2.5 Dynamik des Wetters und des Klimas - erste Hinweise

Worum geht es?

In diesem Kapitel setzen wir die im Kapitel 2.2 begonnene Wanderung auf der - vereinfachten - Körnungsleiter von der Physik der Moleküle zur Physik des Klimas fort. Der erste Schritt von den Molekülen zu den hydro-thermodynamischen Feldern wurde ja dadurch begünstigt, dass eine große Energielücke zur Verfügung stand, die es ermöglichte, zur Mittelung über die Feinkörnigkeit hinreichend große Mittelungsintervalle zu verwenden, so dass das Mittel über alle Abweichungen auch wirklich verschwindet ohne auch schon die benachbarte Grobkörnigkeit zu beeinflussen - das Reynolds'sche Postulat also erfüllt ist. Der nun zu beschreibende nächste Schritt zur Physik des Wetters muss in der Regel ohne eine solche ausreichende Energielücke auskommen, günstigstenfalls mit einer sehr kleinen solchen Lücke.

Die in Kap. 2.3 beschriebene Beteiligung auch physikalischer Gesetze bei der Bildung von Mittelwerten über feinkörnige Strukturen - schon beim allerersten Schritt auf der *Leiter zunehmender Körnungen* - vollzieht sich auch beim nächsten, in diesem Kapitel zu besprechenden Skalensprung b→c von der *nun* feinkörnigen Physik hydro-thermodynamischer Felder zur *nun* grobkörnigen Physik des Wetters. War es das physikalische Gesetz vom sogenannten ***lokalen thermodynamischen Gleichgewicht***, welches den Schritt a→b erst möglich gemacht hat, so war es das ***hydrostatisch - quasigeostrophische Gleichgewicht***, das den zweiten Schritt b→c erfolgreich werden ließ. L. F. Richardson ist diesen zweiten Schritt im Jahre 1922 erstmals gegangen (→ auch Seite 28). Er hat ihn ausführlich beschrieben in seinem Buch 'Weather Prediction by numerical Process', [Ri22], mit dem er sich als 'Erfinder' der numerischen Wettervorhersage etabliert hat.

Richardson arbeitete mit Euler-Teilchen der Größe von *etwa* 200x200x3 km, also noch weit unterhalb der untersten Zeile der Tabelle von Seite 62, und er verwendete das entsprechend grobe Rechengitter nur im europäischen Raum. Da es zu seiner Zeit noch keine Computer gab, rechnete er selbst 'per Hand', und auch nur für den Innenbereich des Gitternetzes. Er berechnete eine sechsstündige Prognose. Für diese Rechnungen benötigte er viele Wochen. Nach seiner Abschätzung benötigte man etwa 600000 Menschen, die in höchster Abstimmung miteinander kooperierend rechnen, um weltweite Flächenprognosen gerade so schnell herstellen zu können, wie es dem normalen Wetterablauf entspricht. Um also eine Prognose für 'morgen' zu erstellen, müssten also 1,2 Millionen Menschen rechnen, und auch dann hätte man die Prognose erst 12 Stunden 'vorher' zur Verfügung.

Und wie zuverlässig wäre dann die Prognose? Sie wäre vollkommen unbrauchbar! Richardson hatte eine Druckänderung von 145 Millibar für ein Gebiet errechnet, wo es in der Realität nur *ein* Millibar Druckänderung gegeben hatte. Richardson konnte den Grund für diese Fehlprognose nicht kennen. Er konnte nicht wissen, dass man auf der grobkörnigen Wetterskala statt der ***hydro-thermodynamischen*** Gleichungen ***meteorologische*** Gleichungen hätte verwenden müssen, in die ein sogenanntes ***quasigeostrophisches*** und ***hydrostatisches Gleichgewicht*** als physikalische Zusatzbedingung eingebaut gewesen wäre. Diese Gleichgewichte stellen auch eine Verbindung her zwischen der räumlichen Skala der grobkörnigen Wetterskala und der entsprechenden größeren Zeitskala, z.B. der Lebensdauer oder der Periodenlänge der im grobkörnigen Bereich stattfindenden Prozesse.

Auf Seite 60 haben wir beschrieben, dass die zu berechnenden atmosphärischen Modell-Variablen diskret, kontinuierlich oder stetig im Raum verteilt sein können, entsprechend einem Modell aus Luftmolekülen, größeren Luftpäckchen oder infinitesimalen Luftpäckchen. In Gittermodellen (→ Seite 64) muss sich der Gitterabstand natürlich an der Größe der Luftpäckchen orientieren.

Auf Seite 28 kam zur Sprache, dass jeder gewählte Gitterabstand über das CFL-Kriterium (nach Courant, Friedrichs und Lewy, [CFL28]) eine maximale Zeitschritt-Länge vorgibt, die pro Rechenschritt der numerischen Vorhersage nicht überschritten werden darf. M.a.W., der Wunsch nach 'mehr' räumlicher Stetigkeit erfordert einen hohen Rechenaufwand nicht nur wegen der gewünschten - aber aus technischen Gründen nicht erfüllbaren - möglichst engen Gittermaschenweiten, sondern auch wegen des dann langsameren zeitlichen Vorankommens der Prognose.

Richardsons Fehlprognose resultierte auch daher, dass die Größe seiner (ebenfalls grobkörnigen) Zeitschritte pro Rechenschritt nach dem CFL-Kriterium gar nicht erlaubt war. Er hätte nur die wesentlich kürzeren Zeitschritte verwenden dürfen, die die von ihm verwendeten hydro-thermodynamischen Gleichungen erlauben. Dann aber hätte er Jahre lang an der Sechs-Stunden-Vorhersage rechnen müssen.

Heute geht man beim Schritt c→d - also vom Wetter zum Klima - ähnlich zu Werke wie Richardson beim Schritt b→c. Noch einmal: Richardson hatte das Wetter in Unkenntnis der erst später entdeckten Wettergleichungen mit hydro-thermodynamischen Gleichungen berechnet, und heute berechnet man die 'Klima-Skala' mit Wettergleichungen. Echte Klimagleichungen sind heute noch unbekannt - wenn es sie überhaupt gibt. Aber wegen der heute verfügbaren schnellen Computer ist man wenigstens in der Lage, auf klima-angepasste grobkörnige Zeitschritte zu verzichten, die Zeitschritte also hinreichend klein zu halten, sie der Wetter-Skala anzupassen,

die man 'eigentlich' gar nicht im Fokus hat. So berechnet man das Wetter über klimatologische Zeiträume von 50 Jahren oder mehr, und mittelt erst danach, ohne danach zu fragen ob man nicht 'eigene', bereits gemittelte Klimagleichungen anstreben sollte, in welche physikalische Stabilisierungen der Klimaskala eingebaut wären. Das ist natürlich ebenso 'erlaubt' wie Richardsons Vorgehen 'erlaubt' gewesen wäre, wenn er - wie soeben beschrieben - die kürzeren Zeitschritte der hydrothermodynamischen Gleichungen verwendet hätte.

Der Haupt-Unterschied der Wetterprognose damals zur Klimaprognose heute ist also der, dass 1922 die berechneten Ereignisse später verfügbar waren als die echten Ereignisse, so dass man schon während der Rechenzeit sehen konnte, ob die längst eingetretenen Fakten den nach und nach verfügbaren Rechenergebnissen entsprechen. Heute ist es dank der modernen Computertechnologie umgekehrt. Man kann Prognosen durchführen, aber ob sie stimmen - ich sage, dass sie nicht stimmen - weiß man erst z.B. 50 Jahre später! Keinesfalls sollte man heute behaupten, die Klima-Rechenergebnisse seien Fakt. Gründe dafür haben wir schon auf Seite 29 und 33f relativ ausführlich beschrieben. Dort sprachen wir von sich ansammelnden systematischen Fehlern, von willkürlichen Parametrisierungen und von fehlenden physikalischen Stabilisierungs-Bedingungen für eine Klimaskala.

Als häufigstes Argument der AGW-Vertreter *für* eine rein mathematische Mittelungs-Klimatologie wird ins Feld geführt, dass für Klimaskalen *äußere* Randbedingungen die Rolle der *internen* physikalischen Stabilisierungs-Gesetze übernehmen. Das stimmt sicher für *einige* der *vielen* schon angesprochenen Klimafaktoren. Die Randbedingung 'Erdachsenneigung' ist unbestritten für die Klimaschwankungen 'Jahreszeiten' verantwortlich. Auch andere astronomisch 'starr' vorgegebene Randbedingungen sind als Klimafaktoren sehr plausibel. Sie wirken allerdings in der Mehrzahl auf sehr große Klimaskalen. Die starre Randbedingung für die willkürlich festgesetzte 30-jährige Klimaskala ist in allen Klimadiskussionen 'natürlich' der von Menschen gemachte Anstieg von CO_2. Aber diese Randbedingung ist ja gar keine, weil der atmosphärische CO_2-Gehalt - auch der bisher anthropogen entstandene Anteil von etwa einem Drittel des Gesamtgehaltes - im vollen Umfang an der Vernetzungs-Wechselwirkung mit den unzähligen sonstigen atmosphärischen Variablen teilnimmt - im Gegensatz zu den atmosphärisch-externen Einflüssen, die das nicht tun.

Es ist im Kontext der Darstellungen *an dieser Stelle* nicht der Platz, die sehr zahlreichen Gegenargumente zu wiederholen oder zu ergänzen. Ich begnüge mich *hier* mit dem Hinweis darauf, dass zumindest eine der übermächtigen, astronomischen Randbedingungen den Temperaturverlauf der letzten 100 Jahre nicht schlechter erklären kann als die 'CO_2-Theorie'. Gemeint ist die Svensmark-Theorie [SC08], (→ auch

Seite 19), wonach die ***kosmische Strahlung*** - auch ***Höhenstrahlung*** genannt - Kondensationskeime und niedrige Wolken bilden kann, die im Endeffekt kühlend wirken (was auch durch physikalische Experimente, neuerdings auch vom CERN in Genf, nahegelegt wurde). Und was hat eine solche Abkühlung mit der in den letzten 100 Jahren erfolgten Erwärmung zu tun?

Obwohl das als Teil von Kap. 4 ausführlich erklärt werden soll, gebe ich hier schon ein paar kurze Hinweise. Die solare elektromagnetische Strahlung der Sonne ist zeitlich nicht konstant. Sie ist z.B. während der letzten 3 bis 4 Milliarden Jahre kontinuierlich um etwa 30 % stärker geworden. Dieser äußerst großskaligen zeitlichen Zunahme sind überlagert Schwankungen mit unterschiedlichen, meist nicht strengen Perioden, im Rhythmus auch der ***Sonnenfleckenaktivität*** und des ***Sonnenwindes****,* ein direkt von der Sonne ausgehender Teilchenstrom. Der physikalische Hintergrund für diese Schwankungen ist die schwankende magnetische Aktivität der Sonne.

Früher diskutierten Wissenschaftler, ob der direkte Erwärmungseffekt der schwankenden Sonne Klimaveränderungen verursachen könne, jedoch wurde bald klar, dass das Ausmaß der mit der damit verbundenen schwankenden Energiebilanzen dafür nicht ausreicht. Aber nach Svensmark und Calder, [SC08], (und nach einer zunehmenden Anzahl von Wissenschaftlern) kann eine stärkere Sonne eben doch für eine Klimaerwärmung verantwortlich sein, nicht wegen einer direkten Erwärmung, sondern - wieder einmal komplexer als 'schnell' gedacht - wegen der *schwankenden Verhinderung der Abkühlung* durch das Werk der Höhenstrahlen. Und das geht so:

Der - nicht gerade ungefährliche - Sonnenwind kann uns vor der noch gefährlicheren Höhenstrahlung schützen, und dabei auch die Produktion von Kondensationskernen und 'Svensmark-Wolken' verringern. Diese Beeinflussung der Höhenstrahlung wechselt im Rhythmus der solaren Schwankungen und der Schwankungen des des Sonnenwindes (Sonnenfleckenzyklus). Und Sonnen- sowie Mondfinsternisse wiederum beeinflussen den Sonnenwind. All diese Einflüsse auf die kühlende Wirkung von Kondensationskernen, Wolken und Regen sind statistisch keinesfalls schlechter untermauert als der CO_2-Einfluss auf den Temperatur-Verlauf [SC08], [VL12], [Fett08]. Aber trotz solcher astronomisch-externen (und anderen externen) Klimabedingungen darf man die Möglichkeit, dass es auch interne Stabilisierungs-Bedingungen für Klima-Skalen gibt, nicht ausschließen. Falls es sie gibt, müsste man sie bei der Mittelungsprozedur c→d - also beim Schritt vom Wetter zum Klima - berücksichtigen, ähnlich wie man es beim Schritt b→c von den hydro-thermodynamischen Feldern zur Wetter-Physik in Form von hydrostatisch-quasigeostrophischer Stabilisierung getan hat.

Das führt auf die Frage, ob man für einige, insbesondere kurze Klimaskalen neuartige physikalische Gesetze finden kann, die erst auf dieser Skala wirken und die dortigen Strukturen physikalisch stabilisieren. Nach meiner Einschätzung ist man davon noch weit entfernt. Es wäre aber auch schon eine Hilfe, wenn es gelänge, eine Energielücke zwischen Wetter- und Klimaskalen ausfindig zu machen, so dass bei der Mittelung nur Reynolds-Korrelationen auftauchen, und nicht auch noch entsprechende klimatologische Leonard- und Kreuzterme. (→ Seite 94). Es ist besonders schade, dass man eine solche Methode zwar für das 'feinkörnig-grobkörnig-Paar' Molekularbewegung - Hydro-Thermodynamik' und (wenn auch mit Einschränkungen) für das Paar 'Hydro-Thermodynamik - Wetter' gefunden hat, aber (noch?) nicht für das Paar 'Wetter - Klima'.

Dass das noch nicht das letzte Wort sein muss, hat einer meiner Doktoranden gezeigt (Hauschild, A. [Hau04] → auch Hauschild, A.; Lange, H.J.; Spitzer, H.J. [HLS99]). Hier haben wir einen empirischer Befund beschrieben, wonach es bereits in der Wetterskala mathematisch 'verschlüsselte' Strukturen mit einer sehr geringen Variabilität gibt, woraus sich möglicherweise auch Leitlinien für eine theoretisch begründete Stabilisierungsbedingung ergeben könnten - wenn auch nur für eine relativ kurze Klimaskala.

Zusammenfassungen - Verdichtungen - Ergänzungen

So wie wir in Kap. 2.2 den effektiven Übergang a→b von der 'feinkörnigen' Skala der zufällig bewegten Luftmoleküle zur Skala des (relativ hierzu) 'grobkörnigen' hydro-thermodynamischen Verhaltens der kleinsten laminaren atmosphärischen (und letztlich auch der ozeanischen) Bewegungsformen beschrieben hatten, so haben wir im aktuellen Kapitel 2.5 beschrieben, wie man vorgegangen ist, um auch den Schritt b→c von der hydro-thermodynamischen Skala zur Wetterskala der auf Seite 26 beschriebenen *idealisierten* Körnungsleiter - so gut wie es hier noch 'geht' - effektiv zu gestalten. Und ganz am Schluss haben wir einen Vorschlag gemacht, wie man möglicherweise vorgehen müsste / könnte, um auch noch den letzten Schritt von der Wetterskala zur Klimaskala effektiv zu machen, im Sinne einer die reine mathematische Mittelung ergänzenden Klimaphysik.

Man sollte jedoch noch folgendes ergänzen:

Selbst wenn das einmal gelingen sollte, hätte man noch immer nicht die auf Seite 30 beschriebenen Komplikationen der *naturgegebenen* Körnungsleiter berücksichtigt.

Wenigstens zu *einer* dieser Komplikationen kann aber hier eine partielle 'Entwarnung' gegeben werden. Wir sprachen dort von *zwei* hydro-thermodynamischen Skalen, die der ***laminaren*** und die der ***mikro-turbulenten*** Strömung. Man kann aber diese beiden Bewegungsformen auch als zwei bereits getrennte Sprossen auf einer dann fünfstufigen Körnungsleiter ansehen. Der sich *nun* ergebende zweite Schritt von der laminaren zur mikro-turbulenten Körnung ('Skala') ist relativ einfach zu gestalten: Eine entsprechende Energielücke ist - wenn auch nicht ganz so komfortabel - auch hier noch vorhanden, und man kann einige Konzepte des Übergangs von der molekularen Skala zur Körnung der mikro-turbulenten Bewegungen direkt übernehmen. So spricht man z.B. von einer laminaren und von einer qualitativ äquivalent beschriebenen mikroturbulenten Reibung. Allerdings ist die letztere um vier Größenordnungen - also etwa um den Faktor 10000 - stärker. Mikroturbulente Strömungen finden im Wesentlichen in den untersten etwa 1000 Metern der Atmosphäre statt, in der sogenannten ***atmosphärischen Grenzschicht***.

Die meist laminaren Strömungen oberhalb der Grenzschicht sind also 'fast' reibungsfrei - gemessen an der Reibung in der Grenzschicht - daher nennt man diese Schicht auch ***Freie Atmosphäre***. Sie ist nur etwa 10 km hoch, umfasst aber doch - im Verbund mit der atmosphärischen Grenzschicht als sogenannte ***Troposphäre*** - etwa 90% der atmosphärischen Gesamtmasse. In dieser Troposphäre spielen sich fast alle Wetterereignisse ab. Jedoch - komplex wie die Atmosphäre nun einmal ist - gibt es auch in der Freien Atmosphäre Ausnahmen von der quasi-Reibungsfreiheit, ist also auch hier gelegentlich turbulente Reibung am Werke, z.B. in Aufwindbereichen unter Wolken, oder in Starkwindgebieten, sogenannten Jet-Streams, am oberen Rand der Troposphäre - auch ***Tropopause*** genannt. Die Tropopause trenn die Troposphäre von der darüber liegenden sogenannten ***Stratosphäre***.