

Erstellung einer Statistik über Extremereignisse und Klimaveränderungen in Hessen

Christian Martin Weder

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Wiesbaden, 2012)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Temperatur	6
2.1	Ein Überblick über das gegenwärtige Klima im mittleren Temperatur-Jahresgang	6
2.2	Eisheilige - Ein Auslaufmodell? Grüner Januar - die Gegenwart?	10
2.3	Wie kalt war der letzte Winter 2011/2012 wirklich?	12
2.4	Weißer Winter in Hessen - immer seltener?	14
2.5	Klimatische Erwärmung in Hessen und deren Auswirkung auf die Dauer der Vegetationsperiode	18
2.6	Kalte Winter in Hessen	20
2.6.1	Winter 1939/40	20
2.6.2	Winter 1962/63	20
2.6.3	weitere kalte Winter	21
2.7	Hitzewellen und heiße Sommer	22
2.7.1	Sommer 2003	23
2.7.2	Sommer 1959	24
2.7.3	Sommer 1976	25
2.7.4	Sommer 1952	25
2.7.5	Sommer 1947	26
2.8	Sonnenscheindauer	27
2.9	Veränderung der mittleren täglichen Temperaturschwankung	29
2.10	Langfristige Veränderungen im April-Wetter	32
3	Wind	33
3.1	Mittlerer Jahresgang des Windes in Hessen	33
3.2	Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Sturmereignissen in Hessen	35
3.3	Extremereignisse	40
3.3.1	Orkan Kyrill	40
3.3.2	Wintersturmserie Januar 2012	42
3.3.3	Orkan Xynthia	43
3.3.4	Orkan Lothar	45
3.3.5	Orkan Emma	46
3.3.6	Orkan Jeanett	47
3.3.7	Orkane Daria, Vivian und Wiebke	49

4	Niederschlag	52
4.1	Hohe räumliche Variabilität	52
4.2	Mittlerer Jahresgang von Niederschlagssumme und Regentagen	53
4.3	Niederschlagsrekorde	57
4.3.1	Niederschlagsjahressummen	57
4.3.2	Die längsten Trockenperioden	58
4.3.3	Mittlerer Jahresgang des Niederschlags und Extremereignisse	59
4.3.4	Relevanz von Starkniederschlägen für die Monatssumme	62
4.3.5	Starkniederschläge	63
4.4	Saisonale Trends	65
5	Zusammenfassung und Ausblick	66
6	Danksagung	68
7	Wetterrekorde in Hessen	69
8	Fachbegriffe	70
9	Literaturverzeichnis	72
10	Readme	75

1 Einleitung

Im Rahmen meines dreimonatigen Praktikums beim Fachzentrum Klimawandel Hessen des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) in Wiesbaden entwickelte ich eine Software, mit der einerseits verschiedene Klimaindizes und Statistiken über lokale Klimaveränderungen berechnet werden können und andererseits Statistiken über Häufigkeit und Intensität aufgetretener Extremwetterereignisse wie Sturmböen, Starkniederschlägen und Hitzewellen angefertigt werden können. Das Praktikum wurde begleitend vom Deutschen Wetterdienst (DWD) in Offenbach am Main unterstützt, der Messdaten seiner hessischen Klima- bzw. Niederschlagsstationen zur Verfügung stellte und in Zukunft die monatliche Aktualisierung der Daten im operationellen Dienst übernimmt. Die Klima- und Niederschlagsdaten liegen als Tageswerte vor und beinhalten u.a. für alle verfügbaren hessischen Stationen die Tagesmitteltemperatur, Maximum- bzw. Minimumtemperatur, die mittlere Windgeschwindigkeit und die maximale Windspitze des Tages, die aufsummierte Sonnenscheindauer, den Bedeckungsgrad, die gemessene Schneehöhe und die tägliche Niederschlagsmenge inkl. Art des Niederschlags. Eine Übersicht über die Standorte der Messstationen, an denen die in diesem Bericht ausgewerteten Klima- bzw. Niederschlagsdaten gewonnen wurden, bietet die nachfolgende Grafik (Abb. 1).



Abbildung 1: Übersicht über die Standorte der in diesem Bericht verwendeten Klima- bzw. Niederschlagsstationen (Quelle: d-maps.com).

Die Software berechnet aus den Tageswerten u.a. folgende Klimaindizes:

- Anzahl der Frosttage: Tage mit einer Minimaltemperatur kleiner als $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Anzahl der Eistage: Tage mit einer Maximaltemperatur kleiner als $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Anzahl der Sommertage: Tage mit einer Maximaltemperatur größer als $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Anzahl der Tropennächte: Tage mit einer Minimaltemperatur größer als $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Anzahl der heißen Tage: Tage mit einer Maximaltemperatur größer als 30 °C
- Anzahl der Regentage mit mehr als 1 mm (10 mm, 20 mm, 25 mm) Niederschlag
- mittlere Niederschlagsmenge pro Regentag
- Anzahl der Tage mit Sturmböen bzw. Orkanböen
- Windgeschwindigkeit der maximalen Windböe
- längste Dauer einer anhaltenden Trocken- bzw. Regenperiode
- Summe der Sonnenscheindauer
- Summe des Gesamt-Niederschlages
- Maximum der eintägigen bzw. fünftägigen Niederschlagssumme
- Diurnal Temperature Range (mittlere tägliche Temperaturschwankung)
- Heizgradtage
- Länge der Vegetationsperiode
- Kalenderdatum des letzten Frosts bzw. des ersten Sommertages

Neu ist die kombinierte Berechnung verschiedener Klimaindizes, sodass sich dabei neue interessante Ergebnisse für die Öffentlichkeitsarbeit ergeben. Hier einige Beispiele:

- Schwüle Sommertage (Maximumtemperatur > 25 °C und rel. Feuchte > 80 %)
- Sommertag und Tropennacht (Maximumtemperatur > 25 °C und Minimumtemperatur > 20 °C)
- Trockenperiode während der Vegetationsperiode
- NOAA-Hitzeindex (Index für die Hitzebelastung abhängig von Temperatur und Luftfeuchtigkeit)
- NOAA-Windchillindex (Index für die Kältebelastung abhängig von Temperatur und Windgeschwindigkeit)
- Sturmtage und Hagelereignisse

2 Temperatur

2.1 Ein Überblick über das gegenwärtige Klima im mittleren Temperatur-Jahresgang

In welchen Zeiträumen im Jahr treten besonders kalte Witterungsperioden auf? Was sind die absoluten Temperaturextremwerte, die an einem Kalendertag jemals gemessen wurden? Wann war der heißeste Tag des aktuellen Jahres und wurden dieses Jahr die bisherigen Hitze- bzw. Kälterekorde gebrochen? Antworten auf diese Fragen und noch weitere interessante Informationen erhält man durch einen Blick auf folgende Grafik, dargestellt am Beispiel Schotten:

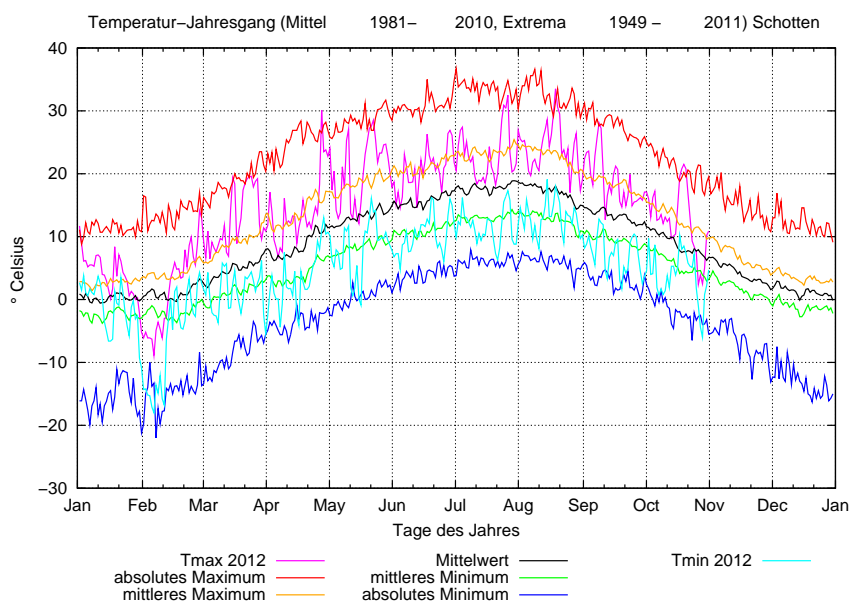


Abbildung 2: Mittlerer Jahresgang der 2 m-Temperatur, des mittleren Maximums bzw. Minimums, absolute Extremwerte im Jahresgang sowie Verlauf der Minimum- und Maximumwerte des aktuellen Jahres in Schotten.

Abbildung 2 zeigt für jeden Kalendertag des Jahres Tagesmitteltemperatur (schwarz), Maximum- (orange) und Minimumtemperatur (grün) gemittelt über den Zeitraum 1981-2010. Außerdem enthält die Grafik die absoluten

Maxima (rot) bzw. Minima (blau), die an jedem Tag seit Beginn der Messungen aufgezeichnet wurden. Darüberhinaus sind Maximum- (magenta) und Minimumtemperatur (cyan) aus dem Jahre 2012 dargestellt. Daraus kann man sehen, ob bzw. wann in diesem Jahr der bisherige Temperaturrekord gebrochen wurde.

Es sollte erwähnt werden, dass die Messstation zweimal in ihrer Messhistorie geringfügig verlegt wurde, was sich in einer Veränderung der Stationshöhe um wenige Meter über Normalnull zeigt. Allerdings werden 30-jährige Mittelwerte betrachtet, die durch die geringfügige Verlegung kaum verfälscht werden. Die mittlere Temperatur schwankt in Schotten im Jahresgang zwischen 0 °C im Januar und 19 °C Anfang August. Die Differenz zwischen mittlerem Maximum und Minimum ist im Sommer größer als im Winter. Das zeigt, dass die Variabilität der Temperatur im Tagesgang im Sommer höher ist. Die mittlere tägliche Schwankung der Temperatur hängt vor allem von der täglichen Strahlungsbilanz ab; bei maximaler Sonneneinstrahlung und wolkenlosen Nächten wird der Tag-Nacht-Gegensatz maximal. Im Winter ist die Sonneneinstrahlung dagegen weniger intensiv und auch der Bedeckungsgrad ist deutlich größer. Im Kapitel 2.9 wird genauer auf die Veränderung der täglichen Temperaturspanne ("Diurnal Temperatur Range") in Hessen eingegangen.

Der heißeste Tag des Jahres ist im 30-jährigen Mittel der 30. Juli mit einer mittleren Maximumtemperatur von 25,42 °C. Der kälteste Tag wird im Mittel am 13. Januar mit einem mittleren Minimum von -3,78 °C erreicht. Allerdings wird es um den 18. Februar noch einmal fast genauso kalt. Die tiefste je gemessene Temperatur betrug -22 °C am 9. Februar 1953, das historische Maximum wurde am 2. Juli 1952 mit 36,7 °C gemessen. Man sieht in dieser Grafik, dass es im Winter nach einer kälteren Witterung in der ersten Januarhälfte, in der vereinzelt Minimumtemperaturen von bis zu -20 °C erreicht wurden, eine etwas mildere Phase gibt, in der sowohl Mitteltemperatur als auch mittleres und absolutes Minimum deutlich höhere Werte annehmen. Mitte Februar folgt dann im Mittel noch eine weitere Kälteperiode, die in einigen Jahren Minimumrekorde unter der -20 °C Marke aufgestellt haben. Die 2012 aufgetretene kalte Witterung Anfang Februar hat in Schotten an einigen Tagen die bisherigen Kälterekorde gebrochen. Aber auch an mehreren Tagen Mitte April und Mitte Mai dieses Jahres wurde das bisherige absolute Temperaturminimum unterboten. In Schotten traten in der Vergangenheit bis zu den Eisheiligen Frosttage auf, dies kann man an der dunkelblauen Kurve sehen, die bis Mitte Mai unter der Nullgradgrenze liegt.

Zwischen dem 21. und 26. April tritt im Mittel eine fröhsommerliche Witterung auf, die im mittleren Maximum zu erkennen ist und auch in der Historie traten bereits ab Mitte April Temperaturen von über 25 °C auf. Am 28. April 2012 wurde das bisherige absolute Maximum für diesen Kalendertag

mit 30,1 °C um 3,5 °C übertroffen. Weitere Temperaturrekorde wurden am 22. und 23. Mai, 18. und 19. August sowie während der spätsommerlichen Witterung vom 17.-21. Oktober 2012 übertroffen. Interessanterweise wurde nur eine Woche später durch einen Kälteeinbruch mit -6 °C ein neues Allzeitminimum am 29. Oktober aufgestellt.

Die wärmste Phase des Jahres liegt in Schotten zwischen dem 29. Juli und 12. August. In dieser Phase gab es auch in der Vergangenheit Temperaturen über 25 °C. Allerdings fand sich 2012 genau in diesem Zeitraum eine kühlere Witterungsperiode, bei der die Maximumtemperaturen unter dem mittleren Maximum lagen, weswegen im Hochsommer in Schotten kein neuer Hitzerekord aufgestellt wurde. Ferner erkennt man in der Abbildung, dass es Mitte September nochmals ein paar spätsommerliche Tage geben kann, und dass es dann nach einer kälteren Witterung eine Woche vor Weihnachten wiederum etwas milder wird, was die Wahrscheinlichkeit auf weiße Weihnachten im Mittel reduziert.

Einen klimatischen Überblick der etwas anderen Art verschafft die folgende Abbildung 3:

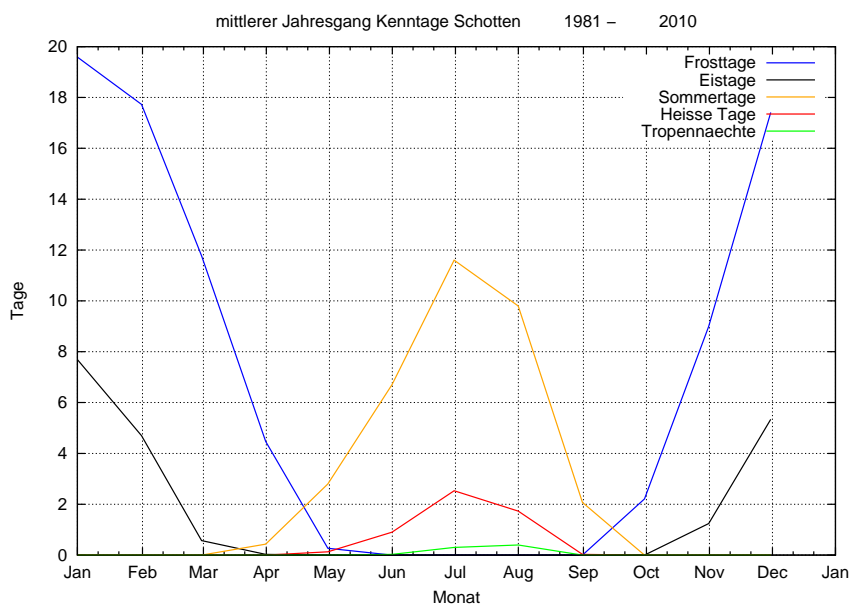


Abbildung 3: mittlerer Jahresgang der meteorologischen Kenntage in Schotten.

Hier sind die Häufigkeiten für das Auftreten verschiedener Kenntage wie Frost-, Sommer- und Eistage im klimatologischen Jahresgang der Periode 1981-2010 gezeigt. Dabei wird zum Einen deutlich, dass Eistage im März durchaus vorkommen können und zum Anderen, dass es im klimatologischen Mittel auf einen Eistag zwischen 2,5 und 4 Frosttage gibt. Der Januar ist in Schotten der kälteste Monat mit 19,6 Frost- und 7,6 Eistagen. Im April treten im Mittel noch über 4 Frosttage auf, aber es gab in den letzten 30 Jahren gelegentlich einen Sommertag im April zu beobachten. Bei genauer Beobachtung sieht man, dass es bereits im Mai hin und wieder einen heißen Tag mit einer Maximumtemperatur größer 30 °C geben kann. Der Juli ist in Schotten der wärmste Monat mit knapp 12 Sommertagen und über 2 heißen Tagen. Tropennächte kommen in Schotten nur im Juli und August vor, allerdings beträgt die Jahressumme im klimatologischen Mittel 0,79, sodass nicht jedes Jahr mit dem Auftreten einer Tropennacht zu rechnen ist.

2.2 Eisheilige - Ein Auslaufmodell? Grüner Januar - die Gegenwart?

Im Volksmund gelten die Eisheiligen zwischen dem 11. und 15. Mai als die späteste Phase, in der Nachtfrost auftreten kann. Besonders in der Landwirtschaft und im Obst- bzw. Gemüseanbau muss spät auftretender Nachtfrost berücksichtigt werden. Problematisch wird es, wenn es zu Jahresbeginn recht mild ist und der Reifezyklus der Vegetation früh beginnt und anschließend eine kalte Periode folgt. Dies ist in einigen Extremfällen möglich, wenn in Abbildung 4 die rote und blaue Kurve sich schneiden. Das war zuletzt 2011 der Fall. Die folgende Darstellung hat den Vorteil, dass man auf einen Blick sieht, ob der Vegetationszyklus durch die Witterungsbedingungen gestört werden könnte.

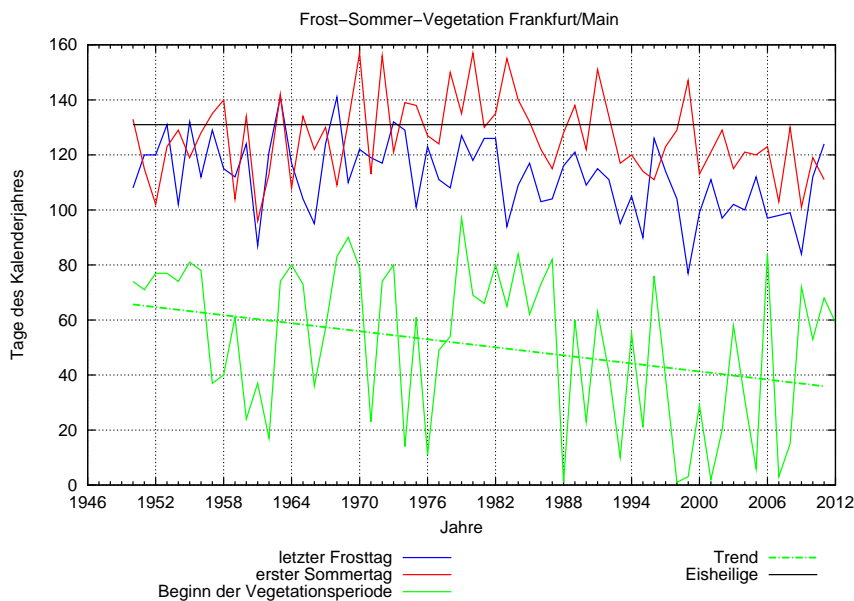


Abbildung 4: Beginn der Vegetationsperiode, letzter Frosttag im Frühjahr und erster Sommertag.

Es ist allerdings zu sehen, dass es in Frankfurt in den letzten 30 Jahren zu den Terminen der Eisheiligen keinen Frost mehr gab, was aber je nach topographischer Lage in den höheren Lagen Hessens noch möglich ist. Obwohl der zeitliche Trend für das Auftreten von Frosttagen im Mai nahezu in ganz

Hessen rückläufig ist, sind trotzdem in Hessen 2011 wieder einmal Frosttage im Mai aufgetreten.

Der Beginn der Vegetationsperiode ist definiert durch eine Periode von mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur größer als 5 °C. Sie endet, sobald im zweiten Halbjahr mindestens fünf aufeinanderfolgende Tage mit einer Tagesmitteltemperatur kleiner als 5 °C auftreten.

Es gibt nahezu hessenweit den Trend, dass die Vegetationsperiode zwischen 12 und 20 Tagen früher beginnt als noch vor 60 Jahren. In den letzten 15 Jahren kam es sogar häufiger vor, dass die Vegetationsperiode schon bald nach dem Jahreswechsel begann (Abb.4), infolge milderer Temperaturen Anfang Januar (siehe Abb. 5).

Dass es im Januar mitunter schon recht mild werden kann, belegt folgende Grafik:

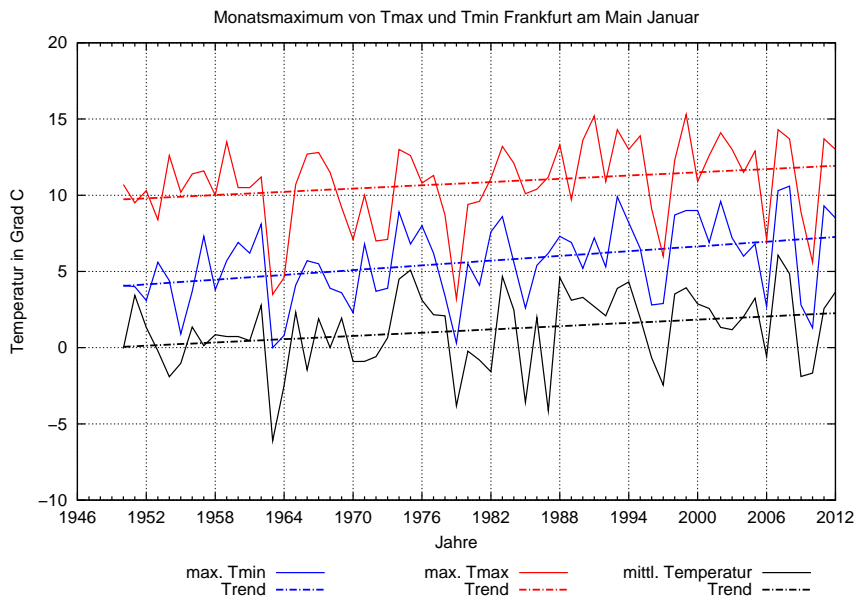


Abbildung 5: Monatsmaximum der T_{min} und T_{max} in Frankfurt am Main.

Abbildung 5 zeigt am Beispiel Frankfurt, dass die Tagesmaxima im Januar schon im zweistelligen Bereich liegen können und auch die Minimumtemperaturen durchaus positiv Werte annehmen können. Die Trendanalyse bestätigt, dass im Januar sowohl tagsüber als auch nachts immer mildere Temperaturen

möglich sind. Auch der Trend für die Monatsmitteltemperatur des Januars ist ansteigend. Diese frühlingshaften Bedingungen sorgen für einen früheren Vegetationsstart. Es kann also im Januar mitunter schon mild werden, was auch der rückläufige Trend in den Heizgradtagen (Abb. 6) für den Januar bestätigt.

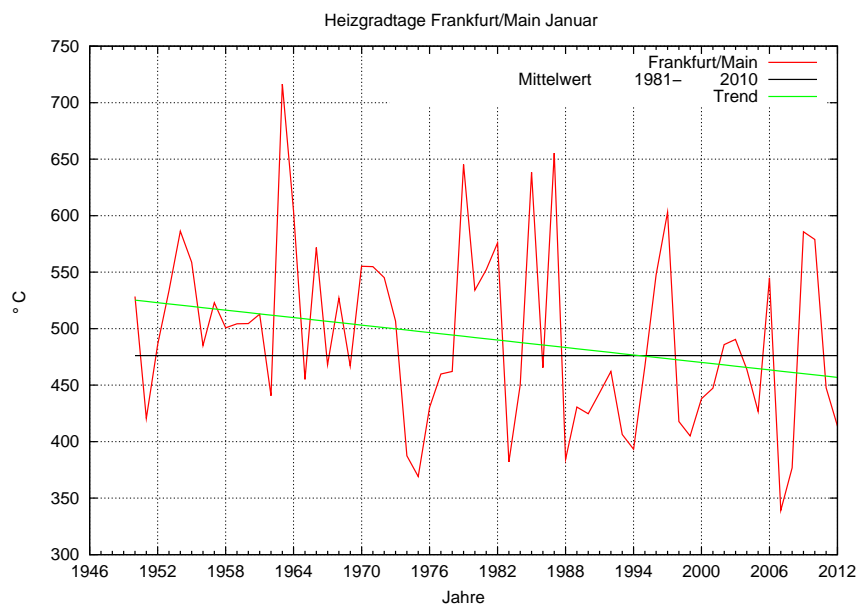


Abbildung 6: Heizgradtage zur Außentemperatur von 17 °C im Januar in Frankfurt am Main.

2.3 Wie kalt war der letzte Winter 2011/2012 wirklich?

Vielen Menschen in Hessen ist der Winter 2011/2012 als ein sehr kalter Winter in Erinnerung geblieben. Grund dafür ist eine zweiwöchige Kälteperiode im Februar mit 16 aufeinanderfolgenden Eistagen in Kassel sowie 14 in Gießen, Darmstadt und Cölbe bei Marburg. Verursacht wurde diese durch die beiden Kältehochs "Cooper" und "Dieter" über Russland, die polare Kaltluft nach Mitteleuropa brachten. Es wurden als absolute Monatsminimumtemperaturen in Kassel -17 °C, in Michelstadt-Vielbrunn -17,1 °C und sogar -19,6

°C in Burgwald-Bottendorf gemessen. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass es allerdings bereits kältere Witterungsperioden im Februar gab.

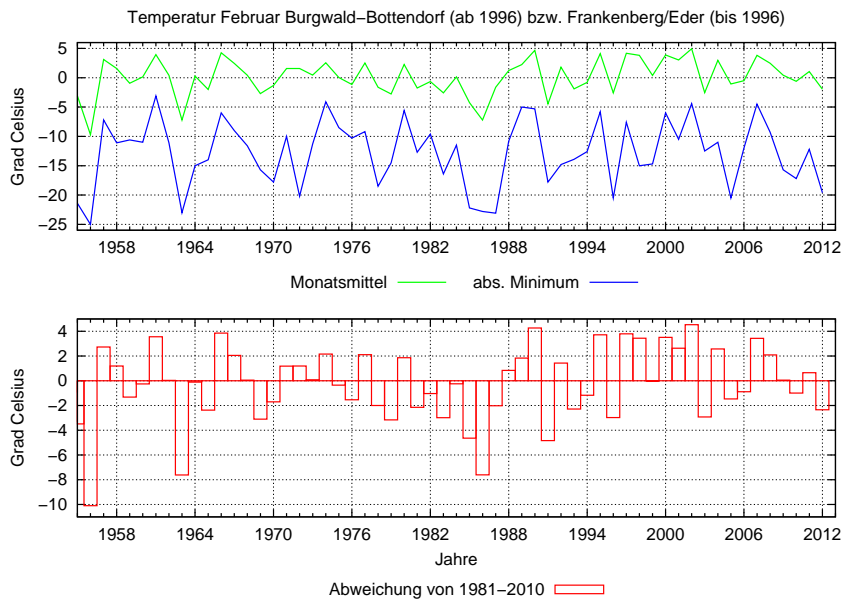


Abbildung 7: mittlere Temperatur (grün) und Abweichung von 1981-2010 (rote Balken) sowie absolute Minimumtemperaturen (blau) in Burgwald-Bottendorf (ab 1996) bzw. Frankenberg/Eder (bis 1996).

Abbildung 7 zeigt am Beispiel Burgwald-Bottendorf (bis zur Stationsverlegung im Jahre 1996 Frankenberg/Eder) im Landkreis Waldeck-Frankenberg, dass beispielsweise im Jahre 1956, 1963 und 1986 noch geringere Minimaltemperaturen registriert wurden. Auch im Mittel war Februar 2012 zwar relativ zum dreißigjährigen Mittel 1981-2010 um $-2,2$ °C zu kalt, aber insgesamt waren die mittleren Temperaturen im Februar in den erwähnten Jahren noch geringer. Ein Blick auf die mittlere Temperatur des vergangenen Winters (Tabelle 1) zeigt, dass es sich insgesamt relativ zum Mittel der Periode 1981-2010 um einen durchschnittlichen Winter handelt mit positiver Anomalie im Flachland und leicht unterdurchschnittlicher Temperatur in den Hochlagen der Rhön und des Odenwaldes. Beim vergangenen Winter handelte es also weder um ein noch die dagewesenes Ereignis noch um einen extrem kalten Winter. Um die Kälte eines Winters quantifizieren zu können, bietet sich an, die Differenz oder prozentuale Abweichung der mittleren Temperatur von dem Mittel der Periode 1981-2010 darzustellen (Abb. 7, unten). Alternativ könnte man die Kältesumme des Winters bilden und daraus auf die Intensität schließen.

Tabelle 1: mittlere Temperatur Winter (DJF) 2011/2012 und die Differenz der mittleren DJF-Temperatur 2011/2012 minus DJF-Mittelwert 1981-2010.

Messstation	$T_{DJF2011/2012}$ (°C)	$T_{DJF2011/2012} - T_{DJF1981-2010}$ (°C)
Frankfurt a. M.	2,65	+0,38
Kassel	1,32	+0,23
Beerfelden (Odenw)	0,43	-0,13
Geisenheim	3,03	+0,57
Burgwald-Bottendorf	1,13	+0,63
Wasserkuppe	-2,83	-0,66

2.4 Weiße Winter in Hessen - immer seltener?

Es lohnt sich, einen Blick auf die mittlere Wintertemperatur, die Anzahl an Frosttagen sowie auf Tage mit Schneebedeckung zu werfen; daraus lässt sich ableiten, ob die Wintersportmöglichkeiten in den hessischen Mittelgebirgen abgenommen haben und mit wieviel Schnee im Winter in Hessen zu rechnen ist. Die winterliche Erwärmung wurde bereits im Kapitel 2.1.2 angesprochen, hier zeigt sie sich in der folgenden Grafik:

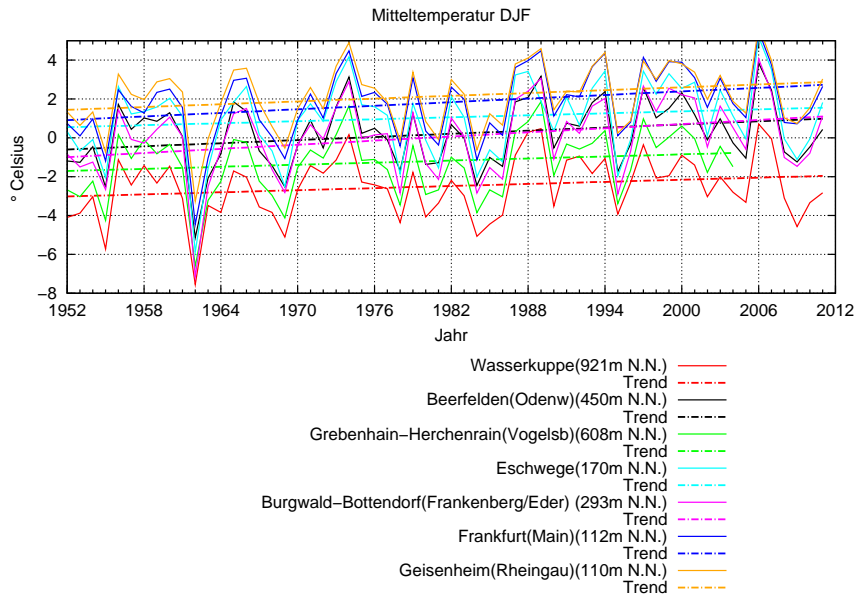


Abbildung 8: Mitteltemperatur Dezember, Januar und Februar (DJF) für verschiedene Stationen in Hessen.

In Abbildung 8 sind die mittleren Wintertemperaturen in 2 m Höhe aus Dezember, Januar und Februar dargestellt. Einige der gezeigten Messreihen enthalten leichte Inhomogenitäten durch Verlegung der Messstation. Aber eine leichte Veränderung der Stationshöhe bzw. Position verfälscht die Jahreszeitenmittelwerte der Temperatur praktisch nicht. Auf der Wasserkuppe beträgt die mittlere Temperatur im Winter 1981-2010 $-2,17\text{ °C}$, in Geisenheim dagegen $2,46\text{ °C}$. Es ist ein einheitlicher Verlauf aller Zeitreihen zu sehen, bei der die Maxima und Minima überall in den gleichen Jahren auftreten. Man sieht, dass es in Hessens Klima erhebliche regionale Unterschiede gibt, jedoch treten kalte bzw. milde Winter in Hessen flächendeckend auf. Der Rheingau kristallisiert sich dabei als mildeste Region Hessens heraus, gefolgt von der Rhein-Main-Region. Die Unterschiede in den Temperaturkurven der höhergelegenen Stationen resultieren überwiegend aus den unterschiedlichen Stationshöhen.

Der kälteste Winter war seit Messbeginn 1962/63, der wärmste Winter war die Saison 2006/07. Als nächstes folgt ein Blick auf die Jahressummen der Frosttage, das sind Tage mit einer Minimum Temperatur in 2 m Höhe von

unter 0 °C.

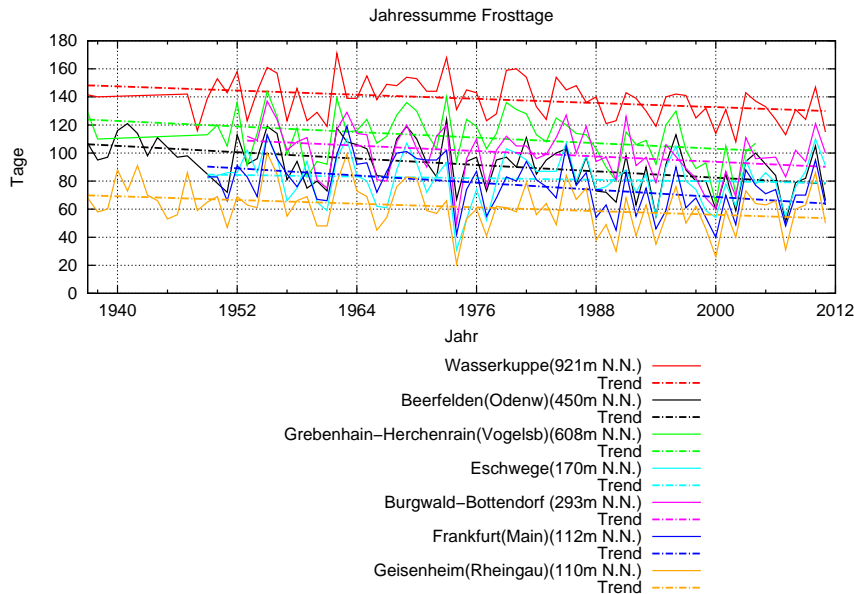


Abbildung 9: Jahressumme von Frosttagen für verschiedene Stationen in Hessen.

Die meisten Frosttage treten auf Hessens höchstem Berg, der Wasserkuppe, auf. Hier gibt es im Mittel der Periode 1981-2010 133 Frosttage pro Jahr. In Burgwald-Bottendorf wird an knapp 96 Tagen im Jahr Frost gemessen, in Beerfelden im Odenwald an 94 Tagen. Die Stationen Frankfurt Flughafen und Geisenheim (Rheingau) messen pro Jahr 70 bzw. 57 Frosttage. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen lassen sich mit den mittleren Temperaturen (Abb. 8) erklären, die im Rheingau und im Rhein-Main-Gebiet milder sind als in der Rhön oder im Vogelsberg. Auch in Abbildung 9 ähnelt sich der zeitliche Verlauf der einzelnen Graphen, die räumliche Verteilung der frostreichen bzw. frostarmen Jahren ist in ganz Hessen relativ ähnlich. Die Anzahl der Frosttage geht sowohl im Flachland als auch in den hessischen Mittelgebirgen zurück. Es gibt nahezu hessenweit den Trend, dass die Anzahl der Frosttage in der Jahressumme zurückgeht. Die Anzahl der Schneetage ist in Abbildung 10 dargestellt.

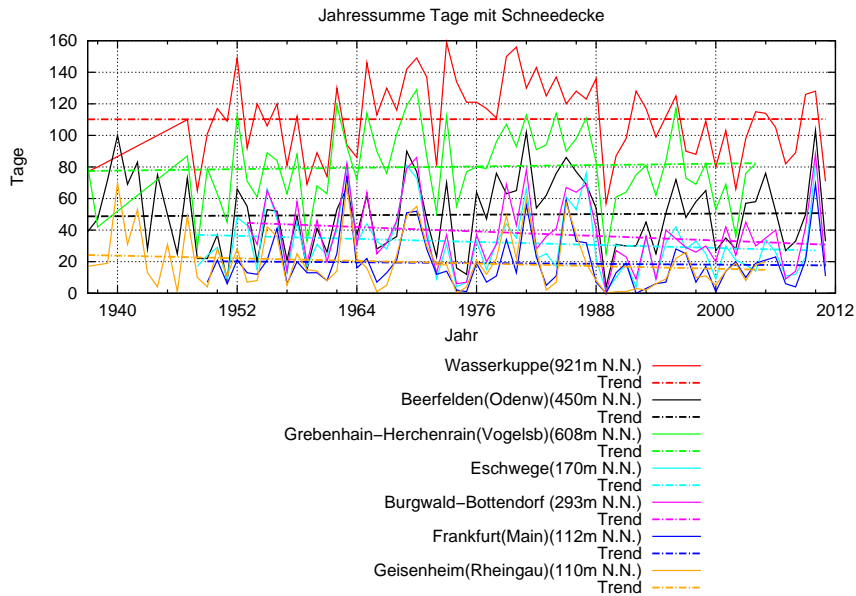


Abbildung 10: Jahressumme von Tagen mit Schneedecke für verschiedene Stationen in Hessen.

Im klimatologischen Jahresmittel von 1981-2010 ist die Wasserkuppe an knapp 109 Tagen zumindest teilweise mit Schnee bedeckt, während in Beerfelden an 53 Tagen sowie in den niedriger gelegenen Stationen Eschwege an 29 und Geisenheim an knapp 16 Tagen im Jahr Schnee liegt. Obwohl die mittlere Temperatur mit der Zeit ansteigt und die Anzahl der Frosttage abnimmt, fällt auf, dass es bei der Anzahl der Tage mit Schneebedeckung in den Mittelgebirgen keine langfristige Veränderung gibt. Die Anzahl der schneebedeckten Tage an den hochgelegenen Stationen Wasserkuppe, Herchenrain im Vogelsberg und Beerfelden im Odenwald blieb in den letzten 75 Jahren im Mittel nahezu unverändert. Allerdings erlauben die Daten keine Aussage über die Dicke der Schneedecke und somit nicht über die Brauchbarkeit für den Wintersport. In den tiefer gelegenen Stationen wie Eschwege, Frankfurt oder Geisenheim gibt es dagegen wie zu erwarten einen leicht rückläufigen Trend bei den Tagen mit Schneebedeckung.

2.5 Klimatische Erwärmung in Hessen und deren Auswirkung auf die Dauer der Vegetationsperiode

Um die Frage zu klären, inwieweit Hessen von einem Klimawandel bisher betroffen ist, bietet sich an, den Trend der Jahresmitteltemperatur zu untersuchen. In der folgenden Grafik ist das Jahresmittel der 2m Temperatur für einige ausgewählte Stationen in Hessen mit möglichst homogenen Bedingungen als Zeitreihe dargestellt:

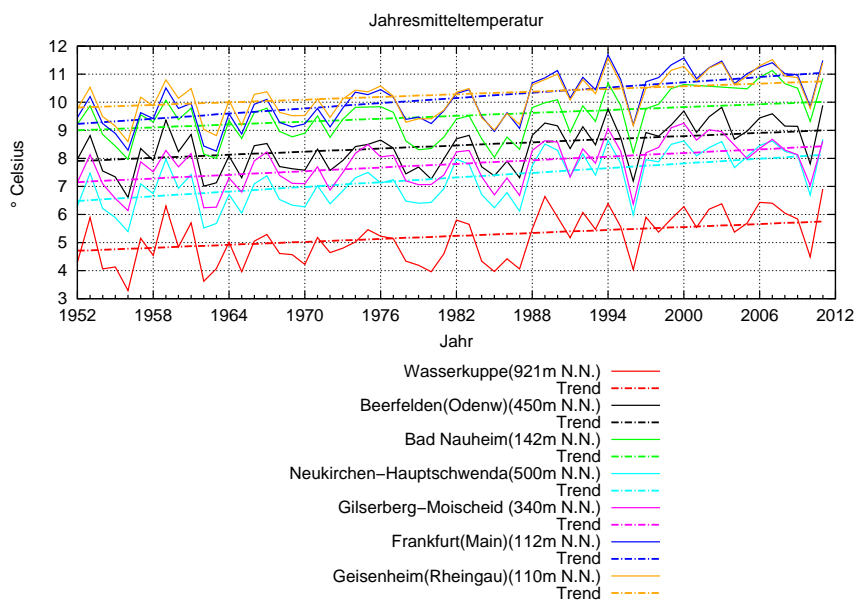


Abbildung 11: Zeitreihe der Jahresmitteltemperatur für verschiedene Stationen in Hessen.

Abbildung 11 zeigt in ganz Hessen einen ansteigenden Trend in der Jahresmitteltemperatur. Dabei liegt der Temperaturanstieg zwischen 1952 und 2012 in ganz Hessen um ca. 1 °C. Die zunehmende Erwärmung spiegelt sich auch in einer Verlängerung der Vegetationsperiode wider.

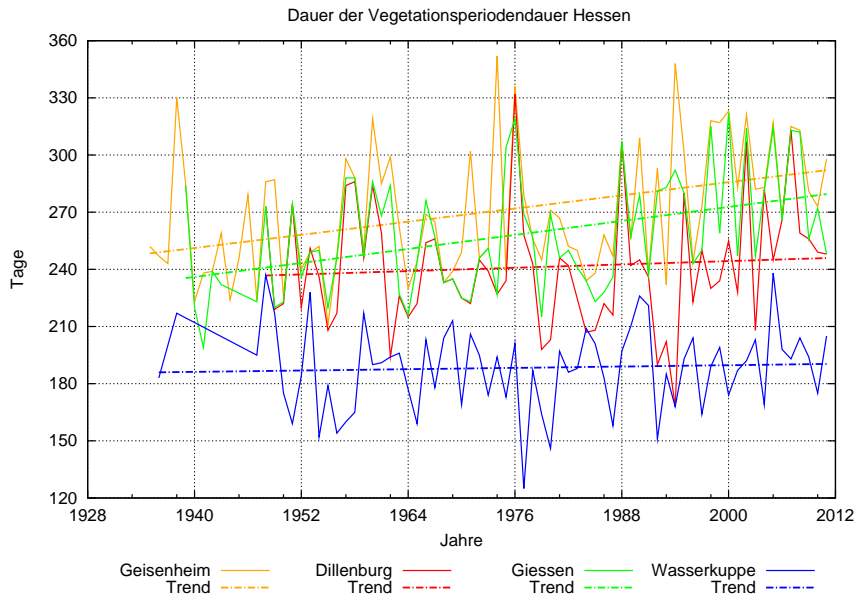


Abbildung 12: jährliche Dauer der Vegetationsperiode für verschiedene Stationen in Hessen.

Wie in Abbildung 12 zu sehen ist, hat die Vegetationsperiodendauer in Hessen zugenommen. In Gießen hat sich die mittlere Vegetationsperiode seit 1936 um ca. 45 Tage verlängert und auf der Wasserkuppe beträgt die Zunahme etwa 5 Tage in diesem Zeitraum. Wie bereits in Abbildung 9 gezeigt, hat es in den letzten Jahren auch bei den Frosttagen hessenweit eine Abnahme gegeben. Gleiches gilt für die Heizgradtage, die ein Maß für die benötigte Heizenergie sind (siehe Abb. 6).

2.6 Kalte Winter in Hessen

In den letzten 70 Jahren traten in Hessen einige kalte Winter mit teilweise langanhaltender bzw. extremer Kälte auf. Solche Extrema treten immer mal wieder auf, sie gehören zur normalen Variabilität des Klimas und haben nicht unbedingt mit dem Klimawandel zu tun. Ein einfacher Indikator für die Strenge eines Winters ist die Kältesumme, bei der die Beträge aller zwischen November und März aufgetretenden negativen Tagesmitteltemperaturen aufsummiert werden. Ist die Kältesumme größer als 400 °C, so handelt es sich um einen extrem kalten Winter. Es werden gemessene Ergebnisse einiger kalter Winter in Hessen vorgestellt. An Abbildung 8 zeigt sich, wann in Hessen kalte Winter aufgetreten sind.

2.6.1 Winter 1939/40

Tabelle 2: Der Winter 1939/40 in Zahlen

Parameter	Darmstadt	Gießen	Kl. Feldberg	Röhrighof (Schlüchtern)
min. T_{min} [°C]	-26,9	-26,6	-20,2	-27,7
Kältesumme [°C]	438,2	502,6	590,1	600,8
Frosttage(konsekutiv)	52	53	57	57
Eistage(konsekutiv)	46	19	21	20

Auffällig im Winter 1939/40 war, dass die Temperatur in Darmstadt an 46 Tagen in Folge auch tagsüber unter dem Gefrierpunkt lag. Dabei handelt es sich um die längste konsekutive Eistagsperiode im hessischen Flachland. In Röhrighof bei Schlüchtern wurde in einer Nacht eine Minimumtemperatur von -27,7 °C gemessen, so kalt war es bis dato in Hessen noch nirgends gewesen. Insgesamt gab es in Hessen zu der Zeit nicht zuletzt wegen des 2. Weltkrieges nur sehr wenige Wetterbeobachtungen, daher ist das Datenvolumen aus diesem Winter begrenzt.

2.6.2 Winter 1962/63

Dieser Winter war von der räumlichen Ausdehnung her der kälteste Winter in Hessen seit Beginn der Messungen. An 16 Stationen war die Kältesumme dieses Winters größer als 600 °C. Es gab zwischen 1. Dezember 1962 und 28. Februar 1963 in Neukirchen-Hauptschwenda (Knüll) insgesamt 89 Tage mit Frost. Die tiefsten Temperaturen wurden mit jeweils -27,7 °C in Biedenkopf und Hofgeismar-Beberbeck gemessen. Erwähnenswert ist auch,

Tabelle 3: Der Winter 1962/63 in Zahlen

Parameter	Bieden- kopf	Franken- berg (Eder)	Fulda	Hofgeismar- Beberbeck	Wasser- kuppe
min. T_{min} [°C]	-27,7	-23,3	-27,5	-27,7	-19,2
Kältesumme [°C]	594,6	722,5	680,1	661,1	789,6
Frosttage(konsek.)	61	80	59	59	90
Eistage(konsek.)	17	42	32	19	56

dass auf Hessens höchstem Berg, der Wasserkuppe, nicht so tiefe Temperaturen gemessen wurden, wie in den anderen in Tabelle 3 gezeigten Orten. Auf der Wasserkuppe gab es aber in dem Winter eine Rekordfrostperiode mit 90 aufeinanderfolgenden Frosttagen und 56 aufeinanderfolgenden Eistagen. In Frankenberg an der Eder wurden immerhin 80 Frosttage bzw. 42 Eistage fortlaufend registriert.

2.6.3 weitere kalte Winter

Des Weiteren können die Winter der Jahre 1946/47 mit 89 Frosttagen auf der Wasserkuppe und 78 in Willingen/Upland sowie 1969/70 mit 46 konsekutiven Eistagen auf dem Kleinen Feldberg, der Wasserkuppe und $-26,5$ °C in Hofgeismar-Beberbeck zu den extremen Wintern in Hessen gezählt werden. Der Ort in Hessen, an dem die tiefste Temperatur seit Beginn der Messungen aufgezeichnet wurde, ist Beberbeck, ein im Reinhardswald gelegener Stadtteil von Hofgeismar (244 m über N.N.). Am 13.01.1968 wurde dort eine Minimumtemperatur von $-28,3$ °C gemessen. Damit fällt das historische Minimum kurioserweise in keinen der zuvor vorgestellten besonders kalten Winter, sondern es trat in einem durchschnittlich kaltem Winter auf (Kältesumme 179,6 °C). Daran sieht man, dass vereinzelte extrem kalte Tage auch während eines mildereren Winters möglich sind. Dazu verhelfen u.a. ein wolkenloser Himmel, der maximale nächtliche Ausstrahlung ermöglicht sowie eine isolierende Schneedecke mit hohem solarem Reflexionsvermögen. Dieser Kälterekord ist in Beberbeck allerdings kein Einzelfall, 3 Werte aus den Top10 der tiefsten Temperaturen Hessens wurden dort registriert. Da bis zur Beendigung der meteorologischen Datenaufzeichnung an dieser Station im Jahre 2002 niedrigere Extremwerte als etwa auf der Wasserkuppe erreicht wurden, deren absolutes Temperaturminimum bis heute $-26,3$ °C beträgt, kann Hofgeismar-Beberbeck ohne Zweifel zu den kältesten Orten Hessens gezählt werden.

2.7 Hitzewellen und heiße Sommer

Genauso wie kalte Winter sind den Menschen in Hessen heiße Sommer in Erinnerung geblieben. Einzelne auftretende extreme Sommer sind im Zuge der Klimavariabilität normale Ereignisse und keine Folge eines Klimawandels. Allerdings lässt sich eine klimawandelbedingte Erwärmung durch eine zunehmende Anzahl von Sommertagen zeigen. Dieser ansteigende Trend im Mittelwert macht sich an den meisten hessischen Klimastationen bemerkbar (Abb.13).

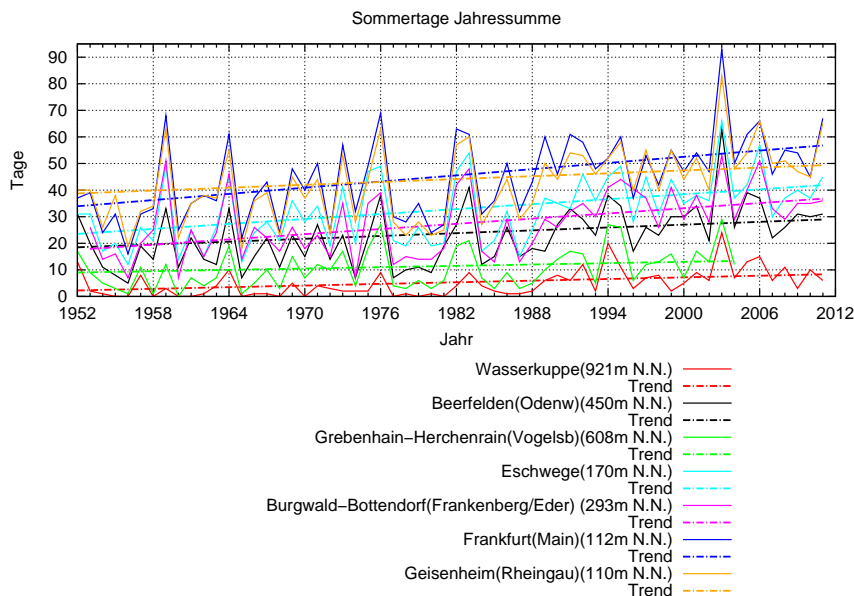


Abbildung 13: Jahressumme von Sommertagen für verschiedene Stationen in Hessen.

Die meisten Sommertage in Hessen gibt es, wie in Abbildung 13 zu sehen ist, in Frankfurt und Geisenheim. In der mittleren Jahressumme der Periode 1981-2010 sind es 51 Sommertage in Frankfurt und 48 in Geisenheim. Selbst an der 950 m hohen Wasserkuppe treten in den letzten 30 Jahren vermehrt Sommertage auf, nachdem es in den 50er und 60er Jahren nur vereinzelt Jahre gab, in denen es mehr als 1-2 Sommertage gab. An den Maxima in dieser Abbildung lassen sich die extrem heißen Sommer erkennen, die es in Hessen in den letzten 60 Jahren gegeben hat. Besonders die Sommer der Jahre 2003, 1976 und 1959 mit über 90 bzw. jeweils ca. 70 Sommertagen fallen hier auf.

Die hochsommerliche Witterung wurde oftmals durch ein stabiles Hochdruckgebiet, welches über Mitteleuropa lag, hervorgerufen. Das Auftreten solcher Hitzewellen mit starker Sonneneinstrahlung, extrem hohen Temperaturen, wenig Wolkenbedeckung und Niederschlag und das über einen Zeitraum von mehreren aufeinanderfolgenden Tagen sorgt für eine hohe Belastung für den menschlichen Kreislauf, reduziert die landwirtschaftlichen Erträge und auch die Waldbrandgefahr steigt an.

2.7.1 Sommer 2003

In Gernsheim am Rhein folgten im Juli und August 2003 51 Sommertage ohne Unterbrechung aufeinander. Dabei handelt es sich um den hessischen Hitzewellenrekord. In Darmstadt, Michelstadt, Schlüchtern und Frankfurt gab es in dem Jahr immerhin 29 konsekutive Sommertage. Die anhaltende

Tabelle 4: Der Sommer 2003 in Zahlen

Parameter	Frankfurt (Main)	Gießen	Geisenheim	Michelstadt- Vielbrunn
max. T_{max} [°C]	38,7	37,9	37,8	35,5
Tage mit Hitzeindex ≥ 3	12	10	9	0
Sommertage	93	83	83	61
Sommertage (konsekutiv)	29	27	27	14
Heiße Tage	29	21	24	16
Heiße Tage (konsekutiv)	14	13	14	11
Tropennächte	6	1	7	9
Sonnenscheindauer [h]	2137,6	2169,8	2193,9	2180,8
mittl. Bedeckungsgrad [%]	55,48	57,57	60,38	57,91

Hitzewelle im Sommer 2003 war für einige meteorologische Rekorde verantwortlich. Die Rekordtemperatur, die jemals in Hessen gemessen wurde, stammt aus dem August 2003 mit 38,7 °C in Fulda und Frankfurt. Die 40 Grad Marke wurde in Hessen bisher (Stand: 2012) an noch keiner Messstation erreicht. Im Jahre 2003 wurde auch mit 98 Sommertagen in Gernsheim ein Rekord aufgestellt, 51 davon traten als aufeinanderfolgende Periode auf. Selbst in Vielbrunn im Odenwald auf 450 m über N.N. gab es 61 Sommertage und im August 2003 sogar eine Periode aus 11 aufeinanderfolgenden heißen Tagen. Durch die fehlende nächtliche Abkühlung war die Belastung für den menschlichen Kreislauf besonders hoch. Es gab aufgrund des städtischen Wärmeinseleffektes in Frankfurt/Westend 12, am Flughafen immerhin

6 Tropennächte (Tabelle 4). In Grebenhain-Herchenrain waren es 10 Nächte mit einer Minimumtemperatur größer 20 °C. Fulda meldete 19 Tage mit mindestens hoher Hitzebelastung, was Stufe 3 des NOAA-Hitzeindex, der das thermische Empfinden aufgrund von Temperatur und Luftfeuchte charakterisiert, entspricht. In Gernsheim und Schlüchtern-Herolz traten in diesem Sommer 17 Tage mit mindestens hoher Hitzebelastung auf.

Im Zuge der stabilen Hochdruckwitterung wurde 2003 auch ein Rekordminimum im mittleren Bedeckungsgrad erreicht. In Gilserberg-Moischeid waren im Jahresmittel nur 42,63 % des Himmels mit Wolken bedeckt, gefolgt von Nidderau-Windecken mit 43,32 %. Der geringe Bedeckungsgrad ermöglichte auch die in Tabelle 4 gezeigten Jahressummen der Sonnenscheindauer, die zu den höchsten je in Hessen registrierten Werten zählen und nur noch durch den Allzeitrekord aus dem Jahre 1959 mit 2199,7 Stunden Sonnenschein auf dem Kleinen Feldberg übertroffen werden, der vor allem durch einen trockenen und sehr sonnigen September verursacht wurde.

2.7.2 Sommer 1959

Tabelle 5: Der Sommer 1959 in Zahlen

Parameter	Frankenberg (Eder)	Geisenheim	Gernsheim (Rhein)	Lorch (Rhein)
max. T_{max} [°C]	36,8	36,8	37,0	37,4
Tage mit Hitzeindex ≥ 3	3	3	3	3
Sommertage	51	63	75	67
Sommertage (konsekutiv)	8	15	25	25
Heiße Tage	5	21	23	14
Trockenperiode	58	65	39	41
Heiße Tage (konsekutiv)	4	4	10	4

Im Jahr 1959 wurden die typischen Sommermonate Juni, Juli und August von einem sommerlichen Mai und einem spätsommerlichen trockenen September eingerahmt. Die 75 Sommertage, die es 1959 in Gernsheim gab, verteilten sich zu 56 auf die Sommermonate, 8 im Mai und 11 im September. Die bis in den Oktober andauernde Trockenperiode, bestehend aus Tagen mit weniger als 1 mm Niederschlag, dauerte in Greifenstein im Westerwald 69 Tage, 68 in Rüdesheim und noch 58 Tage in Frankenberg an der Eder. Damit ist dies die längste Trockenperiode, die bisher in Hessen aufgezeichnet wurde. Aus diesem Jahr stammt wie bereits erwähnt die bisher höchste Sonnenscheinjahressumme. Auf den Rekord vom Kleinen Feldberg mit 2199,7 Stunden Sonnen-

schein folgen die Wasserkuppe mit 2173,1 Stunden und Waldems-Reinborn (Taunus) mit 2133 Stunden. Die Ursache für das sonnenscheinreichste Jahr in Hessen war ein überdurchschnittlich sonniger Mai und September. Auf dem Kleinen Feldberg wurden im Mai 253 Stunden und im September 296 Stunden Sonnenschein registriert, ein Überschuss von 35 % bzw. 114 % relativ zur Periode von 1981-2010.

2.7.3 Sommer 1976

Die Hitzeperiode im Juli 1976 brachte in Offenbach am Main 33 aufeinanderfolgende Sommertage und 29 in Limburg, Gießen und Nidderau. Im Vergleich zu 2003 gab es zwar in der Summe etwas weniger Sommertage, die Zahl der heißen Tage war aber in etwa ähnlich. Das besondere an der Hitzewelle 1976 war, dass es in Gernsheim 17 und in Frankfurt und Lorch am Rhein 16 aufeinanderfolgende heiße Tage mit einer Maximaltemperatur größer als 30 °C gab. An der Bergstraße und im Rheingau wurde an mindestens einem Tag die 37 °C Marke erreicht. Der mittlere Bedeckungsgrad betrug im Jahre 1976

Tabelle 6: Der Sommer 1976 in Zahlen

Parameter	Bensheim	Gernsheim	Limburg	Offenbach
max. T_{max} [°C]	37,0	37,2	35,5	35,9
Tage mit Hitzeindex ≥ 3	7	0	4	0
Sommertage	68	75	64	71
Sommertage (konsekutiv)	25	25	29	33
Heiße Tage	24	27	21	24
Heiße Tage (konsekutiv)	15	17	15	15

in Waldems-Reinborn (Taunus) lediglich 50,1 %, der geringe Bewölkungsgrad ist mit ein Grund dafür, dass das Jahr 1976, wie im Verlauf des Berichts noch gezeigt wird, in Hessen eines der niederschlagsärmsten Jahre überhaupt war.

2.7.4 Sommer 1952

Nach Abbildung 13 würde der Sommer 1952 gar nicht als extremer Sommer eingestuft. Im Gegenteil: Die Jahressumme an Sommertagen liegt mit 37 in Frankfurt am Main und 31 in Eschwege sogar noch unter dem klimatologischen Mittel 1981-2010. Dieser Sommer war demnach relativ kurz, dafür umso intensiver. Es gab in diesem Sommer bis zu 11 Tagen mit hoher Hitzebelastung (nach NOAA-Hitzeindex) sowie 15 - 18 heiße Tage, wovon 10 aufeinanderfolgend waren. Die Hitzebelastung war demnach auf eine kurze

Tabelle 7: Der Sommer 1952 in Zahlen

Parameter	Bensheim	Frankfurt	Limburg	Lorch(Rhein)
max. T_{max} [°C]	38,3	38,1	38,4	38,2
Tage mit Hitzeindex ≥ 3	10	10	9	11
Sommertage	57	37	41	50
Sommertage (konsekutiv)	18	11	12	12
Heiße Tage	18	14	16	15
Heiße Tage (konsekutiv)	10	10	10	10

Zeitspanne konzentriert. Der dabei in Limburg-Offheim aufgestellte Temperaturrekord von 38,4 °C war über 50 Jahre lang der hessische Temperaturrekord und bis 2003 gültig.

2.7.5 Sommer 1947

Auch der Sommer 1947 sollte bei den Extremereignissen erwähnt werden. Die Hitzewelle konzentrierte sich allerdings eher auf Südhessen. Aus diesem

Tabelle 8: Der Sommer 1947 in Zahlen

Parameter	Bensheim	Darmstadt	Frankfurt (Main)	Modautal- Neunkirchen
max. T_{max} [°C]	38,3	37,6	38,2	33,0
Tage mit Hitzeindex ≥ 3	11	10	17	0
Sommertage	98	85	97	42
Sommertage(konsekutiv)	21	14	21	10
Tropennächte	4	1	7	14
Heiße Tage	45	38	42	7
Heiße Tage(konsekutiv)	13	9	9	2

Jahr stammt die Rekordsumme an Tropennächten. Es gab auf der über 500 m hohen Neunkircher Höhe im Odenwald 14 Tropennächte.

2.8 Sonnenscheindauer

Die jährliche Sonnenscheindauer beträgt im klimatologischen Mittel von 1981-2010 zwischen 1400 und 1600 Stunden. Die mittleren Jahressummen der Sonnenscheindauer sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: mittlere Jahressumme Sonnenscheindauer 1981-2010.

Station	Sonnenscheindauer 1981-2010 [h]
Bad Hersfeld	1435,64
Frankfurt a.M.	1661,88
Geisenheim	1647,02
Gießen/Wettenberg	1599,77
Kassel	1499,42
Kleiner Feldberg	1471,94
Schotten	1353,24
Wasserkuppe	1564,20

Hessens sonnenscheinreichster Ort ist Frankfurt am Main mit 1662 Stunden Sonne im Jahr, gefolgt von Geisenheim mit 1647 Stunden und Gießen mit 1600 Stunden. Im vorherigen Kapitel wurde bereits auf die hessischen Rekordwerte eingegangen. Die Jahre 1959 (Kl. Feldberg 2199,7 Stunden) und 2003 (Geisenheim 2193,3 Stunden) waren die sonnenscheinreichsten Jahre in Hessen.

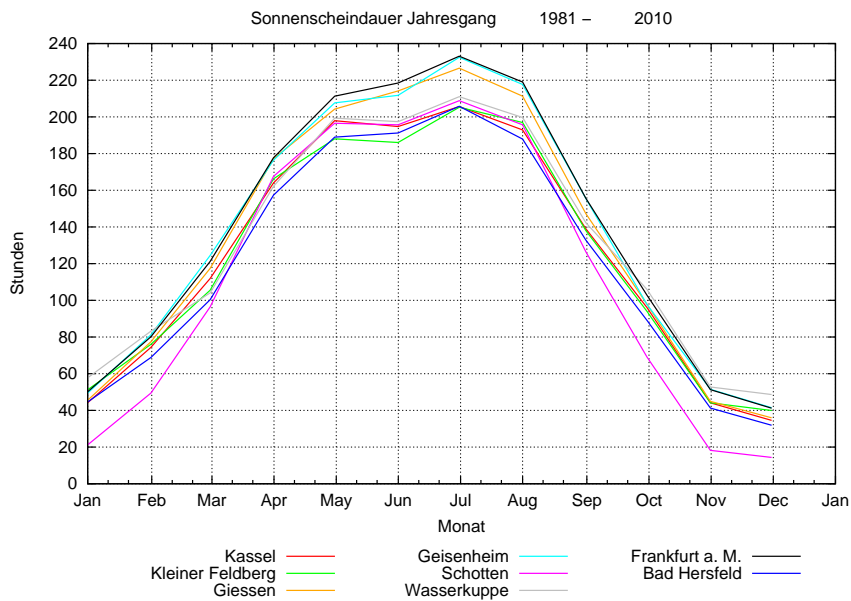
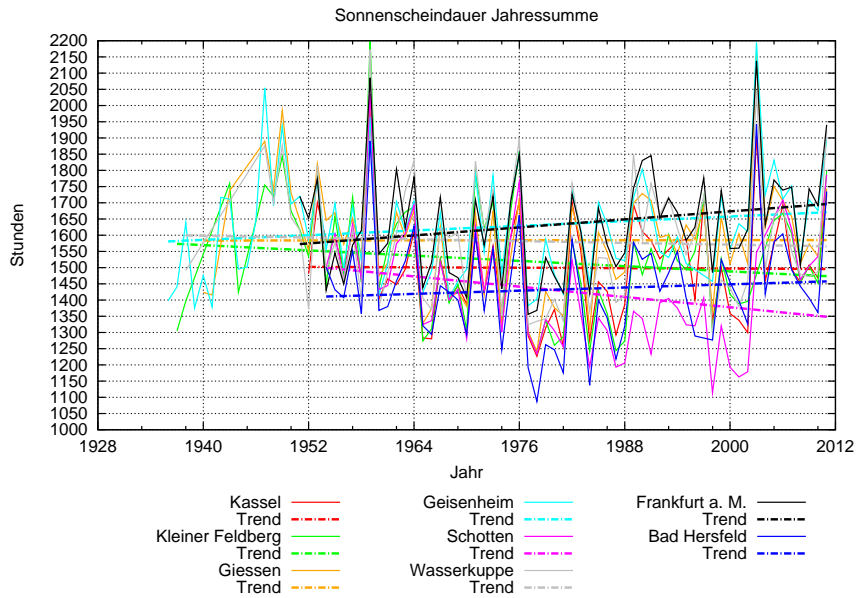


Abbildung 14: Zeitreihe der Jahressumme der Sonnenscheindauer(oben) und mittlerer Jahresgang (1981-2010) der Sonnenscheindauer(unten) für verschiedene Stationen in Hessen.

Abbildung 14 (oben) zeigt, dass die Sonnenscheindauer innerhalb eines Jahres eine hohe räumliche Variabilität hat, da kleine Wolken bereits einen großen Einfluss haben können. Daher lässt sich ein repräsentativer Mittelwert kaum bilden. Auch der langfristige Trend in der Sonnenscheindauer unterscheidet sich lokal. Auf dem Kleinen Feldberg und in Schotten ist ein Rückgang zu erkennen, während in Geisenheim, Bad Hersfeld und in Frankfurt ein leichter Anstieg zu sehen ist. An den übrigen Stationen lässt sich in den letzten Jahren keine nennenswerte Veränderung erkennen. Der charakteristische Verlauf des mittleren Jahresganges ist dagegen in Hessen recht ähnlich (Abbildung 14, unten). Der Monat mit den meisten Sonnenstunden ist an allen gezeigten hessischen Stationen der Juli, der Monat mit der geringsten Sonnenscheindauer ist der Dezember.

2.9 Veränderung der mittleren täglichen Temperaturschwankung

Die mittlere tägliche Temperaturschwankung (engl.: Diurnal Temperature Range, DTR) ist definiert als

$$\sum_{i=1}^N (T_{max} - T_{min}) / N$$

und ein Maß für die lokale mittlere Strahlungsbilanz an einem Ort. Eine hohe tägliche Temperaturschwankung liegt dann vor, wenn Ein- und Ausstrahlung möglichst groß sind. In diesem Fall steigt bei wolkenfreiem Himmel und voller täglicher Sonneneinstrahlung die Temperatur an, nachts kühlt die Erdoberfläche und dadurch auch die Atmosphäre bei wolkenlosem Himmel besonders stark ab.

Für die Bewertung der Trends der mittleren täglichen Temperaturschwankung sind homogene Datenreihen besonders wichtig, da veränderte Rahmenbedingungen diese Größe stark beeinflussen. Die zeitliche Entwicklung des DTR ist in Hessen für nahezu jede Station individuell, es können daraus keine Regelmäßigkeiten für einzelne Regionen abgeleitet werden. Abbildung 15 zeigt den zeitlichen Trend des DTR am Beispiel der Stationen Geisenheim, Fulda, Gilserberg-Moischheid und der Wasserkuppe.

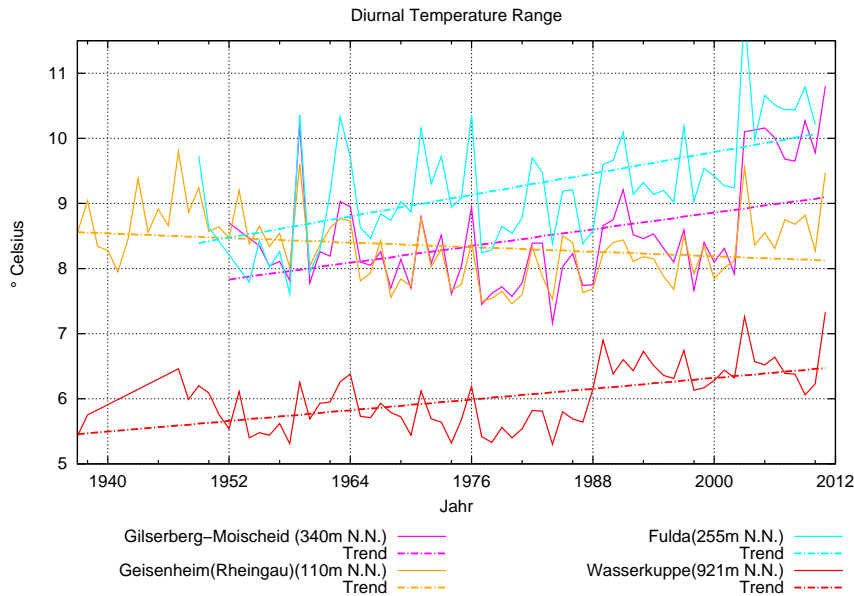


Abbildung 15: zeitlicher Trend des Diurnal Temperature Range für verschiedene Stationen in Hessen.

Die mittlere tägliche Temperaturschwankung ist fast jedes Jahr in Fulda am größten und auf der Wasserkuppe am geringsten.

Mit Ausnahme von Geisenheim gibt es an allen dargestellten hessischen Klimastationen im Verlauf der letzten 60 Jahre einen ansteigenden Trend im DTR zu beobachten. Nach dem Jahre 2003, wo durch den extrem heißen Sommer ein um 2 °C höheres Maximum im DTR auftrat, wurden in den Folgejahren vor allem in Moisscheid und in Fulda deutlich höhere DTR-Werte erreicht als zuvor. Zuletzt wurde 2011 in Moisscheid (10,80 °C) und auf der Wasserkuppe (7,33 °C) ein Maximum erreicht. Die Rahmenbedingungen der Messstationen haben sich im Jahre 2003 nicht verändert, daher könnte die Erhöhung des DTR in den darauffolgenden Jahren klimatische Ursachen haben (Abbildung 15). Auch auf der Wasserkuppe gab es eine deutliche Veränderung im DTR ab ca. 1989, auch wenn der tägliche Temperaturbereich auf der Wasserkuppe deutlich geringer ist, als in den tiefer gelegenen Stationen. In Geisenheim ist der Trend des DTR aufgrund hoher Werte in den 40er Jahren unverändert bis schwach rückläufig.

Da der mittlere Tagesgang der Temperatur mit der mittleren Strahlungsbilanz in Beziehung steht, diese wiederum vom Bewölkungsgrad abhängt,

könnte der Trend des mittleren Bedeckungsgrades eine Erklärung sein.

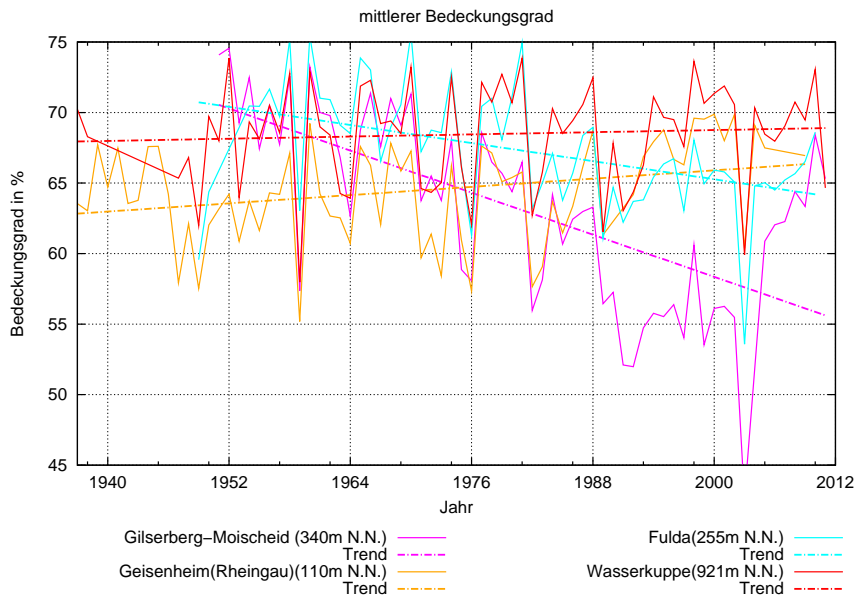


Abbildung 16: zeitlicher Trend des mittleren Bedeckungsgrades für verschiedene Stationen in Hessen.

Der Bedeckungsgrad wird oftmals durch Augenbeobachtungen bestimmt und ist somit von der subjektiven Wahrnehmung des Wetterbeobachters abhängig. Aufgrund der kleinräumigen Ausdehnung von Wolken hat der Bedeckungsgrad eine hohe räumliche Variabilität. Daher gibt es innerhalb Hessens große Unterschiede. Die Wasserkuppe ist im Jahresmittel der Periode 1981-2010 zu 68 % mit Wolken bedeckt, in Gilserberg-Moischeid im Schwalm-Eder-Kreis sind es dagegen nur 58 % Bedeckung.

In Fulda und Gilserberg-Moischeid geht der mittlere Bedeckungsgrad zurück, was für höhere Tages- und niedrige Nachttemperaturen sorgen könnte, dies könnte der Grund für den Anstieg im DTR sein. In Geisenheim steigt der mittlere Bedeckungsgrad, wie aufgrund des DTR Verlaufs zu erwarten war, leicht an. Auf der Wasserkuppe dagegen ist im mittleren Bedeckungsgrad fast keine Veränderung zu erkennen.

Auch in Abbildung 16 sind die extremen Sommer 1959 und 2003 durch ein absolutes Minimum im Jahresmittel des Bedeckungsgrades erkennbar. In Geisenheim betrug der mittlere Bedeckungsgrad 55 %, in Gilserberg-

Moischeid war im 2003 im Mittel weniger als 45 % des Himmels mit Wolken bedeckt. In den 70er und 80er Jahren ähnelt der Verlauf dieser Zeitreihe der von Geisenheim. Ab Beginn der 1990er Jahre fällt in Gilserberg-Moischeid ein deutlicher Rückgang im mittleren Bedeckungsgrad auf, der möglicherweise den starken Trend verursacht, während der Bedeckungsgrad in Geisenheim in dieser Zeit deutlich höher liegt. Man kann erkennen, dass der mittlere Bedeckungsgrad an einigen Stationen leicht negativ mit dem DTR korreliert ist und demnach mit dem Diurnal Temperature Range zusammenhängen könnte.

2.10 Langfristige Veränderungen im April-Wetter

„Der April, der April, der macht was er will.“ Dieses alte Sprichwort schon zeigt, dass der April seit jeher ein Monat ist, der von eher wechselhaftem Wetter geprägt ist. Allerdings lässt sich in den letzten Jahrzehnten eine Veränderung der Witterung im April erkennen.

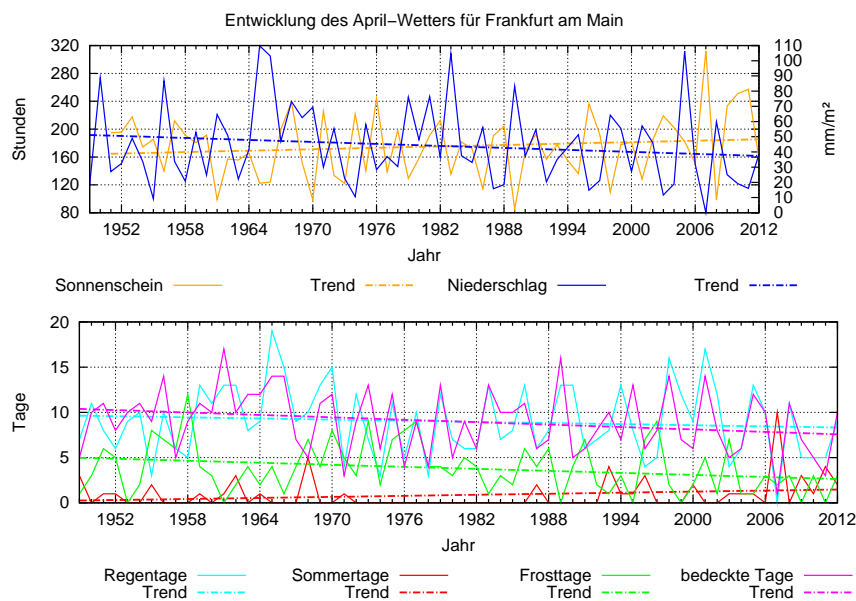


Abbildung 17: Anzahl Sommer-, Frost- und Regentage sowie Niederschlagssumme und Sonnenscheindauer im April für Frankfurt a. M.

Es ist ein Trend zu einem vermehrten Auftreten von Sommertagen im April

zu erkennen. Gab es bis zu den 1970er Jahren nur selten Tage mit Temperaturen größer als 25 °C, so trat in den letzten 20 Jahren fast immer mindestens ein Sommertag auf. Das bisherige Maximum trat im April 2007 auf, als es 10 Sommertage gab. Gleichzeitig war die Anzahl der Frosttage in den letzten Jahren leicht rückläufig. 1958 gab es noch an 12 Tagen Nachtfrost, das Maximum der letzten 20 Jahre lag im Jahre 1997 mit 9 Frosttagen darunter. Diese Veränderung ist ein Grund dafür, dass es einen Trend zu einem früheren Vegetationsbeginn gibt (Abb.4). Die Grafik, die Niederschlag und Sonnenscheindauer zusammen darstellt, zeigt schön die interdekadische Variabilität. Der April wurde in den letzten Jahren zunehmend sonniger. In den Jahren 2007, 2009, 2010 und 2011 gab es jeweils mehr als 200 Sonnenstunden. Auch der rückläufige Trend in den Tagen mit mehr als 80 % Wolkenbedeckung bestätigt dies. 1965, 1983 und 2005 war der April mit ca. 110 mm Niederschlag verregnet. Dafür gab es 2007 erstmals seit 1893 in Frankfurt einen komplett niederschlagsfreien April. Sowohl die Anzahl der Regentage als auch die Niederschlagsmenge sind im Trend rückläufig. Wie später noch gezeigt wird, ist der April aber ohnehin in Hessen der Monat mit den geringsten Niederschlägen.

3 Wind

Wind wurde in Hessen vom Deutschen Wetterdienst an nur 25 Stationen gemessen. Davon wiederum haben lediglich 17 Stationen auch die Windspitzen erfasst. In der Gegenwart wird nach Einsparungen im DWD nur noch an 13 Stationen hessenweit Wind gemessen. Es bleiben also nur wenige Stationen übrig, die Winddaten über einen hinreichend langen Zeitraum gesammelt haben, um Trendaussagen über Häufigkeit im Auftreten und Intensität von Sturmereignissen treffen zu können. Da einige Zeitreihen auch noch Inhomogenitäten durch Verlegung der Messstation und dementsprechend Änderungen in der Stations- bzw. Messhöhe über Grund enthalten, können klimatisch bedingte Änderungen nur anhand der bezüglich Mess- und Stationshöhe einigermaßen homogenen Datenreihen des Kleinen Feldberges, der Wasserkuppe, Frankfurt am Main und Kassel gezeigt werden.

3.1 Mittlerer Jahrgang des Windes in Hessen

Am Beispiel des Kleinen Feldberges im Taunus wird in der folgenden Abbildung der Jahrgang des mittleren Windes sowie der mittleren Windspitze über die Periode 1981-2010 dargestellt sowie für jeden Kalendertag das absolute jemals aufgetretene Maximum.

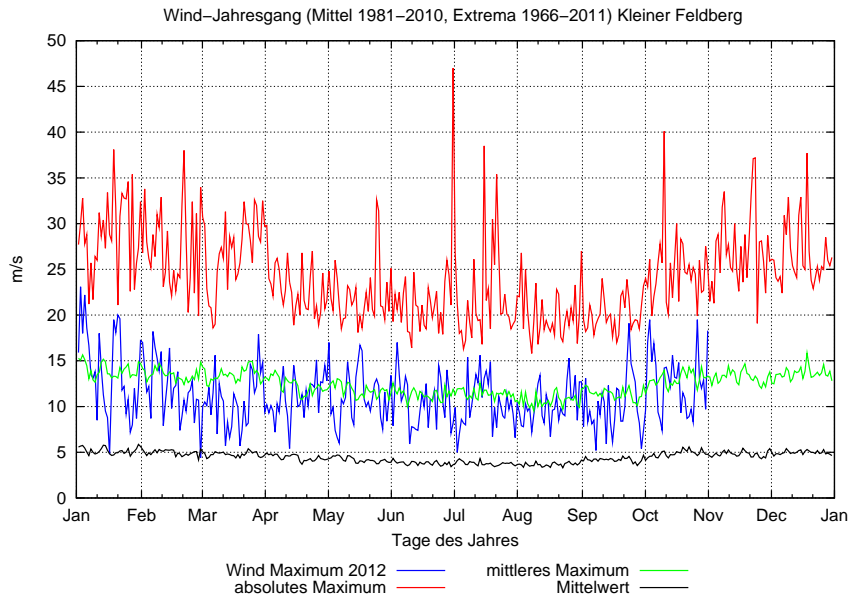


Abbildung 18: Jahresgang des mittleren Windes (schwarz) und der mittleren Windspitze (grün) auf dem Kleinen Feldberg über die Periode 1981-2010 sowie das absolute Windmaximum seit Beginn der Messungen (rot) und die Windspitzen des Jahres 2012 (blau).

In Abbildung 18 sieht man, dass der Jahresgang des mittleren Windes zwischen 5 m/s im Winterhalbjahr und etwa 3,5 m/s in den Sommermonaten variiert. Auch die mittlere Windspitze zeigt ein Maximum in den Wintermonaten, welches auf das Auftreten von Winterstürmen zurückzuführen ist. In den absoluten Windmaxima seit 1966 finden sich einige Böen, die von Orkantiefs wie Kyrill am 18.01.2007 mit 28,1 m/s oder Wiebke am 01.03.1990 mit 34,0 m/s verursacht wurden. Interessant ist, dass viele andere bekannte Orkanereignisse der letzten Jahre wie Xynthia (28.02.2010) oder Emma (01.03.2008) im Jahresgang der absoluten Windmaxima gar nicht abgebildet werden, da an diesen Kalendertagen in früherer Zeit bereits stärkere Windböen auftraten. Auch Kyrill sticht aus der Grafik kaum hervor, da ein Sturmereignis am 19.01.1986 auf dem Kleinen Feldberg eine Böe von 38,1 m/s verursachte, die die durch Kyrill verursachte maximale Böe deutlich übersteigt.

Interessant ist, dass das absolute Böenmaximum, das auf dem Kleinen Feld-

berg jemals erfasst wurde, im Juli und damit im Sommer auftritt. Am 1. Juli 2003 wurde dort mit 169,2 km/h bzw. 47 m/s die bis dato höchste jemals in Hessen beobachtete Windgeschwindigkeit registriert. Das hessische Windmaximum wurde erst durch Orkan Kyrill 2007 auf der Wasserkuppe übertroffen. Ursache für die extrem starken Böen am 1., 16., 20. und 22. Juli 2003 von über 35 m/s waren kräftige Gewitter. Das zeigt, dass einzelne Böen während sommerlicher Hitzegewitter in ihrer Intensität den Herbst- und Winterstürmen um nichts nachstehen. Der blaue Graph zeigt den Verlauf des Windmaximums im Jahre 2012 an. Daher sieht man sofort, dass es auf dem Kleinen Feldberg 2012 kein Sturmereignis gab, dass von der Intensität her stark genug war, um die bisherigen Böenrekorde brechen zu können.

3.2 Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Sturmereignissen in Hessen

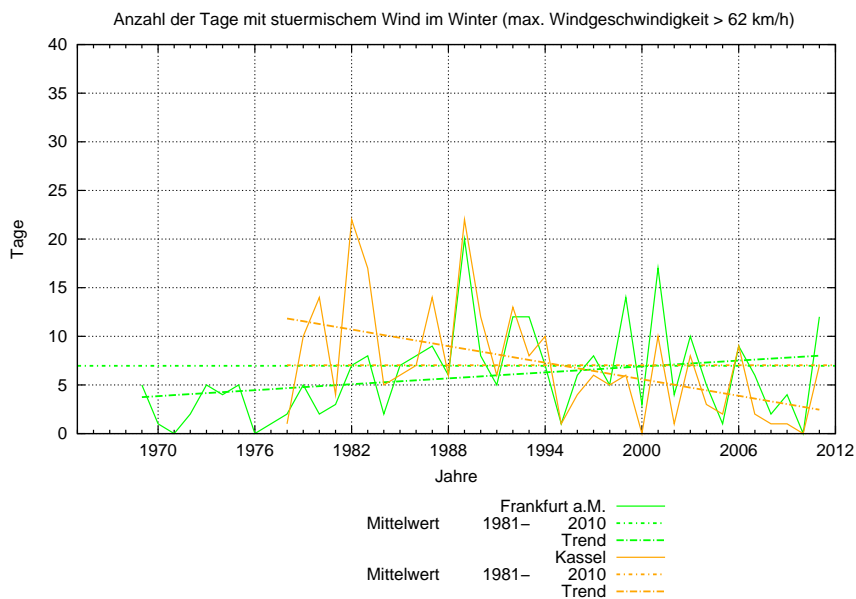


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Anzahl der Tage im Winter mit einer maximalen Windgeschwindigkeit größer als 62 km/h in Frankfurt und Kassel.

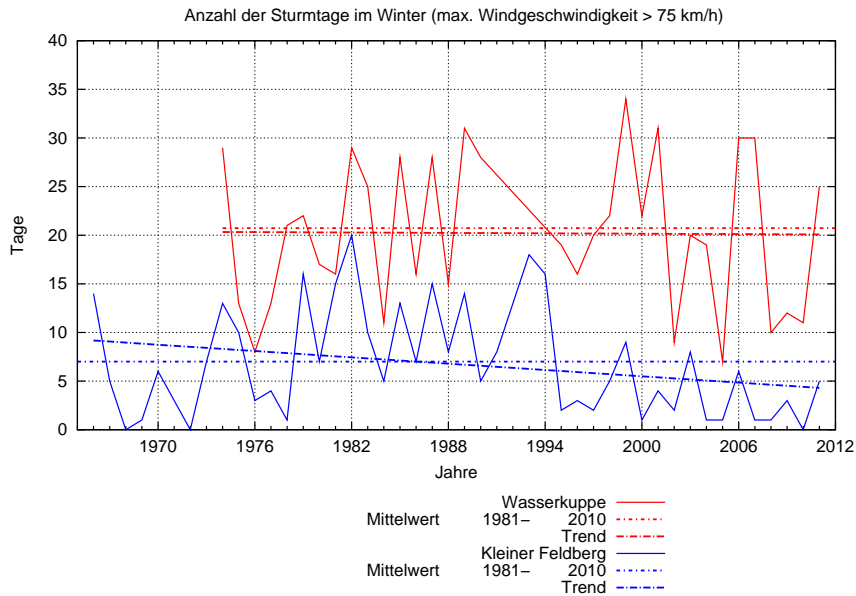


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der Anzahl der Tage im Winter mit einer maximalen Windgeschwindigkeit größer als 75 km/h auf dem Kleinen Feldberg und der Wasserkuppe.

Die meisten Sturmereignisse treten in den hessischen Hochlagen auf. Die Ursache dafür ist die exponierte Lage der Gebirgskämme, das heißt, dass es im Umkreis keine Erhebungen gibt, die den Wind abbremsen können. Spitzenreiter ist die Wasserkuppe mit 47 Sturmtagen (Windböen stärker als 75 km/h) pro Jahr im Mittel der Periode 1981-2010, was bei einer über 920 Meter hochgelegenen Bergstation nicht verwunderlich ist. Frankfurt und Kassel haben mit etwa 5 bzw. 4 weit weniger Tage mit Sturmereignissen. Bei Betrachtung der Tage mit stürmischen Windböen größer als 62 km/h treten in Kassel im klimatologischen Mittel immerhin knapp 16 Tage auf, in Frankfurt sind es etwa 20 Tage. Die Wintermonate Dezember, Januar und Februar (DJF), in denen oft Sturm- und Orkantiefs durch Hessen ziehen, werden in der Folge genauer untersucht. Auch im Winter ist die Wasserkuppe Spitzenreiter mit knapp 21 Sturmtagen in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar, auf dem Kleinen Feldberg sind es im gleichen Zeitraum gerade einmal 7 Tage mit Sturmereignissen. Die tiefer gelegenen Stationen in Kassel und Frankfurt haben im Winter im Mittel über den Zeitraum 1981-2010 ebenfalls

7 Tage mit stärkeren Windböen. Allerdings wurde bei den Gebirgsstationen als Schwellenwert 75 km/h (9 Bf) für die Windgeschwindigkeit gewählt um nur besonders extreme Sturmereignisse zu betrachten, in den tiefergelegenen Städten, in denen weit weniger Sturmereignisse auftreten, dagegen 62 km/h (8 Bf), um noch eine ausreichende Anzahl an Ereignissen statistisch verwerten zu können. Interessant sind dabei die Trends der letzten Jahre, wobei berücksichtigt werden muss, dass die Zeitreihen mit einer Dauer von ca. 40 Jahren evtl. etwas kurz für statistische Trendanalysen sind. Hier stellt man fest, dass die Zahl der Sturmereignisse auf dem Kleinen Feldberg rückläufig ist und auf der Wasserkuppe nahezu unverändert bleibt. In Kassel ist ein intensiver Rückgang an stürmischen Windereignissen zu beobachten: innerhalb von ca. 35 Jahren geht die Anzahl von ca. 12 auf gerade einmal 3 Ereignisse per annum zurück. Frankfurt am Main hat als einzige der betrachteten Stationen eine Zunahme an stürmischen Windereignissen zu verzeichnen. Zwischen 1969 und 2011 ist nahezu eine Verdopplung zu erkennen. Da sich die Station am Flughafen befindet, wird die Messung vor allem bei den vorherrschenden Westwinden nicht durch die Bebauungsstruktur der Stadt beeinflusst. Auch in der mittleren Intensität der Windböen sind Veränderungen in Hessen zu erkennen.

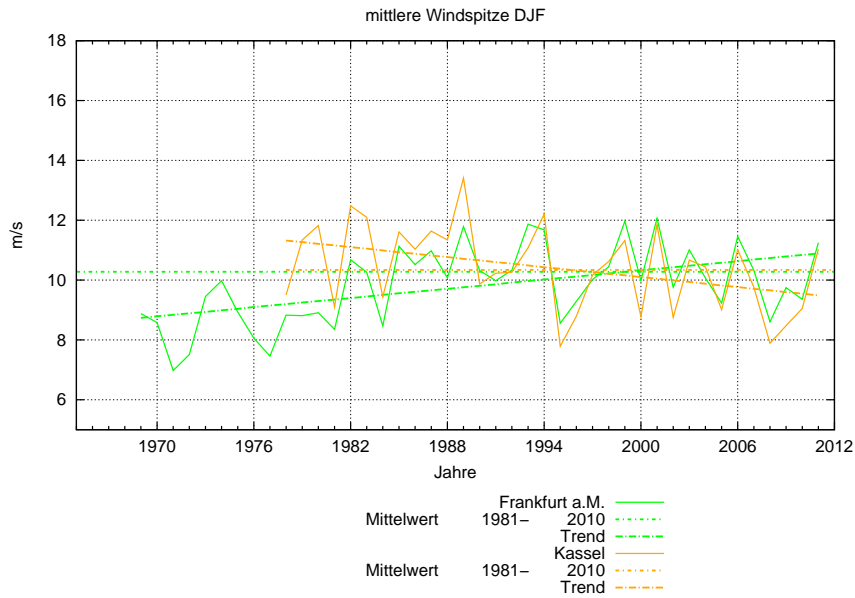


Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung des DJF-Mittels der Windspitze in Frankfurt a. M. und Kassel.

In beiden Städten liegt der Mittelwert der Windböe im Winter im Zeitraum 1981-2010 um 10,3 m/s. In Frankfurt ist ein Anstieg der maximalen Windgeschwindigkeit im Wintermittel zu sehen, in Kassel geht die mittlere Windspitze dagegen zurück (Abb. 21). Damit verläuft die Entwicklung der mittleren Sturmintensität in den Städten analog zum Trend der Sturmhäufigkeiten.

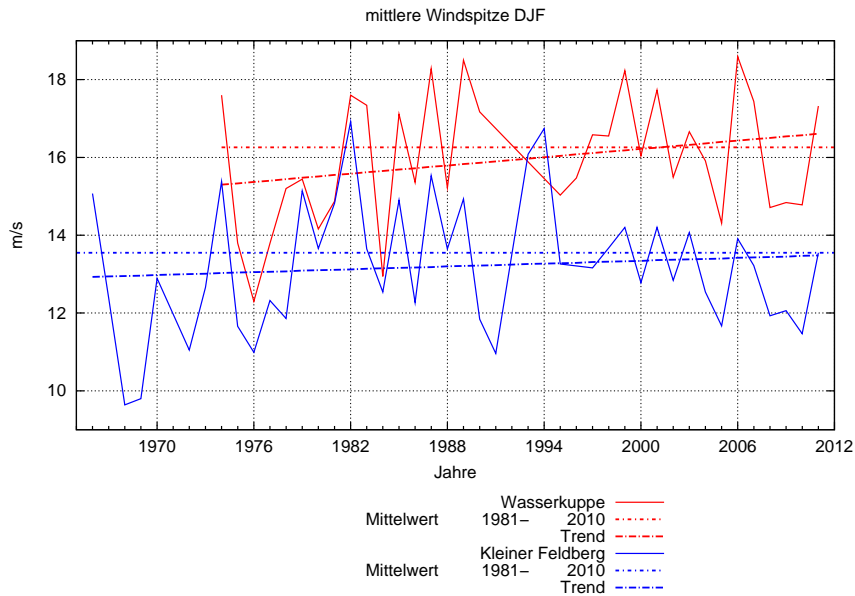


Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung des DJF-Mittels der Windspitze auf dem Kleinen Feldberg und der Wasserkuppe.

Auf der Wasserkuppe und dem Kleinen Feldberg nimmt das mittlere Windmaximum leicht zu, obwohl die Zahl der Tage mit Sturmereignissen stagniert bzw. sinkt (Abb .22). Daraus folgt, dass Stürme in den Mittelgebirgen zwar in den letzten Jahren im klimatologischen Mittel nicht häufiger vorkamen als früher, aber die Intensität der Windböen zumindest während der Winterstürme zugenommen hat. Aus der Zunahme von Sturmtagen und mittlerem Windmaximum in Frankfurt bei gleichzeitigem Rückgang der Sturmtage auf dem Kleinen Feldberg könnte man evtl. schließen, dass der Unterschied in den Windextremen zwischen den Hochlagen des Taunus und der Mainebene geringer und das Windfeld bei Extremereignissen im Rhein-Main-Gebiet in den letzten Jahren etwas homogener geworden ist. Allerdings könnte dies aber auch ein zufälliger Effekt sein, der durch die relativ kurzen Zeitreihen und die Betrachtung relativ seltener Extremwerte zustande gekommen ist.

3.3 Extremereignisse

Extreme Windböen werden im Winter von außertropischen Zyklonen, sogenannten Sturm- bzw. Orkantiefs verursacht, im Sommer können kleinräumige Gewitterzellen Sturmböen bewirken. Die Sturmböen während sommerlicher Hitzegewitter werden oftmals von starken Regenfällen und auch Hagelschauern begleitet. In der nachfolgenden Tabelle werden die stärksten Windböen gelistet, die während sommerlicher Hitzegewitter in Hessen gemessen wurden:

Tabelle 10: die stärksten gemessenen Gewitterböen in Hessen

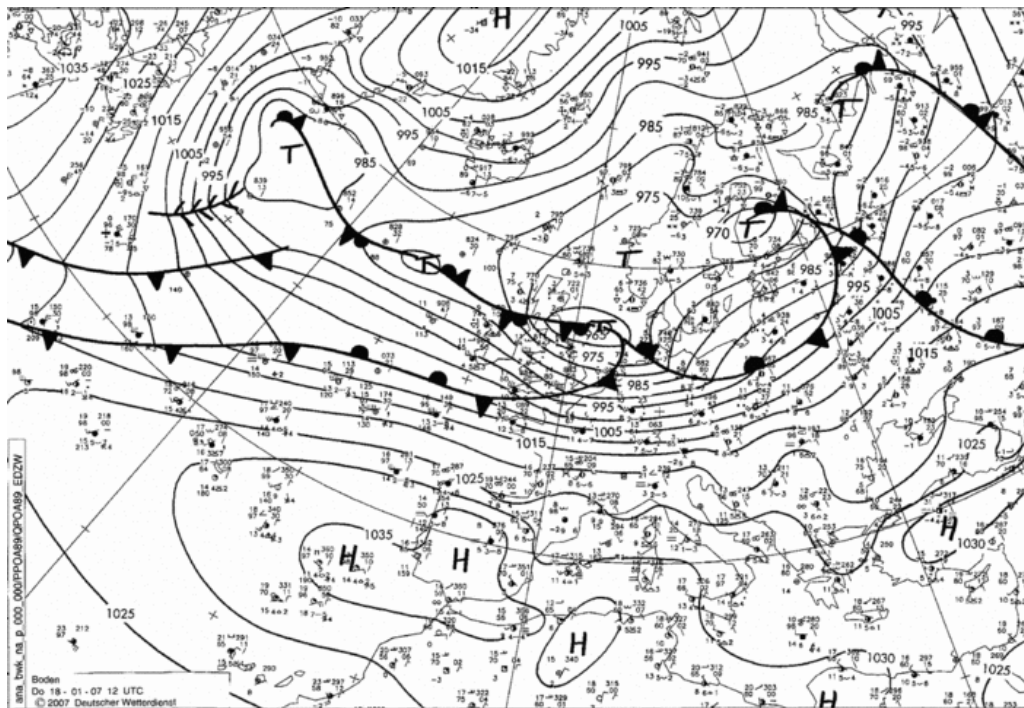
Messstation	Datum	Windspitze in km/h
Kleiner Feldberg	01.07.2003	169,20
Kleiner Feldberg	16.07.2003	138,60
Kleiner Feldberg	20.07.2003	109,80
Kleiner Feldberg	22.07.2003	127,44
Frankfurt a. M.	20.08.1992	129,60
Bad Hersfeld	11.07.1984	118,80
Kleiner Feldberg	25.05.1967	117,36
Geisenheim	11.07.1959	116,28
Wasserkuppe	13.07.1961	114,48
Wasserkuppe	24.08.2011	113,40

In Tabelle 10 fällt besonders der Juli 2003 auf, auf dem Kleinen Feldberg gab es gleich mehrere Tage mit Gewitterböen in Orkanstärke. Die meisten orkanartigen Gewitterböen treten auf dem Kleinen Feldberg und der Wasserkuppe auf. Gebirgslagen sorgen durch ihre Topographie dafür, dass Luftmassen mit hoher konvektiver potentieller Energie zur Hebung gezwungen werden, was dann dafür sorgt, dass sich das konvektive System mit einem Gewitter entlädt.

Die meisten Winterstürme und Orkantiefs, die über Deutschland zogen und über deren Entwicklung und Auswirkungen in den Medien so ausführlich berichtet wurde, dass sie uns in Erinnerung geblieben sind, haben auch Hessen betroffen. Nicht immer wurde dabei in Hessen die Orkanwindstärke von 117 km/h erreicht.

3.3.1 Orkan Kyrill

Orkan Kyrill war ein Sturmtief mit einem Kerndruck von unter 960 hPa, welches über der Nordsee lag und Deutschland am Nachmittag des 18. Januar 2007 erreichte.



Donnerstag, 18-01-2007 12 UTC (C) 2007 Deutscher Wetterdienst

Abbildung 23: Bodendruckanalyse des DWD vom 18.01.2007, Quelle:Deutscher Wetterdienst, wetter3-Archiv

Mit einem Druckgradienten von über 40 hPa zwischen der Nordseeküste und den Alpen und Windböen lokal über 200 km/h war er einer der stärksten Stürme seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Kyrill kostete europaweit 47 Menschen das Leben, er verursachte laut Münchner Rückversicherungsgesellschaft einen volkswirtschaftlichen Schaden von 10 Mrd. US-Dollar und sorgte u.a. dafür, dass die Deutsche Bahn zum ersten Mal in ihrer Geschichte deutschlandweit den kompletten Fernverkehrsbetrieb einstellen musste. Der Deutsche Wetterdienst gab für das gesamte Bundesgebiet Unwetterwarnungen vor Orkanböen heraus.

Tabelle 11: Gemessene Windspitzen in Hessen während Orkan Kyrill am 18.01.2007

Messstation	Windspitze in km/h
Beerfelden	104,40
Frankfurt a. M.	94,68
Geisenheim	95,04
Gießen/Wettenberg	121,68
Bad Hersfeld	110,52
Kassel	99,36
Kleiner Feldberg	101,16
Michelstadt-Vielbrunn	113,76
Wasserkuppe	172,08

Bei der registrierten Böe auf der Wasserkuppe von 172,08 km/h handelt es sich um die höchste jemals in Hessen gemessene Windgeschwindigkeit. Man kann Kyrill daher zu den extremsten Sturmereignissen seit Beginn der Messungen in Hessen zählen, auch wenn in den meisten Bereichen Hessens die Orkanschwelle nicht erreicht wurde.

3.3.2 Wintersturmserie Januar 2012

Ulli und Andrea waren ein winterliches Sturmsystem, das zwischen dem 3. und 6. Januar 2012 über Hessen zog. Auch wenn der Sturm keine erheblichen Auswirkungen hatte, so war er der stärkste Sturm des vergangenen Winters.

Tabelle 12: Gemessene Windspitzen während Orkantief Ulli am 03./04. und Andrea 05.01.2012

Messstation	Windspitze in km/h am 03.01.2012	04.01.2012	05.01.2012
Neu-Ulrichstein	-	-	91,08
Hoherodskopf/Vogelsberg	-	88,92	90,00
Wasserkuppe	113,40	102,24	119,88
Michelstadt-Vielbrunn	95,40	-	-

Die Station auf der Wasserkuppe war die einzige Hessens, die an allen 3 Tagen Sturmböen registrierte. Dabei war nur am 5. Januar durch Andrea die Orkanschwelle überschritten worden. In Michelstadt-Vielbrunn wurde dagegen nur

Sturm Ulli erfasst. Die meisten tiefer gelegenen Stationen in Hessen haben keine Windböen über Stärke 10 erfasst, das zeigt, dass der Sturm letztlich schwächer ausfiel als zuvor vom DWD prognostiziert bzw. gewarnt wurde.

3.3.3 Orkan Xynthia

Das Orkantief Xynthia entstand westlich von Portugal und damit südlicher als die meisten nordatlantischen Tiefdruckgebiete. Es zog über die iberische Halbinsel und die Biskaya mit einem Kerndruck von 970 hPa nach Mitteleuropa, wo es am 28. Februar 2010 Deutschland erreichte. Der Orkan forderte 60 Menschenleben, die meisten davon kamen in Frankreich um.

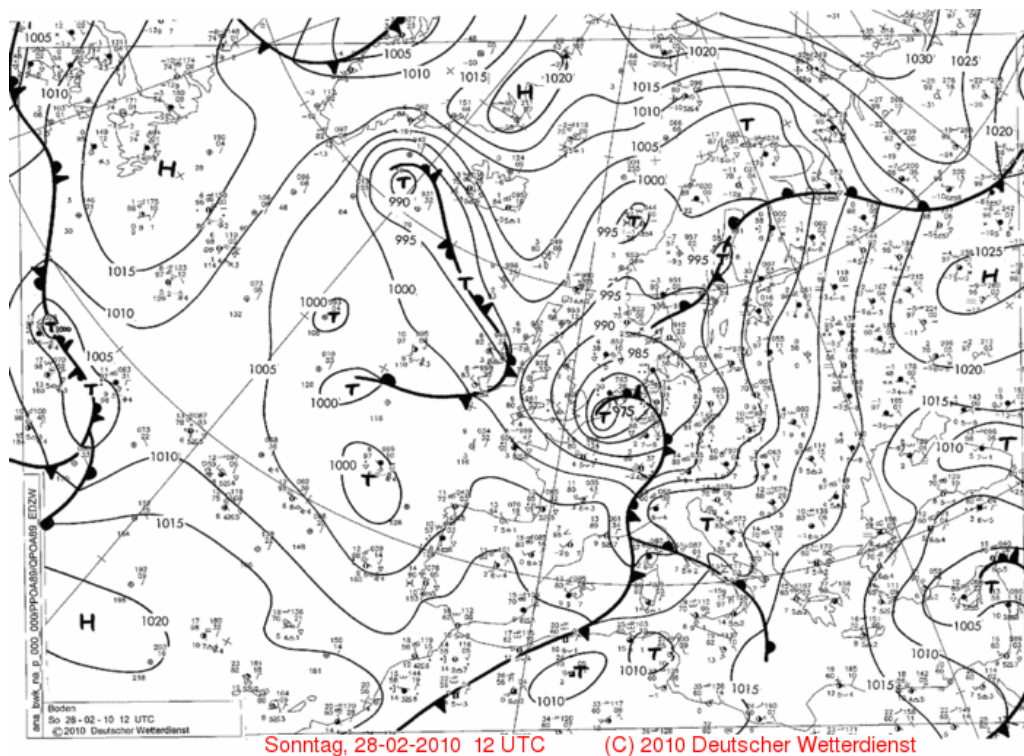


Abbildung 24: Bodendruckanalyse des DWD vom 28.02.2010, Quelle: Deutscher Wetterdienst, wetter3-Archiv

Tabelle 13: Gemessene Windspitzen während Orkantief Xynthia am 28.02.2010

Messstation	Windspitze in km/h
Frankfurt a. M.	113,40
Geisenheim	100,80
Gießen/Wettenberg	110,52
Bad Hersfeld	108,72
Kleiner Feldberg	95,04
Michelstadt-Vielbrunn	95,76
Wasserkuppe	140,40
Offenbach a.M.	104,04
Hoherodskopf/Vogelsberg	123,12

Hessen traf Xynthia recht flächendeckend, bemerkenswert waren orkanartige Böen am Frankfurter Flughafen und in Wettenberg, allerdings wurde die Orkanstärke nur auf der Wasserkuppe und dem Hoherodskopf erreicht.

3.3.4 Orkan Lothar

Orkan Lothar zog am 26.12.1999 mit seinem Kern bei einem Druck von 973 hPa über das Rhein-Main-Gebiet. Problematisch bei Orkan Lothar war, dass

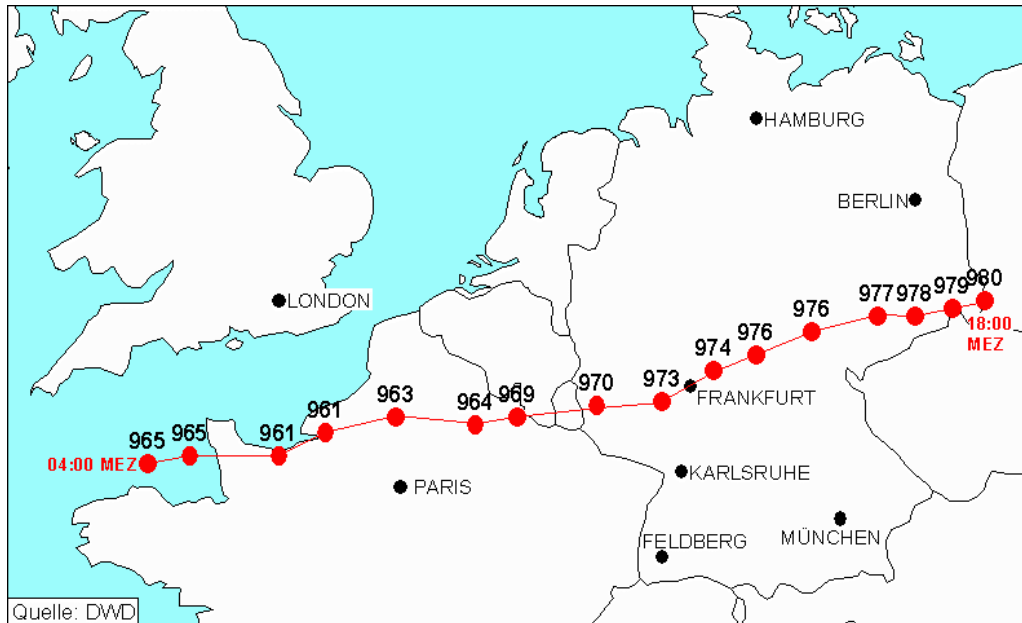


Abbildung 25: Zugbahn von Orkan Lothar durch Deutschland am 27.12.1999, Quelle: Deutscher Wetterdienst

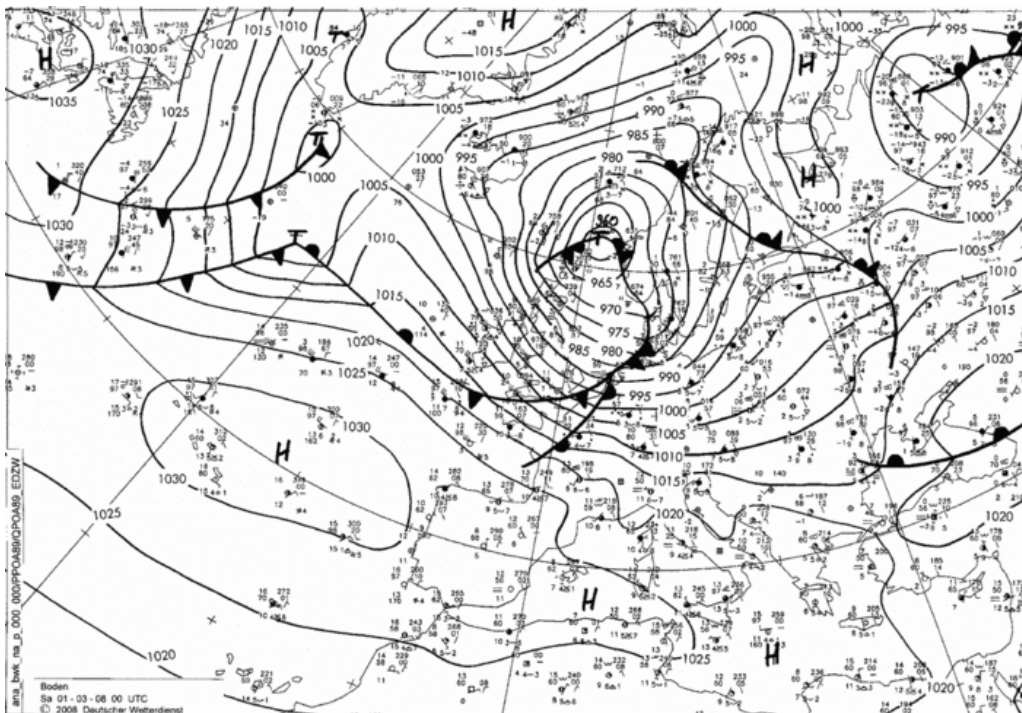
seine Entwicklung durch den Deutschen Wetterdienst nicht in dem Maße vorhergesagt werden konnte, um die Intensität des Sturms zu erkennen und die Bevölkerung entsprechend vor dem Orkan zu warnen. Daher wurden die meisten Menschen in Deutschland von Lothar überrascht, was mit ein Grund für die hohen Schadenssummen ist. Da der Kern über Hessen zog, waren die Windgeschwindigkeiten hier nicht so hoch, wie beispielsweise in Süddeutschland und der Schweiz, daher wurden nur an wenigen Stationen Windspitzen größer als 10 Beaufort erreicht.

Tabelle 14: Gemessene Windspitzen während Orkantief Lothar am 26. und 27.12.1999

Messstation	Windspitze in km/h
Kleiner Feldberg	90,00 (27.12.)
Michelstadt-Vielbrunn	99,72 (26.12.)
Wasserkuppe	104,40 (26.12.)

3.3.5 Orkan Emma

Emma war ein Sturmtief, welches sich am 28.02.2008 vor Neufundland bildete und über den Nordatlantik nach Europa zog. Schließlich erreichte es am 01.03.2008 mit einem Kerndruck von 960 hPa die Westküste Norwegens. 14 Menschen kamen trotz frühzeitiger Warnungen ums Leben, es entstand ein Gesamtversicherungsschaden von etwa 1 Mrd. Euro. Die stärkste Böe in Hessen wurde mit 121 km/h auf der Wasserkuppe gemessen.



Samstag, 01-03-2008 00 UTC (C) 2008 Deutscher Wetterdienst

Abbildung 26: Bodendruckanalyse des DWD vom 01.03.2008, Quelle: Deutscher Wetterdienst, wetter3-Archiv

Tabelle 15: Gemessene Windspitzen während Orkantief Emma am 01.03.2008

Messstation	Windspitze in km/h
Frankfurt a.M.	101,16
Gießen/Wettenberg	93,24
Kleiner Feldberg	92,88
Michelstadt-Vielbrunn	105,12
Wasserkuppe	121,32
Offenbach a.M.	93,96

3.3.6 Orkan Jeanett

Jeanett war der Name jenes Orkans, der Mitteleuropa am 27.10.2002 überquerte. Er entwickelte sich so schnell zu einem Orkan, da der Temperaturgradient der tropischen und polaren Luftmassen an der Polarfront zu der Zeit recht groß war, was die Energie für die Entwicklung eines kräftigen Sturmes lieferte (Abb. 27). Er forderte in Europa 47 Todesopfer und verursachte Schäden im Wert von ca. 1,7 Mrd. Euro.

Tabelle 16: Gemessene Windspitzen während Orkan Jeanett am 27.10.2002

Messstation	Windspitze in km/h
Frankfurt a.M.	115,56 (27.10.2002)
Kassel	89,28 (27.10.2002)
Michelstadt-Vielbrunn	101,16 (26.10.2002) 95,04 (27.10.2002)
Wasserkuppe	106,92 (26.10.2002) 126,00 (27.10.2002)

In den Messdaten fällt auf, dass sich Jeanett durch stürmische Vorboten ankündigte (Tabelle 16). Bereits am Tag vor dem Eintreffen des eigentlichen Sturms wurden Sturmböen in den Hochlagen Hessens gemessen. In Vielbrunn im Odenwald war die stärkste Böe am Tag, an dem Jeanett Hessen überquerte, mit 95,04 km/h sogar schwächer als jene, die am 26.10. mit 101,16 km/h gemessen wurde.

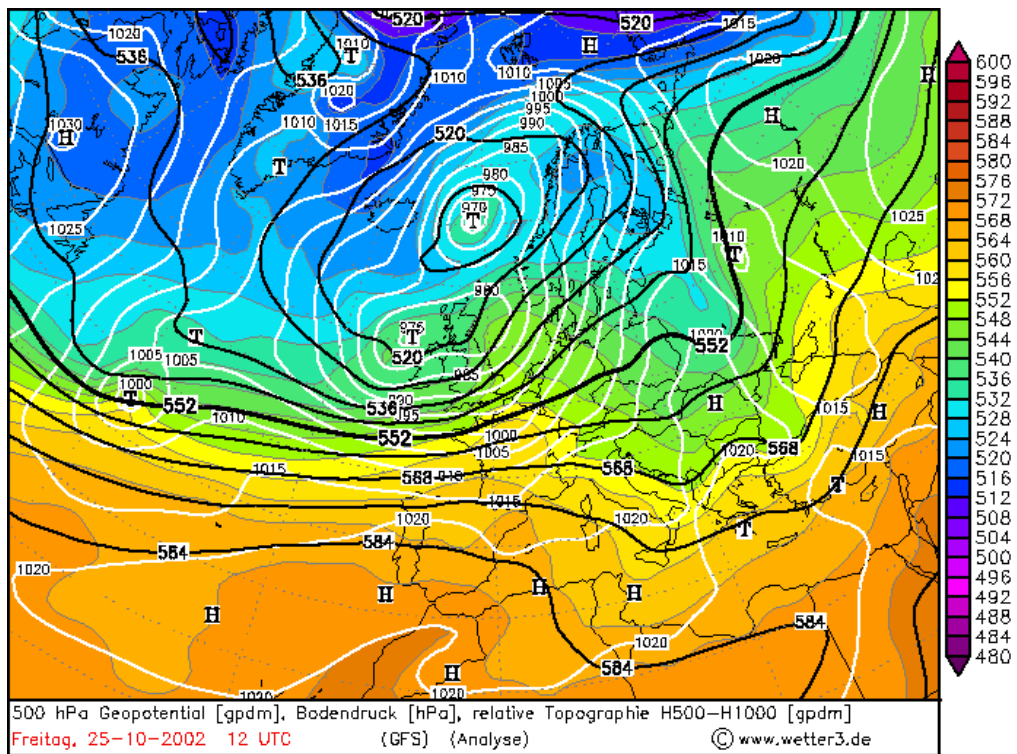


Abbildung 27: 500 hPa Geopotential- und Bodendruckanalyse am 25.10.2002 12UTC Quelle: wetter3.de

3.3.7 Orkane Daria, Vivian und Wiebke

Im Winter 1990 folgte eine Serie an Winterstürmen, die über Mitteleuropa zogen. Am 25. Januar 1990 zog Orkan Daria mit 950 hPa Kerndruck über die Nordsee und forderte 94 Opfer in Europa, 8 davon in Deutschland. Nur einen Monat später zog Orkan Vivian am 26. Februar 1990 über Hessen. 2 Tage später traf dann Orkan Wiebke ein. Beide Zyklonen erreichten einen Kerndruck von 945 hPa. Beide Stürme forderten ca. 100 Opfer in Europa und richteten dort Schäden im Wert von 4 Mrd. US-Dollar an, damit ist dieses Doppelsturmsystem eines der schwersten atlantischen Sturmereignisse aller Zeiten. Orkan Vivian erreichte das Rheinland am Rosenmontag, woraufhin der Rosenmontagsumzug in Düsseldorf in den Mai verlegt werden musste. Wiebke sorgte für nachhaltige Waldschäden, da ein Großteil des Baumbestandes im Sturm umknickte und zerstört wurde.

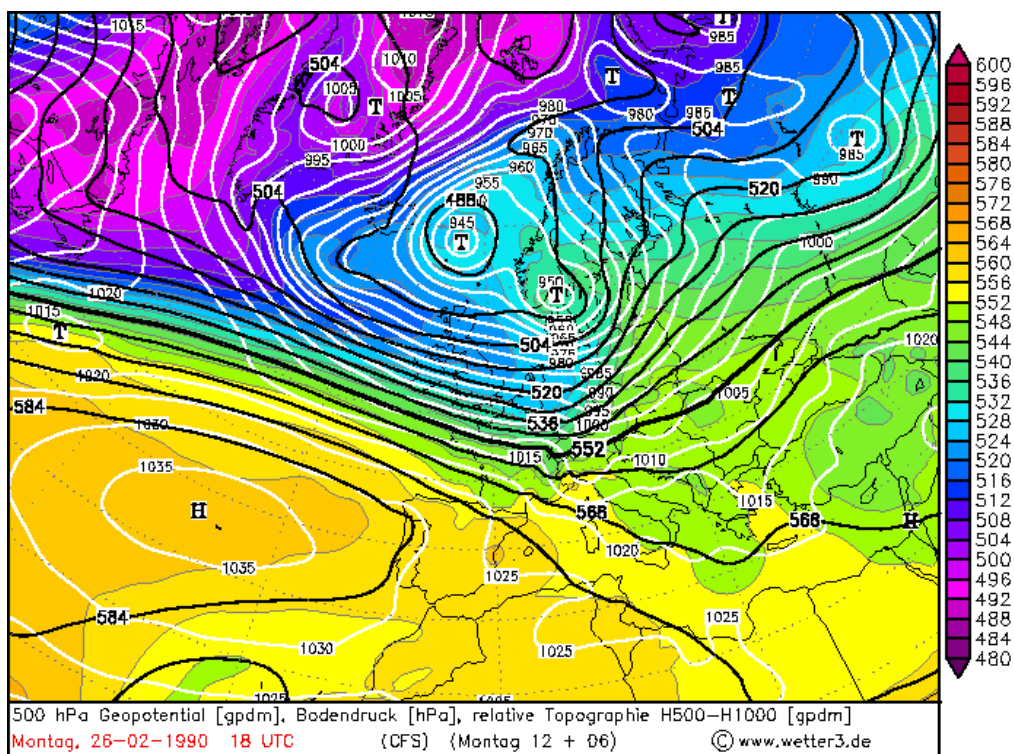


Abbildung 28: 500 hPa Geopotential- und Bodendruckanalyse am 26.02.1990 18 UTC Quelle: wetter3.de

In Abbildung 28 sind die beiden kurz aufeinanderfolgenden Tiefdruckgebiete gut zu erkennen.

Tabelle 17: Gemessene Windspitzen während Orkan Daria am 25.01.1990

Messstation	Windspitze in km/h
Beerfelden	96,12
Frankfurt a.M.	100,80
Fulda	96,48
Geisenheim	91,80
Gießen	97,92
Bad Hersfeld	106,56
Kassel	107,28
Kleiner Feldberg	117,72
Michelstadt-Vielbrunn	99,00
Wasserkuppe	137,16

Tabelle 18: Gemessene Windspitzen während Orkan Vivian am 26.02.1990

Messstation	Windspitze in km/h
Beerfelden	103,32
Frankfurt a.M.	100,80
Geisenheim	100,44
Gießen	107,28
Bad Hersfeld	91,44
Kassel	95,40
Kleiner Feldberg	116,64
Michelstadt-Vielbrunn	105,84
Mittel-Gründau	101,16
Wasserkuppe	137,16

Tabelle 19: Gemessene Windspitzen während Orkan Wiebke am 01.03.1990

Messstation	Windspitze in km/h
Beerfelden	101,52
Frankfurt a.M.	116,28
Geisenheim	97,20
Gießen	114,48
Kleiner Feldberg	122,40
Michelstadt-Vielbrunn	105,84
Mittel-Gründau	94,32
Wasserkuppe	135,36

Auf der Wasserkuppe waren die maximalen Böen aller drei Orkane mit 135-137 km/h ähnlich, im Flachland wurden nur bei Orkan Wiebke orkanartige Böen erreicht wie z.B. in Frankfurt mit 116,28 km/h und Gießen mit 114,48 km/h. In Nordhessen war Daria deutlich kräftiger als die beiden nachfolgenden Stürme. Während in Kassel und Bad Hersfeld am 25. Januar Windböen über 100 km/h erreicht wurden, lagen die Windspitzen bei Vivian darunter und bei Wiebke wurde die Grenze für Sturmböen von 88 km/h nicht überschritten. Im Odenwald dagegen sorgten Vivian und Wiebke für höhere Windspitzen als Daria einen Monat zuvor. In Beerfelden und Vielbrunn lagen die Windgeschwindigkeiten bei Daria im zweistelligen Bereich, Orkan Vivian und Wiebke erreichten dort Windböen über 100 km/h.

Auch zwischen den erwähnten Tiefdrucksystemen kam es den ganzen Februar immer wieder zu Sturmböen, besonders auf der Wasserkuppe oder dem Kleinen Feldberg. So wurden auf der Wasserkuppe zwischen dem 23. Januar und dem 01. März an 16 Tagen mindestens Böen der Windstärke 10 gemessen; auf dem Feldberg gab es in diesem Zeitraum 8 Sturmtage. Die Windspitze am 3. Februar 1990 war mit 150 km/h sogar kräftiger als jene der mit Namen getauften Orkanstürme.

4 Niederschlag

4.1 Hohe räumliche Variabilität

Der Niederschlag ist eine meteorologische Messgröße, die aufgrund der Topographie und der stochastischen Verteilung von kleinräumigen konvektiven Ereignissen eine hohe räumliche Variabilität aufweist. Wie wenig eine Niederschlagsmessung für eine Region bzw. eine Stadt repräsentativ sein kann, und wie räumlich variabel die Niederschlagsverteilung sein kann, wird am Beispiel Hofheim am Taunus deutlich.

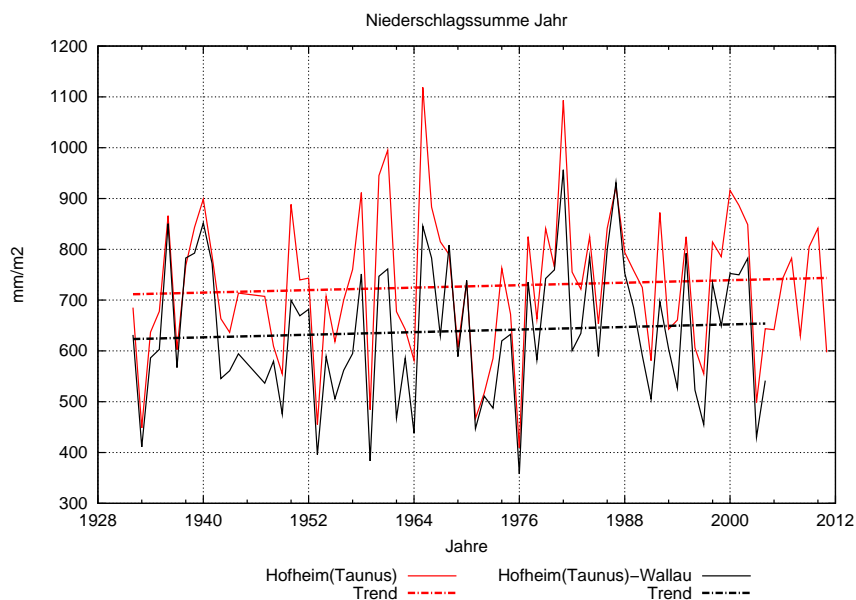


Abbildung 29: Vergleich der Niederschlagsjahressummen von Hofheim und Hofheim-Wallau

Beide Messstellen sind ca. 5 Kilometer Luftlinie voneinander entfernt und auch die Stationshöhen unterscheiden sich nur leicht. In den Jahren 1936, 1970 und 1987 sind die beiden Messungen nahezu identisch. Ansonsten registriert die Station in Hofheim-Mitte in den meisten Jahren 100-200 mm mehr Niederschlag als jene in Wallau. Sicherlich spielt die topographische Lage der Stadt Hofheim am südwestlichen Ausläufer des Taunus eine Rolle. Durch die Lage im Luv nehmen die Niederschlagssummen in Richtung Gebirge zu.

Daher ist für eine verlässliche Niederschlagsanalyse besonders in Gebirgsnähe eine hohe Stationsdichte erforderlich.

4.2 Mittlerer Jahrgang von Niederschlagssumme und Regentagen

Durch die hohe räumliche Variabilität sollten Niederschlagsmesswerte nur mit großer Vorsicht interpoliert werden. Sie können stattdessen auch punktuell in einer Landkarte dargestellt werden. Wieviel Niederschlag im klimatologischen Mittel der Periode 1981-2010 fällt, hängt vor allem von der Topographie sowie ab. Abbildung 30 zeigt den mittleren Jahrgang des Niederschlages einiger ausgewählter Stationen:

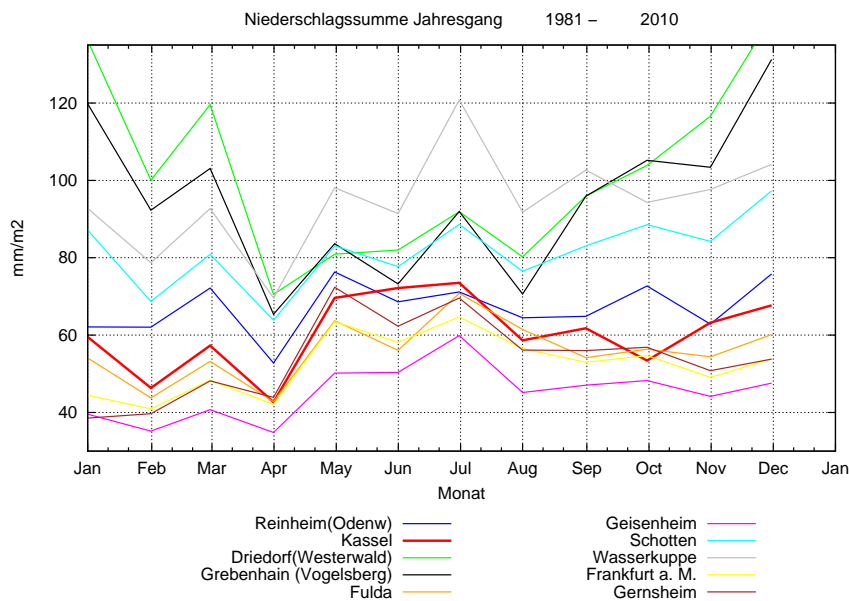


Abbildung 30: Mittlerer Jahrgang der Niederschlagssumme für verschiedene Stationen in Hessen

Die Regionen mit dem geringsten Niederschlag in Hessen sind der Rheingau mit einer mittleren Jahressumme von 543 mm in Geisenheim bzw. 609 mm in Wiesbaden-Biebrich sowie das Hessische Ried, wo in Gernsheim (Kreis Groß-Gerau) im Mittel 650 mm Niederschlag fallen. Auch in Lich bei Gießen bzw. am Edersee in Nordhessen fällt mit 648 mm bzw. 655 mm ähnlich wenig Niederschlag. Die höchsten mittleren Jahressummen treten in höhergelegenen Stationen der hessischen Mittelgebirge auf: Hessens nasseste Orte sind im klimatologischen Mittel die nahe beieinander gelegenen Gemeinden Driedorf im Westerwald und Dietzhöhlztal im Rothaargebirge mit einer mittleren Jahressumme von 1220 mm bzw. 1190 mm. Dahinter folgen die Messpunkte in Grebenhain am Vogelsberg und auf der Wasserkuppe, Hessens höchstem Berg mit 950m Höhe über N.N., beide mit 1135 mm Niederschlag per annum. Die saisonale Verteilung des Niederschlages ist im Jahresgang hessenweit relativ ähnlich wie sich in Abbildung 34 zeigt. Lediglich zwischen Mai und Oktober treten räumliche Unterschiede auf, die auf das sommerliche Auftreten kleinräumiger Gewitter- und Schauerereignisse zurückzuführen sein könnten. Die Monate mit den geringsten Niederschlägen in Hessen sind der Februar und der April, getrennt durch einen niederschlagsreicheren März. In Gernsheim liegt das Minimum im mittleren Jahresgang im Januar. In weiten Teilen Hessens ist der Juli der Monat mit der höchsten mittleren Monatssumme (siehe Kassel, Fulda, Frankfurt, Geisenheim und Wasserkuppe). Eine Ausnahme bildet der vordere Odenwald, das Dieburger Becken und das Ried in Südhessen. An den Beispielen Reinheim (Kreis Darmstadt-Dieburg) und Gernsheim sieht man, dass hier der Mai der Monat mit den höchsten Niederschlägen ist. Regional kann das Jahresmaximum auch im Juni liegen, so der Fall u.a. in Eschwege oder Schlüchtern (Herolz). In einigen Stationen im Nordwesten Hessens liegt das Jahresmaximum des Niederschlages im Dezember, wie an den Beispielen Grebenhain und Driedorf zu sehen ist. Damit unterscheidet sich die Niederschlagsverteilung von Nordwest-Hessen deutlich vom Rest des Landes.

Die Anzahl der Tage im Jahr, an der Niederschlagsereignisse mit einer Tagessumme von mehr als 1 mm auftreten, liegt in Hessen im Mittel zwischen 105 Tagen in Geisenheim und 156 Tagen auf der Wasserkuppe. In Schotten am Fuße des Vogelsberges und in Beerfelden im Odenwald treten im Mittel ca. 140 Regentage auf; in Hirschhorn am Neckar, Reichelsheim im Odenwald sowie in Witzenhausen regnet es im Mittel an 134 Tagen im Jahr; in Reinheim, Greifenstein und Kassel werden 125 Tage mit mindestens 1 mm Niederschlag gezählt. Die folgende Abbildung 31 zeigt den klimatologischen Jahresgang der Regentage mit einer Tagessumme von mehr als 1 mm Niederschlag:

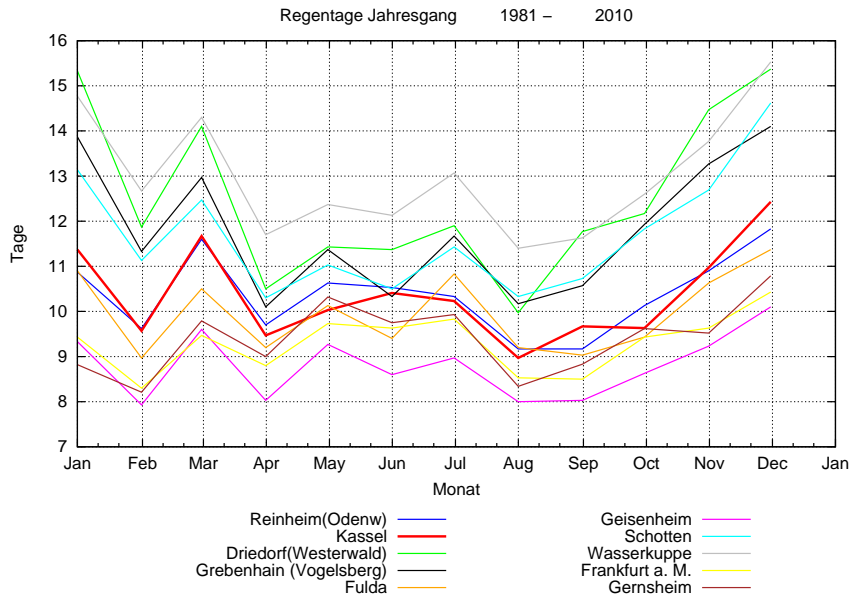


Abbildung 31: Mittlerer Jahresgang der Regentage für verschiedene Stationen in Hessen

Fast überall in Hessen treten die meisten Regentage im Dezember und Januar auf. Eine Erklärung dafür ist die in den Wintermonaten hohe Anzahl von Tagen mit einem Bedeckungsgrad von mehr als 80 %, was eine Grundvoraussetzung für Niederschlag ist. An den höher gelegenen Stationen wie der Wasserkuppe oder Driedorf regnet es im Dezember und Januar im Mittel jeden zweiten Tag. Die Monate mit den wenigsten Regentagen sind der August und der für sein variables Wetter bekannte April. In tiefer gelegenen Stationen wie z.B. Frankfurt, Reinheim und Geisenheim treten zusätzliche Monatsminima noch im Februar und September auf. Interessant ist auch ein Blick auf den mittleren Jahresgang des mittleren Niederschlages pro Regentag:

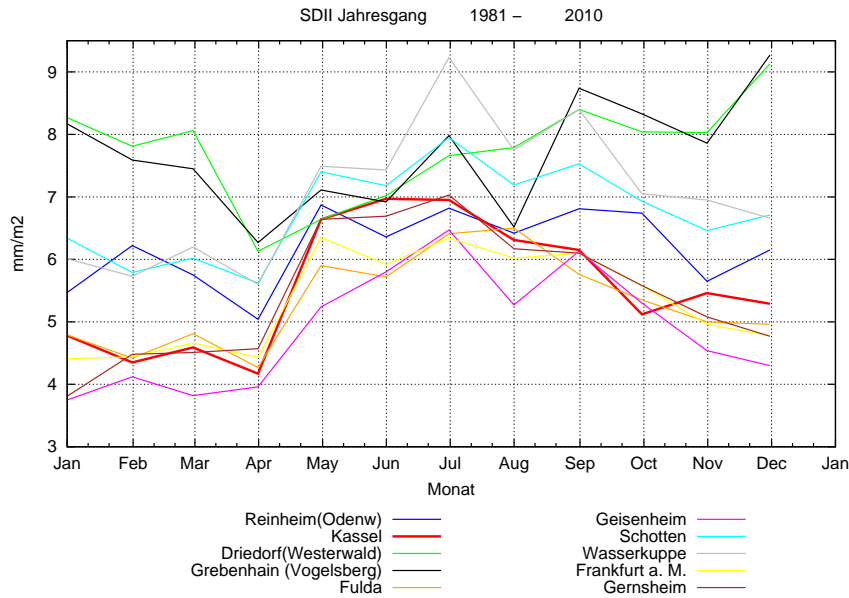


Abbildung 32: Mittlerer Jahresgang des mittleren Niederschlages pro Regentag für verschiedene Stationen in Hessen

Abbildung 32 zeigt, dass die saisonalen Unterschiede im mittleren Niederschlag innerhalb Hessens recht hoch sind. Vielerorts sind Mai und Juli die Monate mit den höchsten mittleren Niederschlägen. In diesen Monaten sind die meisten Niederschläge offensichtlich konvektiver Natur. Gebirgslagen begünstigen das Auftreten von konvektiven Schauern. Dies zeigt sich insbesondere an den Maxima der hoch gelegenen Stationen, wie z. B. der Wasserkuppe (Juli: 9,23 mm) und Driedorf (Dezember: 9.13 mm). Der Niederschlag des allseits bekannten Aprilwetters fällt dagegen überwiegend in stratiformer Form, da die mittlere Niederschlagsmenge an Regentagen an den meisten hessischen Stationen relativ zum restlichen Jahr recht gering ist. Die höchsten mittleren Niederschläge pro Regentag kommen im Jahresmittel in Hirschhorn am Neckar und Grebenhain am Vogelsberg mit ca. 7,9 mm/Regentag vor. Aufgrund ihrer Luvlage können konvektive Niederschlagsysteme dort vermehrt ausgelöst werden.

Konvektive Starkniederschlagsereignisse sind größtenteils für die Maxima des mittleren Niederschlages verantwortlich, denn der Jahresgang der Anzahl an Regentagen mit einer Tagessumme von mehr als 20 mm Niederschlag, die ausschließlich Starkniederschlagsereignisse beinhalten, ähnelt jenem des

mittleren Niederschlags pro Regentag. Abbildung 33 zeigt außerdem, warum etwa auf dem Gipfel der Wasserkuppe das Niederschlagsmaximum im Juli liegt und an den nordwesthessischen Stationen wie Driedorf oder Grebenhain im Dezember. Es zeigt, dass konvektive Starkniederschlagsereignisse die Verteilung der Maxima im mittleren Niederschlag und der Monatssumme entscheidend prägen. Mehr zum Einfluss von Starkniederschlägen auf den Gesamtniederschlag in Kapitel 4.3.4.

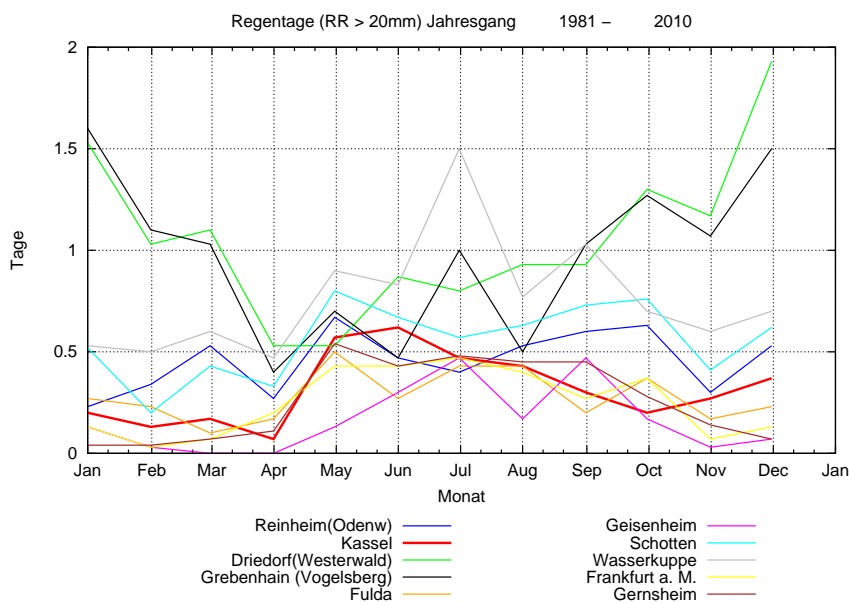


Abbildung 33: Mittlerer Jahresgang der Regentage mit mehr als 20 mm Niederschlag für verschiedene Stationen in Hessen

4.3 Niederschlagsrekorde

4.3.1 Niederschlagsjahressummen

In den Jahren 1965, 1966 und 1981 wurden in Hessen die höchsten Niederschlagsjahressummen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen registriert. Vier der fünf Extremwerte wurden auf dem Gebiet der Gemeinde Grebenhain erfasst:

Tabelle 20: Höchste Niederschlagsjahressummen in Hessen

Messstation	Jahr	Niederschlags- summe [mm]
Grebenhain-Herchenrain	1965	1823
Grebenhain-Ilbeshausen-Hochwaldshausen	1981	1792
Michelstadt-Steinbuch	1965	1779
Grebenhain-Ilbeshausen-Hochwaldshausen	1966	1769
Grebenhain-Herchenrain	1981	1761

Auch die Rekordwerte bestätigen, dass die höchsten Niederschlagssummen in Hessen in Mittelgebirgen wie dem Vogelsberg und dem Odenwald erreicht werden. Die Jahre 1949, 1953, 1959 und 1976 bleiben als sehr niederschlagsarme Jahre in Erinnerung. In der folgenden Tabelle sind die vier niederschlagsärmsten Jahre in Hessen aufgeführt mit der Station, an der die jeweils geringste Jahressumme Hessens erfasst wurde.

Tabelle 21: Niedrigste je aufgezeichnete Niederschlagjahressumme in Hessen

Messstation	Jahr	Niederschlagssumme [mm]	Regentage [Tage]
Gernsheim	1949	308	65
Gießen	1953	326	73
Volkmarsen	1959	282	64
Lich	1976	297	78

An allen Stationen fiel in den jeweiligen Jahren nur zwischen 42 und 50 % des mittleren Jahresniederschlags im Vergleich zur Periode 1981-2010. Er verteilte sich auf gerade einmal 64 Tage in Volkmarsen (Landkreis Waldeck-Frankenberg) 1959 und 78 Tage in Lich bei Gießen im Jahre 1976. Daher fiel also in diesen Jahren im Schnitt an etwa 4 von 5 Tagen kein (bzw. in der hier verwendeten Definition weniger als 1 mm) Niederschlag.

4.3.2 Die längsten Trockenperioden

Als Folge des hessischen Niederschlags-Negativrekordes im Jahre 1959 trat auch eine der längsten je gemessenen Trockenperioden in diesem Jahr auf. So regnete es in Greifenstein (Westerwald) zwischen August und Oktober an 69 Tagen in Folge gar nicht, in Rüdesheim am Rhein war diese Spanne 68 Tage lang, gefolgt von u.a. Allendorf (Eder), Willingen (Upland), Diemelsee und Korbach mit je 66 konsekutiven Trockentagen. Im Vergleich dazu betrug die Länge der in Deutschland zwischen Ende Oktober und Anfang Dezember

2011 aufgetretenen Trockenperiode 49 Tage in Waldeck-Alraft, 46 Tage in Darmstadt und Groß-Gerau Wallerstädten und 45 Tage in u.a. Bad Vilbel, Reinheim, Idstein und Nidderau. Die 2011 aufgetretene Periode anhaltender Trockenheit war zwar eine auffallend lange, allerdings doch noch bedeutend kürzer als die in der Vergangenheit registrierten Extrema. Treten längere

Tabelle 22: Längste registrierte Trockenperioden in Hessen

Messstation	Jahr	Saison	Dauer [Tage]
Greifenstein	1959	August-Oktober	69
Waldeck-Freienhagen	1972	Januar-März	57
Weinbach	1947	August-September	54
Eppstein	1949	Juli-August	54
Edertal-Edersee	1953	April-Mai	53
Witzenhausen	1996	Januar-Februar	50
Frankfurt a. M.	1893	Januar-Februar	49
Waldeck-Alraft	2011	Oktober-Dezember	49
Braunfels	2007	März-Mai	45

Trockenperioden während der Vegetationsperiode auf, so ist der Lebenszyklus der Pflanzen gefährdet, außerdem sind Perioden anhaltender Trockenheit im Hochsommer eine Belastung für den menschlichen Kreislauf und erhöhen außerdem die Waldbrandgefahr.

Die längste ununterbrochene Regenperiode fand dagegen Juli-August 1965 statt und war mit 33 konsekutiven Regentagen in Felsberg-Beuern (Schwalm-Eder-Kreis) deutlich kürzer als die längste Trockenperiode Hessens.

4.3.3 Mittlerer Jahresgang des Niederschlags und Extremereignisse

Extremniederschlagsereignisse kommen zwar selten vor, können allerdings beträchtliche ökologische und volkswirtschaftliche Schäden anrichten. Die folgende Abbildung 34 stellt an den Beispielen Fulda und Driedorf den mittleren Niederschlag der Klimaperiode 1981-2010 für jeden Kalendertag dar sowie das absolute Maximum, welches seit Beginn der Messungen aufgezeichnet wurde.

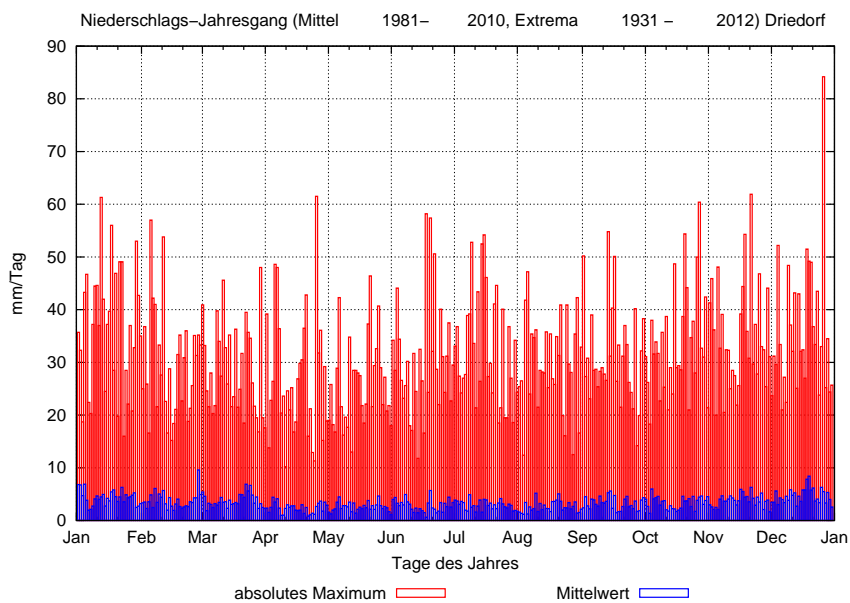
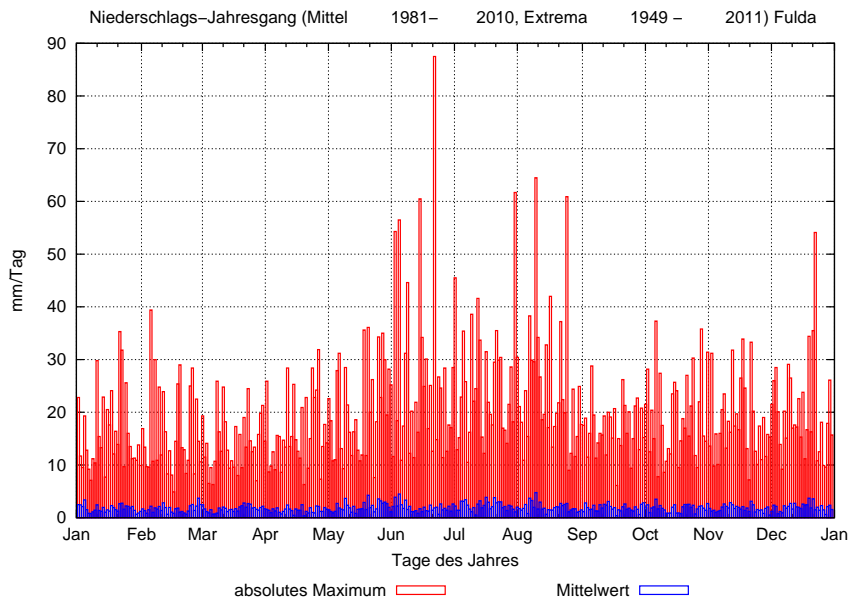


Abbildung 34: Jahresgang des mittleren Niederschlages und aufgetretene Extremereignisse in Fulda und Driedorf

Während der 30-jährige Mittelwert des Tagesniederschlages in Fulda zwischen 0,5 mm und 4 mm bzw. im niederschlagsreicheren Driedorf zwischen 2 mm und 6 mm pro Tag liegt, können einzeln aufgetretene Extremereignisse diesen Betrag um ein Vielfaches übersteigen. Daran sieht man, dass einzelne Starkregenereignisse kaum Auswirkungen auf den Mittelwert haben. Es zeigt sich auch hier nochmals, dass der April im Mittel der Monat mit der geringsten Niederschlagssumme ist. In Driedorf im Nordwesten Hessens fällt der Dezember als nassester Monat auf. Am Beispiel Fulda wird deutlich, dass die meisten Extremniederschläge in den Sommermonaten Juni, Juli und August auftreten. Dies hängt u.a. damit zusammen, dass die Sonnenscheindauer im Sommer ihr Maximum hat und die diabatische Heizung konvektive Schauer und Gewitter auslösen kann. Die Verteilung sieht für viele Stationen in Hessen ähnlich aus. In Driedorf im Westerwald sind die Starkniederschlagsereignisse relativ gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt aufgetreten. In höher gelegenen Stationen sind extremere Regenfälle durchaus auch im Winterhalbjahr möglich. Diese werden dann oft durch orographische Hebung ausgelöst. Eventuell sind die größere Anzahl an Starkregenereignissen in Winter ein Grund dafür, dass in Regionen im Nordwesten Hessens der Dezember der Monat mit den höchsten Niederschlägen ist (Abb. 30).

4.3.4 Relevanz von Starkniederschlägen für die Monatssumme

In der Folge wird genauer darauf eingegangen, wieviel Einfluss Extremniederschläge auf den mittleren Niederschlag haben können. Ein Blick auf die folgende Abbildung macht deutlich, dass ein Starkniederschlagsereignis den Großteil der gesamten Monatssumme ausmachen kann:

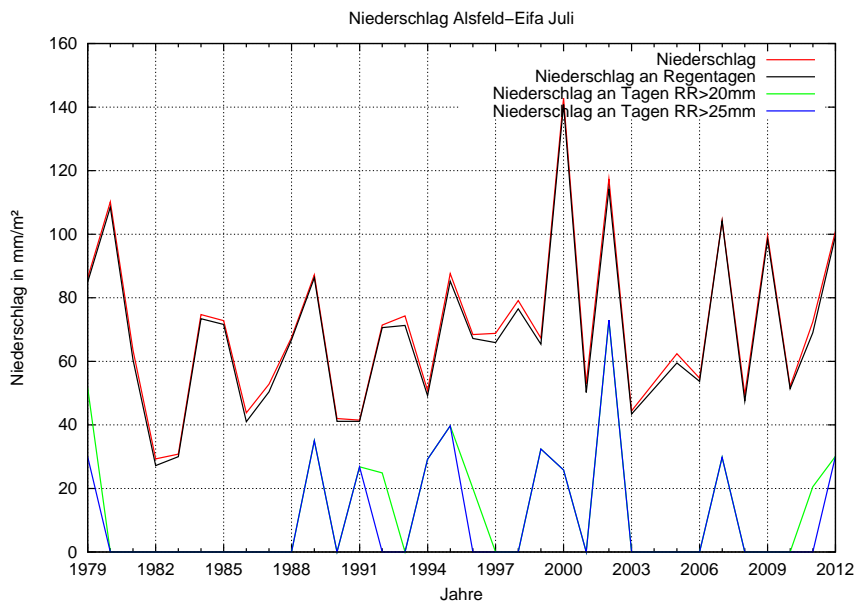


Abbildung 35: Niederschlagsmenge durch Ereignisse mit mehr als 1 mm, 20 mm und 25 mm im Juli in Alsfeld-Eifa

Am Beispiel Alsfeld sieht man, dass seit Messbeginn 1979 in 10 Jahren jeweils im Juli mindestens ein Starkregenereignis auftrat, das eine eintägige Niederschlagsmenge von mindestens 25 mm ergab. Es fällt dabei auf, dass die Niederschlagsmenge, die im Juli durch Starkniederschläge hervorgerufen wird, einen wesentlichen Anteil am Gesamtniederschlag des Monats in Alsfeld hat. 1991 fielen durch ein Extremereignis 26,8 mm Niederschlag, am Ende des Monats betrug die Niederschlagssumme 41,5 mm. Damit fielen innerhalb von 24 Stunden mehr als 2/3 des gesamten Monatsniederschlages. Am 17. Juli 2002 sorgte ein Gewitter in Alsfeld für eine Tagessumme von 73 mm Niederschlag. Das waren 62 % der Monatssumme Juli von 117,4 mm. Es bleibt daher festzuhalten: Nicht jedes Jahr gibt es Starkregenereignisse. Wenn sie aber auftreten, dann hat der dabei gefallene Niederschlag einen

erheblichen Anteil an der gesamten Monatssumme.

Tabelle 23 zeigt einige Rekordwerte an eintägigen Niederschlagssummen, die in Hessen gemessen wurden:

4.3.5 Starkniederschläge

Tabelle 23: Die höchsten 24 stündigen Niederschlagssummen in Hessen

Datum	Niederschlags- summe [mm]	Messstation (Landkreis)
18.07.1994	168,00	Wächtersbach (Main-Kinzig)
03.11.1940	162,30	Lautertal-Eichelhain (Vogelsberg)
15.07.1965	156,00	Diemelstadt-Rhoden (Waldeck-Frankenberg)
18.07.1994	155,50	Sinntal-Weiperz (Main-Kinzig)
20.06.1992	150,00	Bad Soden-Salmünster (Main-Kinzig)
13.07.1941	149,50	Weilrod-Gemünden (Hochtaunus)
18.08.1987	138,10	Hesseneck-Hesselbach (Odenwald)
17.09.2006	137,70	Eschenburg-Hirzenhain (Lahn-Dill)
11.08.1958	137,70	Burgwald-Wiesefeld (Waldeck-Frankenberg)
18.07.1994	136,20	Steinau-Seidenroth (Main-Kinzig)
31.07.1992	133,00	Schauenburg-Hoof (Kassel)
18.08.1987	132,50	Mossautal-Hiltersklingen (Odenwald)
12.02.2012	130,00	Greifenstein (Lahn-Dill)
09.08.1981	124,50	Kleiner Feldberg (Hochtaunus)
30.08.1968	124,20	Greifenstein-Allendorf (Lahn-Dill)
07.10.1982	123,10	Reichelsheim (Odenwald)
27.12.1947	120,60	Grebenhain (Vodelsberg)
07.10.1982	120,60	Michelstadt-Steinbuch (Odenwald)
15.04.1961	120,00	Berkatal-Frankenhain (Werra-Meißner)
10.08.1981	119,00	Philippsthal-Röhrigshof (Hersfeld-Rotenburg)
07.06.1965	118,90	Messel (Darmstadt-Dieburg)
03.06.1981	118,00	Eschwege (Werra-Meißner)
06.09.1999	117,50	Bad Arolsen-Landau (Waldeck-Frankenberg)

In Tabelle 23 sind alle registrierten Starkniederschlagsereignisse aufgeführt, die eine Tagessumme von mehr als 115 mm Niederschlag brachten. Auch hier fällt nochmals auf, dass die meisten extremen Niederschläge in den Sommermonaten stattfanden. Daher sieht man, dass extreme Niederschlagsereignisse oftmals mit Gewittern oder konvektiven Wolken systemen zusammenhängen, die Energiezufuhr durch Sonneneinstrahlung und latente Verdunstungsenergie benötigen und daher meist nur im Sommer auftreten können. Das Niederschlagsereignis mit der 24-stündigen Rekordniederschlagsmenge fand am 18. Juli 1994 statt: In Wächtersbach fielen an einem Tag 168 mm Regen, in Sinntal-Weiperz 155,5 mm.

4.4 Saisonale Trends

Auch wenn die mittlere Jahressumme des Niederschlags in den letzten 70 Jahren unverändert bleibt, so kann sich die saisonale Verteilung des Niederschlags ändern. Am Beispiel Mainhausen-Zellhausen (Kreis Offenbach) wird deutlich, dass die Niederschläge in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar in den letzten Jahren zugenommen haben, während sie im Sommer (Juni, Juli und August) eher zurückgingen (Abb.36).

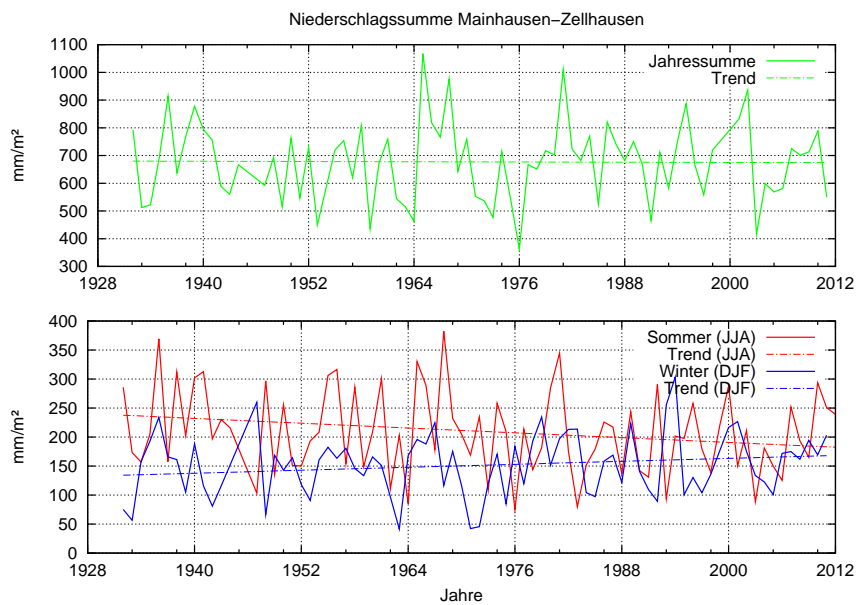


Abbildung 36: Jahresniederschlagssumme sowie Sommer- und Winterniederschlag Mainhausen-Zellhausen im Vergleich

5 Zusammenfassung und Ausblick

Aus Tagesdaten meteorologischer Parameter, die an den hessischen Klima- bzw. Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes gewonnen wurden, wurden mit Hilfe einer selbstentwickelten Fortran Software Klimaindizes berechnet und Extremereignisse extrahiert, die während des dreimonatigen Praktikums beim Fachzentrum Klimawandel Hessen ausgewertet wurden.

Es konnte ein Trend zu milderem Temperaturen im Januar festgestellt werden, der u.a. dazu führt, dass der Vegetationszyklus früher beginnt und nebenbei weniger Heizenergie benötigt wird. Sogar die Kälteperiode im Februar 2011 mit Rekordminimumtemperaturen war nur eine kalte Phase innerhalb eines überdurchschnittlich milden Winters. Die Anzahl an schneebedeckten Tagen bleibt in Hessens Mittelgebirgen im klimatologischen Mittel etwa unverändert. Die Anzahl an Frosttagen ist dagegen hessenweit rückläufig, es gab in den letzten Jahren vielerorts an den Eisheiligen keinen Frost. In den Jahresmitteltemperaturen und der Zunahme der Sommertage lässt sich eine klimawandelbedingte Erwärmung zeigen, die zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode führt.

Besonders kalte Winter traten in der Saison 1939/40 und 1962/63 auf. Die tiefste je in Hessen gemessene Temperatur betrug $-28,3\text{ °C}$ am 13.01.1968 in Hofgeismar-Beberbeck. Extrem heiße Sommer waren 1959, 1976 und vor allem 2003. Es wurden in Frankfurt und Fulda Rekordtemperaturen von $38,7\text{ °C}$ gemessen und in Gernsheim es gab 51 aufeinanderfolgende Sommertage. Frankfurt am Main ist Hessens sonnigster Ort mit 1661 Stunden im Jahr im Mittel 1981-2010. Im Aprilwetter ist ein Trend zu mehr Sonne und weniger Regen zu erkennen, es kommen vermehrt Sommertage im April vor, während die Anzahl der Frosttage leicht zurückgeht.

Auf der Wasserkuppe und dem Kleinen Feldberg kann man eine leichte Zunahme in der mittleren Windspitze registrieren, die Zahl der Sturmereignisse ändert sich jedoch kaum. In Frankfurt/Main nimmt offensichtlich die Sturmhäufigkeit als auch deren Intensität zu. Hessens stärkste je gemessene Windböe trat während Orkan Kyrill am 18.01.2007 auf der Wasserkuppe mit $172,08\text{ km/h}$ auf gefolgt von der Gewitterböe am 01. Juli 2003 auf dem Kleinen Feldberg mit $169,2\text{ km/h}$.

Die Niederschlagsverteilung im klimatologischen Jahresgang ist in Hessen recht einheitlich. In tiefer gelegenen Messpunkten sowie Stationen im Luv von Gebirgen ist der Juli der Monat mit der größten Niederschlagssumme. Verstärkt wird dieses Phänomen durch die Verteilung der Starkniederschlagsereignisse, die an den meisten Stationen in Hessen überwiegend in den Sommermonaten auftreten. Einzig an im Lee installierten Stationen liegt das Niederschlagsmaximum oft im Dezember, hier sind jedoch die Extremnieder-

schläge gleichmäßig über das Jahr verteilt. Starkniederschläge können somit einen erheblichen Anteil am Gesamtniederschlag haben. Der eintägige Niederschlagsrekord beträgt 168 mm/m^2 , stammt vom 18. Juli 1994 und wurde in Wächtersbach gemessen. Der im Mittel niederschlagsärmste Monat ist meist der April, lokal auch der Februar. Die Zahl der Regentage variiert in Hessen regional zwischen ca. 105 (Geisenheim) und 156 (Wasserkuppe) Tagen. Die niederschlagsreichsten Regionen sind die Gebirge Westerwald, Rothaargebirge, Rhön, Odenwald und Vogelsberg. Die Regionen mit der geringsten Jahressumme sind der Rheingau, das Hessische Ried sowie Gießen und Umgebung. In Driedorf im Westerwald fiel im klimatologischen Mittel 1981-2010 1220 mm Regen im Jahr, in Geisenheim dagegen nur 543mm. Die historisch höchsten Niederschlagsjahressummen erfolgten nahezu alle in Grebenhain im Vogelsberg. Zwischen August und Oktober 1959 kam es in Hessen vielerorts zur längsten Trockenperiode seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. In Greifenstein im Westerwald war sie 69 Tage lang. Im Vergleich dazu war die Trockenperiode im November/Dezember 2011 mit 49 Tagen in Waldeck-Alraft deutlich kürzer. Aus langjährigen Zeitreihen lässt sich ablesen, dass es keine langfristige Änderung im Mittelwert des Jahresniederschlags gibt. Allerdings gibt es eine saisonale Verschiebung des Niederschlages, es gibt einen Trend zu trockeneren Sommern und mehr Niederschlag im Winter.

Die zur Verfügung stehenden und vom Deutschen Wetterdienst monatlich aktualisierten Daten der Klimaindizes und der Extremereignisse ermöglichen weitere Auswertungen, die aber über den zeitlichen Rahmen des Praktikums hinaus gegangen wären.

Besonders in den Mittelgebirgen Odenwald, Vogelsberg und Rhön existiert eine hohe räumliche Dichte an Niederschlagsstationen. Es besteht die Möglichkeit, sich die Unterschiede in Niederschlagssummen und Regentagen anzuschauen und die räumliche Variabilität des Niederschlags dort näher zu untersuchen, auch in Abhängigkeit von Luv und Lee.

Des Weiteren könnten die gewonnenen Daten genutzt werden, um das Ausmaß des Klimawandels in Hessen zu quantifizieren. Daten wie die Vegetationsperiode bzw. die Wachstumsgradtage können der Landwirtschaft ermöglichen, sich auf die Klimaveränderungen einzustellen. Möglicherweise besteht eine Korrelation zwischen Sturmereignissen und Forstschäden. Dies ließe sich mit den vorhandenen Daten untersuchen. Auch die Ursachen für die regional unterschiedlichen Trends im täglichen Temperaturbereich sind bisher nicht gefunden worden. Fragen, wie warm, trocken und sonnig der letzte Sommer war bzw. wie kalt und nass der letzte Winter war, interessieren immer einen sehr großen Teil der Bevölkerung.

6 Danksagung

Besten Dank geht an Frau Dr. Heike Hübener, die mich während des dreimonatigen Praktikums im Fachzentrum Klimawandel Hessen beim Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie in Wiesbaden betreute und für Fragen immer zur Verfügung stand sowie an Herrn Dr. Frank Kaspar, Frau Elsbeth Penda und Herrn Dr. Hermann Mächel des Referats Nationale Klimaüberwachung des Deutschen Wetterdienstes, die die künftige technische Betreuung der Fortran-Software übernimmt und die Berechnungen im operationellen Dienst durchführen wird.

7 Wetterrekorde in Hessen

Hier sind nochmal einige Extremwerte, die in den letzten 70 Jahren in Hessen aufgetreten sind, zusammengefasst:

- Höchste Maximaltemperatur: 38,7 °C am 09.08.2003 am Frankfurter Flughafen und in Fulda
- Geringste Minimumtemperatur: -28,3 °C am 13.01.1968 in Hofgeismar-Beberbeck
- Längste Sommertagsperiode: 51 Tage im Juli-August 2003 in Gernsheim
- Längste Frosttagsperiode: 90 Tage zwischen Dezember 1962 und März 1963 auf der Wasserkuppe
- Längste Eistagsperiode: 56 Tage im Januar-Februar 1963 auf der Wasserkuppe
- Höchste Sonnenscheinjahressumme: 2199,7 Stunden im Jahr 1959 auf dem Kleinen Feldberg
- Stärkste Windböe: 172,08 km/h 18.01.2007 während Orkan Kyrill auf der Wasserkuppe
- Geringster Jahresniederschlag: 282 mm im Jahr 1959 in Volkmarsen
- Höchster Jahresniederschlag: 1823 mm im Jahr 1965 in Grebenhain-Herchenrain
- Höchster 24-stündiger Niederschlag: 168 mm am 18.07.1994 in Wächtersbach
- Längste Trockenperiode: 69 Tage von August-Oktober 1959 in Greifenstein
- Längste Regenperiode: 33 Tage von Juli-August 1965 in Felsberg-Beuern

8 Fachbegriffe

- **Sommertag:** Tag mit einer Maximumtemperatur, die größer als $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist.
- **Heißer Tag:** Tag mit einer Maximumtemperatur, die größer als $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist.
- **Frosttag:** Tag mit einer Minimumtemperatur, die kleiner als $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist.
- **Eistag:** Tag mit einer Maximumtemperatur, die kleiner als $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist.
- **Tropennacht:** Tag mit einer Minimumtemperatur, die größer als $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist.
- **Regentag:** Tag mit einer Niederschlagsmenge, die größer als 1 mm ist.
- **bedeckter Tag:** Tag mit einem mittleren Bedeckungsgrad, der größer als 80 \% ist.
- **Consecutive Dry Days:** Dauer einer Trockenperiode von Tagen mit weniger als 1 mm Niederschlag.
- **NOAA-Hitzeindex:** Ein vom amerikanischen Wetterdienst NOAA entwickelter Index, der die gefühlte Temperatur und damit die Hitzebelastung im Sommer in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit angibt.
- **Kältesumme:** Die Kältesumme ist die Aufsummierung aller Tagesmitteltemperaturen zwischen November und März, die kleiner als $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sind. Ist die Kältesumme kleiner als $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, so handelt es sich um einen sehr milden Winter, liegt sie zwischen 100 und $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, so ist der Winter durchschnittlich kalt. Eine Kältesumme größer als $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist Indikator für einen sehr strengen Winter.
- **Periodenmittelwert:** Um einen mittleren aktuellen Zustand der Atmosphäre an einem Ort definieren zu können, wird für alle meteorologischen Parameter ein 30 jähriges Mittel gebildet, um die interdekadische Variabilität herausmitteln zu können. In diesem Bericht werden Mittelwerte der Periode 1981 - 2010 verwendet.
- **Diabatische Heizung:** In das betrachtete System wird von außen Energie zugeführt, in diesem Fall wird die Atmosphäre durch Sonneneinstrahlung erwärmt.

- **Mittlere tägliche Temperaturspanne:** Die mittlere tägliche Temperaturschwankung (engl. Diurnal Temperature Range) ist definiert als $\sum_{i=1}^N (T_{max} - T_{min})/N$.
Es ist ein Maß für die lokale mittlere Strahlungsbilanz an einem Ort.
- **Strahlungsbilanz:** Das Budget aus einfallender bzw. reflektierter solarer Strahlung und emittierter bzw. zurückgestrahlter terrestrischer Strahlung wird Strahlungsbilanz genannt. Die mittlere Temperatur auf der Erde ist von der Strahlungsbilanz abhängig.
$$F = S_{\downarrow} - S_{\uparrow} + L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$$

9 Literaturverzeichnis

1. Albert M.G. Klein Tank, Francis W. Zwiers: Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation; World Meteorological Organization, Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72, online unter:

http://www.wmo.int/datastat/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1_1.pdf

, letzter Zugriff: 03.01.2013

2. D-MAPS.com: Hessenkarte nachbearbeitet, Hessenkarte lizenzfrei, Original online unter:

http://www.d-maps.com/carte.php?lib=hessen_Lankarte&num_car=6264&lang=de,

,letzter Zugriff: 03.01.2013

3. HLOG: Umweltatlas Hessen, online unter

<http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/>

, letzter Zugriff: 03.01.2013

4. NOAA, National Weather Service: NWS Windchill Chart, online unter

<http://www.nws.noaa.gov/om/windchill/>

, letzter Zugriff: 03.01.2013

5. NOAA, National Weather Service: What is the heat index?, online unter

<http://www.srh.noaa.gov/ama/?n=heatindex>

, letzter Zugriff: 03.01.2013

6. Deutscher Wetterdienst, Klimadaten-Online: Tageswerte, online unter:

http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T82002gsbDocumentPath=Navigation%2F0effentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimadaten%2Fkldaten__kostenfrei%2Fausgabe__tageswerte__node.html%3F__nnn%3Dtrue

, letzter Zugriff: 03.01.2013

7. G. Müller-Westermeier(1999): Orkantief Lothar vom 26.12.1999, online unter:

http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne__berichte/ksb1999__pdf/02__1999,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/02_1999.pdf

letzter Zugriff: 03.01.2013

8. wikipedia-Artikel: Orkan Kyrill, online unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Kyrill

, letzter Zugriff: 03.01.2013

9. wikipedia-Artikel: Orkan Xynthia, online unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Xynthia

, letzter Zugriff: 03.01.2013

10. wikipedia-Artikel: Orkan Lothar, online unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Lothar

, letzter Zugriff: 03.01.2013

11. wikipedia-Artikel: Orkan Emma, online unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Emma

, letzter Zugriff: 03.01.2013

12. wikipedia-Artikel: Orkan Vivian, online unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Vivian_\%28Orkan\%29

, letzter Zugriff: 03.01.2013

13. wikipedia-Artikel: Orkan Wiebke, online unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Wiebke

, letzter Zugriff: 03.01.2013

14. wikipedia-Artikel: Orkan Jeanett, online unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Jeanett

, letzter Zugriff: 03.01.2013

15. Wetter3 Archiv: Bodenanalysen Quelle: Deutscher Wetterdienst, Re-analyse GFS: Quelle: wetter3.de, online unter:

<http://www.wetter3.de/Archiv/index.html>

, letzter Zugriff: 03.01.2013

10 Readme

Meteorologische Auswerterroutine von Christian Martin Weder für das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (2012) Das Programm climateindex ist auf das DWD Format der Klimadaten im Tagesformat ausgerichtet, precipindex auf die Tageswerte der Niederschlagsdaten aus dem DWD Messnetz.

Im Unterordner daten befinden sich die Rohdaten der berechneten Indizes und Ergebnisse, die Rohdaten der Stationsdaten im Tagesformat sowie Stationsmetadaten, ein Protokoll des DWD über aufgetretene Fehlwerte und eine Beschreibung im html - Format, die Auskunft über Stationsverlegungen und Änderungen der Messverfahren jeweils für Temperatur, Luftdruck, Niederschlag und Wind gibt.

Die Dateien RR_stationen.txt bzw. KL_stationen.txt beinhalten für alle enthaltenen Stationen des DWD Messnetz, Stationsnummer bzw. -name, Start bzw. Ende des Messzeitraums, die Höhe über N.N. sowie geogr. Länge und Breite.

Berechnung der Monatsmittel/-summen, Jahresmittel/-summen und Saisonmittel/-summen Die Monatssumme bzw. das Monatsmittel werden für eine Größe berechnet, wenn in den Rohdaten des entsprechenden Monats nicht mehr als 10 Tageswerte fehlen, ansonsten wird die Monatssumme bzw. das Monatsmittel mit einer Fehlkennung besetzt.

Die Jahressumme bzw. das Jahresmittel werden für eine Größe berechnet, wenn in den Rohdaten des entsprechenden Jahres insgesamt weniger als 30 Tageswerte fehlen bzw. keine der 12 Monatssummen- bzw. Monatsmittelwerte Fehlkennungen enthalten. Ansonsten wird die Jahressumme/-mittel mit einer Fehlkennung versehen. Das aktuelle Jahr enthält Fehlkennungen, solange nicht alle 365 Tage vorbei sind.

Die Saisonsummen/-mittel/-maxima/-minima berechnen sich aus Mittel/Summe/Maximum/Minimum der drei zu einer Jahreszeit gehörenden Monate: Frühling (März, April, Mai), Sommer (Juni, Juli, August), Herbst (September, Oktober, November) Winter (Dezember, Januar des Folgejahres, Februar des Folgejahres)

Sie werden nur berechnet, wenn keiner der 3 Monatswerte eine Fehlerkennung enthält, wenn mindestens ein Monatswert eine Fehlkennung enthält, wird die ganze Jahreszeit auf Fehlkennung gesetzt. Der Winter des aktuellen Jahres wird standardmäßig mit einer Fehlkennung versehen, da Januar und Februar des Folgejahres in den Winter eingehen, die noch nicht vorhanden sind.

Auskunft über Lücken in den Rohdaten sowie bei der Berechnung aufgetretene Fehler gibt die Datei log_99999.txt.

Variation des ausgegebenen Zeitraums, der Schwellenwerte und der Klimareferenzperiode

Liegt die Referenzperiode außerhalb des verfügbaren Datenzeitraums, so wird kein Klimamittel berechnet und Mittelwert, Differenz und prozentuale Abweichungen werden mit Fehlkennungen versehen.

Wird mit der Option `lZeitspanne` die Ausgabe eines Teilbereiches aus der kompletten Zeitreihe verlangt, so kann eine Ausgabe nur in die Datei geschrieben werden, wenn der gewünschte Zeitraum komplett in den Rohdaten enthalten ist. Wird kein Ergebnis ausgegeben, so wird dies in der log Datei vermerkt. Trend und Gesamtmittelwert werden dann nur für den ausgewählten Zeitraum berechnet. Die Variablen für Anfangs- bzw. Endjahr lauten im Programmkopf `j_start` und `j_end`.

Bei Deaktivierung der Option (Standardeinstellung) wird der gesamte verfügbare Zeitraum der Datenreihe ausgewertet.

Im Programmkopf können die Schwellenwerte für den Warm/Cold Spell Duration Index (`WDSI.WERT`, Standard 0 °C/`CSDI.WERT`, Standard 25 °C in °C), die Außentemperatur auf dessen Grundlage die Heizgradtage (Heizgradgrenze in °C, Standard 17 °C) berechnet werden, die Wachstumsgradtaggrenze (`WGT_Grenze` in °C, Standard 10 °C) und die Referenzwerte für die Wärmesumme (Standard 10 °C) und Kältesumme (Standard 0 °C) bei Bedarf verändert werden.

Die Variablen `Klimaperiode_Anfang` und `Klimaperiode_Ende` enthalten Anfang und Ende der Klimareferenzperiode und sind standardmäßig auf 1981 bzw. 2010 eingestellt. Bei Bedarf kann diese Periode beliebig verändert werden, wenn ihr Zeitraum nicht in den Rohdaten enthalten ist, werden Fehlkennungen für die Klimamittelwerte ausgegeben.

Der DWD verwendet in seinen Rohdaten als Fehlkennungen -999, daher sind in der Auswertesoftware die Variablen `float_Fehlwert=-999` und `int_Fehlwert=-999` gesetzt.

Ausgabeformate

Es gibt in den Ausgabedateien zwei Formate:

Für Variablen, die eine Berechnung des klimatologischen Mittelwertes enthalten (u.a. Temperatur, Niederschlag, Heizgradtage, Sonnenscheindauer, Regentage, Sommertage, Tropennächte, Frosttage, Sturmtage, mittlerer Niederschlag, mittlerer Wind), gilt folgendes Format:

1.Zeile Stationsname und klimatologischer Jahresgang JAN, FEB, MAR, APR, MAI, JUN, JUL, AUG, SEP, OKT, NOV, DEZ, Frühling (März, April,

Mai), Sommer (Juni, Juli, August), Herbst (September, Oktober, November) Winter (Dezember, Januar des Folgejahres, Februar des Folgejahres),
Jahr 2. Zeile Tabellenüberschrift, Format Ab 3. Zeile Ordnungsnummer des Zeitschrittes, Jahr, Werte von links nach rechts: Format für jeden der 12 Monate, 4 Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst, Winter und Jahr:

Wert, Mittelwert über Klimareferenzperiode, Differenz Wert-Mittelwert über Klimareferenz, prozentuale Abweichung des Wertes von der Klimareferenz, Trend (lin. Regression), Gesamtmittelwert der Zeitreihe)

Hinweis: Der Klimamittelwert des Jahres setzt sich aus dem Mittel/Summe der Klimamittelwerte der 12 Monate zusammen. Die Klimamittelwerte für die Jahreszeiten gemittelt/ summiert unterscheiden sich vom mittleren Jahreswert, da der Winter 2010 aus Dez. 10, Jan. 11 und Feb. 11 besteht bzw. der Winter 1981 aus Dez. 81, Jan. 82 und Feb. 82, im Jahreswert 1981-2010 stattdessen Jan-Dez 1981-2010 eingehen.

Für Variablen, für die kein klimatologischer Mittelwert berechnet wird (T_max_max, T_max_min, T_min_max, T_min_min, DTR, 1tägiger bzw. 5tägiger Niederschlag, CDD, CWD, CDD_Veg und alle konsekutiven Zeitspannen), gilt folgendes Format:

1. Zeile Stationsname

2. Tabellenüberschrift, Format

Ab 3. Zeile Ordnungsnummer des Zeitschrittes, Jahr, Werte von links nach rechts:

Format für jeden der 12 Monate, 4 Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst, Winter und Jahr:

Wert, Trend(lin. Regression)

Ein gesondertes Format gibt es für die Datei Frost-Sommer-Vegetation, die die Vegetationsperiode sowie Kalendertag des Vegetationsbeginns, letzten Frosttag und ersten Sommertag des Jahres enthält.

Hinweis: Für alle konsekutiven Größen gilt: Da eine fortlaufende Periode über das Ende eines Monats/Saison/Jahr hinaus gehen kann, wird sie immer dem Monat/Saison/Jahr zugeordnet, in dem sie endet.

Die Spalten sind in der folgenden Tabelle in den Hinweisen angegeben:

Variable	Abkürzung	Einheit	Hinweise
Summe der Frosttage	FrosttagSu	Tage	
längste konsekutive Frosttagsperiode	FD_consecu	Tage	
Summe der Eistage	Eistag_Sum	Tage	
längste konsekutive Eistagsperiode	ID_consecu	Tage	
Summe der Sommertage	Sommertage	Tage	
längste konsekutive Sommertagsperiode	SD_consecu	Tage	
Summe der heißen Tage	Heissertag	Tage	
längste konsekutive Periode von heißen Tagen	HD_consecu	Tage	
Summe der Tropennächte	Tropennach	Tage	
längste konsekutive Periode von Tropennächten	TR_consecu	Tage	
Summe der schwülen Sommertage	schw_Somtg	Tage	$T_{max} > 25 \text{ °C}$ rel. Feuchte $> 80 \%$
längste konsekutive Periode von schwülen Sommertagen	schwSD_con	Tage	
Sommertag und Tropennacht kombiniert	Somtag_Trn	Tage	$T_{max} > 25 \text{ °C}$ $T_{min} > 20 \text{ °C}$
längste konsekutive Periode von Sommertag + Tropennacht	SD-TR_cons	Tage	
Summe der Tage mit hoher und extremer Hitzebelastung (NOAA-Hitzeindex ≥ 3)	Hitzeind_3	Tage	
längste konsekutive Periode mit hoher und extremer Hitzebelastung (NOAA-Hitzeindex ≥ 3)	HI3_consec	Tage	
Summe der Tage mit hoher und extremer Hitzebelastung (NOAA-Hitzeindex ≥ 4)	Hitzeind_4	Tage	
längste konsekutive Periode mit hoher und extremer Hitzebelastung (NOAA-Hitzeindex ≥ 4)	HI4_consec	Tage	

Variable	Abkürzung	Einheit	Hinweise
Summe der Tage mit hoher und extremer Kältebelastung nach NOAA Windchill-Index (Erfrierungen nach 30 Min. Aufenthalt im Freien)	Windchil30	Tage	
längste konsekutive Periode von Tagen mit hoher und extremer Kältebelastung NOAA Windchill-Index (Erfrierungen nach 30 Min. Aufenthalt im Freien)	WC30_conse	Tage	
Summe der Tage mit extremer Kältebelastung nach NOAA Windchill-Index (Erfrierungen nach 10 Min. Aufenthalt im Freien)	Windchil10	Tage	
längste konsekutive Periode von Tagen mit extremer Kältebelastung NOAA Windchill-Index (Erfrierungen nach 10 Min. Aufenthalt im Freien)	WC10_conse	Tage	
Summe der Tage mit Kältestress	Kaltstress	Tage	Wind > 5 m/s rel. Feuchte > 80 % $T_{min} < 0 \text{ °C}$
längste konsekutive Periode von Tagen mit Kältestress	Kalt_conse	Tage	
Heizgradtage (Standard: Außentemperatur: 17 °C)	Heizgradta	Gradtag	Wenn $T_{mittel} < 17 \text{ °C}$ Sum($17 \text{ °C} - T_{mittel}$)
Bedeckte Tage	Wolkentage	Tage	Bedeckungsgrad > 80 %
Sonnenscheindauer	Sonnensche	Stunden	
Mitteltemperatur	Temperatur	°C	
Maximum der T_{max}	T_max_max_	°C	$\max(T_{max})$
Maximum der T_{min}	T_max_min_	°C	$\max(T_{min})$
Minimum der T_{max}	T_min_max_	°C	$\min(T_{max})$
Minimum der T_{min}	T_min_min_	°C	$\min(T_{min})$

Variable	Abkürzung	Einheit	Hinweise
Wachstumsgradtage	WGT_Summe_	°C	Beginn 3 konsekutive Tage mit $T_{mittel} > 10\text{ °C}$, Ende wenn 1. Frosttag kommt; wenn $10\text{ °C} < T_{mittel} < 30\text{ °C}$
Grünlandtemperatursumme	Gruen_TempS	°C	Wenn $T_{mittel} > 0\text{ °C}$ $T_{mittel}(\text{Januar}) * 0.5 +$ $T_{mittel}(\text{Februzr}) * 0.75 +$ $T_{mittel}(\text{März-Dez.})$
Warm spell duration index	WSDI_Perio	Tage	Summe an Tagen einer Spanne von wenigstens 6 aufeinanderfolgenden Tagen mit $T_{max} > 25\text{ °C}$ (kein 90. Perzentil verwendet)
Cold spell duration index	CSDI_Perio	Tage	Summe an Tagen einer Spanne von wenigstens 6 aufeinanderfolgenden Tagen mit $T_{min} < 0\text{ °C}$ (kein 10. Perzentil verwendet)
Wärmesumme des Zeitraums	Warmesumme	°C	Wenn $T_{mittel} > 10\text{ °C}$ $\text{sum}(T_{mittel} - 10\text{ °C})$
Kältesumme des Zeitraums	Kaltesumme	°C	Wenn $T_{mittel} < 0\text{ °C}$ $\text{sum}(T_{mittel} - 0\text{ °C})$
Kältesumme Winter	/output/ Kaeltesumme_ Winter	°C	Wenn $T_{mittel} < 0\text{ °C}$ Monat: November - März $\text{sum}(T_{mittel})$
Dauer der Vegetationsperiode	Frost-Sommer-Vegetation	Tage	Spalte 7 (Klimamittel Spalte 8, Abweichung vom Klima Spalte 9 , Trend Spalte 10)
Kalendertag des letzten Frosts	Frost-Sommer-Vegetation	Tag des Jahres	Spalte 3
Kalendertag des ersten Sommertags	Frost-Sommer-Vegetation	Tag des Jahres	Spalte 6

Variable	Abkürzung	Einheit	Hinweise
Kalendertag des Beginns der Vegetationsperiode	Frost-Sommer-Vegetation	Tag des Jahres	Spalte 4
Kalendertag Ende Vegetationsperiode	Frost-Sommer-Vegetation	Tag des Jahres	Spalte 11
Kalenderag, wenn Grünlandtemperatursumme > 200 °C	Frost-Sommer-Vegetation	Tag des Jahres	Spalte 12
Diurnal Temperature Range	DTR_Tem_Ra	°C	$\text{sum}(T_{max} - T_{min})/N$
mittlere Windgeschwindigkeit	mittelWind	m/s	$\text{sum}(v_{mittel})/N$
mittlere Windspitze	Windspitze	m/s	$\text{sum}(v_{max})/N$
maximale Windböe des Zeitraums	Wind_max_1	m/s	$\text{max}(v_{max})$
Tage mit Windspitze > 62 km/h (8 Bf)	Wind8_Tage	Tage	
Tage mit Windspitze > 75 km/h (9 Bf)	Wind9_Tage	Tage	
Tage mit Windspitze > 89 km/h (10 Bf)	Wind10Tage	Tage	
Tage mit Windspitze > 117 km/h (12 Bf)	Wind12Tage	Tage	
mittlerer Bedeckungsgrad	Bedeckung_	Prozent	
Regentage (RR > 1 mm)	Regentag01	Tage	
Regentage (RR > 10 mm)	Regentag10	Tage	
Regentage (RR > 20 mm)	Regentag20	Tage	
Regentage (RR > 25 mm)	Regentag25	Tage	
Niederschlagssumme	PREC_TOTAL	mm/m ²	
Niederschlagssumme an Tagen mit (RR > 1 mm)	PREC_RD_01	mm/m ²	
Niederschlagssumme an Tagen mit (RR > 20 mm)	PREC_RD_20	mm/m ²	
Niederschlagssumme an Tagen mit (RR > 25 mm)	PREC_RD_25	mm/m ²	
Tage mit Schneefall (Klimastationen)	Schneefall	Tage	Niederschlagsindex: Schnee/Hagel und $T_{max} < 10\text{ °C}$

Variable	Abkürzung	Einheit	Hinweise
Tage mit Hagel (Klimastationen)	Hageltage	Tage	Niederschlagsindex: Schnee/Hagel und $T_{min} > 10\text{ °C}$
Tage mit Schneefall/Hagel (Niederschlagsstationen)	Schneetage	Tage	Niederschlagsindex: Schnee/Hagel
Niederschlagssumme durch Hagelereignisse	PREC_HAGEL	mm/m ²	Niederschlagsindex: Schnee/Hagel und $T_{min} > 10\text{ °C}$ (Klimastationen)
Niederschlagssumme durch Schneeereignisse (Klimastationen)	PRECSCHNEE	mm/m ²	Niederschlagsindex: Schnee/Hagel und $T_{max} < 10\text{ °C}$
maximaler eintägiger Niederschlag	MaxPrec_1T	mm/m ²	
maximaler eintägiger Niederschlag	MaxPrec_5T	mm/m ²	
Mittlerer Niederschlag pro Regentag(RR > 1 mm) Einfacher Niederschlagsindex (SDII)	mean_PR_RD	mm/m ²	Niederschlagssumme/ Regentage
Tage mit Schneedecke	Schneetage	Tage	Schneehöhe > 0 cm
Consecutive Dry Days	ConsDryDay	Tage	Plot-Ordner: Trocken_ Feucht_Perioden
Consecutive Dry Days während Vegetationsperiode	CDD_Vegper	Tage	Plot-Ordner: Trocken_ Feucht_Perioden
Consecutive Wet Days	ConsWetDay	Tage	Plot-Ordner: Trocken_ Feucht_Perioden
Hagelereignisse + Sturm	HagelSturm	Tage	Niederschlagsindex Hagel/Schnee, $T_{min} > 10\text{ °C}$ $v_{max} > 62\text{ km/h}$

Mittlerer und absoluter Jahresgang für Temperatur, Wind und Niederschlag

Datei: Temperatur_Wind_Jahresgang_mittel

- Mittl. Temperatur Jahresgang der Referenzperiode, Standard: 1981-2010: Mittleres Minimum: Spalte 9, Mittleres Maximum: Spalte 7, Mittelwert: Spalte 8
- Mittl. Wind Jahresgang der Referenzperiode, Standard: 1981-2010: Mittlerer Wind: Spalte 10, Mittlere Windspitze: Spalte 11
- n_day gibt die vorhandene Anzahl der jeweiligen Kalendertage innerhalb der Referenzperiode an Hinweis: Tag 60 = 29. Februar, daher besteht der Mittelwert nur aus 7 statt 30 Werten

Datei: Temperatur_Wind_Jahresgang_abs

- Abs. Windspitze je Kalendertag seit Messbeginn: Max Wind absolut: Spalte 6, Max Wind aktuelles Jahr: Spalte 7
- Abs. T-Minimum: Spalte 3, Abs. T-Maximum: Spalte 2, Max. aktuelles Jahr: Spalte 4, Min. aktuelles Jahr: Spalte 5

n_day gibt die vorhandene Anzahl der jeweiligen Kalendertage innerhalb der Referenzperiode an Hinweis: Tag 60=29. Februar, daher besteht der Mittelwert nur aus 7 statt 30 Werten Datei: Niederschlag_Jahresgang_mittel

- Mittl. Niederschlags Jahresgang der Referenzperiode, Standard: 1981-2010: Spalte 3

Datei: Niederschlag_Jahresgang_abs

- Abs. Niederschlagsmaximum je Kalendertag seit Messbeginn: Extremniederschlag: Spalte 2, Niederschlagstagesumme akt. Jahr: Spalte 3

Klimatologische Jahresgänge von meteorologischen Größen zusammengefasst

Datei: Clim_All, Inhalt: FD=Frosttage, ID=Eistage, SD=Sommertag, HD=Heisse Tage, TR=Tropennacht, FF9D=Tage mit $v_{max} > 75$ km/h, FF12D=Tage mit $v_{max} > 117$ km/h, FF10D=Tage mit $v_{max} > 89$ km/h FF8D=Tage mit $v_{max} > 62$ km/h, Sonne=Sonnenscheindauer, Temp=Mitteltemperatur,

Wolken=Tage mit mind. 80 % Bedeckung, HGT=Heizgradtage, HI3= Tage mit Hitzeindex > 3, HI4= Tage mit Hitzeindex > 4, WC10= Windchilltage mit Erfrierungen nach 10 min., WC30= Windchilltage mit Erfrierungen nach 30 min., TN+SD=Sommertag+ Tropennacht, WSD=schwüle Sommertage, KST=Kältestresstage, Bedeck= Bedeckungsgrad
Inhalt: Zeile 2-5 Jahreszeiten, Zeile 6 Jahressumme/mittel, Zeile 7-18 Monatssummen /mittel

Klimatologische Jahresgänge von Niederschlagsgrößen zusammengefasst

Datei: Precip_All, Inhalt: Zeile 2-5 Jahreszeiten, Zeile 6 Jahressumme/mittel, Zeile 7-18 Monatssummen /mittel

Weiterer Output

Im Outputordner findet sich neben einer Klassifizierung der Winter über die Kältesumme (Kaeltesumme_Winter_99999.txt) noch eine Auflistung aller aufgetretenen Windböen ab 89 km/h (10 Bf) mit Datum und mittlerem Wind des Tages in km/h versehen, einmal chronologisch (Wind_Ereignisse_chronologisch_99999.txt) und dann noch der Größe nach absteigend sortiert (Wind_Ereignisse_Rekorde_99999.txt). Auch alle Niederschlagsereignisse mit einer Tagessumme > 50 mm/m² sind in der Datei Niederschlag_Ereignisse_chronologisch_99999.txt mit Datum aufgeführt und in Niederschlag_Ereignisse_Rekorde_99999.txt nach der Größe sortiert.