



**Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 224**

Im Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats, ENSI

# Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Beznau





## **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-Beznau, *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, 224, 135 pp

© MeteoSchweiz 2009



# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAPITEL 1 KLIMADATEN UND DATENQUALITÄT .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Standortbeschreibung Beznau .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Datengrundlage .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Daten Beznau .....	2
1.2.2 Daten Basel/Binningen und Buchs/Aarau .....	4
<b>1.3 Methodik.....</b>	<b>5</b>
1.3.1 Automatische Datenbearbeitung .....	5
1.3.2 Manuelle Datenbearbeitung .....	6
<b>KAPITEL 2 ANALYSEN VERGANGENES KLIMA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Vergleich der Messdaten von Beznau mit umliegenden Stationen .....</b>	<b>8</b>
2.1.1 Vergleich von Beznau mit Buchs bezüglich Temperatur .....	9
2.1.2 Vergleich von Beznau mit Buchs bezüglich Niederschlag .....	12
2.1.3 Vergleich von Beznau mit Basel bezüglich Temperatur .....	15
2.1.4 Vergleich von Beznau mit Basel bezüglich Niederschlag .....	18
<b>2.2 Rekordwerte.....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Temperatur.....	21
2.2.2 Wind .....	23
2.2.3 Niederschlag .....	26
2.2.4 Feuchttemperatur und absolute Feuchte .....	29
<b>2.3 Mittelwert-/Standardabweichung.....</b>	<b>33</b>
2.3.1 Mittlere Temperaturverhältnisse .....	33
2.3.2 Mittlere Windverhältnisse .....	35
2.3.3 Mittlerer Niederschlag .....	37
2.3.4 Mittlere Feuchteverhältnisse .....	38
<b>2.4 Windanalysen am Standort Beznau .....</b>	<b>41</b>
<b>2.5 Ausbreitungsklassen .....</b>	<b>46</b>
2.5.1 Diffusionskategorien .....	46
2.5.2 Vierparametrische Ausbreitungsstatistik .....	48
<b>2.6 Gewitter- und Blitze .....</b>	<b>61</b>
2.6.1 Grundlagen von Blitzen .....	61
2.6.2 Messdaten .....	62
2.6.3 Analyse der Blitzeinschläge .....	62
<b>2.7 Hagel.....</b>	<b>65</b>
2.7.1 Charakteristik von Hagel .....	65
2.7.2 Fallgeschwindigkeiten und Aufprallenergien .....	65

2.7.3	Die Risikoregionen .....	66
2.7.4	Die Auftretenshäufigkeit auf dem Gemeindegebiet des Standortes Beznau .....	67
2.7.5	Extremereignisse .....	68
<b>2.8</b>	<b>Vereisung .....</b>	<b>69</b>
2.8.1	Charakteristiken von Vereisung .....	69
2.8.2	Standortbeurteilung .....	73
2.8.3	Schlussfolgerungen .....	74
<b>2.9</b>	<b>Schnee .....</b>	<b>75</b>
2.9.1	Definitionen und Datengrundlage .....	75
2.9.2	Maximale Neu- und Gesamtschneehöhe .....	75
2.9.3	Anzahl Tage mit Schneedecke .....	76
2.9.4	Anzahl Tage mit Neuschnee .....	76
2.9.5	Maximale Schneelast .....	77
<b>2.10</b>	<b>Tornado .....</b>	<b>79</b>
2.10.1	Charakteristik von Tornados .....	79
2.10.2	Windgeschwindigkeiten und Lebensdauer .....	79
2.10.3	Vorkommen .....	83
2.10.4	Tornados auf dem Gebiet der Schweiz .....	83
2.10.5	Starke Tornado-Ereignisse in der Schweiz .....	84
2.10.6	Auftretenshäufigkeit von Tornados in der Schweiz .....	85
2.10.7	Änderung der Auftretenshäufigkeit durch die Klimaänderung .....	88
<b>2.11</b>	<b>Schwere Stürme .....</b>	<b>89</b>
2.11.1	Charakteristik von Winterstürmen .....	89
2.11.2	Windgeschwindigkeiten und Lebensdauer .....	90
2.11.3	Sturmtätigkeit auf dem Gebiet der Schweiz .....	90
2.11.4	Starke Sturm-Ereignisse .....	91
2.11.5	Extreme Ereignisse .....	92
2.11.6	Änderung der Auftretenshäufigkeit durch die Klimaänderung .....	92
<b>KAPITEL 3</b>	<b>EXTREMWERTANALYSE .....</b>	<b>93</b>
<b>3.1</b>	<b>Methode .....</b>	<b>93</b>
<b>3.2</b>	<b>Das Gumbel-Diagramm .....</b>	<b>94</b>
<b>3.3</b>	<b>Niederschlag .....</b>	<b>95</b>
3.3.1	Stündlicher Niederschlag .....	95
3.3.2	1-Tages Niederschlag .....	96
3.3.3	5-Tages Niederschlag .....	98
<b>3.4</b>	<b>Wind .....</b>	<b>100</b>
3.4.1	10-Minuten Böenspitzen .....	100
3.4.2	10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit .....	102
3.4.3	Stundenmittel der Windgeschwindigkeit .....	104
<b>3.5</b>	<b>Schnee .....</b>	<b>106</b>
3.5.1	1-Tages Neuschnee .....	106
3.5.2	5-Tages Neuschnee .....	108
3.5.3	Gesamtschneehöhe .....	110
<b>KAPITEL 4</b>	<b>KLIMASZENARIEN .....</b>	<b>112</b>
<b>4.1</b>	<b>Historische Klimaentwicklung .....</b>	<b>113</b>
4.1.1	Datengrundlage .....	113
4.1.2	Temperaturmittel .....	113

4.1.3	Niederschlagsmittel.....	115
4.1.4	Fazit.....	115
<b>4.2</b>	<b>Zukünftige Klimaentwicklung .....</b>	<b>116</b>
4.2.1	Allgemeine Bemerkungen .....	116
4.2.2	Temperaturmittel .....	116
4.2.3	Niederschlagsmittel.....	118
4.2.4	Weitere Grössen .....	118
4.2.5	Fazit.....	118
<b>REFERENZEN.....</b>		<b>120</b>
<b>ABBILDUNGEN .....</b>		<b>124</b>
<b>TABELLEN.....</b>		<b>128</b>
<b>ANHANG A ELEKTRONISCHER ANHANG A.....</b>		<b>134</b>
<b>ANHANG B ELEKTRONISCHER ANHANG B.....</b>		<b>135</b>

# 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 Beznau (327 m ü.M.) liegt auf dem Gemeindegebiet von Döttingen im Kanton Aargau. Die klimatologischen Messwerte der Station Beznau 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% der originalen 10-Minutendaten von guter Qualität und verwendbar. Aus den kontrollierten und bereinigten 10-Minuten Datensätzen wurden Stundenwerte aggregiert.

### 1.1 Standortbeschreibung Beznau

Die Station Beznau (327 m ü.M.) liegt auf dem Gemeindegebiet von Döttingen auf einer Insel umgeben von der Aare. Der Meteomast weist die Landeskoordinaten 659500/267400 auf und befindet sich ca. 200 m nördlich der Hauptgebäudegruppe der Kernkraftanlage. Nördlich wird der Messstandort von einem kleinen Hügel begrenzt. In unmittelbarer Umgebung der Messstation befinden sich zahlreiche Hochspannungsmasten. Klimatologisch betrachtet ist der Messstandort ziemlich genau auf der Grenze der Klimaregionen „östlicher Jura“, „zentrales Mittelland“ und „nordöstliches Mittelland“ [1]. Aus diesen Klimaregionen wurden als Vergleichsstationen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz die Standorte Basel/Binningen (316 m ü.M.) und Buchs/Aarau (387 m ü.M.) gewählt (Abbildung 1.1).

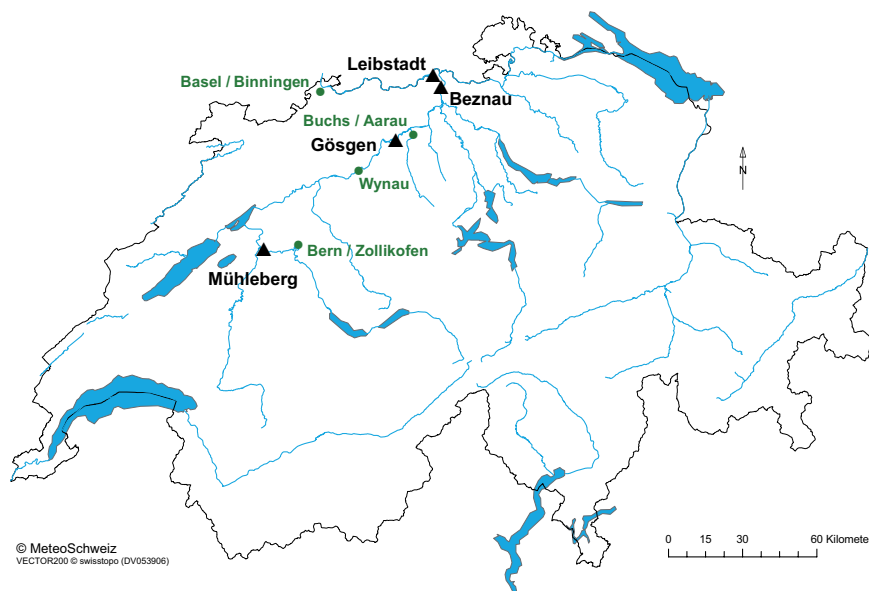


Abbildung 1.1: KKW-Standorte (schwarz) und Vergleichsstationen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz (grün).

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 Beznau verwendet:

- Niederschlag: gemessen auf einer Höhe von 1.5 m über Grund (Messwippe).
- Temperatur: gemessen am Meteomast auf 10 m und 70 m über Grund.
- Windgeschwindigkeit und –richtung: gemessen am Meteomast auf 10 m und 70 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. 450 m nordöstlich 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 Beznau, Basel/Binningen und Buchs/Aarau verwendet und nachfolgend ausführlich beschrieben. Zusätzlich werden Blitzdaten, Häufigkeiten von Tornados und Klimaszenarien analysiert, welche in den jeweiligen Kapiteln näher vorgestellt werden.

### 1.2.1 Daten Beznau

Bei der Messstation Beznau werden die automatisch gemessenen 10-Minutenmessreihen verwendet (Tabelle 1.1). Der Messstandort Beznau misst Bodenmessdaten (Niederschlag) und Turmdaten auf 10 m, 40 m und 70 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 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. Der Parameter Böenspitze wird in Beznau nicht gemessen.

Station	Parameter	Einheit	Höhe	Messperiode	NA	% NA
Beznau	Niederschlag	mm	1.5 m	12.10.1988-31.12.2007	6835	0.66
	Temperatur	°C	10 m	01.02.1987-31.12.2007	3044	0.27
	Temperatur	°C	40 m	01.02.1987-31.12.2007	4197	0.38
	Temperatur	°C	70 m	01.02.1987-31.12.2007	3049	0.27
	Windgeschw.	m/s	10 m	01.02.1987-31.12.2007	21357	1.93
	Windgeschw.	m/s	70 m	01.02.1987-31.12.2007	8190	0.74
	Windrichtung	°	10 m	01.02.1987-31.12.2007	5590	0.51
	Windrichtung	°	70 m	01.02.1987-31.12.2007	4756	0.43

Tabelle 1.1: Übersicht der gemessenen Parameter, der Messhöhe, der Messperiode und der fehlenden Werte (NA; absolut und relativ) der 10-Minutenmessreihen der Station Beznau. 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“
Beznau	Niederschlag	4940	1.5 m	rre150z0; 93	rre150h0; 267
	Temperatur	4946	10 m	ta2tows0; 112	ta2towh0; 773
	Temperatur	4949	70 m	ta2tows0; 112	ta2towh0; 773
	Windgeschw.	4945	10 m	fv2towz0; 198	fk2towh0; 775
	Windgeschw.	4948	70 m	fv2towz0; 198	fk2towh0; 775
	Windrichtung	4945	10 m	dv2towz0; 199	dk2towh0; 777
	Windrichtung	4948	70 m	dv2towz0; 199	dk2towh0; 777

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

## 1.2.2 Daten Basel/Binningen und Buchs/Aarau

Für die Auswertungen werden zusätzlich Niederschlags-, Temperatur-, Wind- und Schneedatenreihen sowie berechnete Daten zur Feuchttemperatur und zur absoluten Feuchte von Basel/Binningen und Buchs/Aarau 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 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 Basel/Binningen und Buchs/Aarau.

Station	Parameter	Master- installation	Parameter „Stunde“	Parameter „Tag“
Basel/Binningen	Temperatur	2686	tre200h0	tre200d0
	Niederschlag	2688	rre150h0	rre150d0
	Windgeschw.	2696	fkl010h0	fkl010d0
	Böenspitze	2696	fkl010h1	fkl010d1
Buchs/Aarau	Temperatur	2406	tre200h0	tre200d0
	Niederschlag	2408	rre150h0	rre150d0
	Windgeschw.	2416	fkl010h0	fkl010d0
	Böenspitze	2416	fkl010h1	fkl010d1
Wynau	Temperatur	1251	tre200h0	tre200d0
	Rel. Feuchte	1251	ure200h0	ure200d0

*Tabelle 1.4: Übersicht der Messinstrumente: Parameter, Masterinstallation und Parameter-Kurznamen der verwendeten Messreihen der Stationen Basel/Binningen, Buchs/Aarau und Wynau.*

Station	Parameter	Einheit	Höhe	Messbeginn
Basel/Binningen	Niederschlag	[mm/h]	1.5 m	01.01.1981
		[mm/d]	1.5 m	01.01.1864
	Temperatur	Tagesmittel [°C]	2 m	01.01.1864
	Windgeschw.	Stundenmittel [m/s]	16 m	01.01.1981
	Böenspitze	[m/s]	16 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
Buchs/Aarau	Niederschlag	[mm/h]	1.5 m	22.05.1984
		[mm/d]	1.5 m	23.05.1984
	Temperatur	Tagesmittel [°C]	2 m	23.05.1984
	Windgeschw.	Stundenmittel [m/s]	10 m	22.05.1984
	Böenspitze	[m/s]	10 m	22.05.1984
	Neuschnee	[cm/d]	10 m	01.07.1984
	Gesamtschnee	[cm]	10 m	01.07.1984
	Feuchttemp.	[°C]	-	01.01.1984
	Abs. Feuchte	[g/kg]]	-	01.01.1984

*Tabelle 1.5: Übersicht der Messhöhe und des Messbeginns der Stationen Basel/Binningen und Buchs/Aarau 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 archivierten 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 dienen die Messdaten der Stationen Basel/Binningen und Buchs/Aarau. 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/10min	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/10min	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 Limitentests in Frage gestellten Datenwerte analysiert, kontrolliert und gegebenenfalls gelöscht wurden, halfen graphische Darstellungen über die verbliebene 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 werden und anschliessend mit Datenwerten von Nachbarstationen überprüft werden.

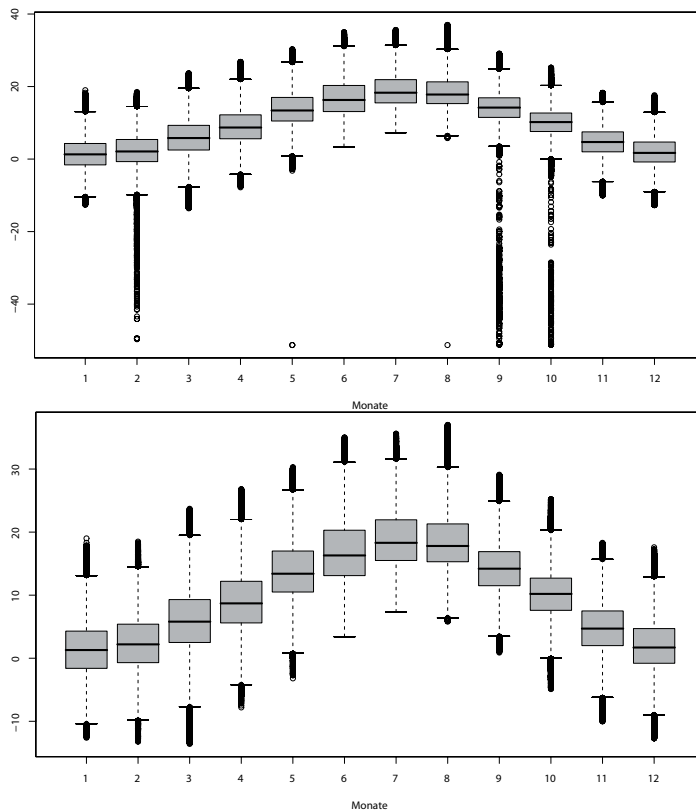


Abbildung 1.2: Temperatur Datenreihen von Beznau, 10 m Messniveau vor (oben) und nach (unten) der Datenbearbeitung.

## KAPITEL 2 Analysen vergangenes Klima

### 2.1 Vergleich der Messdaten von Beznau mit umliegenden Stationen

Aufgrund der kurzen Datenreihen und der beschränkten Anzahl gemessener Parameter an der Station Beznau wird für gewisse klimatologische Auswertungen auf zusätzliche Stationen des SwissMetNet zurückgegriffen werden. Für Analysen zusätzlicher Messgrößen oder längerer Zeiträume werden Datenreihen der Stationen Buchs/Aarau und Basel/Binningen verwendet. Vergleichende Auswertungen von Temperatur und Niederschlag zeigen die Unterschiede der Standorte auf. Im Vergleich mit Beznau weist Buchs/Aarau im Mittel leicht tiefere, Basel/Binningen leicht höhere Temperaturen auf. Bezüglich der mittleren Niederschlagsmengen sind die Standorte Beznau und Buchs/Aarau sehr ähnlich, während in Basel tendenziell etwas weniger Niederschlag fällt.

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 Beznau eignet sich die Station Buchs/Aarau zur Auswertung zusätzlicher Messgrößen. Buchs/Aarau ist die nächstgelegene automatische Station des MeteoSchweiz-Messnetzes mit vergleichbaren Bedingungen und stellt alle Messgrößen des Messprogramms seit Mitte 1984 zur Verfügung. Für Analysen im Zusammenhang mit Klimaveränderungsfragen oder Extremwertanalysen, die als Datenbasis längere Zeiträume benötigen, kann zusätzlich die Station Basel/Binningen verwendet werden. Verschiedene Messgrößen wie Temperatur und Niederschlag werden in Basel seit 1864 systematisch registriert. Im Folgenden sind die Temperatur- und Niederschlagsdaten von Beznau und den Nachbarstationen Buchs/Aarau und Basel/Binningen vergleichend dargestellt. Ausgewertet wurde die von Beznau abgedeckte Periode 1.2.1987 (Temperatur) resp. 12.10.1988 (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 Basel/Binningen und Buchs/Aarau 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 Buchs/Aarau oder Basel/Binningen auf den Standort von Beznau näherungsweise zu übertragen und die Unsicherheit zu quantifizieren.

Parameter	Basel/Binningen	Buchs/Aarau
Stundenmittel der Temperatur [°C]	01.01.1981 – 31.12.2008	23.05.1984 – 31.12.2008
Tagesmittel der Temperatur [°C]	01.01.1864 – 31.12.2008	23.05.1984 – 31.12.2008
Stundenmittel des Niederschlags [mm/h]	01.01.1981 – 31.12.2008	22.05.1984 – 31.12.2008
Tagesmittel des Niederschlags [mm/d]	01.01.1864 – 31.12.2008	23.05.1984 – 31.12.2008

Tabelle 2.1: Grundsätzliche Verfügbarkeit von Temperatur- und Niederschlagsdaten der Granularitäten Stunde und Tag von Basel/Binningen und Buchs/Aarau.



### 2.1.1 Vergleich von Bezau mit Buchs bezüglich Temperatur

#### Stundenmittel der Temperatur

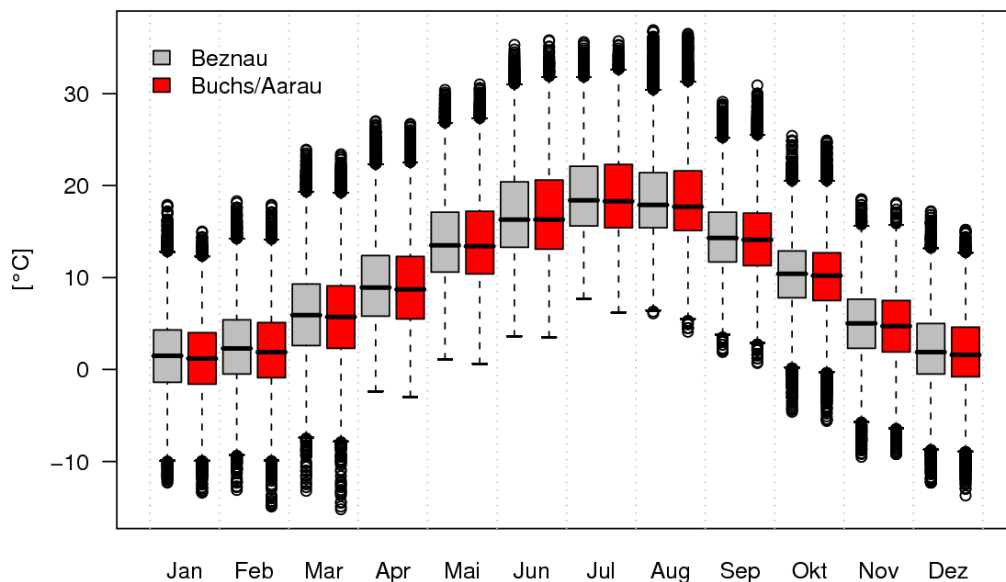


Abbildung 2.1: Vergleich der stündlichen Temperaturmittel von Bezau und Buchs/Aarau in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Die Box der Boxplots umfasst die Messwerte zwischen dem 25%- und dem 75%-Quantil. 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.

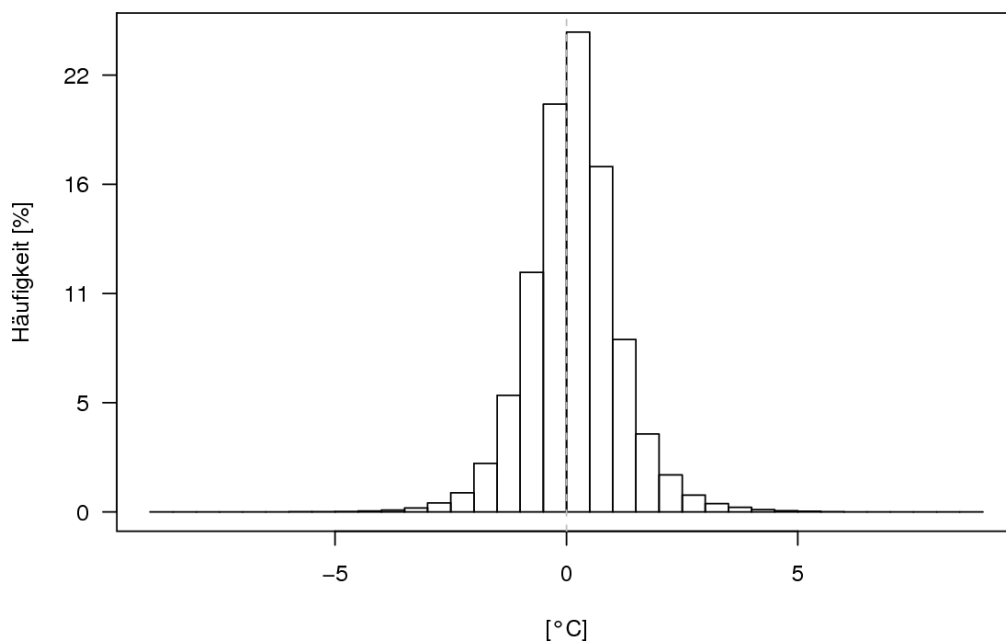


Abbildung 2.2: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Bezau und Buchs/Aarau (Bezau minus Buchs/Aarau) in Klassen von 0.5 Grad Celsius.

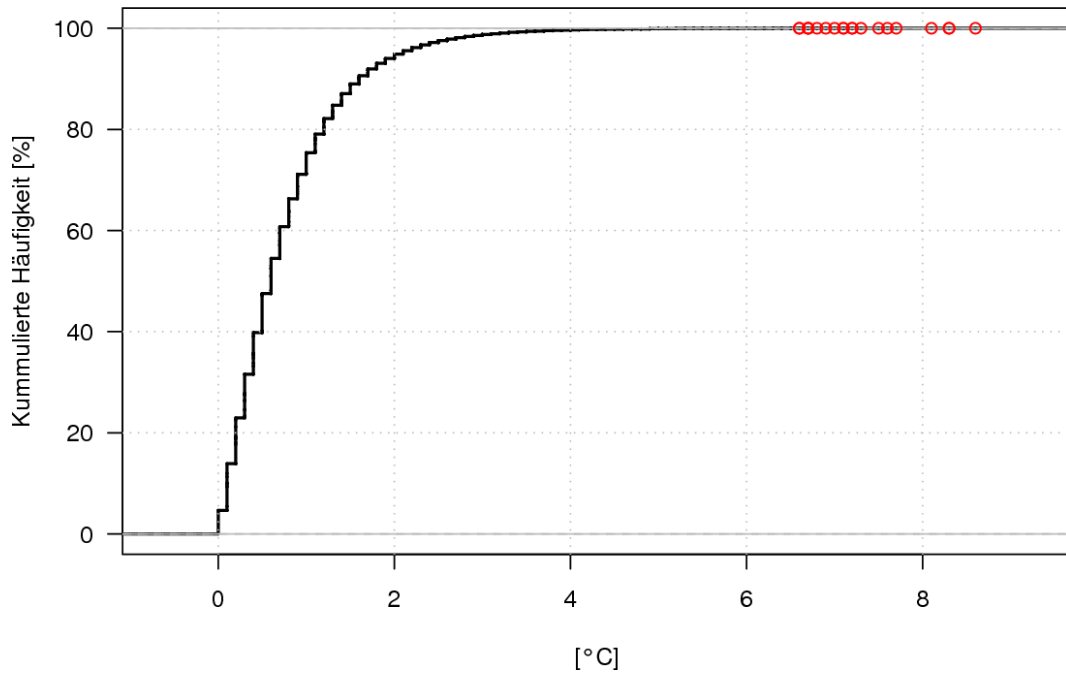


Abbildung 2.3: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Beznau und Buchs/Aarau (Beznau minus Buchs/Aarau). Es kann abgelesen werden, welcher Prozentsatz der Differenzen kleiner oder gleich einem bestimmten Wert ist. Die 20 grössten Differenzen sind mit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

### Tagesmittel der Temperatur

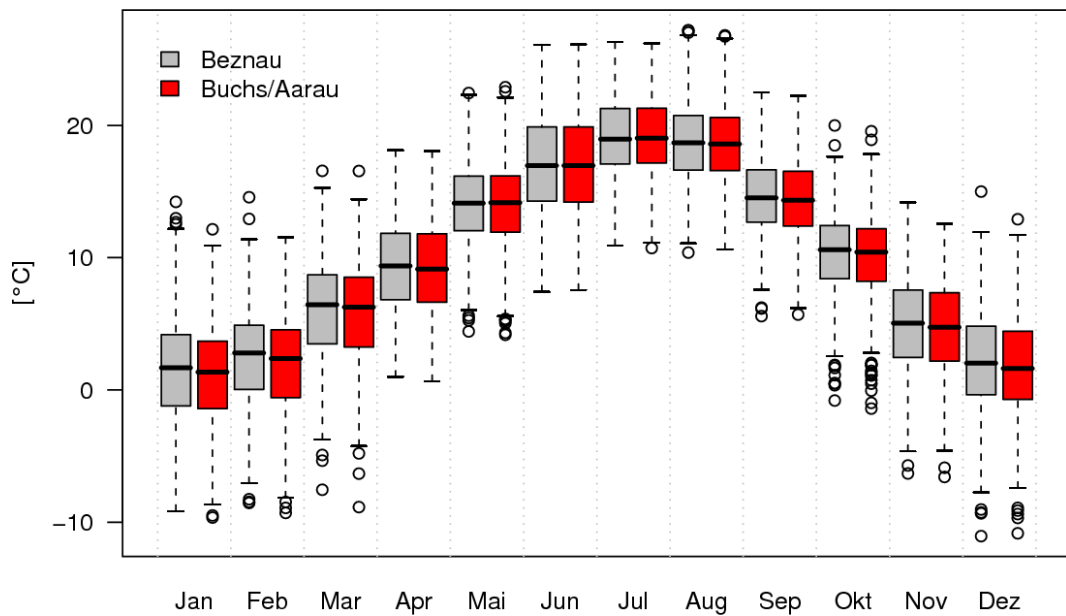


Abbildung 2.4: Gleich wie Abbildung 2.1 aber für die Tagesmittelwerte.

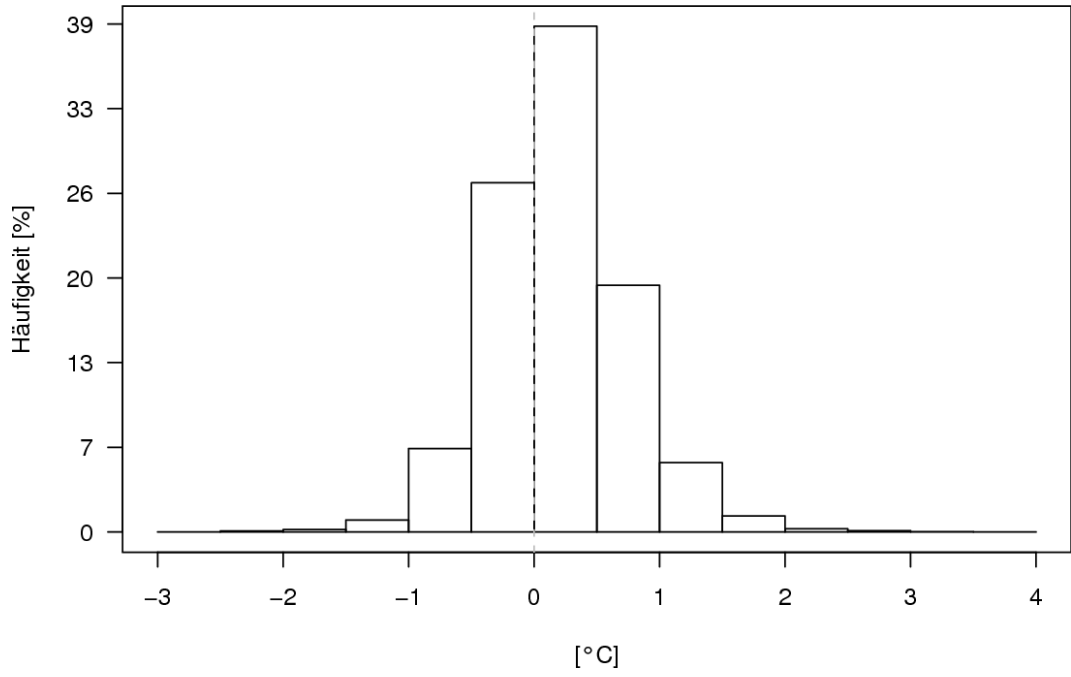


Abbildung 2.5: Gleich wie Abbildung 2.2 aber für die Tagesmittelwerte.

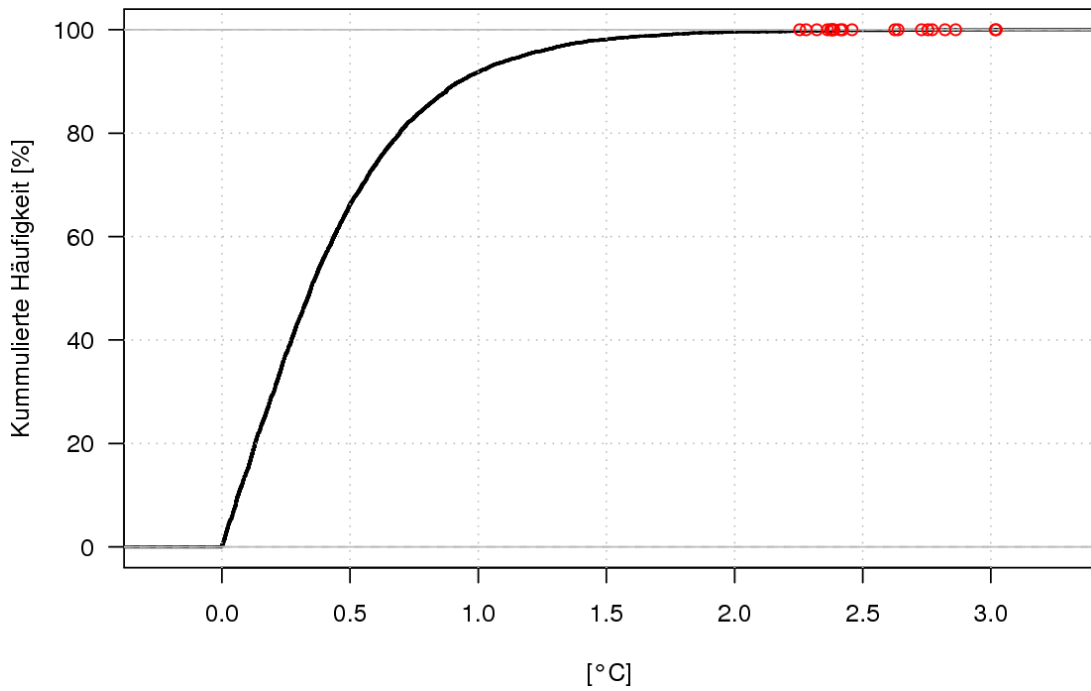


Abbildung 2.6: Gleich wie Abbildung 2.3 aber für die Tagesmittelwerte.

## 2.1.2 Vergleich von Beznau mit Buchs bezüglich Niederschlag

### Stundensummen des Niederschlags

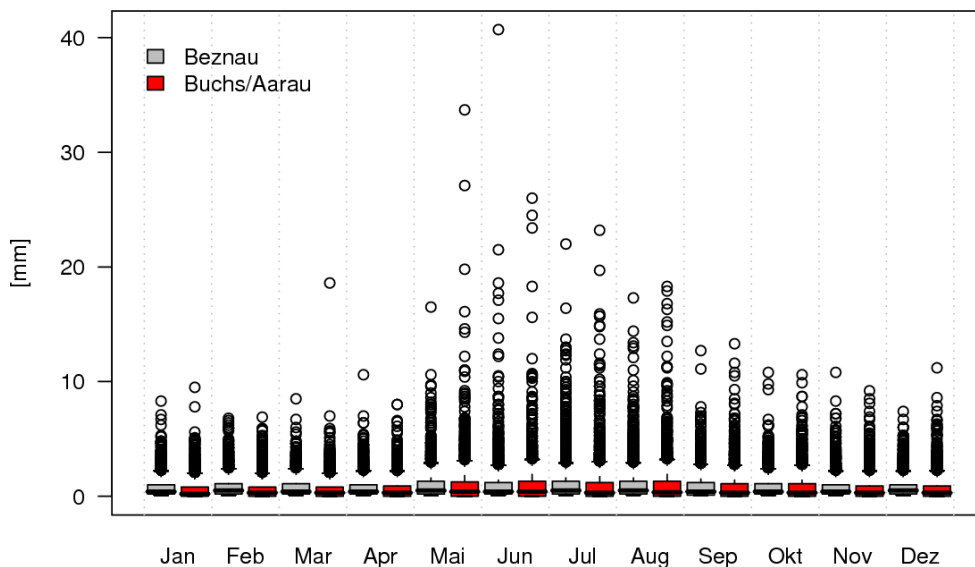


Abbildung 2.7: Vergleich der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Buchs/Aarau in der Periode 12.10.1988 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Stunden ohne Niederschlag wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Der Aufbau der Boxplots ist analog zu Abbildung 2.1. Da Niederschlagsmengen eine schiefe Verteilung aufweisen, ist die Vergleichbarkeit der Verteilungen mit Boxplots allerdings eingeschränkt.

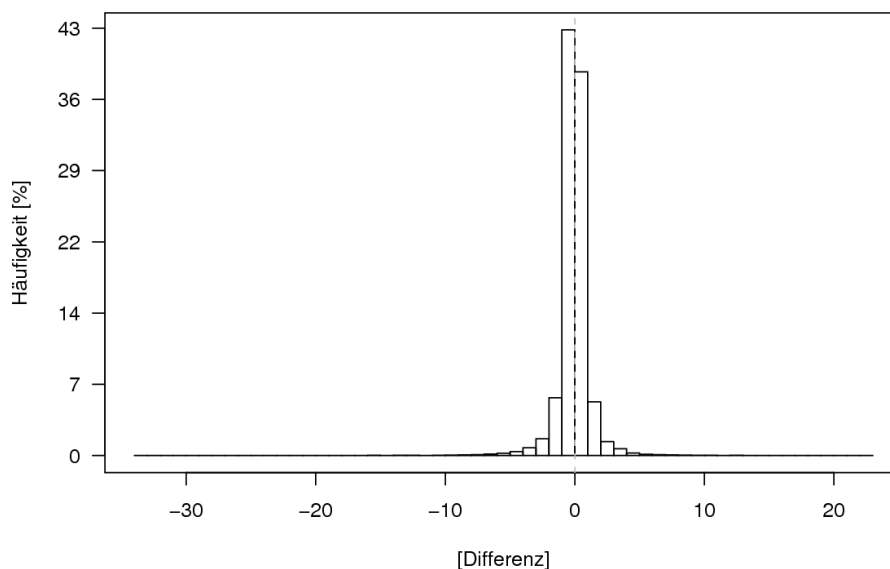


Abbildung 2.8: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Buchs/Aarau (Beznau minus Buchs/Aarau) in Klassen von 1 mm. Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet.

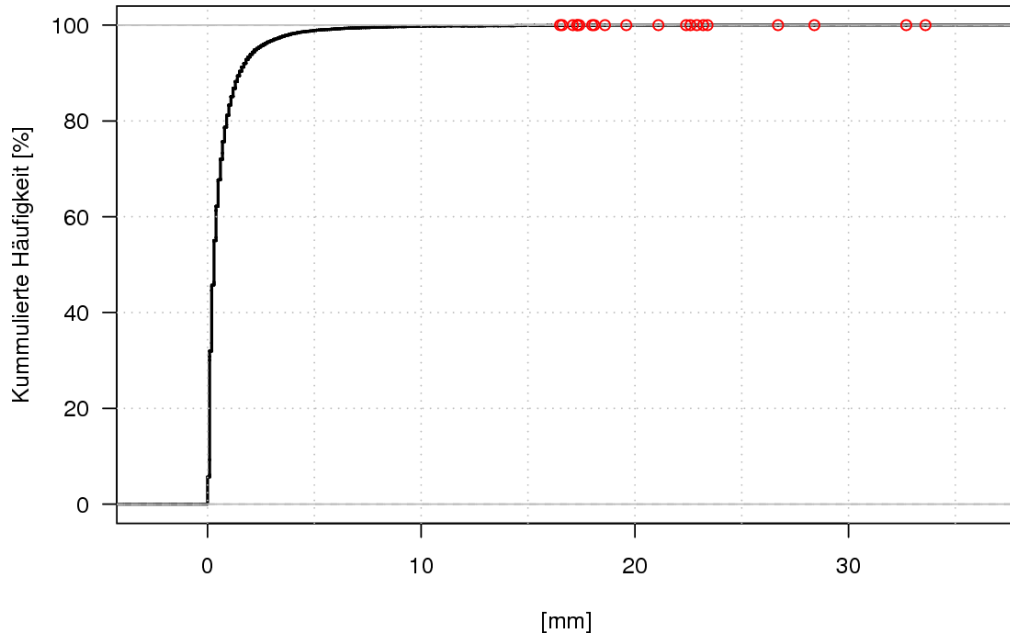


Abbildung 2.9: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Buchs/Aarau (Beznau minus Buchs/Aarau). Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet. Es kann abgelesen werden, welcher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

### Tagessummen des Niederschlags

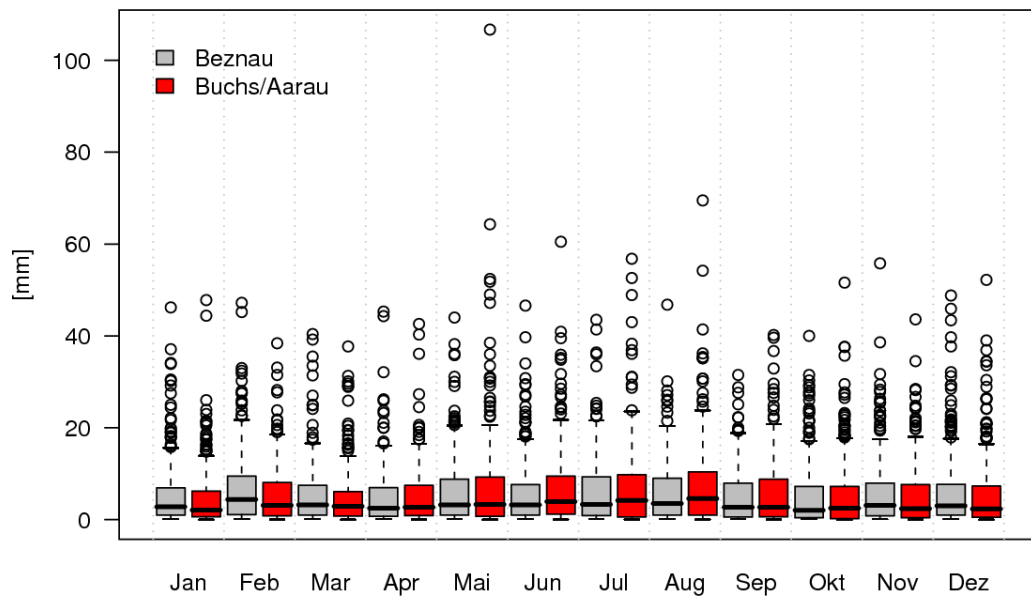


Abbildung 2.10: Gleich wie Abbildung 2.7 aber für die Tagessummen.

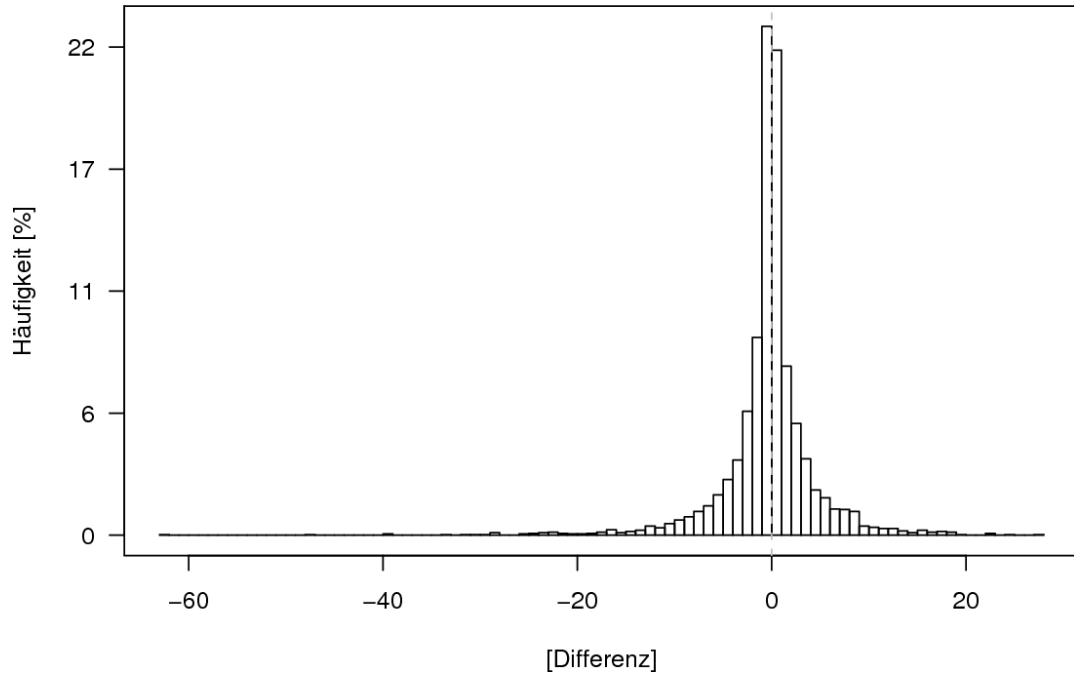


Abbildung 2.11: Gleich wie Abbildung 2.8 aber für die Tagessummen.

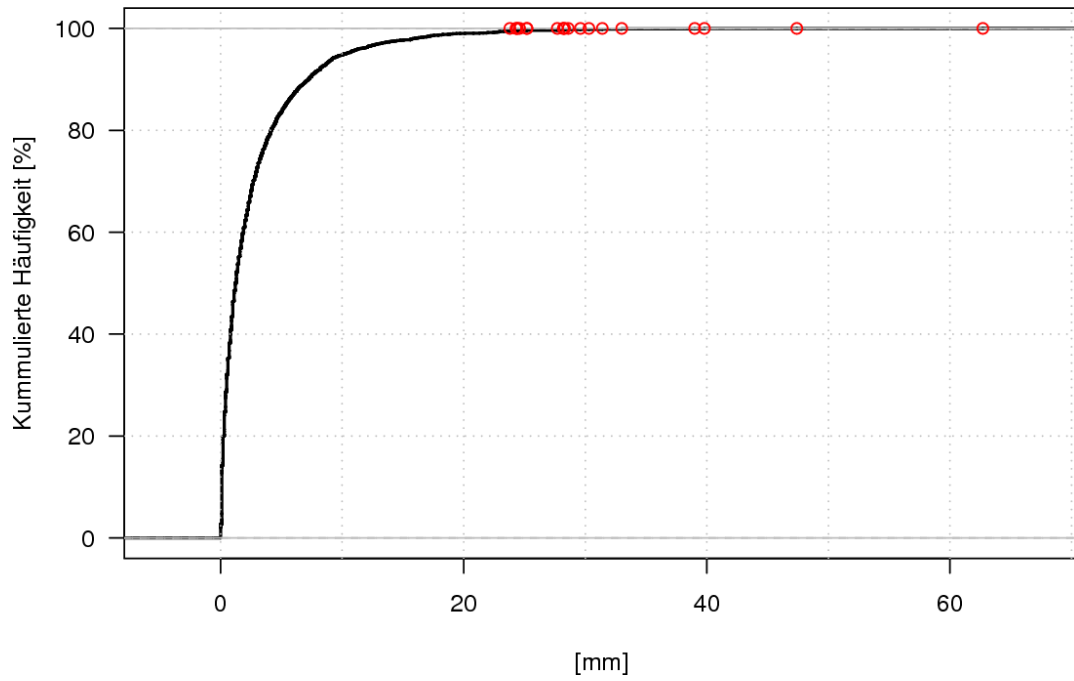


Abbildung 2.12: Gleich wie Abbildung 2.9 aber für die Tagessummen.

### 2.1.3 Vergleich von Beznau mit Basel bezüglich Temperatur

#### Stundenmittel der Temperatur

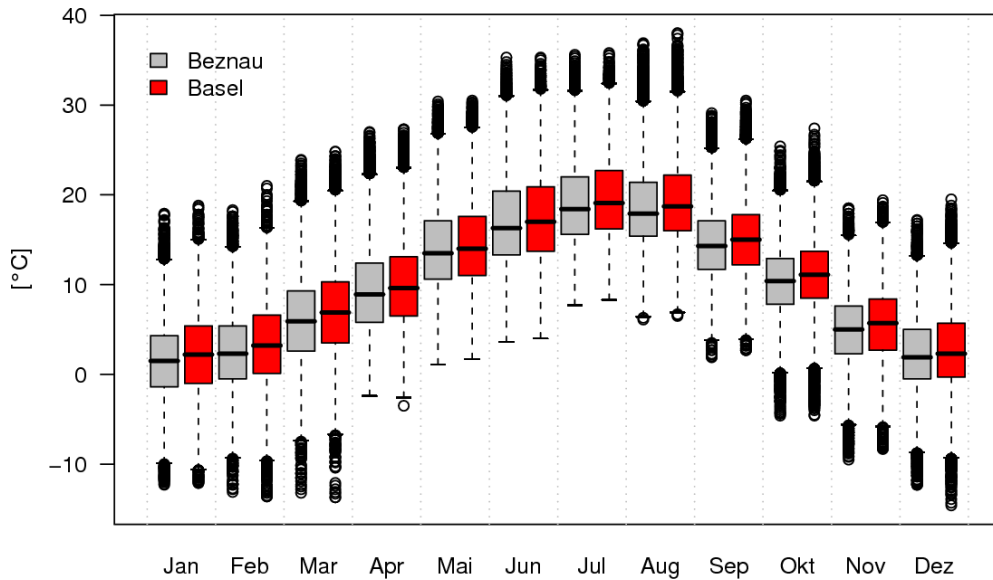


Abbildung 2.13: Vergleich der stündlichen Temperaturmittel von Beznau und Basel/Binningen in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Die Box der Boxplots umfasst die Messwerte zwischen dem 25%- und dem 75%-Quantil. 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.

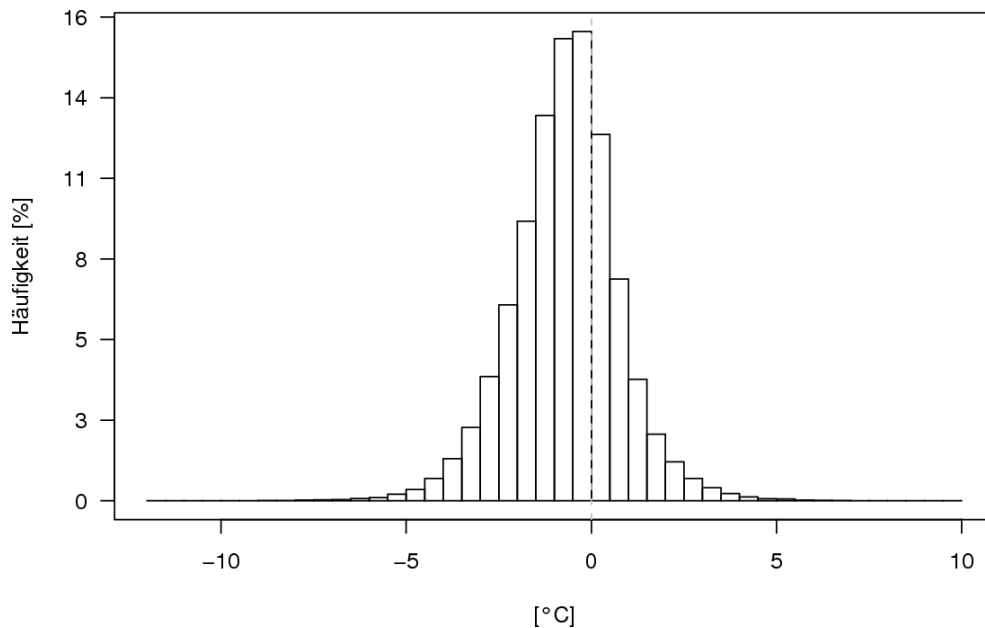


Abbildung 2.14: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen) in Klassen von 0.5 Grad Celsius.

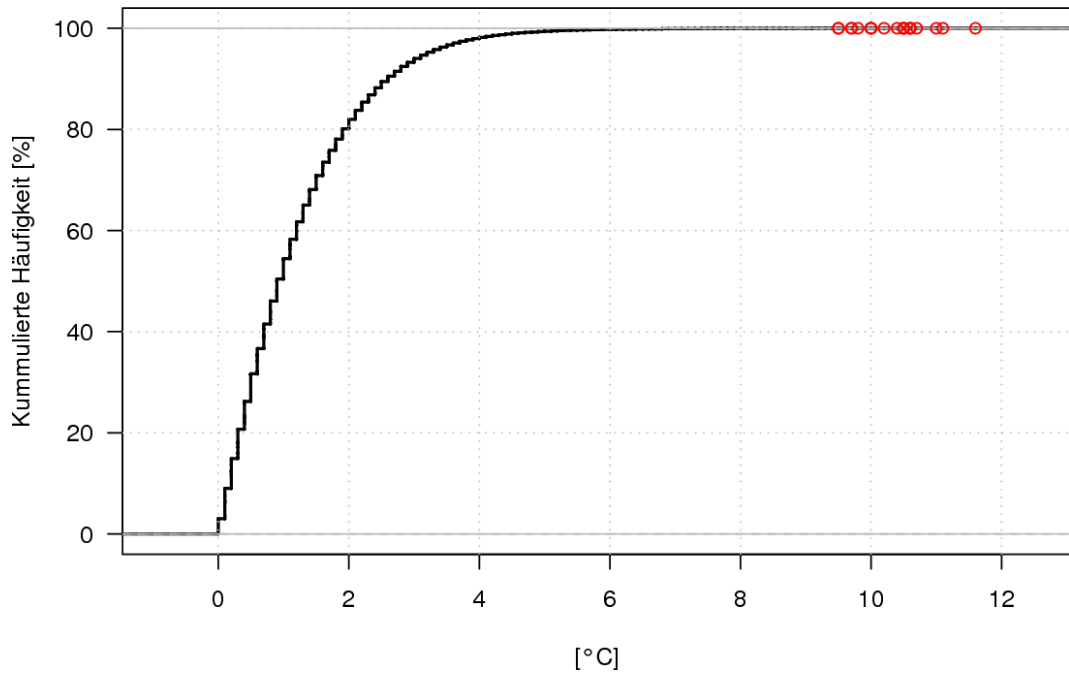


Abbildung 2.15: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen). Es kann abgelesen werden, welcher Prozentsatz der Differenzen kleiner oder gleich einem bestimmten Wert ist. Die 20 grössten Differenzen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

### Tagesmittel der Temperatur

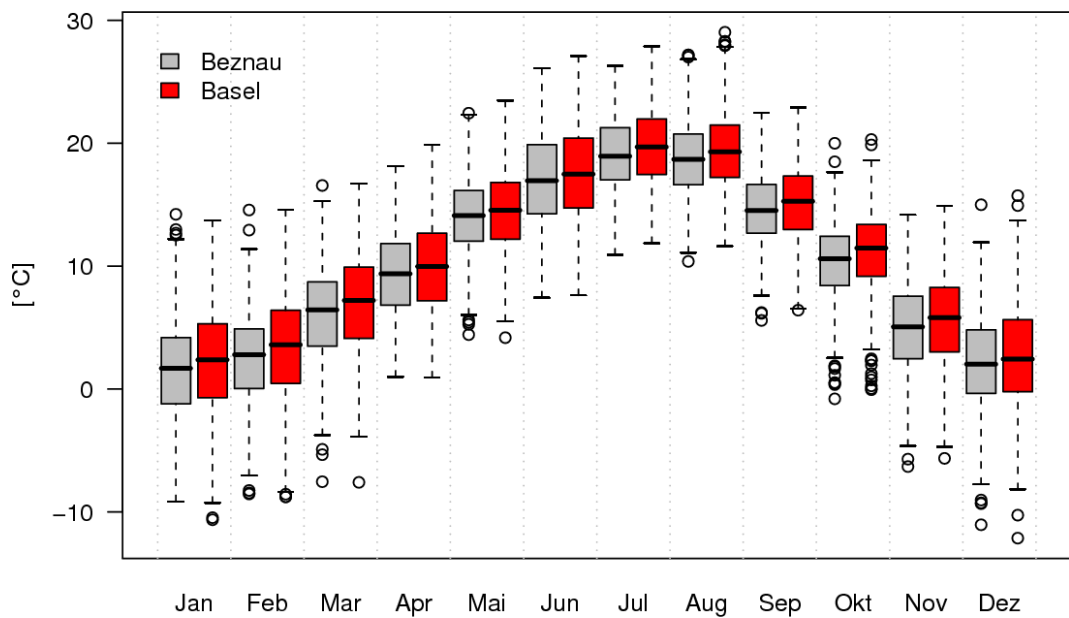


Abbildung 2.16: Gleich wie Abbildung 2.13 aber für die Tagesmittelwerte.



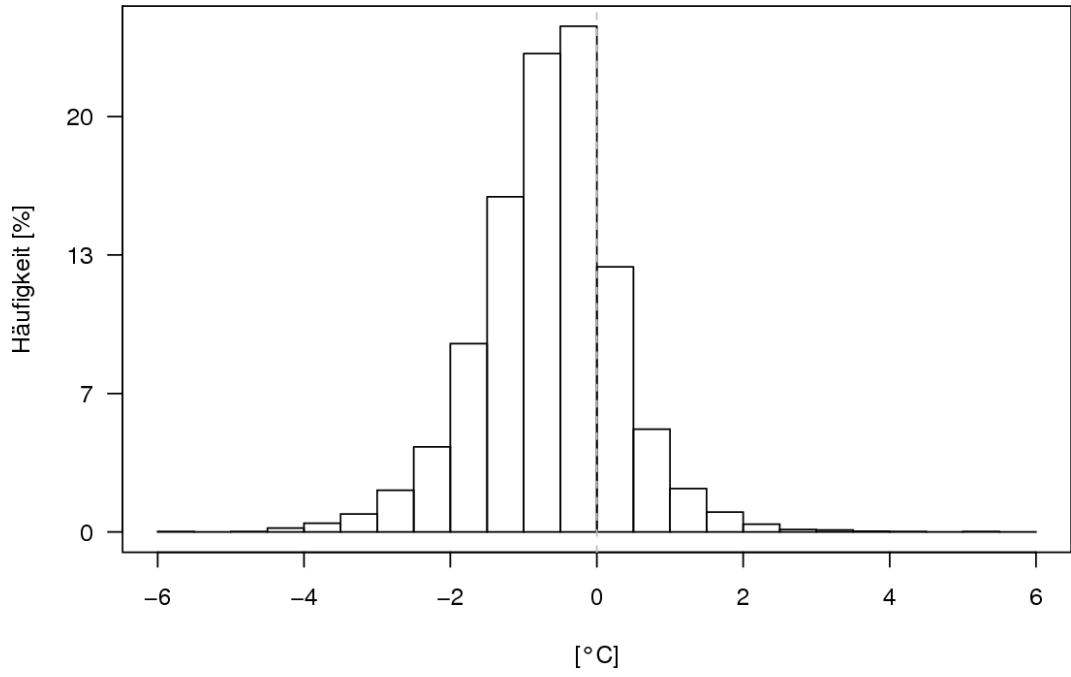


Abbildung 2.17: Gleich wie Abbildung 2.14 aber für die Tagesmittelwerte.

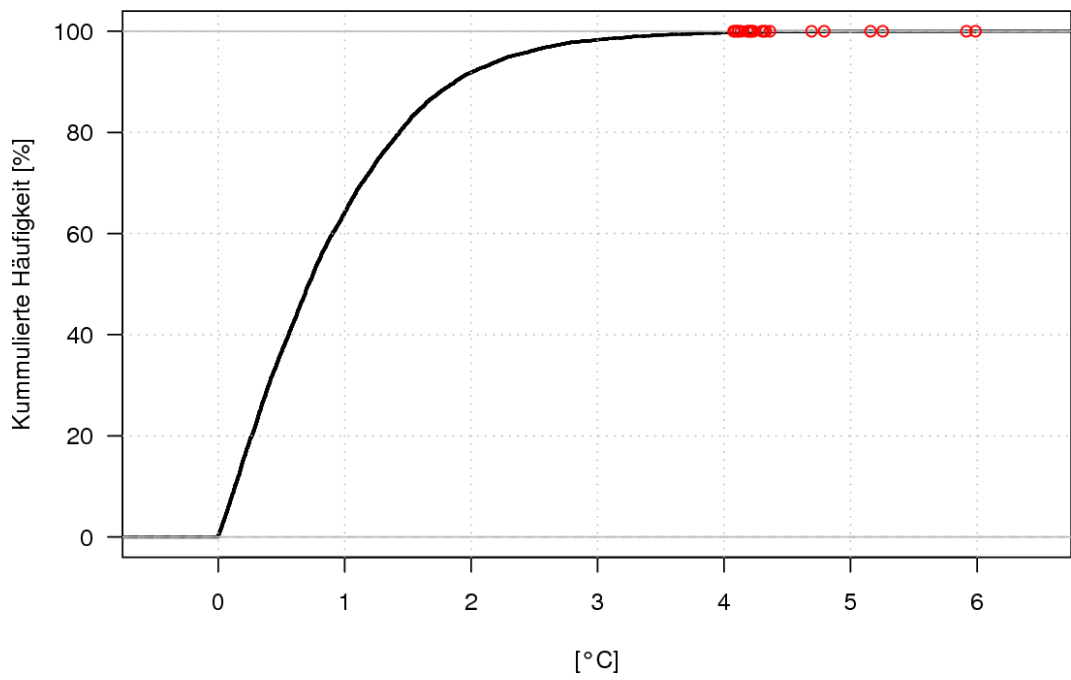


Abbildung 2.18: Gleich wie Abbildung 2.15 aber für die Tagesmittelwerte.

## 2.1.4 Vergleich von Beznau mit Basel bezüglich Niederschlag

### Stundensummen des Niederschlags

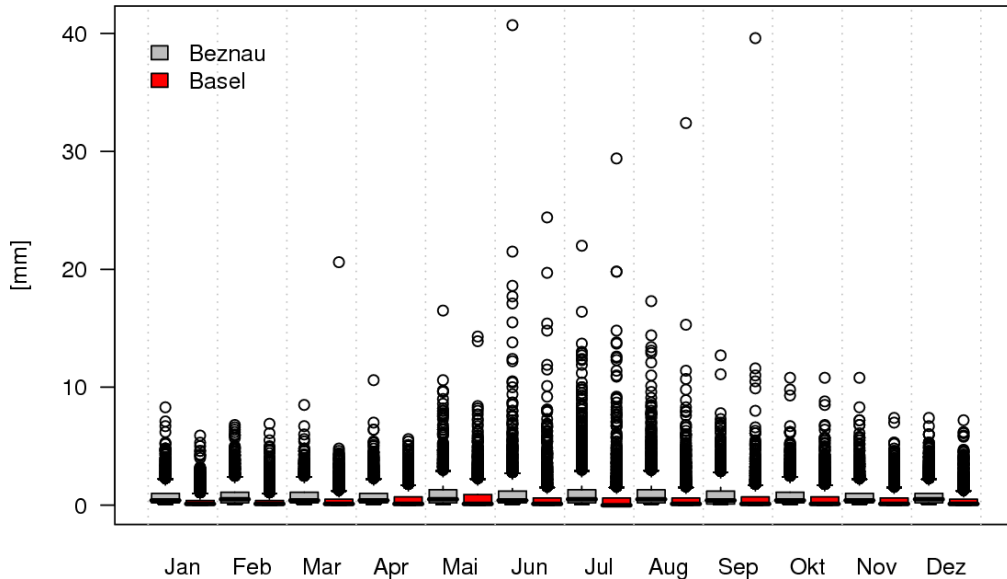


Abbildung 2.19: Vergleich der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Basel/Binningen in der Periode vom 12.10.1988 bis 31.12.2007. Die Boxplots zeigen die Verteilung der Stundenwerte separat an beiden Stationen für jeden Monat. Stunden ohne Niederschlag wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. 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.

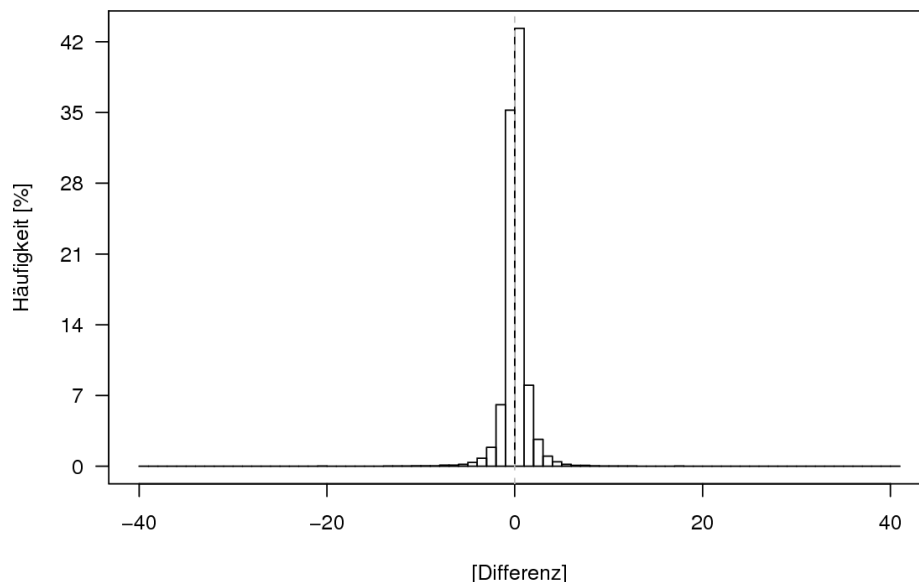


Abbildung 2.20: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen) in Klassen von 1 mm. Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet.

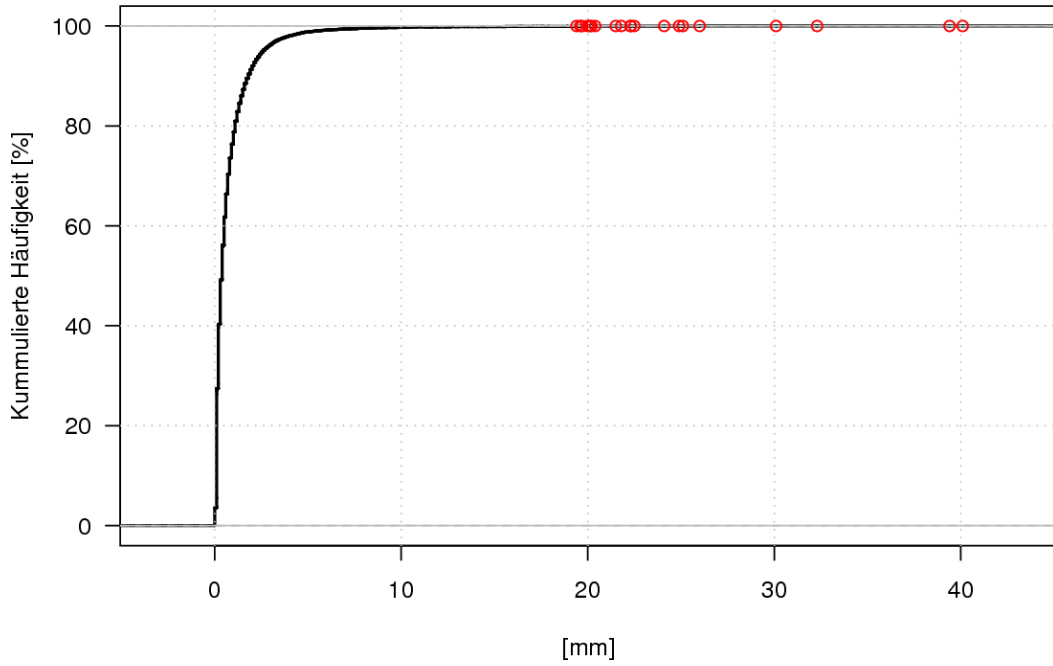


Abbildung 2.21: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen). Stunden, die an beiden Stationen keinen Niederschlag aufweisen, wurden für die Darstellung nicht verwendet. Es kann abgelesen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

**Tagessummen des Niederschlags**

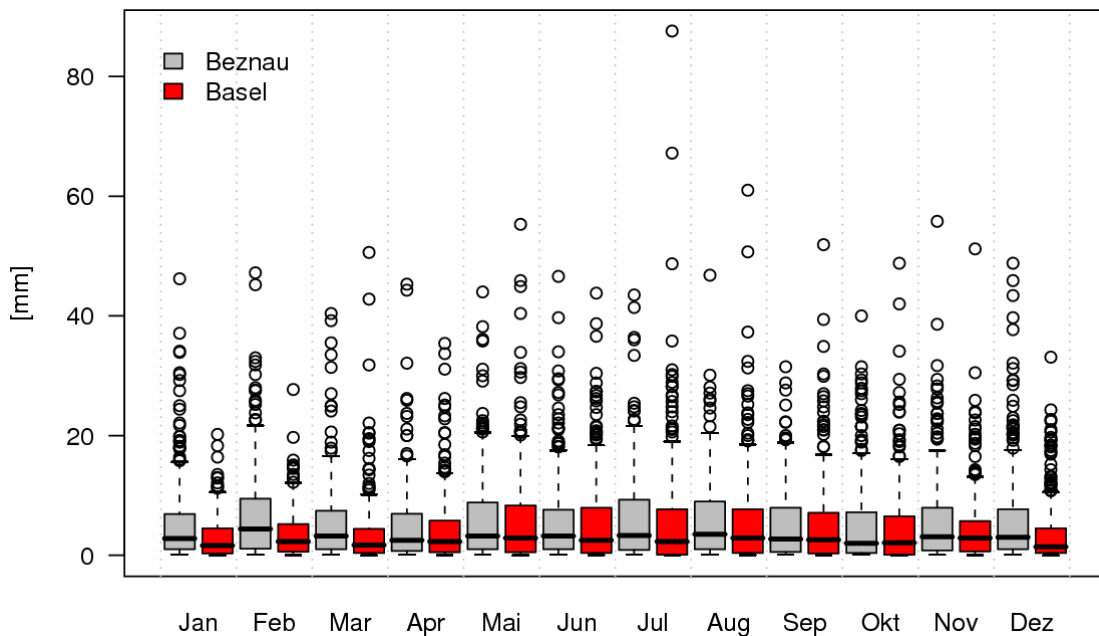


Abbildung 2.22: Gleich wie Abbildung 2.19 aber für die Tagessummen.

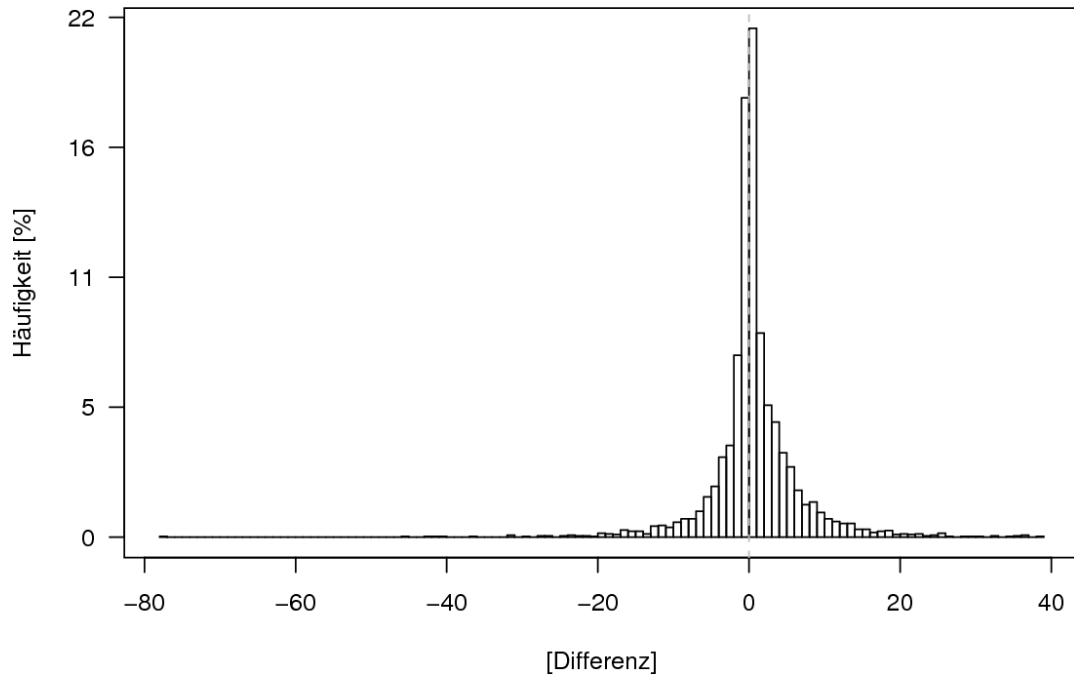


Abbildung 2.23: Gleich wie Abbildung 2.20 aber für die Tagessummen.

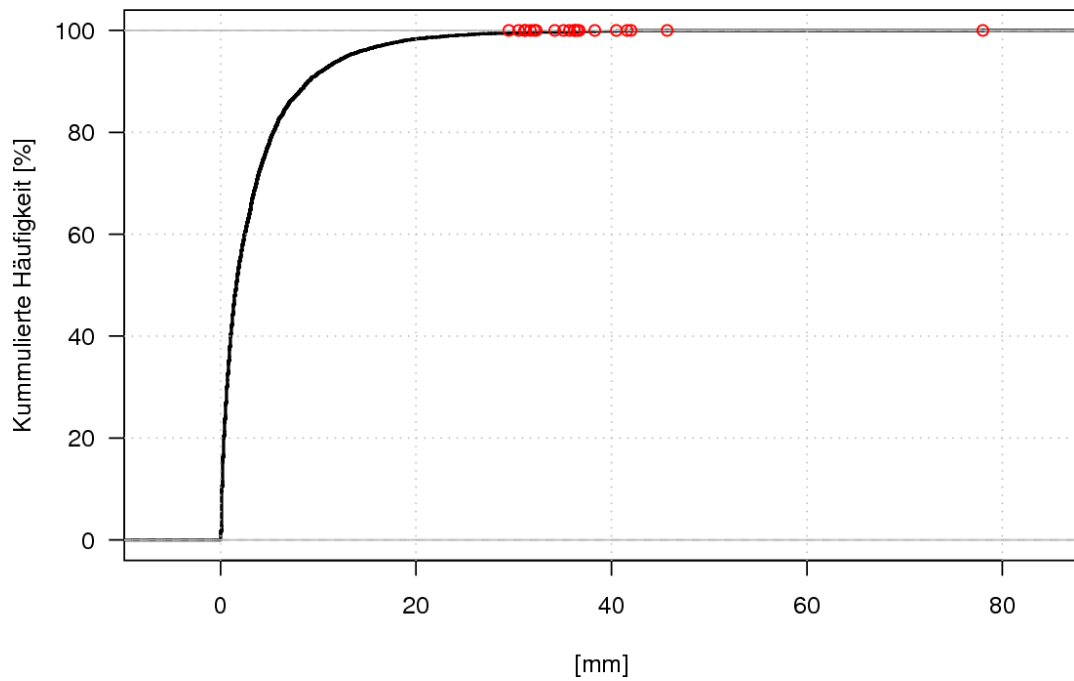


Abbildung 2.24: Gleich wie Abbildung 2.21 aber für die Tagessummen.

## 2.2 Rekordwerte

Die höchsten in Beznau gemessenen Temperaturen seit 1988 betragen 37.5 °C auf dem 10 m Niveau und 36.9 °C auf dem 70 m Niveau. Die tiefsten Werte entsprechen -13.4 °C (10 m) und -13.6 °C (70 m). Der höchste gemessene Wind Stundenmittelwert sind 8.4 m/s auf 10 m Höhe. Im Vergleich mit den gemessenen Winddaten von Basel und Buchs sind die Windmaxima von Beznau eher tiefer. Bezüglich dem maximalen Niederschlag pro Stunde zeigt Beznau (40.7 mm) ähnlich grosse Maximalwerte wie Basel (39.6 mm) oder Buchs (44.7 mm). Für die Feuchttemperatur und die absolute Feuchte liegen von Beznau keine Daten vor. Die Feuchttemperatur der Nachbarstationen Basel und Buchs bewegt sich zwischen minimal -23.2 °C im Winter und maximal 23.8 °C im Sommer. Die absolute Feuchte schwankt zwischen 0.5 g/kg trockener Luft und 17.6 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 Beznau für die Jahre 1988 bis 2007. Die Spalten zwei und drei von Tabelle 2.2 wiedergeben die Rekordwerte der Temperaturmessung auf dem 10 m Turmniveau und die Spalten vier und fünf der Tabelle 2.2 zeigen die Extremwerte auf dem 70 m Niveau. Auf die Auswertung der Temperaturdaten auf dem 40 m Turmniveau wurde verzichtet, da sie für die weiteren Auswertungen keine Relevanz haben.

Monat	10 m Niveau		70 m Niveau	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	19.1	-12.4	19.0	-12.8
Februar	18.6	-13.3	18.3	-12.9
März	24.1	-13.4	23.4	-13.6
April	27.2	-2.7	26.5	-2.8
Mai	30.7	0.9	30.1	0.4
Juni	35.9	3.4	34.6	3.4
Juli	35.8	7.5	35.4	7.1
August	37.5	6.0	36.9	5.7
September	29.2	1.6	29.1	1.3
Oktober	25.5	-4.7	25.0	-4.9
November	18.7	-9.8	18.0	-10.1
Dezember	17.7	-12.5	17.4	-13.1
Jahr	37.5	-13.4	36.9	-13.6

*Tabelle 2.2: Höchstes Temperatur-Maximum [°C] und tiefstes Temperaturminimum [°C] (10-Minutenwerte) pro Monat und Jahr für die Station Beznau auf dem 10 m und dem 70 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 70 m) unterscheiden sich nur marginal.

Die höchsten Temperaturtagesmittelwerte der Stationen Basel und Buchs für die einzelnen Monate und das Jahr sind in Tabelle 2.4 festgehalten. Die Datengrundlage reicht bei Basel zurück bis ins Jahr 1864 und bei Buchs bis ins Jahr 1984. Aus diesem Grund sind die Extremwerte von Basel und Buchs nicht miteinander vergleichbar. Die höchsten und tiefsten Monatsmittelwerte von Basel und Buchs sind der Tabelle 2.5 zu entnehmen.

Monat	10 m Niveau		70 m Niveau	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	17.9	-12.3	17.9	-12.6
Februar	18.3	-13.1	17.8	-12.6
März	23.9	-13.2	23.3	-13.5
April	27.0	-2.4	26.4	-2.6
Mai	30.4	1.1	30.0	0.5
Juni	35.3	3.6	34.2	3.7
Juli	35.6	7.7	35.1	7.2
August	36.9	6.1	36.3	5.8
September	28.8	1.9	28.8	1.5
Oktober	25.4	-4.6	24.8	-4.8
November	18.5	-9.5	18.0	-9.9
Dezember	17.2	-12.3	16.6	-13.0
Jahr	36.9	-13.2	36.3	-13.5

Tabelle 2.3: Höchste und tiefste Stundenmitteltemperatur [°C] pro Monat und Jahr für die Station Beznau auf dem 10 m und dem 70 m Niveau (1988 bis 2007).

Monat	Basel, 2 m		Buchs, 2 m	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	14.3	-20.2	12.1	-18.6
Februar	14.6	-18.1	11.6	-12.1
März	17.2	-10.6	16.6	-8.9
April	20.1	-1.5	18.0	-1.5
Mai	24.3	2.7	22.9	4.2
Juni	28.0	5.4	26.1	7.6
Juli	29.7	9.7	26.2	10.7
August	29.0	8.9	26.8	10.6
September	24.6	3.9	22.2	5.7
Oktober	23.3	-2.1	19.6	-1.4
November	17.0	-8.2	13.5	-7.8
Dezember	16.0	-19.0	12.9	-10.8
Jahr	29.7	-20.2	26.8	-18.6

Tabelle 2.4: Höchste und tiefste Tagesmittelwerte [°C] der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007) pro Monat und Jahr.

Monat	Basel, 2 m		Buchs, 2 m	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	5.8	-6.5	4.8	-5.4
Februar	7.8	-9.3	5.7	-4.5
März	10.3	1.6	9.2	1.9
April	14.4	6.0	13.7	6.7
Mai	18.5	9.8	15.6	10.1
Juni	23.3	13.2	23.0	14.4
Juli	23.7	15.7	22.8	16.6
August	23.8	14.8	22.8	15.4
September	18.4	9.9	17.0	11.3
Oktober	14.2	5.3	13.4	7.1
November	8.8	1.4	8.2	1.6
Dezember	7.3	-9.3	4.4	-0.2
Jahr	23.8	-9.3	23.0	-5.4

*Tabelle 2.5: Höchste und tiefste Temperatur Monatsmittelwerte [°C] der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 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 Basel und Buchs. Am Standort Beznau wird keine Böenspitze (Sekundenböe) gemessen. Die ausgewertete Messperiode von Basel reicht zurück bis ins Jahr 1981, jene von Buchs bis ins Jahr 1984. Die höchsten Böenspitzen treten an beiden Standorten in den Wintermonaten auf.

Monat	Beznau, 10 m [m/s]	Basel, 10 m [m/s]	Buchs, 10 m [m/s]
Januar	NA	40.3	26.2
Februar	NA	38.6	27.1
März	NA	38.3	25.0
April	NA	31.1	22.4
Mai	NA	26.9	21.1
Juni	NA	30.3	21.0
Juli	NA	26.1	23.9
August	NA	31.8	25.7
September	NA	26.5	23.9
Oktober	NA	33.7	25.2
November	NA	34.4	24.6
Dezember	NA	40.9	25.3
Jahr	NA	40.9	27.1

*Tabelle 2.6: Höchste Böen Werte (Sekundenböe) in [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). In Beznau werden keine Böenspitzen gemessen (NA = Not available).*

Die höchsten Wind Stundenmittelwerte in [m/s] sind der Tabelle 2.7 zu entnehmen. In Beznau wird die Windgeschwindigkeit auf zwei Turmniveaus gemessen, auf 10 m und auf 70 m. Für Beznau wurde die Messperiode 1988 bis 2007 (Basel: 1981 bis 2007; Buchs: 1984 bis 2007) ausgewertet. Auf 70 m 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 Basel und Buchs. Die ausgewerteten Messperioden unterscheiden sich nicht von den übrigen Wind-Parametern. Die höchsten Wind Tagesmittelwerte von Basel sind ein Vielfaches grösser als jene von Buchs. Dies gilt auch für die Wind Monatsmittelwerte der beiden Stationen, wie Tabelle 2.9 zu entnehmen ist.



Monat	Beznau		Basel	Buchs
	10 m [m/s]	70 m [m/s]	10 m [m/s]	10 m [m/s]
Januar	8.1	12.7	15.3	10.0
Februar	7.4	12.3	19.5	11.3
März	7.5	11.3	14.6	9.1
April	7.5	11.6	12.0	7.5
Mai	8.0	12.2	10.6	7.9
Juni	7.1	11.5	10.4	7.6
Juli	7.2	12.1	9.7	6.6
August	6.6	10.6	8.7	7.2
September	6.8	10.3	9.0	7.4
Oktober	8.4	12.6	13.8	9.1
November	5.9	9.9	23.0	10.2
Dezember	7.3	11.7	18.8	10.3
Jahr	8.4	12.7	23.0	11.3

Tabelle 2.7: Höchste Wind Stundenmittelwerte [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Beznau (1988 bis 2007), Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).

Monat	Basel, 10 m [m/s]	Buchs, 10 m [m/s]
Januar	9.2	6.5
Februar	12.6	8.2
März	9.6	7.1
April	7.9	4.9
Mai	5.9	4.7
Juni	6.2	3.5
Juli	4.8	3.6
August	4.7	3.1
September	5.8	5.0
Oktober	7.9	7.0
November	11.9	5.7
Dezember	9.6	6.8
Jahr	12.6	8.2

Tabelle 2.8: Höchste Wind Tagesmittelwerte [m/s] pro Monat und Jahr von Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).

Monat	Basel, 10 m [m/s]	Buchs, 10 m [m/s]
Januar	4.2	2.7
Februar	4.6	2.9
März	4.2	2.7
April	3.6	2.3
Mai	2.6	1.8
Juni	2.8	1.8
Juli	2.6	1.6
August	2.4	1.4
September	2.5	1.6
Oktober	2.6	2.0
November	3.2	2.3
Dezember	4.4	3.1
Jahr	4.6	3.1

*Tabelle 2.9: Höchster Wind Monatsmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

### 2.2.3 Niederschlag

Die absolut höchsten Niederschlags Stundensummen in [mm], gemessen auf 1.5 m, pro Monat und Jahr von Beznau, Basel und Buchs sind in Tabelle 2.10 festgehalten. Die ausgewerteten Messperioden unterscheiden sich in ihrer Länge. Basel misst seit 1981 Niederschlags-Stundensummen, Buchs seit 1984 und Beznau seit 1988.

Die Tabelle 2.11 zeigt die Niederschlags Tagessummen in [mm] der Stationen Basel und Buchs. Die Tagessummen werden in Basel seit 1864 gemessen, in Buchs analog zu den Stundensummen seit 1984. Die Werte sind daher nicht direkt miteinander vergleichbar. Dasselbe gilt für die 5-Tagessummen (Tabelle 2.12).

Die tiefsten und höchsten Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr der auswertbaren Messperiode von Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007) sind der Tabelle 2.13 und der Tabelle 2.14 zu entnehmen.

Monat	Beznau, 1.5 m [mm]	Basel, 1.5 m [mm]	Buchs, 1.5 m [mm]
Januar	8.3	6.2	10.6
Februar	6.8	6.9	6.9
März	8.5	21.8	18.6
April	10.6	17.5	14.5
Mai	16.5	25.1	33.7
Juni	40.7	24.9	44.7
Juli	22.0	30.1	32.7
August	17.3	32.4	18.3
September	12.7	39.6	28.4
Oktober	10.8	12.6	11.2
November	10.8	7.4	9.9
Dezember	7.4	7.2	11.2
Jahr	40.7	39.6	44.7

*Tabelle 2.10: Höchste Niederschlags Stundensummen [mm] pro Monat und Jahr der Stationen Beznau (1989 bis 2007), Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

Monat	Basel, 1.5 m [mm]	Buchs, 1.5 m [mm]
Januar	49.0	42.2
Februar	34.5	39.8
März	53.6	43.5
April	49.2	51.5
Mai	94.8	93.8
Juni	72.7	55.8
Juli	85.0	55.3
August	75.7	81.7
September	59.8	66.6
Oktober	50.0	33.3
November	55.5	42.1
Dezember	39.6	45.3
Jahr	94.8	93.8

*Tabelle 2.11: Höchste Niederschlags Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

Monat	Basel, 1.5 m [mm]	Buchs, 1.5 m [mm]
Januar	83.9	80.7
Februar	61.5	102.6
März	79.0	75.0
April	93.6	86.0
Mai	194.2	170.2
Juni	131.7	126.4
Juli	108.5	85.2
August	132.0	112.3
September	121.3	128.0
Oktober	112.8	84.7
November	98.9	72.7
Dezember	77.6	93.0
Jahr	194.2	170.2

*Tabelle 2.12: Höchste Niederschlags 5-Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

Monat	Basel, 1.5 m [mm]	Buchs, 1.5 m [mm]
Januar	4.2	12.0
Februar	1.5	11.8
März	4.3	18.5
April	0.0	20.0
Mai	11.8	24.7
Juni	11.3	23.2
Juli	7.8	41.8
August	5.6	7.2
September	0.0	26.4
Oktober	1.5	7.6
November	1.8	15.2
Dezember	4.7	39.8
Jahr	0.0	7.2

*Tabelle 2.13: Tiefste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

Monat	Basel, 1.5 m [mm]	Buchs, 1.5 m [mm]
Januar	168.5	166.3
Februar	153.0	160.7
März	188.8	224.5
April	178.6	152.7
Mai	307.5	232.1
Juni	212.5	198.5
Juli	210.5	243.3
August	203.6	215.3
September	207.5	176.7
Oktober	215.2	150.3
November	220.2	197.3
Dezember	149.5	143.1
Jahr	307.5	243.3

*Tabelle 2.14: Höchste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

## 2.2.4 Feuchttemperatur und absolute Feuchte

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

Tabelle 2.15 zeigt den höchsten und den tiefsten Feuchttemperatur Stundenmittelwert [°C] pro Monat und Jahr. Die Tabelle 2.16 zeigt den maximalen und den minimalen Feuchttemperatur Tagesmittelwert [°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	Basel		Buchs	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	11.6	-22.3	10.5	-23.2
Februar	11.7	-15.1	10.8	-15.2
März	14.3	-8.7	14.1	-9.9
April	16.6	-5.3	16.3	-6.0
Mai	20.6	-0.2	19.7	0.1
Juni	23.7	4.3	22.8	3.6
Juli	23.8	7.2	23.6	5.5
August	23.3	5.7	22.9	3.9
September	20.7	2.3	21.6	0.5
Oktober	18.9	-5.2	17.4	-5.9
November	14.3	-9.2	13.8	-11.2
Dezember	13.0	-14.9	12.4	-14.9
Jahr	23.8	-22.3	23.6	-23.2

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

Monat	Basel		Buchs	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	9.9	-18.8	8.9	-19.0
Februar	10.3	-9.9	9.3	-9.9
März	12.0	-5.1	11.5	-5.9
April	13.2	-1.3	12.5	-2.2
Mai	17.9	3.6	17.1	3.2
Juni	20.5	7.7	20.9	7.3
Juli	21.4	9.4	20.5	9.6
August	20.4	8.8	19.9	8.2
September	18.5	5.6	17.4	4.6
Oktober	16.6	-1.9	15.5	-2.6
November	12.0	-6.7	11.1	-8.6
Dezember	11.8	-12.6	11.1	-11.3
Jahr	21.4	-18.8	20.9	-19.0

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

Monat	Basel		Buchs	
	Maxima [°C]	Minima [°C]	Maxima [°C]	Minima [°C]
Januar	3.5	-5.4	2.5	-5.9
Februar	5.4	-5.9	4.0	-5.5
März	7.4	1.0	6.8	0.3
April	8.4	5.2	7.6	4.8
Mai	13.2	7.9	12.8	7.4
Juni	18.0	11.7	17.4	12.0
Juli	18.0	14.2	17.6	13.7
August	17.5	14.1	17.0	14.3
September	15.0	9.8	14.3	9.2
Oktober	12.5	6.3	11.8	5.7
November	7.7	0.9	7.2	0.6
Dezember	4.0	-0.8	3.5	-1.1
Jahr	18.0	-5.9	17.6	-5.9

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

Monat	Basel		Buchs	
	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]
Januar	7.8	0.6	7.8	0.5
Februar	7.8	0.7	7.5	1.1
März	8.9	1.1	8.5	1.1
April	10.0	1.4	10.0	1.5
Mai	13.5	2.5	13.9	2.5
Juni	16.9	3.8	16.0	4.0
Juli	16.9	4.7	17.2	4.9
August	17.6	4.3	16.5	4.8
September	14.8	3.1	15.7	3.9
Oktober	12.6	1.8	11.5	2.0
November	10.0	1.4	9.7	1.3
Dezember	9.2	0.7	8.8	1.1
Jahr	17.6	0.6	17.2	0.5

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

Monat	Basel		Buchs	
	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]
Januar	6.4	0.7	6.6	0.7
Februar	6.7	1.2	6.7	1.3
März	7.8	1.7	7.7	1.9
April	8.9	1.9	8.5	2.1
Mai	11.8	3.9	11.4	3.5
Juni	14.0	4.7	14.7	5.1
Juli	14.3	6.2	14.1	6.3
August	14.5	5.5	13.9	5.9
September	12.1	4.7	12.1	4.6
Oktober	11.3	2.1	10.9	2.2
November	8.5	1.8	8.1	1.7
Dezember	8.5	1.0	8.0	1.3
Jahr	14.5	0.7	14.7	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 Basel und Buchs (1984 bis 2003).

Monat	Basel		Buchs	
	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]	Maxima [g/kg]	Minima [g/kg]
Januar	4.4	2.6	4.4	2.6
Februar	4.9	2.2	4.7	2.3
März	5.6	3.5	5.5	3.5
April	5.8	4.3	5.7	4.2
Mai	8.7	5.6	8.5	5.6
Juni	11.2	7.4	10.7	7.6
Juli	11.6	8.8	11.5	9.0
August	11.2	8.7	11.2	9.4
September	9.9	6.9	9.6	6.7
Oktober	8.7	5.7	8.4	5.6
November	6.4	3.9	6.2	3.9
Dezember	4.9	3.4	4.8	3.3
Jahr	11.6	2.2	11.5	2.3

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



## 2.3 Mittelwert-/Standardabweichung

Die Extrema der Monatsmitteltemperatur werden in Beznau mit 19.1 °C im Juli, respektive im Januar mit 1.6 °C gemessen. Die mittleren Windverhältnisse betragen auf 10 m Höhe das ganze Jahr zwischen 1.1 und 1.5 m/s. Auf dem 70 m Niveau werden im Mittel sogar 2.5 m/s erreicht. Durchschnittlich gibt es in Beznau je nach Saison zwischen 9 und 12 Tage mit Niederschlag pro Monat. Dabei fallen durchschnittlich zwischen 70.8 mm (April und September) und 95.7 mm (Dezember) 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 Beznau für die Turmniveaus 10 m und 70 m sind in der Tabelle 2.21 festgehalten.

Monat	Beznau, 10 m		Beznau, 70 m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	1.6	4.5	1.3	4.5
Februar	2.5	4.5	2.3	4.6
März	6.3	4.9	6.2	4.9
April	9.4	5.0	9.3	5.0
Mai	14.2	4.8	14.1	4.8
Juni	17.2	5.1	17.0	5.0
Juli	19.1	4.7	18.9	4.7
August	18.7	4.7	18.6	4.7
September	14.5	4.2	14.3	4.2
Oktober	10.4	4.0	10.1	4.0
November	4.9	3.9	4.6	4.0
Dezember	2.3	4.2	1.9	4.3

*Tabelle 2.21: Typische Variabilität der Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] für das 10 m und das 70 m Turmniveau der Station Beznau (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 Basel zurück ins Jahr 1864. In Buchs wird die Tagesmitteltemperatur seit 1984 gemessen.

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

Monat	Basel, 2 m		Buchs, 2 m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	0.6	4.7	0.7	4.5
Februar	2.1	4.5	1.7	4.1
März	5.6	3.9	5.7	3.9
April	9.4	3.7	9.1	3.5
Mai	13.6	3.8	13.9	3.3
Juni	17.0	3.4	16.9	3.7
Juli	18.9	3.3	19.0	3.0
August	18.1	3.1	18.4	3.0
September	14.8	3.3	14.4	2.9
Oktober	9.8	3.6	10.2	3.3
November	4.9	3.7	4.5	3.6
Dezember	1.6	4.6	1.9	3.7

Tabelle 2.22: Typische Variabilität der Tageswerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] gerechnet aus den Tageswerten der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).

Monat	Basel, 2 m		Buchs, 2 m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	3.9	4.9	3.3	4.7
Februar	6.2	5.0	5.5	4.9
März	10.7	5.0	10.6	5.0
April	14.9	5.0	14.6	5.2
Mai	19.5	5.0	19.8	4.9
Juni	22.8	4.6	22.8	5.2
Juli	24.9	4.6	25.3	4.5
August	24.3	4.4	24.8	4.7
September	20.4	4.5	20.1	4.3
Oktober	14.7	4.5	14.7	4.3
November	8.3	4.3	7.4	4.1
Dezember	4.7	4.8	4.1	4.1

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 Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).

Monat	Basel, 2 m		Buchs, 2 m	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	-1.9	4.9	-2.0	4.7
Februar	-0.9	4.6	-1.8	4.3
März	1.7	3.7	1.1	3.8
April	4.7	3.3	3.9	3.1
Mai	8.4	3.3	8.4	3.1
Juni	11.7	2.9	11.4	3.1
Juli	13.6	2.8	13.2	2.6
August	13.4	2.8	12.9	2.7
September	10.6	3.2	9.6	3.1
Oktober	6.5	3.6	6.6	3.5
November	2.1	3.6	1.8	3.6
Dezember	-0.8	4.6	-0.4	3.8

*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 Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

### 2.3.2 Mittlere Windverhältnisse

Die mittleren Windverhältnisse werden von der Tabelle 2.25 und der Tabelle 2.26 wiedergegeben. Tabelle 2.25 zeigt die mittleren Monatswerte in [m/s] für die einzelnen Monate der Station Beznau auf dem 10 m und dem 70 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 Basel und Buchs festgehalten.

Monat	Beznau 10 m		Beznau 70 m	
	Mean [m/s]	SD [m/s]	Mean [m/s]	SD [m/s]
Januar	1.4	1.0	2.5	1.8
Februar	1.4	1.1	2.4	1.9
März	1.4	1.0	2.3	1.7
April	1.4	1.0	2.3	1.6
Mai	1.3	0.9	2.2	1.6
Juni	1.3	0.9	2.1	1.5
Juli	1.2	0.9	2.0	1.4
August	1.1	0.8	1.8	1.3
September	1.1	0.8	1.9	1.4
Oktober	1.1	0.8	1.9	1.5
November	1.2	0.9	2.1	1.6
Dezember	1.5	1.0	2.5	1.8

*Tabelle 2.25: Typische Variabilität der Stundenmittelwerte der einzelnen Monate (SD) [m/s] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [m/s] für die Turmlevel 10 m und 70 m von Beznau (1988 bis 2007).*

Monat	Basel, 10 m		Buchs, 10 m	
	Mean [m/s]	SD [m/s]	Mean [m/s]	SD [m/s]
Januar	25.2	7.2	18.7	5.1
Februar	23.3	6.2	17.7	3.8
März	22.9	5.6	17.7	3.0
April	20.4	5.2	15.3	2.9
Mai	19.3	3.6	15.6	2.2
Juni	20.9	4.2	16.2	2.5
Juli	20.6	3.2	16.6	2.9
August	19.6	4.9	15.3	4.0
September	18.5	3.6	14.7	3.5
Oktober	21.9	5.6	16.0	4.0
November	21.2	5.8	16.2	3.4
Dezember	24.0	5.6	17.6	3.5

*Tabelle 2.26: Typische Variabilität der Stundenmaximalwerte der einzelnen Monate (SD) [m/s] und die dazugehörigen Monatswerte (Mean) [m/s] von Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).*

### 2.3.3 Mittlerer Niederschlag

Die Tabelle 2.27 zeigt die mittleren Monatsniederschläge inklusive Standardabweichung der Station Beznau. Die ausgewertete Messperiode von Beznau 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 Beznau festgehalten und in Tabelle 2.29 die Werte von Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).

Monat	Beznau, 1.5 m	
	Mean [mm]	SD [mm]
Januar	72.9	56.1
Februar	87.4	57.1
März	77.3	62.9
April	70.8	41.1
Mai	88.6	36.6
Juni	87.8	44.4
Juli	92.5	39.4
August	84.2	34.6
September	70.8	34.7
Oktober	81.3	43.5
November	85.7	62.0
Dezember	95.7	37.3

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

Monat	Beznau, 1.5 m	
	Anzahl Tage	SD [T]
Januar	9.6	4.9
Februar	9.9	4.0
März	10.2	4.8
April	10.5	4.9
Mai	11.3	3.2
Juni	11.1	3.9
Juli	11.1	3.5
August	10.5	4.1
September	9.4	3.4
Oktober	10.6	4.1
November	11.3	5.0
Dezember	11.8	3.3

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

Monat	Basel, 1.5 m		Buchs, 1.5 m	
	Anzahl Tage	SD [T]	Anzahl Tage	SD [T]
Januar	9.1	4.1	9.9	4.9
Februar	8.5	3.9	9.3	3.4
März	9.4	4.2	10.2	5.4
April	10.6	4.3	11.6	3.9
Mai	11.4	3.8	11.9	3.5
Juni	11.3	3.6	12.3	3.8
Juli	10.4	3.6	11.2	3.6
August	10.4	3.6	11.0	4.3
September	9.2	3.9	9.2	3.9
Oktober	9.6	4.4	9.8	3.9
November	9.7	4.2	10.3	5.0
Dezember	9.5	4.0	10.7	3.3

*Tabelle 2.29: Durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag pro Monat und Standardabweichung (SD) [T] pro Monat der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 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 Basel und Buchs (1984 bis 2003). Die Tabelle 2.31 wiedergibt dieselben Grössen gerechnet aus den Tagesmittelwerten.

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

Monat	Basel		Buchs	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	0.4	4.6	-0.4	4.4
Februar	1.3	4.5	0.4	4.4
März	4.3	3.8	3.7	3.8
April	6.7	3.5	6.2	3.5
Mai	11.1	3.3	10.9	3.3
Juni	13.7	3.3	13.5	3.3
Juli	15.6	2.8	15.4	2.8
August	15.8	2.9	15.4	3.0
September	12.4	3.1	12.0	3.2
Oktober	9.1	3.6	8.5	3.6
November	4.1	3.8	3.4	3.7
Dezember	1.7	4.0	1.0	3.9

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

Monat	Basel		Buchs	
	Mean [°C]	SD [°C]	Mean [°C]	SD [°C]
Januar	0.1	4.8	-0.7	4.6
Februar	1.5	4.1	0.6	3.9
März	4.3	3.3	3.8	3.3
April	6.7	2.9	6.3	2.8
Mai	11.1	2.8	10.9	2.7
Juni	13.6	2.9	13.4	2.8
Juli	15.7	2.3	15.5	2.2
August	15.7	2.4	15.4	2.4
September	12.5	2.6	12.1	2.6
Oktober	9.0	3.3	8.4	3.3
November	3.9	3.7	3.2	3.6
Dezember	1.8	3.8	1.1	3.7

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

Monat	Basel		Buchs	
	Mean [g/kg]	SD [g/kg]	Mean [g/kg]	SD [g/kg]
Januar	3.7	1.2	3.6	1.1
Februar	3.8	1.2	3.7	1.1
März	4.4	1.3	4.4	1.3
April	5.2	1.4	5.2	1.3
Mai	7.4	1.7	7.3	1.7
Juni	8.8	2.0	8.8	1.9
Juli	10.0	1.9	10.0	1.9
August	10.1	1.9	10.2	1.9
September	8.4	1.8	8.3	1.8
Oktober	6.9	1.7	6.7	1.7
November	4.9	1.3	4.7	1.3
Dezember	4.1	1.2	4.0	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	Basel		Buchs	
	Mean [g/kg]	SD [g/kg]	Mean [g/kg]	SD [g/kg]
Januar	3.6	1.1	3.5	1.1
Februar	3.8	1.1	3.7	1.1
März	4.4	1.2	4.4	1.2
April	5.2	1.3	5.2	1.2
Mai	7.3	1.5	7.3	1.5
Juni	8.7	1.9	8.8	1.7
Juli	10.0	1.7	10.1	1.6
August	10.1	1.7	10.2	1.7
September	8.4	1.6	8.45	1.6
Oktober	6.8	1.6	6.7	1.6
November	4.8	1.3	4.7	1.3
Dezember	4.1	1.2	4.0	1.1

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



## 2.4 Windanalysen am Standort Beznau

Die Windrichtungen der untersten Atmosphärenschicht sind massgeblich durch die regionale Topographie bestimmt. Die Hauptwindrichtungen am Bodenmessfeld der Messstation Beznau sind WSW und NE. Ein sekundäres Maximum zeigt sich im Sektor S. Auf dem Turmniveau in 70 m Höhe über Grund liegt das Maximum im Sektor SSW. Ebenfalls gehäuft treten Winde aus den Sektoren W sowie NE auf.

Für die Analyse der langjährigen Windverhältnisse der beiden Niveaus am Standort Beznau auf 10 m bzw. 70 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, die Abbildung 2.27 und Abbildung 2.28 die entsprechenden Windrosen auf dem Niveau 70 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.

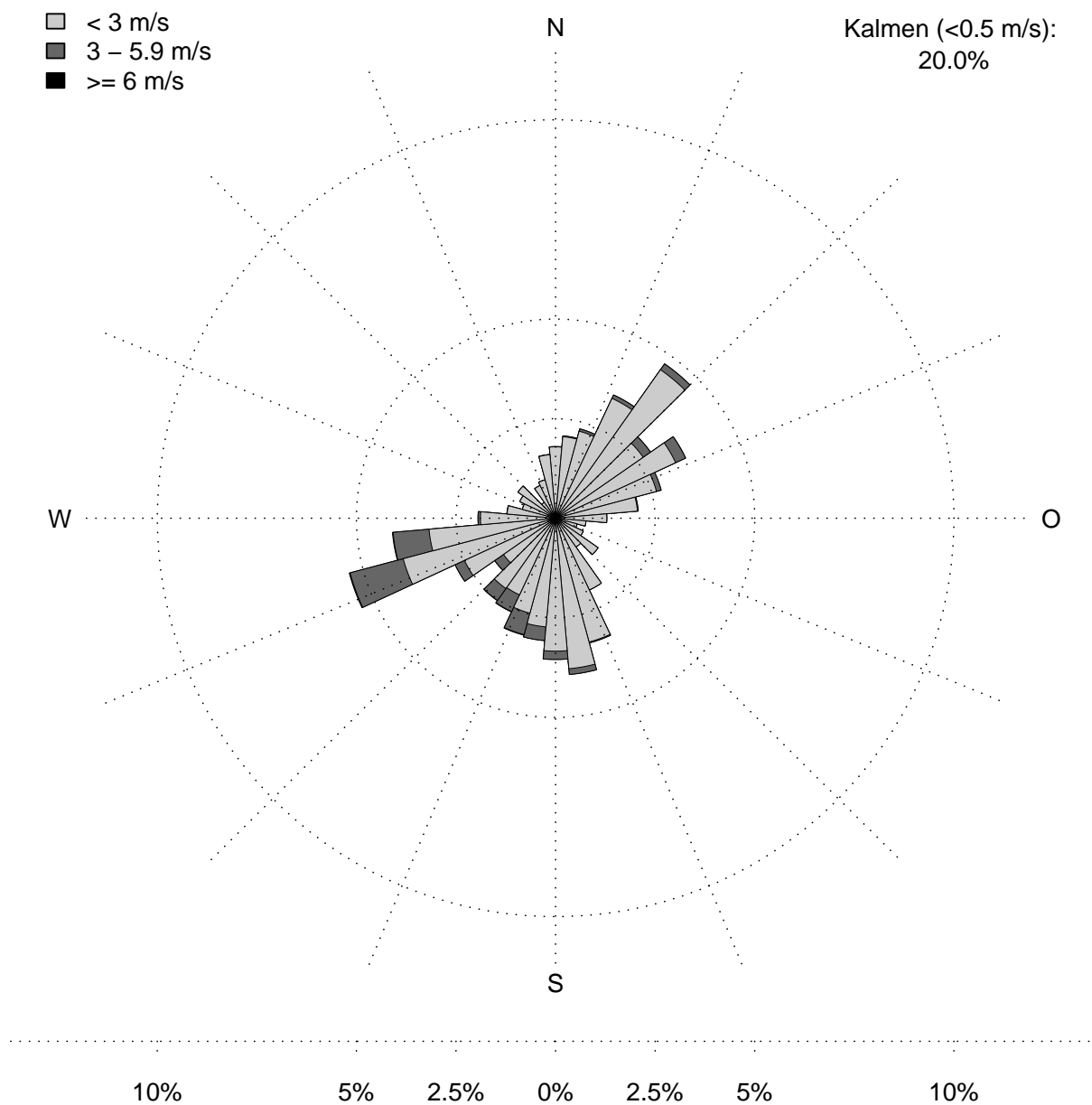


Abbildung 2.25: Mittlere jährliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Beznau auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

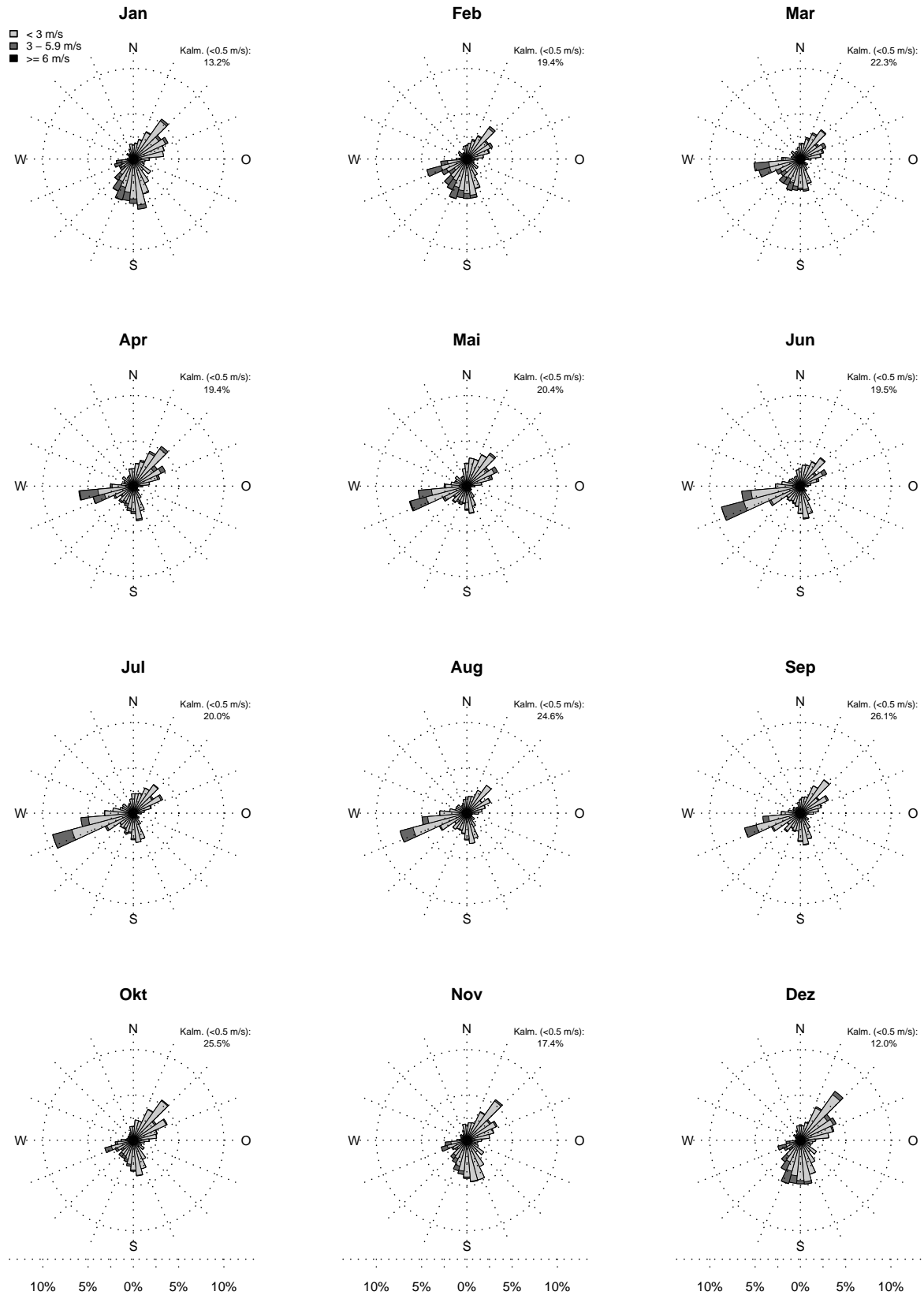


Abbildung 2.26: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Beznau auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

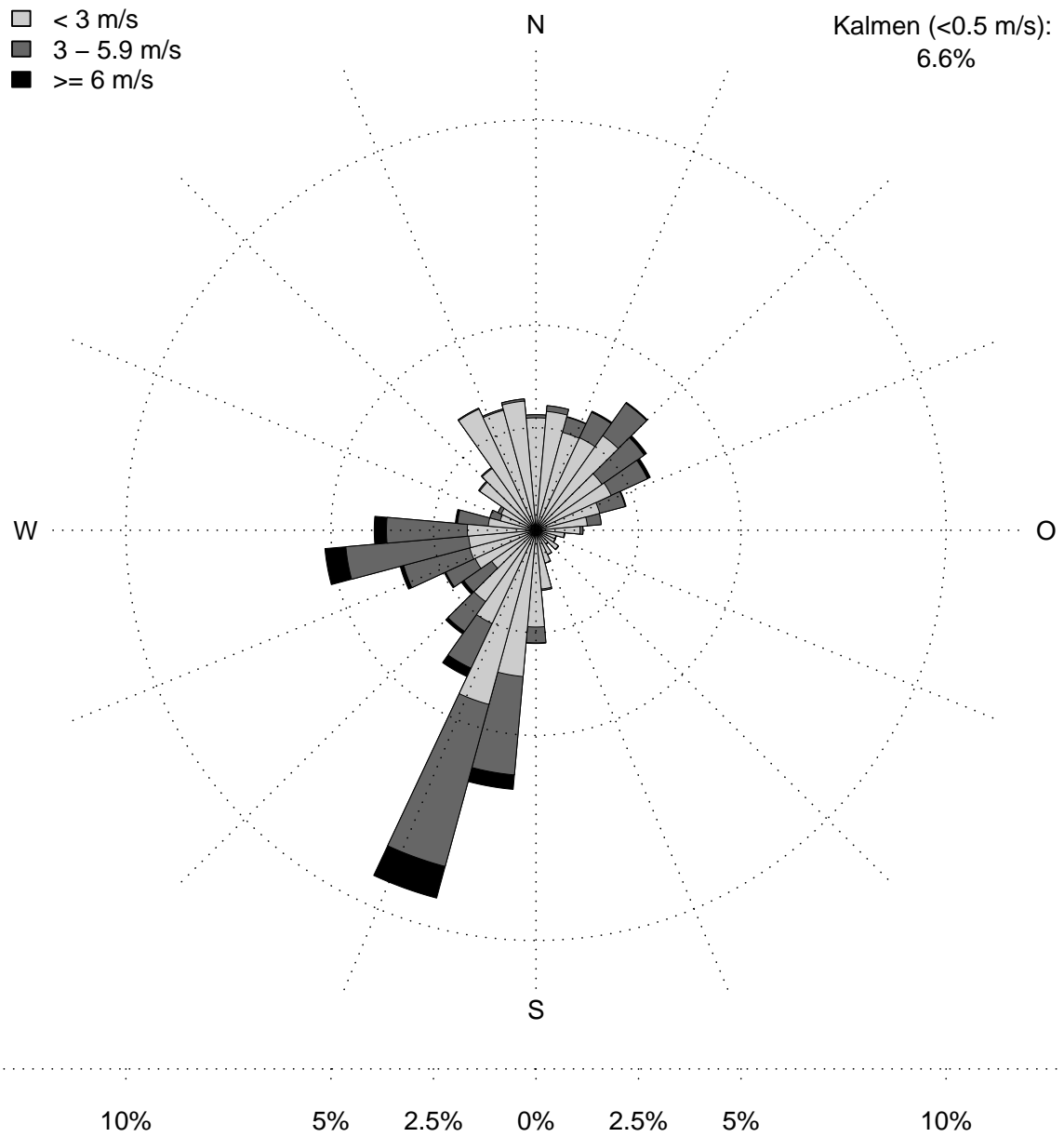


Abbildung 2.27: Mittlere jährliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Beznau auf dem Niveau 70 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

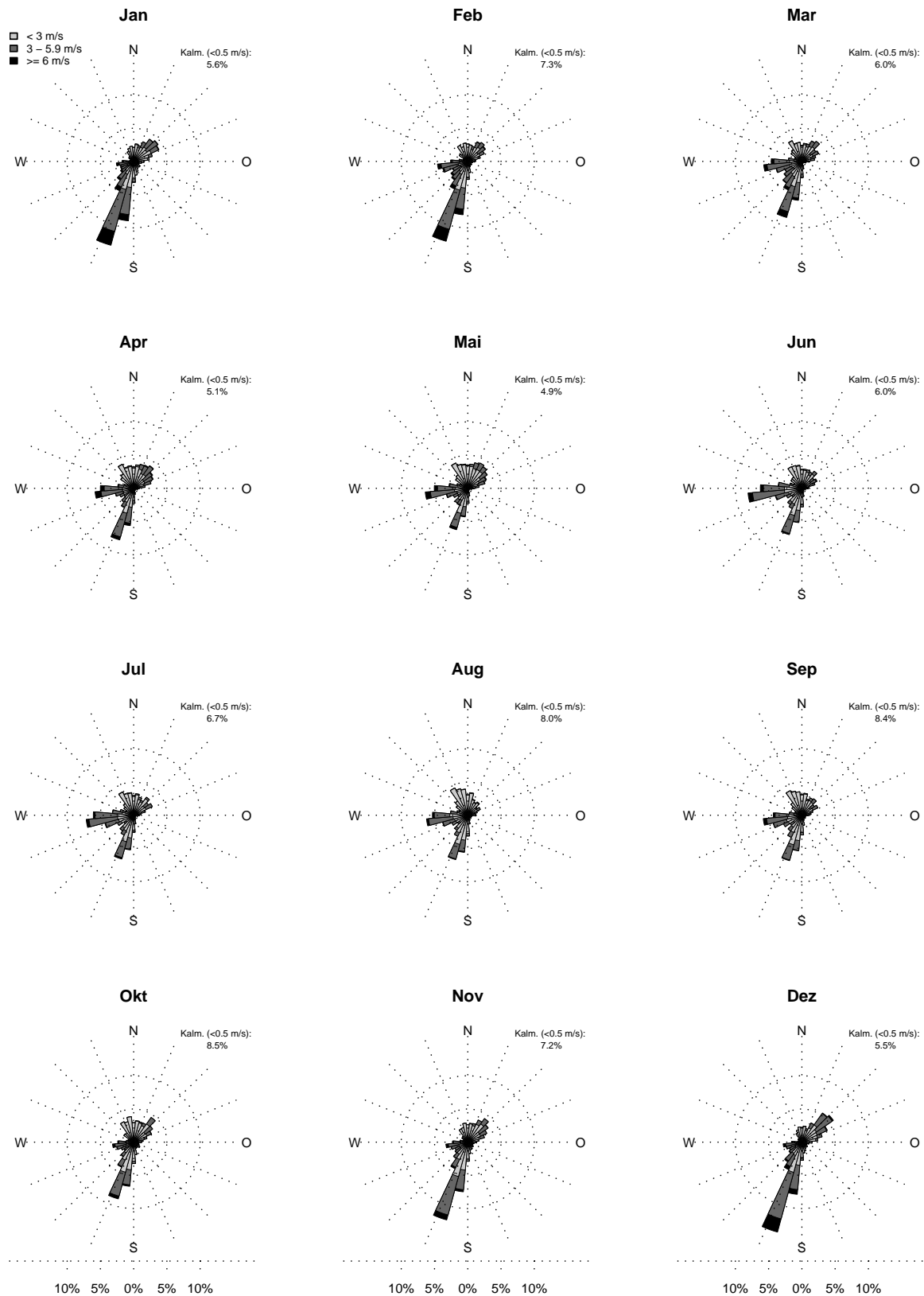


Abbildung 2.28: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Beznau auf dem Niveau 70 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. Die Grösse der Windrichtungsklassen beträgt 10 Grad. Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s (Kalmen) werden nicht dargestellt.

## 2.5 Ausbreitungsklassen

In Beznau treten die neutralen Ausbreitungsklassen C und D am häufigsten auf (~50%). Die instabilen Diffusionskategorien A und B machen im Jahresmittel knapp 20% und die stabilen Ausbreitungsklassen E und F gut 30% aller Fälle aus. Die Klassen A und B treten am Tag eindeutig häufiger auf als in der Nacht. Bei den Kategorien E und F 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 erfolgt anhand des vertikalen Temperaturgradienten und der mittleren Windgeschwindigkeit gemäss KTA 1508 [5] auf der Basis von Stundenmittelwerten. 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 neu aus den Stundenwerten der Turmdaten für die gesamte Messperiode von 1987 bis 2007 berechnet, da bis anhin eine unterschiedliche Berechnungsmethode verwendet wurde. Für knapp 2.5% 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 nahezu die Hälfte aller Datenwerte aus. Die instabilen Diffusionskategorien A und B erreichen einen Anteil von knapp 18% pro Jahr. Die Kategorie A tritt im Sommerhalbjahr deutlich häufiger auf als die Kategorie B, in den Wintermonaten Dezember und Januar ist es umgekehrt.

Die Tabelle 2.35 zeigt die absoluten Häufigkeiten der Diffusionskategorien am Standort Beznau 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, [8]) 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	%
Jan.	1009	7.1	1498	10.5	3787	26.7	4720	33.2	2154	15.2	1036	7.3
Feb.	993	7.1	1059	7.6	3329	23.9	4251	30.5	2378	17	1948	14
März	1473	9.4	1167	7.5	3251	20.8	4270	27.3	2448	15.7	3015	19.3
April	1878	12.5	1298	8.6	2979	19.8	3937	26.2	2047	13.6	2915	19.4
Mai	2092	13.4	1084	6.9	2607	16.7	4439	28.4	2420	15.5	2973	19
Juni	2049	14.3	922	6.4	2162	15.1	4336	30.3	2541	17.8	2286	16
Juli	2038	13.7	888	6	2271	15.3	4264	28.7	2932	19.2	2471	16.6
Aug.	2215	15	820	5.5	1897	12.8	3989	26.9	3242	21.9	2650	17.9
Sept.	1676	11.7	730	5.1	2016	14.1	4448	31.1	3212	22.4	2230	15.6
Okt.	1206	8.4	746	5.2	2643	18.4	5045	35.2	3014	21	1697	11.8
Nov.	826	6.2	909	6.8	3345	24.9	5017	37.4	2446	18.4	871	6.5
Dez.	989	6.3	1484	30.1	4290	30.1	4859	34.1	2018	14.2	694	4.9
Jahr	18444	11.1	12605	7.6	34577	20.7	53575	32.1	30852	18.5	24786	14.9

Tabelle 2.34: Absolute (Anzahl Stunden) und relative Häufigkeiten der Diffusionskategorien A bis F (1987 bis 2007) pro Monat und Jahr der Station Beznau.

Monat	Diffusionskategorien											
	A		B		C		D		E		F	
	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
Jan.	815	194	920	578	2129	1658	2246	2474	681	1473	304	732
Feb.	903	90	843	216	2063	1266	2068	2183	700	1678	401	1547
März	1415	58	1055	112	2392	859	2039	2231	600	1848	311	2704
April	1858	20	1215	83	2240	739	1795	2142	312	1735	108	2807
Mai	2030	62	1040	44	2092	515	2227	2212	344	2076	75	2898
Juni	2011	38	886	36	1781	381	2131	2205	261	2280	85	2201
Juli	2021	17	861	27	1963	308	2165	2099	343	2589	81	2390
Aug.	2189	26	796	24	1683	214	2163	1826	441	2801	151	2499
Sept.	1665	11	707	23	1698	318	2193	2255	545	2667	345	1885
Okt.	1162	44	637	109	1867	776	2353	2692	672	2342	486	1211
Nov.	733	93	690	219	2050	1295	2250	2767	702	1744	273	598
Dez.	668	230	944	540	2397	1893	2234	2625	655	1363	230	465
Jahr	17470	883	10594	2011	24355	10222	25864	27711	6256	24596	2850	21937

Tabelle 2.35: Absolute Häufigkeiten (Anzahl Stunden) der Diffusionskategorien A bis F (1987 bis 2007) pro Monat und Jahr unterschieden nach Tag (T) und Nacht (N) der Station Beznau.

## 2.5.2 Vierparametrische Ausbreitungsstatistik

Tabelle 2.36 bis Tabelle 2.59 zeigen die vierparametrische Ausbreitungsstatistik nach KTA 1508 [5] für die Station Beznau. 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	888	764	81	13	2	0	0	0	0	0	1.06	1748	1
	15-45	1392	1770	350	174	19	1	0	0	0	0	1.32	3706	2.2
	45-75	529	1242	977	684	126	5	0	0	0	0	2.19	3563	2.1
	75-105	326	592	373	187	1	0	0	0	0	0	1.77	1479	0.9
	105-135	275	267	28	2	0	0	0	0	0	0	1.04	572	0.3
	135-165	195	257	15	0	0	0	0	0	0	0	1.08	467	0.3
	165-195	222	564	403	393	146	7	0	0	0	0	2.5	1735	1
	195-225	156	233	113	157	65	7	0	0	0	0	2.39	731	0.4
	225-255	84	176	146	87	4	0	0	0	0	0	2	497	0.3
	255-285	129	248	286	238	10	0	0	0	0	0	2.29	911	0.5
	285-315	155	123	42	13	0	0	0	0	0	0	1.23	333	0.2
	315-345	247	193	29	6	1	0	0	0	0	0	1.07	476	0.3
	Summe	4598	6429	2843	1954	374	20	0	0	0	0		16218	
%		2.8	3.9	1.7	1.2	0.2	0	0	0	0	0			9.8

Tabelle 2.36: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (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	19	287	126	26	5	0	0	0	0	0	1.85	463	0.3
	15-45	36	586	494	330	76	4	0	0	0	0	2.49	1526	0.9
	45-75	16	556	895	592	202	13	0	0	0	0	2.88	2274	1.4
	75-105	9	368	330	153	9	1	0	0	0	0	2.26	870	0.5
	105-135	4	171	26	1	0	0	0	0	0	0	1.59	202	0.1
	135-165	1	192	53	2	0	0	0	0	0	0	1.73	248	0.1
	165-195	4	390	427	507	170	24	1	0	0	0	3.13	1523	0.9
	195-225	7	175	179	303	249	42	1	0	0	0	3.84	956	0.6
	225-255	8	123	280	221	20	0	0	0	0	0	2.76	652	0.4
	255-285	7	176	400	512	138	4	0	0	0	0	3.29	1237	0.7
	285-315	5	59	60	41	0	0	0	0	0	0	2.32	165	0.1
	315-345	9	88	35	15	0	0	0	0	0	0	1.9	147	0.1
	Summe		125	3171	3305	2703	869	88	2	0	0		10263	
	%		0.1	1.9	2	1.6	0.5	0.1	0	0	0			

Tabelle 2.37: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (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	556	550	160	72	7	1	0	0	0	0	1.32	1346	0.8
	15-45	641	701	593	1332	184	10	0	0	0	0	2.62	3461	2.1
	45-75	277	693	833	1887	347	34	1	0	0	0	3.12	4072	2.4
	75-105	241	452	312	257	2	0	0	0	0	0	1.97	1264	0.8
	105-135	208	274	21	0	0	0	0	0	0	0	1.08	503	0.3
	135-165	144	339	45	2	0	0	0	0	0	0	1.28	530	0.3
	165-195	173	720	714	1062	303	30	4	0	0	0	2.99	3006	1.8
	195-225	110	398	523	1410	601	102	8	0	0	0	3.74	3152	1.9
	225-255	45	351	842	1347	119	1	0	0	0	0	3.06	2705	1.6
	255-285	83	320	876	2566	594	67	4	0	0	0	3.66	4510	2.7
	285-315	101	152	130	123	7	0	0	0	0	0	2.11	513	0.3
	315-345	232	244	46	33	1	0	0	0	0	0	1.3	556	0.3
	Summe		2811	5194	5095	10091	2165	245	17	0	0		25618	
	%		1.7	3.1	3.1	6.1	1.3	0.1	0	0	0			

Tabelle 2.38: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (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	2125	1094	233	122	9	0	0	0	0	0	1.04	3583	2.2
	15-45	1616	887	568	877	174	8	0	0	0	0	1.91	4130	2.5
	45-75	589	610	438	759	212	20	1	0	0	0	2.5	2629	1.6
	75-105	567	357	188	83	4	0	0	0	0	0	1.31	1199	0.7
	105-135	535	248	21	0	0	0	0	0	0	0	0.81	804	0.5
	135-165	474	391	58	2	0	0	0	0	0	0	1.02	925	0.6
	165-195	743	1563	1110	1028	264	62	8	0	0	0	2.36	4778	2.9
	195-225	637	1556	1810	2336	741	265	44	4	0	0	3.09	7393	4.4
	225-255	177	606	1168	1316	300	37	2	0	0	0	3.01	3606	2.2
	255-285	290	495	1146	2630	1155	260	75	0	0	0	3.86	6051	3.6
	285-315	453	307	319	213	12	0	0	0	0	0	1.73	1304	0.8
	315-345	994	785	97	39	3	0	0	0	0	0	1.06	1918	1.2
	Summe	9200	8899	7156	9405	2874	652	130	4	0	0		38320	
	%	5.5	5.3	4.3	5.6	1.7	0.4	0.1	0	0	0			22.9

Tabelle 2.39: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (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	2915	1243	212	68	0	0	0	0	0	0	0.91	4438	2.7
	15-45	1178	571	313	181	2	0	0	0	0	0	1.27	2245	1.3
	45-75	293	288	205	66	0	0	0	0	0	0	1.53	852	0.5
	75-105	347	146	40	1	0	0	0	0	0	0	0.9	534	0.3
	105-135	309	88	5	0	0	0	0	0	0	0	0.71	402	0.2
	135-165	275	107	7	0	0	0	0	0	0	0	0.79	389	0.2
	165-195	1148	805	245	176	46	1	0	0	0	0	1.35	2421	1.5
	195-225	1559	1200	882	699	74	20	1	0	0	0	1.77	4435	2.7
	225-255	471	377	231	88	3	0	0	0	0	0	1.43	1170	0.7
	255-285	768	272	264	243	13	4	0	0	0	0	1.52	1564	0.9
	285-315	1590	337	121	47	1	0	0	0	0	0	0.83	2096	1.3
	315-345	2515	1765	75	10	0	0	0	0	0	0	0.92	4365	2.6
	Summe	13368	7199	2600	1579	139	25	1	0	0	0		24911	
	%	8	4.3	1.6	0.9	0.1	0	0	0	0	0			14.9

Tabelle 2.40: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (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	1878	1634	413	61	0	0	0	0	0	0	1.15	3986	2.4
	15-45	711	603	185	27	0	0	0	0	0	0	1.17	1526	0.9
	45-75	237	299	99	7	0	0	0	0	0	0	1.28	642	0.4
	75-105	230	136	9	0	0	0	0	0	0	0	0.91	375	0.2
	105-135	185	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0.74	248	0.1
	135-165	185	55	1	0	0	0	0	0	0	0	0.76	241	0.1
	165-195	769	550	159	50	3	0	0	0	0	0	1.16	1531	0.9
	195-225	1194	843	414	175	18	1	0	0	0	0	1.36	2645	1.6
	225-255	489	371	162	44	0	0	0	0	0	0	1.25	1066	0.6
	255-285	800	316	190	53	1	0	0	0	0	0	1.13	1360	0.8
	285-315	1535	781	115	10	0	0	0	0	0	0	0.93	2441	1.5
	315-345	2210	3921	152	2	0	0	0	0	0	0	1.11	6285	3.8
	Summe	10423	9572	1899	429	22	1	0	0	0	0		22346	
	%	6.3	5.7	1.1	0.3	0	0	0	0	0	0			13.4

Tabelle 2.41: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (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	23	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	39	0
	15-45	32	22	4	1	0	0	0	0	0	0	1.03	59	0
	45-75	11	10	2	0	1	0	0	0	0	0	1.32	24	0
	75-105	7	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1.07	12	0
	105-135	10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1.01	12	0
	135-165	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.97	6	0
	165-195	7	10	5	10	7	2	0	0	0	0	2.96	41	0
	195-225	5	10	14	25	17	1	0	0	0	0	3.56	72	0
	225-255	5	5	14	15	4	0	0	0	0	0	2.94	43	0
	255-285	3	6	11	18	5	1	0	0	0	0	3.24	44	0
	285-315	3	6	1	1	0	0	0	0	0	0	1.51	11	0
	315-345	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1.16	8	0
	Summe	114	95	53	71	34	4	0	0	0	0		371	
	%	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0			0.2

Tabelle 2.42: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (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	8	6	0	0	0	0	0	0	0	1.86	14	0
	15-45	0	13	10	1	1	0	0	0	0	0	2.22	25	0
	45-75	0	4	10	4	0	0	0	0	0	0	2.52	18	0
	75-105	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2.55	2	0
	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	135-165	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	1	0
	165-195	0	3	7	14	14	6	1	0	0	0	4.68	45	0
	195-225	0	8	27	108	62	8	0	0	0	0	4.38	213	0.1
	225-255	0	17	46	65	19	0	0	0	0	0	3.43	147	0.1
	255-285	0	4	24	60	43	3	0	0	0	0	4.29	134	0.1
	285-315	0	2	4	2	0	0	0	0	0	0	2.67	8	0
	315-345	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1.7	5	0
	Summe	0	64	137	254	139	17	1	0	0	0		612	
	%	0	0	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0			0.4

Tabelle 2.43: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (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	59	37	18	3	0	0	0	0	0	0	1.2	117	0.1
	15-45	50	40	36	52	10	0	0	0	0	0	2.28	188	0.1
	45-75	18	30	9	14	0	0	0	0	0	0	1.81	71	0
	75-105	12	10	3	0	0	0	0	0	0	0	1	25	0
	105-135	9	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0.96	14	0
	135-165	9	10	1	1	0	0	0	0	0	0	1.13	21	0
	165-195	12	29	29	127	68	16	2	0	0	0	4.09	283	0.2
	195-225	7	34	109	474	167	32	7	0	0	0	4.18	830	0.5
	225-255	5	37	143	412	64	5	0	0	0	0	3.58	666	0.4
	255-285	11	40	81	326	158	39	6	0	0	0	4.25	661	0.4
	285-315	12	18	9	12	1	0	0	0	0	0	2.11	52	0
	315-345	25	20	2	1	0	0	0	0	0	0	1.03	48	0
	Summe	229	308	442	1422	468	92	15	0	0	0		2976	
	%	0.1	0.2	0.3	0.9	0.3	0.1	0	0	0	0			1.9

Tabelle 2.44: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (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	271	106	34	17	1	0	0	0	0	0	1.04	429	0.3
	15-45	148	59	40	35	3	0	0	0	0	0	1.44	285	0.2
	45-75	46	24	9	6	1	0	0	0	0	0	1.28	86	0.1
	75-105	52	13	4	1	0	0	0	0	0	0	0.81	70	0
	105-135	47	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0.73	55	0
	135-165	43	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0.9	66	0
	165-195	116	212	181	170	44	10	2	0	0	0	2.42	735	0.4
	195-225	137	370	544	715	177	66	25	1	0	0	3.18	2035	1.2
	225-255	32	130	210	227	78	10	4	0	0	0	3.11	691	0.4
	255-285	48	63	99	199	133	21	4	0	0	0	3.7	567	0.3
	285-315	58	56	29	21	0	0	0	0	0	0	1.59	164	0.1
	315-345	118	99	18	5	0	0	0	0	0	0	1.06	240	0.1
	Summe	1116	1160	1170	1397	437	107	35	1	0	0		5423	
	%	0.7	0.7	0.7	0.8	0.3	0.1	0	0	0	0			3.3

Tabelle 2.45: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (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	83	56	7	3	0	0	0	0	0	0	1	149	0.1
	15-45	47	11	4	3	0	0	0	0	0	0	0.95	65	0
	45-75	8	6	3	0	0	0	0	0	0	0	1.14	17	0
	75-105	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.64	23	0
	105-135	29	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0.65	33	0
	135-165	30	13	1	1	0	0	0	0	0	0	0.92	45	0
	165-195	84	89	29	16	0	0	0	0	0	0	1.39	218	0.1
	195-225	125	205	174	130	7	3	0	0	0	0	2.06	644	0.4
	225-255	36	45	41	22	2	1	0	0	0	0	1.88	147	0.1
	255-285	44	43	17	12	1	1	0	0	0	0	1.57	118	0.1
	285-315	55	40	9	1	0	0	0	0	0	0	1.06	105	0.1
	315-345	76	56	16	2	0	0	0	0	0	0	1.12	150	0.1
	Summe	637	570	302	190	10	5	0	0	0	0		1714	
	%	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0			1

Tabelle 2.46: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (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	14	6	2	0	0	0	0	0	0	0	1.02	22	0
	15-45	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72	6	0
	45-75	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.85	2	0
	75-105	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	2	0
	105-135	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.77	3	0
	135-165	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.25	4	0
	165-195	6	15	9	0	0	0	0	0	0	0	1.5	30	0
	195-225	14	44	39	15	1	0	0	0	0	0	1.97	113	0.1
	225-255	6	17	11	0	0	0	0	0	0	0	1.59	34	0
	255-285	5	12	8	2	0	0	0	0	0	0	1.72	27	0
	285-315	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0	1.28	12	0
	315-345	10	11	1	0	0	0	0	0	0	0	1.08	22	0
	Summe	74	112	73	17	1	0	0	0	0	0		277	
	%	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0			0.1

Tabelle 2.47: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (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	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	4	0
	15-45	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0.84	13	0
	45-75	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	4	0
	75-105	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	9	0
	105-135	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.27	4	0
	135-165	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1	0
	165-195	1	1	9	13	10	0	0	0	0	0	3.98	34	0
	195-225	2	3	14	51	19	1	0	0	0	0	3.92	90	0.1
	225-255	1	2	10	14	0	0	0	0	0	0	2.98	27	0
	255-285	4	3	5	12	4	0	0	0	0	0	3.19	28	0
	285-315	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.4	3	0
	315-345	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.95	2	0
	Summe	36	17	40	92	33	1	0	0	0	0		219	
	%	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0			0.1

Tabelle 2.48: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (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	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.67	3	0
	15-45	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2.13	6	0
	45-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	105-135	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9	1	0
	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	165-195	0	3	1	27	9	6	1	0	0	0	0	4.72	47	0
	195-225	0	5	25	106	78	12	0	0	0	0	0	4.6	226	0.1
	225-255	0	3	27	58	18	0	0	0	0	0	0	3.81	106	0.1
	255-285	0	1	18	48	43	7	0	0	0	0	0	4.66	117	0.1
	285-315	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2.15	4	0
	315-345	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.67	3	0
	Summe	0	23	77	239	148	25	1	0	0	0	0		513	
	%	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0			0.2

Tabelle 2.49: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (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	28	32	10	6	2	0	0	0	0	0	1.48	78	0
	15-45	26	19	14	18	2	0	0	0	0	0	1.99	79	0
	45-75	13	6	6	0	0	0	0	0	0	0	1.18	25	0
	75-105	9	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0.97	14	0
	105-135	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	6	0
	135-165	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1.28	11	0
	165-195	7	16	14	58	46	14	1	0	0	0	4.41	156	0.1
	195-225	1	17	74	443	180	32	6	0	0	0	4.35	753	0.5
	225-255	2	22	87	276	52	6	0	0	0	0	3.71	445	0.3
	255-285	2	14	58	271	117	34	6	0	0	0	4.5	502	0.3
	285-315	10	20	11	14	1	0	0	0	0	0	2.22	56	0
	315-345	7	11	6	1	0	0	0	0	0	0	1.46	25	0
	Summe	115	167	282	1087	400	86	13	0	0	0		2150	
	%	0.1	0.1	0.2	0.7	0.2	0.1	0	0	0	0			1.4

Tabelle 2.50: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (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	142	83	39	18	2	0	0	0	0	0	1.26	284	0.2
	15-45	69	40	34	24	7	0	0	0	0	0	1.75	174	0.1
	45-75	19	21	11	2	0	0	0	0	0	0	1.45	53	0
	75-105	19	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	27	0
	105-135	22	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.68	30	0
	135-165	29	26	4	1	0	0	0	0	0	0	1.07	60	0
	165-195	74	159	160	137	37	14	1	0	0	0	2.6	582	0.3
	195-225	62	240	408	592	212	65	10	0	0	0	3.44	1589	1
	225-255	14	98	169	197	74	12	0	0	0	0	3.28	564	0.3
	255-285	26	64	99	177	86	30	5	2	0	0	3.77	489	0.3
	285-315	33	32	22	19	1	0	0	0	0	0	1.78	107	0.1
	315-345	55	67	15	9	0	0	0	0	0	0	1.3	146	0.1
	Summe	564	846	961	1176	419	121	16	2	0	0		4105	
	%	0.3	0.5	0.6	0.7	0.3	0.1	0	0	0	0			2.5

Tabelle 2.51: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (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	49	23	14	3	1	0	0	0	0	0	1.17	90	0.1
	15-45	17	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0.95	30	0
	45-75	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	1.29	12	0
	75-105	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	13	0
	105-135	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91	11	0
	135-165	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.88	6	0
	165-195	44	71	22	8	2	0	0	0	0	0	1.51	147	0.1
	195-225	49	150	115	90	14	2	0	0	0	0	2.28	420	0.3
	225-255	17	55	28	18	2	1	0	0	0	0	1.94	121	0.1
	255-285	25	24	10	22	5	1	1	0	0	0	2.26	88	0.1
	285-315	30	29	10	4	0	0	0	0	0	0	1.33	73	0
	315-345	30	45	10	0	0	0	0	0	0	0	1.18	85	0.1
	Summe	288	419	213	147	24	4	1	0	0	0		1096	
	%	0.2	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0			0.7

Tabelle 2.52: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (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	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.02	4	0
	15-45	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	3	0
	45-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	135-165	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.16	5	0
	165-195	5	8	1	1	0	0	0	0	0	0	1.48	15	0
	195-225	7	25	21	8	1	0	0	0	0	0	2.08	62	0
	225-255	1	8	12	3	0	0	0	0	0	0	2.07	24	0
	255-285	1	3	2	1	2	0	0	0	0	0	2.91	9	0
	285-315	1	7	3	1	0	0	0	0	0	0	1.82	12	0
	315-345	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0	1.71	8	0
	Summe	24	59	41	15	3	0	0	0	0	0		142	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.53: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Bezau (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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	165-195	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	4.18	5	0
	195-225	0	3	5	16	2	0	0	0	0	0	3.57	26	0
	225-255	0	1	1	10	1	3	0	0	0	0	4.31	16	0
	255-285	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3.85	2	0
	285-315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	Summe	0	4	7	31	4	3	0	0	0	0		49	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.54: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Bezau (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	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.5	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	165-195	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	4.95	2	0
	195-225	0	0	3	13	5	2	0	0	0	0	4.5	23	0
	225-255	0	0	1	8	9	2	0	0	0	0	5.07	20	0
	255-285	0	0	4	6	10	5	1	0	0	0	5.67	26	0
	285-315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	Summe	0	0	10	27	24	10	1	0	0	0		72	
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Tabelle 2.55: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (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	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.37	3	0
	15-45	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1.34	5	0
	45-75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1	0
	75-105	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1.95	2	0
	105-135	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.8	1	0
	135-165	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2.65	2	0
	165-195	1	2	2	6	2	0	0	0	0	0	3.75	13	0
	195-225	0	2	15	30	14	4	1	0	0	0	4.28	66	0
	225-255	0	0	6	27	7	5	0	0	0	0	4.51	45	0
	255-285	0	1	2	31	22	9	2	0	0	0	5.19	67	0
	285-315	0	1	1	5	1	0	0	0	0	0	3.74	8	0
	315-345	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3.15	2	0
	Summe	4	14	29	101	46	18	3	0	0	0		215	
	%	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0			0.1

Tabelle 2.56: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (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	6	8	5	3	1	0	0	0	0	0	1.94	23	0
	15-45	5	10	2	2	0	0	0	0	0	0	1.75	19	0
	45-75	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1.55	4	0
	75-105	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	2	0
	105-135	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1.9	3	0
	135-165	0	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1.8	6	0
	165-195	4	16	15	7	3	0	0	0	0	0	2.39	45	0
	195-225	6	16	41	59	22	8	2	0	0	0	3.66	154	0.1
	225-255	2	14	24	43	14	4	1	0	0	0	3.59	102	0.1
	255-285	0	13	24	41	12	5	1	0	0	0	3.7	96	0.1
	285-315	3	7	6	12	3	0	0	0	0	0	2.81	31	0
	315-345	5	7	7	3	1	0	0	0	0	0	1.95	23	0
	Summe		35	97	128	171	56	17	4	0	0		508	
	%		0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0			

Tabelle 2.57: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Bezau (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	4	3	8	2	0	0	0	0	0	0	1.87	17	0
	15-45	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1.36	5	0
	45-75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1	0
	75-105	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.15	2	0
	105-135	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1	0
	135-165	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	2	0
	165-195	5	10	0	2	1	0	0	0	0	0	1.63	18	0
	195-225	1	9	3	7	2	0	0	0	0	0	2.63	22	0
	225-255	3	5	8	7	1	0	0	0	0	0	2.41	24	0
	255-285	0	5	5	5	2	1	0	0	0	0	3.15	18	0
	285-315	1	6	7	4	0	0	0	0	0	0	2.31	18	0
	315-345	0	5	4	1	0	0	0	0	0	0	2.05	10	0
	Summe		18	50	35	28	6	1	0	0	0		138	
%		0	0	0	0	0	0	0	0	0				0

Tabelle 2.58: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Bezau (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	0	1	0	0	0	0	0	0	3.1	1	0
	15-45	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.1	1	0
	45-75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1	0
	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	165-195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0
	195-225	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2.78	5	0
	225-255	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	4.2	2	0
	255-285	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0
	285-315	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.4	1	0
	315-345	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3.85	2	0
	Summe		1	2	4	6	1	0	0	0	0		14	
	%		0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

*Tabelle 2.59: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (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 Beznau der Periode 2000 bis 2007 beträgt ca. 1.0 Blitze/km<sup>2</sup>. Dieser Wert liegt etwas unterhalb der jährlichen Durchschnittswerte des schweizerischen Mittellandes von ca. 1.5 Blitzen/km<sup>2</sup>. Die höchste jährliche Blitzdichte betrug 2.6 km<sup>2</sup>. 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 Erdblitzten 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  $\text{km}^2$  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/ $\text{km}^2$ . 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/ $\text{km}^2$ ), entlang der nördlichen Voralpen sowie im Jura (je 2 bis 3.5 Blitze/ $\text{km}^2$ ). Damit widerspiegelt die Blitzdichteverteilung die klimatologisch bekannte, orographische bedingte Gewitterverteilung [16]. Daher werden die Auswertungen trotz der für klimatologische Analysen relativ

kurzen Datengrundlage als repräsentativ erachtet. 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/km<sup>2</sup> verzeichnet.

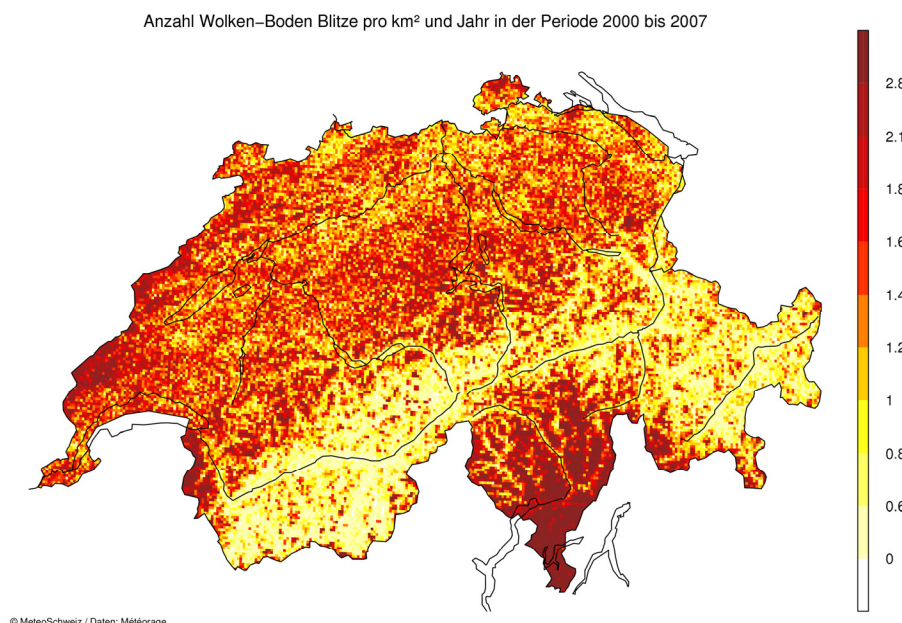


Abbildung 2.29: Räumliche Verteilung der Wolken-Boden Blitze in der Periode 2000 bis 2007. Ausgewertet wurden die eigentlichen Blitzereignisse. Zur besseren Visualisierung der regionalen Unterschiede wurden die Blitze in 10 gleich grosse Klassen unterteilt (10%-Quantile).

### Blitzdichte am Standort Beznau

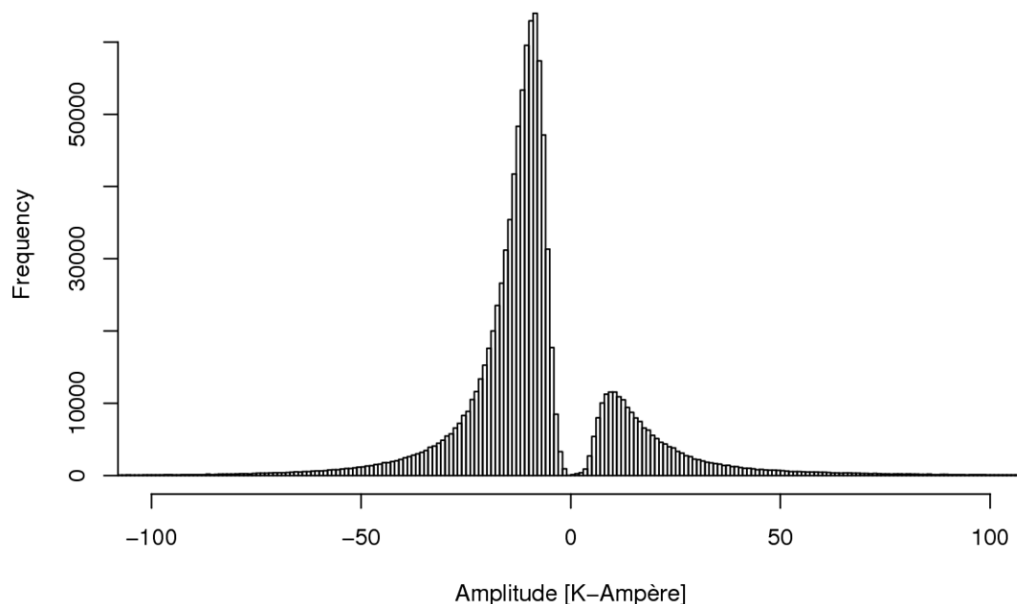
Für die Auswertung der Blitzdichte am Standort Beznau wurde die Periode 2000 bis 2007 verwendet. Die daraus resultierende Verteilung der Blitzdichte wird, wie bereits erwähnt, als repräsentativ erachtet. Dennoch verbleibt eine gewisse Zufälligkeit im Auftreten der Blitze. Um das Risiko zu reduzieren einen zufällig tiefen bzw. hohen Gitterpunkt für den effektiven Wert am Standort Beznau 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 km<sup>2</sup> (5\*5 km) für die Berechnung der Blitzdichte am Standort Beznau verwendet. Tabelle 2.60 zeigt die mittlere Blitzdichte der Periode 2000 bis 2007 am Standort KKW-Beznau sowie die tiefste bzw. höchste jährliche Blitzdichte in dieser Zeitspanne.

Standort KKW-Beznau	Tiefster Jahreswert	Mittlerer Jahreswert	Höchster Jahreswert
Blitzdichte: Anzahl/ km <sup>2</sup>	0.5	1.0	2.6

Tabelle 2.60: Blitzdichte am Standort KKW-Beznau 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 Blitze 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 Beznau treten im Durchschnitt pro Jahr ca. 2 Tage auf, an denen Hagel möglich ist. Dieser Wert liegt leicht unter 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 hagelempfindlichere 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.

#### Hagelgefahr

-  gering
-  leicht erhöht
-  erhöht
-  sehr schwer

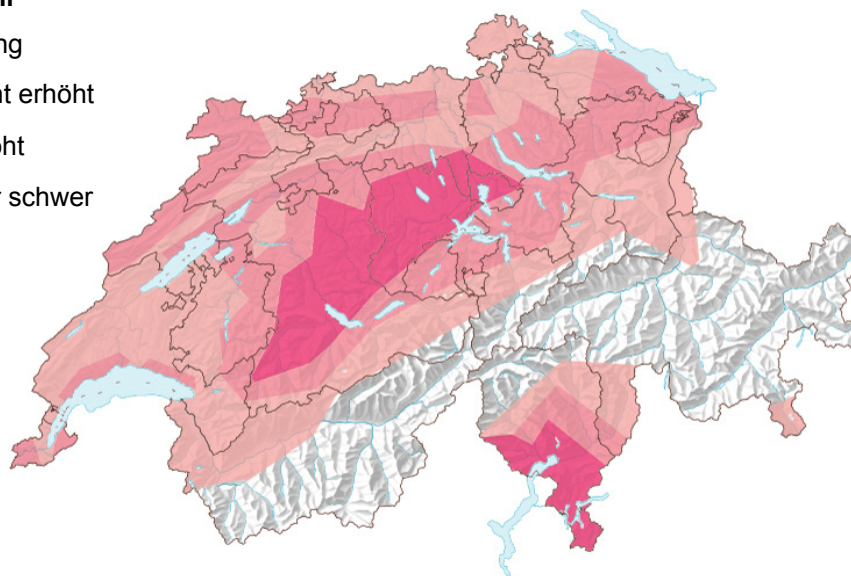


Abbildung 2.31: Die Regionen in der Schweiz mit Hagelgefahr. Die Gefahrenstufen (gering, leicht erhöht, erhöht, sehr schwer) basieren auf langjährigen Schadenserhebungen der Schweizerischen Hagel-Versicherungs-Gesellschaft. Karte: Schweizerische Hagel-Versicherungs-Gesellschaft.

## 2.7.4 Die Auftretenshäufigkeit auf dem Gemeindegebiet des Standortes Beznau

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 (Wahrscheinlichkeit für Hagel) [21].

Für die Hagelanalyse am Standort Beznau 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.

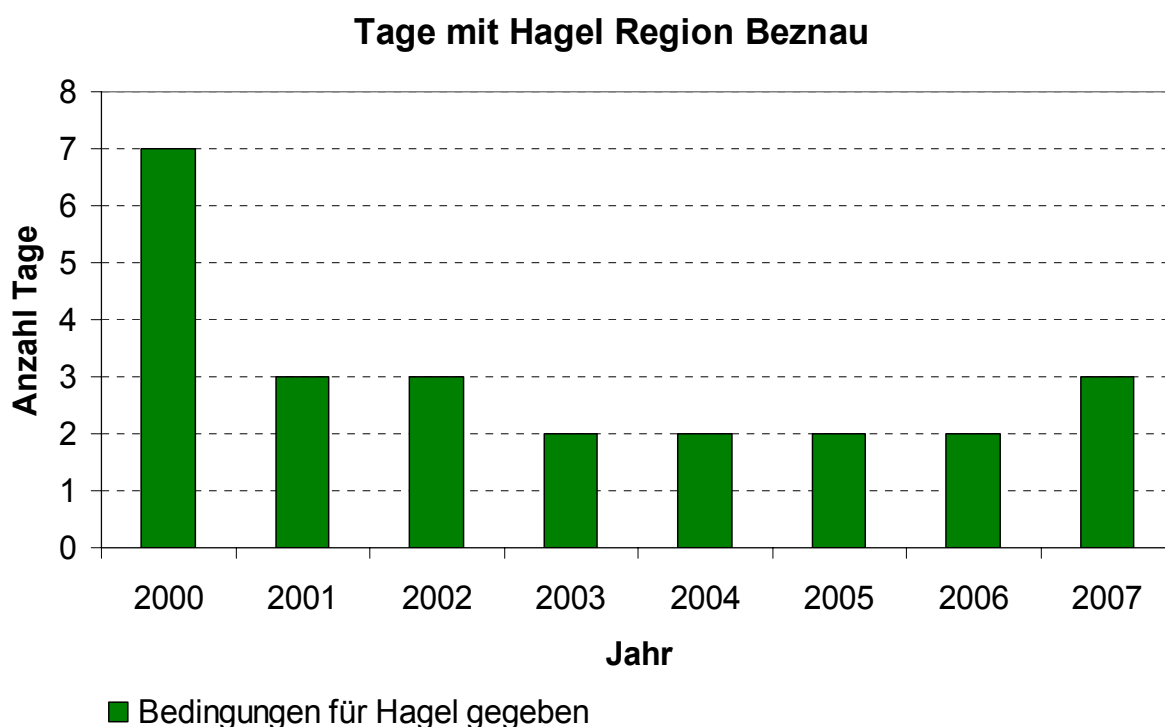


Abbildung 2.32: Anzahl Tage mit Hagel auf dem Gemeindegebiet des Standortes Beznau für die Jahre 2000 bis 2007.

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 1961-2004 auf Gemeindeebene festgehalten. Die Gemeinde Döttingen weist in diesem Zeitraum 24 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 ein 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 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 Basel/Binningen und Buchs/Aarau 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; es wurde einen Wert von 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.

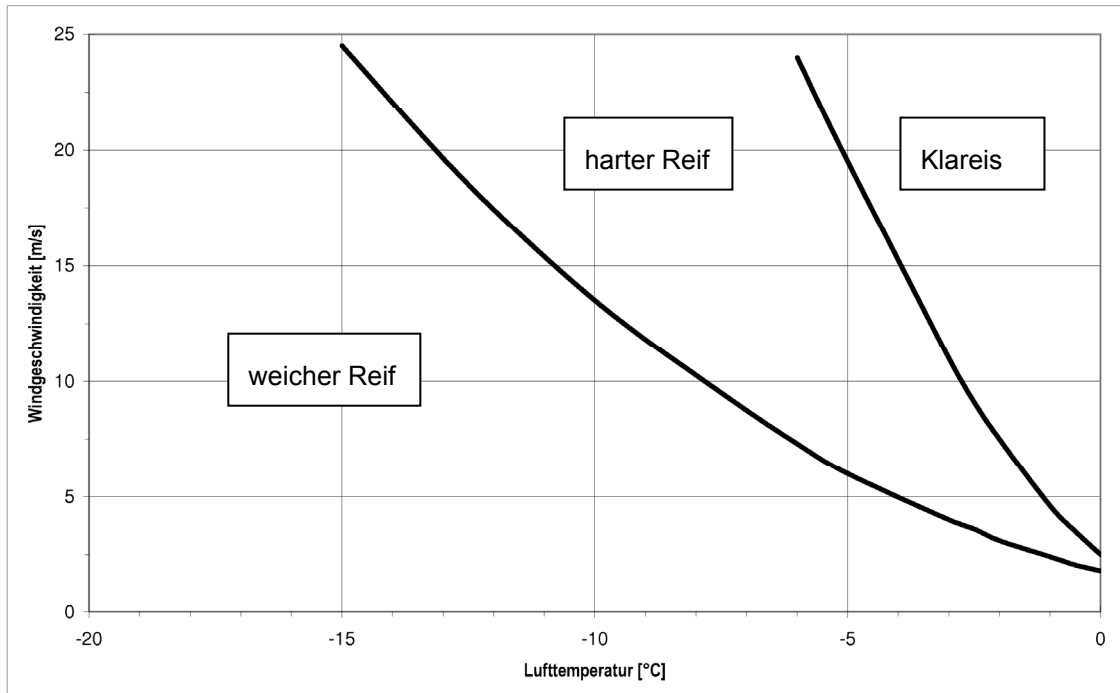


Abbildung 2.33: Eistypen bei Bildung in Nebel oder Wolken als Funktion der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur. Mit steigendem Flüssigwasser-Gehalt verschieben sich die Kurven nach links (aus [28]).

Bei Versuchen die am Institut für Schnee und Lawinenforschung in Davos (SLF) durchgeführt wurden, konnte eine maximale Reifmenge bei  $-12\text{ °C}$  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  $0.1\text{ °C}$ .

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 <sup>3</sup> ]	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	Niederschlagsform	Feuchttemperatur [°C]	Niederschlagsintensität [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	Lufttemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Tröpfchengrösse	Wassergehalt der Luftmasse	Typische Ereignislänge
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 der Kernkraftwerke Beznau wurde anhand von Daten der Messstationen Basel/Binningen (1981 bis 2008) und Buchs/Aarau (1984 bis 2008) durchgeführt. Die Messstation in Buchs/Aarau ist 22 km entfernt und gegenüber dem Kraftwerksstandort der auf 327 m ü. M. liegt 60 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 in Beznau und Buchs/Aarau 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.

Um die räumlichen Unterschiede aufzuzeigen, sind in Tabelle 2.65 die Resultate von Basel/Binningen denjenigen von Buchs/Aarau gegenübergestellt. Von Buchs/Aarau liegen nur Daten seit dem 22. Mai 1984 um 14:00 UTC vor.

Die Verhältnisse in Beznau sind eher denjenigen von Buchs/Aarau vergleichbar. Hier schränkt die relative Feuchte die potenziellen Vereisungssituationen auf 1.0% aller verfügbaren Stundenwerte (ca. 214'000) bezogen auf die 98% Grenze ein (7.0% über 95%).

Seit Mai 1984 trat bei 12.2% aller Stundenwerte eine minimale Temperatur unter dem Gefrierpunkt auf. Aus der Kombination von Temperatur und Feuchte verbleiben 226 Stunden oder 0.1% mit Verhältnissen für Vereisungssituationen. Bei diesen Situationen war es meist nahezu windstill. Die maximal aufgetretene Windgeschwindigkeit betrug 2.1 m/s. Am Standort Beznau ist im Mittel mit 2 bis 3 Situationen pro Winter zu rechnen bei denen die meteorologischen Bedingungen für Vereisungen erfüllt sind. Meist dauern solche Ereignisse mehrere Stunden.

Station	Basel/Binningen		Buchs/Aarau	
	Anzahl Stunden	Prozent	Anzahl Stunden	Prozent
Relative Feuchte > 98%	992	0.4	2187	1.0
Relative Feuchte > 95%	9541	3.9	15074	7.0
Temperatur Mittel < 0°C	22478	9.2	24240	11.3
Temperatur Minimum < 0°C	24285	10.0	26162	12.2
Feuchte > 98% und Temperaturmittel < 0°C	176	0.07	226	0.1

*Tabelle 2.65: Vergleich der Auswertung der Stundendaten von Basel/Binningen und Buchs/Aarau.*

### 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/m<sup>2</sup> treten etwa alle 100 Jahre auf.

### 2.9.1 Definitionen 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.

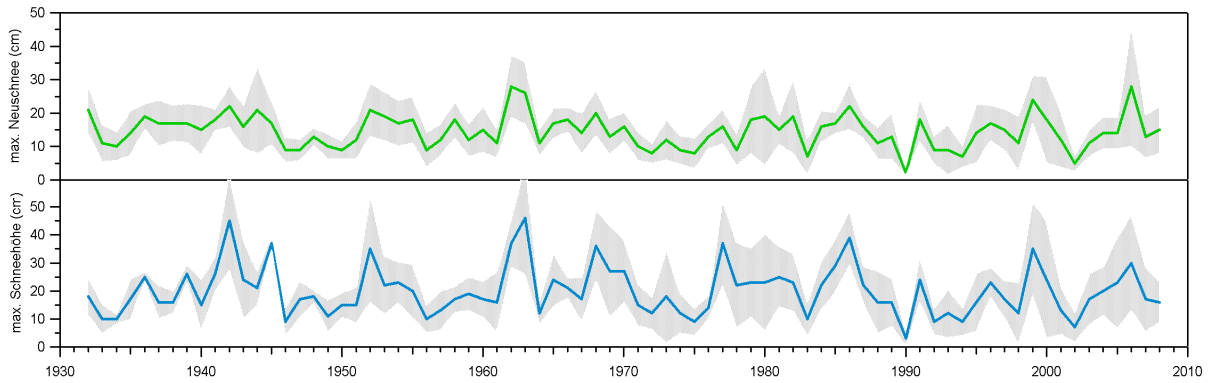


Abbildung 2.34: Maximale Neuschnee- und Gesamtschneehöhe pro Jahr in den letzten 70 Jahren im Schweizer Mittelland. Die grau schraffierte Fläche gibt die Standardabweichung der verwendeten Stationen wieder.

### 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.

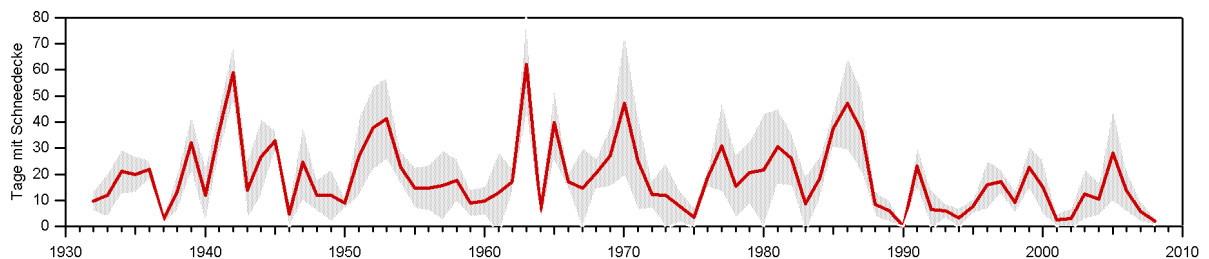


Abbildung 2.35: Jährliche Anzahl Tage mit Schneedecke im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren. Die grau schraffierte Fläche gibt die Standardabweichung der verwendeten Stationen wieder.

### 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.

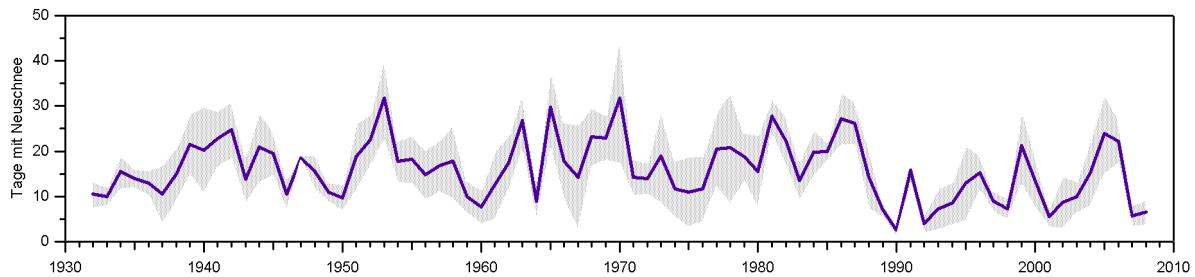


Abbildung 2.36: Jährliche Anzahl Tage mit Neuschnee im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren. Die grau schraffierte Fläche gibt die Standardabweichung der verwendeten Stationen wieder.

### 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  $0.9 \text{ kN/m}^2$ .

Laut dieser Norm beträgt der charakteristische Wert der Schneelast  $S_k$  am Standort Beznau mindestens  $0.9 \text{ kN/m}^2$ . Die Euronorm [33] 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  $0.15 \text{ kN/m}^2$  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  $0.81 \text{ kN/m}^2$  (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 Datenreihe 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.

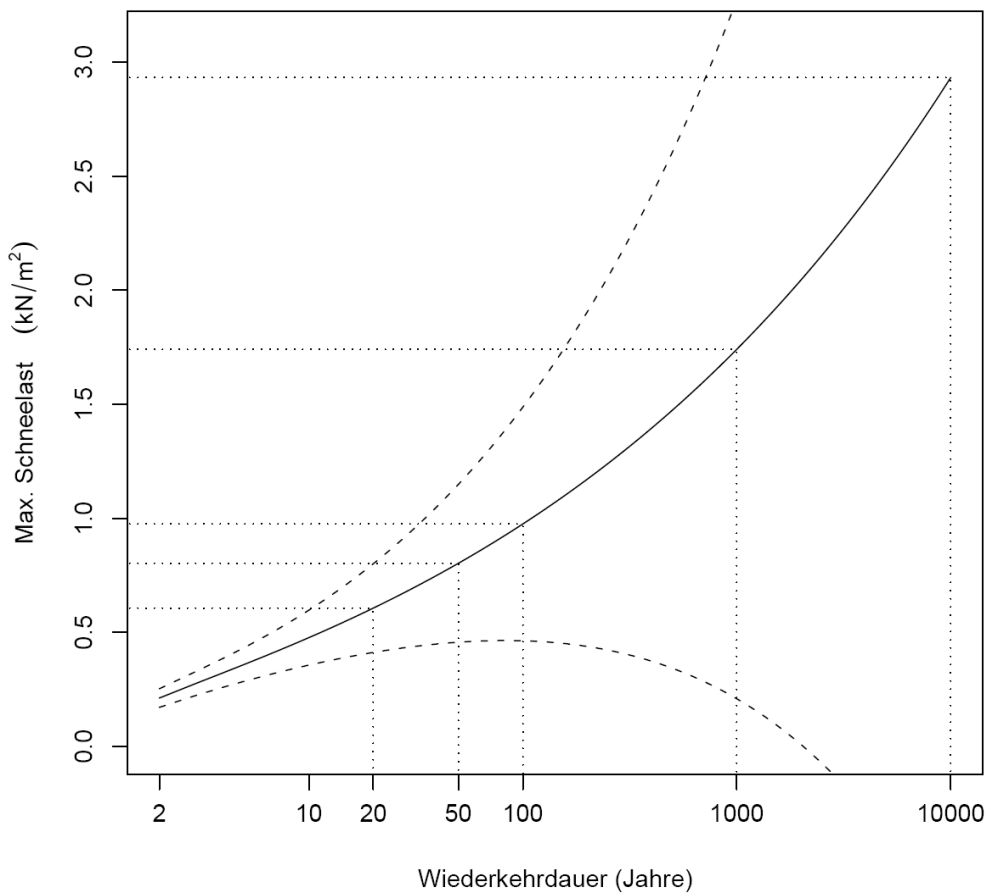


Abbildung 2.37: Extremwert-Diagramm für die Wiederkehrdauer von maximal auftretenden Schneelasten am Standort Beznau. Konfidenzintervalle sind nicht zuverlässig für Wiederkehrperioden die grösser sind als die zugrundeliegende Datenreihe selbst (vgl. Wiederkehrperiode > 100 Jahre). Eine Schneelast von ca.  $0.81 \text{ kN/m}^2$  hat an der Station Beznau eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren. Zusätzlich zeigt die obere Grenze des 95% Konfidenzintervalls, das bei 95% der möglichen Verteilungen eine Schneelast von beispielsweise  $0.81 \text{ kN/m}^2$  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 km<sup>2</sup> 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, eine 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 Vertikalgeschwindigkeit 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).

<b>Fujita-Skala</b>	<b>Windgeschwindigkeit</b>	<b>Schäden</b>
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.*



<b>TORRO-Skala</b>	<b>Windgeschwindigkeit</b>	<b>Schäden</b>
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 umgeworfen 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 umgeworfen 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. Krafffahrzeuge 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].

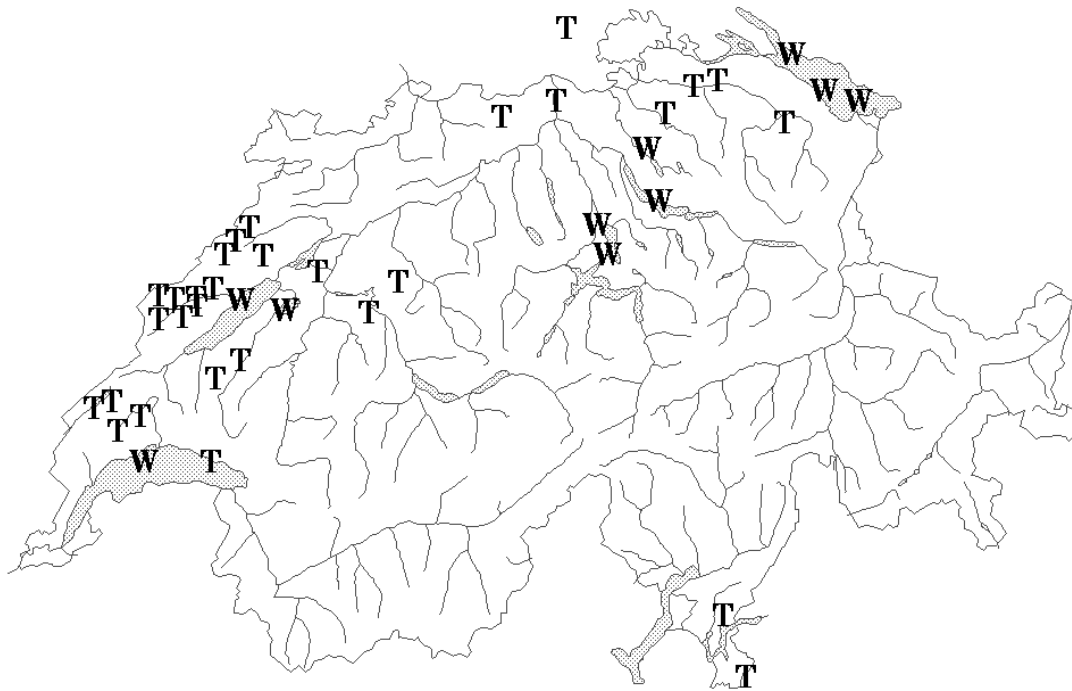


Abbildung 2.38: Registrierte Tornados (T) in der Schweiz. Mit W sind registrierte Tornados über Wasserflächen festgehalten, welche im Volksmund oft als „Wasserhosen“ bezeichnet werden. Daten: Tordach 2003 [40], ergänzt mit Beobachtungen von MeteoSchweiz bis 2005.

### 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 geschleudert, 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 [38]. Der am Boden offenbar unsichtbare Schlauch legte einen Pfad von etwa 15 Kilometer zurück. Ein vom Gewitter überquerteter 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 bis Bodensee) sowie einer Höhe von rund 80 km. Die so definierte Region beläuft sich dann auf 13'000 km<sup>2</sup> (Abbildung 2.39). Die Lage des Kernkraftwerkes Beznau befindet sich innerhalb dieser definierten Region.

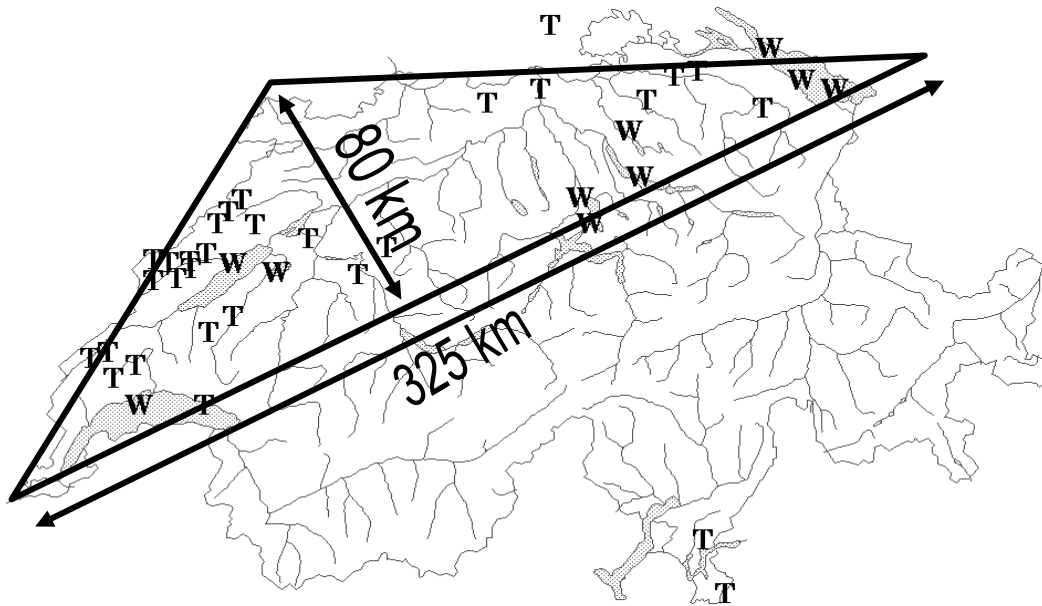


Abbildung 2.39: Die in der Nordschweiz von Tornados betroffene Region.

### Generelle Auftretenshäufigkeit

Aus der definierten Region sind 27 Tornadobeobachtungen über den Zeitraum von 115 Beobachtungsjahren (1890 bis 2005) verfügbar. 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 ( $\Phi_t$ ) in der definierten Region (13'000 km<sup>2</sup>) ergibt sich dann für dokumentierte Tornadoereignisse aus:

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

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km<sup>2</sup> alle 100'000 Jahre mit rund zwei Tornados gerechnet werden muss.

Analog ergibt sich eine Tornado-Auftretenshäufigkeit ( $\Phi_t$ ) 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 km<sup>2</sup> 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 ( $\Phi_{ts}$ ) in der definierten Region (13'000 km<sup>2</sup>) aus:

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

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km<sup>2</sup> 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 ( $\Phi_{ts}$ ) von:

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

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km<sup>2</sup> 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 ( $\Phi_t$ ) von 0.0002 Tornados pro Jahr und km<sup>2</sup>. Das bedeutet, dass in dieser definierten Region der USA pro km<sup>2</sup> 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).

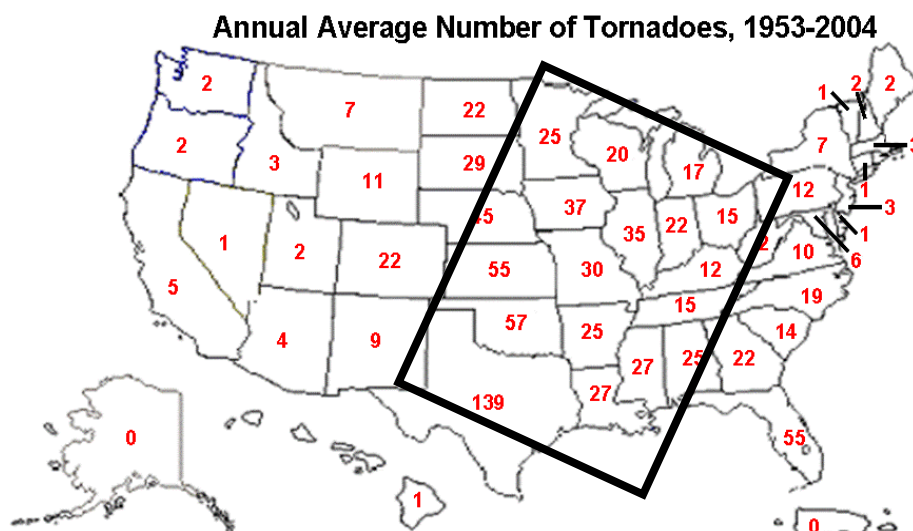


Abbildung 2.40: Jährliche Anzahl aller Tornados 1953 bis 2004 in den USA. Die schief liegende rechteckige Fläche (1500 km x 1800 km, 2.7 Mio. km<sup>2</sup>) zeigt die Region mit der grössten Tornado-Dichte. Aus: <http://wlf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/severeweather/tornadoes.html>

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 ( $\Phi_{ts}$ ) von 0.00006 Tornados pro Jahr und  $\text{km}^2$ . Das bedeutet, dass in dieser definierten Region der USA pro  $\text{km}^2$  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).

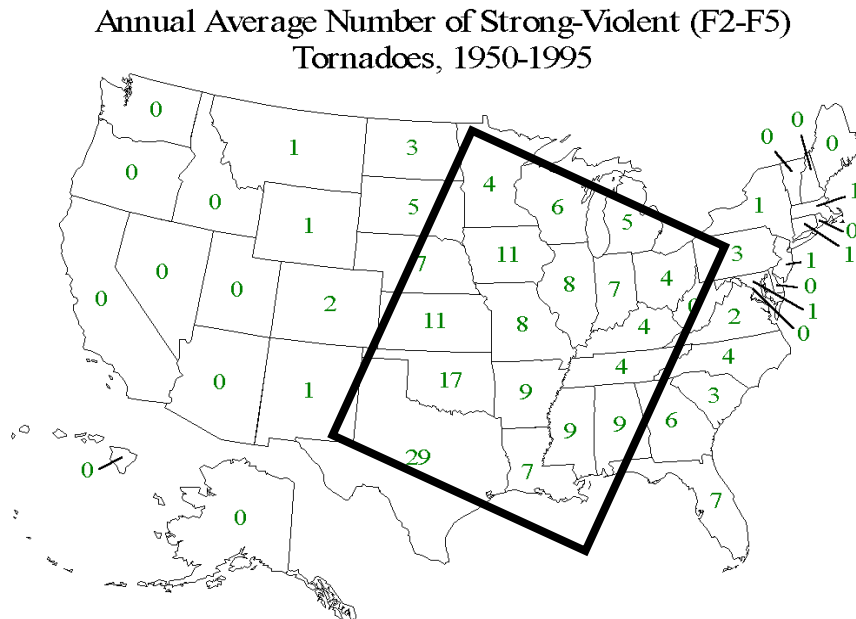


Abbildung 2.41: Jährliche Anzahl starker Tornados 1950 bis 1995 in den USA. Die schief liegende rechteckige Fläche (1500 km x 1800 km, 2.7 Mio.  $\text{km}^2$ ) zeigt die Region mit der grössten Tornado-Dichte. Aus: <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/severeweather/tornadoes.html>

### 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 Vivian 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 abgeworfen.	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.

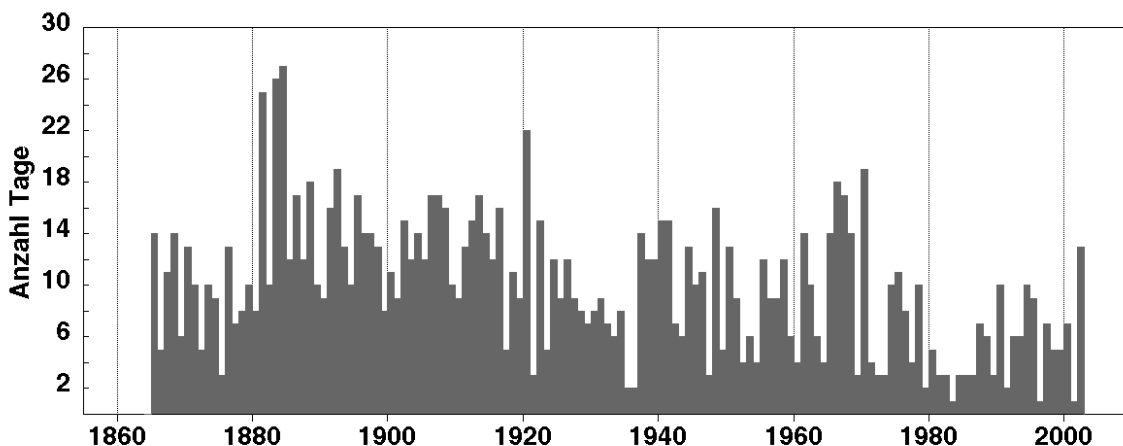


Abbildung 2.42: Anzahl Starkwindtage (Böenspitzen 90 km/h [50 Knoten] und mehr) im Winterhalbjahr für die Periode 1864/65 bis 2001/02 an der Messstation Zürich [49], (ergänzt). Die Station wird als repräsentativ für die Nordostschweiz angesehen. Einige umliegende Stationen wurden für Quervergleiche und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

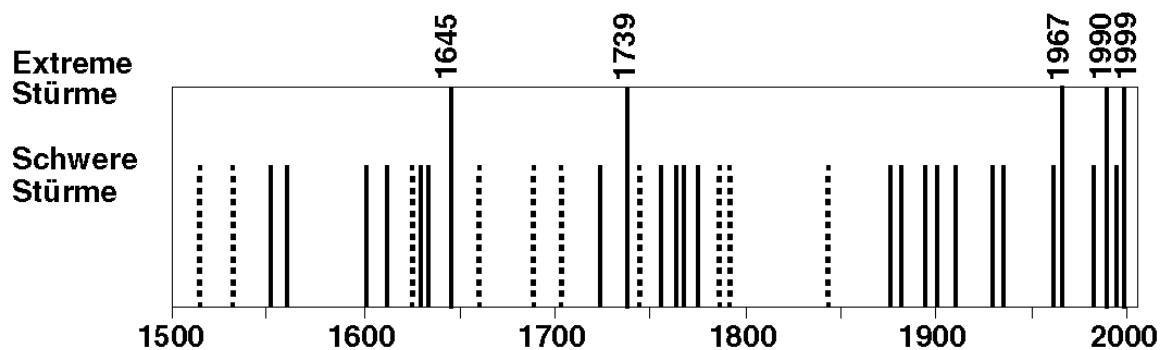


Abbildung 2.43: Häufigkeit schwerer und extremer Winterstürme 1496 bis 1999 [52], [53] (ergänzt). Erfasst sind Weststürme von Oktober bis März. Gestrichelt sind jene Ereignisse aufgeführt, deren Quellen nicht eindeutig sind.

### **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. Böenspitzen 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 aber 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. Berechnungen basierend auf dieser Methode sind 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 3.1 wird ersichtlich, dass ein stündlicher Niederschlag von 20 mm an der Station Beznau eine Wiederkehrperiode von etwa 10 Jahren hat. Zusätzlich zeigt das 90% Konfidenzintervall, dass bei 90% der möglichen Verteilungen ein 20 mm Ereignis eine Wiederkehrperiode zwischen etwa 4 und 15 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.

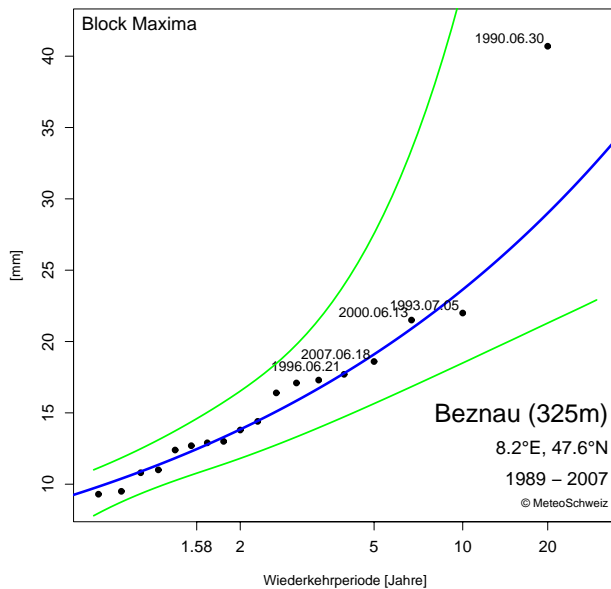
Die Güte der Schätzung (Goodness-of-Fit, GOF) wird mit dem Kolmogorov-Smirnov Test mittels eines parametrischen Randomisierungsverfahren überprüft [56]. Sollte die beste Schätzung diesen Test bei einer gegebenen Station nicht bestehen, so ist es in der Legende zum Gumbel-Diagramm erwähnt.

Es ist zu beachten, dass die Güte der Schätzung nur ein Mass für die Kompatibilität der Schätzung mit den vorhandenen Daten 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 überhaupt 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: 12.74

Scale: 3.52

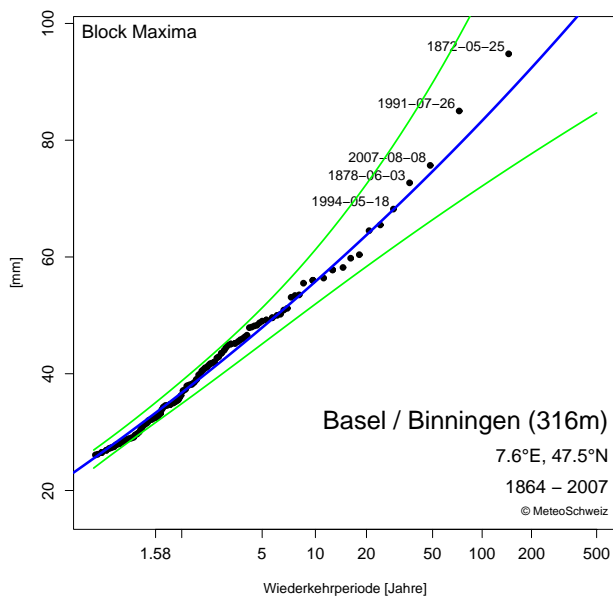
Shape: 0.25

Abbildung 3.1: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für den stündlichen 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	19.1	15.6	27.6
10	23.6	18.5	44.8
20	29.0	21.3	74.3
30	32.6	22.9	79.4
50	~38	~20	~105
100	~46	~21	~178
10000	~170	~24	~8432

Tabelle 3.1: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für den stündlichen Niederschlag. 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. Vergleiche das obere Konfidenzintervall für die 10000-Jahre Wiederkehrperiode mit dem Weltrekord für den 24-Stunden Niederschlag von etwa 2000 mm.

### 3.3.2 1-Tages Niederschlag



#### GEV Parameter

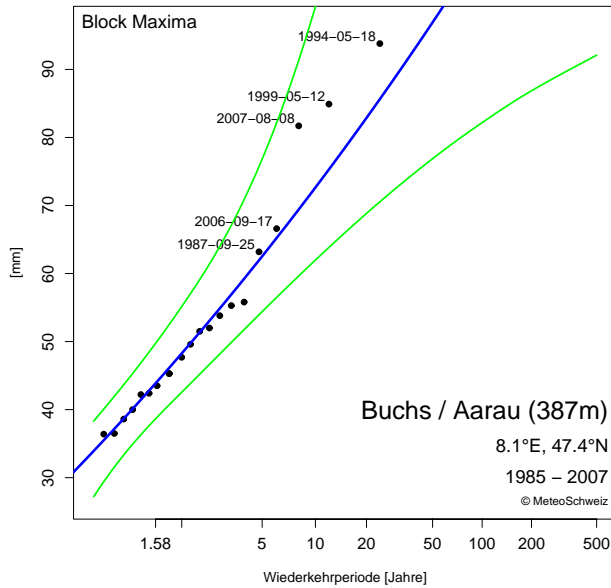
Location: 33.33  
 Scale: 9.22  
 Shape: 0.07

Abbildung 3.2: Gumbel-Diagramm an der Station Basel-Binningen 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	47.9	45.1	51.3
10	55.8	51.9	61.3
20	63.8	58.4	72.5
30	68.5	62.0	79.8
50	74.7	66.4	89.8
100	83.3	72.1	105.2
10000	~150	~100	~260

Tabelle 3.2: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel-Binningen für den 1-Tages Niederschlag. 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: 43.90

Scale: 11.77

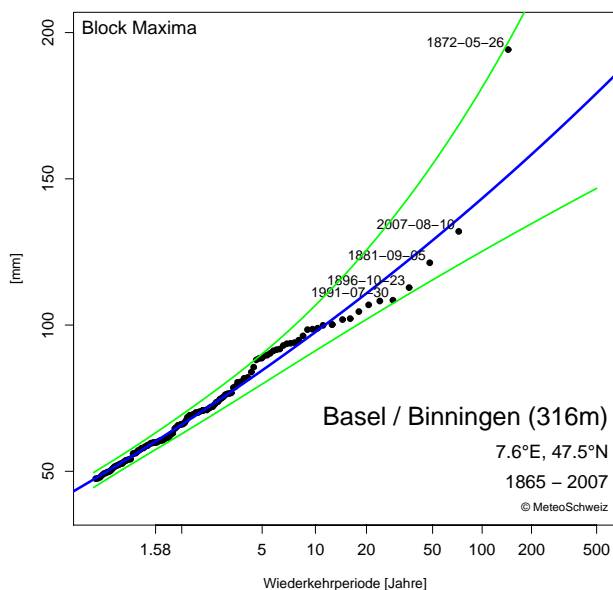
Shape: 0.07

Abbildung 3.3: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs-Aarau 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	62.5	54.4	76.8
10	72.6	62.0	99.2
20	82.9	68.8	129.2
30	89.0	72.5	151.3
50	96.9	76.9	185.2
100	108.1	82.2	244.9
10000	~200	~80	~1600

Tabelle 3.3: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs-Aarau für den 1-Tages Niederschlag. 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. Vergleiche das obere Konfidenzintervall für die 10000-Jahre Wiederkehrperiode mit dem Weltrekord für den 24-Stunden Niederschlag von etwa 2000 mm.

### 3.3.3 5-Tages Niederschlag



GEV Parameter

Location: 60.26

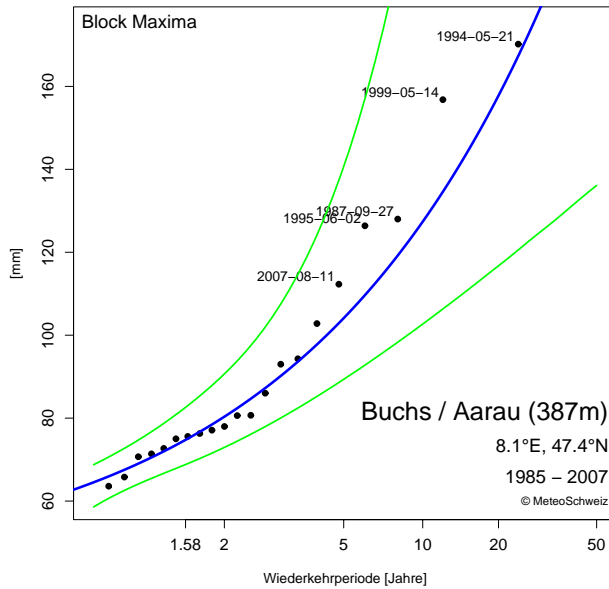
Scale: 15.35

Shape: 0.07

Abbildung 3.4: Gumbel-Diagramm an der Station Basel-Binningen 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	84.5	79.8	90.1
10	97.6	91.2	106.7
20	110.8	101.9	125.6
30	118.8	108.0	137.9
50	129.0	115.4	155.0
100	143.3	125.2	181.3
10000	~260	~170	~440

Tabelle 3.4: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für den 5-Tages Niederschlag. 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: 74.79  
 Scale: 14.02  
 Shape: 0.42

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

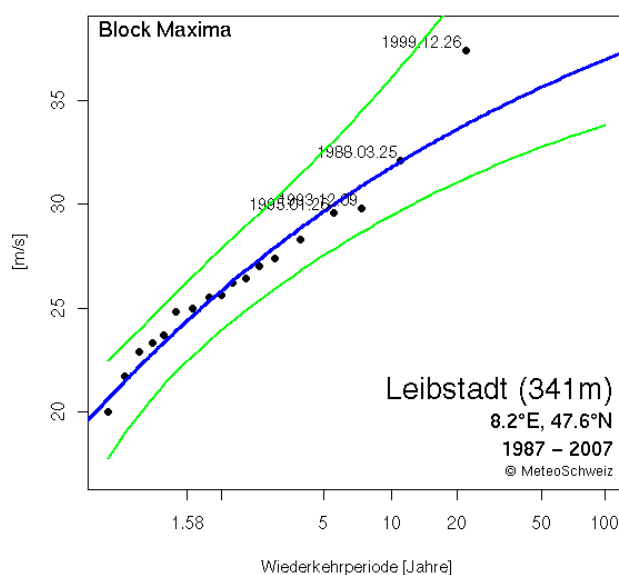
Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [mm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [mm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [mm]
5	104.1	89.4	140.7
10	127.4	102.7	221.5
20	157.8	116.7	354.0
30	179.9	125.3	518.9
50	~200	~100	~700
100	~300	~100	~1200
10000	~1700	~200	~92700

Tabelle 3.5: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für den 5-Tages Niederschlag. Die geschätzte Verteilung ergibt eine unrealistisch stark gekrümmte Kurve. 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 die 10000-Jahre Wiederkehrperiode ist physikalisch nicht möglich. Vergleiche mit dem Weltrekord des 5-Tagesniederschlags: ~4000 mm.

### 3.4 Wind

#### 3.4.1 10-Minuten Böenspitzen

In Beznau werden keine Böenspitzen gemessen. Die Station Leibstadt ist räumlich gesehen die am nächsten gelegene Station mit gemessenen Böenspitzen auf Turmniveau, deshalb wird die Extremwertstatistik der 10-Minuten Böenspitze von Leibstadt auf 10 m und 110 m über Grund verwendet.



GEV Parameter

Location: 24.40

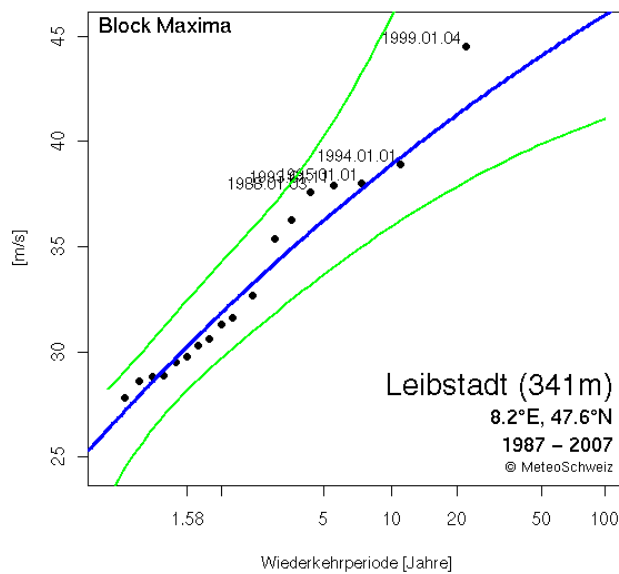
Scale: 3.98

Shape: - 0.18

Abbildung 3.6: Gumbel-Diagramm an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m Messniveau. GOF-Test: Da der GOF-Test der Konfidenzintervalle 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	29.6	27.5	32.6
10	31.8	29.5	36.1
20	33.6	31.1	39.9
30	34.6	31.9	42.3
50	35.6	32.8	45.4
100	37.0	33.8	49.8
10000	42.6	37.3	89.1

Tabelle 3.6: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m Messniveau. Beachte, dass der Weltrekord für die 10-Minuten Böenspitze etwa 100 m/s ist (s. 10000 Jahre Wiederkehrperiode).



GEV Parameter

Location: 30.28

Scale: 4.29

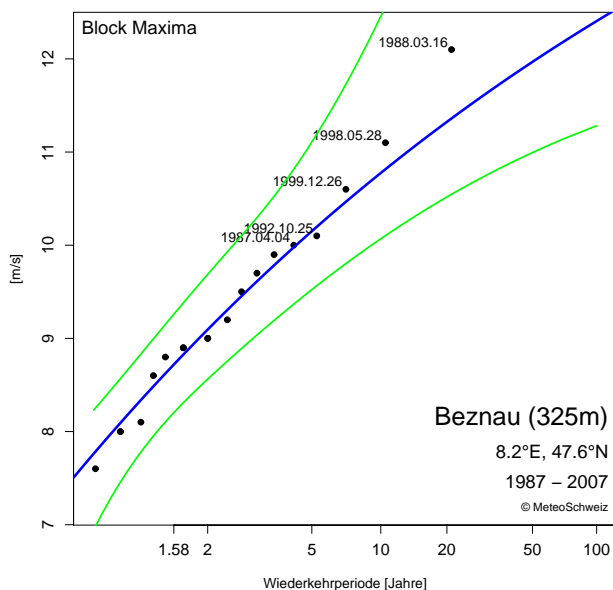
Shape: - 0.10

Abbildung 3.7: Gumbel-Diagramm an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze 110 m Messniveau. GOF-Test: Da der GOF-Test der Konfidenzintervalle 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	36.3	33.7	40.2
10	38.9	36.0	46.0
20	41.3	37.9	53.1
30	42.6	38.8	58.0
50	44.1	39.9	65.2
100	46.0	41.1	76.8
10000	55.8	44.6	169.8

Tabelle 3.7: Wiederkehrwerte [m/s] zu ausgewählten Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze, 110m Messniveau.

### 3.4.2 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit



GEV Parameter

Location: 8.8

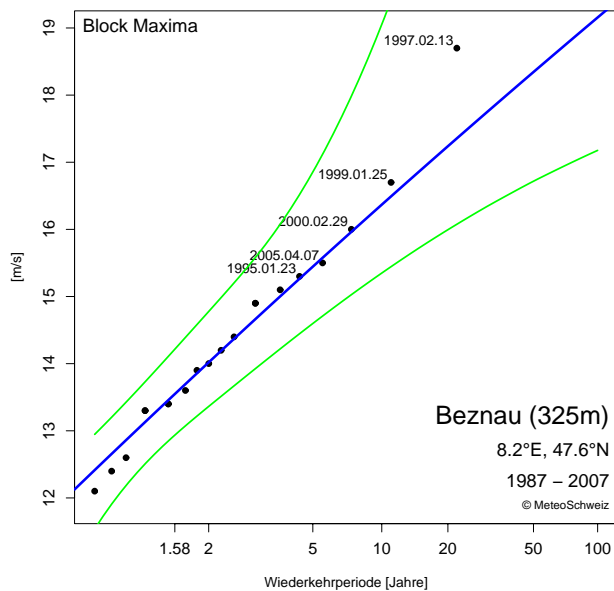
Scale: 1.08

Shape: -0.15

Abbildung 3.8: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit auf dem 10 m Messniveau. 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	10.2	9.6	11.1
10	10.8	10.2	12.4
20	11.4	10.6	13.9
30	11.6	10.8	14.9
50	12.0	11.1	16.3
100	12.3	11.3	18.5
10000	14.1	12.1	37.1

Tabelle 3.8: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit.



GEV Parameter

Location: 13.55

Scale: 1.29

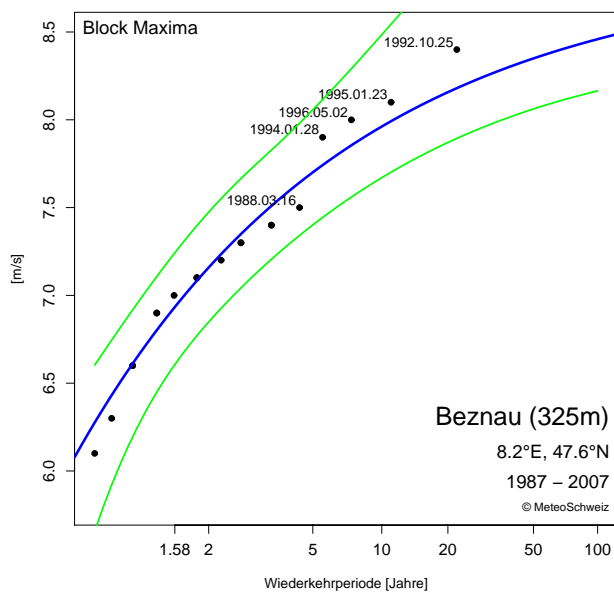
Shape: -0.02

Abbildung 3.9: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit auf dem 70 m Messniveau. 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	15.4	14.6	16.9
10	16.4	15.3	19.1
20	17.2	16.0	22.0
30	17.7	16.3	24.2
50	18.3	16.7	27.5
100	19.2	17.2	33.4
10000	24.2	18.8	50.4

Tabelle 3.9: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit.

### 3.4.3 Stundenmittel der Windgeschwindigkeit



GEV Parameter

Location: 6.94

Scale: 0.65

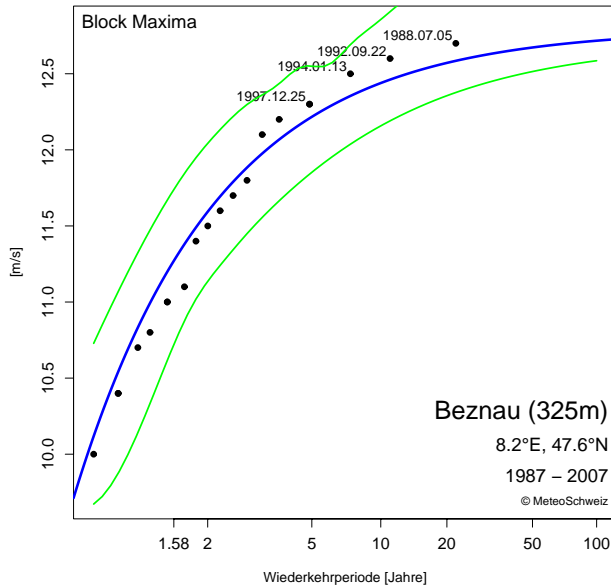
Shape: -0.33

Abbildung 3.10: Gumbel-Diagramm an der Station Bezau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit auf dem 10 m Messniveau. 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	12.2	11.8	12.6
10	12.4	12.1	13.0
20	12.6	12.3	13.4
30	12.6	12.4	13.7
50	12.7	12.5	14.1
100	12.8	12.6	14.5
10000	12.9	12.7	17.1

Tabelle 3.10: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Bezau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit. Beachte: die geschätzte Verteilung ergibt eine unrealistisch stark gekrümmte Kurve, möglicherweise wegen der Kürze der Datenreihe. So könnten die Wiederkehrwerte und ihre Konfidenzintervalle zu tief geschätzt worden sein.





GEV Parameter

Location: 11.27

Scale: 0.98

Shape: -0.65

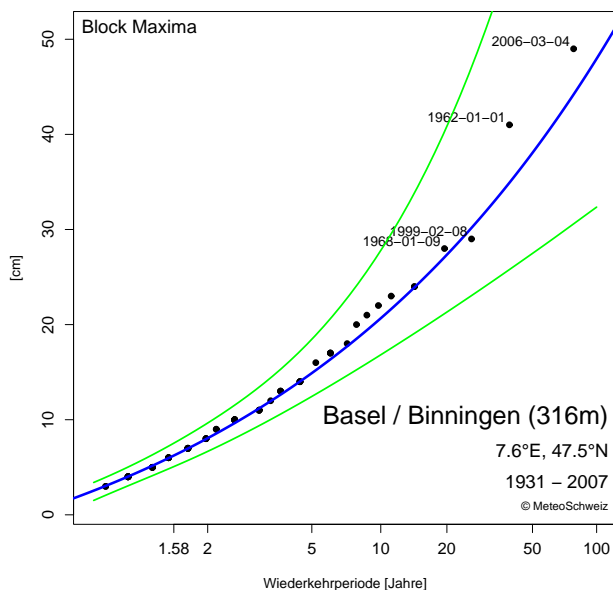
Abbildung 3.11: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit auf 70 m Messniveau. GOF-Test: da der GOF-Test nicht ausgeführt werden konnte, gibt es keine Angaben zur Güte vom Fit. Grün: 90% Konfidenzintervall.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [m/s]	Untere Grenze Konfidenzintervall [m/s]	Obere Grenze Konfidenzintervall [m/s]
5	12.2	11.9	12.5
10	12.4	12.2	12.9
20	12.6	12.4	13.2
30	12.6	12.4	13.4
50	12.7	12.5	13.6
100	12.7	12.6	13.9
10000	12.8	12.7	15.2

Tabelle 3.11: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit auf 70 m Messniveau. Die geschätzte Verteilung ergibt eine sehr unrealistische Krümmung. Das obere Konfidenzintervall könnte zu tief geschätzt worden sein.

### 3.5 Schnee

#### 3.5.1 1-Tages Neuschnee



GEV Parameter

Location: 6.24

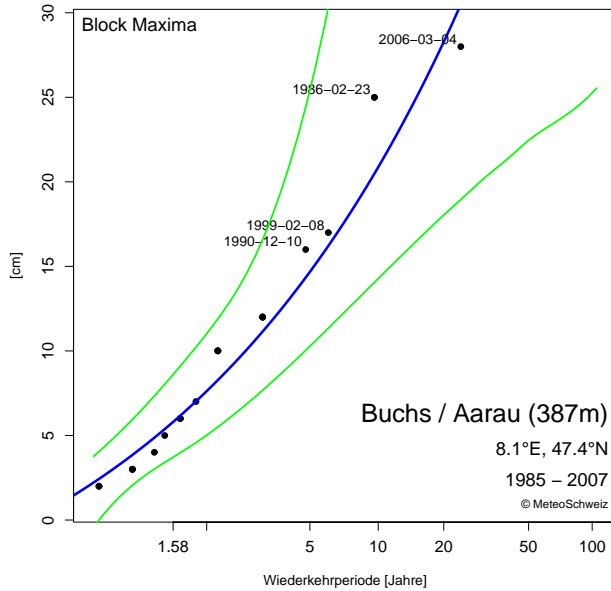
Shape: 4.73

Scale: 0.26

Abbildung 3.12: Gumbel-Giagramm an der Station Basel/Binningen für den 1-Tages Neuschnee. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervalle.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	15	12	19
10	21	17	28
20	27	21	41
30	32	24	51
50	38	28	67
100	48	32	95
10000	~190	~60	~700

Tabelle 3.12: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für den 1-Tages Neuschnee. Die geschätzte Verteilung ergibt eine unrealistisch stark gekrümmte Kurve. Grau: Jährlichkeit der Konfidenzintervalle konnten nicht mit der Profile Log-Likelihood Methode geschätzt werden. Das obere Konfidenzintervall ist physikalisch nicht realistisch: Vergleiche mit dem Weltrekord für 1-Tages Neuschnee: 2 m/Tag.



GEV Parameter

Location: 5.81

Scale: 4.67

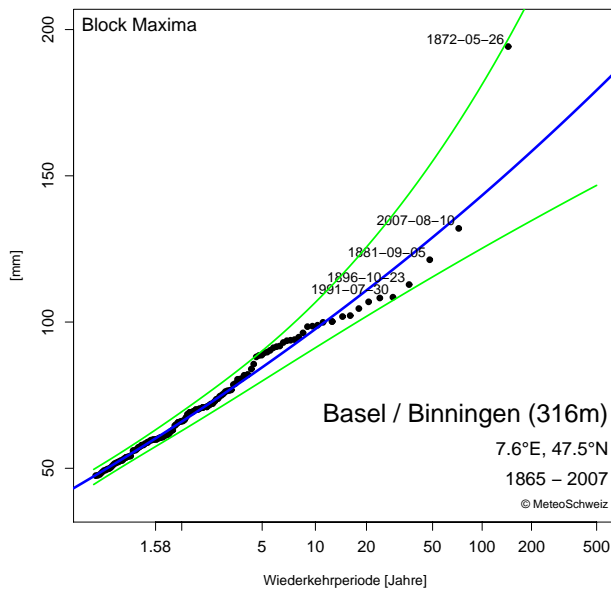
Shape: 0.30

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

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	15	10	25
10	21	14	50
20	28	18	78
30	~30	~20	~80
50	~40	~20	~100
100	~50	~20	~200
10000	~240	~30	~7000

Tabelle 3.13: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für den 1-Tages Neuschnee. Die geschätzte Verteilung ergibt eine unrealistisch stark gekrümmte Kurve. Grau: Jährlichkeiten der Konfidenzintervalle konnten nicht mit der Profile Log-Likelihood Methode geschätzt werden. Sie wurden mit dem weniger exakten parametrischen Randomisierungsverfahren geschätzt und aufgerundet. Der Wiederkehrwert und sein oberes Konfidenzintervall für eine Wiederkehrperiode von 10000 Jahre ist physikalisch nicht möglich: Vergleiche mit dem Weltrekord: ~2 m/Tag.

### 3.5.2 5-Tages Neuschnee



GEV Parameter

Location: 9.43

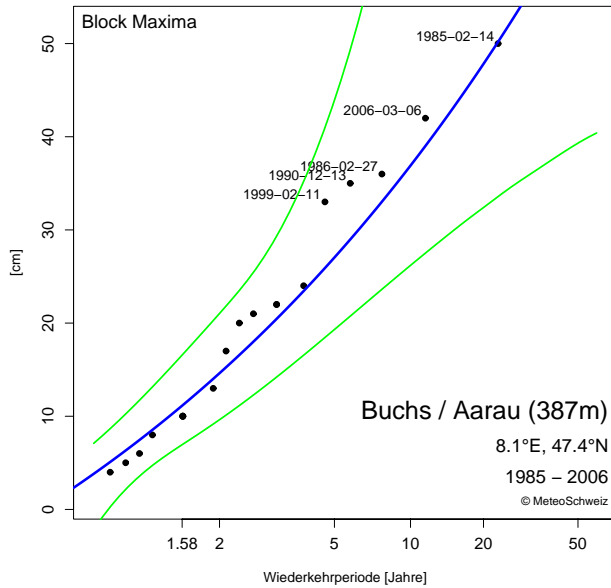
Scale: 7.24

Shape: 0.19

Abbildung 3.14: Gumbel-Diagramm [cm] an der Station Basel/Binningen 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	22	19	27
10	30	25	39
20	38	31	55
30	44	34	67
50	51	39	85
100	63	44	116
10000	~190	~70	~610

Tabelle 3.14: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für den 5-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 und aufgerundet.



GEV Parameter

Location: 11.16

Scale: 9.12

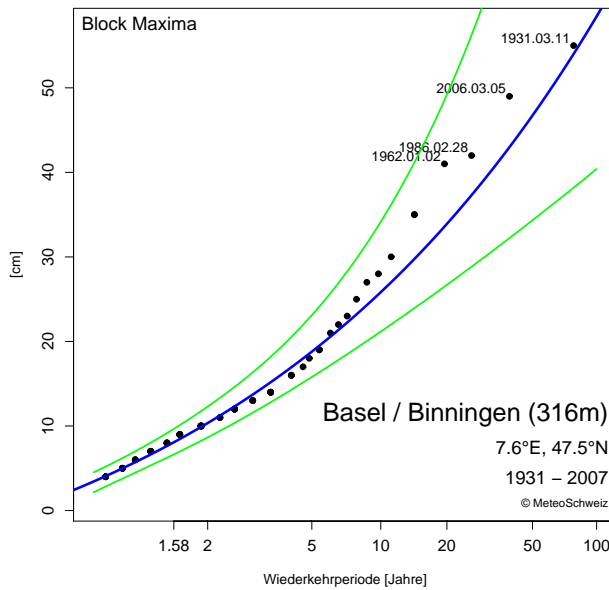
Shape: 0.19

Abbildung 3.15: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs/Aarau 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	27	19	44
10	37	26	78
20	48	32	136
30	55	36	172
50	64	39	199
100	-	-	-
10000	-	-	-

Tabelle 3.15: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für den 5-Tages Neuschnee. Grau: Jährlichkeiten des Wiederkehrwertes und der Konfidenzintervalle konnten nicht geschätzt werden.

### 3.5.3 Gesamtschneehöhe



GEV Parameter

Location: 8.09

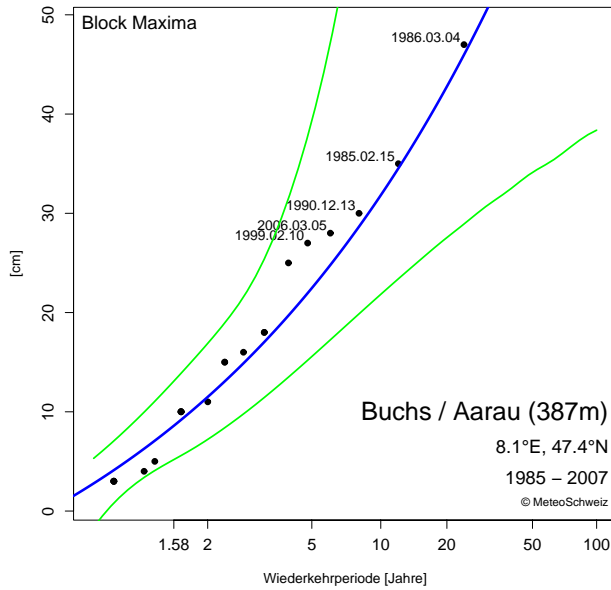
Scale: 5.90

Shape: 0.25

Abbildung 3.16: Gumbel-Diagramm an der Station Basel/Binningen für die Gesamtschneehöhe. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervalle.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	19	16	23
10	26	21	34
20	34	27	49
30	39	30	60
50	47	34	78
100	59	40	110
10000	~220	~70	~760

Tabelle 3.16: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für die Gesamtschneehöhe. Die geschätzte Verteilung ergibt eine unrealistisch stark gekrümmte Kurve. 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: 8.61

Scale: 7.48

Shape: 0.27

Abbildung 3.17: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs/Aarau für die Gesamtschneehöhe. GOF-Test: Die geschätzte Verteilung passt gut zu den Daten. Grün: 90% Konfidenzintervalle.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Wiederkehrwert [cm]	Untere Grenze Konfidenzintervall [cm]	Obere Grenze Konfidenzintervall [cm]
5	23	16	39
10	32	22	79
20	43	28	122
30	~50	~30	~120
50	~60	~30	~170
100	~80	~30	~280
10000	~300	~40	~9200

Tabelle 3.17: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für die Gesamtschneehöhe. Die geschätzte Verteilung ergibt eine unrealistisch stark gekrümmte Kurve. Grau: Jährlichkeiten der Konfidenzintervalle konnten nicht mit der Profile Log-Likelihood Methode geschätzt werden. Sie wurden mit dem weniger exakten parametrischen Randomisierungsverfahren geschätzt, dann gerundet. Das obere Konfidenzintervall der 10000-Jahre Wiederkehrperiode ist physikalisch nicht realistisch.

## 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 Alpenhauptkamms 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 könnten die mittleren Niederschläge leicht zunehmen. Es ist möglich, dass das Klima der Schweiz im Verlauf des 21. Jahrhunderts der 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 Beznau (AG) 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 Beznau (AG) 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].

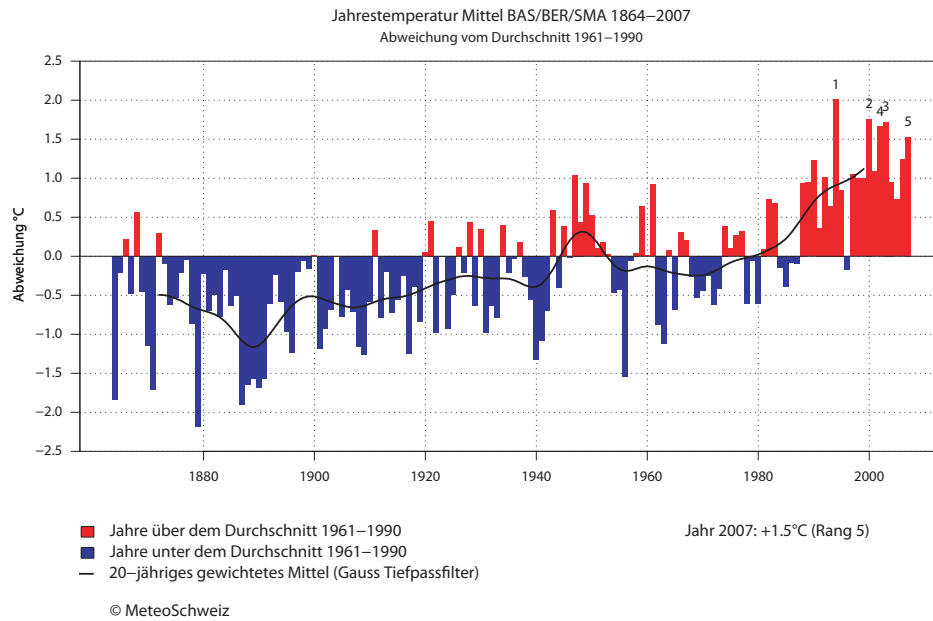


Abbildung 4.1: Abweichung der Jahrestemperaturen für das Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern von 1864 bis 2007 relativ zur Norm 1961 bis 1990 in Grad Celsius (rot = positive, blau = negative Abweichungen). Ebenfalls gezeigt ist das 20-jährige gewichtete Mittel (Gauss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

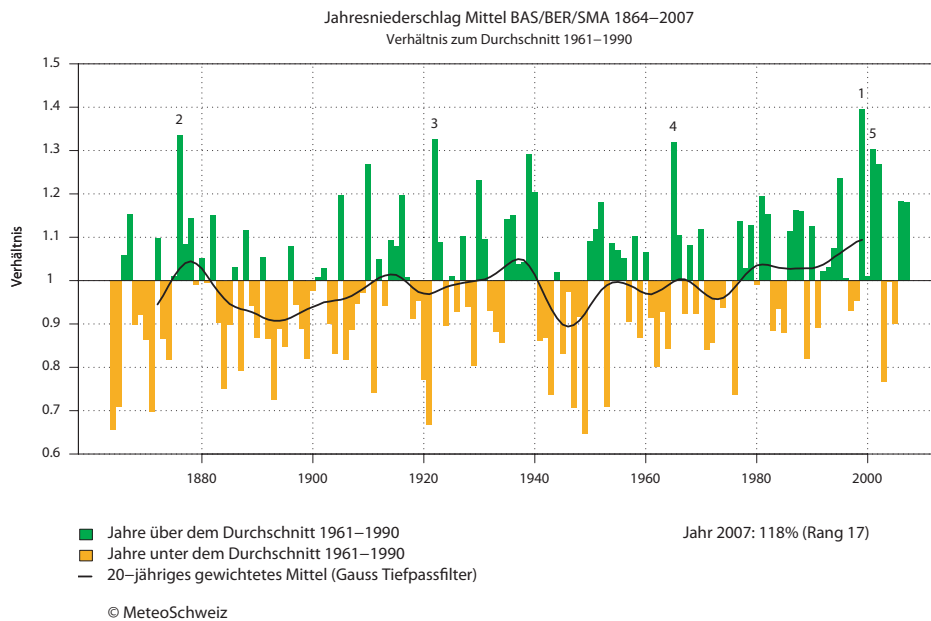


Abbildung 4.2: Abweichung des Jahresniederschlags für das Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern von 1864 bis 2007 relativ zur Norm 1961 bis 1990 (grün = positive, orange = negative Abweichungen). Ebenfalls gezeigt ist das 20-jährige gewichtete Mittel (Gauss Tiefpassfilter,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

### 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 Beznau (AG).

### 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].

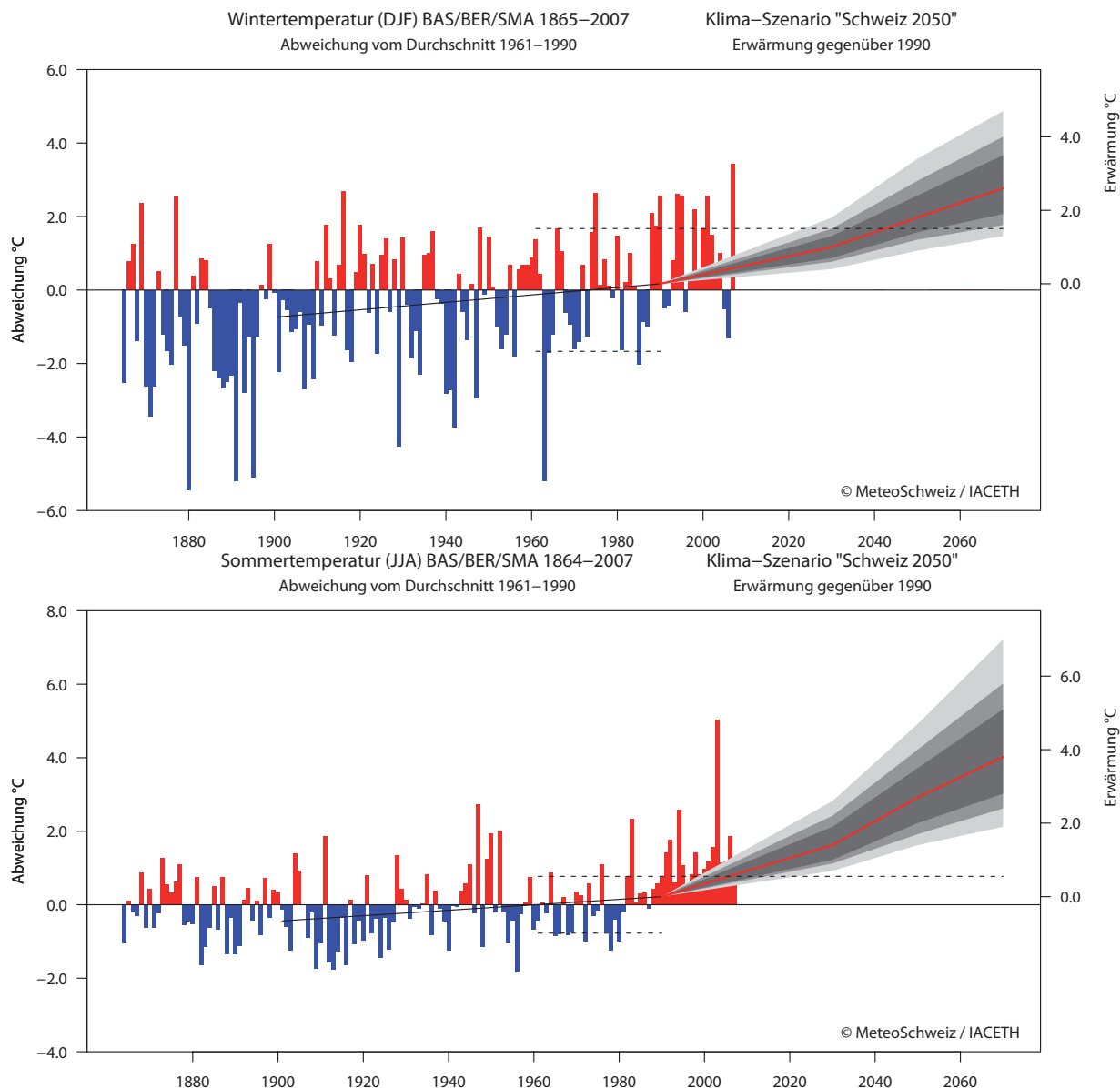


Abbildung 4.3: Entwicklung der mittleren Temperatur im Winter (Dezember bis Februar, oben) und im Sommer (Juni bis August, unten). Blaue/rote Säulen: gemessene Temperaturen für den Zeitraum 1864 bis 2007 (Mittel der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen und Zürich/Fluntern, Abweichungen in Grad Celsius von der Norm 1961 bis 1990, Skala links). Schwarze Linie: linearer Trend 1901 bis 1990. Gestrichelte Linien: Bandbreite der Temperaturfluktuationen im heutigen Klima ( $\pm 1$  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 sich in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts 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 (siehe 2.6, 2.7, 2.10).

### 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.

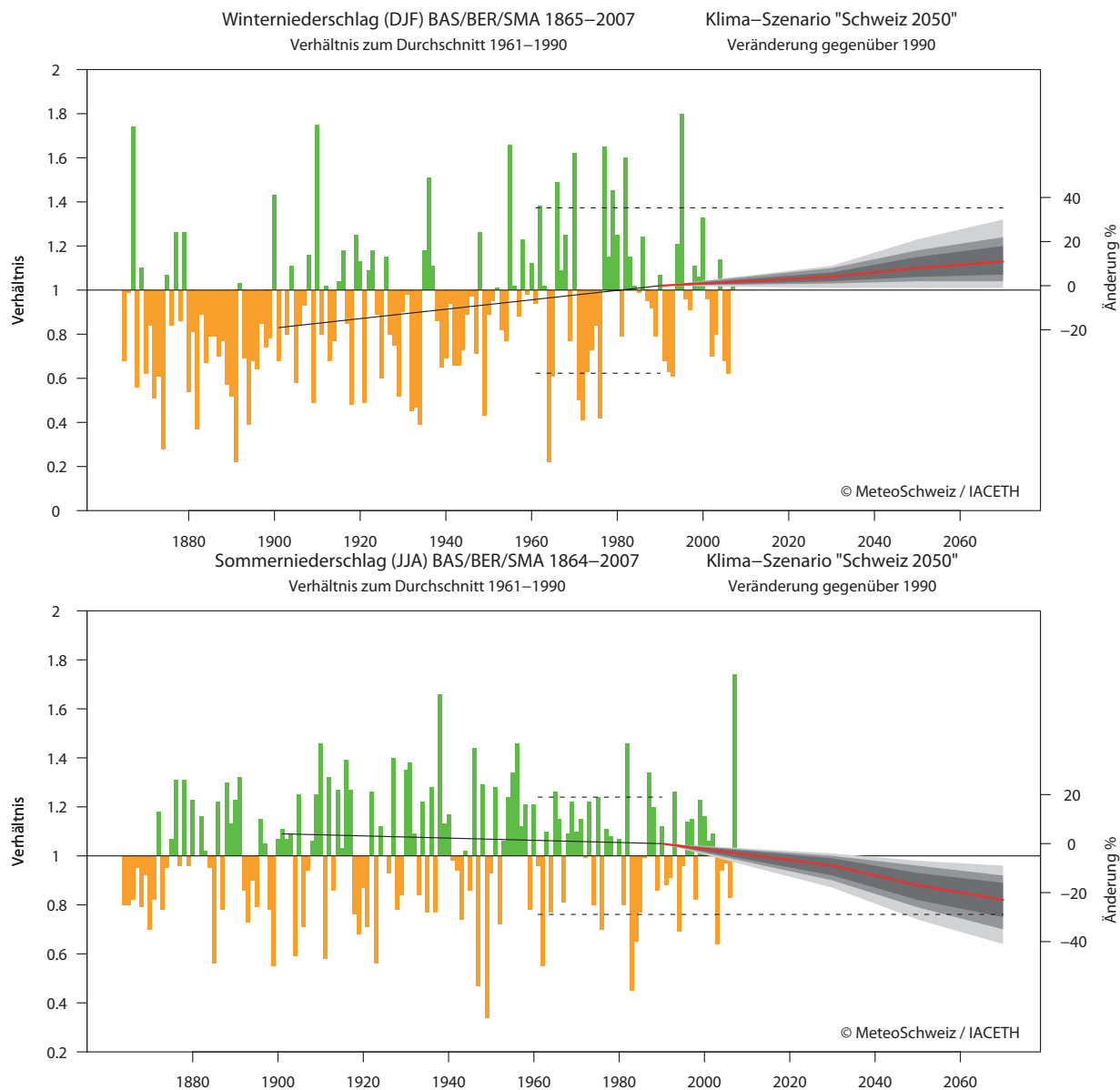


Abbildung 4.4: Wie Abbildung 4.3, aber für die Entwicklung der mittleren Niederschläge. Die Messungen sind als Verhältnis gegenüber der Norm 1961 bis 1990 (Skala links) angegeben, das Szenario als prozentuale Änderung gegenüber dem Mittel 1980 bis 1999 (Skala rechts)

## 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, Ausgabe2008, Zürich.
- [5] KTA 1508, 1989: Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, Fassung 11/06
- [6] Busillo C., Calstrini F., Carpiertieri F., Corti A., Gualtrieri 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.: 1983, Estimating plume dispersion – 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](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, [www.hagel.ch](http://www.hagel.ch)



- [23] Hageljahre 1961-2004, [www.hagel.ch/fileadmin/dat/3052a.pdf](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](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](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 Tornadic 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](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. Annalen 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](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: Extreme 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 978-3-907630-26-6, 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] Rebetz, 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](http://www.meteoschweiz.ch).
- [73] MeteoSchweiz, 2008: Klimaszenarien für die Schweiz - Ein Statusbericht. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, Nr. 218. Bericht verfügbar unter [www.meteoschweiz.ch](http://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 Beznau, 10 m Messniveau vor (oben) und nach (unten) der Datenbearbeitung. ....	7
Abbildung 2.1: Vergleich der stündlichen Temperaturmittel von Beznau und Buchs/Aarau in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007. ....	9
Abbildung 2.2: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Beznau und Buchs/Aarau (Beznau minus Buchs/Aarau) in Klassen von 0.5 Grad Celsius. ....	9
Abbildung 2.3: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Beznau und Buchs/Aarau (Beznau minus Buchs/Aarau). ....	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 Beznau und Buchs/Aarau in der Periode 12.10.1988 bis 31.12.2007. ....	12
Abbildung 2.8: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Buchs/Aarau (Beznau minus Buchs/Aarau) in Klassen von 1 mm .....	12
Abbildung 2.9: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Buchs/Aarau (Beznau minus Buchs/Aarau). ....	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 Beznau und Basel/Binningen in der Periode 1.2.1987 bis 31.12.2007. ....	15
Abbildung 2.14: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen) in Klassen von 0.5 Grad Celsius. ....	15
Abbildung 2.15: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der Temperatur-Stundenmittel von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen). ....	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 Beznau und Basel/Binningen in der Periode vom 12.10.1988 bis 31.12.2007. ....	18
Abbildung 2.20: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen) in Klassen von 1 mm. ....	18
Abbildung 2.21: Kummulierte Häufigkeitsverteilung der absoluten Differenzen der stündlichen Niederschlagssummen von Beznau und Basel/Binningen (Beznau minus Basel/Binningen). ....	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 Beznau auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. ....	42
Abbildung 2.26: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Beznau auf dem Niveau 10 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. ....	43
Abbildung 2.27: Mittlere jährliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Beznau auf dem Niveau 70 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. ....	44
Abbildung 2.28: Mittlere monatliche Windrose der Periode 01.02.1987 bis 31.12.2007 am Standort Beznau auf dem Niveau 70 m über Grund auf Basis von Stundenmittelwerten. ....	45
Abbildung 2.29: Räumliche Verteilung der Wolken-Boden Blitze in der Periode 2000 bis 2007. Ausgewertet wurden die eigentlichen Blitzereignisse. ....	63
Abbildung 2.30: Häufigkeitsverteilung der Stromstärke in Kilo-Ampère aller Blitze auf Schweizer Gebiet in der Periode 2000 bis 2007. Negative Werte entsprechen Negativblitzen. ....	64
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. ....	66
Abbildung 2.32: Anzahl Tage mit Hagel auf dem Gemeindegebiet des Standortes Beznau für die Jahre 2000 bis 2007. ....	67
Abbildung 2.33: Eistypen bei Bildung in Nebel oder Wolken als Funktion der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur. ....	70
Abbildung 2.34: Maximale Neuschnee- und Gesamtschneehöhe pro Jahr in den letzten 70 Jahren im Schweizer Mittelland. ....	76

Abbildung 2.35: Jährliche Anzahl Tage mit Schneedecke im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren. ....	76
Abbildung 2.36: Jährliche Anzahl Tage mit Neuschnee im Schweizer Mittelland in den letzten 70 Jahren. ....	77
Abbildung 2.37: Extremwert-Diagramm für die Wiederkehrdauer von maximal auftretenden Schneelasten am Standort Beznau. ....	78
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.....	84
Abbildung 2.39: Die in der Nordschweiz von Tornados betroffene Region.....	86
Abbildung 2.40: Jährliche Anzahl aller Tornados 1953 bis 2004 in den USA. ....	87
Abbildung 2.41: Jährliche Anzahl starker Tornados 1950 bis 1995 in den USA. ....	88
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).....	91
Abbildung 2.43: Häufigkeit schwerer und extremer Winterstürme 1496 bis 1999 [52], [53] (ergänzt). Erfasst sind Weststürme von Oktober bis März.....	91
Abbildung 3.1: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für den stündlichen Niederschlag.....	95
Abbildung 3.2: Gumbel-Diagramm an der Station Basel-Binningen 1-Tages Niederschlag .....	96
Abbildung 3.3: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs-Aarau für den 1-Tages Niederschlag. ....	97
Abbildung 3.4: Gumbel-Diagramm an der Station Basel-Binningen für den 5-Tages Niederschlag.....	98
Abbildung 3.5: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs-Aarau für den 5-Tages Niederschlag. ....	99
Abbildung 3.6: Gumbel-Diagramm an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m Messniveau. ....	100
Abbildung 3.7: Gumbel-Diagramm an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze 110 m Messniveau. ....	101
Abbildung 3.8: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit auf dem 10 m Messniveau .....	102
Abbildung 3.9: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit auf dem 70 m Messniveau.....	103
Abbildung 3.10: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit auf dem 10 m Messniveau.....	104
Abbildung 3.11: Gumbel-Diagramm an der Station Beznau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit auf 70 m Messniveau.....	105

Abbildung 3.12: Gumbel-Diagramm an der Station Basel/Binningen für den 1-Tages Neuschnee....	106
Abbildung 3.13: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs/Aarau für den 1-Tages Neuschnee. ....	107
Abbildung 3.14: Gumbel-Diagramm [cm] an der Station Basel/Binningen für den 5-Tages Neuschnee. .....	108
Abbildung 3.15: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs/Aarau für den 5-Tages Neuschnee. ....	109
Abbildung 3.16: Gumbel-Diagramm an der Station Basel/Binningen für die Gesamtschneehöhe. ....	110
Abbildung 3.17: Gumbel-Diagramm an der Station Buchs/Aarau für die Gesamtschneehöhe.....	111
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).....	114
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). ....	114
Abbildung 4.3: Entwicklung der mittleren Temperatur im Winter (Dezember bis Februar, oben) und im Sommer (Juni bis August, unten).....	117
Abbildung 4.4: Wie Abbildung 4.3, aber für die Entwicklung der mittleren Niederschläge.....	119

# 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 Beznau.....	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 Beznau. ....	3
Tabelle 1.4: Übersicht der Messinstrumente: Parameter, Masterinstallation und Parameter-Kurznamen der verwendeten Messreihen der Stationen Basel/Binningen, Buchs/Aarau und Wynau.....	4
Tabelle 1.5: Übersicht der Messhöhe und des Messbeginns der Stationen Basel/Binningen und Buchs/Aarau 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 Basel/Binningen und Buchs/Aarau.....	8
Tabelle 2.2: Höchstes Temperatur-Maximum [°C] und tiefstes Temperaturminimum [°C] (10-Minutenwerte) pro Monat und Jahr für die Station Beznau auf dem 10 m und dem 70 m Niveau (1988 bis 2007).....	21
Tabelle 2.3: Höchste und tiefste Stundenmitteltemperatur [°C] pro Monat und Jahr für die Station Beznau auf dem 10 m und dem 70 m Niveau (1988 bis 2007). ....	22
Tabelle 2.4: Höchste und tiefste Tagesmittelwerte [°C] der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007) pro Monat und Jahr.....	22
Tabelle 2.5: Höchste und tiefste Temperatur Monatsmittelwerte [°C] der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007) pro Monat und Jahr. ....	23
Tabelle 2.6: Höchste Böen Werte (Sekundenböe) in [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).....	24
Tabelle 2.7: Höchste Wind Stundenmittelwerte [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Beznau (1988 bis 2007), Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).....	25
Tabelle 2.8: Höchste Wind Tagesmittelwerte [m/s] pro Monat und Jahr von Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). ....	25
Tabelle 2.9: Höchster Wind Monatsmittelwert [m/s] pro Monat und Jahr der Stationen Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).....	26



Tabelle 2.10: Höchste Niederschlags Stundensummen [mm] pro Monat und Jahr der Stationen Beznau (1989 bis 2007), Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). .....	27
Tabelle 2.11: Höchste Niederschlags Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). .....	27
Tabelle 2.12: Höchste Niederschlags 5-Tagessummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). .....	28
Tabelle 2.13: Tiefste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr für die Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). .....	28
Tabelle 2.14: Höchste Niederschlags Monatssummen [mm] pro Monat und Jahr der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). .....	29
Tabelle 2.15: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Stundenmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Basel und Buchs (1984 bis 2003). .....	30
Tabelle 2.16: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Tagesmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Basel und Buchs (1984 bis 2003). .....	30
Tabelle 2.17: Höchster und tiefster Feuchttemperatur Monatsmittelwert [°C] pro Monat und Jahr der Stationen Basel und Buchs (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 Basel und Buchs (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 Basel und Buchs (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 Basel und Buchs (1984 bis 2003). .....	32
Tabelle 2.21: Typische Variabilität der Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] für das 10 m und das 70 m Turmniveau der Station Beznau (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 Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 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 Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 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 Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). .....	35
Tabelle 2.25: Typische Variabilität der Stundenmittelwerte der einzelnen Monate (SD) [m/s] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [m/s] für die Turmlevel 10 m und 70 m von Beznau (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 Basel (1981 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007).....	36
Tabelle 2.27: Mittlere Niederschlags Monatswerte (Mean) [mm] und Standardabweichung (SD) [mm] gerechnet aus den Monatsmittelwerten der Station Beznau (1989 bis 2007).....	37
Tabelle 2.28: Durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag pro Monat und Standardabweichung (SD) [T] pro Monat der Station Beznau (1989 bis 2007). ....	37
Tabelle 2.29: Durchschnittliche Anzahl Tage mit Niederschlag pro Monat und Standardabweichung (SD) [T] pro Monat der Stationen Basel (1864 bis 2007) und Buchs (1984 bis 2007). ....	38
Tabelle 2.30: Typische Variabilität der Feuchttemperatur Stundenwerte der einzelnen Monate (SD) [°C] und die dazugehörigen Monatsmittel (Mean) [°C] der Stationen Basel und Buchs (1984 bis 2003). ...	39
Tabelle 2.31: Mittlere monatliche Feuchttemperatur (Mean) [°C] und Standardabweichung (SD) [°C] pro Monat der Stationen Basel und Buchs (1984 bis 2003). ....	39
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 Basel und Buchs (1984 bis 2003). ....	40
Tabelle 2.34: Absolute (Anzahl Stunden) und relative Häufigkeiten der Diffusionskategorien A bis F (1987 bis 2007) pro Monat und Jahr der Station Beznau. ....	47
Tabelle 2.35: Absolute Häufigkeiten (Anzahl Stunden) der Diffusionskategorien A bis F (1987 bis 2007) pro Monat und Jahr unterschieden nach Tag (T) und Nacht (N) der Station Beznau. ....	47
Tabelle 2.36: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A. ....	48
Tabelle 2.37: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B. ....	49
Tabelle 2.38: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C. ....	49
Tabelle 2.39: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D. ....	50
Tabelle 2.40: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E. ....	50
Tabelle 2.41: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit keinem Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F. ....	51
Tabelle 2.42: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A. ....	51
Tabelle 2.43: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B. ....	52

Tabelle 2.44: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C.....	52
Tabelle 2.45: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D.....	53
Tabelle 2.46: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E.....	53
Tabelle 2.47: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.1 bis 0.5 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F.....	54
Tabelle 2.48: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A.....	54
Tabelle 2.49: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B.....	55
Tabelle 2.50: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C.....	55
Tabelle 2.51: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D.....	56
Tabelle 2.52: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E.....	56
Tabelle 2.53: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit 0.6 bis 3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F.....	57
Tabelle 2.54: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie A.....	57
Tabelle 2.55: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie B.....	58
Tabelle 2.56: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie C.....	58
Tabelle 2.57: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie D.....	59
Tabelle 2.58: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie E.....	59
Tabelle 2.59: Ausbreitungsstatistik für Stunden mit >3 mm Niederschlag der Station Beznau (1989 bis 2007), Diffusionskategorie F.....	60
Tabelle 2.60: Blitzdichte am Standort KKW-Beznau der Periode 2000 bis 2007. Für die Bestimmung der Blitzdichte wurden die Mittelwerte der 25 nächstgelegenen Gitterpunkte aus Abbildung 2.29 verwendet.....	63

Tabelle 2.61: Die Fallgeschwindigkeit und Aufprallenergie von Hagelkörner in Abhängigkeit von der Korngrösse [20].	66
Tabelle 2.62: Typische Eigenschaften von Vereisungsarten aus [28].	71
Tabelle 2.63: Flüssige Niederschläge in Zürich-Kloten bei Lufttemperaturen <math><0.5\text{ }^{\circ}\text{C}</math> der Periode 1981 bis 1988 (aus [30]).	72
Tabelle 2.64: Meteorologische Parameter welche die atmosphärische Eisanlagerung bei Niederschlag kontrollieren (aus [28], verändert).	73
Tabelle 2.65: Vergleich der Auswertung der Stundendaten von Basel/Binningen und Buchs/Aarau.	74
Tabelle 2.66: Die Fujita-Skala zur Beschreibung der Stärke von Tornados (Rotationsgeschwindigkeit) auf der Basis von Schäden.	80
Tabelle 2.67: Die TORRO-Skala zur Beschreibung der Stärke (Rotationsgeschwindigkeit) europäischer Tornados auf der Basis von Schäden.	82
Tabelle 2.68: Die typischen Auswirkungen auf dem Binnenland bei höheren Windgeschwindigkeiten gemäss Beaufort-Skala [19].	90
Tabelle 3.1: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für den stündlichen Niederschlag.	95
Tabelle 3.2: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel-Binningen für den 1-Tages Niederschlag.	96
Tabelle 3.3: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs-Aarau für den 1-Tages Niederschlag.	97
Tabelle 3.4: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für den 5-Tages Niederschlag.	98
Tabelle 3.5: Wiederkehrwerte [mm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für den 5-Tages Niederschlag.	99
Tabelle 3.6: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze, 10 m Messniveau.	100
Tabelle 3.7: Wiederkehrwerte [m/s] zu ausgewählten Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Leibstadt für die 10-Minuten Böenspitze, 110m Messniveau.	101
Tabelle 3.8: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit.	102
Tabelle 3.9: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für die 10-Minuten mittlere Windgeschwindigkeit.	103
Tabelle 3.10: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit.	104

Tabelle 3.11: Wiederkehrwerte [m/s] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Beznau für den Stundenmittel der Windgeschwindigkeit auf 70 m Messniveau .....	105
Tabelle 3.12: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für den 1-Tages Neuschnee. ....	106
Tabelle 3.13: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für den 1-Tages Neuschnee. ....	107
Tabelle 3.14: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für den 5-Tages Neuschnee. ....	108
Tabelle 3.15: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für den 5-Tages Neuschnee .....	109
Tabelle 3.16: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Basel/Binningen für die Gesamtschneehöhe. ....	110
Tabelle 3.17: Wiederkehrwerte [cm] für ausgewählte Wiederkehrperioden und ihre 90% Konfidenzintervalle an der Station Buchs/Aarau für die Gesamtschneehöhe. ....	111

## ANHANG A **Elektronischer Anhang A**

Windanalysen am Standort Beznau

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 70 m über Grund.

Daten verfügbar unter: [www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch) → Publikationen

## **ANHANG B    Elektronischer Anhang B**

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

Daten verfügbar unter: [www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch) → Publikationen

## Arbeitsberichte der MeteoSchweiz

- 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 Bööggs 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, Sääntti 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.-

