

TEXT TIM SCHRÖDER

Schwül und heiß ist die Luft, wenn sie im Juni nach Nordost zieht. Tausende Kilometer ist sie über den Indischen Ozean gezogen, hat sich mit Wasserdampf vollgesogen. Mit ihren regenschweren, fetten Bäuchen schleppen sich die Wolken dahin. Es braucht nicht viel, damit sie aufreißen, ein Hindernis, ein paar Berge. Sobald sie den Südwest-Zipfel Indiens erreichen, sich an den Bergen von Kerala scheuern, emporgezwungen werden, platzt der Regen los, wochenlang. Der Monsun ist da.

DER MONSUN ERWECKT DIE NATUR ZU NEUEM LEBEN

Das bleigraue Wolkenmeer umschiffte die Bergflanken und breitet sich schließlich über ganz Indien bis zum Himalaja aus. Der Regen fällt auf ausgedörrte Böden, füllt Bäche und Flüsse. Rinnäle schwellen zu Strömen an. Das Wasser überflutet Wege, Wiesen, Dörfer. Menschen waten im knietiefen Wasser. Autos rollen mit kleiner Bugwelle die überschwemmten Straßen entlang. Doch für die Inder ist das keine Katastrophe. Montelang war es trocken. Mit dem Monsun erwacht das Leben.

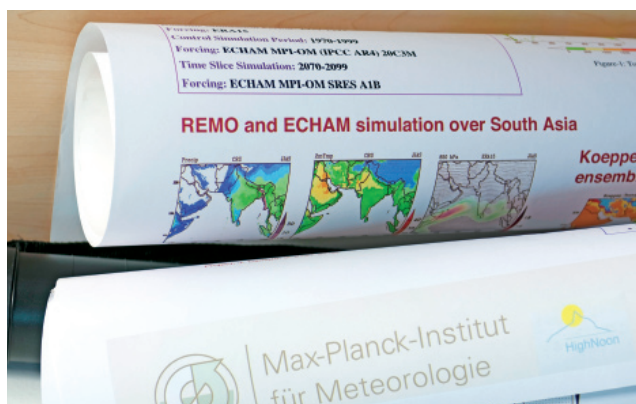
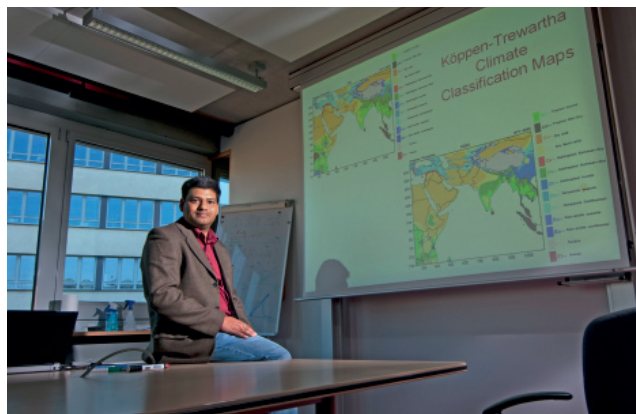
Der Monsun bringt das Nass für ein ganzes Jahr: Trinkwasser, Wasser für Äcker und Plantagen. So ist es seit Jahrhunderten. 1,2 Milliarden Menschen leben heute in Indien. Die Bevölkerung wächst und damit auch die Menge an Lebensmitteln, die der Subkontinent produzieren muss, um alle Menschen zu ernähren. Zugleich wächst die Angst, dass der Klimawandel das Wechselspiel aus Trockenzeit und Monsun-Regengüssen in wenigen Jahrzehnten aus dem Takt bringen könnte. Was, wenn der Regen zu spät kommt? Was, wenn Niederschläge ganz ausbleiben? >

Das Schicksal des großen Regens

Der Klimawandel trifft die Menschen global ebenso wie regional. So erforscht **Pankaj Kumar**, Mitarbeiter am **Climate-Service-Center** und am **Max-Planck-Institut für Meteorologie** in Hamburg, das Wechselspiel aus Trockenzeit und Monsun in Indien. Er will herausfinden, wie es mit dem Wasserhaushalt künftig bestellt sein wird. Dabei hilft das Computerprogramm REMO, das **Daniela Jacob** und ihr Team am Hamburger Max-Planck-Institut entwickelt haben.

Foto: Corbis

Wasserwelt: Diese Luftaufnahme zeigt ein überflutetes Gebiet nahe der zentralindischen Stadt Raipur. Die jährliche Regensaison fordert im südlichen Asien jährlich Tausende von Todesopfern.



Gleichsam mit der Lupe betrachtet der Max-Planck-Wissenschaftler Pankaj Kumar (oben) das Klima in Indien. Mithilfe der Simulationsprogramme REMO und ECHAM (unten) zoomt er sich in Täler, Bergwälder und Großstädte.

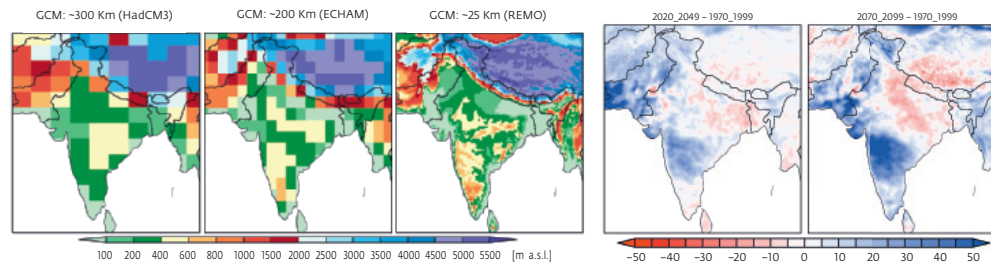
Kumar ist einer der wenigen indischen Forscher in Jacobs Arbeitsgruppe. Das REMO ist eine Art Lupe, die das Zukunftsklima kleinräumig abschätzt. Es zoomt in die Regionen, in Täler, Bergwälder, in Großstädte.

Die globalen Klimamodelle des IPCC, die GCMs (*Global Climate Models*), sind da vergleichsweise grob gestrickt. Sie teilen den ganzen Globus in Raster von rund 200 mal 200 Kilometer großen Wetterwürfeln auf. Nur selten gehen sie auf 100 mal 100 Kilometer herunter. Sie analysieren Luftströmungen und -drücke, Temperaturen und Winde. Vor allem aber vereinfachen sie. 200 Kilometer sind nach menschlichen Maßstäben eine große Distanz. Auf 200 Kilometern passiert eine Menge. Die Landschaft, das Wetter ändern sich. Wer aber über 200 Kilometer Daten mittelt, erfährt nichts über die Eigenarten einer Region.

Der schmale italienische Stiefel etwa fällt, was das Klima betrifft, einfach durch das globale 200-Kilometer-Raster, das besagt: Italien = Meer. Doch leider gibt es bislang keinen Superrechner, der das weltweite Klima für Jahrzehnte und jeden Quadratkilometer der Erdoberfläche im Detail berechnen könnte.

Das REMO pickt sich deshalb kleinere Gebiete heraus. Es analysiert das Klima in feineren Rastern, in 10- oder 25-Kilometer-Würfeln. Es verknüpft die Daten aus dem GCM, die großen Luftströmungsbewegungen, die Tiefdruckgebiete, die großen jahreszeitlichen Schwankungen mit Details aus der Region – der Vegetation, der Art des Bodens, Tiefen, Höhen, Tälern und Berg Rücken. Das Programm berechnet, wie viel Regen fällt, und auch, ob der Boden das Wasser aufsaugen kann.

Indien ist bereits recht groß für das REMO. Pankaj Kumar hat den Subkontinent deshalb im 25-Kilometer-Raster durchgerechnet. Er lächelt stolz, wenn er sagt, dass seine Simulation die erste ist, die das indische Klima und die Folgen für den Monsun für das gesamte 21. Jahrhundert durchspielt. Bisher gab es für Indien erst zwei detaillierte Klimastudien. Und beide betrachten nur die letzten 30 Jahre eben dieses Jahrhunderts – jene Dekaden, in denen es in Sachen Klimawandel voraussichtlich richtig dicke kommen wird.



Die Details machen den Unterschied: Die *Global Climate Models* des *Intergovernmental Panel on Climate Change* sind grob gestrickt und teilen den ganzen Globus in Raster von rund 200 mal 200 Kilometer großen Wetterwürfeln auf. Das Programm REMO dagegen schafft für den indischen Subkontinent eine Auflösung von nur 25 Kilometer (dritte Grafik von links). Entsprechend genau werden die Daten für die Vorausberechnung des Klimas, wie die beiden rechten Grafiken zeigen.

Wenn der Weltklimarat, das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), menetekelt, dass die globale Durchschnittstemperatur künftig um mehr als zwei Grad Celsius ansteigen könnte, dann sagt das eigentlich gar nichts. Denn die Auswirkungen des Klimawandels machen sich regional bemerkbar, auf dem Land, an den Küsten, in Städten. Der Wandel hat viele Gesichter. Das globale Raster ist zu grob, um abschätzen zu können, was alles im Kleinen passieren wird.

Pankaj Kumar ist einer von denen, die im und am Kleinen forschen. Der wissenschaftliche Mitarbeiter des Climate-Service-Centers und des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg will herausfinden, wie es mit dem indischen Wasserhaushalt künftig bestellt sein wird. Kumar nutzt dazu das sogenannte Regionalmodell REMO, ein aufwendiges Computerprogramm, das über Jahre an dem Hamburger Institut von der Meteorologin Daniela Jacob und ihrem Team entwickelt wurde.

Kumar dagegen hat die Computer neun Jahrzehnte berechnen lassen – von heute bis zum Jahr 2100. Vier verschiedene Simulationen ließ er durchspielen, um die einzelnen Ergebnisse abzuschern. Die Resultate lassen aufhorchen: „Wir müssen jetzt davon ausgehen, dass die Monsunniederschläge bis zur Mitte des Jahrhunderts um fünf bis 20 Prozent zurückgehen“, sagt der Forscher.

Vor allem auch in der produktivsten Agrarregion, im nordindischen Staat Uttar-Pradesh, durch den der Ganges fließt. Etliche Hektar Land in der Gangesebene bewässern die Menschen hier mit den Wassern des Ganges und den Niederschlägen des Monsuns. Vorerst kann Kumar nur Zahlen liefern. Was seine indischen Landsleute künftig tun können, das ist noch offen.

Als Daniela Jacob Mitte der 1990er-Jahre mit der Entwicklung des REMO begann, hatte sie zunächst nur die Ostsee im Blick. Wie würde sich das Klima dort verändern? Doch die Ostsee genügte ihr mit der Zeit nicht mehr. „Wir wollten ein Werkzeug schaffen, mit dem man herausfinden kann, was der Klimawandel tatsächlich mit sich bringt“, sagt Jacob. „Wir machen profunde Grundlagenarbeit, aber mein Wunsch war eigentlich immer, etwas zu erschaffen, was einen Bezug zur Praxis hat.“ Während ihrer Diplomarbeit an der TU Darmstadt modellierte Jacob den Transport von Saurem Regen. Während ihrer Promotion in den USA simulierte sie das Toben von Schneestürmen. Dann kam das Ostseeklima hinzu.

Daniela Jacob hat sich lange und tief in die Simulation regionaler Klimaphänomene eingearbeitet. 2006 nahm dann das REMO seinen operationellen Betrieb auf. Außerdem war die Forscherin zusammen mit dem ehemaligen Chef des Max-Planck-Instituts für Meteorologie, Guy Brasseur, Mitbegründerin des Climate-Service-Centers, eines eigenständigen Instituts in direkter Nachbarschaft des Max-Planck-Instituts, das heute regionale Klimasimulationen als Dienstleistung anbietet.

IN REMO STECKEN ZWEI JAHRZEHNTE DENKARBEIT

„Viele fragen an“, sagt Jacob. „Museumsdirektoren, die wissen möchten, wie sich das Klima in ihrer Stadt verändert, um die Kunstwerke künftig vor zu großer Luftfeuchtigkeit zu schützen, oder auch die Schiffsfahrtsämter oder Kraftwerksbetreiber.“ Wie oft werden die Flüsse Niedrigwasser führen? Wie viele Wochen im Jahr werden Rhein und Mosel unpassierbar sein? Wann wird man Kraftwerke drosseln müssen, weil es an Kühlwasser fehlt? Forstämter wollen wissen, wo in Deutschland die Rotbuche aussterben wird, und Landwirte, ob es ausreichend Frostnächte geben wird, in denen der Grünkohl seine Würze entwickeln kann.

„Natürlich machen wir hier keine Wettervorhersage, wir errechnen Wahrscheinlichkeiten, wie sich das Klima vor unserer Tür entwickeln könnte“, sagt Daniela Jacob. Das klingt so einfach, doch stecken im REMO fast zwei

Jahrzehnte Denkarbeit. Die Herausforderung bestand darin, etliche Parameter so miteinander zu verknüpfen, dass am Ende ein reales Bild entsteht. Mit „Re-Analysen“ prüfen die Forscher, ob das Modell korrekt arbeitet. Sie lassen die Software in die Vergangenheit zurückrechnen und testen anhand realer Messwerte, ob Simulation und Daten übereinstimmen. Dass REMO etwas taugt, zeigt die Tatsache, dass es heute bereits von mehr als 40 Institutionen weltweit eingesetzt wird.

Natürlich gibt es noch andere regionale Modelle – etwa das des renommierten Hadley Centre for Climate Prediction and Research im englischen Exeter. Pankaj Kumar hat auch dieses für seine Indiensimulationen verwendet. Die Ergebnisse zeigen denselben Trend: Der Monsunniederschlag nimmt ab. Für die Inder bleibt die Frage, wie man darauf reagieren kann. Eine Antwort soll das internationale Projekt *HighNoon* bringen, an dem Kumar und die Arbeitsgruppe von Daniela Jacob beteiligt sind. *HighNoon* soll die Frage klären, wie sich der Wasserhaushalt in Nordindien künftig verändern wird, wie viel Wasser den Ganges hinabströmen wird, aus dem Millionen Menschen ihr Trinkwasser schöpfen und Millionen Hektar Land bewässert werden.

Die Zukunft des Monsuns hat Kumar bereits skizziert. Doch es gibt noch eine ganze Reihe anderer Einflussgrößen, die das internationale Forscherteam untersuchen will – den Einfluss des Menschen etwa. „Unsere REMO-Analysen haben ergeben, dass die Bewässerung der Fel-

Fotos: Frank Stiemers (2)

Grafikern: MPI für Meteorologie – Pankaj Kumar

» Unsere REMO-Analysen haben ergeben, dass die Bewässerung der Felder im warmen indischen Klima den Niederschlag in der Gangesregion direkt beeinflusst.«

der im warmen indischen Klima den Niederschlag in der Gangesregion direkt beeinflusst – starke Bewässerung führt zu starker Verdunstung und direkt wieder zu starkem Regen“, sagt Jacob. „Es sind Faktoren wie diese, welche die Berechnung mit regionalen Modellen so anspruchsvoll machen.“

Völlig unklar ist bislang, wie stark Schneemassen und Gletscher im Himalaja den Wasserhaushalt in den Niederungen beeinflussen. Die Gletscher im Hochgebirge sind eine unbekannte Größe. Niemand hat je im Detail errechnet, wie viel Wasser sie liefern. Vor zwei Jahren aber hat einer von Daniela Jacobs

Doktoranden eine Art „Gletschermodul“ entwickelt – ein Software-Bausteinchen für REMO, das zunächst das Verhalten der schweizerischen Alpengletscher simuliert. Für die Schweiz lagen viele Messdaten vor, die der Forscher in das Modell einspeisen konnte. Diese zeigen, dass der Rhein nur zu einem kleinen Teil aus Gletscherwasser gespeist wird. Das Gletschermodul wird jetzt an die Indiensimulation angeflanscht.

Am Himalaja ist die Situation anders. Kumars Kollege am Hamburger Max-Planck-Institut, Fahad Saeed, kennt die Daten für sein Heimatland Pakistan. „Etwa 70 bis 80 Prozent der Wassermas-

sen, die den Indus herabströmen, stammen aus den Gletschern des Hochgebirges“, sagt der Forscher, der die westliche Himalajaregion analysiert. Kumar konzentriert sich auf das zentrale Hochland.

KEIN GLETSCHER IST SO WIE DER ANDERE

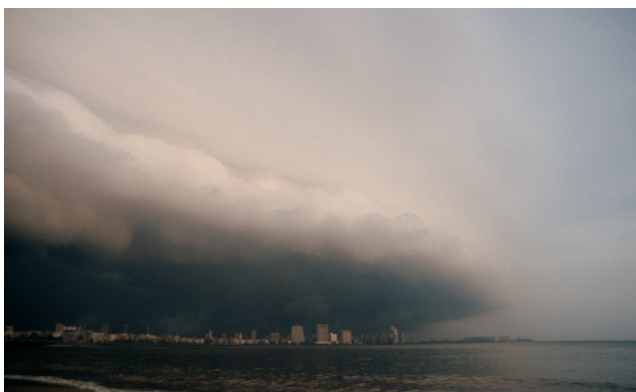
Für Indien existieren diese Daten noch nicht. Erste Abschätzungen will Pankaj Kumar bis zum kommenden Jahr liefern, wenn das *HighNoon*-Projekt endet. „Wichtig ist für uns die Größe der Gletscherflächen und ihre Mächtigkeit“, sagt Kumar. „Natürlich kann man die Dicke nur schwer bestimmen, aber uns reichen bereits mathematische Näherungen.“

Eingefleischte Glaziologen würden sich angesichts solcher Vereinfachungen die Haare raufen, denn Gletscher ist nicht gleich Gletscher. Die Eismassen unterscheiden sich in ihrer Struktur, ihrer Dichte. Manche sind stark zerklüftet, andere ruhen dicht und schwer auf dem Fels. Für das REMO aber genügt es zunächst, die Dicke der Pakete ungefähr abzuschätzen. Hinzu kommt das Reflexionsvermögen des Gletschers, die Albedo. Dunkle Eismassen heizen sich stärker auf, schmelzen stärker und liefern mehr Wasser. Gleißend helle Schneeflächen auf dem Eispanzer werfen die Sonnenstrahlung zurück wie ein Spiegel.

Damit sind Masse und Albedo wichtige Faktoren, um die Zukunft der Gletscher vorauszuahnen. Mit im *HighNoon*-Team sind indische Hydrologen, die mithilfe dieser Daten berechnen, wie viel Wasser aus dem Hochgebirge abfließt – eine Größe, die für die Menschen am Ganges lebenswichtig ist.

HighNoon hat auch das Ziel herauszufinden, wie sich die Bevölkerung auf mögliche Veränderungen einstellen kann. Indische Agrarwissenschaftler und andere Experten sprechen mit den

Der Himalaja als Klimafaktor – und gleichzeitig als unbekannte Größe: Wie stark die Schneemassen im Hochgebirge den Wasserhaushalt in den Niederungen beeinflussen, ist völlig unklar. Und niemand hat bisher im Detail errechnet, wie viel Wasser die Gletscher überhaupt liefern. Tatsache ist: Regelmäßig braut sich über Indien was zusammen – im unteren Bild eine Regenwolke über Nariman Point, Mumbai.



Fotos: NASA Earth Observatory (oben) / Corbis (unten)



Menschen vor Ort. In den vergangenen Wochen haben sie sich erstmals in den Dörfern und Städten entlang des Ganges mit Lokalpolitikern und Bauern getroffen – im nördlichen Distrikt Udam Singh Nagar, quasi am Fuße des Hochgebirges, im zentralen Gangesflachland rund um die heilige Stadt Allahabad und am unteren Ganges im Distrikt West Midnapur.

„SIMULATIONEN SIND IMMER MIT UNSICHERHEITEN BEHAFTET“

„Natürlich sind Klimasimulationen immer mit Unsicherheiten behaftet“, sagt *HighNoon*-Projektleiter Eddy Moors von der niederländischen Universität Wageningen. „Wir müssen also Maßnahmen gegen die Folgen des Klimawandels finden, die in gewisser Weise flexibel sind.“ Dazu gehört möglicherweise der Bau kleinerer und billigerer Staudämme oder Sickerbecken aus natürlichen Baustoffen, die bei Monsunregen das Wasser speichern. Damit könnte man vielerorts das sinkende Grundwasser wieder auffüllen. In anderen Fällen könnten Bauern ihre Landwirtschaft auf robustere Pflanzen umstellen oder auf andere Bewässerungstechniken umsteigen.

Im Blick haben die Forscher auch den Theri-Dam in Nordindien – ein durchaus umstrittenes, gigantisches

Bauwerk, das seit wenigen Jahren Wasser für die Stadt Neu-Dehli speichert und zugleich in mächtigen Turbinen Hunderte Megawatt Strom erzeugt. „Wir wollen herausfinden, wie man den Staudamm managen muss, wenn sich das Klima ändert“, sagt Moors. Wie regelt man den Abfluss, um bei Starkregen Überschwemmungen oder Sturzfluten zu verhindern oder um bei Dürre mit dem Wasser zu haushalten. Wie sieht es mit der Stromversorgung aus, wenn sich das Schmelzen der Gletscher verändert?

Für *HighNoon* ist jetzt Halbzeit. Es führt ältere internationale Projekte weiter, doch noch immer sind viele Fragen offen. Moors und Kumar hoffen, im kommenden Jahr deutlich weiter zu sein. Kumar ist zuversichtlich, dass seine Arbeit fruchtbar sein wird. „Das Projekt schafft wesentliche wissenschaftliche Grundlagen, die die Voraussetzung für viele weitere Maßnahmen sind.“

Dann lächelt der Wissenschaftler wieder, schaut zu seinem Kollegen Fahad hinüber und sagt: „Ja, und hinzu kommt, dass hier ein Inder und ein Pakistani zusammensitzen – an einer detaillierten regionalen Simulation für Indien und auch Pakistan, die einzigartig ist und die sogar den Wasserhaushalt der Gletscher berücksichtigt. Wir werden viele Fragen beantworten können.“ ◀

Fachsimelei auf dem Gang: Die Teammitglieder Fahad Saeed, Daniela Jacob und Pankaj Kumar (von links) diskutieren im Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg.

GLOSSAR

Monsun

Der Monsun ist eine große und stetige Luftströmung in den Tropen und Subtropen. Er ändert zweimal im Jahr seine Richtung. Die treibende Kraft ist der Sonnenstand, der sich im Lauf des Jahres ändert. Durch die in der Äquatorregion hoch stehende Sonne heizen sich Land- und Wassermassen unterschiedlich stark auf, was zu deutlichen Druckunterschieden und damit Winden führt. Weht der Monsun von See, trägt er große Wassermassen heran, die sich in starken Monsunregen entladen. Mitunter kommt es zu großen Überschwemmungen. In Indien bringt der Monsun insbesondere in den Monaten Juni und Juli Regen.

REMO

REMO ist die Abkürzung für Regionales Klimamodell beziehungsweise Regionale Klimamodellierung. Das REMO wurde am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelt. Es berechnet das künftige Klima für einzelne Regionen. Das zugrunde liegende Datenraster hat dabei eine Größe von 10 mal 10 oder 25 mal 25 Kilometern. Damit werden sogar Aussagen über mögliche Klimaveränderungen in Landkreisen oder Ballungsräumen möglich. Die globalen Klimamodelle sind in ihrer räumlichen Auflösung sehr viel gröber, da eine kleinräumige Berechnung des weltweiten Klimas die Kapazitäten der heutigen Großrechner übersteigen würde. Die globalen Modelle arbeiten mit 100- oder gar 200-Kilometer-Rastern.

HighNoon-Projekt

Das *HighNoon*-Projekt ist ein EU-Projekt, das aus Mitteln des 7. Forschungsrahmenprogramms gefördert wird. *HighNoon* soll die Frage klären, wie sich der Wasserhaushalt in Nordindien künftig verändern wird. In dem Projekt arbeiten europäische Forscher mit Kollegen von verschiedenen indischen Instituten zusammen – darunter Meteorologen, Hydrologen und Agrarwissenschaftler. (www.eu-highnoon.org)