

Das Klima auf den Gitterpunkt gebracht

Ein Handbuch über Klimasimulationsdaten

Stand: November 2014

INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMAFORSCHUNG
SÜDDEUTSCHES KLIMABÜRO



Inhalt

Vorwort	4
Einleitung	5
Fragen	8
Klima	
Was ist der Unterschied zwischen Wetter und Klima?	8
Wieso ist ein warmer Sommer kein Indiz für Klimaänderungen?	8
Ab welchen räumlichen und zeitlichen Skalen kann man Klimaaussagen machen?	8
Welche Faktoren beeinflussen das Klima?	8
Kennt man schon alle externen Faktoren, die das Klima beeinflussen?	9
Klimamodellierung	
Kann ich mit Klimasimulationen das Klima vorhersagen?	10
Kann ich mit Klimadaten eine Aussage für meinen Wohnort treffen?	10
Kann ich die Klimamodell daten mit Stationsdaten einer Wetterstation vergleichen?	10
Sagt mir eine Klimasimulation das Wetter für den 1. Mai 2040, 11:00 Uhr voraus?	11
Was ist eine Reanalyse und wie wird sie erstellt?	11
Woher weiß ein Klimamodell , wie sich das Klima in Zukunft ändern wird?	12
Warum sollte ich mehrere Klimasimulationen (Ensembles) anschauen?	12
Wie werden Ensembles gebildet?	12
Wieso hat eine Klimasimulation Unsicherheiten? Sind alle Variablen gleich unsicher?	13
Was bedeutet eine hohe Auflösung für meine Klimadaten?	14
Gibt es Klimadaten nur an der Erdoberfläche?	14
Für wen oder was sind Klimadaten interessant?	14
Welche Anfangsdaten gehen in ein regionales Klimamodell ein?	15
Wie kann ich meine Modellergebnisse validieren?	16
Klimamodell daten des IMK	
Für welche Zeiträume liegen die Klimadaten am IMK vor?	17
In welchen Auflösungen liegen die Klimadaten am IMK vor?	17
Welche Daten(sätze) liegen den Klimasimulationen am IMK zugrunde?	18
Gehen auch lokale Daten(sätze) in die Klimasimulationen am IMK ein?	18
Gehen auch sich verändernde Größen mit in die Klimasimulationen am IMK ein?	18
Welche Variablen erzeugen die Klimasimulationen am IMK?	18
Kann ich die Ergebnisse von Klimasimulationen direkt verwenden?	18
Wurde am IMK eine Bias - Korrektur durchgeführt und wie funktioniert sie?	19
Technisches	
Welche Datenformate liegen vor?	20
Wie lese ich netcdf-Dateien ein?	20
Kann ich ein Klimamodell auf meinem Rechner laufen lassen?	20
Wie viel Speicherplatz brauchen die Klimadaten?	21
Wie lange dauern Klimasimulationen?	21
Glossar	22
Index	30

Vorwort

Die vorliegende Broschüre gibt Nutzern der Klimasimulationen des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-TRO) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine allgemeine Einführung im Umgang mit Klimasimulationsdaten.

Wir haben dazu Fragen beantwortet, die uns in den vergangenen Jahren von Nutzerseite gestellt wurden.

Diese beziehen sich nicht nur auf Klima und [Klimamodellierung](#) im Allgemeinen, sondern auch auf die Eigenschaften, Anwendungsmöglichkeiten und Einschränkungen der am IMK-TRO durchgeführten Klimasimulationen.

Die Bandbreite der Themen, die mithilfe von Klimasimulationen bearbeitet werden, ist sehr groß. Die beschriebenen Hintergrundinformationen helfen, die Potentiale der Verwendung unserer Daten einzuschätzen.

Falls Sie als Nutzer für ein spezielles Projekt Interesse an bestimmten Klimasimulationsdaten haben oder wissen möchten, welche unserer Daten für Ihre Fragestellung geeignet sind, kommen sie gerne auf uns zu.

Dies gilt auch für detaillierte Fragen zu den technischen Attributen des Modells, zu Versionen, Physikpaketen oder zu konkreten Datenanforderungen bezüglich der am Institut für Meteorologie und Klimaforschung vorhandenen Läufe.

In unserer Erfahrung hat es sich nämlich gezeigt, dass für die konkrete Nutzung von Klimasimulationsdaten der direkte Austausch zwischen Klimawissenschaftlern und Anwendern für beide Seiten nützlich ist.

Einleitung

Klimamodelle bilden die klimatischen Gegebenheiten und Entwicklungen ab und bieten die Möglichkeit, das aktuelle Klima konsistent quantitativ zu beschreiben, um so das mögliche Klima der Zukunft abzuschätzen. Viele physikalische Prozesse im Klimasystem sind gut verstanden und können daher auch im Modell entweder explizit berechnet oder **parametrisiert** werden.

Klimamodelle haben sowohl eine horizontale (einige 100 km) als auch eine vertikale Ausdehnung (bis etwa in 30 km Höhe), das heißt, sie können dreidimensionale Klimadaten liefern. In Klimamodellen sind – im Gegensatz zu Wettermodellen – die Anfangsbedingungen, von denen die Berechnung ausgeht, nicht so bedeutend wie bei **Wettervorhersagen**. Wichtiger ist es, die externen und internen Faktoren (s. „Welche Faktoren beeinflussen das Klima?“) möglichst genau zu kennen und in mathematisch-physikalischen Gleichungen unter der Angabe von Anfangs- und **Randbedingungen** ausdrücken zu können. Damit sind mittel- und langfristige **Projektionen** möglich, die aber nur bestimmte Wahrscheinlichkeiten und Entwicklungskorridore angeben können.

Grundsätzlich ist das Klimasystem ein dynamisches System. Die Prozesse, die Wetter und Klima bestimmen, laufen chaotisch ab. Das bedeutet, dass das Verhältnis Rauschen/Signal mit längerem **Prognosezeitraum** immer größer wird, sodass langfristige Trends mit geringer Variabilität immer mehr dominieren.

Globale **Klimamodelle** decken die gesamte Erde ab und erlauben daher Aussagen darüber, welche großskaligen und langfristigen Entwicklungen in verschiedenen Klimazonen zu erwarten sind. Derartige Aussagen werden als **Projektionen** bezeichnet. Globale **Klimamodelle** bestehen normalerweise aus einem Atmosphärenmodell, an das ein Boden- und ein Ozeanmodell gekoppelt sind. Man lässt dieses **Klimamodell** einschwingen, bis die einzelnen Komponenten miteinander im Gleichgewicht sind. Dann wird als äußere treibende Kraft ein **Emissionsszenario** angesetzt, das die Entwicklung des simulierten Klimas beeinflusst.

Regionale **Klimamodelle** betrachten nur einzelne Regionen, dafür aber mit einer höheren räumlichen **Auflösung** und stellen eine Möglichkeit des „Downscalings“ dar, also der Übertragung von Informationen aus Globalmodellen auf die regionale Skala. Dabei werden atmosphärische Prozesse auf der regionalen Skala mit einem regionalen **Klimamodell** berechnet. Regionale **Klimamodelle** bestehen aus einem Atmosphärenmodell und einem Bodenmodell (neuerdings auch einem Seen- und evtl. Ozeanmodell), die untereinander gekoppelt sind. Um die Abhängigkeit von globalen Prozessen zu berücksichtigen, werden Daten der globalen **Klimamodelle** als Anfangswerte und kontinuierlich als **Randbedingungen** während der Simulation benutzt.

Regionale Klimamodelle erlauben aufgrund ihrer hohen Auflösung eine kleinräumig detaillierte Darstellung für spezifische Fragestellungen. Sie bilden die lokal und regional spezifischen derzeitigen und künftigen klimatischen Bedingungen ab. Die am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) vorliegenden Klimasimulationen mit dem Modell COSMO-CLM (Gitterpunktmodell mit dynamischen Downscaling) können als Datengrundlage für Anwendungsfragen herangezogen werden und die Entwicklung von Anpas-

sungsmaßnahmen in den unterschiedlichsten Branchen unterstützen.

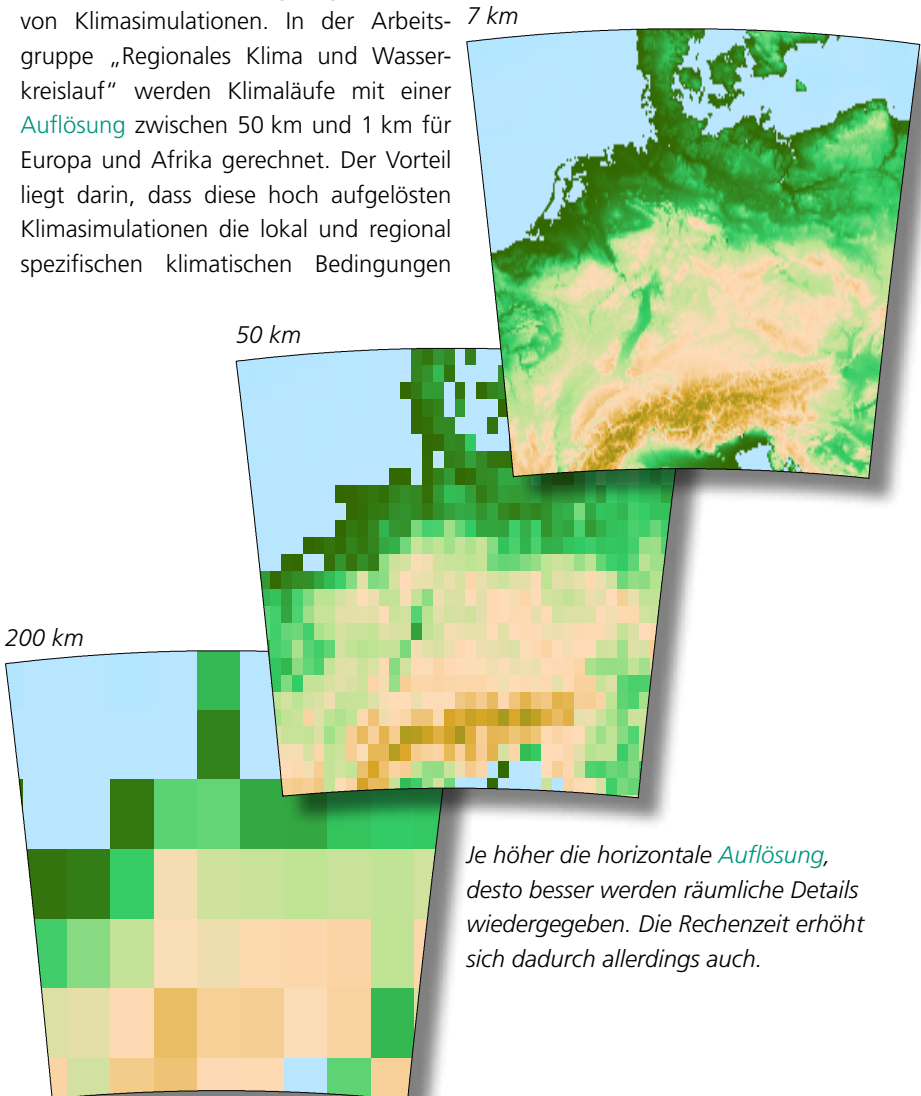
Die regionale Klimamodellierung wird als dynamisches Downscaling bezeichnet. Als weitere Downscalingmethoden gibt es noch statistische und statistisch-dynamische Methoden. Beim statistischen Downscaling verwendet man kein Regionalmodell, sondern ermittelt statistische Zusammenhänge zwischen globalem und regionalem Klima und zieht damit Rückschlüsse vom globalen auf das regionale Klima. Auf statistische und statistisch-



dynamische Methoden soll im Folgenden nicht weiter eingegangen werden.

Verschiedene Arbeitsgruppen am Institut für Meteorologie und Klimaforschung bearbeiten ihre Forschungsfragen mithilfe von Klimasimulationen. In der Arbeitsgruppe „Regionales Klima und Wasserkreislauf“ werden Klimäläufe mit einer **Auflösung** zwischen 50 km und 1 km für Europa und Afrika gerechnet. Der Vorteil liegt darin, dass diese hoch aufgelösten Klimasimulationen die lokal und regional spezifischen klimatischen Bedingungen

besser abbilden und somit nutzerorientierter zum Einsatz kommen können.



*Je höher die horizontale **Auflösung**, desto besser werden räumliche Details wiedergegeben. Die Rechenzeit erhöht sich dadurch allerdings auch.*

Fragen

Klima

Was ist der Unterschied zwischen Wetter und Klima?

Während der Begriff Wetter den aktuellen Zustand der Atmosphäre beschreibt, bezieht sich der Begriff Klima auf die statistischen Eigenschaften des Wetters über einen längeren Zeitraum (30 Jahre nach Definition der World Meteorological Organization - WMO).

Wieso ist ein warmer Sommer kein Indiz für Klimaänderungen?

Ungewöhnlich warme oder kalte Jahreszeiten sind genauso wie Hochwasserereignisse oder Stürme Einzelereignisse, die von der aktuellen Wetterlage hervorgerufen werden. Trends über ein selteneres oder häufigeres Auftreten solcher Ereignisse können sich nur in langen Zeitreihen, d. h. über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren, zeigen. Ein extremes Einzelereignis kann aber nie als Beleg für den Klimawandel gelten oder direkt auf diesen zurückgeführt werden, da innerhalb des Klimas natürlicherweise gewisse Schwankungen auftreten.

Ab welchen räumlichen und zeitlichen Skalen kann man Klimaaussagen machen?

Im Allgemeinen bezieht sich die Statistik der atmosphärischen Parameter

(u. a. Mittelwerte, Häufigkeiten) auf einen Zeitraum von 30 Jahren (in Einzelfällen auch etwas kürzere Zeiträume für spezielle Fragen). Die Daten der Klimasimulationen am IMK liegen für den Referenzzeitraum 1971–2000 vor. Für diesen Zeitraum können die Ergebnisse der Klimasimulationen mit Beobachtungsdaten von Klimastationen verglichen (validiert) werden. Der offizielle Referenzzeitraum für das Klima, den die World Meteorological Organization (WMO) als Normalperiode vorgibt, um einen internationalen Standard zu gewährleisten, umfasst die Jahre 1961–1990. Nach dem Jahr 2020 wird eine neue Normalperiode von 1991–2020 als Referenz für Klimadaten verwendet werden. Auf der räumlichen Skala können das globale Klima, das Klima in Regionen sowie das Klima in einzelnen Städten und die klimatischen Unterschiede zu ihrem Umland (Stadtklima) betrachtet werden.

Welche Faktoren beeinflussen das Klima?

Zum einen beeinflussen externe Faktoren wie die Sonnenstrahlung, Stellung der Erde zur Sonne (Erdbahnparameter), Plattentektonik und Vulkanausbrüche das Klima. Zum anderen bestehen zwischen den einzelnen Teilen des Kli-

masystems komplexe Wechselwirkungen, beispielsweise zwischen Ozean und Atmosphäre (z.B. Aufnahme von CO_2 durch die Ozeane), Atmosphäre und Biosphäre (z.B. Aufnahme von CO_2 durch Bäume) oder zwischen Boden und Atmosphäre (Abgabe von Methan aus Permafrostböden). Diese Verbindungen können nicht nur das Klima beeinflussen, sondern umgekehrt können sich bestehende Gleichgewichte zwischen diesen Teilen auch durch Klimaänderungen verändern. In den letzten 150 Jahren hat zudem der Mensch durch den Ausstoß von **Treibhausgasen** in das Klimasystem eingegriffen.

Kennt man schon alle externen Faktoren, die das Klima beeinflussen?

Viele Faktoren, die das Klima beeinflussen, sind zwar bekannt, allerdings gibt es noch viele offene Forschungsfragen in Bezug darauf, welche Rückkopplungen diese Einflüsse hervorrufen können, da es komplexe Wechselwirkungen gibt. Daher ist ein Ziel der Wissenschaft, durch Grundlagenforschung zu den einzelnen Einflüssen die **Klimamodelle** noch weiter zu verbessern. Einige Prozesse und wichtigen Komponente sind bekannt, konnten aber teilweise bislang wegen fehlender Rechnerleistung nicht in routinemäßig verwendete Modelle integriert werden.



Klimamodellierung

Diese Fragen zielen auf die allgemeinen technischen Hintergründe der (regionalen) Klimamodellierung ab, nicht spezifisch für das Regionalmodell COSMO-CLM.

Kann ich mit Klimasimulationen das Klima vorhersagen?

Im Gegensatz zu WetterVorhersagen, die direkt Temperatur, Niederschlag, usw. für die nächsten Tage angeben, sind Klimasimulationen i. d. R. keine Vorhersagen, sondern Projektionen. Das heißt, ihnen liegen Szenarien zugrunde. Falls sich die Welt gemäß diesen Annahmen entwickelt, wird die berechnete Klimaentwicklung erwartet. Um die Unsicherheiten bei den möglichen Entwicklungen zu berücksichtigen, werden Ensembles berechnet. Ein aktuelles Forschungsfeld, auch am IMK, ist, tatsächliche Prognosen oder Vorhersagen des Klimas über einen Zeitraum von 10 Jahren zu erstellen.

Kann ich mit Klimadaten eine Aussage für meinen Wohnort treffen?

Generell sind mit Klimasimulationen regionaler Klimamodelle regionale Aussagen möglich. Bei einer 7 km-Auflösung repräsentiert ein Gitterpunkt ein 7 x 7 km großes Gebiet. Bei Gitterpunktmodellen gilt als Faustregel, dass die Modellergebnisse für ein Gebiet ab der Größe der zwei- bis vierfachen Maschenweite interpretierbar sind. Das heißt, eine Größe von vier bis neun Git-

terpunkten im Modell muss betrachtet werden. Das Lokal- und Mikroklima kann erheblich von den Ergebnissen des regionalen Klimamodells abweichen. Dazu zählen zum Beispiel höhere Temperaturen in Innenstädten durch den städtischen Wärmeinseleffekt oder Effekte durch kleinräumige Orographie, die in der Auflösung des regionalen Klimamodells nicht berücksichtigt werden können. Darüber hinaus gibt es eine Untergrenze, unter der die Klimamodelldaten nicht interpretierbar sind. Unter dieser ist das Rauschen zu groß, um Klimasignale richtig interpretieren zu können. So sind Aussagen auf einstelliger km-Skala oder darunter nicht möglich. Eine hohe Auflösung der Klimamodelle ist trotzdem erstrebenswert, da bei hohen Auflösungen einzelne, auch kleinräumige Prozesse besser beschrieben werden können.

Kann ich die Klimamodelldaten mit Stationsdaten einer Wetterstation vergleichen?

Grundsätzlich ist es möglich, Klimamodelldaten mit Stationsdaten zu vergleichen, sofern die Station gewisse Anforderungen an ihre Repräsentativität erfüllt (DWD/WMO-Richtlinien). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass nur die statistische Verteilung der zu vergleichenden Größen verwendet werden kann. Eine Klimasimulation ist nämlich i. d. R. nicht in der Lage einzel-

ne Wetterereignisse wiederzugeben. Eine Ausnahme bilden **Klimamodell**daten, die auf **Reanalysen** und damit auf Messdaten beruhen. In diesen sollten auch bestimmte Wetterereignisse der Vergangenheit wiederzufinden sein.

Außerdem berechnet ein **Klimamodell** das Klima nicht exakt für denselben Ort, an dem die Wetterstation steht (siehe ebenfalls vorherige und nächste Frage).

Sagt mir eine Klimasimulation das Wetter für den 1. Mai 2040, 11:00 Uhr voraus?

In den Ergebnissen von Klimasimulationen können die Daten zwar in stündlicher **Auflösung**, d. h. mit einem Datenwert für jede Stunde der nächsten meist 100 Jahre ausgegeben werden, allerdings ist dieses Datum nur fiktiv. Es kann also beispielsweise nicht die Temperatur an einem einzelnen Tag in der Zukunft für Auswertungen herangezogen werden, sondern immer nur statistische Werte über 30-jährige Zeiträume, z. B. die Mitteltemperatur im Zeitraum 2071–2100 oder die mittlere jährliche Niederschlagssumme im Zeitraum 2041–2070. Das gleiche gilt für Simulationen der Vergangenheit. Auch dann ist es nicht möglich, ein in Messdaten aufgetretenes Ereignis auch in den **Klimamodell**daten wieder zu finden. Stattdessen können ebenfalls nur die statistischen Werte verglichen werden. Eine Ausnahme bilden Simulatio-

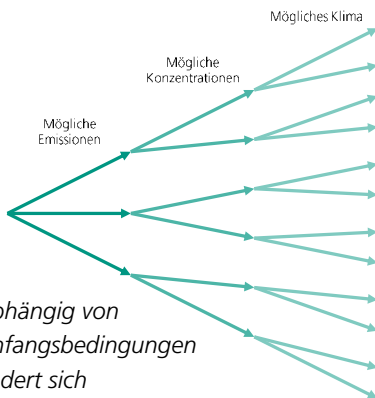
nen, die auf **Reanalyse**daten beruhen. Zu beachten ist auch, dass eine **Projektion** des zukünftigen Klimas immer nur eine mögliche Entwicklung wiedergibt. Daher sollte immer ein **Ensemble** betrachtet werden.

Wann sollte ich Klimasimulationen benutzen die auf Reanalyse-Daten beruhen?

Klimamodelle können nicht direkt mit Beobachtungen angetrieben werden da es keine Datensätze gibt die alle benötigten Klimavariablen in der erforderlichen räumlichen und zeitlichen **Auflösung** enthalten. Zudem sind sie zum Teil nicht kontinuierlich vorhanden und unterscheiden sich stark in ihrer Qualität. Deswegen verwendet man **Reanalyse**-Produkte als Antriebsdaten wenn es darum geht bestimmte Ereignisse oder Perioden der Vergangenheit zu analysieren und besser zu verstehen da diese einen direkten Zeitbezug haben. Sie geben Beobachtungen konsistent mit den physikalischen Gesetzmäßigkeiten wieder, in aktuelle Projekte gehen etwa sieben bis neun Millionen Beobachtungs-Datenwerte ein. Dies bedeutet jedoch auch, dass sie nur für die Vergangenheit vorliegen. Möchte man einen Vergleich zwischen Vergangenheit und Zukunft erstellen sollte man für beide Zeiträume den gleichen Antriebsdatensatz verwenden und Klimasimulationen verwenden die auf globalen **Klimamodellen** beruhen.

Woher weiß ein Klimamodell, wie sich das Klima in Zukunft ändern wird?

Das Klima wird von Faktoren wie **Treibhausgasemissionen** und **Landnutzungsänderungen** beeinflusst. Niemand aber weiß, wie sich diese Faktoren genau entwickeln werden. Um die Bandbreite der möglichen zukünftigen Entwicklungen des Klimas abbilden zu können, werden mehrere **Szenarien** erstellt, welche diese Faktoren mittels Annahmen beschreiben. Diese **Szenarien** stellen damit die **Randbedingungen** für Klimasimulationen dar. Im 5. IPCC-Bericht gibt es mehrere **Szenarien-„Familien“** (RCP = Representative Concentration Pathways), die die Änderung des Strahlungsantriebs (W/m^2) bis zum Jahr 2100 angeben. So können Entwicklungskorridore beschrieben werden, worin sich das zukünftige Klima aller Wahrscheinlichkeit nach befinden wird. Die Modellläufe beruhen deswegen stark auf diesen **Szenarien** und hängen



Abhängig von Anfangsbedingungen ändert sich das mögliche Klima

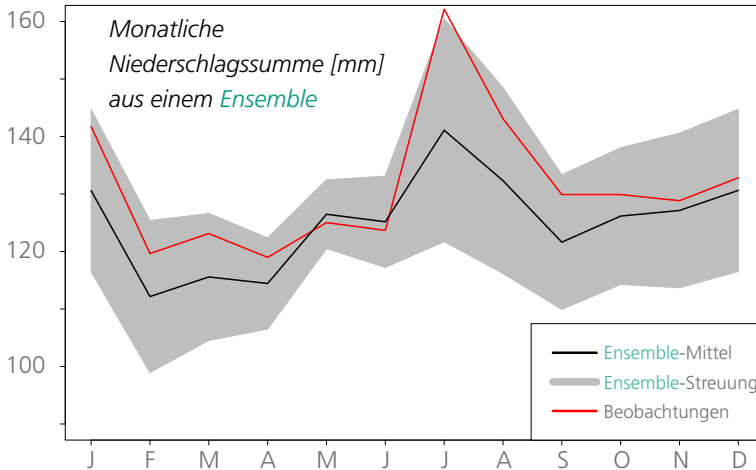
daher von den darin gemachten Annahmen ab.

Warum sollte ich mehrere Klimasimulationen (Ensembles) anschauen?

Mit einer einzigen Simulation eines regionalen **Klimamodells** wird nur eine mögliche Entwicklung des Klimas beschrieben. Betrachtet man mehrere Simulationen, ein **Ensemble**, erhält man die Bandbreite an möglichen Entwicklungen und kann daraus Aussagen über die Unsicherheiten treffen, mit denen die Ergebnisse behaftet sind. Zeigen die unterschiedlichen **Ensemble-Mitglieder** ähnliche Ergebnisse, zeigen also beispielsweise alle Simulationen einen bestimmten Trend, sind die Ergebnisse als robuster zu bewerten.

Wie werden Ensembles gebildet?

Ensembles regionaler Klimasimulationen können entweder gebildet werden, indem verschiedene regionale **Klimamodelle** verwendet werden, die alle die gleichen Antriebsdaten benutzen, und / oder indem ein regionales **Klimamodell** verwendet wird, das unterschiedliche Globalmodelle oder unterschiedliche Läufe (**Realisierungen**) eines Globalmodells heranzieht. Darüber hinaus können Globalmodelle mit verschiedenen **Emissionsszenarien** als Antriebsdaten genutzt werden. Da die einzelnen **Klimamodelle** unterschiedlich aufgebaut sind und beispielsweise mit unterschiedlichen **Auflösungen** und



unterschiedlichen externen Datensätzen betrieben werden, unterscheiden sich die Ergebnisse und spannen so eine Bandbreite der möglichen zukünftigen Entwicklung auf.

Wieso hat eine Klimasimulation Unsicherheiten? Sind alle Variablen gleich unsicher?

Das reale Klima ist ein chaotisches System und in all seinen Einzelheiten sehr komplex. Für die Berechnung des Klimas in Klimasimulationen müssen deswegen zwangsläufig Annahmen gemacht werden. Da nicht jeder Prozess wiedergegeben werden kann, ist eine Klimasimulation immer eine vereinfachte Wiedergabe des realen Klimas. Daraus ergeben sich Unsicherheiten, die sich wie folgt zuordnen lassen:

- die Unsicherheiten der Klimamodelle selbst (reduzierbar),

- die interne Variabilität des realen Klimas (nicht beeinflussbar),
- die Emissionsszenarien, welche die Klimamodelle verwenden

Um die verschiedenen Unsicherheiten zu berücksichtigen, sollte ein Ensemble erstellt werden. Abhängig von der Unsicherheit die berücksichtigt werden soll, kann ein Ensemble wie folgt erstellt werden:

- Modellunsicherheit → verschiedene Klimamodelle
- interne Variabilität → verschiedene Realisierungen
- Emissionsszenarien → Globalmodelle mit verschiedenen Emissionsszenarien

Beachtet werden muss, dass die Unsicherheiten zudem unterschiedlich für die einzelnen Variablen sind. So sind Temperaturdaten allgemein mit weniger Unsicherheit behaftet als Niederschlagsdaten.

Warum bekomme ich nur Klimadaten an Gitterpunkten und nicht dazwischen?

Ein **Klimamodell** rechnet grundsätzlich auf einem **Rechengitter**. Das heißt, dass Ergebnisse zunächst mal nur an den Knotenpunkten des Gitters (den **Gitterpunkten**) berechnet werden. Über die zwischen den Punkten des **Rechengitters** liegenden Gebiete liefert das Modell keine Ergebnisse. Dafür müssten im Einzelfall Interpolationsverfahren angewendet werden. Bei der graphischen Darstellung der Werte wird ein Punkt als repräsentativ für ein umliegendes Gebiet (die Gitterbox), dessen Größe von der **Auflösung** des Modells abhängt, gewertet.

Was bedeutet eine hohe Auflösung für meine Klimadaten?

Wenn man über den Abstand der **Gitterpunkte** zueinander redet, spricht man über die **Auflösung** des **Klimamodells**. Eine höhere **Auflösung** bedeutet in diesem Fall, dass die **Gitterpunkte** näher zusammenliegen. Für die Analyse regionaler Unterschiede werden regionale **Klimamodelle** mit einer typischen **Auflösung** zwischen etwa 1 und 50 km verwendet. Je feiner die **Auflösung** eines Modells ist, desto höher aber sind auch die Rechenzeit und der Speicherplatzbedarf, sodass sehr detaillierte Rechnungen bisher nur für relativ kleine **Modellgebiete** durchgeführt werden können.

Gibt es Klimadaten nur an der Erdoberfläche?

Ein **Klimamodell** rechnet dreidimensional. Das heißt, es werden nicht nur Klimadaten in der Horizontalen berechnet, sondern auch in der Vertikalen. Dies passiert in sogenannten Modellschichten. Während ein **Klimamodell** ein regelmäßiges horizontales Gitter hat, ist der Abstand zwischen den vertikalen Schichten abhängig von dem Abstand zur Erdoberfläche. Nahe der Oberfläche liegen die Schichten nahe aneinander (ca. 10–30 m) um die hier auftretenden großen Gradienten berücksichtigen zu können. Höher in der Modellatmosphäre liegen auch mehrere Kilometer zwischen den Schichten. Die höchsten Schichten liegen i. d. R. in ca. 30 km Höhe. Ausgewertet werden nur Daten für die Troposphäre, also die untersten 10 bis 15 km der Atmosphäre. Die angekoppelten Bodenmodelle rechnen meist bis in eine Tiefe von 10 bis 20 m.

Für wen oder was sind Klimadaten interessant?

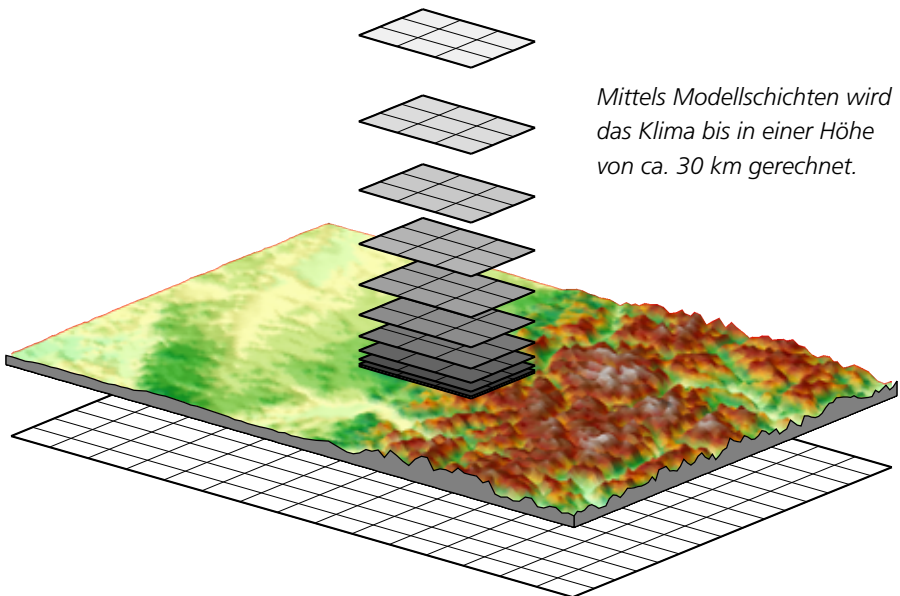
Klimamodelldaten sind für alle interessant, die in ihrer Tätigkeit direkt oder indirekt von Wetter und Witterung abhängig sind und deren Planungen sich auf einen langjährigen Zeithorizont beziehen. Die Branchen, die von Klimaänderungen betroffen sein werden, reichen dabei von Landwirtschaft und Weinbau über Bauwesen und Winter-

dienst bis hin zu Stadtplanung, Transportlogistik, Wassermanagement, und Energieversorgung. Hoch aufgelöste Klimamodellerggebnisse können die lokal und regional spezifischen klimatischen Bedingungen gut abbilden und nutzerorientiert aufbereitet werden. So kann die Entwicklung von Klimaanpassungsmaßnahmen unterstützt werden.

Welche Anfangsdaten gehen in ein regionales Klimamodell ein?

Für die Modellierung eines räumlichen Ausschnitts mit einem regionalen Klimamodell ist es zunächst nötig, Anfangswerte und Randbedingungen am

Rand des ausgewählten Bereichs als Antriebsdaten vorzugeben. Diese stammen jeweils aus Berechnungen von (gröber aufgelösten) globalen Klimamodellen. Die Eingangsparameter sind unter anderem Horizontal- und Vertikalwind, Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftdruck. An zeitlich nicht oder nur langsam veränderlichen Größen werden Informationen über die Topographie des Gebietes (Höhe über dem Meeresspiegel), über die Land-Meer-Verteilung im Modellgebiet, die Bodentypen, die Bedeckung mit Vegetation und einige mehr benötigt.




Wie kann ich meine Modellergebnisse validieren?

Um die Qualität von Modellergebnissen zu prüfen, wird üblicherweise eine Modellvalidierung anhand von Beobachtungen durchgeführt. Je nach Datenlage wird dabei unterschiedlich vorgegangen:

- Verwendung von Stationsbeobachtungen, gerasterten Beobachtungen oder **Reanalysen**
- Vergleich von Zeitreihen (geht i.a. nicht mit Klimasimulationen, da nur mit zeitlich korrelierten Daten möglich) oder Vergleich von Statistiken (z.B. räumliche oder zeitliche Mittel, Extreme oder Schwellenwertüberschreitungen)

- Direkter Vergleich (z.B. modellierte Temperatur – beobachtete Temperatur) oder indirekter Vergleich (z.B. modellierter Niederschlag über beobachteten Abfluß)

Wie zuverlässig eine solche Validierung ist, hängt von einer Reihe von Faktoren ab, z.B. welche Variable betrachtet wird, wie repräsentativ die Beobachtungen sind, usw. Stationsdaten, die auf ein Raster interpoliert wurden, sind bearbeitete Daten; daher hängt das Ergebnis von den verwendeten Verfahren ab. Idealerweise sollte ein **Ensemble** von Beobachtungsdaten mit einem **Ensemble** von Modelldaten verglichen werden, was praktisch aber unmöglich ist.



*Meteorologischer
Messmast des IMK
seit 01.12.1972
(Höhe: 200 m)*

Klimamodelldaten des IMK

Die Fragen beziehen sich auf die Klimadaten des regionalen Klimamodells COSMO-CLM, welche am IMK vorhanden sind.

Für welche Zeiträume liegen die Klimadaten am IMK vor?

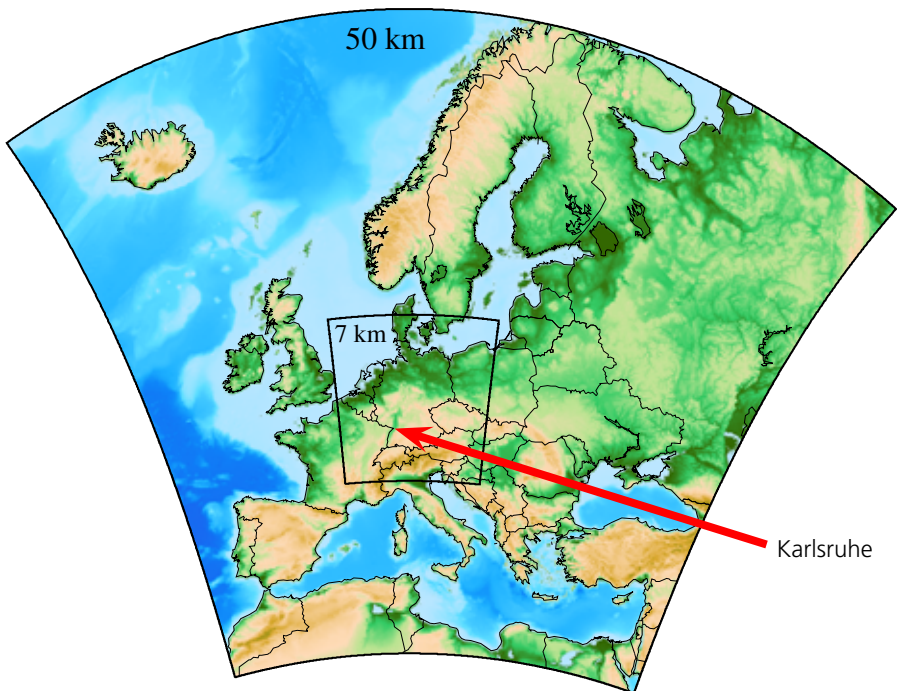
Unsere Daten liegen für einen Referenzzeitraum (1971–2000) und für die nahe Zukunft (2021–2050) vor. Simulationen mit Reanalyse­daten gibt es von 1971–2010.

In welchen Auflösungen liegen die Klimadaten am IMK vor?

Unsere Klimadaten am IMK haben eine Auflösung von 50 km und 7 km. Eine Übersicht der dazugehörigen Modellgebiete ist in der unten gezeigten Abbildung zu sehen.

Gibt es die Daten am IMK nur in einer bestimmten Höhe?

Wir benutzen 40 Atmosphärenschichten von Bodenhöhe bis etwa 30 km und zehn Bodenschichten, die bis in eine Tiefe von etwa 12 Metern gehen.



Die Modellgebiete am IMK mit der jeweiligen horizontalen Auflösung

Für viele Anwendungen ist aber eher der bodennahe Bereich der Atmosphäre von Interesse, so wird z.B. die Temperatur normalerweise in zwei Metern ausgegeben, der Wind in zehn Metern (s. auch „Gibt es **Klimamodell**daten nur an der Erdoberfläche?“).

Welche Daten(sätze) liegen den Klimasimulationen am IMK zugrunde?

Unser regionales **Klimamodell** COSMO-CLM besteht aus einem Atmosphärenmodell und einem Bodenmodell. Als Anfangs- und **Randbedingungen** für das Atmosphärenmodell verwenden wir Daten von Globalmodellen oder aus **Reanalysen**. Dazu kommen noch konstante Werte wie z.B. die Topographie. Weitere konstante Werte wie z.B. der Bodentyp, Hangneigung und Wurzeltiefe gehen als Anfangswerte in das Bodenmodell ein (s. auch „Welche Anfangsdaten gehen in ein regionales **Klimamodelle** ein“).

Gehen auch lokale Daten(sätze) in die Klimasimulationen am IMK ein?

Lokale Datensätze gehen als konstante Anfangswerte mit in die Klimasimulationen ein. Vor allem das Bodenmodell benötigt lokale Informationen, dazu gehören unter anderem die Topographie, das Land / Wasser Verhältnis und die mittlere Wurzeltiefe in einer Gitterzelle, der Bodentyp und die Hangneigung.

Gehen auch sich verändernde Größen mit in die Klimasimulationen am IMK ein?

Diese Daten gehen nicht direkt in unsere Klimasimulationen mit ein. Sie werden aber indirekt über die **Emissionsszenarien**, die in die globalen **Klimamodelle** mit einfließen, berücksichtigt.

Welche Variablen erzeugen die Klimasimulationen am IMK?

Es gibt sehr viele Variablen, die ausgegeben werden. Die wichtigsten sind die Temperatur in zwei Metern Höhe, Bodentemperatur und -feuchte, Niederschlag, Wind, Strahlung und Luftfeuchtigkeit.

Kann ich die Ergebnisse von Klimasimulationen direkt verwenden?

Ob die Ergebnisse direkt verwendet werden können, hängt von der jeweiligen Anwendung bzw. dem jeweiligen Datensatz ab. Ergebnisse von Klimasimulationen sind meist mit einem **Bias** behaftet. Will man die Daten zum Antrieb von einem Modell, z. B. einem hydrologischen Modell verwenden, sollte man **Bias-korrigierte** Daten verwenden. Auch wenn man absolute Schwellenwerte, z.B. die Anzahl der Tage mit einer Temperatur über 30 °C betrachten will, ist eine **Bias-Korrektur** sinnvoll. Betrachtet man allerdings das Änderungssignal zwischen zwei Zeiträumen oder relative Maße (z. B. Anomalien) kann man unkorrigierte Daten verwenden

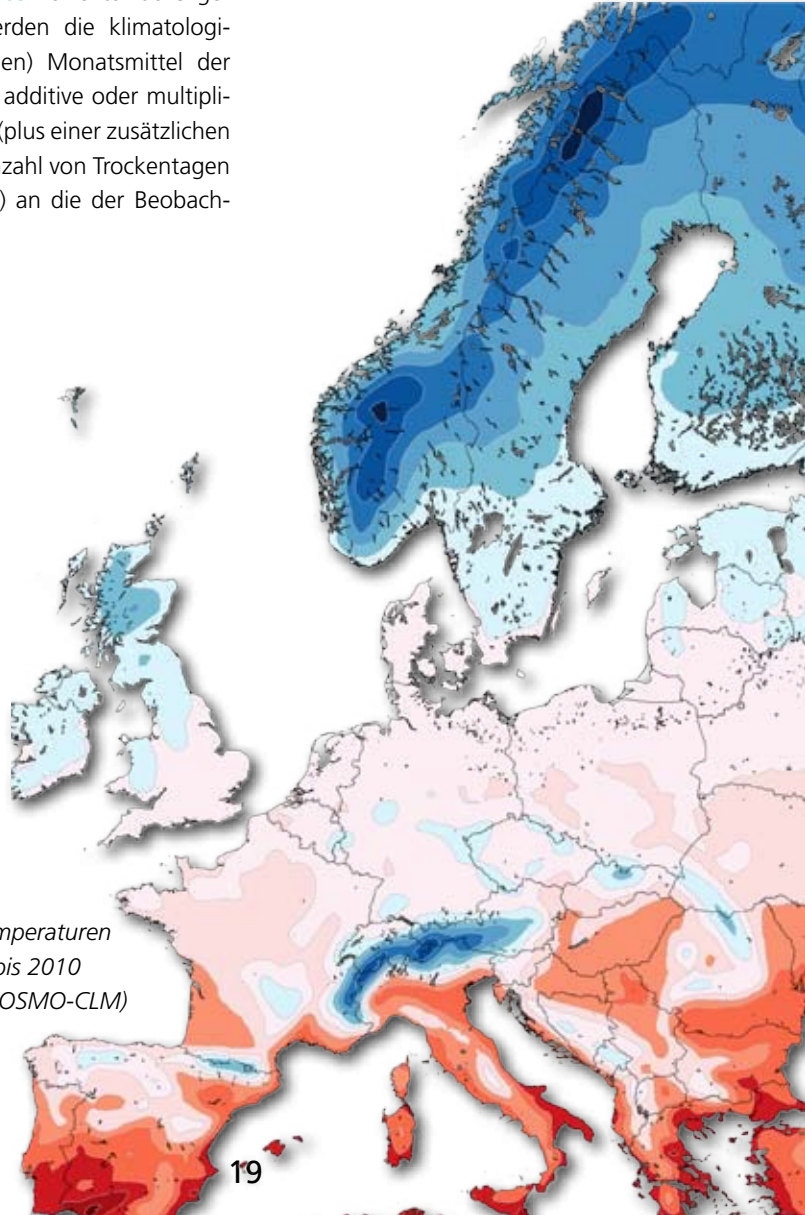
Wurde am IMK eine Bias-Korrektur durchgeführt und wie funktioniert sie?

Für einige Datensätze wurde für Temperatur in zwei Metern, Niederschlag und Strahlung eine Bias-Korrektur durchgeführt. Dafür werden die klimatologischen (30-jährigen) Monatsmittel der Daten durch eine additive oder multiplikative Korrektur (plus einer zusätzlichen Korrektur der Anzahl von Trockentagen für Niederschlag) an die der Beobach-

tungen angepasst. Dies geschieht für jeden Gitterpunkt im Modellgebiet. Für Klimaprojektionen werden die Parameter des Vergangenheitszeitraums als Korrekturfaktoren genutzt.



Mittlere Sommertemperaturen für die Jahre 1961 bis 2010 (Beispiel-Ergebnis COSMO-CLM)



Technisches

Welche Datenformate liegen vor?

Unsere Daten werden alle im netcdf-Format („.nc“) abgespeichert. Informationen zu diesem Format: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>.

Wie lese ich netcdf-Dateien ein?

Die Daten können mit einer Vielzahl von Programmen eingelesen und bearbeitet werden. Eine ausführliche Übersicht gibt es unter: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/software.html>.

Kann ich ein Klimamodell auf meinem Rechner laufen lassen?

Es gibt sehr einfache **Klimamodelle**, mit denen man globale Klimaprozesse auch auf seinem Privatrechner modellieren kann. Am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg wurden z. B. PUMA (Portable University Model of the Atmosphere) und das Nachfolgemodell, Planet Simulator, entwickelt. Beide sind als freeware frei verfügbar. Für kompliziertere **Klimamodelle**, wie z. B. COSMO-CLM, und realistische Si-



mulationen sind PCs derzeit nicht geeignet. Für unsere hoch aufgelösten Klimasimulationen benutzen wir 1024 Prozessoren eines Parallelrechners.

Wie viel Speicherplatz brauchen die Klimadaten?

Der Speicherplatzbedarf hängt zum einen von der Länge des Zeitraumes und dem zeitlichen Intervall (stündliche, tägliche, monatliche oder jährliche Werte), in dem die Daten ausgeschrieben worden, ab. Zum anderen spielt die Anzahl von Gitterpunkten des betrachteten Modellgebiets, die Anzahl

der Variablen und vertikalen Schichten eine Rolle. Für das Gebiet mit 7 km-Auflösung (165 x 200 Gitterpunkten und 40 Atmosphärenschichten) haben die Modelldaten für ein Jahr eine Größe von etwa 350 Gigabyte (GB). Eine Variable, z. B. stündliche Temperaturdaten in zwei Metern Höhe für ein Jahr, benötigt etwa 1 GB Speicherplatz.

Wie lange dauern Klimasimulationen?

Die Simulationsdauer ist zum einen abhängig von der Anzahl der Gitterpunkte, die aus der Größe des Modellgebietes und dem Gitterabstand (Auflösung) bestimmt wird, und zum anderen von dem Zeitraum (z. B. ein Jahr, 30 Jahre) und dem zeitlichen Abstand zwischen zwei Berechnungsschritten innerhalb dieses Zeitraumes (z. B. eine Minute, eine Stunde). Zudem ändert sich die Simulationsdauer mit der Anzahl von Variablen, die ausgegeben werden sollen. Für unsere Simulationen brauchen wir auf dem Parallelrechner des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart (HLRS) pro Simulationsjahr etwa 90 Minuten für das Europa-Gebiet mit einer 50 km-Auflösung (das entspricht 118 x 110 Gitterpunkten und 40 vertikalen Schichten) und etwa sieben Stunden für Zentraleuropa mit einer 7 km-Auflösung (entspricht 165 x 200 Gitterpunkten und 40 vertikalen Schichten).



Glossar

Auflösung (räumlich/ zeitlich)

Zur mathematischen Umsetzung der **Klimamodelle** wird über das Gebiet, für das eine Berechnung durchgeführt werden soll, ein **Rechengitter** gelegt. Der Abstand, mit dem diese **Gitterpunkte** voneinander entfernt liegen, ist das Maß für die räumliche **Auflösung** des Modells und der darin dargestellten Prozesse. Da dieses **Rechengitter** dreidimensional ist, gibt es eine horizontale und eine vertikale **Auflösung**. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausgabezeitschritten wird als zeitliche **Auflösung** bezeichnet.

Bias(-Korrektur)

Der Begriff **Bias** beschreibt eine systematische Abweichung zwischen Modellergebnissen und Beobachtungen, also einen Unterschied in den **Klimamodell**rechnungen für einen Vergangenheitszeitraum gegenüber Beobachtungsdaten. Bei einer **Bias-Korrektur** wird diese Abweichung bestmöglichst korrigiert. Es gibt verschiedene Verfahren, um eine **Bias-Korrektur** durchzuführen. Eine einfache Methode besteht darin, die 30-jährigen Mittelwerte (z. B. Monatsmittelwerte) der Modelldaten mit einem linearen Faktor so zu korrigieren, dass sie mit denen der Beobachtungen übereinstimmen. Dies geschieht für jeden **Gitterpunkt** des **Modellgebiets**.

Ensemble

Um die Bandbreite möglicher Entwicklungen des Klimas abschätzen zu können und die Unsicherheiten der Modelle und der Eingangsparameter zu berücksichtigen, sind mehrere unterschiedlichen Klimasimulationen nötig. Eine Sammlung von Klimasimulationen wird **Ensemble** genannt.

Gitterpunkt

In einem **Klimamodell** ist ein **Rechengitter** über das **Modellgebiet** gelegt, für das die Simulation durchgeführt wird, dessen **Gitterpunkte** mit Werten der geographischen Länge und Breite definiert sind. An diesen Punkten werden dann die Werte für Temperatur, Niederschlag, usw. berechnet.

Initialisierung

Regionale **Klimamodelle** müssen initialisiert werden, d.h. sie brauchen Anfangswerte zum ersten Zeitpunkt der Simulation.

Diese Antriebsdaten nimmt man aus globalen **Klimamodellen** oder **Reanalyse**daten.

interne Variabilität

Die **interne Variabilität** bezeichnet die Schwankungen, die natürlicherweise durch Wechselwirkungen zwischen einzelnen Teilen des Klimasystems auftreten. Dazu gehört zum Beispiel das Phänomen El Niño, eine Veränderung der Meeres- und Luftströmungen im Pazifik, die weitreichende Wetterfolgen in unterschiedlichen Regionen der Erde hat. Darüber hinaus tragen zur natürlichen Variabilität auch äußere / externe Einflüsse wie Vulkanismus oder Änderungen in der Sonnenstrahlung bei. Von diesen natürlichen Einflüssen ist die anthropogene Komponente in Form von Emissionen, die das Klima beeinflussen, zu unterscheiden.

Klimamodell

Klimamodelle simulieren das Klima der Erde und seine Veränderungen auf der Grundlage von physikalischen Gesetzen, die durch mathematische Gleichungen beschrieben werden. Diese Gleichungen bilden, soweit möglich, die einzelnen (physikalischen, chemischen und biologischen) Komponenten des Klimasystems und ihre komplexen Wechselwirkungen und Rückkopplungen numerisch ab. **Klimamodelle** haben eine horizontale und eine vertikale Ausdehnung (bis etwa in 30 km Höhe). So sind dreidimensionale Klimasimulationen möglich.

Modellgebiet

Das **Modellgebiet** beschreibt, welcher Raum von der Klimasimulation abgedeckt wird. Bei globalen **Klimamodellen** ist dies die ganze Welt, bei regionalen **Klimamodellen** Europa, Deutschland oder nur eine einzelne Region. Die Größe des **Modellgebiets** hängt dabei entscheidend von der **Auflösung** ab. Je feiner die **Auflösung** eines Modells ist, desto höher sind auch die Rechenzeit und der Speicherplatzbedarf, sodass sehr detaillierte Rechnungen bisher nur für relativ kleine Gebiete durchgeführt werden können.

Modellauf

Ein Modellauf ist eine Berechnung eines **Klimamodells**.

Parametrisierung

Manche Prozesse finden auf räumlichen Skalen statt, die kleiner als die Gitterzellen des Modells sind. Dazu gehören z. B. Wolken-

bildung und die Entstehung von konvektivem Niederschlag. Diese Prozesse können somit nicht explizit durch das **Klimamodell** berechnet werden, sondern müssen **parametrisiert** werden. Das heißt, sie werden durch Variablen, die das **Klimamodell** berechnet, beschrieben und ihre Auswirkung auf diese Variablen wiederum berücksichtigt.

Prognose

Eine **Prognose** ist eine **Vorhersage**, die sich, ausgehend vom Jetzt-Zustand, auf einen konkreten Zeitpunkt in der Zukunft bezieht. Dies ist bei einer **Wettervorhersage** der Fall.

Projektion

Die von einem **Klimamodell** anhand des zugrunde gelegten **Szenarien** berechnete zukünftige Klimaentwicklung. Da es sich nicht wie bei **Wettervorhersagemodellen** um **Vorhersagen** handelt, sondern die berechnete Entwicklung nur für bestimmte Annahmen Gültigkeit hat, spricht man von **Projektionen**.

Randbedingung

Das Klima einer bestimmten Region ist nicht unabhängig von Prozessen die außerhalb dieses Gebietes ablaufen. Bei regionalen Klimasimulationen werden deswegen in regelmäßigen Abständen am Rand des **Modellgebietes** Daten von Globalen **Klimamodellen** oder **Reanalysen** eingespeist, um diese Prozesse und Abhängigkeiten zu berücksichtigen.

Realisierung

Wegen der **internen Variabilität** des realen Klimas ist eine Klimasimulation nicht komplett unabhängig von dessen Anfangsbedingungen. Um diese Variabilität zu berücksichtigen, werden verschiedenen Klimasimulationen an unterschiedlichen Anfangszeitpunkten (sprich mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen), aber mit gleichem **Emissionszenario** durchgeführt. Ein leicht verschobener Anfangszeitpunkt hat Auswirkungen über die ganze Simulationsdauer hinweg.

Reanalyse

Als **Reanalyse** bezeichnet man einen Datensatz, für den möglichst viele Messdatensätze für verschiedene Variablen mit Hilfe eines numerischen **Vorhersagemodells** für den ganzen Globus aufbereitet wurden. **Reanalysen** stellen die bestmögliche An-

passung des Modells an die tatsächlichen Beobachtungen dar. Klimasimulationen die mit **Reanalyse**-Daten angetrieben werden, gelten somit als die beste Möglichkeit für die Validierung von **Klimamodellen**. Bei aktuellen **Reanalyse**-Projekten gehen etwa sieben bis neun Millionen Beobachtungs-Datenwerte für jeden Zeitschritt ein. Die Güte der **Reanalyse** hängt deswegen stark von den vorhandenen Messdaten ab. Es gibt unterschiedliche Datensätze, beispielsweise NCEP- und ERA-**Reanalysen**. Sie stehen wegen der Verwendung von Messdaten nur für die Vergangenheit zur Verfügung.

Rechengitter

Das **Rechengitter** definiert für ein **Klimamodell**, an wie vielen Punkten Daten berechnet werden und wo diese liegen. Jeder **Gitterpunkt** hat dabei einen festen x-, y und z-Wert und ist damit räumlich festgelegt. An diesem „Ort“ werden die verschiedenen Werte für die Variablen Temperatur, Niederschlag, usw. berechnet.

Regionalisierung

Um Aussagen auf regionaler Ebene aus den Ergebnissen von **Klimamodellen** ableiten zu können, ist eine **Regionalisierung** der globalen Klimasimulationen notwendig. Dazu wird in einem so genannten Nesting-Verfahren für ein kleineres **Modellgebiet** ein **Modelllauf** in feinerer räumlicher **Auflösung** gerechnet, wobei die Ergebnisse einer Simulation eines globalen **Klimamodells** die **Randbedingungen** vorgeben.

Szenarien

Die Klimaentwicklung hängt von vielen **Randbedingungen** ab. Eine der wichtigsten **Randbedingungen** ist die Menge an **Treibhausgasen** in der Atmosphäre. Diese Menge wiederum hängt von externen Faktoren wie der Bevölkerungszahl, der Wirtschaft und der Technik ab. Um eine zukünftige Klimaentwicklung abschätzen zu können, müssen deswegen zuerst mit Hilfe der Entwicklung der externen Faktoren die möglichen Emissionen von **Treibhausgasen** und damit die Menge der Gase in der Atmosphäre für die Zukunft berechnet werden. Solche möglichen Entwicklungen werden **Szenarien** genannt.

Treibhausgase

Als **Treibhausgase** werden Gase bezeichnet, die in der Atmosphäre die von der Sonne einfallende, kurzwellige Strahlung wenig beeinflusst zur Erde durchlassen. Gleichzeitig absorbieren sie von der Erde ausgehende, langwellige Wärmestrahlung maßgeblich und emittieren sie anschließend in alle Raumrichtungen. So gelangt thermische Gegenstrahlung zurück zur Erdoberfläche. Die Erdoberfläche weist folglich eine höhere Temperatur auf. Fazit: Es wird wärmer auf der Erde. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt würde die Mitteltemperatur der Erde -18 °C statt tatsächlich etwa 15 °C betragen. Zu den **Treibhausgasen** zählen Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O), Methan (CH_4) und Ozon (O_3).

Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung

www.imk-tro.kit.edu

Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung - Forschungsbereich Troposphäre (IMK-TRO) ist einer von vier Bereichen des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung (IMK). In der Forschung werden grundlegende Untersuchungen zu Wettersystemen, Grenzschichtmeteorologie, Wolkenphysik, Spurenstoffhaus-

halten, Klima und wetterbedingten Gefährdungen durchgeführt. Das Institut ist federführend am KIT-Zentrum „Klima und Umwelt“ beteiligt und trägt maßgeblich zum Programm „Atmosphäre und Klima“ der Helmholtz-Gemeinschaft im Forschungsbereich „Erde und Umwelt“ bei.

Die Arbeitsgruppe regionales Klima und Wasserkreislauf

www.imk-tro.kit.edu/2617.php

Die Arbeitsgruppe regionales Klima und Wasserkreislauf des IMK-TRO befasst sich mit der Modellierung, der Analyse und der Interpretation von Klimadaten auf der regionalen Skala in hoher räumlicher **Auflösung**. In der Gruppe werden **Ensembles** von regionalen Klimasimulationen mit

dem Regionalmodell COSMO-CLM erstellt und analysiert, z. B. hinsichtlich von Extremen. Neben **Klimaprojektionen** wird auch auf dem recht neuen Feld der dekadischen **Klimaprognosen** geforscht. Des Weiteren wird an der Weiterentwicklung von Boden-Vegetationsmodellen gearbeitet.

Das Süddeutsche Klimabüro am KIT

www.sueddeutsches-klimabuero.de

Das Süddeutsche Klimabüro am KIT vermittelt zwischen Klimaforschung und Gesellschaft und stellt für Medien, öffentliche Organisationen sowie Entscheidungsträger aus Wirtschaft und Politik wissenschaftliche Informationen zu Klima und den Auswirkungen des regionalen

Klimawandels bereit. Dabei wird auf Forschungsergebnisse und auf die Expertise des KIT-Zentrums „Klima und Umwelt“, dem das Süddeutsche Klimabüro zugehörig ist, weiterer Institute des KIT und anderer Einrichtungen im süddeutschen Raum zurückgegriffen.

Index

Auflösung	5, 6, 7, 10, 11, 14, 17, 21, 22, 23, 25, 28
Bias	18, 19, 22
Emissionsszenarien	12, 13, 18
Ensemble	10, 11, 12, 13, 16, 22, 28
Gitterpunkt	10, 14, 19, 21, 22, 25
Initialisierung	22
interne Variabilität	13, 23
Klimamodell	5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 25
Modellgebiet	14, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 25
Modelllauf	12, 23, 25
Parametrisierung	5, 23, 24
Prognose	24, 28
Projektion	11, 19, 24, 28
Randbedingung	5, 12, 15, 18, 24, 25
Realisierung	5, 12, 15, 18, 24, 25
Reanalyse	5, 11, 12, 15, 18, 24, 25
Rechengitter	14, 22, 25
Regionalisierung	25
Szenarien	10, 12, 24, 25
Treibhausgase	9, 25, 26
Vorhersage	10, 24

Kontakt

Institut für Meteorologie und Klimaforschung
Dr. Gerd Schädler
Katrin Sedlmeier

Süddeutsches Klimabüro
Dr. Hans Schipper
Julia Hackenbruch



Herrmann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

www.sueddeutsches-klimabuero.de
klimabuero@kit.edu

Herausgeber

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Karlsruhe
© KIT 2014

urn:nbn:de:swb:90-438845

gedruckt auf 100% Recycling-Papier (Umweltsiegel „Euroblume“)

www.kit.edu