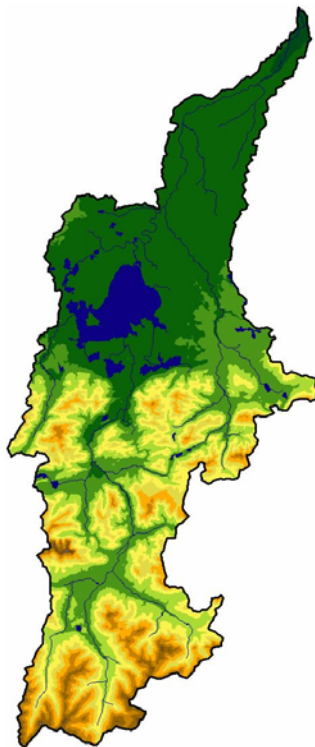




KlimaZwei - Klimawerkstatt  
Klimaschutz- und Anpassungspotenziale einer Region und ihre  
Erschließung – Fallstudie „Chiemgau - Inn – Salzach –  
Berchtesgadener Land“

## **Regionalbezogene statistische Analyse der DEKLIM-Daten**



Andreas Marx, Markus Mast, Hans-Richard Knoche, Harald Kunstmann

05. Januar 2008



Projekt: Klima-Werkstatt  
Klimaschutz- und Anpassungspotenziale einer Region und  
ihre Erschließung  
Chiemgau - Inn - Salzach - Berchtesgadener Land  
[www.klimawerkstatt.wzw.tum.de/](http://www.klimawerkstatt.wzw.tum.de/)

Auftraggeber: Technische Universität München  
Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues  
Alte Akademie 14  
85350 Freising-Weihenstephan

Ansprechpartner: Dr. Ulrich Wild  
Dr. Christian Ganzert

Auftragnehmer: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU)  
Kreuzeckbahnstrasse 19  
82467 Garmisch-Partenkirchen  
Tel. : 08821 / 183 214  
Fax: 08821 / 183 243  
eMail: andreas.marx@imk.fzk.de  
Internet: [www.fzk.de/imk-ifu](http://www.fzk.de/imk-ifu)

Projektleiter: Dr. Andreas Marx

Bearbeiter: Markus Mast  
Dr. Andreas Marx  
Dr. Hans-Richard Knoche  
Dr. Harald Kunstmann

Abbildung Titelseite: Höhenmodell des Alz-Einzugsgebietes.

## 1. Einleitung

Das Klima verändert sich. Untersuchungen von Eis- und Sedimentbohrkernen, Pollenanalysen und Baumringe geben Aufschluss über die Klimaschwankungen der Vergangenheit bis zu 400000 Jahre vor heute. Seit 1860 werden kontinuierlich Wetterdaten gemessen. Sie zeigen bis heute einen Anstieg der globalen Temperatur um ca. 1°C. Berücksichtigt man, dass seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit vor ca. 12000 Jahren die globale Temperatur nur um ca. 4.5°C gestiegen ist, so wird die Stärke der Erwärmung von 1°C in 150 Jahren deutlich.

Klimamodelle erlauben uns den Blick in die Zukunft. Diese können auf globaler, aber auch verfeinert auf regionaler Ebene durchgeführt werden. Ziel des IMK-IFU ist es, in der „Klimawerkstatt“ die zukünftige Klimaänderung in der Region Chiemgau – Inn – Salzach – Berchtesgadener Land (CISBL) zu quantifizieren. Dabei wird neben den atmosphärischen Veränderungen besonderes Augenmerk auf den Wasserhaushalt gelegt. Basierend auf DEKLIM - Klimadaten wird die Entwicklung von Temperatur und Niederschlagsereignissen untersucht, um im späteren Verlauf des Projektes u.a. Aussagen zur Veränderung von Hochwasser-, aber auch längeren Trockenereignissen in ihrer Dauer und Intensität treffen zu können. Dazu wird das Wasserhaushaltsmodell WaSiM (SCHULLA & JASPER 2000) auf das EZG der Alz angewendet.

In der hier vorliegenden Studie werden die im Projekt verwendeten Klimadaten statistisch untersucht. Dabei werden vor allem Extremwerte und Häufigkeit von Extremereignissen bezüglich des Niederschlags sowie der Temperatur untersucht. Auf Änderungen des Schneespeichers wird hier nicht eingegangen, da hierzu die Fertigstellung der hydrologischen Modellierung abgewartet werden muss.

## 2. Datenbasis

Die hier vorliegende Studie wurde auf Basis von Klimadaten aus dem Deutschen Klimaforschungsprogramm (DEKLIM) durchgeführt. Dazu kam das mesoskalige Modell der fünften Generation (MM5, GRELL ET AL. 1994) zum Einsatz. Ein Vergleich der in

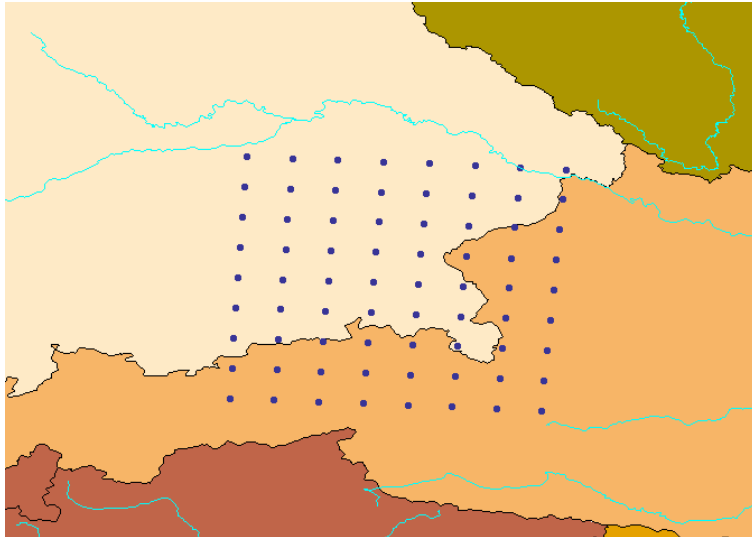


Abbildung 1: Lage der verwendeten Gitterpunkte aus dem DEKLIM-Simulationen.

DEKLIM verwendeten Klimamodelle mit Beobachtungsdaten über einen 15-jährigen Zeitraum findet sich bei KOTLARSKI (2005). Als Antriebsdaten für das regionale Modell wurden REMO 1° Daten aus ECHAM4/T106 genutzt. Dabei wurde der anthropogene Einfluss durch das IPCC Emissionsszenario B2, bei dem von einer kontinuierlich wachsenden Weltbevölkerung, die wirtschaftlichem Wachstum mit nachhaltigen, lokalen Lösungsansätzen entgegentritt, berücksichtigt. Klimaszenarien spiegeln grundsätzlich eine „Wenn-Dann-Entwicklung“ wider, d.h. es wird eine auf Vorgaben beruhende Zukunft beschrieben (WERNER 2007).

Aus den am IMK-IFU gerechneten, regionalen Klimadaten wurde der Ausschnitt der Region CISBL extrahiert, der die gesamte Planungsregion 18 sowie das Einzugsgebiet der Alz einschließlich des österreichischen Anteils der Tiroler Ache umfasst. Die resultierenden 72 Gitterpunkte sind in Abb. 1 dargestellt.

Die horizontale Auflösung  $\Delta x$  der Daten beträgt 19.2 km. Bei meteorologischen Simulationen muss berücksichtigt werden, dass für jeden Parameter ein Mittelwert über einer Fläche ungefähr der Größe  $\Delta x^2$ , also fast 370 km<sup>2</sup>, vorliegt.

### 3. Temperatur

Im Laufe der Klimageschichte der Erde war die Temperatur immer wieder Schwankungen unterworfen. In diesem Abschnitt werden die Änderung der mittleren Temperatur sowie die Änderung der Extreme (Frost und Hitze) dargestellt. Änderungssignale beziehen sich auf Mittelwerte der Vergangenheitszeitscheibe 1960-89 und der Zukunftszeitscheibe 2070-99.

#### 3.1 Änderung der mittleren Temperatur

Die regionalen Klimasimulationsergebnisse zeigen für den gesamten Untersuchungsraum eine deutliche Temperaturzunahme.

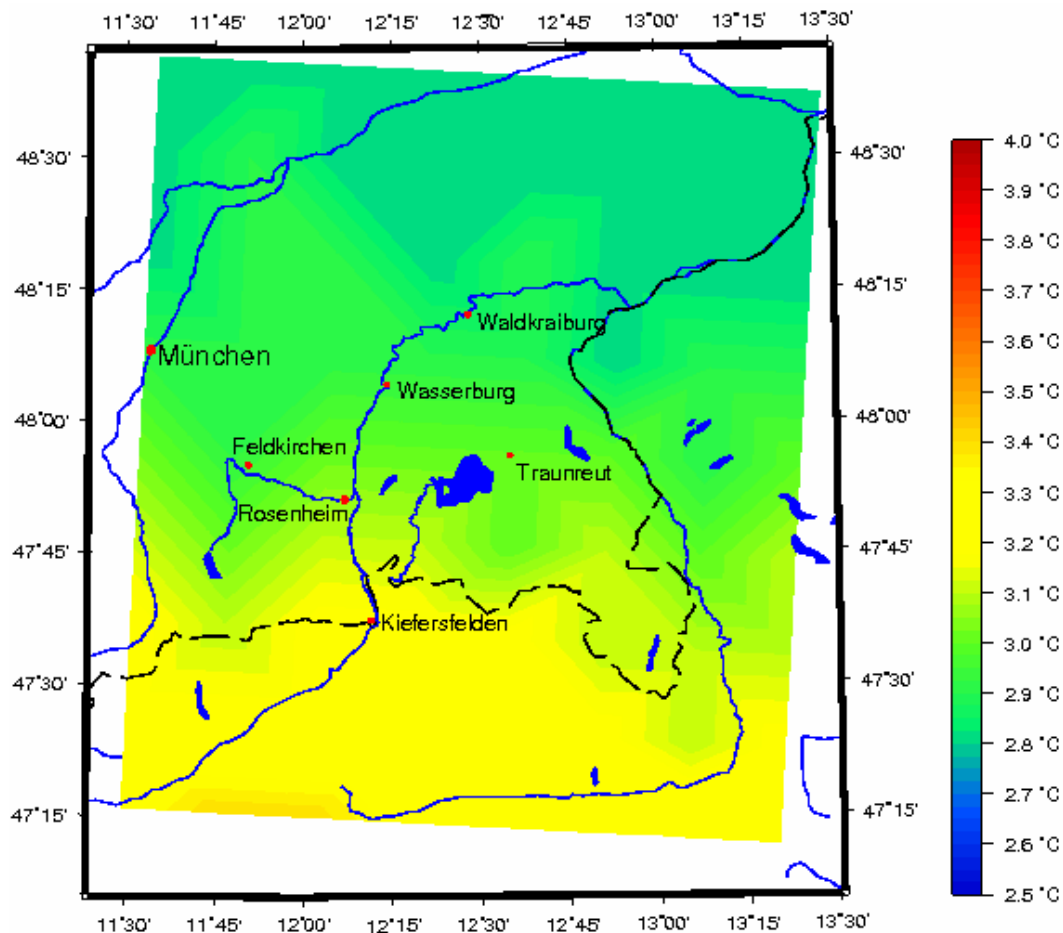
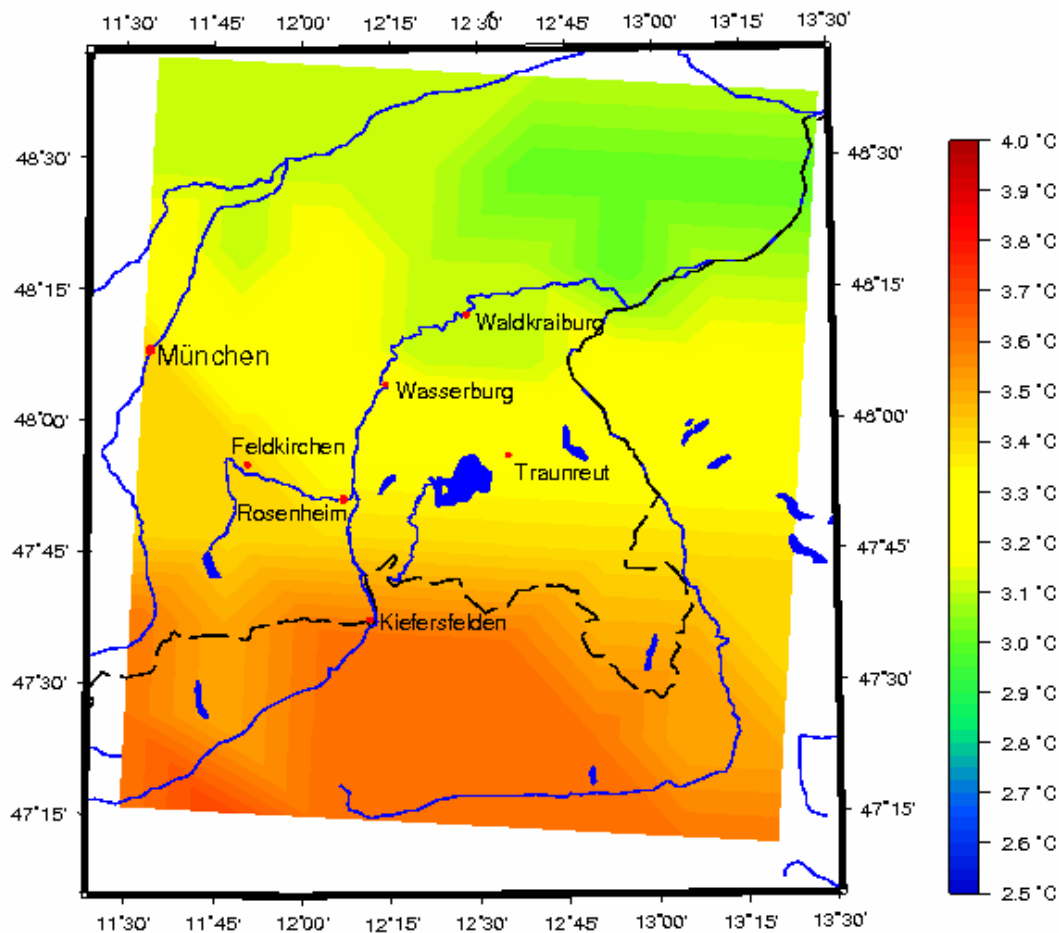


Abbildung 2: Änderung der mittleren Jahrestemperatur 2070-99 vs. 1960-89 [°C].

Danach steigt die mittlere Jahrestemperatur um ungefähr 3°C (siehe Abb. 2). Die maximale Erwärmung findet sich im Alpenbereich mit bis zu 3.4°C, während sich der nördliche Teil des Untersuchungsraumes mit 2.8°C weniger stark erwärmt.



**Abbildung 3: Änderung der mittleren Sommertemperatur 2070-99 vs. 1960-89 [°C].**

Auch bei der jahreszeitlich differenzierten Betrachtung der Temperaturänderung ist die in südliche Richtung zunehmende Erwärmung in allen Jahreszeiten feststellbar. Dies ist für die Sommermonate Juni-Juli-August in Abb. 3 dargestellt. Die maximale Erwärmung findet sich in allen Jahreszeiten im Alpenraum. Sie erreicht bis zu 4°C im Frühling und bis zu 3.7°C im Sommer.

### 3.2 Veränderung der Temperaturhäufigkeitsverteilungen

Für die Bestimmung der Häufigkeitsverteilung der Temperatur wurden Klassen (=Wertintervalle) mit einer Breite von 3°C gebildet. Die Häufigkeitsverteilung gibt an,

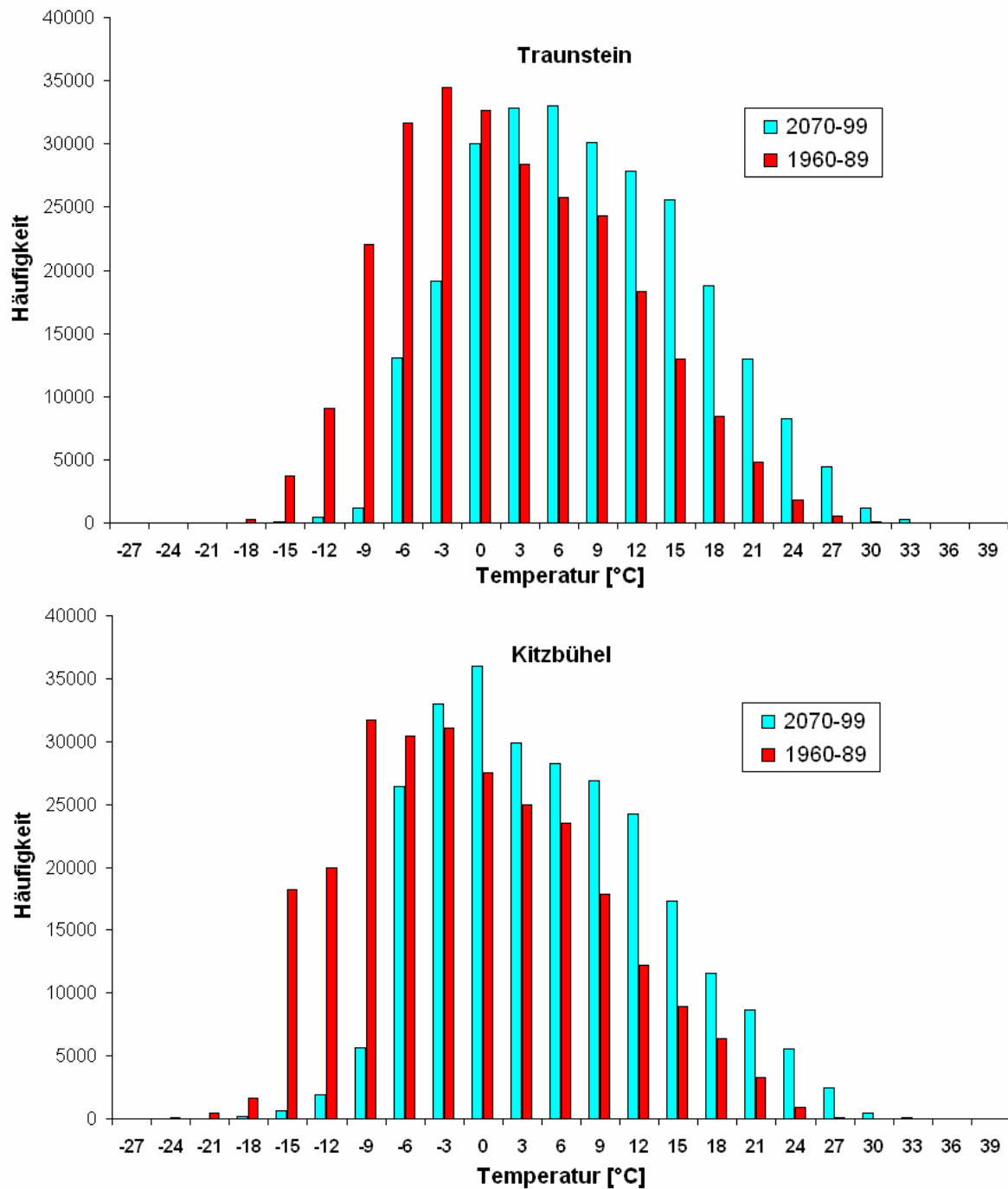


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur 1960-89 vs. 2070-99 an den Standorten Traunstein und Kitzbühel.



wie oft innerhalb der Vergangenheits- und Zukunftszeitscheibe (jeweils 30 Jahre) Datenwerte in den zuvor gebildeten Klassen auftreten. Für die Standorte Traunstein im Voralpenland sowie Kitzbühel in den Tiroler Alpen ist das Ergebnis in Abb. 4 dargestellt. Neben einer Verschiebung des Mittelwertes zu höheren Werten hin fällt die deutliche Abnahme der Frostsituationen und die deutliche Zunahme der extrem hohen Temperaturen mit neuen Hitzerekorden in der Zukunftszeitscheibe auf.

### 3.2 Entwicklung der Frosttage

Ein Frosttag ist im klimatologischen Sinn die Bezeichnung für einen Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unter 0 °C liegt. In der Vegetationsperiode genügt ein einziger Frosttag, um die Vegetation zu schädigen. Zudem wird die Entwicklung Ausbreitung von Schädlingen wie z.B. dem Borkenkäfer durch Frostperioden limitiert.

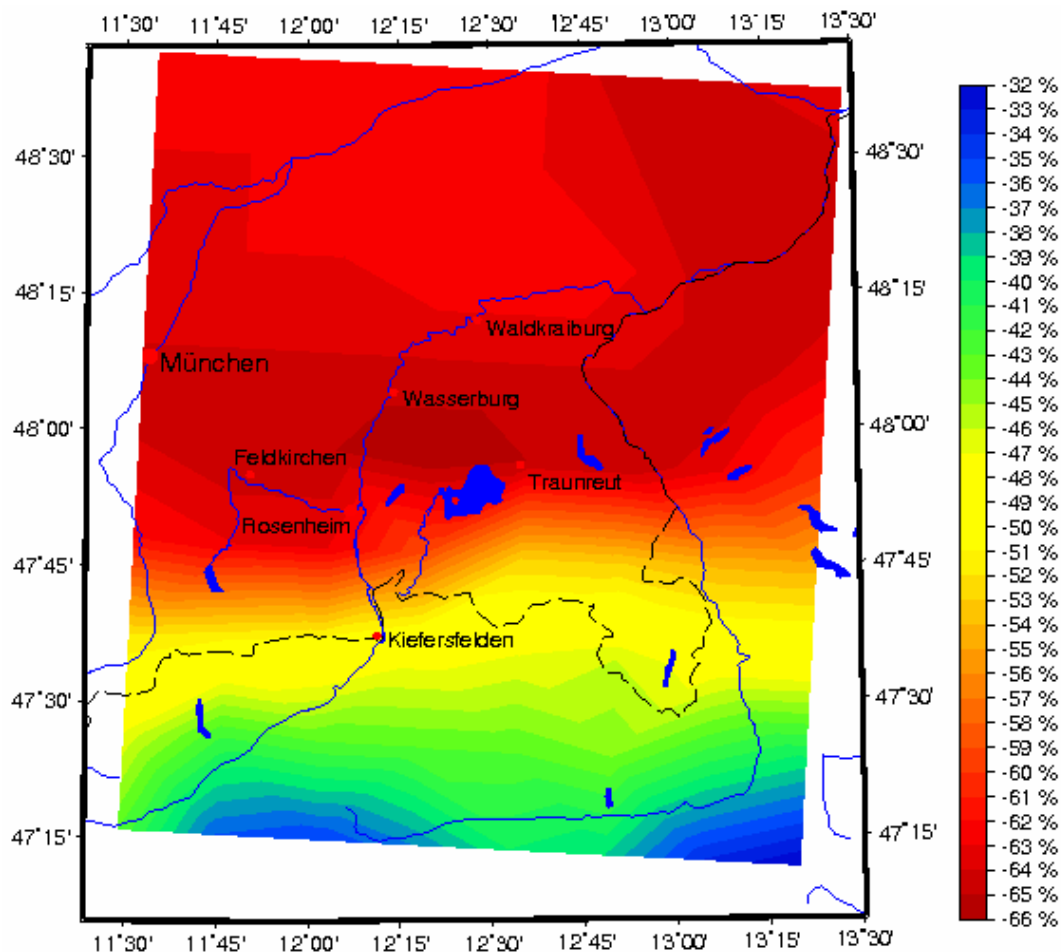


Abbildung 5: Relative Abnahme der Frosttage/Jahr 1960-89 vs. 2070-99.

Für die Region CISBL wurde auch hier die Veränderung der Frosttage pro Jahr untersucht. Prozentual ist diese in Abb. 5 dargestellt. Es ist eine Abnahme der Frosttage über den gesamten Untersuchungsraum festzustellen. Die maximale Abnahme findet sich wiederum im Alpenbereich; hier ist mit einer Verschiebung der Vegetationszonen zu höheren Standorten hin zu rechnen. Absolut nehmen die Frosttage um 26 Tage in Waldkraiburg, 29 Tage in Traunreut, 37 Tage in Kiefersfelden und bis zu 50 Tage im alpinen Bereich ab (siehe auch Tab. 1).

**Tabelle 1: Entwicklung der Frosttage/Jahr an ausgesuchten Gitterpunkten.**

Gitterpunkt in der Nähe von	Frosttage/Jahr 1960-89	Frosttage/Jahr 2070-99
Waldkraiburg	67	31
Wasserburg	44	16
Traunreut	58	24
Kiefersfelden	50	19

### **3.3 Entwicklung der Sommertage**

Ein meteorologischer Sommertag ist ein Tag, an dem die maximale Temperatur 25°C überschreitet.

Für die Region CISBL wurde auch hier die Veränderung der Sommertage pro Jahr untersucht. Neben agrarwirtschaftlicher Bedeutung ist die Entwicklung der Sommertage auch von touristischem Interesse. Aufgrund der in Abb. 4 gezeigten Histogramme ist eine Zunahme der Sommertage zu erwarten; dies zeigt sich für die gesamte Region in Abb. 6.

Die stärkste Zunahme findet sich west-östlich verlaufend in der Höhe von Feldkirchen über Chiemsee nach Traunreut (siehe auch Tab. 2). Da im höheren alpinen Bereich auf in der Zukunftszeitscheibe keine Sommertage auftreten, ist dort keine Veränderung feststellbar.

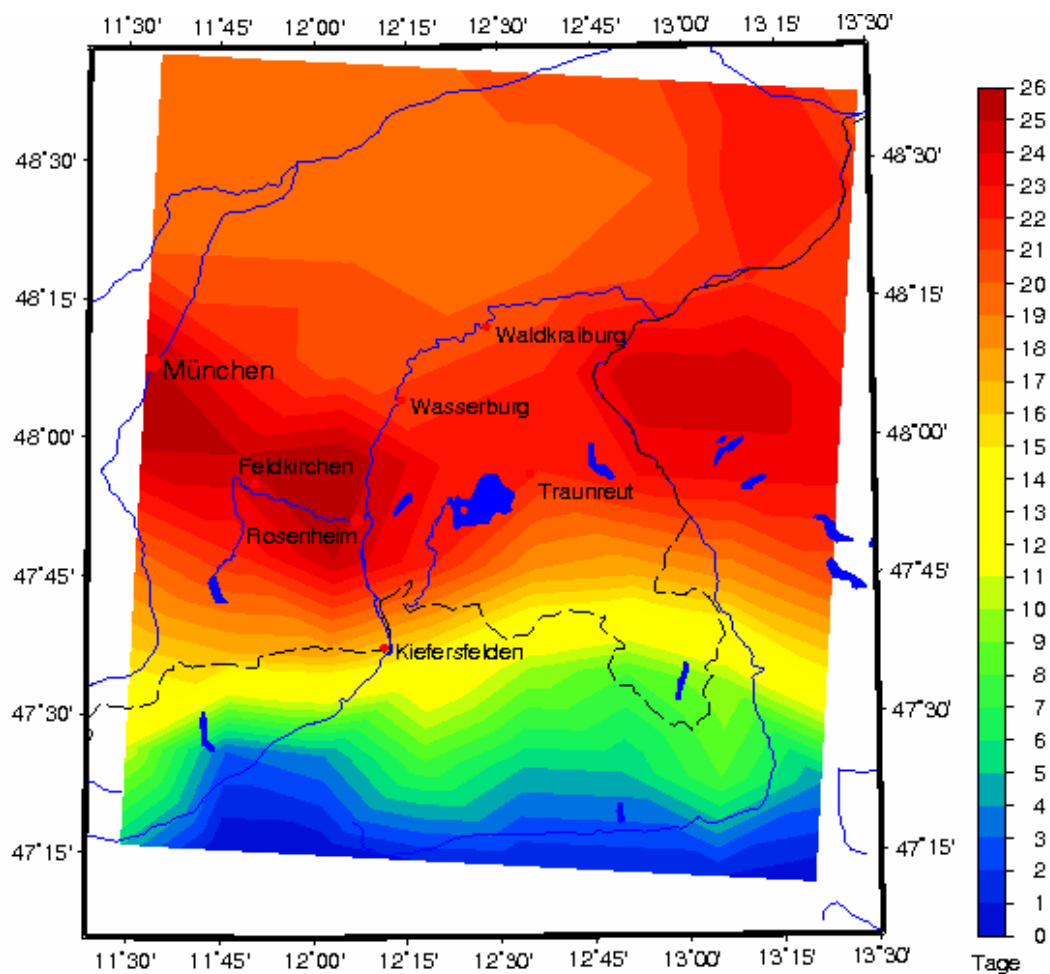


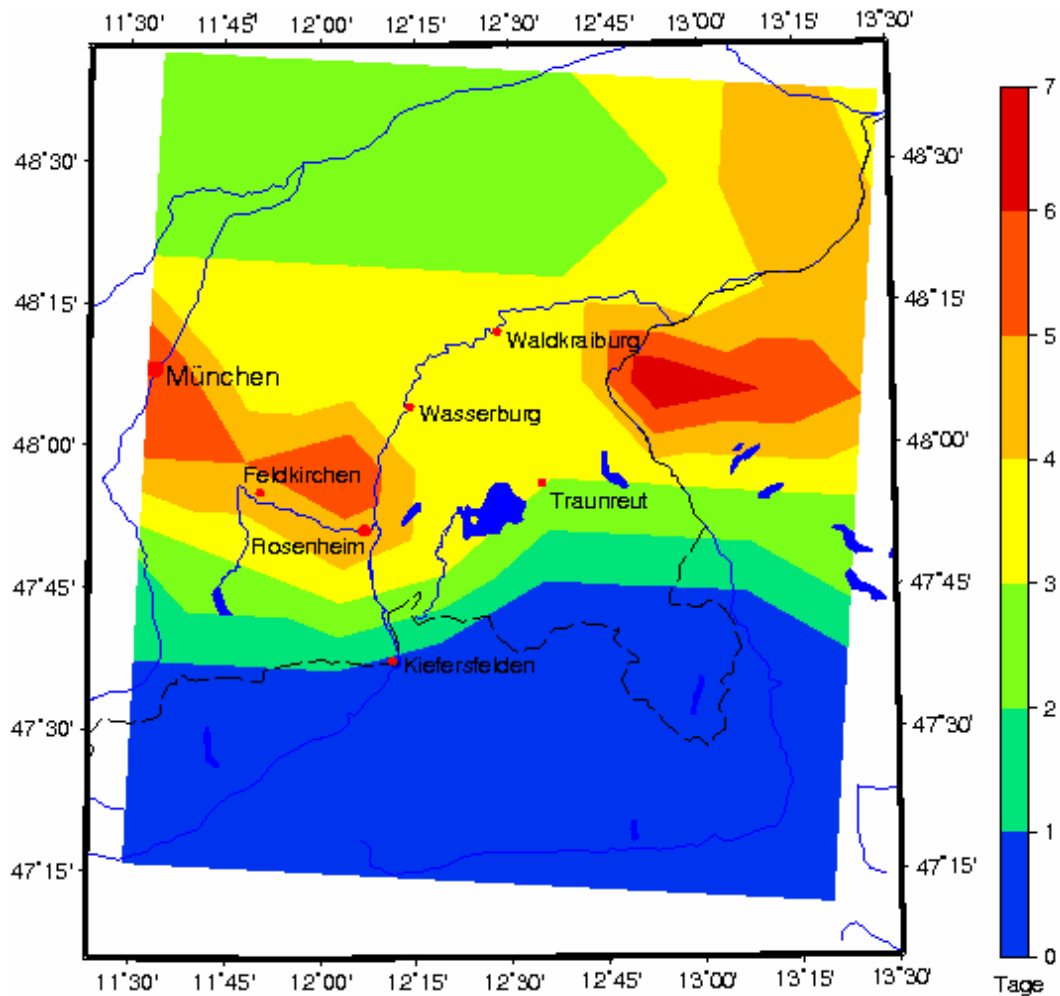
Abbildung 6: Absolute Zunahme der Sommertage >25°C 1960-99 vs. 2070-99.

Tabelle 2: Entwicklung der Sommertage an ausgewählten Gitterpunkten.

Gitterpunkt in der Umgebung von	Sommertage/Jahr 1960-89	Sommertage/Jahr 2070-99
Waldkraiburg	4	22
Wasserburg	6	28
Traunreut	5	28
Kiefersfelden	9	33

### 3.4 Entwicklung der Hitzetage

Hitzetag ist die Bezeichnung für einen Tag, an dem die Tageshöchsttemperatur (gemessen in einer Standard-Wetterhütte in 2 m Höhe) 30 °C erreicht oder übersteigt. Andere Bezeichnungen hierfür sind Tropentag oder Heißer Tag.



**Abbildung 7: Absolute Zunahme der Heißen Tage >30°C/Jahr 1960-99 vs. 2070-99.**

Wie schon bei den Sommertagen ist im alpinen Bereich keine Veränderung feststellbar, da aufgrund der Höhenlage in den Klimadaten keine Heißen Tage auftreten (Abb. 7). Insgesamt finden sich der Veränderung der Sommertage räumlich ähnliche Verteilungen.

### 3.5 Änderung der Vegetationsperiode

Die thermische Vegetationsperiode in Mitteleuropa wird oft als der Zeitraum, indem die Tagesmitteltemperatur höher als 5°C liegt, definiert. Dabei werden pflanzenspezifische Anforderungen vernachlässigt. Vielmehr ist für die überwiegende Anzahl der Pflanzen in diesem Zeitraum Wachstum möglich. Damit können land- und forstwirtschaftlich Erträge gewonnen werden. Veränderungen der Vegetationsperiode können Veränderungen der Bewirtschaftung nach sich ziehen (CHMIELEWSKI 2007).

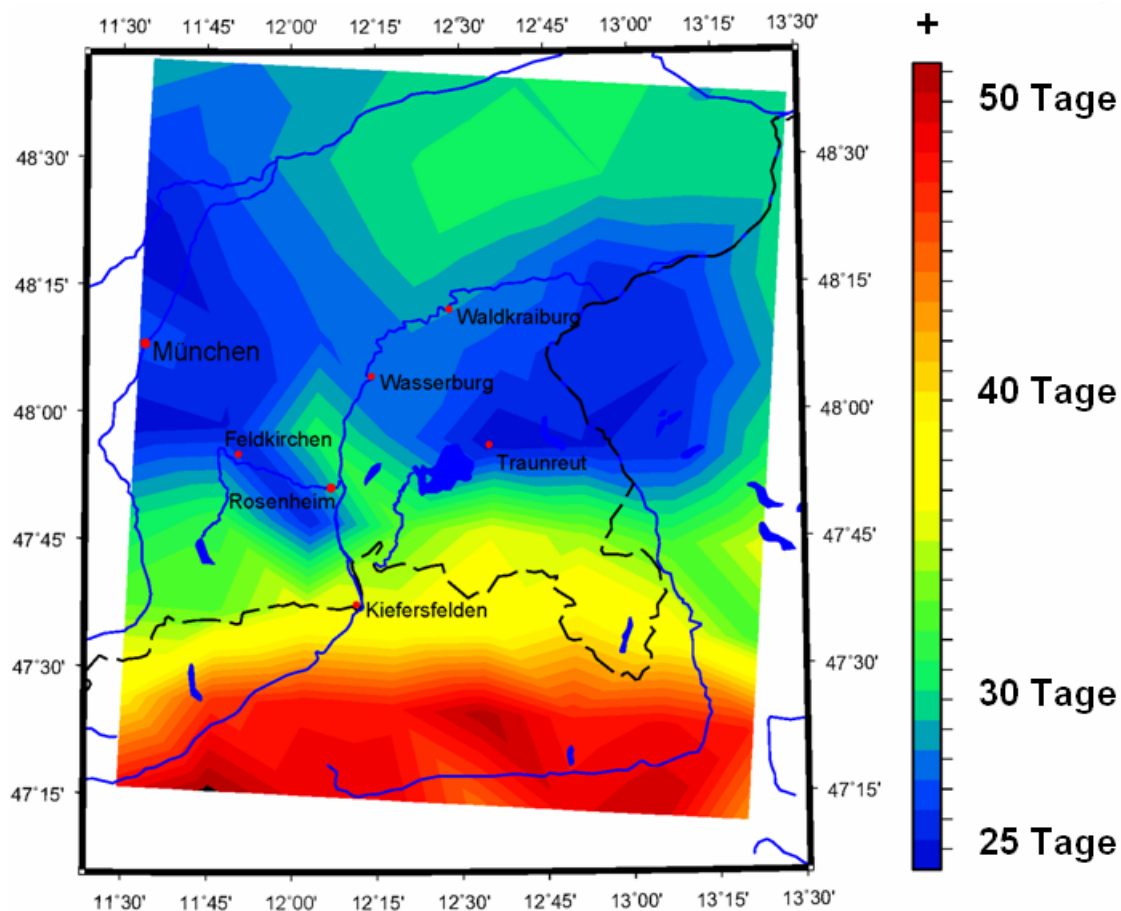


Abbildung 8: Absolute Änderung der Länge der thermischen Vegetationsperiode 1960-89 vs. 2070-99 [d].

Für die Jahre 1960-89 und 2070-99 wurde jeweils für alle Gitterpunkte der Beginn und die Länge der Vegetationsperiode bestimmt. Die daraus berechnete durchschnittliche jährliche thermische Vegetationsperiodenlängenänderung ist in Abb. 8 dargestellt. Verbunden mit der in 3.1. gezeigten zukünftigen, ganzjährigen Temperaturzunahme verlängert sich die Vegetationsperiode zwischen 25 Tagen im Voralpenland und 50

Tagen im alpinen Bereich; Dabei verschiebt sich der Beginn der Vegetationsperiode im Norden im Mittel um 13 und im Süden um 27 Tage zum früheren Termin (Winter) hin. In Abb. 9 wird zusätzlich die prozentuale Veränderung gezeigt. Diese zeigt die im alpinen

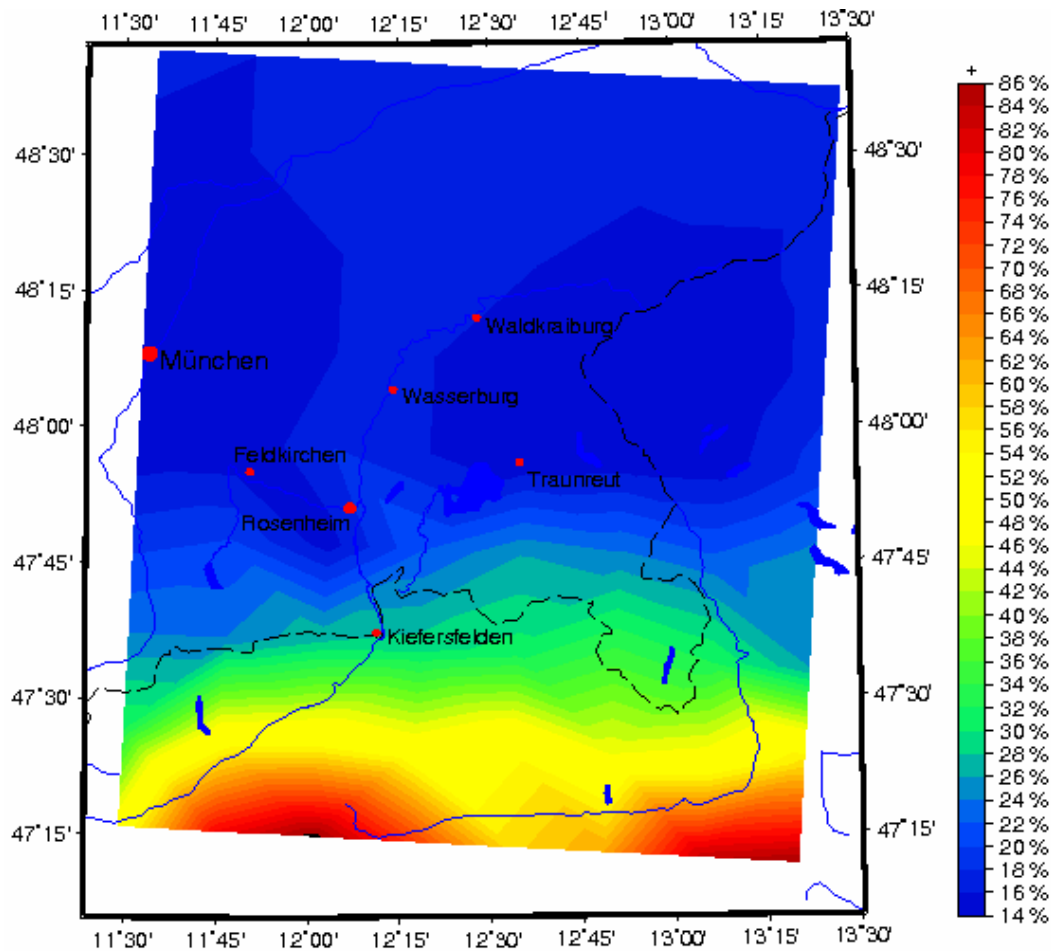


Abbildung 9: Prozentuale Änderung der Länge der thermischen Vegetationsperiode 1960-89 vs. 2070-99 [d].

Bereich starke Zunahme der Länge der thermischen Vegetationsperiode.

#### 4. Niederschlagsänderung

Der Niederschlag stellt für viele agrar- und forstwirtschaftliche Anwendungen eine zentrale Komponente dar. Die prozentuale Änderung des Jahresniederschlages zwischen den Zeiträumen 1960-89 und 2070-99 ist in Abb. 10 dargestellt. Danach ist im gesamten Untersuchungsraum mit einer Zunahme des Jahresniederschlages zu rechnen.

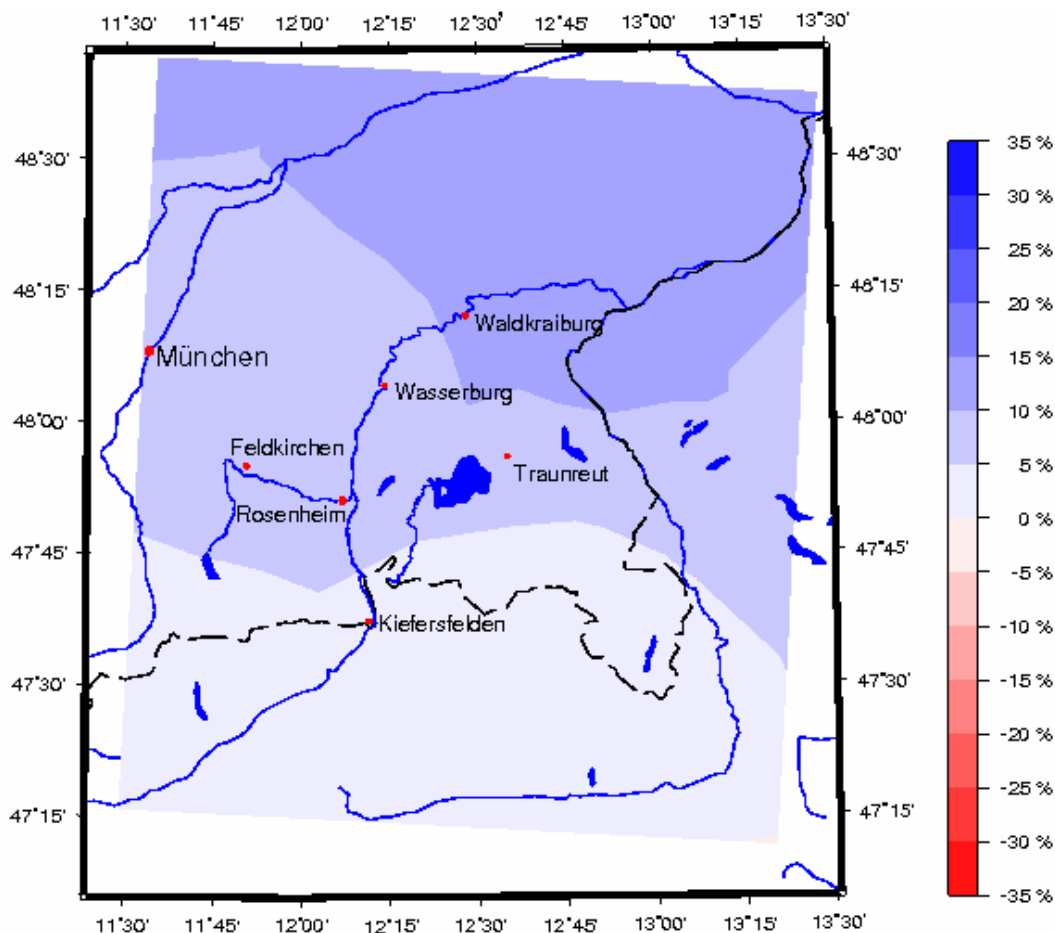


Abbildung 10: Änderung des mittleren Jahresniederschlages 2070-99 vs. 1960-89 [%].

Physikalisch gesehen kann eine mittlere wärmere Atmosphäre (siehe Abschnitt 3.1) mehr Wasser aufnehmen und transportieren. Hindernisse wie z.B. die Alpen führen zu einem erzwungenen Aufstieg der Luftmasse und damit zu einer Abkühlung. Da kältere Luft weniger Wasser „festhalten“ kann, kommt es zur Kondensation und im weiteren Verlauf zur Niederschlagsbildung. Bei einer jahreszeitlich differenzierten Betrachtung

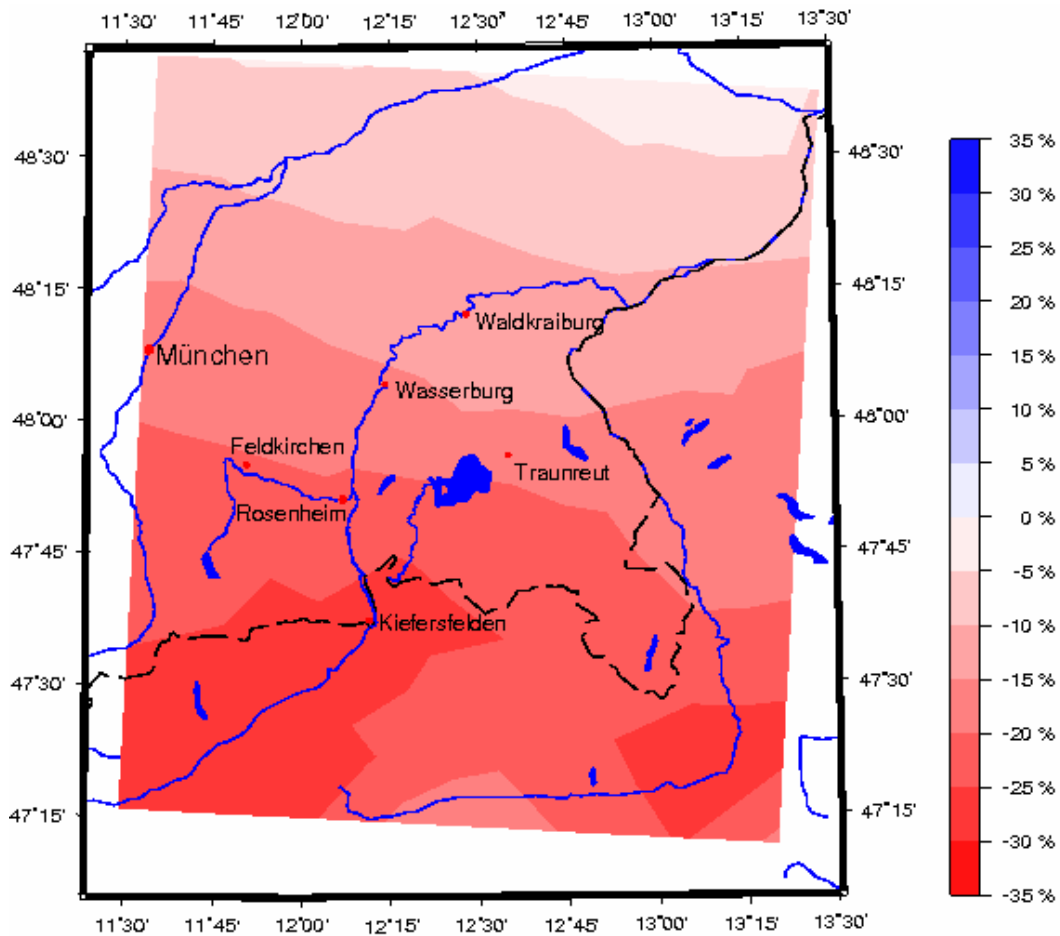


Abbildung 11: Änderung des mittleren Sommerniederschlags Juni-Juli-August 2070-99 vs. 1960-89 [%].

findet sich, ähnlich dem Jahresniederschlag, eine Zunahme des Niederschlages im Herbst, Winter, sowie im Frühjahr. Die Sommermonate zeigen jedoch ein davon abweichendes Bild (Abb. 11). Hier findet sich eine starke Niederschlagsabnahme im gesamten Untersuchungsgebiet, die sich in südliche Richtung verstärkt. Dies wird, in Kombination mit den zunehmenden Sommertemperaturen (siehe Abb. 3), neue Herausforderungen für die Land- und Forstwirtschaft mit sich bringen.

Niederschlagssummen über kurze Zeiträume und Niederschlagsintensitäten sind wichtig für die Abschätzung von Hochwasserrisiken. Dazu wurden für die Zeiträume 1960-89 sowie 2070-99 für alle 72 Gitterpunkte Tages- und Stundenniederschläge gebildet, die anschließend klassifiziert und in Histogrammen (siehe Abb. 12) zusammengefasst wurden. Bei den Stundenniederschlägen zeigen sich neue maximale Niederschlagsintensitäten. Daraus kann eine erhöhte Gefahr von kleinräumigen, durch Gewitterniederschläge ausgelöste Hochwasserereignisse



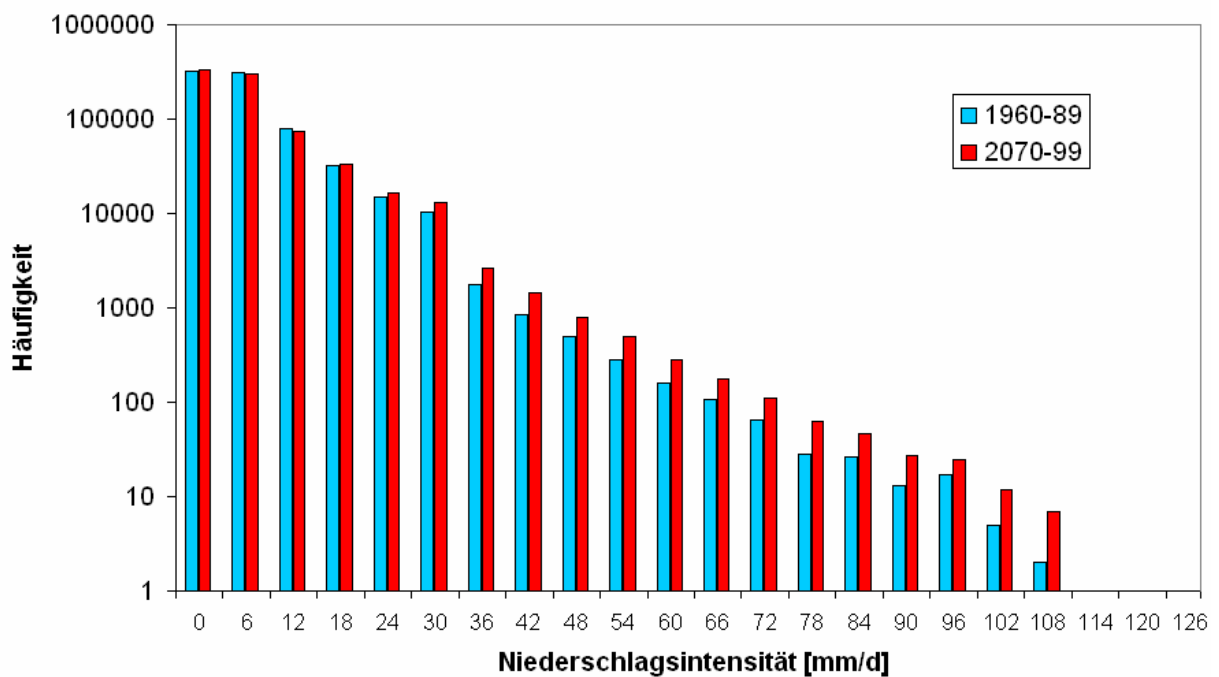
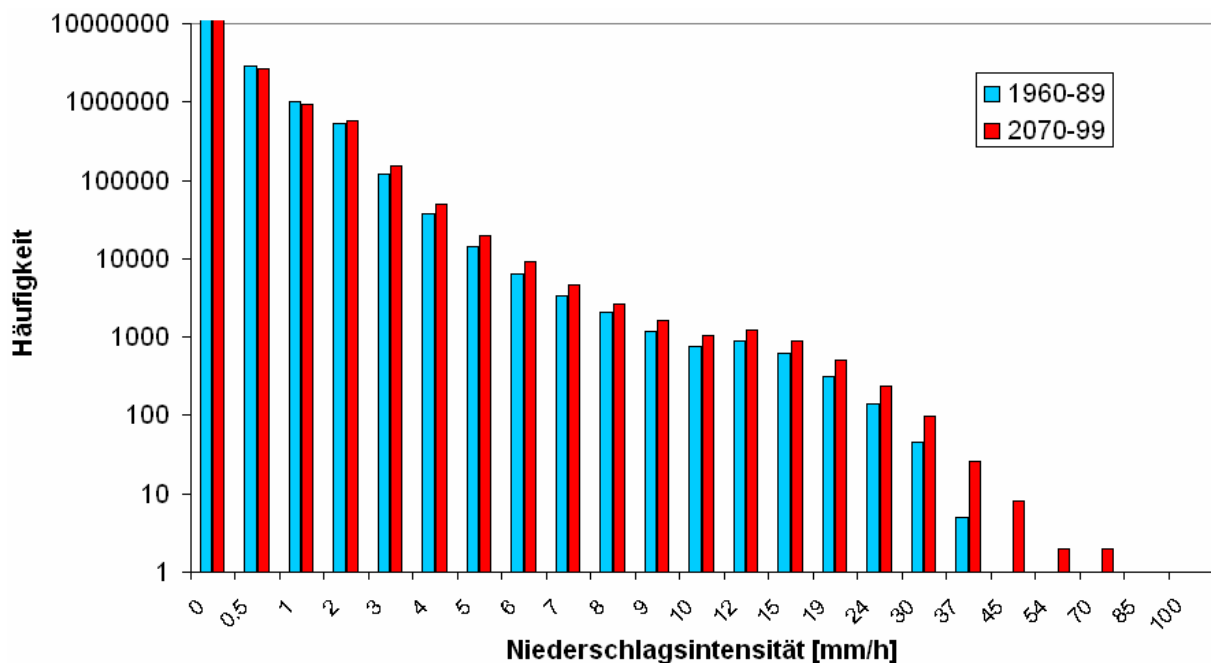


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilungen des Niederschlages für Stunden- (oben) und Tagesniederschläge (unten).

abgeleitet werden. Bei den Tagesniederschlagsintensitäten sind keine neuen Maxima feststellbar. Es zeigt sich jedoch eine Zunahme der Ereignisse aller Intensitätsklassen >18 mm/d. Durch die begrenzte Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens bedeutet eine Intensivierung des Niederschlages ein erhöhtes Hochwasserrisiko.

## 5. Effektiver Trockenheitsindex EDI (Effective Drought Index)

Der Effektive Trockenheitsindex (BYUN & WILHITE 1999) ist ein Maß für den Trockenstress auf Pflanzen. Dabei werden Bodenfeuchte, Evapotranspiration sowie die zeitliche Entwicklung des Trockenstresses berücksichtigt. Der Index kann über beliebig lange Aggregationszeiträume gerechnet werden. Für Mitteleuropa wurde der sechswöchige EDI<sub>42</sub> gewählt.

Im ersten Schritt wird der *effektive Niederschlag EP* über den Aggregierungszeitraum berechnet durch

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[ \left( \sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad (1)$$

mit der Anzahl der Tage des Aggregierungszeitraumes  $i$  und  $P_m$  Niederschlag des Tages  $i-m$ . Hintergrund der gewichteten Aufsummierung ist die Berücksichtigung der Bodenfeuchteänderung. Der mittlere effektive Niederschlag (MEP) über lange Zeiträume berechnet sich durch

$$MEP = \sum_{d=1}^n EP_{DOY} / n \quad (2)$$

mit dem Tag des Jahres DOY. Hierzu wurden jeweils die 30-jährigen Klimazeitscheiben herangezogen. Die Abweichung des Effektiven Niederschlags vom Mittleren Effektiven Niederschlag (EP-MEP) wird mit DEP bezeichnet.

Die Niederschlagsmenge zu Wiederherstellung des Normalzustandes PRN (Precipitation of the Return to Normal) berechnet sich durch

$$PRN_i = DEP_i / \sum_{N=1}^i (1/N) \quad (3)$$

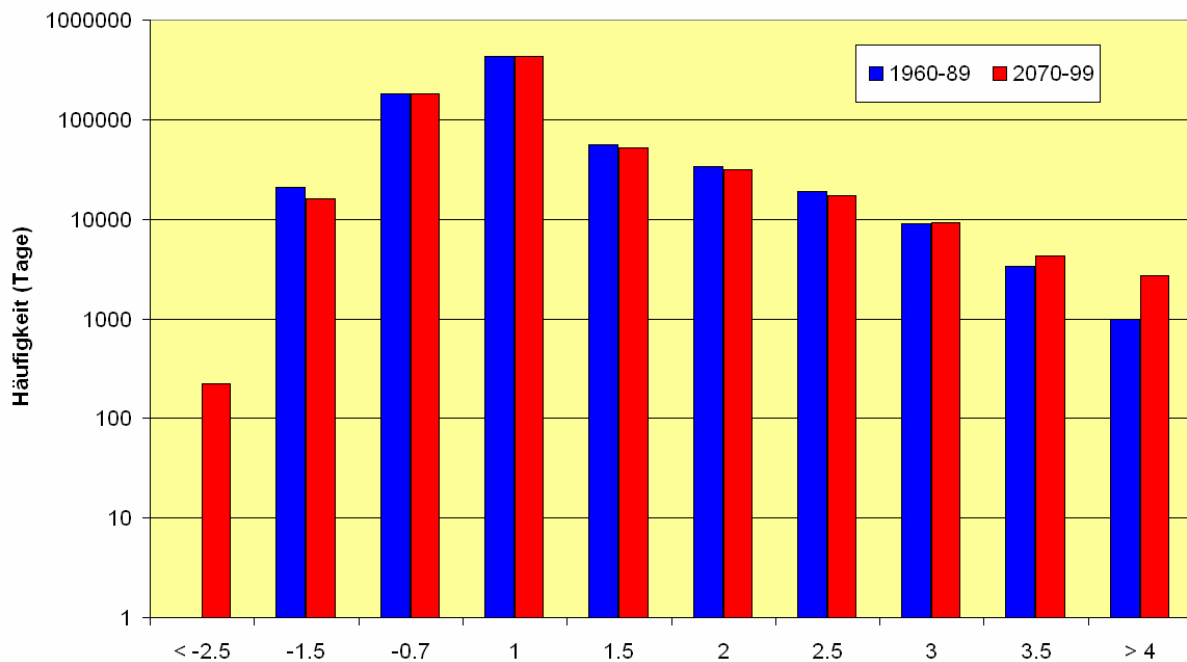
mit Anzahl der Tage des Aggregierungszeitraumes  $i=42$  und der Standardabweichung  $\sigma_{PRN}$ . Der Effective Drought Index (EDI) berechnet sich durch:

$$EDI_i = \frac{PRN_i}{\sigma_{PRN_i}} \quad (4)$$

Positive EDI zeigen eine Feuchte-, negative Werte eine Trockenperiode an. Die Trockendefinitionen sind in Tab. 4 dargestellt.

**Tabelle 4: Trockenheitsstufen des Effektiven Dürreindex EDI.**

EDI	Klassifikation
< -0.7	Moderate Trockenheit
< -1.5	Schwere Trockenheit
< -2.5	Extreme Trockenheit



**Abbildung 13: Effektiver Trockenheitsindex für die Zeiträume 1960-89 und 2070-99.**

In Abb. 13 ist der EDI, eingeteilt in Häufigkeitsklassen, für alle Gitterpunkte des Klimamodells dargestellt. Betrachtet man die Trockenereignisse ( $EDI < 0$ ), so ist kein häufigeres Auftreten von Trockenereignissen feststellbar; die Intensität der Ereignisse verstärkt sich jedoch, sichtbar wird dies durch das Auftreten der Ereignisse mit  $EDI < 2.5$  in der Zukunftszeitscheibe, die bisher ausblieben.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Studie wurden im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes „Klimawerkstatt“ Analysen zur Klimaänderung für die Region Chiemgau – Inn – Salzach - Berchtesgadener Land durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich die mittlere Temperatur im Zeitraum 2070-99 im Vergleich zum Zeitraum 1960-89 um ungefähr 3°C erhöhen wird. Die Sommermonate erwärmen sich dabei im Flächenmittel am stärksten. Es wurde deutlich, dass das Maximum der Erwärmung im Alpenraum zu finden ist. Neben der mittleren Erwärmung muss mir einer Zunahme der Extreme gerechnet werden. Dies haben die Untersuchungen zur Entwicklung der Sommertage und der heißen Tage ergeben. Die Anzahl der Frosttage nimmt hingegen ab.

Die Untersuchung der thermischen Vegetationsperiode zeigt eine Verlängerung des Zeitraumes zwischen 25 Tagen im Voralpenland und 50 Tagen im alpinen Bereich bei einer gleichzeitigen Verschiebung des Beginns im Norden im Mittel um 13 und im Süden um 27 Tage zum früheren Termin (Winter) hin.

Die DEKLIM-Klimadaten zeigen eine zukünftige Erhöhung des Jahresniederschlages um durchschnittlich 10%. Eine jahreszeitliche Betrachtung hat jedoch eine Abnahme des Sommerniederschlages um bis zu 30% gezeigt. Hier ist wiederum der Alpenbereich am stärksten betroffen. Bei den Stundenniederschlagsintensitäten haben sich im Zeitraum 2070-99 im Vergleich zu 1960-89 neue Maxima gezeigt. Weiterhin wurde eine deutliche Zunahme der maximalen Tagesniederschläge festgestellt. Diese Veränderungen lassen auf eine erhöhte Hochwassergefahr in Zeitraum 2070-99 rückschließen.

Die Betrachtung der Entwicklung des Trockenheitsindizes EDI, der ein Maß für den Trockenstress auf Pflanzen darstellt, hat ergeben, dass sich die Anzahl der Trockenperioden zwischen den Vergleichszeiträumen insgesamt nicht verändert, die Trockenheitsintensität sich jedoch verstärkt.

Im weiteren Verlauf des Projektes werden auf Basis der DEKLIM-Klimadaten Wasserhaushaltsmodellierungen durchgeführt. Diese werden für das Einzugsgebiet der Alz, einschließlich der Tiroler Ache, durchgeführt. Erwartete Resultate dieser Simulationen sind veränderte Hochwasserrisiken, aber auch Aussagen zur Veränderung von Niedrigwasser in den Sommermonaten. Zusätzlich werden hochaufgelöste Schneeäquivalentdaten sowie Bodenfeuchtedaten verfügbar sein.

## Literatur

- Byun, H.R., Wilhite, D.A. 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate* 12(9), 2747-2756.
- Chmielewski, F.M. 2007: Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft, pp. 75-85. In: Endlicher, W. (Hrsg.): *Der Klimawandel, Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*, Berlin und Potsdam, 134 p.
- Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffer, D. R., 1995. A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). Technical report, National Centre for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA. NCAR/TN-398+STR.
- Kotlarski, S., Block, A., Böhm, U., Jacob, D., Keuler, K., Knoche, R., Rechid, D., Walter, A. (2005): Regional Climate Model Simulations as Input for Hydrological Applications: Evaluation of Uncertainties. *Advances in Geosciences*, Vol. 5, 119-125.
- Schulla, J. & Jasper, K., 2000: Model description WaSiM-ETH, Institute for Geography, ETH, Zürich, 167 pp.,
- Werner, P.C. 2007: Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten?, pp. 56-59. In: Endlicher, W. (Hrsg.): *Der Klimawandel, Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*, Berlin und Potsdam, 134 p.