisse könnten ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung (z.B. in einer „alpinen Region“) sein.

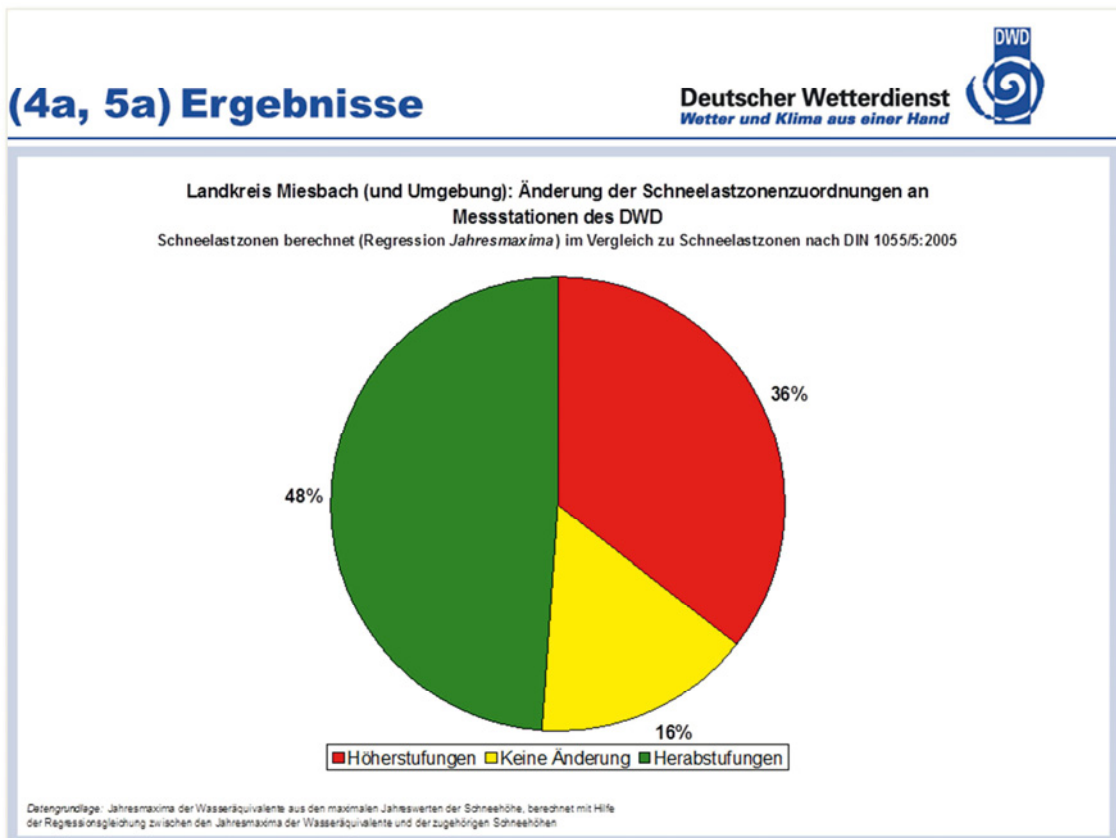
Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



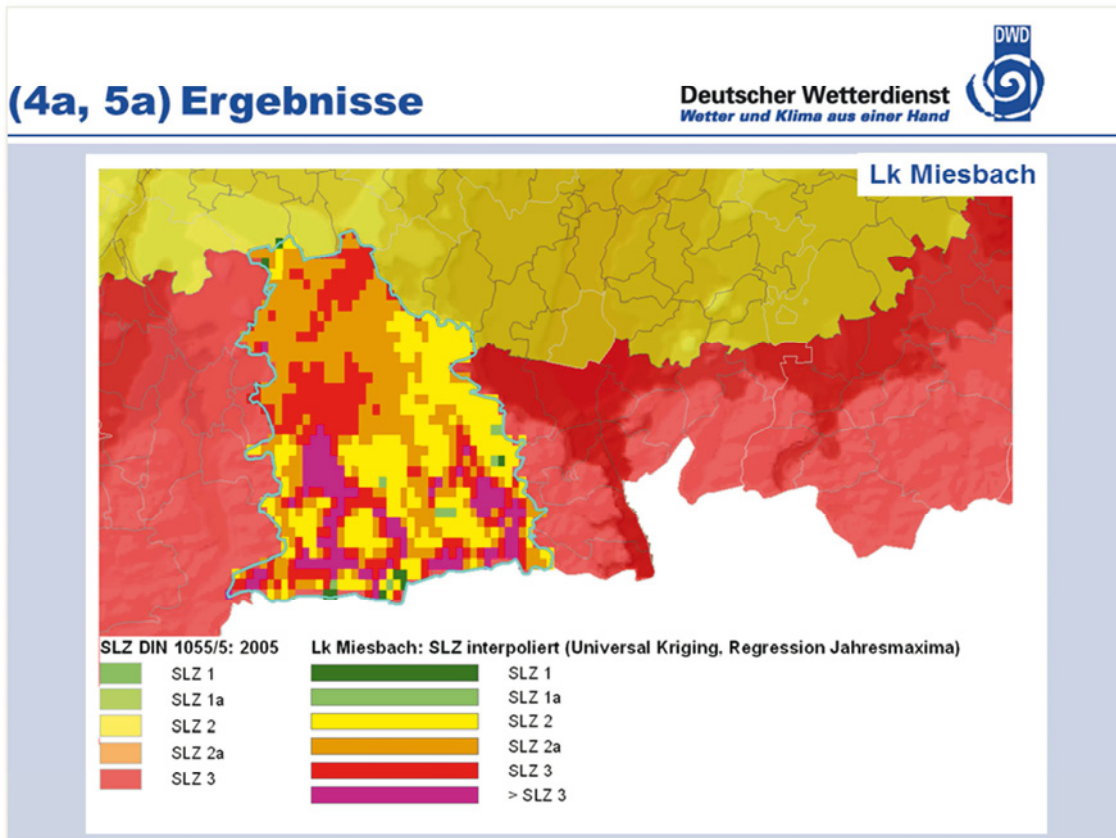
Bericht C.43



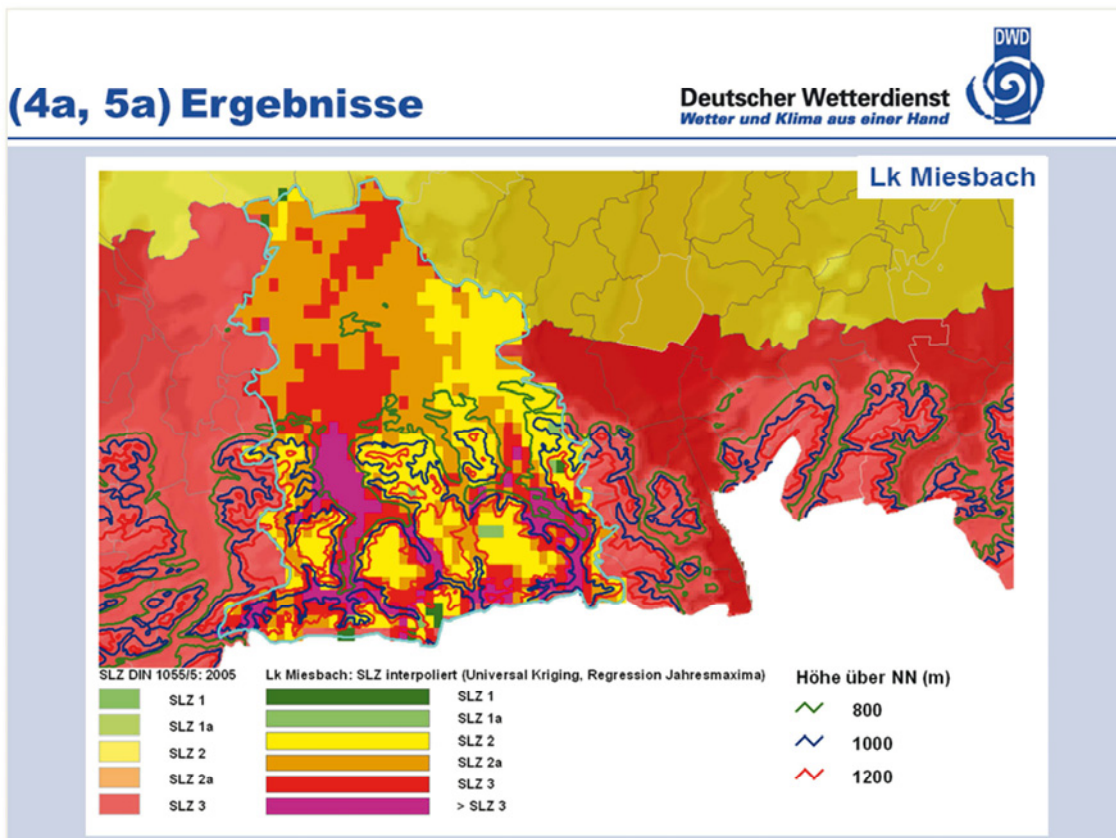
Bericht C.44



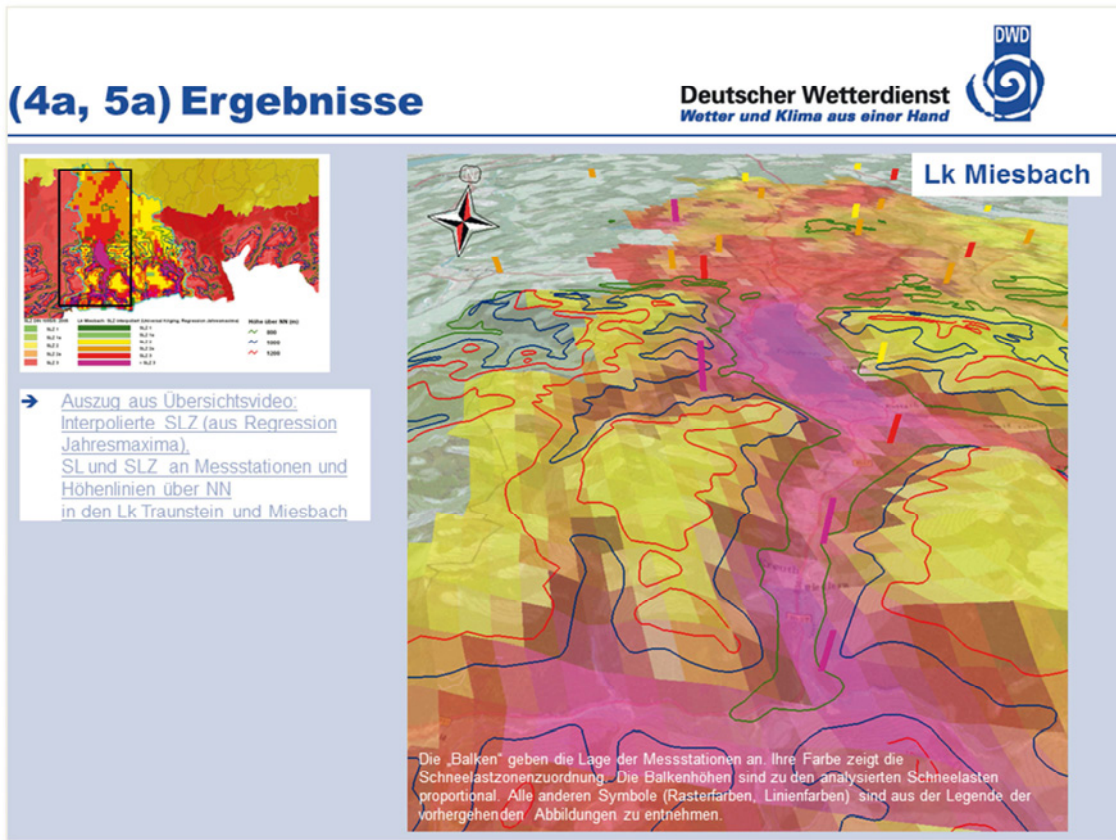
Bericht C.45



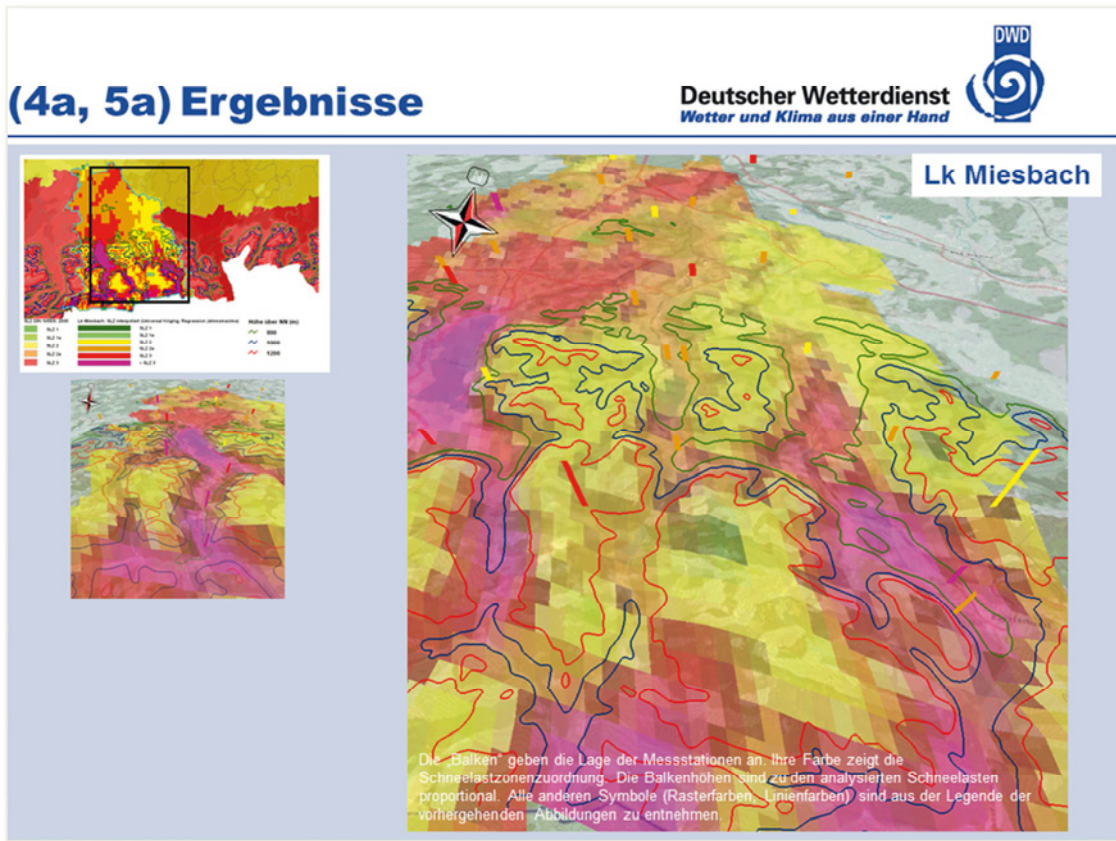
Bericht C.46



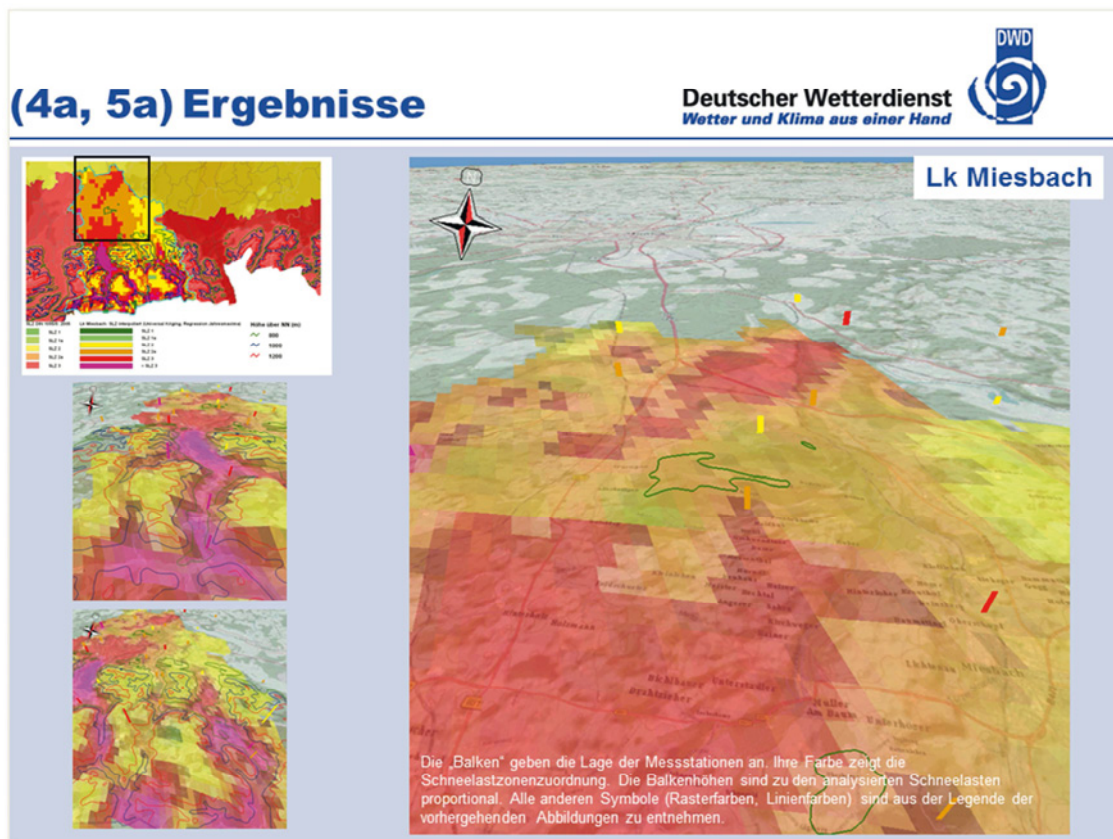
Bericht C.47



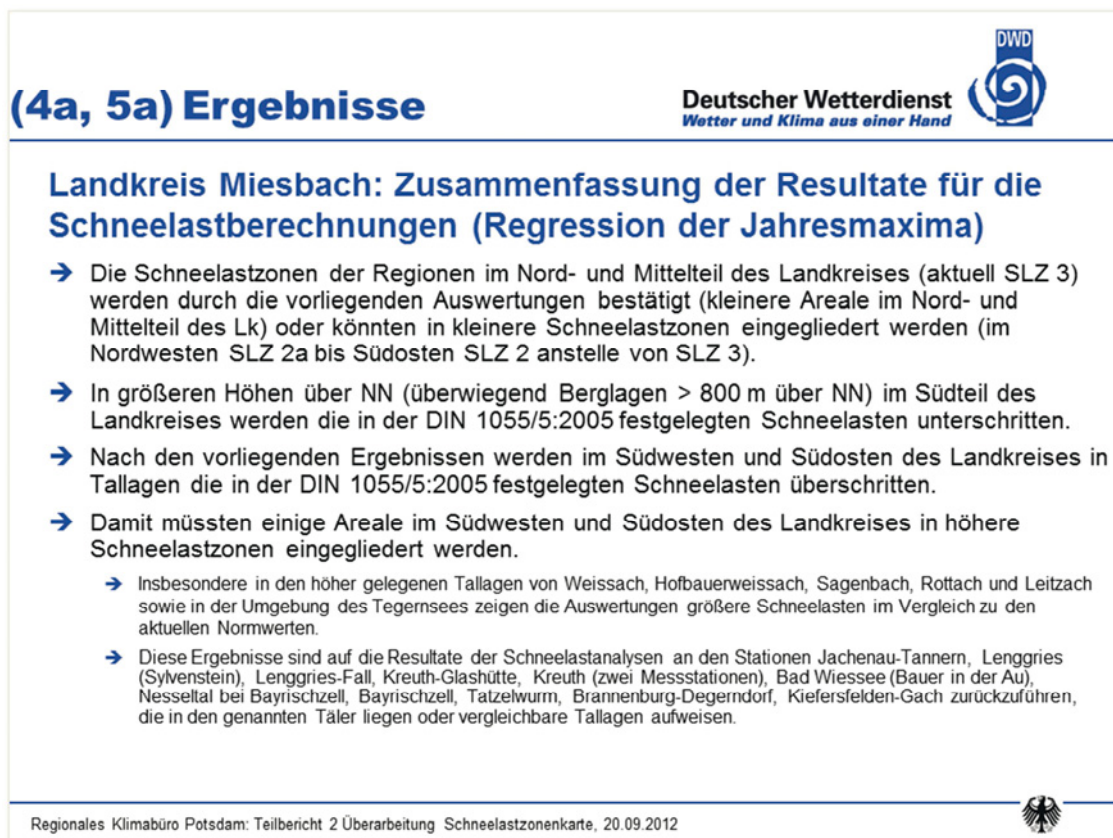
Bericht C.48



Bericht C.49



Bericht C.50



Bericht C.51

(4a, 5a) Ergebnisse

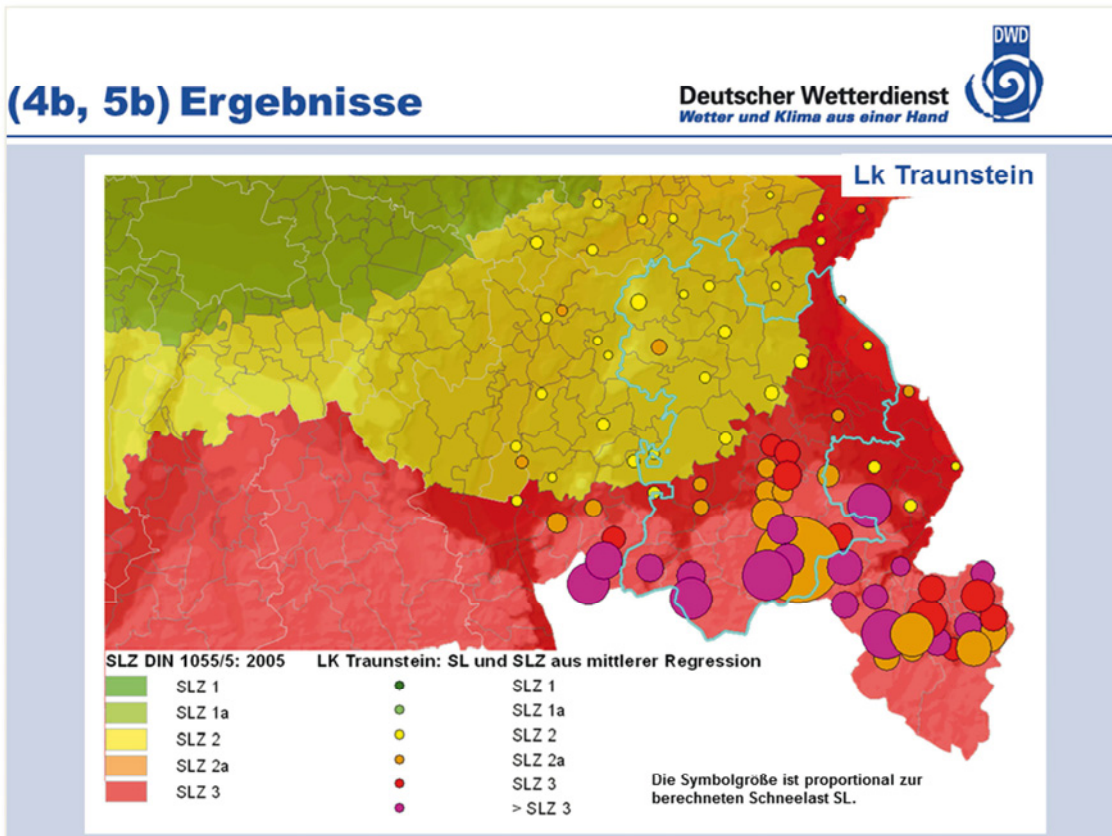
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Miesbach: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)

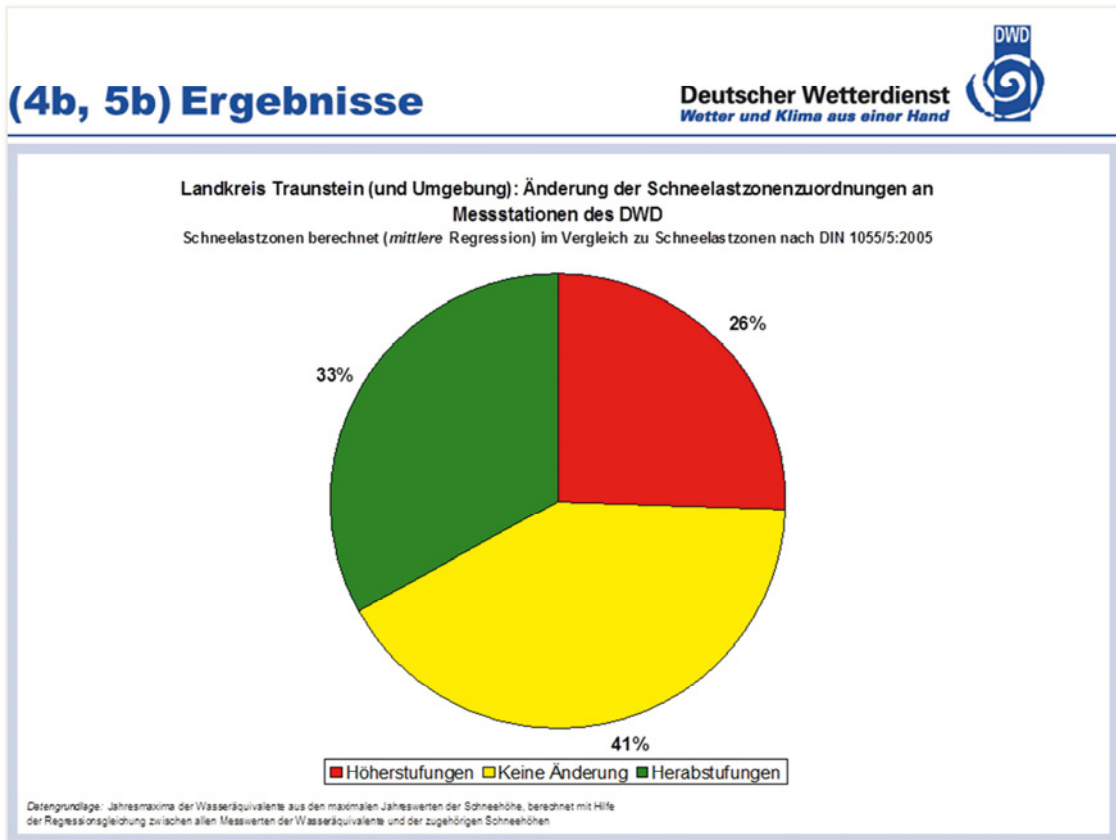
- ➔ Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen den Resultaten der Messwertanalysen und den Normwerten in größeren Höhen über NN (überwiegend Berglagen > 800 m über NN) im Südteil des Landkreises ist wahrscheinlich in den markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN zu suchen.
 - ➔ Die aus den topografischen Gegebenheiten - und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen - in den betrachteten Regionen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055/5:2005 verankert sind.
 - ➔ Diese Feststellung ergibt sich daraus, dass in den größeren Höhenlagen über NN die berechneten (interpolierten) Schneelasten zu einer Zonenzuordnung führen, die kleiner ist, als in tieferen Höhenlagen über NN in der Umgebung.
 - ➔ Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die Höhenabhängigkeit der Schneelasten in der aktuell gültigen DIN 1055/5: 2005 die Schneelasten mit zunehmender Höhe über NN in der betrachteten Region zu groß bestimmt.
- ➔ Die Überschreitung der Schneelasten in Tallagen im Südwesten und Südosten des Landkreises lassen sich aus klimatologischer Sicht
 - ➔ mit der Luv- und Leewirkung (keine Verfrachtung von abgelagertem Schnee aus der Tallage heraus, zusätzliche Ablagerung von verfrachtetem Schnee von exponierten Standorten in der Umgebung in die Tallagen) der umliegenden Höhenzüge sowie
 - ➔ mit der Modifikation der Strahlungsbedingungen (Abschattung bei niedrigen Sonnenständen, erhöhte Albedo der Hanglagen bei Schneebedeckung) und der daraus resultierenden Änderungen des lokalen Wärmehaushalts begründen.
- ➔ Die Ergebnisse könnten ein Argument für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung (z.B. in einer „alpinen Region“) sein.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

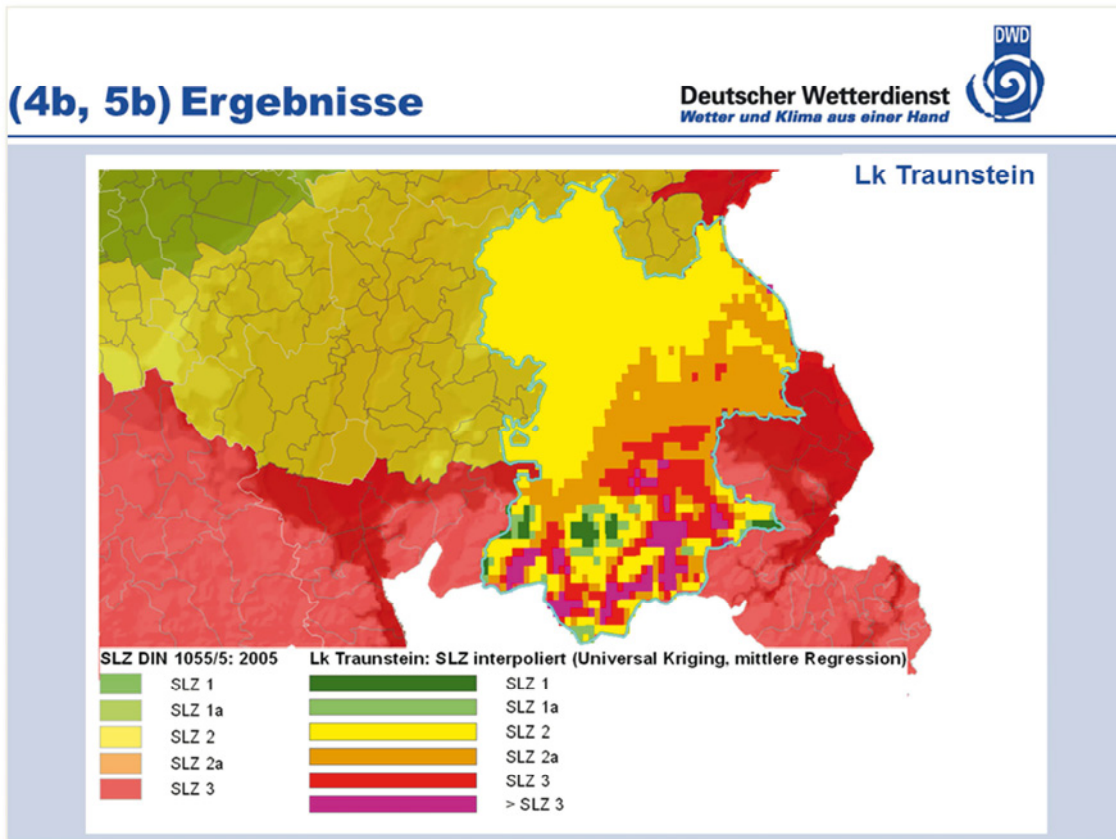
Bericht C.52



Bericht C.53



Bericht C.54



Bericht C.55

(4b, 5b) Ergebnisse

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Traunstein: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (mittlere Regression)

- ➔ Die Feststellungen der „Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)“ sind auch bei Betrachtung der Ergebnisse für die mittleren Regressionen uneingeschränkt gültig.
- ➔ Im Hinblick auf eine sichere Bemessung wird empfohlen, für weitergehende Schlussfolgerungen (z.B. Neuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden) die Resultate der Regression der Jahresmaxima zu verwenden.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.56

(4b, 5b) Ergebnisse

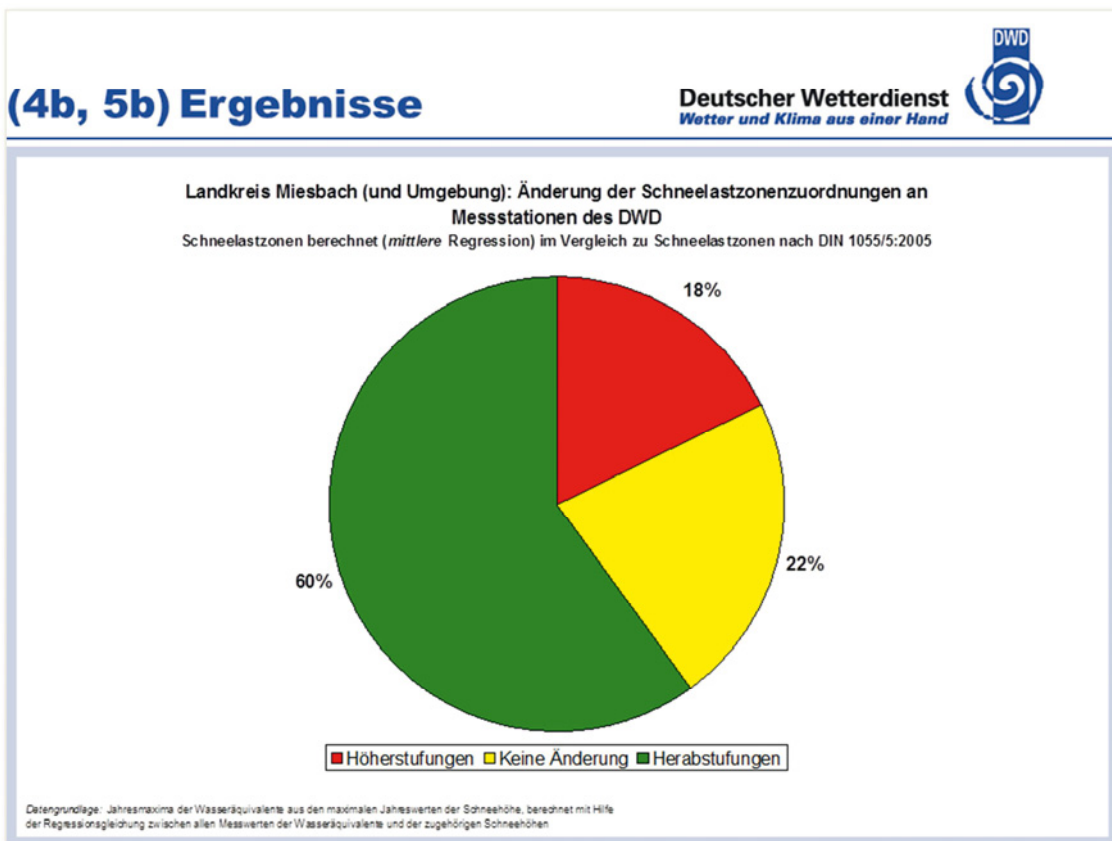
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Lk Miesbach

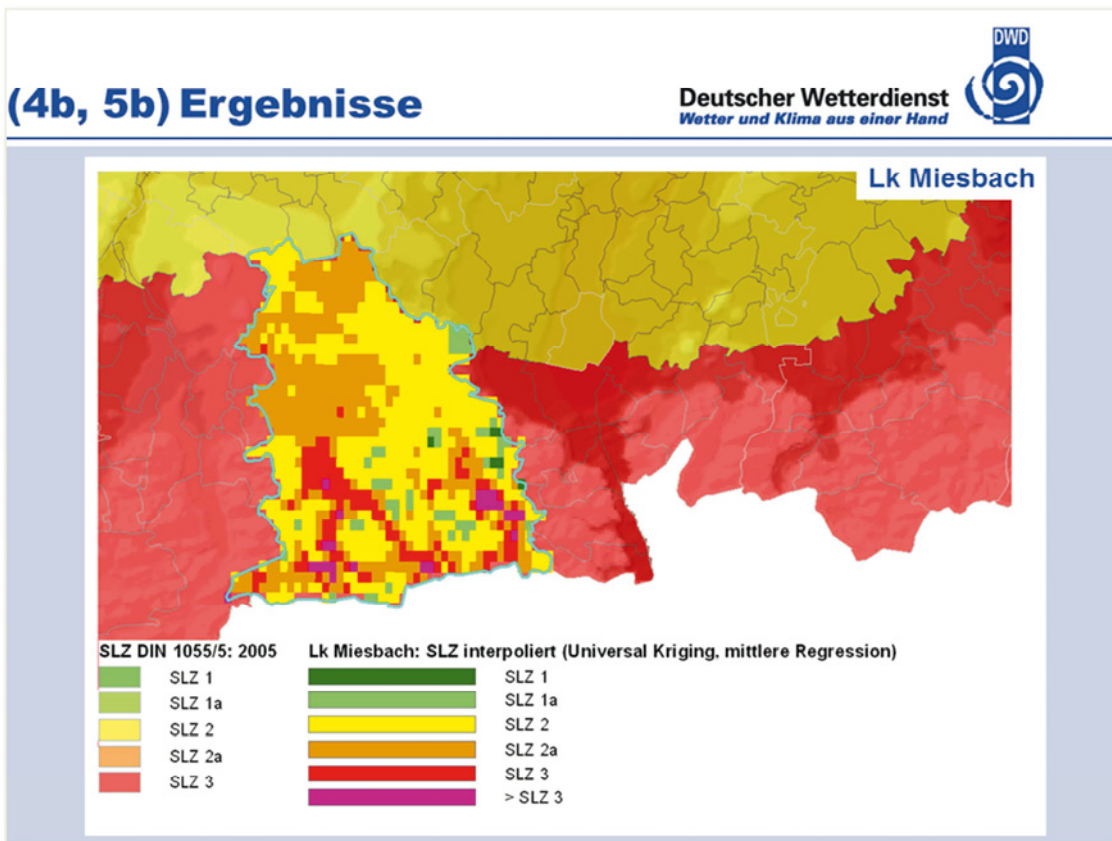
<p>SLZ DIN 1055/5: 2005</p> <ul style="list-style-type: none"> SLZ 1 SLZ 1a SLZ 2 SLZ 2a SLZ 3 	<p>LK Miesbach: SL und SLZ aus mittlerer Regression</p> <ul style="list-style-type: none"> SLZ 1 SLZ 1a SLZ 2 SLZ 2a SLZ 3 > SLZ 3
---	--

Die Symbolgröße ist proportional zur berechneten Schneelast SL.

Bericht C.57




Bericht C.58



Bericht C.59

(4b, 5b) Ergebnisse




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Landkreis Miesbach: Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (mittlere Regression)


- ➔ Die Feststellungen der „Zusammenfassung der Resultate für die Schneelastberechnungen (Regression der Jahresmaxima)“ sind auch bei Betrachtung der Ergebnisse für die mittleren Regressionen uneingeschränkt gültig.
- ➔ Im Hinblick auf eine sichere Bemessung wird empfohlen, für weitergehende Schlussfolgerungen (z.B. Neuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden) die Resultate der Regression der Jahresmaxima zu verwenden.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.60


Zusammenfassung



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


- ➔ Die in der DIN 1055/5:2005 festgelegten Schneelasten werden in den Sütteilen der Landkreise Traunstein und Miesbach in größeren Arealen höher gelegener Tallagen überschritten.
- ➔ Nach den vorliegenden Ergebnissen müssten diese Gebiete (Tallagen im Sütteil) der Landkreise Traunstein und Miesbach in höhere Schneelastzonen eingegliedert werden.
- ➔ Die Schneelastzonen in den Nord- und Mittelteilen der Landkreise Traunstein und Miesbach (aktuell SLZ 2 oder 3) werden durch die vorliegenden Auswertungen bestätigt oder könnten in kleinere Schneelastzonen eingegliedert werden.
- ➔ Die Ergebnisse lassen sich aus klimatologischer Sicht in beiden Landkreisen mit der Luv-/Leewirkung von nach-/vorgelagerten Höhenzügen sowie durch die Modifikationen der Strahlungsbilanz in Hang-/Tallagen begründen.
- ➔ Die aus den topografischen Gegebenheiten - und den damit verknüpften meteorologischen Verhältnissen - in den betrachteten Regionen resultierenden Höhenabhängigkeiten der Schneelasten unterscheiden sich in den Landkreisen Traunstein und Miesbach offenbar von denjenigen, die in den Berechnungsgleichungen der DIN 1055/5:2005 verankert sind.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.61


Zusammenfassung



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


- ➔ Eine alleinige Änderung der Zonenverläufe im Rahmen der Schneelastdefinitionen der DIN 1055/5:2005 (Schneelastwerte und ihre Höhenabhängigkeit in den jeweiligen Zonen) scheint aufgrund der markanten vertikalen und horizontalen Gradienten der Höhen über NN in den Landkreisen Traunstein und Miesbach nicht zu einem befriedigenden Ergebnis zu führen.
- ➔ Die Ergebnisse der Landkreise Traunstein und Miesbach können Argumente für die Einführung einer speziellen regionalen Zonierung (z.B. „alpine Region“) sein.
- ➔ Die Ergebnisse der auf Grundlage der Regressionen der Jahresmaxima ermittelten Schneelasten für die Landkreise Traunstein und Miesbach sind auch bei Betrachtung der Resultate für die mittleren Regressionen uneingeschränkt gültig.
- ➔ Im Hinblick auf eine sichere Bemessung wird empfohlen, für weitergehende Schlussfolgerungen (z.B. Neuordnung der Schneelastzonen zu Gemeinden) für beide Lk die Resultate der Regression der Jahresmaxima zu verwenden.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.62


Zusammenfassung



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

- ➔ In einem „kurzfristigen“ Schritt könnten die Zuordnungen der Schneelastzonen zu den Gemeinden (Schneelasttabelle) geändert werden.
- ➔ Es ist zu überlegen, ob für die Landkreise Traunstein und Miesbach (oder generell in der Voralpenregion?) eine höhenabhängige Festlegung der Schneelastzonenzuordnung erfolgt:
 - ➔ Für Höhenlagen bis 800 m (1000 m) über NN könnten Schneelastzonen festgelegt werden.
 - ➔ Für größere Höhen über NN sollten „gesonderte Betrachtungen“ durchgeführt werden.
 - ➔ Diese Herangehensweise ist vergleichbar
 - ➔ Mit den Regelungen der DIN 1055/5: 1975 – vergleichbare Formulierung zu: „[Schneelast] ... wird im Einzelfalle durch ... festgelegt“.
 - ➔ Mit den Regelungen der DIN 1055/5: 2005 - z.B. Formulierung zu „ ... Für bestimmte Lagen der SLZ3 ...“, Festlegungen zur „Harzinsel“.
- ➔ Langfristig sollte die Prüfung der in der DIN 1055/5: 2005 veröffentlichten Schneelastzonenkarte angestrebt werden, um Schneelasttabelle und Schneelastzonenkarte in Übereinstimmung zu bringen.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012



Bericht C.63

Ergebnisse Online

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

→ Alle DWD-Untersuchungsergebnisse zum DIBt-Forschungsvorhaben „Flächenhafte Analyse von Schneelastmesswerten in fünf Landkreisen und ihr Vergleich mit den Schneelastzonenkarten der DIN 1055/5:2005“ sind in Form einer Webkartendarstellung auf www.arcgis.com verfügbar.

→ Der Zugriff ist auf Mitglieder der Gruppe [DWD/DIBt \(AK SLZ\)](#), die Mitarbeiter des AK Schneelasten beim DIBt sind, beschränkt. Der Zugang zur Gruppe muss durch den Nutzer zunächst aktiviert werden.

→ Eine [Anleitung](#) zur Anmeldung wird dem Bericht beigelegt.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.64

Ergebnisse Online

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

→ Die Kartendarstellungen sind für bestätigte Gruppenmitglieder abrufbar unter <http://bit.ly/UdqKA5>

→ Kartenelemente können verglichen und die Ergebnisse der Auswertungen können angezeigt werden.

Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012

Bericht C.65


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Ansprechpartner/Bearbeiter:


Dipl.-Geogr. Kristin Hoffmann (Prüfung
Stationsdaten, statistische Analysen,
Bericht)

Dr. Bodo Wichura (GIS: räumliche
Interpolation, Interpretation, Bericht)

Deutscher Wetterdienst
Regionales Klimabüro Potsdam
Michendorfer Chaussee 23
14473 Potsdam

<mailto:klima.potsdam@dwd.de>
Tel.: +49 (0) 331 / 316444
Fax: +49 (0) 331 / 316299



Regionales Klimabüro Potsdam: Teilbericht 2 Überarbeitung Schneelastzonenkarte, 20.09.2012 

Anhang D. Untersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe (vorgestellt bei der Sitzung des AK Schneelastkarte am 21.01.2012 in Berlin)

Bericht D.1



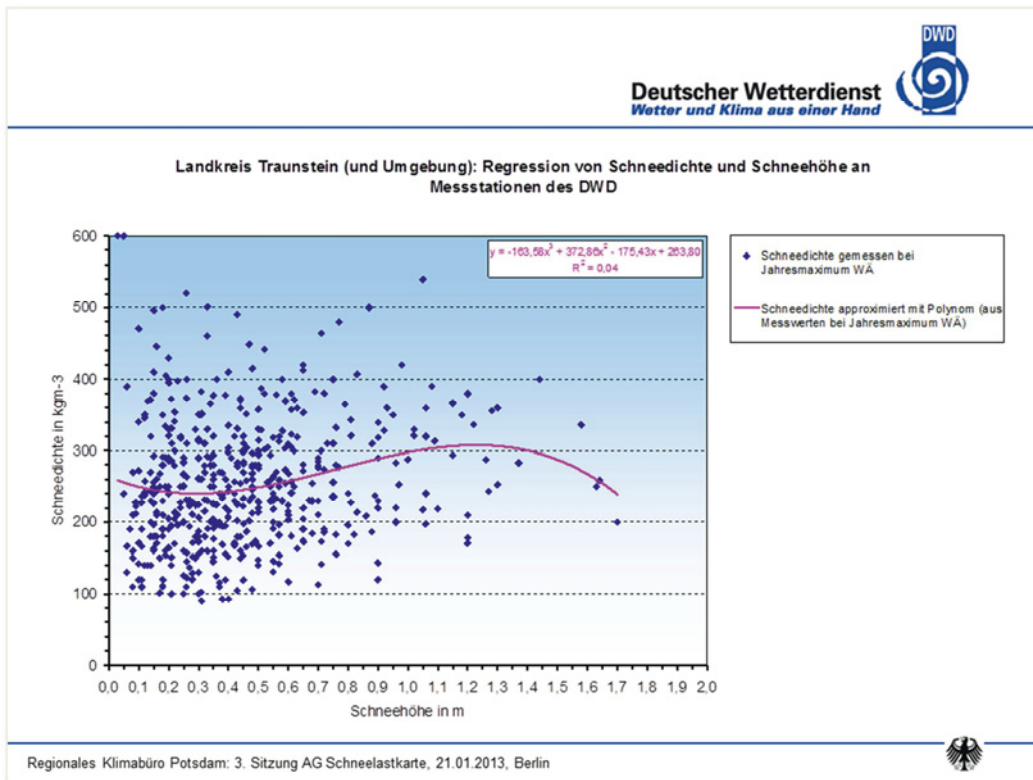
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



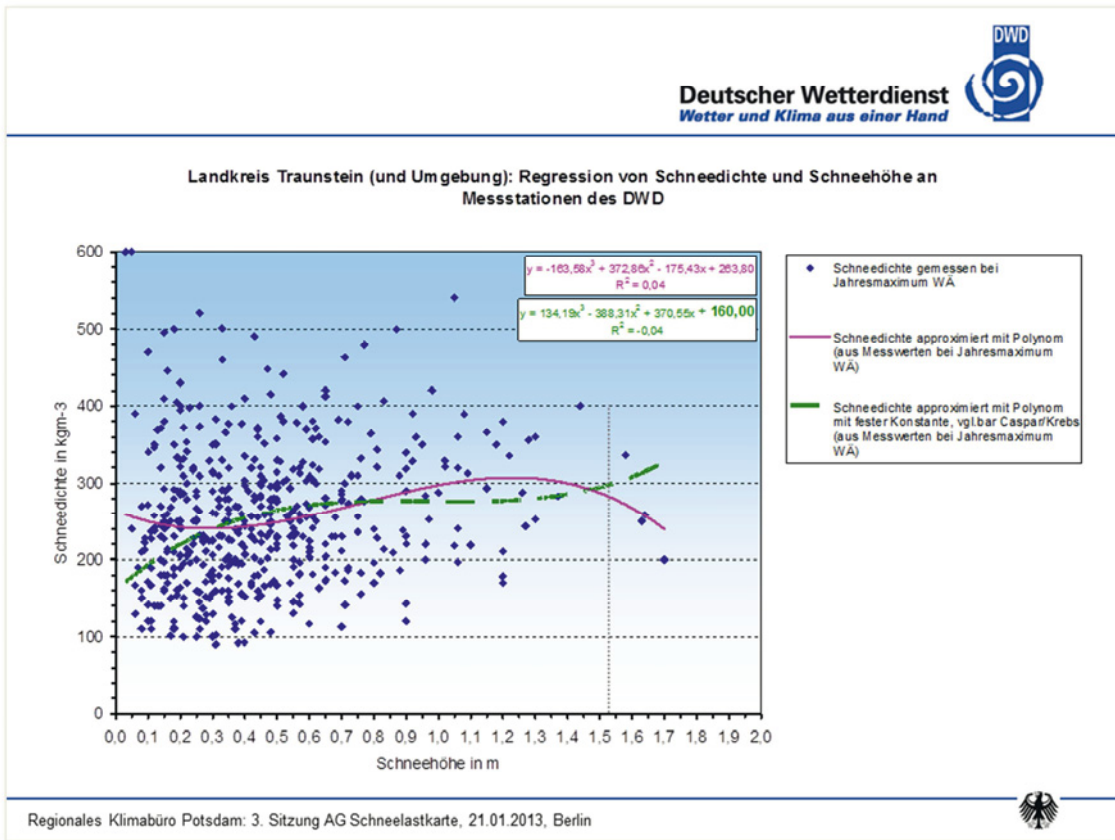
Zusatzuntersuchungen zur Abhängigkeit der Schneedichte von der Schneehöhe am Beispiel vom Messungen für den Landkreis Traunstein

Kurzbericht zur 3. Sitzung zum DIBt-Forschungsvorhaben „Flächenhafte Analyse von Schneelastmesswerten in fünf Landkreisen und ihr Vergleich mit den Schneelastzonenendaten der DIN 1055/5:2005 als Pilotuntersuchung für die Überarbeitung der Schneelastzonenkarte“, 21.01.2013, Berlin

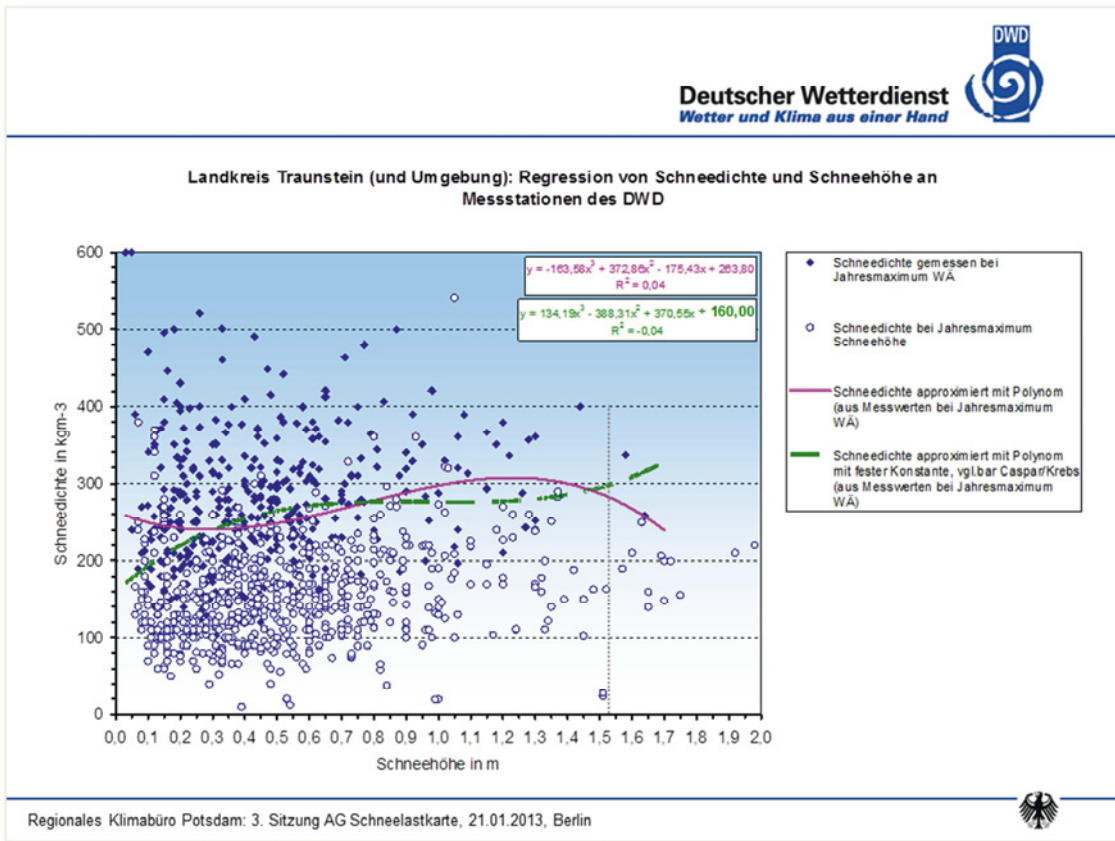
Bericht D.2



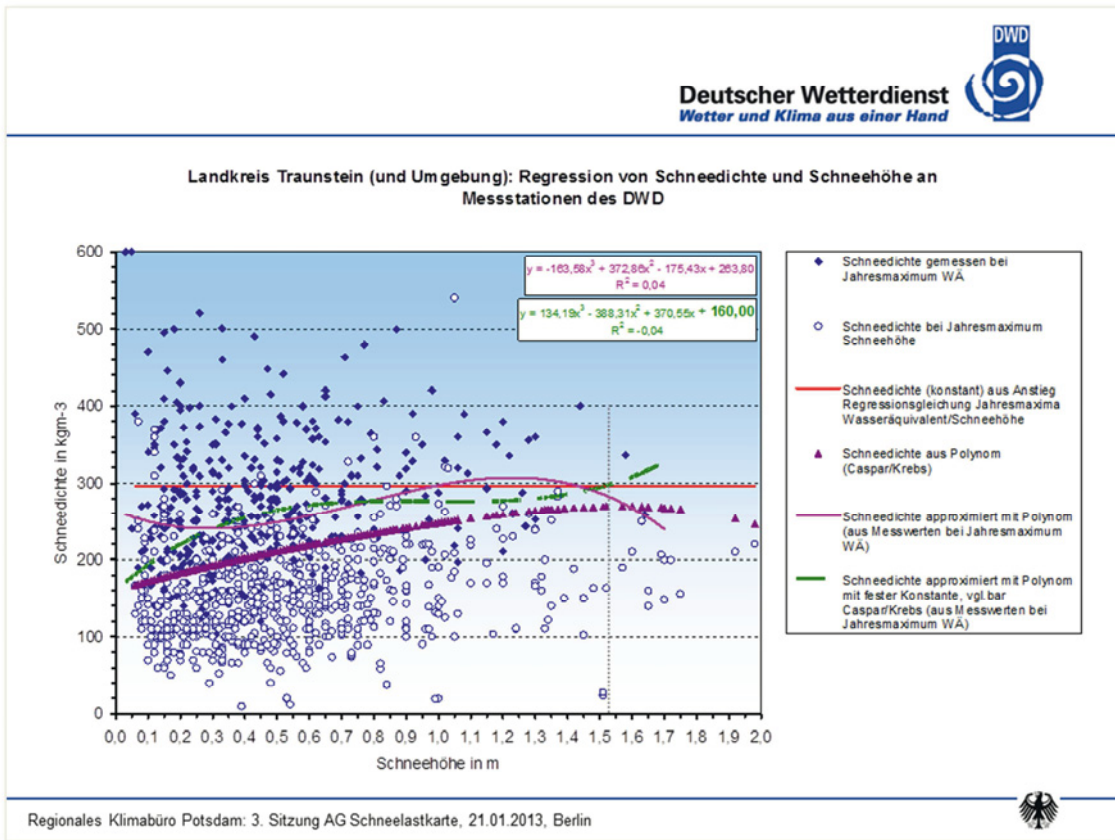
Bericht D.3



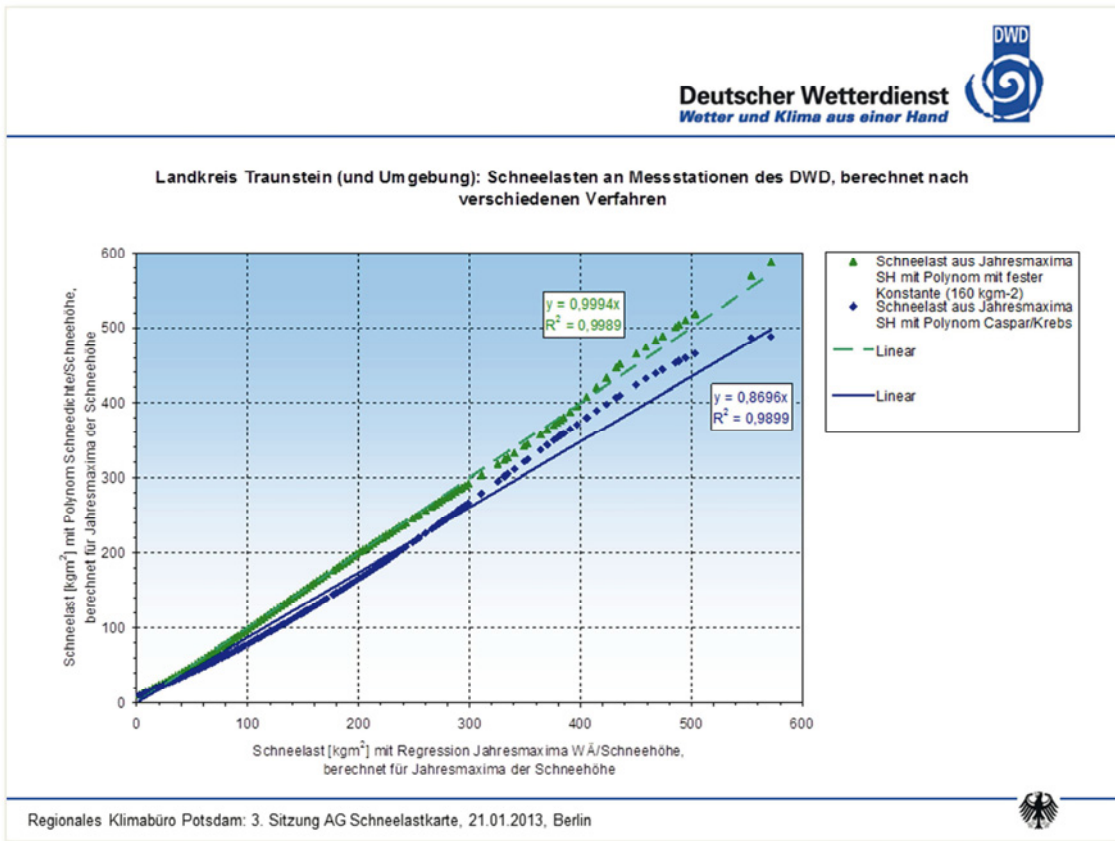
Bericht D.4



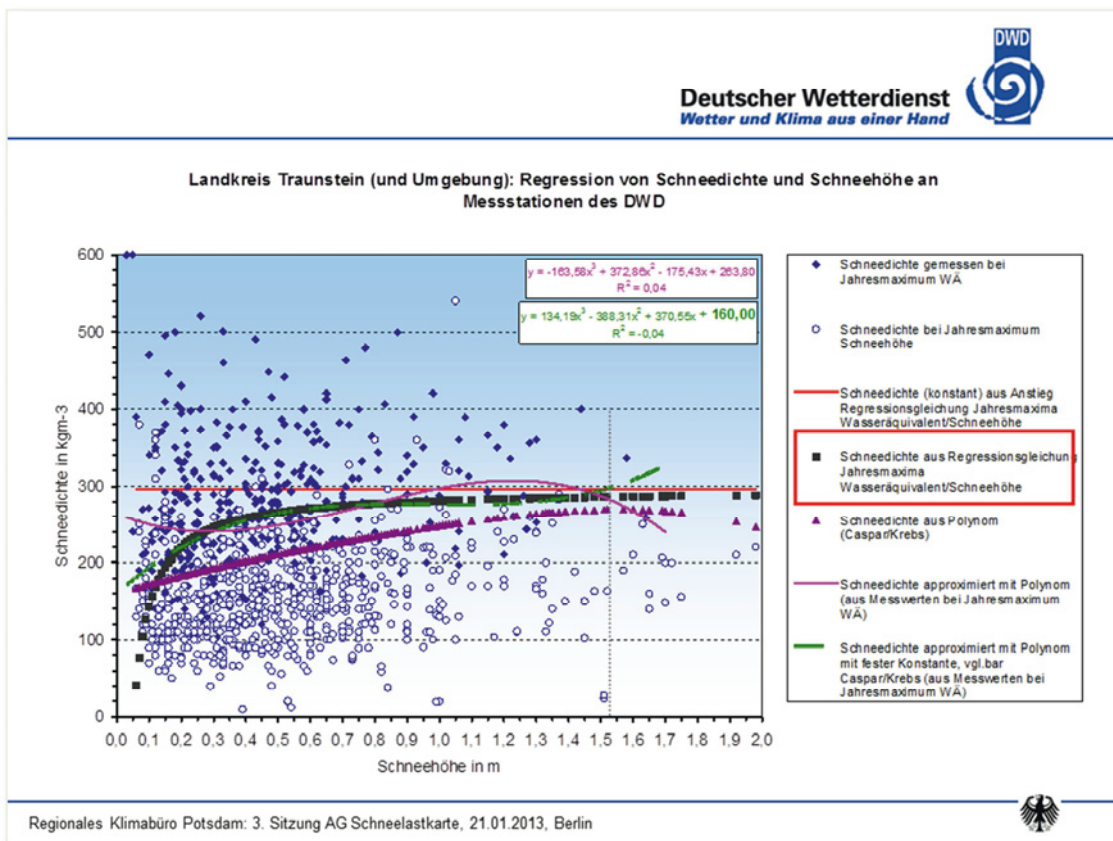
Bericht D.5



Bericht D.6



Bericht D.7



Bericht D.8

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

(1) $W\ddot{A} \text{ [mm]} = SW \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] SH \text{ [cm]}$

Regression sgleichung :

$W\ddot{A} = a SH + b$

mit (1):

!!!

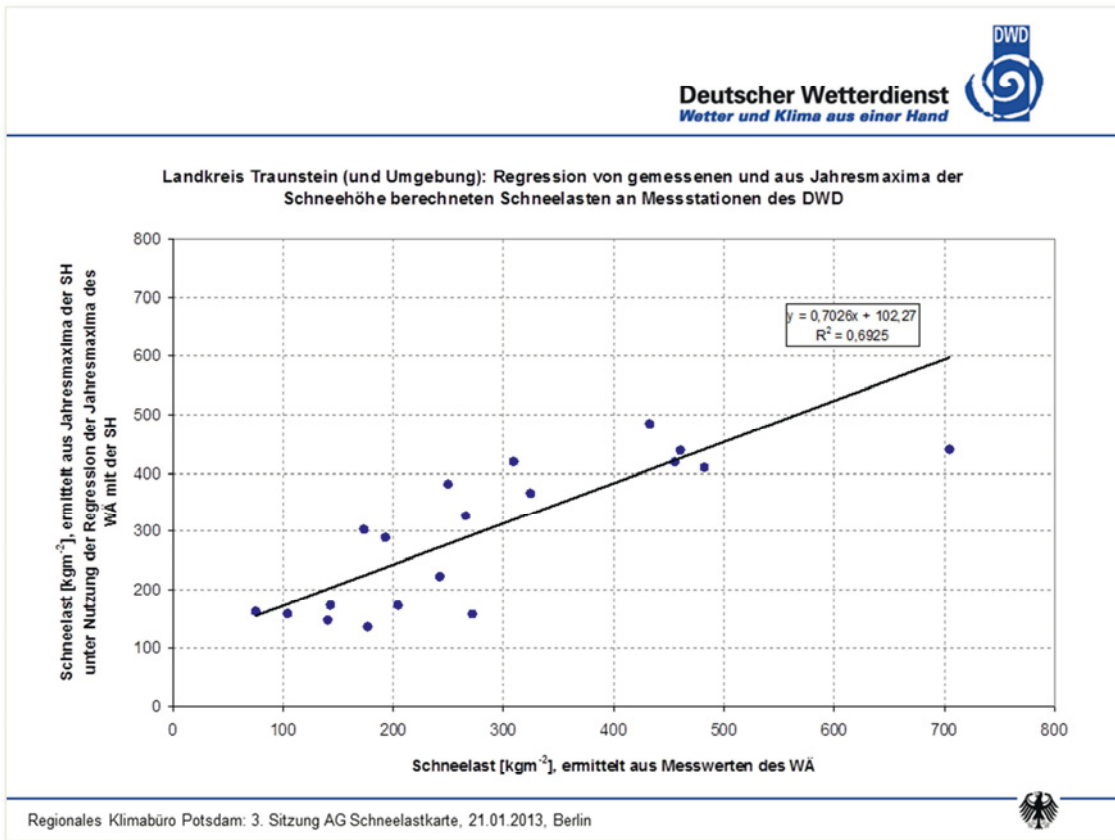
$SW = \frac{b}{SH} + a$

oder

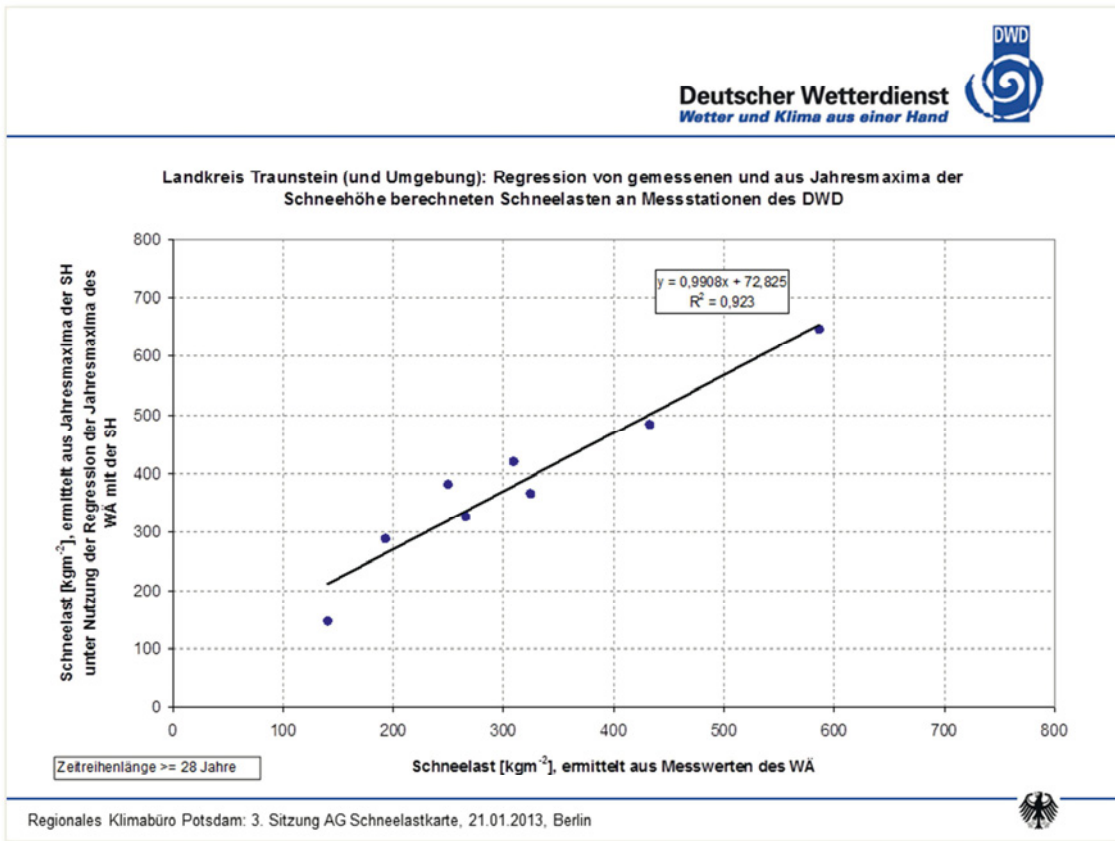
$SW = \frac{b}{SH^2} SH + a$

Regionales Klimabüro Potsdam: 3. Sitzung AG Schneelastkarte, 21.01.2013, Berlin

Bericht D.9

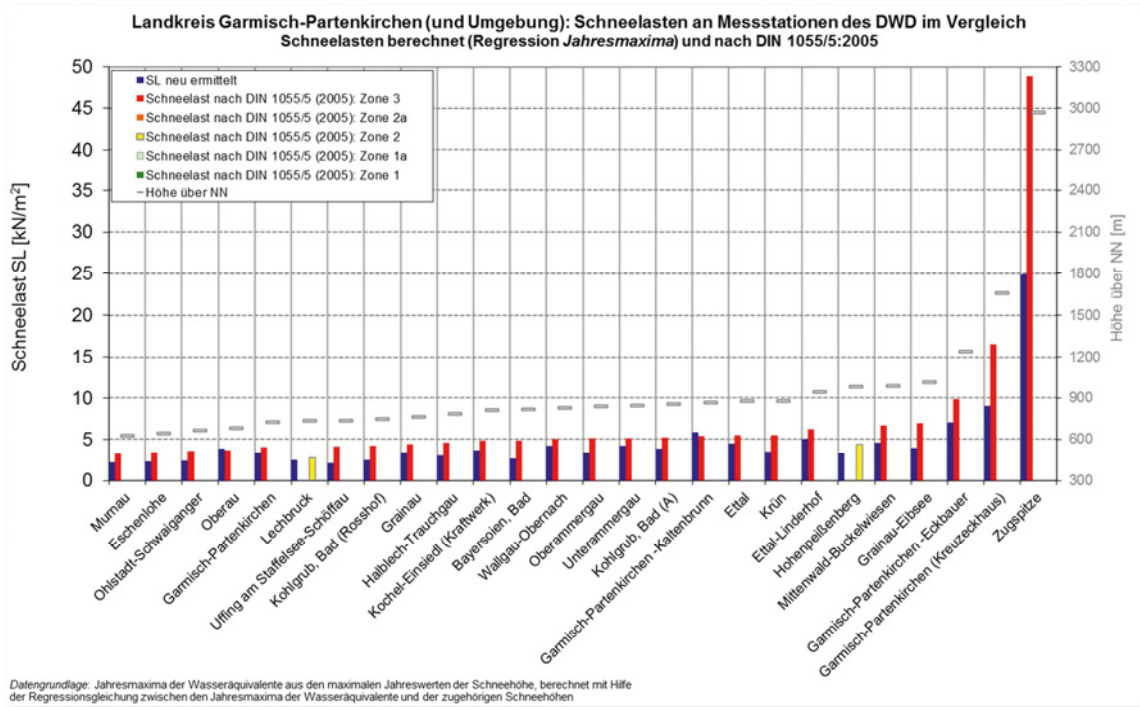


Bericht D.10

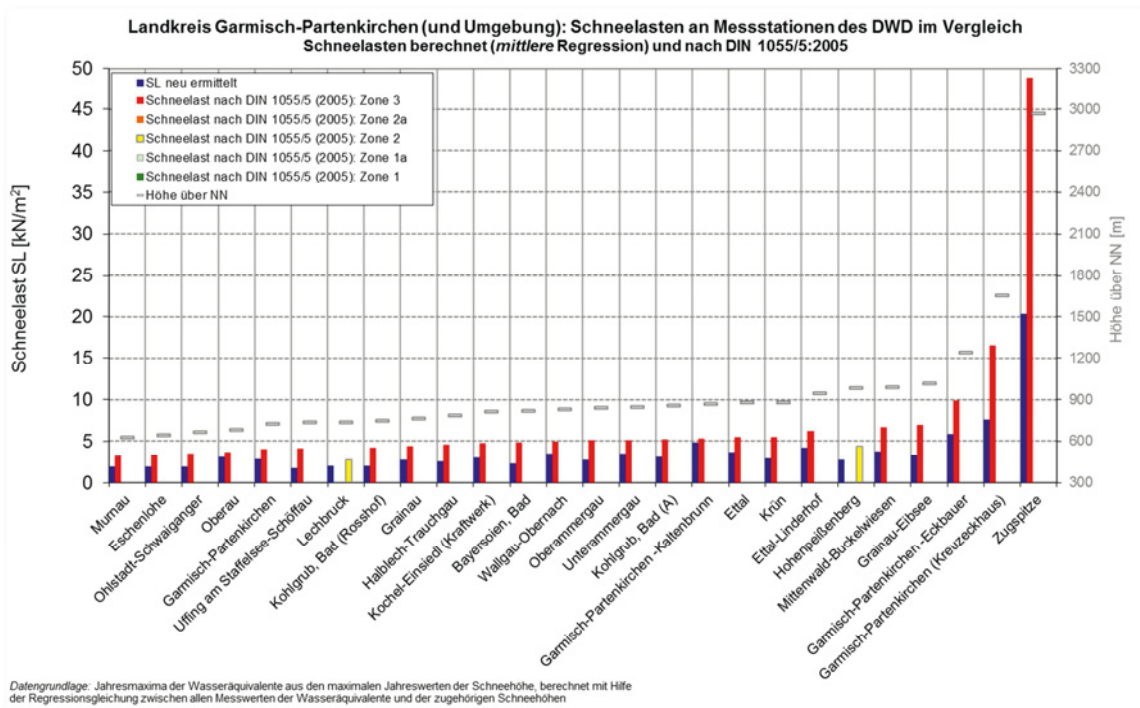


Anhang E. Ergebnisse der Extremwertanalysen zur Bestimmung der charakteristischen Schneelasten in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Oberallgäu (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)

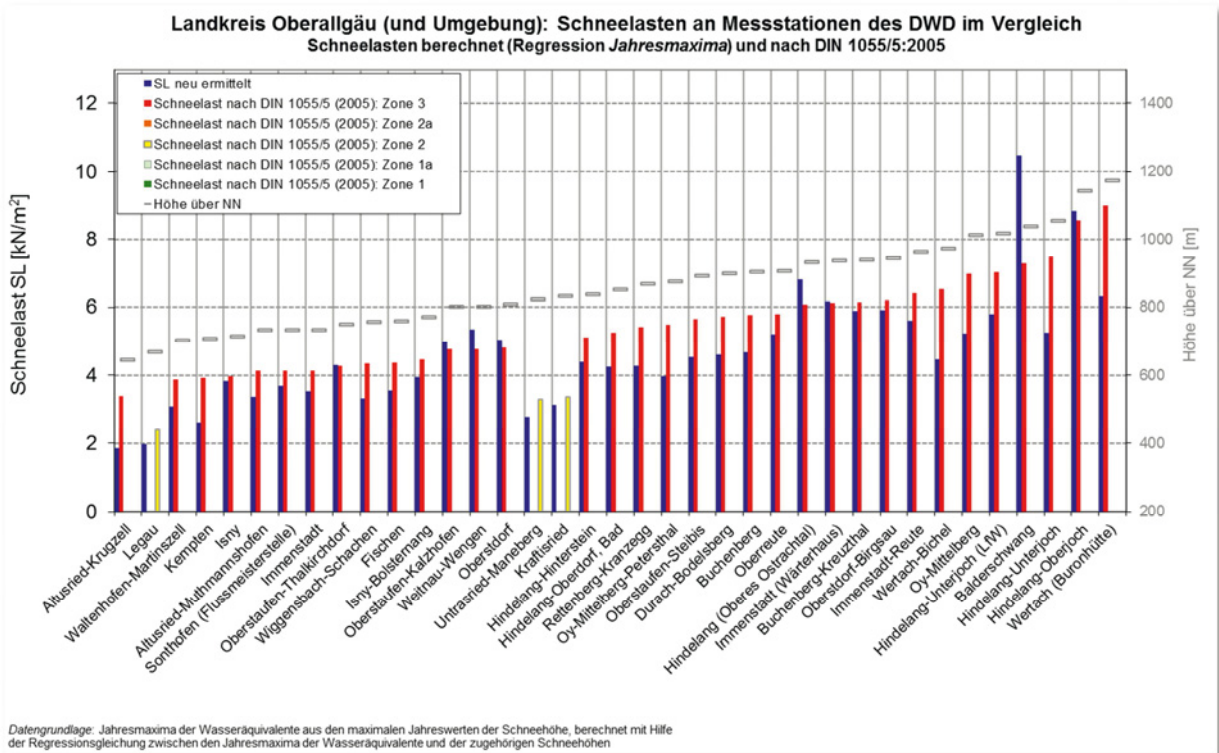
Bericht E.1 Landkreis Garmisch-Partenkirchen (und Umgebung): Berechnete Schneelasten an Messstationen des DWD (Regression Jahresmaxima) im Vergleich zu Werten nach DIN 1055-5:2005



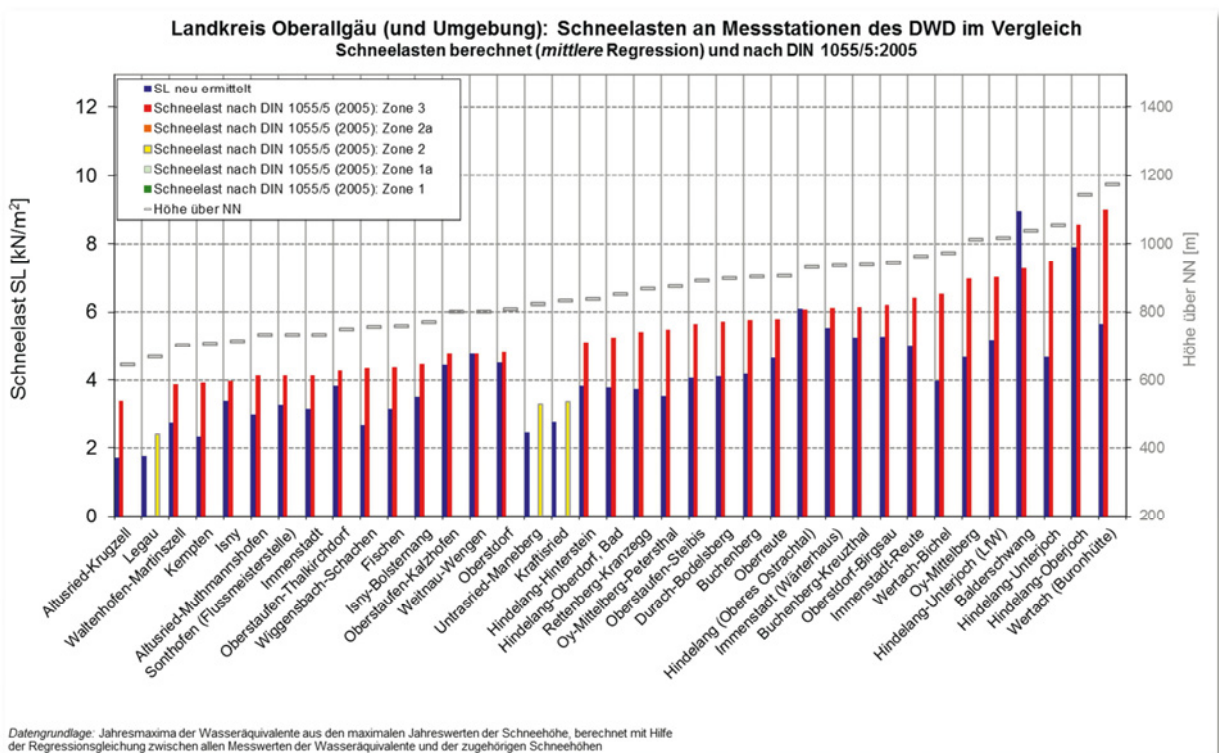
Bericht E.2 Landkreis Garmisch-Partenkirchen (und Umgebung): Berechnete Schneelasten an Messstationen des DWD (mittlere Regression) im Vergleich zu Werten nach DIN 1055-5:2005



Bericht E.3 Landkreis Oberallgäu (und Umgebung): Berechnete Schneelasten an Messstationen des DWD (Regression Jahresmaxima) im Vergleich zu Werten nach DIN 1055-5:2005



Bericht E.4 Landkreis Oberallgäu (und Umgebung): Berechnete Schneelasten an Messstationen des DWD (mittlere Regression) im Vergleich zu Werten nach DIN 1055-5:2005



Anhang F. Charakteristische Schneelasten s_k und zugehörige untere und obere Grenzen des 68%-Konfidenzintervalls s_{ku} bzw. s_{ko} , ermittelt aus Schneehöhen mit Hilfe der Regression Jahresmaxima an Messstationen des DWD im Landkreis Passau unter Verwendung von Messwerten aus n Jahren

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm ⁻²)	s_{ku} (kNm ⁻²)	s_{ko} (kNm ⁻²)
Aldersbach-Kriestorf	50	1,117	0,993	1,241
Bad Birnbach	30	1,098	0,936	1,260
Büchlberg-Kammerwetzdorf	16	2,146	1,753	2,539
Dietersburg	32	1,264	1,086	1,442
Egglham	27	1,003	0,853	1,153
Eging am See-Burgstall	32	2,065	1,770	2,360
Eichendorf	27	1,200	1,000	1,400
Ering	34	1,273	1,102	1,444
Fürstenzell-Höhenstadt,Bad	28	1,164	0,978	1,350
Füssing,Bad-Voglöd	43	1,372	1,195	1,549
Grainet-Rehberg	54	4,324	3,884	4,764
Griesbach, Bad im Rottal-Kemading	26	1,390	1,168	1,612
Hengersberg	27	1,748	1,473	2,023
Büchlberg-Tannöd	53	2,612	2,335	2,889
Neureichenau-Duschlberg	52	6,985	6,312	7,658
Neureichenau-Klafferstraß	50	4,621	4,135	5,107
Obernzell	48	1,770	1,565	1,975
Ortenburg	32	1,213	1,044	1,382
Osterhofen	72	1,423	1,288	1,558
Passau-Maierhof	82	1,784	1,621	1,947
Passau-Oberhaus	49	1,633	1,467	1,799
Perlesreut	50	3,503	3,136	3,870
Pfarrkirchen	32	1,158	0,996	1,320
Pocking	32	1,174	0,997	1,351
Röhrnbach	79	2,591	2,362	2,820
Rotthalmünster	32	1,277	1,087	1,467
Ruderting	27	2,186	1,887	2,485
Saldenburg-Entschenreuth	26	3,641	3,059	4,223
Saldenburg-Stadl	45	2,708	2,425	2,991
Schöllnach	31	4,436	3,788	5,084
Simbach/Inn	32	1,180	1,008	1,352

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Sonnen	50	6,642	5,938	7,346
Thyrnau	27	1,991	1,712	2,270
Tittling	32	3,812	3,301	4,323
Triftern	21	1,169	0,987	1,351
Untergriesbach-Glotzing	50	3,079	2,736	3,422
Untergriesbach-Schaibing	50	2,576	2,308	2,844
Vilshofen (Schweiklberg)	44	1,198	1,062	1,334
Waldkirchen	50	3,381	3,027	3,735
Waldkirchen-Oberfrauenwald	28	7,436	6,371	8,501
Wallerfing-Neusling	27	1,261	1,055	1,467
Wegscheid	102	5,309	4,899	5,719
Windorf-Otterskirchen	32	2,070	1,774	2,366
Wittibreut	46	2,053	1,807	2,299
Fürstenzell	14	2,081	1,609	2,553
Osterhofen-Thundorf	11	1,402	1,070	1,734

Anhang G. Wie Anhang F für den Landkreis Rottal-Inn

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Aldersbach-Kriestorf	52	0,914	0,817	1,011
Arnstorf	27	0,792	0,674	0,910
Bad Birnbach	30	0,890	0,766	1,014
Bodenkirchen-Aich	73	1,199	1,089	1,309
Mehring, Kr. Altötting-Niederholz	49	1,245	1,101	1,389
Dietersburg	32	0,961	0,834	1,088
Eggenfelden	40	1,251	1,087	1,415
Egglham	27	0,817	0,702	0,932
Eging am See-Burgstall	32	1,632	1,405	1,859
Eiberg	21	1,508	1,273	1,743
Eichendorf	28	0,971	0,817	1,125
Ering	34	1,024	0,893	1,155
Falkenberg, Kr. Rottal-Inn	45	1,048	0,931	1,165
Marklkofen (Betriebsstelle Vilstalsee)	29	0,951	0,817	1,085
Fürstenzell-Höhenstadt, Bad	29	0,944	0,800	1,088
Füssing, Bad-Voglöd	44	1,101	0,965	1,237
Gangkofen (Kläranlage)	32	0,940	0,816	1,064
Geisenhausen	49	1,038	0,927	1,149
Griesbach, Bad im Rottal-Kemading	27	1,046	0,888	1,204
Pilsting-Bäckermühle	32	0,767	0,665	0,869
Haiming	26	0,897	0,758	1,036
Kröning-Leisteneck	21	0,987	0,820	1,154
Landau/Isar	44	1,113	0,965	1,261
Mamming-Schneiderberg	50	1,055	0,940	1,170
Mühldorf	58	1,141	1,023	1,259
Neumarkt-Sankt Veit (Kläranlage)	32	0,957	0,833	1,081
Loiching	32	0,816	0,700	0,932
Oberbergkirchen-Schörging	32	1,825	1,550	2,100
Ortenburg	32	0,986	0,852	1,120
Pfarrkirchen	32	0,893	0,776	1,010
Pocking	32	0,949	0,813	1,085
Reisbach-Haberskirchen	27	1,096	0,924	1,268
Reisbach-Oberhausen	42	1,333	1,157	1,509
Reischach	27	1,056	0,909	1,203

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Rotthalmünster	32	1,027	0,881	1,173
Simbach/Inn	32	0,869	0,753	0,985
Straß bei Geratskirchen	27	1,136	0,973	1,299
Triftern	21	0,945	0,806	1,084
Tüßling	32	1,012	0,871	1,153
Vilsbiburg	50	0,978	0,869	1,087
Vilshofen (Schweiklberg)	45	0,961	0,855	1,067
Wallerfing-Neusling	27	1,015	0,857	1,173
Windorf-Otterskirchen	32	1,636	1,409	1,863
Winhöring-Enhofen	24	0,910	0,766	1,054
Wittibreut	46	1,623	1,434	1,812
Wurmannsquick-Egelsberg	54	1,302	1,164	1,440
Zeilarn-Gumpersdorf	32	1,174	1,011	1,337
Fürstenzell	14	2,013	1,536	2,490
Ampfing (Kläranlage)	8	1,412	0,980	1,844
Pleiskirchen	6	1,296	0,860	1,732

Anhang H. Wie Anhang F für den Landkreis Berchtesgadener Land

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Adelholzen, Bad	26	3,264	2,823	3,705
Anger-Oberhögl	45	2,107	1,871	2,343
Anger-Stoißberg	50	7,042	6,252	7,832
Schönau am Königssee	46	3,368	2,989	3,747
Berchtesgaden-Obersalzberg	30	5,705	5,056	6,354
Berchtesgaden-Unterau	20	4,024	3,343	4,705
Bernau, Kreis Rosenheim	32	1,819	1,574	2,064
(Bischofswiesen)*	4	2,387	1,700	3,074
Bischofswiesen-Engedey	44	4,212	3,753	4,671
Bischofswiesen-Loipl	50	6,063	5,492	6,634
Bischofswiesen-Winkl	48	4,396	3,911	4,881
Chieming/Chiemsee	56	1,873	1,676	2,070
(Chieming)*	3	1,114	0,518	1,710
Chiemsee-Herrenchiemsee	32	1,591	1,370	1,812
Freilassing	32	1,551	1,339	1,763
Fridolfing	18	1,475	1,152	1,798
Traunstein-Geißing	8	3,249	2,358	4,140
Hintersee	38	3,830	3,421	4,239
Inzell	69	4,209	3,857	4,561
Lampertsham	32	2,027	1,739	2,315
Laufen/Obb.-Lebenau (Haftanstalt)	54	1,764	1,560	1,968
Marktschellenberg	54	3,661	3,281	4,041
Marktschellenberg -Ettenberg	42	5,220	4,677	5,763
Ramsau bei Berchtesgaden	35	3,502	3,067	3,937
Rauschberg bei Ruhpolding	37	13,242	11,749	14,735
Reichenhall, Bad	60	2,899	2,622	3,176
Ruhpolding	58	4,969	4,477	5,461
Ruhpolding-Seehaus	69	7,516	6,927	8,105
Schleching	69	4,254	3,868	4,640
Schneizlreuth-Ristfeucht	50	4,310	3,865	4,755
Schneizlreuth-Unterjettenberg	45	3,882	3,471	4,293
Schneizlreuth-Weißbach	46	5,312	4,738	5,886
Schwarzbachwacht	17	7,275	6,117	8,433
Siegsdorf	23	3,482	2,903	4,061

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Siegsdorf-Maria Eck	60	5,149	4,645	5,653
Grassau	73	2,270	2,075	2,465
Teisendorf	31	1,897	1,632	2,162
Teisendorf-Neukirchen	27	3,700	3,175	4,225
Traunreut-Frühling	60	2,206	1,987	2,425
Traunstein-Sparz	25	3,783	3,212	4,354
Traunstein-Axdorf	34	2,902	2,509	3,295
Truchtlaching	27	1,678	1,436	1,920
Übersee-Feldwies	55	2,275	2,036	2,514
Unterwössen-Hinterwössen	60	4,560	4,133	4,987
Waging am See	62	1,765	1,587	1,943
Reit im Winkl	108	6,476	6,075	6,877
Berchtesgaden	11	4,110	3,091	5,129
Ramsau-Schwarzeck/Schmuck	11	6,163	4,812	7,514
Ruhpolding (Kläranlage)	8	4,218	3,025	5,411
Siegsdorf-Höll	7	4,304	3,003	5,605
Berchtesgaden/Jenner	6	5,333	3,717	6,949
(Piding)*	4	1,001	0,613	1,389

()* Zeitreihe für Auswertungen zu kurz, wurde lediglich als räumliche Zusatzinformation genutzt

Anhang I. Wie Anhang F für den Landkreis Traunstein

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Adelholzen, Bad	26	3,253	2,812	3,694
Amerang-Kammer	24	1,400	1,180	1,620
Amerang-Pfaffing	16	1,363	1,107	1,619
Anger-Oberhögl	45	1,961	1,747	2,175
Anger-Stoißberg	50	6,540	5,823	7,257
Aschau	45	3,657	3,252	4,062
Aschau-Sachrang	52	6,261	5,657	6,865
Aschau-Stein	50	5,530	4,982	6,078
Schönau am Königssee	46	3,267	2,899	3,635
Berchtesgaden-Obersalzberg	30	5,693	5,044	6,342
Berchtesgaden-Unterau	20	4,012	3,331	4,693
Bernau, Kreis Rosenheim	32	1,809	1,564	2,054
Bischofswiesen-Engedey	44	4,200	3,742	4,658
Bischofswiesen-Loipl	50	6,050	5,479	6,621
Bischofswiesen-Winkl	48	4,082	3,644	4,520
Mehring, Kr. Altötting-Niederholz	46	1,449	1,271	1,627
Burgkirchen-Gendorf	19	1,107	0,905	1,309
Burgkirchen-Schönberg	28	1,471	1,233	1,709
Chieming/Chiemsee	56	1,862	1,665	2,059
Chiemsee-Herrenchiemsee	32	1,581	1,361	1,801
Endorf, Bad	31	1,845	1,586	2,104
Tacherting-Spreit	60	1,479	1,333	1,625
Frasdorf	49	2,697	2,418	2,976
Freilassing	31	1,380	1,199	1,561
Fridolfing	16	1,275	0,998	1,552
Traunstein-Geißing	8	3,238	2,347	4,129
Haag, Kreis Mühldorf	51	1,859	1,651	2,067
Haiming	24	1,095	0,906	1,284
Hintersee	38	3,818	3,409	4,227
Inzell	69	4,197	3,845	4,549
Jettenbach	28	1,257	1,069	1,445
Kirchweidach	25	1,307	1,102	1,512
Kraiburg am Inn	20	1,291	1,050	1,532
Lampertsham	32	2,017	1,729	2,305

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm ⁻²)	s_{ku} (kNm ⁻²)	s_{ko} (kNm ⁻²)
Laufen/Obb.-Lebenau (Haftanstalt)	53	1,626	1,441	1,811
Marktschellenberg	53	3,528	3,169	3,887
Marktschellenberg -Ettenberg	42	5,208	4,665	5,751
Obing	58	2,186	1,966	2,406
Prien-Stock	12	1,835	1,484	2,186
Ramsau bei Berchtesgaden	35	3,491	3,056	3,926
Raubling-Pfraundorf	48	1,450	1,286	1,614
Rauschberg bei Ruhpolding	37	13,225	11,733	14,717
Reichenhall, Bad	60	2,888	2,611	3,165
Reichertsheim	26	1,372	1,163	1,581
Riedering	24	1,454	1,228	1,680
Rosenheim	59	1,555	1,386	1,724
Ruhpolding	58	4,794	4,325	5,263
Ruhpolding-Seehaus	69	7,502	6,913	8,091
Samerberg-Geisenkam	50	3,026	2,709	3,343
Schleching	69	4,000	3,648	4,352
Schnaitsee	55	2,406	2,162	2,650
Schneizlreuth-Ristfeucht	50	4,121	3,702	4,540
Schneizlreuth-Unterjettenberg	45	3,870	3,459	4,281
Schneizlreuth-Weißbach	46	5,300	4,727	5,873
Schwarzbachwacht	17	7,261	6,104	8,418
Siegsdorf	23	3,180	2,669	3,691
Siegsdorf-Maria Eck	60	4,844	4,381	5,307
Grassau	73	2,222	2,030	2,414
Tacherting-Altenham	26	1,361	1,152	1,570
Teisendorf	31	1,734	1,496	1,972
Teisendorf-Neukirchen	27	3,363	2,908	3,818
Tittmoning	60	1,352	1,210	1,494
Traunreut-Frühling	60	2,195	1,977	2,413
Traunstein-Sparz	25	3,772	3,202	4,342
Traunstein-Axdorf	34	2,780	2,408	3,152
Trostberg	68	1,821	1,634	2,008
Truchtlaching	27	1,667	1,425	1,909
Tüßling	29	1,124	0,958	1,290
Übersee-Feldwies	55	2,189	1,960	2,418

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Unterreit-Wagenstatt	31	1,465	1,255	1,675
Unterwössen-Hinterwössen	60	4,407	3,999	4,815
Vogtareuth	42	1,528	1,339	1,717
Waging am See	61	1,733	1,559	1,907
Wasserburg	43	1,566	1,380	1,752
Wasserburg/Inn-Reisach	50	1,589	1,411	1,767
Reit im Winkl	108	6,463	6,062	6,864
Berchtesgaden	11	4,099	3,081	5,117
Ramsau-Schwarzeck/Schmuck	11	6,657	5,127	8,187
Ruhpolding (Kläranlage)	7	4,191	3,045	5,337
Siegsdorf-Höll	7	4,391	3,047	5,735
Berchtesgaden/Jenner	6	5,462	3,777	7,147
Rosenheim (Flussbauamt)	21	1,970	1,629	2,311

Anhang J. Wie Anhang F für den Landkreis Miesbach

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Aying-Kleinhelfendorf	21	2,979	2,456	3,502
Bayrischzell	45	5,097	4,533	5,661
Brannenburg-Degerndorf	50	2,277	2,014	2,540
Brünsteinhaus	40	9,109	8,163	10,055
Egling/Isar-Thanning	32	2,461	2,129	2,793
Feilnbach, Bad	50	2,001	1,784	2,218
Feldkirchen-Westerham -Vagen	21	1,313	1,097	1,529
Fischbachau-Birkenstein	45	4,077	3,651	4,503
Fischbachau-Schreiern	45	2,810	2,504	3,116
Fischhausen bei Schliersee	65	3,792	3,462	4,122
Flintsbach/Inn-Asten	45	6,119	5,481	6,757
Feldkirchen-Westerham-Lenzmühle	47	1,818	1,619	2,017
Hausham-Grub	45	3,684	3,296	4,072
Holzkirchen	29	2,651	2,283	3,019
Holzkirchen/Oberbayern -Leithen	29	4,624	3,976	5,272
Irschenberg-Kasthub	43	2,980	2,647	3,313
Kreuth	26	5,909	5,043	6,775
Kreuth (A)	85	5,791	5,390	6,192
Kreuth-Glashütte	55	7,138	6,548	7,728
Lenggries	57	3,267	2,955	3,579
Lenggries-Fall	87	5,382	5,011	5,753
Nesseltal bei Bayrischzell	14	6,511	5,423	7,599
Kiefersfelden-Gach	66	3,457	3,129	3,785
Otterfing	18	2,407	2,021	2,793
Rottach-Egern	48	3,975	3,563	4,387
Schaftlach	23	3,300	2,798	3,802
Schliersee (A)	7	3,525	2,638	4,412
Schliersee	54	3,612	3,256	3,968
Obere Firstalm/Schlierseer Berge	32	9,838	8,668	11,008
Sudelfeld	28	6,663	5,759	7,567
Sudelfeld (Polizeiheim)	25	4,237	3,698	4,776
Tatzelwurm	22	6,382	5,414	7,350
Tegernsee	45	3,249	2,881	3,617
Tölz, Bad	72	3,046	2,782	3,310

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Valley-Mühlthal	45	2,577	2,299	2,855
Valley-Schmidham	34	2,820	2,467	3,173
Waakirchen	17	3,486	2,850	4,122
Waakirchen-Demmelberg	34	4,311	3,754	4,868
Wargau-Taubenberg	38	3,327	2,946	3,708
Wendelstein	60	11,991	10,967	13,015
Wiessee, Bad-Bauer in der Au	44	6,711	6,036	7,386
Jachenau-Tannern	10	5,129	4,038	6,220
Aying (Brauerei)	6	1,779	1,202	2,356
Lenggries (Sylvenstein)	7	4,856	3,520	6,192
Miesbach (Kläranlage)	7	2,940	2,120	3,760

Anhang K. Wie Anhang F für den Landkreis Garmisch-Partenkirchen (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm ⁻²)	s_{ku} (kNm ⁻²)	s_{ko} (kNm ⁻²)
Bayersoien, Bad	74	2,675	2,455	2,895
Eschenlohe	61	2,296	2,092	2,500
Ettal	95	4,464	4,156	4,772
Ettal-Linderhof	61	5,031	4,584	5,478
Garmisch-Partenkirchen (Kreuzeckhaus)	49	8,994	8,132	9,856
Garmisch-Partenkirchen -Eckbauer	42	6,998	6,300	7,696
Garmisch-Partenkirchen -Kaltenbrunn	58	5,369	4,882	5,856
Garmisch-Partenkirchen	75	3,225	2,977	3,473
Grainau	69	3,371	3,088	3,654
Grainau-Eibsee	74	3,967	3,640	4,294
Halblech-Trauchgau	75	3,052	2,804	3,300
Hohenpeißenberg	110	3,308	3,079	3,537
Kochel-Einsiedl (Kraftwerk)	26	3,676	3,188	4,164
Kohlgrub, Bad (Rosshof)	19	2,455	2,034	2,876
Krün	65	3,498	3,196	3,800
Lechbruck	53	2,443	2,193	2,693
Mittenwald-Buckelwiesen	69	4,573	4,159	4,987
Murnau	96	2,208	2,046	2,370
Oberammergau	33	3,372	2,987	3,757
Oberau	63	3,586	3,238	3,934
Ohlstadt-Schwaiganger	46	2,361	2,101	2,621
Uffing am Staffelsee-Schöffau	61	2,083	1,884	2,282
Unterammergau	25	4,242	3,621	4,863
Wallgau-Obernach	65	4,204	3,866	4,542
Zugspitze	110	24,862	23,229	26,495
Kohlgrub, Bad (A)	44	3,807	3,391	4,223

Anhang L. Wie Anhang F für den Landkreis Oberallgäu (informativ, nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens)

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm ⁻²)	s_{ku} (kNm ⁻²)	s_{ko} (kNm ⁻²)
Altusried-Krugzell	65	1,854	1,691	2,017
Altusried-Muthmannshofen	64	3,366	3,045	3,687
Balderschwang	60	10,483	9,537	11,429
Durach-Bodelsberg	28	4,599	3,936	5,262
Buchenberg	61	4,668	4,240	5,096
Buchenberg-Kreuzthal	32	5,876	5,076	6,676
Fischen	25	3,550	2,996	4,104
Hindelang (Oberes Ostrachtal)	11	6,814	5,289	8,339
Hindelang-Hinterstein	49	4,382	3,954	4,810
Hindelang-Oberdorf, Bad	61	4,239	3,853	4,625
Hindelang-Oberjoch	17	8,815	7,114	10,516
Hindelang-Unterjoch	21	5,243	4,394	6,092
Hindelang-Unterjoch (LfW)	30	5,791	5,017	6,565
Immenstadt	101	3,536	3,289	3,783
Immenstadt (Wärterhaus)	32	6,171	5,375	6,967
Immenstadt-Reute	32	5,601	4,829	6,373
Isny	67	3,814	3,482	4,146
Isny-Bolsternang	27	3,938	3,357	4,519
Kempten	73	2,615	2,385	2,845
Legau	28	1,979	1,720	2,238
Untrasried-Maneberg	73	2,773	2,540	3,006
Oberreute	44	5,198	4,615	5,781
Oberstaufen-Kalzhofen	18	4,975	4,067	5,883
Oberstaufen-Steibis	9	4,532	3,575	5,489
Oberstaufen-Thalkirchdorf	48	4,289	3,852	4,726
Oberstdorf	75	5,032	4,625	5,439
Oberstdorf-Birgsau	25	5,897	5,020	6,774
Oy-Mittelberg	44	5,220	4,642	5,798
Oy-Mittelberg-Petersthal	17	3,963	3,306	4,620
Rettenberg-Kranzegg	32	4,283	3,723	4,843
Sonthofen (Flussmeisterstelle)	60	3,673	3,340	4,006
Kraffisried	64	3,128	2,826	3,430
Waltenhofen-Martinszell	55	3,098	2,788	3,408

Stationsname	n (Jahre)	s_k (kNm⁻²)	s_{ku} (kNm⁻²)	s_{ko} (kNm⁻²)
Weitnau-Wengen	56	5,331	4,783	5,879
Wertach-Bichel	59	4,460	4,038	4,882
Wertach (Buronhütte)	23	6,299	5,376	7,222
Wiggensbach-Schachen	51	3,321	2,943	3,699

Anhang M. Neuordnung der Schneelastzonen zu den Gemeinden auf der Grundlage der im Forschungsvorhaben ermittelten interpolierten und generalisierten Raster charakteristischer Schneelasten (Regression Jahresmaxima) und Vergleich mit den Schneelastzonen der DIN 1055-5:2005

Gemeinde	Landkreis	Schneelastzone DIN 1055-5:2005	Schneelastzone NEU
Ainring	Berchtesgadener Land	3	2a
Anger	Berchtesgadener Land	3	2a
Bad Reichenhall	Berchtesgadener Land	3	3
Bayerisch Gmain	Berchtesgadener Land	3	3
Berchtesgaden	Berchtesgadener Land	3	3
Bischofswiesen	Berchtesgadener Land	3	3
Bischofswiesener Forst	Berchtesgadener Land	3	3
Eck	Berchtesgadener Land	3	3
Forst Sankt Zeno	Berchtesgadener Land	3	3
Freilassing	Berchtesgadener Land	3	2a
Laufen	Berchtesgadener Land	3	2a
Marktschellenberg	Berchtesgadener Land	3	3
Piding	Berchtesgadener Land	3	2a
Ramsau b. Berchtesgaden	Berchtesgadener Land	3	3
Saaldorf-Surheim	Berchtesgadener Land	3	2a
Schellenberger Forst	Berchtesgadener Land	3	3
Schneizlreuth	Berchtesgadener Land	3	3a
Schönau a. Königssee	Berchtesgadener Land	3	3
Teisendorf	Berchtesgadener Land	3	3
Bad Bayersoien	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Bad Kohlgrub	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Eschenlohe	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Ettal	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Ettaler Forst	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Farchant	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Garmisch-Partenkirchen	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Grainau	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Großweil	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Krün	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Mittenwald	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Murnau a. Staffelsee	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Oberammergau	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Oberau	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Ohlstadt	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Riegsee	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Saulgrub	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Schwaigen	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Seehausen a. Staffelsee	Garmisch-Partenkirchen	3	2

Gemeinde	Landkreis	Schneelastzone DIN 1055-5:2005	Schneelastzone NEU
Spatzenhausen	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Uffing a. Staffelsee	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Unterammergau	Garmisch-Partenkirchen	3	2
Wallgau	Garmisch-Partenkirchen	3	2a
Bad Wiessee	Miesbach	3	3a
Bayrischzell	Miesbach	3	3a
Fischbachau	Miesbach	3	2
Gmund a. Tegernsee	Miesbach	3	2a
Hausham	Miesbach	3	2
Holzkirchen	Miesbach	3	2a
Irschenberg	Miesbach	3	2
Kreuth	Miesbach	3	3a
Miesbach	Miesbach	3	2
Otterfing	Miesbach	3	2
Rottach-Egern	Miesbach	3	3
Schliersee	Miesbach	3	2a
Tegernsee	Miesbach	3	2a
Valley	Miesbach	3	2a
Waakirchen	Miesbach	3	2a
Warngau	Miesbach	3	2a
Weyarn	Miesbach	3	2
Altusried	Oberallgäu	3	2a
Balderschwang	Oberallgäu	3	3
Betzigau	Oberallgäu	3	2a
Blaichach	Oberallgäu	3	2a
Bolsterlang	Oberallgäu	3	2a
Buchenberg	Oberallgäu	3	2a
Burgberg i. Allgäu	Oberallgäu	3	2a
Dietmannsried	Oberallgäu	2	2
Durach	Oberallgäu	3	2a
Fischen i. Allgäu	Oberallgäu	3	2a
Haldenwang	Oberallgäu	2	2
Hindelang	Oberallgäu	3	3
Immenstadt i. Allgäu	Oberallgäu	3	3
Kempter Wald	Oberallgäu	3	2a
Lauben	Oberallgäu	2	2
Missen-Wilhams	Oberallgäu	3	3
Obermaiselstein	Oberallgäu	3	2a
Oberstaufen	Oberallgäu	3	3
Oberstdorf	Oberallgäu	3	3
Ofterschwang	Oberallgäu	3	2a
Oy-Mittelberg	Oberallgäu	3	2a

Gemeinde	Landkreis	Schneelastzone DIN 1055-5:2005	Schneelastzone NEU
Rettenberg	Oberallgäu	3	2a
Sonthofen	Oberallgäu	3	2a
Sulzberg	Oberallgäu	3	2a
Waltenhofen	Oberallgäu	3	2a
Weitnau	Oberallgäu	3	3
Wertach	Oberallgäu	3	2a
Wiggensbach	Oberallgäu	3	2a
Wildpoldsried	Oberallgäu	2	2
Aicha vorm Wald	Passau	2	>3a
Aidenbach	Passau	2	2
Aldersbach	Passau	2	2
Bad Füssing	Passau	3	2a
Bad Griesbach i. Rottal	Passau	3	2
Beutelsbach	Passau	2	2
Breitenberg	Passau	3	>3a
Büchlberg	Passau	2	3a
Eging a. See	Passau	2	>3a
Fürstenstein	Passau	2	3a
Fürstenzell	Passau	2	2a
Haarbach	Passau	3	2
Hauzenberg	Passau	3	3a
Hofkirchen	Passau	2	3
Hutthurm	Passau	2	3a
Kirchham	Passau	3	2a
Kößlarn	Passau	3	2
Malching	Passau	3	2
Neuburg a. Inn	Passau	3	2a
Neuhaus a. Inn	Passau	3	3
Neukirchen vorm Wald	Passau	2	3a
Obernzell	Passau	2	3
Ortenburg	Passau	2	2a
Passau	Passau	2	3a
Pocking	Passau	3	2a
Rotthalmünster	Passau	3	2
Ruderting	Passau	2	3a
Ruhstorf a.d. Rott	Passau	3	2a
Salzweg	Passau	2	3a
Sonnen	Passau	3	3a
Tettenweis	Passau	3	2a
Thyrnau	Passau	2	3
Tiefenbach	Passau	2	3a
Tittling	Passau	2	3a

Gemeinde	Landkreis	Schneelastzone DIN 1055-5:2005	Schneelastzone NEU
Untergriesbach	Passau	2	3
Vilshofen	Passau	2	2a
Wegscheid	Passau	3	3a
Windorf	Passau	2	3
Witzmannsberg	Passau	2	3a
Arnstorf	Rottal-Inn	2	2
Bad Birnbach	Rottal-Inn	3	2
Bayerbach	Rottal-Inn	3	2
Dietersburg	Rottal-Inn	3	2
Eggenfelden	Rottal-Inn	2	2
Egglham	Rottal-Inn	3	2
Ering	Rottal-Inn	3	2
Falkenberg	Rottal-Inn	2	2
Gangkofen	Rottal-Inn	2	2
Geratskirchen	Rottal-Inn	2	2
Hebertsfelden	Rottal-Inn	3	2
Johanniskirchen	Rottal-Inn	2	2
Julbach	Rottal-Inn	3	2
Kirchdorf a. Inn	Rottal-Inn	3	2
Malgersdorf	Rottal-Inn	2	2
Massing	Rottal-Inn	2	2
Mitterskirchen	Rottal-Inn	2	2
Pfarrkirchen	Rottal-Inn	3	2
Postmünster	Rottal-Inn	3	2
Reut	Rottal-Inn	3	2
Rimbach	Rottal-Inn	2	2
Roßbach	Rottal-Inn	2	2
Schönau	Rottal-Inn	2	2
Simbach a. Inn	Rottal-Inn	3	2
Stubenberg	Rottal-Inn	3	2
Tann	Rottal-Inn	3	2
Triftern	Rottal-Inn	3	2
Unterdietfurt	Rottal-Inn	2	2
Wittibreut	Rottal-Inn	3	2
Wurmannsquick	Rottal-Inn	3	2
Zeilarn	Rottal-Inn	3	2
Altenmarkt a.d. Alz	Traunstein	2	2
Bergen	Traunstein	3	2a
Chieming	Traunstein	2	2
Chiemsee (See)	Traunstein	2	2
Engelsberg	Traunstein	2	2
Fridolfing	Traunstein	3	2a

Gemeinde	Landkreis	Schneelastzone DIN 1055-5:2005	Schneelastzone NEU
Grabenstätt	Traunstein	3	2a
Grassau	Traunstein	3	2a
Inzell	Traunstein	3	3
Kienberg	Traunstein	2	2
Kirchanschöring	Traunstein	3	2a
Marquartstein	Traunstein	3	2a
Nußdorf	Traunstein	3	2a
Obing	Traunstein	2	2
Palling	Traunstein	2	2
Petting	Traunstein	3	2a
Pittenhart	Traunstein	2	2
Reit im Winkl	Traunstein	3	3a
Ruhpolding	Traunstein	3	3a
Schleching	Traunstein	3	3a
Schnaitsee	Traunstein	2	2
Seeon-Seebruck	Traunstein	2	2
Siegsdorf	Traunstein	3	3
Staudach-Egerndach	Traunstein	3	2a
Surberg	Traunstein	3	3
Tacherting	Traunstein	2	2
Taching a. See	Traunstein	3	2
Tittmoning	Traunstein	3	2
Traunreut	Traunstein	2	2
Traunstein	Traunstein	3	3
Trostberg	Traunstein	2	2
Übersee	Traunstein	3	2a
Unterwössen	Traunstein	3	3a
Vachendorf	Traunstein	3	3
Waging a. See	Traunstein	3	2a
Waginger See	Traunstein	3	2a
Wonneberg	Traunstein	3	2a

Anmerkungen zur Farbgebung in der Spalte „Schneelastzone NEU“:

Grün hervorgehoben sind kleinere Schneelastzonenzuordnungen im Vergleich zur DIN 1055-5:2005,

Rot hervorgehoben sind größere Schneelastzonenzuordnungen im Vergleich zur DIN 1055-5:2005.