



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim Geisenheim

**Auswertung von Gesundheitsbelastungen unter einem
zukünftigen Klima mit Hilfe eines einfachen Belastungsindexes**

Bachelorarbeit

Daniela Maulbetsch

Rüsselsheim, Juni 2010

Referent: Prof. Dr. U. K. Deister

Korreferent: Dr. H. Hübener



Hessisches Landesamt für
Umwelt und Geologie

HESSEN



Erklärung

Ich versichere hiermit, diese Arbeit nur unter Verwendung der in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel selbständig angefertigt zu haben.

Rüsselsheim, den

.....

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Glossar	6
Zusammenfassung.....	8
Abstract	8
1 Einleitung	9
1.1 Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit	9
1.1.1 Direkte Auswirkungen	9
1.1.2 Indirekte Auswirkungen	10
1.2 Motivation und Aufgabenstellung.....	11
2 Methoden und Daten	12
2.1 Stand der Forschung.....	12
2.1.1 Thermische Behaglichkeit	12
2.1.2 Hitze Index.....	15
2.1.3 Berechnung des Belastungsindexes	17
2.2 Beobachtungsdaten.....	18
2.3 Klimaszenarien.....	18
2.4 Klimamodelle	21
2.4.1 Globale Klimamodelle	21
2.4.2 Regionale Klimamodelle.....	21
3 Ergebnisse	24
3.1 Anzahl der Belastungstage	24
3.1.1 Wiesbaden.....	24

3.1.2	Wasserkuppe.....	32
3.2	Addition der Änderungssignale auf die Beobachtungsdaten.....	38
3.2.1	Wiesbaden.....	38
3.2.2	Wasserkuppe.....	43
3.3	Aufeinanderfolgende Hitzetage	46
3.3.1	Wiesbaden.....	47
3.3.2	Wasserkuppe.....	50
3.4	Anzahl der Ereignisse.....	52
3.4.1	Wiesbaden.....	52
3.4.2	Wasserkuppe.....	60
3.5	Verteilung der Belastungstage pro Monat	66
3.5.1	Wiesbaden.....	66
3.5.2	Wasserkuppe.....	68
3.5.3	Vergleich der Ergebnisse	70
3.6	Szenarien B1 und A2.....	71
4	Diskussion	72
4.1	Diskussion der Ergebnisse	72
4.2	Tagesweiser oder prozentualer Anstieg – was ist zu bevorzugen?.....	73
4.3	Ausblick.....	74
	Literaturverzeichnis.....	75
	Hintergrundmaterial	77

Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse	79
Abbildungsverzeichnis	79
Tabellenverzeichnis	81
Abbildungsverzeichnis im Anhang.....	82
Tabellenverzeichnis im Anhang.....	84
Abbildungsverzeichnis der Szenarien	85
Tabellenverzeichnis der Szenarien	85
A Anhang	I
A.1 Aufeinanderfolgende Hitzetage	I
A.1.1 Wiesbaden.....	I
A.1.2 Wasserkuppe.....	XVIII
A.2 Verteilung der Belastungstage pro Monat	XXIX
A.2.1 Wiesbaden.....	XXIX
A.2.2 Wasserkuppe.....	XL
B Szenarien B1 und A2	XLIX
B.1 Szenario B1	XLIX
B.1.1 Wiesbaden.....	XLIX
B.1.2 Wasserkuppe.....	LI
B.2 Szenario A2	LIII
B.2.1 Wiesbaden.....	LIII
B.2.2 Wasserkuppe.....	LV

Glossar

Klimamodelle und Daten

Beobachtungsdaten	wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) gemessen
CCLM	COSMO – Climate Local Model (dynamisch)
Referenzperiode	von 1971 bis 2000
REMO	RegionalModel (dynamisch)
WettReg	Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode (statistisch)
Zukunftsperiode	von 2071 bis 2100

Definitionen

Hitzeschäden	Gesundheitsstörungen, die durch länger andauernde, erhöhte Umgebungstemperaturen auftreten. Es wird unterschieden zwischen Sonnenstich, Hitzekrampf, Hitzekollaps, Hitzeerschöpfung und Hitzschlag
Hitzschlag	Die Körpertemperatur steigt lebensbedrohlich auf über 40 Grad Celsius an, was zu Hirnschäden führen kann. Anzeichen sind Fieber, Krämpfe und das Ausbleiben von Schweißbildung
Hitzetage	Tage, an denen Temperaturen von über 30 Grad Celsius erreicht werden
Klima	Repräsentative Merkmale des Witterungsablaufs in einem Gebiet für einen langjährigen Zeitraum (mehr als 10 Jahre).
Klimawandel	Veränderung des Klimas im Verlauf der Zeit

Sommertage	Tage, an denen Temperaturen von über 25 Grad Celsius erreicht werden
Tropennächte	Minimaltemperatur sinkt in der Nacht nicht unter 20 Grad Celsius
Vektor-Organismen	Nagetiere oder Insekten, die Krankheiten auf den Menschen übertragen
Wetter	Der physikalische Zustand der Atmosphäre, der an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt stattgefunden hat
WMO	Meteorologische Welt-Organisation: Sie definiert jeweils 30jährige Zeiträume als Klimanormalperioden (siehe Klima)

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird der Hitze-Index verwendet, um Gesundheitsbelastungen unter einem zukünftigen Klima auszuwerten. Dieser Index setzt sich aus den Parametern Temperatur und relativer Luftfeuchte zusammen. Er wird mit Hilfe von drei Klimamodellen WettReg, CCLM und REMO für das Szenario A1B ausgewertet.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen einen deutlichen Anstieg der Belastungstage. Hierbei werden die Hitzeperioden länger und die Ereignisse mit mehr als zehn aufeinanderfolgenden Hitzetagen nehmen zu. Ein Anstieg der Belastungsstufen eins, zwei und drei ist bei allen Klimamodellen zu erkennen. Zugleich ist das Auftreten der Stufe vier zu erkennen, welche in den Beobachtungsdaten nicht existiert.

Abstract

In this thesis the heat index is used to evaluate disease burdens under a future climate. This index is composed of the parameters of temperature and relative atmospheric humidity. It is evaluated using three climate models WettReg, CCLM and REMO for the A1B scenario.

The results show a significant increase in stress days. In this connection heat waves become longer and the incident with more than ten consecutive days of heat rises. An increase in stress levels one, two and three can be seen in all climate models. At the same time, the incidence of level four is cognized which does not exist in the observations.

1 Einleitung

Die Änderung des Klimas hat schwerwiegende, weitreichende Folgen für die menschliche Gesundheit. Neben gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch extreme Wetterereignisse steigt das Risiko an durch Insekten übertragbaren Infektionskrankheiten zu leiden.

Die globale Erwärmung bringt einen Anstieg von extremen Wetterereignissen mit sich. Unter extremen Wetterereignissen versteht man Hitzewellen, Stürme, Hagelschläge, Starkniederschläge, Hochwasser, Lawinenabgänge oder Erdbeben (Umweltbundesamt, 2009a) deren Dauer und Intensität eine entscheidende Rolle spielen. Da sich diese Bachelorarbeit mit den Hitzewellen beschäftigt, werden diese genauer betrachtet. Das Wärmeempfinden hängt von der Lufttemperatur, der Windgeschwindigkeit, der Luftfeuchtigkeit, der Sonneneinstrahlung und der Wärmestrahlung der Atmosphäre ab. Es kommt hierbei immer auf ein Zusammenspiel der einzelnen Komponenten an (Umweltbundesamt, 2008). Ist sowohl die Lufttemperatur, als auch die Luftfeuchte erhöht spricht man von Wärmebelastung. Eine starke Wärmebelastung wird bei einer über mehrere Tage andauernden Wetterlage empfunden (Umweltbundesamt, 2008). Durch die globale Erwärmung wird die Anzahl der Hitzetage im Sommer stark ansteigen. Bei Hitzetagen handelt es sich um Tage mit Temperaturen von über 30 Grad Celsius. Zur Regulierung der menschlichen Körpertemperatur ist eine nächtliche Abkühlung von Nöten. Bei einer extremen Wärmebelastung bleibt diese Abkühlung aus, oder ist nicht ausreichend. Man spricht hierbei von Tropennächten.

1.1 Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit

In dem folgenden Kapitel werden zwei verschiedene Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit vorgestellt.

1.1.1 Direkte Auswirkungen

Unter direkten Auswirkungen versteht man die Schädigung der menschlichen Gesundheit durch wetterbedingte Extremereignisse wie Hitze- und Kältewellen oder starker Niederschlag, sowie das vermehrte Auftreten von Krankheiten.

Durch die globale Erwärmung ist es möglich, dass durch die erhöhte Temperatur die Zahl der hitzebedingten Erkrankungen ansteigen. Hierfür ist das bekannteste Beispiel der Hitzesommer

2003, dem über 50.000 Europäer, davon 7.000 Deutsche, zum Opfer gefallen sind (Spiegel online, 2007). Die Höchsttemperatur wurde mit 47,3 Grad Celsius in Alentejo, Portugal gemessen. Der Anstieg von extremen Wetterereignissen hat eine direkte Wirkung auf die Gesundheit des Menschen. Infolge von Überschwemmungen steigt die Verletzungsgefahr beziehungsweise Tod durch Ertrinken. Es gibt jedoch auch Vorteile des Klimawandels. So könnten mildere Winter für eine Abnahme der Zahl der kältebedingten Erkrankungen und Todesfälle sorgen (FLUGS, 2003).

Das Einwandern von nichtheimischen, krankheitsübertragenden Insekten und allergieauslösenden Pflanzen kann durch den Klimawandel begünstigt werden (FLUGS, 2003). Die dadurch übertragbaren Infektionskrankheiten könnten zunehmen. Für Allergiker stellt die vorverlegte Blütezeit und die verlängerte Vegetationsperiode ein erhebliches gesundheitliches Problem dar. Das bekannteste Beispiel eines Organismus, welcher sich aufgrund der eingestellten Klimaänderungen in Deutschland ausbreitete ist die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*). Diese Pflanze, welche ursprünglich aus Nordamerika stammt birgt erhebliche Gesundheitsprobleme. Sie ist hochallergen und kann sowohl durch die Luft als auch durch Kontakt allergische Reaktionen verursachen. Das Einwandern dieser Pflanze ist nur aufgrund der gestiegenen Temperaturen möglich (UMID, 2009).

1.1.2 Indirekte Auswirkungen

Eine indirekte Auswirkung liegt bei nachteilig veränderten Umweltbedingungen vor (Umweltbundesamt, 2009a). Dazu zählen zum Einen die Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität und zum Anderen Krankheiten, die durch verschiedene Überträger verursacht werden, für die sich Idealbedingungen einstellen.

Vermehrte Überschwemmungen können den Ausbruch von Krankheiten wie Cholera oder Durchfallerkrankungen insbesondere bei sehr warmem Wetter oder in Tropen fördern. Der prognostizierte Meeresspiegelanstieg könnte durch Versalzung des Grundwassers die Wasserqualität negativ beeinflussen. In Hitzeperioden wird der Bodenfilter durch Austrocknung geschwächt. Das bedeutet, der Boden wird rissig und grobporig sodass Verunreinigungen in das Grundwasser gelangen können. Ein weiteres Problem stellen krankheitsübertragende Organismen, die sogenannten Vektor-Organismen, dar. Vektor-Organismen sind Nagetiere oder Insekten, die die Krankheiten mit sich tragen und auf den Mensch übertragen

(HelmholtzZentrum München, 2009). Sie regulieren ihre Körpertemperatur nicht selbst und sind deshalb stark von der herrschenden Temperatur und anderen klimabedingten Umweltfaktoren abhängig. Eine Erhöhung von Temperatur und Feuchtigkeit verbessern die Lebensbedingungen dieser Organismen. Erhöht sich die Temperatur in Deutschland und nimmt die „Idealbedingungen“ für die Vektor-Organismen an, ist mit einem starken Anstieg zu rechnen. Hinzu kommt noch der milde Winter, der die Überlebenschancen von krankheitsübertragenden Insekten verstärkt. So ist zu erwarten, dass die asiatische Tigermücke nach Deutschland einwandert. Diese überträgt die tropische Infektionskrankheit „Chikungunya“, welche Fieber- und Gelenkschmerzen hervorruft (HelmholtzZentrum München, 2009). Bei höheren Außentemperaturen ist damit zu rechnen, dass Lebensmittelinfektionen durch Salmonellen häufiger auftreten.

1.2 Motivation und Aufgabenstellung

Der Mensch hat viele Möglichkeiten, negativen Gesundheitsauswirkungen vorzubeugen. Es ist daher wichtig, die Bevölkerung zu informieren. Die bereits eingerichteten Frühwarnsysteme für extreme Wetterereignisse sind ein erster Schritt in die richtige Richtung. Ein weiterer wichtiger Punkt stellt die Forschung dar. Es gibt zu wenige Informationen über konkrete Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit. Daher ist es wichtig, sowohl nationale als auch internationale Netzwerke zu bilden, um den Informationsaustausch zu beschleunigen. Diese Bachelorarbeit soll dabei helfen, den Menschen ihre Möglichkeiten aufzuzeigen und ihnen die Gefahren des Klimawandels zu verdeutlichen. Indem auf die Gefahren des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit hingewiesen wird, soll die Bereitschaft zu Klimaschutzmaßnahmen gestärkt werden. Jeder soll sich eine Vorstellung machen, wie sich der Klimawandel weiterentwickeln könnte und welche Folgen das für unser Leben, unsere Gesundheit und unsere Zukunft haben kann.

Mögliche Entwicklungen hinsichtlich der Belastungsänderung für die menschliche Gesundheit sollen untersucht werden. Dazu werden Methoden getestet, die Hitzetage mit Hilfe des Hitze-Indexes zu analysieren und Hitzeperioden sowie die Anzahl der Belastungstage pro Monat zu untersuchen.

2 Methoden und Daten

2.1 Stand der Forschung

Die Parameter Lufttemperatur und relative Luftfeuchte haben eine Wirkung auf den menschlichen Organismus und beeinflussen das Wärmeempfinden. Einen besonderen Einfluss haben diese Parameter auf körperliche Funktionen, wie zum Beispiel das Schwitzen. Bei einer erhöhten Temperatur versucht sich der Körper durch Schwitzen abzukühlen, indem er Schweiß produziert, welcher von der Hautoberfläche verdunstet. Dabei wird Energie verbraucht, was den kühlenden Effekt bewirkt. Liegt jedoch gleichzeitig eine erhöhte relative Luftfeuchte vor, so kann die Luft den Schweiß nicht mehr aufnehmen und der kühlende Effekt wird verlangsamt oder bleibt aus (Schuh, 2007). Im Folgenden werden verschiedene Indices für die thermische Behaglichkeit und der Hitze-Index vorgestellt.

2.1.1 Thermische Behaglichkeit

Von thermischer Behaglichkeit spricht man, wenn der Mensch mit seiner thermischen Umgebung zufrieden ist, das heißt, sich thermisch neutral fühlt und sich weder eine wärmere noch eine kältere Umgebung wünscht. Desweiteren sollte er an keiner Körperstelle eine Abkühlung oder Erwärmung spüren. Bei der Behaglichkeitsgleichung wird die Kombination von Klimaparametern betrachtet. Für die Behaglichkeit spielen verschiedene Einflussgrößen eine Rolle:

- Raumlufthtemperatur
- Temperatur der Fußbodenoberfläche
- Temperatur der Deckenoberfläche
- Relative Feuchte der Raumlufth
- Luftbewegung in Körperrnähe

Hierbei sollte die Temperaturdifferenz zwischen Wand- und Raumlufth sowie zwischen Fuß- und Kopfhöhe nicht zu groß sein (FH Oldenburg, 2009/2010).

2.1.1.1 PMV- und PPD-Index

Der PMV-Index steht für „Predicted Mean Vote“. Dieser gibt die erwartete durchschnittliche Beurteilung des Raumklimas an. Diese Beurteilung erfolgt anhand einer 7-Punkte-Skala (Tab. 1). Dieser Index ermöglicht eine Vorhersage darüber, wie die mittlere Beurteilung des Raumklimas ausfällt, wenn eine große Zahl von Personen einem definierten Raumklima ausgesetzt ist.

Der PPD-Index steht für „Predicted Percentage of Dissatisfied“. Dieser gibt die Anzahl der mit den thermischen Bedingungen unzufriedene Personen an. Im Vergleich dazu gibt der PMV-Index nur die mittlere Beurteilung wieder, nicht jedoch die Beurteilung der Einzelpersonen. Diese streuen um den Mittelwert. Es existiert jedoch kein Raumklima, mit dem alle zufrieden sind, da selbst bei vorausgesagter thermischer Neutralität immer mindestens fünf Prozent unzufrieden sind (Abb. 1).

Tabelle 1: 7-Punkte-Beurteilungsskala des Raumklimas nach IBO, 2006

Bezeichnung	PMV-Index	PPD-Index
Zu warm	+3	99,1%
Warm	+2	76,8%
Etwas warm	+1	26,1%
Neutral	0	5,0%
Etwas kühl	-1	26,1%
Kühl	-2	76,8%
Kalt	-3	99,1%

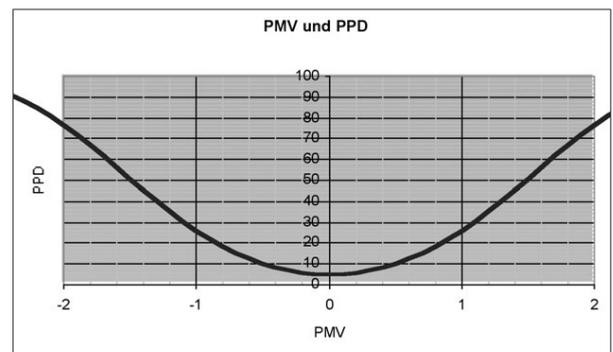


Abbildung 1: Zusammenhang von PMV und PPD nach IBO, 2006

2.1.1.2 Klima-Michel-Modell

Das Klima-Michel-Modell wurde vom Deutschen Wetterdienst entwickelt. Es ist ein vollständiges Wärmehaushaltsmodell für den Menschen. Das Modell bewertet das Wärmeempfinden im Freien, was als gefühlte Temperatur definiert werden kann. Das Klima-

Michel-Modell betrachtet den Energieumsatz einer Standardperson - Klima-Michel - der mit konstanter Geschwindigkeit von vier km/h läuft. Er ist männlich, 35 Jahre alt, 1,75 Meter groß und wiegt 75 Kilogramm. Die Parameter, die bei der Berechnung berücksichtigt werden, sind:

- Wärmeisolation der Bekleidung (angepasst an die klimatischen Gegebenheiten)
- Lufttemperatur
- Windgeschwindigkeit
- Luftfeuchtigkeit
- Mittlere Strahlungstemperatur (Einwirkung der Sonnenstrahlung)

Tabelle 2: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung nach DWD a

Gefühlte Temperatur [°C]	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Beanspruchung
≤-39	sehr kalt	extremer Kältestress
-26 bis -39	kalt	starker Kältestress
-13 bis -26	kühl	mäßiger Kältestress
0 bis -13	leicht kühl	schwacher Kältestress
0 bis +20	behaglich	Komfort möglich
+20 bis +26	leicht warm	schwache Wärmebelastung
+26 bis +32	warm	mäßige Wärmebelastung
+32 bis +38	heiß	starke Wärmebelastung
≥ +38	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Liegt die gefühlte Temperatur zwischen null und 20 Grad Celsius bedeutet das für Klima-Michel Behaglichkeit. Sinkt die gefühlte Temperatur unter null Grad Celsius, entsteht Kältestress. Steigt die gefühlte Temperatur auf über 20 Grad Celsius bedeutet das eine Wärmebelastung (Tab. 2).

2.1.2 Hitze Index

Der Hitze-Index (HI) beschreibt die gefühlte Temperatur. Er wird mit Hilfe der gemessenen Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte berechnet. Mit Hilfe des Hitze-Indexes kann berechnet werden, ab welchen Temperaturen und relativen Luftfeuchten die gefühlte Temperatur und somit die gesundheitliche Belastung des Körpers hoch ist.

Der Hitze-Index wird mit folgender Formel, basierend auf den Tageswerten von Temperatur und relativer Luftfeuchte berechnet.

$$HI = c_1 + c_2 \cdot T + c_3 \cdot \varphi + c_4 \cdot T \cdot \varphi + c_5 \cdot T^2 + c_6 \cdot \varphi^2 + c_7 \cdot T^2 \cdot \varphi + c_8 \cdot T \cdot \varphi^2 + c_9 \cdot T^2 \cdot \varphi^2$$

Die einzelnen Formelzeichen stehen für folgende Größen:

HI - Hitzeindex [°F]

T - Lufttemperatur der trockenen Luft [°F]

φ - relative Luftfeuchtigkeit [%]

c_1 bis c_9 sind Konstanten ($c_1 = -42,379$; $c_2 = 2,049$; $c_3 = 10,143$; $c_4 = -0,225$; $c_5 = -6,838 \cdot 10^{-3}$;

$c_6 = -5,482 \cdot 10^{-2}$; $c_7 = 1,229 \cdot 10^{-3}$; $c_8 = 8,528 \cdot 10^{-4}$; $c_9 = -1,99 \cdot 10^{-6}$)

Es ist darauf zu achten, dass zur Berechnung des Hitzeindex die Temperatur in Grad Fahrenheit umgerechnet werden muss. Tabelle 3 zeigt die Werte in Grad Celsius. Aus besagter Tabelle geht hervor, dass mit steigender Temperatur und Luftfeuchte die gefühlte Temperatur ansteigt. Beim Hitze-Index muss beachtet werden, dass dieser erst ab einer Temperatur von 26,7 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40% berechnet werden sollte.

Tabelle 3: Klassifizierung des Hitze-Indexes aufbauend auf den Hitze-Index nach National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

Hitze- Index		Relative Luftfeuchte [%]											
		45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temperatur [°C]	27	27,2	27,2	27,8	28,3	28,3	28,9	29,4	30,0	30,0	30,6	31,1	31,7
	28	27,8	28,3	28,9	29,4	30,0	30,6	31,1	32,2	32,8	33,9	34,4	35,6
	29	28,9	29,4	30,6	31,1	31,7	32,8	33,9	35,0	36,1	37,2	38,3	40,0
	30	30,6	31,1	31,7	34,4	33,9	35,0	36,1	37,8	38,9	40,6	42,2	44,4
	31	31,7	32,8	33,9	35,0	36,1	37,8	39,4	41,1	42,8	44,4	46,7	48,9
	32	33,3	34,4	35,6	37,2	38,9	40,6	42,2	44,4	46,7	48,9	51,7	53,9
	33	35,0	36,1	37,8	39,4	41,7	43,3	45,6	48,3	50,6	53,3	56,7	59,4
	34	36,7	38,3	40,0	42,2	44,4	46,7	49,4	52,2	55,0	58,3	61,7	65,6
	35	38,9	40,6	42,8	45,0	47,8	50,6	53,3	56,7	60,0	63,9	67,8	71,7
	36	41,1	43,3	45,6	48,3	51,1	53,9	57,8	61,1	65,0	69,4	73,3	78,3
	37	43,3	45,6	48,3	51,7	54,4	58,3	62,2	66,1	70,6	75,0	80,0	85,0
	38	46,1	48,3	51,7	55,0	58,3	62,8	66,7	71,1	76,1	81,1	86,7	92,2
	39	48,3	51,7	55,0	58,9	62,8	67,2	71,7	76,7	82,2	87,8	93,9	100,0
	40	51,1	55,0	58,3	62,8	67,2	71,7	77,2	82,8	88,3	94,4	101,1	107,8
41	54,4	58,3	62,2	66,7	71,7	77,2	82,8	88,3	95,0	101,7	108,9	116,1	

(Quelle: National Oceanic and Atmospheric Administration)

Tabelle 4: Wirkung der verschiedenen Temperaturen auf den menschlichen Organismus

Hitzeindex	Hinweise
Stufe 1	Vorsicht - Bei längeren Zeiträumen und körperlicher Aktivität kann es zu Erschöpfungserscheinungen kommen
Stufe 2	Erhöhte Vorsicht - Es besteht die Möglichkeit von Hitzeschäden wie Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps
Stufe 3	Gefahr - Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps sind wahrscheinlich; Hitzschlag ist möglich
Stufe 4	Erhöhte Gefahr – Hitzschlag und Sonnenstich sind wahrscheinlich

Die gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Organismus der in Tabelle 3 farblichen unterlegten Flächen, werden in Tabelle 4 beschrieben. Es wird deutlich, dass mit steigender Temperatur und Luftfeuchte eine erhöhte Gefahr für die Gesundheit besteht. Bei Belastungsstufe eins ist Vorsicht geboten. Dort kann es zu Erschöpfungserscheinungen nach längeren körperlichen Aktivitäten kommen. Zu erhöhter Vorsicht wird bei Belastungsstufe zwei aufgerufen. Dort besteht die Möglichkeit, Hitzeschäden wie Sonnenstich oder Hitzekollaps zu erleiden. Gefahr droht bei Belastungsstufe drei. Hierbei sind Hitzeschäden wahrscheinlich und ein Hitzschlag ist möglich. Bei Belastungsstufe vier ist bereits ein Hitzschlag und Sonnenstich wahrscheinlich. Es herrscht erhöhte Gefahr.

2.1.3 Berechnung des Belastungsindex

In der vorangegangenen Bachelorarbeit von Kathrin Künzler (2009) wurde der Hitzeindex aus den Parametern Temperatur und relativer Luftfeuchte berechnet. Hierfür wurden verschiedene Stationen in Hessen hinsichtlich des Vorhandenseins dieser Parameter untersucht. Nach der Überprüfung sind die Stationen Wiesbaden und Wasserkuppe ausgewählt worden, da Wiesbaden die höchste Anzahl an Sommertage und die Wasserkuppe die geringste Anzahl aufwies. Der Index wurde dafür verwendet, die zukünftige Klimaentwicklung unter Anwendung verschiedener Szenarien zu bewerten. Es sollte dazu dienen, der Öffentlichkeit die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels besser darzustellen. Die Arbeit hat die Eignung des Hitzeindex für Hessen geprüft. Dafür sind drei Klimamodelle verwendet worden: WettReg, CCLM und REMO. Es wurden die Zeiträume 1971 bis 2000 und 2071 bis 2100 betrachtet. Die vorliegende Arbeit baut auf der Arbeit von Künzler (2009) auf.

2.2 Beobachtungsdaten

Es handelt sich bei den Beobachtungsdaten um Temperatur- und Feuchtedaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD). In dieser Arbeit wird nur ein Zeitraum von 30 Jahren (Referenzperiode von 1971 bis 2000) betrachtet. Diese stellen den tatsächlichen Temperaturverlauf dar. Mit Hilfe der Beobachtungsdaten werden die Fehler ermittelt, die die Klimamodelle (Kap. 2.4) für die Referenzperiode haben.



Abbildung 2: Positionskarte der Stationen Wiesbaden und Wasserkuppe in Hessen (verändert nach Geodus, 2008)

Bei den verwendeten Stationen handelt es sich um Wiesbaden und Wasserkuppe (Abb. 2). Die beiden Parameter, die für die Berechnung des Hitze-Indexes (Kap. 2.1.2) benötigt werden, liegen für mehrere Stationen vor, auch für die hier gewählten Stationen. Die Wasserkuppe ist der höchsten Berg der Rhön (950 Meter über Normalnull) und Wiesbaden ist mit 115 Meter über Normalnull die tiefste gelegene Stadt der Messdaten. Der Grund für das Verwenden dieser beiden Stationen ist, dass Wiesbaden die höchste Anzahl an Sommertage und die Wasserkuppe die geringste Anzahl an Sommertagen aufweist. Dadurch bildet Wiesbaden die obere Grenze und die Wasserkuppe die untere

Grenze. Daher können diese beiden Stationen stellvertretend für ganz Hessen verwendet werden (Künzler, 2009).

2.3 Klimaszenarien

Durch Klimaszenarien können mögliche Auswirkung des Klimawandels abgeschätzt werden. Es handelt sich um eine mögliche zukünftige Entwicklung, die mit Hilfe von Klimamodellen

(Kap. 2.4) berechnet wird. Die Klimaszenarien berücksichtigen verschiedene Entwicklungen der Gesellschaft. Es werden Annahmen über folgende Faktoren getroffen (ARL, 2009):

- Bevölkerungswachstum
- Wirtschaftswachstum
- Energieverbrauch
- Art der Energiegewinnung
- Landnutzungsänderung

Es gibt vier verschiedene Gruppen von Klimaszenarien, die eine grobe Beschreibung verschiedener Weltentwicklungen hinsichtlich Ökonomie und Ökologie liefern. Es werden die globalen zukünftigen Entwicklungen und die Globalisierungsprozesse betrachtet.

Tabelle 5: Bezeichnung der einzelnen Klimaszenarien

A	globale zukünftige Entwicklung unter einer ökonomischen Orientierung
B	globale zukünftige Entwicklung unter einer ökologischen Orientierung
1	Homogenisierung der Welt durch Globalisierungsprozesse
2	Heterogenisierung der Welt durch große regionale Differenzen

Aus Tabelle 5 gehen die verschiedenen Bezeichnungen der Klimaszenarien hervor. A und B können jeweils mit 1 und 2 kombiniert werden und stellen durch diese Kombination vier verschiedenen Szenariengruppen dar. Diese werden zur besseren Veranschaulichung in der folgenden Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Weiterführende Darstellung der vier Klimaszenarien hinsichtlich der Entwicklungsrichtung und Globalisierung

	homogene Welt	heterogene Welt
wirtschaftsorientierte Entwicklung	A1	A2
umweltorientierte Entwicklung	B1	B2

Zur besseren Beschreibung der Entwicklungen werden diese einzeln in Tabelle 7 betrachtet.

Tabelle 7: Beschreibung der Entwicklungsmöglichkeiten die die Grundszenarien beinhalten

Szenario	Entwicklung
A1	Beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr starkem Wirtschaftswachstum und einer schnellen Einführung neuer und effizienter Technologien
A2	Die ökonomische Entwicklung ist regional bestimmt und die technologischen Entwicklungen sind regional unterschiedlich
B1	Hierbei handelt es sich um eine global orientierte Entwicklung mit der Einführung sauberer und ressourcenschonender Technologien
B2	Setzt auf lokale Lösungen der wirtschaftlichen, sozialen und umweltorientierten Nachhaltigkeitsfragen. Der technologische Wandel ist nicht schnell und regional unterschiedlich

A1 wird in mehrere Teilgruppen untergliedert, die sich jeweils in der Energieversorgung unterscheiden. Diese werden in Tabelle 8 veranschaulicht.

Tabelle 8: Definition der verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten des Szenarios A1 hinsichtlich der Energieversorgung

A1T	Energieversorgung erfolgt vorwiegend nicht-fossil (T=technology)
A1B	Eine ausgeglichene Mischung aus einer fossilen und nicht-fossilen Energieversorgung (B=baseline)
A1FI	Eine vorwiegend fossile Energieversorgung (FI=fossil intense)

In dieser Arbeit wird nur Szenario A1B für die Zukunft analysiert.

2.4 Klimamodelle

Ein Klimamodell ist ein Computerprogramm, mit dem Simulationen für die Vergangenheit und für Szenarien durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Simulationen sind die Projektionen des zukünftigen Klimas für eine bestimmte Zeitperiode. Klimamodelle werden dazu eingesetzt, mögliche Trends in der Entwicklung des Klimas zu erkennen und zu projizieren. Diese Projektionen beruhen auf den im vorherigen Kapitel erwähnten Entwicklungen der Welt. Die folgenden Kapitel beschreiben globale und regionale Klimamodelle.

2.4.1 Globale Klimamodelle

Globale Klimamodelle (auch GCM: General Circulation Model) sind Computermodelle, die die wichtigsten Vorgänge in der Atmosphäre und auf der gesamten Erde simulieren. Es ist eine dreidimensionale Repräsentation der Atmosphäre und der in ihr ablaufenden physikalischen Prozesse. GCM beruhen auf den grundlegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Üblicherweise werden sowohl Ozean- als auch Schnee- und Eismodelle angekoppelt, da die Atmosphäre nicht als isoliertes System betrachtet werden kann. Rückkopplungseffekte wie zum Beispiel das durch die Erderwärmung bedingte Abschmelzen der Polkappen werden berücksichtigt. Globale Klimamodelle haben eine horizontale Auflösung zwischen circa 100 und 400 Kilometer. Diese grobe Auflösung hat zur Folge, dass kleinräumige Phänomene wie Wolkenbildung oder Niederschläge, die kleiner sind als eine Gitterbox, nicht genau abgebildet werden können. Für Hessen ist diese Auflösung zu ungenau. Daher müssen regionale Klimamodelle betrachtet werden.

2.4.2 Regionale Klimamodelle

Zur Erhöhung der räumlichen Auflösung der globalen Klimamodelle werden bei regionalen Klimamodellen nur bestimmte Ausschnitte der Erde betrachtet. Regionale Klimamodelle lassen sich in zwei Arten untergliedern: in dynamische und statistische Klimamodelle. In den folgenden Kapiteln werden zwei dynamische Klimamodelle und ein statistisches Klimamodell vorgestellt. Die Antriebsdaten für die Projektionen der Klimamodelle liefert hier das globale Klimamodell „ECHAM 5“.

2.4.2.1 *Statistisches Klimamodell*

Statistische Verfahren beruhen auf der Beziehung zwischen großräumigen (beobachtet oder modelliert) Klimaparametern und lokal beobachteten Klimavariablen. Die Vorteile von statistischen Modellen liegen darin, dass sie für ähnliche klimatische Verhältnisse, aus denen die statistischen Beziehungen abgeleitet sind, zuverlässigere Ergebnisse liefern. Daher eignen sie sich besonders für kurz- bis mittelfristige Klimaprojektionen. Der Arbeitsaufwand ist üblicherweise gering und es ist meist nur ein geringer Rechenaufwand erforderlich. Somit sind sie nicht auf leistungsfähige Großrechner angewiesen. Man erreicht theoretisch eine beliebig hohe räumliche Auflösung. Der Nachteil ist jedoch, dass dafür entsprechend hoch auflösende langjährige Messdatenreihen erforderlich sind.

WettReg (Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode) ist ein statistisches Modell, das auf der Typisierung von Wetterlagen basiert. Dieses Modell berechnet aus Beobachtungsdaten einen Zusammenhang zwischen großskaligen Wetterlagen und Parametern wie Temperatur und Niederschlag für das heutige Klima, der dann auf ein zukünftiges Klima angewendet werden kann. WettReg wurde von der „Climate & Environment Consulting GmbH Potsdam“ (CEC) entwickelt.

2.4.2.2 *Dynamische Klimamodelle*

Dynamische Modelle stellen die physikalischen und chemischen Prozesse, wie die globalen Modelle, dar. Sie modellieren nur einen regionalen Ausschnitt der Atmosphäre. Daher ist ihre horizontale Auflösung größer als bei globalen Modellen. Die dynamischen regionalen Klimamodelle benötigen zur Simulation die Ergebnisse der globalen Klimamodelle. Der Vorteil bei dynamischen Klimamodellen liegt darin, dass sie Szenarien berechnen können, die weit von den heutigen klimatischen Verhältnissen entfernt sind. Dies bedeutet, dass sie für die Modellierung der fernen Zukunft besser geeignet sind als die statistischen Modelle. Der Nachteil von dynamischen Klimamodellen liegt darin, dass die Simulationsergebnisse nicht auf Stationsmessungen, sondern auf den simulierten physikalischen Gleichungen beruhen. Ein weiterer Nachteil gegenüber den statistischen Modellen ist die längere Rechenzeit. In dieser Arbeit werden zwei dynamische regionale Klimamodelle verwendet: REMO und CCLM. Diese werden in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben.

REMO (Regional Model) wurde vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein hydrostatisches dynamisches regionales Modell. Unter hydrostatisch versteht man, dass die Atmosphäre als ideale Flüssigkeit aufgefasst wird und die Luft nicht kompressibel ist. Dadurch erhält man eine Vereinfachung der Realität. Die hydrostatische Grundgleichung lautet $dp = -\rho \cdot g \cdot dz$. Hierbei ist p der Druck, ρ ist die Dichte der Luft, g die Erdbeschleunigung und z ist die Höhe. Da sich weder die Dichte, noch die Erdbeschleunigung ändern, ändert sich der Druck nur mit der Höhe. Der Druck ist jedoch nicht überall gleich; beispielsweise bei Hoch- und Tiefdruckgebieten. Es wird daher in einem hydrostatischen Modell eine vereinfachte Berechnung ohne Vertikalbewegung durchgeführt. Mit REMO kann eine horizontale Auflösung von 10 x 10 km erfolgen.

CLM, mittlerweile umbenannt und weiterentwickelt zu CCLM (COSMO-Climate Local Model) ist ein dreidimensionales, hoch auflösendes, nicht-hydrostatisches Klimamodell. Es wurde für Langzeitsimulationen entwickelt und basiert auf der Klimaversion des regionalen Wettervorhersagemodells LM (Lokal Modell) des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Es kann nichtlineare Zusammenhänge und Trends wiedergeben. CCLM hat eine horizontale Auflösung von $1/8^\circ$. Das entspricht einer Auflösung von etwa 12 Kilometern in Ost-West Richtung und 18,5 Kilometer in Nord-Süd Richtung. CCLM war eine Gemeinschaftsentwicklung von etwa 25 Institutionen.

3 Ergebnisse

Bei den Ergebnissen der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO handelt es sich lediglich um Prognosen und nicht um Vorhersagen. Es stellt nur eine mögliche zukünftige Entwicklung dar. Daher ist zu betonen, dass die nun folgenden Ergebnisse mit Vorsicht zu handhaben sind. Den Fehler, den die Simulationen der Klimamodelle aufweisen, soll reduziert werden. Daher wird eine mögliche Zukunftsentwicklung unter Voraussetzung der Szenarios A1B dargestellt.

3.1 Anzahl der Belastungstage

In dem folgenden Kapitel wird überprüft, wie stark die Anstiege der Belastungstage der beiden Messstationen Wiesbaden und Wasserkuppe sind. Hierfür werden die Modelle WettReg, CCLM und REMO in Relation zueinander und einzeln betrachtet. Man kann jedoch anhand des Anstiegs der Belastungstage nicht davon ausgehen, dass sich die Zukunft so entwickelt. Da die einzelnen Klimamodelle Fehler haben, entstehen Unterschiede in der Wiedergabe der Vergangenheit im Vergleich zu den Beobachtungsdaten. Dieser Fehler soll so weit wie möglich reduziert werden.

3.1.1 Wiesbaden

In Abbildung 3 wird der Trend der Belastungstage dargestellt. Zum Einen werden die Beobachtungsdaten wiedergegeben und zum Anderen die simulierten Werte der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Vergangenheit (1971-2000) und die Zukunft (2071-2100).

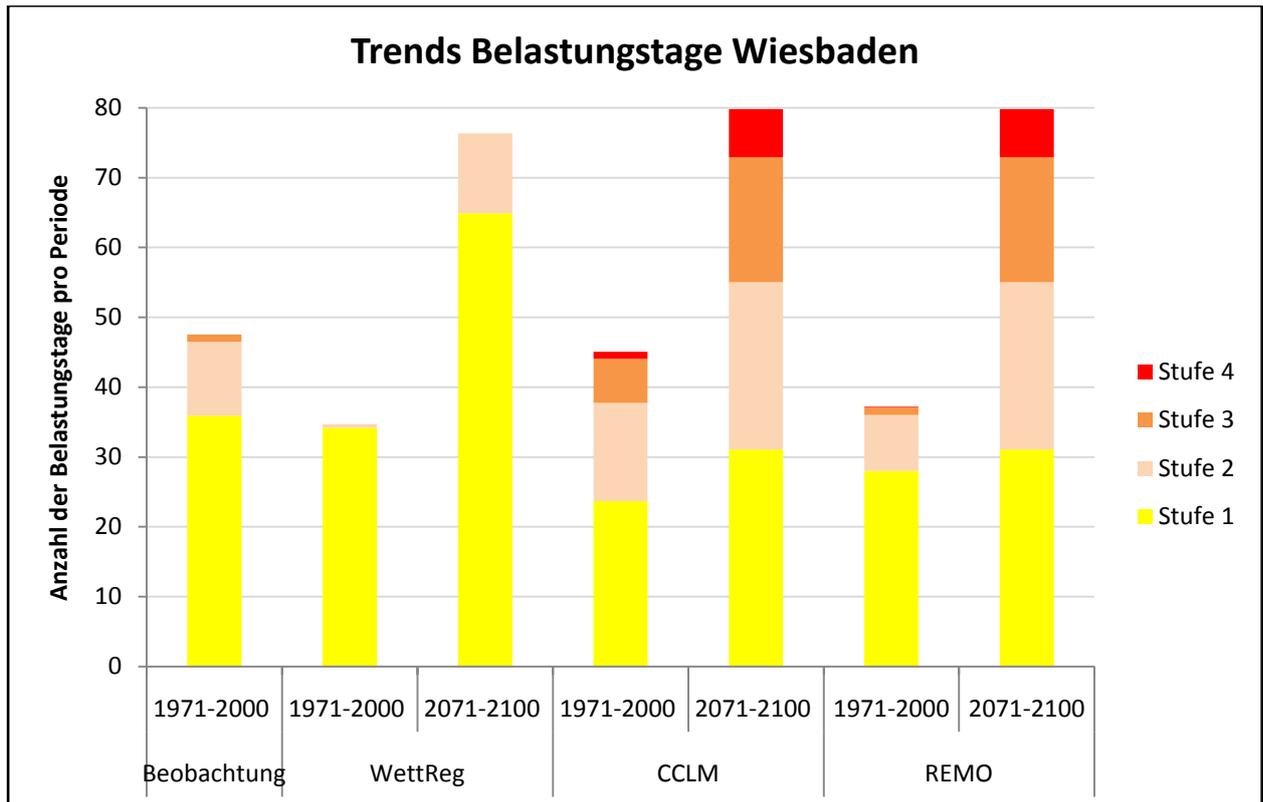


Abbildung 3: Anzahl der Belastungstage pro Periode: Vergleich der Beobachtungsdaten (1971-2000) mit den simulierten Daten der Klimamodelle (1971-2000 und 2071-2100) in Wiesbaden (aus Künzler, 2009)

Anhand der Abbildung 3 erkennt man, dass das statistische Modell WettReg im Vergleich zu den Beobachtungsdaten die Zahl der Tage mit Belastungsindex in der Referenzperiode unterschätzt. Dies ist sowohl für die Anzahl als auch die Stärke der Belastungstage der Fall. Die beiden dynamischen Modelle CCLM und REMO unterschätzen ebenfalls die Anzahl der Belastungstage, jedoch zeigen beide Modelle eine höhere Belastung an. CCLM und REMO simulieren Tage bis zu einer Belastung der Stufe vier, was in den Beobachtungen nicht vorgekommen ist.

Die simulierten Werte für die Zukunft (2071-2100) zeigen einen starken Anstieg im Vergleich zu den simulierten Werten für die Vergangenheit. Man kann jedoch deutlich erkennen, dass bei WettReg zwar die Anzahl der Belastungstage ansteigt, jedoch nicht deren Stärke. Bei CCLM und REMO steigt die Anzahl der Belastungstage und die Intensität stark an. Beide Modelle gehen bis zur Belastungsstufe vier; WettReg nur bis zwei.

3.1.1.1 Stufe 1

Aus Abbildung 3 geht der Anstieg der Belastungstage der simulierten Werte zwischen Vergangenheit und Zukunft in Wiesbaden hervor. Hierbei wird nur die Belastungsstufe eins

betrachtet. Dort erkennt man bei allen Modellen einen Anstieg der Belastungstage. Zur besseren Darstellung werden die Trends in den folgenden Abbildungen 4 bis 6 berechnet.

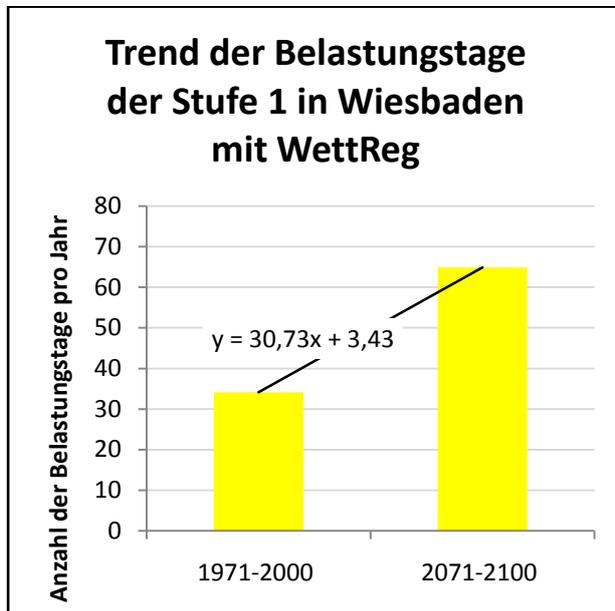


Abbildung 4: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 in Wiesbaden durch das Klimamodell WettReg

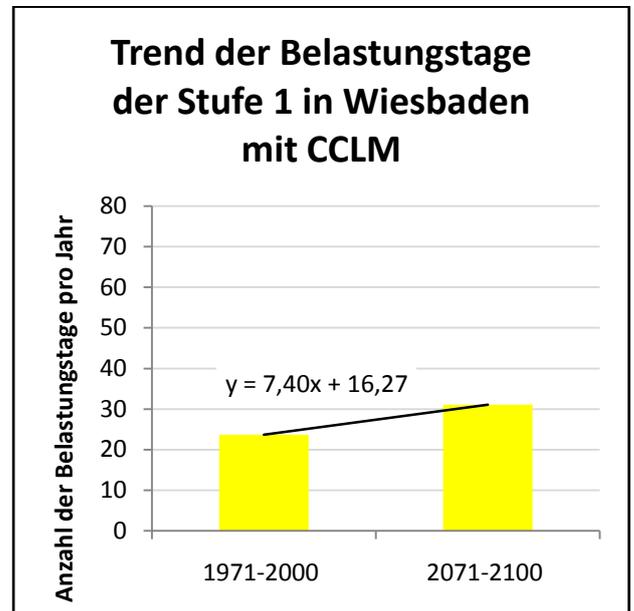


Abbildung 5: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM

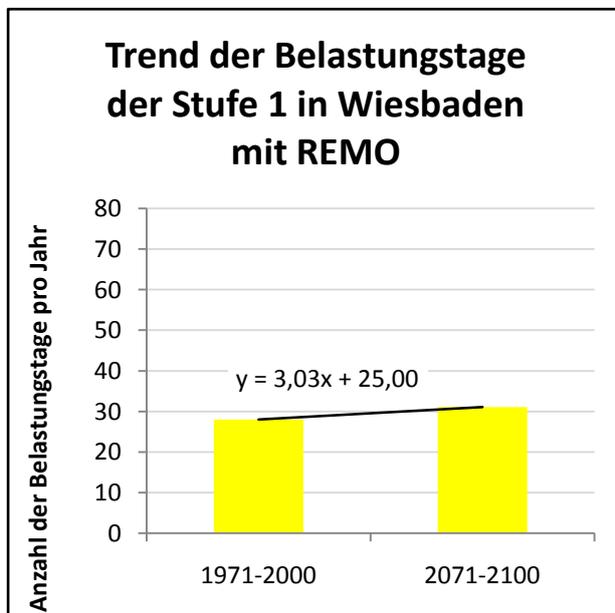


Abbildung 6: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO

Tabelle 9: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 1 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	30,73	189,95
CCLM	7,40	131,27
REMO	3,03	110,82

Anhand der Abbildungen 4 bis 6 und mit Hilfe der Tabelle 9 erkennt man bei jedem Klimamodell einen Anstieg. Den größten Anstieg hat das Klimamodell WettReg und den Geringsten das Modell REMO. Tabelle 9 ist auch der prozentuale Anstieg zu entnehmen. Bei der Berechnung des prozentualen Anstieges stellen 100 Prozent die Anzahl der Belastungstage für die Referenzperiode dar.

3.1.1.2 Stufe 2

Abbildung 3 zeigt einen deutlichen Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 in den einzelnen Klimamodellen. Hier wird ebenfalls deutlich, dass WettReg und REMO, im Vergleich zu den Beobachtungsdaten, die Situation unterschätzten und CCLM diese überschätzt. Die Klimamodelle werden, wie bei Stufe 1, einzeln betrachtet und sind in den folgenden Abbildungen 7 bis 9 dargestellt. Zur besseren Darstellung der Trends wurde die Ordinate an die Ergebnisse angepasst.

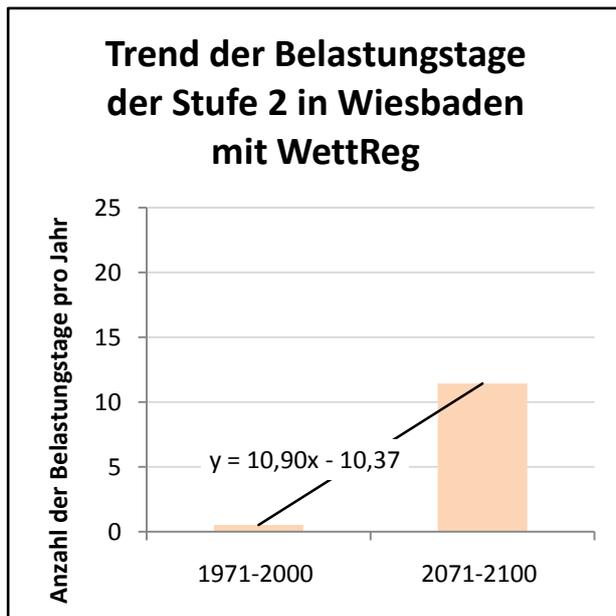


Abbildung 7: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden durch das Klimamodell WettReg

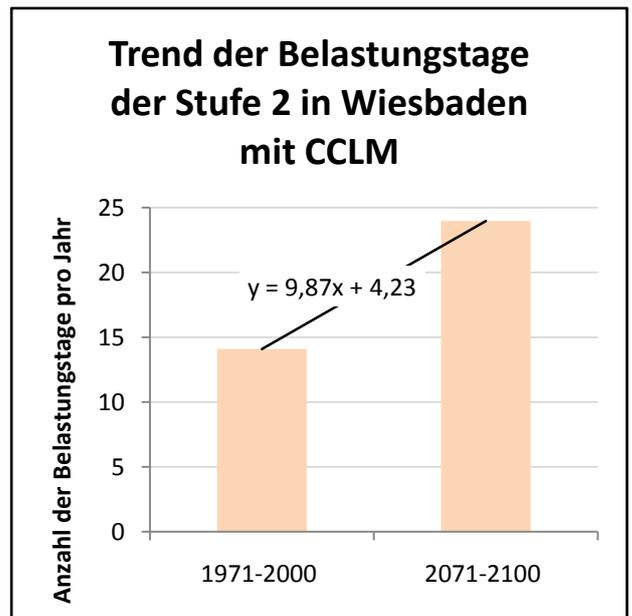


Abbildung 8: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM

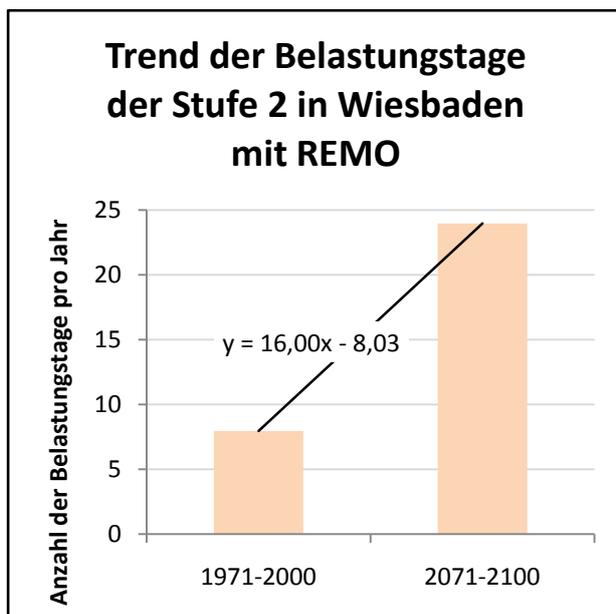


Abbildung 9: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO

Tabelle 10: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 2 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	10,90	2143,75
CCLM	9,87	169,98
REMO	16,00	300,84

Man erkennt mit Hilfe der Tabelle 10 und den Abbildungen 7 bis 9, dass der Trend in der Anzahl der Tage bei REMO am größten und der von CCLM am niedrigsten ist. Vergleicht man dagegen den prozentualen Anstieg, so wird deutlich, dass WettReg den größten Anstieg aufweist. Für die Berechnung des prozentualen Anstieges sind 100 Prozent ebenfalls die Werte der Referenzperiode.

3.1.1.3 Stufe 3

In Abbildung 3 erkennt man einen Anstieg der Belastungstage der Stufe drei. Es wird deutlich, dass CCLM und REMO einen Anstieg anzeigen, wobei der von REMO größer ist. WettReg simuliert weder in der Vergangenheit (1971-2000) noch in der Zukunft (2071-2100) Tage mit der Belastungsstufe drei und somit auch keinen Anstieg. Vergleicht man die simulierte Vergangenheit von CCLM mit den Beobachtungsdaten, so wird deutlich, dass mehr Tage mit der Belastungsstufe drei simuliert werden. In den folgenden Abbildungen werden die Steigungen der Belastungstage ermittelt und in Tabelle 11 wiedergegeben. Hier wurde, wie bei Stufe zwei, die Ordinate ebenfalls angepasst.

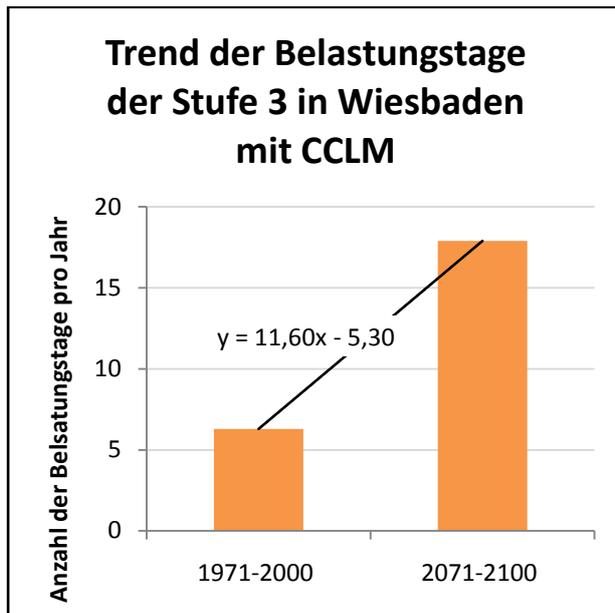


Abbildung 10: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM

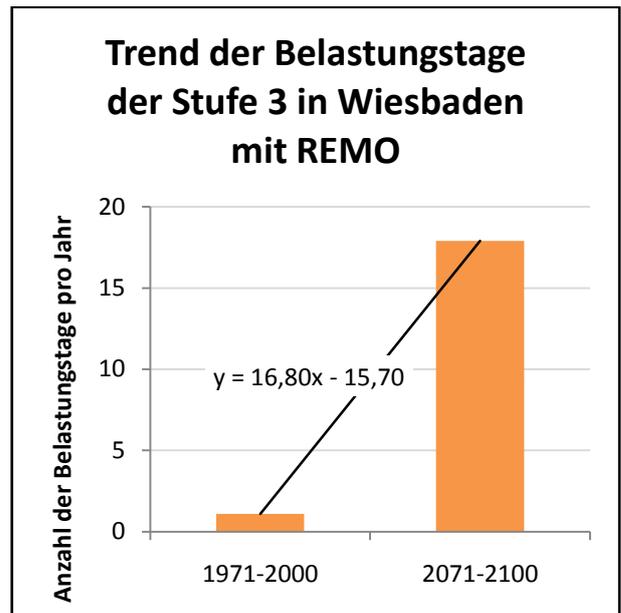


Abbildung 11: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO

Tabelle 11: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 3 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	0	0
CCLM	11,60	284,13
REMO	16,80	1627,27

In den Abbildungen 10 und 11 wird der Trend der Tage mit der Belastungsstufe drei der Klimamodelle CCLM (Abb. 10) und REMO (Abb. 11) simuliert. Da bei WettReg keine Belastungsstufe drei simuliert wurde ist kein Anstieg vorhanden. Die Trends der Belastungstage werden in Tabelle 11 veranschaulicht. Dort wird ersichtlich, dass REMO den größten Anstieg in Bezug auf den Tages- und prozentualen Anstieg aufweist. Hierbei stellen 100 Prozent bei der Berechnung die Anzahl der Tage der Referenzperiode dar.

3.1.1.4 Stufe 4

In Abbildung 3 ist der Trend der Belastungstage der Stufe vier in Wiesbaden ersichtlich. Bei den Beobachtungsdaten und WettReg sind keine Belastungstage der Stufe vier vorhanden. CCLM simuliert in der Vergangenheit, im Vergleich zu den Beobachtungsdaten, eine recht große Anzahl an Belastungstagen. REMO zeigt in der Vergangenheit eine sehr kleine Anzahl von Tagen mit Belastungsstufe vier an ist jedoch in der Zukunft mit CCLM vergleichbar.

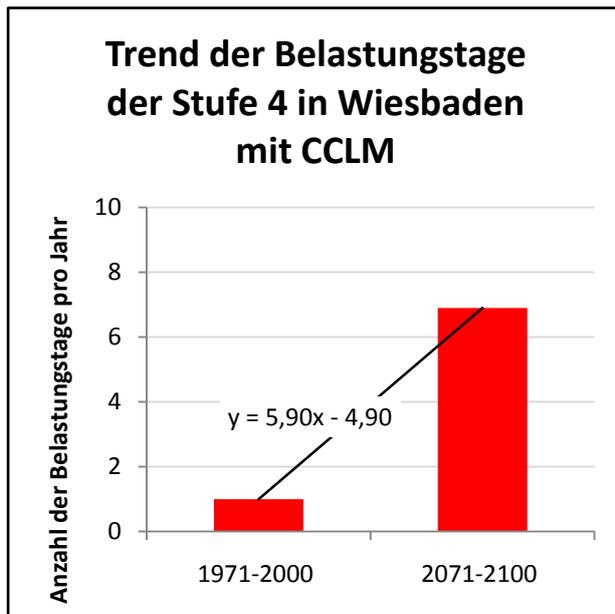


Abbildung 12: Anstieg der Belastungstage der Stufe 4 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM

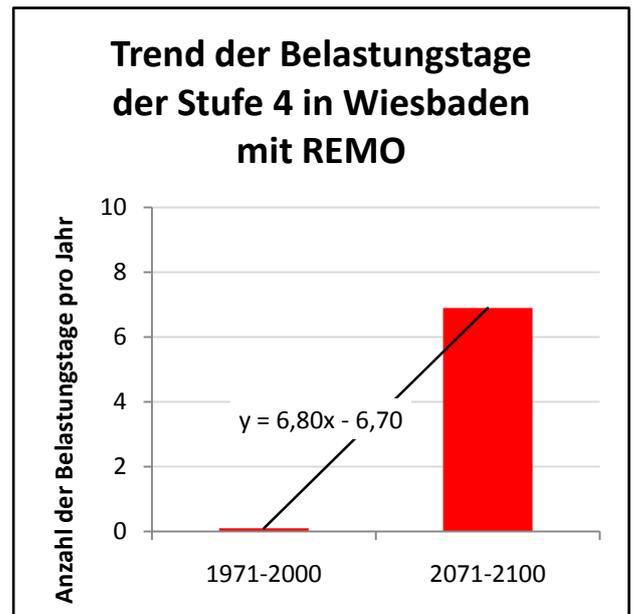


Abbildung 13: Anstieg der Belastungstage der Stufe 4 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO

Tabelle 12: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 4 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	0	0
CCLM	5,90	690
REMO	6,80	6900

Die Skalierung der Abbildungen 12 und 13 wurden verkleinert und an die Ergebnisse angepasst. Diese zeigen den Anstieg der Belastungstage der Klimamodelle CCLM (Abb. 12) und REMO

(Abb. 13). In Tabelle 12 wird dieser Anstieg tagesweise und prozentual wiedergegeben. Da WettReg keine Belastungsstufe vier simuliert, fehlt der Tages- und prozentuale Anstieg demzufolge. Wird nur der Anstieg der Tage betrachtet, so ähneln sich CCLM und REMO. Betrachtet man jedoch den prozentualen Anstieg, so ist dieser bei REMO zehn Mal größer als bei CCLM. Bei der Berechnung des prozentualen Anstieges stellen hierbei wiederum 100 Prozent die Anzahl der Tage in der Referenzperiode dar.

3.1.2 Wasserkuppe

In Abbildung 14 wird der Trend der Belastungstage der einzelnen Stufen auf der Wasserkuppe wiedergegeben. Dabei werden Beobachtungsdaten und simulierte Daten von den Klimamodellen WettReg, CCLM und REMO wiedergegeben.

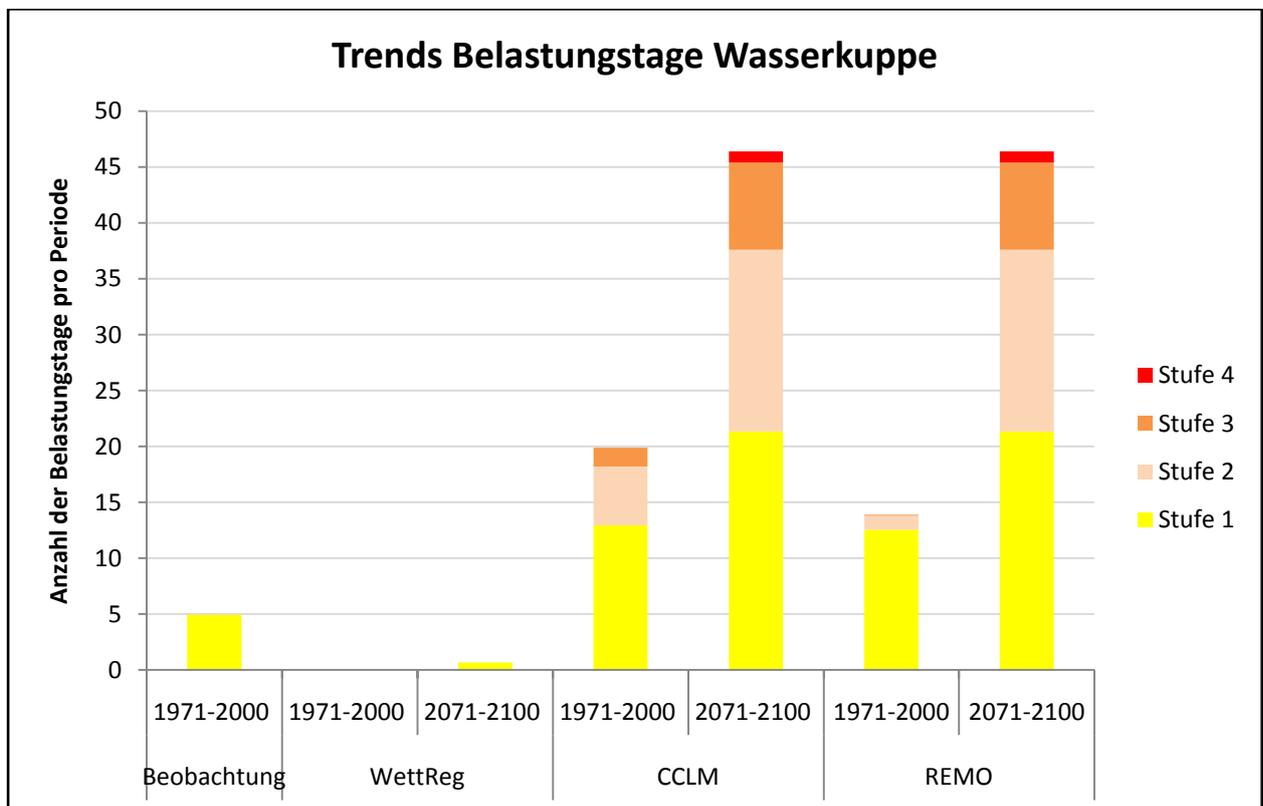


Abbildung 14: Anzahl der Belastungstage pro Periode: Vergleich der Beobachtungsdaten (1971-2000) mit den simulierten Daten der Klimamodelle (1971-2000 und 2071-2100) auf der Wasserkuppe (aus Künzler, 2009)

Abbildung 14 stellt den Vergleich zwischen Beobachtungsdaten und simulierten Daten und den Vergleich zwischen simulierter Vergangenheit (1971-2000) und Zukunft (2071-2100) dar. Es wird der Anstieg der Belastungstage und -stufen veranschaulicht. Das statistische Klimamodell WettReg simuliert in der Vergangenheit keinen Belastungstag und unterschätzt somit die Situation. Die dynamischen Modelle CCLM und REMO haben, im Vergleich zu den

Beobachtungsdaten, die Situation überschätzt. Diese sind mit der Anzahl der Belastungstage und den Belastungsstufen deutlich über den Beobachtungsdaten. Jedoch simuliert jedes Modell einen Anstieg der Belastungstage. Dabei zeigt REMO den deutlichsten Anstieg an. Die dynamischen Modelle CCLM und REMO simulieren Tage bis zu Belastungsstufe vier, wohingegen WettReg nur bis Belastungsstufe eins simuliert. Zur besseren Verdeutlichung werden die vier Stufen einzeln betrachtet und der Anstieg der Belastungstage berechnet und analysiert.

3.1.2.1 Stufe 1

Anhand Abbildung 14 wird deutlich, dass CCLM und REMO im Vergleich zu den Beobachtungsdaten die Situation stark überschätzen, wohingegen WettReg die Situation unterschätzt. Die dynamischen Modelle CCLM und REMO haben einen vergleichbaren Anstieg zwischen Vergangenheit (1971-2000) und Zukunft (2071-2100). Das statistische Modell WettReg zeigt einen minimalen Anstieg der Belastungstage an. Dieser Anstieg ist jedoch kleiner, als die Anzahl der Belastungstage von den Beobachtungsdaten in der Referenzperiode.

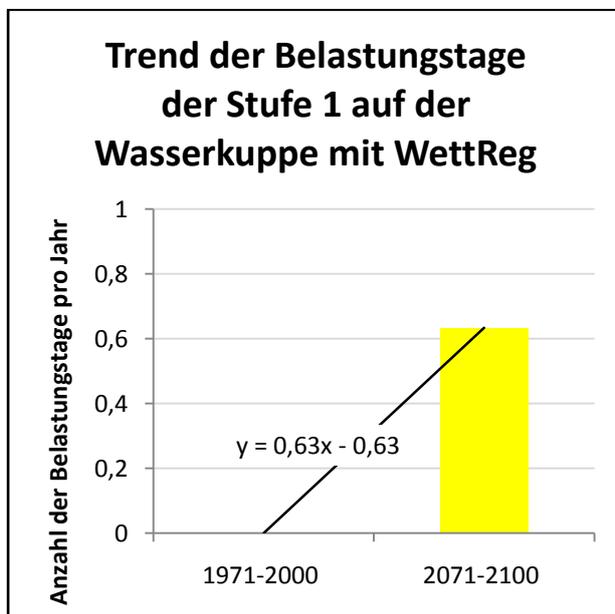


Abbildung 15: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell WettReg

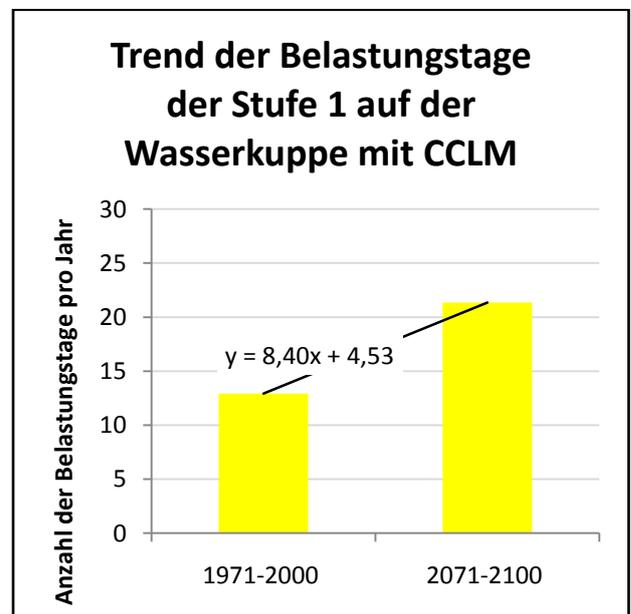


Abbildung 16: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell CCLM

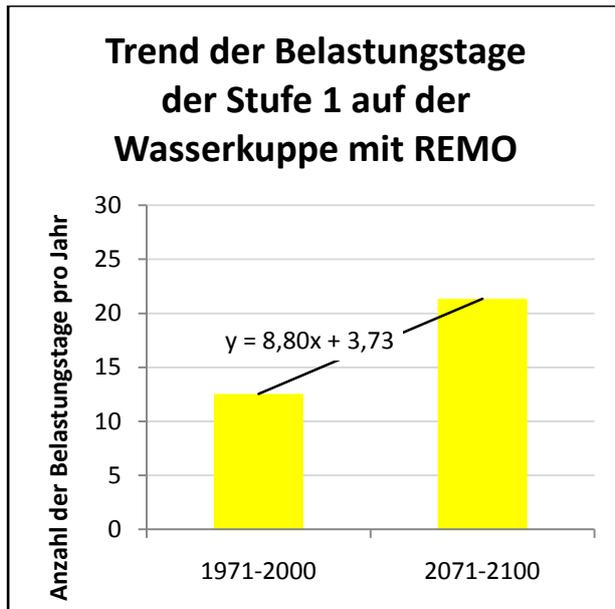


Abbildung 17: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell REMO

Tabelle 13: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 1 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	0,63	∞
CCLM	8,40	164,95
REMO	8,80	170,21

Die Abbildungen 15, 16 und 17 stellen den Anstieg der Belastungstage der einzelnen Klimamodelle graphisch dar. Zur besseren Darstellung der Steigung wurde die Ordinate bei WettReg an die Ergebnisse angepasst. Tabelle 13 gibt den Anstieg tagesweise und prozentual wieder. Dadurch, dass WettReg in der Vergangenheit keine Belastung simuliert hat, ist der prozentuale Anstieg unendlich groß. Der Anstieg der Belastungstage ist, im Vergleich zu den anderen Modellen minimal. Die dynamischen Modelle CCLM und REMO sind sowohl vom Tages- als auch vom prozentualen Anstieg miteinander vergleichbar. Bei der Berechnung des prozentualen Anstieges stellen 100 Prozent die Anzahl der Tage der jeweiligen Referenzperiode dar.

3.1.2.2 Stufe 2

Nun wird der Anstieg der Belastungstage der Stufe zwei auf der Wasserkuppe betrachtet. Abbildung 14 zeigt, dass eine Anzahl an Belastungstagen der Stufe zwei weder bei den Beobachtungsdaten noch bei WettReg vorhanden sind. WettReg simuliert auch in der Zukunft keinen Anstieg dieser Belastungsstufe. CCLM und REMO zeigen bereits in der simulierten Vergangenheit das Vorhandensein der Stufe zwei, wobei CCLM die größere Anzahl von Tagen mit dieser Belastungsstufe simuliert. Die Anzahl der Belastungstage ist in der Zukunftsperiode bei CCLM und REMO etwa gleich groß, jedoch ist bei REMO der stärkere Anstieg zu erkennen. Die Ordinate wurde an die Ergebnisse angepasst.

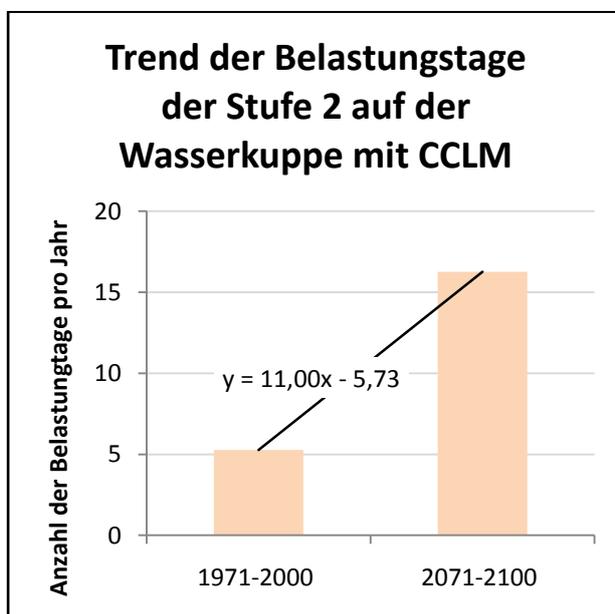


Abbildung 18: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell CCLM

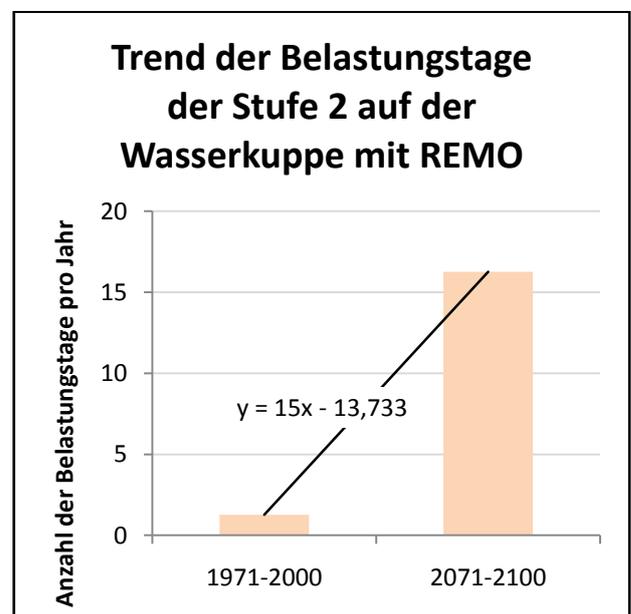


Abbildung 19: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell REMO

Tabelle 14: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 2 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	0	0
CCLM	11,00	308,86
REMO	15,00	1284,21

Tabelle 14 gibt die Anstiege der Belastungstage der einzelnen Modelle tagesweise und prozentual wieder. Den Abbildungen 18 und 19 sind die graphischen Anstiege der beiden Modelle CCLM (Abb. 18) und REMO (Abb. 19) zu entnehmen. Da WettReg sowohl in der Vergangenheit als auch in der Zukunft keine Belastung dieser Stufe simuliert hat, sind die Tages- und Prozentual-Anstiege nicht verändert. Bei den dynamischen Klimamodellen CCLM und REMO ist der Tagesanstieg vergleichbar, jedoch weichen sie stark beim prozentualen Anstieg voneinander ab. Hier hat REMO den höchsten Anstieg, welcher vier Mal so groß ist wie bei CCLM. Zur Berechnung des prozentualen Anstieges wird als 100 Prozent die Anzahl der Belastungstage für die Referenzperiode verwendet.

3.1.2.3 Stufe 3

Vergleicht man anhand der Abbildung 14 die Beobachtungsdaten mit den simulierten Daten der Vergangenheit, so erkennt man, dass WettReg mit diesen übereinstimmen. WettReg zeigt weder in der Vergangenheit noch in der Zukunft ein Vorhandensein der Stufe drei. REMO weist in der Vergangenheit eine minimale Anzahl an Belastungstage auf. CCLM zeigt bereits in der Vergangenheit eine höhere Anzahl an Belastungstagen. In der Zukunft sind REMO und CCLM aufgrund der Anzahl der Belastungstage vergleichbar. Vergleicht man die Anstiege, so hat REMO im Vergleich zu CCLM den größeren Anstieg.

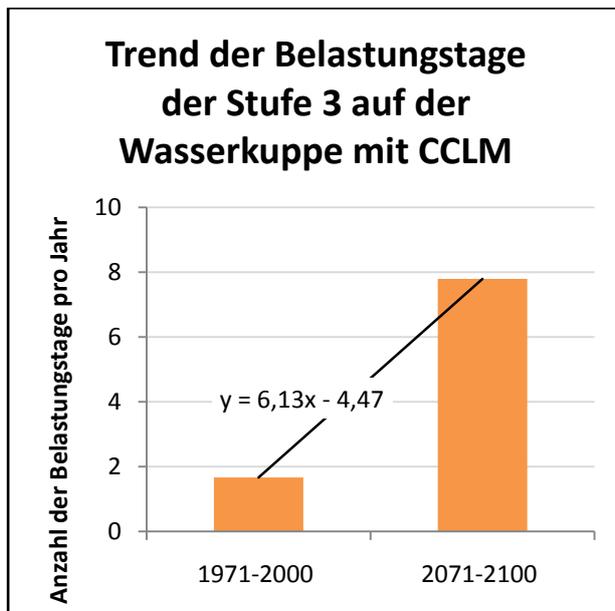


Abbildung 20: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell CCLM

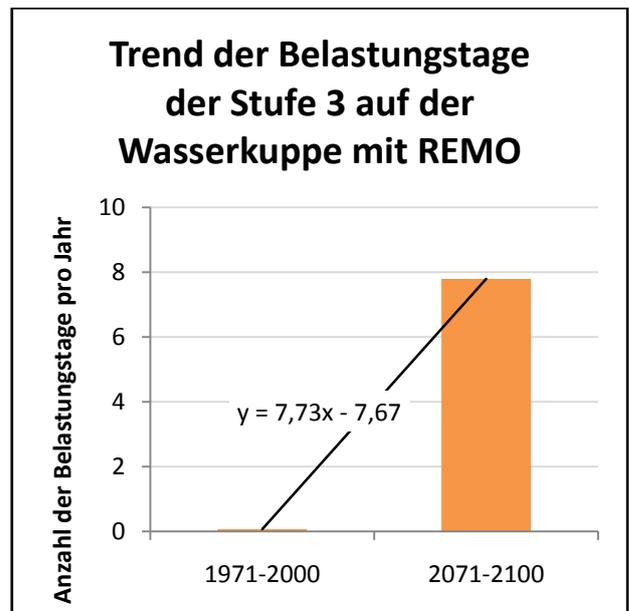


Abbildung 21: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell REMO

Tabelle 15: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 3 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	0	0
CCLM	6,13	468
REMO	7,73	11700

Die Steigungen, die mit Hilfe der Abbildungen 20 und 21 für CCLM und REMO ermittelt wurden, sind in Tabelle 15 angegeben. Da bei WettReg weder in der Vergangenheit noch in der Zukunft die Belastungsstufe drei simuliert hat, ist der Tages- und prozentuale Anstieg Null. Vergleicht man die Anstiege der Belastungstage von CCLM und REMO, so sind diese sich sehr ähnlich. Vergleicht man jedoch die prozentualen Anstiege, so ist der von REMO deutlich größer als der von CCLM. Zur Berechnung des prozentualen Anstiegs der Belastungstage wird als 100 Prozent die Anzahl der Belastungstage der Referenzperiode verwendet.

3.1.2.4 Stufe 4

Wie anhand der Abbildung 14 zu erkennen ist, zeigen alle Klimamodelle in der Vergangenheit keine Belastungstage der Stufe vier an, was auch mit den Beobachtungsdaten übereinstimmt. WettReg simuliert auch in der Zukunft keine Belastungstage der Stufe vier. Die dynamischen Modelle CCLM und REMO hingegen simulieren in der Zukunft einen minimalen Anstieg. Hier wird darauf verzichtet, die Steigung von CCLM und REMO graphisch darzustellen, da diese eindeutig abzulesen sind und in der folgenden Tabelle dargestellt werden.

Tabelle 16: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 4 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)

Klimamodell	Anstieg der Belastungstage [Tage pro Jahr]	Prozentualer Anstieg der Belastungstage [%]
WettReg	0	0
CCLM	1	∞
REMO	1	∞

Mit Hilfe der Tabelle 16 erkennt man, dass WettReg weder prozentual noch tagesweise einen Anstieg aufweist. CCLM und REMO zeigen einen minimalen Anstieg an. Da jedoch in der Simulation für die Vergangenheit in den beiden dynamischen Modellen keine Tage mit Belastungsstufe vorhanden waren, ist nun der prozentuale Anstieg unendlich.

3.2 Addition der Änderungssignale auf die Beobachtungsdaten

In den folgenden Kapiteln wird die *mögliche* zukünftige Entwicklung der Anzahl der Belastungstage aufgezeigt. Hierfür werden die in Kapitel 3.1 berechneten Anstiege für die Belastungstage (tagesweise und prozentual) der Zukunft verwendet und mit den Beobachtungsdaten verrechnet. Hierfür werden wieder die Stationen Wiesbaden und Wasserkuppe betrachtet.

3.2.1 Wiesbaden

Die Anstiege, sowohl tagesweise als auch prozentual, aus Kapitel 3.1.1 werden in Tabelle 17 wiedergegeben.

Tabelle 17: Ergebnisse der Anstiege aus Kapitel 3.1.1

Klimamodell	Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3		Stufe 4	
	Tage	Prozent	Tage	Prozent	Tage	Prozent	Tage	Prozent
WettReg	30,73	189,95	10,9	2143,75	0	0	0	0
CCLM	7,4	131,27	9,87	169,98	11,6	284,13	5,9	690
REMO	3,03	110,82	16	300,84	16,8	1627,27	6,8	6900

Zur besseren Vergleichbarkeit werden die prozentualen Anstiege mit den Beobachtungsdaten verrechnet. Hierbei stellen die Beobachtungsdaten 100 Prozent dar. Die so ermittelten Werte werden mit den Beobachtungsdaten subtrahiert, um nur die Anstiege aufzuzeigen. Dadurch kann auch ein negativer Wert entstehen. Wenn beispielsweise der prozentuale Anstieg Null Prozent hat, so ist die Anzahl der Belastungstage in der Zukunft ebenfalls Null. Ist nun jedoch bei den Beobachtungsdaten eine Anzahl an Belastungstagen vorhanden, so ist der Anstieg der Belastungstage der negative Wert der Beobachtungsdaten. Es folgt nun ein Berechnungsbeispiel für WettReg mit Belastungsstufe drei:

- Die Anstiege (Tage und Prozent) werden aus Tabelle 17 entnommen
- Ergebnis [Tage pro Jahr] = Beobachtung „plus“ Anstieg [Tage]
- Ergebnis [prozentual] = Beobachtung „mal“ Anstieg [Prozent]
- Anstieg [proz.] = Ergebnis [prozentual] „minus“ Beobachtung
- Die Ergebnisse der einzelnen Rechenschritte für WettReg sind in Tabelle 18 angegeben.

Tabelle 18: Ergebnisse des Berechnungsbeispiel für WettReg mit Belastungsstufe drei

Beobachtungswert	Anstieg [Tage]	Anstieg [Prozent]	Ergebnis [Tage pro Jahr]	Ergebnis [prozentual]	Anstieg [proz.]
1,07	0	0	1,07	0	-1,07

Für alle Klimamodelle und Belastungsstufe verhält es sich analog. Die Anstiege [Tage] werden aus Tabelle 17 entnommen. Die Anstiege [proz.] werden wie oben berechnet. Die Ergebnisse werden in Tabelle 19 wiedergegeben.

Tabelle 19: Vergleich der Anstiege der einzelnen Klimamodelle und Belastungsstufen in Wiesbaden

Klimamodell	Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3		Stufe 4	
	Anstieg [Tage]	Anstieg [proz.]						
WettReg	30,73	32,32	10,9	215,28	0	-1,07	0	0
CCLM	7,4	11,24	9,87	7,37	11,6	1,96	5,9	0
REMO	3,03	3,89	16	21,15	16,8	16,29	6,8	0

Mit Hilfe der Tabelle 19 können die Tages- und prozentualen Anstiege gut miteinander verglichen werden. Bei WettReg kann ein deutlicher Unterschied der Stufe zwei zwischen Tages- und prozentualen Anstieg festgestellt werden. Der prozentuale Anstieg ist hierbei etwa 20 Mal größer als der Tagesanstieg. Bei Stufe vier wird kein prozentualer Anstieg dargestellt, da die Beobachtungsdaten diese Belastungsstufe nicht gemessen haben. Zur besseren Veranschaulichung werden die Ergebnisse aus Tabelle 19 in Graphiken wiedergegeben. In den folgenden Abbildungen werden die einzelnen Anstiege getrennt voneinander betrachtet. Abbildung 22 gibt den Tagesanstieg, Abbildung 23 den prozentualen Anstieg wieder. Die

dargestellten Beobachtungsdaten der einzelnen Belastungsstufen (in blau) sind bei beiden Abbildungen und bei den Klimamodellen WettReg, CCLM und REMO gleich groß.

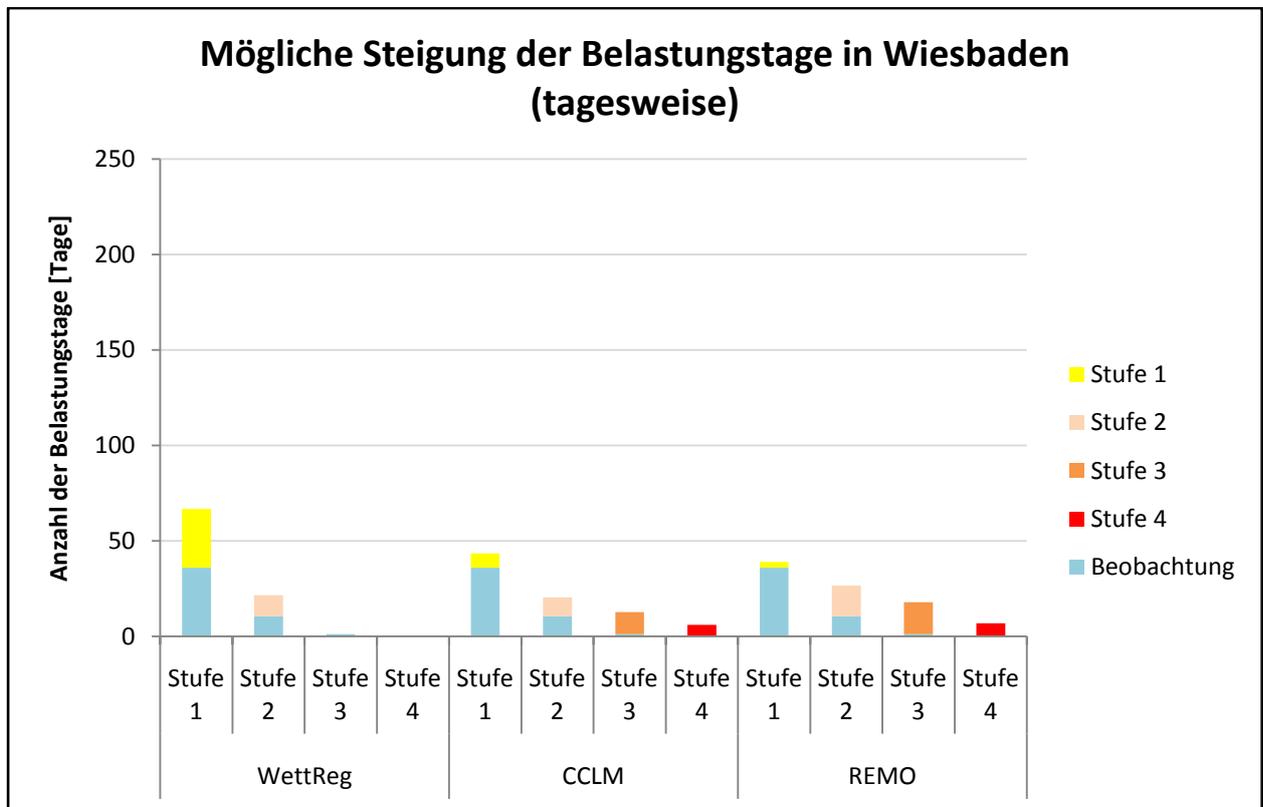


Abbildung 22: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen tagesweisen Steigung der Belastungstage in Wiesbaden

Vergleicht man die Stufe eins der Klimamodelle in Abbildung 22 miteinander so kann festgestellt werden, dass WettReg den größten Anstieg der Anzahl der Belastungstage aufzeigt. REMO zeigt eine deutlich geringe Anzahl der Belastungstage der Stufe eins an. Die Belastungsstufe zwei ist hingegen bei REMO am größten; genau wie Stufe drei. WettReg zeigt bei Stufe drei und vier keinen Anstieg der Belastungstage an. Stufe vier wird bei REMO und CCLM gleich stark angezeigt und weist damit einen hohen Anstieg der Belastungstage im Vergleich zu den Beobachtungsdaten auf.

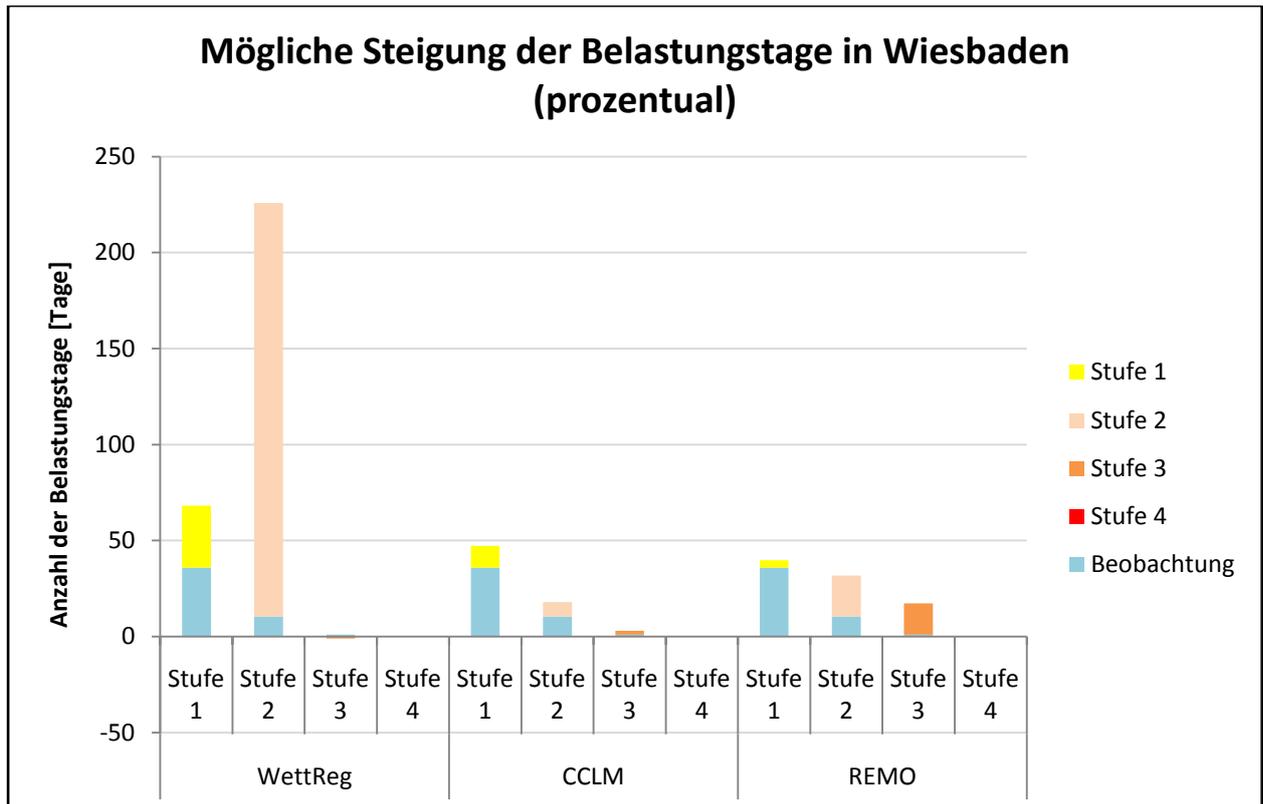


Abbildung 23: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage in Wiesbaden

Betrachtet man Abbildung 23 so fällt auf, dass die Belastungsstufe zwei bei WettReg den stärksten Anstieg aufweist. Die Belastungsstufe vier existiert nicht, da die Beobachtungsdaten diese Stufe nicht aufweisen. Zur besseren Darstellung der anderen Ergebnisse werden die Belastungsstufe vier und die Stufe zwei von WettReg in Abbildung 24 nicht dargestellt.

Es wird nun deutlich, dass WettReg den Anstieg der Stufe eins immer noch am größten und REMO am kleinsten anzeigt. Stufe zwei wird bei REMO, abgesehen von WettReg, am größten dargestellt und verdoppelt sich hinsichtlich der Anzahl der Belastungstage. Bei Stufe drei erkennt man einen negativen Wert bei WettReg. Fasst man die Beobachtungsdaten und den simulierten Anstieg zusammen, so tritt in der Zukunft keine Belastung der Stufe drei auf. REMO hingegen zeigt einen großen Anstieg der Belastungstage in Wiesbaden auf.

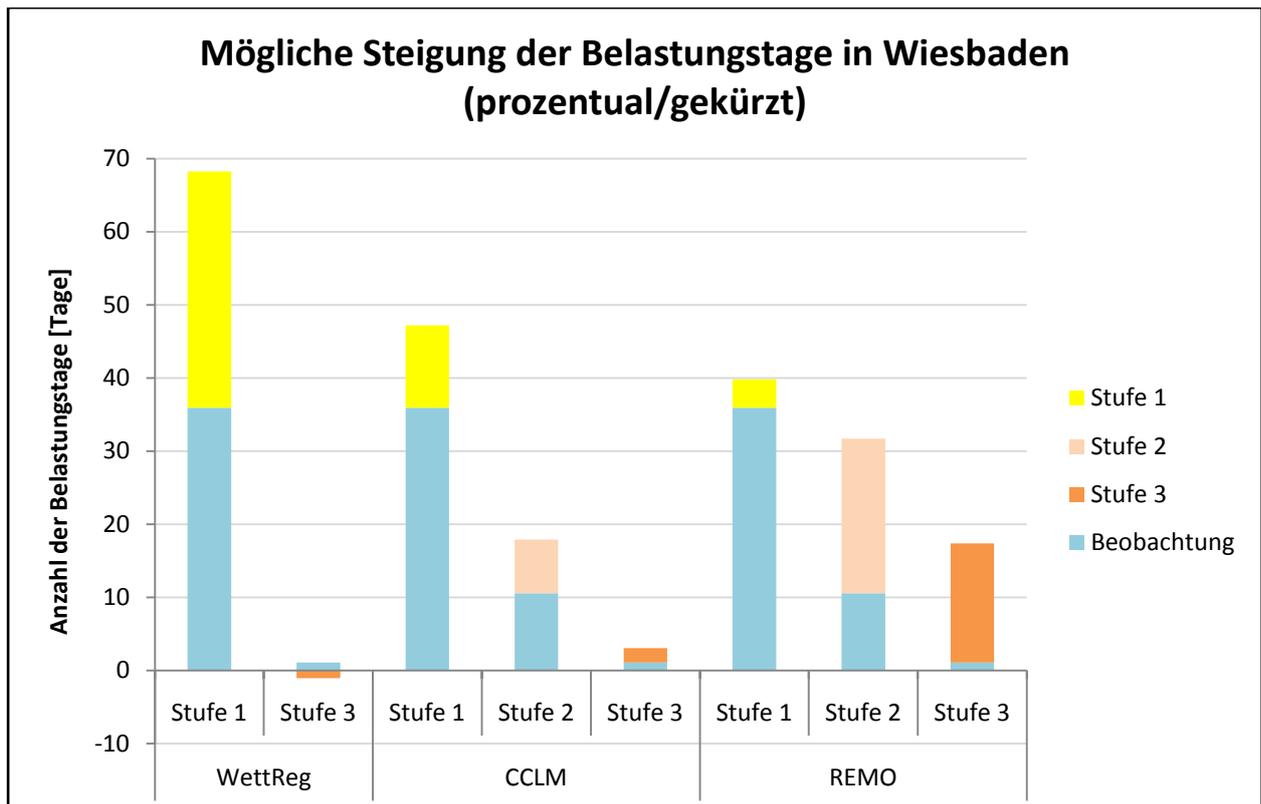


Abbildung 24: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage in Wiesbaden in gekürzter Form

Vergleicht man nun Abbildung 22 mit Abbildung 23 beziehungsweise Abbildung 24 so erkennt man einen deutlichen Unterschied zwischen tagesweiser und prozentualer Darstellung. Bei WettReg ist der deutlichste Unterschied zu erkennen. Die Stufe eins ist zwar bei beiden Darstellungen etwa gleich, jedoch weicht die Stufe zwei der prozentualen Darstellung drastisch von der tagesweisen Darstellung ab. Bei CCLM und REMO stimmen die prozentualen und tagesweisen Auftragungen nahezu überein. Der einzige Unterschied hierbei ist das Fehlen der Stufe vier bei der prozentualen Darstellung.

3.2.2 Wasserkuppe

Tabelle 20 gibt die Ergebnisse aus Kapitel 3.1.2 wieder.

Tabelle 20: Ergebnisse der Anstieg aus Kapitel 3.1.2

Klimamodell	Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3		Stufe 4	
	Tage	Prozent	Tage	Prozent	Tage	Prozent	Tage	Prozent
WettReg	0,63	∞	0	0	0	0	0	0
CCLM	8,4	164,95	11	308,86	6,13	468	1	∞
REMO	8,8	170,21	15	1284,21	7,73	11700	1	∞

Die prozentualen Anstiege wurden, wie bei Wiesbaden mit den Beobachtungsdaten verrechnet und in Tabelle 21 wiedergegeben. Es wird deutlich, dass die prozentualen Anstiege geringer sind als die Tagesanstiege, abgesehen der unendlichen Anstiege der Belastungstage. Diese liegen bei WettReg Stufe eins und bei CCLM und REMO der Stufe vier vor. Ab der Stufe drei wird kein prozentualer Anstieg mehr angezeigt, da bei den Beobachtungsdaten diese Belastungsstufe nicht vorliegt.

Tabelle 21: Vergleich der Anstiege der einzelnen Klimamodelle und Belastungsstufen auf der Wasserkuppe

Klimamodell	Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3		Stufe 4	
	Anstieg [Tage]	Anstieg [proz.]						
WettReg	0,63	∞	0	-0,07	0	0	0	0
CCLM	8,4	3,20	11	0,14	6,13	0	1	∞
REMO	8,8	3,46	15	0,79	7,73	0	1	∞

Die Ergebnisse aus Tabelle 21 werden in zwei Abbildungen dargestellt. Abbildung 25 zeigt den tagesweisen Anstieg und Abbildung 26 den Prozentualen. Die dargestellten Beobachtungsdaten der einzelnen Belastungsstufen sind bei beiden Abbildungen und bei den Klimamodellen WettReg, CCLM und REMO gleich groß.

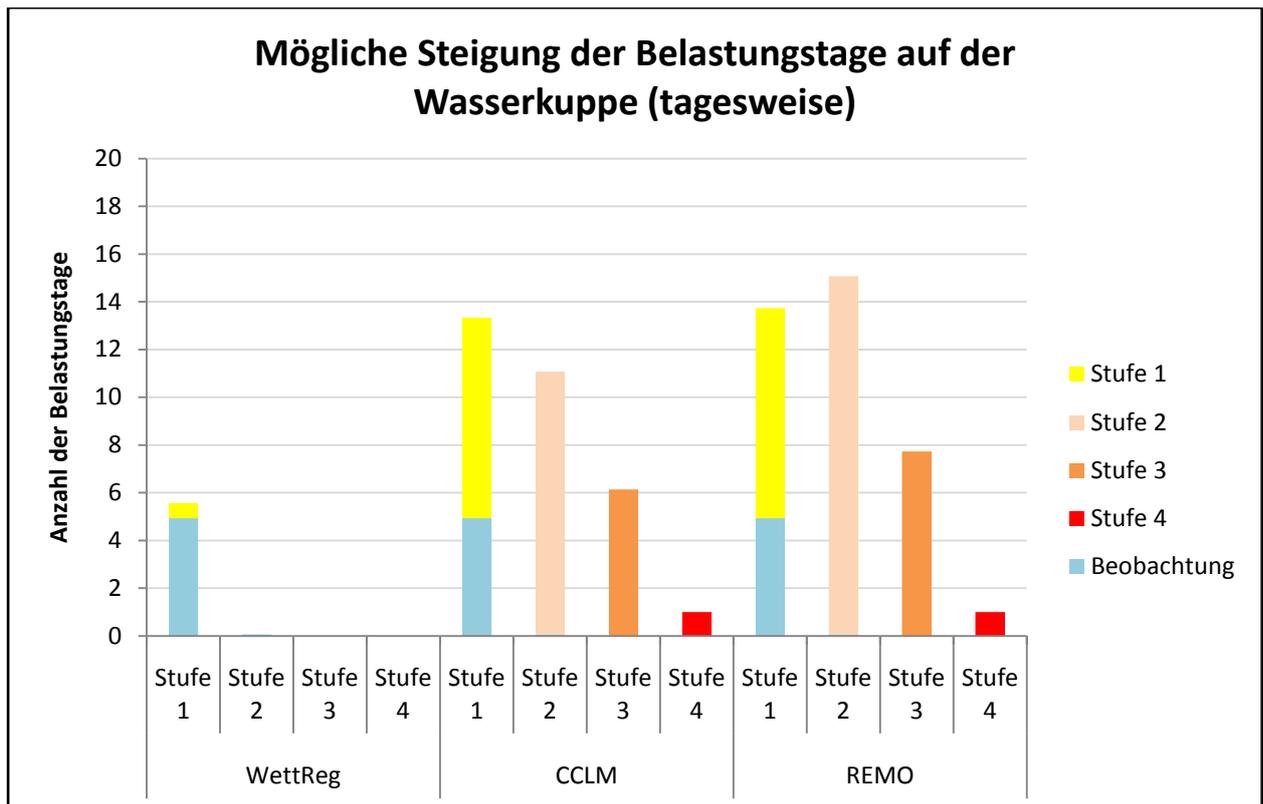


Abbildung 25: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen tagesweisen Steigung der Belastungstage auf der Wasserkuppe

Anhand der Abbildung 25 wird deutlich, dass WettReg, auch in der Zukunft, nur Belastungsstufe eins simuliert. Die dynamischen Modelle CCLM und REMO simulieren bis zu Belastungsstufe vier einen Anstieg. Der Anstieg der Belastungstage ist bei WettReg sehr gering und bei CCLM und REMO deutlich größer. Die dynamischen Modelle ähneln sich hinsichtlich des Anstieges der Stufe eins und vier. REMO ist bei den anderen Stufen (zwei und drei) über dem Wert von CCLM.

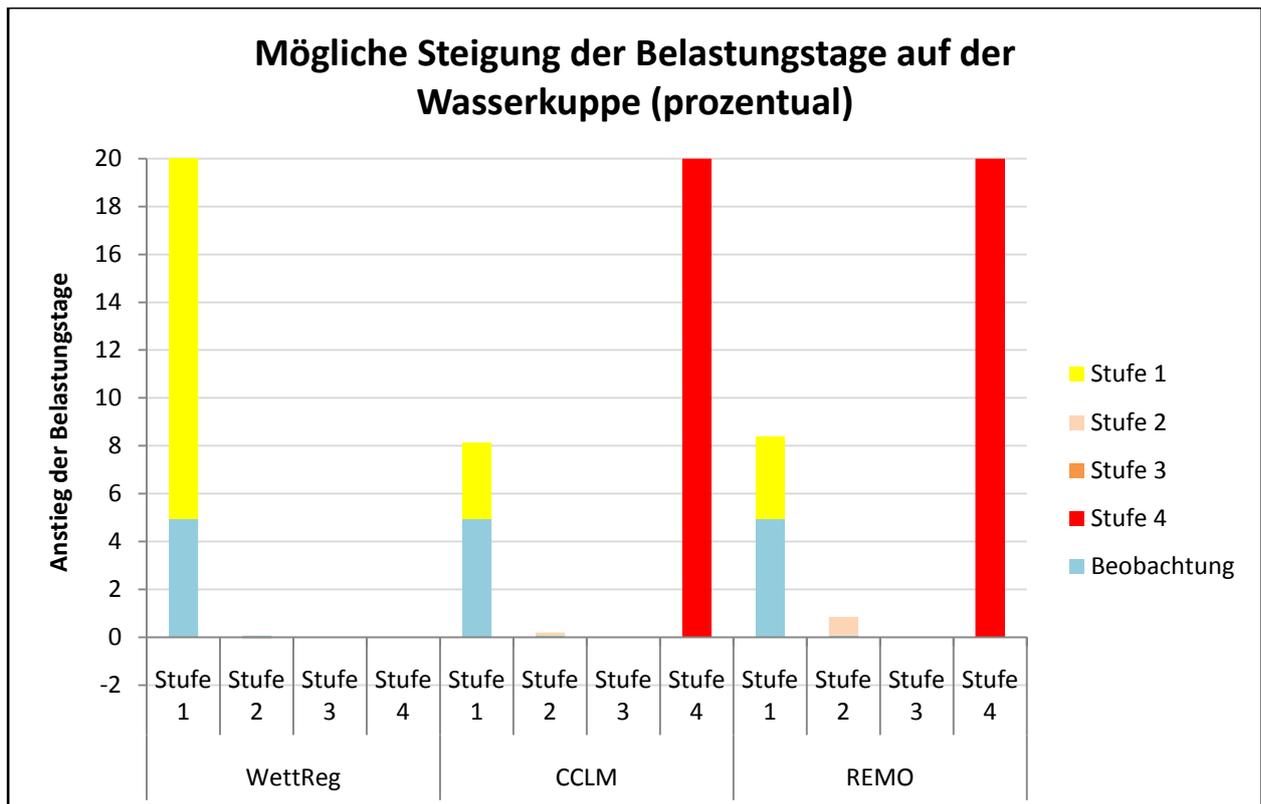


Abbildung 26: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage auf der Wasserkuppe

Abbildung 26 zeigt den prozentualen Anstieg der Belastungstage. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Belastungsstufe eins am stärksten zunimmt. Bei WettReg geht diese sogar ins unendliche. Der Anstieg von CCLM und REMO ist etwa gleich groß. Die Stufe vier der dynamischen Modelle geht ebenfalls ins unendliche. Zur besseren Darstellung des Anstieges der Belastungstage der Stufe zwei wird diese getrennt von den anderen Belastungsstufen in der Abbildung 27 wiedergegeben.

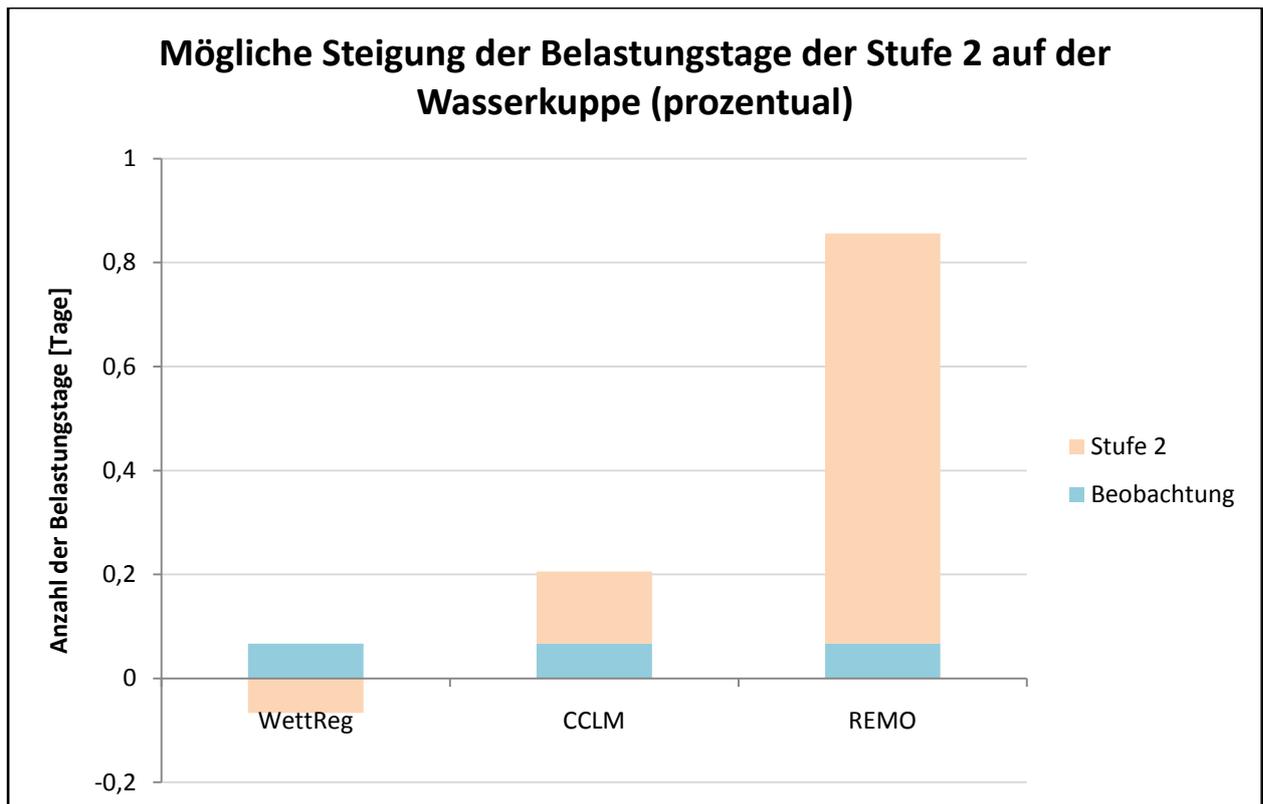


Abbildung 27: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden

In Abbildung 27 ist der Anstieg der Belastungstage der Stufe zwei zu erkennen. WettReg simuliert einen Rückgang der Belastungstage. Bei REMO ist eine deutliche Zunahme der Belastungstage zu erkennen.

3.3 Aufeinanderfolgende Hitzetage

In diesem Kapitel werden die Beobachtungsdaten und die Simulationsdaten von WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich ihrer Abfolge von Hitzetage untersucht. Es wurden nur Episoden von drei oder mehr aufeinanderfolgenden Tagen mit einer jeweiligen Temperatur von über 25 Grad Celsius betrachtet. Bei der Darstellung wurde der Hitze-Index verwendet, um die einzelnen Belastungsstufen besser darzustellen. Für jede Hitzeperiode wurde der Mittelwert des Hitzeindexes berechnet und die Episode der zugehörigen Stufe zugeordnet. Die Abbildungen, die zu diesem Kapitel gehören sind im Anhang zu finden. Hier werden wiederum die Stationen Wiesbaden und Wasserkuppe betrachtet.

3.3.1 Wiesbaden

Es werden nun die aufeinanderfolgenden Hitzetage für die Station Wiesbaden untersucht. Hierbei werden die Beobachtungsdaten mit den Klimamodellen WettReg, CCLM und REMO für die Referenzperiode miteinander verglichen und die Simulation der Zukunft von den Klimamodellen dargestellt und ebenfalls miteinander verglichen.

3.3.1.1 Beobachtung

Die aufeinanderfolgenden Hitzetage für die Referenzperiode von 1971-2000 der Beobachtungsdaten in Wiesbaden sind in Abbildung A1 für die einzelnen Jahre dargestellt. Die Hitzetage treten von April bis September auf. Die Belastungsstufe eins tritt dabei am häufigsten auf. Die Anzahl der Hitzetage der Belastungsstufe zwei ist etwa halb so groß wie bei Belastungsstufe eins. Die größte Anzahl an Belastungstagen tritt in den Sommermonaten Juli und August auf. In den Monaten April und Mai sowie im September sind nur wenige Belastungstage zu erkennen. Im Jahre 1976 dauert die längste Belastungsperiode 33 Tage an. In den Jahren 1991 bis 2000 treten die Hitzetage im Vergleich zu den anderen Jahren häufiger auf. In den Jahren von 1971 bis 1990 treten nur gelegentlich Hitzeperioden auf. Zwischen den einzelnen Belastungstagen sind längere Pausen zu erkennen.

3.3.1.2 WettReg

In Abbildung A2 sind die Hitzetage des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode aufgezeigt. WettReg simuliert Hitzetage von Mai bis August, wobei die größten Anzahlen an Belastungstagen im August auftreten. In den Monaten Mai und Juni ist so gut wie kein Belastungstag zu erkennen. Es wurde nur die Belastungsstufe eins simuliert. Dabei ist zu erkennen, dass zwischen den Belastungstagen größere Pausen entstehen, an denen die Temperatur 25 Grad Celsius nicht überschreitet.

In der Periode 2071-2100, welche in Abbildung A3 wiedergegeben ist, tritt ebenfalls nur die Belastungsstufe eins auf. Hierbei werden Hitzetage von Mai bis September simuliert. Die größte Anzahl an Belastungstagen treten im Juli und August auf. Es wird deutlich, dass WettReg sehr lange Hitzeperioden simuliert. So ist beispielsweise 2071 eine Hitzebelastung von 70 Tagen zu erkennen. Zu Beginn des Augustes wird bei allen Jahren Belastungstage angezeigt. Im Mai und September sind im Vergleich zu den anderen Monaten wenige Belastungstage zu erkennen. Es

wird deutlich, dass zwischen den einzelnen Belastungsperioden nur wenige Tage sind, an denen keine Hitzebelastungen herrschen.

3.3.1.3 CCLM

CCLM simuliert für die Referenzperiode alle Belastungsstufen. Dies wird anhand der Abbildung A4 deutlich. CCLM simuliert von April bis September Belastungsperioden. Die höchste Anzahl an Belastungstagen liegt in den Sommermonaten Juli und August. Es ist zu sehen, dass zwischen den einzelnen Hitzetagen mehrere Tage sind, an denen keine Belastungstage auftreten. Die Belastungsstufe vier tritt nur ein Mal im Jahr 1980 auf. Am häufigsten erscheint Belastungsstufe zwei. Im April, Mai und September treten kaum Belastungstage auf.

Bei der zukünftigen Simulation für einen Zeitraum von 2071-2100 (Abb. A5) wird deutlich, dass häufigere Belastungsperioden auftreten. Es werden Belastungstage von April bis Oktober aufgezeigt, was einer Zeitspanne von sechs Monaten entspricht. Es wurden alle Belastungsstufen simuliert, wobei Belastungsstufe vier ein Mal auftritt. Bei dieser Simulation überwiegt Belastungsstufe drei. Belastungsstufe eins zeigt, nach vier, die geringste Anzahl an Belastungstagen. Hierbei ist die größte Anzahl an Belastungstagen von Ende Juni bis Anfang August zu erkennen. In den Monaten April und Oktober ist zur eine geringe Anzahl an Hitzetagen zu erkennen. Es gibt unterschiedlich große Abstände zwischen den einzelnen Belastungstagen. Zum Einen gibt es mehrere Wochen, die zwischen den Hitzetagen liegen und zum Anderen nur wenige Tage.

3.3.1.4 REMO

Für die Referenzperiode hat REMO von April bis Oktober Belastungstage simuliert. Diese werden in Abbildung A6 dargestellt. Anhand dieser Abbildung erkennt man, dass nur Belastungsstufe eins und zwei simuliert wurden. Geringe Belastungstage treten im April, Mai, September und Oktober auf. Die höchste Anzahl an Belastungsperioden ist von Juli bis August. Die Belastungsstufen eins und zwei treten etwa gleich häufig auf. Zwischen den einzelnen Hitzeperioden ist meistens eine größere Pause ohne Wärmebelastung zu erkennen.

REMO simuliert für die Zukunft (2071-2100) ebenfalls Belastungstage in den Monaten April bis Oktober. Es werden die ersten drei Belastungsstufen simuliert, wobei Stufe drei den geringsten Anteil hat. Die Belastungsstufen eins und zwei kommen etwa gleich oft vor. Diese sind in

Abbildung A7 zu sehen. Die größte Anzahl an Belastungstagen liegt in den Sommermonaten Juni, Juli und August vor. Zwischen den einzelnen Episoden sind, wie bei CCLM, die Abstände zwischen den Belastungsepisoden unterschiedlich groß. Es gibt mehrere Wochen oder wenige Tage zwischen aufeinanderfolgenden Hitzeperioden.

3.3.1.5 Vergleich der Beobachtungsdaten mit den Klimamodellen

Vergleicht man die Beobachtungsdaten mit den Klimamodellen für die Periode 1971 bis 2000, so fällt auf, dass die Beobachtungsdaten weniger Belastungstage haben als die Klimamodelle. Bei den Beobachtungsdaten treten nur die Belastungsstufen eins und zwei auf. REMO hat ebenfalls nur zwei Belastungsstufen simuliert und ist von der Anzahl der Belastungstage mit den Beobachtungsdaten vergleichbar. WettReg hat nur Belastungsstufe eins simuliert und tritt in den Sommermonaten geballter auf als es bei der Beobachtung der Fall ist. CCLM simuliert sowohl mehr Belastungsstufen als auch mehr Belastungstage im Vergleich zu den Beobachtungsdaten. Die Klimamodelle untereinander sind sehr unterschiedlich. REMO simuliert bereits in der Referenzperiode Belastungstage von April bis Oktober.

3.3.1.6 Vergleich der Zukunftssimulation der Klimamodelle

Von der Anzahl der Hitzetage sind REMO und CCLM miteinander vergleichbar. Beide Klimamodelle simulieren in den Sommermonaten Juli und August eine starke Anhäufung von Hitzeperioden. Von den Abständen zwischen den einzelnen aufeinanderfolgenden Hitzetagen sind sie sich ebenfalls sehr ähnlich. Sie haben mehrere Wochen aber auch nur wenige Tage zwischen den einzelnen Perioden. Bei der Simulation der Belastungsstufen unterscheiden sie sich jedoch voneinander. REMO hat nur wenige Tage mit der Belastungsstufe drei angezeigt, während CCLM sehr häufig diese Belastungsstufe aufweist. Desweiteren simuliert CCLM alle Belastungsstufen. Dies ist mit keinem der anderen Klimamodelle vergleichbar. WettReg simuliert zwar nur Belastungsstufe eins, jedoch tritt diese sehr oft und in längeren Zeitabschnitten auf. Es gibt nur wenige Tage zwischen den Hitzetagen, die eine Erholung kaum zulassen. WettReg simuliert desweiteren die längste Hitzeperiode in der Zukunft mit 70 Tagen.

3.3.2 Wasserkuppe

Es wird nun die Station Wasserkuppe hinsichtlich der Hitzeperioden untersucht. Hierbei werden, wie bei Wiesbaden, die Beobachtungsdaten der simulierten Referenzperiode der Klimamodelle gegenübergestellt und die zukünftige Entwicklung der Klimamodelle miteinander verglichen.

3.3.2.1 Beobachtung

Bei den Beobachtungsdaten sind nur sehr wenige aufeinanderfolgende Hitzetage zu erkennen. Diese sind in Abbildung A8 wiedergegeben. Die Beobachtungsdaten zeigen nur Belastungsepisoden von Juni bis August mit einer Belastungsstufe eins. Die längste Hitzeperiode beträgt lediglich elf Tage.

3.3.2.2 WettReg

WettReg hat weder in der Vergangenheit (1971-2000) noch in der Zukunft (2071-2100) mehr als drei aufeinanderfolgende Hitzetage simuliert. Es gab lediglich einen Tag mit Belastungsstufe eins, der über 25 Grad Celsius erreicht hat (keine Abbildung).

3.3.2.3 CCLM

CCLM simuliert in den Jahren 1971 bis 2000 von Mai bis September Perioden mit mehr als drei aufeinanderfolgenden Hitzetagen. CCLM zeigt bis zu Belastungsstufe drei eine Wärmebelastung an, welche in Abbildung A9 dargestellt ist. Am häufigsten tritt Stufe zwei und am geringsten Stufe drei auf. Es werden eher kurze Hitzeperioden mit größeren Pausen simuliert.

CCLM simuliert in der Periode 2071 bis 2100 aufeinanderfolgende Hitzetage von April bis Oktober. Diese sind in Abbildung A10 dargestellt. Es wurden Belastungsstufen eins bis drei simuliert. Man erkennt, dass in den Sommermonaten Juli und August gegen Ende der Periode mehr Belastungstage auftreten. Am häufigsten ist Stufe zwei zu sehen. Die Abstände zwischen den Hitzetagen sind unterschiedlich lang. Im April und Mai, sowie im Oktober treten kaum aufeinanderfolgende Hitzetage auf. Dort herrscht noch ein größerer Abstand zwischen den Belastungstagen. Diese verkürzen sich in den Sommermonaten Juni bis August und werden dann wieder länger.

3.3.2.4 REMO

Bei REMO (1971 bis 2000) herrschen Belastungstage von April bis September der Stufen eins und zwei (Abb. A11), wobei Belastungsstufe zwei nur zwei Mal auftritt. Die aufeinanderfolgenden Hitzetage haben größere Abstände zwischen den einzelnen Belastungstagen. Es gibt auch einige Jahre, in denen überhaupt keine Belastungstage auftreten. Dies ist in den ersten drei Jahren der Referenzperiode zu erkennen.

Bei der Zukunftssimulation (Abb. A12) werden Hitzetage von April bis Oktober dargestellt, mit Belastungsstufen eins bis drei. Stufe drei tritt dabei nur zwei Mal auf; die Stufen eins und zwei treten etwa gleich oft auf. In den Monaten April und Mai, sowie September und Oktober wurden kaum Belastungstage simuliert.

3.3.2.5 Vergleich der Beobachtungsdaten mit den Klimamodellen

Vergleicht man nun die Beobachtungsdaten mit den simulierten Referenzperioden der Klimamodelle stimmt keines mit diesen überein. Bei WettReg wurden keine Belastungstage simuliert, jedoch ist die Anzahl der Belastungstage der anderen Klimamodelle im Vergleich zu den Beobachtungsdaten viel zu hoch. CCLM und REMO simulieren zu viele Belastungstage und zu hohe Belastungsstufen. Bei CCLM geht dies sogar bis zur Stufe drei. Die Beobachtungsdaten zeigen nur von Juni bis August, die Klimamodelle CCLM und REMO von April/Mai bis September. dies sind zwei bis drei Monate mehr als bei den Beobachtungsdaten.

3.3.2.6 Vergleich der Zukunftssimulation der Klimamodelle

Die Zukunftssimulationen von CCLM und REMO sind nicht miteinander vergleichbar. CCLM zeigt deutlich mehr Belastungstage und höhere Belastungsstufen an. Beide Klimamodelle stimmen in der Anzahl der Belastungsmonate überein und simulieren von April bis Oktober Belastungstage. Eine Häufung der Hitzetage ist bei beiden im Juli und August zu erkennen.

3.4 Anzahl der Ereignisse

In dem nun folgenden Kapitel werden die Ereignisse der Stationen gezählt. Hierbei werden verschiedene Belastungstage untersucht. Gezählt und zusammengefasst wird in folgenden Andauerklassen:

- A. eins bis drei Tage,
- B. vier bis sechs Tage,
- C. sieben bis neun Tage und
- D. zehn und mehr Tage.

Hierbei stellt eine Hitzeperiode ein Ereignis dar. Beispielsweise stellen 20 aufeinanderfolgende Hitzetage ein Ereignis in der Klasse D dar, jedoch nicht gleichzeitig Ereignisse der Klasse A bis C. Bei den Ereignissen in der Zukunftsperiode wird lediglich die Änderung der Hitzetage betrachtet, um einen Anstieg beziehungsweise einen Rückgang der Ereignisanzahl zu erhalten. Dies könnte jedoch problematisch werden, da länger Belastungsperioden nur als ein Ereignis angesehen wird.

3.4.1 Wiesbaden

3.4.1.1 Referenzperiode

In den Abbildungen 28 bis 31 werden die Anzahl der Ereignisse für die Beobachtungsdaten sowie für die Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO dargestellt und die Werte in den Tabellen 22 bis 25 wiedergegeben.

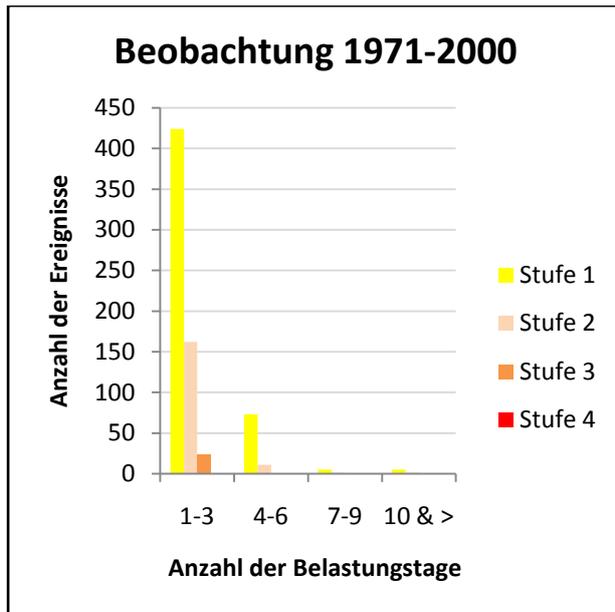


Tabelle 22: Anzahl der Belastungstage der Beobachtungen für die Referenzperiode

Beobachtung	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	424	73	5	5
Stufe 2	162	11	1	1
Stufe 3	24	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 28: Anzahl der Ereignisse der Beobachtungsdaten für die Referenzperiode

Abbildung 28 stellt die Beobachtungsdaten für die Referenzperiode dar. Mit steigender Andauerklasse der Hitzeperiode verringert sich die Anzahl der Ereignisse. Dies wird besonders bei Belastungsstufe eins deutlich. Hier herrschen in der Andauerklasse A über 400 Ereignisse. Bei der nächsten Klasse nur noch knapp 70 Ereignisse. Bei den Klassen C und D sind etwa gleich viele Ereignisse der Belastungsstufe eins erkennbar. Die Belastungsstufe zwei erkennt man in der Graphik nur in den Andauerklassen A und B. Betrachtet man jedoch Tabelle 22, so erkennt man, dass auch in den Klassen C und D Ereignisse gezählt wurden. Auch hier nimmt die Anzahl der Ereignisse mit steigender Klasse ab. Auffallend ist, dass Belastungsstufe vier nie auftritt. Belastungsstufe drei ist nur in Klasse A zu erkennen, was Tabelle 22 auch bestätigt.

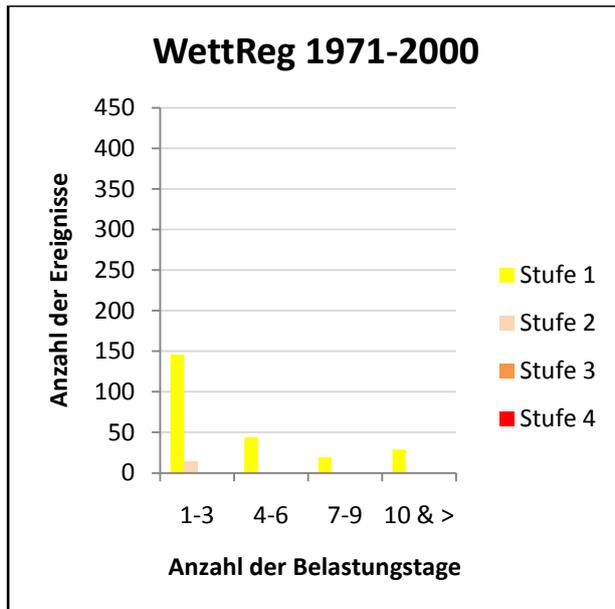


Tabelle 23: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode

WettReg	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	146	44	19	29
Stufe 2	14	0	0	0
Stufe 3	0	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 29: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode

Die Anzahl der Ereignisse für das Klimamodell WettReg werden in Abbildung 29 wiedergegeben. Die exakten Werte finden sich in Tabelle 23. Es wird deutlich, dass lediglich Belastungsstufe eins in allen vier Andauerklassen wiederzufinden ist. Es fällt auf, dass die Anzahl der Ereignisse bis Kategorie drei abfällt, dann aber wieder ansteigt. WettReg zeigt in Klasse D eine sehr hohe Anzahl an Ereignissen an. Belastungsstufe zwei erscheint nur in Andauerklasse A. Die anderen Belastungsstufen drei und vier treten überhaupt nicht auf.

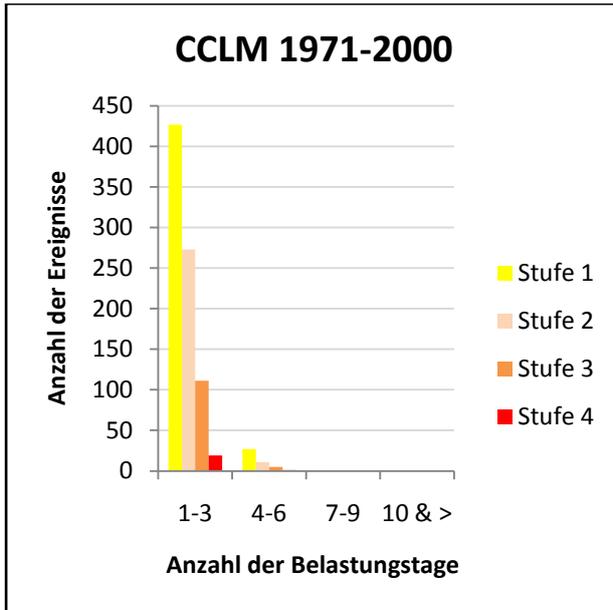


Tabelle 24: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode

CCLM	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	427	27	0	0
Stufe 2	273	11	0	0
Stufe 3	111	5	0	0
Stufe 4	19	1	0	0

Abbildung 30: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode

Abbildung 30 zeigt die Anzahl der Ereignisse, die das Klimamodell CCLM simuliert hat. Die genaue Ereignisanzahl wird in Tabelle 24 wiedergegeben. In Andauerklasse A sind alle Belastungsstufen vertreten. Die Anzahl der Ereignisse nimmt mit erhöhter Belastungsstufe ab. Belastungsstufe eins erreicht dabei einen Wert von über 400 Ereignissen. Im Vergleich dazu zeigt Belastungsstufe vier weniger als 50 Ereignisse. Betrachtet man nun die Anzahl der Ereignisse in der Klasse B, so erkennt man in der Abbildung die Belastungsstufen eins bis drei. Vergleicht man dies nun mit Tabelle 24, so wird deutlich, dass auch Belastungsstufe vier mit einem Ereignis in dieser Andauerklasse vertreten ist. Der Wert ist jedoch zu klein, um bei dieser Skalierung dargestellt zu werden. Die Belastungsstufen der Klasse B haben alle weniger als 50 Ereignisse. In den Andauerklassen C und D sind keine Ereignisse feststellbar.

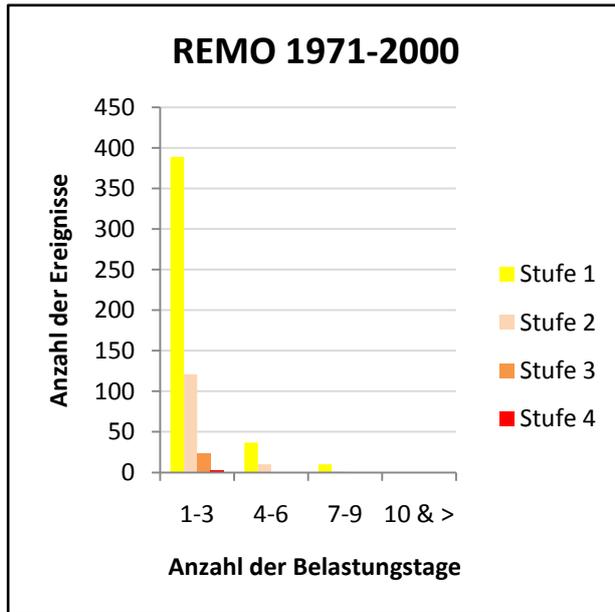


Tabelle 25: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells REMO für die Referenzperiode

REMO	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	389	37	10	0
Stufe 2	121	10	1	0
Stufe 3	24	0	0	0
Stufe 4	2	0	0	0

Abbildung 31: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells REMO für die Referenzperiode

Betrachtet man nun Abbildung 31, welche die Anzahl der Ereignisse für das Klimamodell REMO wiedergibt, so stellt man fest, dass in Andauerklasse A die Belastungsstufen eins bis drei vertreten sind. Hierbei ist besonders Belastungsstufe eins auffallend, die einen Wert von knapp 400 Ereignissen erreicht. Belastungsstufe zwei erreicht eine Ereignisanzahl von über 100 und Belastungsstufe drei eine unter 30. Vergleicht man diese Abbildung nun mit Tabelle 25, welche die exakten Werte wiedergibt, so erkennt man, dass auch Belastungsstufe vier in Andauerklasse A vertreten ist. In Klasse D tritt keine Anzahl an Belastungstagen auf.

Vergleicht man nun die einzelnen Abbildung miteinander, so stellt man fest, dass REMO hinsichtlich der Kategorien eins und drei am Ehesten mit den Beobachtungsdaten übereinstimmt. Belastungsstufe vier wird lediglich von CCLM mit einer Periode von drei oder mehr Tagen hintereinander simuliert. Betrachtet man jedoch die dazugehörigen Tabellen, so stellt man fest, dass auch REMO eine geringe Anzahl an Ereignissen der Stufe vier aufweist.

3.4.1.2 Änderung der Ereignisanzahl

Die nun folgenden Abbildungen 32 bis 34 zeigen die Änderungen der simulierten Anzahl von Hitzeperioden in den verschiedenen Klimamodellen an. Hierbei wird die Anzahl der Ereignisse in der Zukunftsperiode mit der Ereignisanzahl der Referenzperiode subtrahiert, um nur die

Änderung darzustellen. Dadurch kann es auch zu negativen Ereignisanzahlen kommen. Die genauen Werte werden in den Tabellen 26 bis 28 wiedergegeben.

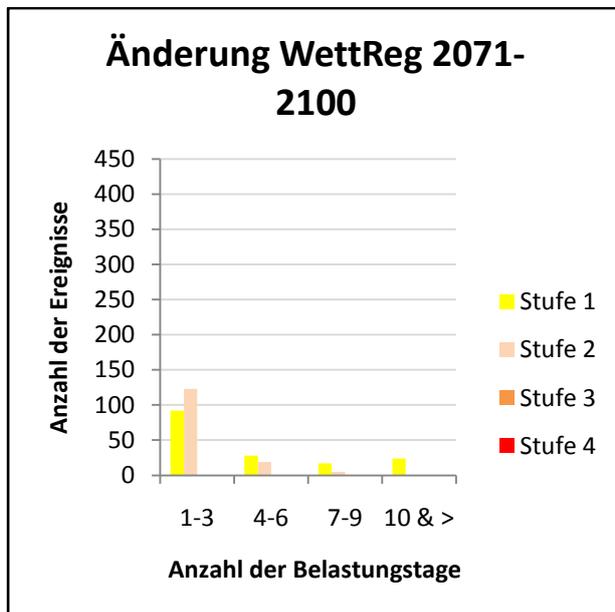


Tabelle 26: Änderung des Klimamodell WettReg im Vergleich zur Referenzperiode

WettReg	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	92	28	17	24
Stufe 2	123	19	5	0
Stufe 3	0	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 32: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells WettReg im Vergleich zur Referenzperiode

Zunächst wird die Änderung der Ereignisanzahl des Klimamodells WettReg betrachtet. Diese ist in Abbildung 32 dargestellt. Die genauen Werte finden sich in Tabelle 26. Es wird deutlich, dass in allen Andauerklassen die Belastungsstufe eins auftritt. Hier ist, wie auch schon bei der Referenzperiode ein Rückgang der Ereignisse bis zur Kategorie drei zu erkennen und ein anschließender Anstieg in Kategorie vier. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei WettReg Hitzeperiode bis zu 70 Tagen simuliert wurden, was bereits in Kapitel 3.3.1.2 diskutiert wurde. Die Belastungsstufe zwei tritt in den Klassen A bis C auf, wobei die Anzahl der Ereignisse mit steigender Klasse abnimmt. Die Belastungsstufen drei und vier treten in keiner Andauerklasse auf, was auch Tabelle 26 bestätigt.

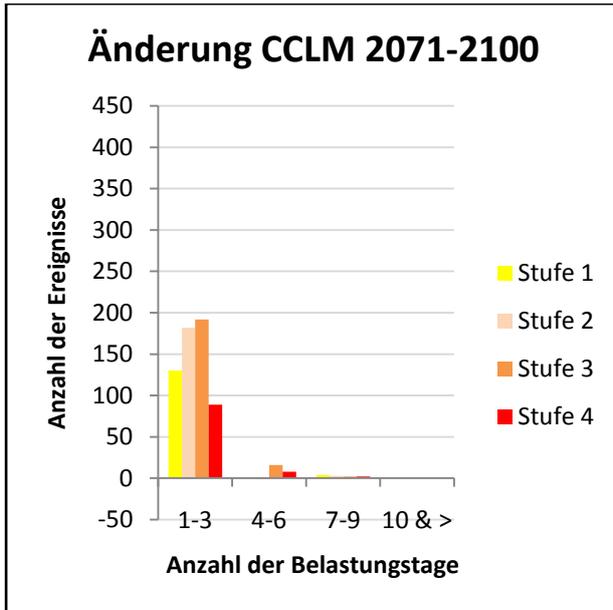


Tabelle 27: Änderung des Klimamodell CCLM im Vergleich zur Referenzperiode

CCLM	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	130	0	4	0
Stufe 2	182	-1	3	0
Stufe 3	192	16	2	0
Stufe 4	89	8	2	0

Abbildung 33: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells CCLM im Vergleich zur Referenzperiode

Betrachtet man Abbildung 33, welche die Änderung des Klimamodells CCLM darstellt, so erkennt man, dass die Belastungsstufe drei am stärksten und Stufe vier am schwächsten vertreten ist. Dies wird auch anhand der Tabelle 27 deutlich. In Andauerklasse A sind alle Belastungsstufen feststellbar. Bei Klasse B sind nur die Belastungsstufen drei und vier erkennbar. Betrachtet man dazu vergleichend Tabelle 27, so erkennt man, dass bei Stufe zwei ein Rückgang um eins stattfindet. Diese ist jedoch zu klein, um in Abbildung 33 erkennbar dargestellt zu werden. Alle Belastungsstufen, welche etwa gleich groß sind, sind auch bei Andauerklasse C vorhanden. Klasse D zeigt keine Belastungsstufen an.

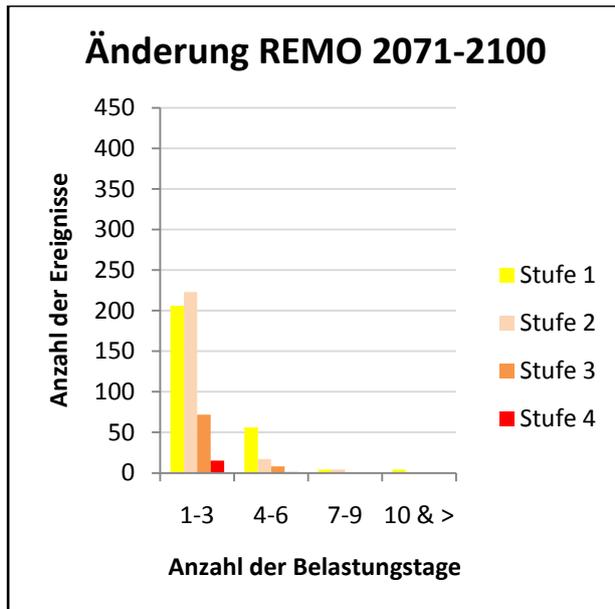


Tabelle 28: Änderung des Klimamodell REMO im Vergleich zur Referenzperiode

REMO	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	206	56	4	4
Stufe 2	223	17	5	0
Stufe 3	72	8	0	0
Stufe 4	15	1	0	0

Abbildung 34: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells REMO im Vergleich zur Referenzperiode

Die Zunahmen der Ereignisanzahl des Klimamodells REMO ist in Abbildung 34 zu sehen. Die genauen Werte zu dieser Abbildung finden sich in Tabelle 28. Anhand der Abbildung wird deutlich, dass nur Klasse A alle Belastungsstufen aufweist, wobei Stufen eins und zwei mit je mehr als 200 Ereignissen die höchsten und Stufe vier die geringste Ereignisanzahl (15) zeigt. In Andauerklasse B sind nur die Belastungsstufen eins bis drei zu sehen. Betrachtet man dazu jedoch die dazugehörige Tabelle, so fällt auf, dass auch in dieser Andauerklasse ein Ereignis der Stufe vier auftritt. Bei Klasse C und D sind nur wenige Ereignisse wiederzufinden. Andauerklasse C zeigt Ereignisse der Stufen eins und zwei, Klasse D nur von Stufe eins auf.

Vergleicht man nun die Änderungen der Klimamodelle miteinander, so stellt man fest, dass alle unterschiedliche Änderungen aufweisen. Betrachtet man nur Belastungsstufe eins, so zeigt WettReg die geringste und REMO die größte Änderung an. WettReg zeigt im Allgemeinen wesentlich geringere Änderungen an als die anderen Klimamodelle. CCLM zeigt die stärkste Änderung in den Belastungsstufen drei und vier auf.

3.4.2 Wasserkuppe

3.4.2.1 Referenzperiode

Die Anzahl der Ereignisse der Referenzperiode auf der Wasserkuppe werden in den Abbildungen 35 bis 38 dargestellt. Hierbei werden die Beobachtungsdaten und die Simulationen der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO wiedergegeben. Die genauen Werte sind in den Tabellen 29 bis 32 aufgeführt.

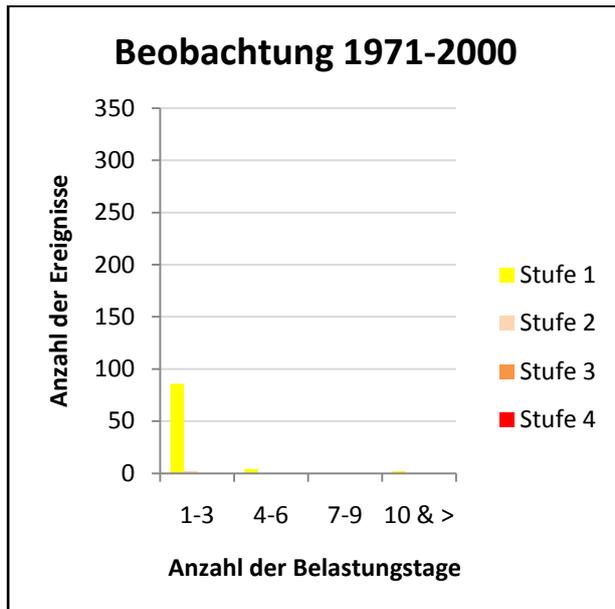


Tabelle 29: Anzahl der Belastungstage der Beobachtungen für die Referenzperiode

Beobachtung	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	86	4	0	2
Stufe 2	2	0	0	0
Stufe 3	0	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 35: Anzahl der Ereignisse der Beobachtungsdaten für die Referenzperiode

Bei den Beobachtungsdaten, welche in Abbildung 35 wiedergegeben werden fällt auf, dass lediglich in den Andauerklasse A und B Ereignisse der Belastungsstufe eins auftreten. Betrachtet man jedoch die dazugehörige Tabelle 29, so erkennt man, dass auch in Andauerklasse D Ereignisse der Stufe eins stattfanden. Desweiteren erkennt man Ereignisse der Stufe zwei in Klasse A. Diese können aufgrund der zu großen Skalierung nicht dargestellt werden. In Andauerklasse C und bei den Belastungsstufen drei und vier treten keine Ereignisse auf.

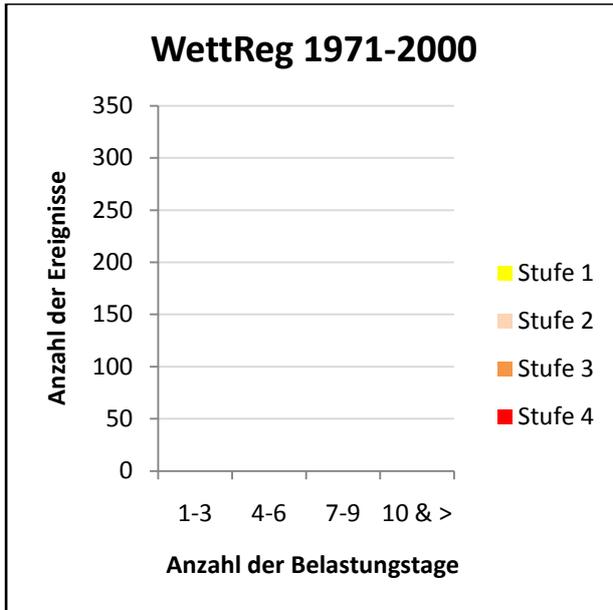


Tabelle 30: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode

WettReg	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	0	0	0	0
Stufe 2	0	0	0	0
Stufe 3	0	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 36: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode

Abbildung 36 zeigt, dass WettReg kein Ereignis simuliert hat, welches in der Referenzperiode stattfand. Betrachtet man Tabelle 30, so bestätigt dies den ersten Eindruck.

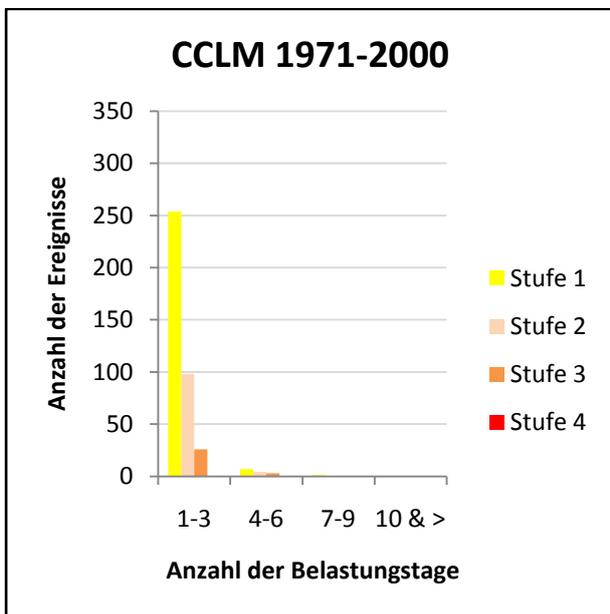


Tabelle 31: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode

CCLM	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	254	7	1	0
Stufe 2	98	4	0	0
Stufe 3	26	3	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 37: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode

Betrachtet man nun die Anzahl der Ereignisse des Klimamodells CCLM, welche in Abbildung 37 dargestellt werden, so erkennt man, dass in Andauerklasse A die Belastungsstufe eins am deutlichsten ausgeprägt ist. In den Klassen A und B sind die Belastungsstufen eins bis drei

vertreten. In den Andauerklassen C und D ist anhand der Abbildung kein Ereignis feststellbar. Prüft man nun Tabelle 31 hinsichtlich möglicher Ereignisse, so fällt auf, dass es ein Ereignis der Belastungsstufe eins in Klasse C gibt. Keine Ereignisse sind in Andauerklasse D erkennbar. Die Anzahl der Ereignisse der Klasse B sind sehr gering im Vergleich zu Klasse A. Belastungsstufe vier tritt in keiner Andauerklasse auf.

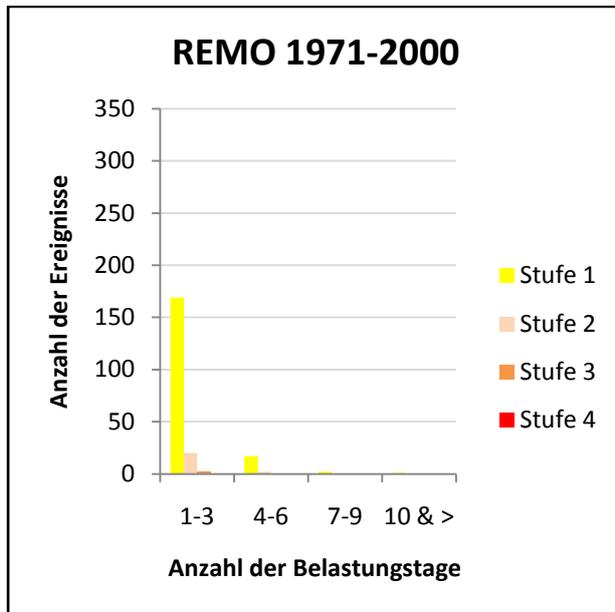


Tabelle 32: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells REMO für die Referenzperiode

REMO	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	169	17	2	1
Stufe 2	20	2	0	0
Stufe 3	2	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 38: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells REMO für die Referenzperiode

Die Anzahl der Ereignisse, welche REMO simuliert hat, werden in Abbildung 38 wiedergegeben. Man erkennt anhand der Abbildung, dass in Andauerklasse A die Belastungsstufen eins und zwei vorhanden sind, wobei die Anzahl der Ereignisse der Stufe eins deutlich größer ist als die der Stufe zwei. In Klasse B sind lediglich Belastungstage der Stufe eins zu erkennen, welche etwa so groß ist, wie Stufe zwei in Andauerklasse A. In den Klassen C und D ist kein Ereignis erkennbar. Betrachtet man die dazugehörige Tabelle 32, so erkennt man, dass Belastungstage in Andauerklasse A der Stufe drei, in Klasse B der Stufe zwei und in den Klassen C und D der Stufe eins vorhanden ist. Diese sind jedoch so minimal, dass sie nicht dargestellt werden können.

Vergleicht man nun die Abbildung miteinander, wird deutlich, dass sich die Abbildungen nicht ähneln. Da WettReg kein Ereignis simuliert hat, wird dieses Klimamodell nicht näher betrachtet. CCLM und REMO sind sowohl in der Anzahl der Ereignisse und der Andauerklasse als auch in der Höhe der Belastungsstufen deutlich über den Beobachtungsdaten.

3.4.2.2 Änderung der Ereignisanzahl

Die Änderung der Ereignisse der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO werden in den Abbildungen 39 bis 41 wiedergegeben. Die dazugehörigen Werte sind in den Tabellen 33 bis 35 aufgelistet. Die Berechnungen der Änderungen erfolgte wie bei der Station Wiesbaden

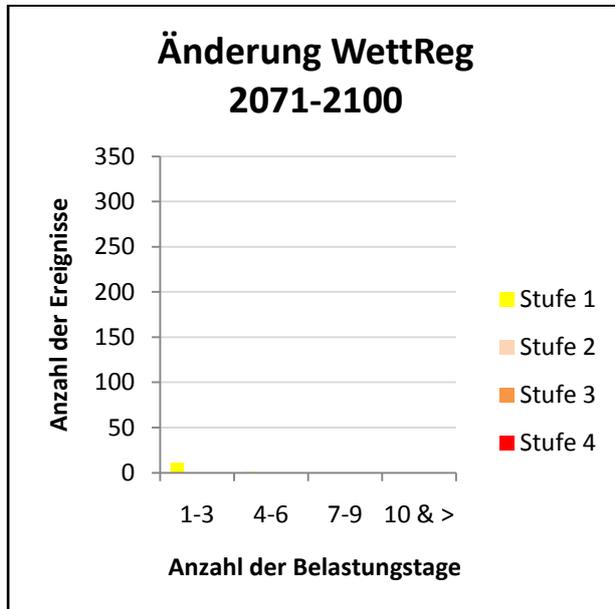


Tabelle 33: Änderung des Klimamodell WettReg im Vergleich zur Referenzperiode

WettReg	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	11	1	0	0
Stufe 2	0	0	0	0
Stufe 3	0	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0

Abbildung 39: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells WettReg im Vergleich zur Referenzperiode

Betrachtet man Abbildung 39, so erkennt man, dass mit WettReg lediglich in Andauerklasse A eine Änderung der Anzahl an Ereignissen angegeben wird, welche deutlich unter 50 liegt. Aus Tabelle 33 ist ersichtlich, dass es auch in Klasse B eine Ereignisänderung der Stufe eins gibt, welche aber zu klein ist, um in der Abbildung dargestellt zu werden.

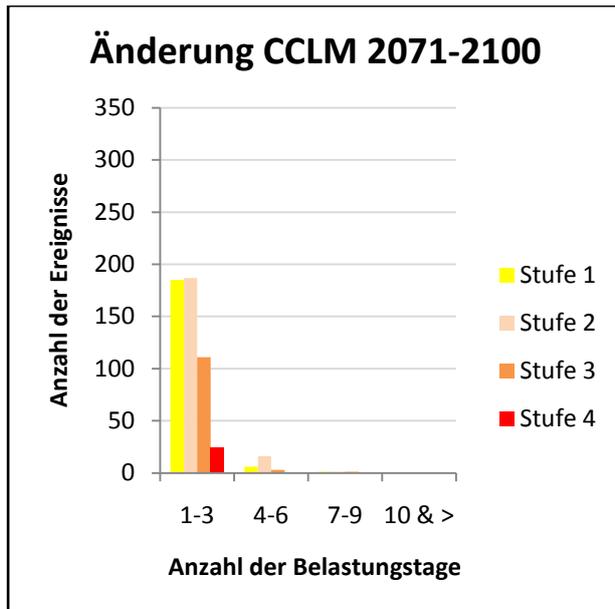


Tabelle 34: Änderung des Klimamodell CCLM im Vergleich zur Referenzperiode

CCLM	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	185	6	1	0
Stufe 2	187	16	1	0
Stufe 3	111	3	1	0
Stufe 4	24	0	0	0

Abbildung 40: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells CCLM im Vergleich zur Referenzperiode

Die Änderung des Klimamodells CCLM wird in Abbildung 40 dargestellt. Es wird deutlich, dass in Andauerklasse A Änderungen aller Belastungsstufen stattfinden. Hierbei sind die Belastungsstufen eins und zwei am größten und etwa gleich groß. Die Änderung der Ereignisse der Stufe vier ist am geringsten. In Klasse B sind die Belastungsstufen eins bis drei dargestellt, wobei hier die Belastungsstufe zwei am Stärksten ausgeprägt ist. In den Andauerklassen C und D sind keine Änderungen der Ereignisanzahl ersichtlich. Betrachtet man dazu Tabelle 34, so erkennt man, dass in Klasse C minimale Änderungen der Stufen eins bis drei auftreten.

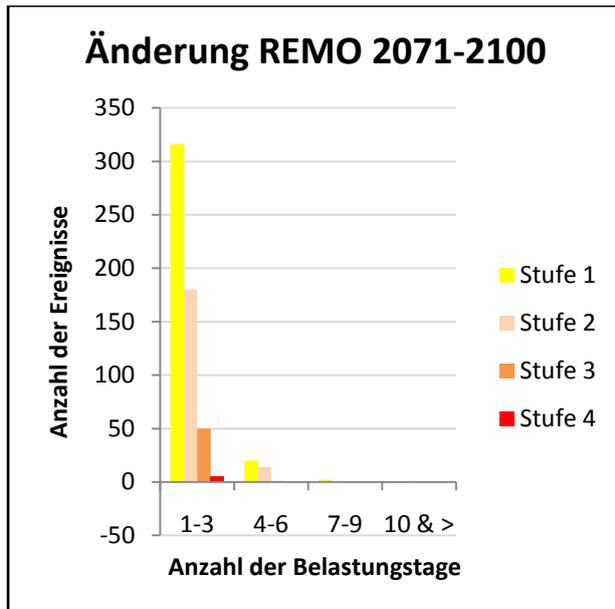


Tabelle 35: Änderung des Klimamodell REMO im Vergleich zur Referenzperiode

REMO	Anzahl der Belastungstage			
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 & >
Stufe 1	316	20	2	-1
Stufe 2	180	14	1	1
Stufe 3	50	1	0	0
Stufe 4	5	0	0	0

Abbildung 41: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells REMO im Vergleich zur Referenzperiode

Abbildung 41 stellt die Änderung der Ereignisanzahl des Klimamodells REMO dar. In Andauerklasse A weist die Belastungsstufe eins die größte Änderung auf. Es sind alle Belastungsstufen in Klasse A wiederzufinden. Dort ist ein Rückgang der Änderung der Ereignisanzahl mit steigender Belastungsstufe zu erkennen. In Andauerklasse B werden nur Änderungen der Belastungsstufen eins und zwei deutlich. Keine Änderung ist in den Klassen C und D ersichtlich. Tabelle 35 zeigt, dass es sowohl in der Andauerklasse C, als auch in der Klasse D Änderungen der Ereignisse gibt. In beiden Klassen herrschen Belastungstage der Stufen eins und zwei. Bei Stufe eins Klasse D gibt es einen Rückgang um eins. Desweiteren gibt es in der Andauerklasse B eine Änderung der Ereignisse bei Belastungsstufe drei. Die Belastungsstufe vier tritt nur in Klasse A auf.

Vergleicht man nun die Änderungen miteinander, so stellt man fest, dass alle Klimamodelle unterschiedliche Änderungen aufzeigen. WettReg zeigt die geringste Änderung und REMO die größte. Vergleicht man nur Belastungsstufe zwei der Klasse A, so haben CCLM und REMO die gleiche Änderung. Auffällig ist bei CCLM die Belastungsstufe vier der Andauerklasse A. Diese zeigte eine deutlich größere Änderung auf, als die Änderungen der Andauerklasse B.

3.5 Verteilung der Belastungstage pro Monat

Die oben beschriebenen Ereignisse zeigen, dass ein Anstieg der Belastungstage wahrscheinlich ist. Die Hitzeperioden werden länger und die Anzahl der Ereignisse steigt.

In diesem Kapitel werden nun die Belastungstage für jeden Monat, summiert über 30 Jahre betrachtet. Es wird untersucht, in welchen Monaten die Belastungstage auftreten und in welchem Monat die Anzahl an Belastungstagen am größten ist. Diese Untersuchung wird für jedes Klimamodell und jede Belastungsstufe getrennt durchgeführt. Die entsprechenden Abbildungen und Tabellen sind im Anhang ab Seite XXIX. In den Tabellen wird jede Änderung genau beschrieben, auch wenn sie sehr klein ist.

3.5.1 Wiesbaden

Die Abbildungen und Tabellen, die zur Station Wiesbaden gehören sind von Seite XXIX bis XXXIX wiedergeben. Die Beschreibung erfolgt für die Beobachtung und für jedes Klimamodell getrennt.

3.5.1.1 Beobachtung

In Abbildung A13 sind die Belastungstage für die Beobachtungsdaten dargestellt und in Tabelle A1 werden die genauen Werte wiedergeben. Man erkennt, dass bei Stufe eins die Belastungstage von April bis Oktober auftreten, wobei die größte Anzahl an Belastungstagen im August mit 322 Tagen herrscht. Die Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei reichen von Mai bis September, wobei hier die höchste Anzahl an Belastungstagen im Juli und August zu erkennen sind. Bei Stufe drei treten lediglich Belastungstage von Juni bis August auf, wobei auch hier die größte Anzahl im Juli und August zu erkennen ist. Bei Stufe vier ist keine Anzahl an Belastungstagen zu erkennen.

3.5.1.2 WettReg

Es werden zunächst Tage mit einer Belastung der Stufe eins (Abb. A14 und Tab. A2) untersucht. In der Simulation für die Referenzperiode (1971-2000) treten Belastungstage von Mai bis September auf. Die größte Anzahl an Belastungstagen ist im Juli und August zu erkennen. Betrachtet man nun die Zukunftsperiode (2071-2100), so werden auch hier Belastungstage von Mai bis September auftreten. Hierbei ist jedoch mit Abstand die größte Anzahl an

Belastungstagen im Juli mit 775 Tagen festzustellen. Vergleicht man nun die Referenzperiode mit der Zukunftsperiode so ergibt sich in jedem Monat eine Zunahme. Besonders auffällig sind hierbei die Monate Juni und September. Die Anzahl der Tage mit Belastungsstufe zwei werden in Abbildung A15 und in Tabelle A3 wiedergegeben. Hier wurde die Skala verringert, um die Ergebnisse besser darzustellen. In der Referenzperiode sind Belastungstage im Mai, Juli und August zu erkennen, wobei die größte Anzahl mit zwölf Tagen im August auftritt. In der Zukunftsperiode sind Belastungstage von Mai bis August zu erkennen. Die größte Anzahl an Belastungstagen tritt hier ebenfalls im August mit 233 Tagen auf. Im Mai und Juni wird ein Belastungstag ermittelt.

In Wiesbaden treten beim Klimamodell WettReg keine Belastungstage der Stufen drei und vier auf.

3.5.1.3 CCLM

Die Anzahl der Belastungstage des Klimamodells CCLM werden in den Abbildungen A16 bis A19 und in den Tabellen A4 bis A7 wiedergegeben. Die Skala wurde im Vergleich zu den Beobachtungsdaten gesenkt. Die höchste Anzahl an Belastungstagen tritt in der Referenzperiode bei allen Stufen im Juli auf. Belastungstage der Stufe eins treten von April bis Oktober auf, bei Stufe zwei von April bis September, bei Stufe drei von Mai bis September und bei Stufe vier von Juni bis August. Man erkennt, dass immer ein Monat weniger wird, je höher die Belastungsstufen steigen. Auffallend ist bei Stufe eins, dass CCLM in der Referenzperiode im April doppelt so viele Belastungstage simuliert wie in der Zukunftsperiode.

In der Zukunftsperiode treten die Belastungstage bei Stufe eins und zwei von April bis Oktober und bei Stufe drei und vier von Mai bis September auf. Bei Belastungsstufe eins tritt die größte Anzahl an Belastungstagen in den Sommermonaten Juni, Juli und August auf, wobei der Juli eine niedrigere Anzahl an Belastungstagen hat als die anderen Monate. Es ist jedoch anzumerken, dass bei Belastungsstufe zwei die größte Anzahl an Belastungstagen im Juli auftritt. Dies könnte bedeuten, dass die Belastungstage von Stufe eins wärmer geworden sind und nun bei Stufe zwei mitgezählt werden. Bei Stufe drei tritt die größte Anzahl an Belastungstagen im August mit 171 Tagen auf. Die größte Anzahl an Belastungstagen der Stufe vier tritt im Juli mit 103 Tagen auf, was eine immense Belastung des menschlichen Organismus

bedeutet. Desweiteren simuliert CCLM bei Stufe vier Belastungstage im Mai und im September, was in der Referenzperiode nicht der Fall war.

3.5.1.4 REMO

Die Anzahl der Belastungstage des Klimamodells REMO sind in den Abbildungen A20 bis A23 und in den Tabellen A8 bis A11 zusammengestellt. Die Skalen der Stufen zwei, drei und vier wurden verringert. In der Referenzperiode treten bei Stufe eins Belastungstage von April bis Oktober auf, wobei die größte Anzahl im Juli mit 229 Tagen ist. Die Belastungstage der Stufe zwei treten hingegen zwei Monate weniger, von Mai bis September auf, wobei auch hier der Maximalwert im Juli liegt. Bei Stufe drei treten Belastungstage in der Referenzperiode von Juni bis September auf. Auch hier ist die größte Anzahl an Belastungstagen im Juli zu erkennen. Belastungsstufe vier tritt nur im Juli und August mit einem Tag beziehungsweise zwei Tagen auf.

In der Zukunftsperiode treten Belastungstage bei Stufe eins des Klimamodells REMO von April bis Oktober auf, wobei die höchsten Werte im Juli und im August zu erkennen sind. Die Belastungstage der Stufe zwei treten von Mai bis Oktober auf. Hierbei ist die höchste Anzahl an Belastungstagen im August mit 217 Tagen. Bei Stufe drei treten Belastungstage von Mai bis September auf, mit den höchsten Werten im August. Die Belastungstage der Stufe vier reichen von Juni bis August mit Höchstwerten im Juli.

3.5.2 Wasserkuppe

Die Abbildungen und Tabellen, die zur Station Wasserkuppe gehören sind von Seite XL bis XLIX wiedergeben. Die Beschreibung erfolgt für die Beobachtungsdaten und für jedes Klimamodell getrennt. Es ist anzumerken, dass die Skalen der Ordinate an die jeweiligen Ergebnisse angepasst wurden.

3.5.2.1 Beobachtung

Die Anzahl der Belastungstage der Beobachtungsdaten sind in Abbildung A24 und Tabelle A12 wiedergegeben. Man erkennt sofort, dass lediglich Belastungstage der Stufe eins auftreten. Die Belastungstage gehen von Mai bis September. Die größte Anzahl an Belastungstagen tritt im Juli auf. Die Anzahl der Belastungstage im Mai und September mit einem Tag beziehungsweise zwei Tagen sind verhältnismäßig gering. Die Belastungsstufen zwei, drei und vier zeigen keine Belastungstage an.

3.5.2.2 *WettReg*

Die Abbildung A25 und die Tabelle A13 zeigen die Anzahl der Belastungstage der Stufe eins für das Klimamodell WettReg. Es wird anhand der Abbildung deutlich, dass in der Referenzperiode keine Belastungstage angezeigt werden, was die Tabelle bestätigt. In der Zukunftsperiode treten Belastungstage nur im Juli und August auf, wobei im August die höhere Anzahl zu erkennen ist.

Bei der Station Wasserkuppe simuliert WettReg keine Belastungstage der Stufen zwei, drei und vier.

3.5.2.3 *CCLM*

Die Belastungstage des Klimamodells CCLM werden in den Abbildungen A26 bis A29 dargestellt und in den Tabellen A14 bis A17 wiedergegeben. In der Referenzperiode treten Belastungstage der Stufe eins von April bis September auf, mit dem größten Wert im Juli mit 120 Tagen. Auch bei den Stufen zwei und drei treten die meisten Belastungstage im Juli auf. Bei Stufe zwei reichen die Belastungstage von Mai bis August und bei Stufe drei von Juni bis August. Belastungsstufe vier wird von CCLM in der Referenzperiode nicht simuliert.

In der Zukunftsperiode treten bei Stufe eins Belastungstage von April bis Oktober auf, mit den Maximalwerten im Juli und im August. Bei Stufe zwei treten Belastungstage von Mai bis September auf, wobei hier die größte Anzahl an Belastungstagen im August zu erkennen ist. Auffallend hierbei ist, dass im September Belastungstage simuliert wurden, aber nicht in der Referenzperiode. Die Belastungstage der Stufe drei reichen von Mai bis September, wobei die höchsten Werte im Juli festzustellen sind. Hervorzuheben sind hier die Monate Mai und September, bei denen in der Zukunftsperiode Belastungstage simuliert wurden und nicht in der Referenzperiode. Bei Stufe vier sind in der Zukunftsperiode Belastungstage von Juni bis August festzustellen. Die größte Anzahl an Belastungstagen ist hier im Juli mit 19 Tagen. Es wurde in den drei Monaten Belastungstage festgestellt, welche in der Referenzperiode nicht vorhanden waren. Festzuhalten ist, dass bei CCLM in der Zukunftsperiode immer mindestens einen Monat länger Belastungstage auftreten als in der Referenzperiode.

3.5.2.4 REMO

Die Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO sind in den Abbildungen A30 bis A32 dargestellt und in den Tabellen A18 bis A21 wiedergegeben. Bei der Betrachtung der Referenzperiode fällt auf, dass Stufe eins die meisten Belastungstage hat. Diese gehen von April bis September und haben ihren Maximalwert im Juli mit 122 Tagen. Belastungsstufe zwei tritt in der Referenzperiode nur von Juni bis September und bei Belastungsstufe drei von Juli bis August auf. Die Belastungsstufe vier wird von REMO nicht simuliert. Die größte Anzahl an Belastungstagen der Stufe zwei ist im Juli festzustellen. Die Belastungstage bei Stufe drei sind im Juli und August mit einem Tag gleich.

In der Zukunftsperiode treten mindestens einen Monat länger Belastungstage auf. Bei Stufe eins treten Belastungstage von April bis Oktober auf, wobei im August mit 230 Tagen die größte Anzahl erkennbar ist. Hierbei ist der Oktober zu erwähnen, der in der Zukunftsperiode 34 Belastungstage aufweist und bei dem in der Referenzperiode keine Belastungstage existieren. Auch bei Stufe zwei ist die größte Anzahl an Belastungstagen im August mit 134 Tagen zu erkennen. Diese reichen von Mai bis September. Bei Stufe zwei sind die Monate Mai und September zu erwähnen. Im Mai treten nun 24 Belastungstage auf und in der Referenzperiode keiner. Auch im September ist ein starker Anstieg von einem Tag in der Referenzperiode auf 57 Tage in der Zukunftsperiode. Bei Stufe drei treten Belastungstage von Mai bis September auf. Das sind drei Monate mehr als in der Referenzperiode. Die größte Anzahl an Belastungstagen ist hier im Juli festzustellen. Bei Stufe vier treten Belastungstage im Juli und im August auf, wobei der höchste Wert im Juli ist. Zu dieser Stufe gibt es keine Abbildung, da die Anzahl der Belastungstage zu gering zum Darstellen war.

3.5.3 Vergleich der Ergebnisse

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sich in Wiesbaden und auf der Wasserkuppe die Anzahl der Belastungstage in der Zukunft erhöhen und ebenso die Anzahl der Monate, in denen Belastungstage auftreten. Es ist besonders auffallend, dass in der Zukunft Belastungstage der Stufe vier simuliert werden und beispielsweise bei CCLM (Stufe vier, Abb. A19, Tab. A7) im Juli 103 Tage aufweisen. Diese Belastungsstufe existiert nicht bei den Beobachtungsdaten. Die größte Anzahl an Belastungstagen ist in der Zukunftsperiode weiterhin in den Sommermonaten

Juli und August zu erkennen. Jedoch in den meisten Fällen deutlich höher als in der Referenzperiode.

3.6 Szenarien B1 und A2

Die im Anhang B (Seite XLIX) dargestellten Abbildungen zeigen die Entwicklung der Belastungstage für die Szenarien B1 und A2 der Stationen Wiesbaden und Wasserkuppe. Für das Szenario A2 stehen nur zwei Klimamodelle, nämlich WettReg und REMO und für das Szenario B1 alle drei Klimamodelle zur Verfügung. Es wird deutlich, dass auch hier ein Anstieg der Belastungstage für beide Szenarien simuliert wird, wobei ein stärkerer Anstieg der Belastungstage bei Szenario A2 erfolgt. Desweiteren wurden mehr Belastungstage in den einzelnen Stufen bei Szenario A2 simuliert.

Es zeigt sich, dass auch diese Szenarien, genau wie das vorher verwendete Szenario A1B einen Anstieg der Belastungstage simulieren. Diese unterscheiden sich zwar in ihrer Anzahl an Belastungstagen voneinander, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die Belastungstage in Zukunft ansteigen werden.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Ergebnisse

Anhand der Ergebnisse ist ein deutlicher Anstieg der Anzahl der Belastungstage zu erkennen. Es ist zu sehen, dass die drei Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO unterschiedliche Änderungssignale darstellen, die aber alle in die gleiche Richtung gehen. Das statistische Klimamodell WettReg weist im Vergleich zu den anderen Klimamodellen die geringste Änderung auf. Desweiteren hat WettReg im Vergleich zu den Beobachtungsdaten weniger Belastungstage simuliert. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass WettReg die Entwicklung eher unterschätzt und somit die Untergrenze der erwarteten Änderung anzeigt. Eine Obergrenze kann jedoch nicht definiert werden. Der Grund dafür ist die Trägheit des Klimas. Das bedeutet, dass längere Zeit von dem Zeitpunkt vergeht, an dem Emissionen entstehen bis zu der Zeit, zu der die Auswirkungen erkennbar sind.

Es wurde mit dem Szenario A1B gearbeitet, das von einer ausgeglichenen Mischung aus einer fossilen und nicht-fossilen Energieversorgung und einem sehr starkem Wirtschaftswachstum ausgeht, bei dem neue und effiziente Technologien schnell eingeführt werden. Der aktuelle Stand entspricht jedoch nicht dieser Entwicklung. Es entstehen im Moment (Stand bis 2008) mehr Emissionen, als das Szenario A1B für diesen Zeitraum annimmt. Es ist nicht möglich, vorherzusagen, dass sich die Zukunft genau wie die verwendeten Szenarien entwickelt. Die Ergebnisse dienen lediglich zur Orientierung, wie sich das Klima entwickeln könnte. Da alle Klimamodelle einen Anstieg der Belastungstage und Belastungsstufen anzeigen, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Temperaturen erhöhen und die gesundheitlichen Belastungen zunehmen, auch wenn die Stärke der Änderung nicht genau bestimmt werden kann.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anzahl der Belastungstage ansteigen und die Hitzeperioden länger werden. Die Ereignisse mit mehr als zehn aufeinanderfolgenden Hitzetagen nehmen zu. Hierzu ist zu sagen, dass es viele Belastungsperioden gibt, an denen keine Unterbrechung mit Temperaturen unter 25 Grad Celsius gibt. Die längste Belastung betrug hier beim Klimamodell WettReg über 70 aufeinanderfolgende Hitzetage. Die Belastung bleibt zwar weiterhin in den Sommermonaten Juni, Juli und August, jedoch ist die Anzahl der Belastungstage größer. Die

Modelle sagen für die Zukunft Belastungstage über sechs Monate von April bis Oktober voraus. Allgemein ist festzustellen, dass ein Anstieg aller Belastungsstufen stattfindet. Desweiteren ist ein Auftreten der Belastungsstufe vier zu erkennen. Diese existiert bei den Beobachtungsdaten überhaupt nicht, weder in Wiesbaden noch auf der Wasserkuppe. In der Zukunftsperiode wird Belastungsstufe vier von CCLM und REMO bei beiden Stationen simuliert.

Selbst wenn davon ausgegangen wird, dass die geringste Änderung der Belastungstage eintritt, sollte dies dennoch zum Nachdenken anregen. Es wird sich eine größere Belastung des menschlichen Organismus und der Gesundheit gerade bei älteren Menschen, Kleinkindern und Menschen mit Herz-Kreislauf-Problemen entwickeln. Da zurzeit die Emissionen höher sind, als diejenigen, von denen das verwendete Szenario ausgeht, ist ein noch stärkerer Anstieg der Belastungstage als hier dargestellt wahrscheinlich.

4.2 Tagesweiser oder prozentualer Anstieg – was ist zu bevorzugen?

In Folgenden wird, aufbauend auf den Ergebnissen aus Kapitel 3.2, die Frage diskutiert, welche Darstellungsweise zu bevorzugen ist. Sowohl der tagesweise als auch der prozentuale Anstieg haben ihre Vor- und Nachteile. Betrachtet man den tagesweisen Anstieg, so handelt es sich um eine absolute Entwicklung. Der prozentuale Anstieg wird als eine relative Änderung angesehen. Der Nachteil einer prozentualen Betrachtung ist der, dass dieser nicht immer angewendet werden kann. Existieren in der Vergangenheit keine Belastungstage, aber in der Zukunft, ist der prozentuale Anstieg unendlich groß. Jedoch gibt dieser die mögliche Entwicklung am genauesten wieder. Der Anstieg der Tage kann immer angewendet werden. Er hat jedoch den Nachteil, dass er die mögliche Entwicklung sehr ungenau angibt. Es wird von dem exakten Anstieg, zum Beispiel 30 Tage, ausgegangen.

Es ist schwierig, eine geeignete Darstellungsmöglichkeit für alle Anwendungen zu benennen. Es sollten daher beide Möglichkeiten geprüft werden und individuell, den Ergebnissen entsprechend, entschieden werden.

4.3 Ausblick

In dieser Arbeit wurde die Anzahl der Belastungstage für die Stationen Wiesbaden und Wasserkuppe untersucht. Es sind drei Klimamodelle (WettReg, CCLM und REMO) verwendet worden, die die Belastungstage simuliert haben. So wurden der Anstieg der Belastungstage und die aufeinanderfolgenden Hitzetage untersucht. Desweiteren sind die Belastungstage auf die einzelnen Monate aufgeteilt und überprüft worden, in welchen Monaten die größte Anzahl an Belastungstagen auftritt.

Der nächste Schritt wäre dieselbe Untersuchung mit anderen Klimamodellen. Es könnte zum Beispiel das Klimamodell WettReg mit dem neuen Klimamodell WettReg2010 verglichen werden. Wie unterscheiden sich die Klimamodelle in ihrer Simulation der Vergangenheit und der Zukunft? Ist WettReg2010 mit den Beobachtungsdaten vergleichbar oder unterschätzt es auch die Belastungstage? Auch wäre eine Untersuchung weiterer Szenarien (außer dem hier verwendeten Szenario A1B) wünschenswert. Hierbei sollten die gleichen Untersuchungen gemacht werden, die auch in dieser Arbeit durchgeführt wurden (siehe Anhang B). So kann abgeschätzt werden, wie stark die Änderung der gesundheitlichen Belastung von den heutigen und zukünftigen Treibhausgasemissionen abhängt.

Literaturverzeichnis

- ARL (2009): Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Regionale Klimaszenarien für Deutschland - Eine Leseanleitung.
URL: <http://arl-net.org/pdf/publik/e-paper-der-arl-nr6.pdf>
(abgerufen am 05.03.2010)
- DWD a: Deutscher Wetterdienst . Gefühlte Temperatur, Schwüle und Wind Chill.
URL: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/download.php?file=Gefuehlte-Temperatur.pdf>
(abgerufen am 10.05.2010)
- DWD b: Deutscher Wetterdienst. Klima-Michel-Modell.
URL: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/>
(abgerufen am 10.05.2010)
- FH Oldenburg (2009/2010). Kapitel I: Thermische Behaglichkeit.
URL: http://www.fh-oow.de/fba//downloads/8/kapitel_01a-thermische_behaglichkeit.pdf
(abgerufen am 10.05.2010)
- FLUGS (2003): HelmholtzZentrum München. Klimawandel und Gesundheit
URL: http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Themen/Klimaschutz/Klimawandel_Gesundheit.pdf.
(abgerufen am 04.03.2010)
- Geodus (2008). Hessenkarte.
URL: http://www.geodus.com/globe-map/tresgrand/planet-observer_PORHE.jpg
(abgerufen am 13.05.2010)
- HelmholtzZentrum München (2009). Wie wirkt sich der Klimawandel auf die Gesundheit aus?
URL: http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Themen/Klimaschutz/Klimawandel_und_Gesundheit.pdf
(abgerufen am 01.03.2010)
- IBO (2006): Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie. Thermische Behaglichkeit.
URL: http://www.ibo.at/documents/thermische_behaglichkeit.pdf
(abgerufen am 10.05.2010)
- Künzler, K. (2009). Berechnung des Belastungsindex aus Temperatur und Feuchte.
Hochschule Rhein Main, Rüsselsheim, 46 Seiten
- NOAA's National Weather Service. Heat: A Major Killer.
URL: <http://www.weather.gov/om/heat/index.shtml>
(abgerufen am 10.05.2010)

- NOAA's National Weather Service. Heat-Index.
URL: http://www.weather.gov/om/heat/images/heat_index.png
(abgerufen am 10.05.2010)
- Schuh, A. (2007). Biowetter - Wie das Wetter unsere Gesundheit beeinflusst. C. H. Beck oHG, München, 124 Seiten
- Spiegel online (2007). Hitze-Sommer 2003 hat 70.000 Europäer getötet.
URL: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,473614,00.html>
(abgerufen am 13.05.2010)
- UMID (2009): UmweltMedizinischer InformationsDienst. Klimawandel und Gesundheit.
URL: <http://www.umweltbundesamt.de/umid/archiv/umid0309.pdf>
(abgerufen am 01.03.2010)
- Umweltbundesamt (2008). Klimawandel und Gesundheit: Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze und Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz.
URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3519.pdf>
(abgerufen am 01.03.2010)
- Umweltbundesamt (2009) a. Gesundheitliche Anpassung an den Klimawandel.
URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3753.pdf>
(abgerufen am 01.03.2010)

Hintergrundmaterial

- CEC (2005) a: Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH. Szenarien mit CCLM (Climate Local Model).
URL: <http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/CCLM/CCLM.html>
(abgerufen am 05.03.2010)
- CEC (2005) b : Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH. Szenarien mit WettReg. (Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode).URL: <http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/WettReg/wettreg.html>
(abgerufen am 05.03.2010)
- Dr. Göbel, P. (2009). Wenn das Wetter krank macht. Humboldt, Hannover, 139 Seiten
- HLUG (2007): Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Faltblatt: Klimawandel und seine Folgen in Hessen.
URL: http://www.hlug.de/klimawandel/inklim/dokumente/inklim_informationsblatt.pdf
(abgerufen am 02.03.2010)
- HLUG (2009) a: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Faltblatt: Das Fachzentrum Klimawandel Hessen stellt sich vor.
URL: http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/artikel_fachzentrum.pdf
(abgerufen am 01.03.2010)
- HLUG (2009) b: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Faltblatt: Folgen des Klimawandels.
URL: <http://www.hlug.de/klimawandel/monitor/dokumente/klimafolgen.pdf>
(abgerufen am 01.03.2010)
- HLUG (2009) c: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Faltblatt: Glossar zum Klimaschutz.
URL: <http://www.hlug.de/klimawandel/monitor/dokumente/glossar.pdf>
(abgerufen am 01.03.2010)
- HLUG (2009) d: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Faltblatt: Klima und Klimawandel.
URL: <http://www.hlug.de/klimawandel/monitor/dokumente/klimawandel.pdf>
(abgerufen am 01.03.2010)
- HLUG (2010) a: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Umweltatlas Hessen: Rubrik Klimawandel - Regionale Klimaprojektionen.
URL: <http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/index-ie.html>
(abgerufen am 02.03.2010)
- HLUG (2010) b: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Umweltatlas Hessen: Rubrik Klimawandel - Temperatur.
URL: <http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/index-ie.html>
(abgerufen am 02.03.2010)

- Krantz (2008). Auslegungskriterien für thermische Behaglichkeit.
URL:
http://www.krantz.de/fileadmin/Produkte/1_Luftfuehrungssysteme/D1.0.2_TB69_Thermische_Behaglichkeit_2008.pdf
(abgerufen am 10.05.2010)
- Kuntikum (2009). Vergleich von Klimamodellen.
URL: <http://www.klimatrends.de/?p=302>
(abgerufen am 08.03.2010)
- Meteo-Research (2003). Anwendung eines statistischen Regionalisierungsmodells.
URL: http://www.hlug.de/klimawandel/inklim/dokumente/klimaprognose_2003/text.pdf
(abgerufen am 01.06.2010)
- Private Wetterstation Friedberg/Hessen. Hitze-Index.
URL: <http://wetter61169.de/fachbegriffe/hitzeindex.php>
(abgerufen am 09.03.2010)
- Umweltbundesamt (2009) b. Klimawandel und Gesundheit: Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland.
URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-k/k3816.pdf>
(abgerufen am 04.03.2010)
- WHO (2005): Weltgesundheitsorganisation. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit: Wie können die neuen Gefahren jetzt bewältigt werden?
URL: <http://www.euro.who.int/document/mediacentre/fs1505g.pdf>
(abgerufen am 03.03.2010)
- Wikipedia Bildungsserver. Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit.
URL:
http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Direkte_Auswirkungen_des_Klimawandels_auf_die_Gesundheit
(abgerufen am 17.04.2010)
- Wikipedia Bildungsserver. Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit.
URL:
http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Indirekte_Auswirkungen_des_Klimawandels_auf_die_Gesundheit
(abgerufen am 17.04.2010)
- Wikipedia Bildungsserver. Klimaszenarien.
URL: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimaszenarien>
(abgerufen am 13.04.2010)
- Wikipedia Bildungsserver. Wetterextreme.
URL: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Wetterextreme>
(abgerufen am 16.04.2010)

Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Zusammenhang von PMV und PPD nach IBO, 2006</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 2: Positionskarte der Stationen Wiesbaden und Wasserkuppe in Hessen (verändert nach Geodus, 2008)</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 3: Anzahl der Belastungstage pro Periode: Vergleich der Beobachtungsdaten (1971-2000) mit den simulierten Daten der Klimamodelle (1971-2000 und 2071-2100) in Wiesbaden (aus Künzler, 2009).....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 4: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 in Wiesbaden durch das Klimamodell WettReg.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 5: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 6: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 7: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden durch das Klimamodell WettReg.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 8: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 9: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 10: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM.....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 11: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO.....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 12: Anstieg der Belastungstage der Stufe 4 in Wiesbaden durch das Klimamodell CCLM.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 13: Anstieg der Belastungstage der Stufe 4 in Wiesbaden durch das Klimamodell REMO.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 14: Anzahl der Belastungstage pro Periode: Vergleich der Beobachtungsdaten (1971-2000) mit den simulierten Daten der Klimamodelle (1971-2000 und 2071-2100) auf der Wasserkuppe (aus Künzler, 2009)</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 15: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell WettReg</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 16: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell CCLM</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 17: Anstieg der Belastungstage der Stufe 1 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell REMO.....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 18: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell CCLM</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 19: Anstieg der Belastungstage der Stufe 2 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell REMO</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 20: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell CCLM</i>	<i>36</i>

~ Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse ~

<i>Abbildung 21: Anstieg der Belastungstage der Stufe 3 auf der Wasserkuppe durch das Klimamodell REMO</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 22: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen tagesweisen Steigung der Belastungstage in Wiesbaden.....</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 23: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage in Wiesbaden.....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 24: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage in Wiesbaden in gekürzter Form</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 25: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen tagesweisen Steigung der Belastungstage auf der Wasserkuppe</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 26: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage auf der Wasserkuppe</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 27: Vergleich der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO hinsichtlich der möglichen prozentualen Steigung der Belastungstage der Stufe 2 in Wiesbaden</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 28: Anzahl der Ereignisse der Beobachtungsdaten für die Referenzperiode</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 29: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 30: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode.....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 31: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells REMO für die Referenzperiode</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 32: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells WettReg im Vergleich zur Referenzperiode...</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 33: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells CCLM im Vergleich zur Referenzperiode.....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 34: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells REMO im Vergleich zur Referenzperiode.....</i>	<i>59</i>
<i>Abbildung 35: Anzahl der Ereignisse der Beobachtungsdaten für die Referenzperiode</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 36: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 37: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode.....</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 38: Anzahl der Ereignisse des Klimamodells REMO für die Referenzperiode</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 39: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells WettReg im Vergleich zur Referenzperiode...</i>	<i>63</i>
<i>Abbildung 40: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells CCLM im Vergleich zur Referenzperiode.....</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 41: Anzahl der Änderung der Ereignisse des Klimamodells REMO im Vergleich zur Referenzperiode.....</i>	<i>65</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: 7-Punkte-Beurteilungsskala des Raumklimas nach IBO, 2006.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 2: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung nach DWD a.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 3: Klassifizierung des Hitze-Indexes aufbauend auf den Hitze-Index nach National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 4: Wirkung der verschiedenen Temperaturen auf den menschlichen Organismus</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 5: Bezeichnung der einzelnen Klimaszenarien</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 6: Weiterführende Darstellung der vier Klimaszenarien hinsichtlich der Entwicklungsrichtung und Globalisierung</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 7: Beschreibung der Entwicklungsmöglichkeiten die die Grundszenarien beinhalten.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 8: Definition der verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten des Szenarios A1 hinsichtlich der Energieversorgung</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 9: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 1 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 10: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 2 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 11: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 3 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 12: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 4 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 13: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 1 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 14: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 2 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 15: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 3 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 16: Vergleich der Anstiege der Belastungstage der Stufe 4 von 1971-2000 zu 2071-2100 der einzelnen Klimamodelle (tagesweise und prozentual)</i>	<i>37</i>

~ Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse ~

<i>Tabelle 17: Ergebnisse der Anstiege aus Kapitel 3.1.1</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 18: Ergebnisse des Berechnungsbeispiel für WettReg mit Belastungsstufe drei</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 19: Vergleich der Anstiege der einzelnen Klimamodelle und Belastungsstufen in Wiesbaden.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 20: Ergebnisse der Anstieg aus Kapitel 3.1.2</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 21: Vergleich der Anstiege der einzelnen Klimamodelle und Belastungsstufen auf der Wasserkuppe</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 22: Anzahl der Belastungstage der Beobachtungen für die Referenzperiode</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 23: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode</i>	<i>54</i>
<i>Tabelle 24: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode</i>	<i>55</i>
<i>Tabelle 25: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells REMO für die Referenzperiode</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 26: Änderung des Klimamodell WettReg im Vergleich zur Referenzperiode</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 27: Änderung des Klimamodell CCLM im Vergleich zur Referenzperiode</i>	<i>58</i>
<i>Tabelle 28: Änderung des Klimamodell REMO im Vergleich zur Referenzperiode</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 29: Anzahl der Belastungstage der Beobachtungen für die Referenzperiode</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 30: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells WettReg für die Referenzperiode</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 31: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells CCLM für die Referenzperiode</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 32: Anzahl der Belastungstage des Klimamodells REMO für die Referenzperiode</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 33: Änderung des Klimamodell WettReg im Vergleich zur Referenzperiode</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 34: Änderung des Klimamodell CCLM im Vergleich zur Referenzperiode</i>	<i>64</i>
<i>Tabelle 35: Änderung des Klimamodell REMO im Vergleich zur Referenzperiode</i>	<i>65</i>

Abbildungsverzeichnis im Anhang

<i>Abbildung A1: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für die Beobachtungsdaten.....</i>	<i>III</i>
<i>Abbildung A2: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für WettReg</i>	<i>V</i>
<i>Abbildung A3: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für WettReg.....</i>	<i>VII</i>
<i>Abbildung A4: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für CCLM</i>	<i>IX</i>

~ Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse ~

Abbildung A5: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für CCLM..... XII

Abbildung A6: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für REMOXIV

Abbildung A7: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für REMO.....XVII

Abbildung A8: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für die Beobachtungsdaten..... XIX

Abbildung A9: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für CCLMXXI

Abbildung A10: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für CCLMXXIII

Abbildung A11: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für REMOXXVI

Abbildung A12: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für REMO.....XXVIII

Abbildung A13: Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten.....XXIX

Abbildung A14: Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1XXX

Abbildung A15: Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 2XXXI

Abbildung A16: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1XXXII

Abbildung A17: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2XXXIII

Abbildung A18: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3XXXIV

Abbildung A19: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4XXXV

Abbildung A20: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1XXXVI

Abbildung A21: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2XXXVII

Abbildung A22: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3XXXVIII

Abbildung A23: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 4XXXIX

Abbildung A24: Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten..... XL

Abbildung A25: Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1 XLI

Abbildung A26: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1 XLII

Abbildung A27: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2 XLIII

Abbildung A28: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3 XLIV

Abbildung A29: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4 XLV

Abbildung A30: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1 XLVI

Abbildung A31: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2 XLVII

Abbildung A32: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3 XLVIII

Tabellenverzeichnis im Anhang

Tabelle A1: Anzahl der Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten XXIX

Tabelle A2: Anzahl der Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1 XXX

Tabelle A3: Anzahl der Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 2 XXXI

Tabelle A4: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1 XXXII

Tabelle A5: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2 XXXIII

Tabelle A6: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3 XXXIV

Tabelle A7: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4 XXXV

Tabelle A8: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1 XXXVI

Tabelle A9: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2 XXXVII

Tabelle A10: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3 XXXVIII

Tabelle A11: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 4 XXXIX

Tabelle A12: Anzahl der Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten XL

Tabelle A13: Anzahl der Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1 XLI

Tabelle A14: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1 XLII

Tabelle A15: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2 XLIII

Tabelle A16: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3 XLIV

Tabelle A17: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4 XLV

Tabelle A18: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1 XLVI

Tabelle A19: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2 XLVII

Tabelle A20: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3..... XLVIII
Tabelle A21: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 4..... XLVIII

Abbildungsverzeichnis der Szenarien

Abbildung B1: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für das Szenario B1 der Beobachtungsdaten und der drei Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode XLIX
Abbildung B2: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für das Szenario B1 der Beobachtungsdaten und der drei Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode LI
Abbildung B3: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für das Szenario A2 der Beobachtungsdaten und der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode LIII
Abbildung B4: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für das Szenario A2 der Beobachtungsdaten und der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode LV

Tabellenverzeichnis der Szenarien

Tabelle B1: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für die Beobachtungsdaten XLIX
Tabelle B2: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage L
Tabelle B3: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage L
Tabelle B4: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage L
Tabelle B5: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage L
Tabelle B6: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für die Beobachtungsdaten..... LI
Tabelle B7: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LII

~ Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse ~

Tabelle B8: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LII

Tabelle B9: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LII

Tabelle B10: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LII

Tabelle B11: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für die Beobachtungsdaten LIII

Tabelle B12: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LIV

Tabelle B13: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LIV

Tabelle B14: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LIV

Tabelle B15: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LIV

Tabelle B16: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für die Beobachtungsdaten LV

Tabelle B17: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LVI

Tabelle B18: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LVI

Tabelle B19: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LVI

Tabelle B20: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage LVI

A Anhang

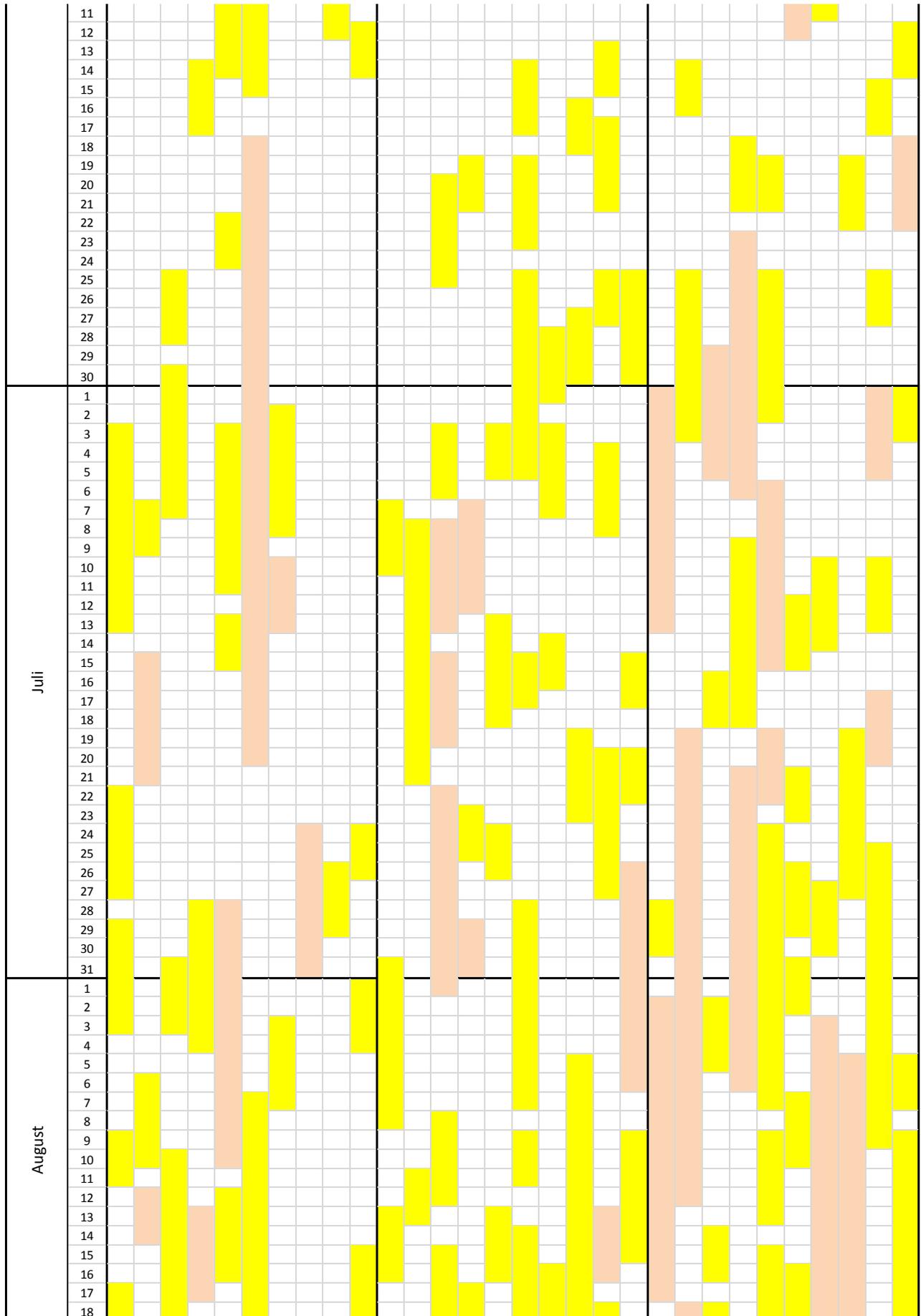
A.1 Aufeinanderfolgende Hitzetage

A.1.1 Wiesbaden

A.1.1.1 Beobachtungsdaten

Monat	Tag	1971-1980	1981-1990	1991-2000
April	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
Mai	30			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
31				
Juni	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~

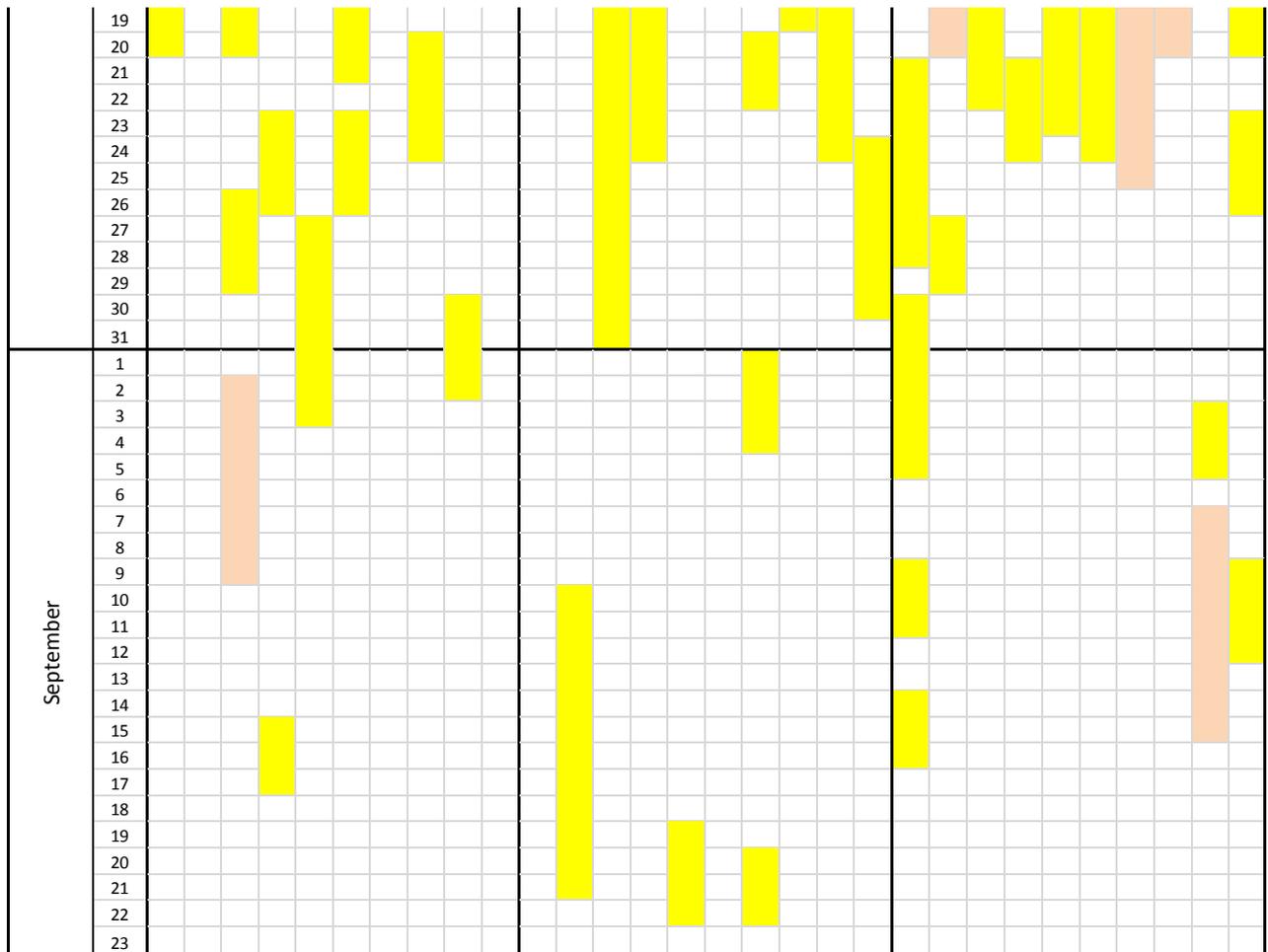


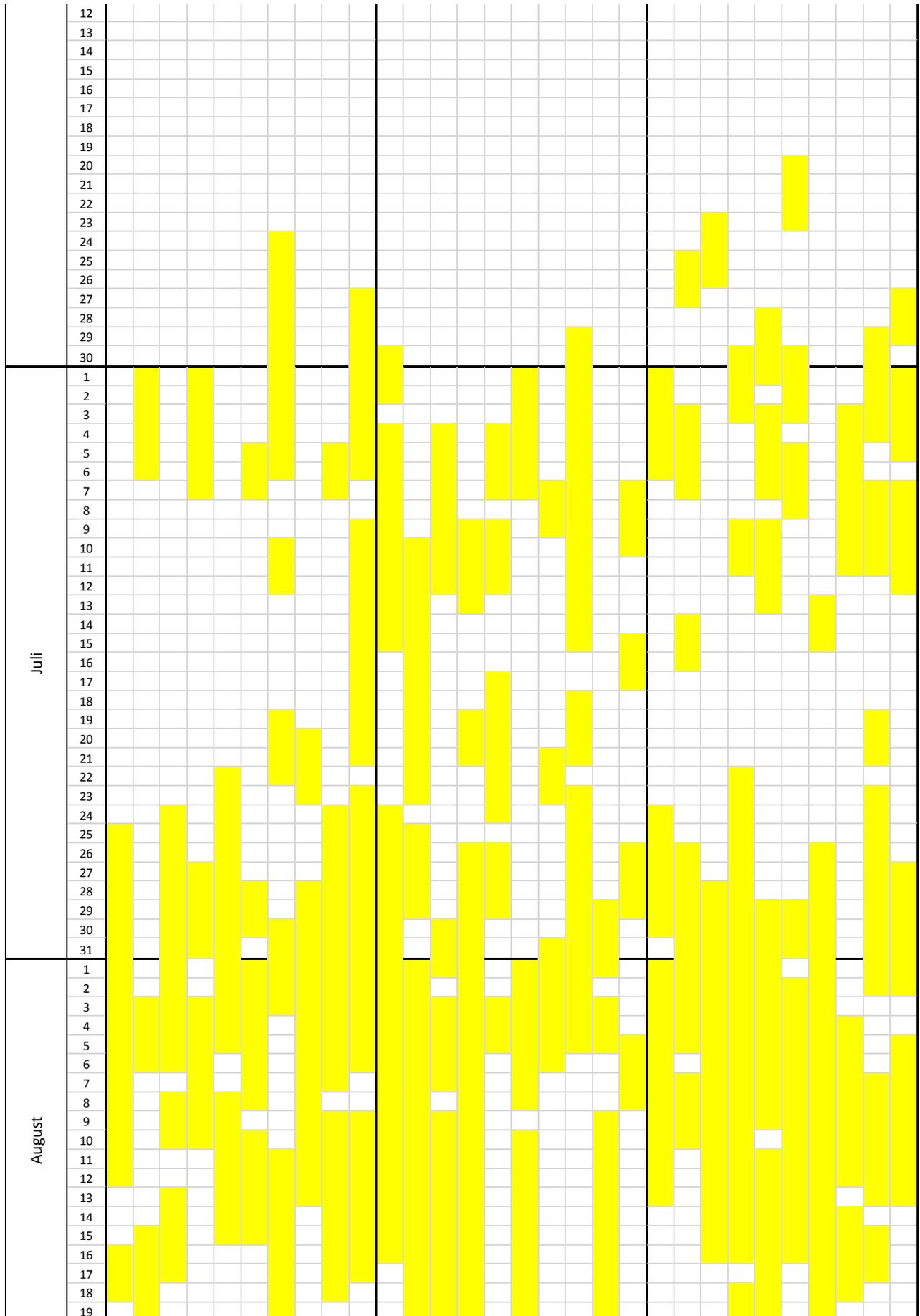
Abbildung A1: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für die Beobachtungsdaten

A.1.1.2 WettReg

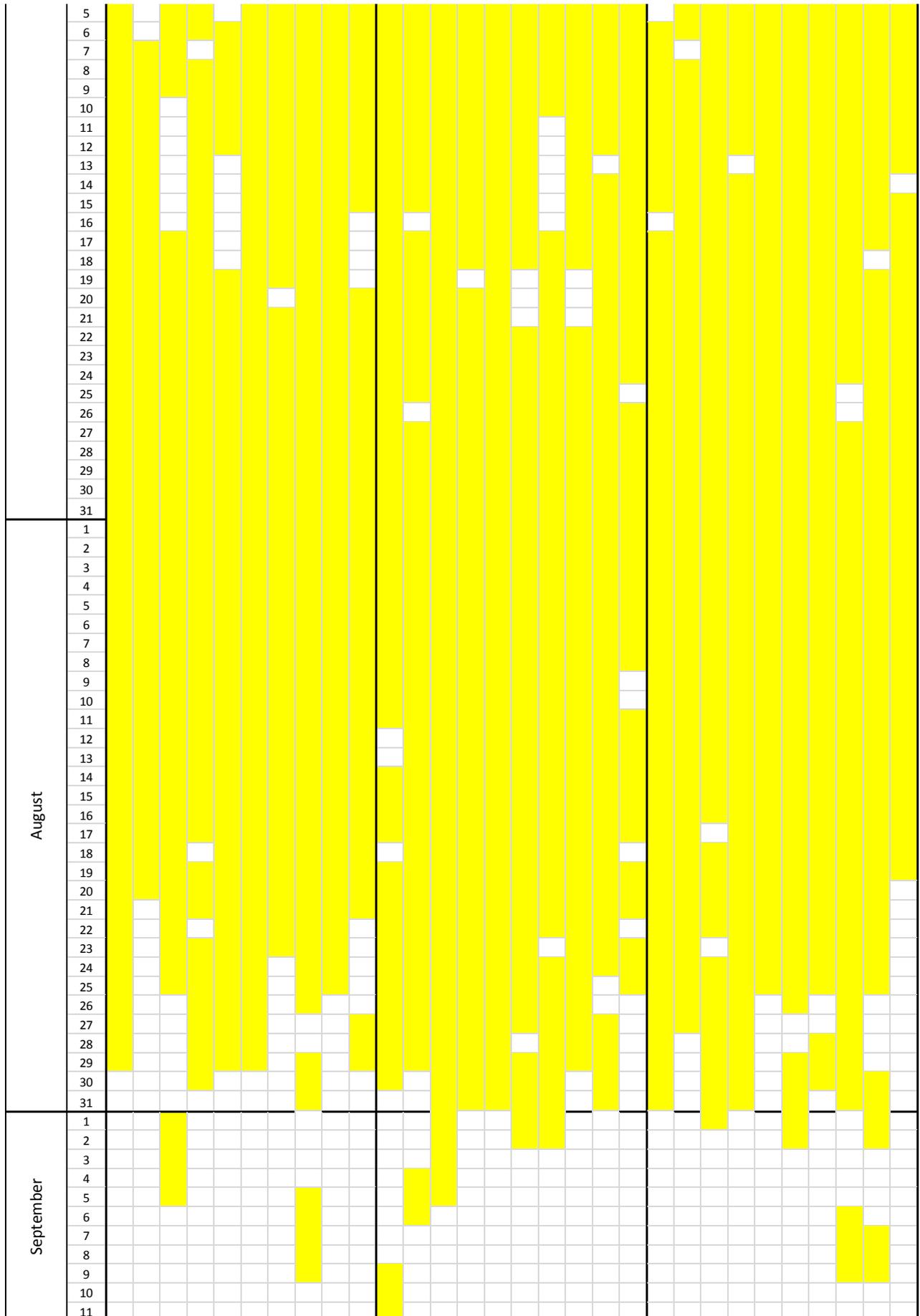
A.1.1.2.1 Referenzperiode

Monat	Tag	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Mai	20			
	21			Yellow
	22			
	23			Yellow
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			Yellow
	31			
Juni	1			
	2			
	3			
	4			
	5			Yellow
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			

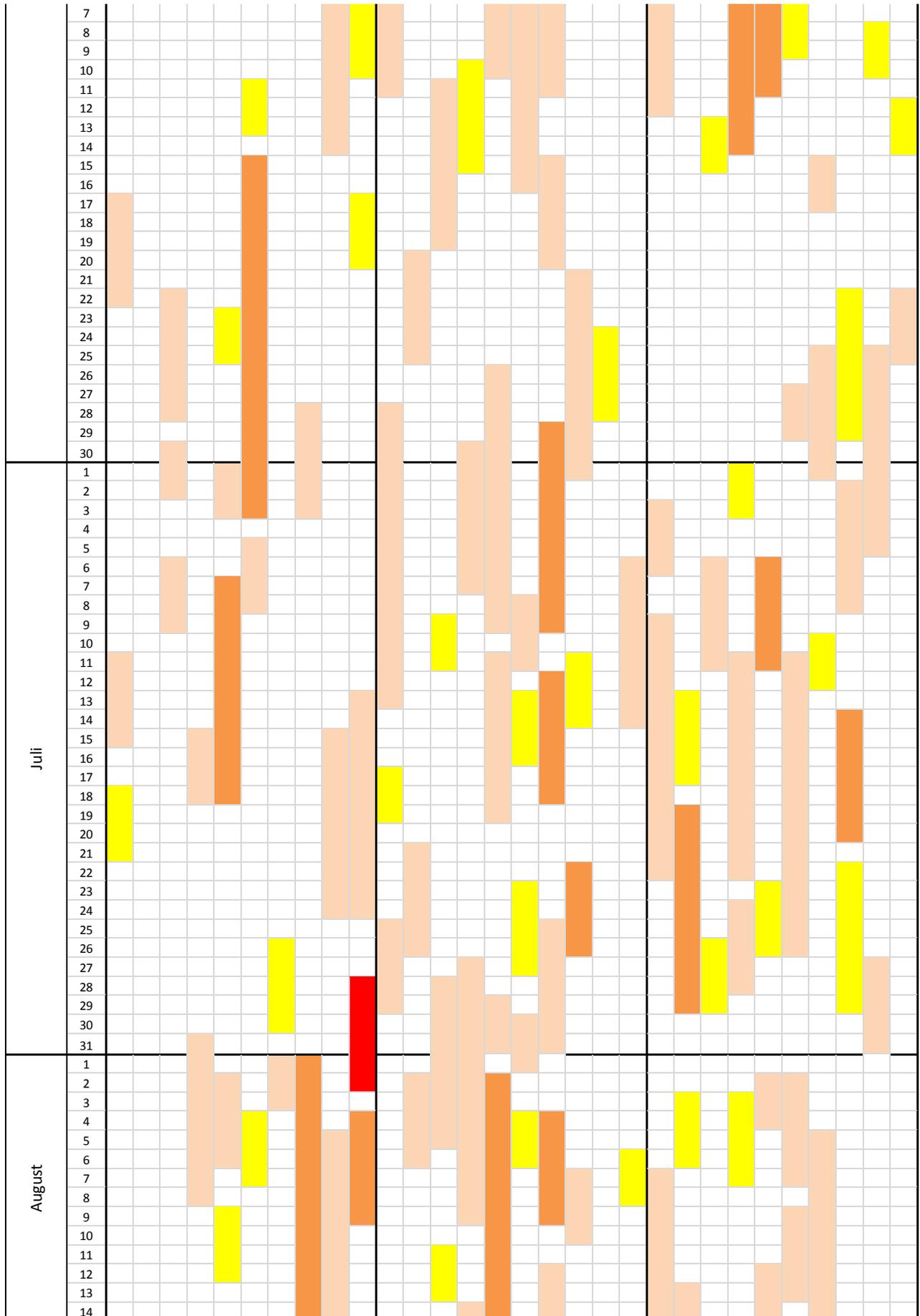
~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~

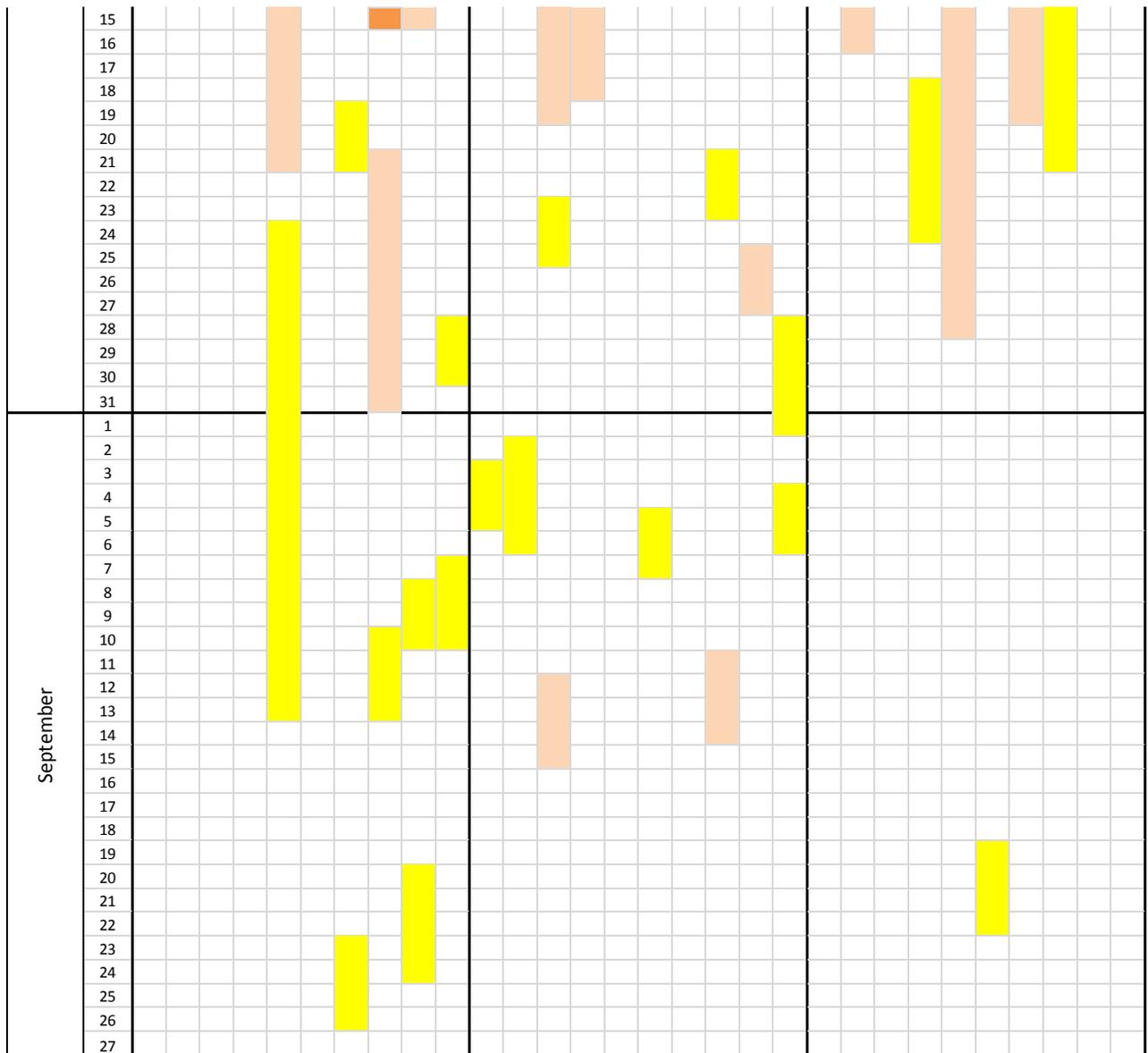
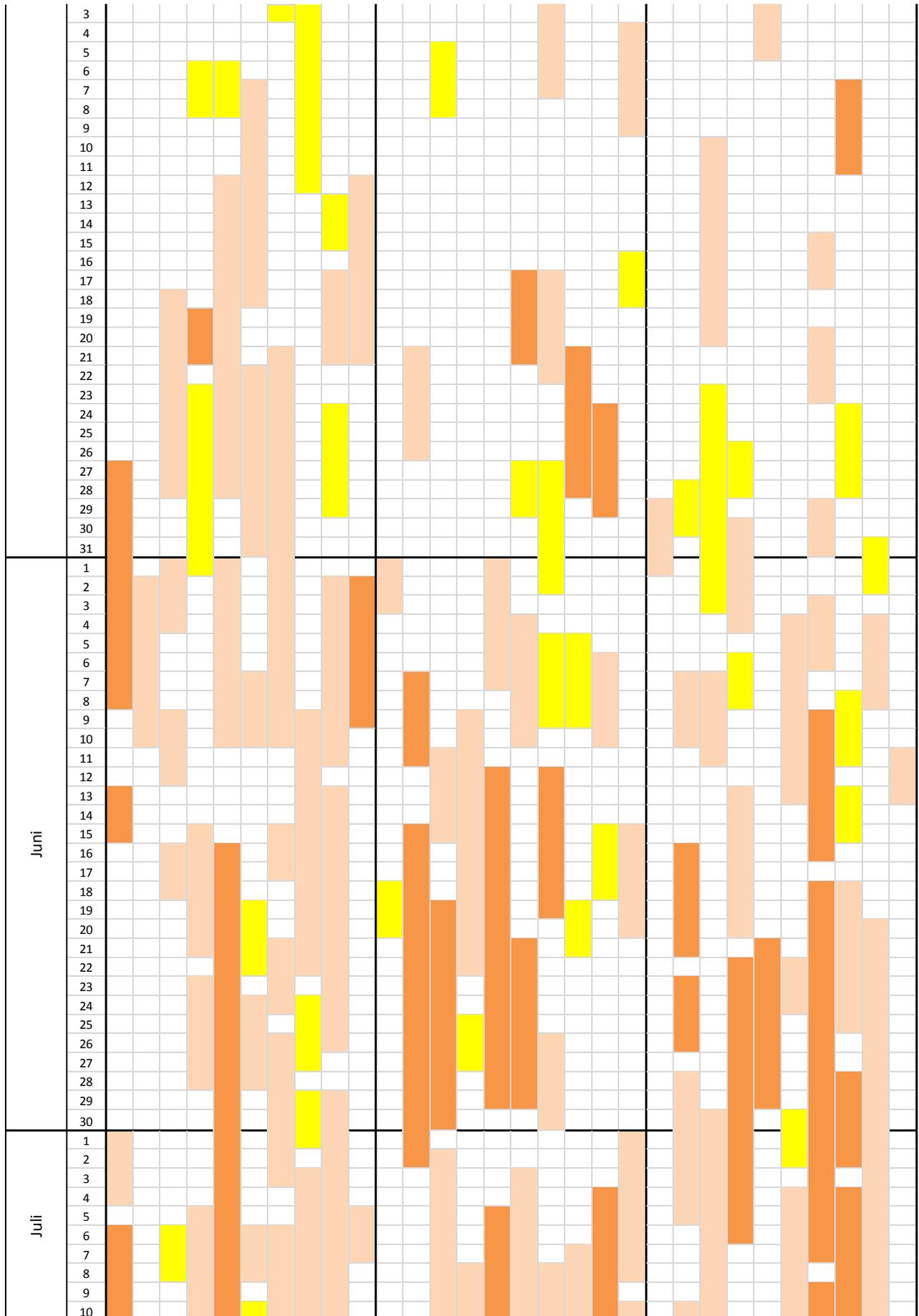


Abbildung A4: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für CCLM

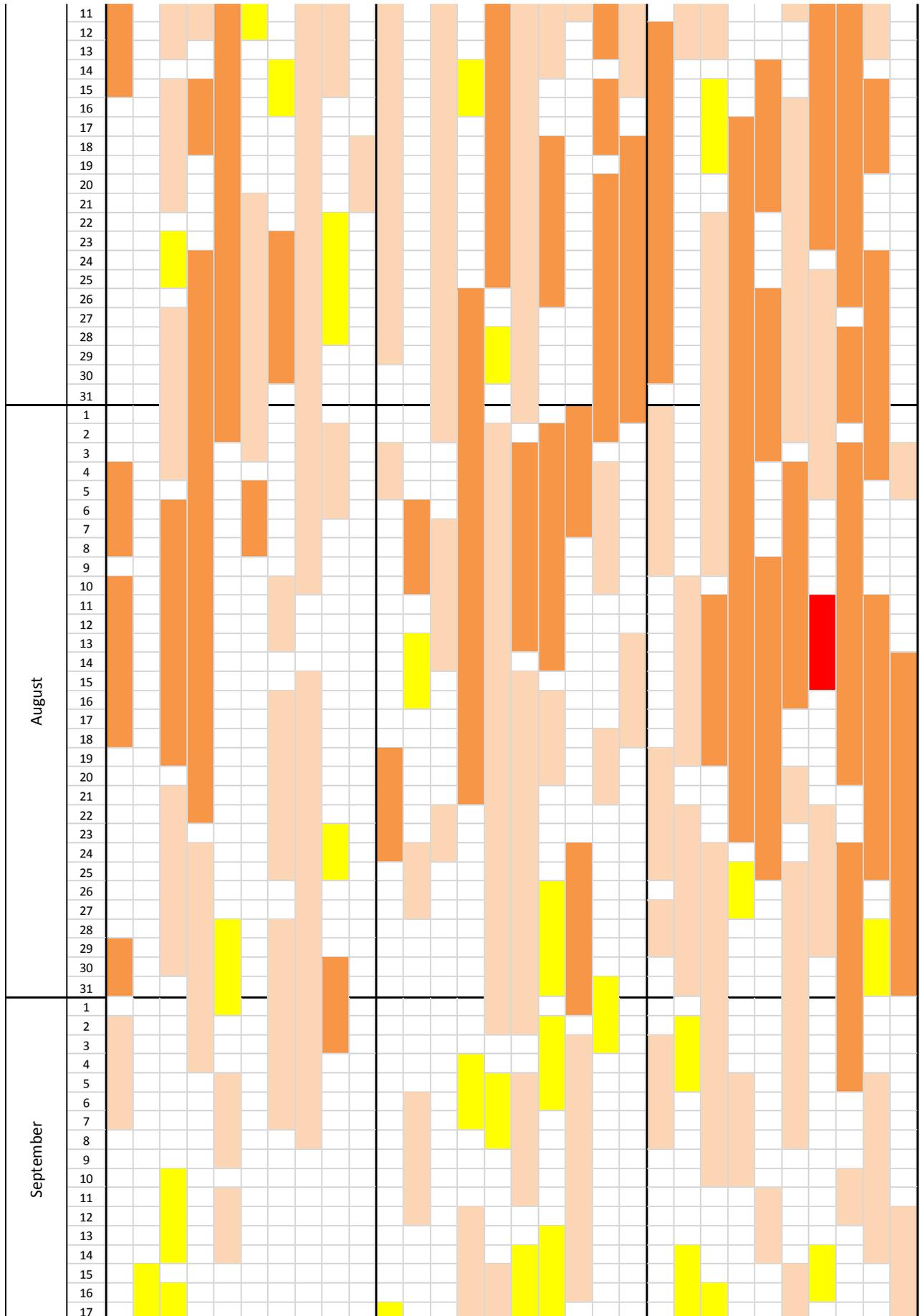
A.1.1.3.2 Zukunftsperiode

Monat	Tag	2071-2080	2081-2090	2091-2100
April	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20		Yellow	
	21			Yellow
	22			
	23			
	24			Yellow
	25			
26				
27			Yellow	
28				
29		Yellow		
30		Yellow		
Mai	1	Yellow		
	2	Yellow		

~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~

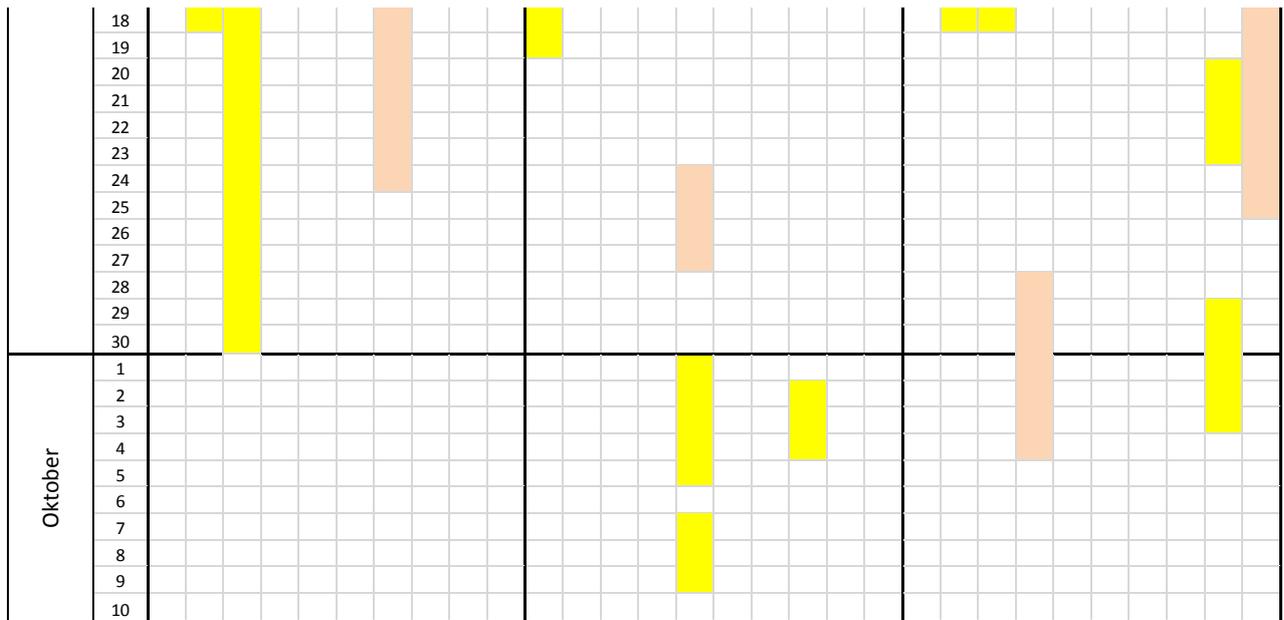
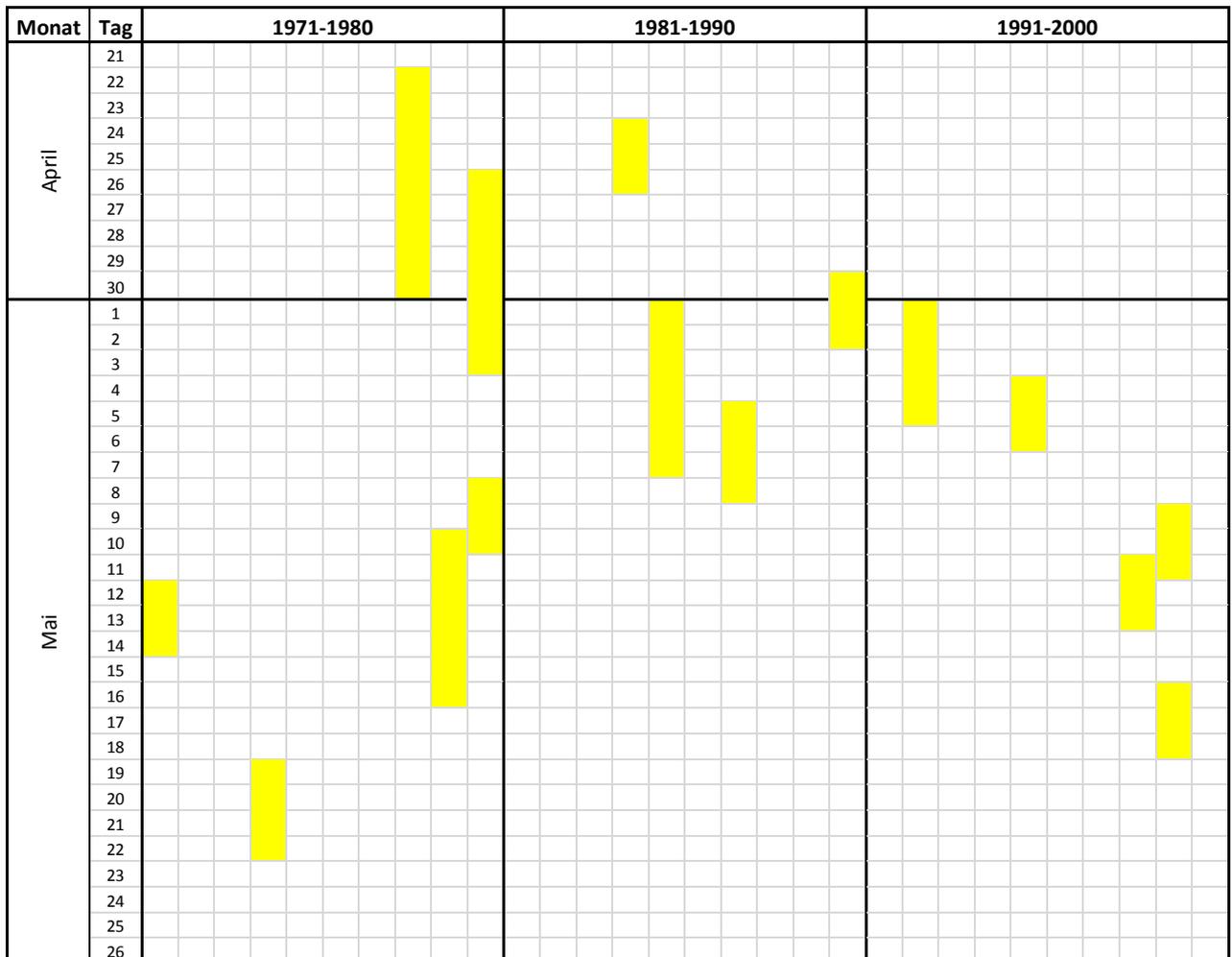


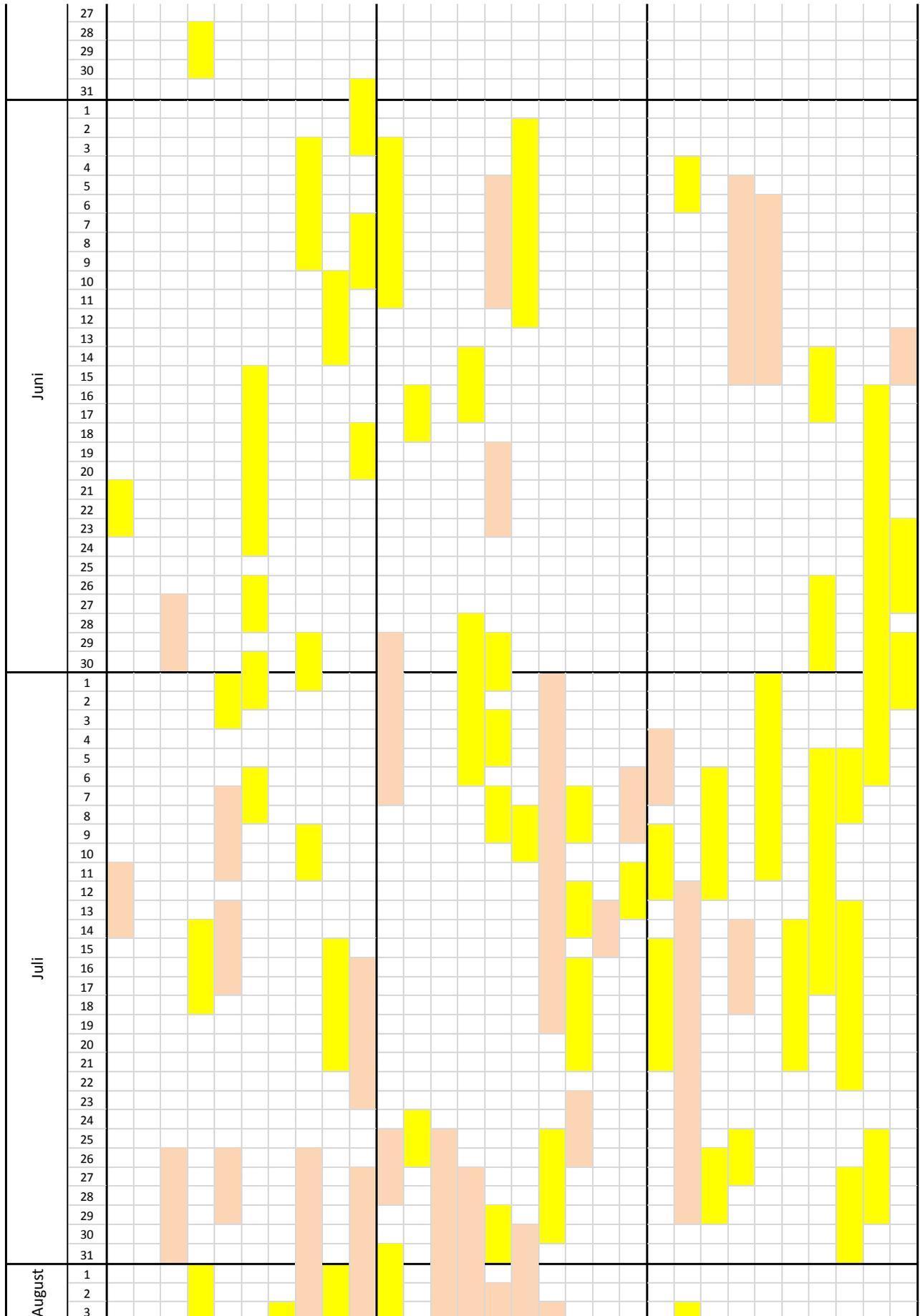
Abbildung A5: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für CCLM

A.1.1.4 REMO

A.1.1.4.1 Referenzperiode



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~

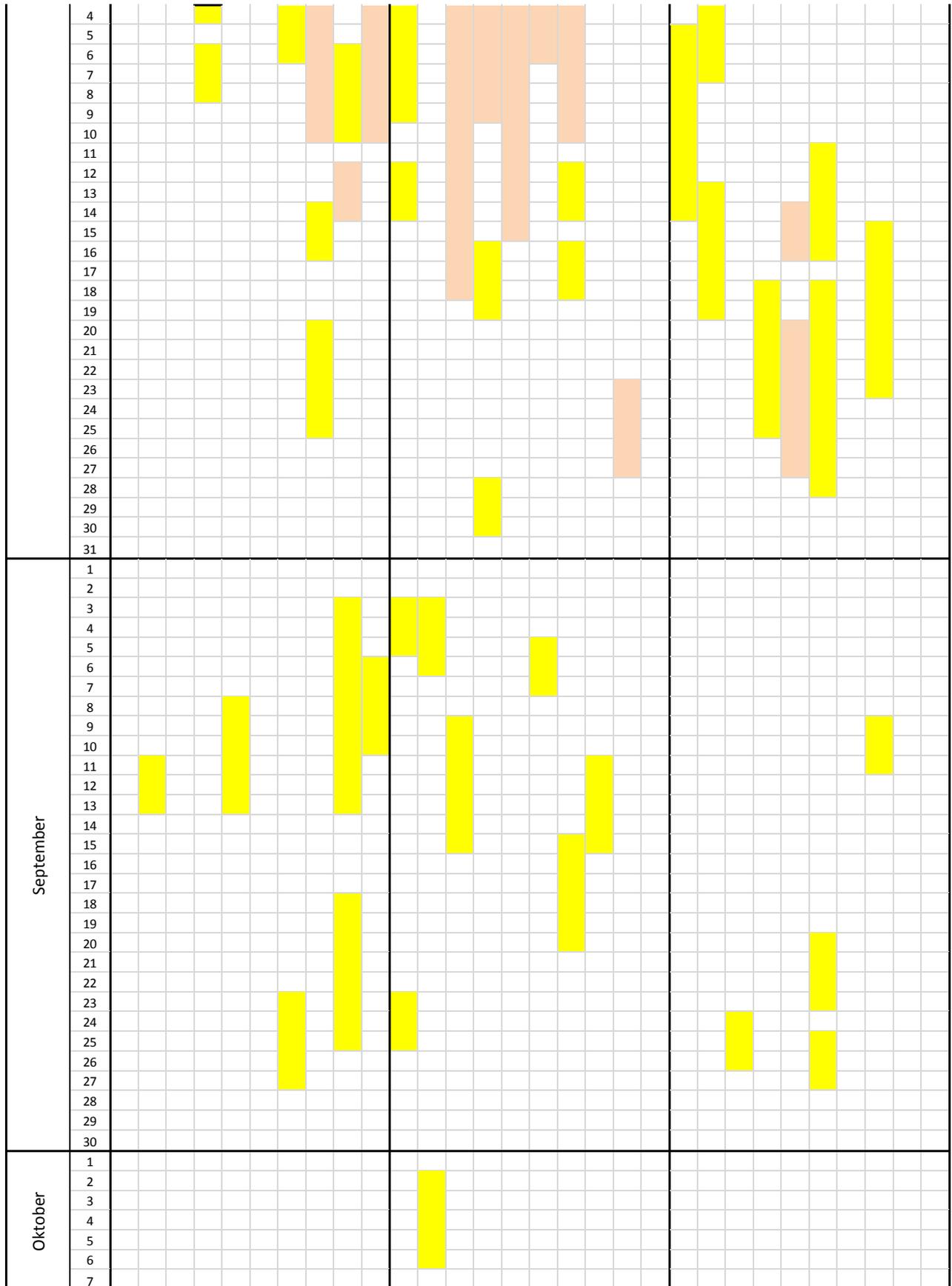
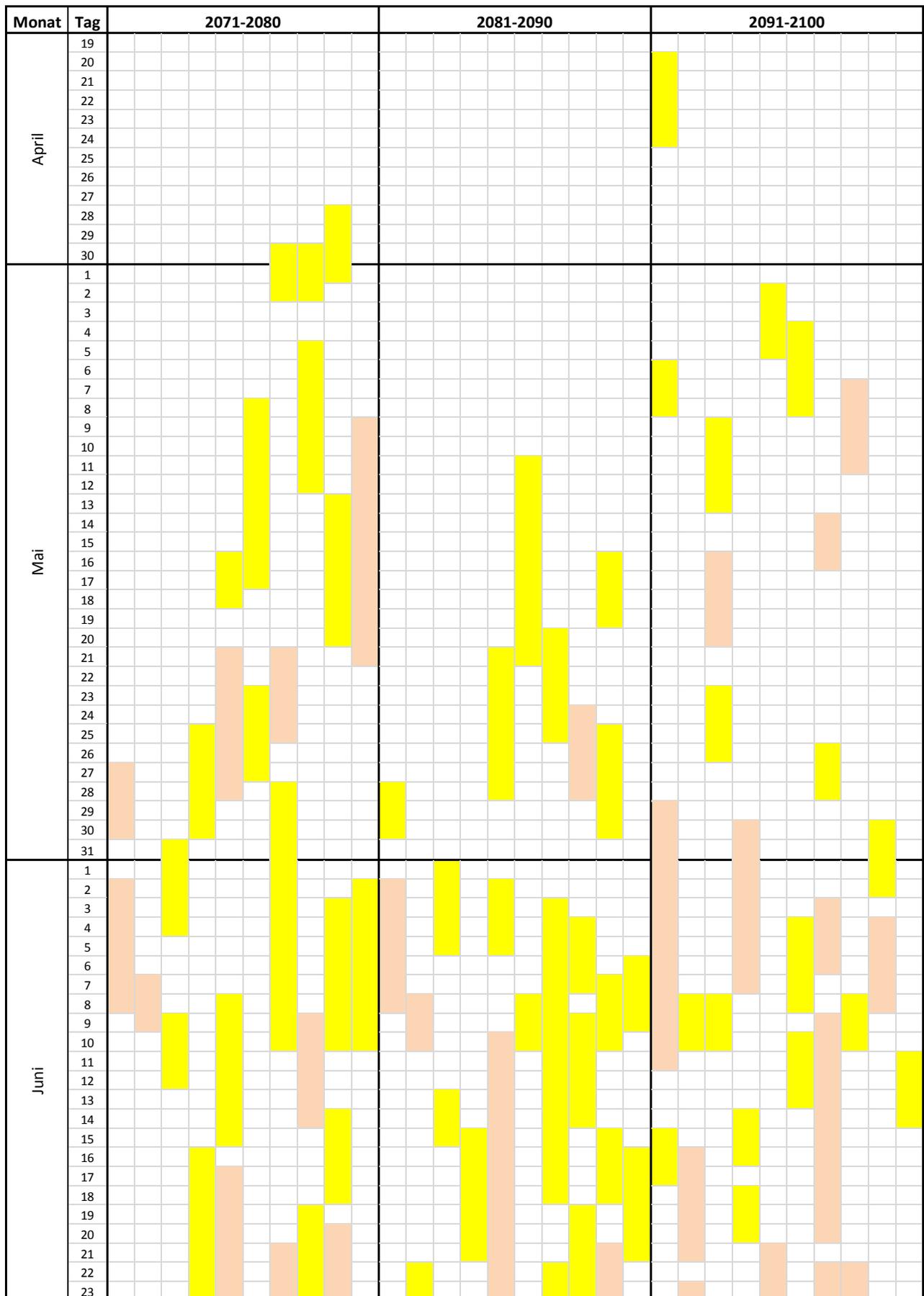
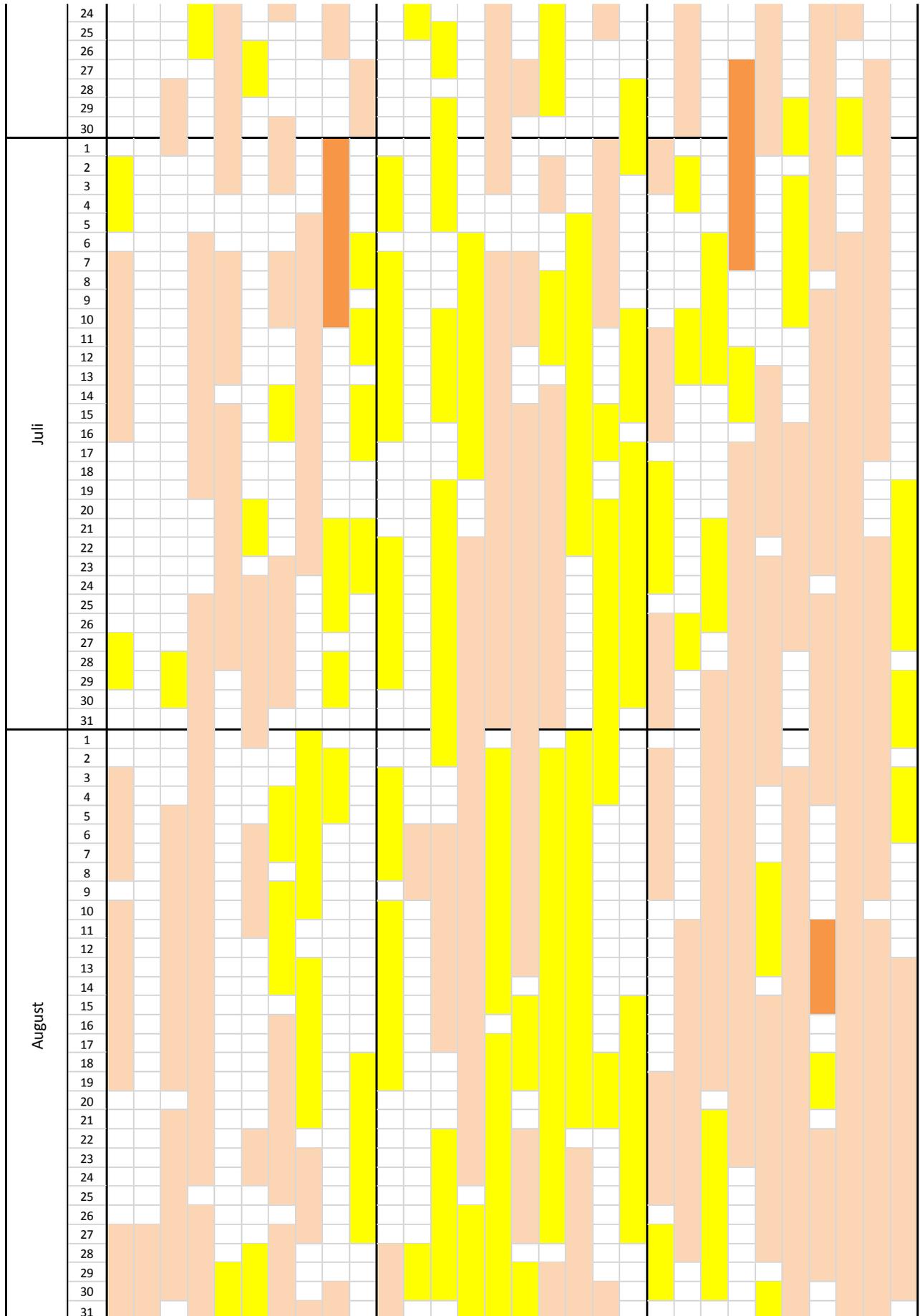


Abbildung A6: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für REMO

A.1.1.4.2 Zukunftsperiode



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wiesbaden ~

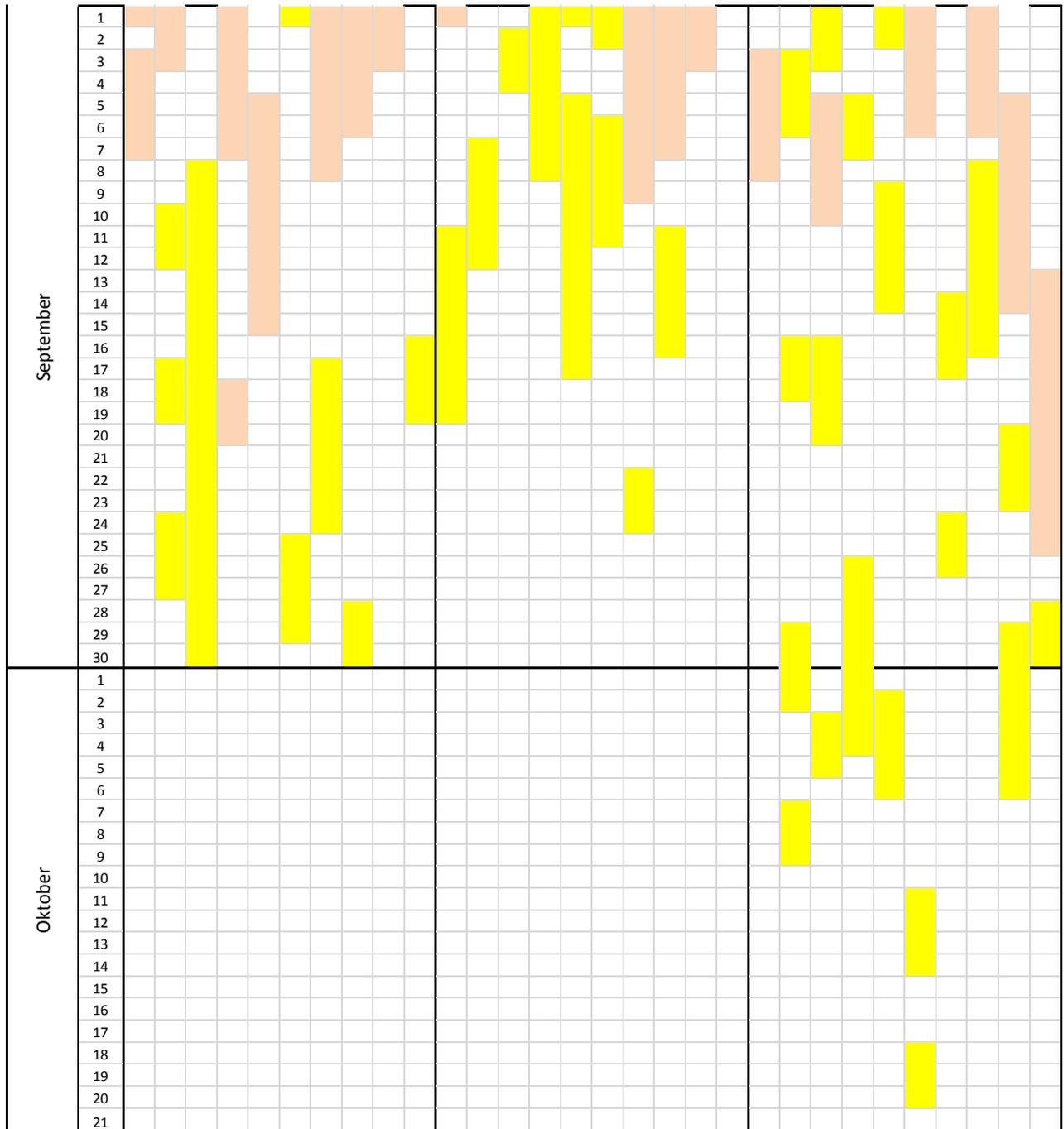


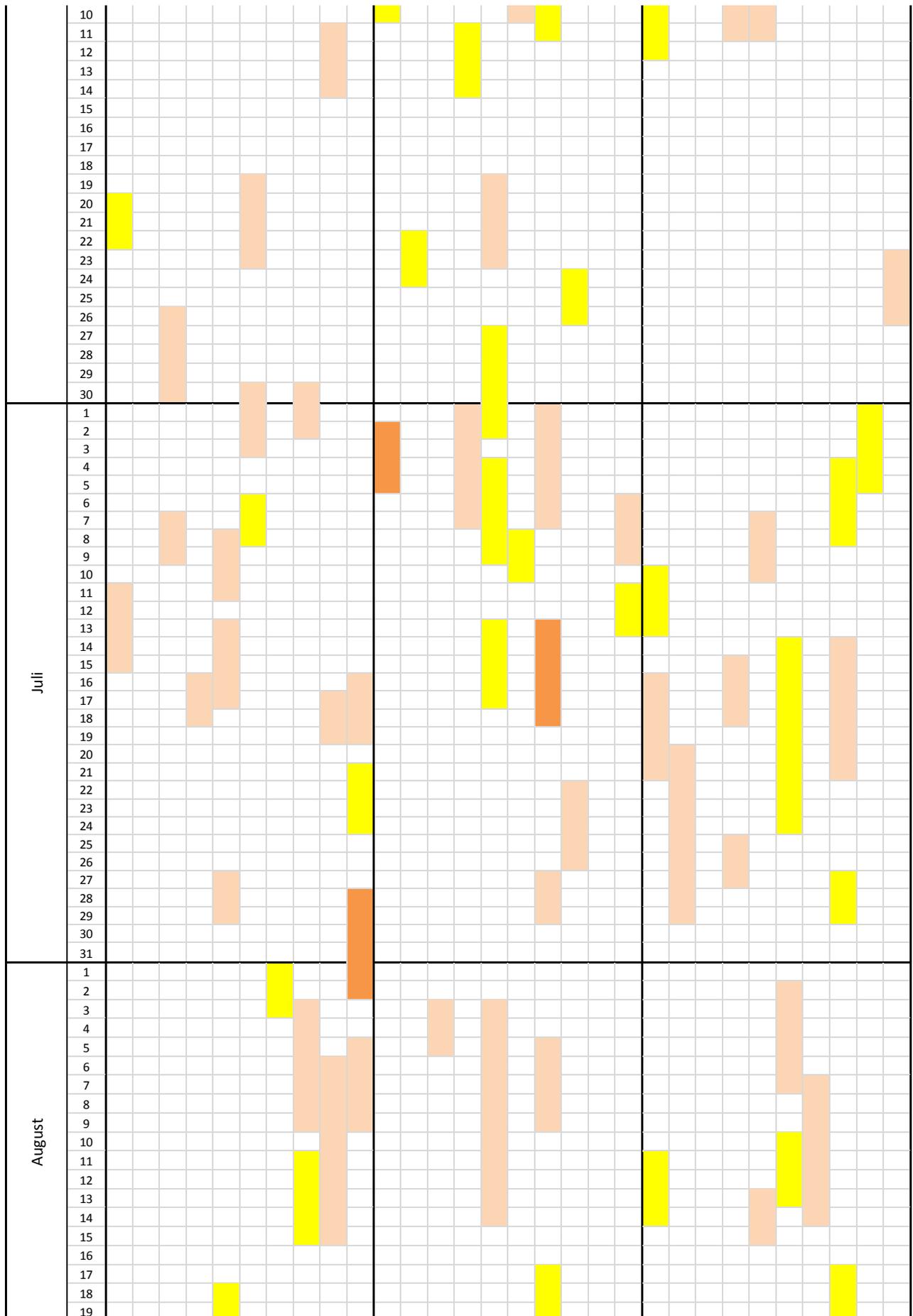
Abbildung A7: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für REMO

A.1.2 Wasserkuppe

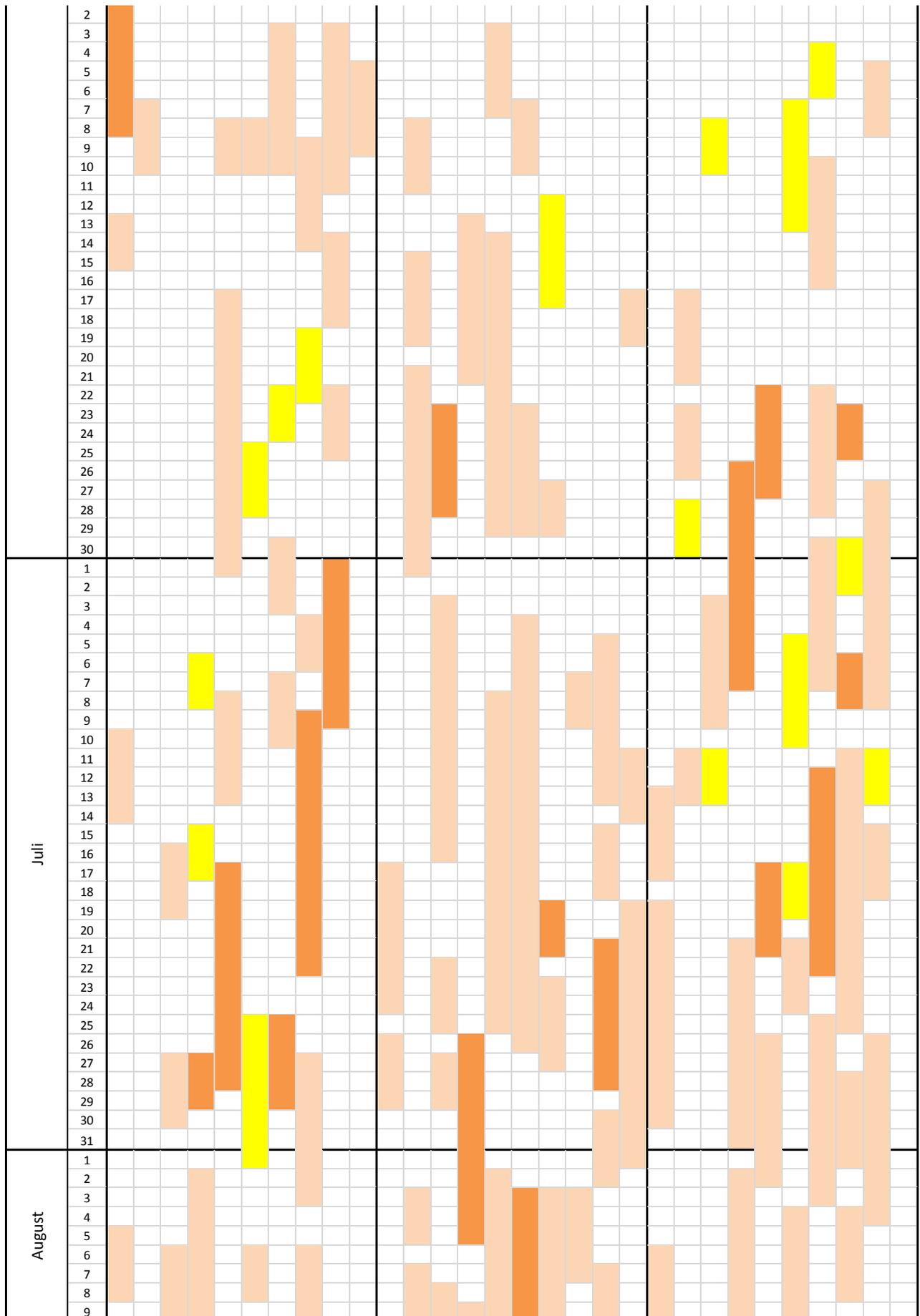
A.1.2.1 Beobachtungsdaten

Monat	Tag	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Juni	1			
	2		■	
	3			
	4			
	5			
	6		■	
	7			
	8			■
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	Juli	1		
2				■
3				
4			■	
5				
6				
7				
8				
9				■
10				
11				■
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18			■	
19				
20			■	
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
August	1			■
	2			■

~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~

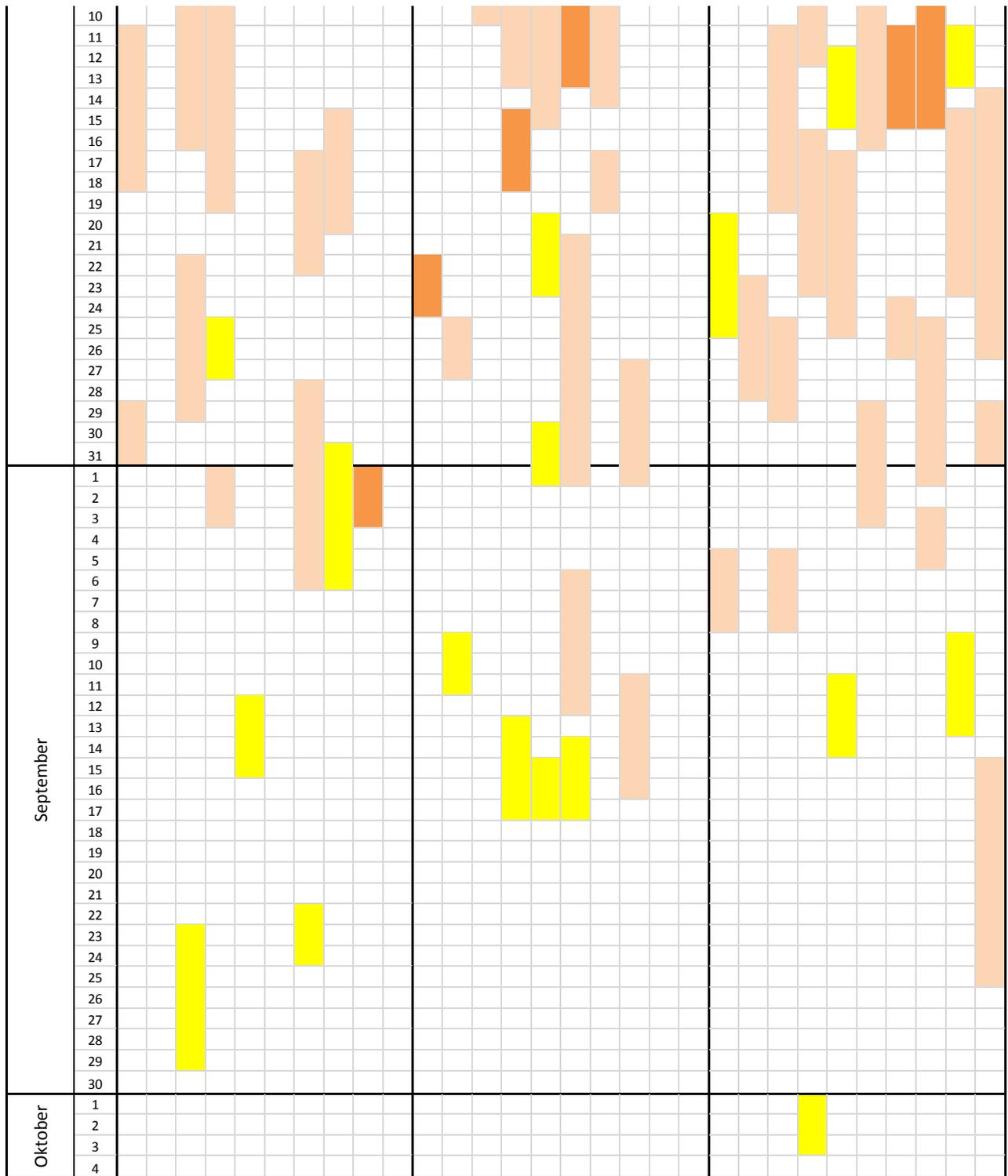


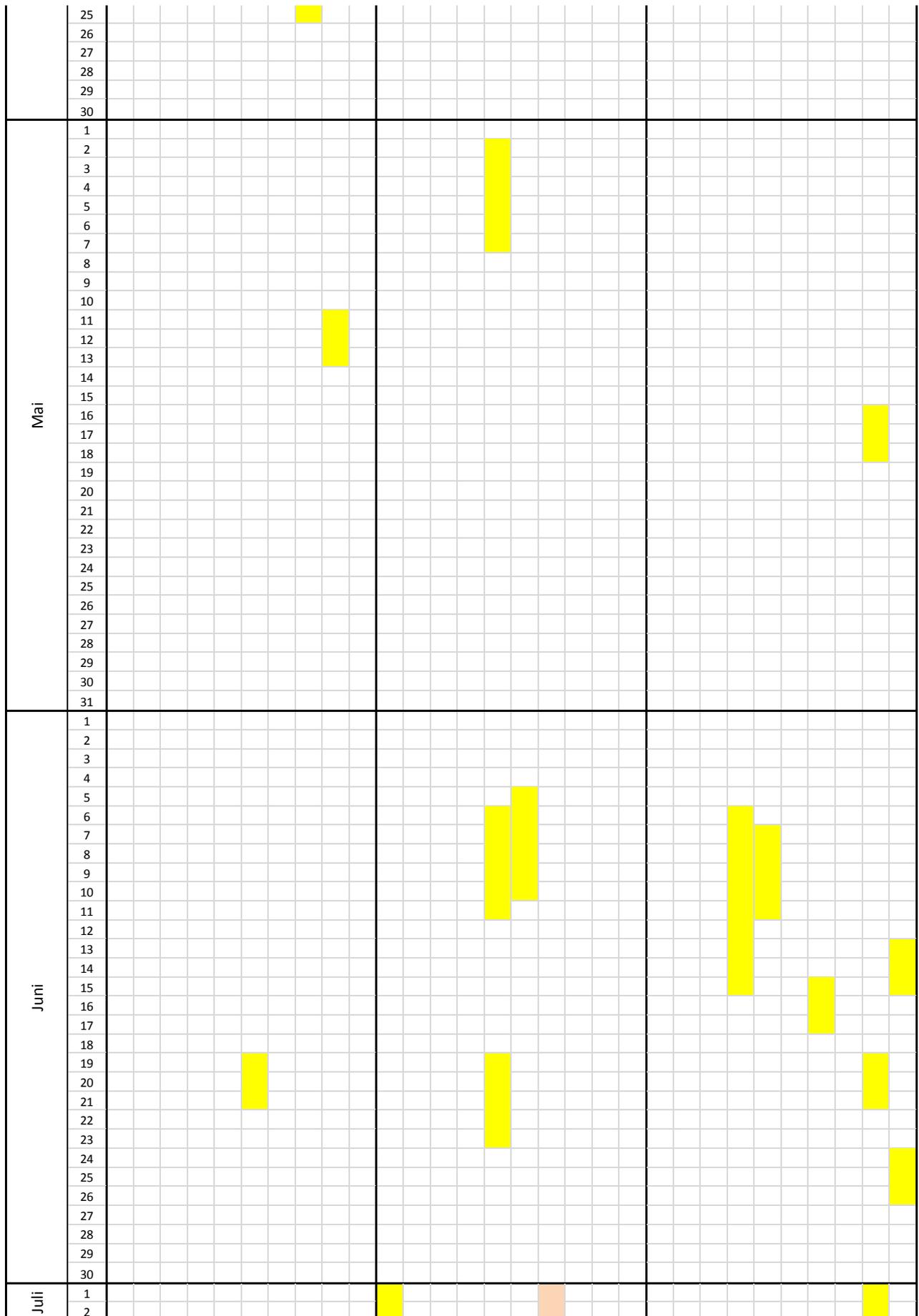
Abbildung A10: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für CCLM

A.1.2.4 REMO

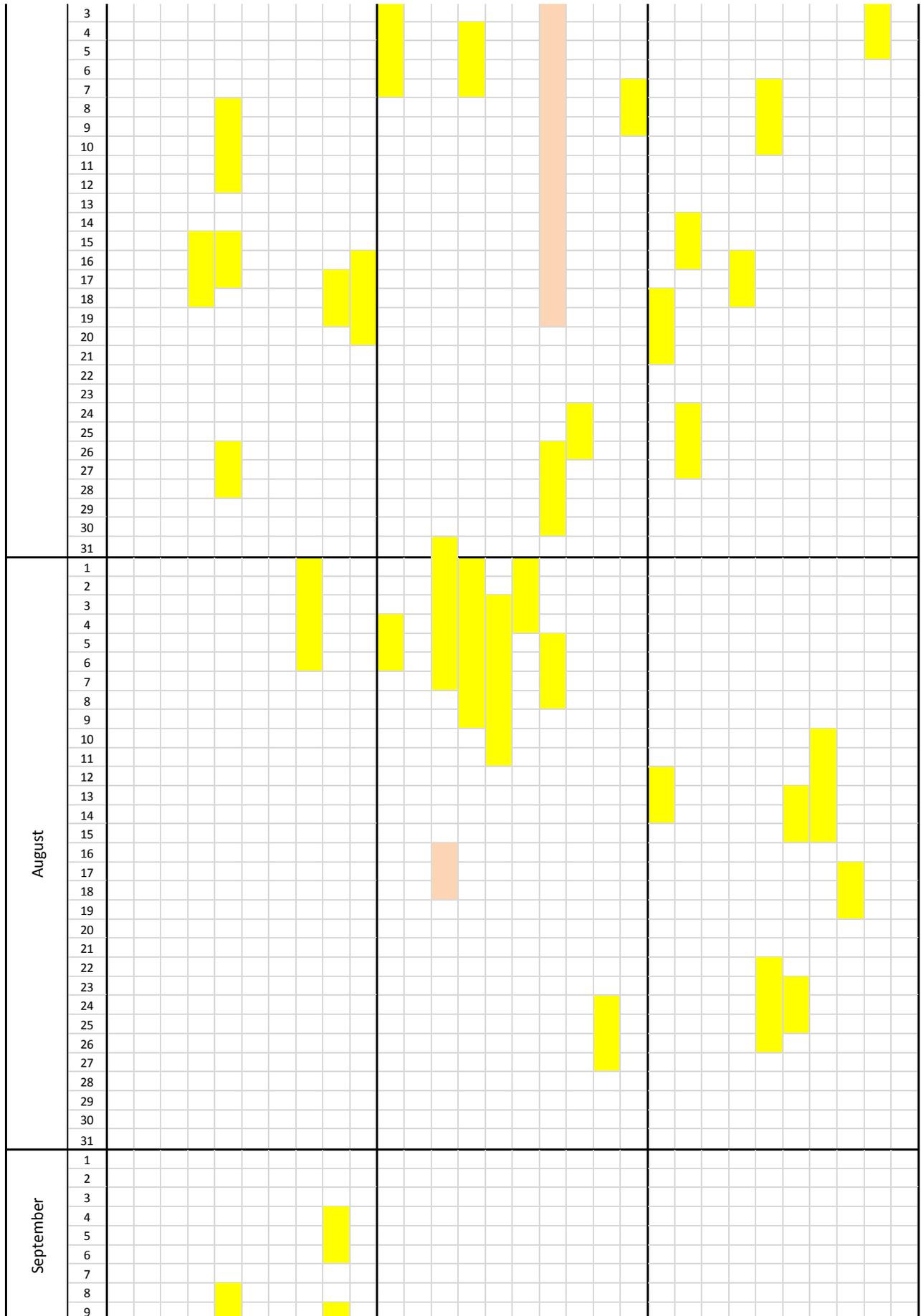
A.1.2.4.1 Referenzperiode

Monat	Tag	1971-1980	1981-1990	1991-2000
April	22			
	23			
	24			

~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~

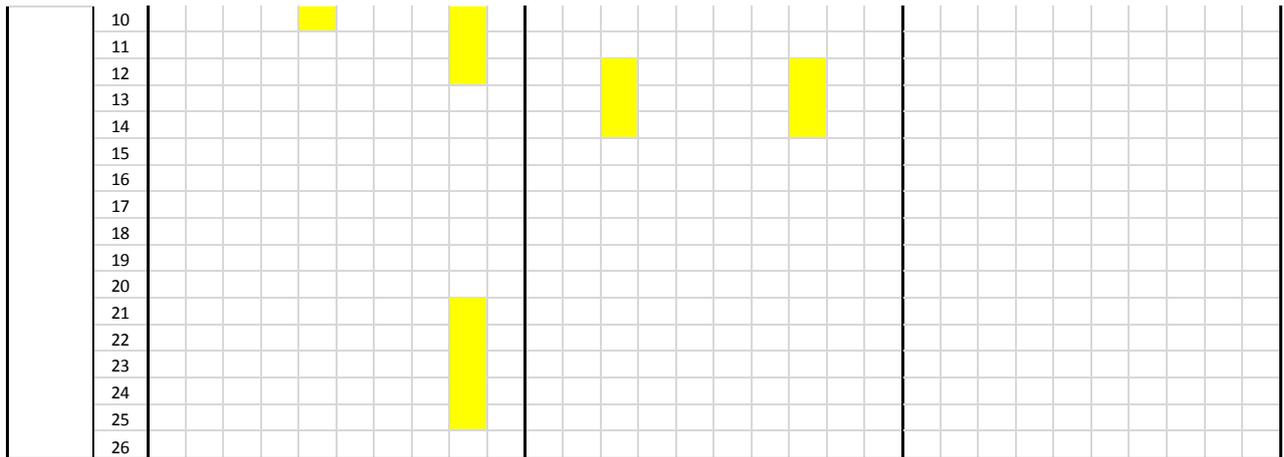
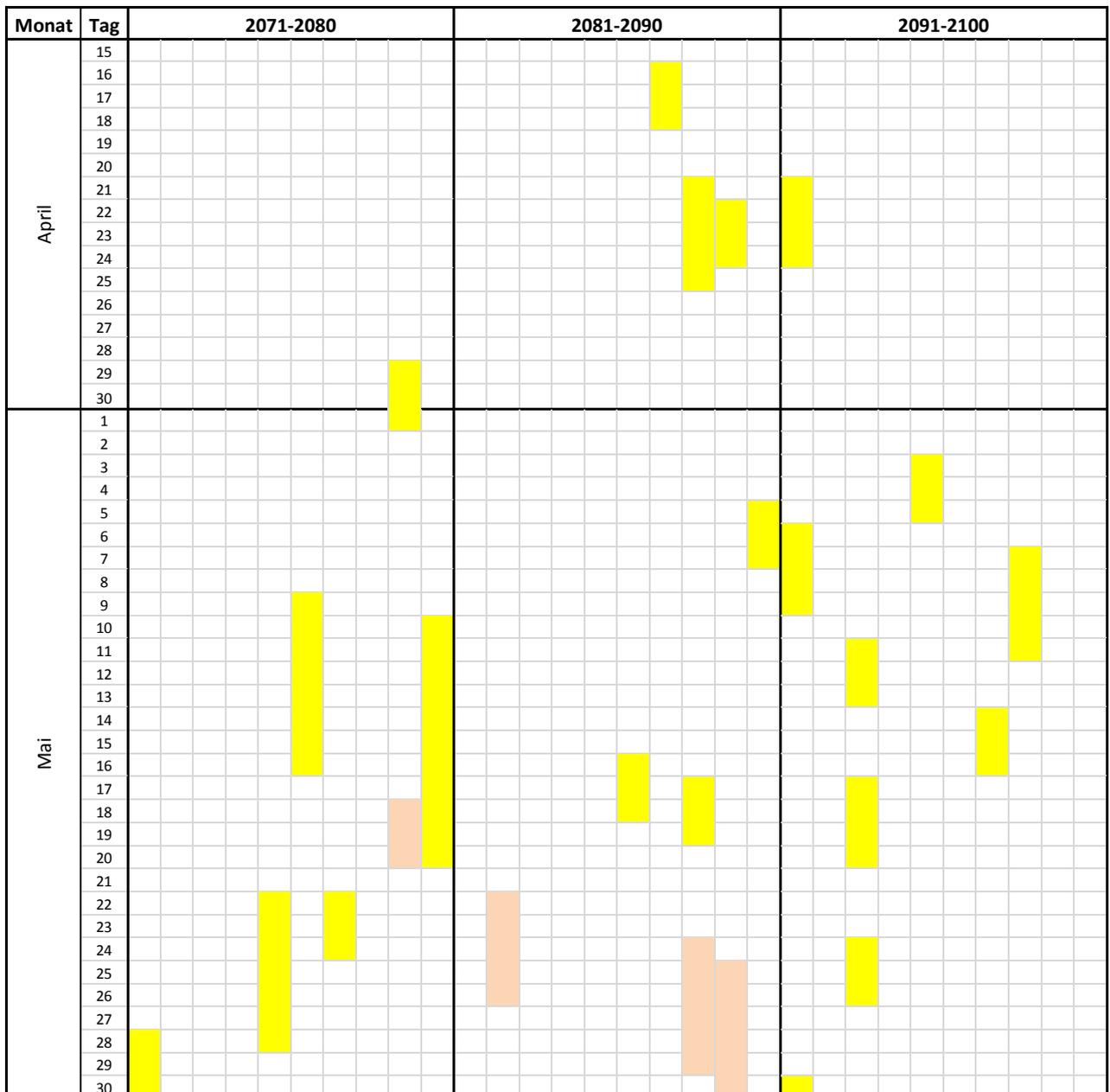
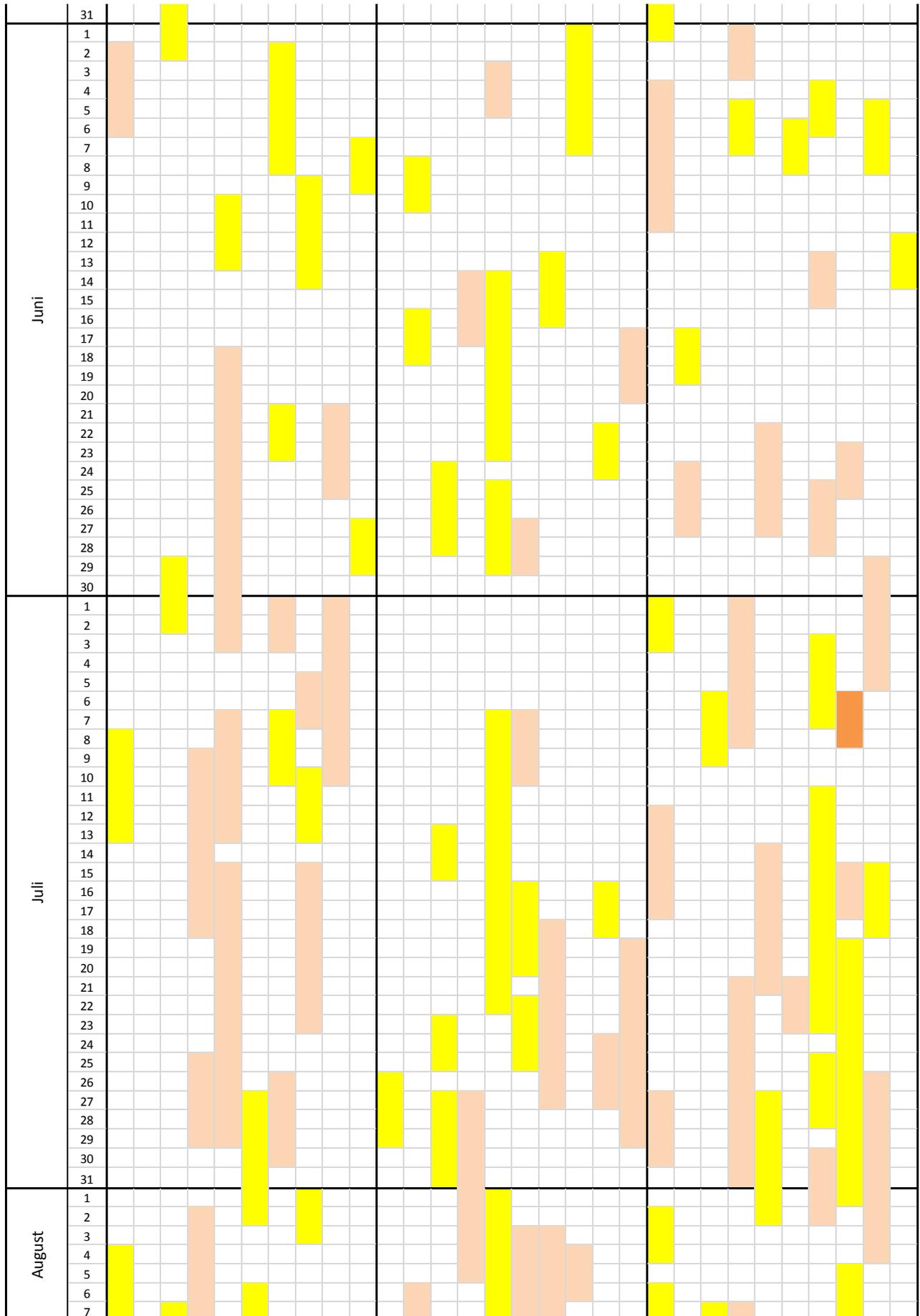


Abbildung A11: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Referenzperiode für REMO

A.1.2.4.2 Zukunftsperiode



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~



~ Aufeinanderfolgende Hitzetage - Wasserkuppe ~

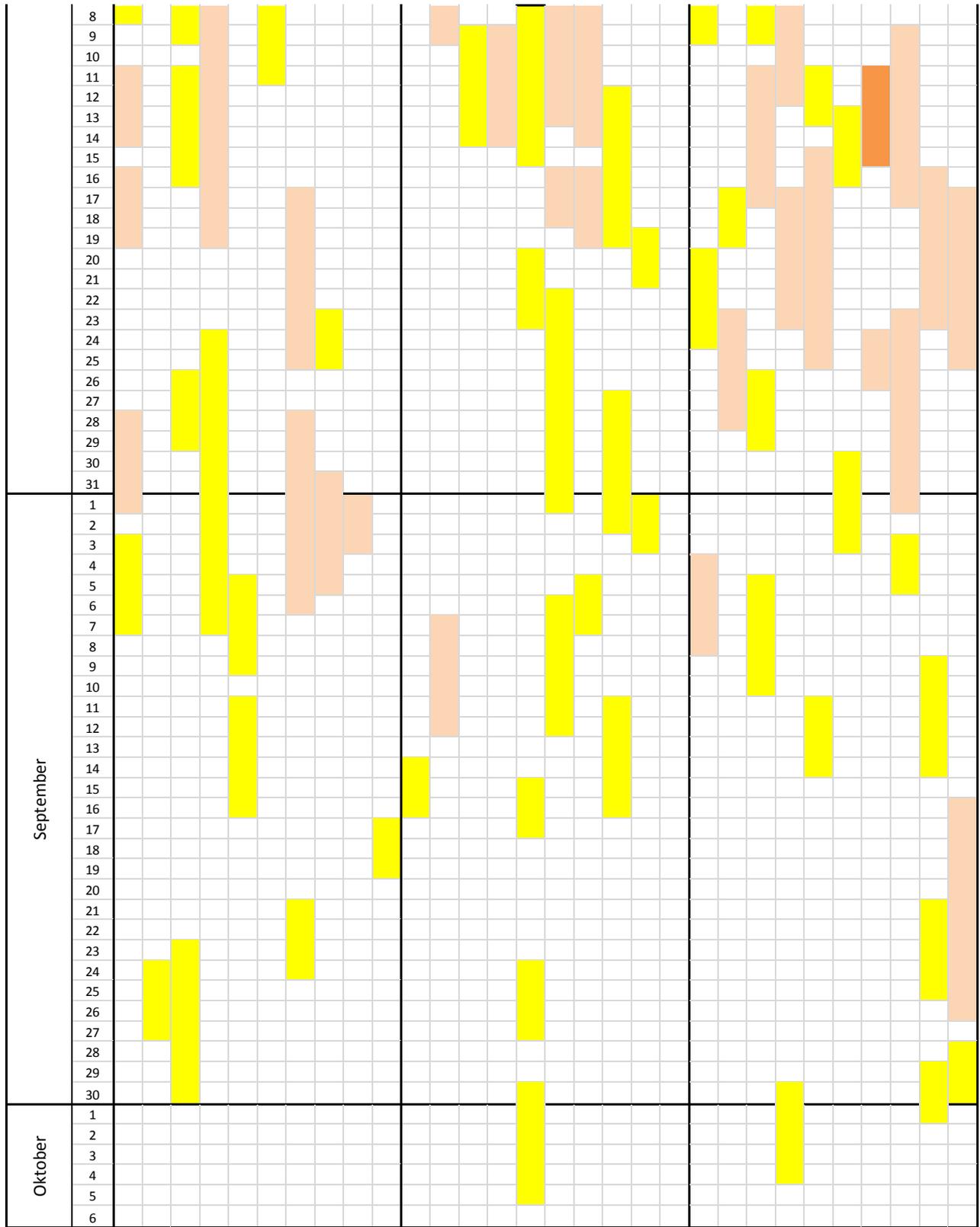


Abbildung A12: Aufeinanderfolgende Belastungstage der Zukunftsperiode für REMO

A.2 Verteilung der Belastungstage pro Monat

A.2.1 Wiesbaden

A.2.1.1 Beobachtung

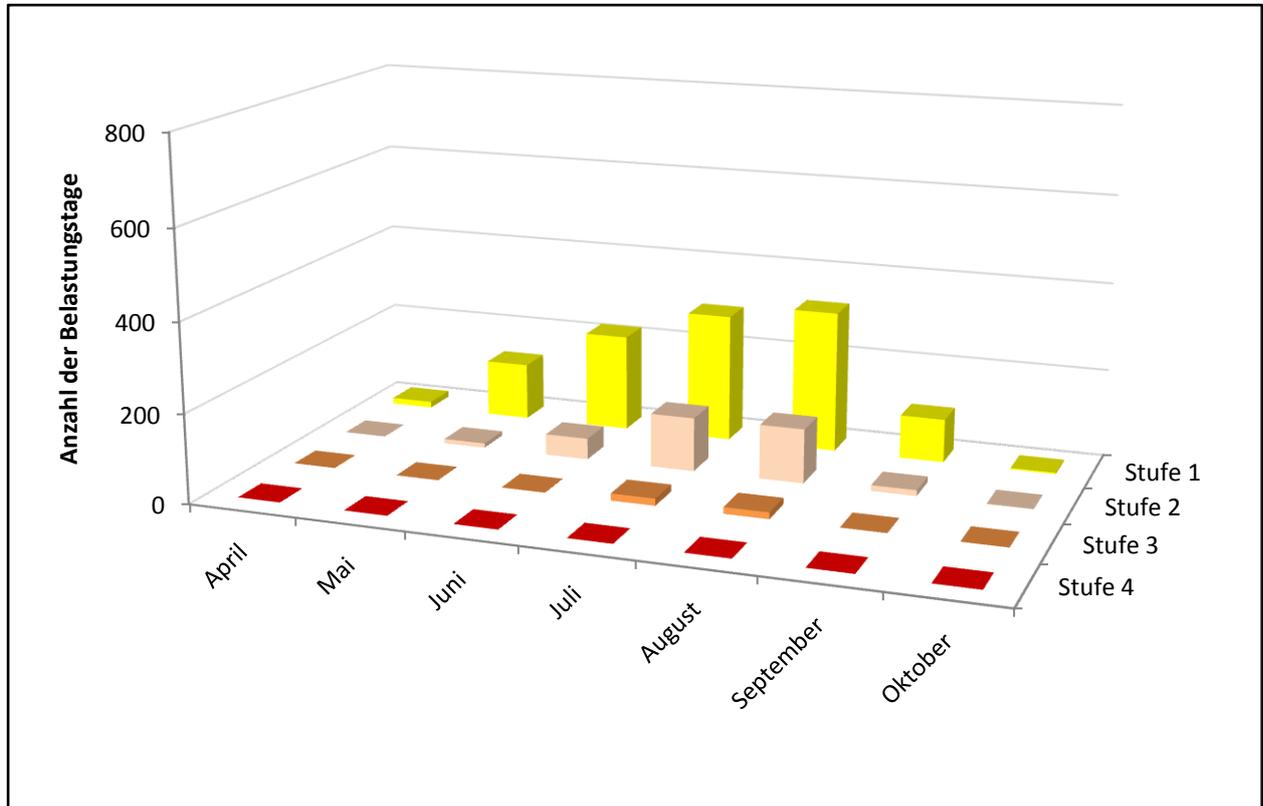


Abbildung A13: Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten

Tabelle A1: Anzahl der Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten

	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
Stufe 1	14	130	221	292	322	99	3
Stufe 2	0	10	48	122	123	13	0
Stufe 3	0	0	1	16	15	0	0
Stufe 4	0	0	0	0	0	0	0

A.2.1.2 WettReg

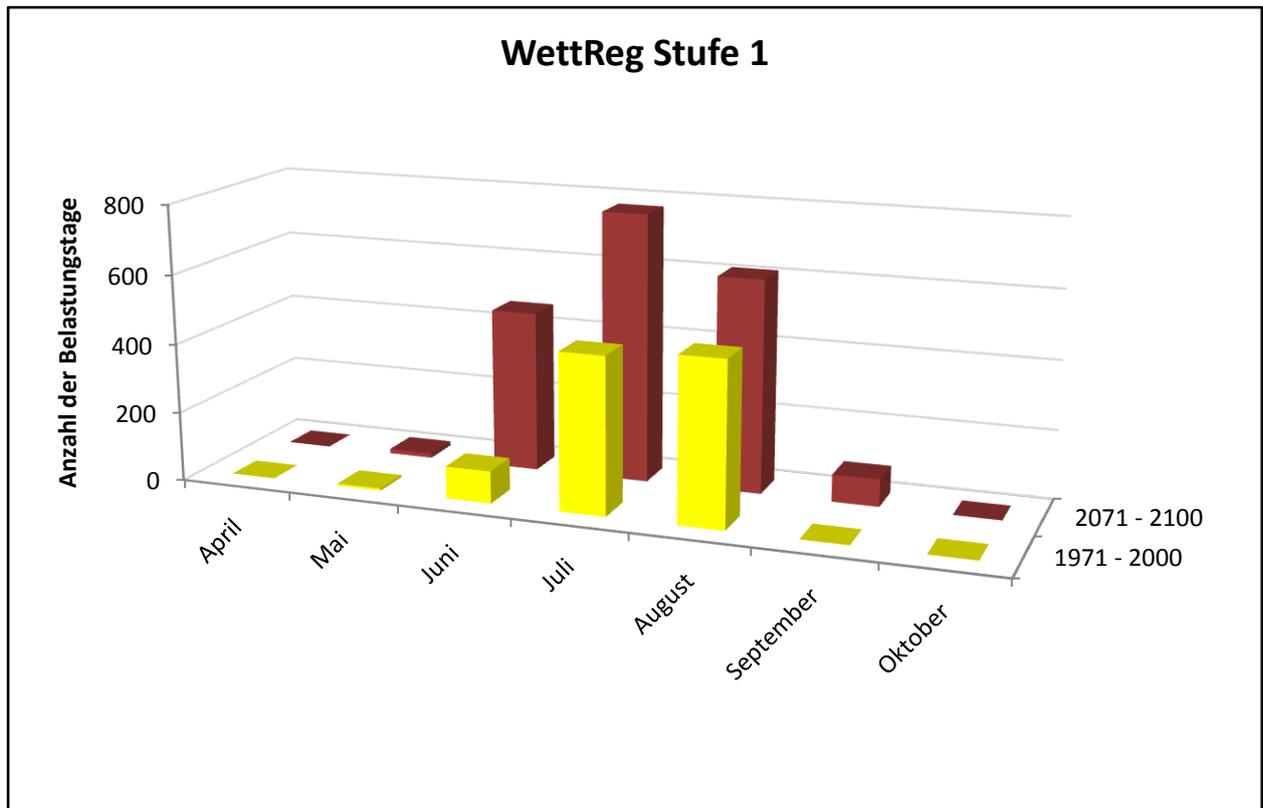


Abbildung A14: Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1

Tabelle A2: Anzahl der Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1

Stufe 1	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	6	93	452	473	1	0
2071 - 2100	0	13	465	775	615	79	0

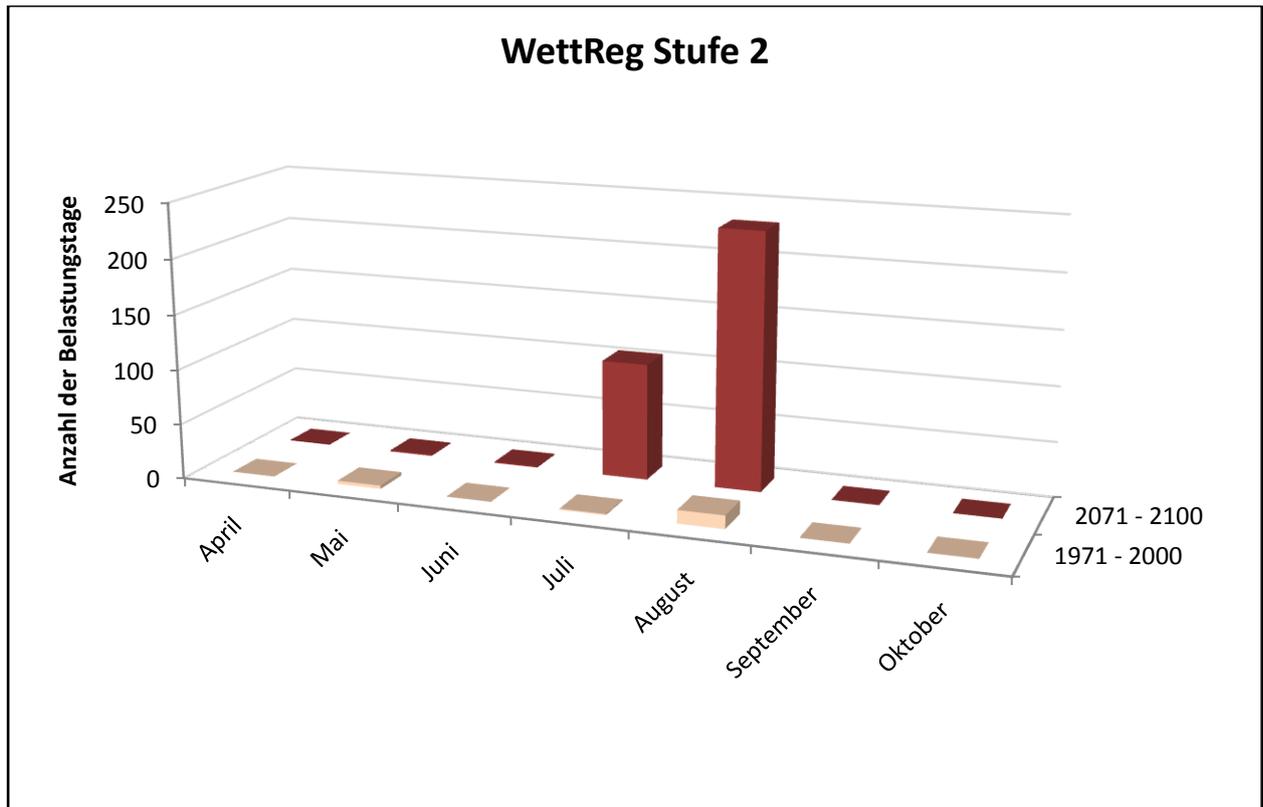


Abbildung A15: Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 2

Tabelle A3: Anzahl der Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 2

Stufe 2	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	3	0	1	12	0	0
2071 - 2100	0	1	1	106	233	0	0

A.2.1.3 CCLM

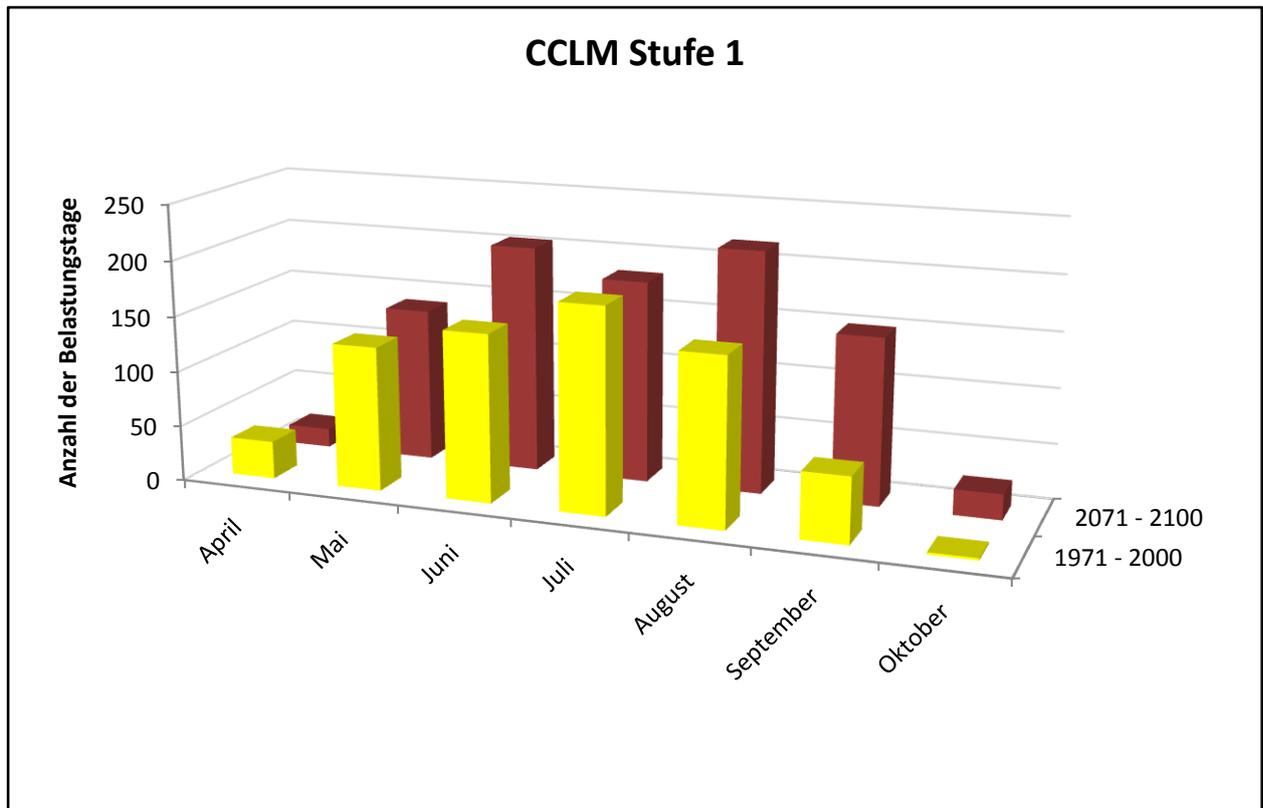


Abbildung A16: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1

Tabelle A4: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1

Stufe 1	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	34	130	151	184	151	59	2
2071 - 2100	17	139	205	182	217	150	23

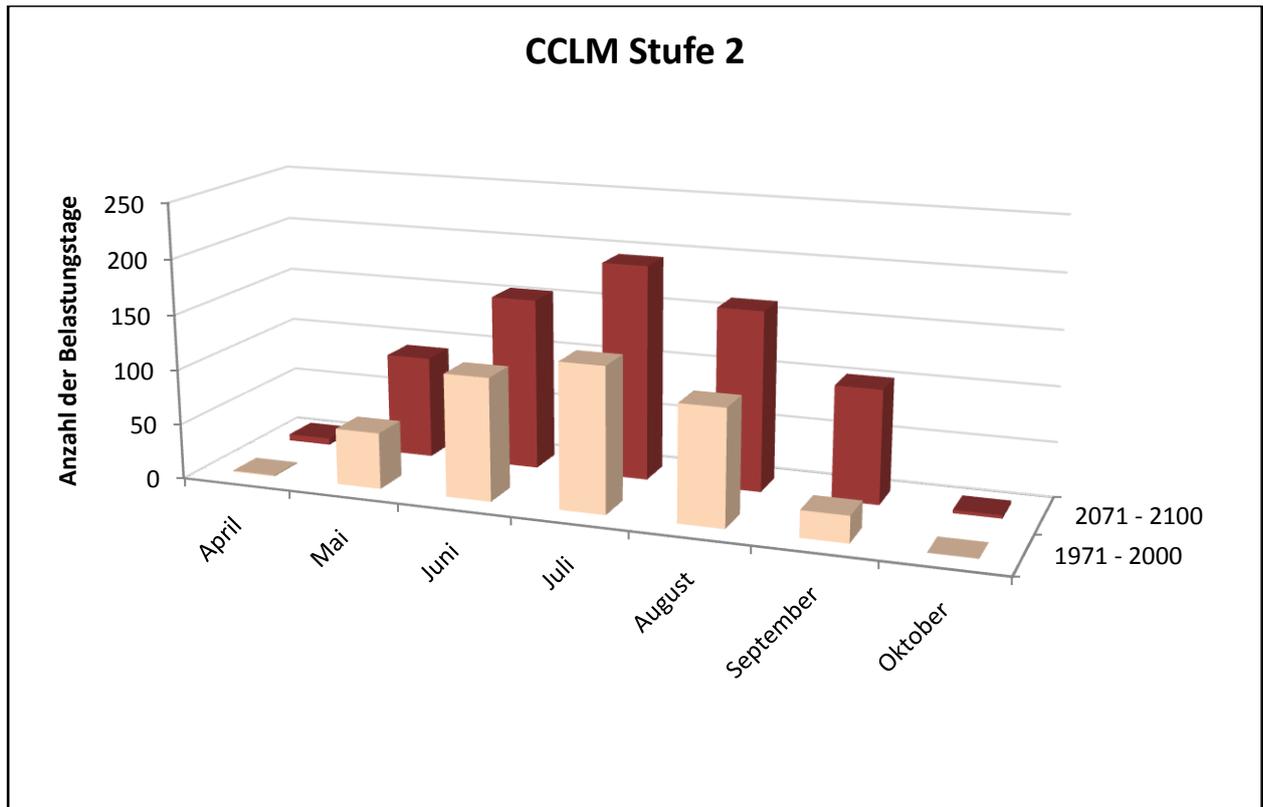


Abbildung A17: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2

Tabelle A5: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2

Stufe 2	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	1	51	111	131	105	24	0
2071 - 2100	6	93	156	195	163	103	3

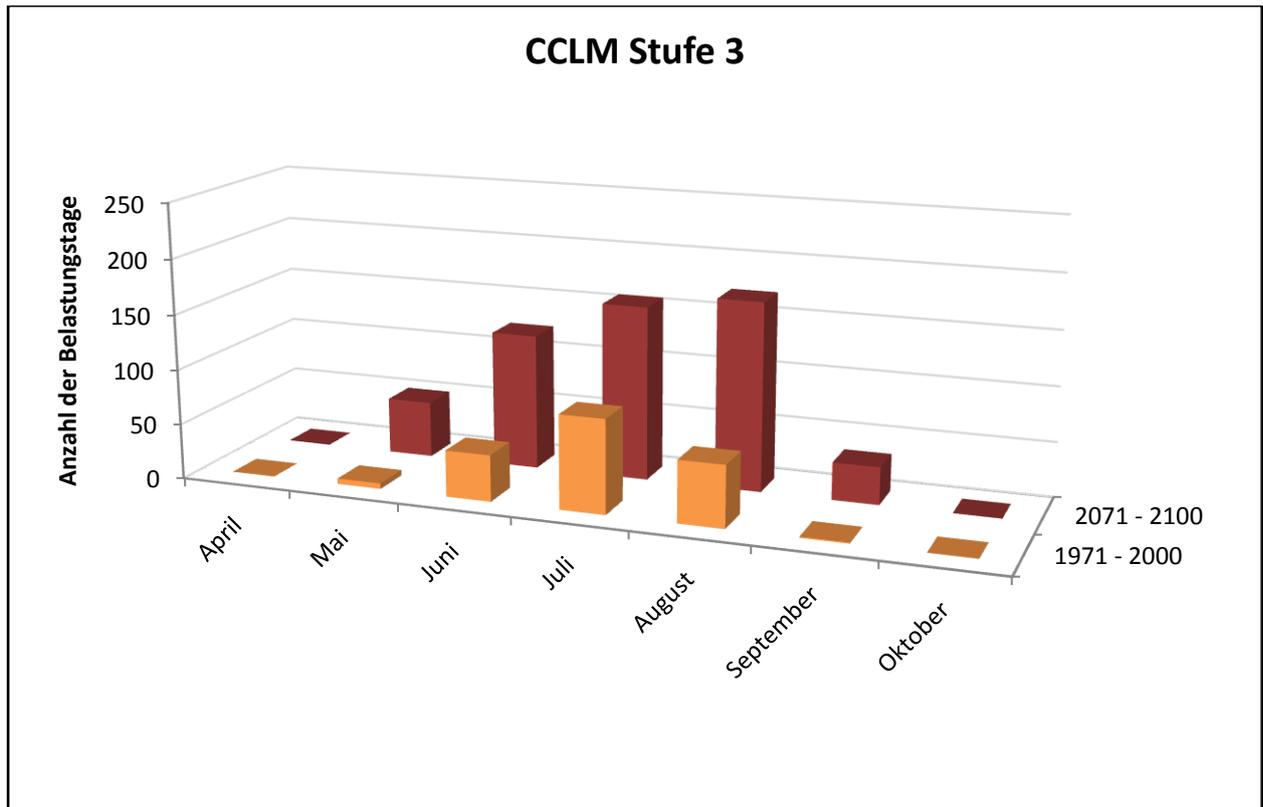


Abbildung A18: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3

Tabelle A6: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3

Stufe 3	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	5	42	85	56	1	0
2071 - 2100	0	51	123	158	171	34	0

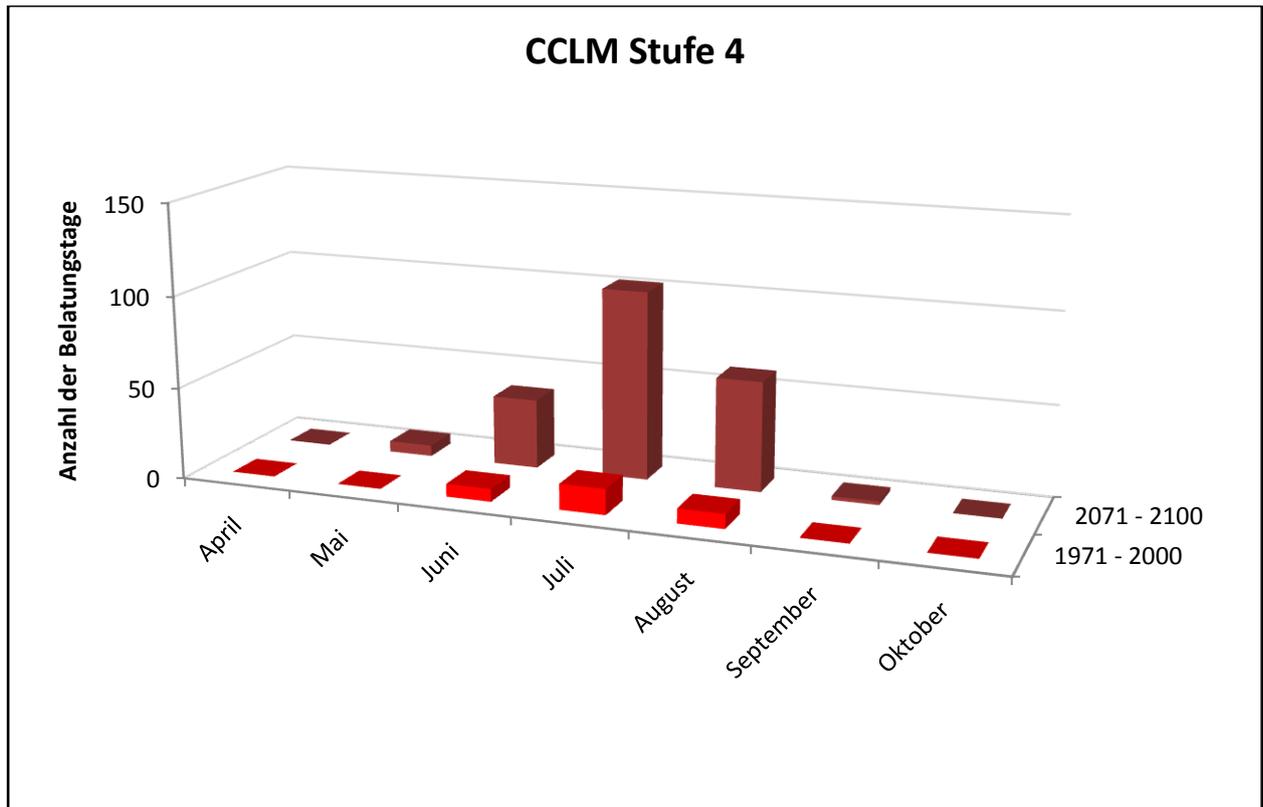


Abbildung A19: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4

Tabelle A7: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4

Stufe 4	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	7	14	8	0	0
2071 - 2100	0	6	38	103	60	2	0

A.2.1.4 REMO

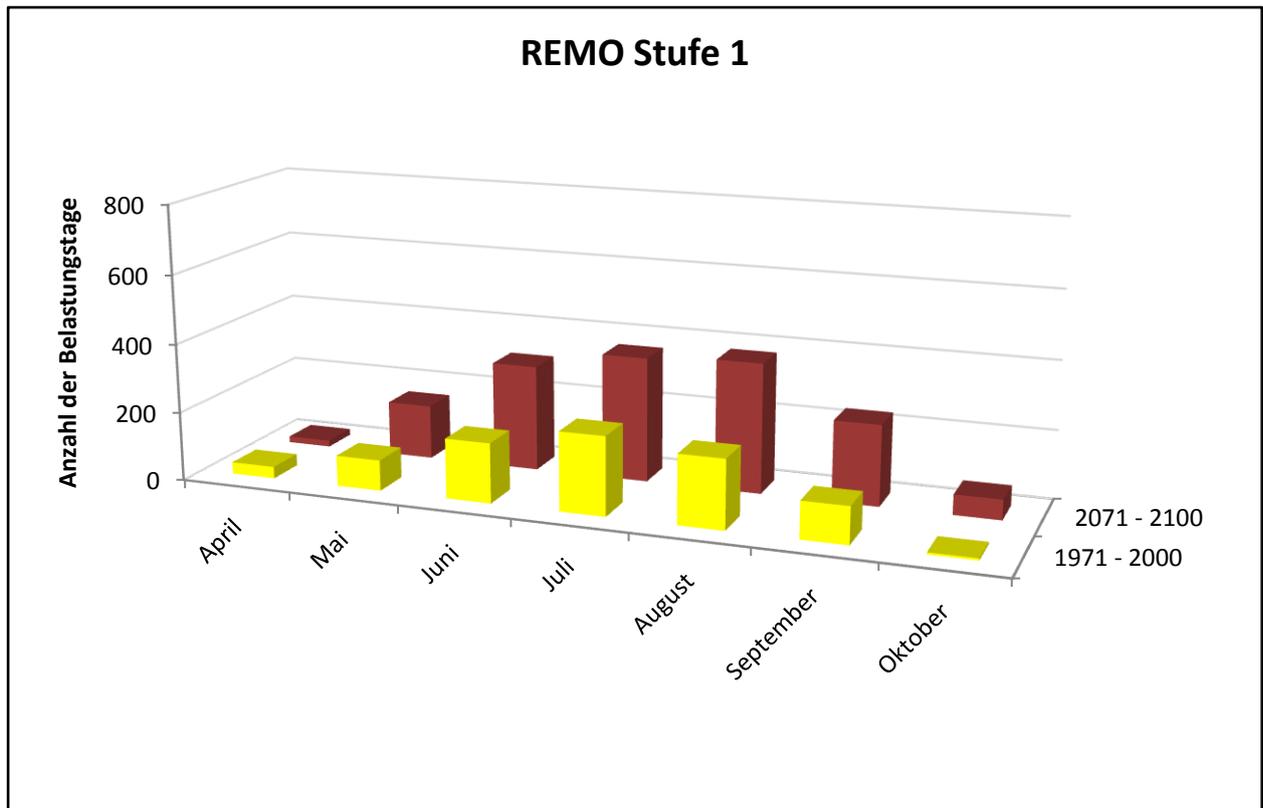


Abbildung A20: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1

Tabelle A8: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1

Stufe 1	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	34	89	174	229	201	108	6
2071 - 2100	18	158	308	363	378	235	59

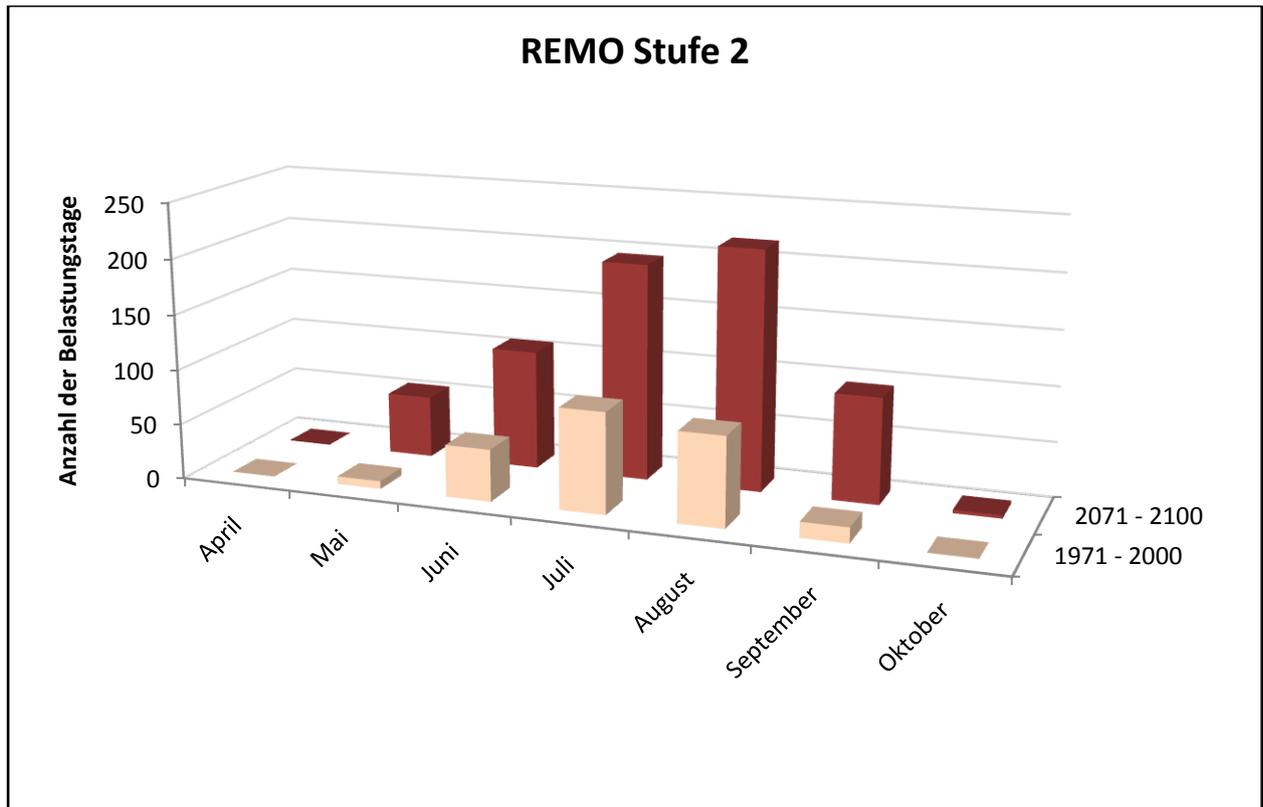


Abbildung A21: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2

Tabelle A9: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2

Stufe 2	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	7	47	91	81	14	0
2071 - 2100	0	56	108	196	217	96	3

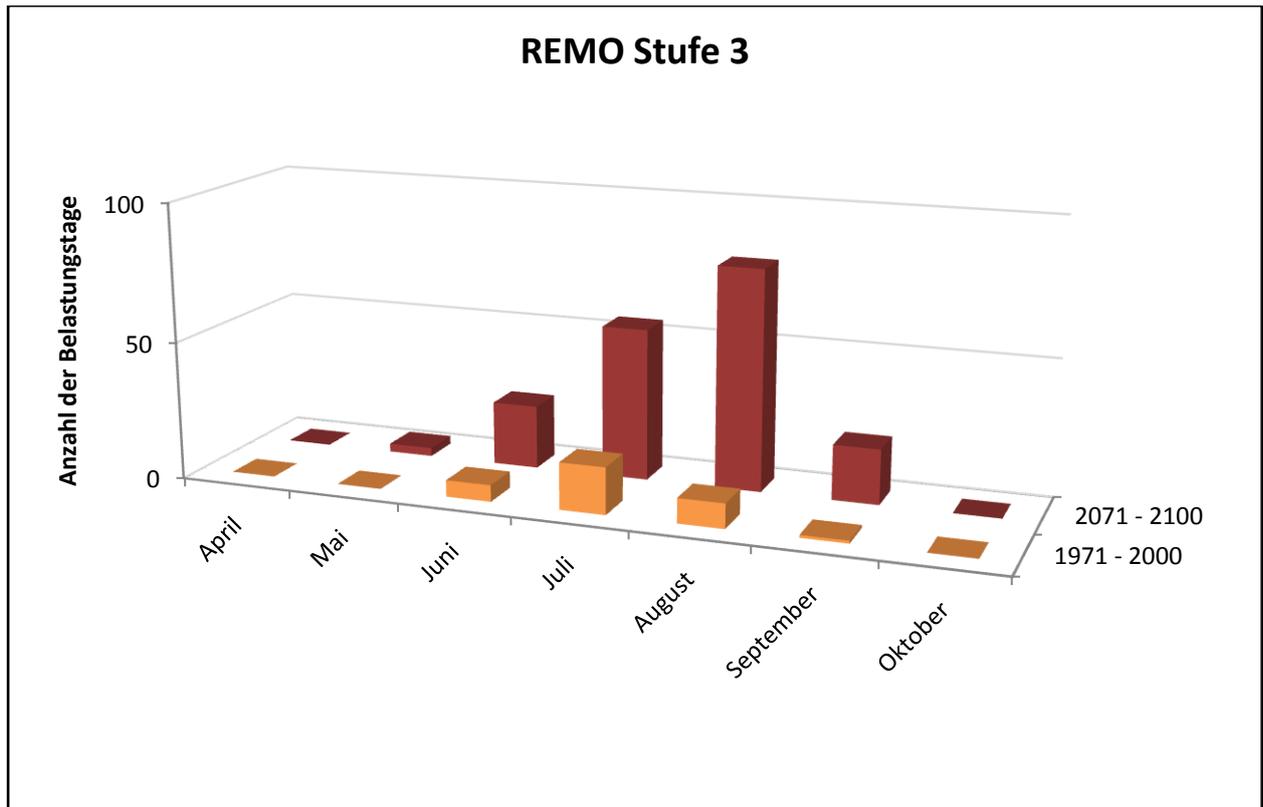


Abbildung A22: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3

Tabelle A10: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3

Stufe 3	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	6	17	9	1	0
2071 - 2100	0	3	23	55	80	20	0

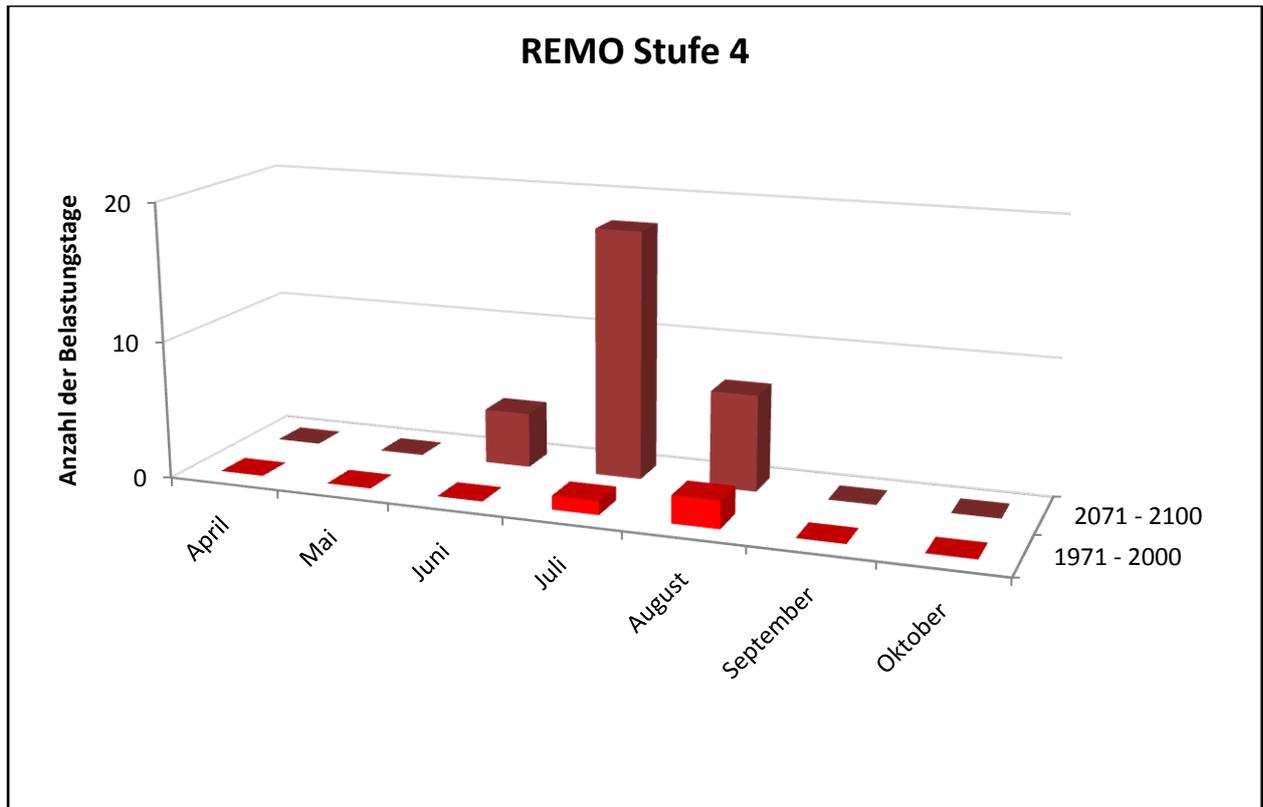


Abbildung A23: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 4

Tabelle A11: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 4

Stufe 4	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	0	1	2	0	0
2071 - 2100	0	0	4	18	7	0	0

A.2.2 Wasserkuppe

A.2.2.1 Beobachtung

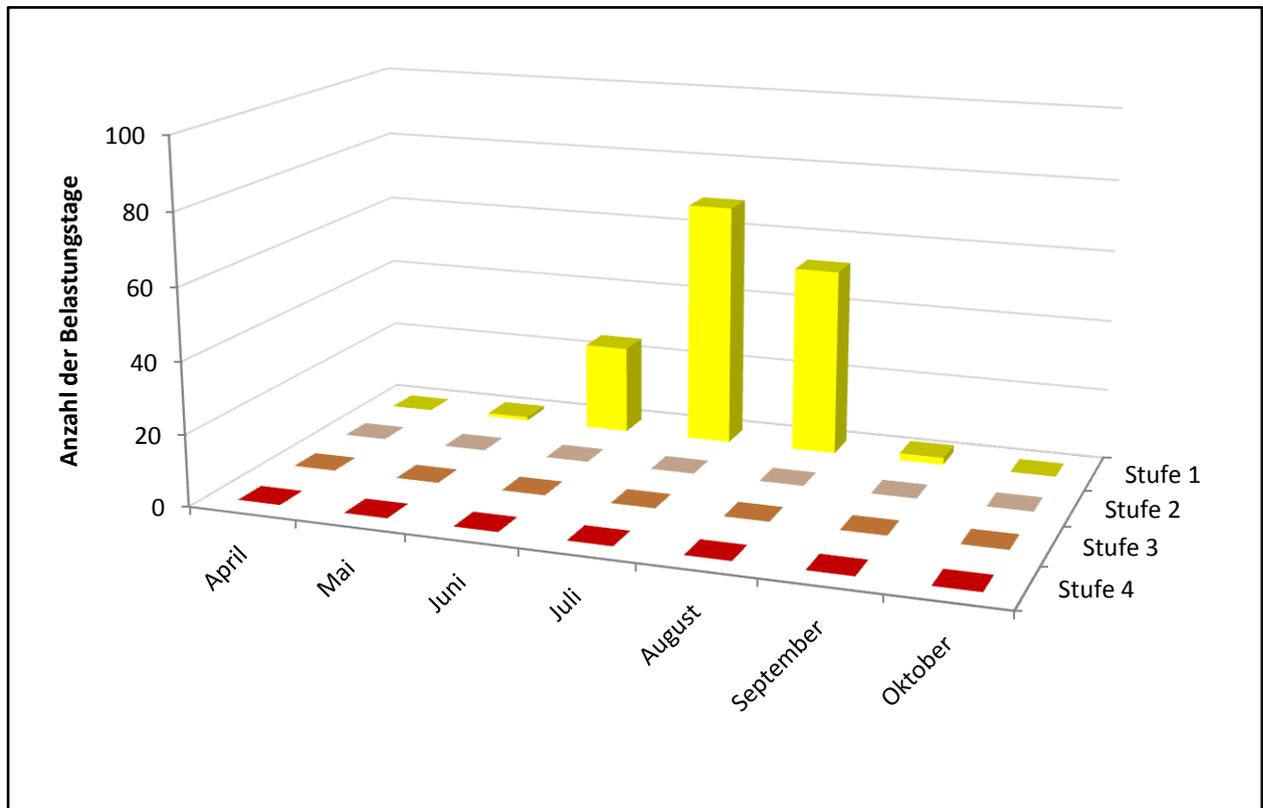


Abbildung A24: Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten

Tabelle A12: Anzahl der Belastungstage pro Monat für die Beobachtungsdaten

	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
Stufe 1	0	1	25	69	53	2	0
Stufe 2	0	0	0	0	0	0	0
Stufe 3	0	0	0	0	0	0	0
Stufe 4	0	0	0	0	0	0	0

A.2.2.2 WettReg

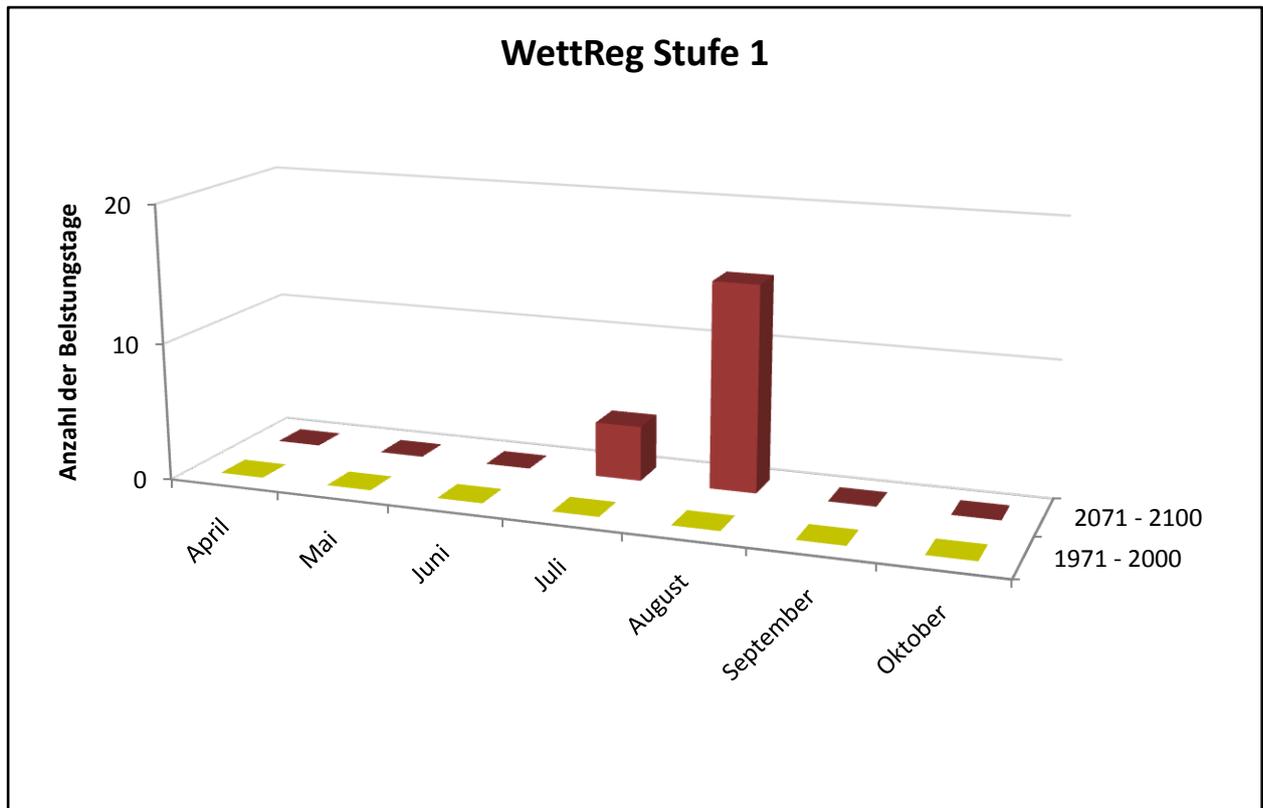


Abbildung A25: Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1

Tabelle A13: Anzahl der Belastungstage pro Monat für WettReg der Belastungsstufe 1

Stufe 1	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	0	0	0	0	0
2071 - 2100	0	0	0	4	15	0	0

A.2.2.3 CCLM

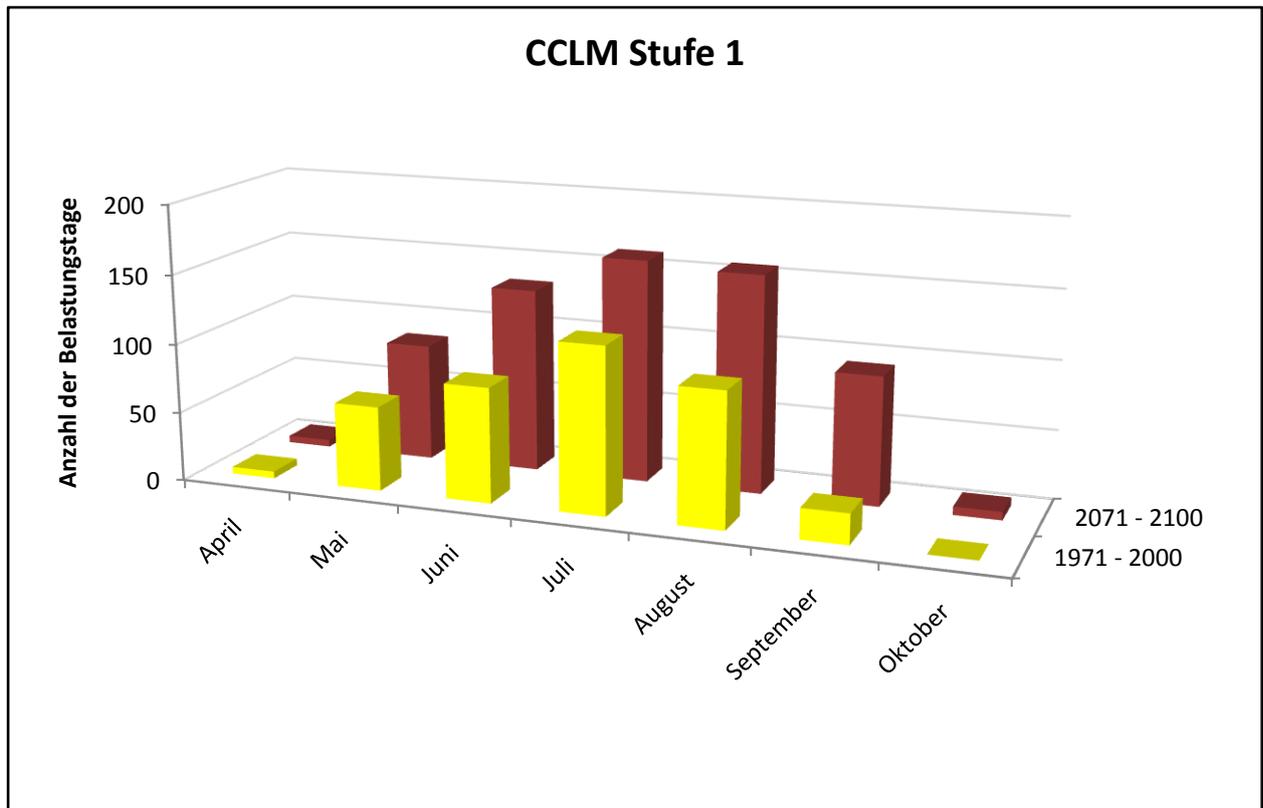


Abbildung A26: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1

Tabelle A14: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 1

Stufe 1	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	5	61	83	120	97	22	0
2071 - 2100	5	85	133	161	157	93	6

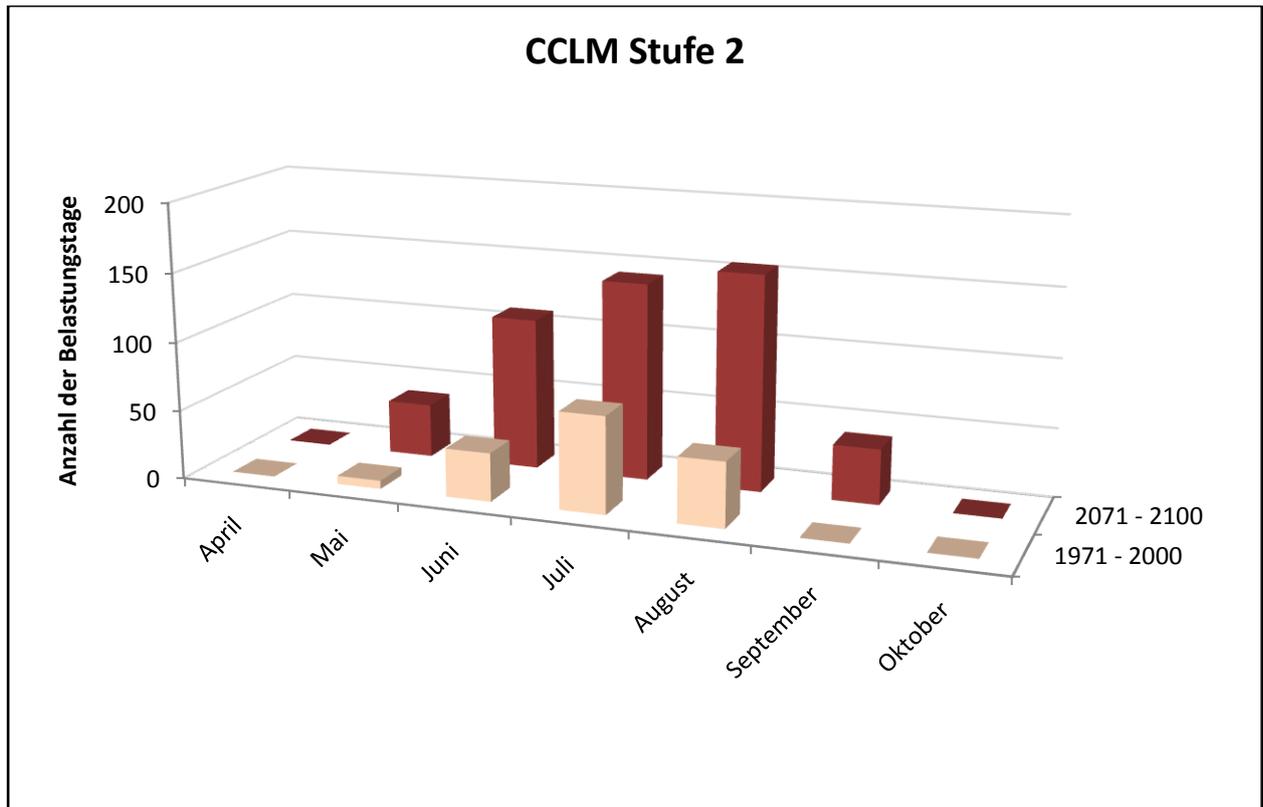


Abbildung A27: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2

Tabelle A15: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 2

Stufe 2	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	6	35	70	47	0	0
2071 - 2100	0	39	110	143	156	40	0

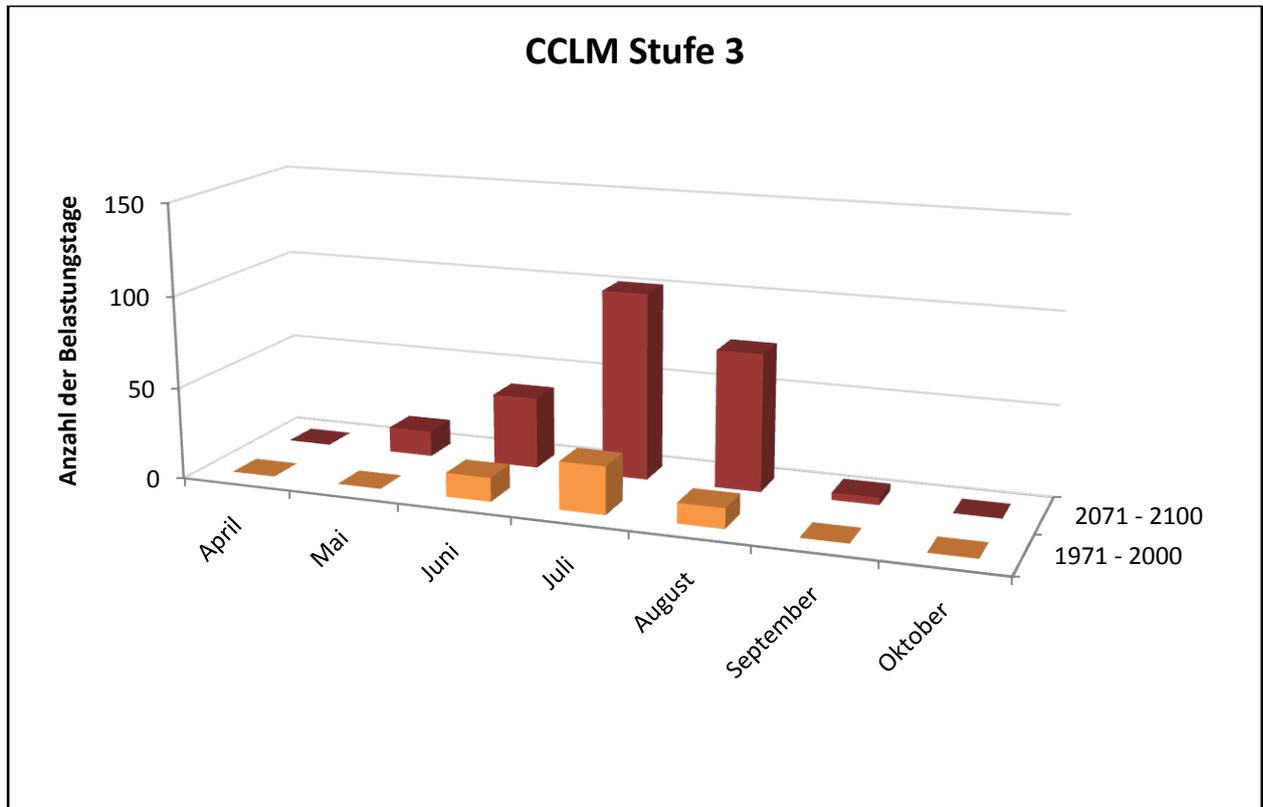


Abbildung A28: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3

Tabelle A16: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 3

Stufe 3	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	13	26	11	0	0
2071 - 2100	0	14	39	102	75	4	0

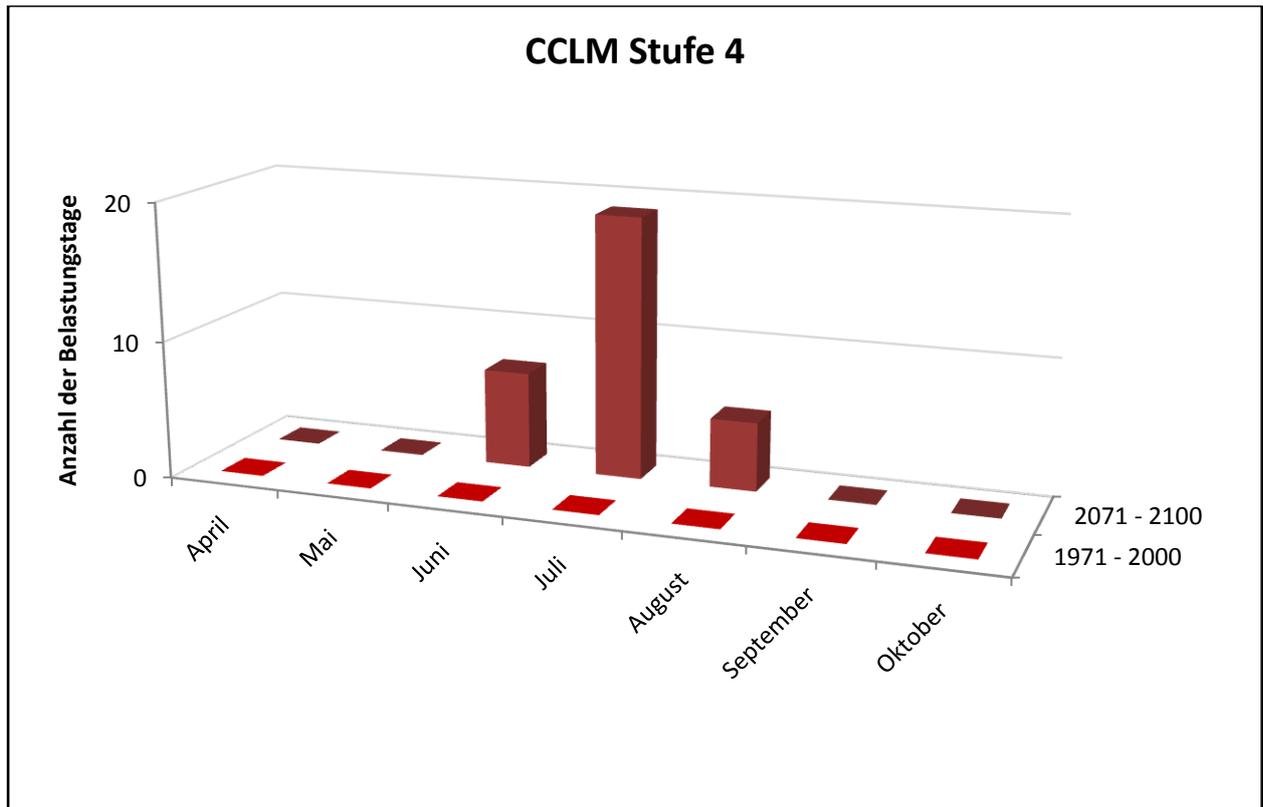


Abbildung A29: Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4

Tabelle A17: Anzahl der Belastungstage pro Monat für CCLM der Belastungsstufe 4

Stufe 4	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	0	0	0	0	0
2071 - 2100	0	0	7	19	5	0	0

A.2.2.4 REMO

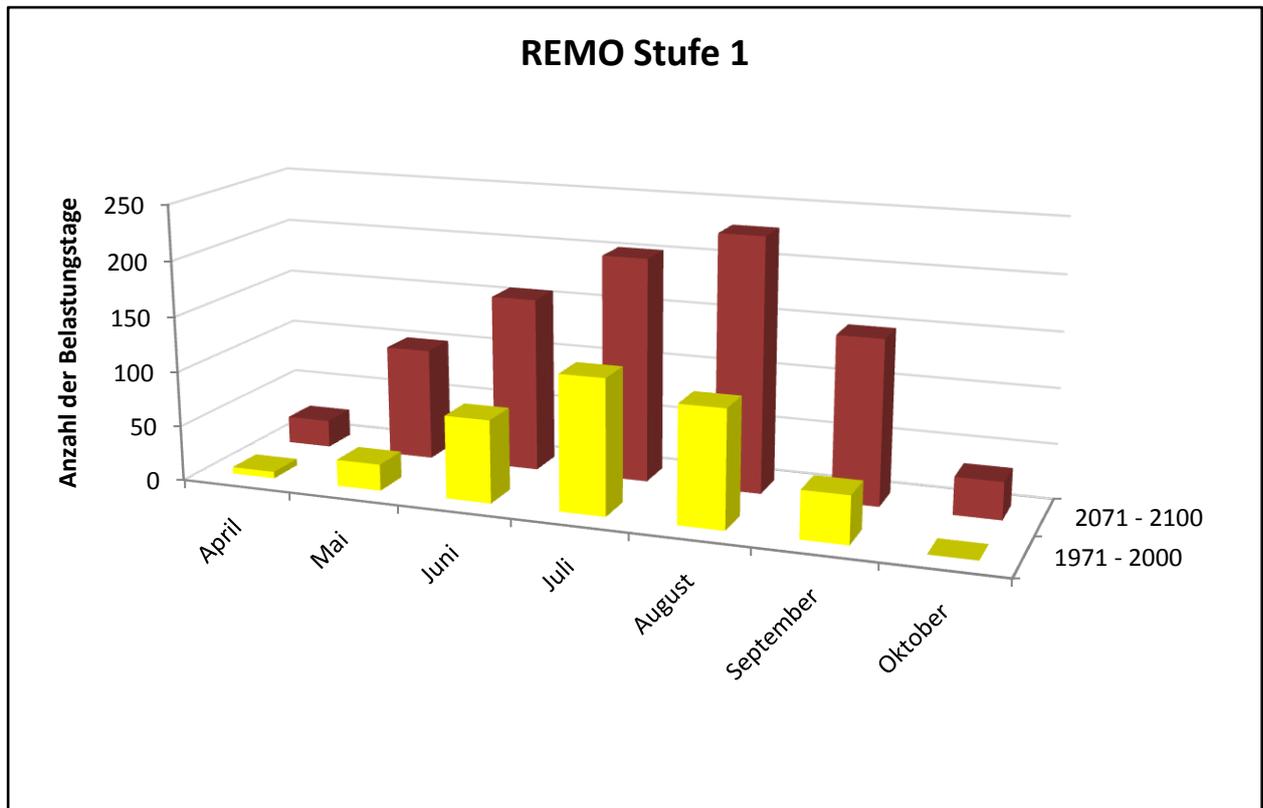


Abbildung A30: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1

Tabelle A18: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 1

Stufe 1	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	6	24	75	122	106	43	0
2071 - 2100	25	102	158	203	230	149	34

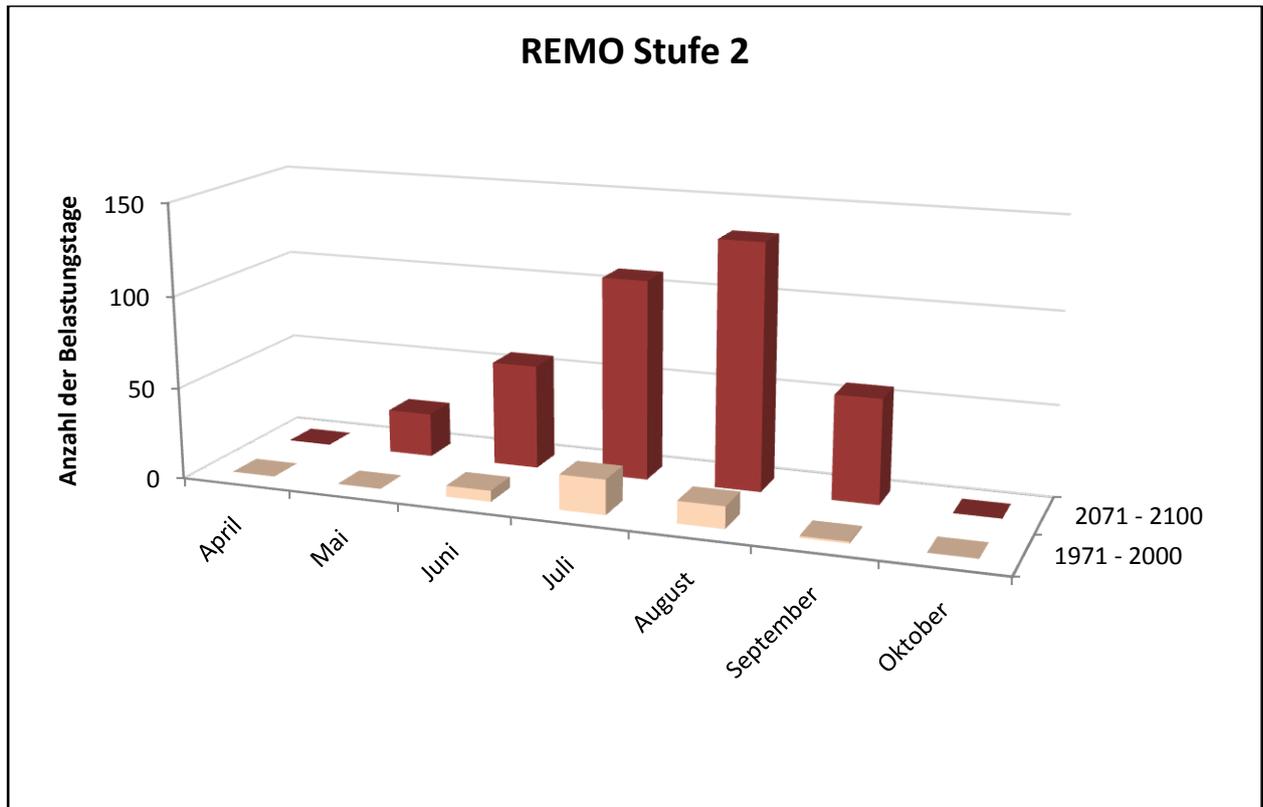


Abbildung A31: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2

Tabelle A19: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 2

Stufe 2	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	6	19	12	1	0
2071 - 2100	0	24	57	109	134	57	0

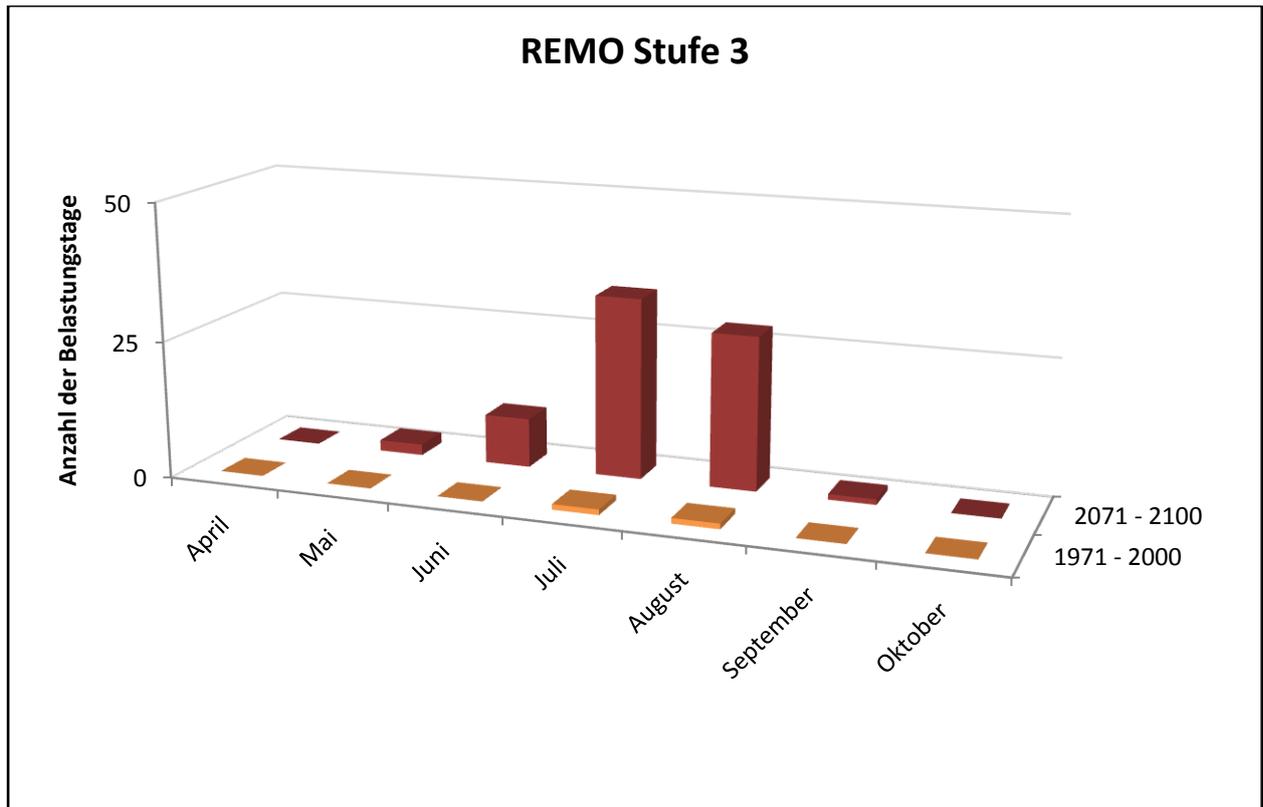


Abbildung A32: Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3

Tabelle A20: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 3

Stufe 3	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	0	1	1	0	0
2071 - 2100	0	2	9	33	28	1	0

Tabelle A21: Anzahl der Belastungstage pro Monat für REMO der Belastungsstufe 4

Stufe 4	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1971 - 2000	0	0	0	0	0	0	0
2071 - 2100	0	0	0	5	2	0	0

B Szenarien B1 und A2

B.1 Szenario B1

B.1.1 Wiesbaden

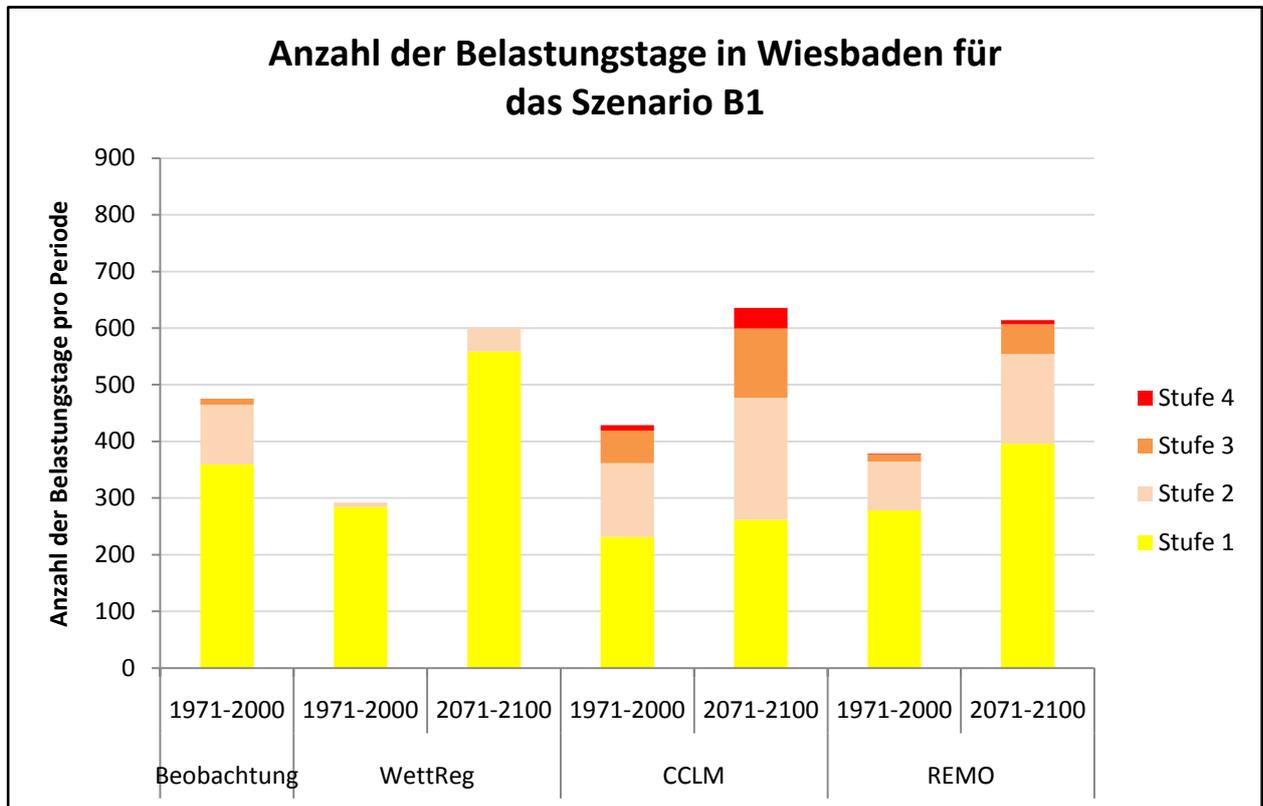


Abbildung B1: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für das Szenario B1 der Beobachtungsdaten und der drei Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode

Tabelle B1: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für die Beobachtungsdaten

Beobachtung (1971 - 2000)	Anzahl der Belastungstage
Stufe 1	359,33
Stufe 2	105,33
Stufe 3	10,67
Stufe 4	0

Tabelle B2: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 1 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	284,33	231,67	278,33
2071 - 2100	559	262	396
Anstieg der Belastungstage [Tage]	274,67	30,33	117,67

Tabelle B3: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 2 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	8	130	86
2071 - 2100	41,67	215,33	158,33
Anstieg der Belastungstage [Tage]	33,67	85,33	72,33

Tabelle B4: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 3 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	0	57,67	13,33
2071 - 2100	0	122,33	52,33
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	64,66	39

Tabelle B5: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 4 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	0	9,33	1
2071 - 2100	0	36	7,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	26,67	6,67

B.1.2 Wasserkuppe

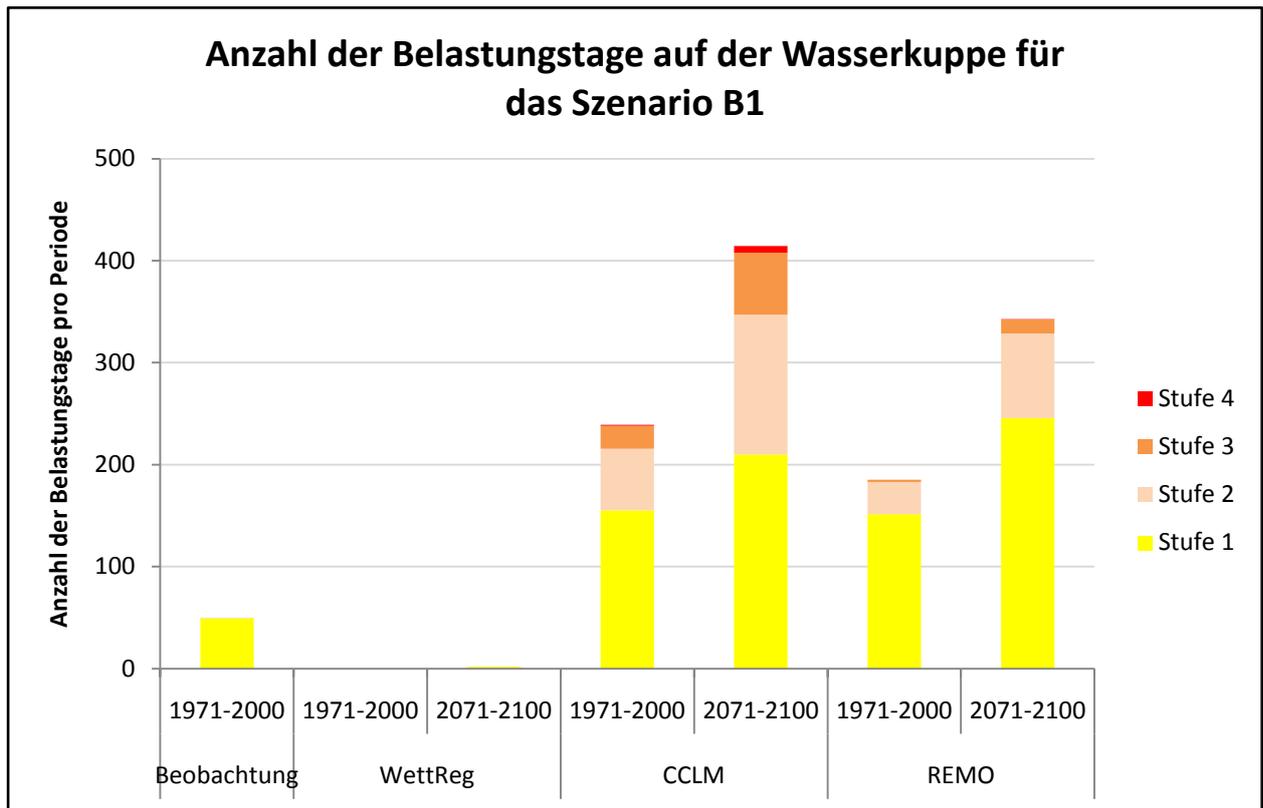


Abbildung B2: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für das Szenario B1 der Beobachtungsdaten und der drei Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode

Tabelle B6: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für die Beobachtungsdaten

Beobachtung (1971 - 2000)	Anzahl der Belastungstage
Stufe 1	49,33
Stufe 2	0,67
Stufe 3	0
Stufe 4	0

Tabelle B7: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 1 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	0	155,33	151,33
2071 - 2100	1,67	210	245,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	1,67	54,67	94,34

Tabelle B8: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 2 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	0	60,33	31,67
2071 - 2100	0	137	83
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	76,67	51,33

Tabelle B9: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 3 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	0	22,33	2,33
2071 - 2100	0	61	13,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	38,67	11,34

Tabelle B10: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg, CCLM und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 4 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	CCLM	REMO
1971 - 2000	0	1	0
2071 - 2100	0	6,33	0,33
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	5,33	0,33

B.2 Szenario A2

B.2.1 Wiesbaden

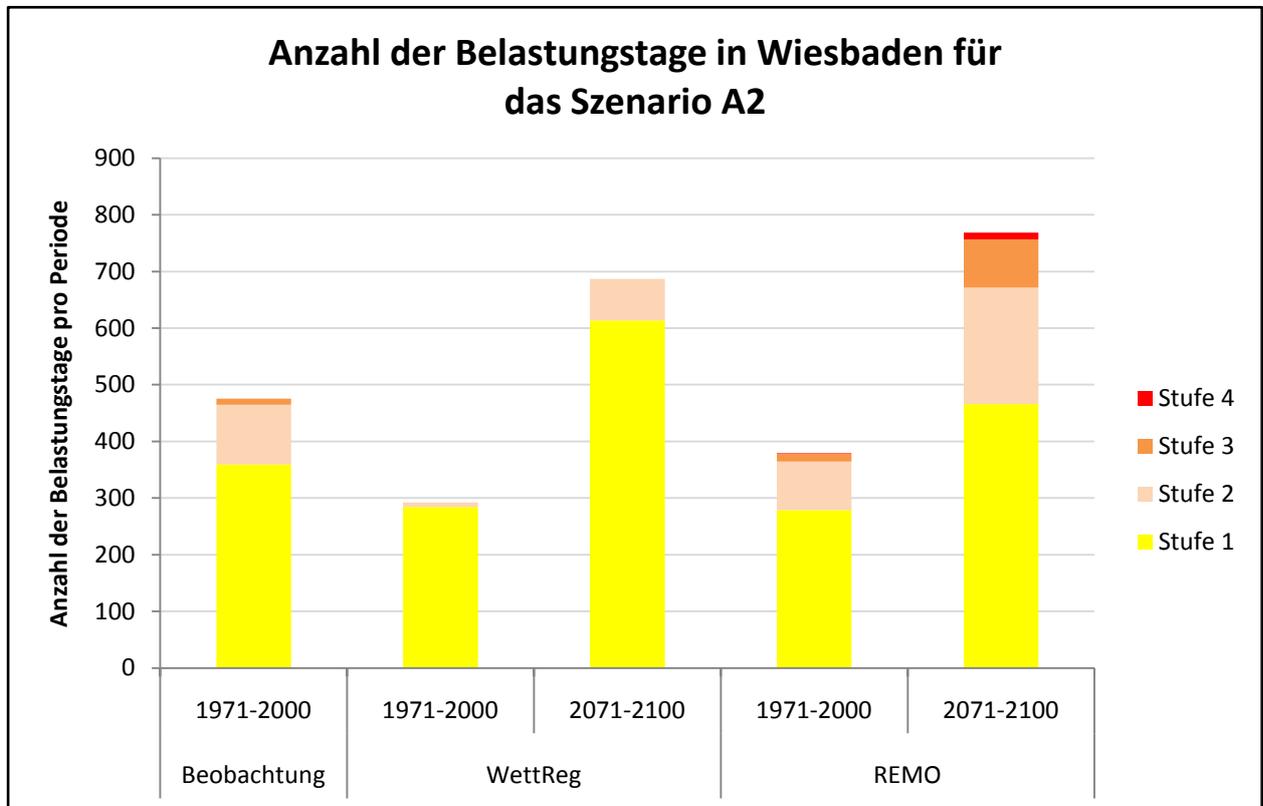


Abbildung B3: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für das Szenario A2 der Beobachtungsdaten und der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode

Tabelle B11: Anzahl der Belastungstage in Wiesbaden für die Beobachtungsdaten

Beobachtung (1971 - 2000)	Anzahl der Belastungstage
Stufe 1	359,33
Stufe 2	105,33
Stufe 3	10,67
Stufe 4	0

Tabelle B12: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 1 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	284,33	278,67
2071 - 2100	613,67	466
Anstieg der Belastungstage [Tage]	329,34	187,33

Tabelle B13: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 2 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	8	86
2071 - 2100	73	205,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	65	119,67

Tabelle B14: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 3 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	0	13,33
2071 - 2100	0	85
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	71,67

Tabelle B15: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 4 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	0	1
2071 - 2100	0	12
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	11

B.2.2 Wasserkuppe

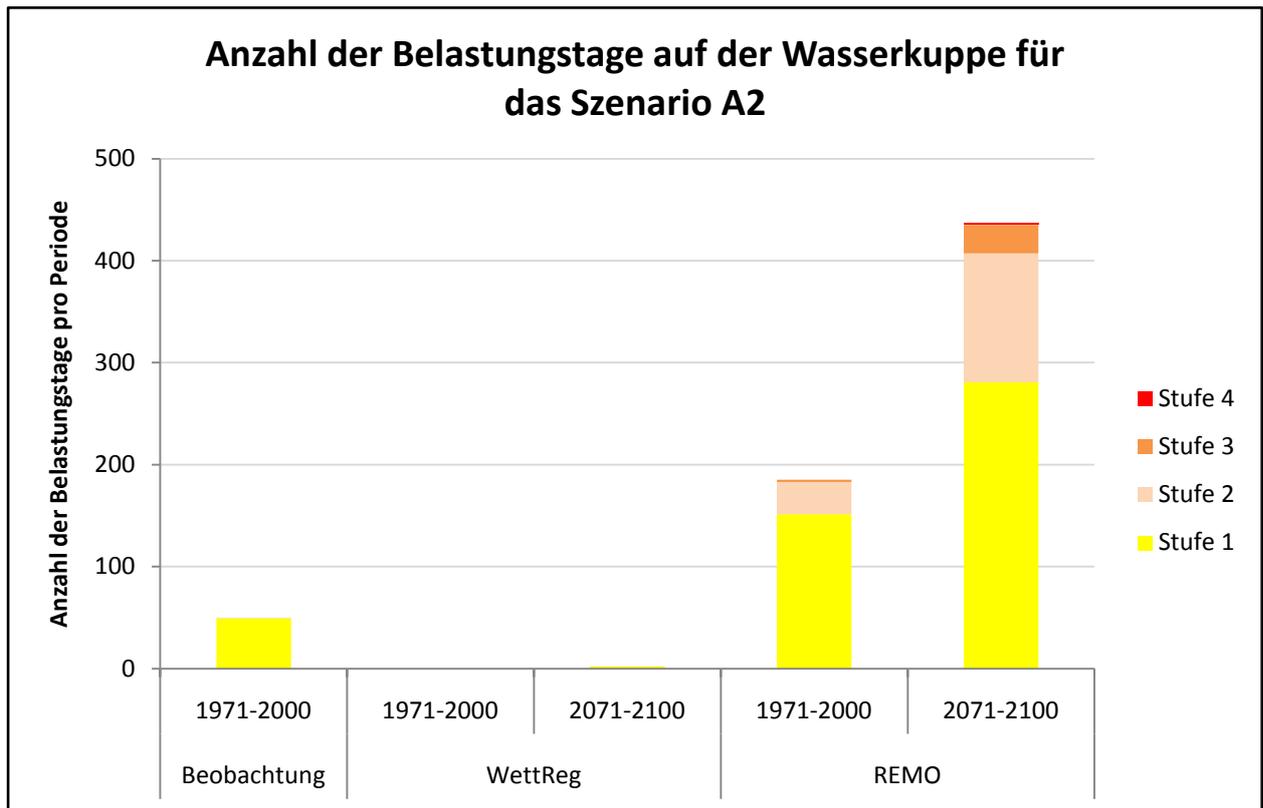


Abbildung B4: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für das Szenario A2 der Beobachtungsdaten und der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode

Tabelle B16: Anzahl der Belastungstage auf der Wasserkuppe für die Beobachtungsdaten

Beobachtung (1971 - 2000)	Anzahl der Belastungstage
Stufe 1	49,33
Stufe 2	0,67
Stufe 3	0
Stufe 4	0

Tabelle B17: Anzahl der Belastungstage der Stufe eins der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 1 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	0	151,33
2071 - 2100	2	280,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	2	128,67

Tabelle B18: Anzahl der Belastungstage der Stufe zwei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 2 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	0	31,67
2071 - 2100	0	126,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	95

Tabelle B19: Anzahl der Belastungstage der Stufe drei der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 3 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	0	2,33
2071 - 2100	0	27,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	25,34

Tabelle B20: Anzahl der Belastungstage der Stufe vier der Klimamodelle WettReg und REMO für die Referenz- und Zukunftsperiode sowie der Anstieg der Belastungstage

Stufe 4 (Anzahl der Belastungstage)	WettReg	REMO
1971 - 2000	0	0
2071 - 2100	0	1,67
Anstieg der Belastungstage [Tage]	0	1,67