



Im Winter schon den Sommer kennen

Zehn Klimaforscher berichten

Ein Lesebuch des Hamburger Exzellenzclusters CliSAP



Im Winter schon den Sommer kennen

Zehn Klimaforscher berichten

Inhalt

4	Zeigerpflanzen
9	Jahreszeitvorhersage
14	Stadtklima
22	Wasserkonflikte
26	Klimaschutz
32	Plankton
36	Paläoklima
42	Klimagerechtigkeit
48	Landnutzung Okavango
55	Klimarechnungen

Endlich wieder Klimageschichten ...

Bekommen wir weiße Weihnachten? Gibt es einen verregneten Sommer oder können wir unsere Ferien an der Nordsee genießen? Spekulationen zum Thema Wetter und Klima kursieren zu jeder Jahreszeit. Wie die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Exzellenzcluster CliSAP solche Fragen beantworten, erfahren Sie in diesem Lesebuch.

Auf den folgenden Seiten bündeln wir Gastbeiträge von CliSAP Forscherinnen und Forschern, die monatlich im Hamburger Abendblatt erscheinen und Sie auf eine Reise durch die verschiedenen Disziplinen der Klimaforschung mitnehmen. Gerechtigkeit beim Klimaschutz, Wassermangel in Ostafrika oder die Ausbreitung von Vulkanasche – anschaulich und verständlich zu lesen.

Wir wünschen bestes Lesevergnügen!

Was Pflanzen über die Temperaturen in der Stadt verraten

Wildtulpen in den Vierlanden, Schachbrettblumen in Wittenberge, Natternkopf im Containerhafen – Hamburg gilt als grünste Metropole Europas, die einen großen Artenreichtum zu bieten hat.

Über 1.500 Pflanzenarten kommen hier wild wachsend vor. Das belegt der aktuelle Pflanzenatlas des Hamburger Botanischen Vereins. Doch wie beeinflussen Klimaänderungen die Pflanzen? Und was verraten die Pflanzen über das Stadtklima?

Um dies herauszufinden, suche ich als Biologin nach Mustern, wie sich die Arten in Hamburg verteilen. Der Pflanzenatlas ist hierfür ein wahrer Schatz, denn er liefert ausführliche Daten über die Hamburger Pflanzenwelt. Mithilfe der Daten haben mein Kollege Benjamin Bechtel aus der Geografie und ich einen neuen Ansatz entwickelt, um das Stadtklima zu erforschen. Dabei haben wir Methoden und Erkenntnisse aus der Biologie mit der Stadtgeografie und der Meteorologie verknüpft.

Unsere Studie basiert auf der Annahme, dass die Zusammensetzung der Arten in einem bestimmten Gebiet



Hinweise über das entsprechende Klima bietet. Wir haben getestet, ob sich Pflanzen als Indikatoren für die sogenannte städtische Wärmeinsel eignen. Wärmeinseln sind ein Phänomen des Stadtklimas: In der Innenstadt herrschen höhere Temperaturen als im Umland. Der Unterschied liegt in Hamburg im Mittel bei 1,1 Grad Celsius. Dieser Effekt hat verschiedene Ursachen. Die Sonne heizt bebaute Flächen besonders stark auf. Diese speichern mehr Wärme als unbebaute Flächen. Verkehr sowie die Abwärme von Heizungen und Industrieanlagen tragen zusätzlich dazu bei, dass sich einige Bereiche in der Stadt stärker erwärmen als andere.

Bisherige Analysen städtischer Wärmeinseln sind noch lückenhaft, da flächendeckende Messungen über längere Zeiträume fehlen. Mit unserer neuen Methode konnten wir die Intensität der Wärmeinsel anhand der Pflanzen ablesen. Dazu haben wir den einzelnen Arten jeweils einen Indikator-Wert zugeordnet, der ihre bevorzugten Standorte und die geografische Verteilung wiedergibt. Pflanzen mit sehr niedrigen Werten bevorzugen kühle Standorte wie alpine Regionen. Hohe Werte stehen für Wärme liebende Pflanzen, zum Beispiel aus dem Mittelmeerraum. Insgesamt konnten wir 625 Arten eindeutige Indikatoren zuordnen.

Unsere Ergebnisse zeigen ein deutliches Muster. Dabei sind die hohen Werte in der Stadtmitte zu finden. Je weiter man sich vom Stadtzentrum weg bewegt, desto kleiner werden die Werte. Doch es gibt in der Innenstadt nicht nur besonders viele Wärme liebende Pflanzen, auch eingewanderte Arten nehmen Richtung Zentrum zu. Ein Beispiel hierfür ist der Götterbaum, der ursprünglich in China und Vietnam vorkommt.

Die mittleren Werte aller Arten und der Anteil Wärme liebender Arten hängen deutlich mit der Intensität der Wärmeinsel zusammen. Dies beweist, dass die Lufttemperatur die Zusammensetzung der Arten beeinflusst und die Pflanzen mit ihren Indikator-Werten Hinweise enthalten, wie sich die Temperaturen in der Stadt verteilen.

Dr. Katharina Schmidt hat am Biozentrum Klein Flottbek der Universität Hamburg promoviert.



Knifflige Prognose: das Wetter in drei Monaten

Die Wettervorhersage – für viele ist das nach den Abendnachrichten ein tägliches Ritual. Denn die Prognose trifft oftmals zu, allen Unkenrufen zum Trotz. Doch warum kann niemand sagen, ob der kommende Winter hart, der nächste Sommer heiß wird?

Klimamodelle geben zwar längerfristige Prognosen, allerdings blicken sie dann gleich Jahrzehnte in die Zukunft – und beschreiben lediglich die durchschnittliche Entwicklung. Der nächste Sommer konkret? Fehlanzeige.

Am Exzellenzcluster CliSAP arbeiten wir daran, mit so genannten saisonalen Vorhersagen den Wetterzustand in zwei bis acht Monaten zu prognostizieren. Diese Zeitspanne fällt allerdings genau in die Lücke zwischen Wettervorhersage und Klimaprognose.

Hinter beiden stehen Rechenmodelle, die für ganz unterschiedliche Anforderungen konzipiert wurden: Ein Klimamodell behält die globalen Kreisläufe im Blick. Wie beeinflussen zum Beispiel Meeresströmungen die Wassertemperaturen? Wie transportieren Winde die Wärmeenergie rund um den Globus? Es versucht, das gesamte System



rechnerisch schlüssig abzubilden. Wer damit eine Prognose erstellen möchte, gibt bestimmte Startwerte ein und lässt das Modell einfach laufen. Anders das Wettervorhersagemodell: Es wird permanent mit den realen Daten der letzten Tage „gefüttert“ – denn das Wetter von morgen hängt sehr stark vom Zustand heute ab. Die langfristigen globalen Abläufe können dabei eher vernachlässigt werden.

Wie lassen sich die Vorteile der beiden Verfahren verbinden? Dafür haben wir gemeinsam mit Kollegen vom Max-Planck-Institut und dem Deutschen Wetterdienst ein komplexes Klimamodell – das auch für den Weltklimabericht des IPCC genutzt wird – derart umgebaut, dass es immer wieder neue Daten aufnehmen kann. Wir konfrontieren es also mit der Realität und verbessern so seine Prognose.

Doch Klimamodelle sind eigentlich nicht dafür gemacht, dass sie ständig neuen Input erhalten – eine besondere Herausforderung. Wir „füttern“ beispielsweise das neue Modell monatlich mit realen Wetterdaten. An jedem Monatsende erhalten wir dann ein Ergebnis, das mal mehr, mal weniger vom tatsächlichen Wetter abweicht. Die Kunst ist nun die so genannte Datenassimilation. Hierbei muss eine sinnvolle Mischung aus errechneten und echten Daten in die Prognose eingehen, damit die Vorhersage der Realität möglichst nahe kommt.

Nachdem wir hier ein schlüssiges Verfahren entwickelt haben, nutzen wir nun ein globales Modell, das kontinuierlich Daten aufnimmt und gleichzeitig langfristig laufen kann – ein Riesenfortschritt! So konnten wir zum Beispiel jetzt in so genannten nachträglichen Vorhersagen die tropischen Wetterphänomene „la Niña“ von 1989 und „el Niño“ von 1997/1998 richtig prognostizieren.

Und bekommen wir nun eine weiße Weihnacht? Das vorherzusagen, ist weitaus schwieriger, weil in Europa unterschiedliche Luftströmungen zusammenkommen. Der chaotische Anteil ist deshalb viel höher und der Spielraum für abweichendes Wetter größer. Gleichwohl wird der Deutsche Wetterdienst demnächst unser Modell routinemäßig für saisonale Prognosen einsetzen.

Prof. Johanna Baehr ist Meteorologin am Institut für Meereskunde und leitet die Arbeitsgruppe „Datenassimilation im Klimasystem“.

Wie Grünflächen die Stadt kühlen

Was viele nicht wissen: Städte haben ihr ganz eigenes Klima. Beeinflusst wird es nicht nur von der geografischen Lage, sondern auch von Bebauung, Einwohnerzahl oder Verkehr. Eine besonders wichtige Rolle für das Stadtklima spielen Grünflächen. Wiesen, Parks und Straßenbäume wirken – gerade in heißen Sommern – wie natürliche Klimaanlage.

Im Projekt HUSCO (Hamburg Urban Soil Climate Observatory) erforschen Bodenkundler und Meteorologen gemeinsam, ob es Grünflächen gibt, die ihre Umgebung besser oder schlechter kühlen und wie groß dieser Effekt ist. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die Böden, auf denen sich das Grün befindet – genauer gesagt ihr Wasserhaushalt: Liegen Parks in Grundwassernähe, können sich Pflanzen selbst in Trockenperioden noch mit Wasser versorgen und dieses verdunsten. Liegt der Grundwasserspiegel jedoch sehr tief, laufen sie Gefahr, während eines heißen Sommer auszutrocknen und sich aufzuheizen.

Während der natürliche Boden Regenwasser wie ein Schwamm aufnimmt, verschwindet es bei asphaltierten Flächen direkt in der Kanalisation. Auch heizen sich Beton





und Stein schneller auf und geben die Wärme besonders nachts noch lange an ihre Umgebung ab.

Erhitzt sich dagegen natürlicher, feuchter Boden, verdunstet das in ihm enthaltene Wasser. Dabei entsteht Verdunstungskälte, die die Umgebung kühlt. Pflanzen verstärken diesen Effekt noch, weil sie über ihre Wurzeln Wasser aus tieferen Bodenschichten für die Verdunstung nutzen können.

Der Boden einer Stadt kann also das lokale Klima beeinflussen. Um herauszufinden, wie stark, haben wir an unterschiedlichen Stellen in Hamburg Messstationen aufgestellt: Auf einem asphaltierten Hinterhof in der Hamburger Innenstadt, in Langenhorn, wo es sehr feucht ist, und an einer vergleichsweise trockenen Stelle in Stellingen. Professorin Annette Eschenbach und Sarah Sandoval vom Institut für Bodenkunde messen an diesen Stationen den Wasser- und Wärmeaustausch zwischen Boden und Atmosphäre. Ich kümmere mich dagegen um Daten zu Wind, Regen oder Luftfeuchtigkeit.

Unsere Messungen haben bisher ergeben, dass es große Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Stationen gibt. Im Innenhof ist es im Jahresdurchschnitt bis zu 1,0 Grad wärmer als an der Messstation im trockenen Stellingen. Das mag wenig erscheinen, ist jedoch im Hin-



blick auf die Wärmebilanz einer Stadt ein großer Unterschied. In Stellingen wiederum ist es im Durchschnitt 0,3 Grad wärmer als an der feuchten Bodenstation in Langenhorn.

Unsere Annahme, dass feuchte Böden ihre Umgebung deutlich besser kühlen als trockene, scheint sich also zu bestätigen. In einem nächsten Schritt möchten wir herausfinden, wie viel Prozent dieser Temperaturunterschiede wirklich auf den unterschiedlichen Wasserhaushalt des Bodens zurückzuführen sind.

Die Rolle des Grundwassers sollte in der Stadtplanung nicht unterschätzt werden. Mit diesem Wissen können Planer Anpassungsmaßnahmen an den lokalen Klimawandel erarbeiten.



Prof. Felix Ament forscht am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg und leitet die Arbeitsgruppe „Synthese von Modellen und Beobachtungen“.





Konflikt oder Kooperation: Was tun, wenn Wasser Mangelware wird?

Wer nicht an der Quelle sitzt, hat manchmal das Nachsehen. So auch am längsten Fluss Afrikas, dem Nil. Er zieht sich durch elf Staaten und alle entnehmen ihm Süßwasser, das ihnen als Existenzgrundlage dient. Ägypten an der Mündung ist der letzte Nutzer – und kann nur nehmen, was übrig bleibt.

Lange war dies kein Problem, doch in den Nachbarstaaten schreitet die Industrialisierung voran und kostet zusätzliches Wasser. Dazu kommt der Klimawandel: Könnte dieser die Situation weiter verschärfen?

Als Friedensforscher am Exzellenzcluster ClISAP interessiert uns, ob bewaffnete Konflikte durch die globale Erwärmung häufiger werden – und unter welchen Bedingungen die Akteure kooperieren. Schon 1959 schloss Ägypten wegen seiner verletzlichen Position am Ende des Flusslaufs ein erstes zwischenstaatliches Abkommen mit dem Sudan, das die Wasserentnahme regelte. In den folgenden Jahrzehnten erlangte Ägypten eine wirtschaftliche Vormachtstellung am Nil. Der weniger entwickelte Sudan dagegen schöpfte seine zulässige Wasserquote gar nicht aus – weil er sie schlicht nicht brauchte.

Doch die Region wandelt sich: Sudan möchte in Zukunft die volle vertraglich zugesicherte Menge entnehmen. Und auch kleinere Staaten am Oberlauf – näher zur Quelle hin – werden sich ihrer Macht bewusst. Während seit zehn Jahren die so genannte Nile Basin Initiative mit allen Anrainern an einer Kooperation für das gesamte Flussmanagement arbeitet, haben mehrere Staaten am Oberlauf kurzerhand ein separates Abkommen geschlossen und Ägypten damit brüskiert. Auch wenn deren Wasserbedarf zurzeit noch marginal ist, das Signal ist deutlich.

Welches Verhalten wäre für die jeweiligen Parteien jetzt sinnvoll? Anhand eines Computermodells betrachten wir exemplarisch die vier wichtigsten Wassernutzer des Nils: Uganda, Äthiopien, Sudan und Ägypten. Alle möchten ausreichend Wasser zur Verfügung haben. Hierfür hat die Politik vier Optionen: Wasser sparen durch effizienteren Einsatz, neue Ressourcen erschließen etwa durch den Bau von Reservoirs, Kooperation mit den Nachbarstaaten oder Bedrohung der Nachbarn.

In jedem der vier Fälle kostet es allerdings unterschiedlich viel, einen Kubikkilometer zusätzliches Wasser zu gewinnen. Hier fließen Informationen über die aktuellen Wasserpreise im Land, den Wasserverbrauch, das Bruttoinlandsprodukt und die Bevölkerungsentwicklung in das

Modell ein. Auf dieser Basis ermitteln wir, wie einzelne Länder die Maßnahmen am besten kombinieren und ihr Geld sinnvoll einsetzen können. Zusätzlich beziehen wir verschiedene Klimaprognosen in die Berechnungen mit ein: So gehen wir in einem Szenario davon aus, dass sich in den kommenden 20 Jahren die verfügbare Menge Wasser im Nil um ein Fünftel reduziert.

Überraschend: Selbst ein solch drastischer Wasserverlust hätte keinen großen Einfluss auf die Wasserverteilung. Viel stärker wirken die kurzfristigen politischen Optionen. Sie überdecken den langfristigen Klimaeffekt. Gleichzeitig stellen wir fest: Bewaffnete Konflikte sind zurzeit für alle Staaten die teuerste Lösung – Kooperation bleibt also auch rein wirtschaftlich die bessere Wahl.

Dr. Michael Link forscht am Institut für Geografie zu Klimawandel und Sicherheit.



Abwarten beim Klimaschutz kann sich für Staaten rechnen

Jahr für Jahr machen sich rund um den Globus Proteste breit: Wieder ist eine Klimakonferenz der Vereinten Nationen verstrichen, ohne dass die Regierungen ein schlagkräftiges Abkommen treffen.

Viele Menschen fragen sich, warum so wichtige Entscheidungen hinausgeschoben werden. Handeln Politiker nicht kurzsichtig, wenn sie weiter abwarten?

Am Exzellenzcluster CliSAP habe ich mit meinen Kollegen Yu-Fu Chen und Nicole Glanemann das Verhalten der Akteure unter wirtschaftlichen Aspekten analysiert und Erstaunliches entdeckt: Für Regierungen kann Abwarten eine durchaus rationale Entscheidung sein. Wie kommt es dazu? Sollte nicht gerade ökonomisch gesehen schon heute den mutmaßlichen Folgekosten des Klimawandels vorgebeugt werden?

Ein Staat hat, vereinfacht gesagt, zwei Optionen: Er kann heute in den Klimaschutz investieren – oder eben nichts tun. Eine Investition reduziert dabei schädliche Treibhausgase, so dass mögliche Folgekosten abgemildert werden. Nichts zu tun, ist allerdings auf kurze Sicht



APPORTEUR

SECRETARIAT

VICE-CHAIR

SECRETARIAT

attraktiver: Die Ausgaben fallen heute an, rentieren sich aber erst später – wie sehr ist ungewiss. Weil niemand die Zukunft kennt, ergibt sich daraus ein so genannter Optionswert des Wartens, das Abwarten bekommt einen ökonomischen Wert. Entscheidend dabei: Je länger ich warte, desto mehr wertvolle Informationen erhalte ich über die Situation, ich lerne dazu.

Erst ab einem bestimmten Schwellenwert wird das Zögern aufgegeben. Genau wie ein Unternehmen bei kurzfristig erhöhter Nachfrage nicht sofort neue Mitarbeiter einstellt oder eine weitere Fabrik baut, beobachten auch viele Staaten erst einmal die Entwicklung. Je größer die Unsicherheit, desto höher die Schwelle. Denn die meisten Investitionen können kaum ohne Verluste rückgängig gemacht werden.

Dies spielt auch bei der Abwägung von Klimaschutz-Ausgaben eine Rolle. Welche Schäden treten tatsächlich ein? Steigt die Temperatur wirklich so hoch? Die Forschungslage zeigt: Der Klimawandel wird durch den Ausstoß von Treibhausgasen durch den Menschen mit verursacht. Trotzdem können Wissenschaftler die konkreten Folgen stets nur in Spannbreiten angeben. So wird zum Beispiel die globale Temperatur in den nächsten 100 Jahren zwischen zwei und sechs Grad Celsius ansteigen – ein enormer Unterschied.

Und vielleicht wird es in 20 Jahren eine günstige und effiziente Methode geben, CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen? Gleichzeitig suggeriert der bisher nur langsam einsetzende Klimawandel, dass noch ausreichend Zeit bleibt.

Das Zusammenspiel all dieser Faktoren bilden wir in so genannten Realoptionsmodellen mit einem finanzmathematischen Verfahren ab. So können wir den optimalen Zeitpunkt zu handeln bestimmen. Eindeutiges Ergebnis: Weiteres Abwarten ist durchaus rational. Doch um die globale Erwärmung auf durchschnittlich zwei Grad Celsius zu begrenzen, bleibt nur ein kurzes Zeitfenster. Deshalb haben wir zusätzlich einen Faktor eingebaut, der diese „limited time to act“ abbildet. Dennoch: Am Ende dominiert selbst unter Zeitdruck die starke Unsicherheit das Handeln.

Prof. Michael Funke leitet den Lehrstuhl für Makroökonomie und Quantitative Wirtschaftspolitik an der Universität Hamburg.

Wärme liebende Planktonarten profitieren vom Klimawandel

Der Plußsee in Schleswig-Holstein ist 29 Meter tief und etwa so groß wie 20 Fußballfelder. Er beherbergt zahlreiche pflanzliche und tierische Planktonarten, die anderen Organismen als Nahrung dienen.

Mit meinen Kollegen vom Exzellenzcluster CliSAP habe ich untersucht, wie sich der Klimawandel auf die Gemeinschaft des tierischen Planktons auswirkt. Unsere Auswertung statistischer Daten zeigt, dass sich Temperatur und Sauerstoffkonzentration im See zwischen 1969 und 2006 signifikant verändert haben – mit deutlichen Folgen für die winzigen Seebewohner.

Die Wasserzirkulation spielt dabei eine wichtige Rolle. Im Sommer und Winter liegen verschiedene Wasserschichten übereinander, die unterschiedlich warm und dicht sind. Durch diesen stabilen Aufbau können kaum Nährstoffe und Sauerstoff ausgetauscht werden. Zum Ende der Schichtungsphase sind deshalb die Nährstoffe oben und der Sauerstoff unten stark reduziert. Dadurch sind einige Planktonarten gezwungen in andere Tiefen auszuweichen, wo sie mit weiteren Arten konkurrieren müssen. Erst wenn sich



das Wasser durchmischt, können sich die lebenswichtigen Stoffe wieder im ganzen See verteilen.

Diese komplette Durchmischung des Wassers findet normalerweise im Frühjahr und Herbst statt. Denn wenn sich die Temperaturen in den verschiedenen Tiefen angleichen, entfallen die Dichteunterschiede. Während dieser Phase kann das Pflanzen-Plankton in der oberen Schicht gut wachsen. Jetzt sind hier wieder Nährstoffe vorhanden und das Licht ermöglicht die Photosynthese. Wenn die Mikroalgen blühen, findet auch das tierische Plankton reichlich Nahrung. Nun können sich viele Arten gut entwickeln.

Durch den Klimawandel ist die Lufttemperatur im Frühjahr und Winter gestiegen. Damit setzt auch die Schichtung zunehmend zeitiger ein und die obere Wasserschicht kann sich früher und stärker erwärmen. Unsere Messdaten zeigen für den Zeitraum unserer Studie, dass die obere Wasserschicht im April um etwa drei Grad wärmer geworden ist. Im Sommer haben wir einen vergleichbaren Anstieg der Temperatur festgestellt.

Da die obere Wasserschicht durch die starke Erwärmung stabiler geworden ist, setzt auch die Durchmischung im Herbst tendenziell später ein. Dadurch hat sich die Phase der stabilen Wassersäule mit Nährstoffkonkurrenz und Sauerstoffmangel um etwa drei Wochen verlängert.

Das Plankton passt sich an: Wärme liebende Arten profitieren von diesen Bedingungen und verlängern ihre aktive Phase. Kälte liebende Arten hingegen müssen sich zunehmend in tiefere Wasserschichten zurückziehen, wo es kühler ist. Oder sie werden von Arten verdrängt, welche die veränderten Bedingungen besser für sich nutzen können. Im Herbst haben außerdem jene Arten einen Vorteil, die an geringere Futtermengen angepasst sind.

Während einige Planktonarten also von den Veränderungen profitieren, haben andere Nachteile. Dadurch erhält die Zusammensetzung der Arten eine neue Dynamik. Da das Plankton die Basis der Nahrungspyramide bildet, kann sich dies auch auf den Speiseplan von Fischen und anderen Organismen auswirken

Dr. Ralph Rösner hat am Biozentrum Klein Flottbek der Universität Hamburg promoviert.

Baumringe erzählen:

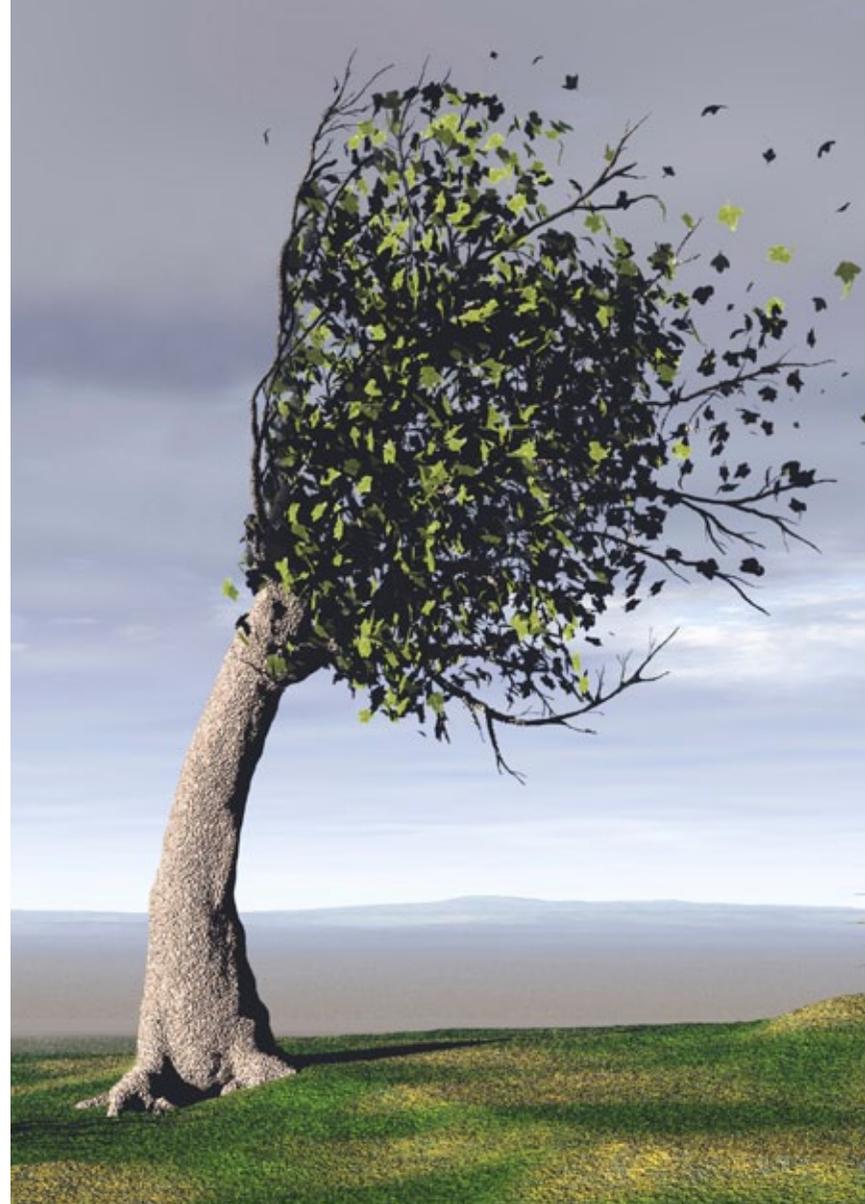
So dicht war die Wolkendecke vor 300 Jahren

Stellen Sie sich vor: Ein Förster lässt einen alten Baum fällen und betrachtet den Querschnitt des Stammes eingehend. Nach kurzer Zeit verkündet er, dass hier im Jahre 1632 die Wolken besonders dicht am Himmel standen. Ein Märchen?

Ja, sicher. Doch mit technischer Unterstützung können wir heute tatsächlich aus den Jahresringen die jeweilige Wolkenbedeckung herauslesen. Wie das?

Mein Ziel ist es, das Klima der vergangenen 2000 Jahre zu verstehen, denn dies liefert wertvolle Hinweise für die Zukunft. Ein großes Fragezeichen ist zum Beispiel, wie sich die Wolken verhalten: Wird die globale Erwärmung im Schnitt eher eine dickere oder eine dünnere Wolkendecke erzeugen? Nicht unwichtig, denn eine dünnere Schicht ließe mehr Sonnenstrahlung durch – die Erde könnte sich zusätzlich aufheizen. Eine dickere Schicht dagegen könnte die Erwärmung sogar leicht abbremsen.

Am Exzellenzcluster CliSAP haben meine Kollegen und ich deshalb an einer neuen Methode geforscht, die uns über die Wolkendecke der Vergangenheit Auskunft gibt.





Wir kennen zum Beispiel Klimaphasen wie die „Kleine Eiszeit“ vor etwa 300 Jahren. Interessant ist für uns, ob die Wolken damals eher dicht hingen oder ob der Himmel häufiger blau war.

Hier kommen uns die Bäume zu Hilfe – denn sie sind gewissermaßen Feinschmecker, nicht jede „Nahrung“ ist ihnen gleich recht. Wenn sie bei der Photosynthese Kohlenstoff- oder C-Atome einbauen, finden sie in der Umgebungsluft dafür zwei stabile Formen vor, so genannte ^{12}C - und ^{13}C -Atome. Doch Sorte ^{12}C „schmeckt“ einfach besser. Und so bevorzugt ein Baum normalerweise diese Atome, wandelt sie in Biomasse um und wächst heran.

Unter starker Sonneneinstrahlung liegt der Fall jedoch anders: Jetzt hat die Pflanze die Chance, maximal Photosynthese zu betreiben und dadurch besonders kräftig zu wachsen. Allerdings werden unter solchem Extremwachstum die beliebten Atome knapp. Der Baum greift notgedrungen auch auf die ^{13}C -Atome zurück – und diesen Effekt nutzen wir aus!

Ganz konkret haben wir die Methode für Skandinavien untersucht. Hier wurden von rund 50 Bäumen verschiedener Standorte Proben genommen und anhand der Jahresringe das Alter des jeweiligen Holzspans bestimmt. Mit einem so genannten Massenspektrometer wird anschlie-

Bend der Anteil von ^{13}C -Atomen ermittelt. Findet man viele, war die Sonneneinstrahlung hoch, die Wolkendecke also dünn – ein genauer Indikator für die jeweiligen Jahre.

Fazit: Die „Kleine Eiszeit“ brachte den Skandinaviern im Sommer häufig blauen Himmel. Unsere Studie zeigt, dass die Wolkendecke über die gesamte Kaltperiode von etwa 300 Jahren im Mittel dünner war. Im Umkehrschluss könnte das für diese Region bedeuten: Steigende Temperaturen erzeugen eine dickere Wolkendecke – dies wiederum könnte die zukünftige Erderwärmung lokal abschwächen.

Doch eine neue Methode muss sich erst beweisen. Deshalb freut es uns, dass unsere nächste Studie in den Pyrenäen ähnliche Ergebnisse zeigt. So haben wir mit den pflanzlichen Zeitzeugen jetzt ein wertvolles Werkzeug, um den Zusammenhang von Sonne, Wolkendichte und lokalem Klima zu ermitteln.

Dr. Eduardo Zorita ist Experte für Paläoklima am Helmholtz-Zentrum Geesthacht.





Was ist gerecht beim Klimaschutz?

Inzwischen sind sich fast alle einig: Um den Klimawandel in Schach zu halten, müssen schädliche Emissionen gedrosselt werden. Doch wer schränkt sich wie stark ein?

Aufstrebende Schwellenländer wollen ihr Bruttozivilprodukt und damit die eigenen Emissionen noch steigern – und sehen westliche Industriestaaten in der Bringschuld. Diese wiederum möchten Lasten und Verantwortung nicht allein schultern. Schwer, sich da zu einigen.

Weil gesellschaftliche Debatten die Politik beeinflussen, untersuche ich die unterschiedlichen Positionen anhand von Medienanalysen. So gab es Ende der 1980er Jahre eine „heiße Phase“ in der Geschichte der Klimapolitik. Weltweit oben auf der Agenda, übten die Menschen über die öffentliche Debatte Druck aus. Ein Resultat war die Klimakonferenz 1992 in Rio – ein erster Rahmenvertrag wurde verabschiedet.

In den Jahren 2006 bis 2010 stieg das öffentliche Interesse erneut, als um ein Nachfolgeprotokoll für das auslaufende Kyoto-Abkommen von 1997 gerungen wurde. Doch dieses Mal blieb der Erfolg trotz starken Drucks aus. Warum konnten sich die Staaten nicht auf gemeinsame Ziele einigen?



Für meine Analysen wählte ich exemplarisch die Länder Deutschland, Indien und die USA. In mehr als 1.900 Presseartikeln aus den Jahren 2007 bis 2010 identifizierte ich die unterschiedlichen Positionen. Zusätzlich wertete ich Pressemitteilungen, Positionspapiere und Newsletter von Umweltverbänden, religiösen Organisationen, Gewerkschaften und Wirtschaftsverbänden aus.

Fazit: Die große Mehrheit ist dafür, dass die Politik Maßnahmen gegen den Klimawandel ergreift. Doch sowohl im Ländervergleich als auch zwischen den einzelnen Interessengruppen eines Landes finden sich unterschiedliche Auffassungen, was in Sachen Klimapolitik „gerecht“ ist.

Nach dem so genannten „Besitzstandsprinzip“ müssten alle Länder ihre Emissionen gleichermaßen reduzieren. So hatten sich im Kyoto-Protokoll EU und USA verpflichtet, rund acht Prozent weniger CO₂ auszustößen. Nicht berücksichtigt wird, dass die USA damals pro Kopf bereits überdurchschnittlich emittierten – und die Einsparquote daran zunächst nichts ändert. Beim „Gleichheitsprinzip“ haben dagegen alle Staaten das Recht, sich bis zu einem bestimmten Industrie-Standard zu entwickeln. Einige Länder dürfen demnach in Zukunft noch weit mehr Treibhausgase erzeugen als bisher, hochentwickelte Länder müssen drastisch reduzieren. Das „Verantwortlichkeitsprinzip“ fragt

schließlich danach, wer in der Vergangenheit wie viel emittiert hat und deshalb mehr zahlen sollte.

In den einzelnen Ländern setzen verschiedene Gruppen diese Prinzipien in konkrete Forderungen um: Während Indien die historische Verantwortung bei den Industriationen sieht, leugnen in den USA kleine, aber finanzstarke Gruppen den Klimawandel komplett. Die deutsche Wirtschaft möchte CO₂-Emissionen mit einem angemessenen Preis belegen, ansonsten aber keine politischen Eingriffe in den Markt zulassen. Gewerkschaften dagegen denken in den drei Ländern ähnlich: Das Gleichheitsprinzip hat einen hohen Stellenwert. So bleibt selbst die klimabewusste Öffentlichkeit gespalten – ein Grund, weshalb ein bindender Vertrag bisher scheiterte.

Andreas Schmidt promoviert am Exzellenzcluster CIISAP über die öffentliche Kommunikation zum Thema Klimapolitik.

Hamburger Geosoftware entwirft Zukunftsplan für Afrikas Landnutzung

Beinahe unbemerkt begegnen sie uns täglich: Geoinformationssysteme. Als Grundlage für Wetterkarten oder für das Navi im Auto. Gleichzeitig sind sie unverzichtbar für uns Klimaforscher, um Rechenmodelle dort zu verfeinern, wo wir genauer hinschauen möchten.

Zum Beispiel im klimagefährdeten Afrika. Hier nehmen wir den Ackerbau der Zukunft unter die Lupe. Mit bestehenden Klimamodellen können wir allerdings nur auf 25 Kilometer „heranzoomen“. Für die konkrete Analyse der Äcker einzelner Farmen ist dies viel zu grob. Mit Hilfe einer Geosoftware ist es uns am Exzellenzcluster CliSAP gelungen, landwirtschaftliche Bedingungen räumlich bis auf einen Kilometer genau abzubilden.

Im Projekt „The Future Okavango“ erforschen wir das Land rund um den Süßwasserfluss Okavango, der sich als wichtige Lebensader durch Angola, Namibia und Botswana zieht. Hierzu nutzen wir das von mir entwickelte Geoinformationssystem SAGA. Diese Software kann geometrische Oberflächendaten wie Lage, Form und Größe von Gebirgen und Flüssen mit Informationen über Einwohner-





zahlen oder die Beschaffenheit des Untergrunds verknüpfen. Wie ein Baukasten bietet es die Basis für ganz unterschiedliche dreidimensionale Karten. SAGA ist frei verfügbar, hat eine weltweite Nutzergemeinde und wöchentlich bis zu 2000 Downloads.

Um die Erträge am Okavango abzuschätzen, betrachten wir das so genannte Naturraumpotenzial. Dies sind Gegebenheiten des Ökosystems wie Temperatur, Niederschlag oder Bodenbeschaffenheit. Daraus lässt sich ableiten, wie viele Menschen hier potenziell ernährt werden können. Doch um diese wertvollen Informationen lokal auszuwerten, müssen wir zuvor die großen Skalen existierender Klimamodelle in kleinere Einheiten überführen.

Für das Projekt erzeugte unsere Kollegin Daniela Jacob zunächst ein regionales Klimamodell mit einer groben Auflösung, vorstellbar als ein Gitternetz mit 25 Kilometern Maschenweite. Jedes dieser Gitterquadrate liefert pro Eigenschaft, wie zum Beispiel Temperatur, nur einen einzigen Wert.

Für unsere Analyse brauchen wir jedoch kleinere Gitterquadrate von nur einem Kilometer Maschenweite, also in jedem großen Quadrat 25 mal 25 Unterquadrate. Das macht 625 Temperaturwerte, wo wir bisher nur einen hatten. Wie kommen wir an diese Werte?



Hier hilft der bekannte Zusammenhang von Temperatur und Höhe: Je höher das Gelände, desto kälter. Über die konkrete Geländehöhe wissen wir ebenfalls Bescheid, denn die Erde ist bereits global vermessen, auch in hoher Auflösung. Diese Datensätze können wir mit Hilfe von SAGA nutzen.

Aus dem Untersuchungsgelände nehmen wir nun mehrere der großen Quadrate mit ihrem Temperaturwert und verknüpfen diesen mit der durchschnittlichen Höhe des jeweiligen Quadrats. Aus diesen Eckdaten errechnen wir die Kurve, die für jede beliebige Höhe im Gelände eine bestimmte Temperatur ausweist. Mit Hilfe der hoch aufgelösten Geländedaten lässt sich jetzt für jedes einzelne der 625 kleinen Quadrate die dazugehörige Temperatur ermitteln. Eine einfache wie effektive Methode.

Mit anderen Verfahren analysieren wir Niederschlag und Wind und erhalten so ein aussagekräftiges Bild: Welche Pflanzen wo gute Erträge bringen, wo Reservoirs für Regenwasser sinnvoll wären – und wo besser niemand neu siedeln sollte. In engem Austausch mit Behörden und Bauern vor Ort entwickeln wir daraus ganz konkrete Handlungsempfehlungen.

Dr. Olaf Conrad arbeitet als Experte für Geoinformationssysteme am Institut für Geografie.

Klimasimulationen: Datensortierung verkürzt Rechenzeit

Für Wetter- und Klimaprognosen spielen Computersimulationen eine zentrale Rolle. Sie sind meist sehr rechenaufwändig, weil sie die komplexe Realität abbilden.

Je feinere Details die Simulationen liefern sollen, desto mehr müssen Computer leisten. Mit meinen Kollegen vom Exzellenzcluster CliSAP entwickle ich Methoden, die solche Berechnungen effizienter machen – zum Beispiel für die Ausbreitung von sogenannten Aerosolen.

Diese Schwebeteilchen werden unter anderem bei Vulkanausbrüchen freigesetzt, oder sie kommen als Schadstoffe aus Industrie und Verkehr in der Luft vor. Sie fördern die Wolkenbildung und beeinflussen dadurch Wetter und Klima. Uns interessiert deshalb, wohin der Wind die Aerosole transportiert. Um dies herauszufinden, verwenden wir als Modell ein dreidimensionales Rechengitter, das sich aus einzelnen Zellen zusammensetzt.

Je kleiner diese Zellen, umso genauer können wir die Konzentration der Aerosole an einem bestimmten Ort vorhersagen. Wenn wir das Modell also höher auflösen, müssen wir mehr kleine Zellen betrachten: Halbieren wir zum

Beispiel alle Kantenlängen von Würfel-Zellen, muss der Computer mindestens acht Mal länger rechnen. Damit steigen allerdings auch Stromverbrauch und Kosten. Deshalb ist es sinnvoll, das Gitter nur dort zu verfeinern, wo tatsächlich Aerosole vorkommen. Bei einem Vulkanausbruch zum Beispiel können wir die Quelle der Partikel gut lokalisieren.

Für die Ausbreitung der Aerosole berechnen wir zuerst die Konzentration innerhalb der einzelnen Zellen – danach den Austausch der Informationen mit den angrenzenden Zellen. Mein Ziel ist es, dabei Zeit und Kosten zu sparen. Das Problem: Ein Computer kann nur mit Daten im sogenannten Cache-Speicher arbeiten, der sich am Prozessor befindet – also direkt dort, wo auch gerechnet wird. Seine Speicherkapazität ist jedoch relativ klein. Wenn der Computer größere Datenmengen verarbeiten soll, muss er deshalb auf Arbeitsspeicher oder Festplatte zugreifen, um die Daten in den Cache zu laden. Das kostet Zeit, da der Computer währenddessen nicht rechnen kann.

Deshalb nutzen wir einen Trick: Statt einzelner, verstreuter Daten lädt der Computer Datenblöcke in den Cache. Unser Ziel ist es, möglichst viele relevante Daten in einem Block zu sammeln. Dabei versuchen wir, die Nachbarschaft der Gitterzellen durch geschickte Sortierung auf dem





Speicher abzubilden. Der Computer lädt die vorsortierten Daten in den Cache – und muss somit seltener den Umweg über Arbeitsspeicher und Festplatte nehmen.

Die Aerosolkonzentration lässt sich dabei mit einem Fliesenleger vergleichen, der Computer mit einem Fliesenleger. Dort, wo dieser kleine Mosaiksteine legt, erscheinen feine Details. Nimmt er große Steine, wird das Bild gröber, aber auch schneller fertig. Mit meiner Methode sortiere ich die Steine für den Fliesenleger vor. Er kann das Mosaik nämlich viel schneller zusammensetzen, wenn er die Fliesen jeweils zusammen mit den angrenzenden Nachbarsteinen erhält. So beschleunigt das Vorsortieren die Simulationen deutlich ohne die eigentliche Rechenmethode zu verändern.

Oliver Kunst arbeitet in der Gruppe „Numerische Methoden in den Geowissenschaften“ am Institut für Meereskunde der Universität Hamburg.

Bildnachweis

© photocase/Ahkka (Titel), © snoeziesterre/Flickr/creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode (Rückseite I. und S. 18 u), © UNFCCC/Jan Golinski (Rückseite r. und S. 28/29), © Michael Zapf (Titel innen, S. 1), © Thinkstock/BiruteVijeikiene (S. 5), © iStockphoto /imagedepotpro (S. 8), © Thinkstock/smilingsunray (S. 10/11), © Andreas Weidinger/Hamburg Museum (S. 15), © iStockphoto /PeopleImages (S. 16), © Optigrün (S. 18 o.), © Michael Zapf (S.19), © Sarah Wiesner/CEN/UHH (S. 21 o. und u.), © Rainer Kwiotek/Menschen für Menschen (S. 22 o.), © AFP (S. 22. u.), © Ruben Neugebauer for AVAAZ/Flickr/creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode (S. 26 o.), © Leo Correa/AP Images for AVAAZ/Flickr/creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode (S. 26 u.), © Ralf Wagner (S. 33 o. und u.), © iStockphoto/estt (S. 37), © iStockphoto/elnavigante (S. 38), © Thinkstock/Linjerry (S. 41), © iStockphoto/magnetcreative (S. 42), © iStockphoto/ValentijnTempels (S. 44/45), © JackyR./Wikimedia Commons (S. 49 o.), © Teo Gómez/Wikimedia Commons (S. 49 u.), © Joachim Huber/Wikimedia Commons (S. 50/51), © Michael Pröpfer (S. 53 o.), © Thinkstock/Peter Malsbury (S. 53 u.), © B. Weiß (S. 57), © iStockphoto/imv (S. 58)

Herausgeber

Exzellenzcluster ClISAP, Universität Hamburg
www.clisap.de

Redaktion

Stephanie Janssen, Ute Kreis, Franziska Neigenfind,
Dr. Inga Schlichting, Katja Tholen-Ihnen, Julika Doerffer,
Öffentlichkeitsarbeit Exzellenzcluster ClISAP

Gestaltung

HAAGEN design, Hamburg

Auflage: 3.000

Hamburg, 2014

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts



Zum Inhalt

Warum beeinflussen Grünflächen das Stadtklima? Wie können Landflächen künftig nachhaltig genutzt werden? Lassen sich aus Baumringen Klimaänderungen ablesen?

In einer Artikelserie des Hamburger Abendblatts beantworten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Exzellenzclusters CliSAP regelmäßig Fragen aus der Klimaforschung. In unserem fünften Lesebuch haben wir zehn spannende Artikel aus dieser Serie für Sie zusammengestellt.