

## 2. Jan 19.44.23

# RES212\_Abnehmende\_Albedo

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft.

Ich bin Holger Klein.

Resonator Im Jahr 2023 hatten wir einen ungewöhnlichen Anstieg der Erderwärmung gesehen und niemand konnte so richtig sagen, woher das so plötzlich gekommen war.

Konnte.

Auftritt Helge Gößling, der forschte am Alfred-Wegener-Institut an der Vorhersage von Meereisbedingungen über globale Aspekte des Klimawandels, Extremereignisse, die Energiebilanz der Erde, wir nähern uns an, und atmosphärische Strahlung, wir nähern uns weiter an, sowie Methoden des Geoengineerings und hat zusammen mit zwei Kollegen gerade in der Science eine Erklärung für das Phänomen veröffentlicht.

Hallo Helge.

Moin, hallo Holger.

Was war am Temperaturanstieg überhaupt so ungewöhnlich?

Die steigt doch die ganze Zeit schon.

Ja, das stimmt, aber es war so, wir hatten jetzt ein El Niño in 2023, das ist so einer der Hauptverdächtigen, wenn es so um Schwankungen geht, wie das Jahr zu Jahr sich entwickelt.

Immer wenn man so ein El Niño hat, dann hat man so eine Schippe obendrauf auf den Temperaturen und wenn man das Gegenteil La Nina hat, dann ist das ein bisschen weniger.

Und über diesen langfristigen Trend, da legen sich sozusagen diese natürlichen Schwankungen, insbesondere durch El Niño.

Jetzt war das aber so, wenn man genau hingeguckt hat und überlegt hat, was glauben wir, was im Moment unser langfristiges Erwärmungsniveau ist und wenn wir da jetzt diesen El Niño mit reinrechnen, dann war 2023 deutlich wärmer als das, was wir eigentlich erwartet haben und zwar so um ungefähr 0,2 Grad.

Und auch wenn man noch andere mögliche Faktoren, die diskutiert worden sind, da gab es zum Beispiel so einen Unterwasser-Vulkanausbruch und da gab es eben noch andere Schwankungen.

Wenn man die mit reinnimmt, dann blieben eben ungefähr 0,2 Grad, die so ein bisschen rätselhaft waren. - Und das ist viel?

Also 0,2 Grad klingt mir jetzt nach tendenziell wenig. - Naja, ich meine, guck mal, wir haben jetzt im Moment langfristiges Erwärmungslevel von so was wie, also Größenordnung irgendwo 1,3 Grad oder so.

Das ist gerade so ein bisschen die Frage, wo sind wir auch langfristig aktuell eigentlich?

Sind wir vielleicht sogar schon näher an der 1,5?

Aber wenn man sich jetzt überlegt, dass da tatsächlich 0,2 Grad, nicht im Sinne von das schwankt mal hoch und runter, sondern wirklich 0,2 Grad für dieses langfristige Erwärmungslevel, dann reden wir davon mehr als 10 Prozent darüber, wie stark die globale Erwärmung schon vorangeschritten ist und das ist dann doch eine ganze Menge. - Stimmt, 10 Prozent hört sich dann auch direkt noch viel mehr an.

Aber warum seid ihr so darauf aufmerksam geworden?

Weil es hätte ja trotzdem ein Ausreißer sein können.

Hätte es nicht irgendwie entspannter gewesen?

Hättet ihr gesagt, komm, wir messen jetzt erst noch mal fünf Jahre weiter und dann gucken wir mal, wie sich die 0,2 Grad da entwickelt haben? - Naja, tatsächlich glaube ich, dass das total entscheidend ist, in den nächsten Jahren weiter zu messen.

Ich glaube auch gerade jetzt, wo wir doch ein kräftiges Klimawandelsignal schon haben, da wird mit jedem Jahr, dass wir zusätzliche Messungen haben, werden wir da wirklich schlauer, wohin die Reise tatsächlich geht.

Aber natürlich will man in jedem Moment bestmöglich aus den Beobachtungen, die uns zur Verfügung stehen, schon lernen, wo wir eigentlich sind und wohin die Reise weitergeht.

Und natürlich tun wir Forschenden, wir Klimaforschenden überall auf der Welt, wir gucken da ganz genau hin.

Und gerade auch diese Frage mit diesem aktuellen, ich sag mal, Erwärmungssprung, wenn man so will, da gucken natürlich ganz viele Leute gleichzeitig drauf.

Und da haben wir als Forschende natürlich, ich sag mal in Anführungsstrichen, auch so einen gewissen sportlichen Ehrgeiz.

Wir wollen verstehen, was da los ist und ein Puzzlestück beitragen.

Und das haben wir an dieser Stelle natürlich auch versucht und ich glaube erfolgreich getan, indem wir eben uns, man kann auch sagen, zur richtigen Zeit

die richtigen Datensätze angeschaut haben und da eben etwas gefunden haben.  
- Woher habt ihr denn überhaupt gewusst, wo ihr gucken müsst? - Also wir arbeiten hier bei uns super viel mit sogenannten Reanalyse-Daten.

Das war sozusagen einer eigentlich der Startpunkte.

Wir haben Reanalyse-Daten, die werden von Wetterzentren erzeugt, in diesem Fall vom Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage.

Und das ist so ein bisschen eines der täglichen Brote auch der Klimaforschenden.

Und was für diese Reanalyse-Daten, was man da macht, man nimmt so ein Wettermodell, was im Grunde sehr ähnlich wie ein Klimamodell ist.

Man verwendet es eben auf kürzeren Zeitskala normalerweise.

Aber was man mit so einem Modell wunderbar machen kann, ist man sammelt alle Beobachtungen, die man so hat übers Klimasystem.

Also das sind dann Satellitendaten, das sind diese Wetterballons, das sind Stationsmessdaten, das sind irgendwie Flugzeugmessungen.

Also alles Mögliche wird da in einem ziemlich komplexen Prozess in so ein Modell reingefüttert.

Und das heißt, man optimiert, man kombiniert Wettermodelldaten mit diesen Beobachtungsdaten, um einen kompletten Zustand zu rekonstruieren.

Insbesondere der Atmosphäre, aber auch so gut es geht von Ozean und Land, Oberflächenbedingungen.

Da hat man dann so einen vollständigen Satz.

Und in verschiedenen Zusammenhängen benutzt man diese Daten, um zu verstehen, wie in den letzten Jahrzehnten sich der Zustand auch der Atmosphäre geändert hat.

Und wir haben da eben zur richtigen Zeit, sage ich mal, gerade auch in die richtigen Größen geschaut.

Wir haben uns nämlich angeschaut, wie viel Solarstrahlung denn absorbiert worden ist, wie sich das über die letzten Dekaden geändert hat.

Das haben auch andere getan.

Und es gab vor ein paar Jahren auch schon erste Studien, die gezeigt haben, das wird ein bisschen mehr.

Die Erde, die absorbiert mehr Solarstrahlung.

Und dann haben wir eben auch geschaut, ja, in Satellitendaten, also wenn man jetzt nicht diese Reanalysedaten nimmt, sondern auch Satellitendaten an sich, dann sieht man das da auch.

Die gibt es so in einem konsistenten Satz leider erst seit gut 20 Jahren.

Diese Reanalysen gibt es weiter zurück.

Also da haben wir uns Daten ab 1940 sogar schon angeguckt.

Und was dann aber wirklich verblüffend war im Grunde, als wir uns dann angeschaut haben, ok, worauf geht das zurück?

Warum ist die Solarstrahlung, die Absorption davon so stärker geworden?

Und da sieht man, dass wiederum, da haben diese Reanalysedaten sehr geholfen.

Da kann man sich nämlich anschauen, wo sitzen die Wolken.

Also vom Satelliten sieht man auch, wo sind wie viele Wolken.

Aber mit Reanalysedaten kann man relativ bequem sich angucken, in welcher Höhe sind die denn und wie haben die sich in verschiedenen Höhen verändert.

Der Satellit sieht nur eine Fläche oder wie?

Ja, na, man kann von Satelliten auch schon einiges rausziehen.

Aber man kann zum Beispiel auch sowas wie, wo ist die, also in welcher Höhe sind Wolken, aber eben nur von oben geschaut.

Also du siehst zum Beispiel natürlich schlecht, wenn da hohe Wolken sind, dann siehst du schlecht, was da drunter jetzt los ist.

Und diese Reanalysedaten, die sind halt eine Art und Weise relativ gut, sich konsistent anzuschauen, wie die Wolken in verschiedenen Höhen sich verändern.

Also ich glaube, ich habe eine Sache übersprungen so ein bisschen.

Und zwar ist es ja so, dass diese Rückstrahlkraft des Planeten, die sogenannte Albedo, also wie viel des eingestrahlten Sonnenlichts wird wieder reflektiert.

Da gibt es so übliche Verdächtige, die das beeinflussen.

Einer, das ist auch uns allen oder vielen wohl bekannt, ist gerade, wenn man so an die Oberfläche der Erde denkt, wenn da das Meereis zurückgeht und auch die Flächen, die mit Schnee bedeckt sind, dann heißt das, da wird es deutlich dunkler und da sinkt dann diese Albedo, weil die Oberflächen dunkler sind und mehr Sonnenlicht aufnehmen können.

Aber tatsächlich ist es so, wirklich, wenn man es insgesamt global getrachtet, dann sind natürlich die Wolken sind so der Big Player in diesem ganzen Spiel, weil ob du über dem dunklen Ozean, ob da eine Wolke drüber ist, die das deutlich heller macht, das macht natürlich einen riesen Unterschied.

Also der Ozean, der hat so was wie fünf Prozent ungefähr Albedo, das heißt wirklich 95 Prozent des Sonnenlichts, das da auftrifft, das wird absorbiert und nur fünf Prozent werden reflektiert.

Wenn du aber so eine Szene hast, wo so ordentlich Wolken drüber sind, dann ist die Albedo locker so in Größenordnung 50 Prozent.

Also die Hälfte wird zurückreflektiert und die andere Hälfte wird nur absorbiert.

Und das heißt, kleine Änderungen in Wolkenbedeckung können einen riesen Unterschied machen.

Und wirklich der Aha-Moment war, als wir dann gesehen haben in diese Reanalyse-Daten, dass insbesondere eben die niedrigen Wolken da deutlich zurückgegangen sind, insbesondere in den letzten paar Jahren.

[HT] Was heißt niedrig?

Niedrig heißt in dem Zusammenhang, also in diesem Reanalyse-Datensatz sind das die Wolken unterhalb von, Achtung, Atmosphärenphysik, 800 Hektopaskal.

Also wir betrachten oft, wir gucken uns gar nicht an, welche Höhe über dem Meeresspiegel in Metern, sondern wir sagen einfach welcher Druck, denn es ist ja ungefähr so, am Boden hat man Druck von, Achtung, 1013 Hektopaskal im Mittel.

Und wenn man jetzt hoch geht, dann nimmt der Druck ab.

Nein, aber das war jetzt ein bisschen mit Augenzwinkern.

Also man kann das natürlich auch ein bisschen intuitiver ausdrücken.

Das sind ungefähr zwei Kilometer Höhe.

Also alles unterhalb von etwa zwei Kilometer Höhe.

Wir haben ja im untersten Bereich der Atmosphäre die sogenannte planetarische Grenzschicht oder atmosphärische Grenzschicht.

Das ist der Bereich, wo die Luftströmungen der Atmosphäre stark durch die Oberfläche gebremst werden, wenn man so will.

Also und das ist auch der Bereich, wo dadurch relativ oft viel Turbulenz ist, wo das ordentlich durchgemischt wird.

Man kann sich vorstellen, zum Beispiel, wenn am Tag die Sonne auf Landoberflächen scheint, dann wird es am Boden nah natürlich warm.

Diese Luft wird sehr leicht und mischt sich dann mit der da drüber und da findet dann diese Konvektion statt.

Und an der Oberkante dieser Grenzschicht, die dann typischerweise so ein bis eineinhalb Kilometer hoch reicht, wobei in Polarregionen kann das auch mal viel weniger sein, aber typischerweise so ein bis eineinhalb Kilometer hoch reicht, da hat man an der Oberkante hat man oft noch bestimmte Wolken.

Und das ist wiederum auch was, was man insbesondere über großen Teilen der Ozeanbecken hat.

Da gibt es so Bereiche, wo diese sogenannten Stratocumulus-Decken vorherrschen.

Da hat man also an der Oberkante dieser planetarischen Grenzschicht in



vielleicht ein bis eineinhalb Kilometer Höhe hat man da diese Stratocumulus-Decks und um die geht es auch ganz entscheidend.

Also ob diese, also die sind dann damit unter diesen zwei Kilometer, die ich vorhin genannt habe.

Das ist alles in diesem Bereich und ob die sich ändern, das hat dann wirklich einen großen Einfluss.

Also ihr habt gesehen, dass die Rückstrahlkraft der Erde nicht mehr so hoch ist oder dass sie zurückgegangen ist und darauf führt ihr diese 0,2 Grad zurück.

Wie sicher könnt ihr euch sein, dass es das ist?

Also da dieser, also was wir gemacht haben ist, wir haben diese Änderung in der absorbierten Solarstrahlung.

Das ist eigentlich das und das ist auch vom Satelliten tatsächlich gut gemessen.

Das ist geeicht noch mit in situ Daten, also mit Beobachtungsdaten auch dem, man schaut sich an, wie ändert sich der Energiegehalt des Erdsystems, insbesondere des Ozeans.

Damit werden diese Satellitendaten geeicht, aber an sich können die Satellitendaten dann ziemlich gut, wie sich das von Jahr zu Jahr ändert und eben über diese zwei Dekaden ändert, sind die schon ziemlich zuverlässig, was diese Daten angeht.

Und das heißt, wir haben diese Änderung in der absorbierten Solarstrahlung, die ist ziemlich robust und die haben wir jetzt gefüttert in einen Energiebilanzmodell, ein relativ einfaches.

Das ist aber so geeicht worden, mithilfe von sehr komplexen Klimamodellen.

Das heißt, man hat da und was dieses Energiebilanzmodell, das ist ziemlich gut da drin, so dieses das Verhalten von Klimamodellen, was einfach so die global gemittelte Energiebilanz angeht, wieder herzugeben.

Das heißt, wir haben diese relativ robusten Daten über die Änderungen in der absorbierten Solarstrahlung haben wir in so ein Energiebilanzmodell gegeben, um dann auszurechnen, okay, wie würden diese Änderungen der absorbierten Solarstrahlung über die letzten drei und ein bisschen Jahre, also wir haben Dezember 2020 haben wir angefangen, weil das war, ist der Zeitpunkt, wenn man in die Zeit reinguckt, wo das am klarsten losging mit diesen Abweichungen von normalen Mengen an absorbiertes Solarstrahlung.

Das haben wir da reingefüttert und dann sind wir auf diese Werte gekommen und wir haben dann auch so einen gewissen Unsicherheitsbereich in unserem Paper identifiziert.

Aber das haut schon relativ gut hin mit diesen 0,2 Grad.

Das passt also zu dem, was vorher auch schon ausgerufen worden ist, als diese Erklärungslücke.

[Siebert] Was ist denn passiert im Dezember 2020, beziehungsweise wahrscheinlich im ganzen Jahr 2020, dass ich im Dezember dann so manifestiert habe, dass ihr es sehen konntet?

Also warum sind die Wolken weg?

[Siebert] Das ist wirklich die riesengroße Frage und an der Stelle ist es auch tatsächlich so, dass unser Paper da eigentlich wirklich nur ein Schritt ist und ein Puzzlestück.

Also jetzt Überschriften, die sagen, das Rätsel wäre gelöst, halte ich für übertrieben, weil es wirklich nur dieser nächste Schritt ist.

Der sagt, okay, das hat mit dieser absorbierten Solarstrahlung mit sehr, sehr großer Wahrscheinlichkeit zu tun.

Aber der große nächste Schritt und das ist genau das, was du jetzt ansprichst, ist, warum gehen die niedrigen Wolken eigentlich zurück?

Und das ist wirklich eine harte Nuss und das ist schwierig zu knacken und aus den Daten, die wir uns angeschaut haben, sehr schwierig rauszukriegen.

Und da gibt es im Wesentlichen drei Hauptkandidaten für Kandidat Nummer eins und das ist nicht so ganz einfach auszuschließen, ist, dass da noch ein erheblicher Anteil auch immer noch natürliche Schwankungen sein können.

Es ist ja nun mal so, dass die Ozeanbecken, also gerade der Atlantik, aber auch der Pazifik, da hat man Evidenz aus Beobachtungsdaten, da hat man aber auch vor allem Evidenz aus Klimamodell-Simulationen, dass die auch auf langer Zeitskala von Dekaden und mehreren Dekaden können die bestimmte Variabilitätsmoden, nennen wir das, aufweisen.

Das heißt, da kann durch die Dynamik des Ozeans, dann in Wechselwirkung mit der Atmosphäre, kann es sein, dass Bereiche des Ozeans mal wärmer werden und dann mal wieder sich etwas abkühlen.

Und das Komplizierte daran jetzt, wie wir zu den Wolken kommen, ist, dass man oft sieht, dass in Bereichen, wo der Ozean jetzt wärmer wird, das zu einem Rückgang der Wolken in diesem Bereich führen kann.

[HT] Hä?

Ich hätte jetzt erwartet, dass da mehr Wolken gibt?

[Siebert] Ja, das ist immer so ein wahrscheinlich so, von wegen da verdunstet dann mehr Wasserdampf und deshalb hat man mehr Wasserdampf und deshalb bilden sich mehr Wolken.

Ja, genau, das ist natürlich das Argument, das hört man relativ oft.

Das ist aber, das ist aber, also es stimmt natürlich, dass da dann mehr verdampft, verdunsten kann zumindest, aber gleichzeitig ist dann die Temperatur dieser Luft ist eben auch wärmer.

Das heißt, ob jetzt dann die relative Feuchtigkeit zunimmt oder abnimmt, ist damit ja gar nicht gesagt.

Was wir aber sehen, also es gibt da verschiedene Möglichkeiten, wie das passieren kann.

Ja, also wenn wir da so ein bisschen einsteigen wollen, solche Prozesse sind sowieso auch relevant für die anderen Mechanismen.

Deshalb lass uns ruhig machen.

Also eine von mehreren Mechanismen, die man noch einigermaßen gut nachvollziehen kann, ist, wenn, also wir stellen uns jetzt mal so eine Situation in den Subtropen vor.

In den Subtropen, ja, wo wir, ich hatte vorhin davon gesprochen, wir haben da diese Grenzschicht und darüber haben wir diese Stratocumuluswolken und was man da in den Subtropen vor allem typischerweise hat, ist, dass das da drüber so ein bisschen großräumig sich die Luftmassen absinken.

Also am Äquator steigen die auf, da ist es so warm und dann sinken die in den Subtropen so ein bisschen ab.

Und diese Luft, die ist typischerweise sehr trocken.

Die ist sehr trocken und die ist auch vergleichsweise warm.

Das heißt, diese Grenzschicht und diese trockene, warme Luft da drüber, die durchmischen sich nicht.

Das ist eine sehr stabile Schichtung.

Die durchmischen sich also nur sehr schwierig.

Wenn man jetzt aber diese Grenzschicht wärmer macht, ja, es ist jetzt wirklich Physik, aber ich glaube, es ist nachvollziehbar.

Wenn die Grenzschicht wärmer wird, dann wird die Luft leichter und dann kann die sich leichter mit der Luft da drüber mischen.

Ja, und das heißt, was jetzt passieren kann, ist, es kann diese trockene Luft von da drüber kann reingemischt werden in diese Grenzschicht, wo die Wolken oben drauf sitzen.

Und dieses Reinmischen dieser trockeneren Luft kann ein Auflösen dieser Wolken sozusagen bewirken.

Ja, das heißt, man wirklich diese, an der Stelle sind manchmal diese übern Daumen Argumente, wo man sagt, okay, da verdunstet jetzt mehr Wasser und deshalb müsste es doch mehr Wolken geben.

Das stimmt so leider dann oft nicht, sondern dann, das ist übrigens jetzt nur einer von mehreren Möglichkeiten, wie sowas passieren kann.

Übrigens ist das sowieso super komplex.

Das sieht man daran, dass Klimamodelle auch eine sehr unterschiedliche Antwort geben.

Also wenn wir Erwärmung haben, also im Rahmen der globalen Erwärmung zum Beispiel, das bezieht sich jetzt nicht nur auf solche internen Schwankungen,

sondern auch wenn man im Zuge der globalen Erwärmung die wärmere Oberfläche bekommt, dann simulieren einige Klimamodelle, simulieren dann einen Rückgang niedriger Wolken, andere nicht.

Ja, das heißt, wir haben da diesen möglichen Feedback, den simulieren einige Klimamodelle und andere nicht.

Und die, die den simulieren, die geben dann auch eine stärkere Erwärmung bei einem gegebenen CO<sub>2</sub>-Emissionsfad als die Modelle, die das nicht simulieren.

Jetzt bin ich übrigens quasi so ein bisschen unabsichtlich schon in den zweiten möglichen Mechanismus gesprungen.

Gerade habe ich ja noch über interne Variabilität gesprochen.

Da kann also zufällig die Oberfläche wärmer werden.

Dadurch können auch niedrige Wolken beeinflusst werden, eventuell zurückgehen.

Wenn dieser Mechanismus so funktioniert, wie du es sagst, wenn das passiert, was einige dieser Modelle vorhersagen, das würde ja bedeuten, dass der Klimawandel sich an der Stelle selbst treibt.

Ja, genau.

Das wäre so eine positive Rückkopplung.

Ist das einer dieser Kipppunkte oder ist das ein tendenziell neuer Kipppunkt, die Wolkenbildung?

Das ist nicht unbedingt, beziehungsweise das ist höchstwahrscheinlich kein Kipppunkt, sondern das ist eine positive Rückkopplung, die kann ja trotzdem, also selbst wenn man sich das jetzt so vorstellt, wie ich habe mehr Erwärmung,

dann habe ich weniger niedrige Wolken, dann habe ich wieder mehr Erwärmung, habe ich wieder niedrige Wolken.

Wenn du das aber immer nur so, dann können in den meisten Fällen ist es so oder auch in diesem Fall, die Schritte werden immer kleiner, sodass man quasi gegen eine bestimmte Zahl dann konvergiert.

Das heißt, das kann dann den Effekt am Ende um sowas wie 30, 50 Prozent oder sowas stärker machen, aber eben nicht so stark sein, dass das so ein sogenannte Runaway-Effekt wäre.

Also das wäre so ein Runaway-Effekt, wo das dann wirklich irgendwie verrückt wird.

Es gibt so ein paar Paper, wo sowas in die Richtung passiert, wenn man so ein bisschen idealisiert das macht, dann kann man sowas erzeugen, dass also solche niedrigen Wolken sich bei einer bestimmten Temperaturschwelle dann wirklich relativ stark auf einmal zurückziehen, wo dann fast sowas in diese Richtung, also es ist dann kein kompletter Runaway, aber wo du dann wirklich auf einmal ziemlich starke Verstärkung kriegen könntest.

Aber also die meisten der Klimamodelle zeigen jetzt keine solche total starken Effekte, aber trotzdem kann das natürlich einen großen Unterschied machen und tatsächlich ist das eine der Hauptsachen, die da hinter stecken, warum die Klimamodelle bei einem gegebenen Emissionspfad, beispielsweise für Ende des Jahrhunderts, doch ein deutlich unterschiedlich starke Erwärmung zeigen.

Also die, die eine sehr starke Erwärmung zeigen, die haben tendenziell auch so eine positive Rückkopplung da drin, wo also die niedrigen Wolken weniger werden und die, die das weniger haben, eben nicht.

So, das heißt jetzt um nochmal, ich hatte vor zehn Minuten oder so von drei Mechanismen gesprochen, warum gehen die niedrigen Wolken zurück, also drei mögliche Mechanismen.

Den ersten hatte ich am Anfang gesagt, da kann was Natürliches passieren mit den Ozeanen, die dann auch die niedrigen Wolken beeinflussen.

Nummer zwei haben wir jetzt gerade besprochen, ist, ich habe in den, auch in den Klimamodellen unterschiedlich stark so eine positive Rückkopplung, also die Erwärmung selber, die ursprünglich durch Treibhausgase initiiert ist sozusagen, die sorgt jetzt für einen Rückgang der niedrigen Wolken, was die Erwärmung wiederum verstärkt.

Diese positive Rückkopplung, warum ist die nicht in allen Klimamodellen?

Also welche, welche Daten oder oder oder oder Sicherheiten fehlen, um sie in alle Modelle hineinzunehmen oder aus allen rauszuschmeißen?

Ja, also eine der fundamentalen Sachen, die in diesen Klimamodellen drin stecken, ist, dass man, da die Computer nicht unendlich stark sind oder beziehungsweise auch, also sie müssten gar nicht unendlich stark sein, aber noch nicht stark genug sind, um wirklich die Erde extrem fein zu simulieren, so dass man wirklich die Wolken an sich simulieren könnte.

Noch mal einen Schritt zurück, also was machen Klima- und Wettermodelle übrigens genauso?

Wir schneiden ja die Atmosphäre, beziehungsweise auch den Ozean, jetzt in diesem Falle interessieren wir uns besonders für die Atmosphäre, schneiden wir in kleine Würfel und dann können wir simulieren mit den physikalischen Gleichungen, die wir reinstecken.

Also wenn wir zu einem Zeitpunkt den Zustand der Atmosphäre auf dem ganzen Planeten kennen, also wir wissen in jedem dieser kleinen Würfel, wissen wir die Temperatur, die Feuchtigkeit, ob da Wolkenpartikel drin sind, wir wissen die Windgeschwindigkeit, wir wissen, was da gerade an Strahlung los ist.



Wenn wir das zu einem Zeitpunkt wissen, dann nehmen wir unsere physikalischen Gleichungen und können dann berechnen, wie es, ich sage jetzt mal als Beispiel, eine Stunde später in jeder dieser Gitterzellen aussieht.

Wir stellen uns vor, der Wind weht, wir gucken uns so eine Szene an und da haben wir solche zwei Würfel nebeneinander von der Atmosphäre und der Wind, der pustet vom linken zum rechten Würfel, dann wissen wir, okay, eine Stunde später wird ein bisschen von der Luft, die vorher im linken Würfel war, im rechten Würfel sein und wenn der linke Würfel wärmer war, dann wird der rechte Würfel dann aufgrund dieses Prozesses ein bisschen erwärmt werden.

Dann müssen wir gucken, okay, was für eine Strahlung ist da reingegangen, was für eine Strahlung ist da rausgegangen, ist da vielleicht Wasserdampf kondensiert, was noch eine zusätzliche Erwärmung erzeugt.

Also all solche Gleichungen stecken wir da rein, um wirklich dann rauszukriegen, wie ist der Zustand dieser gesamten Atmosphäre eine Stunde später.

Und das machen wir jetzt Stunde für Stunde und hangeln uns so durch den Zustand und in einem Klimamodell über Jahrzehnte sozusagen, um vorwärts zu kommen und das alles zu simulieren.

So, das war jetzt der Schritt zurück und jetzt zurück zu unserer Ausgangsfrage, warum geben die Klimamodelle verschiedene Antworten.

Ein Hauptding ist, dass diese Würfel leider noch so groß sind, dass wir nicht einzelne Wolken so richtig simulieren da drin, sondern also in den Klimamodellen jetzt beispielsweise zum letzten Sachstandsbericht des Weltklimarats beigetragen haben, da sind diese Würfel noch typischerweise so was wie 50 bis 100 Kilometer groß.

Das ist natürlich viel zu groß, um einzelne Wolken simulieren zu können.

Wettermodelle, die kommen schon eher in Bereiche, wo zumindest große

Wolkentypen auch schon teilweise explizit simuliert werden.

Wenn man da also in also unter zehn Kilometer in den Kilometer Scale Simulations, wenn man in den Bereich kommt, da fängt man an, zumindest größere Wolkentypen und die Konvektion in der Atmosphäre, die mit diesen Wolken einhergeht, expliziter zu simulieren.

So, da wir das aber nicht machen im großen Stil für diese langen Klimasimulationen, müssen wir Parametrisierungen benutzen.

Das heißt, das sind so physikalische Schemata, die wir benutzen, um dieses, was einzelne Wolken eigentlich machen, sozusagen zu imitieren, so gut wir können.

Und da benutzen die verschiedenen Gruppen, die ihre Klimamodelle bauen, etwas unterschiedliche Parametrisierungen.

Das heißt, natürlich greifen alle irgendwie auf das gleiche Wissen zurück im Sinne von Publikationen und Erfahrungen und so weiter.

Aber doch macht jede Gruppe das etwas anders.

Und je nachdem, wie man das anders macht, verhalten sich diese Klimamodelle ein bisschen unterschiedlich.

Und bis hin zu so essenziellen Sachen wie, wie ändern sich, wie ändert sich die Bedeckung mit niedrigen Wolken in Antwort auf diese Erwärmung durch Treibhausgase.

Und das ist natürlich, das ist natürlich ein ziemlich dickes Ding, sage ich mal, dass wir auch nach wie vor dadurch eine relativ große Unsicherheit haben, in dem wie viel Erwärmung ein gegebener Emissionspfad uns in der Zukunft wirklich gern geben wird.

Also wir wissen natürlich, das soll jetzt nicht so klingen wie, wir wissen gar nichts.

Also wenn man sich diese Abbildungen beispielsweise in der Summary for Policymakers aus dem Sachstandsbericht anguckt, dann sieht man da ja immer diese Kurven und dann sieht man da so einen Unsicherheitsbereich drumherum.

Also so ein Shading im Hintergrund.

Und darüber reden wir, über diese Unsicherheitsbreite.

Die ist aber, wenn man sich dann anguckt, die verschiedenen Emissionsszenarien, dann ist die meistens immer noch kleiner als der Unterschied zwischen den Emissionsszenarien.

Das heißt, wir wissen, ich sage mal, wir wissen genug, um zu wissen, was wir in Sachen Emission in Zukunft machen, ist der allergrößte Hebel und wird darüber entscheiden, wie globale Erwärmung fortschreitet.

Aber dieses Shading um diese Kurven drumherum ist eben doch auch immer noch ziemlich erheblich.

Und darüber reden wir und darum geht es jetzt auch, wenn wir unter anderem mit dieser Studie da jetzt ein Puzzle oder auf etwas zeigen, nämlich diese sich ändernde Absorption von Solarstrahlung, dass wir da möglicherweise jetzt das allmählich in den Griff kriegen und jetzt ein bisschen besser erkennen, in welche Richtung die Reise geht.

Und was nämlich, also jetzt, wir haben jetzt ein bisschen den dritten Mechanismus gerade übersprungen, aber wo wir gerade beim Thema sind, können wir vielleicht gleich noch hin zurückgehen.

Kann es eben sein oder das suggeriert, dass wir eher im oberen Bereich dieser Unsicherheitsspannbreite liegen als im unteren Bereich?

Ich hätte gedacht, dass du sagst, das Shading wird schmaler, also dass der

Unsicherheitsbereich insgesamt ein bisschen schmaler wird.

Ja klar, aber zu Ungunsten der Menschheit.

Das wäre es quasi zu, das wäre dann, also ich spreche sowieso erst mal von tendenziell, weil wie gesagt, es kommt total darauf an, wie sich das, also wie relativ diese drei verschiedenen Mechanismen beigetragen haben.

Was wir nicht klären in unserer Studie und nicht klären können.

Das wird darüber entscheiden.

Ja, aber im Grunde ist es so, wenn ganz viel, also wenn erheblicher Anteil über diese natürlichen Schwankungen kommt, dann wird sich das wohl eher jetzt in den nächsten Jahren verschmalern, der Unsicherheitsbereich, aber nicht groß in eine Richtung dabei gehen.

Wenn es aber doch dieser zweite, diese positive Verstärkung dazu einem erheblichen Teil drin steckt oder auch der dritte Mechanismus, auf den wir jetzt gleich noch zu sprechen kommen können, also wenn die zu erheblichen Anteilen damit drin stecken, dann würde wohl eher das untere Ende dieses Unsicherheitsbereiches nach oben wandern.

Das heißt, es würde gleichzeitig schmaler werden, aber doch tendenziell eher nach oben gehen.

So, das ist so ein bisschen die Logik.

Das Best-Case-Szenario würde worse werden.

Richtig, genau, genau.

Der dritte Mechanismus jetzt.

Ja, wir müssen das.

Die Spannung ist ja kaum auszureden.

Wir müssen das, glaube ich, hier noch vervollständigen.

Ja, der dritte Mechanismus, also an der Stelle tatsächlich, der Spiegel hat ja einen Artikel auch darüber gemacht und da in der Überschrift wurde total dieser dritte Mechanismus voll nach vorne geschoben, was wir im Artikel gar nicht so sehr gemacht haben.

Und zwar, es liegt an den Shipping Emissions.

Das haben wir nicht gesagt, aber das ist Teil dieses dritten Mechanismus, dass es da möglicherweise mit reinspielen könnte.

Und zwar geht, also ein bisschen genereller gesagt, geht es um Aerosole, also kleine Partikel, die unter anderem eben auch von Menschen imitiert werden, die für Wolken als Kondensationskeime dienen können.

Was wir ja in den letzten, oder bis ungefähr 1970 hat die Menschheit auch viel bei Verbrennung auch von fossilen Brennstoffen insbesondere und auch durch andere Aktivitäten solche Aerosole in die Atmosphäre gegeben.

Unter anderem dadurch, dass da immer auch Schwefel zum Teil mit drin ist in den fossilen Brennstoffen und die gelangen dann als Schwefeldioxid und das wird dann umgewandelt in Schwefelsäure.

Und das sind eben so kleine, daraus bilden sich so kleine Aerosole, kleine Schwebeteilchen in der Atmosphäre und die können das Klima auf zwei Arten und Weisen relativ, also durchaus beeinflussen.

Einerseits streuen sie selber Sonnenlicht, das heißt, die können also gerade diese, diese Schwefeldioxid basierenden Aerosole, die können also Sonnenlicht

streuen, dadurch ein bisschen Reflektivität erhöhen.

Aber der wahrscheinlich größere Effekt, beziehungsweise potenziell größere Effekt, wäre der, dass sie mit Wolken interagieren.

Das heißt, diese Aerosole, ich hatte schon gesagt, die können als Kondensationskeime für Wolken dienen.

Und wenn die jetzt, also was die zum Beispiel machen können, ist, wenn man dann mehr solche Kondensationskeime in der Luft hat, dann können, dann bilden sich Wolken nicht an relativ wenigen und bilden dann da relativ große Tropfen oder Tröpfchen, sondern sie haben ganz viele Keime und können dann viele kleine Tropfen bilden.

Das führt zu helleren Wolken und das kann auch die Langlebigkeit von Wolken erhöhen.

Das heißt, wir haben sozusagen auch dadurch sehr wahrscheinlich in der Vergangenheit, die die Erde aufgehellt, dass wir eben mehr hellere, langlebigere Wolken durch solche, solche Schwefelemissionen erzeugt haben.

[HL] Es macht einen Unterschied, ob die Wolke, also für die Albedo macht es einen Unterschied, ob die Wolke dunkel oder hell ist.

[SR] Ja, genau.

Und natürlich auch, wenn sie länger lebt, dann ist sie einfach länger da.

Also das ist dieser Cloud-Lifetime-Effekt.

Und ja, ich meine, das ist jetzt alles wirklich ein bisschen vereinfacht, aber das sind so die zwei Hauptdinger, die da typischerweise eine Rolle spielen.

Und richtig, das heißt, wir haben, wir haben also bis in die 70er auf jeden Fall, hat

das ordentlich zugenommen und dann allmählich kam so, oh, ist eigentlich nicht so toll mit auch saurer Regen und sowas, diese Diskussion und so.

Und dann wurde auch gerade in Europa, ist seitdem das deutlich schon runtergegangen.

Aber unter anderem Schifffahrt, gerade auf hoher See, wurde eben, da durfte immer noch relativ viel Schwefel auch im Diesel sein.

Und da sind bei der International Maritime Organization eben neue Regeln in Kraft getreten.

Zuletzt eine Änderung eben 2020 und da darf jetzt eben nicht mehr so viel Schwefel drin sein in diesem Diesel.

Und jetzt ist gerade eine große Debatte am Laufen, ob dieser, diese Änderung, die es da seit 2020 gegeben hat, ob die da einen Anteil dran haben kann, beziehungsweise wie groß ist der Anteil?

Also, dass sie einen gewissen Anteil haben, ist, glaube ich, relativ klar.

Aber wie groß dieser Anteil ist, das ist so ein bisschen umstritten.

Ja, und in unserer Studie legen wir uns da auch nicht wirklich fest.

Man kann sagen, wir machen uns da ein bisschen einen schlanken Fuß, weil einfach auch aus den Daten, das, was wir sehen in den Daten, das verrät uns das nicht wirklich.

Also, das bleibt offen.

Also, aber jetzt nochmal, ich hatte vorhin schon mal gesagt, auch wenn es dieser Mechanismus zu einem erheblichen Anteil ist, wäre das nicht unbedingt gute Nachricht im Sinne von, wie viel Erwärmung haben wir bei einem gegebenen

Emissionspfad zu erwarten?

Was das nämlich, also, es gibt noch eine weitere Unsicherheit, ja, also in der Klimawissenschaft und zwar, wie stark war denn eigentlich wirklich dieser kühlende Effekt durch die Aerosole in der Vergangenheit?

Auch da haben wir eine ziemlich große Unsicherheit leider.

Und jetzt ist es tendenziell so, wenn man, also auch in einem Modell ist das dann so, wenn man in einem Modell quasi so einen starken kühlenden Effekt durch Aerosole hat, damit das mit der historischen Entwicklung der Temperatur hinhaut, muss dann der erwärmende Effekt durch die Treibhausgase eben stärker sein.

Und das ist in der Realität im Grunde auch so.

Also, wenn wir uns vorstellen, man hat einen stark kühlenden Effekt gehabt, okay, dann heißt das, dass im Grunde des Treibhausgases getriebene Erwärmung, die muss dann relativ stark gewesen sein.

Das heißt, ein starker Aerosoleffekt hat einen relativ starken Treibhausgaseffekt maskiert.

Wenn der aber nur schwach war, dann muss auch der Treibhausgaseffekt nicht so stark gewesen sein.

Also klar, immer noch, aber muss nicht so viel zusätzlich noch stärker gewesen sein.

Wenn sich jetzt herausstellt, der Aerosoleffekt ist eher im oberen Bereich, im starken Bereich gewesen, dann hieße das im Umkehrschluss, der Treibhausgaseffekt ist relativ stark.

Das heißt, selbst wenn man jetzt die Aerosole fix halten würde und nicht ändern



würde, würde das für jetzt zukünftige weitere Erhöhungen der Treibhausgaskonzentration bedeuten, dass die dann auch eine relativ starke Erwärmung bringen.

Also James Hansen in den USA, das ist ja einer der Big Names in der Klimaforschung auch, der ist ein sehr starker Verfechter dieser Theorie.

Und ja, es ist tatsächlich nicht so, also schwierig auszuschließen, dass es tatsächlich sein könnte.

Also sowohl dieser Aerosolmechanismus, als auch diese positive Rückkopplung.

Wenn viel von diesen tatsächlich am Werke sind bei dieser Erhöhung der Absorption von Solarstrahlung, dann hieße das, dass die zu erwartende Erwärmung bei einem gegebenen Emissionspfad dann doch vergleichsweise stark sein könnte.

[H] Jetzt könnte man natürlich sagen, na gut, wenn die Schiffe nicht mehr so viel Aerosol ausgebracht haben, Aerosole ausgebracht haben über den Ozean, dann machen wir das jetzt halt wieder.

Das wäre Geoengineering.

Ist das eine gute Idee?

[S] Also erst mal, es wurde tatsächlich ja jetzt so die Paper, die es jetzt zuletzt darüber gegeben haben, die haben das auch als unfreiwilliges Geo- oder unfreiwilliger Termination-Schock von Geoengineering bezeichnet.

Also das wird sowieso in dieser Geoengineering-Community wird darüber so diskutiert, wenn man solche Geschichten macht, wie zum Beispiel mit Flugzeugen Schwefeldioxid in der Stratosphäre irgendwie verteilen, damit man dann diesen Streueffekt hat und dadurch Klima kühlt oder so.

Dann wird eines der vielen Probleme, die da diskutiert werden, ist, dass man muss dann immer weitermachen damit.

Wenn man nämlich aufhört, das zu machen, dann kommt dann auf einmal die ganze Erwärmung.

Und genau so wird das an der Stelle diskutiert jetzt mit diesen Schiffsemissionen.

Wenn man jetzt eben die, das war sozusagen unfreiwilliges Geoengineering ein Stück weit, das was man da gemacht hat und wenn man das jetzt wegnimmt und das wirklich so einen starken Effekt gehabt hat, dann hat man da so einen unfreiwilligen Termination-Schock jetzt, weil man damit aufhört.

Und tatsächlich gab es da einen Brief, ich weiß gar nicht, doch das war glaube ich an die IMO, also die International Maritime Organization, die für diese Regulatorien da zuständig ist, gab es da auch schon einen offenen Brief.

Ich weiß gar nicht genau, von wem der gezeichnet worden ist, aber da gab es, meine ich, einen offenen Brief, wo die geschrieben haben, aufgrund dieser Hypothese, dass das da wirklich so einen großen Einfluss haben könnte, dass die IMO sich das vielleicht noch mal überlegen sollte mit diesen Schwefelgrenzwerten.

Ja, also das ist natürlich sehr stark zu debattieren, vor allem, ich meine, das ist ja aus gesundheitlichen Gründen gemacht worden, weil diese Schwefelemissionen, die haben natürlich stark gesundheitliche Wirkungen.

Bin ich zwar kein Experte für, aber das liegt ja ziemlich auf der Hand und deshalb ist das gemacht worden.

Ja, und dann gibt es ja noch andere Aspekte, also ich glaube auch dieses Marine Cloud Brightening, das ist so ein bisschen dieser Begriff, also das Aufhellen von Wolken über dem Meer, ist ja über diese Schwefelemissionen, die jetzt wir sowieso unfreiwillig sozusagen gemacht haben in der Vergangenheit, wird es

auch als ein Geoengineering, als einen Ansatz diskutiert, dass man auch künstlich beispielsweise Meerwasser im großen Stil sozusagen durch so Schiffe, die dann das zerstäuben und dann mehr Salzpartikel in die Luft bringen, das sind ja auch, die können auch als Kondensationskeime dienen.

Das ist auch eine dieser, ich sage mal, Ideen, die da diskutiert werden, wie man da vielleicht jetzt dem entgegenwirken könnte.

Aber ja, also das ist ein ziemlich schwieriges Thema.

Ich glaube, nichtsdestotrotz, dass das in den nächsten Jahren tatsächlich wahrscheinlich auch an Fahrt aufnehmen wird, die Diskussion in solche Richtungen. - Gibt es denn, also du klingst gerade so, als würde es eigentlich keine wirklich sinnvolle Geoengineering-Idee geben?

Zumal das ja, wenn ich gerade so darüber nachdenke, ja letztendlich auch alles nur Krücken sind, damit wir möglichst weiter CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre abladen können.

Gibt es irgendein Geoengineering, das sinnvoll sein kann?

Oder werden wir vielleicht sogar welches betreiben müssen, weil wir das mit dem CO<sub>2</sub> nicht in den Griff kriegen?

Das kommt darauf an, was man als Geoengineering alles bezeichnet.

Es gibt ja zwei Hauptklassen von Geoengineering.

Die eine ist das, worüber wir jetzt gerade gesprochen haben, wo man irgendwie versucht, mit der Solarstrahlung zu interagieren, also zu versuchen, die Erde zu verschatten, wenn man so will, also wirklich in die Albedo einzugreifen.

Der Ansatz ist der mit einem sehr, sehr viel dickeren Fragezeichen und was das für Auswirkungen hat und was das auch für, es geht ja auch am Ende geht es

nicht um globale Temperatur per se, sondern es geht natürlich dann auch um regionale Verteilung, Muster, wie ändern sich vielleicht durch bestimmte Dinge auch Niederschlagsmuster und so weiter.

Das ist wirklich ein höchst umstrittenes Thema.

Aber die andere große Klasse an Geoengineering, manchmal wird die nicht so genannt, aber manchmal eben doch, ist dieses künstlich CO<sub>2</sub> wieder aus der Luft holen.

Und das ist natürlich ein ganz anderer Schnack, weil wir an der Stelle ja tatsächlich dann, ich sag mal, an der Ursache ansetzen.

Zwar nicht an der Ursache im Sinne von den Emissionen, das wäre natürlich viel schlauer an den Emissionen anzusetzen, aber immerhin, es zieht das wieder raus, was tatsächlich das Problem bewirkt, nämlich also hauptsächlich das CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre.

Und wenn man jetzt wirklich an der Stelle einem Schema um die Ecke kommen würde, dass das wirklich in sehr, sehr großem Stil hinkriegen würde, dann wäre das natürlich wirklich super hilfreich.

Aber auch an der Stelle, muss man sehr, sehr vorsichtig sein, weil alles, was bisher so auf dem Tisch liegt, wie man das machen kann, ist absolut nicht effizient genug, um das in dem großen Stil zu machen, dass das irgendwie Sinn ergibt.

Sozusagen jetzt zu sagen, komm, wir machen weiter mit fossilen Emissionen und wir holen das einfach wieder raus.

Also da fehlt im Moment auch mir persönlich die Fantasie, dass wir am Ende da wirklich das hinkriegen, das dann wirklich auf effiziente Art und Weise wieder rauszuholen im großen Stil.

Wobei man muss sagen, also diese teilweise die Emissionsszenarien oder also diese Szenarien, die benutzt werden auch für die Klimamodelle in die Zukunft, im Grunde preisen die solche negativen Emissionen teilweise auch schon ein, obwohl wir das großen Stil auch noch nicht so richtig drin haben.

Also wenn wir Klimaphysik betreiben, dann machen wir sowieso, dann machen wir sowieso, was wäre wenn.

Und da gibt es die, ich sag mal, die konventionelleren Szenarien, die eben mit sehr starken, moderaten, schwachen Emissionen arbeiten.

Aber es gibt eben auch die, die sagen, okay, wir wollen wirklich, wir wollen zum Beispiel eineinhalb Grad noch einhalten oder deutlich unter zwei Grad oder so.

Und da sind die Szenarien dann so konstruiert, dass man das irgendwie noch hinkriegt.

Und im Grunde müssen die nicht nur jetzt stark auf die Bremse treten bei den Emissionen, sondern im Grunde müssen die dann tatsächlich dann sagen, okay, und dann machen wir für ein paar Jahrzehnte auch noch, holen wir noch relativ große Mengen CO<sub>2</sub> wieder raus aus der Luft.

Ja, also an der Stelle sieht man auch schon, wie herausfordernd überhaupt diese Idee auch tatsächlich Stand jetzt ist, dass wir irgendwie noch deutlich unter zwei Grad bleiben könnten.

Also viele, sehr viele halten das nicht mehr für so recht plausibel.

[Siebert] Du hattest vorhin gesagt, es sei überhaupt nicht klar, welcher von diesen drei Mechanismen welchen Anteil hat.

Wer kann denn da Klarheit verschaffen?

Also gibt es Daten, auf die man zurückgreifen könnte?

Oder wird das für die nächsten Jahrzehnte eine ungeklärte Frage bleiben?

[Kehl] Nee, ich glaube, dass da in den nächsten paar Jahren, sagen wir vielleicht bis zehn oder so, aber ja, also tatsächlich die nächsten paar Jahre, da wird, glaube ich, viel passieren.

Ich meine, natürlich wird auch die Daten, die es jetzt schon gibt, da wird immer noch viel Musik drin sein, die jetzt noch nicht komplett rausgeholt worden ist.

Da kann man sicherlich noch ganz viel machen, indem man wirklich seinen Grips anschmeißt, um da noch ein bisschen mehr das besser eingrenzen zu können.

Unter anderem auch, also gerade so diese Satellitendaten.

Wir haben ja auch, also zum Beispiel haben wir ja diese Reanalyse-Daten benutzt, um die Wolken in verschiedenen Höhen zu betrachten.

Da sagen wir auch, da sollte man tatsächlich auch mit den existierenden Satellitendaten, kann man da wahrscheinlich auch noch ein paar Sachen mehr lernen.

Aber auch gerade was den Effekt von Aerosolen und dergleichen angeht, wird da einiges aus den existierenden Daten noch rauszuholen sein.

Ich glaube aber gleichzeitig, dass die nächsten paar Jahre super wertvoll sein werden für Klimaforschende.

Und zwar, ich glaube, das hatte ich vorhin auch schon einmal gesagt.

Wir sind ja jetzt, im Grunde jetzt erst seit, ich sage mal einigen Jahren, haben wir ja ein wirklich kräftiges Klimawandelsignal.

Also wir haben, also natürlich sind wir auch in den 90er Jahren, wurde schon

gesagt, dafür wurde ja auch Klaus Hasselmann mit der Nobelpreis verliehen, dass da in den 90ern erkannt wurde, wir sind jetzt aus diesem Rauschen dieser natürlichen Variabilität klar raus und wir haben jetzt wirklich den Fingerabdruck des Klimawandels haben wir erkannt.

Aber eben erst seit den 90ern ist das überhaupt sozusagen detektierbar gewesen.

Und jetzt seit den 90ern haben wir jetzt über diese 30, 40 Jahre ist eben allmählich das Klimawandelsignal stärker geworden.

Und jetzt sind wir eben in einem Bereich, wo wir wirklich schon ein kräftiges Klimawandelsignal haben.

Und je stärker dieses Signal ist, desto klarer kann man auch Signale rausarbeiten.

Und ich glaube, mit jedem Jahr, das jetzt an Beobachtungen dazukommt, werden auch die Dinge immer klarer.

Und auch diese Trends, die wir in diese Satellitendaten geben, die es zum Teil eben erst seit dem Jahr 2000 ungefähr gibt, da wird jetzt wirklich mit Jahr für Jahr wird es immer klarer, was Phase ist.

Und zu guter Letzt glaube ich auch, dass satellitenbasierte Messungen von so etwas wie Aerosolen, das wird auch noch besser.

Also mit neuen Satellitenmissionen gibt es da bessere Daten und auch wahrscheinlich Messungen vor Ort, also in situ Beobachtungen, die werden da auch noch ihren Beitrag leisten.

Also ich glaube, in den nächsten paar Jahren wird da ganz viel passieren, um das besser zu verstehen und auch um diese langjährige Nuss zu knacken, wie viel Erwärmung haben wir bei einem gegebenen Emissionsfad wirklich zu erwarten.

Über mehrere Jahrzehnte haben wir das im Grunde nicht besser eingrenzen können, obwohl wir super viel über das Klimasystem gelernt haben.

Aber ich glaube tatsächlich, in den nächsten paar Jahren werden wir da richtig Boden gut machen.

Übrigens im letzten Sachstandsbericht des Weltklimarats wurde im Grunde zum ersten Mal tatsächlich diese Unsicherheitsspanne, also wir haben ja so ein Standardexperiment, wo wir sagen, wie viel wärmer wird es, wenn man die CO<sub>2</sub>-Konzentration verdoppelt.

Und wenn man dann lange genug wartet, dass das Ganze wieder in so ein Gleichgewicht kommt, wie viel Erwärmung gibt es da?

Da haben wir über Jahrzehnte im Grunde so einen Unsicherheitsbereich gehabt, der sich nicht wirklich verkleinert hat.

Erst im letzten Sachstandsbericht vor ein paar Jahren wurde gesagt, okay, wir können den jetzt ein bisschen klarer eingrenzen.

Jetzt liegt der wahrscheinliche Bereich zwischen so was wie zweieinhalb und vier Grad für eine Verdopplung von CO<sub>2</sub>.

Ich glaube, dass wir in den nächsten Jahren und dann hin, wahrscheinlich auch im nächsten Sachstandsbericht wird das dann wieder zusammengefasst, dass das weiter eingegrenzt werden wird.

Helge Gößling, vielen Dank.

Danke dir, Holger.

Tschüss.

[Musik] [Musik]



