



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 226

Im Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats, ENSI

Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Mühleberg



Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz
Klimadienste
Krähbühlstrasse 58
CH – 8044 Zürich
klimadienste@meteoschweiz.ch
www.meteoschweiz.ch

Auftraggeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, ENSI
(vor 2009 Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK)
CH – 5232 Villigen-ENSI

Projektleitung

Thomas Schlegel
Dr. Mischa Croci-Maspoli

Projektteam MeteoSchweiz

Christian Wüthrich
Dr. Stephan Bader
Dr. Simon Scherrer
Michael Begert
Dr. Sophie Fukutome
Peter Zbinden
Marc Musa
Dr. Christof Appenzeller

Externe Mitarbeiter

Kapitel 2.8 Vereisung:
Urs Steinegger, Dr. Mario Rohrer, Meteodat GmbH

Kapitel 2.9 Schnee:
Dr. Christoph Marty, WSL – Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF

Beteiligte MeteoSchweiz Fachstellen

Klimadienste, Datenservice
Klimadienste, Datenmanagement
Klimadienste, Klimaanalysen
Klimadienste, Klimainformation
Data Warehouse

Bitte zitieren Sie diesen Arbeitsbericht folgendermassen

MeteoSchweiz, 2009, Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Mühleberg, *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, 226, 136pp

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
EINLEITUNG	IV
KAPITEL 1 KLIMADATEN UND DATENQUALITÄT	1
1.1 Standortbeschreibung Mühleberg.....	1
1.2 Datengrundlage	2
1.2.1 Daten Mühleberg.....	2
1.2.2 Daten Bern/Liebefeld und Wynau	4
1.3 Methodik.....	5
1.3.1 Automatische Datenbearbeitung.....	5
1.3.2 Manuelle Datenbearbeitung.....	6
KAPITEL 2 ANALYSEN VERGANGENES KLIMA	8
2.1 Vergleich der Messdaten von Mühleberg mit umliegenden Stationen.....	8
2.1.1 Vergleich von Mühleberg mit Wynau bezüglich Temperatur	9
2.1.2 Vergleich von Mühleberg mit Wynau bezüglich Niederschlag.....	12
2.1.3 Vergleich von Mühleberg und Bern bezüglich Temperatur	15
2.1.4 Vergleich von Mühleberg und Bern bezüglich Niederschlag	18
2.2 Rekordwerte.....	21
2.2.1 Temperatur.....	21
2.2.2 Wind	24
2.2.3 Niederschlag	26
2.2.4 Feuchttemperatur und absolute Feuchte	29
2.3 Mittelwert-/Standardabweichungen	33
2.3.1 Mittlere Temperaturverhältnisse	33
2.3.2 Mittlere Windverhältnisse	35
2.3.3 Mittlerer Niederschlag	37
2.3.4 Mittlere Feuchteverhältnisse	39
2.4 Windanalysen am Standort Mühleberg.....	42
2.5 Ausbreitungsklassen	47
2.5.1 Diffusionskategorien	47
2.5.2 Vierparametrische Ausbreitungsstatistik.....	49
2.6 Gewitter- und Blitze	62
2.6.1 Grundlagen von Blitzen.....	62
2.6.2 Messdaten.....	63
2.6.3 Analyse der Blitzeinschläge	63
2.7 Hagel.....	66
2.7.1 Charakteristik von Hagel.....	66
2.7.2 Fallgeschwindigkeiten und Aufprallenergien	66

2.7.3	Die Risikoregionen	67
2.7.4	Die Auftretenshäufigkeit auf dem Gemeindegebiet des Standortes Mühleberg.....	68
2.7.5	Extremereignisse	69
2.8	Vereisung	70
2.8.1	Charakteristiken von Vereisung	70
2.8.2	Standortbeurteilung.....	74
2.8.3	Schlussfolgerungen	75
2.9	Schnee.....	76
2.9.1	Definition und Datengrundlage	76
2.9.2	Maximale Neu- und Gesamtschneehöhe	76
2.9.3	Anzahl Tage mit Schneedecke	77
2.9.4	Anzahl Tage mit Neuschnee.....	77
2.9.5	Maximale Schneelast.....	78
2.10	Tornado	80
2.10.1	Charakteristik von Tornados	80
2.10.2	Windgeschwindigkeiten und Lebensdauer	80
2.10.3	Vorkommen.....	84
2.10.4	Tornados auf dem Gebiet der Schweiz	84
2.10.5	Starke Tornado-Ereignisse in der Schweiz.....	85
2.10.6	Auftretenshäufigkeit von Tornados in der Schweiz	86
2.10.7	Änderung der Auftretenshäufigkeit durch die Klimaänderung	89
2.11	Schwere Stürme	90
2.11.1	Charakteristik von Winterstürmen.....	90
2.11.2	Windgeschwindigkeiten und Lebensdauer	91
2.11.3	Sturmtätigkeit auf dem Gebiet der Schweiz.....	91
2.11.4	Starke Sturm-Ereignisse	92
2.11.5	Extreme Ereignisse.....	93
2.11.6	Änderung der Auftretenshäufigkeit durch die Klimaänderung	93
KAPITEL 3	EXTREMWERTANALYSE.....	94
3.1	Methode.....	94
3.2	Das Gumbel-Diagramm.....	95
3.3	Niederschlag	96
3.3.1	Stündlicher Niederschlag	96
3.3.2	1-Tages Niederschlag.....	97
3.3.3	5-Tages Niederschlag.....	99
3.4	Wind.....	101
3.4.1	10-Minuten Böenspitze	101
3.4.2	10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit	103
3.4.3	Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	105
3.5	Schnee.....	107
3.5.1	1-Tages Neuschnee.....	107
3.5.2	5-Tages Neuschnee.....	109
3.5.3	Gesamtschneehöhe.....	111
KAPITEL 4	KLIMASZENARIEN	113
4.1	Historische Klimaentwicklung.....	114
4.1.1	Datengrundlage.....	114
4.1.2	Temperaturmittel	114

4.1.3	Niederschlagsmittel.....	116
4.1.4	Fazit.....	116
4.2	Zukünftige Klimaentwicklung	117
4.2.1	Allgemeine Bemerkungen	117
4.2.2	Temperaturmittel	117
4.2.3	Niederschlagsmittel.....	119
4.2.4	Weitere Grössen	119
4.2.5	Fazit.....	119
REFERENZEN.....		121
ABBILDUNGEN		125
TABELLEN.....		129
ANHANG A ELEKTRONISCHER ANHANG A.....		135
ANHANG B ELEKTRONISCHER ANHANG B.....		136

Einleitung

Die Kernkraftwerke (KKW) der Schweiz befinden sich an den vier Standorten Beznau, Gösgen, Leibstadt und Mühleberg. Ihre Auslegung und ihr Risikoprofil wird unter anderem von den standortspezifischen Gefährdungen bestimmt, von denen sich einige aus den klimatologischen Eigenschaften des Standortes ergeben. Zudem spielen die lokalen und regionalen meteorologischen Bedingungen am Standort bei der Berechnung der Ausbreitung radioaktiver Stoffen eine wichtige Rolle.

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI (vor 2009 Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK) ist die Aufsichtsbehörde des Bundes für die nukleare Sicherheit, Sicherung und den Strahlenschutz in den Kernanlagen sowie bei Transporten radioaktiver Stoffe. Innerhalb seiner Begutachtungstätigkeiten greift das ENSI bei bestimmten Themen auf unabhängige externe Expertisen zurück. Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis einer Studie, die das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, als nationaler Wetterdienst sowie international anerkanntes Kompetenzzentrum für Fragen der Meteorologie, im Auftrag des ENSI durchgeführt hat. Die Studie befasst sich mit der meteorologischen und klimatologischen Charakterisierung der vier schweizerischen KKW-Standorte. Einerseits werden die aktuellen klimatologischen/meteorologischen Eigenschaften auf Basis historischer Daten beschrieben, andererseits werden mögliche Klimaveränderungen in der Zukunft untersucht.

Die Studie wurde von MeteoSchweiz in vier Bereiche unterteilt, welche den Hauptkapiteln der Berichte entsprechen:

1. Physikalische und klimatologische Datenqualitätskontrolle,
2. Erstellung der Analysen der klimatologisch/meteorologischen Parameter,
3. Extremwertanalysen/Wiederkehrperioden,
4. Zusammenfassung bestehender Klimaszenarien für die Zukunft.

Die Studie dient dem ENSI wie auch den KKW-Betreibern als eine Grundlage für die Periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) und kann darüber hinaus auch in den Sicherheitsberichten für die Rahmenbewilligungsgesuche neuer Kernkraftwerke (an den berücksichtigten Standorten) verwendet werden.

Die Eigenschaften der vier Standorte werden in vier separaten Berichten dokumentiert, welche als Arbeitsberichte der MeteoSchweiz erscheinen.

November 2009

KAPITEL 1 Klimadaten und Datenqualität

Die Station Mühleberg (483 m ü.M.) liegt auf dem Gemeindegebiet von Mühleberg im Kanton Bern. Die klimatologischen Messwerte der Station Mühleberg erforderten eine rückbezügliche physikalische und klimatologische Datenqualitätskontrolle. Die Daten wurden auf Stufe der 10-Minutenwerte (Messauflösung) kontrolliert und überarbeitet. Bei allen Messreihen waren mehr als 98.8% der 10-Minutendaten von guter Qualität und weiter verwendbar. Aus den kontrollierten und bereinigten 10-Minuten Datensätzen wurden Stundenwerte aggregiert.

1.1 Standortbeschreibung Mühleberg

Die Station Mühleberg (483 m ü.M.) liegt auf dem Gemeindegebiet von Mühleberg in einer Tallage am Flusslauf der Aare. Der Meteomast weist die Landeskoordinaten 587788/202478 auf und befindet sich ca. 800 m nordöstlich der eigentlichen Kernkraftanlage (auf LK 1:25 000 Bern, Gebiet Niderruntige). In unmittelbarer Umgebung der Messstation befinden sich zahlreiche Hochspannungsmasten. Klimatologisch betrachtet befindet sich der Messstandort in der Klimaregion „zentrales Mittelland“ [1]. Aus dieser Klimaregion wurden als Vergleichsstationen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz die Standorte Bern/Liebefeld (565 m ü.M.) und Wynau (422 m ü.M.) gewählt (Abbildung 1.1).

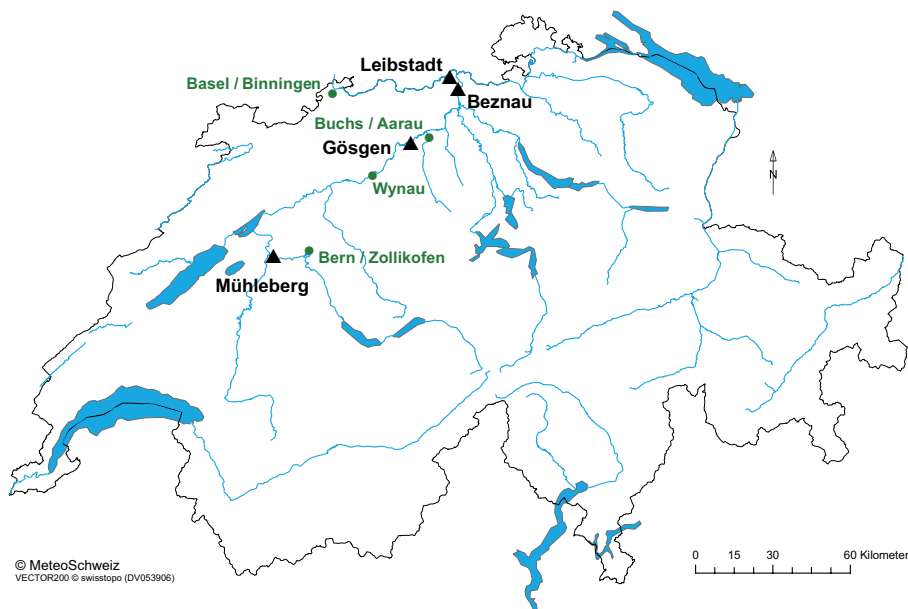


Abbildung 1.1: KKW-Standorte (schwarz) und Vergleichsstationen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz (grün).

Für eine klimatologische Einordnung der Station in den globalen Klimakontext kann auf die weitverbreitete Klimaklassifikation nach Köppen [2] zurückgegriffen werden. Gemäss dieser Einteilung kann das gesamte Mittelland der Alpennordseite als „feuchtgemässigttes Klima mit warmen Sommern“ eingestuft werden. Also in ein Klima mit regelmässigen Niederschlägen und einem mässig ausgeprägten Jahresgang der Temperatur. Für die Auswertungen im vorliegenden Bericht werden folgende Klimagrössen der Station Mühleberg verwendet:

- Niederschlag: gemessen auf einer Höhe von 1.5 m über Grund (Messwippe).
- Temperatur: gemessen am Meteomast auf 10 m und 110 m über Grund.
- Windgeschwindigkeit und –richtung: gemessen am Meteomast auf 10 m und 110 m über Grund.

Zukünftig sollen die bestehenden Meteomasten durch CN-Met (Centrale Nucléaire et METéorologie) abgelöst werden. Ein wesentlicher Bestandteil des CN-Met ist ein neues Bodenmessfeld. Dieses wurde im Frühjahr 2008 offiziell eingeführt und befindet sich ca. 15 m nordwestlich des Meteomastes. Weitere Informationen zu CN-Met sind zu finden unter:

<http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/forschung/projekte/cn-met.html>

1.2 Datengrundlage

Für diesen Bericht werden die Daten der MeteoSchweiz Messstationen von Mühleberg, Bern/Liebefeld und Wynau verwendet und nachfolgend ausführlich beschrieben. Zusätzlich werden Blitzdaten, Häufigkeiten von Tornados und Klimaszenarien analysiert, welche in den jeweiligen Kapiteln näher vorgestellt werden. In den Kapitel 2.2 und 2.3 werden nur jene Jahre ausgewertet die über Messungen während des ganzen Kalenderjahrs verfügen. In den übrigen Kapiteln werden die Daten seit Messbeginn ausgewertet.

1.2.1 Daten Mühleberg

Bei der Messstation Mühleberg werden die automatisch gemessenen 10-Minutenmessreihen verwendet (Tabelle 1.1). Der Messstandort Mühleberg misst Bodenmessdaten (Niederschlag und Wind) und Turmdata auf 10 m, 40 m und 110 m (Temperatur und Wind). Die Temperaturdatenreihe des 40 m Turmniveaus wurde nicht ausgewertet. Abgesehen von der Niederschlagsmessreihe wird bei allen Datenreihen am 01.02.1987 mit 10-Minutenmessungen begonnen. In Bezug auf die total vorhandenen Daten seit 1987 (ca. 1.1 Mio. Datenwerte) sind bei allen Parametern jeweils weniger als 1.2% fehlerhaft (NA = Not Available). Anzumerken ist, dass die angegebenen fehlenden Werte (NA) pro Reihe sich auf den Zeitpunkt nach der Datenbearbeitung (vgl. Kapitel 1.3) beziehen.

Station	Parameter	Einheit	Höhe	Messperiode	NA	% NA
Mühleberg	Niederschlag	mm	1.5 m	01.02.1987-31.12.2007	2789	0.25
	Temperatur	°C	10 m	01.02.1987-31.12.2007	4137	0.37
	Temperatur	°C	60 m	01.02.1987-31.12.2007	4670	0.42
	Temperatur	°C	110 m	01.02.1987-31.12.2007	9569	0.86
	Windgeschw.	m/s	10 m	01.02.1987-31.12.2007	12468	1.13
	Windgeschw.	m/s	110 m	01.02.1987-31.12.2007	5641	0.51
	Böenspitze	m/s	10 m	01.02.1987-31.12.2007	6699	0.61
	Böenspitze	m/s	110 m	01.02.1987-31.12.2007	4701	0.42
	Windrichtung	°	10 m	01.02.1987-31.12.2007	12901	1.16
	Windrichtung	°	110 m	01.02.1987-31.12.2007	6063	0.55

Tabelle 1.1: Übersicht der gemessenen Parameter, der Messhöhe, der Messperiode und der fehlenden Werte (NA; absolut und relativ) der 10-Minutenmessreihen der Station Mühleberg. Die Anzahl NA's entsprechen der Anzahl fehlenden Werten nach der Datenbearbeitung.

Die Granularität „Stunde“ wurde aus den 10-Minutenwerten aggregiert, dazu wurden die Aggregationsformeln aus Tabelle 1.2 verwendet. Die Stundenwerte für alle Parameter wurden aus den 10-Minutenterminen X.50 bis Y.40 berechnet. Beispielsweise wurde der Stundenwert 17.00 Uhr aus den 10-Minutenterminen 16.50 bis 17.40 aggregiert. Der Tabelle 1.3 sind die Angaben zu den verwendeten Messinstrumenten (Installation und Parameter-Kurzname) zu entnehmen.

Parameter	Aggregationsmethode	Aggregationsformel
Temperatur Windgeschwindigkeit	Arithmetisches Mittel	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Niederschlag	Summe	$sum = \sum_{i=1}^n x_i$
Böenspitze	Maxima	$max = \max(z_1, \dots, z_n)$
Windrichtung	Berechnung aus Nord- und Ostkomponente	$d = \frac{180}{\pi} a \tan\left(\frac{u}{v}\right)$

Tabelle 1.2: Übersicht der Aggregationsmethode von 10-Minutenwert zu Stundenwert und der Aggregationsformel pro Parameter [3].

Station	Parameter	Installation	Höhe	Parameter „10min“	Parameter „Stunde“
Mühleberg	Niederschlag	4950	1.5 m	rre150z0; 93	rre150h0; 267
	Temperatur	4954	10 m	ta2tows0; 112	ta2towh0; 773
	Temperatur	4959	110 m	ta2tows0; 112	ta2towh0; 773
	Böenspitze	4998	10 m	fk1010z1; 101	fk1010h1; 270
	Böenspitze	4956	110 m	fk1towz1; 566	fk1towh1; 778
	Windgeschw.	4998	10 m	fve010z0; 195	fk1010h0; 283
	Windgeschw.	4956	110 m	fv1towz0; 577	fk1towh0; 774
	Windrichtung	4998	10 m	dk1010z0; 197	dk1010h0; 282
	Windrichtung	4956	110 m	dv1towz0; 578	dk1towh0; 776

Tabelle 1.3: Übersicht der Messinstrumente: Parameter, Installation, Messhöhe und Parameter-Kurznamen der verwendeten Messreihen der Station Mühleberg.

1.2.2 Daten Bern/Liebefeld und Wynau

Für die Auswertungen werden zusätzlich Niederschlags-, Temperatur-, Wind- und Schneedatenreihen sowie berechnete Daten zur Feuchttemperatur und zur absoluten Feuchte von Bern/Liebefeld und Wynau beigezogen (vgl. Kapitel 2.1, 2.2 und 3). Die Daten der Feuchttemperatur und der absoluten Feuchte entstammen dem Merkblatt 2028 des Schweizerischen Ingenieurs- und Architektenvereins (SIA) [4]. Bei den übrigen Daten handelt es sich bei beiden Stationen um die geprüften Originalmessdaten. Tabelle 1.4 enthält Angaben zur Masterinstallation und den Parameter-Kurznamen der beiden Stationen. Tabelle 1.5 gibt Auskunft über die Messhöhe und den Messbeginn pro Parameter der Stationen Bern/Liebefeld und Wynau.

Station	Parameter	Master-installation	Parameter „Stunde“	Parameter „Tag“
Bern/Liebefeld	Temperatur	2791	tre200h0	tre200d0
	Niederschlag	2793	rre150h0	rre150d0
	Windgeschw.	2801	fk1010h0	fk1010d0
	Böenspitze	2801	fk1010h1	fk1010d1
Wynau	Temperatur	1251	tre200h0	tre200d0
	Niederschlag	1253	rre150h0	rre150d0
	Windgeschw.	1260	fk1010h0	fk1010d0
	Böenspitze	1260	fk1010h1	fk1010d1
	Rel. Feuchte	1251	ure200h0	ure200d0

Tabelle 1.4: Übersicht der Messinstrumente: Parameter, Masterinstallation und Parameter-Kurznamen der verwendeten Messreihen der Stationen Bern und Wynau.

Station	Parameter	Einheit	Höhe	Messbeginn
Bern/Liebefeld	Niederschlag	[mm/h]	1.5 m	01.01.1864
		[mm/d]	1.5 m	01.01.1981
	Temperatur	Tagesmittel [°C]	2 m	01.01.1864
	Windgeschw.	Stundenmittel [m/s]	10 m	01.01.1981
	Böenspitze	[m/s]	10 m	01.01.1981
	Neuschnee	[cm/d]	0 m	01.01.1931
	Gesamtschnee	[cm]	0 m	01.01.1931
	Feuchttemp.	[°C]	-	01.01.1984
	Abs. Feuchte	[g/kg]	-	01.01.1984
Wynau	Niederschlag	[mm/h]	1.5 m	22.05.1981
		[mm/d]	1.5 m	23.05.1981
	Temperatur	Tagesmittel [°C]	2 m	23.05.1981
	Windgeschw.	Stundenmittel [m/s]	10 m	22.05.1981
	Böenspitze	[m/s]	10 m	22.05.1981
	Neuschnee	[cm/d]	0 m	01.07.1981
	Gesamtschnee	[cm]	0 m	01.07.1981
	Feuchttemp.	[°C]	-	01.01.1984
	Abs. Feuchte	[g/kg]	-	01.01.1984
	Rel. Feuchte	[%]	2 m	01.01.1981

Tabelle 1.5: Übersicht der Messhöhe und des Messbeginns der Stationen Bern/Liebefeld und Wynau geordnet nach Parameter. Die berechneten Daten der Feuchttemperatur und der absoluten Feuchte entstammen einem Bericht des schweizerischen Ingenieurs- und Architektenvereins (SIA) [4] und decken den Zeitraum 01.01.1984 bis 31.12.2003 ab.

1.3 Methodik

Die Datenqualitätskontrolle erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurden die digital archivierte Datenreihen mit dem automatischen Datenbearbeitungsprogramm PuMAB der MeteoSchweiz überprüft. Die Abkürzung PuMAB steht für „Prüfung und Mutation – Automatische Bearbeitung“. Das Verfahren ist bei MeteoSchweiz seit 2004 im Routinebetrieb implementiert. Zusätzlich zur automatischen Überprüfung wurden die Datenreihen anschliessend manuell kontrolliert. Fehlerhafte Werte wurden gelöscht. Es wurden keine Datenlücken interpoliert.

1.3.1 Automatische Datenbearbeitung

Die automatische Datenbearbeitung erfolgt mit dem Datenbearbeitungsprogramm von MeteoSchweiz, dem PuMAB. Die automatische Bearbeitung hat zum Ziel physikalisch unmögliche und zweifelhafte Werte u.a. mittels Limitentests automatisch zu erkennen und zu markieren. Dabei wird zwischen harten und weichen Limiten unterschieden, welche je nach Standort und Parameter unterschiedlich definiert

sind. Verletzt ein Messwert eine harte Limite wird er als „unmöglich“ markiert. Datenwerte, die weiche Limiten verletzen werden als „zweifelhaft“ markiert und anschliessend manuell überprüft. Eine weitere Funktion des PuMAB markiert Datenperioden als zweifelhaft, die über längere Zeit dieselben Werte aufweisen. Durch die automatische Datenbearbeitung werden Werte grundsätzlich nur gekennzeichnet, nicht aber gelöscht oder interpoliert. Das Löschen und eine mögliche Interpolation erfolgt ausschliesslich in der manuellen Datenbearbeitung. Im Rahmen der Kontrolle der KKW-Stationsdaten wurden die Limitentests des PuMAB zum Markieren von unmöglichen und zweifelhaften Werten verwendet.

1.3.2 Manuelle Datenbearbeitung

Ergänzend zur Datenüberprüfung durch PuMAB wurden die Datenreihen manuell bearbeitet. Unter manueller Datenbearbeitung wird das Überprüfen der Datenreihen mittels spezifisch programmierten Anwendungen verstanden, die ansonsten nicht standardmässig an der MeteoSchweiz verwendet werden. Das manuelle Bearbeiten der Messdatenreihen hatte zum Ziel, die vom PuMAB als unmöglich und oder zweifelhaft markierten Werte zu überprüfen und gegebenenfalls zu löschen. Auf Interpolationen wird im Rahmen der Datenbereitstellung verzichtet. Zudem sollen zusätzliche unplausible Datenwerte detektiert und wenn nötig entfernt werden. Das manuelle Verfahren umfasst einerseits zusätzliche Limitentests und andererseits graphische Hilfsmittel. Analog zu PuMAB wurden ein harter und ein weicher Limitentest durchgeführt. Datenwerte die eine harte Limite verletzen mussten als physikalisch unmöglich betrachtet werden und wurden gelöscht. Im Zweifelsfall wurden fragliche Datenwerte mit der Messreihe einer Nachbarstation verglichen. Als Referenzreihen dienten die Messdaten der Stationen Bern und Wynau. Die Tabelle 1.6 gibt Auskunft über die festgelegten oberen und unteren harten Limiten je Parameter. Es wurden für alle Stationen dieselben Limiten verwendet.

Parameter	Einheit	Untere Limite	Obere Limite
Temperatur	°C	- 40	+ 40
Windgeschwindigkeit	m/s	0	80
Windrichtung	°	0	360
Niederschlag	mm	0	25

Tabelle 1.6: Untere und obere harte Limiten für die manuelle Bearbeitung der 10-Minutenwerte.

Datenwerte, welche die weiche Limite verletzen, wurden ebenfalls mittels Referenzreihen kontrolliert und entweder gelöscht oder bestätigt. Die Tabelle 1.7 zeigt die verwendeten Werte der weichen Limiten. Für den Parameter Windrichtung waren weiche Limiten hinfällig, da nur die absoluten Grenzen 0° bzw. 360° möglich sind.

Parameter	Einheit	Untere Limite	Obere Limite
Temperatur	°C	- 27	+ 35
Windgeschwindigkeit	m/s	0	37
Niederschlag	mm	0	17.5

Tabelle 1.7: Untere und obere weiche Limiten für die manuelle Bearbeitung der 10-Minutenwerte.

Nachdem die durch PuMAB markierten und durch die manuellen Tests in Frage gestellten Datenwerte analysiert, kontrolliert und gegebenenfalls gelöscht wurden, halfen graphische Darstellungen über die Qualität der Datenreihen zu befinden. Abbildung 1.2 zeigt ein Beispiel für die Datenbearbeitung. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte vor und nach der Datenbearbeitung für jeden Monat. Die Box der Boxplots umfasst die Messwerte zwischen dem 25%- und dem 75%-Quantil. Der Median wird durch eine Linie repräsentiert. Die sog. Whiskers (gestrichelte Linien) decken 1.5-mal die Box-Spannbreite gegen oben und unten ab und zeigen den Wertebereich der meisten Stundenwerte im entsprechenden Monat. Werte ausserhalb dieser Spannbreite können als Extremwerte bezeichnet werden und sind als Punkte einzeln dargestellt. Fragliche Werte, die der Datenqualitätskontrolle entgangen waren, konnten dadurch aufgespürt und überprüft werden.

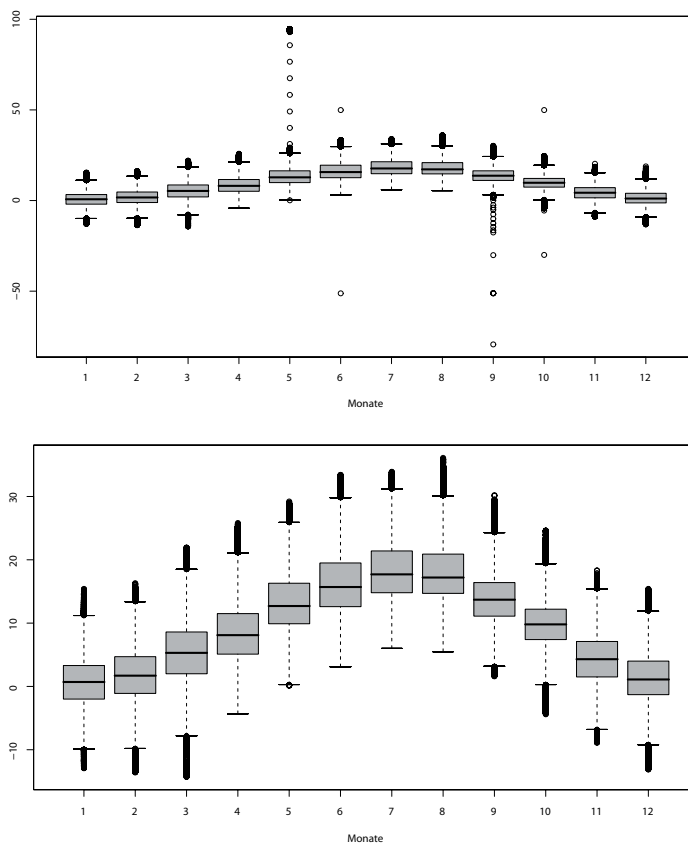


Abbildung 1.2: Temperatur Datenreihen von Mühleberg, 10 m Messniveau vor (oben) und nach (unten) der Datenbearbeitung.

KAPITEL 2 Analysen vergangenes Klima

2.1 Vergleich der Messdaten von Mühleberg mit umliegenden Stationen

Aufgrund der kurzen Datenreihen und der beschränkten Anzahl gemessener Parameter an der Station Mühleberg wird für gewisse klimatologischen Anwendungen auf zusätzliche Stationen des SwissMetNet zurückgegriffen. Für Analysen zusätzlicher Messgrössen oder längerer Zeiträume können Datenreihen der Stationen Wynau und Bern/Liebefeld verwendet werden. Vergleichende Auswertungen von Temperatur und Niederschlag zeigen die Unterschiede der Standorte auf. Im Vergleich mit Mühleberg weisen sowohl Wynau als auch Bern/Liebefeld im Mittel sehr ähnliche Temperaturen auf. Bezüglich der mittleren Niederschlagsmengen weist Wynau tendenziell leicht höhere Werte auf als Mühleberg, während sich Bern/Liebefeld kaum von Mühleberg unterscheidet.

An den Standorten der Schweizerischen Kernkraftwerke stehen für Auswertungen vergleichsweise kurze Datenreihen ausgewählter Messparameter zur Verfügung. Analysen zusätzlicher Messgrössen oder längerer Zeiträume müssen sich auf Datenreihen umliegender Messstationen stützen. Für den Standort des KKW Mühleberg eignet sich die Station Wynau zur Auswertung zusätzlicher Messgrössen. Wynau ist die nächstgelegene automatische Station des MeteoSchweiz-Messnetzes mit vergleichbaren Bedingungen und stellt alle Messgrössen des Messprogramms ab 1981 zur Verfügung. Für Analysen im Zusammenhang mit Klimaveränderungsfragen oder Extremwertanalysen, die als Datenbasis längere Zeiträume benötigen, kann zusätzlich die Station Bern/Liebefeld verwendet werden. Verschiedene Messgrössen wie Temperatur und Niederschlag wurden in Bern seit 1864 systematisch registriert. Im Folgenden sind die Temperatur- und Niederschlagsdaten von Mühleberg und den Nachbarstationen Wynau und Bern/Liebefeld vergleichend dargestellt. Ausgewertet wurde die von Mühleberg abgedeckte Periode 1.2.1987 (Temperatur) resp. 27.10.1988 (Niederschlag) bis zum 31.12.2007 für Stunden- und Tageswerte. Über die grundsätzliche Verfügbarkeit von Temperatur und Niederschlagsdaten der Granularitäten Stunde und Tag der Stationen Bern/Liebefeld und Wynau gibt Tabelle 2.1 Auskunft. Die Auswertungen geben Auskunft über die Differenzen zwischen den Messreihen der verschiedenen Standorte. Sie erlauben es, klimatologische Aussagen auf der Basis von Wynau oder Bern/Liebefeld auf den Standort von Mühleberg näherungsweise zu übertragen und die Unsicherheiten zu quantifizieren.

Parameter	Bern/Liebefeld	Wynau
Stundenmittel der Temperatur [°C]	01.01.1981 – 31.12.2008	01.01.1981 – 31.12.2008
Tagesmittel der Temperatur [°C]	01.01.1864 – 31.12.2008	01.01.1978 – 31.12.2008
Stundenmittel des Niederschlags [mm/h]	01.01.1864 – 31.12.2008	01.01.1978 – 31.12.2008
Tagesmittel des Niederschlags [mm/d]	01.01.1981 – 31.12.2008	01.01.1981 – 31.12.2008

Tabelle 2.1: Grundsätzliche Verfügbarkeit von Temperatur- und Niederschlagsdaten der Granularitäten Stunde und Tag von Bern/Liebefeld und Wynau.

2.1.1 Vergleich von Mühleberg mit Wynau bezüglich Temperatur

Stundenmittel der Temperatur

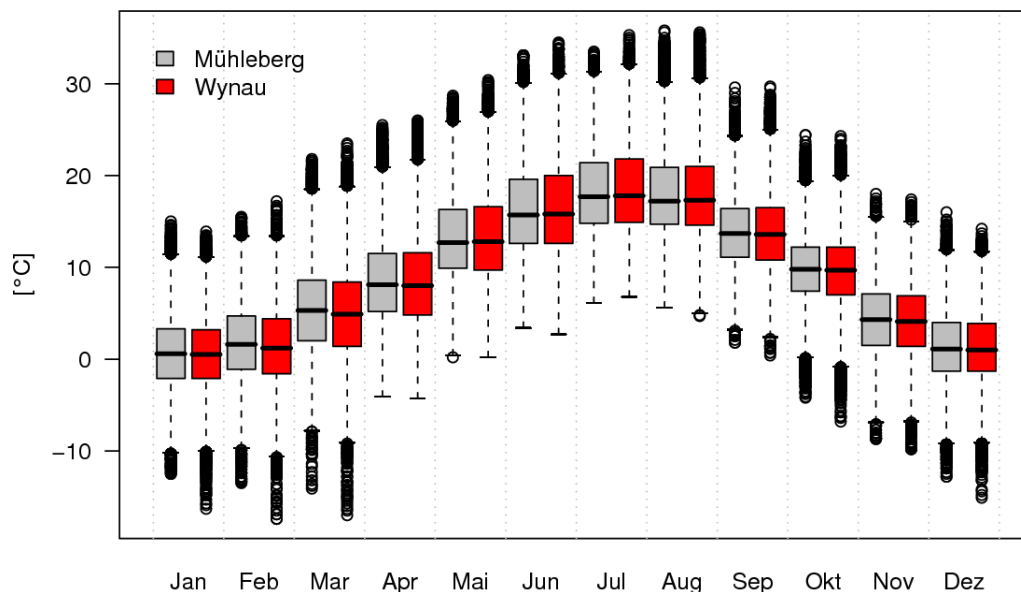


Abbildung 2.1: Vergleich der stündlichen Temperaturmittel von Mühleberg und Wynau in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Die Box der Boxplots umfasst die Messwerte zwischen dem 25%- und dem 75%-Quantil. Der Median wird durch eine Linie repräsentiert. Die sog. Whiskers (gestrichelte Linien) decken 1.5-mal die Box-Spannbreite gegen oben und unten ab und zeigen den Wertebereich der meisten Stundenwerte im entsprechenden Monat. Werte ausserhalb dieser Spannbreite können als Extremwerte bezeichnet werden und sind als Punkte einzeln dargestellt.

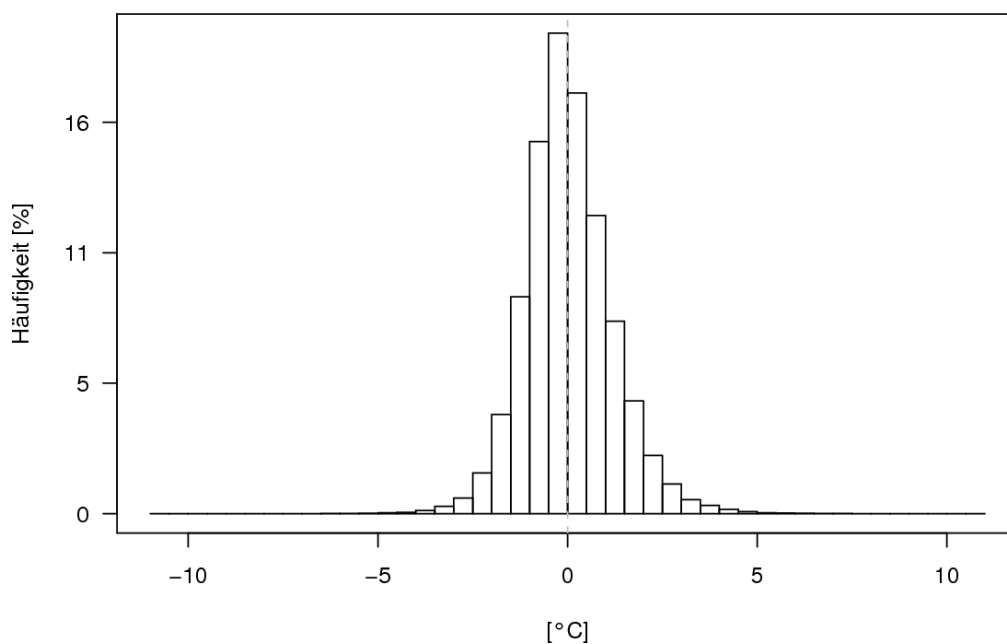


Abbildung 2.2: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau) in Klassen von 0.5 Grad Celsius.

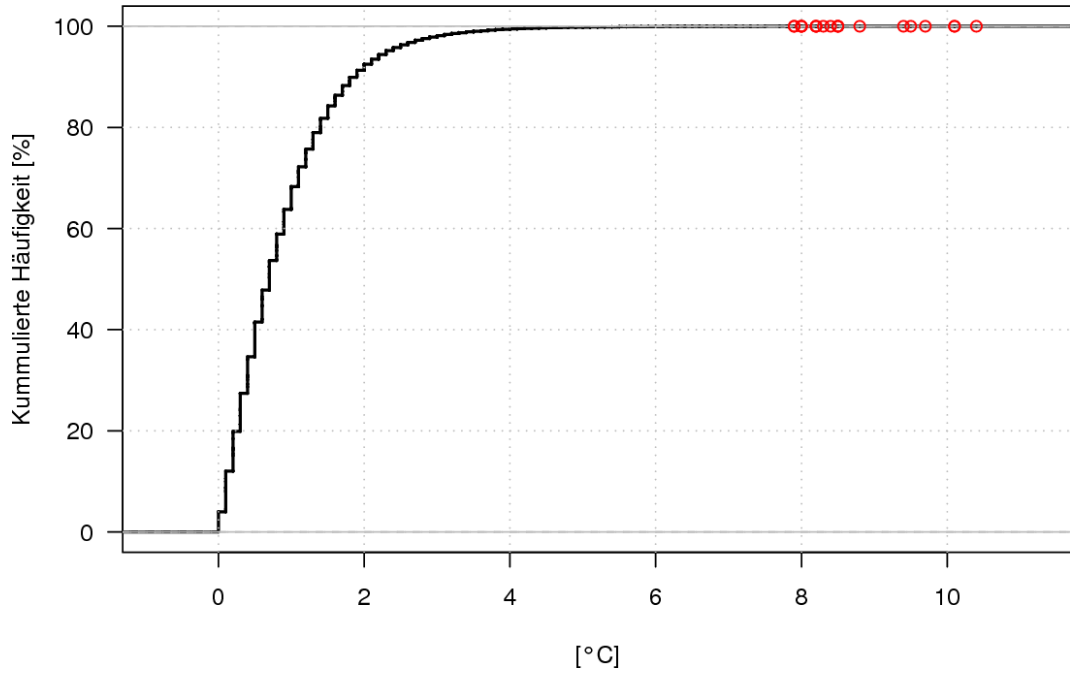


Abbildung 2.3: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau). Es kann abgelesen werden, welcher Prozentsatz der Differenzen kleiner oder gleich einem bestimmten Wert ist. Die 20 grössten Differenzen sind mit roten Kreisen hervorgehoben.

Tagesmittel der Temperatur

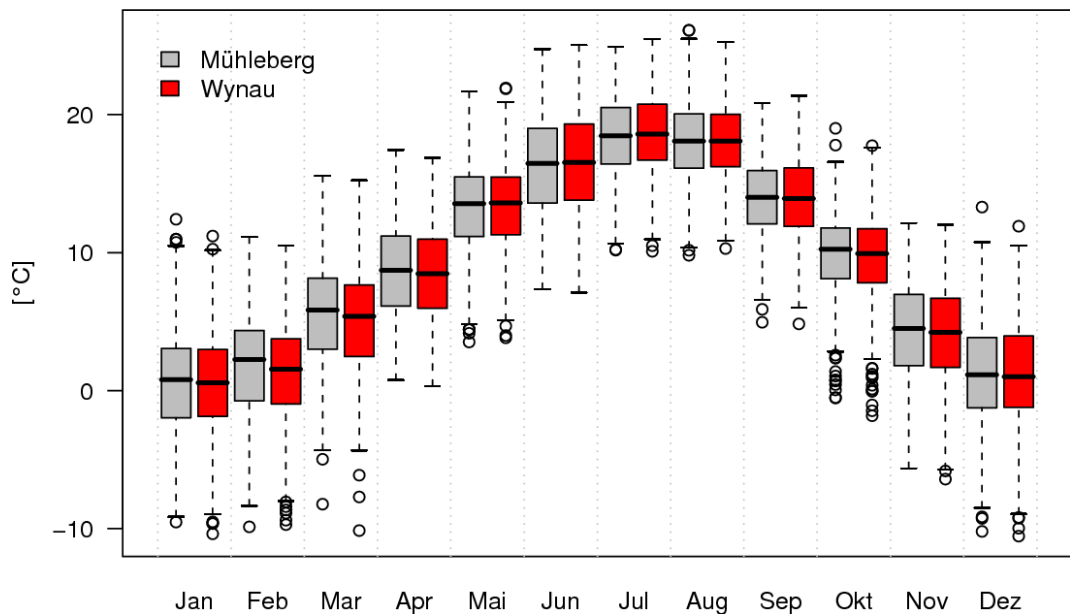


Abbildung 2.4: Gleich wie Abbildung 2.1 aber für die Tagesmittelwerte.

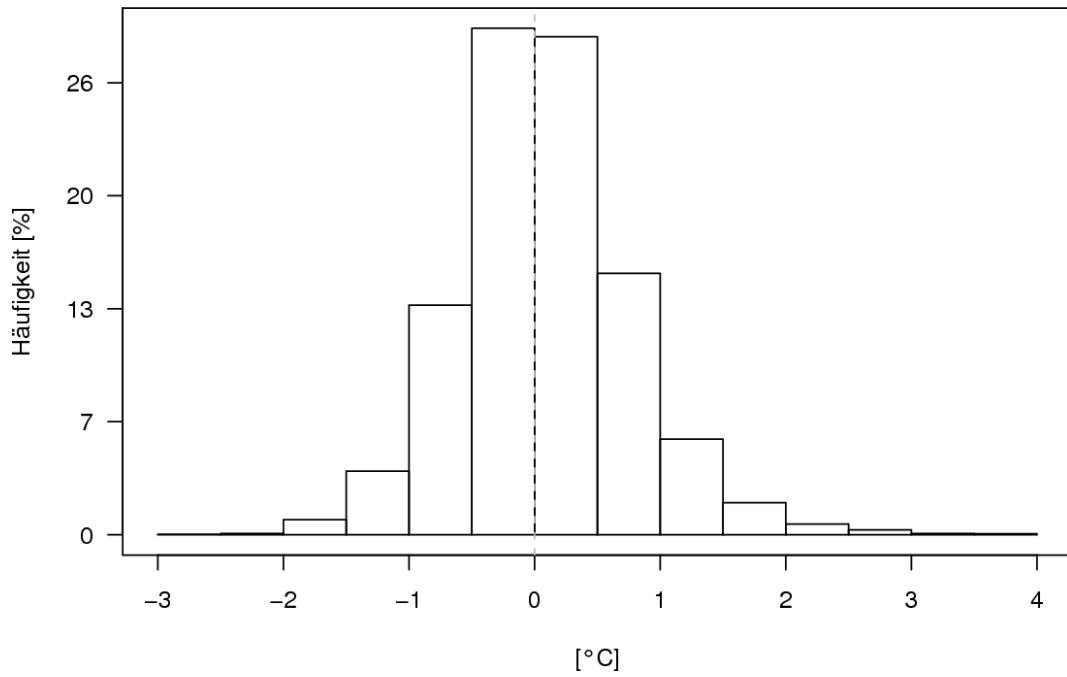


Abbildung 2.5: Gleich wie Abbildung 2.2 aber für die Tagesmittelwerte.

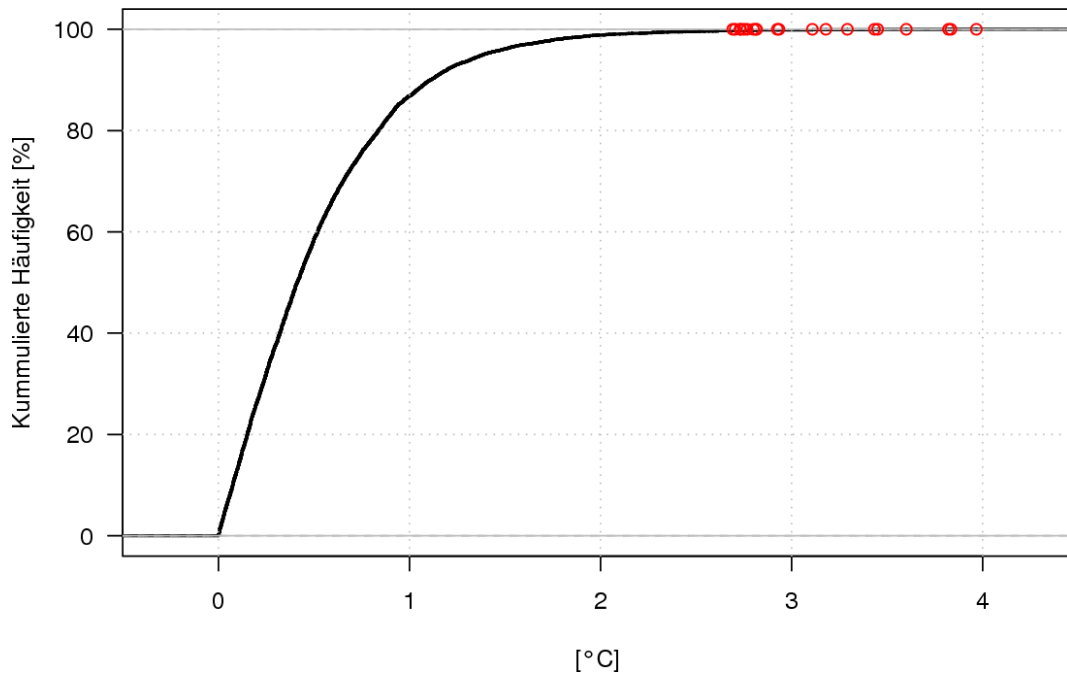


Abbildung 2.6: Gleich wie Abbildung 2.3 aber für die Tagesmittelwerte.

2.1.2 Vergleich von Mühleberg mit Wynau bezüglich Niederschlag

Stundensummen des Niederschlags

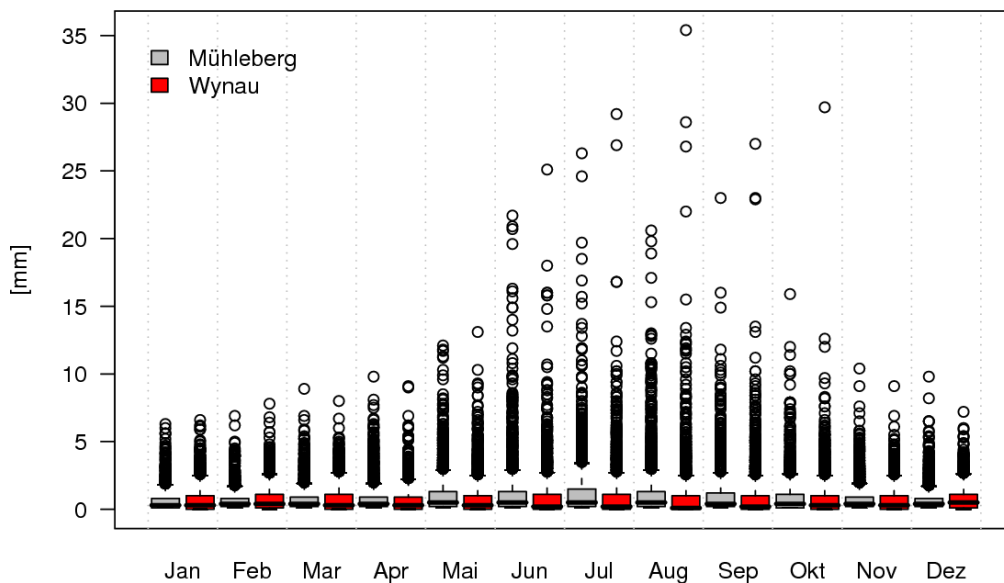


Abbildung 2.7: Vergleich der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Wynau in der Periode 27.10.1988 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Stunden ohne Niederschlag wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Der Aufbau der Boxplots ist analog zu Abbildung 2.1. Da Niederschlagsmengen eine schiefe Verteilung aufweisen, ist die Vergleichbarkeit der Verteilungen mit Boxplots allerdings eingeschränkt.

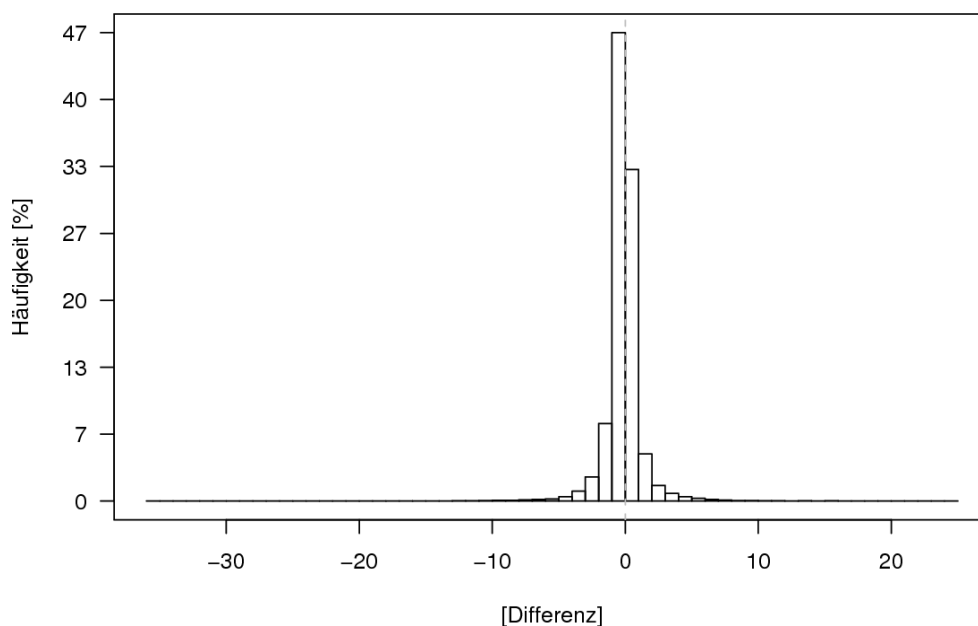


Abbildung 2.8: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau) in Klassen von 1 mm. Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet.

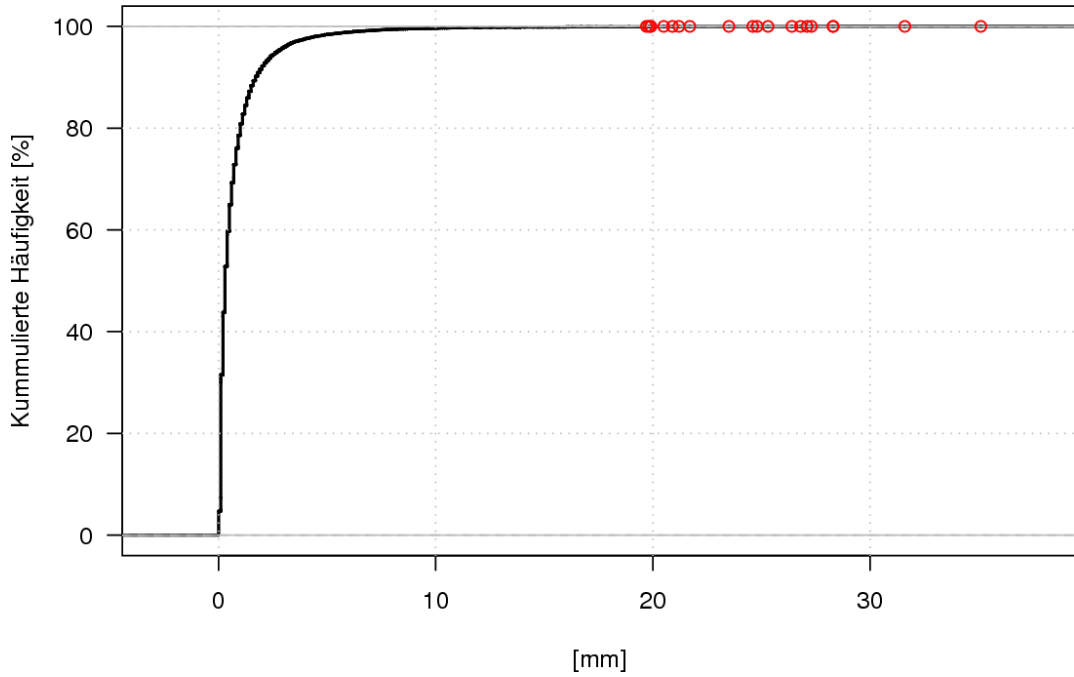


Abbildung 2.9: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau). Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet. Es kann abgelesen werden, welcher Prozentsatz der Differenzen kleiner oder gleich einem bestimmten Wert ist. Die 20 grössten Differenzen sind mit roten Kreisen hervorgehoben.

Tagessummen des Niederschlags

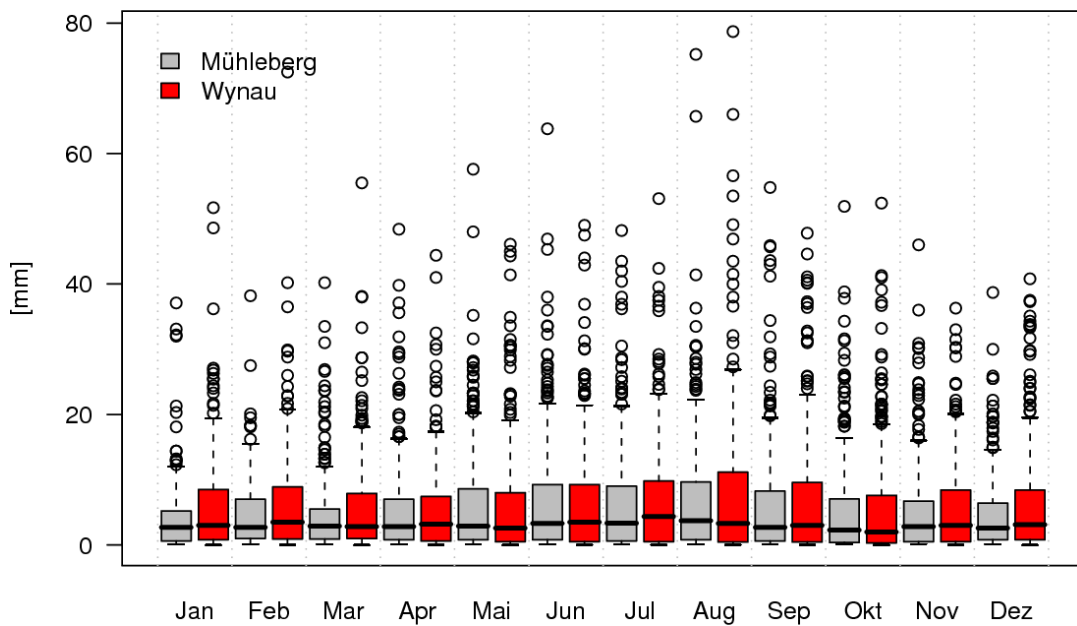


Abbildung 2.10: Gleich wie Abbildung 2.7 aber für die Tagessummen.

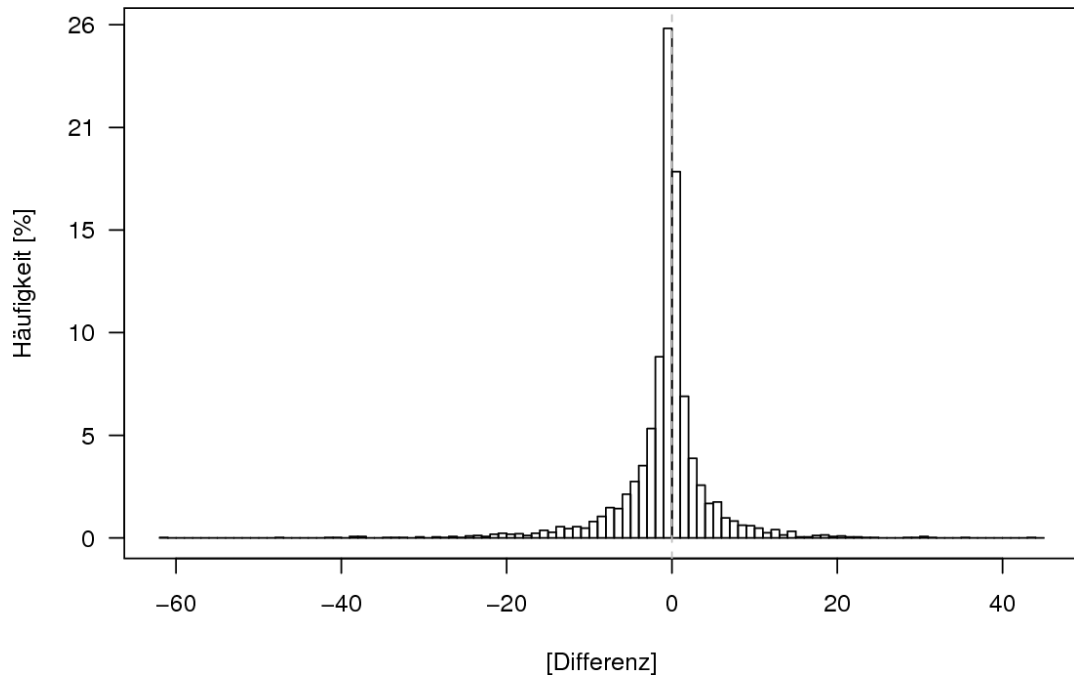


Abbildung 2.11: Gleich wie Abbildung 2.8 aber für die Tagessummen.

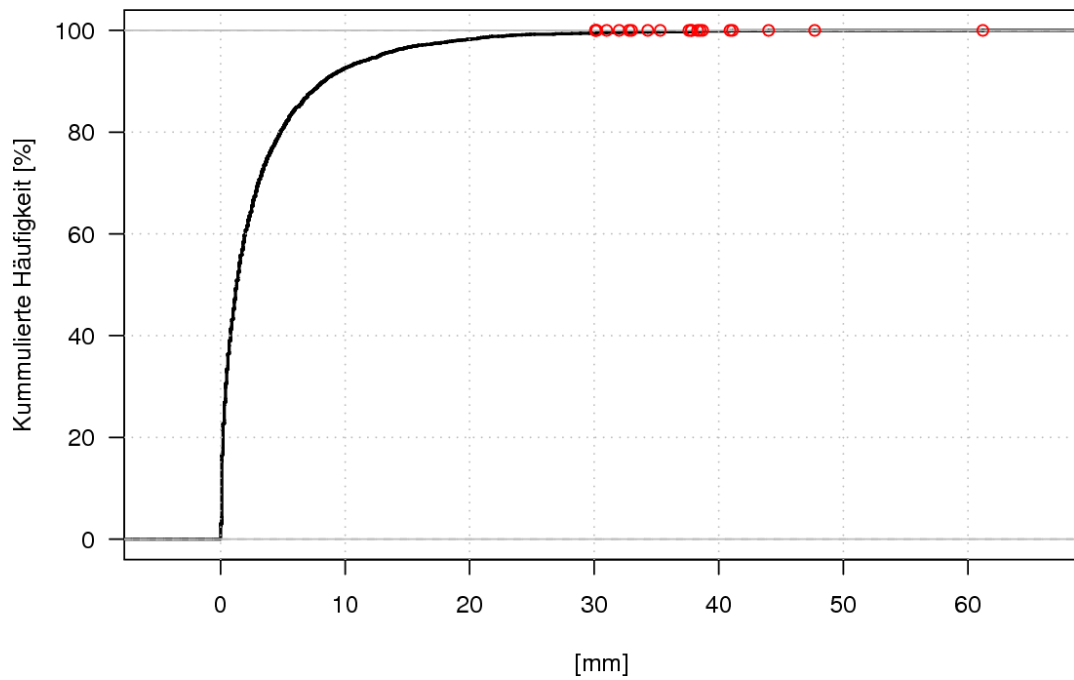


Abbildung 2.12: Gleich wie Abbildung 2.9 aber für die Tagessummen.

2.1.3 Vergleich von Mühleberg und Bern bezüglich Temperatur

Stundenmittel der Temperatur

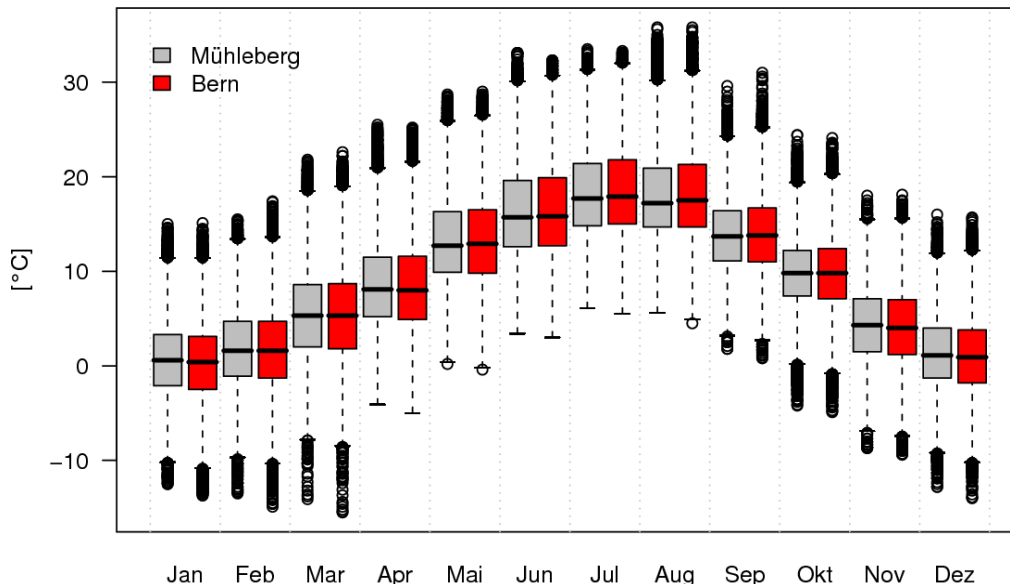


Abbildung 2.13: Vergleich der stündlichen Temperaturmittel von Mühleberg und Bern/Liebefeld in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Die Box der Boxplots umfasst die Messwerte zwischen dem 25%- und dem 75%-Quantil. Der Median wird durch eine Linie repräsentiert. Die sog. Whiskers (gestrichelte Linien) decken 1.5-mal die Box-Spannbreite gegen oben und unten ab und zeigen den Wertebereich der meisten Stundenwerte im entsprechenden Monat. Werte ausserhalb dieser Spannbreite können als Extremwerte bezeichnet werden und sind als Punkte einzeln dargestellt.

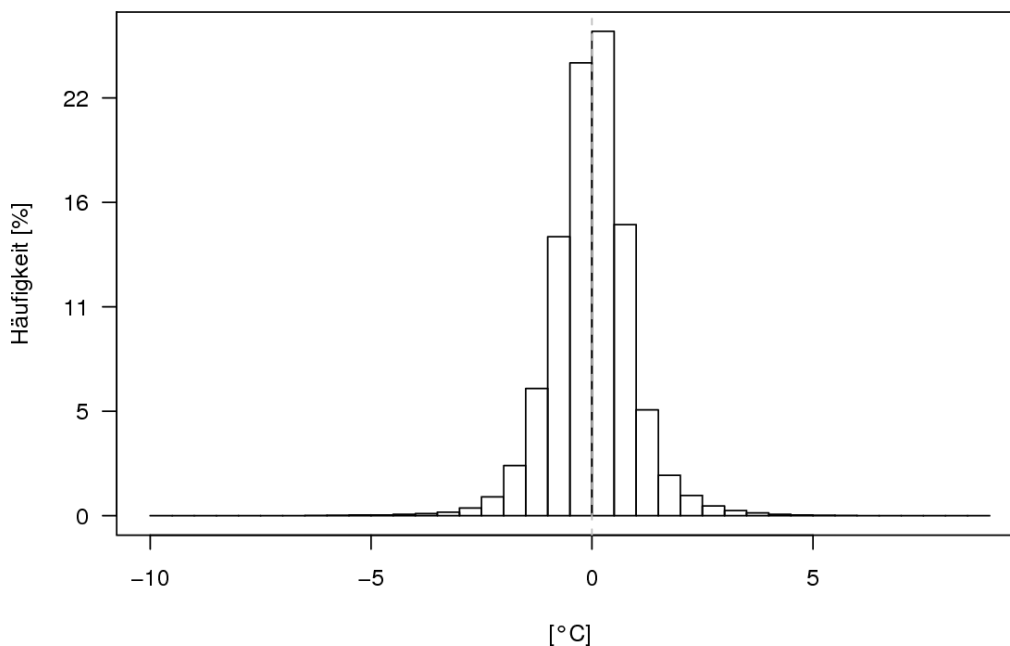


Abbildung 2.14: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld) in Klassen von 0.5 Grad Celsius.

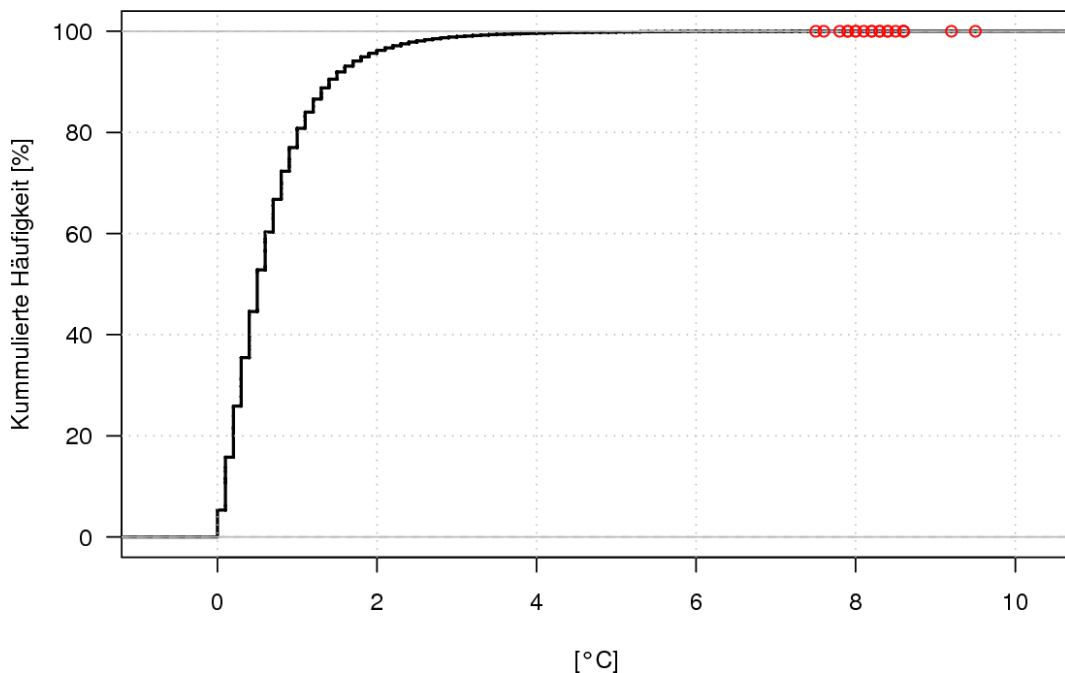


Abbildung 2.15: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld). Es kann abgelesen werden, welcher Prozentsatz der Differenzen kleiner oder gleich einem bestimmten Wert ist. Die 20 grössten Differenzen sind mit roten Kreisen hervorgehoben.

Tagesmittel der Temperatur

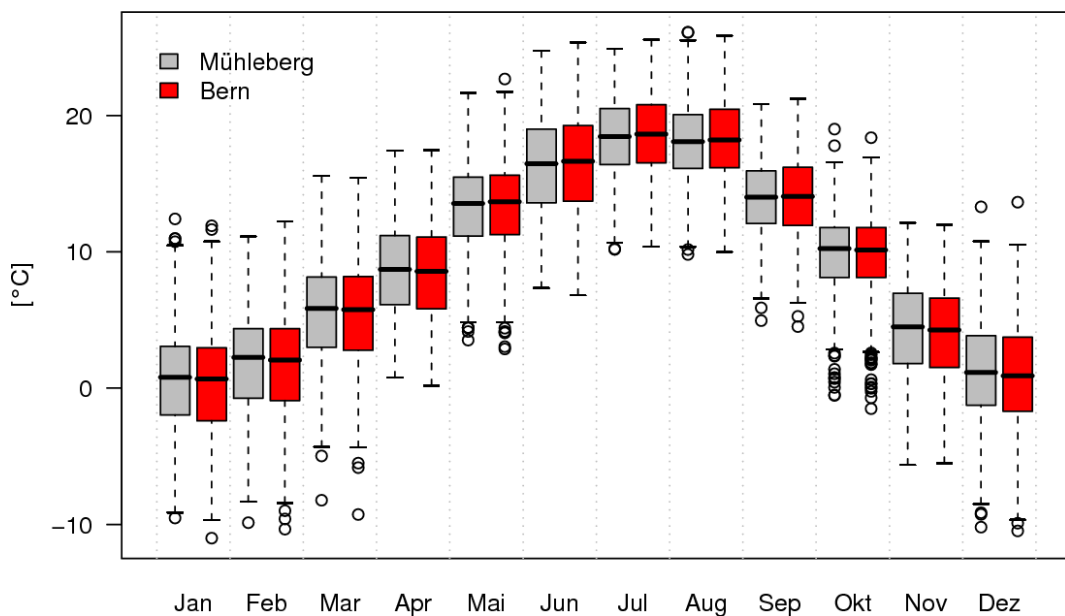


Abbildung 2.16: Gleich wie Abbildung 2.13 aber für die Tagesmittelwerte.

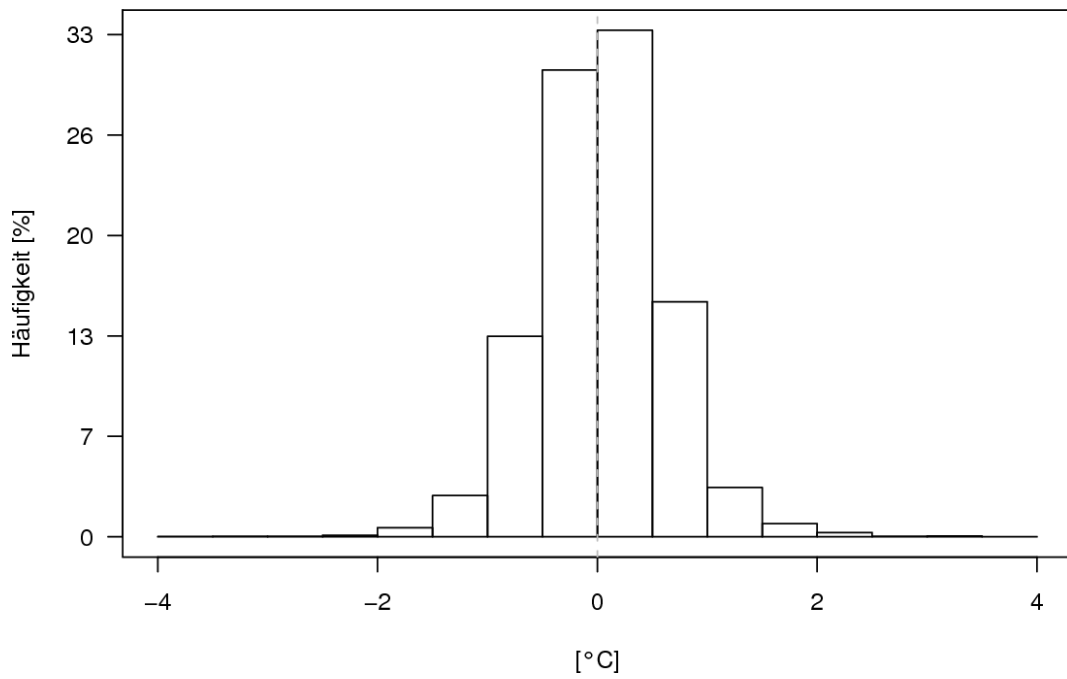


Abbildung 2.17: Gleich wie Abbildung 2.14 aber für die Tagesmittelwerte.

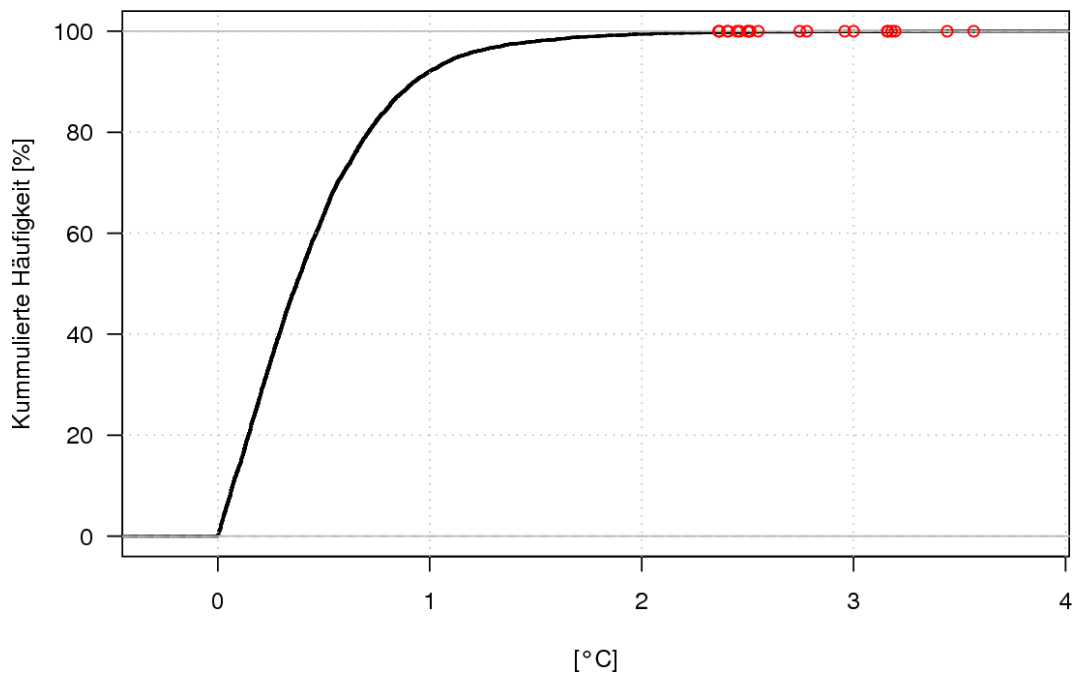


Abbildung 2.18: Gleich wie Abbildung 2.15 aber für die Tagesmittelwerte.

2.1.4 Vergleich von Mühleberg und Bern bezüglich Niederschlag

Stundensummen des Niederschlags

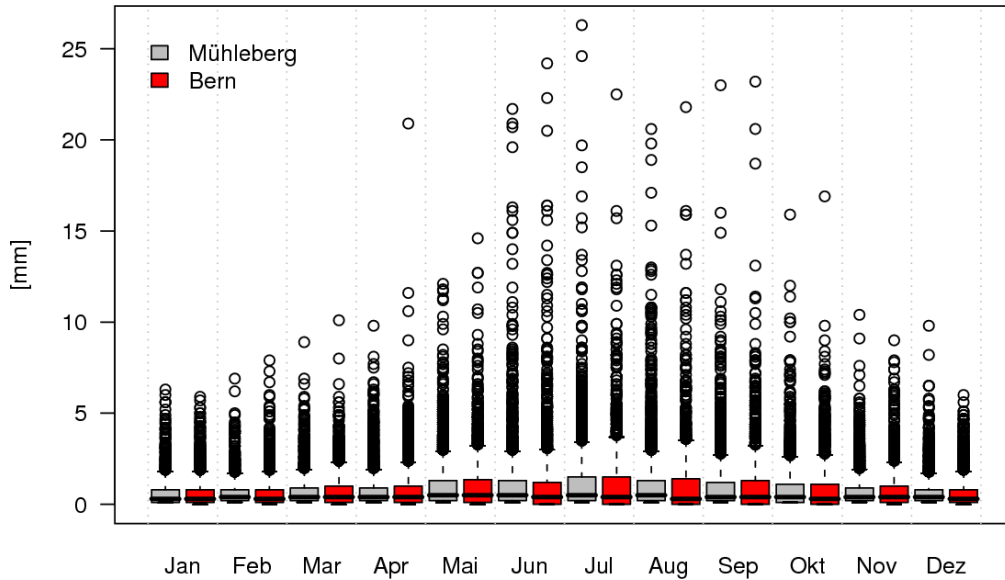


Abbildung 2.19: Vergleich der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Bern/Liebefeld in der Periode 12.10.1988 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Stunden ohne Niederschlag wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Der Aufbau der Boxplots ist analog zu Abbildung 2.13. Da Niederschlagsmengen eine schiefe Verteilung aufweisen, ist die Vergleichbarkeit der Verteilungen mit Boxplots allerdings eingeschränkt.

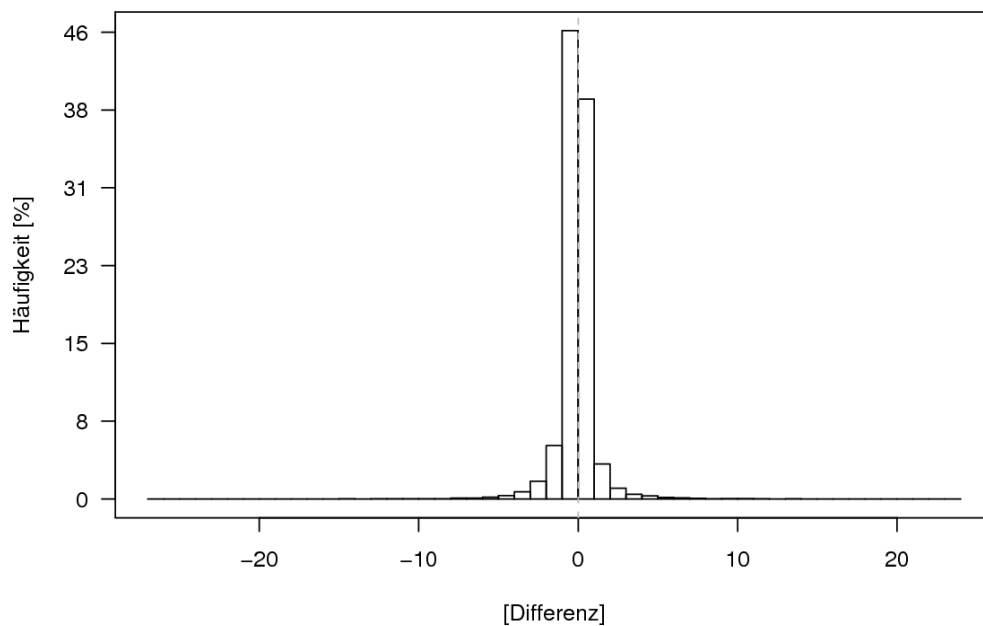


Abbildung 2.20: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld) in Klassen von 1 mm. Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet.

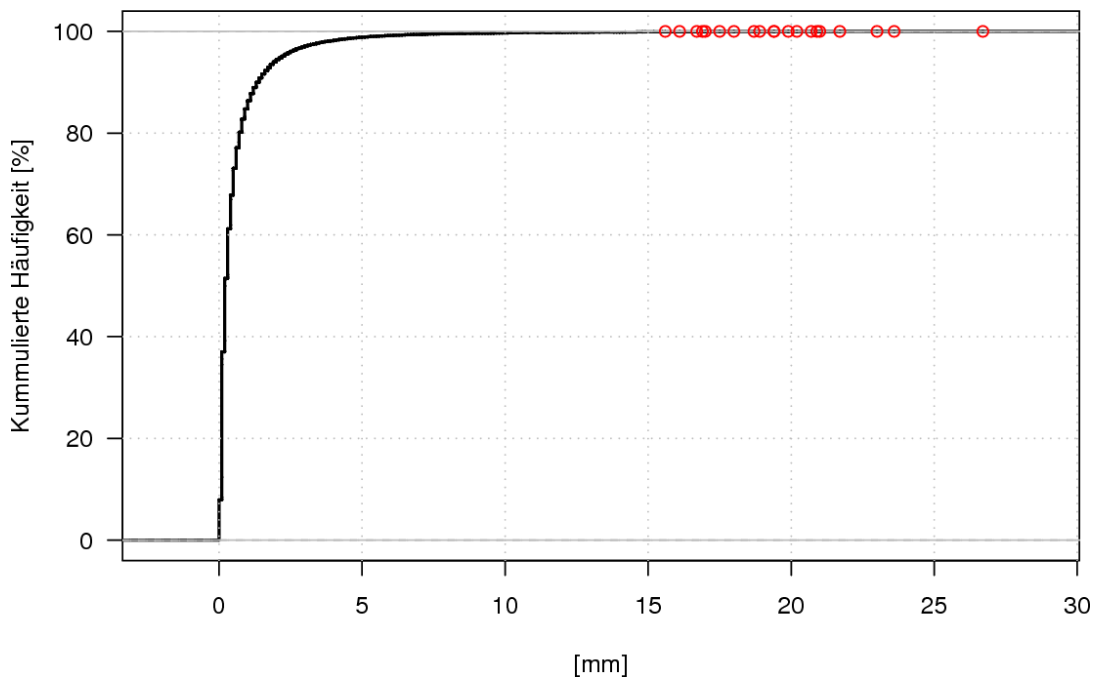


Abbildung 2.21: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld). Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet. Es kann abgelesen werden, welcher Prozentsatz der Differenzen kleiner oder gleich einem bestimmten Wert ist. Die 20 grössten Differenzen sind mit roten Kreisen hervorgehoben.

Tagessummen des Niederschlags

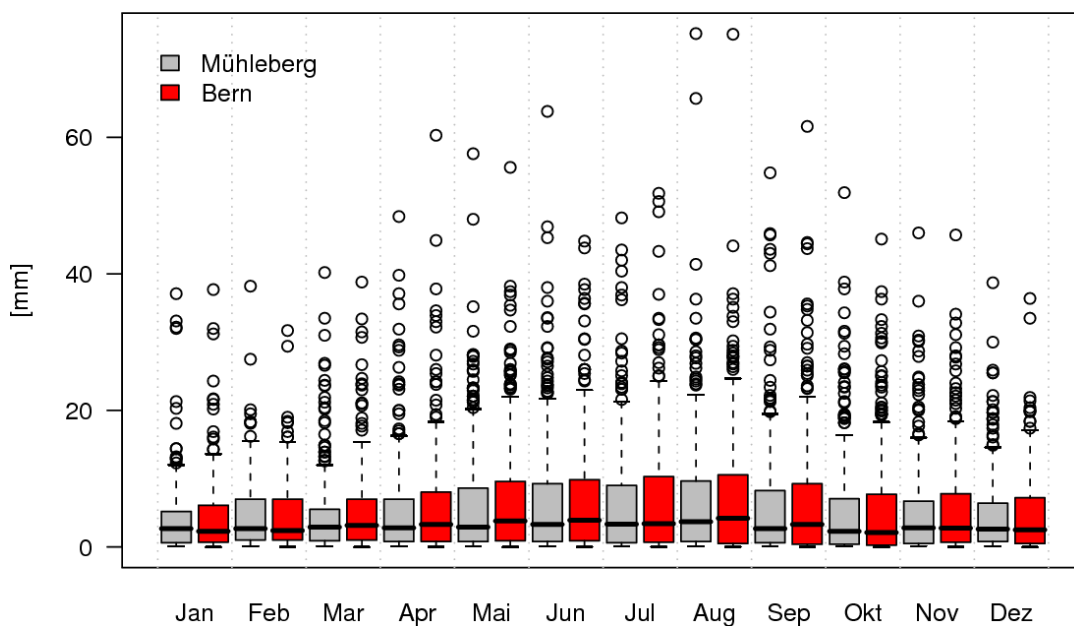


Abbildung 2.22: Gleich wie Abbildung 2.19 aber für die Tagessummen.

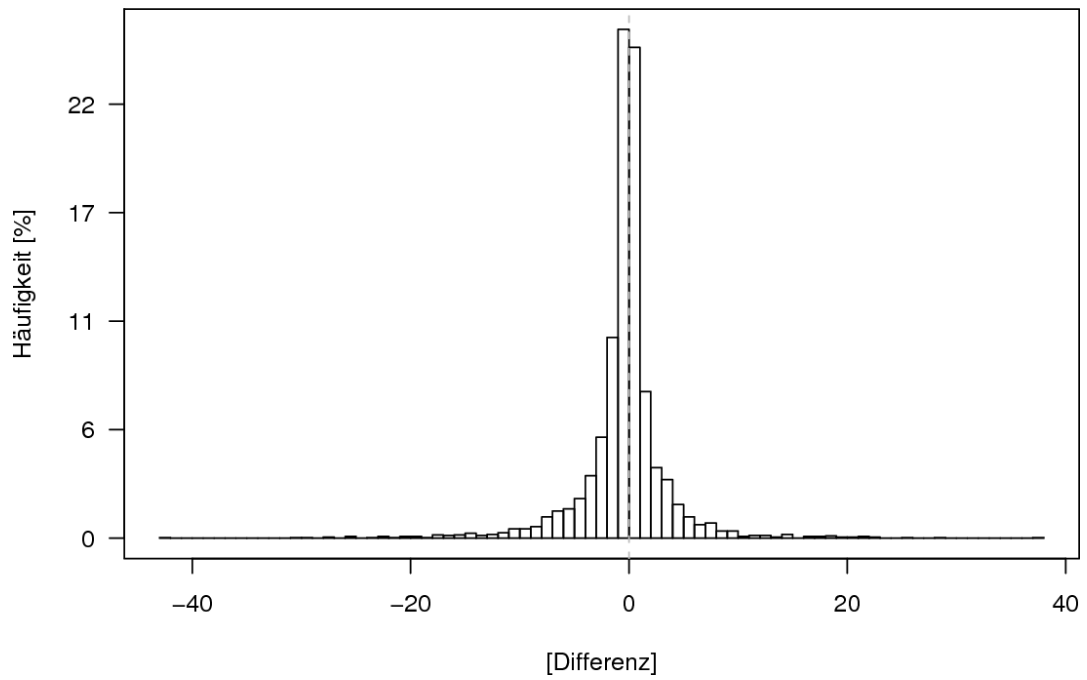


Abbildung 2.23: Gleich wie Abbildung 2.20 aber für die Tagessummen.

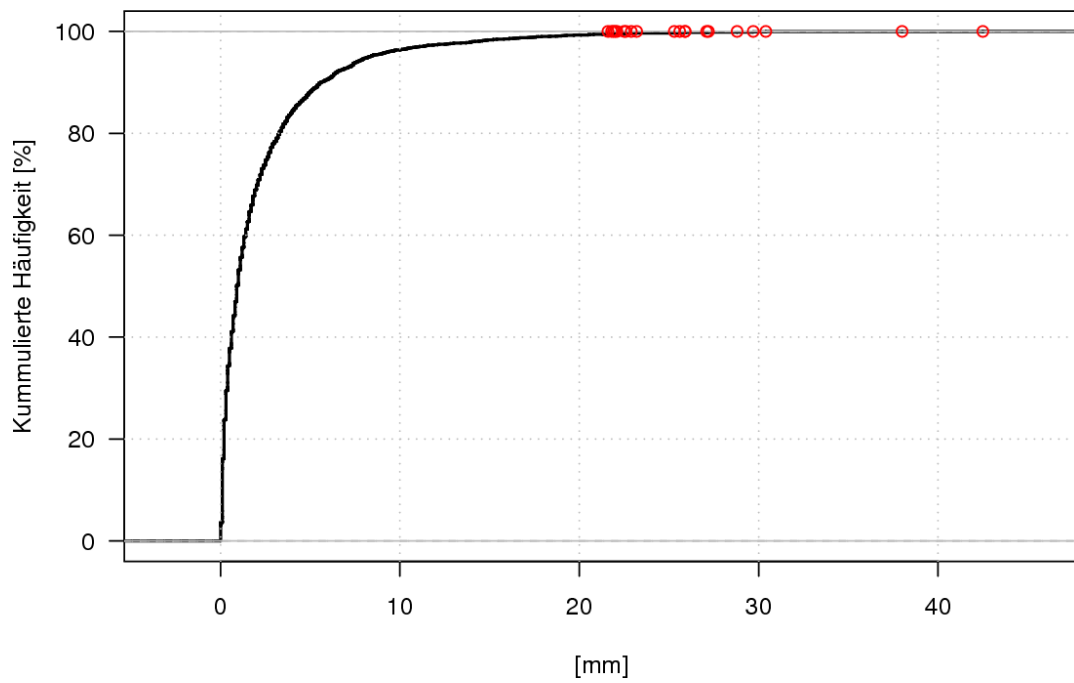


Abbildung 2.24: Gleich wie Abbildung 2.21 aber für die Tagessummen.

2.2 Rekordwerte

Die höchsten in Mühleberg gemessenen Temperaturen betragen 36.1 °C auf dem 10 m Niveau und 34.7 °C auf dem 110 m Niveau. Die tiefsten Werte entsprechen -14.3 °C (10 m) und -15.6 °C (110 m). Die höchsten gemessenen Wind Böenspitzen (Sekundenböen) sind 28.4 m/s auf 10 m Höhe, respektive 41.5 m/s auf 110 m Höhe. Die Werte bewegen sich im selben Bereich wie die gemessenen maximalen Böenspitzen von Bern (37.1 m/s) und Wynau (34.3 m/s). Bezüglich dem maximalen Niederschlag pro Stunde zeigt Mühleberg (26.3 mm) deutlich tiefere Werte als Bern (40.4 mm) oder Wynau (35.4 mm). Für die Feuchttemperatur und die absolute Feuchte liegen von Mühleberg keine Daten vor. Die Feuchttemperatur der Nachbarstationen Bern und Wynau bewegt sich zwischen minimal -24.6 °C im Winter und maximal 23.6 °C im Sommer. Die absolute Feuchte schwankt zwischen 0.4 g/kg trockener Luft und 17.4 g/kg trockener Luft.

2.2.1 Temperatur

Die Tabelle 2.2 zeigt die Maximum-Temperatur in [°C] und die Minimum-Temperatur in [°C] pro Monat und Jahr der Station Mühleberg für die Jahre 1988 bis 2007. Die Spalten zwei und drei von Tabelle 2.2 wiedergeben die Rekordwerte der Temperaturmessung auf dem 10 m Niveau und die Spalten vier und fünf der Tabelle 2.2 zeigen die Extremwerte auf dem 110 m Niveau. Auf die Auswertung der Temperaturdaten auf dem 60 m Niveau wurde verzichtet, da sie für die weiteren Auswertungen keine Relevanz haben.

Monat	10 m Niveau		110 m Niveau	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	15.4	-12.9	14.6	-12.2
Februar	16.3	-13.6	16.0	-15.6
März	21.9	-14.3	21.1	-14.3
April	25.8	-4.3	25.1	-4.3
Mai	31.2	0.1	28.1	-0.3
Juni	33.4	3.1	32.1	3.0
Juli	33.9	6.9	34.6	6.9
August	36.1	5.5	34.7	5.6
September	27.7	1.6	27.0	1.5
Oktober	24.6	-5.5	23.5	-4.3
November	20.3	-8.9	16.6	-9.7
Dezember	18.8	-13.1	14.7	-13.0
Jahr	36.1	-14.3	34.7	-15.6

Tabelle 2.2: Höchstes Temperatur-Maximum [°C] und tiefstes Temperatur-Minimum [°C] (10-Minutenwerte) pro Monat und Jahr für die Station Mühleberg auf dem 10 m und dem 110 m Niveau (1988 bis 2007).

In Tabelle 2.3 sind die höchsten und tiefsten Stundenmitteltemperaturen pro Monat und Jahr festgehalten. Die Extremwerte der beiden Turmniveaus (10 m und 110 m) unterscheiden sich nur marginal.

Die höchsten Temperaturtagesmittelwerte der Stationen Bern und Wynau für die einzelnen Monate und das Jahr sind in Tabelle 2.4 festgehalten. Die Datengrundlage reicht bei Bern zurück bis ins Jahr 1864 und bei Wynau bis ins Jahr 1981. Aus diesem Grund sind die Extremwerte von Bern und Wynau nicht miteinander vergleichbar. Die höchsten und tiefsten Monatsmittelwerte von Bern und Wynau sind der Tabelle 2.5 zu entnehmen.

Monat	10 m Niveau		110 m Niveau	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	15.0	-12.5	14.3	-11.9
Februar	15.5	-13.5	15.8	-14.7
März	21.8	-14.1	20.9	-14.2
April	25.5	-4.1	24.8	-4.1
Mai	28.7	0.2	27.9	-0.1
Juni	33.1	3.4	32.0	3.5
Juli	33.5	6.9	34.2	7.1
August	35.8	5.6	34.4	5.9
September	26.9	1.8	26.8	1.8
Oktober	24.4	-4.2	23.3	-4.0
November	18.0	-8.7	16.3	-9.1
Dezember	16.0	-12.8	14.4	-12.9
Jahr	35.8	-14.1	34.4	-14.7

Tabelle 2.3: Höchste und tiefste Stundenmitteltemperatur [°C] pro Monat und Jahr für die Station Mühleberg auf dem 10 m und dem 110 m Niveau (1988 bis 2007).

Monat	Bern 2 m		Wynau 2 m	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	11.9	-17.3	11.2	-18.8
Februar	12.2	-20.1	10.5	-12.4
März	15.4	-10.8	15.2	-10.1
April	18.6	-3.3	16.9	-1.5
Mai	23.2	1.3	21.9	3.8
Juni	26.0	3.0	25.0	7.0
Juli	27.5	8.4	25.5	10.1
August	26.6	7.4	25.2	10.3
September	22.4	2.2	21.4	4.8
Oktober	18.4	-7.5	17.7	-1.8
November	15.5	-10.4	12.5	-7.1
Dezember	14	-15.9	11.9	-10.5
Jahr	27.5	-20.1	25.5	-18.8

Tabelle 2.4: Höchste und tiefste Tagesmittelwerte [°C] der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007) pro Monat und Jahr.

Monat	Bern 2 m		Wynau 2 m	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	3.7	-7.0	4.3	-5.8
Februar	5.6	-8.7	5.0	-4.8
März	8.9	-1.2	8.7	1.6
April	12.6	4.6	12.6	6.1
Mai	17.7	8.3	15.0	9.6
Juni	21.7	12.4	22.2	14.1
Juli	22.1	14.5	21.7	16.0
August	21.9	13.5	21.7	15.1
September	17.7	8.6	16.6	10.8
Oktober	13.1	3.9	12.5	6.4
November	7.2	-0.1	8.0	1.5
Dezember	4.5	-9.7	3.8	-0.5
Jahr	22.1	-9.7	22.2	-5.8

Tabelle 2.5: Höchste und tiefste Temperatur Monatsmittelwerte [°C] der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007) pro Monat und Jahr.

2.2.2 Wind

Die Tabelle 2.6 zeigt die absolut höchsten Böen Werte (Sekundenböen) in [m/s] für die einzelnen Monate und das Jahr der Stationen Mühleberg, Bern und Wynau. Am Standort Mühleberg wird die Böenspitze (Sekundenböe) auf zwei Niveaus gemessen: 10 m und 110 m. Die ausgewertete Messperiode von Mühleberg (beide Niveaus) beginnt im Jahr 1988, diejenigen von Bern und Wynau reichen zurück bis ins Jahr 1981. Die höchsten Böenspitzen treten an allen Standorten in den Wintermonaten auf.

Monat	Mühleberg		Bern	Wynau
	10 m [m/s]	110 m [m/s]	10 m [m/s]	10 m [m/s]
Januar	23.4	29.2	33.6	32.2
Februar	23.9	30.2	30.2	34.3
März	22.0	28.1	28.5	27.2
April	20.9	25.2	22.0	30.2
Mai	19.3	20.7	22.0	21.5
Juni	19.1	29.7	24.5	27.2
Juli	17.7	24.1	20.7	26.3
August	21.3	26.2	27.7	23.6
September	17.5	32.4	21.1	23.3
Oktober	23.1	32	29.3	27.6
November	22.0	26.8	25.4	26.1
Dezember	28.4	41.5	37.1	30.1
Jahr	28.4	41.5	37.1	34.3

Tabelle 2.6: Höchste Böen Werte (Sekundenböen) in [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Mühleberg (1988 bis 2007), Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).

Die höchsten Wind Stundenmittelwerte in [m/s] sind der Tabelle 2.7 zu entnehmen. Die Windgeschwindigkeit [m/s] in Mühleberg wird analog zur Böenspitze auf zwei Turmniveaus gemessen. Auf beiden Niveaus messen zwei Messgeräte. Die folgenden Auswertungen wurden mit den Messdaten der Messgeräte 2 gemacht. Für Mühleberg wurde die Messperiode 1988 bis 2007 (Bern und Wynau: 1981 bis 2007) ausgewertet. Auf dem 110 m Niveau treten markant höhere Wind-Stundenmittel auf als auf 10 m.

Die Tabelle 2.8 zeigt die höchsten Wind Tagesmittelwerte in [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau. Die ausgewerteten Messperioden unterscheiden sich nicht von den übrigen Wind-Parametern. Die höchsten Wind Tagesmittelwerte von Bern sind ein Vielfaches grösser als jene von Wynau. Dies gilt auch für die Wind Monatsmittelwerte in [m/s] der beiden Stationen, wie Tabelle 2.9 zu entnehmen ist.

Monat	Mühleberg		Bern	Wynau
	10 m [m/s]	110 m [m/s]	10 m [m/s]	10 m [m/s]
Januar	9.7	14.8	13.1	11.8
Februar	9.6	14.1	14.5	13.2
März	8.9	13.0	12.3	11.5
April	9.5	14.7	9.4	13.0
Mai	8.3	12.8	9.3	11.1
Juni	7.7	12.2	9.7	8.5
Juli	6.7	9.8	8.7	8.4
August	6.4	10.8	9.3	9.1
September	6.8	10.7	8.6	9.0
Oktober	8.5	13.8	11.0	10.1
November	8.8	12.7	12.0	10.6
Dezember	11.5	20.5	15.5	12.6
Jahr	11.5	20.5	15.5	13.2

Tabelle 2.7: Höchster Wind Stundenmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Mühleberg (1988 bis 2007), Bern und Wynau (1981 bis 2007).

Monat	Bern, 10 m [m/s]	Wynau, 10 m [m/s]
Januar	7.9	9.1
Februar	9.6	9.1
März	8.2	7.6
April	6.2	7.3
Mai	5.8	7.4
Juni	5.5	5.7
Juli	4.3	5.3
August	4.5	3.9
September	6.0	5.7
Oktober	6.8	7.4
November	8.3	8.4
Dezember	8.5	8.6
Jahr	9.6	9.1

Tabelle 2.8: Höchster Wind Tagesmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).

Monat	Bern, 10 m [m/s]	Wynau, 10 m [m/s]
Januar	3.1	2.9
Februar	3.9	3.0
März	4.4	2.9
April	3.9	3.0
Mai	4.4	2.6
Juni	3.5	2.1
Juli	3.1	1.9
August	3.5	1.6
September	3.5	1.9
Oktober	3.5	2.4
November	3.9	2.3
Dezember	3.9	3.3
Jahr	4.4	3.3

Tabelle 2.9: Höchster Wind Monatsmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).

2.2.3 Niederschlag

Die absolut höchsten Niederschlags Stundensummen in [mm], gemessen auf 1.5 m, pro Monat und Jahr von Mühleberg, Bern und Wynau zeigt Tabelle 2.10. Die ausgewerteten Messperioden von Bern und Wynau unterscheiden sich in ihrer Länge nicht. Beide messen seit 1981 Niederschlags-Stundensummen. Am Standort Mühleberg wird seit 1987 die Niederschlags Stundensumme [mm] festgehalten.

Die Tabelle 2.11 zeigt die Niederschlags-Tagessummen in [mm] der Stationen Bern und Wynau. Die Tagessummen werden in Bern seit 1864 gemessen, in Wynau seit 1978. Die Werte sind daher nicht direkt miteinander vergleichbar. Dasselbe gilt für die 5-Tagessummen (siehe Tabelle 2.12).

Die höchsten und tiefsten Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr der auswertbaren Messperiode von Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007) sind den Tabelle 2.13 und Tabelle 2.14 zu entnehmen.

Monat	Mühleberg, 1.5 m [mm]	Bern, 1.5 m [mm]	Wynau, 1.5 m [mm]
Januar	6.3	6.8	9.2
Februar	6.9	8.8	7.8
März	8.9	10.1	8.0
April	9.8	20.9	9.1
Mai	12.1	21.7	17.2
Juni	21.7	34.0	27.1
Juli	26.3	40.4	29.2
August	20.6	25.9	35.4
September	23.0	23.2	27.0
Oktober	15.9	16.9	29.7
November	10.4	15.9	9.1
Dezember	9.8	8.2	7.2
Jahr	26.3	40.4	35.4

Tabelle 2.10: Höchste Niederschlags Stundensummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Mühleberg (1988 bis 2007), Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).

Monat	Bern, 1.5 m [mm]	Wynau, 1.5 m [mm]
Januar	52.8	49.3
Februar	87.9	67.9
März	56.3	55.4
April	56.3	55.5
Mai	64.9	47.5
Juni	78.5	48.4
Juli	66.4	53.1
August	80.5	71.5
September	67.9	74.2
Oktober	88.9	42.6
November	67.9	58.0
Dezember	61.6	50.5
Jahr	88.9	74.2

Tabelle 2.11: Höchste Niederschlags Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).

Monat	Bern, 1.5 m [mm]	Wynau, 1.5 m [mm]
Januar	126.4	97.2
Februar	148.0	146.7
März	119.0	92.9
April	109.6	90.8
Mai	113.6	94.3
Juni	137.9	85.6
Juli	108.3	81.9
August	136.7	118.5
September	136.3	163.7
Oktober	173.0	100.8
November	182.9	135.8
Dezember	104.1	112.8
Jahr	182.9	163.7

Tabelle 2.12: Höchste Niederschlags 5-Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).

Monat	Bern, 1.5 m [mm]	Wynau, 1.5 m [mm]
Januar	4.7	13.3
Februar	1.3	16.0
März	4.5	21.8
April	0.0	10.3
Mai	17.0	29.9
Juni	20.2	29.5
Juli	1.2	37.8
August	10.5	9.3
September	0.7	19.3
Oktober	1.8	12.6
November	2.5	14.7
Dezember	0.4	34.9
Jahr	0.0	9.3

Tabelle 2.13: Tiefste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).

Monat	Bern, 1.5 m [mm]	Wynau, 1.5 m [mm]
Januar	174.4	205.3
Februar	186.9	228.3
März	303.2	271.4
April	208.8	178.4
Mai	188.7	207.9
Juni	276.3	260.9
Juli	240.8	197.3
August	255.6	238.1
September	252.3	221.4
Oktober	296.6	234.1
November	270.5	220.8
Dezember	194.5	242.0
Jahr	296.6	271.4

Tabelle 2.14: Höchste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).

2.2.4 Feuchttemperatur und absolute Feuchte

Die absolut höchsten und tiefsten Werte der Feuchttemperatur und der absoluten Feuchte der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003) geben die folgenden sechs Tabellen wieder.

Tabelle 2.15 zeigt den höchsten und den tiefsten Feuchttemperatur Stundenmittelwerte [°C] pro Monat und Jahr. Die Tabelle 2.16 zeigt den maximalen und den minimalen Feuchttemperatur Tagesmittelwerte [°C] derselben Stationen und die Tabelle 2.17 wiedergibt die Extrema der Monatsmittelwerte [°C] pro Monat und Jahr.

Tabelle 2.18 zeigt den höchsten und den tiefsten Stundenmittelwert der absoluten Feuchte [g/kg] pro Monat und Jahr. Tabelle 2.19 hält die maximale und die minimale Tagesmittelwerte der absoluten Feuchte [g/kg] pro Monat und Jahr fest und die Tabelle 2.20 wiedergibt die Extrema der Monatsmittelwerte [g/kg] pro Monat und Jahr.

Monat	Bern		Wynau	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	10.3	-20.9	10.3	-24.6
Februar	10.4	-16.8	10.6	-18.0
März	12.7	-10.8	14.0	-10.9
April	15.6	-7.5	15.9	-6.2
Mai	19.1	-0.6	19.8	-1.6
Juni	21.8	2.0	22.8	2.3
Juli	22.4	5.1	23.2	5.7
August	22.5	4.2	23.6	4.6
September	20.5	0.4	21.1	0.2
Oktober	16.8	-5.3	17.5	-7.1
November	13.1	-10.7	13.4	-10.7
Dezember	11.6	-14.2	11.3	-15.4
Jahr	22.5	-20.9	23.6	-24.6

Tabelle 2.15: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Stundenmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	8.5	-17.8	8.5	-19.1
Februar	8.9	-10.9	8.8	-10.7
März	10.9	-5.7	10.7	-5.5
April	12.1	-2.7	11.9	-2.2
Mai	16.3	2.0	16.8	2.6
Juni	19.8	6.7	20.2	6.8
Juli	19.4	8.7	20.0	8.9
August	20.0	7.6	19.6	8.0
September	17.3	3.6	17.4	4.2
Oktober	15.0	-2.8	15.2	-3.0
November	10.2	-7.9	10.7	-7.7
Dezember	10.6	-11.2	10.6	-11.0
Jahr	20.0	-17.8	20.2	-19.1

Tabelle 2.16: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Tagesmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	1.7	-6.2	2.1	-6.3
Februar	3.6	-5.3	3.6	-5.6
März	6.2	-0.2	6.4	0.1
April	7.0	4.1	7.2	4.1
Mai	12.6	6.7	12.5	7.1
Juni	16.7	11.1	17.1	11.1
Juli	16.9	13.3	17.4	13.3
August	16.4	13.4	16.8	13.4
September	13.9	8.8	14.0	8.9
Oktober	11.2	5.4	11.3	5.3
November	6.4	0.2	7.0	0.5
Dezember	2.7	-1.9	3.1	-1.3
Jahr	16.9	-6.2	17.4	-6.3

Tabelle 2.17: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Monatsmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]
Januar	7.2	0.7	7.8	0.4
Februar	7.0	0.9	7.5	0.7
März	8.4	1.2	8.5	1.1
April	9.6	1.2	10.0	1.6
Mai	13.4	2.7	13.9	2.6
Juni	15.1	3.1	16.1	3.9
Juli	15.4	4.6	17.4	4.8
August	15.5	4.8	16.8	5.0
September	14.7	3.5	14.2	3.9
Oktober	11.6	2.4	11.9	2.0
November	9.3	1.4	9.5	1.6
Dezember	8.6	1.2	8.4	0.9
Dezember	15.5	0.7	17.4	0.4

Tabelle 2.18: Höchste und tiefste absolute Feuchte [g/kg] (Stundenmittelwert; Mixing Ratio g/kg trockener Luft) pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]
Januar	6.1	0.8	6.6	0.7
Februar	6.5	1.4	6.6	0.9
März	8.0	1.8	7.7	1.9
April	8.3	2.1	8.4	2.2
Mai	11.0	3.6	11.5	3.7
Juni	13.1	4.7	14.1	5.2
Juli	13.2	5.6	13.9	5.6
August	14.4	5.2	13.9	5.6
September	12.3	4.6	12.2	4.8
Oktober	10.6	2.6	10.7	2.3
November	7.7	1.7	7.9	1.8
Dezember	7.7	1.4	7.8	1.3
Jahr	14.4	08	14.1	0.7

Tabelle 2.19: Höchste und tiefste absolute Feuchte [g/kg] (Tagesmittelwert; Mixing Ratio g/kg trockener Luft) pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]
Januar	4.1	2.6	4.4	2.5
Februar	4.5	2.5	4.6	2.3
März	5.5	3.2	5.5	3.4
April	5.7	4.1	5.7	4.2
Mai	8.5	5.4	8.5	5.5
Juni	10.6	7.2	10.6	7.3
Juli	11.1	8.4	11.5	8.2
August	10.9	8.7	11.1	8.6
September	9.5	6.7	9.7	6.7
Oktober	8.1	5.6	8.3	5.6
November	6.0	3.9	6.1	3.9
Dezember	4.7	3.2	4.8	3.3

Tabelle 2.20: Höchste und tiefste absolute Feuchte [g/kg] (Monatsmittelwert; Mixing Ratio g/kg trockener Luft) pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

2.3 Mittelwert-/Standardabweichungen

Die Extrema der Monatsmitteltemperatur werden in Mühleberg mit 18.4 °C im Juli, respektive mit Januar mit 0.7 °C gemessen. Die mittleren Windverhältnisse betragen auf 10 m Höhe das ganze Jahr zwischen 1.1 und 1.5 m/s. Auf dem 110 m Niveau werden im Mittel sogar 2.8 m/s erreicht. Durchschnittlich gibt es in Mühleberg je nach Saison zwischen 8 und 12 Tage mit Niederschlag. Dabei fallen durchschnittlich zwischen 50.5 mm (Januar) und 109.2 mm (August) Niederschlag pro Monat.

2.3.1 Mittlere Temperaturverhältnisse

Die typische Variabilität der Stundenwerte der Temperatur der einzelnen Monate (SD), ausgedrückt durch die Standardabweichung der Stundenwerte, und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) der Station Mühleberg für die Turmniveaus 10 m und 110 m sind in der Tabelle 2.21 festgehalten.

Monat	Mühleberg, 10 m		Mühleberg, 110 m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	0.7	4.2	0.5	4.4
Februar	1.9	4.3	1.9	4.5
März	5.7	4.8	5.7	4.8
April	8.6	4.8	8.5	4.7
Mai	13.4	4.7	13.3	4.5
Juni	16.4	4.9	16.3	4.8
Juli	18.4	4.7	18.4	4.4
August	18.0	4.7	18.3	4.5
September	13.9	4.0	13.9	4.0
Oktober	9.9	3.9	9.7	3.9
November	4.3	3.9	3.8	4.0
Dezember	1.4	4.0	1.0	4.2

Tabelle 2.21: Typische Variabilität der Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] das 10 m und das 110 m Turmniveau der Station Mühleberg (1988 bis 2007).

Die Tabelle 2.22 zeigt die Monatsmittelwerte [°C] und die typische Variabilität der Tageswerte für die Stationen Basel und Buchs. Die Mittelwerte wurden aus den entsprechenden Tageswerten berechnet. Die Messperiode der Tageswerte geht bei Bern zurück ins Jahr 1864. In Wynau wird die Tagesmitteltemperatur seit 1981 gemessen.

In den Tabelle 2.23 und Tabelle 2.24 sind mittleren Monatsmittel und die typische Variabilität der Tagesmaxima-, bzw. Tagesminima-Temperaturen von Bern und Wynau wiedergeben.

Monat	Bern, 2 m		Wynau, 2 m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	-1.1	4.4	0.1	4.2
Februar	0.6	4.2	0.7	3.9
März	4.2	3.9	4.8	3.7
April	8.2	3.7	8.3	3.4
Mai	12.6	3.8	13.0	3.3
Juni	15.9	3.5	16.4	3.5
Juli	17.9	3.2	18.5	2.9
August	17.1	3.1	17.8	2.8
September	13.8	3.3	13.9	2.8
Oktober	8.6	3.5	9.6	3.2
November	3.5	3.5	4.0	3.5
Dezember	-0.1	4.2	1.3	3.5

Tabelle 2.22: Typische Variabilität der Tageswerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] gerechnet aus den Tageswerten der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).

Monat	Bern, 2m		Wynau, 2m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	1.9	4.6	2.6	4.5
Februar	4.5	4.7	4.6	4.7
März	8.9	4.9	10.0	4.9
April	13.2	4.9	13.9	5.1
Mai	17.7	4.9	18.8	5.0
Juni	21.0	4.5	22.2	5.1
Juli	23.3	4.4	24.5	4.5
August	22.5	4.3	24.0	4.5
September	18.9	4.3	19.7	4.2
Oktober	12.9	4.4	14.0	4.2
November	6.6	4.2	6.8	4.0
Dezember	2.6	4.5	3.6	3.9

Tabelle 2.23: Typische Variabilität der Tageswerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] gerechnet aus den Tagesmaxima-Temperaturen für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).

Monat	Bern, 2 m		Wynau, 2 m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	-3.8	4.6	-2.7	4.5
Februar	-2.6	4.5	-2.8	4.3
März	0.4	3.8	0.3	3.8
April	3.7	3.2	2.9	3.0
Mai	7.6	3.2	7.5	3.0
Juni	11.0	2.9	10.8	3.0
Juli	12.9	2.7	12.8	2.5
August	12.4	2.7	12.5	2.6
September	9.7	3.2	9.5	2.9
Oktober	5.3	3.4	6.2	3.3
November	0.9	3.5	1.2	3.6
Dezember	-2.4	4.3	-1.1	3.6

Tabelle 2.24: Typische Variabilität der Tageswerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] gerechnet aus den Tagesminima-Temperaturen für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).

2.3.2 Mittlere Windverhältnisse

Die mittleren Windverhältnisse werden von den Tabelle 2.25 und Tabelle 2.26 wiedergeben. Tabelle 2.25 zeigt die mittleren Monatswerte in [m/s] für die einzelnen Monate für die Station Mühleberg auf dem 10 m und dem 110 m Turmniveau gerechnet aus den Stundenwerten, sowie die typische Variabilität der Monatsmittelwerte ausgedrückt durch die Standardabweichung (SD).

In Tabelle 2.26 sind die mittleren maximalen Stundenwerte in [m/s] und die typischen Variabilitäten der monatlichen Maxima (SD) von Bern und Wynau festgehalten.

Monat	Mühleberg 10 m		Mühleberg 110 m	
	Mean [m/s]	SD [m/s]	Mean [m/s]	SD [m/s]
Januar	1.3	1.1	2.4	2.0
Februar	1.4	1.2	2.7	2.1
März	1.5	1.2	2.8	1.9
April	1.4	1.2	2.7	1.7
Mai	1.3	1.1	2.6	1.7
Juni	1.3	1.0	2.5	1.6
Juli	1.2	1.0	2.5	1.5
August	1.1	0.9	2.3	1.4
September	1.1	1.0	2.3	1.6
Oktober	1.1	1.0	2.2	1.7
November	1.1	1.0	2.2	1.7
Dezember	1.3	1.1	2.5	2.0

Tabelle 2.25: Typische Variabilität der Stundenmittelwerte der einzelnen Monate (SD) [m/s] und die dazugehörigen Monatswerte (Mean) [m/s] für die Turmlevel 10 m und 110 m von Mühleberg (1988 bis 2007)

Monat	Bern		Wynau	
	Mean [m/s]	SD [m/s]	Mean [m/s]	SD [m/s]
Januar	20.1	6.5	20.9	5.5
Februar	19.4	5.1	19.9	5.2
März	20.0	4.0	20.3	3.5
April	17.0	2.7	18.3	3.6
Mai	16.8	2.1	17.0	2.4
Juni	17.7	3.6	18.0	3.9
Juli	17.2	1.9	18.3	3.3
August	17.0	3.4	17.1	3.5
September	15.3	2.7	16.5	3.4
Oktober	18.4	4.5	18.2	4.0
November	18.2	4.2	18.1	3.3
Dezember	20.2	5.1	19.2	3.8

Tabelle 2.26: Typische Variabilität der Stundenmaximalwerte der einzelnen Monate (SD) [m/s] und die dazugehörigen Monatswerte (Mean) [m/s] von Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).

2.3.3 Mittlerer Niederschlag

Die Tabelle 2.27 zeigt die mittleren Monatsniederschläge inklusive Standardabweichung der Station Mühleberg. Die ausgewertete Messperiode von Mühleberg beginnt im Jahr 1989. Die Tabelle 2.28 und Tabelle 2.29 zeigen die durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag pro Monat inklusive Standardabweichung. Als Tage mit Niederschlag gelten alle Tage mit mehr als 0.9 mm. In Tabelle 2.28 sind Daten von Mühleberg festgehalten und in Tabelle 2.29 die Werte von Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).

Monat	Mühleberg, 1.5 m	
	Mean [mm]	SD [mm]
Januar	50.5	41.8
Februar	56.4	32.3
März	64.7	56.5
April	80.6	44.2
Mai	100.3	55.8
Juni	107.6	58.4
Juli	101.9	44.0
August	109.2	57.6
September	86.8	45.1
Oktober	89.1	35.5
November	74.8	51.6
Dezember	70.3	30.7

Tabelle 2.27: Mittlere Niederschlags Monatswerte (Mean) [mm] und Standardabweichung (SD) [mm] gerechnet aus den Monatsmittelwerten der Station Mühleberg (1989 bis 2007).

Monat	Mühleberg, 1.5 m	
	Anzahl Tage	SD [T]
Januar	8.1	4.8
Februar	9.5	3.6
März	9.1	4.8
April	10.5	4.3
Mai	11.6	3.0
Juni	10.7	4.2
Juli	10.8	3.7
August	10.9	4.4
September	9.3	3.6
Oktober	10.6	4.0
November	10.0	5.0
Dezember	10.5	3.9

Tabelle 2.28: Durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag pro Monat und Standardabweichung (SD)[T] der Station Mühleberg (1989 bis 2007).

Monat	Bern, 1.5 m		Wynau, 1.5 m	
	Anzahl Tage	SD [T]	Anzahl Tage	SD[T]
Januar	9.2	4.1	10.6	5.2
Februar	8.7	4.3	9.4	3.6
März	10.0	4.4	10.7	4.7
April	11.0	4.3	10.6	4.3
Mai	12.3	3.5	12.3	3.5
Juni	12.2	3.6	11.2	3.6
Juli	11.2	4.0	10.6	3.3
August	11.0	3.9	11.0	4.3
September	9.2	3.9	9.7	4.2
Oktober	9.6	4.7	10.5	4.6
November	9.8	4.4	10.3	4.8
Dezember	9.8	4.5	10.8	4.0

Tabelle 2.29: Durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag und Standardabweichung (SD) [T] pro Monat der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).

2.3.4 Mittlere Feuchteverhältnisse

Tabelle 2.30 zeigt die typische Variabilität der Feuchttemperatur Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittelwerte (Mean) [°C] der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003). Die Tabelle 2.31 wiedergibt diesselben Grössen gerechnet aus den Tagesmittelwerten.

Die Tabelle 2.30 und Tabelle 2.31 zeigen die mittlere absolute Feuchte (Mean) [g/kg; Gramm pro Kilogramm trockener Luft] und die typische Variabilität (SD) [g/kg] der Stationen Bern und Wynau gerechnet aus den Stundenmittelwerten (Tabelle 2.32) und aus den Tagesmittelwerten (Tabelle 2.33).

Monat	Bern		Wynau	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	-1.1	4.3	-0.8	4.3
Februar	-0.1	4.3	-0.1	4.4
März	3.1	3.9	3.1	3.9
April	5.5	3.4	5.7	3.5
Mai	10.2	3.3	10.4	3.3
Juni	12.7	3.3	13.1	3.3
Juli	14.7	2.8	15.0	2.8
August	14.8	2.9	15.1	2.9
September	11.5	3.2	11.7	3.2
Oktober	8.1	3.5	8.2	3.5
November	2.9	3.7	3.1	3.7
Dezember	0.3	3.9	0.6	3.8

Tabelle 2.30: Typische Variabilität der Feuchttemperatur Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Mean [°C]	SD [C°]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	-1.4	4.4	-1.1	4.5
Februar	0.1	3.8	0.1	3.9
März	3.1	3.3	3.1	3.3
April	5.6	2.8	5.8	2.8
Mai	10.1	2.8	10.3	2.7
Juni	12.6	2.8	13.0	2.8
Juli	14.8	2.2	15.1	2.2
August	14.8	2.3	15.1	2.4
September	11.6	2.6	11.7	2.5
Oktober	8.1	3.1	8.2	3.2
November	2.7	3.5	2.9	3.5
Dezember	0.3	3.6	0.7	3.5

Tabelle 2.31: Mittlere monatliche Feuchttemperatur (Mean) [°C] und Standardabweichung (SD) [°C] pro Monat der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Mean [g/kg]	SD [g/kg]	Mean [g/kg]	SD [g/kg]
Januar	3.4	1.0	3.5	1.1
Februar	3.6	1.1	3.6	1.1
März	4.2	1.2	4.3	1.3
April	5.0	1.3	5.1	1.3
Mai	7.1	1.6	7.2	1.6
Juni	8.5	1.9	8.6	1.9
Juli	9.7	1.8	9.8	1.9
August	9.9	1.8	10.1	1.9
September	8.2	1.7	8.3	1.7
Oktober	6.7	1.6	6.7	1.6
November	4.7	1.3	4.7	1.3
Dezember	3.8	1.1	3.9	1.2

Tabelle 2.32: Typische Variabilität der Feuchte Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [g/kg] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [g/kg] der Stationen Basel und Buchs (1984 bis 2003).

Monat	Bern		Wynau	
	Mean [g/kg]	SD [g/kg]	Mean [g/kg]	SD [g/kg]
Januar	3.4	1.0	3.5	1.1
Februar	3.6	1.0	3.7	1.1
März	4.2	1.1	4.3	1.2
April	5.0	1.2	5.1	1.2
Mai	7.1	1.5	7.1	1.5
Juni	8.4	1.7	8.6	1.7
Juli	9.7	1.6	9.9	1.6
August	9.8	1.6	10.1	1.7
September	8.2	1.5	8.3	1.5
Oktober	6.6	1.4	6.7	1.5
November	4.6	1.2	4.7	1.2
Dezember	3.8	1.1	3.9	1.1

Tabelle 2.33: Mittlere absolute Feuchte (Mean) [g/kg] und Standardabweichung (SD) [g/kg] pro Monat der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).

2.4 Windanalysen am Standort Mühleberg

Die Windrichtungen der untersten Atmosphärenschicht sind massgeblich durch die regionale Topographie bestimmt. Die Hauptwindrichtungen am Bodenmessfeld der Messstation Mühleberg sind, massgeblich beeinflusst durch die topographischen Bedingungen der Tallage, in den Sektoren W und E zu finden. Ähnlich zeigen sich die Verhältnisse auf dem Turmniveau in 110 m über Grund, wobei die westlichen Winde mehr aus WSW und östlichen Wind mehr aus ESE auftreten.

Für die Analyse der langjährigen Windverhältnisse der beiden Niveaus am Standort Mühleberg auf 10 m bzw. 110 m werden die mittleren jährlichen und die mittleren monatlichen Windrosen der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 verwendet. Die Basis für die Auswertungen bilden die mittleren stündlichen Windgeschwindigkeiten und die mittlere stündliche Windrichtung. Die Windrosen werden dabei in Windrichtungsklassen von 10 Grad sowie in die Windgeschwindigkeitsklassen von:

- 0.5 bis 2.9 m/s
- 3.0 bis 5.9 m/s
- grösser 6.0 m/s

unterteilt. Sehr kleine Windgeschwindigkeiten < 0.5 m/s, sogenannte Kalmen, werden nicht auf die einzelnen Windrichtungsklassen aufgeteilt. Die Abbildung 2.25 und Abbildung 2.26 zeigen die jährliche und die monatlichen Windrosen auf dem Niveau 10 m, Abbildung 2.27 und Abbildung 2.28 die entsprechenden Windrosen auf dem Niveau 110 m.

Zusätzlich zu den Windrosen werden die langjährigen Windverhältnisse, ebenfalls unterschieden nach den einzelnen Monaten, tabellarisch ausgewertet. Die Unterteilung der Windrichtungsklassen für die tabellarische Auswertung erfolgt wie bei der Windrosendarstellung ebenfalls in 10 Grad Schritten aber mit je 12 Windgeschwindigkeitsklassen. Die Analysen der absoluten Häufigkeiten für die mittleren jährlichen bzw. die mittleren monatlichen Windverhältnisse der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 befinden sich in elektronischer Form im Anhang A.

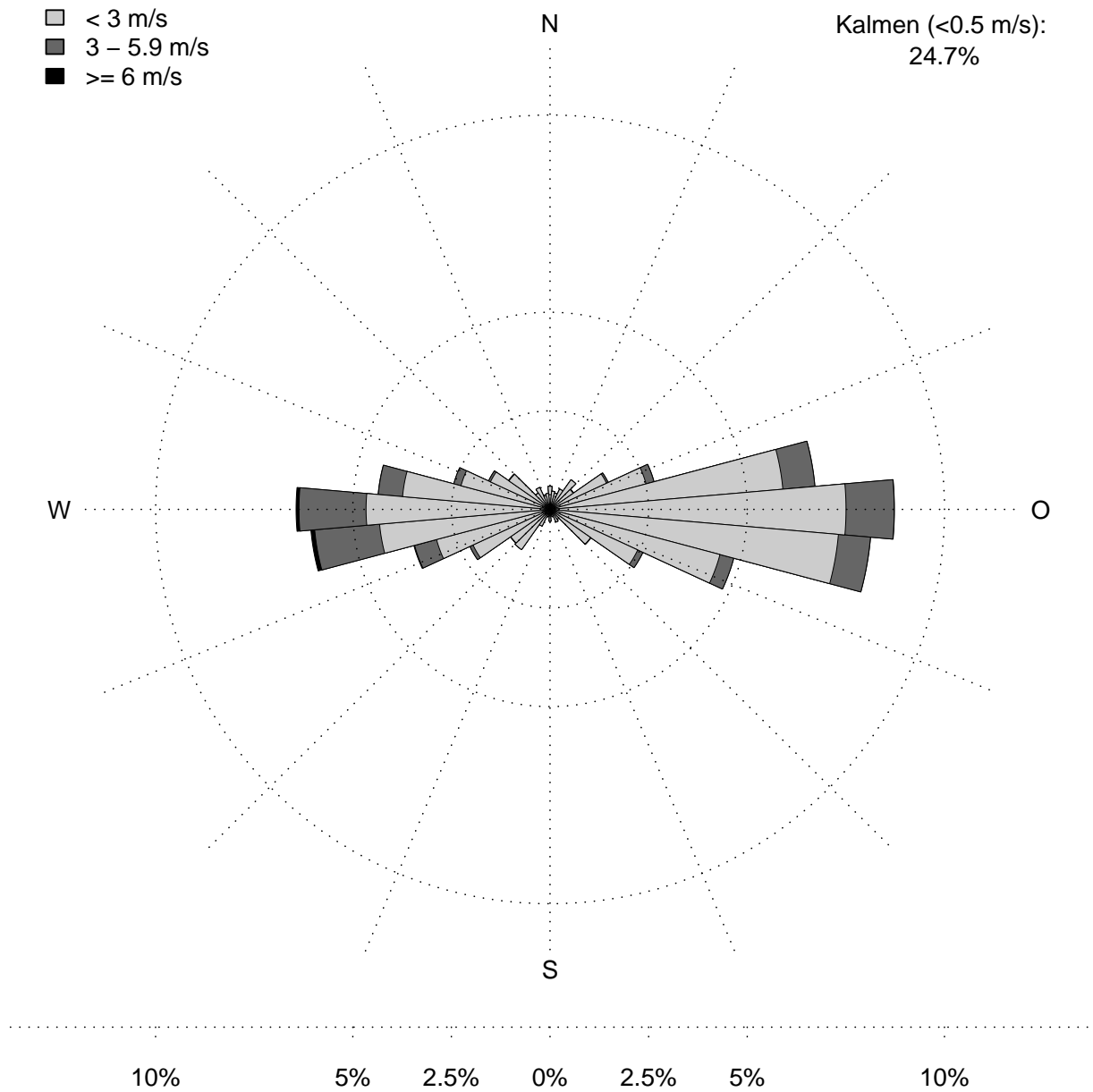


Abbildung 2.25: Mittlere jährliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

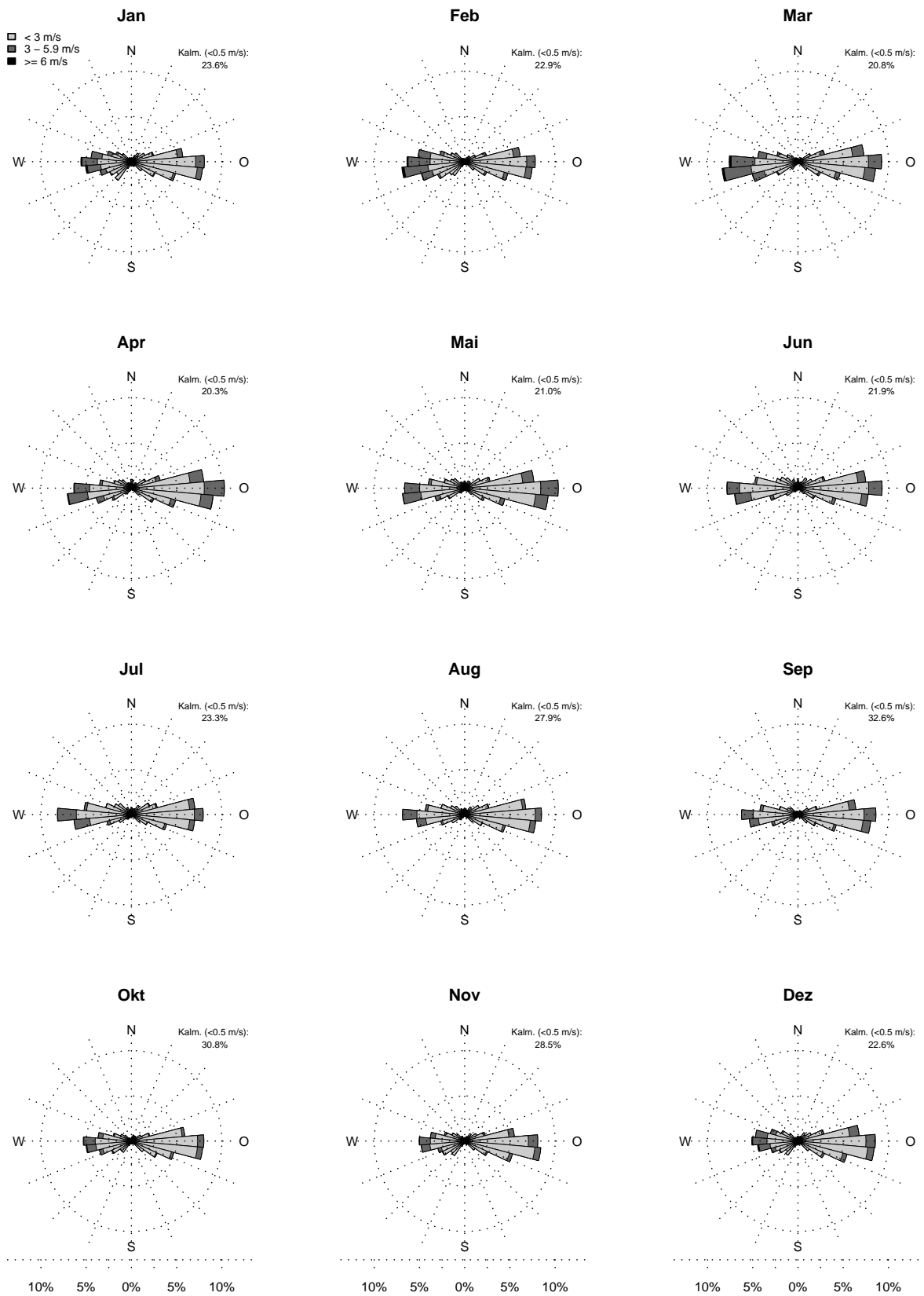


Abbildung 2.26: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

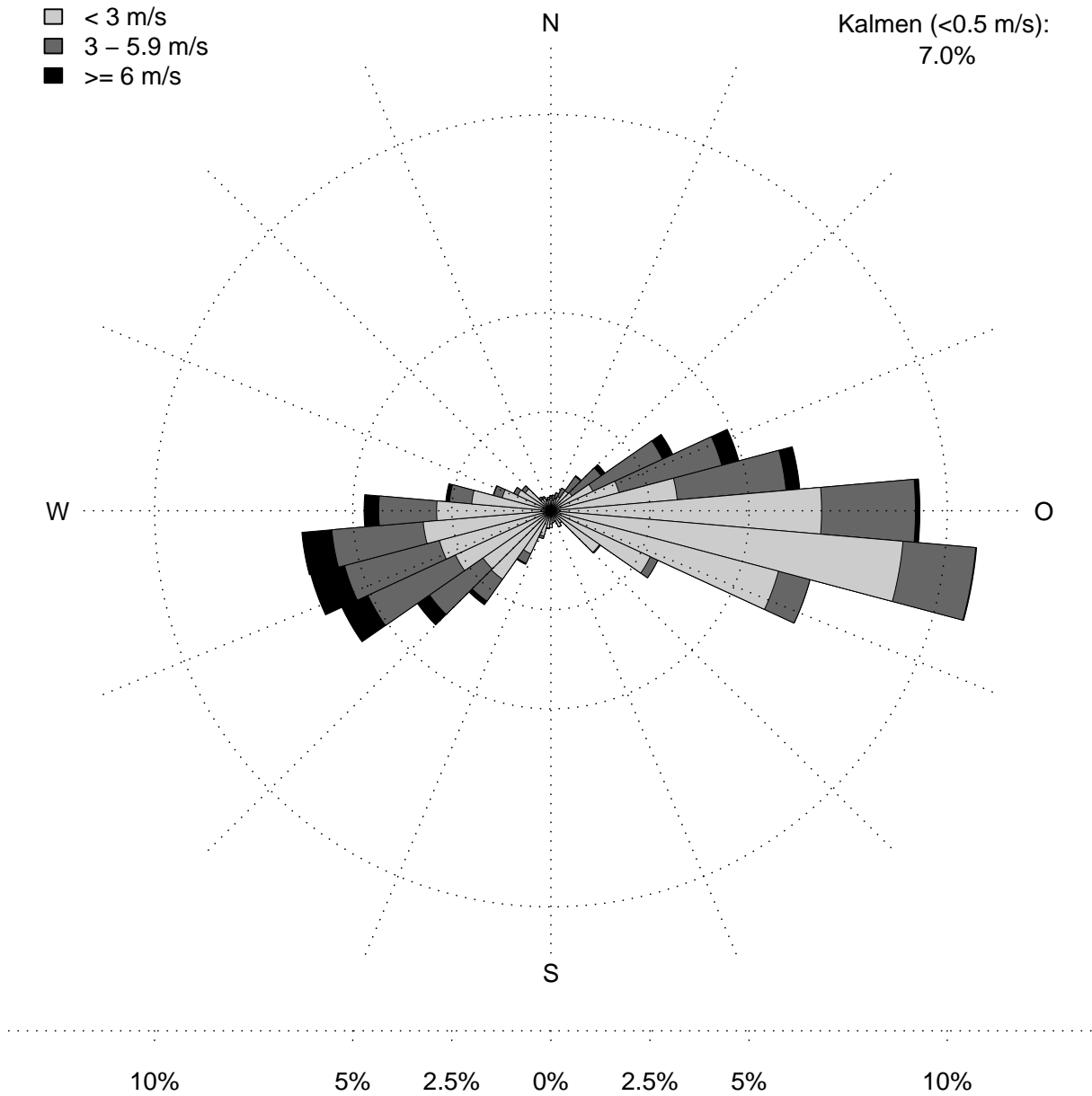


Abbildung 2.27: Mittlere jährliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 110 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

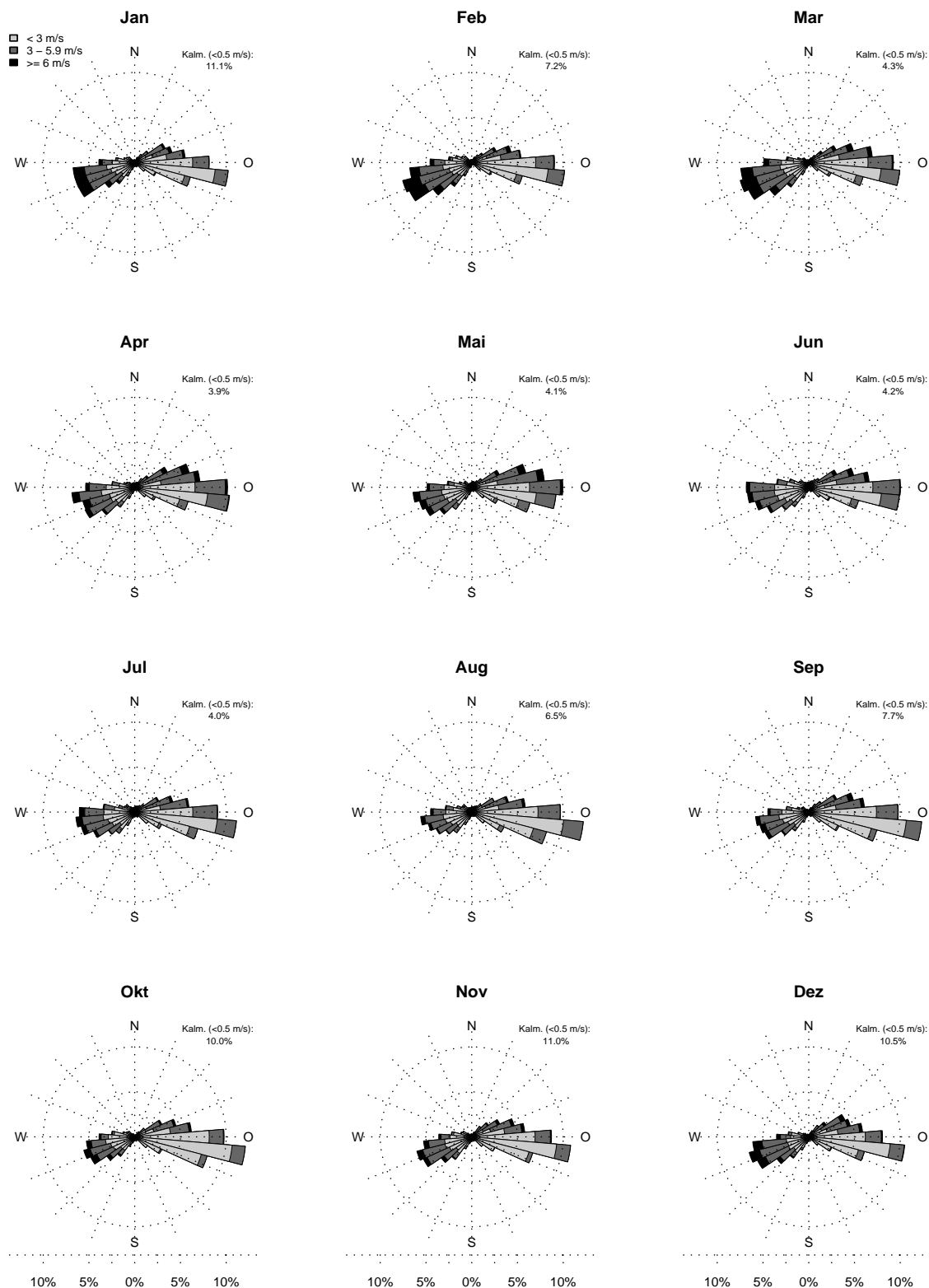


Abbildung 2.28: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 110 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

2.5 Ausbreitungsklassen

In Mühleberg tritt die neutrale Ausbreitungsklasse D am häufigsten auf. Die ebenfalls neutrale Ausbreitungsklasse C macht im Jahresmittel gut 10% und stabilen Ausbreitungsklassen E und F machen im Jahresmittel je 20% aus. Die instabilen Ausbreitungsklassen treten zusammen nur in 10% aller Fälle auf. Die Klassen A und B treten am Tag eindeutig häufiger auf als in der Nacht. Bei den übrigen Kategorien ist es umgekehrt.

2.5.1 Diffusionskategorien

Die Atmosphäre weist verschiedene Zustände der turbulenten Diffusion auf. Diese können historisch durch Diffusionskategorien A bis F definiert werden. Die Berechnung erfolgte anhand des vertikalen Temperaturgradienten und der mittleren Windgeschwindigkeit gemäss KTA 1508 auf der Basis von Stundenmittelwerten [5]. Erhöhte Windgeschwindigkeiten wirken sich in Richtung grösserer Neutralität aus. Die Kategorien A und B gelten als instabil, die Kategorien C und D als neutral und die Kategorien E und F als stabil. Die Diffusionskategorien wurden aus den Stundenwerten der Turmdaten für die gesamte Messperiode von 1989 bis 2007 berechnet, da bis anhin eine unterschiedliche Berechnungsmethode verwendet wurde. Für knapp 2% der Stundenwerte konnte aufgrund von fehlenden Werten keine Diffusionskategorie berechnet werden. Die Häufigkeiten der Diffusionskategorien pro Monat und Jahr sind in Tabelle 2.34 zusammengefasst. Die neutralen Diffusionskategorien C und D kommen am häufigsten vor und machen in allen Monaten deutlich mehr als die Hälfte aller Datenwerte aus. Die instabilen Diffusionskategorien A und B erreichen nur in den Monaten Mai und Juni mehr als 15% und im Jahresschnitt einen Anteil von gut 10%. Der Kategorien E und F lassen sich im Jahresschnitt je knapp 20% zuordnen.

Die Tabelle 2.35 zeigt die absoluten Häufigkeiten der Diffusionskategorien am Standort Mühleberg unterschieden nach Tag und Nacht. Die instabilen Kategorien A und B und die neutrale Kategorie C treten am Tag deutlich häufiger auf als in der Nacht. Dies zeigt sich besonders ausgeprägt in den Sommermonaten. Die Kategorien E und F sind in den Nächten besonders stark ausgeprägt.

Die Einteilung des atmosphärischen Zustands in sechs Diffusionsklassen ist sehr grob und bildet die Realität nur bedingt genügend genau ab. Deshalb führen ‚Ausbreitungsmodelle der neuen Generation‘ [6], die einen kontinuierlichen meteorologischen Input benutzen, zu besseren Resultaten [7]. Die dazu notwendigen meteorologischen Variablen können aus Standardbeobachtungen (SwissMetNet) oder dem Output der numerischen Modellierung bestimmt werden. Die Verwendung eines solchen ‚Ausbreitungsmodells der neuen Generation‘ würde dann die klimatologische Analyse anderer Grössen erfordern, als sie im folgenden Abschnitt zusammengestellt sind.

Monat	Diffusionskategorien											
	A		B		C		D		E		F	
	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%
Januar	883	6.3	375	2.7	1257	8.9	6413	45.6	3039	21.6	2107	15
Februar	449	3.5	300	2.3	1248	9.7	5356	41.8	2551	19.9	2924	22.8
März	751	5.6	528	4	1659	12.4	4894	36.6	2235	16.7	3299	24.7
April	945	6.9	842	6.2	1992	14.6	4873	35.7	2127	15.6	2888	21.1
Mai	1406	10.1	928	6.7	1864	13.4	4260	30.5	2380	17.1	3108	22.3
Juni	1546	11.4	839	6.2	1520	11.2	4208	31	2453	18.1	3016	22.2
Juli	1119	8.2	826	6	1567	11.4	4123	30.1	2708	19.8	3366	24.6
August	907	6.7	723	5.3	1275	9.4	3837	28.3	2943	21.7	3885	28.6
September	614	4.6	541	4.1	1329	10	4550	34.1	3186	23.9	3135	23.5
Oktober	515	3.7	458	3.3	1174	8.4	5732	41.2	3394	24.4	2623	18.9
November	796	5.8	315	2.3	1173	8.6	6456	47.3	3233	23.7	1662	12.2
Dezember	647	4.6	402	2.9	1416	10	7080	50.2	2981	21.1	1577	11.2
Jahr	10578	6.5	7077	4.3	17474	10.7	61782	37.7	33230	20.3	33590	20.5

Tabelle 2.34: Absolute (Anzahl Stunden) und relative Häufigkeiten der Diffusionskategorien A bis F (1989 bis 2007) pro Monat und Jahr der Station Mühleberg.

Monat	Diffusionskategorien											
	A		B		C		D		E		F	
	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
Januar	536	347	268	107	849	408	3362	3051	1395	1644	634	1473
Februar	342	107	235	65	964	284	3057	2299	1087	1464	721	2203
März	593	158	505	23	1471	188	2943	1951	717	1518	454	2845
April	887	58	790	52	1805	187	2762	2111	416	1711	179	2709
Mai	1317	89	845	83	1713	151	2538	1722	443	1937	124	2984
Juni	1411	135	810	29	1421	99	2664	1544	407	2046	117	2899
Juli	1083	36	803	23	1495	72	2835	1288	582	2126	144	3222
August	895	12	713	10	1212	63	2830	1007	809	2134	420	3465
September	597	17	530	11	1253	76	3038	1512	947	2239	369	2766
Oktober	483	32	440	18	1040	134	3399	2333	1150	2244	473	2150
November	509	287	264	51	886	287	3641	2815	1161	2072	371	1291
Dezember	409	238	270	132	889	527	3697	3383	1312	1669	473	1104
Jahr	9062	1516	6473	604	14998	2476	36766	25016	10426	22804	4479	29111

Tabelle 2.35: Absolute Häufigkeiten (Anzahl Stunden) der Diffusionskategorien A bis F (1989 bis 2007) pro Monat und Jahr unterschieden nach Tag (T) und Nacht (N) der Station Mühleberg.

2.5.2 Vierparametrische Ausbreitungsstatistik

Tabelle 2.36 bis Tabelle 2.59 zeigen die vierparametrische Ausbreitungsstatistik nach KTA 1508 [5] für die Station Mühleberg. Die Tabellen sind geordnet nach Niederschlagsklassen und Diffusionskategorien. Es werden vier Niederschlagsklassen unterschieden: Kein Niederschlag, 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag, 0.6 bis 3 mm Niederschlag und >3 mm Niederschlag. Die Tabellen zeigen die Anzahl Stunden mit einer bestimmten Windgeschwindigkeit, geordnet nach Windrichtungen. Die Windrichtungsklassen gehen von grösser als bis kleiner gleich (Bsp.: >345° bis ≤15°). Bei den Windgeschwindigkeitsklassen ist die untere Grenze noch in der Klasse enthalten, d.h.: ≥0 bis <1 m/s. Die drei letzten Spalten je Tabelle wiedergeben das Windgeschwindigkeitsmittel [m/s] aller Ereignisse der entsprechenden Windrichtung, die totale Anzahl Stunden je Windrichtung und der prozentuale Anteil der Ereignisse am gesamten Datensatz. Die Differenz der Prozentsumme zu 100% ist auf die fehlenden Werte und die Rundungen zurückzuführen. Tabellen mit einer vierparametrischen Ausbreitungsstatistik ohne Windstillen nach KTA 1508 [5] befinden sich in elektronischer Form im Anhang B.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%	
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18				
A	345-15	89	67	41	13	1	0	0	0	0	0	1.31	211	0.1	
	15-45	46	59	66	45	5	0	0	0	0	0	2.12	221	0.1	
	45-75	46	106	137	166	59	7	0	0	0	0	2.98	521	0.3	
	75-105	168	261	289	393	146	18	0	0	0	0	2.89	1275	0.8	
	105-135	299	413	186	45	4	0	0	0	0	0	1.47	947	0.6	
	135-165	82	112	15	3	0	0	0	0	0	0	1.15	212	0.1	
	165-195	132	51	2	1	0	0	0	0	0	0	0.82	186	0.1	
	195-225	288	164	34	16	0	0	0	0	0	0	1.05	502	0.3	
	225-255	465	908	256	191	59	11	0	0	0	0	1.76	1890	1.1	
	255-285	565	1289	500	383	79	13	0	0	0	0	1.9	2829	1.7	
	285-315	170	307	87	46	4	0	0	0	0	0	1.53	614	0.4	
	315-345	44	90	44	6	1	0	0	0	0	0	1.55	185	0.1	
	Summe		2394	3827	1657	1308	358	49	0	0	0			9593	
	%		1.4	2.3	1	0.8	0.2	0	0	0	0				5.7

Tabelle 2.36: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
B	345-15	79	46	40	41	2	0	0	0	0	0	1.66	208	0.1
	15-45	33	79	78	88	8	0	0	0	0	0	2.45	286	0.2
	45-75	36	125	166	271	76	2	0	0	0	0	3.11	676	0.4
	75-105	129	218	237	280	33	11	1	0	0	0	2.5	909	0.5
	105-135	226	175	101	35	2	0	0	0	0	0	1.42	539	0.3
	135-165	45	27	3	1	0	0	0	0	0	0	0.95	76	0
	165-195	53	20	7	1	0	0	0	0	0	0	0.89	81	0
	195-225	145	89	44	35	4	0	0	0	0	0	1.46	317	0.2
	225-255	216	341	178	207	48	8	0	0	0	0	2.16	998	0.6
	255-285	292	632	380	421	74	15	4	0	0	0	2.29	1818	1.1
	285-315	114	210	72	34	4	1	0	0	0	0	1.6	435	0.3
	315-345	26	64	33	24	0	0	0	0	0	0	1.89	147	0.1
	Summe	1394	2026	1339	1438	251	37	5	0	0	0		6490	
	%	0.8	1.2	0.8	0.9	0.2	0	0	0	0	0			3.9

Tabelle 2.37: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
C	345-15	173	70	67	78	8	1	0	0	0	0	1.59	397	0.2
	15-45	58	109	136	331	88	4	0	0	0	0	3.21	726	0.4
	45-75	53	234	478	1655	1210	186	2	0	0	0	4.34	3818	2.3
	75-105	247	434	657	1198	403	67	0	0	0	0	3.27	3006	1.8
	105-135	267	252	137	76	4	0	0	0	0	0	1.53	736	0.4
	135-165	78	31	5	0	0	0	0	0	0	0	0.86	114	0.1
	165-195	98	40	7	2	0	0	0	0	0	0	0.86	147	0.1
	195-225	154	105	72	100	38	7	0	0	0	0	2.25	476	0.3
	225-255	270	348	238	649	608	140	17	0	0	0	3.8	2270	1.4
	255-285	356	657	524	913	493	68	11	2	0	0	3.14	3024	1.8
	285-315	183	236	115	104	27	0	0	0	0	0	1.88	665	0.4
	315-345	35	76	63	51	2	0	0	0	0	0	2.13	227	0.1
	Summe	1972	2592	2499	5157	2881	473	30	2	0	0		15606	
	%	1.2	1.6	1.5	3.1	1.7	0.3	0	0	0	0			9.4

Tabelle 2.38: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
D	345-15	931	186	178	177	9	1	0	0	0	0	1.05	1482	0.9
	15-45	281	262	315	533	142	11	0	0	0	0	2.73	1544	0.9
	45-75	294	597	1125	3231	1536	254	19	0	0	0	3.89	7056	4.2
	75-105	1302	2534	2416	2941	1057	125	3	0	0	0	2.75	10378	6.2
	105-135	1618	1512	609	180	16	1	0	0	0	0	1.32	3936	2.4
	135-165	432	124	20	6	0	0	0	0	0	0	0.8	582	0.3
	165-195	539	121	36	16	0	1	0	0	0	0	0.8	713	0.4
	195-225	972	606	414	528	156	77	15	3	0	0	2.17	2771	1.7
	225-255	937	1177	1160	3255	1953	650	162	14	0	0	3.88	9308	5.6
	255-285	1694	1704	1032	2009	1193	447	81	13	0	0	3.07	8173	4.9
	285-315	929	782	317	299	48	1	1	0	0	0	1.59	2377	1.4
	315-345	228	217	137	85	12	1	0	0	0	0	1.69	680	0.4
	Summe	10157	9822	7759	13260	6122	1569	281	30	0	0		49000	
	%	6.1	5.9	4.7	8	3.7	0.9	0.2	0	0	0			29.5

Tabelle 2.39: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
E	345-15	769	66	42	37	2	0	0	0	0	0	0.47	916	0.6
	15-45	201	115	88	107	5	1	0	0	0	0	1.76	517	0.3
	45-75	229	380	444	765	140	5	0	0	0	0	2.81	1963	1.2
	75-105	1552	3670	3320	1841	196	8	0	0	0	0	2.09	10587	6.4
	105-135	1738	2354	1283	296	9	0	0	0	0	0	1.5	5680	3.4
	135-165	407	101	7	2	0	0	0	0	0	0	0.73	517	0.3
	165-195	409	104	14	3	0	0	0	0	0	0	0.72	530	0.3
	195-225	623	486	330	142	6	0	1	0	0	0	1.49	1588	1
	225-255	552	789	861	722	86	21	6	0	0	0	2.28	3037	1.8
	255-285	877	593	416	329	42	7	0	0	0	0	1.69	2264	1.4
	285-315	600	348	95	51	8	0	0	0	0	0	1.13	1102	0.7
	315-345	140	134	44	28	3	0	0	0	0	0	1.38	349	0.2
	Summe	8097	9140	6944	4323	497	42	7	0	0	0		29050	
	%	4.9	5.5	4.2	2.6	0.3	0	0	0	0	0			17.5

Tabelle 2.40: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
F	345-15	615	84	33	12	0	0	0	0	0	0	0.45	744	0.4
	15-45	238	99	103	74	0	0	0	0	0	0	1.49	514	0.3
	45-75	371	496	540	640	30	0	0	0	0	0	2.31	2077	1.2
	75-105	1895	5116	5378	2941	85	0	0	0	0	0	2.11	15415	9.3
	105-135	1336	2160	2451	1070	3	0	0	0	0	0	1.94	7020	4.2
	135-165	341	106	9	1	0	0	0	0	0	0	0.77	457	0.3
	165-195	381	97	8	1	0	0	0	0	0	0	0.7	487	0.3
	195-225	548	447	273	92	3	0	0	0	0	0	1.41	1363	0.8
	225-255	432	721	652	356	10	0	0	0	0	0	1.95	2171	1.3
	255-285	525	510	315	156	7	1	0	0	0	0	1.57	1514	0.9
	285-315	454	248	52	12	0	0	0	0	0	0	0.95	766	0.5
	315-345	168	80	25	7	0	0	0	0	0	0	0.99	280	0.2
	Summe	7304	10164	9839	5362	138	1	0	0	0	0		32808	
	%	4.4	6.1	5.9	3.2	0.1	0	0	0	0	0			19.7

Tabelle 2.41: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
A	345-15	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.37	7	0
	15-45	4	4	0	2	0	0	0	0	0	0	1.38	10	0
	45-75	1	2	6	5	2	2	0	0	0	0	3.46	18	0
	75-105	11	15	16	10	1	0	0	0	0	0	2.13	53	0
	105-135	19	35	11	0	0	0	0	0	0	0	1.33	65	0
	135-165	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.57	7	0
	165-195	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.81	9	0
	195-225	4	13	18	6	1	1	0	0	0	0	2.35	43	0
	225-255	7	22	29	49	13	8	0	0	0	0	3.34	128	0.1
	255-285	12	32	36	45	22	4	0	0	0	0	3.09	151	0.1
	285-315	7	5	3	5	0	0	0	0	0	0	1.99	20	0
	315-345	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	7	0
	Summe	87	136	119	122	39	15	0	0	0	0		518	
	%	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0			0.4

Tabelle 2.42: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie A. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
B	345-15	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1.6	7	0
	15-45	0	3	1	4	0	0	0	0	0	0	2.59	8	0
	45-75	0	2	4	11	0	0	0	0	0	0	3.14	17	0
	75-105	9	14	11	5	0	0	0	0	0	0	1.92	39	0
	105-135	10	6	2	1	0	0	0	0	0	0	1.08	19	0
	135-165	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	6	0
	165-195	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2.23	3	0
	195-225	7	2	15	14	3	1	0	0	0	0	2.88	42	0
	225-255	6	16	23	44	17	5	2	0	0	0	3.59	113	0.1
	255-285	7	8	6	15	10	0	0	0	0	0	3.37	46	0
	285-315	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1.4	7	0
	315-345	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.26	5	0
	Summe	45	67	67	95	30	6	2	0	0	0		312	
	%	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0			0.1

Tabelle 2.43: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie B. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
C	345-15	6	3	2	6	0	0	0	0	0	0	1.81	17	0
	15-45	1	6	3	5	3	0	0	0	0	0	3.04	18	0
	45-75	3	6	15	39	13	1	0	0	0	0	3.69	77	0
	75-105	12	33	22	28	4	0	0	0	0	0	2.42	99	0.1
	105-135	8	4	6	0	0	0	0	0	0	0	1.31	18	0
	135-165	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.85	4	0
	165-195	4	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1.47	7	0
	195-225	7	15	32	37	16	0	1	0	0	0	3.23	108	0.1
	225-255	16	38	45	155	142	47	6	0	0	0	4.57	449	0.3
	255-285	13	26	14	56	46	7	0	0	0	0	3.82	162	0.1
	285-315	6	9	7	5	2	0	0	0	0	0	2.19	29	0
	315-345	4	5	2	1	0	0	0	0	0	0	1.56	12	0
	Summe	83	146	150	333	226	55	7	0	0	0		1000	
	%	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0			0.5

Tabelle 2.44: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie C. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
D	345-15	104	20	12	12	1	0	0	0	0	0	0.8	149	0.1
	15-45	35	22	16	23	5	0	0	0	0	0	2	101	0.1
	45-75	32	52	65	108	22	1	0	0	0	0	2.84	280	0.2
	75-105	161	324	249	179	8	1	0	0	0	0	2.04	922	0.6
	105-135	187	178	69	26	4	1	0	0	0	0	1.37	465	0.3
	135-165	45	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0.8	64	0
	165-195	66	35	12	5	0	1	0	0	0	0	1.17	119	0.1
	195-225	126	185	177	165	53	12	6	1	0	0	2.57	725	0.4
	225-255	100	260	455	1011	558	150	52	5	0	0	4.04	2591	1.6
	255-285	108	164	179	477	268	94	21	7	0	0	3.94	1318	0.8
	285-315	55	43	28	21	7	0	0	0	0	0	1.82	154	0.1
	315-345	15	21	12	4	3	0	0	0	0	0	1.83	55	0
	Summe	1034	1320	1277	2031	929	260	79	13	0	0		6943	
	%	0.6	0.8	0.8	1.2	0.6	0.2	0	0	0	0			4.2

Tabelle 2.45: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie D. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
E	345-15	110	4	6	2	0	0	0	0	0	0	0.32	122	0.1
	15-45	23	13	8	3	1	0	0	0	0	0	1.34	48	0
	45-75	23	43	21	9	0	0	0	0	0	0	1.69	96	0.1
	75-105	135	240	158	50	1	0	0	0	0	0	1.68	584	0.4
	105-135	121	174	66	16	1	0	0	0	0	0	1.4	378	0.2
	135-165	39	29	0	2	0	0	0	0	0	0	0.99	70	0
	165-195	55	22	8	0	0	0	0	0	0	0	0.91	85	0.1
	195-225	99	108	66	17	1	0	0	0	0	0	1.5	291	0.2
	225-255	73	161	176	110	20	7	1	0	0	0	2.36	548	0.3
	255-285	62	94	94	86	8	0	0	0	0	0	2.2	344	0.2
	285-315	32	26	8	4	0	0	0	0	0	0	1.29	70	0
	315-345	12	7	4	4	0	0	0	0	0	0	1.54	27	0
	Summe	784	921	615	303	32	7	1	0	0	0		2663	
	%	0.5	0.6	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0			1.7

Tabelle 2.46: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie E. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
F	345-15	16	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0.44	19	0
	15-45	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1.2	7	0
	45-75	3	7	4	2	1	0	0	0	0	0	1.99	17	0
	75-105	18	43	27	8	0	0	0	0	0	0	1.68	96	0.1
	105-135	25	29	14	2	0	0	0	0	0	0	1.33	70	0
	135-165	13	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0.88	19	0
	165-195	11	6	5	0	0	0	0	0	0	0	1.2	22	0
	195-225	15	27	11	2	0	0	0	0	0	0	1.47	55	0
	225-255	18	38	36	30	1	0	0	0	0	0	2.12	123	0.1
	255-285	18	26	26	14	0	0	0	0	0	0	1.91	84	0.1
	285-315	13	13	4	2	0	0	0	0	0	0	1.25	32	0
	315-345	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1.13	9	0
	Summe		161	196	134	60	2	0	0	0	0		553	
	%		0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0			

Tabelle 2.47: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie F. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
A	345-15	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.74	9	0
	15-45	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2.27	3	0
	45-75	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2.56	5	0
	75-105	2	8	20	6	0	1	0	0	0	0	2.42	37	0
	105-135	7	12	4	1	0	0	0	0	0	0	1.38	24	0
	135-165	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1.14	8	0
	165-195	6	9	2	1	0	0	0	0	0	0	1.37	18	0
	195-225	6	10	22	22	3	0	0	0	0	0	2.81	63	0
	225-255	8	15	31	49	19	5	0	0	0	0	3.44	127	0.1
	255-285	7	6	12	34	18	3	0	0	0	0	3.86	80	0
	285-315	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0	1.92	12	0
	315-345	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1	0
	Summe		52	70	96	119	41	9	0	0	0		387	
	%		0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0			

Tabelle 2.48: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie A. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
B	345-15	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.57	6	0
	15-45	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	2.7	4	0
	45-75	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	2.32	5	0
	75-105	4	8	3	2	0	0	0	0	0	0	1.68	17	0
	105-135	1	6	2	2	0	0	0	0	0	0	1.94	11	0
	135-165	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.55	2	0
	165-195	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2.07	3	0
	195-225	1	10	15	18	1	0	0	0	0	0	2.81	45	0
	225-255	2	9	14	41	21	6	4	0	0	0	4.34	97	0.1
	255-285	0	3	11	8	3	3	1	0	0	0	3.96	29	0
	285-315	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1.63	3	0
	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	Summe	15	41	52	75	25	9	5	0	0	0		222	
	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.49: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie B. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
C	345-15	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0	2.15	6	0
	15-45	0	6	2	2	1	0	0	0	0	0	2.24	11	0
	45-75	0	8	6	4	3	0	0	0	0	0	3.04	21	0
	75-105	8	12	6	19	0	0	0	0	0	0	2.42	45	0
	105-135	9	7	4	2	1	0	0	0	0	0	1.66	23	0
	135-165	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2.2	2	0
	165-195	5	6	0	2	0	0	0	0	0	0	1.46	13	0
	195-225	5	11	23	30	6	2	1	0	0	0	3.28	78	0
	225-255	5	18	35	123	112	62	17	0	0	0	5.09	372	0.2
	255-285	7	7	16	31	34	11	1	0	0	0	4.34	107	0.1
	285-315	1	5	2	2	1	0	0	0	0	0	2.39	11	0
	315-345	1	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1.86	7	0
	Summe	42	86	98	218	158	75	19	0	0	0		696	
	%	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0			0.4

Tabelle 2.50: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie C. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
D	345-15	48	12	5	7	0	0	1	0	0	0	0.99	73	0
	15-45	14	12	8	6	1	0	0	0	0	0	1.77	41	0
	45-75	13	31	27	34	18	0	0	0	0	0	2.87	123	0.1
	75-105	76	158	151	105	16	0	0	0	0	0	2.2	506	0.3
	105-135	78	113	31	15	1	0	0	0	0	0	1.41	238	0.1
	135-165	25	13	3	1	0	0	0	0	0	0	1.06	42	0
	165-195	37	43	23	4	0	0	0	0	0	0	1.4	107	0.1
	195-225	73	154	163	132	24	8	2	0	0	0	2.49	556	0.3
	225-255	50	217	373	796	320	126	43	5	1	1	4	1932	1.2
	255-285	59	144	156	365	267	93	29	5	0	0	4.2	1118	0.7
	285-315	35	40	27	25	13	3	0	0	0	0	2.35	143	0.1
	315-345	17	21	10	10	0	0	0	0	0	0	1.74	58	0
	Summe		525	958	977	1500	660	230	75	10	1		4937	
	%		0.3	0.6	0.6	0.9	0.4	0.1	0	0	0	0		

Tabelle 2.51: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie D. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
E	345-15	49	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0.34	55	0
	15-45	11	7	1	1	0	0	0	0	0	0	1.1	20	0
	45-75	13	13	12	9	0	0	0	0	0	0	1.79	47	0
	75-105	48	79	35	14	2	0	0	0	0	0	1.64	178	0.1
	105-135	54	75	32	2	1	0	0	0	0	0	1.36	164	0.1
	135-165	19	14	4	3	0	0	0	0	0	0	1.23	40	0
	165-195	26	23	5	1	0	0	0	0	0	0	1.12	55	0
	195-225	36	69	46	23	1	0	0	0	0	0	1.78	175	0.1
	225-255	26	92	79	55	6	0	0	0	0	0	2.24	258	0.2
	255-285	55	56	45	47	7	1	0	0	0	0	2.09	211	0.1
	285-315	17	11	13	6	2	0	0	0	0	0	1.76	49	0
	315-345	8	4	8	4	1	0	0	0	0	0	2.1	25	0
	Summe		362	446	282	165	21	1	0	0	0		1277	
	%		0.2	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0		

Tabelle 2.52: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie E. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
F	345-15	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	7	0
	15-45	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2.95	2	0
	45-75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	1	0
	75-105	3	13	7	2	0	0	0	0	0	0	1.75	25	0
	105-135	3	4	2	0	0	0	0	0	0	0	1.4	9	0
	135-165	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1.84	7	0
	165-195	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1.3	7	0
	195-225	1	7	5	0	0	0	0	0	0	0	1.74	13	0
	225-255	2	14	15	8	1	0	0	0	0	0	2.37	40	0
	255-285	10	6	4	7	2	0	0	0	0	0	2.06	29	0
	285-315	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	1.86	8	0
	315-345	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1.57	4	0
	Summe	28	61	41	19	3	0	0	0	0	0		152	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.53: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie F. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
A	345-15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1	0
	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	45-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	75-105	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.15	2	0
	105-135	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	2	0
	135-165	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	1	0
	165-195	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2.1	4	0
	195-225	0	1	3	17	1	0	0	0	0	0	3.67	22	0
	225-255	1	0	2	7	2	1	0	0	0	0	3.95	13	0
	255-285	0	3	4	2	3	1	0	0	0	0	3.63	13	0
	285-315	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1.95	2	0
	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	Summe	3	11	11	27	6	2	0	0	0	0		60	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.54: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
B	345-15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1	0
	15-45	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4.1	1	0
	45-75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1	0
	75-105	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3.65	2	0
	105-135	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	2	0
	135-165	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1	0
	165-195	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3.05	2	0
	195-225	0	1	1	4	1	0	0	0	0	0	3.66	7	0
	225-255	0	1	0	5	6	2	0	0	0	0	4.74	14	0
	255-285	1	2	0	4	1	0	1	0	0	0	4.02	9	0
	285-315	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2.65	2	0
	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	Summe	1	10	3	16	9	2	1	0	0	0		42	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.55: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
C	345-15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1	0
	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	45-75	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2.65	2	0
	75-105	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	2.78	6	0
	105-135	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2.05	2	0
	135-165	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.8	1	0
	165-195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	195-225	1	1	4	11	0	0	0	0	0	0	3.11	17	0
	225-255	1	2	12	22	18	8	2	0	0	0	4.75	65	0
	255-285	0	0	3	10	12	6	2	1	0	0	5.85	34	0
	285-315	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	3.02	4	0
	315-345	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2.9	2	0
	Summe	3	4	31	46	31	14	4	1	0	0		134	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.56: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
D	345-15	3	3	5	5	2	0	0	0	0	0	2.57	18	0
	15-45	1	2	4	2	1	0	0	0	0	0	2.6	10	0
	45-75	2	2	2	5	1	0	0	0	0	0	2.99	12	0
	75-105	4	18	10	23	2	1	0	0	0	0	2.72	58	0
	105-135	7	19	9	11	1	1	0	0	0	0	2.3	48	0
	135-165	7	5	2	3	0	0	0	0	0	0	1.58	17	0
	165-195	3	7	4	2	0	0	0	0	0	0	1.6	16	0
	195-225	7	17	22	25	4	0	1	0	0	0	2.76	76	0
	225-255	6	23	31	91	31	18	10	2	0	0	4.28	212	0.1
	255-285	1	20	28	76	55	30	8	2	0	0	4.83	220	0.1
	285-315	2	8	10	14	1	1	0	0	0	0	2.9	36	0
	315-345	0	4	4	5	1	0	0	0	0	0	2.91	14	0
	Summe		43	128	131	262	99	51	19	4	0		737	
	%		0	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0			0.5

Tabelle 2.57: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
E	345-15	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1.66	9	0
	15-45	1	4	1	3	0	0	0	0	0	0	2.3	9	0
	45-75	3	1	4	4	0	0	0	0	0	0	2.36	12	0
	75-105	3	10	9	7	1	0	0	0	0	0	2.32	30	0
	105-135	4	11	4	6	2	0	0	0	0	0	2.21	27	0
	135-165	2	6	0	1	0	0	0	0	0	0	1.51	9	0
	165-195	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	1.91	7	0
	195-225	3	7	1	0	0	0	0	0	0	0	1.3	11	0
	225-255	3	9	10	6	1	0	0	0	0	0	2.37	29	0
	255-285	3	3	10	6	0	0	0	0	0	0	2.42	22	0
	285-315	0	5	5	1	0	0	0	0	0	0	2.03	11	0
	315-345	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2.74	5	0
	Summe		27	63	47	40	4	0	0	0	0		181	
	%		0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.58: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

Kat	Wind- richtung	Anzahl Stunden bei Wind von: [m/s]										Mittel [m/s]	Total [h]	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18			
F	345-15	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3.5	2	0
	15-45	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.1	1	0
	45-75	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.25	2	0
	75-105	0	2	2	3	0	0	0	0	0	0	2.67	7	0
	105-135	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.5	1	0
	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	165-195	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1	0
	195-225	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1.75	2	0
	225-255	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	2.42	5	0
	255-285	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.9	1	0
	285-315	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.2	1	0
	315-345	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9	1	0
	Summe	0	8	9	7	0	0	0	0	0	0		24	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.59: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.

2.6 Gewitter- und Blitze

Die mittlere jährliche Blitzdichte in der Umgebung des Standortes Mühleberg der Periode 2000 bis 2007 beträgt ca. 1.5 Blitze/km². Dieser Wert entspricht etwa den jährlichen Durchschnittswerten des schweizerischen Mittellandes von ca. 1.5 Blitzen/km². Die höchste jährliche Blitzdichte betrug 3.6 km². Die stärksten Blitze weisen Stromstärken von mehr als 100 Kilo-Ampère auf.

2.6.1 Grundlagen von Blitzen

Blitze entstehen in Gewitterwolken, sog. *Cumulonimben*. Diese Wolken sind meist sehr massiv und reichen bis in grosse Höhen, oft ist ihr oberer Rand abgeflacht und besitzt eine Ambossform. Sie bestehen bis zu einer Höhe von 5 bis 6 Kilometern aus Wassertröpfchen, in grösseren Höhen aus Eiskristallen. Auf Grund von Kollisionen und des Auseinanderbrechens von grösseren Partikeln innerhalb der Wolke kann es zu elektrostatischen Aufladungen der Partikel kommen. Dabei werden leichtere Teilchen häufiger positiv, schwerere vermehrt negativ geladen. Durch Aufwinde in der Wolke und auf Grund der Schwerkraft kommt es nun zu einer Trennung dieser Partikel, schwere negative Teilchen wandern in die Wolkenbasis, leichte positive in den Amboss. Dadurch wird der obere Teil der Wolke positiv, der untere negativ geladen, zwischen den beiden Bereichen besteht eine Potentialdifferenz, das heisst eine Spannung. Die negativen Ladungen in der Basis sorgen ausserdem dafür, dass sich die unter der Wolke liegende Erdoberfläche positiv auflädt (*Influenzladung*), es besteht also auch eine Spannung zwischen Wolke und Erdboden. Wird eine dieser Spannungen gross genug, so kann ein Blitz entstehen, der für einen Ladungsausgleich sorgt. Dabei unterscheidet man zwischen *Wolkenblitzen* innerhalb oder zwischen Wolken und *Erdblitzen* zwischen Wolke und Erde.

Ein Blitzereignis besteht im Normalfall aus mehreren Hauptblitzen. Üblicherweise beginnt der gesamte Vorgang des Erdblitzes mit einem Vor- oder Leitblitz. Als solchen bezeichnet man eine Ionisation der Luftmoleküle, die sich ausgehend von der Wolke in mehreren Schritten in Richtung Erdboden ausbreitet. Der dabei entstehende leitfähige Kanal besitzt eine zackige, verästelte Struktur. Häufig beginnt eine zweite Ionisationswelle am Erdboden, wenn sich der Leitblitz diesem nähert. Treffen sich die beiden Ionisationskanäle, so entsteht eine leitende Verbindung und der erste Hauptblitz zündet, begleitet von hellem Licht und Donner. Dabei fliessen positive Ladungen von der Erde in die Wolke. Weitere Hauptblitze folgen im Abstand von im Mittel 40 Millisekunden, wiederum ausgelöst von Vorblitzen, die dem ersten Kanal folgen, allerdings viel schneller sind als der erste Vorblitz. Das menschliche Auge kann die verschiedenen Hauptblitze (ungefähr vier pro Blitzereignis) nicht getrennt wahrnehmen und sieht nur einen einzigen Blitz [9], [11].

In mittleren Breiten treten hauptsächlich zwei Typen von Gewittern auf, in denen Blitze erzeugt werden. *Luftmassengewitter* entstehen, wenn es innerhalb einer Luftmasse zu Konvektion kommt, dabei warme, feuchte Luft aufsteigt und Gewitterwolken bildet. Diese Konvektion ist meist thermisch verursacht, zum Beispiel durch Aufheizung der Erdoberfläche im Sommer, man spricht dann auch von Wärmegewittern. Die einzelnen Gewitterzellen in Luftmassengewittern sind relativ klein, auch wenn sich das gesamte Gewitter über ein grösseres Gebiet erstreckt. Ausserdem gehen Luftmassengewitter im Allgemeinen nicht mit einer Änderung der Grosswetterlage einher. Im Gegensatz dazu sind *Frontgewitter* immer mit einer solchen Wetteränderung verbunden, sie treten meistens zusammen mit Kalt-, teilweise auch mit Warmfronten auf. An der Frontlinie wird dabei warme Luft durch verschiedene Prozesse angehoben, und es kommt zur Bildung von Gewitterzellen entlang dieser Linie. Ein solches Gewitter kann sich entlang der Front über mehrere hundert Kilometer erstrecken, da sich die einzelnen Zellen gegenseitig erzeugen und verstärken. Im Zusammenhang mit vor allem auf See auftretenden Böenfronten treten besonders heftige Frontgewitter auf [10], [13].

2.6.2 Messdaten

Bis Mitte 2005 basierten die Blitzerfassungsdaten von MeteoSchweiz hauptsächlich auf Messungen von Antennen, die im Rahmen des automatischen Messnetzes (ANETZ) vor ungefähr 25 Jahren installiert wurden. Diese konnten elektrische Entladungen im Umkreis der Stationen detektieren. Ab Mitte 2005 verwendet MeteoSchweiz das Blitzerfassungssystem Meteorage [12]. Diese Firma gehört zum Netzwerk EUCLID, das die Verteilung von Blitzdaten in ganz Europa koordiniert.

Mit Hilfe dieses Systems können in einem gegebenen Gebiet im Mittel 95% der in Wirklichkeit eintreffenden Erdblitzes auch beobachtet werden. Der Ort des Einschlags kann im Normalfall bis auf 1000 Meter, bei besonders starken Blitzen sogar bis auf 500 Meter genau angegeben werden. Die Genauigkeit dieser Ortsbestimmung ist weitestgehend unabhängig von der örtlichen Topographie, Blitze in bergigen Regionen können genauso gut lokalisiert werden wie im Flachland. Die Gesamtzahl der vom EUCLID-Netzwerk für das der MeteoSchweiz zugängliche Gebiet detektierten Blitze ist im Allgemeinen sehr hoch. Weitere Grössen, die mit Hilfe der Antennen gemessen werden können, sind zum Beispiel die Amplituden der elektromagnetischen Welle, die ein Mass für die Intensität des Blitzes sind, oder die Anzahl der Hauptblitze, aus denen ein Gesamtblitz besteht. Für Blitzanalysen stehen Messdaten seit dem 1. Jan. 2000 zur Verfügung.

Die beiden Messsysteme, d.h. die Antennen des ANETZ und das Verfahren von Météorage, liefern aufgrund ihrer verschiedenen Messmethoden nur sehr beschränkt vergleichbare Blitzverteilungen. Insbesondere fehlte beim alten System die genaue Lokalisierung des Einschlagortes. Es konnten nur Angaben über Einschläge im Umkreis von 3 km bzw. 30 km einer Station gemacht werden.

2.6.3 Analyse der Blitzeinschläge

Blitzdichte in der Schweiz

Für die Erstellung einer Blitzdichtekarte wurden sämtliche von Météorage auf dem Gebiet der Schweiz während der Periode 2000 bis 2007 erfassten Wolken – Bodenblitze ausgewertet, also Blitze die effektiv den Boden erreichten.

Abbildung 2.29 zeigt die räumliche Verteilung der Wolken-Boden Blitze in der Periode 2000 bis 2007. Zur Auswertung gelangten nur die eigentlichen Blitzereignisse. Wie einleitend erwähnt, besteht ein Blitzereignis aus mehreren Hauptblitzen, welche sich innerhalb von wenigen Millisekunden folgen. Diese „Folgeblitze“ werden von Météorage nicht lokalisiert, sondern nur deren Anzahl zusätzlich zum Blitzereignis angegeben. Es ist also einerseits möglich, dass bei einem Blitzereignis bestehend aus z.B. 5 Hauptblitzen alle 5 Hauptblitze am selben Ort einschlagen. Dies würde dann für die Berechnung der Blitzdichte sinnvollerweise als ein Blitz betrachtet. Andererseits könnten die 5 Hauptblitze aber eben so gut an 5 verschiedenen Punkten einschlagen. In diesem Fall müssten für die Berechnung der Blitzdichte jeder der 5 Blitze einzeln gezählt werden. Das Verhältnis aller Hauptblitze zu den Blitzereignissen beträgt in der Periode 2000 bis 2007 rund 1.9. Im unwahrscheinlichen Extremfall, dass alle Hauptblitze der einzelnen Blitzereignisse an unterschiedlichen Orten eingeschlagen haben, müsste die hier angegebene Anzahl von Bodenblitzen pro km^2 fast verdoppelt werden, um die tatsächlichen Verhältnisse zu widerspiegeln. Das effektive Verhältnis zwischen Hauptblitzen und Blitzereignissen ist aus den vorhandenen Informationen nicht eruiert.

Der gesamtschweizerische Mittelwert der Blitzdichte der Periode 2000 bis 2007 beträgt ca. 1.5 Blitze/ km^2 . Dieser Wert ist vergleichbar mit Auswertungen, welche für (Süd-) Deutschland für die Periode 1999 bis 2006 vorgenommen wurden [15]. Die höchsten Dichtewerte zeigen sich im Südtessin (ca. 4 Blitze/ km^2), entlang der nördlichen Voralpen sowie im Jura (je 2 bis 3.5 Blitze/ km^2). Damit widerspiegelt die Blitzdichteverteilung die klimatologisch bekannte, orographische bedingte

Gewitterverteilung [16]. Die absolut höchsten Werte werden an exponierten Gipfellagen, oft in Verbindung mit künstlichen Erhebungen wie Türme etc., verzeichnet. Beispiele für solche Standorte sind der Säntis, die Rigi oder der Chasseral. An diesen Extremstandorten werden z.T. Blitzdichten über 40 Blitze/km² verzeichnet.

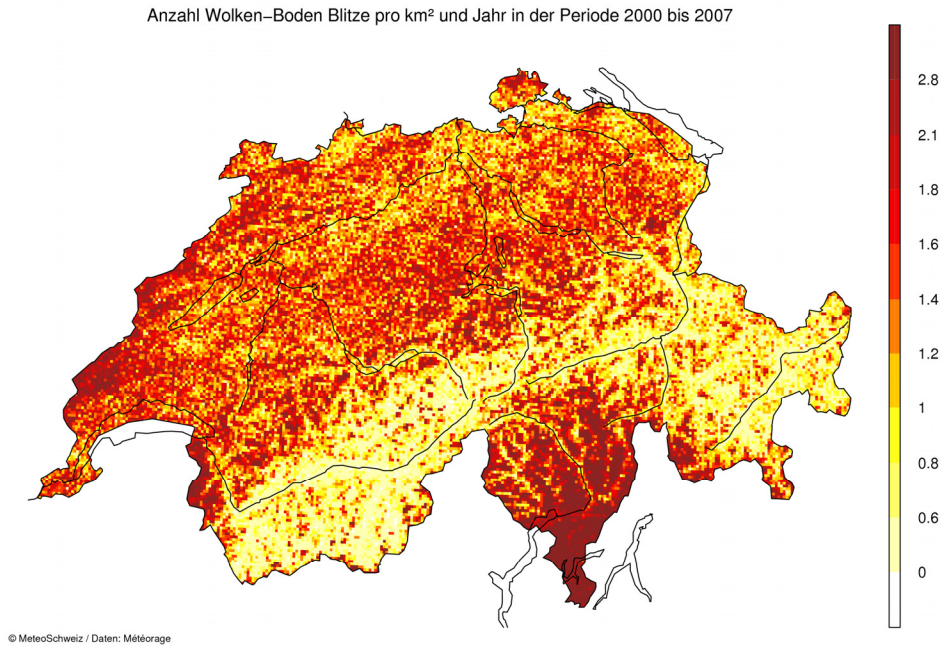


Abbildung 2.29: Räumliche Verteilung der Wolken-Boden Blitze in der Periode 2000 bis 2007. Ausgewertet wurden die eigentlichen Blitzereignisse. Zur besseren Visualisierung der regionalen Unterschiede wurden die Blitze in 10 gleich grosse Klassen unterteilt (10%-Quantile).

Blitzdichte am Standort Mühleberg

Für die Auswertung der Blitzdichte am Standort Mühleberg wurde die Periode 2000 bis 2007 verwendet. Die daraus resultierende Verteilung der Blitzdichte wird, wie bereits erwähnt, als repräsentativ erachtet. Dennoch verbleibt eine gewisse Zufälligkeit im Auftreten der Blitze. Um das Risiko zu reduzieren einen zufällig tiefen bzw. hohen Gitterpunkt für den effektiven Wert am Standort Mühleberg zu verwenden, wird deshalb für die Bestimmung nicht nur der entsprechende Gitterpunkt extrahiert, sondern das Mittel der 25 nächstgelegenen Gitterpunkte gebildet. Insgesamt werden also 25 km² (5*5 km) für die Berechnung der Blitzdichte am Standort Mühleberg verwendet. Tabelle 2.60 zeigt die mittlere Blitzdichte der Periode 2000 bis 2007 am Standort KKW- Mühleberg sowie die tiefste bzw. höchste jährliche Blitzdichte in dieser Zeitspanne.

Standort KKW- Mühleberg	Tiefster Jahreswert	Mittlerer Jahreswert	Höchster Jahreswert
Blitzdichte: Anzahl/km ²	0.3	1.5	3.6

Tabelle 2.60: Blitzdichte am Standort KKW- Mühleberg der Periode 2000 bis 2007. Für die Bestimmung der Blitzdichte wurden die Mittelwerte der 25 nächstgelegenen Gitterpunkte aus Abbildung 2.29 verwendet.

Stromstärke

Zusätzlich zur Lokalität der einzelnen Blitzereignisse liefert das Blitzerfassungssystem auch Angaben zur Stromstärke. Abbildung 2.30 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Stromstärke in Kilo-Ampère aller Blitze auf Schweizer Gebiet in der Periode 2000 bis 2007. Fließt negative Ladung von der Wolkenuntergrenze zum Boden wird von Negativblitzen gesprochen (neg. Werte). Fließt hingegen positive Ladung zum Boden werden die entsprechenden Blitze Positivblitze genannt. Wie aus Abbildung 2.30 ersichtlich ist sind die überwiegende Zahl der Blitze Negativblitze. Das Mittel der Stromstärke, gerechnet aus den absoluten Werten aller Blitze, beträgt etwa 20 Kilo-Ampère. Die stärksten Blitze weisen jedoch Stromstärken von mehr als 100 Kilo-Ampère auf.

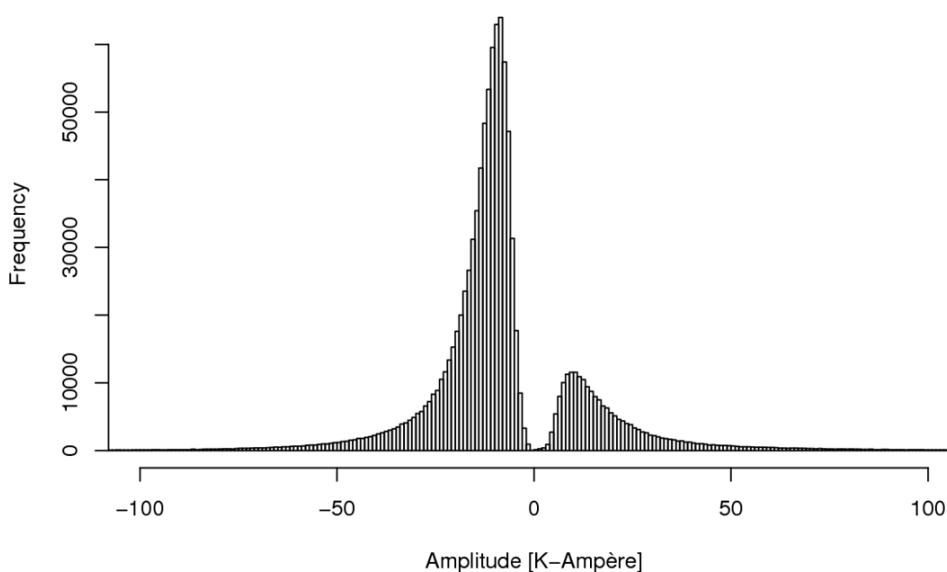


Abbildung 2.30: Häufigkeitsverteilung der Stromstärke in Kilo-Ampère aller Blitze auf Schweizer Gebiet in der Periode 2000 bis 2007. Negative Werte entsprechen Negativblitzen. Positive Werte entsprechen Positivblitzen.

Blitzdichte und Klimaänderung

Aufgrund der kurzen Zeitreihe von 8 Jahren lassen sich noch keine Aussagen über Änderungen in der Blitzdichte im Zusammenhang mit der Klimaänderung machen. Zusätzlich gilt es zu beachten, dass die Variabilität von Jahr zu Jahr sehr gross und stark von den gewitterträchtigen Wetterlagen abhängig ist. Ob bzw. wie sich die Wetterlagen im Zuge der Klimaänderung verändern werden bzw. bereits haben ist zurzeit noch nicht abschliessend geklärt und ist Bestandteil aktueller Forschungsprogramme.

2.7 Hagel

Hagelstürme richten in der Schweiz regelmässig enorme Schäden an. In Region Mühleberg treten im Durchschnitt pro Jahr ca. 2 bis 3 Tage auf, an denen Hagel möglich ist. Dieser Wert entspricht etwa den durchschnittlichen Verhältnissen des schweizerischen Mittellandes. Über die Korngrösse und der damit verbundenen Aufprallenergie liegen keine direkten Messungen vor. Im Extremfall können Hagelkörner Durchmesser von 10 bis 15 cm aufweisen.

2.7.1 Charakteristik von Hagel

Hagel ist meist in Verbindung mit Gewittern auftretender Niederschlag in Form von Eiskugeln oder Klümpchen mit 5 bis 50 mm Durchmesser (selten auch mehr). Hagel entsteht in rasch aufsteigenden, feuchten Luftströmen und ist entweder ganz durchsichtig oder abwechselnd aus klaren und undurchsichtigen, schneeartigen Schichten aufgebaut. Hagelstürme richten jedes Jahr weltweit einen enormen Schaden an. Allerdings treten die grössten Schäden hauptsächlich in der Landwirtschaft auf, denn bereits relativ schwache Hagelschläge können grosse und nachhaltige Auswirkungen auf Pflanzungen zeigen. Treffen Hagelstürme dicht besiedelte Regionen, sind oft auch erhebliche Schäden an Fahrzeugen zu verzeichnen. Gebäudeschäden werden in der Schweiz laut SIA zunehmend häufiger. Grund dafür ist, dass vermehrt hageempfindlichere Materialien in der Baupraxis eingesetzt werden. 2005 verursachten Hagelschäden in der Schweiz im Elementarschadensbereich Kosten von mehr als 120 Mio. CHF [17]. Hagelkörner entstehen in hochreichenden Gewitterwolken bzw. innerhalb einer Gewitterzelle durch unterkühltes Wasser, das an Kristallisationskernen zu Eis gefriert [18]. Diese Kerne müssen dabei in vergleichsweise geringer Zahl vorkommen, so dass die je Kern zur Verfügung stehende Wassermenge ausreichend gross ist, um ein schnelles Wachstum zu ermöglichen. Starke Aufwinde im Bereich von 70 bis 110 km/h sind nach dem heutigen Verständnis ein weiterer wesentlicher Faktor für die Hagelbildung [18]. Ohne genügend starken Aufwind würden die Partikel durch die Schwerkraft absinken, sich aus der Wolke entfernen und dadurch nicht weiter anwachsen können. Da Aufwindbereiche in einer Gewitterwolke unterschiedlich stark ausgeprägt sind, durchfahren Hagelkörner einen für ihr Wachstum ganz wesentlichen Kreislauf: Einmal entstandene Hagelkörner werden durch den Aufwind angehoben, fallen danach im Bereich schwächerer Aufwinde wieder in tiefere Luftschichten, nehmen weiteres Wasser auf, werden abermals nach oben gerissen, und zusätzliches Wasser gefriert an. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis ein Hagelkorn zu schwer ist, um von den Aufwinden getragen zu werden [19], [20]. Im Extremfall können dabei Hagelkörner auf Durchmesser von 10 bis 15 cm anwachsen. Wenn die Hagelkörner aus der Gewitterwolke fallen, beginnen sie bei Umgebungstemperaturen von über Null Grad zu schmelzen. Die Fallzeit von der Nullgradgrenze bis zum Boden ist jedoch in der Regel zu kurz, um den Durchmesser der Körner wesentlich zu verringern [20].

2.7.2 Fallgeschwindigkeiten und Aufprallenergien

Die Fallgeschwindigkeit und Aufprallenergie von Hagelkörnern ist primär abhängig von ihrer Grösse (siehe Tabelle 2.61). Das Schadenspotential eines Hagelkorns ist aber zusätzlich gegeben durch seine Form sowie seine Festigkeit. Die Formen variieren von annähernd kugelförmig bis extrem scharfkantig mit aufgewachsenen Eisspitzen [20]. Die Aufschlaggeschwindigkeiten verschieden grosser Hagelkörner sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Für einen extremen Hagelkorndurchmesser von rund 14 cm ist mit einer Aufprallgeschwindigkeit von ca. 170 km/h zu rechnen. Dies ist eine Wucht, durch welche Menschen ohne weiteres erschlagen werden. Zudem kann die Fallgeschwindigkeit durch Gewitterböen zusätzlich erhöht werden.

Hageldurchmesser [cm]	Fallgeschwindigkeit [km/h]	Aufprallenergie [J]
2.5	80	1.3
3.2	90	5.4
3.8	100	10.8
4.5	107	19.0
5.1	115	29.8
6.4	129	71.9
7.0	136	109.8
7.6	143	162.7

Tabelle 2.61: Die Fallgeschwindigkeit und Aufprallenergie von Hagelkörner in Abhängigkeit von der Korngrösse [20].

2.7.3 Die Risikoregionen

Die Hagelbildung ist eng gekoppelt mit der Gewitteraktivität (siehe Abbildung 2.31). Dementsprechend sind die Hagel-Risikoregionen weitgehend identisch mit jenen der Gewittertätigkeit in der Schweiz (siehe Abbildung 2.29). Typisch ist deshalb die Region mit der höchsten Hagelgefahr entlang des Alpennordrandes sowie im südlichen Tessin.

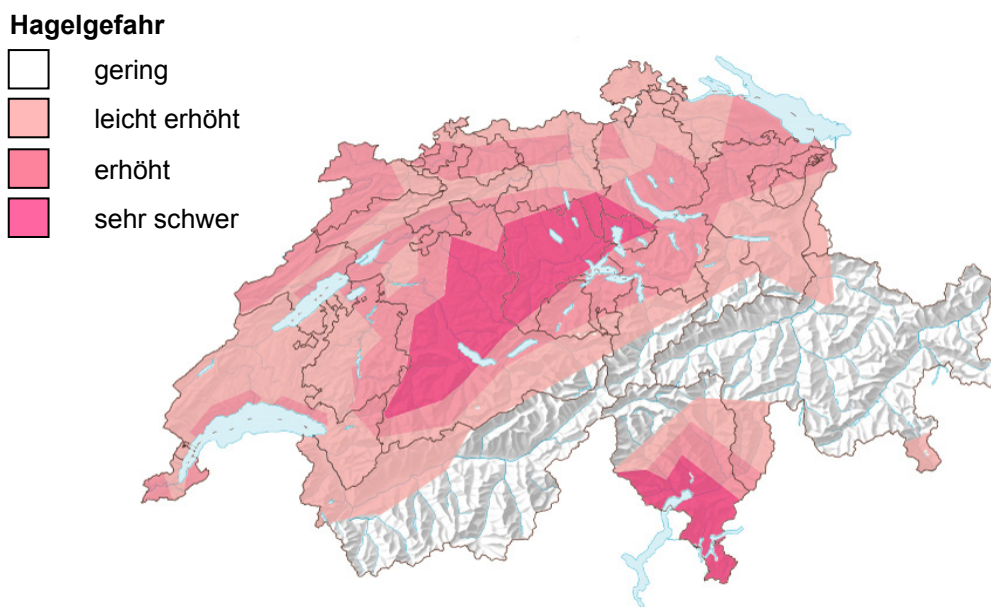


Abbildung 2.31: Die Regionen in der Schweiz mit Hagelgefahr. Die Gefahrenstufen (gering, leicht erhöht, erhöht, sehr schwer) basieren auf langjährigen Schadenserhebungen der Schweizerischen Hagel-Versicherungs-Gesellschaft. Karte: Schweizerische Hagel-Versicherungs-Gesellschaft.

2.7.4 Die Auftretenshäufigkeit auf dem Gemeindegebiet des Standortes Mühleberg

Die Hageltätigkeit über der Schweiz wird heute flächendeckend mit dem Niederschlagsradar erfasst. Bestimmt wird die Hagelwahrscheinlichkeit. Diese ergibt sich aus dem Höhenunterschied zwischen der maximalen Höhe der 45 dBZ-Reflektivität (45 dBZ Echo Top altitude) und der Höhe der Nullgradgrenze (freezing level). Übersteigt dieser Höhenunterschied 1.6 km, wird die Hagelwahrscheinlichkeit als positiv gewertet. Die Wahrscheinlichkeit für Hagel wächst mit zunehmendem Höhenunterschied zwischen diesen beiden Levels. Erreicht der Höhenunterschied 6 km, liegt die Hagelwahrscheinlichkeit bei 100 Prozent [21].

Für die Hagelanalyse am Standort Mühleberg werden die Tage mit „Bedingungen für Hagel gegeben“ der Periode 2000 bis 2007 verwendet (Abbildung 2.32). Zur Korngrösse der einzelnen Ereignisse liegen keine Informationen vor.

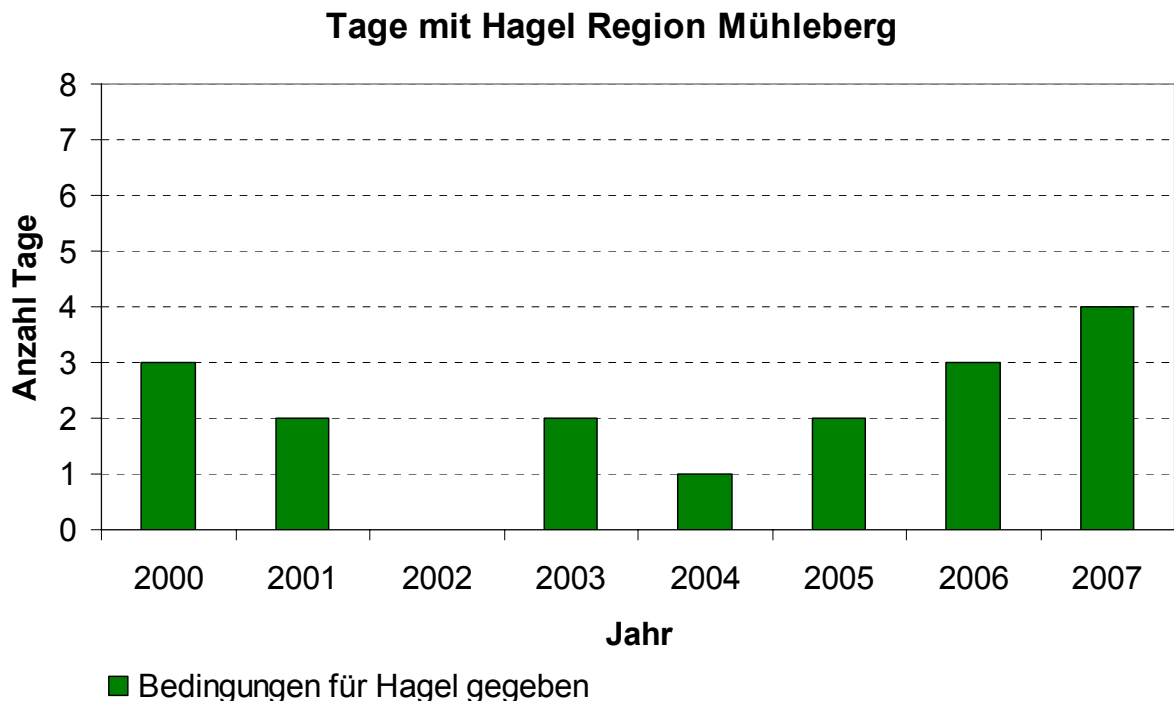


Abbildung 2.32: Anzahl Tage mit Hagel auf dem Gemeindegebiet des Standortes Mühleberg für die Jahre 2000 bis 2007.

Die Genossenschaft Schweizer Hagel [22] führt seit 1961 eine Hagelstatistik [23], die jedoch nur Schadensfälle dokumentiert. In dieser Statistik sind die Anzahl Hageljahre (Jahr mit Hagelschadensfall) in der Periode 1961 bis 2004 auf Gemeindeebene festgehalten. Die Gemeinde Mühleberg weist in diesem Zeitraum 31 Hageljahre auf. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Schadensfälle nichts über die Auftretenswahrscheinlichkeit von Hagel in einem Gemeindegebiet aussagen.

2.7.5 Extremereignisse

Der Münchner Hagelschlag vom 12. Juli 1984

Das extremste gut dokumentierte Hagelereignis in der näheren Umgebung der Schweiz ist der Münchner Hagelschlag vom 12. Juli 1984. Drei Hagelzüge trafen an jenem Tag die Region zwischen Stuttgart und München, wobei zwei davon ihren Ausgangspunkt in der Bodenseeregion hatten. Einer der beiden entwickelte sich noch auf dem Gebiet der Schweiz. Alle drei Hagelzüge bewegten sich in Richtung Ost bzw. Nordost.

Die Hagelkörner erreichten in der betroffenen Region in weiten Gebieten 5 bis 6 cm Durchmesser. Das grösste dokumentierte Hagelkorn wies einen Durchmesser von 9.5 cm und ein Gewicht von 300 g auf. Der Gesamtschaden belief sich auf 830 Mio. Euro (1200 Mio CHF). Der Münchner Hagelsturmschaden überstieg bei weitem den bis damals grössten Versicherungsschaden einer Naturkatastrophe in Deutschland. Es war dies der Versicherungsschaden des Capella-Orkans aus dem Jahr 1976 mit einer Höhe von 414 Mio. Euro. Der grösste Einzelschaden resultierte aus der massiven Beschädigung eines Passagierflugzeugs des Typs Boeing 757. Die Reparaturkosten beliefen sich auf fast einen Viertel des Neuwertes.

Das Hagelunwetter in der Schweiz vom Juni 2002

Am 24. Juni 2002 zog in den ersten Morgenstunden ein heftiger Hagelsturm von West nach Ost über den nördlichen Kanton Zürich. Betroffen war ein rund 5 Kilometer breiter Streifen vom Limmattal bis ins untere Tösstal. In den am stärksten betroffenen Gebieten wurden 40 Prozent der Gebäude beeinträchtigt. Der Elementarschaden erreichte eine Summe von 60 Mio. CHF. Zum Vergleich: Der flächenhaft wirkende Wintersturm Lothar vom Dezember 1999 verursachte im Kanton Zürich einen Elementarschaden von 55 Mio. CHF [24].

Änderung der Auftretenshäufigkeit durch die Klimaänderung

Die Entstehung starker Hagelschläge mit Schadensfolgen erfolgt praktisch immer im Zusammenhang mit intensiven Gewitterherden. Starke Hagelschläge in der Schweiz sind als Extremereignisse zu bezeichnen und müssen im Zusammenhang mit der Frage der Klimaänderung unter diesem Aspekt betrachtet werden.

Quantitative Abschätzungen zur Änderung der Häufigkeit von Extremereignissen in der Schweiz sind noch sehr unsicher. Für Temperaturextreme wie Kälte- und Hitzewellen, sowie für Starkniederschläge liegen Befunde vor. Hinsichtlich anderer Extremereignisse, insbesondere auch Hagel- und damit Gewitterstürme, ist der Einfluss der Klimaänderung noch kaum fassbar [25].

2.8 Vereisung

Im Schweizer Mittelland ist jeden Winter mehrmals mit Situationen zu rechnen, die zu Vereisungen an Objekten führen können. Pro Winter muss im Mittel mit etwa 2 bis 10 Situationen gerechnet werden. Neben der Temperatur ist die relative Luftfeuchtigkeit der Parameter welcher die Häufigkeit und die Dauer der Vereisungsperioden bestimmt. Da die Luftfeuchtigkeit sehr variabel ist und auch durch lokale Bedingungen wie Muldenlage oder Nähe zu Gewässern beeinflusst wird, variieren die Vereisungsverhältnisse schon auf kleinem Raum beträchtlich.

2.8.1 Charakteristiken von Vereisung

Vereisung kann gemäss dem ISO-12494 Standard definiert werden als atmosphärischer Prozess der zu Schnee- und Eisanlagerung an Objekten führt [26].

Vereisungserscheinungen können an Freileitungen zu grossen Schäden führen. Am 25. November 2005 kam es im Netzgebiet der RWE im Münsterland (DE) zu einem Grossschaden mit 82 stark beschädigten und meist geknickten Hochspannungsmasten. Eisanlagerungen in Kombination mit orkanartigen Winden führten zu Belastungen der Masten welche die Errichtungsnorm für diese Masten bei weitem überstieg [27].

Auch an anderen technischen Anlagen wie zum Beispiel Lüftungen oder Schaltanlagen kann Vereisung zu Störungen oder Betriebsunterbrüchen führen.

Für die Abschätzung der Vereisungsgefahr wurden Stundendaten von den benachbarten meteorologischen Stationen Bern und Wynau ausgewertet. Verwendet wurden automatisch erhobene Daten der Periode vom 1. Januar 1981 (00 UTC) bis am 24. Oktober 2008. In die Datenauswertung wurden die relative Luftfeuchtigkeit, die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit und die minimale Lufttemperatur einbezogen. Für weitergehende Studien wird empfohlen allfällige von den KKW-Betreibern selbst erhobene Daten in die Berechnungen einzubeziehen.

Bei der Analyse der Daten wurde von folgenden Voraussetzungen für eine Vereisungssituation ausgegangen:

- die relative Luftfeuchtigkeit muss nahe bei Sättigungsverhältnissen liegen; wir haben einen Werte 98% als Grenze festgelegt.
- die Lufttemperatur muss um den Gefrierpunkt oder darunter liegen.

Fälle mit vereisendem Regen und Nassschnee können über die relative Feuchtigkeit nicht definiert werden

Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt und dem Vorhandensein von viel Feuchtigkeit kann es zu einem thermodynamisch instabilen Zustand der Atmosphäre kommen. In diesem Umfeld bilden sich Nebel und Wolken. Feste Körper stören diese Instabilität indem sie als Gefrierkerne wirken. Die Abbildung 2.33 und die Tabelle 2.62 zeigen welche Eistypen in Abhängigkeit der Temperatur und der Windgeschwindigkeit bei diesen Situationen auftreten.

Bei diesem Prozess treffen unterkühlte kleine bis mittlere Wassertröpfchen auf einen festen Körper und gefrieren. Bei sehr hohem Flüssigwasser-Gehalt kann dabei Klareis entstehen. Häufiger wird aber Reif gebildet. Die Reifbildung kann sich über mehrere Tage erstrecken. Merkliche Vereisungen infolge Übersättigung der Luft bei klarem Himmel treten zum Beispiel an Freileitungen nicht auf. Am Boden kommt es aber bei solchen Situationen oft zu Verreifungen.

Die ausgeprägtesten Vereisungen erfolgen jeweils bei Kaltlufteinbrüchen. Sie sind an das Auftreten von dichtem Nebel gebunden. Kurz nach Erreichung der Sättigung gegenüber Eis kann Reifansatz beobachtet werden.

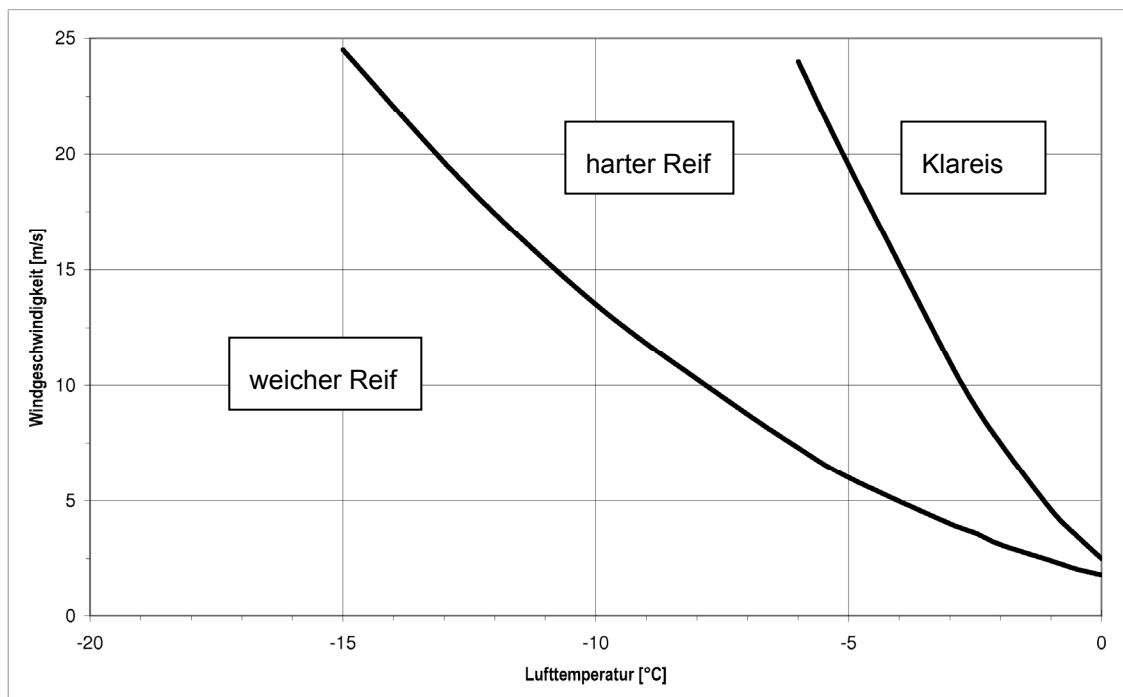


Abbildung 2.33: Eistypen bei Bildung in Nebel oder Wolken als Funktion der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur. Mit steigendem Flüssigwasser-Gehalt verschieben sich die Kurven nach links (aus [28]).

Bei Versuchen die am Institut für Schnee und Lawinenforschung in Davos (SLF) durchgeführt wurden, konnte eine maximale Reifmenge bei -12°C beobachtet werden. Die angelagerte Masse an linearen Strukturen betrug $80\text{ g/m}^2\text{h}$ [29].

Es kann davon ausgegangen werden, dass bezüglich Ablagerungsmenge keine Abhängigkeit vom Material besteht. Bezüglich Belastung respektive Gefährdung eines Objektes spielt aber die Haftfähigkeit eines Materials eine grosse Rolle.

Die Unterkühlung von Anlagerungsobjekten spielt keine wesentliche Rolle. Temperaturdifferenzen werden innerhalb von wenigen Minuten nach Beginn der Reifbildung abgebaut.

Die bei der Reifbildung freiwerdende Kondensationsenergie erwärmt das Anlagerungsobjekt nur unwesentlich in der Grössenordnung von 0.1°C .

Die Rauigkeit der Oberfläche eines Objektes spielt lediglich zu Beginn der Ablagerung eine Rolle. Mit fortschreitender Ablagerung werden Unebenheiten hingegen mehr und mehr ausgeglichen. Der

Einfluss der Oberfläche auf die Haftung ist jedoch bedeutend. Das Abfallen des Reifs zum Beispiel unter Strahlungseinfluss ist bei glatten Oberflächen stark begünstigt.

In Bezug auf Reifmengen ist bei Freileitungen im Prinzip kein Einfluss eines elektrischen Feldes festzustellen. Bei schweren Vereisungslagen kann hingegen die durch Gleichspannung geförderte verästelte Reifstruktur zu einem vergrößerten Querschnitt des Objektes führen. Der Habitus des entstehenden Reifes ist vom elektrischen Feld abhängig.

Eistyp	Dichte [kg/m ³]	Adhäsion und Kohäsion	Allgemeine Erscheinung	
			Farbe	Form
Klareis	900	stark	transparent	gleichmässig oder Eiszapfen
Nassschnee	300-600	schwach bei Bildung stark (gefroren)	weiss	gleichmässig
Harter Reif	600-900	stark	opak	gegen Wind ausgerichtet
Weicher Reif	200-600	tief bis mittel	weiss	gegen Wind ausgerichtet

Tabelle 2.62: Typische Eigenschaften von Vereisungsarten aus [28].

Eine Auswertung von Daten der Messstation Zürich-Kloten hat die in Tabelle 2.63 aufgelisteten Fälle für Niederschlagsereignisse mit Regen bei Lufttemperaturen unter 0.5 °C (Trockentemperatur) ergeben [30].

In der Nacht vom 7. auf den 8. Januar 1982 hat sich eine besonders ausgeprägt Situation mit kalter Luft in Bodennähe und milder feuchter Luft in der Höhe ergeben. Mindestens 5.2 mm Niederschlag sind in dieser Zeit in Kloten als Regen gefallen. Infolge der massiven Klareisanlagerungen am Boden und an Fahrleitungen kam in Zürich der Strassen- und Schienenverkehr weitgehend zum Erliegen.

Datum	Zeit	Niederschlags- form	Feucht- temperatur [°C]	Niederschlags- intensität [mm/h]	Trocken- temperatur [°C]
10.01.1982	15	Vereisender Regen	-6.6	0.3	-5.8
18.01.1987	06	Vereisende Nieseln	-5.7	0.0	-5.3
18.01.1987	09	Vereisende Nieseln	-5.4	0.0	-5.0
08.01.1982	00	Vereisender Regen	-5.2	0.9	-4.9
11.01.1982	03	Vereisender Regen	-5.6	0.0	-4.8
19.01.1987	06	Vereisende Nieseln	-5.0	0.0	-4.6
19.01.1987	03	Vereisende Nieseln	-4.9	0.0	-4.4
19.01.1985	03	Vereisender Regen	-4.3	0.0	-3.8
11.01.1982	06	Vereisender Regen	-4.3	0.9	-3.8
20.01.1987	03	Vereisende Nieseln	-4.0	0.0	-3.6
09.01.1982	06	Vereisender Regen	-4.0	2.4	-3.4
27.12.1981	00	Vereisender Regen	-3.9	0.0	-3.3
19.01.1985	06	Vereisender Regen	-3.2	0.0	-2.7
24.01.1987	06	Vereisende Nieseln	-3.1	0.0	-2.5
10.01.1982	06	Vereisender Regen	-2.3	1.2	-2.2
20.11.1985	21	Vereisende Nieseln	-2.0	0.0	-1.8
20.02.1987	06	Vereisende Nieseln	-2.0	0.0	-1.5
03.02.1987	18	Vereisender Regen	-2.1	0.0	-1.2
12.01.1984	06	Vereisender Regen	-2.5	0.0	-1.1
22.01.1982	09	Vereisender Regen	-0.6	0.3	0.0
26.11.1988	12	Nieseln	-0.5	0.0	0.0
11.01.1982	00	Regen	-0.2	0.0	0.2
20.02.1987	15	Nieseln	-0.1	0.0	0.3

Tabelle 2.63: Flüssige Niederschläge in Zürich-Kloten bei Lufttemperaturen < 0.5 °C der Periode 1981 bis 1988 (aus [30])

In Tabelle 2.64 sind meteorologische Parameter aufgelistet, welche zu Eisanlagerungen während Niederschlagsereignissen führen können. Diese Phänomene treten nur bei Inversionslagen (Temperaturumkehr) auf. An den Standorten der Schweizer Kernkraftwerke kann es wie für Zürich-Kloten beschrieben vorkommen, dass der Niederschlag einer Warmfront in eine bodennahe Kaltluftmasse fällt. Die beim Gefrieren der flüssigen Niederschlagsteile freiwerdende Wärme führt dabei zur Erwärmung der Kaltluftmasse. Dies beschränkt die mögliche Dauer dieser Ereignisse auf einige Stunden. Die Mächtigkeit der Kaltluftmasse sowie die Effizienz des Ausräumens der Kaltluft durch Winde sind weitere Parameter welche die Ereignislänge beeinflussen.

Nassschneefälle können auch bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt auftreten. Sinken die Temperaturen unter den Gefrierpunkt können solche Anlagerungen an Objekten dauerhaft anfrieren.

Eine extreme Wettersituation führte am 25. November 2005 im deutschen Münsterland (Nordrhein – Westfalen) zu massiven Schäden an Freileitungen. Starker Wind (bis 20 m/s), vereisender Schnee und Regen und andere Faktoren führten zu Beschädigungen an 82 Masten (Bundesnetzagentur, 2006). Die meisten Masten wurden gar geknickt. Im Untersuchungsbericht der Bundesnetzagentur wird festgehalten, dass die Masten den geltenden Normen entsprachen. Vergleichbare Grossstörungen durch Eislasten sind in Deutschland zum Beispiel auch 1994, 1988, 1987 und 1980 vorgekommen. Insofern erstaunt es, dass in der Schweiz bisher kaum derartige Ereignisse aufgetreten sind.

Eistyp	Luft- temperatur [°C]	Windge- schwindigkeit [m/s]	Tröpfchen grösse	Wasserge- halt der Luftmasse	Typische Ereignis- länge
Klareis (gefrierender Regen oder Nieselregen)	$-10 < T < 0$	beliebig	gross	mittel	Stunden
Nassschnee	um 0 °C	beliebig	Flocken	sehr hoch	Stunden

Tabelle 2.64: Meteorologische Parameter welche die atmosphärische Eisanlagerung bei Niederschlag kontrollieren (aus [28], verändert)

2.8.2 Standortbeurteilung

Die Beurteilung des Standortes des Kernkraftwerkes Mühleberg wurde hauptsächlich anhand von Daten der Messstation Bern/Liebefeld (1981 bis 2008) durchgeführt. Die Messstation ist 15 km entfernt und gegenüber dem Kraftwerksstandort der auf 483 m ü. M. liegt 82 m höher gelegen. Dieser Unterschied wurde bezüglich Lufttemperatur vernachlässigt. Die Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit können räumlich stark schwanken. In der vorliegenden Studie wurde angenommen, dass die Verhältnisse beim Kraftwerk und an der Messstelle in Bern vergleichbar sind. Für weitergehende Untersuchungen müssten aber auf jeden Fall Messdaten vom eigentlichen Untersuchungsstandort verwendet werden oder zumindest die räumlichen Unterschiede beurteilt und berücksichtigt werden. Dies insbesondere, da der Kraftwerksstandort mit seiner Lage im Flussgraben an der Aare nicht ideal durch die Messstation Bern repräsentiert wird. Als zusätzliche Informationen wurde noch der Standort Wynau hinzugezogen. Bei den Standortbeurteilungen werden nur die Situationen mit Vereisungen aufgrund hoher Feuchte und Frost behandelt. Die Situationen mit gefrierendem Regen sind dabei nicht berücksichtigt.

Die relative Feuchte schränkt die potenziellen Vereisungs-Situationen auf 0.9% aller verfügbaren Stundenwerte (ca. 243'800) bezogen auf die 98% Grenze ein (6.3% über 95%).

Bei 14.7% aller Stundenwerte trat eine minimale Temperatur unter dem Gefrierpunkt auf. Aus der Kombination von Temperatur und Feuchte verbleiben 667 Stunden oder 0.3% mit Verhältnissen für Vereisungssituationen. Bei diesen Situationen lag die Windgeschwindigkeit in 75% aller Stunden unter 1.0 m/s. Die maximal aufgetretene Windgeschwindigkeit betrug 2.7 m/s. Aus Tabelle 2.65 ist der grosse Unterschied bei der relativen Feuchte zwischen den Messstationen Bern und Wynau sowie der Einfluss auf die Häufigkeit von potentiellen Vereisungssituationen ersichtlich. Am Standort Mühleberg ist im Mittel mit 6 Situationen pro Winter zu rechnen bei denen die meteorologischen Bedingungen für Vereisungen erfüllt sind. Meist dauern solche Ereignisse mehrere Stunden.

Station	Wynau		Bern	
	Anzahl Stunden	Prozent	Anzahl Stunden	Prozent
Relative Feuchte > 98%	9455	3.9	2094	0.9
Relative Feuchte > 95%	38669	15.9	15398	6.3
Temperatur Mittel < 0°C	33311	13.7	33262	13.6
Temperatur Minimum < 0°C	35727	14.7	35907	14.7
Feuchte > 98% und Temperaturmittel < 0°C	1727	0.7	667	0.3

Tabelle 2.65: Vergleich der Auswertung der Stundendaten von Wynau und Bern

2.8.3 Schlussfolgerungen

Im Schweizer Mittelland ist jeden Winter mehrmals mit Situationen zu rechnen, die zu Vereisungen an Objekten führen können. Neben der Temperatur ist die relative Luftfeuchtigkeit der Parameter welcher die Häufigkeit und die Dauer der Vereisungsperioden bestimmt. Da die Luftfeuchtigkeit sehr variabel ist und auch durch lokale Bedingungen wie Muldenlage oder Nähe zu Gewässern beeinflusst wird, muss für weitergehende, konkrete Abklärungen zu Standorten auf lokale Daten zurückgegriffen werden. Wo diese fehlen, müssen standortspezifische Annahmen getroffen werden.

2.9 Schnee

Schnee im Schweizer Mittelland ist in Zeiten der Klimaerwärmung zwar eher selten, was aber nicht heisst, dass dieser meteorologische Parameter deshalb weniger wichtig ist. Trotz Klimaerwärmung zeigen die Extremwerte in den letzten 70 Jahren keine klare Tendenz zu kleineren maximalen Neuschnee- oder Gesamtschneehöhen bzw. der Schneelast. Es muss mit knapp 50 cm Neuschnee gerechnet werden. Für die maximale Schneehöhe bedeutet dies, dass bis zu 60 cm Gesamtschneehöhe auftreten können. Schneelasten von ca. 1 kN/m² treten etwa alle Jahre auf.

2.9.1 Definition und Datengrundlage

Bezüglich relevanter Schneeparameter wird unterschieden nach:

- Neuschnee- & Gesamtschneehöhe
- Anzahl Tage mit Schneedecke
- Anzahl Tage mit Neuschnee
- Maximale Schneelast

Die Neuschneehöhe ist die in den letzten 24 Stunden gemessene gefallene Schneemenge. Die Gesamtschneehöhe bezieht sich auf die am Boden liegende Schneedecke. Beide Parameter werden täglich jeden Morgen um ca. 6 Uhr gemessen. Die Anzahl Tage mit Schneedecke wird aus den Tagen mit einer morgendlichen Gesamtschneehöhe von mindestens 5 cm berechnet. Die Anzahl Tage mit Neuschnee wird aus den Tagen mit einer morgendlichen Neuschneehöhe von mindestens 1 cm berechnet. Die Schneelast kann mit Hilfe eines Modells [30] aus der Neuschneemenge und der Gesamtschneehöhe abgeschätzt werden.

Weil am KKW Standort selber keine Schneemessungen stattfinden, werden die dargestellten Werte aus den umliegenden Stationen gemittelt. Für die Neuschnee- und Gesamtschneehöhe, für die Anzahl Tage mit Schneedecke und die Anzahl Tage mit Neuschnee werden dazu die langjährigen Reihen (1932 bis 2008) von Basel, Bern, Neuenburg und Zürich verwendet. Für die maximale Schneelast wurden die jährlichen Werte (1960 bis 2008) der Stationen Basel, Buchs, Hallau, Rheinfelden, Wynau und Zürich verwendet.

2.9.2 Maximale Neu- und Gesamtschneehöhe

Schnee im Schweizer Mittelland ist in Zeiten der Klimaerwärmung zwar eher selten, was aber nicht heisst, dass dieser meteorologische Parameter deshalb weniger wichtig ist. Trotz Klimaerwärmung zeigen die Extremwerte in den letzten 70 Jahren keine klare Tendenz zu kleineren maximalen Neuschnee- oder Gesamtschneehöhen. Beide Parameter zeigen aber naturgemäss grosse Jahr zu Jahr Schwankungen (siehe Abbildung 2.34).

In seltenen Fällen muss mit knapp 50 cm Neuschnee gerechnet werden. 20 cm Neuschnee kommen aber alle paar Jahre vor. Für die maximale Schneehöhe bedeutet das, dass in einzelnen Jahren bis zu 60 cm Gesamtschneehöhe auftreten können. Alle 10 Jahre muss dagegen mit knapp 30 cm Schnee gerechnet werden.

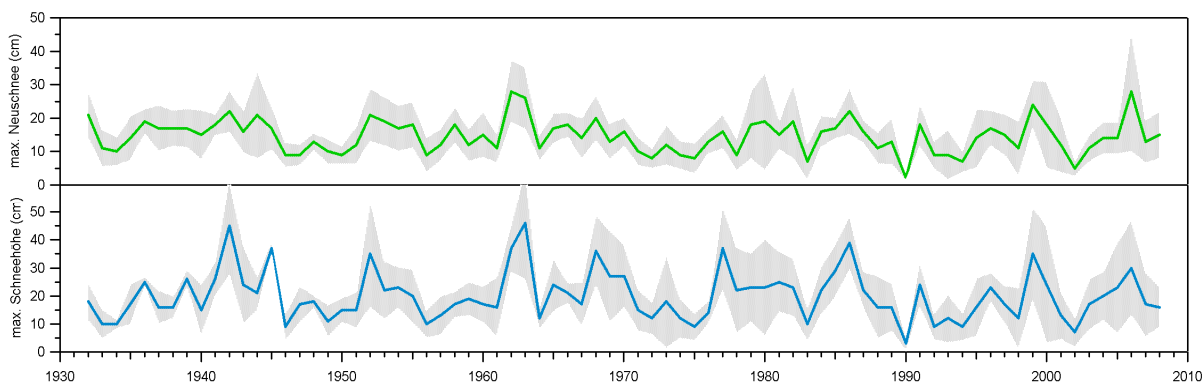


Abbildung 2.34: Maximale Neuschnee- und Gesamtschneehöhe pro Jahr in den letzten 70 Jahren im Schweizer Mittelland. Die grau schraffierte Fläche gibt die Standardabweichung der verwendeten Stationen wieder.

2.9.3 Anzahl Tage mit Schneedecke

Im Gegensatz zur maximalen Neuschnee- und Gesamtschneehöhe pro Jahr, die beide hauptsächlich durch Niederschlagsereignisse bestimmt sind, zeigen die Anzahl Tage mit Schneebedeckung eine klare Temperaturabhängigkeit. Entsprechend hat die Klimaerwärmung bereits deutliche Spuren hinterlassen. Wie Abbildung 2.35 zeigt, ist vor allem der Bruch Ende 1980-er Jahre auffallend [31]. Seither erlebt das Mittelland jährlich durchschnittlich nur noch 11 Tage mit einer geschlossenen Schneedecke. Dies ist nur noch halb soviel wie in den 50 Jahren vorher.

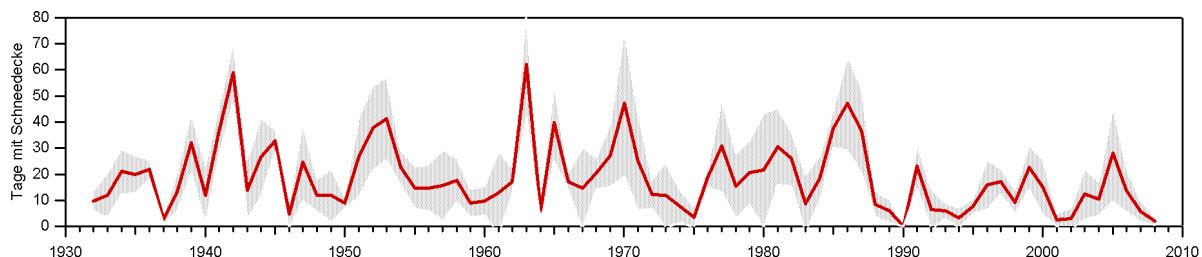


Abbildung 2.35: Jährliche Anzahl Tage mit Schneedecke im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren. Die grau schraffierte Fläche gibt die Standardabweichung der verwendeten Stationen wieder.

2.9.4 Anzahl Tage mit Neuschnee

Auch die Neuschneetage sind in den letzten 20 Jahren zurückgegangen. Im Gegensatz zu den Schneetagen zeigt sich aber eine leichte Erholung am Ende der Beobachtungsperiode (siehe Abbildung 2.36). Waren es vor Ende der 1980-er Jahre noch 20 Neuschneetage, sind es in neuerer Zeit nur noch durchschnittlich 13 Neuschneetage.

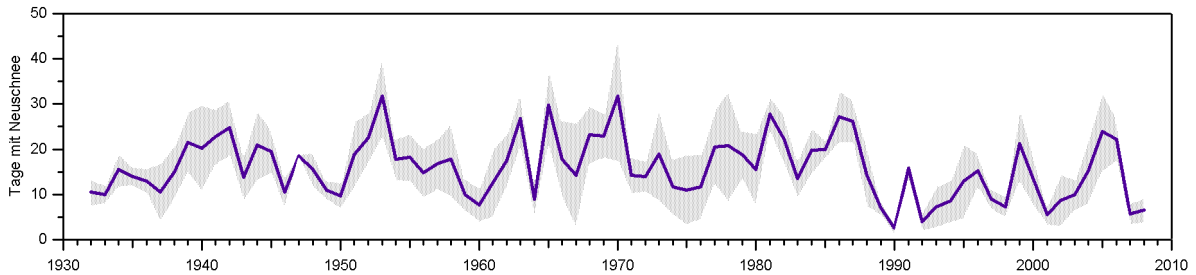


Abbildung 2.36: Jährliche Anzahl Tage mit Neuschnee im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren. Die grau schraffierte Fläche gibt die Standardabweichung der verwendeten Stationen wieder

2.9.5 Maximale Schneelast

Schnee ist gefrorener Niederschlag, dessen Dichte und Gewicht von der Temperatur abhängen. Ein Meter Pulverschnee entspricht dabei einer ca. 100 Millimeter hohen Wassersäule, bei Nassschnee können es aber auch 300 Millimeter Wasser sein. Regen auf eine noch nicht durchnässte Schneedecke erhöht die Schneelast entsprechend. Daraus wird klar, dass der Zeitpunkt der maximalen Schneehöhe nicht unbedingt dem Zeitpunkt der maximalen Schneelast entspricht.

Der charakteristische Wert der Schneelast S_k ist definiert als das Gewicht der Gesamtschneehöhe auf horizontalem Gelände. Für Bauwerke wird die maximal zu erwartende Dachschneelast in der Schweiz durch die Norm SIA 261 [32] definiert. Diese Dachschneelast wird aus S_k berechnet, indem zusätzlich die Dachform, die Windexposition und der thermische Beiwert berücksichtigt werden. Die Schneelast S_k hängt von der Klimaregion und Höhenlage ab und wirkt als Flächenlast senkrecht zur Grundfläche. Die Rechenwerte der maximal zu erwartenden Schneelasten auf horizontalem Gelände nach der Norm SIA 261 entsprechen mindestens der 98%-Fraktile der Jahresmaxima und somit einer mittleren Wiederkehrperiode von 50 Jahren, oder minimal 0.9 kN/m^2 .

Laut dieser Norm beträgt der charakteristische Wert der Schneelast S_k am Standort Muehleberg mindestens 0.9 kN/m^2 . Die Euronorm [32] ist leicht darunter. Eine Überprüfung der abgeschätzten Schneelasten an den wenigen langjährigen Stationen (Basel, Bern, Neuenburg und Zürich) im Mittelland hat ergeben, dass dieser Wert in den letzten 70 Jahren 2-mal um 0.05 bis 0.15 kN/m^2 überschritten wurde. Keine der Überschreitungen ist aber in den letzten 30 Jahren aufgetreten. Wird die Wiederkehrdauer für ein 50 jähriges Ereignis mit den heute zur Verfügung stehenden Daten (1960 bis 2008) der umliegenden Stationen (Basel, Buchs, Hallau, Rheinfelden, Wynau und Zürich) berechnet, ergibt sich ein Grenzwert von 0.81 kN/m^2 (Abbildung 2.37). Für die Berechnung des Extremwertdiagramms (Abbildung 2.37) wurden die Daten aus Abbildung 2.34 verwendet. Es wurde die Block Maxima Methode angewandt. Bei der Analyse der Grafik muss berücksichtigt werden, dass die Konfidenzintervalle nicht mehr zuverlässig sind für Wiederkehrperioden, die grösser sind als die zugrundeliegende Datenreihen selbst. Da die maximale Schneelast im Mittelland stark von der maximalen Schneehöhe abhängt, ist es nicht überraschend, dass auch die maximale Schneelast in den letzten Jahrzehnten eher abgenommen hat. Die Norm SIA 261 basiert auf Daten bis zum Jahre 1985 und ist darum für die letzten 2 Jahrzehnte eher auf der sicheren Seite.

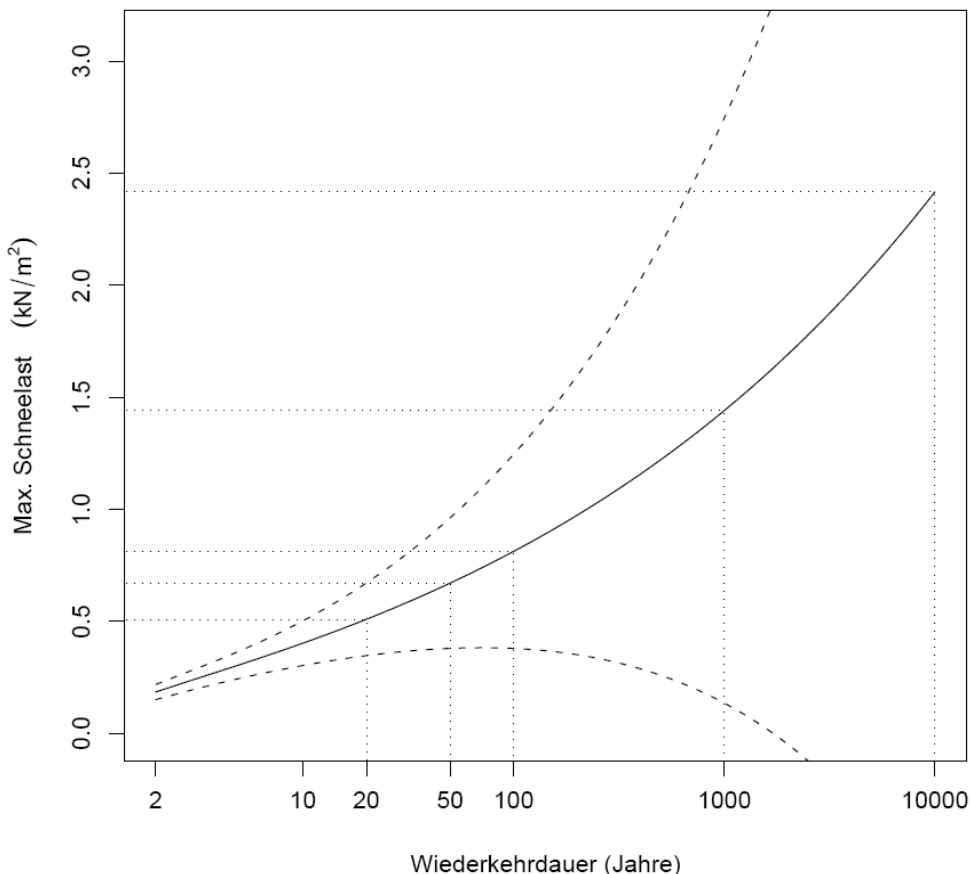


Abbildung 2.37: Extremwert-Diagramm für die Wiederkehrdauer von maximal auftretenden Schneelasten am Standort Mühleberg. Konfidenzintervalle sind nicht zuverlässig für Wiederkehrperioden die grösser sind als die zugrundeliegende Datenreihen selbst (vgl. Wiederkehrperioden > 100 Jahre). Eine Schneelast von ca. 0.81 kN/m² hat an der Station eine Mühleberg eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren. Zusätzlich zeigt die obere Grenze des 95% Konfidenzintervalls, dass bei 95% der möglichen Verteilungen eine Schneelast von beispielsweise 0.81 kN/m² eine Wiederkehrperiode von 20 Jahren haben kann.

2.10 Tornado

Tornados - die mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Gewittersturm-Wirbel, erkennbar an ihren charakteristischen Wolkenschläuchen - sind in der Schweiz keine allgegenwärtige Naturgefahr. Hin und wieder treten jedoch auch in der Schweiz Tornado-Ereignisse auf, welche zu grösseren Schäden führen. In der Region Nordschweiz muss pro km² ca. alle 100'000 Jahre mit einem Tornado gerechnet werden. Meist sind Tornados auf dem Gebiet der Schweiz jedoch von geringer Intensität, und die Schäden halten sich in Grenzen. Der stärkste beobachtete Tornado wurde in die Kategorie F3 mit Böenspitzen zwischen 250 und 300 km/h eingestuft.

2.10.1 Charakteristik von Tornados

Tornados sind extrem heftige, aber sehr kleinräumige Wirbelstürme. Wasserhosen sind weit schwächer und entstehen grundsätzlich über grossen Wasserflächen. Von der Entstehung her handelt es sich bei Tornados und Wasserhosen prinzipiell um das gleiche Phänomen [34], [35]. Aus der Unterseite von gut entwickelten Gewitterwolken bildet sich zu Beginn eine kegelförmige Ausstülpung. Diese wächst sich daraufhin, oft innert weniger Minuten, zum rotierenden Wolkenschlauch aus und senkt sich gleichzeitig bis zur Erdoberfläche hinab. Bereits vor dem Auftreffen des Schlauchs am Erdboden wird dort loses Material zu einem eigenen Wirbel formiert, welcher im Durchmesser grösser ist als der Schlauch selber. Der Durchmesser des Wolkenschlauchs liegt meistens bei mehreren 10 Metern, manchmal bis zu einigen Kilometern. Die typische Länge des Schlauchs beträgt etwa 900 Meter [19].

Die Entstehung von starken Tornados erfolgt praktisch immer im Zusammenhang mit intensiven Gewitterherden (sogenannte Superzellen-Gewitter). Voraussetzung für die Wirbelbildung sind sehr hohe Aufwärtsbewegungen in der Gewitterwolke. Es handelt sich dabei weitgehend um dieselben Bedingungen, welche auch für die Auslösung von Hagelschlägen erfüllt sein müssen. Starke Tornados und Hagel treten deshalb oft auch gemeinsam auf. Schwache Tornados müssen als Ursache nicht unbedingt Superzellen-Gewitter haben. Insgesamt ist die Entstehung von Tornados noch recht unverstanden, und speziell für die Bildung des Wolkenschlauchs gibt es nach wie vor keine hinreichend zufriedenstellende Erklärung [35].

Beim Vorbeizug starker Tornados tritt oft innerhalb sehr kurzer Zeit ein heftiger Druckfall (pressure drop) ein. Der bisher grösste direkt von einem Messinstrument registrierte Druckfall betrug 110 hPa innerhalb weniger als einer Minute. Die Messung stammt von einem starken Tornado vom 24. Juni 2003, welcher in der Nähe von Manchester, South Dakota USA, ein Messinstrument überquerte [36].

2.10.2 Windgeschwindigkeiten und Lebensdauer

Im Innern eines Tornados sind Rotationsgeschwindigkeiten von 450 bis 500 km/h möglich. Der Sog im Schlauch vermag eine Vertikalgeschwindigkeiten von 160 km/h zu erzeugen. Der Schlauch zieht im Durchschnitt etwa mit 50 km/h über die Erdoberfläche dahin. Dabei pendelt er hin und her, wird länger und wieder kürzer und hebt gelegentlich vom Erdboden ab, um wenig später wieder aufzusetzen. Die Zugbahnen sind in der Regel einige hundert Meter breit und 10 bis 50 Kilometer lang. Die Lebensdauer eines Tornados ist mit seiner Stärke gekoppelt: Schwache Stürme dauern einige Minuten, sehr starke über eine Stunde. Die Gewalt von Tornados ergibt sich vor allem aus den extrem hohen Rotations- und Vertikalgeschwindigkeiten.

Die Stärke von Tornados (bezüglich Rotationsgeschwindigkeit) wird mit der Fujita-Skala erfasst [44], (Tabelle 2.66). Für europäische Verhältnisse wurde die TORRO-Skala entwickelt [45], (Tabelle 2.67).

Fujita-Skala	Windgeschwindigkeit	Schäden
F-0	65-119 km/h	Leichte Schäden an Schornsteinen, abgebrochene Äste und Baumkronen, Entwurzelung flach wurzelnder Bäume und umgeworfene Plakatwände.
F-1	119-184 km/h	Wellblechdächer oder Dachziegel werden abgehoben und Wohnmobile umgeworfen, fahrende PKW werden verschoben.
F-2	184-256 km/h	Dächer werden als Ganzes abgedeckt, Wohnmobile werden vollständig zerstört, grosse Bäume werden entwurzelt, leichte Gegenstände werden zu gefährlichen Projektilen.
F-3	256-335 km/h	Dächer und leichte Wände werden abgetragen, Züge entgleisen, Wald wird grossteils entwurzelt, Lkw werden umgeworfen oder verschoben.
F-4	335-421 km/h	Holzhäuser mit schwacher Verankerung werden verschoben, PKW werden umgeworfen, schwere Gegenstände werden zu gefährlichen Projektilen.
F-5	421-515 km/h	Holzhäuser werden von ihren Fundamenten gerissen, weit verschoben und zerlegt. Asphalt-Strassenbeläge können vom Boden abgelöst werden.

Tabelle 2.66: Die Fujita-Skala zur Beschreibung der Stärke von Tornados (Rotationsgeschwindigkeit) auf der Basis von Schäden.

TORRO-Skala	Windgeschwindigkeit	Schäden
T-0 (F-0)	65-90 km/h	Leichte Gegenstände werden vom Boden abgehoben. Baugerüste können umstürzen, leichte Schäden an Markisen und Zelten auftreten. Dachziegel an exponierten Stellen können sich lockern. Keine Schäden an Gebäude-Tragwerken. Einzelne Äste beginnen abzubrechen,
T-1 (F-0)	90-119 km/h	Gartenmöbel und leichtere Gegenstände werden umgeworfen und können durch die Luft gewirbelt, Holzzäune umgeworfen werden. Leichte Schäden an Dächern (Ziegeln und Verblechungen können sich lösen und herab geweht werden). Geringe Schäden an Leichtbauten; keine strukturellen Schäden. Auch starke und gesunde Äste brechen vermehrt, insbesondere während der Vegetationszeit (Laubbäume belaubt).
T-2 (F-1)	119-151 km/h	Auch schwerere Gegenstände werden vom Boden aufgehoben und können zu gefährlichen Geschossen werden. Wohnwagen und Anhänger können umgeworfen werden. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer werden teilweise abgedeckt. Geringe bis mittelschwere Schäden an Leichtbauten; erste Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten möglich. Zahlreiche auch starke und gesunde Äste brechen, insbesondere während der Vegetationszeit (Laubbäume belaubt).
T-3 (F-1)	151-184 km/h	Zahlreiche Wohnwagen und Anhänger werden umgeworfen. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer erleiden größere Schäden. Mittelschwere Schäden an Leichtbauten; einzelne Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Fahrende Autos werden von der Straße gedrückt. Zahlreiche Äste, auch starke und gesunde brechen; auch außerhalb der Vegetationszeit, in der Laubbäume unbelaubt sind. Auch stabile und gesunde Bäume werden vermehrt geworfen oder bereits gebrochen.
T-4 (F-2)	184-230 km/h	Große Schäden an Fahrzeugen und Anhängern. Hohe Gefährdung und Schäden durch herum fliegende Teile. Ganze Dächer werden abgedeckt. Schwere Schäden an Leichtbauten; zunehmend Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten, Einsturz von Giebelwänden möglich. Auch stabile Bäume oder Waldbestände werden fast immer bzw. vollständig geworfen oder gebrochen. Großkronige Bäume werden, sofern besonders stabil verwurzelt, meistens gebrochen. Sofern Bäume noch stehen bleiben, wird die überwiegende Anzahl der Äste, auch die in unbelaubtem Zustand, abgerissen.
T-5 (F-2)	230-256 km/h	Schwere Schäden an Dächern und Anbauten sowie an Leichtbauten. Weiter zunehmende Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Vollständiger Einsturz einzelner Gebäude, vor allem landwirtschaftlich

		genutzter Konstruktionen und Lagerhallen. Kraftfahrzeuge werden hochgehoben. Auch stabilste Gehölze, wie Randbäume, Wind erprobte Hecken, Büsche und Feldgehölze werden stark geschädigt oder bereits zerstört; entweder durch Entwurzeln (Herausreißen), Stamm- oder Kronenbruch oder durch Abreißen der überwiegenden Zahl der Äste.
T-6 (F-3)	256-295 km/h	Leichtbauten werden in größerem Umfang zerstört. Schwere Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Einsturz einzelner Gebäude. Schwere Kraftfahrzeuge werden hochgehoben und umgeworfen. Kein heimisches Holzgewächs übersteht - falls der Stamm stehen bleibt - solch einen Sturm ohne schwerste Schäden. Stehen bleibende Bäume werden weitgehend entastet.
T-7 (F-3)	295-335 km/h	Verbreitet völlige Zerstörung von Leichtbauten und schwere Schäden an Massivbauten. Einsturz zahlreicher Gebäude. Kein heimisches Holzgewächs übersteht - falls der Stamm stehen bleibt - solch einen Sturm ohne schwerste Schäden. Stehen bleibende Bäume oder Baumteile werden weitgehend entastet, und stellenweise beginnt Entrindung durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.
T-8 (F-4)	335-378 km/h	Schwere Schäden an Massivbauten. Verbreiteter Einsturz von Gebäuden, deren Einrichtung weit verstreut wird. Kraftfahrzeuge werden über große Strecken geschleudert. Deutliche Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.
T-9 (F-4)	378-421 km/h	Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Züge werden von den Schienen gerissen. Totale Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.
T-10 (F-5)	421-468 km/h	Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Totale Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc. Ungewöhnliche Schäden wie das Herausreißen und weites Verdriften von starken, aber bereits morschen Wurzelstöcken abgesägter Bäume entstehen.
T-11 (F-5)	468-515 km/h	Fast ausschließlich Totalschäden an Massivbauten. Unvorstellbare Schäden entstehen. Totale Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc. Ungewöhnliche Schäden wie das Herausreißen und weites Verdriften auch weniger morscher, starker und tief in die Erde reichender Wurzelstöcke abgesägter Bäume entstehen.

Tabelle 2.67: Die TORRO-Skala zur Beschreibung der Stärke (Rotationsgeschwindigkeit) europäischer Tornados auf der Basis von Schäden.

2.10.3 Vorkommen

Tornados kommen auf allen Kontinenten vor. Am häufigsten und mit der grössten Wucht wüten sie im kontinentalen Innern Nordamerikas. Nach neueren Angaben treten auf der gesamten Fläche der USA rund 1100 Tornados pro Jahr auf [34]. Von Texas im Süden der USA bis zu den Grossen Seen an der Grenze zu Kanada zieht sich eine eigentliche Tornado-Strasse mit der grössten Auftretenshäufigkeit. Hier entstehen sie vor allem im Frühjahr bis zum Frühsommer (März bis Mai). Zu dieser Zeit sind die Temperatur-Gegensätze der feuchtwarmen Luftmassen aus dem Golf von Mexico und der von Nordkanada her kommenden polaren Kaltluft am grössten. In Europa bzw. in der Schweiz ist das Auftreten von Tornados vor allem an die sommerliche Gewittersaison gekoppelt.

2.10.4 Tornados auf dem Gebiet der Schweiz

Häufigkeit von Schadensereignissen

Tornados treten praktisch jedes Jahr mehrmals auf [37]. Oft reichen deren Wolkenschläuche allerdings nicht bis zum Erdboden. Weiter können offenbar auch durchaus kräftige Tornadowirbel unsichtbar bleiben, wenn zuwenig Feuchtigkeit zur Bildung des Wolkenschlauchs vorhanden ist [38]. Zudem ist es möglich, dass Tornados unbemerkt auftreten, da das oft hügelige Gelände den freien Blick auf die Unterseite der Gewitterwolken verhindert oder aber ein dichter Regenvorhang den Wolkenschlauch einhüllt. Daneben reduziert der schweizerische Sommersmog die Sichtbarkeit oft so stark, dass schwach ausgeprägte Wolkenschläuche kaum zu bemerken wären [39]. Im Gegensatz zu Tornados sind Wasserhosen in der Schweiz in recht grosser Zahl mit Fotografien dokumentiert.

Tornadogefahr in der Schweiz

Die in der Schweiz verhältnismässig geringe Zahl und normalerweise geringe Intensität von Tornados ist vermutlich auf die Alpen zurückzuführen. In den USA kann subtropisch warme und feuchte Luft, die eigentliche Tornado-Energie, aus dem Golf von Mexico grossflächig und ungehindert nach Norden vordringen. Der Alpenbogen hingegen stellt, je nach Strömungslage, für nordwärts fliessende feuchtwarme Mittelmeerluft ein namhaftes Hindernis dar.

Die Tornadogefahr ist auch in der Schweiz am grössten während heissen Sommertagen bei ausgeprägter Gewitterneigung. Speziell günstig scheint sich der westliche Jura, ein bekanntermassen gewitterreiches Gebiet, auf die Auslösung von Tornados auszuwirken (Abbildung 2.38). Die grösste Häufung zeigte sich bisher im Vallée de Joux und in der Region um La Chaux de Fonds. Am häufigsten treten Tornados im Monat August auf, etwas weniger häufig im Juni [41].

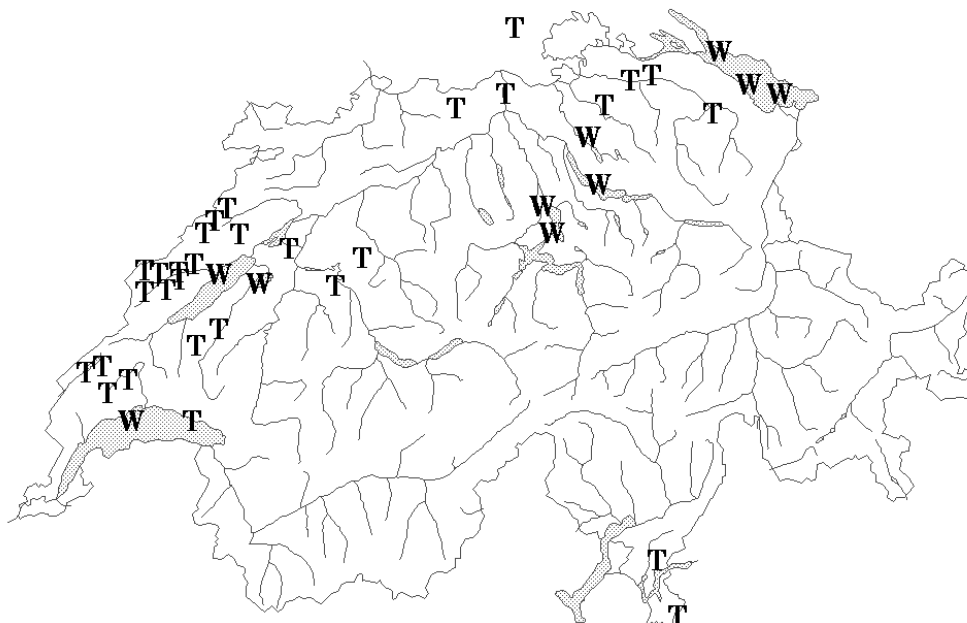


Abbildung 2.38: Registrierte Tornados (T) in der Schweiz. Mit W sind registrierte Tornados über Wasserflächen festgehalten, welche im Volksmund oft als „Wasserhosen“ bezeichnet werden. Daten: ETH Zürich, 2001, ergänzt mit Beobachtungen bis 2005.

2.10.5 Starke Tornado-Ereignisse in der Schweiz

Starke Tornados haben in der Schweiz schon mehrmals zu eigentlichen Katastrophen geführt. In drei bekannten und auch sehr gut dokumentierten Fällen - am 19. August 1890 und am 26. August 1971 in der Vallée de Joux im Waadtländer Jura, sowie am 12. Juni 1926 bei La Chaux-de-Fonds - haben Tornados von SW nach NE kilometerlange Schneisen in den Wald geschlagen und viele Gebäude teilweise oder total zerstört.

Das Ereignis vom 19. August 1890

Das Tornadoereignis vom 19. August 1890 in der Vallée de Joux ist deshalb etwas besonderes, weil es sich mit dem Tornado vom 26. August 1971 in praktisch identischer Weise wiederholte. Beide Tornados nahmen ab Le Brassus den absolut gleichen Pfad. Derjenige von 1890 ist jedoch bereits über dem Französischen Jura entstanden und hat dort auch grosse Verwüstungen angerichtet sowie mehrere Menschenleben gefordert. Morgens um etwa 08.00 Uhr überschritt er die Grenze zur Schweiz. Insgesamt legte er eine Strecke von rund 80 Kilometern zurück, etwa ein Drittel davon auf Schweizer Boden. Fotografien zerstörter Gebäude und Wälder aus dem Jahre 1890 dokumentieren, dass das Vallée de Joux 1890 und 1971 mit ungefähr derselben Wucht getroffen wurde [41]. Das Ereignis erreichte die Stärke F-3 bzw. T-6.

Das Ereignis vom 12. Juni 1926

Ein starkes Tornado-Ereignis hat sich am Nachmittag des 12. Juni 1926 unweit der Stadt La Chaux-de-Fonds ereignet. Der Tornado formierte sich über einem Hügelzug nordöstlich der Stadt und zog nördlich daran vorbei in Richtung der Franches Montagnes [42]. Sein Pfad zeigte wiederum die charakteristische fast schnurgerade SW-NE Ausrichtung. Der Tornado legte eine Strecke von 22 Kilometern zurück, wobei er nach 7 Kilometern vom Boden abhob und 3 Kilometer weiter wieder aufschlug. Ein achtjähriger Junge, zusammen mit seiner Mutter unterwegs, wurde vom Sturm derart heftig durch die Luft ge-

schleudert, dass er an den dabei erlittenen Verletzungen erlag. Seine Mutter und mehrere weitere Personen wurden schwer verletzt. Nach dem Sturm wieder dieselben Bilder zerstörter Wohnhäuser und kahlgeschlagener Waldpartien [41], [42]. Dazu die sehr aufschlussreiche Fotografie einer stehengebliebenen Rottanne, deren Äste im mittleren Teil des Baumes mehrfach um den Stamm gewickelt wurden [42]. Eindrücklicher kann die Tornado-Natur des Gewittersturms vom 12. Juni 1926 wohl kaum zum Ausdruck gebracht werden. Das Ereignis erreichte mindestens die Stärke F-2 bzw. T-4 bis T-5.

Das Ereignis vom 23. August 1934

Am 23. August 1934 haben sich im Neuenburger- und im damaligen Berner-Jura (heute Kanton Jura) mehrere Tornados in zwei Gruppen entwickelt. Die eine Gruppe betraf abermals die Region La Chaux-de-Fonds (Neuenburger Jura), die andere die Region Saignelégier (Kanton Jura). Beide Tornadogruppen hinterliessen Schäden, wie sie von den anderen Tornadoereignissen bekannt sind [41]. Die Ereignisse erreichten vermutlich die Stärke F-2 bzw. T-4.

Das Ereignis vom 26. August 1971

Der sehr gut dokumentierte starke Tornado vom 26. August 1971 entwickelte sich über der Vallée de Joux nachmittags um etwa 15.00 Uhr. Er bewegte sich gemäss den Ermittlungen von Piaget [41] mit ungefähr 60 km/h vorwärts. Der Wirbel hatte die erste Bodenberührung im Talgrund bei der Ortschaft Le Brassus auf 1000 m ü.M., stieg entlang der Flanke des Mont Tendre bis auf eine Höhe von 1400 m ü.M., um schliesslich bei Romainmôtier in 600 m ü.M. seine Bahn zu beenden. Ohne dass ihn diese Orographie wesentlich beeinflusst hätte, hinterliess der Tornado eine schnurgerade und praktisch durchgehende Waldschneise von etwa 20 Kilometern. Die anschliessend aufgenommenen Luftbilder zeigen eindrücklich die in wirbelförmiger Anordnung am Boden liegenden Baumstämme. Der Tornado zog insgesamt 79 Gebäude in Mitleidenschaft, 18 davon schwer. Drei Scheunen wurden vollständig zerstört. Beim Überqueren eines Campingplatzes schleuderte der Tornado einen Wohnwagen über die Wipfel ausgewachsener Tannen hinweg 30 Meter ins freie Gelände. Mehrere Autos, welche sich auf seinem Pfad befanden, liess er zermalmt und zum Teil in ihre Einzelteile zerlegt zurück [41]. Das Ereignis erreichte mindestens die Stärke F-2 bzw. T-5.

Das Ereignis vom 22. Juli 1995

Mit modernsten Methoden wurden im Starkgewitter des 22. Juli 1995 über Oberhofen im Kanton Aargau tornadoartige Strukturen nachgewiesen. Die Aufzeichnungen des Wetterradars der ETH Zürich zeigten in der Gewitterzelle eindeutig Rotationsbewegungen, wie sie auch von den amerikanischen Tornados her bekannt sind [4]. Der am Boden offenbar unsichtbare Schlauch legte einen Pfad von etwa 15 Kilometer zurück. Ein vom Gewitter überquert Windmesser zeigte für einen ganz kurzen Augenblick eine maximale Windgeschwindigkeit von 158 km/h. Das erklärt, weshalb in einer der betroffenen Ortschaften 70 % der Hausdächer zum Teil erhebliche Schäden davon trugen. In einigen der zerstörten Waldstücke zeigten die Bäume markante Verdrehungen, welche auf rotierende Windbewegungen schliessen lassen. Das Ereignis erreichte die Stärke von F-1 bzw. T-3.

2.10.6 Auftretenshäufigkeit von Tornados in der Schweiz

Die von Tornados betroffene Region der Nordschweiz umfasst das Mittelland und den Jura. In guter Näherung kann die betroffene Fläche als Dreieck beschrieben werden mit einer Basis von rund 325 km (Genfersee-Bodensee) sowie einer Höhe von rund 80 km. Die so definierte Region beläuft sich dann auf 13'000 km² (Abbildung 2.39). Die Lage des Kernkraftwerkes Mühleberg befindet sich innerhalb dieser definierten Region.

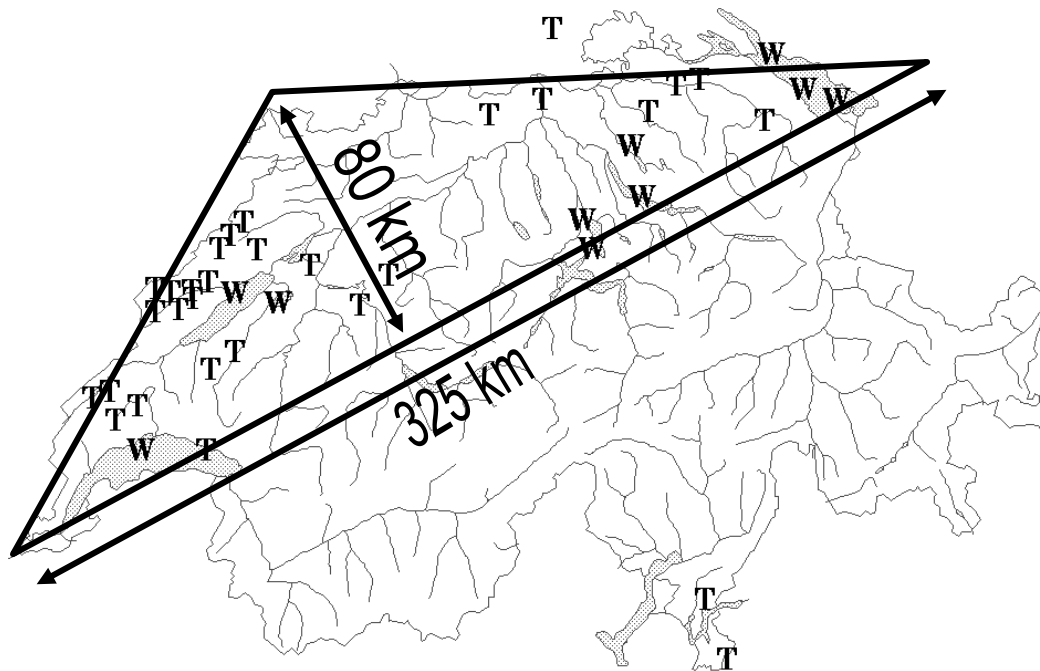


Abbildung 2.39: Die in der Nordschweiz von Tornados betroffene Region.

Generelle Auftretenshäufigkeit

Aus der definierten Region sind 27 Tornadobeobachtungen über den Zeitraum von 115 Beobachtungsjahren (1890 bis 2005) verfügbar (Abbildung 2.38). Beobachtungen von „Wasserhosen“ sind hierbei nicht eingeschlossen. Bei der genannten Zahl von 27 Tornadobeobachtungen handelt es sich selbstverständlich um die untere Grenze der möglichen Ereigniszahl. Es ist davon auszugehen, dass zu einigen Tornado-Ereignissen aus der genannten Periode 1890 bis 2005 keine Beobachtungen vorliegen und sie damit nicht dokumentiert sind. Aus diesem Grund wird zusätzlich die Tornado-Auftretenshäufigkeit mit den Annahmen aus Dotzek [37] und dem Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-A05 gerechnet [43], welche, gestützt auf Beobachtungen, von 2.5 Tornados pro Jahr ausgehen.

Die Tornado-Auftretenshäufigkeit (Φ_t) in der definierten Region (13'000 km²) ergibt sich dann für dokumentierte Tornadoereignisse:

$$\Phi_t = \frac{27/115}{13'000} = 1.8 \times 10^{-5} = 0.000018 \quad \text{Tornados pro Jahr und km}^2$$

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km² alle 100'000 Jahre mit rund zwei Tornados gerechnet werden muss.

Analog ergibt sich eine Tornado-Auftretenshäufigkeit (Φ_t) gemäss Abschätzungen aus ENSI-A05

$$\Phi_t = \frac{2.5}{13'000} = 1.9 \times 10^{-4} = 0.00019 \quad \text{Tornados pro Jahr und km}^2$$

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km² alle 100'000 Jahre mit rund zwanzig Tornados gerechnet werden muss.

Auftretenshäufigkeit starker Tornados

In der verfügbaren Beobachtungsperiode von 115 Jahren sind fünf starke Tornados (Stärke F-1 bis F3, bzw. T-3 bis T-6) mit erheblichen Schadensfolgen aufgetreten. Entsprechend ergibt sich die Auftretenshäufigkeit für starke Tornados (Φ_{ts}) in der definierten Region (13'000 km²) aus:

$$\Phi_{ts} = \frac{5/115}{13'000} = 3.3 \times 10^{-6} = 0.0000033 \quad \text{starke Tornados pro Jahr und km}^2$$

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km² alle 300'000 Jahre mit etwa einem starken Tornado gerechnet werden muss.

Statistisch abgeleitet aus ENSI-A05 ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit für einen Tornado >F0 von ca. 35%. Daraus folgt eine Auftretenshäufigkeit für starke Tornados (Φ_{ts}) von:

$$\Phi_{ts} = \frac{0.35 * 2.5}{13'000} = 6.7 \times 10^{-5} = 0.0000673 \quad \text{starke Tornados pro Jahr und km}^2$$

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km² ca. alle 70'000 Jahre mit etwa einem starken Tornado gerechnet werden muss.

Vergleich mit der Auftretenshäufigkeit in den USA

In den USA mit der weltweit grösste Tornado-Häufigkeit treten in der Region mit der grössten Tornado-Dichte (Abbildung 2.40) jährlich im Durchschnitt 628 Tornados auf [46]. Daraus ergibt sich eine Tornado-Auftretenshäufigkeit (Φ_t) von 0.0002 Tornados pro Jahr und km². Das bedeutet, dass in dieser definierten Region der USA pro km² alle 100'000 Jahre mit rund 23 Tornados (alle Stärkeklassen) gerechnet werden muss. Die Auftretenshäufigkeit ist damit rund 10 Mal höher als in der Schweiz (Abbildung 2.40).

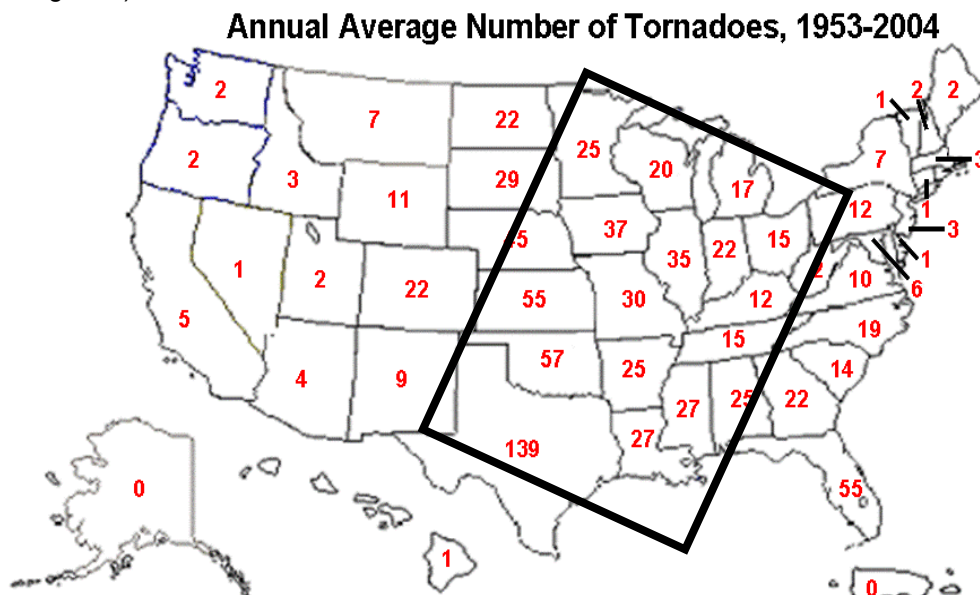


Abbildung 2.40: Jährliche Anzahl aller Tornados 1953 bis 2004 in den USA. Die schief liegende rechteckige Fläche (1500 km x 1800 km, 2.7 Mio. km²) zeigt die Region mit der grössten Tornado-Dichte. Aus: <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/severeweather/tornadoes.html>

In den Stärkeklassen F-2 bis F-4 treten in der angegebenen Tornado-Region 159 Tornados pro Jahr auf [46]. Daraus ergibt sich eine Tornado-Auftretenshäufigkeit (Φ_{ts}) von 0.00006 Tornados pro Jahr und km^2 . Das bedeutet, dass in dieser definierten Region der USA pro km^2 alle 300'000 Jahre mit rund 18 Tornados der Stärkeklassen F-2 bis F-4 gerechnet werden muss. Die Auftretenshäufigkeit ist damit rund 18 Mal höher als in der Schweiz (Abbildung 2.41).

Annual Average Number of Strong-Violent (F2-F5)
Tornadoes, 1950-1995

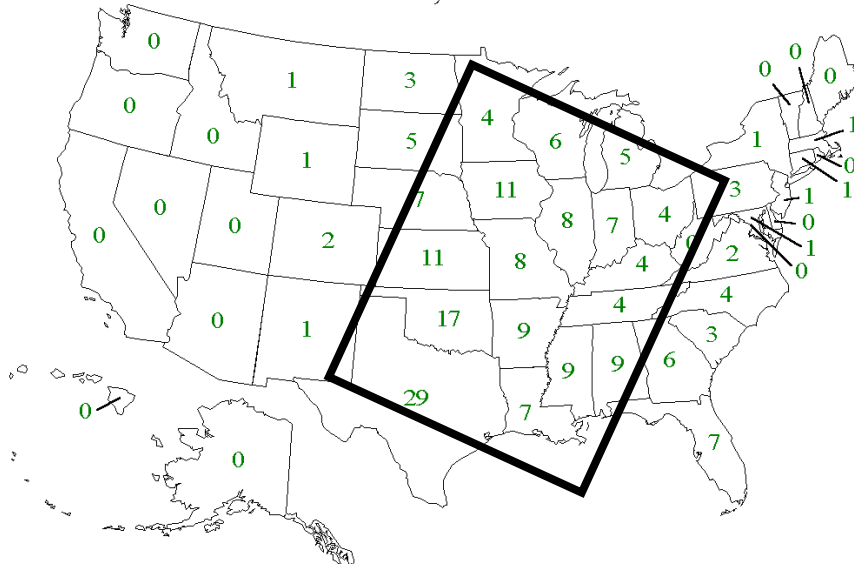


Abbildung 2.41: Jährliche Anzahl starker Tornados 1950 bis 1995 in den USA. Die schief liegende rechteckige Fläche (1500 km x 1800 km, 2.7 Mio. km^2) zeigt die Region mit der grössten Tornado-Dichte. Aus: <http://wf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/severeweather/tornadoes.html>

2.10.7 Änderung der Auftretenshäufigkeit durch die Klimaänderung

Die Entstehung von starken Tornados mit Schadensfolgen erfolgt praktisch immer im Zusammenhang mit intensiven Gewitterherden. Starke Tornados in der Schweiz sind als Extremereignisse zu bezeichnen und müssen im Zusammenhang mit der Frage der Klimaänderung unter diesem Aspekt betrachtet werden.

Quantitative Abschätzungen zur Änderung der Häufigkeit von Extremereignissen in der Schweiz sind noch sehr unsicher. Für Temperaturextreme wie Kälte- und Hitzewellen, sowie für Starkniederschläge liegen Befunde vor. Hinsichtlich anderer Extremereignisse, insbesondere auch Hagel- und damit Gewitterstürme, ist der Einfluss der Klimaänderung noch kaum fassbar [25].

2.11 Schwere Stürme

Häufiger als Tornados treten in der Schweiz schwere Winterstürme auf. Die bekanntesten Stürme der letzten Jahrzehnte waren Vivia und Lothar. Während diesen beiden extremen Sturmereignissen wurden im schweizerischen Mittelland Windgeschwindigkeiten bis zu 180 km/h gemessen. Aufgrund von Aufzeichnungen ist davon auszugehen, dass in vorangegangenen Jahrhunderten noch stärkere Stürme aufgetreten sind. Dies können aber nicht mit absoluten Windgeschwindigkeiten angegeben werden.

2.11.1 Charakteristik von Winterstürmen

Winterstürme entstehen im Zusammenhang mit intensiven Tiefdruckgebieten und haben, im Gegensatz zu den meisten sommerlichen Gewitterstürmen, praktisch immer eine grosse Flächenwirkung. Falls Schäden entstehen, sind diese meist über ein weites Gebiet verteilt, während Gewitterstürme oft nur lokal Schäden verursachen. Starke Winterstürme bergen deshalb ein sehr grosses Schadenspotential. So hat der Wintersturm Lothar vom Dezember 1999 in der Periode der letzten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts, im Vergleich mit Hochwassern, Erdbeben, Lawinen und Hagelschlägen, die bei weitem grössten Schäden verursacht [47].

Der Zusammenhang zwischen den Windstärken und deren sichtbaren Auswirkungen auf die Umwelt ist in der 12-teiligen Beaufort-Skala festgehalten. Winde ab der Beaufort-Grad 9 werden als Sturm bezeichnet [19]. Der Beaufort-Grad 9 umfasst Windgeschwindigkeiten zwischen 75 km/h und 88 km/h. Erreicht die Windstärke Beaufort 9, so entstehen gemäss Beaufort-Beschrieb erste kleinere Schäden an Häusern und Dachziegel werden abgeworfen (Tabelle 2.68).

Dabei ist zu beachten, dass die Windstärke bzw. die Windgeschwindigkeit messtechnisch sowohl als Mittel über eine bestimmte Zeit als auch als kurzzeitige Böenspitze erfasst werden kann. Die Angaben der Windgeschwindigkeiten in der Beaufort-Skala beziehen sich offenbar auf Windmittel, was jedoch bei vielen Zusammenstellungen nicht klar zum Ausdruck kommt. Im amerikanischen Raum wird die Beaufort-Skala mit dem 1-Minuten Windmittel gleichgesetzt. In Europa werden üblicherweise die 10-Minuten Mittel sowie die Sekunden-Böenspitzen erfasst. Da die 10-Minuten Mittel über Landflächen deutlich tiefer liegen als die 1-Minuten Mittel, können die 10-Minutenwerte nicht mit der Beaufort-Skala bzw. mit den darin enthaltenen Schadenswirkungen gleichgesetzt werden. Gemäss einer internen Studie von MeteoSchweiz entstehen erste Sturmschäden bei 10-Minuten Mitteln von rund 40 km/h respektive bei den damit einhergehenden Böenspitzen von rund 75 km/h [48].

Im Bewusstsein, dass die Windwirkung zu einem wesentlichen Teil durch die Böigkeit bestimmt wird, ist es also angebracht von Sturm zu sprechen, wenn die Böenspitzen den Beaufort-Grad 9 bzw. rund 75 km/h erreichen. Dies ist auch die langjährige Praxis von MeteoSchweiz.

Beaufort-Grad	Bezeichnung	Wirkung	Geschwindigkeit in [m/s]	Geschwindigkeit in [km/h]
6	starker Wind	Starke Äste in Bewegung; Regenschirme schwierig zu benutzen.	10.8 - 13.8	38.6 - 49.7
7	steifer Wind	Ganze Bäume in Bewegung; fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind.	13.9 - 17.1	49.8 – 61.6
8	stürmischer Wind	Bricht Zweige von den Bäumen; erschwert erheblich das Gehen im Freien.	17.2 – 20.7	61.7 – 74.5
9	Sturm	Kleinere Schäden an Häusern; Rauchhauben und Dachziegel werden ab-geworfen.	20.8 – 24.4	74.6 – 87.8
10	schwerer Sturm	Entwurzelte Bäume; bedeutende Schäden an Häusern.	24.5 – 28.4	87.9 – 102.2
11	orkanartiger Sturm	Verbreitete Sturmschäden. Sehr selten im Binnenland.	28.5 – 32.6	102.3 – 117.4
12	Orkan		ab 32.7	ab 117.5

Tabelle 2.68: Die typischen Auswirkungen auf dem Binnenland bei höheren Windgeschwindigkeiten gemäss Beaufort-Skala [19].

Stürme mit grosser Flächenwirkung sind in der Regel Westwind-Stürme. Die Entstehungsbedingungen sind oftmals sehr ähnlich. Zwischen einem grossen Bodentief über dem nördlichen Atlantik und einem Hoch in südlichen Breiten herrscht eine starke Westströmung. An der Südflanke eines solchen grossen Tiefdruckgebietes bilden sich oftmals kleine, aber sehr kräftige Randtiefs. Diese vom Atlantik auf das europäische Festland vordringenden Randtiefs sind nun eigentlich für die starken Westwind-Stürme verantwortlich.

2.11.2 Windgeschwindigkeiten und Lebensdauer

Die höchsten Windgeschwindigkeiten werden meist an der zum Randtief gehörenden Kaltfront erreicht. Dabei können in Extremfällen im Flachland der Alpennordseite Böenspitzen von 160 km/h bis 180 km/h auftreten (Beispiel Lothar vom 26.12.1999). In den Hochalpen sind Windspitzen um 300 km/h möglich. Das Markante an Westwind-Stürmen ist ihre ausgeprägte Böigkeit und ihre eher kurze Dauer von wenigen Stunden, im Gegensatz etwa zu den Föhnstürmen in den grossen Alpentälern, die tagelang andauern können. Was die Böenspitzen anbelangt, dürfen die Westwind-Stürme als die stärksten Stürme in der Schweiz bezeichnet werden, allerdings nur knapp stärker als Föhnstürme.

2.11.3 Sturmtätigkeit auf dem Gebiet der Schweiz

Die winterliche Sturmtätigkeit in der Schweiz ist weitgehend an die Ereignisse im Nordatlantik gebunden. Seit 100 Jahren nehmen die Wintersturmereignisse in der Schweiz ab [49], (Abbildung 2.42). Dies aber nicht, weil eine allgemeine Temperaturzunahme eine zunehmend ausgleichende

Wirkung auf den atlantischen Raum hat, sondern weil sich die Sturmtiefs offenbar auf nördlicheren Bahnen bewegen [50]. Über dem nordatlantischen Raum haben sich die Sturmtiefs sogar eher intensiviert [51].

Die Schweiz liegt heute im Winterhalbjahr häufig im Einflussbereich von Hochdruckrücken. Die wetteraktiven Tiefdruckgebiete werden vermehrt nördlich um die Schweiz herumgeführt. Die Schweiz befindet sich deshalb heute vermehrt am südlichen Rand der Sturmfelder oder sogar ausserhalb davon.

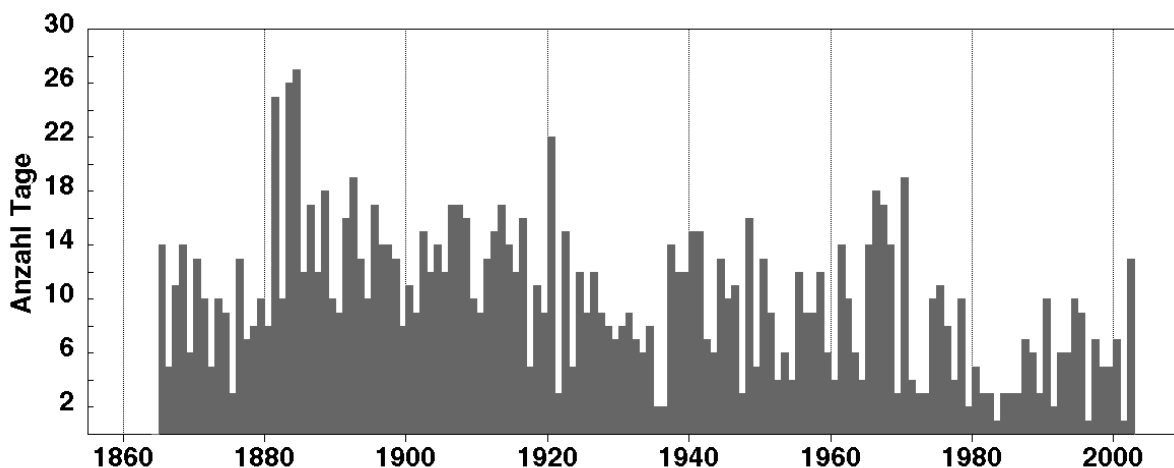


Abbildung 2.42: Anzahl Starkwindtage (Böenspitzen 90 km/h [50 Knoten] und mehr) im Winterhalbjahr für die Periode 1864/65 bis 2001/02 an der Messstation Zürich [49] (ergänzt). Die Station wird als repräsentativ für die Nordostschweiz angesehen. Einige umliegende Stationen wurden für Quervergleiche und für die Ergänzung fehlender Daten verwendet.

Das Wirkungsfeld von Winterstürmen liegt vor allem in den Gebieten des Jura und des Mittellandes sowie im Alpenraum. Die Alpensüdseite wird davon wenig betroffen.

2.11.4 Starke Sturm-Ereignisse

Sturmaufzeichnungen seit 1500

In den klimahistorischen Auswertung von Pfister [52], [53] werden die zwei Sturmklassen 'schwer' und 'extrem' unterschieden. Selbstverständlich liegen aus früherer Zeit keine Windmessungen vor, so dass die Klassengrenze zwangsläufig nicht nach meteorologischen Merkmalen, sondern auf Grund von Schadensberichten festgelegt wurde. Die Analyse seit 1500 (Abbildung 2.43) macht deutlich, dass schwere Stürme in der Schweiz eine mehr oder weniger regelmässige Erscheinung sind. Extreme Stürme mit einem Schadenspotential von Lothar hingegen sind seltene Ereignisse.

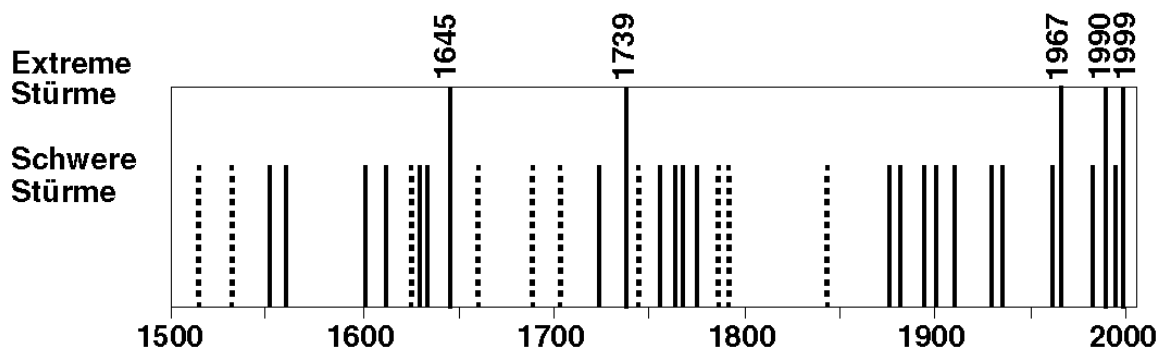


Abbildung 2.43: Häufigkeit schwerer und extremer Winterstürme 1496 bis 1999 [52], [53] (ergänzt). Erfasst sind Weststürme von Oktober bis März. Gestrichelt sind jene Ereignisse aufgeführt, deren Quellen nicht eindeutig sind.

2.11.5 Extreme Ereignisse

Aus dem Vergleich der Schadensberichte [52] [53] ergibt sich, dass auch das Extreme verschiedene Stufen hat. Vivian 1990 (Böenspitzen 140 km/h bis 160 km/h) übertraf zwar deutlich den Sturm von 1967 (Böenspitzen 110 km/h bis 130 km/h), erreichte aber nicht die Wucht von Lothar 1999 (Böenspitzen 140 km/h bis 180 km/h) und wohl auch nicht jene der beiden Superstürme von 1645 und 1739. Selbst Lothar muss wohl hinter diesen beiden eingereiht werden. Es ist also damit zu rechnen, dass die Natur für die Schweiz noch stärkere Stürme als Lothar bereithält. Solche Superstürme sind aber sehr selten.

Aus den vorliegenden Aufzeichnungen ergibt sich, dass etwa alle 100 Jahre ein Wintersturm mit der Wucht von Lothar oder noch stärker die Schweiz trifft [47].

2.11.6 Änderung der Auftretenshäufigkeit durch die Klimaänderung

Abschätzungen zur zukünftigen Häufigkeit von starken und extremen Stürmen sind sehr unsicher. Dies hängt einerseits mit der Fehleranfälligkeit der globalen Klimamodelle bei der Bestimmung von Zugbahnen von Tiefdruckgebieten, und andererseits mit den noch nicht genügend bekannten Prozessen bei der Entstehung von kleinen, intensiven Tiefdruckgebieten zusammen [54]. Der Einfluss der Klimaänderung auf Stürme im Bereich der Schweiz ist gegenwärtig deshalb noch nicht ausreichend verstanden und quantitative Aussagen dazu sind vorderhand noch nicht möglich [25].

KAPITEL 3 Extremwertanalyse

Die Extremwertstatistik ermöglicht Ereignisse bezüglich ihrer Auftretenshäufigkeit einzuordnen. Bedeutende Klimaereignisse der letzten Jahre im schweizerischen Mittelland waren beispielsweise der Sturm Lothar an den Weihnachtstagen 1999, der Starkniederschlag im August 2007 und die Schneefälle im März 2006. Böenspitze wie sie bei Sturm Lothar auftraten sind aufgrund der Extremwertanalyse etwa einem 100-jährigen Ereignis zuzuordnen. Das Niederschlagsereignis vom 8. bis 10. August 2007 zeigt eine Wiederkehrperiode von etwa 50 Jahren. Sowohl beim 1-Tages und beim 5-Tages Neuschnee, als auch beim Gesamtschnee ergibt sich für die Schneefälle vom 4. bis 5. März 2006 eine Wiederkehrperiode von 50 bis 100 Jahren.

3.1 Methode

Für die Abschätzung von möglichen Auswirkungen des Wetters auf Infrastruktur ist die Kenntnis von möglichen Extremwerten und deren Häufigkeit von grosser Bedeutung. Um diese Aufgabe zu lösen, werden häufig Wiederkehrwerte (mit welchem Ereignis muss durchschnittlich alle X Jahre gerechnet werden) bzw. Wiederkehrperioden (wie lange dauert es durchschnittlich bis ein Ereignis der Stärke X sich wiederholt) eines Ereignisses bestimmt. Als Grundlage dazu wird hier und in der Praxis häufig die sogenannte Extremwertstatistik verwendet.

Um die Wiederkehrwerte von extremen Ereignissen zu schätzen wird in diesem Bericht die Block Maxima Methode angewendet [55]. Laut der Theorie der Extremwertstatistik sind die Maxima einer beliebigen Verteilung gemäss der sogenannten „verallgemeinerten Extremwertverteilung“ verteilt (Generalized Extreme Value Distribution, GEV). So wird an einer bestimmten Station pro Jahr das Maximum eines Parameters ausgerechnet und die entstehende Datenreihe an die GEV-Verteilung angepasst. Die GEV-Verteilung wird durch drei Parametern gekennzeichnet:

- die Lage: der Wert um welchen die Maxima verteilt sind.
- die Form: beschreibt die Form der Verteilung, insbesondere ihre Schiefe.
- die Skalierung: ein Mass dafür, wie stark die Daten um die Lage „konzentriert“ sind.

Diese Parameter müssen geschätzt werden, was in dieser Analyse mit der Maximum Likelihood Methode [55] gemacht wurde.

Die beste Schätzung liefert die Verteilung, die am wahrscheinlichsten zu den Daten passt. Sie ist nicht die einzige Verteilung, die mit den Daten kompatibel ist. Es wird zusätzlich ein sogenanntes Konfidenzintervall geschätzt, das einen grossen Teil (z. B. 90%) der möglichen Verteilungen enthält, die noch zu den Daten passen könnten. In diesem Bericht wird das 90% Konfidenzintervall zur besten Schätzung der GEV-Verteilung mit der Profile Log-Likelihood Methode [56] geschätzt. Bei bestimmten Formen der Verteilung kann diese Methode für hohe Jährlichkeiten (z.B. 10'000 Jahre) allerdings nicht mehr angewendet werden. In diesem Fall wird ein parametrisches Randomisierungsverfahren, das etwas weniger exakt ist, eingesetzt. Sollte diese Methode verwendet worden sein, so sind die Resultate in der entsprechenden Tabelle grau gekennzeichnet. Es ist zu erwähnen, dass

Extremwertanalysen alternativ mit der Peak over Threshold Methode gerechnet werden können. Erste Analysen für ausgewählte Windparameter wurden an der MeteoSchweiz im Rahmen einer Bachelor Arbeit durchgeführt [57]. Die Peak over Threshold Methode ist grundsätzlich gut geeignet für kurze Datenreihen, erfordert jedoch zeitaufwändige Zusatzanalysen um die Zuverlässigkeit der Resultate zu gewährleisten. Bei den nachfolgenden Analysen wird die Block Maxima Methode verwendet.

3.2 Das Gumbel-Diagramm

Aus der besten Schätzung der GEV-Verteilung lässt sich die Beziehung zwischen Wiederkehrwerten und Wiederkehrperioden herleiten. Sie wird in einem sogenannten Gumbel-Diagramm dargestellt, wobei die Wiederkehrperioden auf der x-Achse und die Wiederkehrwerte auf der y-Achse aufgetragen werden. Aus Abbildung 3.3.1.1 wird ersichtlich, dass ein stündlicher Niederschlag von 20 mm an der Station Mühleberg einer Wiederkehrperiode von etwa 5 Jahren hat. Zusätzlich zeigt das 90% Konfidenzintervall, dass bei 90% der möglichen Verteilungen ein 20 mm Ereignis einer Wiederkehrperiode zwischen etwa 2 und 10 Jahren entspricht.

Üblicherweise werden für die Bestimmung der GEV-Verteilung verwendete Jahresmaxima im Diagramm eingetragen, wobei jedem Datenwert (Wiederkehrwert) eine empirische Wiederkehrperiode zugeordnet wird. Diese empirische Wiederkehrperiode wird aus der gesamten Anzahl Jahre und der Rangierung vom Datenwert in der Datenreihe gerechnet. Sie ist mit einem grossen zufälligen Fehler und einem systematischen Fehler behaftet. Es ist zu beachten, dass die Punkte der grössten Ereignisse vorzugsweise oberhalb des Fits liegen. Aus diesem Grund ist die Übereinstimmung von Datenpunkten und Fit kein Mass für die Güte der Schätzung.

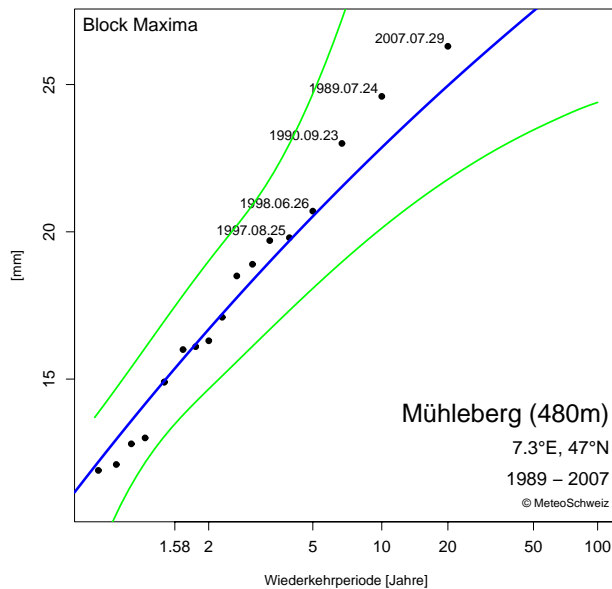
Die Güte der Schätzung (Goodness-of-Fit, GOF) wird mit dem Kolmogorov-Smirnov Test mittels eines parametrischen Randomisierungsverfahren überprüft [55]. Sollte die beste Schätzung diesen Test bei einer gegebenen Station nicht bestehen, so ist es in der Legende zum Gumbel-Diagramm erwähnt.

Es ist zu beachten, dass die Güte der Schätzung nur ein Mass dafür ist, ob die Schätzung mit den vorhandenen Daten kompatibel ist. Sie garantiert aber nicht, dass die geschätzte Verteilung realistisch oder physikalisch sinnvoll ist. Wenn z.B. zu wenige Daten zur Verfügung stehen, kommt es vor, dass der Form-Parameter zu einer unrealistisch starken Krümmung der Kurve im Gumbel-Diagramm führt. Die resultierenden Wiederkehrwerte für hohe Wiederkehrperioden können dann viel grösser sein als die Physik der Atmosphäre es erlauben würde.

Allgemein ist zu beachten, dass die Berechnung von Wiederkehrperioden, die weit über der Anzahl Jahre der Datengrundlage liegt, wie z.B. diejenige von 10000-Jahr Wiederkehrperioden, unphysikalische Resultate liefern kann. Unter Umständen können diese gar nicht gerechnet werden. Als Anhaltspunkt für physikalisch unrealistische Werte können z.B. Werte angesehen werden, die deutlich über den Weltrekorden für den jeweiligen Parameter liegen. Für Niederschlag sind dies Werte grösser etwa 2000 mm/Tag (1 Tagessumme) und gut 4000 mm/Tag (5 Tagessumme). Bei der Böenspitze beträgt der Weltrekord etwas über 100 m/s. Ebenso sind Neuschneemengen über 2 m/Tag kaum realistisch.

3.3 Niederschlag

3.3.1 Stündlicher Niederschlag



GEV Parameter

Location: 15.37

Scale: 3.67

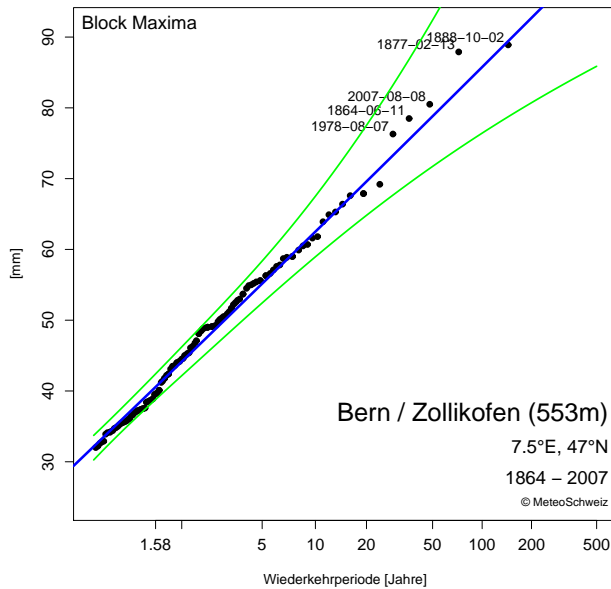
Shape: -0.09

Abbildung 3.1: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für den stündlichen Niederschlag. GOF-Test: Da der GOF-Test nicht durchgeführt werden konnte, gibt es keine Angaben zur Güte des Fits. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [mm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [mm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [mm]
5	20.5	18.1	24.7
10	22.9	20.1	31.5
20	25.0	21.8	41.2
30	26.1	22.6	48.6
50	27.5	23.5	60.2
100	29.3	24.4	81.4
10000	38.6	26.2	130.3

Tabelle 3.1: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den stündlichen Niederschlag.

3.3.2 1-Tages Niederschlag



GEV Parameter

Location: 40.58

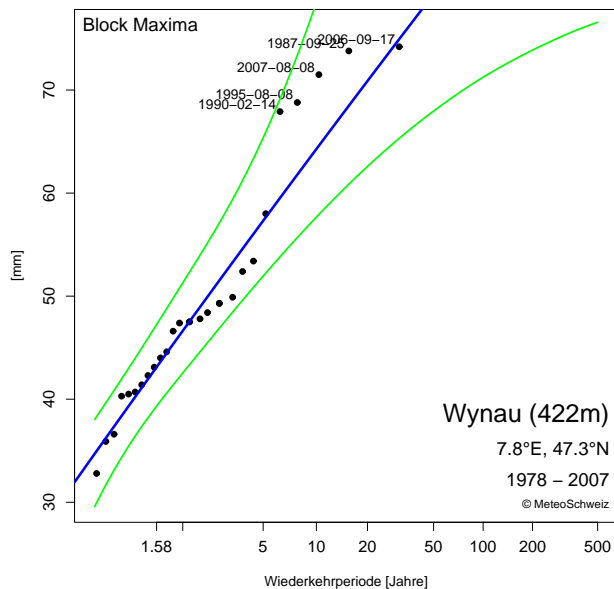
Scale: 9.67

Shape: 0.01

Abbildung 3.2: Gumbel-Diagramm an der Station Bern/Zollikofen für den 1-Tages Niederschlag. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Aus Datenqualitätsgründen wurde das Jahr 1870 ausgelassen. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [mm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [mm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [mm]
5	55.2	52.4	58.4
10	62.5	59.0	67.5
20	69.6	64.8	77.5
30	73.7	68.0	83.9
50	78.8	71.7	92.4
100	85.8	76.4	105.1
10000	132.0	99.0	235.0

Tabelle 3.2: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für den 1-Tages Niederschlag.



GEV Parameter

Location: 43.14

Scale: 9.57

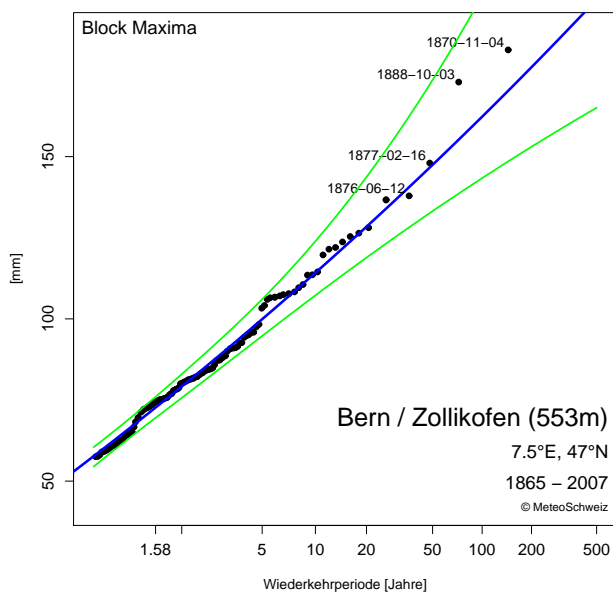
Shape: -0.02

Abbildung 3.3: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 1-Tages Niederschlag. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [mm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [mm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [mm]
5	57.3	52.0	65.4
10	64.3	57.7	78.5
20	70.9	62.6	94.8
30	74.6	65.1	106.1
50	79.3	68.0	122.6
100	85.5	71.3	149.7
10000	125.0	81.0	366.0

Tabelle 3.3: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 1-Tages Niederschlag.

3.3.3 5-Tages Niederschlag



GEV Parameter

Location: 72.71

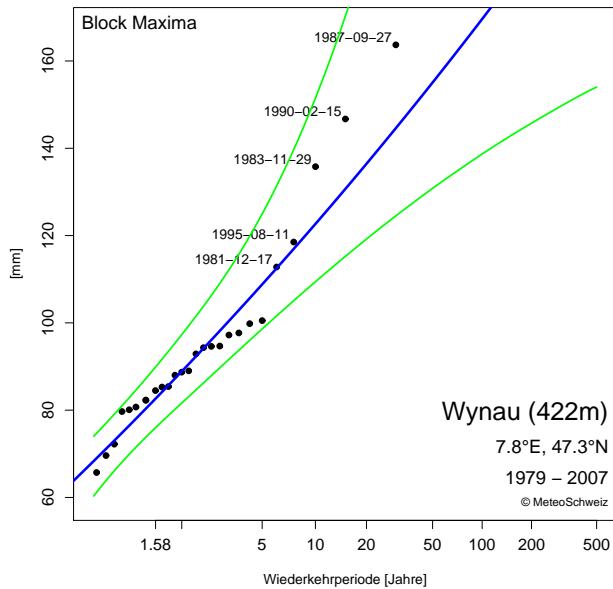
Scale: 17.52

Shape: 0.05

Abbildung 3.4: Gumbel-Diagramm an der Station Bern/Zollikofen für den 5-Tages Niederschlag. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [mm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [mm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [mm]
5	99.9	94.7	106.1
10	114.2	107.2	123.9
20	128.4	118.9	143.7
30	136.8	125.3	156.4
50	147.5	133.2	173.6
100	162.3	143.4	199.6
10000	273.0	200.0	453.0

Tabelle 3.4: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern/Zollikofen für den 5-Tages Niederschlag.



GEV Parameter

Location: 82.67

Scale: 16.77

Shape: 0.05

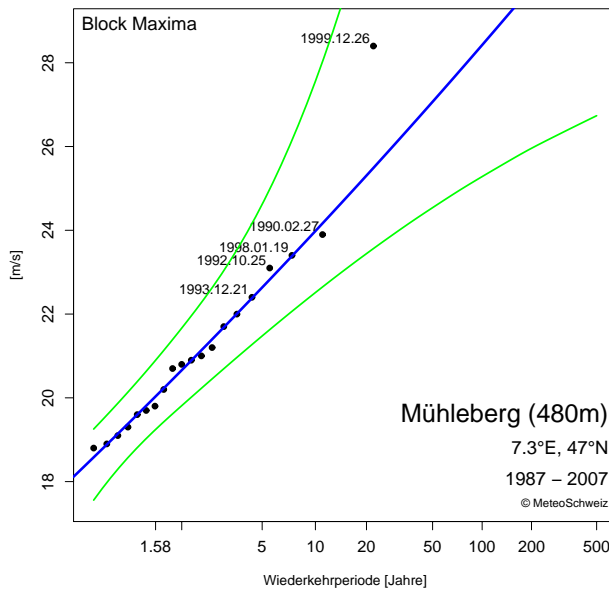
Abbildung 3.5: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 5-Tages Niederschlag. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt nicht gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [mm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [mm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [mm]
5	108.8	98.6	124.9
10	122.7	109.4	151.5
20	136.4	119.2	185.5
30	144.6	124.5	209.6
50	155.1	130.8	245.6
100	169.6	138.7	306.5
10000	280.0	174.0	783.0

Tabelle 3.5: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 5-Tages Niederschlag.

3.4 Wind

3.4.1 10-Minuten Böenspitze



GEV Parameter

Location: 20.04

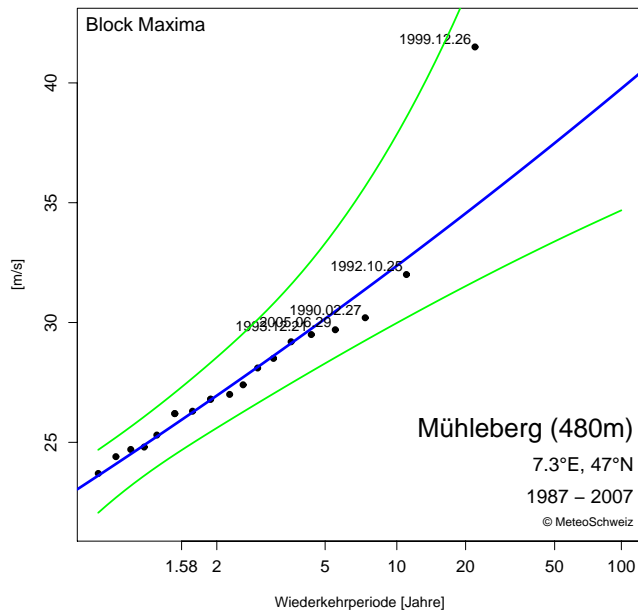
Scale: 1.69

Shape: 0.03

Abbildung 3.6: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m über Grund.. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [m/s]	Untere Grenze Konfidenzintervall [m/s]	Obere Grenze Konfidenzintervall [m/s]
5	22.6	21.5	24.6
10	24.0	22.5	27.6
20	25.3	23.4	31.4
30	26.1	23.9	34.1
50	27.1	24.5	38.3
100	28.4	25.3	45.4
10000	38.0	29.0	87.0

Tabelle 3.6: Wiederkehrperiode [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m über Grund.



GEV Parameter

Location: 25.95

Scale: 2.72

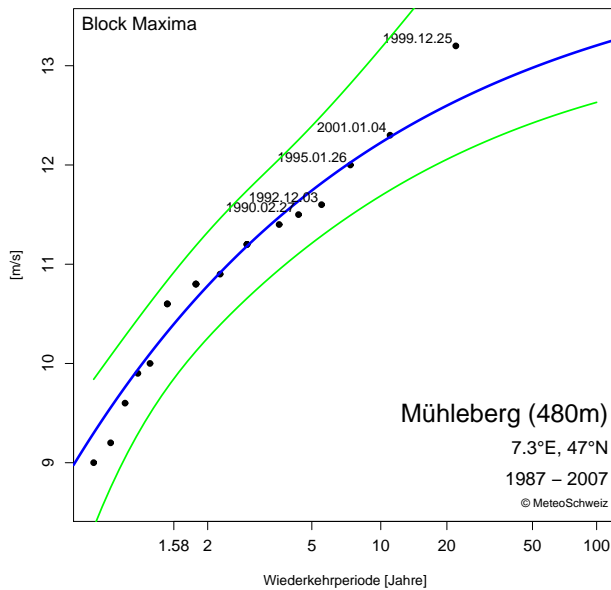
Shape: 0.04

Abbildung 3.7: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze 110 m über Grund. GOF-Test: die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [m/s]	Untere Grenze Konfidenzintervall [m/s]	Obere Grenze Konfidenzintervall [m/s]
5	30.2	28.3	33.3
10	32.4	30.0	37.9
20	34.6	31.5	43.6
30	35.8	32.4	47.7
50	37.5	33.4	53.8
100	39.8	34.7	64.0
10000	56.6	41.0	142.6

Tabelle 3.7: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze, 110 m über Grund.

3.4.2 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit



GEV Parameter

Location: 10.40

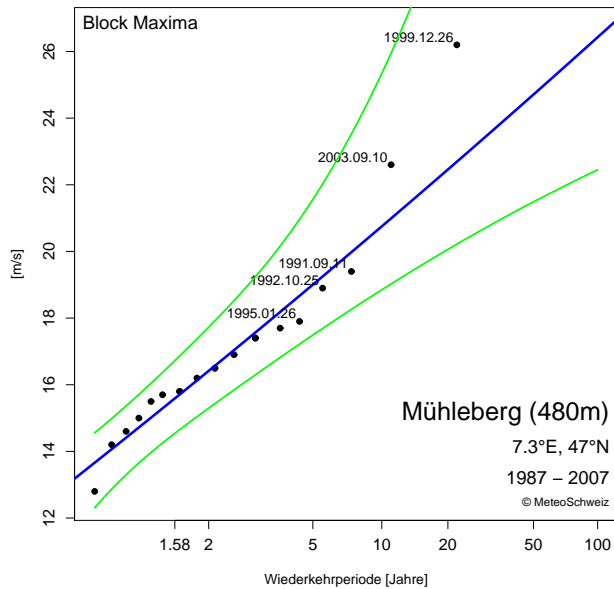
Scale: 1.10

Shape: -0.29

Abbildung 3.8: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund. GOF-Test: Da der GOF-Test nicht durchgeführt werden konnte, gibt es keine Angaben zur Güte des Fits. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [m/s]	Untere Grenze Konfidenzintervall [m/s]	Obere Grenze Konfidenzintervall [m/s]
5	11.7	11.2	12.4
10	12.2	11.7	13.2
20	12.6	12.1	14.0
30	12.8	12.2	14.5
50	13.0	12.4	15.1
100	13.2	12.6	16.0
10000	13.9	13.2	22.5

Tabelle 3.8: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund. Die geschätzte Verteilung ergibt eine unrealistisch stark gekrümmte Kurve, möglicherweise wegen der Kürze der Zeitreihe. Das obere Konfidenzintervall könnte zu tief geschätzt worden sein.



GEV Parameter

Location: 15.59

Scale: 2.23

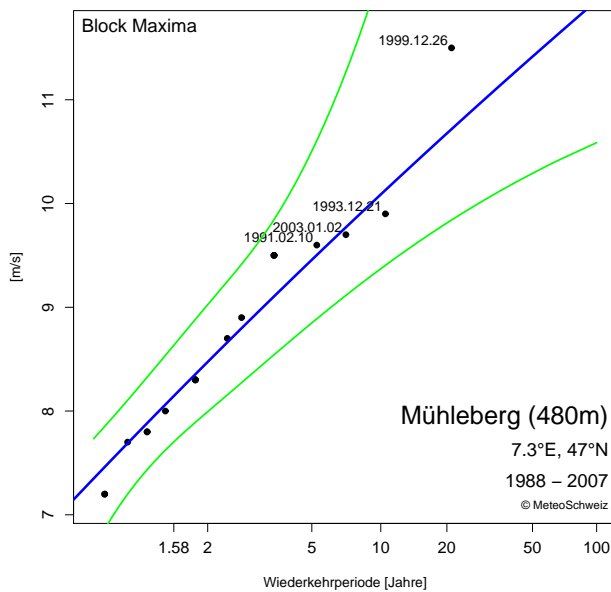
Shape: 0.02

Abbildung 3.9: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit beim 110 m Messniveau. GOF-Test: die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [m/s]	Untere Grenze Konfidenzintervall [m/s]	Obere Grenze Konfidenzintervall [m/s]
5	19.0	17.5	21.6
10	20.8	18.8	25.3
20	22.5	20.1	30.3
30	23.5	20.7	33.8
50	24.7	21.5	39.1
100	26.4	22.4	48.2
10000	38.5	26.6	107.6

Tabelle 3.9: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit beim 110 m Messniveau.

3.4.3 Stundenmittel der Windgeschwindigkeit



GEV Parameter

Location: 8.15

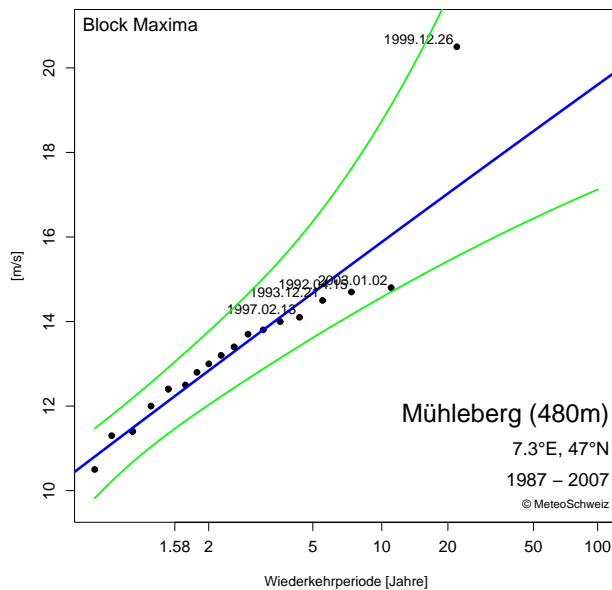
Scale: 0.90

Shape: -0.04

Abbildung 3.10: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall. Sturm Lothar (26.12.1999) ist klar erkennbar.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [m/s]	Untere Grenze Konfidenzintervall [m/s]	Obere Grenze Konfidenzintervall [m/s]
5	9.5	8.8	10.5
10	10.1	9.4	12.2
20	10.7	9.8	14.7
30	11.0	10.0	16.6
50	11.4	10.3	19.6
100	12.0	10.6	25.0
10000	~15	~12	~42

Tabelle 3.10: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund. Grau: Jährlichkeiten der Konfidenzintervalle konnten nicht mit der Profile Log-Likelihood Methode geschätzt werden. Sie wurden mit dem weniger exakten parametrischen Randomisierungsverfahren geschätzt, dann aufgerundet. Das obere Konfidenzintervall für eine Wiederkehrperiode von 10000 Jahre ist physikalisch nicht realistisch.



GEV Parameter

Location: 12.24

Scale: 1.63

Shape: -0.01

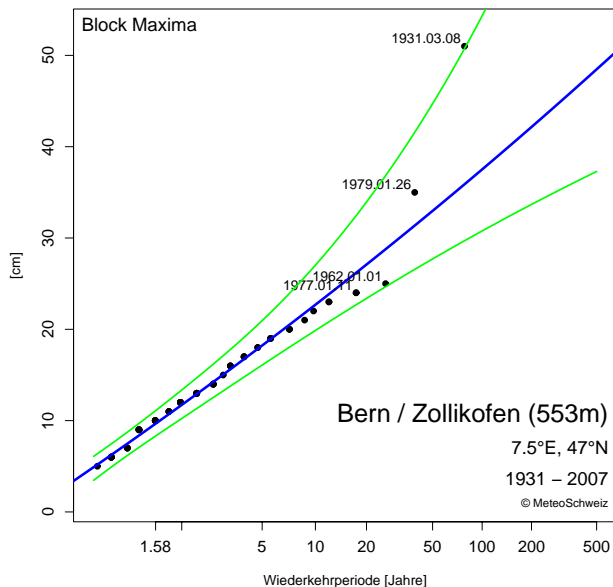
Abbildung 3.11: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 110 m über Grund. GOF-Test: die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [m/s]	Untere Grenze Konfidenzintervall [m/s]	Obere Grenze Konfidenzintervall [m/s]
5	14.7	13.6	16.4
10	15.9	14.6	18.7
20	17.0	15.4	21.7
30	17.7	15.9	23.7
50	18.5	16.4	26.6
100	19.6	17.1	31.4
10000	26.7	20.3	67.8

Tabelle 3.11: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 110 m über Grund.

3.5 Schnee

3.5.1 1-Tages Neuschnee



GEV Parameter

Location: 9.68

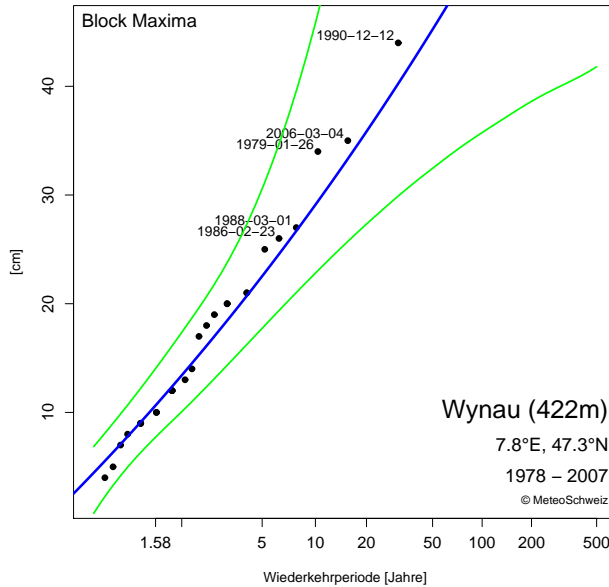
Scale: 5.54

Shape: 0.04

Abbildung 3.12: Gumbel-Diagramm an der Station Bern-Zollikofen für den 1-Tages Neuschnee. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	18	16	21
10	23	20	27
20	27	23	34
30	30	25	39
50	33	28	45
100	38	31	54
10000	71	47	170

Tabelle 3.12: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für den 1-Tages Neuschnee. Das obere Konfidenzintervall der 10000 Jahre Wiederkehrperiode ist physikalisch nicht realistisch: Verleiche mit dem Weltrekord für 1-Tages Neuschnee: 2m/Tag.



GEV Parameter

Location: 10.66

Scale: 7.39

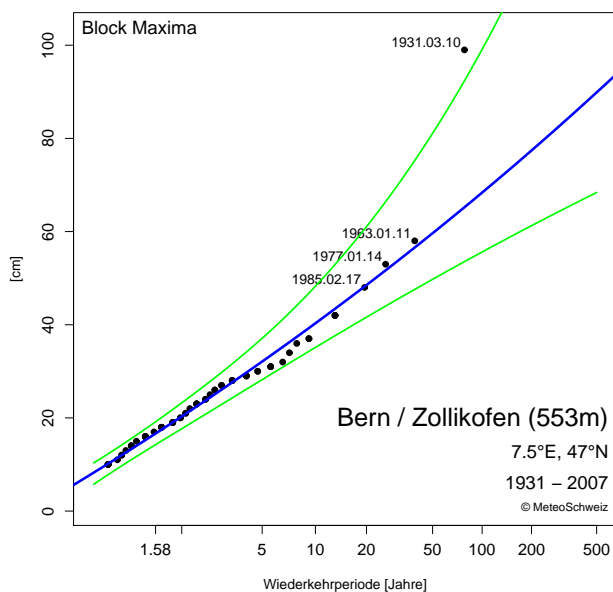
Shape: 0.09

Abbildung 3.13: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 1-Tages Neuschnee. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	23	18	31
10	29	23	46
20	36	27	68
30	40	30	85
50	45	33	113
100	53	36	157
10000	~120	~40	~750

Tabelle 3.13: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 1-Tages Neuschnee. Grau: Jährlichkeiten der Konfidenzintervalle konnten nicht mit der Profile Log-Likelihood Methode geschätzt werden. Sie wurden mit dem weniger exakten parametrischen Randomisierungsverfahren geschätzt, dann aufgerundet. Das obere Konfidenzintervall der 10000 Jahre Wiederkehrperiode ist physikalisch nicht möglich: Vergleiche mit dem Weltrekord für 1-Tages Neuschnee: 2m/Tag.

3.5.2 5-Tages Neuschnee



GEV Parameter

Location: 16.67

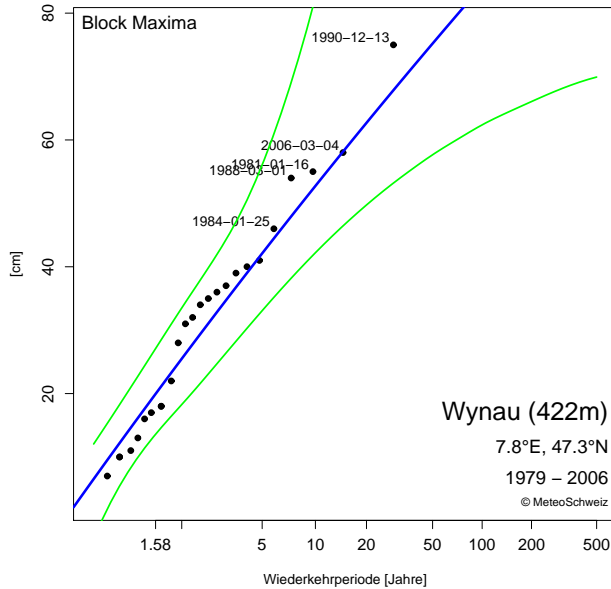
Scale: 9.86

Shape: 0.06

Abbildung 3.14: Gumbel-Diagramm an der Station Bern-Zollikofen für den 5-Tages Neuschnee. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	32	28	37
10	40	35	48
20	49	42	61
30	53	45	69
50	60	50	81
100	68	56	99
10000	135	89	305

Tabelle 3.14: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für den 5-Tages Neuschnee.



GEV Parameter

Location: 19.98

Scale: 15.14

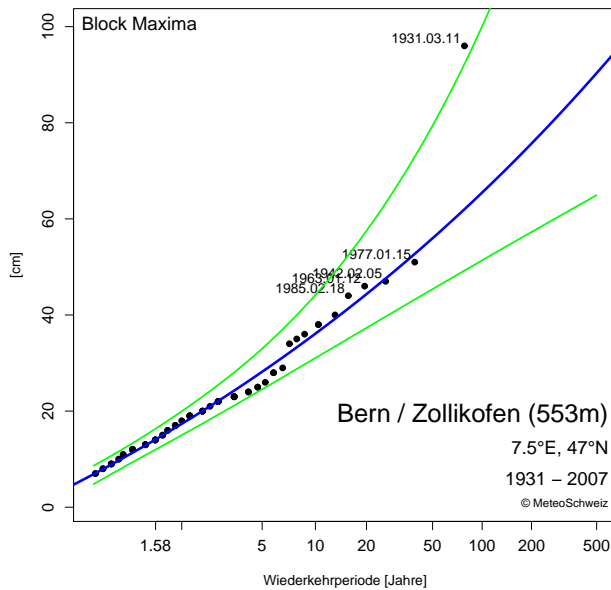
Shape: -0.04

Abbildung 3.15: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 5-Tages Neuschnee. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt nicht gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	42	33	56
10	53	42	83
20	63	50	120
30	68	54	149
50	75	58	194
100	84	63	266
10000	139	77	611

Tabelle 3.15: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 5-Tages Neuschnee.

3.5.3 Gesamtschneehöhe



GEV Parameter

Location: 14.12

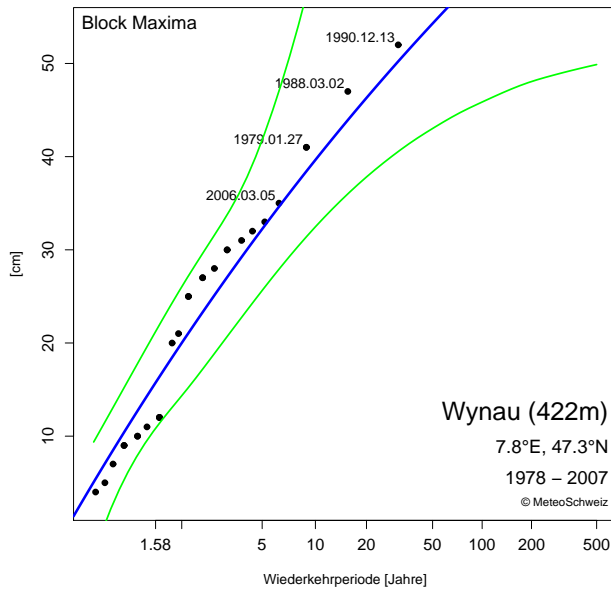
Scale: 8.65

Shape: 0.11

Abbildung 3.16: Gumbel-Diagramm an der Station Bern-Zollikofen für die Gesamtschneehöhe. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	28	25	33
10	36	31	44
20	44	37	58
30	49	41	67
50	56	45	79
100	66	51	100
10000	~150	~70	~390

Tabelle 3.16: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für die Gesamtschneehöhe. Grau: Jährlichkeiten der Konfidenzintervalle konnten nicht mit der Profile Log-Likelihood Methode geschätzt werden. Sie wurden mit dem weniger exakten parametrischen Randomisierungsverfahren geschätzt, dann aufgerundet.



GEV Parameter

Location: 15.77

Scale: 11.75

Shape: -0.09

Abbildung 3.17: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für die Gesamtschneehöhe. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt nicht gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	32.2	25.6	41.8
10	39.6	32.5	61.3
20	46.3	37.8	89.1
30	49.9	40.3	110.4
50	54.3	43.0	143.9
100	59.8	45.9	195.8
10000	89.0	52.0	322.0

Tabelle 3.17: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für die Gesamtschneehöhe.

KAPITEL 4 **Klimaszenarien**

Eine Klimaerwärmung im Schweizer Mittelland ist in den Daten eindeutig nachweisbar und beträgt gut 1.5°C seit 1970. Beim mittleren Niederschlag sind langfristige Veränderungen wegen den grossen natürlichen Schwankungen erst langsam erkennbar. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts sind jedoch im Winter und Herbst intensive Niederschlagsereignisse nördlich des Alpenhauptkammes um 15 bis 70% häufiger geworden. Es ist davon auszugehen, dass die beobachtete Erwärmung wahrscheinlich auf die vom Menschen verursachte Zunahme von Treibhausgasen zurückzuführen ist.

Gemäss aktuellen Klimamodellen muss bis 2100 mit einer Zunahme der Sommertemperaturen um 3.5 bis 7 °C gegenüber 1990 gerechnet werden, sofern die Treibhausgasemissionen nicht rasch eingeschränkt werden. Im Winter ist der projizierte Anstieg etwas kleiner. Die mittleren Sommerniederschläge könnten um 30% abnehmen. Im Winter könnten die mittleren Niederschläge leicht zunehmen. Es ist möglich, dass das Klima der Schweiz im Verlauf des 21. Jahrhunderts den Bereich der heutigen natürlichen Schwankungen verlässt. Zudem ist zu erwarten, dass dies Auswirkungen auf extreme Wetterereignisse haben wird. Über das Ausmass und den Charakter dieser Änderungen ist aber auf lokaler Skala noch vieles unsicher.

Für die Bestimmung der zukünftigen Klimaentwicklung im Schweizer Mittelland sind zwei Sichtweisen aus klimatologischer Sicht von grosser Bedeutung:

Erstens, die Projektion der Klimaentwicklung in die Zukunft mittels physikalisch basierten globalen und regionalen Klimamodellen. Diese sind auf lokaler Ebene bedingt durch Modellfehler und unsichere wirtschaftliche sowie technische Entwicklungen noch mit recht hohen Unsicherheiten verbunden.

Zweitens, die vergangene Klimaentwicklung. Sie beinhaltet sowohl natürliche als auch vom Menschen massgeblich beeinflusste Zeitabschnitte. Dieses Wissen über die vergangenen Variabilitäten ist von zentraler Bedeutung um die zu erwartenden Änderungen mit den Systemvariabilitäten zu vergleichen und die Bedeutung der modellierten Projektionen und deren Auswirkungen in der Zukunft einordnen zu können. Glücklicherweise liegt die historische Entwicklung der zwei wichtigen Klimaelemente Temperatur und Niederschlagsmittel für das Schweizer Mittelland mit hoher Genauigkeit vor.

4.1 Historische Klimaentwicklung

Im folgenden Kapitel werden die gemessenen Temperatur- und Niederschlagsreihen von drei Reihen des Schweizer Mittellandes seit 1864, welche auch repräsentativ für Mühleberg (BE) sind, beschrieben.

4.1.1 Datengrundlage

Die gemessenen Trends der Klimaentwicklung sind aufgrund der geografischen Lage sowie der geringen räumlichen Ausdehnung der Schweiz von einer hohen natürlichen Variabilität überlagert. Das Messnetz der MeteoSchweiz liefert lange homogene Klimamessreihen, welche für einzelne Beobachtungsstationen seit 1864 zur Verfügung stehen [58], [59]. Für den Standort Mühleberg (BE) macht es Sinn das Mittel der drei homogenisierten Reihen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern zu verwenden, da sowohl die Temperatur- wie die Niederschlagsschwankungen relativ einheitlich verlaufen und das Mittel deshalb als repräsentativ angesehen werden kann.

4.1.2 Temperaturmittel

Abbildung 4.1 zeigt, dass der Temperaturverlauf während den letzten knapp 150 Jahren starken jährlichen Schwankungen unterworfen war. Diese Schwankungen sind in den letzten Jahren von einer deutlichen Erwärmungstendenz überlagert. Konkret wurden in den letzten 20 Jahren fast ausschliesslich positive Abweichungen von der Norm 1961 bis 1990 registriert, und die fünf wärmsten Jahre fallen allesamt in die Periode 1994 bis 2007. Das Jahr 1994 war in der Schweiz das wärmste, 2007 das fünftwärmste Jahr seit Messbeginn. Zusätzlich sind alle vier aktuellen jahreszeitlichen Temperaturrekorde in den letzten 5 Jahren registriert worden [62], [63].

Unter der Annahme eines linearen Trends ist die mittlere Temperatur seit 1970 um ca. 1.5°C angestiegen; das entspricht einer rund 1.5-mal höheren Geschwindigkeit der Erwärmung als auf der Landoberfläche der Nordhalbkugel [64]. Verschiedene weitere Klimaindikatoren wie Anzahl warme Jahre, Hitzetage, Tropennächte oder auch die Schneebedeckung im Schweizer Mittelland belegen den Trend zu wärmeren Temperaturen in der Schweiz sehr schön [65], [66], [67], [68], [69].

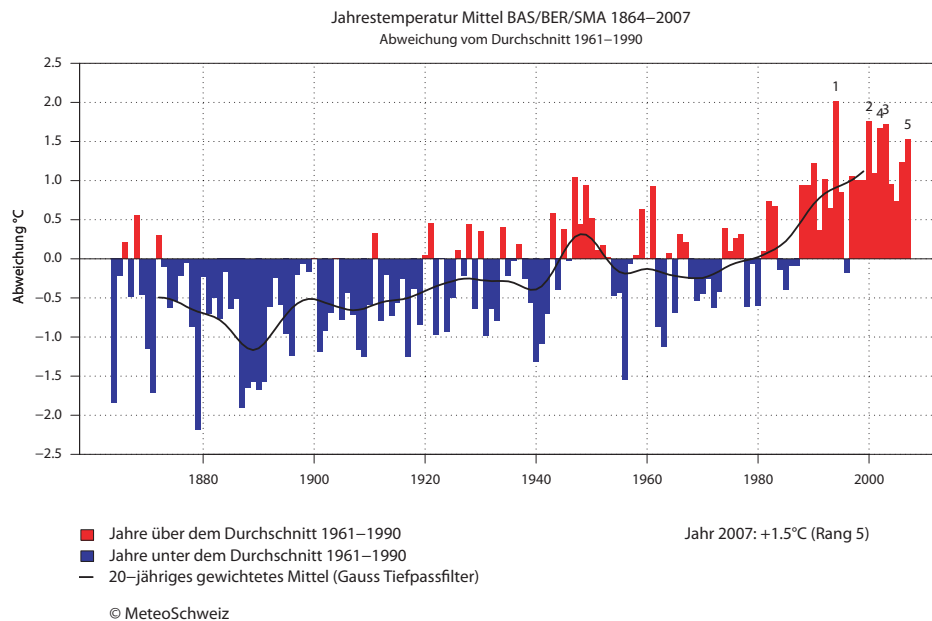


Abbildung 4.1: Abweichung der Jahrestemperaturen für das Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern von 1864 bis 2007 relativ zur Norm 1961 bis 1990 in Grad Celsius (rot = positive, blau = negative Abweichungen). Ebenfalls gezeigt ist das 20-jährige gewichtete Mittel (Gauss Tiefpassfilter, schwarz) und die fünf wärmsten Jahre der Periode 1864 bis 2007 (Nummern 1 bis 5).

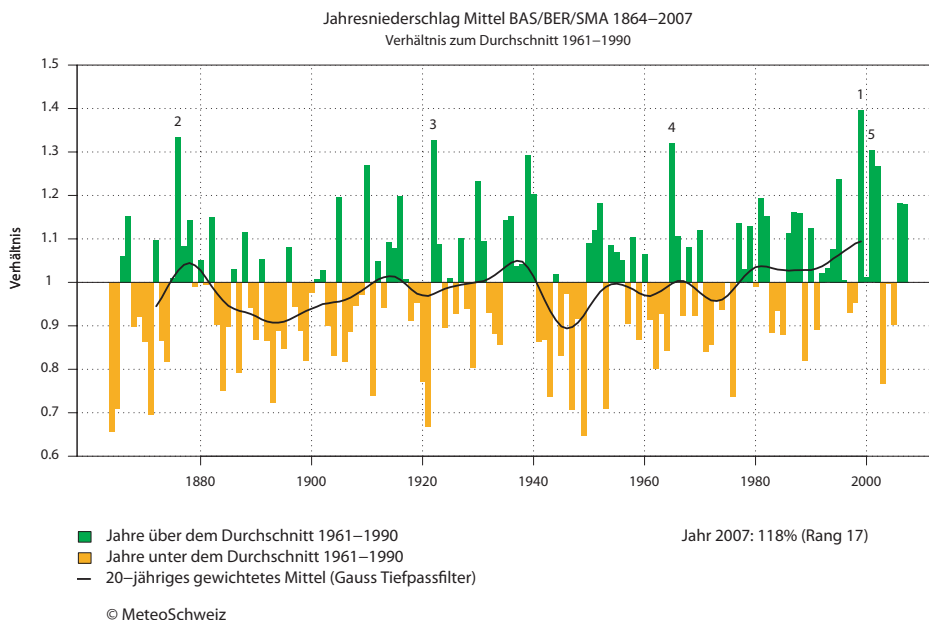


Abbildung 4.2: Abweichung des Jahresniederschlags für das Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern von 1864 bis 2007 relativ zur Norm 1961 bis 1990 (grün = positive, orange = negative Abweichungen). Ebenfalls gezeigt ist das 20-jährige gewichtete Mittel (Gauss Tiefpassfilter, schwarz) und die fünf feuchtesten Jahre der Periode 1864 bis 2007 (Nummern 1 bis 5).

4.1.3 Niederschlagsmittel

Für den mittleren Jahresniederschlag im Schweizer Mittelland sind zum heutigen Zeitpunkt keine eindeutigen Trends erkennbar (Abbildung 4.2). Obwohl die Schwankungen von Jahr zu Jahr beträchtlich sind, fällt während den letzten Jahren im Durchschnitt im Mittel etwa gleichviel Niederschlag wie während der Normperiode 1961 bis 1990. Trotz weitgehend unveränderten Jahresmengen gibt es Anzeichen für jahreszeitliche und regionale Veränderungen. So haben die mittleren Winterniederschläge im Verlaufe des 20. Jahrhunderts vor allem in den nördlichen und westlichen Landesteilen zugenommen [70]. Veränderungen im Niederschlagsregime sind aber auch in den Statistiken sichtbar. So hat die mittlere Niederschlagsintensität im Herbst und Winter zugenommen. Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts sind in diesen Jahreszeiten intensive Niederschlagsereignisse nördlich des Alpenhauptkammes um 15 bis 70 Prozent häufiger geworden [71].

4.1.4 Fazit

Verschiedene Klimaindikatoren zeigen in den letzten Jahrzehnten eine signifikante Veränderung des Schweizer Mittellandklimas auf. Seit 1970 ist die mittlere Temperatur um ca. 1.5 °C angestiegen. Die Erwärmung ist dabei eindeutig nachweisbar. Ähnliches gilt für den Rückgang der Frost- und Eistage, sowie der Schneebedeckung und für die Zunahme der Hitzetage. Beim Niederschlag sind langfristige Veränderungen wegen den grossen natürlichen Schwankungen erst langsam erkennbar. Wie stark der Einfluss des Menschen auf die Klimaänderung in der Schweiz ist, lässt sich heutzutage noch nicht eindeutig sagen. Es ist aber davon auszugehen, dass die beobachtete Erwärmung wahrscheinlich auf die vom Menschen verursachte Zunahme von Treibhausgasen zurückzuführen ist. Auf der kontinentalen Skala (d.h. für Europa) steht dieser Zusammenhang bereits heute mit grosser Wahrscheinlichkeit, auf globaler Skala mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit, fest [64].

4.2 Zukünftige Klimaentwicklung

Im folgenden Kapitel werden die projizierten Temperatur- und Niederschlagsreihen des Schweizer Mittellandes bis 2100 beschrieben und besprochen. Da die Unsicherheiten in den Projektionen momentan lokal noch gross sind, sind die nachfolgend genannten projizierten Zahlen (diejenigen für die Nordschweiz) die besten verfügbaren Daten für den Standort Mühleberg (BE).

4.2.1 Allgemeine Bemerkungen

Die komplexe Topographie der Alpen prägt das Klima der Schweiz stark. Auf regionaler, und lokaler Ebene wird sich daher die Klimaänderung nicht gleich wie im globalen oder europäischen Mittel zeigen. Für eine Berechnung der künftigen Klimaentwicklung sind deshalb regionale Klimamodelle nötig. In europäischen und schweizerischen Forschungsprojekten wurden in den letzten Jahren diesbezüglich umfangreiche regionale Simulationen durchgeführt und analysiert. Durch die Kombination verschiedener globaler und regionaler Modelle konnten nun auch die Unsicherheiten der regionalen Klimaentwicklung grob abgeschätzt und speziell für die Schweiz ausgewertet werden. Diese Klimaszenarien bilden die Grundlage für verschiedene Abschätzungen von Klimafolgen in der Schweiz im 21. Jahrhundert [61], [72].

4.2.2 Temperaturmittel

Abbildung 4.3 zeigt die erwarteten Veränderungen der mittleren Temperatur für das Mittel der drei Mittellandstationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern. Die künftigen Entwicklungen (graue Keile) sind für Winter (Dezember bis Februar) und Sommer (Juni bis August) getrennt dargestellt. Die rechte Skala zeigt die Änderung gegenüber dem Erwartungswert 1990. Der innere Bereich der Keile (dunkelgrau) zeigt wahrscheinlichere, der äussere Bereich (hellgrau) weniger wahrscheinliche Entwicklungen für den Fall, dass keine raschen Massnahmen zur Einschränkung von Treibhausgasemissionen umgesetzt werden. Die Breite der Keile bezeichnet den Bereich der sich aus den Unsicherheiten über die zukünftigen Emissionen sowie die globale und regionale Klimasensitivität ergibt. Die natürlichen jährlichen Schwankungen sind im Keil nicht enthalten (Details siehe [73]). Zum Vergleich und Einordnen der Änderungen mit der historischen Variabilität sind die erwarteten Veränderungen der Zukunft mit der beobachteten Klimaentwicklung in Zürich seit Beginn der systematischen Messungen 1864 in Abbildung 4.3 dargestellt [59].

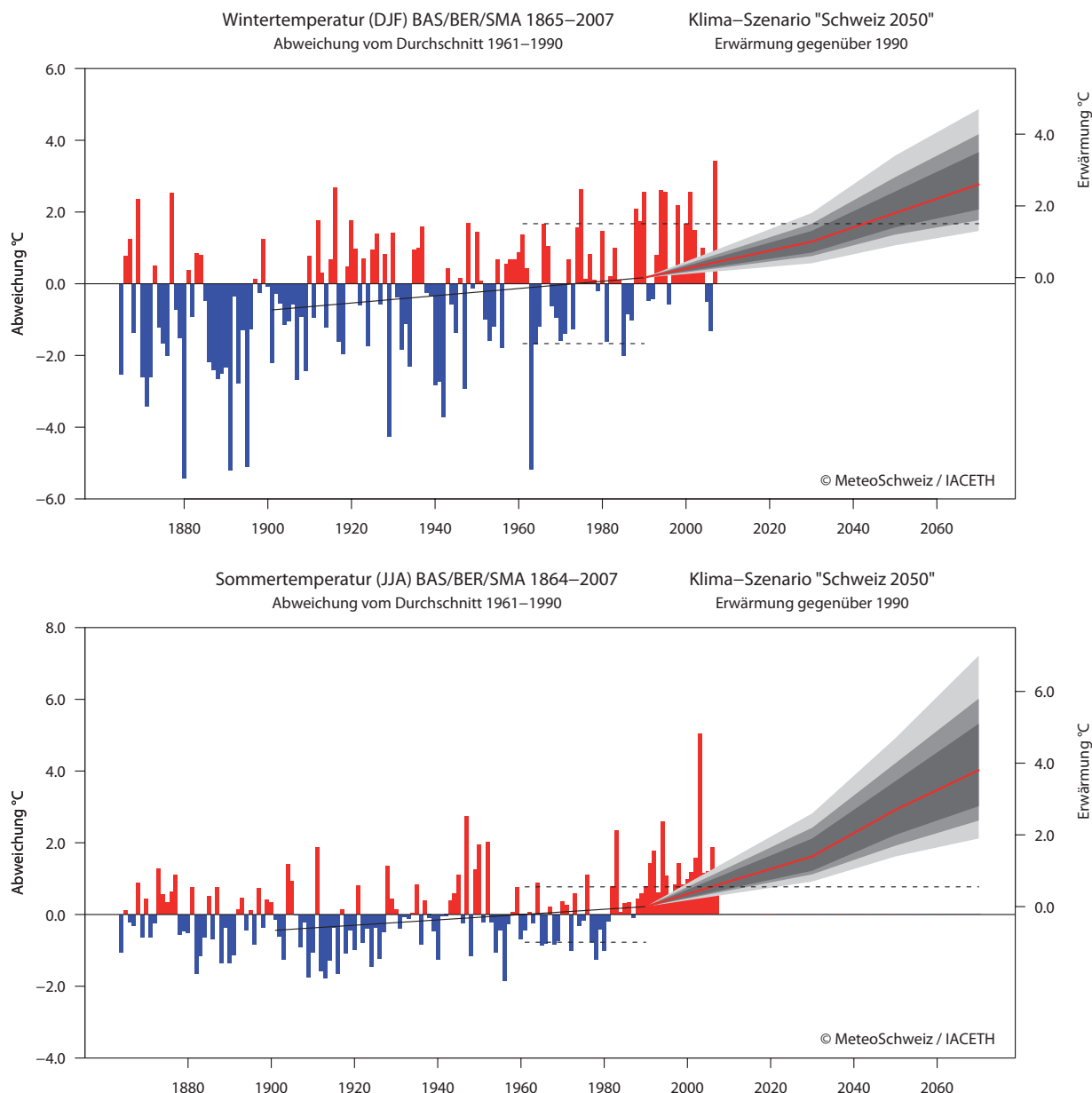


Abbildung 4.3: Entwicklung der mittleren Temperatur im Winter (Dezember bis Februar, oben) und im Sommer (Juni bis August, unten). Blaue/rote Säulen: gemessene Temperaturen für den Zeitraum 1864 bis 2007 (Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern, Abweichungen in Grad Celsius von der Norm 1961 bis 1990, Skala links). Schwarze Linie: linearer Trend 1901 bis 1990. Gestrichelte Linien: Bandbreite der Temperaturfluktuationen im heutigen Klima (± 1 Standardabweichung) 1961 bis 1990. Graue Keile: erwartete zukünftige Änderung der mittleren Temperatur in der Nordschweiz bis 2070 (Änderung gegenüber dem Mittel 1980 bis 1999 in Grad Celsius, Skala rechts). Dunkelgraue Bereiche bezeichnen wahrscheinlichere, hellgraue weniger wahrscheinliche Entwicklungen für den Fall, dass keine raschen Massnahmen zur Einschränkung von Treibhausgasemissionen umgesetzt werden (95% Unsicherheitsbereich).

Gemäss aktuellen Klimamodellen muss bis 2050 in der Schweiz mit einer Erwärmung von rund 2 °C im Winter und gut 2.5 °C im Sommer zu rechnen. Die Unsicherheiten über diese Entwicklung sind aber relativ gross (siehe Unsicherheitsbereich in grau: +0.9 bis +3.4 °C in Winter und +1.4 bis 4.7 °C im Sommer). Die Unsicherheiten sind unter anderem von den künftigen Treibhausgasemissionen abhängig, welche von wirtschaftlichen und technologischen Faktoren abhängen, aber auch von

eingeschränktem Wissen über die Reaktion des Klimasystems auf kleine Gebiete wie der Schweiz (Modellunsicherheiten). Trotz aller Unsicherheiten muss man davon ausgehen, dass die mittlere Temperatur den typischen Schwankungsbereich heutiger Temperaturen (gepunktete Linie: Standardabweichung 1961 bis 1990) im Laufe der nächsten Jahrzehnte verlässt.

Die Modelldaten lassen darauf schliessen, dass in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts sich die beschriebenen Änderungen fortsetzen werden. Die Geschwindigkeit des Wandels hängt dann aber noch stärker von den Treibhausgasemissionen der kommenden Jahrzehnte ab. Bis 2100 muss, sofern die Treibhausgasemissionen nicht eingeschränkt werden, mit einer Zunahme der Sommertemperaturen um 3.5 bis 7 °C gegenüber dem Mittel 1980 bis 1999 gerechnet werden. Eine Erwärmung um 4.5 °C würde bedeuten, dass jeder zweite Sommer die Marke des Hitzesommers 2003 erreichen oder übertreffen würde [62]. Im Winter ist von einer etwas geringeren Erwärmung als im Sommer auszugehen. Auch Kältewellen und Frostperioden dürften viel seltener vorkommen, Hitzewellen dafür wesentlich häufiger.

4.2.3 Niederschlagsmittel

Abbildung 4.4 zeigt analog zur Abbildung 4.3 die erwarteten Veränderungen des mittleren Niederschlags für das Mittel der drei Mittellandstationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern. Beim Niederschlag wird bis 2050 für die Nordschweiz mit einer mittleren Zunahme von etwa 8 Prozent (Bereich: -1% bis +21%) im Winter und mit einer Abnahme von gut 15 Prozent (Bereich: -7% bis -31%) im Sommer gerechnet. Im Gegensatz zur Temperatur muss zumindest im Winter nicht davon ausgegangen werden, dass die Werte den typischen Schwankungsbereich heutiger Niederschlagsmengen (gestrichelte Linie: Standardabweichung 1961 bis 1990) im Laufe der nächsten Jahrzehnte verlassen. Im Sommer könnte das gegen Ende des 21. Jahrhunderts mit mittleren projizierten Abnahmen um 30% oder mehr allerdings der Fall sein.

Es gilt allerdings zu beachten, dass auch bei nur wenig ändernden Mitteln die Extrema sowie Intensitäten und Auftretensfrequenzen von Niederschlagsereignissen stark ändern können, d.h. dass z.B. längere Trockenphasen, dafür heftigere aber seltenerere Niederschlagsereignisse vorkommen (siehe [62], [74], [75], [76]). Eine leichte Tendenz dazu wurde in den Beobachtungsdaten im Kapitel „Historische Klimaentwicklung“ kurz besprochen. Über das Ausmass und den Charakter dieser Änderungen ist momentan aber auf lokaler Skala noch wenig bekannt.

4.2.4 Weitere Grössen

Tendenzen für weitere Grössen wie z.B. die Änderung der Sturmhäufigkeiten und Sturmintensitäten sind äusserst schwierig. Obwohl einige Studien erste Hinweise für Veränderungen geben sind noch keine verlässlichen Aussagen darüber zu machen.

4.2.5 Fazit

Die Temperaturen werden bis Ende des 21. Jahrhunderts um mehrere Grad Celsius zunehmen sofern die Treibhausgasemissionen nicht rasch eingeschränkt werden. Die mittleren Sommerniederschläge könnten um 30% abnehmen und im Winter leicht zunehmen. Das Klima der Schweiz könnte im Verlauf des 21. Jahrhunderts den Bereich der heutigen natürlichen Schwankungen verlassen. Die Klimaänderung wird sich auch auf die Häufigkeit von extremen Wetterereignissen auswirken. Ausmass und Charakter der Änderungen werden je nach Art der Ereignisse unterschiedlich ausfallen. Quantitative Abschätzungen sind noch sehr unsicher. Es scheint aber klar, dass Kältewellen und Frostperioden in der Schweiz seltener vorkommen werden, Hitzewellen und Sommertrockenheit dafür

häufiger. Starkniederschläge dürften eher zunehmen. Bei anderen Wetterextremen wie Stürmen oder Hagel ist der Einfluss der Klimaänderung noch nicht ausreichend verstanden.

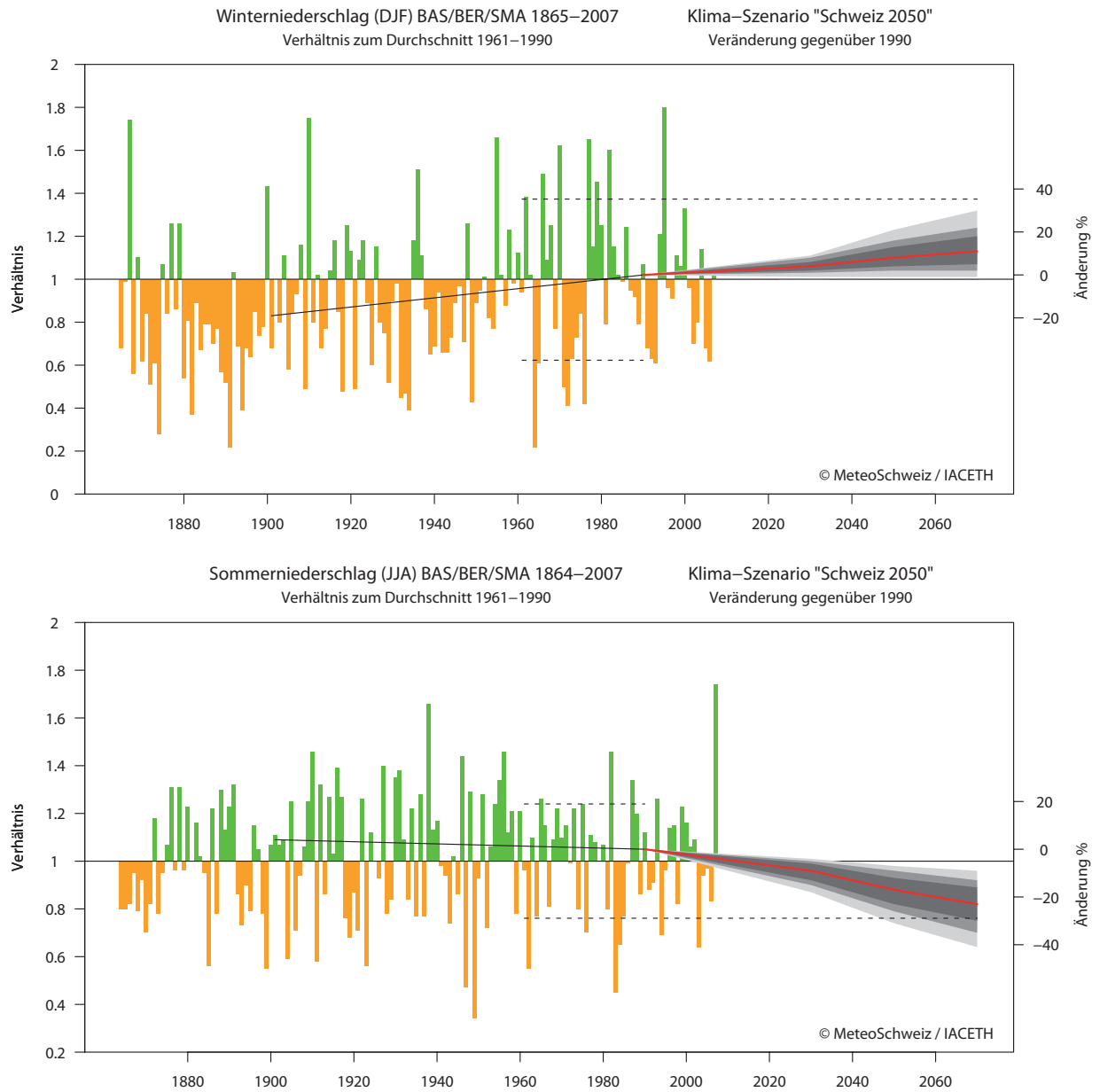


Abbildung 4.4: Wie Abbildung 4.3, aber für die Entwicklung der mittleren Niederschläge. Die Messungen sind als Verhältnis gegenüber der Norm 1961 bis 1990 (Skala links) angegeben, das Szenario als prozentuale Änderung gegenüber dem Mittel 1980 bis 1999 (Skala rechts).

Referenzen

- [1] Schüepp, M., Gensler, G., 1980: Klimaregionen der Schweiz. In Müller G.: Die Beobachtungsnetze der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Konzept 1980. Arbeitsbericht der Schweiz. Met.
- [2] Köppen, W. (1936), Das geographische System der Klimate. Berlin.
- [3] Häberli C., Mettler J., Mühlhäuser C., Musa M., Oswald M., Perl M., Rohrer M., Steinegger U., Suter S., Dürr B., 2008: Functions for the Calculation of meteorological and climatological quantities used at the Swiss Meteorological Institute, Version 4.3.
- [4] SIA, Merkblatt 2028, 2007: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, Ausgabe 2008, Zürich.
- [5] KTA 1508, 1989: Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, Fassung 11/06.
- [6] Busillo C., Calstrini F., Carpientieri F., Corti A., Gualtieri G., and Canepa E.: 2004, Meteorological Input for atmospheric dispersion models: an intercomparison between new generation models, Proceedings 9th Int. Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, 1-4 June 2004, Garmisch-Partenkirchen (D), pp 23-27
- [7] Irwin JS., 2003: Estimating plume dispersion models: a comparison of several sigma schemes, J Climate Appl Meteorol, 22, 92-114
- [8] <http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/forschung/projekte/swissmetnet.html>
- [9] Liljequist, G.H. und Cehak K., 1984: Allgemeine Meteorologie, Vieweg, Braunschweig.
- [10] Kessler, E. (Ed.), 1985: Thunderstorm Morphology and Dynamics, University of Oklahoma Press.
- [11] Mason, B.J., 1971: The Physics of Clouds, Clarendon Press, Oxford.
- [12] <http://www.meteorage.com>
- [13] Mason J. and Mason N., 2003: The physics of a thunderstorm, Eur. J. Phys. 24 (2003), 99-110
- [14] Ruffieux D., Frey M., Galli G., Grüter E. und Häberli C., 2005: Projekt DWH-Foudre, Final overview of the activities.
- [15] Finke U., 2007: Klimatologie der Blitze und Gewitter, 2. Extremwetterkongress in Hamburg.
- [16] Schweizerische Meteorologische Anstalt, 1991, Klimaatlas der Schweiz, 4. Lieferung. Verlag des Bundesamtes für Landestopographie, Wabern-Bern.
- [17] SIA, 2008: Hagel - die unterschätzte Gefahr.
http://www.sia.ch/d/aktuell/news/20080916_hagel.cfm
- [18] Hupfer P., W. Kuttler (Hrsg.), 2006: Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. Teubner Verlag, Wiesbaden.
- [19] Blüthgen J., W. Weischet, 1980: Allgemeine Klimageographie. 3. Auflage. Verlag de Gruyter, Berlin.
- [20] Kaschuba M., 2006: Hagel. Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.
<http://www.marco-kaschuba.com/hagel.pdf>
- [21] Hering A., 2008: TRT Thunderstorm Radar Tracking. Documentation. Internes Arbeitspapier MeteoSchweiz, Version 30. Mai 2008.
- [22] Schweizer Hagel, Seilergraben 61, 8021 Zürich, <http://www.hagel.ch>

- [23] Schweizer Hagel, Hageljahre 1961-2004, <http://www.hagel.ch/fileadmin/dat/3052a.pdf>
- [24] GVZ, 2003: Hagel richtet massiven Schaden an. Informationsblatt der Gebäudeversicherung des Kantons Zürich GVZ.
- [25] OcCC, 2008: Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern. <http://www.occc.ch/>
- [26] ISO 12494: Atmospheric icing of structures. ISO/TC 98/SC 3, 2000-07-20
- [27] Bundesnetzagentur, 2006.: Untersuchungsbericht über die Versorgungsstörung im Netzgebiet des RWE im Münsterland vom 25.11.2005, Bonn, 47 pp.
- [28] COST-727, Atmospheric Icing on Structures: 2006, Measurements and data collection on icing: State of the Art, Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp.
- [29] Melcher, D., 1951.: Experimentelle Untersuchung von Vereisungserscheinungen, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik (ZAMP), Vol.2, Nr. 6, 421-443 pp.
- [30] Rohrer, M.B., 1992.: Die Schneedecke im Schweizer Alpenraum und ihre Modellierung. Zürcher Geographische Schriften, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Heft 49, 178 pp.
- [31] Marty Ch., 2008: Regime shift of snow days in Switzerland. Geophys. Res. Lett. 35, L12501, doi:10.1029/2008GL033998
- [32] SIA, 2003: SIA-Norm 261, Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. Zürich.
- [33] Sanpaolesi L., 1999: Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works: snow loads. Final Report Phase II. Brussels: Commission of the European Communities DGIII/D-3.
- [34] Dotzek N, 2004: Tornado- und Downburstklimatologie. Klimastatusbericht 2004, Deutscher Wetterdienst: 171-180.
- [35] Doswell Ch. A., 2001: What is a tornado? Internetbeitrag des Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies, Norman OK (USA). http://www.cimms.ou.edu/~doswell/a_tornado/atornado.html
- [36] Lee, Julian J.; T.P. Samaras, C.R. Young, 2004: Pressure measurements at the ground in a F-4 tornado. Preprints of the 22nd Conference on Severe Local Storms, Hyannis, Massachusetts. American Meteorological Society. http://ams.confex.com/ams/11aram22sls/techprogram/paper_81700.htm
- [37] Dotzek N., 2003: An updated estimate of tornado occurrence in Europa. Atmospheric Research, Vol. 67-68, 2003.
- [38] Schmid W., H.-H. Schiesser, M. Furger, M. Jenni, 2000: The Origin of Severe Winds in a Tornadoic Bow-Echo Storm over Northern Switzerland. Monthly Weather Review 128: 192-207.
- [39] Schiesser H.-H., A. Waldvogel, W. Schmid, S. Willemse, 1997: Klimatologie der Stürme und Sturmsysteme anhand von Radar- und Schadendaten. vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- [40] Tordach, 2003: http://www.tordach.org/ch/table_Tornados_1600_2003.html
- [41] Piaget A., 1976: L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudois du 26 aout 1971. Veröffentlichungen des Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt Nr. 35.
- [42] Herzog J.L., Ch. Golaz, 1926: Le cyclone orageux du 12 juin 1926. Annales der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1926, Anhang Nr. 3.
- [43] ENSI 2009: Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang. Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-A05/d.

- [44] Fujita, T. T., A. D. Pearson, 1973: Results of FPP classification of 1971 and 1972 tornadoes. Proc. 8th Conf. on Severe Local Storms, Denver, 142-145.
- [45] Dotzek N., M. Hubrig, G. Berz, 2004: TORRO- und Fujita-Skala Beschreibung, angepasst für Mitteleuropa. http://www.tordach.org/FT_scales.htm.
- [46] NOAA, 2008: U.S. Tornado Climatology. National Climatic Data Center Asheville, North Carolina Updated 10 April 2008. <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/severeweather/tornadoes.html>
- [47] WSL, BUWAL (Hrsg.) 2001: Lothar - Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL.
- [48] Bader S., 2004: Die Eignung des ANETZ/ENET-10-Minuten Windmittels zur Sturmdefinition. Interner Bericht MeteoSchweiz.
- [49] Schiesser H. H., C. Pfister, and J. Bader, 1997: Winter storms in Switzerland North of the Alps 1864/65–1993/94. *Theor. Appl. Climatol.*, 58, 1–19.
- [50] Gulev S. K., O. Zolina, and S. Grigoriev, 2001: Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data, *Clim. Dynam.*, 17, 795–809.
- [51] Schinke H., 1993: On the occurrence of deep cyclones over Europe and the North Atlantic in the period 1930–1991, *Contrib. Atmos. Phys.*, 66, 223–237.
- [52] Pfister Ch., 1998: Raumzeitliche Rekonstruktion von Witterungsanomalien und Naturkatastrophen 1496-1995. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- [53] Pfister Ch., 1999: Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496-1995). Verlag Paul Haupt, Bern.
- [54] OcCC, 2003: Extremereignisse und Klimaänderung. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern. <http://www.occc.ch/>
- [55] Coles, S. (2001), *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, 208 pp., Springer, New York.
- [56] Stephens, M. A. (1970), Use of the Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises and related statistics without extensive tables, *J. Roy. Stat. Soc.*, 32B, 115-122.
- [57] Ceppi P., 2008: Extrem Value Analysis of Wind Observations over Switzerland, Department of Earth Sciences, ETH Zürich.
- [58] Seiz, G. und Foppa, N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz), MeteoSchweiz, Zürich und ProClim, Bern.
- [59] Begert, M., Schlegel, T. and Kirchhofer, W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *Int. J. Climatol.*, 25, 65–80.
- [60] Schmidli, J. and Frei, C., 2005: Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century, *Int. J. Climatol.*, 25, 753-771
- [61] OcCC, 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. ISBN 987-3-907630-26-6, OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques) and ProClim, Bern, Switzerland, 172 pp.
- [62] Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M. and Appenzeller, C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332–336.
- [63] Luterbacher, J., Liniger, M.A., Menzel, A., Estrella, N., Della-Marta, P.M., Pfister, C., Rutishauser, T. and Xoplaki, E., 2007: Exceptional European warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L12704.

- [64] IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [65] Scherrer, S.C. and Appenzeller, C., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days, the role of local- and large-scale climate variability, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215.
- [66] Scherrer, S.C., Appenzeller, C. and Liniger, M.A., 2006: Temperature trends in Switzerland and Europe: Implications for climate normals, *Int. J. Climatol.*, 26, 565–580.
- [67] North, N., Kljun, N., Kasser, F., Heldstab, J., Maibach, M., Reutimann, J. und Guyer, M., 2007,: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728, Bundesamt für Umwelt, Bern, 77 S.
- [68] Rebetez, M. and Reinhard, M., 2007: Monthly air temperature trends in Switzerland 1901-2000 and 1975-2004. *Theor. Appl. Climatol.*, DOI 10.1007/s00704-007-0296-2.
- [69] Appenzeller, C., Begert, M., Zenklusen, E. and Scherrer, S. C., 2008: Monitoring climate at Jungfrauoch in the high Swiss Alpine region. *Science of the Total Environment* 391, 262–268.
- [70] Schmidli, J., Schmutz, C., Frei, C., Wanner, H. and Schär, C., 2002: Mesoscale precipitation variability in the region of the European Alps during the 20th century, *Int. J. Climatol.*, 22, 1049–1074.
- [71] Schmidli, J. and Frei, C., 2005: Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century, *Int. J. Climatol.* 25, 753–771.
- [72] Frei, C., 2006: Die Klimazukunft der Schweiz – eine probabilistische Projektion. Bericht verfügbar unter www.meteoschweiz.ch.
- [73] MeteoSchweiz, 2008: Klimaszenarien für die Schweiz - Ein Statusbericht. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, Nr. 218. Bericht verfügbar unter www.meteoschweiz.ch.
- [74] Trenberth, K.E., et al., 2003: The changing character of precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 84, 1205–1217.
- [75] Beniston, M. et al., 2007: Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Clim. Change*, doi: 10.1007/s10584-006-9226-z.
- [76] Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli J., Vidale P.L., 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. *J. Geophys. Res.*, 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.

Abbildungen

Abbildung 1.1: KKW-Standorte (schwarz) und Vergleichsstationen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz (grün).	1
Abbildung 1.2: Temperatur Datenreihen von Mühleberg, 10 m Messniveau vor (oben) und nach (unten) der Datenbearbeitung.	7
Abbildung 2.1: Vergleich der stündlichen Temperaturmittel von Mühleberg und Wynau in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007.	9
Abbildung 2.2: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau) in Klassen von 0.5 Grad Celsius.	9
Abbildung 2.3: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau)	10
Abbildung 2.4: Gleich wie Abbildung 2.1 aber für die Tagesmittelwerte.	10
Abbildung 2.5: Gleich wie Abbildung 2.2 aber für die Tagesmittelwerte.	11
Abbildung 2.6: Gleich wie Abbildung 2.3 aber für die Tagesmittelwerte.	11
Abbildung 2.7: Vergleich der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Wynau in der Periode 27.10.1988 bis 31.12.2007	12
Abbildung 2.8: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau) in Klassen von 1 mm.	12
Abbildung 2.9: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Wynau (Mühleberg minus Wynau).	13
Abbildung 2.10: Gleich wie Abbildung 2.7 aber für die Tagessummen.	13
Abbildung 2.11: Gleich wie Abbildung 2.8 aber für die Tagessummen.	14
Abbildung 2.12: Gleich wie Abbildung 2.9 aber für die Tagessummen.	14
Abbildung 2.13: Vergleich der stündlichen Temperaturmittel von Mühleberg und Bern/Liebefeld in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007.	15
Abbildung 2.14: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld) in Klassen von 0.5 Grad Celsius.	15
Abbildung 2.15: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld).	16
Abbildung 2.16: Gleich wie Abbildung 2.13 aber für die Tagesmittelwerte.	16

Abbildung 2.17: Gleich wie Abbildung 2.14 aber für die Tagesmittelwerte.	17
Abbildung 2.18: Gleich wie Abbildung 2.15 aber für die Tagesmittelwerte.	17
Abbildung 2.19: Vergleich der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Bern/Liebefeld in der Periode 12.10.1988 bis 31.12.2007.	18
Abbildung 2.20: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld) in Klassen von 1 mm.	18
Abbildung 2.21: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Mühleberg und Bern/Liebefeld (Mühleberg minus Bern/Liebefeld)	19
Abbildung 2.22: Gleich wie Abbildung 2.19 aber für die Tagessummen.	19
Abbildung 2.23: Gleich wie Abbildung 2.20 aber für die Tagessummen.	20
Abbildung 2.24: Gleich wie Abbildung 2.21 aber für die Tagessummen.	20
Abbildung 2.25: Mittlere jährliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten.	43
Abbildung 2.26: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten.	44
Abbildung 2.27: Mittlere jährliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 110 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten.	45
Abbildung 2.28: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Mühleberg auf dem Niveau 110 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten.	46
Abbildung 2.29: Räumliche Verteilung der Wolken-Boden Blitze in der Periode 2000 bis 2007. Ausgewertet wurden die eigentlichen Blitzereignisse.	64
Abbildung 2.30: Häufigkeitsverteilung der Stromstärke in Kilo-Ampère aller Blitze auf Schweizer Gebiet in der Periode 2000 bis 2007. Negative Werte entsprechen Negativblitzen.	65
Abbildung 2.31: Die Regionen in der Schweiz mit Hagelgefahr. Die Gefahrenstufen (gering, leicht erhöht, erhöht, sehr schwer) basieren auf langjährigen Schadenserhebungen der Schweizerischen Hagel-Versicherungs-Gesellschaft.	67
Abbildung 2.32: Anzahl Tage mit Hagel auf dem Gemeindegebiet des Standortes Mühleberg für die Jahre 2000 bis 2007.	68
Abbildung 2.33: Eistypen bei Bildung in Nebel oder Wolken als Funktion der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur.	71
Abbildung 2.34: Maximale Neuschnee- und Gesamtschneehöhe pro Jahr in den letzten 70 Jahren im Schweizer Mittelland.	77
Abbildung 2.35: Jährliche Anzahl Tage mit Schneedecke im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren.	77

Abbildung 2.36: Jährliche Anzahl Tage mit Neuschnee im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren.	78
Abbildung 2.37: Extremwert-Diagramm für die Wiederkehrdauer von maximal auftretenden Schneelasten am Standort Mühleberg.....	79
Abbildung 2.38: Registrierte Tornados (T) in der Schweiz. Mit W sind registrierte Tornados über Wasserflächen festgehalten, welche im Volksmund oft als „Wasserhosen“ bezeichnet werden.....	85
Abbildung 2.39: Die in der Nordschweiz von Tornados betroffene Region.....	87
Abbildung 2.40: Jährliche Anzahl aller Tornados 1953 bis 2004 in den USA. Die schief liegende rechteckige Fläche (1500 km x 1800 km, 2.7 Mio. km ²) zeigt die Region mit der grössten Tornado-Dichte.	88
Abbildung 2.41: Jährliche Anzahl starker Tornados 1950 bis 1995 in den USA. Die schief liegende rechteckige Fläche (1500 km x 1800 km, 2.7 Mio. km ²) zeigt die Region mit der grössten Tornado-Dichte.	89
Abbildung 2.42: Anzahl Starkwindtage (Böenspitzen 90 km/h [50 Knoten] und mehr) im Winterhalbjahr für die Periode 1864/65 bis 2001/02 an der Messstation Zürich [49] (ergänzt).....	92
Abbildung 2.43: Häufigkeit schwerer und extremer Winterstürme 1496 bis 1999 [52], [53] (ergänzt). Erfasst sind Weststürme von Oktober bis März.....	93
Abbildung 3.1: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für den stündlichen Niederschlag.	96
Abbildung 3.2: Gumbel-Diagramm an der Station Bern/Zollikofen für den 1-Tages Niederschlag.	97
Abbildung 3.3: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 1-Tages Niederschlag.	98
Abbildung 3.4: Gumbel-Diagramm an der Station Bern/Zollikofen für den 5-Tages Niederschlag.	99
Abbildung 3.5: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 5-Tages Niederschlag.	100
Abbildung 3.6: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m über Grund.	101
Abbildung 3.7: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze 110 m über Grund.	102
Abbildung 3.8: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund.	103
Abbildung 3.9: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit beim 110 m Messniveau.	104
Abbildung 3.10: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund.	105

Abbildung 3.11: Gumbel-Diagramm an der Station Mühleberg für das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 110 m über Grund.	106
Abbildung 3.12: Gumbel-Diagramm an der Station Bern-Zollikofen für den 1-Tages Neuschnee.....	107
Abbildung 3.13: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 1-Tages Neuschnee.....	108
Abbildung 3.14: Gumbel-Diagramm an der Station Bern-Zollikofen für den 5-Tages Neuschnee.....	109
Abbildung 3.15: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für den 5-Tages Neuschnee.....	110
Abbildung 3.16: Gumbel-Diagramm an der Station Bern-Zollikofen für die Gesamtschneehöhe.	111
Abbildung 3.17: Gumbel-Diagramm an der Station Wynau für die Gesamtschneehöhe.	112
Abbildung 4.1: Abweichung der Jahrestemperaturen für das Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern von 1864 bis 2007 relativ zur Norm 1961 bis 1990 in Grad Celsius (rot = positive, blau = negative Abweichungen).....	115
Abbildung 4.2: Abweichung des Jahresniederschlags für das Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern von 1864 bis 2007 relativ zur Norm 1961 bis 1990 (grün = positive, orange = negative Abweichungen).	115
Abbildung 4.3: Entwicklung der mittleren Temperatur im Winter (Dezember bis Februar, oben) und im Sommer (Juni bis August, unten).....	118
Abbildung 4.4: Wie Abbildung 4.3, aber für die Entwicklung der mittleren Niederschläge.....	120

Tabellen

Tabelle 1.1: Übersicht der gemessenen Parameter, der Messhöhe, der Messperiode und der fehlenden Werte (NA; absolut und relativ) der 10-Minutenmessreihen der Station Mühleberg.....	3
Tabelle 1.2: Übersicht der Aggregationsmethode von 10-Minutenwert zu Stundenwert und der Aggregationsformel pro Parameter [3].....	3
Tabelle 1.3: Übersicht der Messinstrumente: Parameter, Installation, Messhöhe und Parameter-Kurznamen der verwendeten Messreihen der Station Mühleberg.....	4
Tabelle 1.4: Übersicht der Messinstrumente: Parameter, Masterinstallation und Parameter-Kurznamen der verwendeten Messreihen der Stationen Bern und Wynau.....	4
Tabelle 1.5: Übersicht der Messhöhe und des Messbeginns der Stationen Bern/Liebefeld und Wynau geordnet nach Parameter.....	5
Tabelle 1.6: Untere und obere harte Limiten für die manuelle Bearbeitung der 10-Minutenwerte.....	6
Tabelle 1.7: Untere und obere weiche Limiten für die manuelle Bearbeitung der 10-Minutenwerte.....	6
Tabelle 2.1: Grundsätzliche Verfügbarkeit von Temperatur- und Niederschlagsdaten der Granularitäten Stunde und Tag von Bern/Liebefeld und Wynau.....	8
Tabelle 2.2: Höchstes Temperatur-Maximum [°C] und tiefstes Temperatur-Minimum [°C] (10-Minutenwerte) pro Monat und Jahr für die Station Mühleberg auf dem 10 m und dem 110 m Niveau (1988 bis 2007).....	21
Tabelle 2.3: Höchste und tiefste Stundenmitteltemperatur [°C] pro Monat und Jahr für die Station Mühleberg auf dem 10 m und dem 110 m Niveau (1988 bis 2007).....	22
Tabelle 2.4: Höchste und tiefste Tagesmittelwerte [°C] der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007) pro Monat und Jahr.....	23
Tabelle 2.5: Höchste und tiefste Temperatur Monatsmittelwerte [°C] der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007) pro Monat und Jahr.....	23
Tabelle 2.6: Höchste Böen Werte (Sekundenböen) in [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Mühleberg (1988 bis 2007), Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).....	24
Tabelle 2.7: Höchster Wind Stundenmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Mühleberg (1988 bis 2007), Bern und Wynau (1981 bis 2007).....	25
Tabelle 2.8: Höchster Wind Tagesmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).....	25
Tabelle 2.9: Höchster Wind Monatsmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).....	26

Tabelle 2.10: Höchste Niederschlags Stundensummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Mühleberg (1988 bis 2007), Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).....	27
Tabelle 2.11: Höchste Niederschlags Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).....	27
Tabelle 2.12: Höchste Niederschlags 5-Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).....	28
Tabelle 2.13: Tiefste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).....	28
Tabelle 2.14: Höchste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1978 bis 2007).....	29
Tabelle 2.15: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Stundenmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).....	30
Tabelle 2.16: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Tagesmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).....	30
Tabelle 2.17: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Monatsmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).....	31
Tabelle 2.18: Höchste und tiefste absolute Feuchte [g/kg] (Stundenmittelwert; Mixing Ratio g/kg trockener Luft) pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).....	31
Tabelle 2.19: Höchste und tiefste absolute Feuchte [g/kg] (Tagesmittelwert; Mixing Ratio g/kg trockener Luft) pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).....	32
Tabelle 2.20: Höchste und tiefste absolute Feuchte [g/kg] (Monatsmittelwert; Mixing Ratio g/kg trockener Luft) pro Monat und Jahr der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).....	32
Tabelle 2.21: Typische Variabilität der Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] das 10 m und das 110 m Turmniveau der Station Mühleberg (1988 bis 2007).....	33
Tabelle 2.22: Typische Variabilität der Tageswerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] gerechnet aus den Tageswerten der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).....	34
Tabelle 2.23: Typische Variabilität der Tageswerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] gerechnet aus den Tagesmaxima-Temperaturen für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).....	34
Tabelle 2.24: Typische Variabilität der Tageswerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] gerechnet aus den Tagesminima-Temperaturen für die Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).....	35
Tabelle 2.25: Typische Variabilität der Stundenmittelwerte der einzelnen Monate (SD) [m/s] und die dazugehörigen Monatswerte (Mean) [m/s] für die Turmlevel 10 m und 110 m von Mühleberg (1988 bis 2007).....	36

Tabelle 2.26: Typische Variabilität der Stundenmaximalwerte der einzelnen Monate (SD) [m/s] und die dazugehörigen Monatswerte (Mean) [m/s] von Bern und Wynau (beide 1981 bis 2007).	36
Tabelle 2.27: Mittlere Niederschlags Monatswerte (Mean) [mm] und Standardabweichung (SD) [mm] gerechnet aus den Monatsmittelwerten der Station Mühleberg (1989 bis 2007).	37
Tabelle 2.28: Durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag pro Monat und Standardabweichung (SD)[T] der Station Mühleberg (1989 bis 2007).	38
Tabelle 2.29: Durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag und Standardabweichung (SD) [T] pro Monat der Stationen Bern (1864 bis 2007) und Wynau (1981 bis 2007).	38
Tabelle 2.30: Typische Variabilität der Feuchttemperatur Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003). ...	39
Tabelle 2.31: Mittlere monatliche Feuchttemperatur (Mean) [°C] und Standardabweichung (SD) [°C] pro Monat der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).	40
Tabelle 2.32: Typische Variabilität der Feuchte Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [g/kg] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [g/kg] der Stationen Basel und Buchs (1984 bis 2003).	40
Tabelle 2.33: Mittlere absolute Feuchte (Mean) [g/kg] und Standardabweichung (SD) [g/kg] pro Monat der Stationen Bern und Wynau (1984 bis 2003).	41
Tabelle 2.34: Absolute (Anzahl Stunden) und relative Häufigkeiten der Diffusionskategorien A bis F (1989 bis 2007) pro Monat und Jahr der Station Mühleberg.	48
Tabelle 2.35: Absolute Häufigkeiten (Anzahl Stunden) der Diffusionskategorien A bis F (1989 bis 2007) pro Monat und Jahr unterschieden nach Tag (T) und Nacht (N) der Station Mühleberg.	48
Tabelle 2.36: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A.	49
Tabelle 2.37: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B.	50
Tabelle 2.38: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C.	50
Tabelle 2.39: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D.	51
Tabelle 2.40: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E.	51
Tabelle 2.41: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F.	52
Tabelle 2.42: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie A.	52

Tabelle 2.43: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie B.	53
Tabelle 2.44: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie C.	53
Tabelle 2.45: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie D.	54
Tabelle 2.46: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie E.	54
Tabelle 2.47: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie F.	55
Tabelle 2.48: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie A.	55
Tabelle 2.49: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie B.	56
Tabelle 2.50: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie C.	56
Tabelle 2.51: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie D.	57
Tabelle 2.52: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie E.	57
Tabelle 2.53: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.5 bis 3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Kategorie F.	58
Tabelle 2.54: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A.	58
Tabelle 2.55: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B.	59
Tabelle 2.56: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C.	59
Tabelle 2.57: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D. Letzte Spalte: Die Werte sind auf eine Kommastelle gerundet.	60
Tabelle 2.58: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E.	60
Tabelle 2.59: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Mühleberg (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F.	61

Tabelle 2.60: Blitzdichte am Standort KKW- Mühleberg der Periode 2000 bis 2007. Für die Bestimmung der Blitzdichte wurden die Mittelwerte der 25 nächstgelegenen Gitterpunkte aus Abbildung 2.29 verwendet.....	64
Tabelle 2.61: Die Fallgeschwindigkeit und Aufprallenergie von Hagelkörner in Abhängigkeit von der Korngrösse [20].....	67
Tabelle 2.62: Typische Eigenschaften von Vereisungsarten aus [28].....	72
Tabelle 2.63: Flüssige Niederschläge in Zürich-Kloten bei Lufttemperaturen < 0.5 °C der Periode 1981 bis 1988 (aus [30])	73
Tabelle 2.64: Meteorologische Parameter welche die atmosphärische Eisanlagerung bei Niederschlag kontrollieren (aus [28], verändert)	74
Tabelle 2.65: Vergleich der Auswertung der Stundendaten von Wynau und Bern	75
Tabelle 2.66: Die Fujita-Skala zur Beschreibung der Stärke von Tornados (Rotationsgeschwindigkeit) auf der Basis von Schäden.	81
Tabelle 2.67: Die TORRO-Skala zur Beschreibung der Stärke (Rotationsgeschwindigkeit) europäischer Tornados auf der Basis von Schäden.....	83
Tabelle 2.68: Die typischen Auswirkungen auf dem Binnenland bei höheren Windgeschwindigkeiten gemäss Beaufort-Skala [19].....	91
Tabelle 3.1: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den stündlichen Niederschlag.	96
Tabelle 3.2: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für den 1-Tages Niederschlag.....	97
Tabelle 3.3: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 1-Tages Niederschlag.	98
Tabelle 3.4: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern/Zollikofen für den 5-Tages Niederschlag.	99
Tabelle 3.5: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 5-Tages Niederschlag.	100
Tabelle 3.6: Wiederkehrperiode [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m über Grund.	101
Tabelle 3.7: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für die 10-Minuten Böenspitze, 110 m über Grund. ...	102
Tabelle 3.8: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund.	103

Tabelle 3.9: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit beim 110 m Messniveau.	104
Tabelle 3.10: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund.	105
Tabelle 3.11: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Mühleberg für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit, 110 m über Grund.	106
Tabelle 3.12: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für den 1-Tages Neuschnee.	107
Tabelle 3.13: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 1-Tages Neuschnee.	108
Tabelle 3.14: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für den 5-Tages Neuschnee.	109
Tabelle 3.15: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für den 5-Tages Neuschnee.	110
Tabelle 3.16: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bern-Zollikofen für die Gesamtschneehöhe.	111
Tabelle 3.17: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Wynau für die Gesamtschneehöhe.	112

ANHANG A Elektronischer Anhang A

Windanalysen am Standort Mühleberg

Analysen der absoluten Häufigkeiten für die mittleren jährlichen bzw. die mittleren monatlichen Windverhältnisse der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 für die beiden Niveau's 10 m und 110 m über Grund.

Daten verfügbar unter: www.meteoschweiz.ch → Publikationen

ANHANG B **Elektronischer Anhang B**

Vierparametrische Ausbreitungsstatistik des Standorts Mühleberg

Vierparametrische Ausbreitungsstatistik nach KTA 1508 ohne Windstillen für den Standort Mühleberg (1989 bis 2007).

Daten verfügbar unter: www.meteoschweiz.ch → Publikationen

Arbeitsberichte der MeteoSchweiz

- 225** MeteoSchweiz: 2009, Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Gösgen, 136pp, CHF 88.-
- 224** MeteoSchweiz: 2009, Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Beznau, 135pp, CHF 88.-
- 223** Dürr B: 2008, Automatisiertes Verfahren zur Bestimmung von Föhn in den Alpentälern, 22pp, CHF 62.-
- 222** Schmutz C, Arpagaus M, Clementi L, Frei C, Fukutome S, Germann U, Liniger M und Schacher F: 2008, Meteorologische Ereignisanalyse des Hochwassers 8. bis 9. August 2007, 29pp, CHF 64.-
- 221** Frei C, Germann U, Fukutome S und Liniger M: 2008, Möglichkeiten und Grenzen der Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005, 19pp, CHF 62.-
- 220** Ambühl J: 2008, Optimization of Warning Systems based on Economic Criteria, 79pp, CHF 75.-
- 219** Ceppi P, Della-Marta PM and Appenzeller C: 2008, Extreme Value Analysis of Wind Observations over Switzerland, 43pp, CHF 67.-
- 218** MeteoSchweiz (Hrsg): 2008, Klimaszenarien für die Schweiz – Ein Statusbericht. (nicht veröffentlicht).
- 217** Begert M: 2008, Die Repräsentativität der Stationen im Swiss National Basic Climatological Network (Swiss NBCN), 40pp, CHF 66.-
- 216** Della-Marta PM, Mathis H, Frei C, Liniger MA and Appenzeller C: 2007, Extreme wind storms over Europe: Statistical Analyses of ERA-40, 80pp, CHF 75.-
- 215** Begert M, Seiz G, Foppa N, Schlegel T, Appenzeller C und Müller G: 2007, Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN), 47pp, CHF 68.-
- 214** Schmucki D und Weigel A: 2006, [Saisonale Vorhersage in Tradition und Moderne: Vergleich der "Sommerprognose" des Zürcher Böögg mit einem dynamischen Klimamodell](#), 46pp, CHF 68.-
- 213** Frei C: 2006, Eine Länder übergreifende Niederschlagsanalyse zum August Hochwasser 2005. Ergänzung zu Arbeitsbericht 211, 10pp, CHF 59.-
- 212** Z'graggen, L: 2006, Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen, 74pp, CHF 75.-

- 211** MeteoSchweiz: 2006, Starkniederschlagsereignis August 2005, 63pp, CHF 72.-
- 210** Buss S, Jäger E and Schmutz C: 2005: Evaluation of turbulence forecasts with the aLMo, 58pp, CHF 70.-
- 209** Schmutz C, Schmuki D, Duding O, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Sion LSGS, 77pp, CHF 25.-
- 208** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Grenchen LSZG, 73pp, CHF 24.-
- 207** Moesch M, Zelenka A: 2004, Globalstrahlungsmessungen 1981-2000 im ANETZ, 83pp, CHF 26.-
- 206** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information St.Gallen LSZR, 78pp, CHF 25.-
- 205** Schmutz C, Schmuki D, Ambrosetti P, Gaia M, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Lugano LSZA, 81pp, CHF 26.-
- 204** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Bern LSZB, 80pp, CHF 25.-
- 203** Duding O, Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Geneva LSGG, 104pp, CHF 31.-
- 202** Bader S: 2004, Tropische Wirbelstürme – Hurricanes –Typhoons – Cyclones, 40pp, CHF 16.-
- 201** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Zurich LSZH, 110pp, CHF 34.-
- 200** Bader S: 2004, Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003, 25pp, CHF 14.-

Veröffentlichungen der MeteoSchweiz

- 79** Nowak D: 2008, Radiation and clouds: observations and model calculations for Payerne BSRN site, 101 pp, CHF 80.-
- 78** Arpagaus M, Rotach M, Ambrosetti P, Ament F, Appenzeller C, Bauer H-S, Bouttier F, Buzzi A, Corazza M, Davolio S, Denhard M, Dorninger M, Fontannaz L, Frick J, Fundel F, Germann U, Gorgas T, Grossi G, Hegg C, Hering A, Jaun S, Keil C, Liniger M, Marsigli C, McTaggart-Cowan R, Montani A, Mylne K, Ranzi R, Richard E, Rossa A, Santos-Muñoz D, Schär C, Seity Y, Staudinger M, Stoll M, Vogt S, Volkert H, Walser A, Wang Y, Werhahn J, Wulfmeyer V, Wunram C and Zappa M: 2009, MAP D-PHASE: Demonstrating forecast capabilities for flood events in the Alpine region. Report of the WWRP Forecast Demonstration Project D-PHASE submitted to the WWRP Scientific Steering Committee, 65pp, CHF 73.-
- 77** Rossa AM: 2007, MAP-NWS – an Optional EUMETNET Programme in Support of an Optimal Research Programme, 67pp, CHF 73.-
- 76** Baggenstos D: 2007, Probabilistic verification of operational monthly temperature forecasts, 52pp, CHF 69.-
- 75** Fikke S, Ronsten G, Heimo A, Kunz S, Ostrozlik M, Persson PE, Sabata J, Wareing B, Wichura B, Chum J, Laakso T, Säntti K and Makkonen L: 2007, COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and data collection on icing: State of the Art, 110pp, CHF 83.-
- 74** Schmutz C, Müller P und Barodte B: 2006, Potenzialabklärung für Public Private Partnership (PPP) bei MeteoSchweiz und armasuisse Immobilien, 82pp, CHF 76.-
- 73** Scherrer SC: 2006, Interannual climate variability in the European and Alpine region, 132pp, CHF 86.-
- 72** Mathis H: 2005, Impact of Realistic Greenhouse Gas Forcing on Seasonal Forecast Performance, 80pp, CHF 75.-
- 71** Leuenberger D: 2005, High-Resolution Radar Rainfall Assimilation: Exploratory Studies with Latent Heat Nudging, 103pp, CHF 81.-
- 70** Müller G und Viatte P: 2005, The Swiss Contribution to the Global Atmosphere Watch Programme – Achievements of the First Decade and Future Prospects, 112pp, CHF 83.-
- 69** Müller WA: 2004, Analysis and Prediction of the European Winter Climate, 115pp, CHF 34.
- 68** Bader S: 2004, Das Schweizer Klima im Trend: Temperatur- und Niederschlagsentwicklung seit 1864, 48pp, CHF 18.-
- 67** Begert M, Seiz G, Schlegel T, Musa M, Baudraz G und Moesch M: 2003, Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990, Schlussbericht des Projektes NORM90, 170pp, CHF 40.-
- 66** Schär C, Binder P and Richner H (Eds.): 2003, International Conference on Alpine Meteorology and MAP Meeting 2003, Extended Abstracts volumes A and B, 580pp, CHF 100.

- 65** Stübi R: 2002, SONDEX / OZEX campaigns of dual ozone sondes flights: Report on the data analysis, 78pp, CHF 27.-
- 64** Bolliger M: 2002, On the characteristics of heavy precipitation systems observed by Meteosat-6 during the MAP-SOP, 116pp, CHF 36.-
- 63** Favaro G, Jeannet P and Stübi R: 2002, Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone sounding, 99pp, CHF 33.-
- 62** Bettems JM: 2001, EUCOS impact study using the limited-area non-hydrostatic NWP model in operational use at MeteoSwiss, 17pp, CHF 12.-
- 61** Richner H et al.: 1999, Grundlagen aerologischer Messungen speziell mittels der Schweizer Sonde SRS 400, 140pp, CHF 42.-
- 60** Gisler O: 1999, Zur Methodik einer Beschreibung der Entwicklung des linearen Trends der Lufttemperatur über der Schweiz im Zeitabschnitt von 1864 bis 1990, 125pp, CHF 36.-
- 59** Bettems J-M: 1999, The impact of hypothetical wind profiler networks on numerical weather prediction in the Alpine region, 65pp, CHF 25.-
- 58** Baudenbacher, M: 1997, Homogenisierung langer Klimareihen, dargelegt am Beispiel der Lufttemperatur, 181pp, CHF 50.-
- 57** Bosshard, W: 1996, Homogenisierung klimatologischer Zeitreihen, dargelegt am Beispiel der relativen Sonnenscheindauer, 136pp, CHF 38.-

