

1 Laien-Fragen zur Klimaproblematik und erste Antworten

Worum geht es?

Im ersten Teil dieses Kapitels versuche ich mich in einen Laien zu versetzen, der an der gegenwärtigen Klimadiskussion interessiert ist, seine Fragen anzuhören und bereits einige 'mündliche' Antworten zu geben, etwa wie man dies in einem Gespräch während eines Spazierganges täte. Im zweiten Teil ist dieser Spaziergang zu Ende, und aus dem Gespräch wird ein Monolog meinerseits, in dem ich einerseits auf einige der gestellten Laienfragen schon etwas ausführlicher und zusammenhängender eingehe, andererseits aber auch Hinweise auf mein Lehrbuch 'Die Physik des Wetters und des Klimas' von 2002, sowie auf die Umstände, die dazu führten, auf eine Neuauflage dieses Fach-Buches zu verzichten und stattdessen eine allgemeinverständliche Neufassung zu beginnen, verbunden mit einer Verlagerung des Schwerpunktes vom Thema 'Wetter' auf das aktuelle Thema 'Klima'. Im Rahmen einer ersten Themen-Vertiefung weise ich bereits hier darauf hin, dass 'Klima' nicht einfach 'gemittelttes Wetter' ist, sondern erst das Endprodukt von *mehrfachen* Mittelungen auf einer 'Körnungsleiter' sein kann, bei der nicht nur mathematische Mittelungs-Statistik, sondern vor allem physikalische Gesetze mitwirken müssen. Physiker sehen das als eine Bedingung an, ohne die jeder Schritt auf dieser Leiter, d.h. jeder Schritt von einer sogenannten 'Feinkörnigkeit' zur 'Grobkörnigkeit' keine 'effektive Theorie' werden kann. Daher 'zieht' auch nicht der inzwischen berühmt gewordene Vergleich vom Wetter als nicht vorhersagbares Würfel-ergebnis und dem Klima als vorhersagbares Mittel über diese Würfel-ergebnisse.

Das hat wohl jeder schon einmal erlebt: Man plant einen Ausflug, nimmt nach dem Anhören des Wetterberichtes den Regenschirm *nicht* mit und wird prompt nass! Allerdings ist das vor wenigen Jahrzehnten häufiger passiert als heute, Fehlprognosen sind seltener geworden. Jedoch kann auch heute noch kein Meteorologe der Welt Prognosen für längere Zeiträume als höchstens zwei Wochen erstellen, und man kennt auch die Gründe dafür. Aber Klimavorhersagen macht man bis zum Ende dieses noch jungen Jahrhunderts!

»Wie kann das sein«, fragt der Laie. »Weil Klima nicht Wetter ist, sondern gemittelttes Wetter!« sagt der Klimatologe. »Man kann ja auch nicht vorhersagen, welche Zahl beim nächsten Würfeln herauskommt, aber man kann vorhersagen, dass nach tausendmaligem Würfeln als Mittelwert ziemlich genau 3,5 herauskommt. Das mitt-

lere Würfel-Ergebnis ist vorhersagbar, ein einzelnes Würfelergebnis nicht! Ein Mittelwert - also auch das Klima als gemitteltetes Wetter - ist vorherzusagen, längerfristige Wetter-Ereignisse aber nicht! Das Wetter entspricht also einzelnen Würfelergebnissen, das Klima dem Mittelwert über sehr viele **Würfelexperimente**.« [Lat04].

»OK« sagt der interessierte, aber auch kritische Laie, »das ist erst einmal einzusehen. Der Mittelwert aller Würfelergebnisse ist ja tatsächlich $(1+2+3+4+5+6)/6 = 3,5$. Aber ich hätte noch eine Frage. Diese Mittelwerts-Formel gilt ja nur dann, wenn alle Zahlen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit gewürfelt werden, wenn mein Würfel also ein idealer Würfel ist. Aber ist der **Wetterwürfel** in diesem Sinne wirklich ideal? Sind alle Wetterereignisse etwa gleichwahrscheinlich? Hinzu kommt ja noch, dass bei einem idealen Würfel der Mittelwert immer beim Wert 3,5 bleibt, auch wenn man am Ende dieses Jahrhunderts immer noch würfelte. Wieso sagt ihr Klimatologen dann, dass das Klima, das Wettermittel, sich im Laufe der Zeit in Richtung Erwärmung ändern würde«?

»Diese Frage ist einfach zu beantworten«, so der Klimaforscher [Lat04]: »Der 'Wetterwürfel' ist tatsächlich kein idealer Würfel. Es gibt ja auch gezinkte Würfel! Was wir Menschen gerade mit der Produktion von CO₂ tun, - also das, was wir mit dem englischen Kürzel **AGW** (für **Anthropogenic Global Warming**) abkürzen - ist vom Prinzip her nichts anderes als das, was ein Zinker tut, wenn er den Würfel manipuliert. Letzterer manipuliert ihn so, dass nicht mehr alle Zahlen mit gleicher Wahrscheinlichkeit gewürfelt werden. Wie du selbst gemerkt hast, lieber Laie, widerspricht das aber der Voraussetzung für deine sonst so kluge Berechnung des Mittelwertes 3,5! *Wenn* manipuliert - gezinkt - wurde, hast du mit deiner Gleichung $(1+2+3+4+5+6)/6 = 3,5$, die man ja auch so schreiben kann:

$$1 \cdot \frac{1}{6} + 2 \cdot \frac{1}{6} + 3 \cdot \frac{1}{6} + 4 \cdot \frac{1}{6} + 5 \cdot \frac{1}{6} + 6 \cdot \frac{1}{6} = 3,5$$

zwar richtig gerechnet, aber mit einer falschen Formel! Die Wahrscheinlichkeit jeder einzelnen Zahl ist ja wegen der Manipulation nun gerade nicht mehr $\frac{1}{6}$! Die richtige Gleichung lautet:

$$1 \cdot p_1 + 2 \cdot p_2 + 3 \cdot p_3 + 4 \cdot p_4 + 5 \cdot p_5 + 6 \cdot p_6 = \text{manipulierter Mittelwert} \neq 3,5$$

Hier ist $p_1 \neq \frac{1}{6}$ die *manipulierte* Wahrscheinlichkeit (engl. 'probability') dafür, eine '1' zu würfeln, p_2 die Wahrscheinlichkeit eine '2' zu würfeln, usw. Konkret kann man sich das Zinken so vorstellen: Das CO₂ entspricht in der Würfelanalogie einer raffinierten Mischung unterschiedlich schwerer Würfelmateriale, welche den Schwerpunkt von der Würfelmittle in die Richtung der '1' verschiebt. Dann wird mit höherer Wahr-

scheinlichkeit als $\frac{1}{6}$ die '1' unten liegen bleiben, weil ja jedes physikalische System versucht, den Schwerpunkt so niedrig wie möglich zu platzieren! Da aber die '6' der '1' *gegenüber* liegt, wird die '6' mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als $\frac{1}{6}$ *oben* erscheinen! Wenn die Würfelzahlen Temperaturwerte simulieren, kann so die anthropogen bedingte Erderwärmung durch den manipulierten Würfel veranschaulicht werden. Und wenn man einen zeitlich *zunehmenden* CO₂-Gehalt simulieren will, dann muss man halt den Würfel ständig 'umzinken', seinen Schwerpunkt *immer weiter* in die Richtung der '1' verschieben. Sind Sie nun zufrieden«?

»Nein, bin ich nicht. Da ich ein *interessierter* Laie bin, habe ich mich auch andernorts umgehört: Es soll ja neben dem CO₂ noch viele andere **Klimafaktoren** geben, die ebenfalls auf das Klima einwirken, auf die sogenannten **Klimaelemente**. Und es gibt auch *mehr* Klimaelemente als nur die Temperatur. Ihr *unterscheidet* ja diese Klimaelemente, die *beeinflussten* Klimavariablen, von den Klimafaktoren, den *beeinflussenden* Klimavariablen. Aber meist redet ihr nur von *einem einzigen* Klimafaktor, dem anthropogenen CO₂, und auch nur von *einem einzigen* Klimaelement, der globalen Mittel-Temperatur der Atmosphäre. Man muss als Laie schon sehr genau hinhören, wenn man nicht verpassen will, dass es in Wirklichkeit *viele Klimavariablen* gibt, die sich klimageschichtlich ständig verändert haben, und die oft gleichzeitig Klimaelement und Klimafaktor sind, weil sie *gleichzeitig* von vielen Variablen passiv beeinflusst werden, und diese auch aktiv beeinflussen. Wenn ihr Klimaforscher mich nicht eines besseren belehrt, kann ich eine Klassifizierung *aller* Klimavariablen in Klimaelemente und Klimafaktoren nicht akzeptieren. Nach meinem physikalischen Verständnis muss ich das für falsch halten, einfach wegen der unstrittigen allgemeinen Wechselwirkungen zwischen fast *allen* Klimavariablen, incl. des bösen CO₂-Gehaltes. Klimafaktoren können - nach meinem Verständnis - nur atmosphärisch-externe Ereignisse sein wie Erdbeben, Vulkanausbrüche, Einschläge von Objekten aus dem Weltraum, Veränderungen des Abstandes der Erde von der Sonne oder Veränderungen der Strahlkraft der Sonne«.

»Z.B. muss wohl die Wechselwirkung zwischen Erwärmung und CO₂ nicht *immer* bedeuten, dass die Erwärmung eine Folge des CO₂ (und des Treibhauseffektes) ist! Geht es nicht auch umgekehrt? Beispielsweise würde doch bei irgendeiner *natürlichen* Erwärmung vermehrt CO₂ aus den Gewässern dieser Erde ausgetrieben! Dann wäre die Erwärmung plötzlich der aktive Klimafaktor geworden, und das CO₂ das passive Klimaelement! Das könnte z.B. aufgrund einer Erwärmung im Nachhall der berühmten kleinen Eiszeit passiert sein, die ja 400 Jahre andauert hat und noch im 19. Jahrhunderts ausgeprägt war. Oder durch Hunderte anderer natürlicher Ereignissen! Klimageschichtlich gab es ja haufenweise natürliche, auch 'plötzliche' Erwär-

mungen, ohne dass Menschen existiert hätten, die CO₂ in die Luft gepustet hätten. Wenn man den Würfelvergleich zur Beschreibung eines Klimasystems *ohne* Menschen retten wollte, dann müsste der Würfel offenbar befähigt werden, *sich selbst* zu zinken, er müsste 'aus eigener Kraft' seinen Schwerpunkt aus der Würfelmitte heraus verschieben. Und das soll nun ein 'anschauliches' **Modell** des Klimas sein?«

»Und schlimmer noch, auch zahlreiche, wenn nicht alle Klimavariablen sollen sich *gegenseitig* beeinflussen, sich *gegenseitig* verstärken oder abschwächen! Damit habt ihr ja praktisch zugegeben, dass CO₂ durch Rückkopplungen auch *verringert* werden kann! Und wird CO₂ - neben SO₂ - nicht *tatsächlich ausgewaschen*, durch Regen, der dadurch zum **sauren Regen** wird?« [Pea90] »Warum redet ihr Klimatologen vom sauren Regen heute nicht mehr so oft wie früher? Vielleicht weil man nur *entweder* sauren Regen *oder* CO₂-Klimakatastrophe haben kann? Und wird nicht genau dieser CO₂ reduzierende saure Regen begünstigt durch vermehrte Wolkenbildung, diese durch vermehrte Verdunstung, diese durch erhöhte Temperatur, diese durch stärkere Treibhauswirkung und dieser durch vermehrtes CO₂? Kann also letztlich CO₂-Vermehrung CO₂ verringern? Habt ihr für solche Vorgänge nicht sogar ein eigenes Wort erfunden, nämlich das Wort **stabilisierende** oder **negative Rückkopplung**? So eine Rückkopplungsschleife ist doch offensichtlich nichts anderes als eine geschlossene Kette von Ursachen und Wirkungen. Gehen solche geschlossene Wirkungsketten, aber auch solche, die auf **destabilisierende, positive Rückkopplungen** hinauslaufen, dem wissenschaftlichen Repertoire eines Klimaforschers nicht verloren, wenn er sich in der Klimadiskussion von vornherein auf monokausale Beziehungen wie 'CO₂ → Klimatemperatur' oder 'Sonnenflecken → Klimatemperatur' festlegt?«

»In **komplexen** Systemen, so sagt ihr ja selbst, kommen immer wieder paradox erscheinende Reaktionen vor. In diesem Zusammenhang redet ihr ja auch gern von **vernetzten** Systemen, oder von **nichtlinearen** Systemen, oder von **komplizierten** Systemen, oder von **chaotischen** Systemen. Ist das alles das Gleiche oder bedeuten diese Begriffe etwas Verschiedenes? Auf das Klimasystem wendet ihr ja *alle* diese Begriffe an, mal diesen, mal jenen. Wenn sie so wichtig sind, warum finde ich kein Buch, in dem das alles mal dem Laien erklärt wird und gegebenenfalls auseinander gehalten wird? Trotz des Konsums von Klima-Beiträgen in Fernsehen, Zeitschriften, Zeitungen, Büchern, Internet-Auftritten, ja sogar in ganzen Spielfilmen über Klimakatastrophen habe ich eine diesbezügliche Aufklärung noch nicht erfahren!«

»Aber egal wie man solche Systeme nennt, hat nicht die Zinker-Armee in solchen Systemen sowieso umsonst gezinkt? Kaum hat sie die Klimafaktoren 'extern' mani-

puliert, um den anthropogenen CO₂-Ausstoß zu simulieren, macht dann nicht die 'interne' *Vernetzung* zwischen der Temperatur und all den anderen Klimavariablen das Manipulationswerk wieder zunichte? Wenn sogar ein *Schmetterling* alles verändern kann, wie ihr ja *auch* oft sagt - und dieser Schmetterling ist ja schließlich nicht anthropogenen Ursprungs - bleibt dann wirklich der anthropogene Einfluss dominant, sogar *mit Sicherheit*, wie ihr Wissenschaftler das überaus eindringlich, geradezu angstmachend behauptet? Wenn Vernetzung heißen sollte, dass im Prinzip jede Klimavariablen von jeder anderen Klimavariablen abhängen kann, - wie anders sollte ich mir Vernetzung vorstellen - dann kann man doch gar keinen Unterschied mehr machen zwischen Klimafaktoren und Klimaelementen! Dann sind das doch alles einfach nur miteinander **vernetzte Klimavariablen!**«

»Wenn mein obiges Beispiel zur CO₂-Reduktion durch Vernetzung im Gesamtgeschehen wenig Gewicht haben sollte - niemand weiß es offenbar genau - so war es doch nur *ein* Beispiel im Meer der Vernetzungen, im Meer der ungezählten Möglichkeiten für rückkoppelnde Wirkungsketten, die die Wirkung des gerade betrachteten Klimafaktors abschwächen, aber auch als positive Rückkopplung verstärken können! Auf jeden Fall *muss* es sehr starke negative, abschwächende **stabilisierende Rückkopplungen** geben, denn die Erd-Temperatur hat sich ja während der letzten zwei Milliarden Jahre gegen eine sagenhafte 30-prozentige Zunahme der Sonneneinstrahlung, die von den Sonnenphysikern berichtet wird, im Großen und Ganzen sehr erfolgreich gewehrt! Als interessierter Laie gewinne ich zunehmend den Eindruck, dass ihr Klima-Physiker nur noch verstärkende Rückkopplungen propagiert, oder gar nur einen einzigen Verstärkungsprozess, in dem nur noch anthropogenes CO₂ eine Rolle spielt.«

»Außerdem soll es **Strukturbildungstheorien** geben, nach denen scheinbar zufällige Schwankungen der Variablen derartig anwachsen können, dass sie sogar den Mittelwert dominieren. Und Klima *ist* doch ein Mittelwert! Können die vielen internen Wechselwirkungen dem komplexen System nicht auch ein autonomes Eigenleben geben, welches es weitgehend gegen äußere Einflüsse abschirmt, etwa nach dem gelegentlich fallenden Stichwort **Autopoiese** (Selbsterschaffung eines Systems)? Kommt das vielleicht auch in Prozessen der Selbstorganisation zum Ausdruck, die in der Atmosphäre beobachtet werden, und die man bereits mit Theorien der spontanen Strukturbildung und Selbstorganisation zu beschreiben versucht? Ich muss aber noch einmal wiederholen, dass ich hier viele Begriffe nur intuitiv benutzt habe, weil sie mir als Laien noch nie völlig klar gemacht wurden. Dazu gehören auch Begriffe wie 'System' selbst, auch 'Modell', 'Modellierung', 'numerische Modellierung', 'Modellparameter' usw. Auch der offenbar vorhandene Zusammenhang zwischen Modellen

und mathematischen Gleichungen ist mir nicht vollkommen klar«. Soweit einige der Fragen, die nach meiner Einschätzung den interessierten Laien quälen könnten. Hier schnell ein paar 'Blitz-Antworten':

"Ein **Modell** ist ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit. Dies kann gegenständlich oder theoretisch geschehen". So schreibt Wikipedia (Aufruf Dezember 2013). Das ist knapp und gut ausgedrückt, und es ist auch gut geeignet für einige Beispiele im Kontext dieses Buches und im Kontext der obigen Fragen von Laien. Gerade sprachen wir vom Würfel-Modell des Klimas. Dass ein Würfel ein äußerst *beschränktes* Abbild des atmosphärischen Klimas ist, ist unübersehbar. Ist dieses Abbild gegenständlich gemeint? Nun ja, ein gewisser gegenständlicher Unterschied zwischen der Atmosphäre und einem Würfel fällt schon auf! Wenn es aber *kein* gegenständliches Modell sein kann, muss es wohl ein theoretisches sein, genauer: ein mathematisches Modell. Die Atmosphäre beschreibt man mathematisch mit hydro-thermodynamischen nichtlinearen gekoppelten partiellen Differentialgleichungen. Das wird wohl Laien, die gerade mit der Lektüre dieses Buches begonnen haben, noch nicht viel sagen. Aber dass das Bilden von Mittelwerten über Würfelerggebnisse von idealen oder gezinkten Würfeln kein gutes Abbild von Mittelwerten über die Rechenergebnisse - die *Lösungen* - solcher Differentialgleichungen ist, wird man mir hoffentlich trotzdem glauben.

Ein gutes Beispiel für ein gegenständliches Modell ist eine Modelleisenbahn. Sie ist zweifellos eine *vereinfachte* Version der 'richtigen' Eisenbahn. Auch die Atmosphäre wird gelegentlich gegenständlich modelliert, z.B. in Form von Wassertank-Modellen, mit denen man versucht, typische atmosphärische Strömungen nachzubilden. Und die erwähnten atmosphärischen Differentialgleichungen bilden mathematische Modelle, also *mathematische* Abbilder der 'wirklichen' Atmosphäre. Man spricht hier auch von numerischen Modellen, in denen Lösungen von Differentialgleichungen 'Schritt für Schritt' berechnet werden, in der Regel mithilfe der größten und schnellsten verfügbaren Computer. Aber auch diese Gleichungen reduzieren die Wirklichkeit erheblich: Niemand kennt die *vollständigen* Differentialgleichungen der wahren Atmosphäre mit allen ihren Details, mit allen ihren Variablen.

Nun wieder zurück zu den Laien, deren Fragen hier natürlich noch längst nicht alle beantwortet wurden. Ich will hier nicht den Anspruch erheben, diesen Laien und seine Fragen ganz genau zu kennen. Vielleicht denkt er ja auch ganz anders. Vielleicht ist es ja ein Laie, der nicht wie der bisherige auf der Seite der AGW-Skeptiker steht, sondern auf der Seite der AGW-Vertreter, der vermeintlichen Konsens-Meinung eines gesicherten anthropogen verursachten Klimawandels. Dieser würde seine Sicht und sein Befinden vielleicht so skizzieren:

»Mit der Physik des Klimas muss ich mich gar nicht mehr befassen. Jeder weiß doch, dass die Menschheit gegenwärtig mit ihrer CO₂-Produktion eine Klimakatastrophe herbeiführt. So viele Wissenschaftler können sich nicht irren. Man muss den anthropogen verursachten **Klimawandel** auch gar nicht mehr vorhersagen, denn er ist ja schon da! Er wurde ja schon gemessen. Die wenigen Wissenschaftler, die daran zweifeln, zweifeln nicht wirklich, sie sind **Klima-'Leugner'**. Sie sind offenbar von der Industrie 'gekauft', um z.B. Investitionen für eine CO₂-Reduzierung einsparen zu können. So muss ich jedenfalls die Überschrift "30 Silberlinge für die Klimaleugner" interpretieren, mit der Michael Müller, Ursula Fuentes und Harald Kohl das Umfeld des UN-Weltklimareport von (2007) kommentieren [MFK07]. Denn wenn der in dieser Überschrift enthaltene Vorwurf der Bestechlichkeit nicht wahr wäre, wer würde dann gegen eine solche öffentliche Unterstellung, wider besseres Wissen Unwahrheiten zu verbreiten, nicht vorgehen? Aber zurück zur Klimaforschung. Der Klimatrend ist ja nicht nur gemessen worden, er ist aus theoretischer Sicht auch ganz einfach zu verstehen. Klimawerte als Mittelwerte des Wetters sind nun mal vorhersagbar, anders als das Wetter selbst, ebenso wie Würfelmittelwerte vorhersagbar sind, einzelne Würfelergebnisse aber nicht. Kann es *überhaupt* Gegenargumente gegen solche unmittelbar einsichtigen Aussagen geben?«

»Liebe Laien-Vertreterin, lieber Laien-Vertreter der AGW-Theorie: Ein mittleres Würfelergebnis ist erst *dann* vorhersagbar, wenn man lange genug würfeln kann, so dass ein hinreichend langes Mittelungs-Intervall zur Verfügung steht, wie man sagt. Nur dann gleichen sich alle Schwankungen aus, nur dann beeinflussen weitere Zufallsschwankungen den Mittelwert kaum noch, nur dann ist der Mittelwert 'stabil', wie man sagt.

Nun wurde das Wetter von morgen als nächstes Würfelergebnis des Klimas angesehen. Aber die Atmosphäre verhält sich nun einmal nicht so zufällig wie ein Würfel. Vielmehr bildet sie unterschiedliche, geordnete Strukturen, unterschiedliche, charakteristische Verhaltensweisen in unterschiedlicher zeitlicher Größenordnung aus! In einer - der wissenschaftlichen Terminologie schon eher angepassten - Sprechweise würde man sagen: die Atmosphäre ist in unterschiedlichen **Zeitskalen** auch unterschiedlich strukturiert. Sie gehorcht auch jeweils unterschiedlichen physikalischen Gesetzen.

Beispiele werden uns noch begegnen, etwa wenn wir von hydro-thermodynamischen Feldern sprechen, die durch Mittelung über die molekularen Bewegungen hervorgegangen sind, oder von der Turbulenztheorie kleiner Wirbel, oder von den noch einmal anderen physikalischen Gesetzen der großen Wetterwirbel - die berühmten Hochs

und Tiefs - von der Skala der Witterung oder den sehr verschiedenen Klimaskalen, die von Dekaden von Jahren über Jahrzentausende bis hin zu hunderten von Millionen Jahren reichen. So kommt es bei Vergrößerungen der Zeitskala mehrfach zu Übergängen von 'feinkörnigen' zu 'grobkörnigen' Gesetzen, wie Physiker sagen [Gell94]. Die Folge davon ist, dass die zuvor zitierte 'unmittelbar einsichtige Aussage' des Klima-Würfelmodells [Lat04] gleich drei entscheidende 'Dämpfer' hinnehmen muss:

Erstens muss statt einmal zu mitteln eine mehrstufige **Körnungsleiter** in Richtung zunehmender Größenskalen begangen werden, (jede Stufe auf der Körnungsleiter entspricht einer solchen Mittelung),

Zweitens stehen nur selten hinreichend lange Zeitintervalle für stabile Mittelungen zur Verfügung, das Mittelungsintervall ist daher oft nicht viel größer als die Dauer der größten Schwankung, über die man noch mitteln muss, und nicht viel kleiner als die kürzesten Schwankung, die durch die Mittelung 'eigentlich' nicht beeinflusst werden sollte. Ein solcher Umstand wird in der Fachsprache eine fehlende oder zu kleine **Energielücke** genannt.

Drittens muss die jedes Mal *andere* Physik auf der nächsten Körnungsstufe beachtet werden, was ein rein mathematischer Mittelungsprozess natürlich nicht leisten kann: Klima einfach als 'gemitteltes Wetter' zu definieren, ist zu einfach!

Erst wenn diese drei Punkte erfolgreich beachtet und bewältigt worden sind, sprechen Physiker von einer effektiven Theorie, die beim jeweiligen Schritt auf der Körnungsleiter von einer - relativen - **Feinkörnigkeit** zur **Grobkörnigkeit** entstanden ist. Wenn man Glück hat, entsprechen die auf den jeweiligen neuen grobkörnigen Skalen auftauchenden physikalischen Gesetze stabilen Gleichgewichtsbedingungen. Somit kann eine fehlende 'mathematische' Stabilisierung bei einem hinreichend langen Mittelungsintervall durch diese physikalische Stabilisierung ersetzt werden. So kann es eine effektive grobkörnige Theorie auch dann geben, wenn das feinkörnige System, über das gemittelt werden soll, durch äußere Zusatzbedingungen - oder auch durch interne Wechselwirkungen der miteinander vernetzten Variablen - in eine bestimmte Richtung gezwungen werden. Im ersten Fall spricht man von stabilisierenden Randbedingungen, die 'stärker' sind als die internen Wechselwirkungen und diese gewissermaßen 'außer Kraft' setzen. Im zweiten Fall spricht man von stabilisierender **Selbstorganisation**. Beides spielt in der Atmosphäre eine Rolle, aber um so etwas zu beschreiben oder gar vorherzusagen, reicht bloße Mittelungs-Mathematik - nach dem Motto grobkörniges Klima ist einfach gemitteltes feinkörniges Wetter' -

natürlich nicht aus: 'Klima' darf keine mathematische Betrachtung bleiben, es muss eine *physikalische* Betrachtung werden. Sie ähnelt der Aufgabe, aus lokalen (feinkörnigen) Schäfchenwolken, aus Wind-Strömungen an lokalen Hindernissen oder in kleinen Wirbeln einen 'landesweiten' (grobkörnigen!) 'Wetterbericht' zu erstellen. Diese Aufgabe konnte nur deshalb einigermaßen gelingen, weil man auf der grobkörnigen Größenskala physikalische Gleichgewichte entdeckt hatte, die es auf der feinkörnigen Größenskala gar nicht gibt, die aber das Zusammenspiel der letzteren stabilisieren. Und wie sieht es auf der nächsten Stufe der Körnungsleiter aus? Zum *physikalisch* beschriebenen Klima käme man erst, wenn man die - *nun* feinkörnigen - 'Wettersetze' ablösen könnte durch eine Physik des *nun* grobkörnigen Klimas. Aber leider kennt man solche Gesetze bis heute noch nicht.

Am Anfang der Körnungsleiter sieht es besser aus: Die erste Stufe von der Physik der Moleküle zur Physik der hydro-thermodynamischen Felder wird sowohl mathematisch unterstützt - durch eine hinreichend große Energielücke - als auch physikalisch - durch das stabile sogenannte ***thermodynamische Gleichgewicht***. Bei der Stufe hinauf zur Wetterskala sind Energielücken aber nicht mehr generell vorhanden, und die physikalische Stabilisierung der 'Wetterphysik' durch ein sogenanntes ***quasi-geostrophisches Gleichgewicht*** klappt auch nicht perfekt (näheres → Kapitel 2.5). Das ist der Grund dafür, dass die Hydro-Thermodynamik eine voll effektive Theorie ist, auf deren Vorhersagen man sich verlassen kann, im Gegensatz zur 'Theorie des Wetters', deren Wetterberichte bekanntlich *nicht immer* stimmen.«

Diese Antwort an den Laien, der das Klima-Würfelmodell überschätzt hatte, könnte weitere Fragen provozieren: »Aber dann verstehe ich als Laie gar nichts mehr! Wenn sich Klima-Mittelwerte über das Wetter schon deswegen nicht prognostizieren lassen, weil sich die berechneten Wetterschwankungen - die Abweichungen des Wetters vom Mittelwert - nicht wie Würfelerggebnisse mathematisch annullieren, wenn sich aber andererseits diese Mittelwerte auch nicht physikalisch stabilisieren, dann gibt es ja überhaupt keine effektive Klimatheorie! Wenn ich richtig verstanden habe, sind für den 'mathematischen Weg' zum Klima die dafür nötige Energielücken zwischen fein- und grobkörnigen Skalen oft zu klein, so dass in den zur Verfügung stehenden Mittelungszeiträumen auch die grobkörnige Skala bereits schwankt. Und der 'physikalische Weg' zum Klima ist dadurch verbaut - wenn ich richtig verstanden habe - weil man Klima-typische physikalische Gesetze wie stabile Gleichgewichtsbedingungen dort kennt. So kann's doch wohl auch nicht sein! Schließlich kann man doch z.B. die folgende hundertprozentig effektive Klima-Vorhersage machen: 'Der nächste Winter wird im Mittel kälter sein als der nächste Sommer!' Wieso kann man ein solches Klimafaktum vorhersagen, wo doch die Atmosphäre auch im Kontext

dieser Größenskalen komplex ist, man aber komplexe Systeme angeblich nicht vorhersagen kann?«

»Ich verstehe deine Verwirrung, lieber Laie. Du hast Recht, offensichtlich gibt es *doch* Prognosen, die so wahrscheinlich sind, dass man sie als 'quasi bewiesen' ansehen muss. Der Grund dafür, dass die 'Theorie des **Jahreszeiten-Klimas**' effektiv ist, liegt aber nicht darin begründet, dass sich Schwankungen entweder mathematisch annullieren oder physikalisch 'atmosphärisch-intern' stabilisieren, sondern darin, dass für die Zeit-Skala der Jahreszeiten die Komplexität der Wechselwirkungen zwischen den vielen Variablen durch 'atmosphärisch-externe' Einflüsse 'so gut wie' ausgeschaltet ist! Hier kommt eine der vorhin schon erwähnten dominierenden Randbedingungen zum Zuge:

Die vielen Wechselwirkungen werden bei den Jahreszeiten dominiert von dem einen Freiheitsgrad 'Schrägstellung der Erdachse zur Erdbahnebene', wodurch während eines Jahres - während eines Erdumlaufes um die Sonne - mal die Nordhalbkugel und mal die Südhalbkugel mehr Sonnenstrahlung abbekommt. Und dieser Einfluss ist in seiner Dominanz dem Einfluss aller anderen Klimafaktoren weit überlegen. Diese sonst so komplexen, unüberschaubaren und in der Gesamtheit unberechenbaren nichtlinearen Wechselwirkungen sind zwar noch immer vorhanden, sie werden aber auf der Zeitskala der Jahreszeiten vom himmelsmechanischen Freiheitsgrad Erdachsenneigung dominiert! Dieser hat einen die Jahreszeiten bildenden Einfluss auf die vielen atmosphärischen Variablen. Umgekehrt haben diese Variablen (Luftdruck, Temperatur, CO₂-Gehalt und was auch immer) natürlich so gut wie keinen Einfluss auf die Positionierung der ganzen schweren Erde relativ zur Sonne! *Daher* ist die Schrägstellung der Erdachse keine 'richtige' Variable mehr, sondern eine Randbedingung! Hier ist nun doch einmal ein **Klimafaktor** zu erleben, der alle atmosphärisch-internen Variablen zu **Klimaelementen** 'degradiert'. Aus der echten Wechselwirkung ist eine einseitig gerichtete Wirkung geworden, und so ist die Komplexität, die die Vorhersagbarkeit normalerweise verhindert, bei der Vorhersage der Jahreszeiten aufgehoben! Das Wort 'Klima' entspricht sogar der griechischen Bezeichnung für diese entscheidende Neigung der Erdachse.

Diese Achsenneigung ist übrigens nicht der einzige himmelsmechanisch vorgegebene Klimafaktor. Es gibt solche Faktoren auch auf längeren Zeitskalen als einem Jahr. Die sogenannten **Milankovitch-Zyklen** [Mila41] beruhen darauf, dass die Umlaufbahn der Erde um die Sonne nie ganz kreisförmig verläuft, sondern mal mehr und mal weniger ellipsenförmig. Und der Perihel dieser Ellipse - der Punkt der größten Erdannäherung an die Sonne - dreht sich auch noch. Und schließlich variiert auch noch das *Ausmaß* der gerade erwähnten Achsenneigung der Erde. Diese drei Klima-

faktoren machen die **Eiszeiten** in Abständen von einigen 'zigtausend' Jahren mehr oder weniger vorhersagbar! Auch sie werden von den vielen internen Klimavariablen nicht beeinflusst, die zwar untereinander vernetzt sind, aber nicht mit den Klima bestimmenden geometrischen Formen des Erdumlaufes um die Sonne.

Im Gespräch für weitere astronomische Auswirkungen auf das Klima ist die Svensmark-Theorie [SC08], wonach Schwankungen der **kosmischen Strahlen**, welche die tieferen Atmosphärenschichten erreichen, dort Kondensationskerne bilden und so durch Wolkenbildung und vermehrten Regen für eine Abkühlung des Erdklimas sorgen. Schwankungen könnten dadurch bedingt sein, dass mal weniger und mal mehr solcher **Höhenstrahlen** - wie man sie auch nennt - unser Sonnensystem erreichen, oder dass die Erde vor den im Sonnensystem ankommenden Höhenstrahlen vom **Sonnenwind** abgeschirmt wird, oder dass diese Abschirmung durch die Sonne bei Finsternissen vom Mond beeinflusst wird [Fett08]. Diese **Mondeinflüsse** sind statistisch mit Niederschlag (also mit Abkühlung) hoch korreliert, was wieder auf einen himmelsmechanischen Einfluss hindeutet, der von den atmosphärisch-internen wechselwirkenden Klimavariablen nicht rückgekoppelt werden kann, so dass deren Komplexität wiederum in den Hintergrund gedrängt wird. Als weitere starke Klimafaktoren müssen auch die Magnetfelder der Erde und der Sonne diskutiert werden, sowie die durch die sogenannte Plattentektonik variable Land-Meer-Verteilung, oder auch die damit zusammenhängende Vulkantätigkeit«

»OK« so der Laie, »aber dennoch bleibt offenbar eine komplexitätsbedingte Nichtvorhersagbarkeit für andere klimatologische Zeitskalen bestehen, vielleicht nicht für Jahreszyklen oder für Eiszeitzyklen, aber doch für Jahrzehnte oder Jahrhunderte, jedenfalls für Zeitskalen, für welche die eventuell vorhersagbaren himmelsmechanischen Einflüsse *nicht* die Oberhand haben über nicht vorhersagbare komplexe atmosphärisch-interne Wechselwirkungs-Vorgänge. Dann aber möchte ich als Laie wenigstens wissen, welche **Wahrscheinlichkeiten** ihr Wissenschaftler diesem oder jenem Klima-Szenarium zuordnet! Beim Wetter zum Beispiel wird man doch die Zuverlässigkeit einer Windprognose in der 'beständigen' Passat-Region mit einer höheren Wahrscheinlichkeit bewerten als in den Breiten ständig wechselnder Hoch- und Tiefdruckgebiete. Die in Wetterberichten des Fernsehens gelegentlich gezeigten Fehlerbreiten für die prognostizierte Temperatur *der nächsten Tage* sind ja gerade solche Wahrscheinlichkeitsaussagen. Wo bleiben eigentlich solche Fehlerbreiten zu Klimavorhersagen? - Ach ja, (jetzt muss ich Laie schon ironisch werden), die Erderwärmung ist ja nicht in Frage zu stellen, die Fehlerbreite ist ja unendlich klein. Aber im Ernst: Die Fehlerbreite der in den sechziger, siebziger und den ersten achtziger Jahren ausgegebenen Klimaprognose einer nahen neuen Eiszeit [IT/CIA78] war

offenbar nicht klein, denn diese Prognose ist ja nicht wahr geworden! Wie seid ihr Klimawissenschaftler damals überhaupt zu einer Eiszeit-Prognose gekommen, wo doch schon *damals* sehr kräftig CO₂ produziert wurde? Und wieso sollte die heutige Prognose des genauen Gegenteils so sicher sein, dass man Fehlerbreiten gar nicht mehr benötigt, weil die **AGW**-Theorie (für ***Anthropogenic Global Warming***) ja 'Fakt' ist?«

Ich glaube, ich habe mich nun lange genug in Vermutungen geübt über die Fragen von Laien, die in der Klimadiskussion hin und her geworfen sind. Ich sollte mich nun in diejenigen verwandeln, an den diese Fragen gerichtet sind. Die Hauptfrage ist wohl die, wie es sein kann, dass man auch als Laie einerseits Hinweise wahrnimmt auf eine unglaubliche Komplexität der Atmosphäre, auf eine **nichtlineare Vernetzung** von ungeheuer vielen Variablen mit Rückkopplungen, oder auch Hinweise auf spontane Strukturbildungen, mit Nichtvorhersagbarkeit des ganzen Systems im Gefolge. Und andererseits bekommt man gesagt, man könne vorhersagen, dass man nur eine einzige atmosphärische Variable, das anthropogen erzeugte CO₂ im Zaum halten müsse, um das **Klimaziel** einer auf zwei Grad beschränkten Erwärmung zu erreichen.

Wie passt das zusammen? Wie kann man trotz der Komplexität - also trotz nichtlinearer Vernetzung sehr vieler Variablen - so tun, als hinge das Klimasystem doch nur monokausal von dieser einzigen Klimavariablen 'CO₂-Gehalt' ab? Zusätzliche Irritation wird erzeugt, weil diese schwer verdauliche, aber als Fakt dargestellte Behauptung mit einem Bombardement moralischer Gebote zum Einsparen von CO₂ verbunden wird, was schon heute irrsinnige Kosten verursacht hat. Es passt eben *nicht* zusammen, und das auch Laien verständlich zu begründen, aber durchaus fachlich detailliert, ist das Ziel dieses Buches. Zur Keimzelle dieses Buches sind klimabezogene Abschnitte meines 2002 erschienenen Fachbuches [Lan02] geworden - laienverständlich umgeschrieben und inhaltlich wesentlich ergänzt. Z.B. ist die gegenwärtige Klimadiskussion in jenem Fachbuch kaum thematisiert worden. Diese Debatte ist im letzten Jahrzehnt immer widersprüchlicher geworden. Sie beschränkt sich fast nur noch auf zwei sich widersprechende Alternativen

- 1) Anthropogenes CO₂ und Treibhauseffekt bilden den einzigen relevanten Antrieb für eine **Erderwärmung**, was man mit dem Kürzel **AGW** abkürzt, und deren Bekämpfung man als **Klimaziel** bezeichnet.
- 2) **AGW** spielt höchstens eine untergeordnete Rolle, bzw. - als eine Art 'Radikalform' - einen Treibhauseffekt gibt es gar nicht.

Wichtige *klimatheoretische* Gesichtspunkte fehlen oft, und zwar auf beiden Seiten dieser Debatte, etwa Bemerkungen zum Einflusses der neben CO₂-Gehalt ungeheuer vielen weiteren Klimavariablen, oder die Erörterung der Modellierbarkeit komplexer Systeme überhaupt. Ich wollte - ich '*musste*' - irgendetwas unternehmen, als sogar im Kreise meiner eigenen Freunde und Verwandten Angst aufkam vor einer angeblich nachgewiesenen bevorstehenden Klima-Katastrophe. Meine Motivation, hierzu einen umfassenden, weitgehend theorie-orientierten und dennoch allgemeinverständlichen Beitrag zu leisten, war offenbar *sehr* groß, denn ich habe dafür das Betreiben einer aktualisierten Neuauflage meines in den höchsten Tönen gelobten Fachbuches aufgegeben.

Gegen den angsterzeugenden Klima-Alarmismus, der schon in Schulen und sogar in Kindergärten Einzug hält, möchte ich ein *Verständnis* der Klimaphysik setzen. Jeder interessierte Laie sollte selbst in die Lage versetzt werden, diese Angst zu rationalisieren, und zwar durch das Kennenlernen einer 'systemtheoretischen' physikalischen Beschreibung der Atmosphäre, nicht in den Details, aber vom Prinzip her. Dieses ist nicht einmal besonders schwierig, versprochen! Etwas plump ausgedrückt: Man kann relativ leicht erkennen, dass es in der Natur der Sache liegt, dass Prognosen zum Verhalten hochkomplexer Systeme wie dem Klimasystem scheitern *müssen*. Zu dieser Erkenntnis kommt man ziemlich schnell, sozusagen noch 'bevor' der systemtheoretische Weg dann doch ziemlich technisch und schwierig wird.

Das alles bedeutet natürlich nicht, dass die AGW-Theorie niemals stimmen *könnte*. Meine Kritik richtet sich allerdings gegen die im *vorgeblichen* wissenschaftlichen Konsens verbreitete Behauptung, eine solche monokausale Beziehung zwischen Ursache und Wirkung sei Fakt und nicht mehr zu bezweifeln. Ebenso kritisiere ich Äußerungen der AGW-Kritiker, der sogenannten 'Klimaskeptiker', wenn sie ihren Zweifel an der sogenannten Konsensmeinung mit 'Gegenbeweisen' begründen, die es ebenso wenig geben kann.

Es ist ja (so-wie-so) überhaupt nicht die Methode der Physik, Theorien zu beweisen, sondern Theorien experimentellen Falsifizierungsversuchen auszusetzen, deren Überstehen die Theorien 'glaubhafter' machen - sie **valid** machen, wie man sagt - sie aber nicht beweisen [Popp35]: sie könnten sich ja nach einem *anderen* Falsifizierungsexperiment als falsch erweisen. Da man aber mit der Atmosphäre aus guten Gründen nicht experimentieren sollte, muss man eine messtechnische Falsifizierung der AGW - Theorie auch nur wenig fürchten.

Neben experimentellen Falsifizierungstests gibt es jedoch noch eine andere Methode, Klimatheorien zu testen. Man kann z.B. die AGW-Theorie oder die Theorie eines

in der Atmosphäre nicht vorhandenen Treibhauseffektes dadurch validieren - dass man die Vereinbarkeit dieser sehr *speziellen* Theorien mit *allgemeinen* physikalischen Fundamentaltheorien untersucht. Eine Darstellung dieses Sachverhaltes war für mich ebenfalls Motivation für dieses Buch, da solche theoretischen Methoden nach meiner Einschätzung einem gegenwärtig fehlgeleiteten Zeitgeist widersprechen. Das hier schon vorweggenommene Ergebnis lautet, dass eine atmosphärische Treibhauswirkung im Einklang mit übergeordneten Theorien ist, die AGW -Theorie aber dennoch *nicht*. Im vorliegenden Buch wird das natürlich näher begründet, allerdings mit dem Neben-Ergebnis, dass das Wort 'Treibhauseffekt' hier schlecht gewählt ist, weil sich die entsprechende Physik in der Atmosphäre teilweise deutlich anders abspielt als in einem Gewächshaus.

Unser Ergebnis mündet in der Botschaft, dass wir nicht wissen können, wie sich die Atmosphäre verhalten wird. Aber ist das nicht ebenso schlimm wie eine falsche Botschaft von gesichertem Wissen? Ich bin der Meinung, dass die falsche Botschaft schlimmer ist, obwohl es natürlich schwierig ist, folgenreiche politische und wirtschaftliche Entscheidungen treffen zu müssen trotz des Fehlens naturwissenschaftlich gesicherter Entscheidungsgrundlagen. Aus einer solchen Zwangslage kann wohl auch der im Vorwort zitierte Sinnspruch von Gide kaum heraushelfen.

Aber die von Gide eingeforderte Akzeptanz des Nichtwissens kann zu einem Leitfaden werden, den es sonst gar nicht gäbe: Wenn Sicherheiten nun einmal nicht zu haben sind, dann muss man notgedrungen zu Wahrscheinlichkeiten übergehen. Den Darstellungen des vorliegenden Buches weit vorausseilend, ist dazu folgendes festzustellen: Der atmosphärische Gesamtgehalt von anthropogenem CO₂ einerseits und die Mitteltemperatur der Atmosphäre andererseits sind nur *zwei Variablen* der Atmosphäre. Das Charakteristikum hochkomplexer Systeme ist aber die Existenz von *unermesslich vielen Variablen*, die sich alle wechselseitig beeinflussen. Man spricht von vielen nichtlinear vernetzten und multikausal rückgekoppelten **Freiheitsgraden**. Die genaue Definition des Begriffs Freiheitsgrad erfolgt später. Vorab kann ich Ihnen sagen, dass ein Freiheitsgrad eine *spezielle* Variable ist, deren zeitliche Entwicklung durch eine sogenannte Differentialgleichung berechnet werden kann (→ Kap. 3.2). Oft ist das wegen eines unermesslichen Aufwandes oder schlicht wegen mangelnden Wissens nicht möglich. Solche Variablen werden entweder vorgegeben. Man nennt dann die Prognosen auf der Grundlage solcher Vorgaben **Szenarien-Rechnungen**. Oder die zeitlichen Entwicklungen solcher Variablen werden durch **algebraische Gleichungen** (→ Kap. 3.1) an die zeitlichen Entwicklungen anderer Variablen 'angekettet', der Variablen nämlich, für die man die Differentialgleichung zur Verfügung hat, und die *daher* auch Freiheitsgrade sind. Diese Vorgehensweise ist ohne subjek-

tive Vorgaben nicht möglich. Man nennt sie **Parametrisierung**. *Szenarien-Rechnungen* werden meist mittels unterschiedlicher Vorgaben von CO₂-Gehalten durchgeführt. Subjektive *Parametrisierungen* sind bei jeder Modellierung der realen Atmosphäre unumgänglich.

Zwar sind die wechselseitigen Beeinflussungen zwischen je *zwei* zufällig herausgegriffenen Variablen unterschiedlich stark, und sicher gehören wechselseitige Beeinflussungen zwischen globalem CO₂ und Global-Temperatur zu den stärkeren. Wohl gemerkt, nicht nur der Einfluss von CO₂ auf die Temperatur über 'Glashauswirkung', sondern *auch* der Einfluss der Temperatur auf den CO₂-Gehalt, etwa durch verändertes Ausgasen von CO₂ aus Gewässern oder durch verändertes Pflanzenwachstum und deren Assimilationsverhalten oder durch veränderte Wolken- und Regenbildung mit begleitendem CO₂-Auswaschen, usw.! Aber das Erreichen des oben zitierten **Klima-Ziels** - einer vorgegebenen Begrenzung eines vorgegebenen Temperaturanstiegs innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes - hängt natürlich von einer Fülle weiterer Freiheitsgrade ab, die ebenfalls untereinander signifikant vernetzt sind, aber eben auch mit dem klimatologischen CO₂ - Gehalt und mit der klimatologischen Temperatur. Die Aussage, dass von diesem Überfluss an Wechselwirkungen in der Praxis allein das anthropogene CO₂ übrig bleibt, als noch nicht einmal 'wechselwirkender', sondern als 'einseitig wirkender' Einfluss auf die **Klimatemperatur**, ist zumindest äußerst unwahrscheinlich. (Der Begriff 'Klimatemperatur' ist unglücklich gewählt, da es ja keine Temperatur *des Klimas* gibt, sondern eine Temperatur *der atmosphärischen Luft*, die klimatologisch interpretiert wird. Aber angesichts der Verbreitung dieses Begriffs sträube ich mich nicht länger gegen ihn).

Es zeigt sich also, dass die Grundlage der gegenwärtig von prominenten Vertretern der Klimaforschung in der Öffentlichkeit geführten Diskussion von einer extrem unvollständigen **Klimaziel-Formel** ausgeht. Detaillierter gesagt, behauptet man, mit dieser Formel 'valide' und 'gültig' berechnen zu können, wieviel CO₂ jeder Mensch pro Jahr höchstens produzieren darf, um das Klimaziel einer auf zwei Grad begrenzten globalen Erwärmung zu erreichen. Diese Formel ist nun die Grundlage jedweder weiterer öffentlichen Klimaschutz- und Energiediskussion. Dass die Gültigkeit der Klimaziel-Formel selbst diskutiert würde, erlebt man so gut wie nie!

Dabei passen - abgesehen von der Nicht-Berücksichtigung unzähliger Freiheitsgrade bis auf einen einzigen - in der Klimaziel-Formel drei Fakten einfach nicht zusammen: Erstens ist **Wasserdampf** ein stärkeres Treibhausgas als CO₂, zweitens enthält die Luft *im Durchschnitt* etwa 25 Mal mehr Wasserdampf-Moleküle als CO₂-Moleküle, und drittens ist in der Klimaziel-Formel von Wasserdampf höchstens als Verstärkungsfaktor des CO₂-Effektes die Rede. Oder: Meines Wissens bezweifelt kein ein-

ziger Klima-Wissenschaftler, dass das Klimasystem komplex ist. Eine zweite unbestrittene Grundaussage ist die, dass komplexe Systeme nicht vorhersagbar sind. (Das wird oft als definierende Eigenschaft für **Komplexität** angesehen). Wenn man nun behauptet, dass das Temperaturverhalten mithilfe der Klimaziel-Formel *doch* vorhersagbar sei, dann müsste man schon dazu sagen, welche der beiden sonst unbestrittenen Grundaussagen falsch ist.

Ich selbst verwende eine andere Definition der Komplexität, nämlich die eines Zusammenspiels von **Nichtlinearität** und **Vernetzung** vieler Freiheitsgrade. (In *nicht-linearen* Gleichungen werden Variablen mit sich selbst oder untereinander multipliziert). Mit einer elementaren, auch für Laien verständlichen systemtheoretischen Betrachtung ergibt sich die Nichtvorhersagbarkeit auch für solchermaßen definierte komplexe Systeme (→ Kapitel 5).

Leider wird aber Komplexität oft auch mit Chaotizität gleichgesetzt. Die häufig zitierte Theorie des **deterministischen Chaos** setzt aber auf Nichtlinearität *allein*, → z.B. [Lan91] oder [Lan93]. Tatsächlich gibt es chaotische Systeme mit nur einem Freiheitsgrad, in der eine Vernetzung *mehrerer* Freiheitsgrade naturgemäß fehlt. Diese Chaostheorie ist *nicht* mein wichtigstes Argument für die Nichtvorhersagbarkeit des Klimasystems.

Auch der Klimaziel-Formel "Soundsoviel CO₂-Einsparung beschränkt die Erderwärmung auf zwei Grad" fehlen viele Freiheitsgrade. In einer (von mir zufällig mitgeschnittenen) von M. Illner moderierten Talkschau am 3.12. 2009 sagte Prof. Schellnhuber vom PIK (Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung) zu dieser Formel [Schell-tv1]:

"Wenn 9 Milliarden Menschen 2050 die 2 Grad nicht überschreiten sollen, dann können wir ausrechnen, wieviel Kohlenstoffkredit die Erde dann noch hat: Jeder Mensch darf dann p.a. noch 2 Tonnen CO₂ verbrauchen. ... Als Physiker kann ich sagen, dass meine Zahlen auf Analysen beruhen, die valide sind, die gültig sind".

Nun bin ich auch Physiker, auch auf universitärem Niveau, sogar einer, der sich ein *ganzes* Berufsleben mit eben diesem Fachgebiet beschäftigt hat. Ich behaupte, dass wir als Physiker das hier behauptete Wissen *nicht* haben, nicht haben *können*. Zwar können wir mit einem Formelsystem das hier vorgebrachte Ergebnis '*ausrechnen*', aber dann stimmt das Rechenergebnis nur für das gerade verwendete **Modell** der Atmosphäre, für die 'Klimaziel-Formel-Approximation der Atmosphäre', nicht aber für die Atmosphäre selbst.

Dieser Unterschied muss übrigens auch dann beachtet werden, wenn das zur Berechnung verwendete Modell *nicht* so einfach ist wie ein von nur zwei Variablen ge-

speiste 'Klimaziel'-Modell, welches in Klimadiskussionen fast ausschließlich angesprochen wird. Gelegentlich kommt aber auch dem interessierten Laien zu Ohr, dass die angeblich 'validen und gültigen' Erkenntnisse von Vertretern der AGW-Theorie nicht auf einer derart einfachen monokausalen Gleichung basieren, sondern auf verschiedenen hoch-komplexen Modellen. Diese werden meist nur *hinter den Kulissen* der Medien-Darstellungen in Talkshows und Presse-Schlagzeilen diskutiert, vielleicht weil sie als zu komplex für öffentliche Diskussionen gelten. Im Rahmen der *dortigen* Argumentations-Linien wird häufig bekannt, dass die komplexen Modelle nicht perfekt sein mögen - tatsächlich unterscheidet sich der Komplexitätsgrad der wirklichen Atmosphäre noch einmal um 'Lichtjahre' vom Komplexitätsgrad dieser Modelle - aber sie seien ja sehr verschieden voneinander und *dennoch* lieferten sie 'alle' das gleiche Resultat, nämlich einen anthropogen verschuldeten Klimawandel. Das beweise, dass der CO₂-Einfluss tatsächlich sehr dominant sei, denn er setze sich in *allen* Modellen durch, sozusagen unabhängig von der *sonst noch* modellierten Physik. Die einfachen Modelle, wie das oben zitierte Klimaziel-Modell nach Schellhuber, seien gar nicht die *Quelle* der Klimaziel - Aussagen, sie seien aber eine gute Möglichkeit, die mit den komplexen Modellen gewonnenen 'sicheren' Ergebnisse anschaulicher zu kommunizieren!

Ich habe mich vor meinem Entschluss dieses Buch zu schreiben lange gefragt, welches Rüstzeug dem Laien mitgegeben werden muss, damit er merkt, dass auch dieses einleuchtend klingende Plädoyer ganz und gar nicht stimmt. Gegen das, was nur ein Spezialist widerlegen kann, kann der Laie nur schwer argumentieren. Es wird dem Laien schließlich nicht mitgeteilt, dass es schon Konferenzen gibt, auf denen sich die Betreiber komplexer Modelle darauf einigen, wie die *subjektiv* veränderbaren **Parametrisierungen** gestaltet werden sollten, *damit* sich die sonst unterschiedlichen Modelle wenigstens in ihrer CO₂ - Aussage gleichen [SGH99]. Und dass der Komplexitätsgrad der *realen* Atmosphäre den Komplexitätsgrad der *modellierten* Atmosphäre auch bei Verwendung modernster Computer noch einmal um Größenordnungen übersteigt, wird den Laien auch nicht gesagt.

Das häufig vorgebrachte Argument - das auch im Dialog mit dem von mir 'nachempfundenen' Laien im ersten Teil dieses Kapitels verwendet wurde - das Argument nämlich, dass sich die Schwankungen der vielen 'Nicht - CO₂ - Freiheitsgrade' im 'klimatologischen' Mittel gegenseitig aufheben, und *deshalb* nur das anthropogen zunehmende CO₂ 'übrig bleibt', ist auch falsch. Unter welchen Bedingungen solche Mittelwerte in praktisch anwendbare - in sogenannte **effektive Theorien** - einmünden können, und wo das nicht funktioniert, haben Physiker schon häufig untersucht, (populär dargestellt beispielsweise von Gell-Man [Gell94], dem 'Entdecker' der Quarks),

und die Ergebnisse in Begriffen wie **grob- und feinkörnige** Theorien versteckt. Wie auch schon im 'Dialog-Teil' dieses Kapitels erwähnt, erfordert zwar der Weg von einer feinkörnigen zu einer grobkörnigen Theorie eine Mittelung, und tatsächlich *kann* man ja z.B. den Mittelwert über viele Würfelergebnisse vorhersagen, obwohl (oder weil!) man Einzelergebnisse *nicht* vorhersagen kann. Wenn man allerdings dieses Prinzip auf die Klimatheorie übertragen möchte, wenn man also meint, einzelne Wetterzustände seien Würfel-Ergebnisse eines vorhersagbaren Klima-Mittelwertes, [Lat04], dann hat man erneut vergessen, dass die Atmosphäre ein komplexes System ist, in denen z.B. auch spontane **Strukturbildungen** möglich sind, die das System inkl. seiner Mittelwerte bis zur Unkenntlichkeit verändern. Im Würfel dagegen werden sich die Strukturen *nicht* ändern: die '1' liegt immer gegenüber der '6', und keine der 6 Zahlen wird je verschwinden oder sich vervielfältigen. Die *Struktur* des starren Körpers ist so starr wie der Körper selbst, sie ist 'eingefroren'. Ein Vergleich des Würfels mit der so überaus anderen Atmosphäre ist naiv.

Wie wir im weiteren Verlauf dieses Buches detailliert darlegen werden, muss in komplexen Systemen die Methode der Mittelung *ergänzt* werden durch die Suche nach *eigenen* physikalischen Gesetzmäßigkeiten auf der höheren (oder größeren oder **grobkörnigeren**) Größen-Skala der Mittelwerte.

Die Physik - und nicht die statistische Mathematik - muss eine Größenskala benennen, auf der die gemittelten Strukturen physikalisch stabilisiert werden!

Rein mathematisch kann man natürlich über jede *beliebige* zeitliche Größen-Skala mitteln. Oft nimmt man 30 Jahre, häufig aber auch nicht. Aber wenn die Physik nicht 'mitspielt', kann keine effektive grobkörnige Theorie für klimatologische Größenskalen herauskommen (→ auch Seite 16 im sporadischen - dialogorientierten - Teil dieses Kapitels). Zudem müsste eine effektive Klimatheorie sogar ein Endprodukt von mehrfach verketteten Paaren aus fein- und grobkörnigen Theorien sein, das Endprodukt mehrerer Stufen auf einer ganzen **Körnungsleiter**. Stark vereinfacht umfasst diese Leiter *vier* Stufen, also *drei* Schritte, die jedes Mal unterstützt werden müssen durch effektive Theorien zur jeweils neuen Physik auf der jeweils grobkörnigeren Skala:

Physik der zufällig bewegten Luftmoleküle (*im wesentlichen Stoßgesetze*) →
Physik der hydro-thermodynamisch beeinflussten Luftströmungen →
Physik des Wetters →
Physik des Klimas

Der Zwang zur Berücksichtigung einer immer grobkörnigeren Physik hat zur Folge, dass sich bei jedem der drei Schritte auf der Körnungsleiter die Gleichungen für die Systemvariablen *ändern*. Mit anderen Worten, die Gleichungen der Hydro-Thermo-

dynamik sind *andere* als die Stoßgesetze, die man zur Beschreibung der Luftmoleküle verwendet. Als L.F. Richardson (1922) die erste Wettervorhersage durch 'Ausrechnen', durch das **Lösen** von Gleichungen erstellte, [Ri22], verwendete er mangels besseren Wissens zu dieser Zeit keine speziellen Wettergleichungen, sondern im Wesentlichen unveränderte hydro-thermodynamische Gleichungen, in denen die physikalischen Bedingungen für ein stabiles Verhalten auf der gröberen Wetterskala *nicht* eingearbeitet waren. Folglich waren seine Ergebnisse "grotesk falsch", wie Wikipedia formulierte [Rich-in]. Erst wenn man statt der hydro-thermodynamischen Gleichungen neuartige Gleichungen verwendet, die die eigene Physik der grobkörnigeren Wetter-Skala enthalten und die feinkörnigen Details 'automatisch' **herausfiltern**, erhält man eine **effektivere Theorie** des Wetters. Eine realistischere Wetterprognose auf dieser Basis gelang erstmals 1950 nach Ideen von John v. Neumann (1903-1957) unter Verwendung des legendären ENIAC-Computers, der 27 Tonnen wog.

Und wie sieht die heutige Praxis der numerischen Klimaprognose aus? *Auf der letzten Sprosse der Körnungsleiter verwendet man noch heute nahezu unveränderte Wettergleichungen für Klimaprognosen!* Wenn man aber Klimavorhersagen mit Wettergleichungen macht, dann tut man vordergründig das Gleiche, als würde man hydro-thermodynamische Resultate ausrechnen mithilfe der Physik der Moleküle, oder als würde man Wetterberichte ausrechnen mithilfe der hydro-thermodynamischen Gleichungen - Richardsons Fehlversuch.

Bei genauerer Betrachtung merkt man aber, dass diese Methode der Klima-Berechnung deutlich mehr Berechtigung hat als die hydro-thermodynamische Berechnung mithilfe der Molekularphysik oder die meteorologische Berechnung mithilfe der reinen Hydro-Thermodynamik. Da ich nicht nur Feynmans Statement beachten möchte - dass man alles, was man selbst verstanden habe, auch Kindern erklären könne - sondern auch Einsteins Rat befolgen möchte - dass jede Sachdarstellung so einfach wie *möglich* gestaltet werden sollte, aber *nicht einfacher* - bin mir unsicher, ob man die soeben angekündigte 'genauere Betrachtung' den Laien schon an dieser frühen Stelle dieses Buches zumuten sollte.

Ich versuche es - um den besonders neugierigen Laien entgegen zu kommen - aber wenn Sie, liebe Leserin, lieber Leser, die nächsten Abschnitte nicht verstehen sollten, nehmen Sie es leicht und vertrauen Sie darauf, dass alle wesentlichen Punkte noch einmal 'drankommen', dann aber ausführlicher und bei Verfügbarkeit über inzwischen angesammeltes Hintergrundwissen. Oder, 'strategisch' vielleicht noch besser: merken Sie sich einfach diese Stelle *hier* - und lesen Sie später, wenn mehr Hintergrundwissen hinzugekommen ist, die nächsten Abschnitte noch einmal durch.

Einige meiner 'Laien-Testleserinnen und Testlesern', denen ich zu großem Dank verpflichte bin, waren allerdings der gegenteiligen Meinung: Die nächsten Abschnitte würden das Verständnis der späteren, detaillierteren Darstellungen erleichtern!

Die Absurdität einer hydro-thermodynamischen Vorhersage durch Berechnung der Bewegung aller Bewegungen der Luftmoleküle - also die Vermeidung des ersten Schrittes auf der 4-sprossigen Körnungsleiter - werden wir in Kapitel 2.1 deutlichst erkennen. Die Idee ist aber nicht grundsätzlich falsch, sie scheitert nur an der praktischen Durchführbarkeit: Die schnellsten heutigen Computer müssten ein Vielfaches der Zeit seit dem Urknall ununterbrochen rechnen, um die Prognose auch nur eine Milliardstel Sekunde voranzubringen.

Die Idee der Berechnung von Wetter mittels hydro-thermodynamischer Gleichungen - also die Vermeidung des zweiten Schrittes auf der Körnungsleiter - hatten wir eine Seite früher schon angedeutet, als wir von der allerersten numerischen Wettervorhersage überhaupt berichteten, die Richardson (1922) durchgeführt hatte. Dass diese Prognose so falsch war, lag daran, dass Zusammenhänge zwischen den räumlichen Abständen der Rechenpunkte und den erlaubten Zeitschritten der Prognose noch nicht bekannt waren:

Natürlich hatte weder Richardson versucht, noch versucht man es heute, an allen - quasi 'unendlich' vielen - Punkten der 'kontinuierlichen' Feldvariablen Rechnungen vorzunehmen. Man tut dies nur an 'diskreten' sogenannten *Gitterpunkten*, die einen gewissen Abstand voneinander haben. Und auch den eigentlich kontinuierlichen Zeitablauf muss man diskretisieren, man muss ja von Rechnung zu Rechnung einen gewissen *Zeitschritt* vorankommen, der *nicht* 'unendlich' - infinitesimal - *klein* sein darf. Was man 1922 noch nicht wusste, ist die Tatsache, dass die Länge dieses Zeitschrittes unbedingt kleiner sein muss als ein bestimmter Wert, der sich aus der Größe der räumlichen Gitterabstände errechnen lässt: Die Zeitschritte dürfen umso länger sein, je größer die Gitterabstände sind. Dieses **CFL-Kriterium** (nach Courant, Friedrichs und Lewy, [CFL28]) hängt zusammen mit den neuen Gesetzen der grobkörnigen Physik, die ja von vornherein für größere Skalen gelten, so dass dort auch größere Gitterabstände möglich sind, die *dann erst* auch größere Zeitabstände erlauben. Richardson hatte aber lange Zeitschritte genommen, *obwohl* er die Gleichungen die diese Zeitschritte erlaubt hätten, *nicht* verwendet hat - nicht verwenden *konnte*. Daher 'musste' er das CFL-Kriterium verletzen. Das war der Grund für seine 'groteske' Fehlprognose einerseits und für den Erfolg der ENIAC-Rechnung von 1950 andererseits. Noch einmal: ENIAC rechnete nicht mit kleineren Zeitschritten als es Richardson tat, aber mit Gleichungen, die die größeren Zeitschritte erlaubten.

Grundsätzlich kann man das CFL-Kriterium natürlich auch dadurch erfüllen, dass man nicht zu den Gleichungen wechselt, die die größeren Zeitschritte erlauben - wie das die ENIAC-Rechnung getan hat - sondern wenn man bei den alten feinkörnigen Gleichungen bleibt, dann aber die vom CFL-Kriterium geforderten kürzeren Zeitschritte einhält. Hätte Richardson das getan, so hätte er wesentlich länger ununterbrochen rechnen müssen, als er gelebt hat. Und auch ENIAC hätte Probleme gehabt, praktikable Rechenzeiten für die Wetterprognosen zu ermöglichen. Aber mit den heutigen schnellen Rechnern ist das kein Problem, so dass prinzipiell zwei verschiedene Methoden einer numerischen Wettervorhersage existieren, die man kurz charakterisieren kann als "Berechnung sehr vieler kurzer Zeitschritte feinkörniger (hydro-thermodynamischer) Gleichungen bzw. Berechnung weniger aber längerer Zeitschritte grobkörniger (meteorologischer) Gleichungen."

Hat man auch diese beiden Möglichkeiten für den letzten Schritt auf der vierstufigen Körnungsleiter, also für den Schritt zur numerischen Klimaprognosen? Da man keine internen Stabilisierungsbedingungen von klimatologischen Zeitskalen kennt, offenbar nicht! *Daher* verbleibt nur die erste Alternative, die "Berechnung sehr vieler kurzer Zeitschritte feinkörniger Gleichungen" - wobei die feinkörnigen Gleichungen nun natürlich die meteorologischen Wetter-Gleichungen sind.

Ein riesiges Problem bleibt aber trotz des diesmal richtig angewendeten Zusammenhanges zwischen dem Raumschritt und der Zeitschritt-Skala - trotz der Beachtung des CFL- Kriteriums also - bestehen: Wenn man Klimaprognosen mit Wetter-Modellen anstrebt, die 'einfach nur' über klimatologische Zeiten rechnen sollen, die also nicht mehrere Tage, sondern gleich mehrere Jahrzehnte vorhersagen sollen, dann muss man natürlich die Rechenzyklen, die die Prognose um jeweils einen Zeitschritt voranbringen, geradezu astronomisch oft wiederholen. Die Hoffnung, dass sich dabei auch Fehlerquellen statistisch kompensieren, verkehren sich nun ins Gegenteil: Hier sind keine **Zufallsfehler** im Spiel, sondern **systematische Fehler**. Das sind nun Fehler, die den Variablen nicht mal zu hohe und mal zu niedrige Werte zuordnen, sondern - eben systematisch - stets zu hohe *oder* stets zu niedrige Werte! Bei all den in numerischen Modellen immer notwendigen Parametrisierungen und Approximationen sind systematische Fehler nicht zu vermeiden. Auch wenn eine Parametrisierung die Wirklichkeit nur sehr wenig verfehlt - was nur sehr selten vorkommt - so *summiert* sich der Fehler bei jedem der extrem vielen Zeitschritten unerträglich auf, ohne jede Chance auf Kompensation, wie sie bei Zufalls-Fehlern ja gegeben wäre.

Es gibt noch viele weitere Fakten und Aspekte, die die Zuverlässigkeit von numerischen Klimaprognosen mindern, so dass man den schon zum Ritus gewordenen Ausspruch "Unsere Modelle zeigen das doch ganz klar" von AGW-Vertretern mit

Widerspruch begegnen muss. Nur einen dieser Aspekte füge ich noch den 'ersten Antworten' dieses Kapitels hinzu, in dem ich ja bereits eine vier-sprossige Körnungsleiter vorgestellt hatte, an der ich plausibel gemacht habe, dass Klima zwar 'gemitteltes Wetter' ist, dass aber Wetter *auch* schon einen Mittelungsprozess 'hinter sich' hat, einen Mittelungsprozess über hydro-thermodynamische Felder, die *ihrerseits ebenfalls* durch Mittelung (über das molekulare Chaos) entstanden sind. Diese *beiden* vorangegangenen Mittelungen durften nicht rein mathematisch erfolgen, sondern sie mussten erfolgen aus physikalischen Erwägungen zur Stabilisierung der jeweils höheren, grobkörnigeren Skala und zur physikalischen Filterung der Schwankungen auf der jeweils feinkörnigeren Skala. Ebenso dürfte 'eigentlich' auch die dritte, die klimatologische Mittelung keine rein mathematische Mittelung sein wie beim Würfeln, bei der eine Annullierung der feinkörnigen Strukturen wegen der (nur) dort gültigen Voraussetzung der Zufälligkeit dieser Schwankungen stattfand.

Wie schon angedeutet, war sogar das noch eine Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse: Die vierstufige Körnungsleiter muss 'eigentlich' noch vielfach ergänzt werden:

- 1) Es gibt *zwei* hydro-thermodynamische Skalen, die sogenannte Skala der **lamina**ren und die der **mikro-turbulenten Strömung**: Wenn man einen Wasserhahn nur wenig öffnet, verkörpert der dann durchsichtige 'klare' Wasserstrahl eine laminare Strömung. Öffnet man den Wasserhahn weiter, wird die Strömung undurchsichtig und 'zappelig': Der Strömung sind kleine sogenannte **Wirbelbewegungen** überlagert. Diese gibt es auch in der atmosphärischen Luft. Sie sind z.B. der Grund dafür, dass sich die vom Baum abfallenden Herbstblätter oft um die eigene Achse drehen, oder dass ein Busch im Wind kräftig hin und her geschüttelt wird. (Sie sehen, selbst in diesem mikroturbulenten Bereich gibt es noch signifikante Skalenunterschiede).
- 2) Die Physik des Wetters beginnt schon mit einer mikro-physikalischen Physik der Tröpfchen-Bildung in den Wolken an sogenannten **Kondensationskeimen** und mit der Wolkenbildung selbst. Beides ist mit mikro-turbulenten hydrodynamischen Luft-Strömungen verzahnt.
- 3) Zwischen dem Bereich Mikro-Turbulenz / Kondensationskerne / Wolkenbildung und den für Wetterberichte typischen Hoch- und Tiefdruckgebieten liegen sogenannte **mesoskalige** Bereiche. Die hier typischen Prozesse umfassen extrem viele atmosphärische Prozesse, wie z.B. große Wolkencluster mit Ausmaßen von teilweise über 100 km, Hurrikane, regional unterschiedliche Land-Seewind Zirkulationen usw.

- 4) Auch die Physik des Wetters selbst umfasst mehrere Skalenbereiche - von den typischen Hochs und Tiefs über lange planetare Wellen bis zur sogenannten Witterung (die man im angelsächsischen Sprachgebrauch schon zur Klimaskala rechnet).
- 5) Auch eine Physik des Klimas muss Prozesse auf höchst unterschiedlichen Zeitskalen beschreiben, zwischen wenigen Dekaden von Jahren bis hin zu hunderten von Jahrmillionen.

All diese und viele weitere Prozesse unterliegen unterschiedlichsten physikalischen Antriebs-Mechanismen, die aus den äußeren Antrieben und den internen Wechselwirkungen *all* dieser Skalen erwachsen. Selbstverständlich besteht diese physikalische Vernetzung nicht nur innerhalb jeder der fünf obigen Gruppen, sondern auch zwischen Prozessen aus unterschiedlichen Gruppen.

Grundsätzlich ist auch ein Sprachgebrauch üblich, der auf *jeder* Stufe einer mehr oder weniger vereinfachten Körnungsleiter die Prozesse auf der *jeweils* kleineren Stufe als **turbulent** bezeichnet. So sind die mikroturbulenten Wirbel, von denen wir im obigen Punkt 1) gesprochen haben, *Turbulenzelemente* z.B. für die ebenfalls schon angesprochenen mesoskalige Strömungen. Und die Tiefs und Hochs - auch Zyklonen und Antizyklonen genannt - kann man als Turbulenzelemente für die Skala der langen planetaren Druckwellen der Atmosphäre ansehen. Ebenso ist es konsequent, die Wetterprozesse als Turbulenz-Elemente des Klimas anzusehen.

Jedoch kann dieser Sprachgebrauch auch zu Missverständnissen führen, weil der Begriff 'Turbulenz' gelegentlich noch als Synonym zu dem im obigen Punkt 1) eingeführten *speziellen* Begriff 'Mikroturbulenz' angesehen wird. Es hat verschiedene Versuche gegeben, die Verallgemeinerung des Turbulenzbegriffes auf größere Skalenbereiche auch in der Fachterminologie zu verankern. So sind für die 'Mikroturbulenz' auch die Begriffe 'Turbulenz i.e.S.' (im engeren Sinne) oder kleinräumige Turbulenz vorgeschlagen worden, und für die verallgemeinerte Turbulenz auch die Begriffe Turbulenz i.w.S. (im weiteren Sinne) oder Großraum-Turbulenz. Ich habe mich entschlossen - hoffentlich im Einverständnis mit den Leserinnen und Lesern - im weiteren Verlauf des Buches bei dem Begriff **Mikroturbulenz** zu bleiben und sonst nur noch den Begriff **Turbulenz** (*ohne jeden Zusatz*) zu verwenden: da wir es ja mit Körnungsleitern *unterschiedlicher* Größenskalen zu tun haben werden, sind die Begriffe kleinräumig und großräumig nicht eindeutig genug. M.a.W., 'Turbulenz' ist für uns der übergreifende Begriff, für den 'Mikroturbulenz' *eine* unter 1) beschriebene Spezialisierung ist, und deren Spezialisierungen auf andere Skalen unserer 'Leiter' sowieso detailliert angegeben werden müssen.

So haben wir es also z.B. mit einer Turbulenz unterhalb der Klimaskala zu tun. Und warum soll man nicht - am anderen Ende der Körnigkeit - auch die Molekularbewegungen als Turbulenz unterhalb der kleinsten Skala hydro-thermodynamischer Felder ansehen? Letztendlich hat das K. Hasselmann schon 1976 getan [Has76]. Er verglich das veränderliche Klima mit den Bewegungen von sogenannten **Brown-schen Teilchen** - etwa Pollen in Wasser - und das Wetter mit den 'turbulent' bewegten Molekülen, welche diese Pollen anstoßen und sie dabei dynamisch beeinflussen. Somit hatte Hasselmann eine Analogie zu einem fein-grobkörnigen Systempaar gefunden, für das es schon eine physikalisch-mathematische Beschreibung *gab*, die sogenannte **Langevin-Gleichung**. Dieser Ansatz war insofern fortschrittlich, als hier Klima eben *nicht* als gemittelte Wetterphysik aufgefasst wurde, sondern als System mit einer *eigenen* Physik. Allerdings konnte sich dieser Ansatz nicht durchsetzen, wohl deshalb nicht, weil man auch in diesem Modell den Komplexitätsgrad des Klimasystems unterschätzt hatte.

Egal, ob eine Turbulenz auf mikro- meso- oder makro-skaliger Größenordnung betrachtet wird: Das **Turbulenz-Problem** gilt grundsätzlich als ungelöst: Für eine strenge Lösung müsste man jeweils buchstäblich unendlich viele Gleichungen mit unendlich vielen Unbekannten lösen können, wie ich auf Seite 112 näher erläutern werde.

Auch wenn man das Ignorieren der in den Punkten 1) bis 5) aufgeführten Zwischenskalen als gerechtfertigt ansehen *könnte*, wäre von den dann übrig bleibenden drei Übergängen von Körnung zu Körnung (→ Seite 26) nur der erste vorbehaltlos **effektiv**, also der Schritt von der **diskreten** mikroskopisch-feinkörnigen Bewegung der Moleküle zur grobkörnigen **kontinuierlichen** (räumlich 'lückenlosen') makroskopischen **laminaren** hydro-thermodynamischen Beschreibung eines **Fluids** (ein Oberbegriff für Gase oder Flüssigkeiten; und 'laminar' heißt 'frei von Mikroturbulenz'). Dass die Hydro-Thermodynamik, insbesondere in ihrer laminaren Version, als wohlbegründet gelten kann, ist dem physikalisch stabilen sogenannten **lokalen thermodynamischen Gleichgewicht** zu verdanken, welches auch die Skala *vorgibt*, über die zu mitteln ist: Die **mittlere freie Weglänge** der Moleküle zwischen den Zusammenstößen untereinander beträgt etwa ein zehntausendstel Millimeter, [DGD88]. Das Mittelungs-Intervall darf nicht kürzer sein, es sollte sogar etwas länger sein, damit auch Kollisionen nach längeren 'freien' Molekül-Fahrten berücksichtigt werden. Die Mittelungs-Skala ist also unbedingt physikalisch vorzugeben. Wenn es eine Klimaphysik überhaupt gibt, wenn 'Klima' mehr sein soll als eine reine mittelungs-mathematische 'Übung', dann sind natürlich auch die Zeitintervalle für Klima-Mittelwerte aus physikalischen Erwägungen heraus vorzugeben. Das geschieht gegenwärtig

kaum. Z.B. sind die üblichen '30 Jahre' mehr oder weniger pragmatisch-willkürlich ausgewählt worden, und viele Klimaforscher halten sich auch gar nicht daran, sie verwenden andere, aber ebenfalls pragmatisch-willkürlich ausgewählte Zeitintervalle.

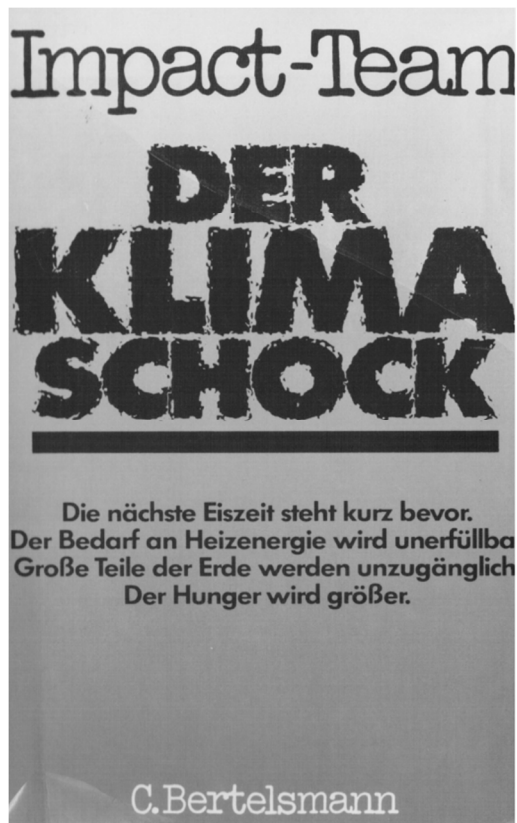
An die erste Mittelung über die diskreten mikroskopischen Moleküle zur Erlangung einer kontinuierlichen Beschreibung auf der kleinsten makroskopischen Skala schließen sich also - auch bei Verwendung der vereinfachten Körnungsleiter - noch zwei weitere Mittelungen in Richtung Klima an. Schon die Effektivität des zweiten Schrittes zur Wettervorhersage leidet darunter, dass die für die Wetter-Mittelung zuständige Stabilisierungs-Bedingung, das sogenannte **hydrostatisch-quasigeostrophische** Gleichgewicht, nur näherungsweise erfüllt, und auch nicht immer stabil ist. Das ist letztlich ein Grund dafür, dass Wettervorhersagen für zwei Tage oft unsicher und für mehr als 14 Tage fast unmöglich sind. Aber nun behauptet man im angeblichen 'Konsens' von Wissenschaftlern, dass der letzte, der schwierigste Schritt zu einer effektiven Klimatheorie gelungen sei! Nach einer physikalischen Stabilisierungs-Bedingung für eine Klimaskala wird fast gar nicht erst gesucht. Spitzer, der Autor und vor allem Hauschild *haben* es getan, [HLS99], sie haben allerdings 'nur' empirische Hinweise auf eine Existenz einer solchen Bedingung gefunden, die allerdings durch Ergebnisse von P. Névir [Név98] auch theoretisch untermauert werden können.

Der *gegenwärtige* 'Ausweg' zur Berechnung von Klimaprognosen ist es, Wetterprognosen für klimatologische Zeiträume zu berechnen - wie schon erwähnt - und *dann erst* die zur Klima-Definition gehörende Mittelung an den *Rechenergebnissen* für das Wetter vorzunehmen. Die während der Rechenphase hinzunehmenden, sich in unzähligen Rechenschritten aufsummierenden systematischen Fehler fließen dann in die angeblich 'validen' und 'gültigen' Prognosen ein. Sie können ja nur bekämpft werden, wenn sie auffällig werden, und die *dann* einsetzende Adjustierung der oben beschriebenen Stellschrauben - den willkürlichen Parametern in den unvermeidlichen Parametrisierungs-Ansätze - sind keine Verbesserungen der (unbekannten) Physik, wie ebenfalls schon beschrieben.

Angesichts derartig massiver Hindernisse vor vertrauenswürdigen Klimaprognosen fragt man sich, wie es (oder *ob* es wirklich) zu einem Konsens der 'überwiegenden Mehrheit' der Wissenschaftler gekommen ist, die es aufgrund von Modellrechnungen als erwiesen ansehen, dass eine anthropogen verursachte, auf eine Katastrophe hinsteuernde Erderwärmung auf uns zukommt. Eigentlich kann man das nicht *nur* damit begründen, dass die Teilhabe an diesem Konsens von Interessenlagen beeinflusst wird. Aber sicherlich spielt *auch* eine Rolle, dass AGW-Vertreter gegenüber AGW-Skeptikern von schnelleren Bewilligungen von Forschungsgeldern und von geringeren Hürden vor Veröffentlichungen profitieren. Aber auch Hobby-Autoren, Journalis-

ten, Politiker profitieren, wenn sie am vermeintlichen Konsens teilhaben. Eine Wahl, dies zu tun oder zu lassen, stellt sich allerdings fast nur den Wissenschaftlern selbst. Alle anderen müssen sich ja an dem orientieren, was die Wissenschaftler so offensiv verkünden. Aber glücklicherweise dominieren solche, sich selbst verstärkenden Lehrmeinungen immer nur für begrenzte Zeiträume. Diese Zeitbegrenzung der Katastrophenstimmung haben wir ja schon mehrfach erlebt, und meist war die prognostizierte Katastrophe ebenso 'sicher' wie 'tödlich', aber zum Glück waren sie dann doch alle falsch. So war es z.B. beim Ozonloch, ("bald haben alle Krebs"), oder beim Waldsterben ("erst stirbt der Wald und dann der Mensch"). "Ab 1995 gibt es in Deutschland keinen Wald mehr", wurde in den siebziger Jahren prognostiziert!

Sogar vor einer bevorstehenden Eiszeit wurde gewarnt, z.B. in [IT/CIA78]: Buchtitel: "Der Klima Schock". Untertitel: "Die nächste Eiszeit steht kurz bevor...", vom Impact-Team, einem Experten-Team des CIA. Dieses wurde vom CIA zur Erarbeitung von Klima-Reports beauftragt, ganz ähnlich wie aktuell Regierungen das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) beauftragten. Ich zitiere aus diesem 'Sachstandsbericht' von 1977 <mit Zusätzen>: "Das vorliegende Buch weist nicht nur nach, dass die Klimaverschlechterung mit Sicherheit <!!> zu erwarten ist, sondern es stellt ... Faktoren zusammen, die mit der Klima-Verschlechterung verbunden sind". <Interessant: eine Erwärmung wäre demnach ein 'gutes' Klima>. Aus dem Vorwort:



"In den letzten Jahren ist die CIA auf Skepsis gestoßen. Die Macht ist missbraucht worden ... <Aber> ihre Analytiker sind Fachleute, die die heutigen Weltereignisse und ihre Auswirkungen auf die Welt von morgen kühl und objektiv beurteilen. ... Wenn sich das ändernde Klima nicht zu ... <hier eine Aufzählung von 'unvorstellbaren' und 'unsäglichen' Kälte-Katastrophen> führen soll, müssen wir unser Denken, Handeln ... ändern - und wir müssen sofort damit beginnen". Sind das nicht exakt die gleichen Worte, mit denen man auch die heutige, aber gegenteilige Klima-Prognose kommentiert? Ein weiteres Zitat aus dem Buchtext, Seite 14 oben: "Was geht da vor sich? Die Antwort ist einfach: Die nördliche Halbkugel kehrt zu normalem <!!> Wetter zurück. Nach 50 Jahren eines beispiellos gemäßigten Klimas zeigt die Welt wieder die

radikalen Verschiebungen und das kühlere Klima, das die vorhergehenden 8 Jahrhunderte charakterisierte."

Die Schein-Antwort auf die Frage, was nach der heutigen, schon wieder 'sicheren', wenn auch gegenteiligen Klima-Prognose vor sich geht, ist ebenfalls 'einfach': nur CO₂ sei relevant! Aber Vernachlässigungen von Komplexität in Prognosen werden *immer* bestraft. Übrigens: Der anthropogene CO₂ - Ausstoß war schon 1977 sehr hoch, dem Erscheinungsjahr dieser Eiszeitprognose! Und die *heute* extrem oft zitierte CO₂-Treibhaustheorie von Svante Arrhenius stammt sogar aus dem Jahre 1895! Sie wurde offenbar vom damaligen Impact-Expertenteam gänzlich anders beurteilt als vom heutigen IPCC-Expertenteam.

Natürlich ist diese Kurzbeschreibung der gegenwärtigen Klimaforschung sehr pauschal. Sie ist auch ungerecht gegenüber den vielen rechtschaffenen und kritischen Wissenschaftlern, Politikern und Journalisten, die es ja auch gibt. Aber oft sind provokative Anstöße nötig, wenn man bei einer Hinterfragung eines angeblich sicheren Wissens *überhaupt gehört* werden möchte. Wenn man das auf 'normale' Art tut, stößt man oft auf irritiertes Kopfschütteln, so als hätte man gerade behauptet, der Mond sei nicht rund sondern eckig. Selbst in den hitzigsten TV-Debatten zum Atom-Ausstieg werden deren Befürworter oft wortkarg, wenn das Argument aufgefahren wird, dass man 'dann das Klimaziel nicht erreicht'. Ich habe es leider nicht ein einziges Mal erleben dürfen, dass dort jemand die 'sichere' **Klimaziel-Formel** selbst thematisiert hätte! Trotz der Vernachlässigung von ungezählten Freiheitsgraden, buchstäblich sogar von *allen* Freiheitsgraden außer dem CO₂-Gehalt, gilt diese Formel immer als absolute Grundlage für alle weiteren Überlegungen, mit katastrophalen Auswirkungen auch auf die Wissenschaft selbst. Hier haben wir uns tatsächlich zu fragen, ob wir uns nicht eher vor eine Katastrophe der Vermittlung von Klimaphysik fürchten müssen als vor einer Klimakatastrophe! Die Folgen dieser 'Gläubigkeit' (von nachgewiesenen Manipulationsversuchen will ich gar nicht erst reden) trifft gerade die Öffentlichkeit am härtesten, die mit ihren Steuergeldern die entsprechende großzügige, aber einseitige Forschungs-Förderung überhaupt erst möglich machten, und nun mit angsterzeugenden 'sicheren' Ergebnissen dafür 'belohnt' werden.

Die Katastrophe der Klimadiskussion ist auch an mannigfachen Entgleisungen auf *beiden* Seiten festzumachen. (Ein extremes Beispiel dazu bringe ich trotz inneren Widerstrebens in Kap. 6 zur Kenntnis). Auch Skeptiker der AGW-Theorie tragen zu dieser Katastrophe bei, ebenfalls durch mannigfache sprachliche Entgleisungen, aber auch inhaltlich, z.B. wenn auch sie bloße Vermutungen als 'bewiesen' charakterisieren, oder wenn sie behaupten, einen atmosphärischen Treibhauseffekt gäbe es gar nicht, weil er nicht mit dem Entropiegesetz vereinbar wäre, oder weil die Atmo-

sphäre kein Dach habe wie ein sommerlich aufgeheiztes Auto oder ein Gewächshaus. Natürlich hat die Atmosphäre kein *solches* Dach, ihr Dach ist unendlich viel komplexer als ein Dach aus Glas oder Blech. Aber auch das komplexe atmosphärische Dach erzeugt einen Temperaturunterschied zu einer Erde ohne Atmosphäre! Diese wäre ja von der atmosphärischen Komplexität befreit und daher leicht berechenbar: Man erhält eine Temperatur von -18 Grad Celsius! (→ [www.hajolange.de / Kap.07 Strahlung und atmosphärische Energetik.pdf](http://www.hajolange.de/Kap.07%20Strahlung%20und%20atmosph%C3%A4rische%20Energetik.pdf), p. 390ff). Die tatsächliche Global-Temperatur wird mit etwa +15 Grad Celsius angegeben. Zwar wird von AGW-Skeptikern zu Recht darauf hingewiesen, dass letztere kaum korrekt ermittelt werden kann, aber einen Messfehler von mehr als 30 Grad anzunehmen, um dann sagen zu können, den Treibhauseffekt gäbe es gar nicht, ist ebenfalls ein Beispiel für die Katastrophe der Klimadiskussion. Und auch hier liegt der Grund für Fehleinschätzungen in der Nichtbeachtung der atmosphärischen Komplexität! - Die Vereinbarkeit des Treibhauseffektes auch mit dem Entropiegesetz ist ebenfalls gegeben, wie in diesem Buch noch beschrieben wird.

Der vielfach beschworene Meinungskonsens wird nicht nur durch die schon angesprochenen Vorteile einer Teilhabe am Konsens geschützt, und auch nicht nur durch die mangelnde experimentelle Falsifizierbarkeit von Klimatheorien, sondern auch dadurch, dass man für Fehlprognosen in klimatologische Zeiträumen aus biologischen Gründen kaum noch persönliche Rechenschaft ablegen muss. Da haben es Wirtschafts-Wissenschaftler schwerer, sie sind noch nicht tot, wenn ihre Fehlprognosen ans Tageslicht kommen. Sie müssen ebenfalls ein komplexes System berechnen, aber für kürzere Zeitskalen! Dass auch das nicht geht, hat man schon oft gemerkt: Ihre Modelle und Supermodelle konnten die Finanz- und Wirtschaftskrisen ab 2008 *nicht* vorhersagen. Analog dazu konnte kein einziges der Super-Klimamodelle die Stagnation der Erwärmung seit 16 Jahren vorhersagen (Stand 2014).

Unter dem doppelten Schutz vor Theorie-Falsifizierung und vor persönlicher Verantwortung für Fehlprognosen ist ein Durchsetzen eines Meinungs-Konsensus beängstigend! Die Situation sollte zu kontroversen Diskussionen geradezu verpflichten, die ja dennoch im gegenseitigen Respekt durchgeführt werden könnten, zumindest ohne persönliche Verunglimpfung! Stattdessen verzichtet man auf beiden Seiten der Debatte noch nicht einmal auf böswillige Anschuldigung wie z.B. *die*, 'für 30 Silberlinge' seine wissenschaftlichen Erkenntnisse zu verleugnen [MFK07]. Daher fühle ich mich veranlasst, auf Umstände besonders hinzuweisen, von denen die meisten eigentlich selbstverständlich sind:

Ich bin von niemandem gebeten worden, dieses Buch zu schreiben, und ich werde von niemandem mit Silberlingen oder anders dafür entlohnt. Ich trage hier nur meine

Überzeugungen vor, die ich seit 50 Jahren in fachspezifischer *wissenschaftlicher* Tätigkeit im Bereich 'Physik der Atmosphäre' erworben habe, beginnend mit einem abgeschlossenen Studium von Physik *und* Meteorologie und fortgeführt in Promotion, Habilitation, Professur und Ruhestands-Tätigkeit im Bereich Hydro-Thermodynamik, Meteorologie und Klimatologie. Ich bin also kein 'Quereinsteiger'. Für meine Dissertation wurde mir der Förderpreis der Deutschen meteorologischen Gesellschaft verliehen, der damals im Abstand von vier Jahren an jeweils eine Person vergeben wurde. In über 5000 Vorlesungs-Stunden hatte ich Gelegenheit, meine Positionen durch Rückkopplungen mit interessierten und kritischen Studenten zu hinterfragen. Das alte Ideal einer Gemeinschaft von Lehrenden und Lernenden hat deswegen einen tiefen Sinn, weil schnell angelesene 'Weisheiten' den Lernenden kaum erfolgreich weitervermittelt werden können. Eine erfolgreiche Vermittlung *im Dialog* mit den Lernenden ist erst das Kriterium dafür, ob man die Zusammenhänge selbst hinreichend durchdrungen hat. Und wenn diese Durchdringung nicht optimal ist - oft der Normalfall - wird sie durch Rückkopplung mit den Lernenden verbessert! Oder anders gesagt: Vorlesungen erhöhen die Urteilskraft eines Wissenschaftlers mindestens ebenso effektiv wie weltweite Flüge zu wissenschaftlichen Mammutkonferenzen!

Wie ich nach dem Vorwort bereits ausgeführt habe, sehe ich in der hier gewählten Online-Version gegenüber einer gedruckten Verlags-Version verschiedene Vorteile. Darauf weise ich hier gerne noch einmal hin.

Zusammenfassungen - Verdichtungen - Ergänzungen

Ein einzelnes Würfelresultat kann man nicht vorhersagen, Mittelwerte über viele Würfelresultate aber doch. Das animiert zu einer Analogie eines vorhersagbaren Klimas als gemitteltem, aber nur beschränkt vorhersagbarem Wetter. Daher verwendet man gern das Bild eines manipulierten, "gezinkten" Würfels, wobei das Zinken dem atmosphärischen anthropogenen CO₂ entsprechen soll. Dieses Bild kann aber einem interessierten Laien nicht genügen, denn es berücksichtigt nicht die Tatsache, dass die Atmosphäre sehr viel komplexer ist als ein Würfel. Wie wollte man z.B. stabilisierende (negative) oder verstärkende (positive) Rückkopplungen in das Würfelmodell des Klimas einbauen?

Die Fragen von Laien, die sich in der widersprüchlichen Klimadiskussion orientieren möchten, betreffen also Begriffe wie komplexe, aber auch chaotische, nichtlineare oder vernetzte Systeme. Sie werden in der Klimadiskussion häufig verwendet, ohne vorher definiert worden zu sein. Man 'ahnt', dass diese Begriffe hinauslaufen auf eine verwickelte wechselseitige Beeinflussung von vielen Klimavariablen. Als Ergebnis dieser Wechselwirkungen kann es offenbar sogar zur spontanen Bildung neuer geordneter Strukturen kommen, bis hin zu einem gewissen autonomen Eigenleben der Atmosphäre, in gewissem Grade also zu einer Unabhängigkeit von den äußeren Bedingungen der Atmosphäre. So könnte man sich z.B. erklären, dass ihre Temperatur weitgehend immun gewesen ist gegen die Erhöhung der solaren Einstrahlung um 30% während der letzten zwei Milliarden Jahre.

Laien empfinden einen tiefen Widerspruch zwischen der Vernetzung vieler Klimavariablen und der immer wieder zitierten Klimaziel-Formel, wonach das Klima nur von einer einzigen Variablen abhängen soll, vom atmosphärischen CO₂-Gehalt, der im letzten Jahrhundert pro 10000 Luftmolekülen um ein einziges zugenommen hat, (von drei auf vier), oder - was dem entspricht - von etwa 300 auf 400 ppm (parts per million). Bei mindestens einer Milliarde Zusammenstößen dieses Moleküls pro Sekunde mit den anderen Molekülen hat sich sein Einfluss zwar schnell auf die 10000 Luftmoleküle ausgebreitet, aber Entsprechendes gilt auch für die vielen anderen, in der öffentlichen Klimadiskussion fast nie zur Sprache kommenden Einflüsse.

Es liegt in der Natur der Sache, dass alle Prognosen zum Verhalten eines so komplexen Systems wie der Atmosphäre scheitern müssen. Daher kann man aus grundsätzlichen Gründen weder beweisen, dass das von Menschen produzierte CO₂ maßgeblich zur 'Klimaerwärmung' beiträgt, noch dass es das nicht tut. Die 'Klimaziel-Formel', nach der man Temperaturanstieg innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes auf 2 Grad begrenzen könne, geht aber davon aus, dass das CO₂ mono-kausal verantwortlich ist für den Temperaturanstieg. Das lässt sich nicht nur

nicht beweisen, sondern es ist auch extrem unwahrscheinlich. Mit dem gleichen Argument sind auch alle Versuche zu kritisieren, die AGW-Skepsis zu beweisen, wenn man eine andere monokausale Ursache - oder *wenige* andere - ins Feld führt, wie es einige Kritiker tun.

In einem derartig komplexen System wie der Atmosphäre lassen sich auch keine Mittelwerte vorhersagen. Sie lassen sich zwar errechnen in einem starren System, wie z.B. einem Würfelfkörper, und auch beim Übergang vom *feinkörnigen System* der Molekularbewegungen zum *grobkörnigen System* des bewegten Fluids. Allerdings ist bereits im Fall der Fluidodynamik nicht nur reine Mittelungsmathematik im Spiel, sondern auch eine Physik, die das Verhalten auf der durch die Mittelung entstandenen größeren Skala stabilisieren muss. Da das Systemverhalten nur auf bestimmten Skalen stabilisiert wird, schreibt die Physik - und nicht die Mathematik - das Intervall vor, über das gemittelt werden muss. Auf dem Wege von der Physik des Wetters zur (angeblichen) Klimaphysik beschränkt man sich aber auf die reine Mittelungs-Mathematik!

Die dazu *auch* notwendigen physikalischen Stabilisierungsbedingungen, die die rein mathematischen Mittelungen jedes Mal ergänzen müssen, werden sogar von Skala zu Skala immer seltener und immer unzuverlässiger. Für den entscheidenden letzten Schritt zur Klimaphysik sind gar keine Stabilisierungsbedingungen bekannt! In öffentlichen Klimadiskussionen wird all das so gut wie nie erwähnt. Meine aus dem Buchtitel hervorgehende Kritik bezieht sich auf die Art und den Inhalt der Kommunikation, wie sie Vertreter der Klimaforschung, seien es Vertreter der AGW-Theorie oder ihrer Skeptiker, mit der Öffentlichkeit führen. Beide Seiten verzichten sehr oft auf eine Darstellung der in diesem Buch geschilderten prinzipiellen Ungewissheiten, beide Seiten versuchen durch entsprechende Behauptungen zu vermitteln, dass ihre - paradoxerweise gegensätzlichen - Positionen jeweils bewiesen seien.

Die Mehrheit steht zur Zeit wohl noch auf der Seite der AGW-Vertreter, und die politische Umsetzung der vermeintlich sicheren Erkenntnisse zur Erderwärmung kosten sehr viele Milliarden, die einmal fehlen könnten, wenn tatsächliche, teilweise schon sichtbare Bedrohungen auf uns zukommen, wie z.B. der letztlich aus Armut und Bildungsarmut resultierende Terrorismus.