

Der Schmetterlingseffekt

In meinen Beiträgen habe ich hin und wieder in den vielen vergangenen Jahren öfters darauf hingewiesen, dass bereits eine kleine Änderung in der Ausgangslage der Wetterbedingungen zu großräumigen Änderungen einer vorhergesagten Wetterlage führen können, wie zum Beispiel die sich bisweilen zu Wolken auswachsenden Kondensstreifen von Flugzeugen. Man kennt jenes Phänomen unter dem Begriff „Schmetterlingseffekt“, der 1963 von dem Meteorologen Edward Lorenz geprägt wurde. Der stellte nämlich fest, dass in einer damals gegenüber heute noch sehr einfachen Wettersimulation das Wettergeschehen einen völlig anderen Verlauf nahm, wenn man die Ausgangsbedingungen für die Prognose auch nur ein winziges Bisschen veränderte. Um eine möglichst extrem kleine Veränderung im realen Wettergeschehen zu benennen, wählte er den Flügelschlag einer Möwe als Beispiel. Das war die Geburtsstunde der so genannten „Chaostheorie“. Später bürgerte sich dann der Schmetterling als Vergleich ein, vielleicht auch nur deshalb, weil die mathematische Struktur, die das Chaos beschreibt, ein so genannter Attraktor, grafisch an einen Schmetterling erinnert.

Inzwischen sind die Wettersimulationen erheblich komplexer und detaillierter geworden, die Computermodelle zahlreicher und differenzierter mit Hilfe unserer Großrechner, aber dass das Wetter ein chaotisches System ist, bestätigt sich immer wieder. In Simulationen und Prognosen gehen wir immer nur von einzelnen Wetterdaten an endlich vielen Punkten auf der Erde aus – und mit denen ist das Wetter nicht mehr als rund fünf bis sieben Tage im Voraus einigermaßen sicher zu bestimmen. Die kleinste Abweichung beim Anfangszustand potenziert sich, je weiter man in die Zukunft rechnet, was eine große Auswirkung auf das Vorhersageergebnis hat.

Die Vorgänge beim Wetter laufen bekanntlich nach physikalischen Gesetzen ab. Nur deshalb ist es überhaupt möglich, Wetterentwicklungen vorherzusagen. Das Wetter unterliegt jedoch dem Gesetz der Strömungen. Turbulenzen darin werden zu einem Stück unberechenbarer Natur. Sie entwickeln sich wie gesagt „chaotisch“. Somit sind bis heute mittelfristige Prognosen noch immer relativ unsicher, erst recht die längerfristigen. Da jede Ausgangswetterlage in ihrem Anfangszustand datenmäßig nicht genau genug bekannt ist, also angefüllt ist mit sog. „sensitiven Bereichen“, in denen kleinste Veränderungen zu völlig anderen Endresultaten führen können. Und das Vertrackte bei Chaeffekten ist, dass man für eine Verdopplung des Vorhersagezeitraums nicht die doppelte Anzahl von Vorhersagedaten benötigt, sondern ein Vielfaches davon. Diese Aufgabe bleibt auch in Zukunft nicht erfüllbar.

Dazu ein Beispiel. Sie zünden sich eine Zigarette an und halten diese anschließend ruhig in der Hand. Beobachten Sie den Rauch! Dieser steigt zunächst recht ruhig senkrecht nach oben. Der Weg des Rauches lässt sich hier noch relativ sicher vorhersagen. Nach einer kurzen Zeit wird der Rauch turbulent. Die anfangs ruhige und geradlinige Rauchfahne breitet sich nun chaotisch aus. In diesem Chaos lassen sich die Wege der einzelnen Rauchteilchen nicht mehr vorhersagen. Die chaotische Entwicklung bei Wetterphänomenen ist somit bis heute unumstritten, doch auch die Turbulenz weist – soviel wurde inzwischen erkannt – Gesetzmäßigkeiten auf, die sie dem Chaos verdankt. In Experimenten hat sich gezeigt, dass die so unregelmäßig erscheinenden Wirbel einer turbulenten Strömung doch bestimmte Formen überraschend deutlich bevorzugen und dass man ihre Eigenschaften durch geeignete Mittelwerte kennzeichnen kann. Gerade die chaotischen Bahnen sind es, auf deren Mittelwerte Verlass ist. Ordnung im Chaos? Wer hätte das gedacht. Aber das kennen Sie doch von nicht aufgeräumten Kinderzimmern. Für Sie ist das, was Sie dort erblicken, ein regelrechtes Chaos. Und gerade jetzt suchen Sie nach einem ganz bestimmten Buch. In diesem Chaos hat Ihr Sohn oder

Ihre Tochter keine Probleme, dieses Buch sofort zu finden. Offensichtlich gibt es doch eine Ordnung in diesem Chaos.

Es sind also immer die Anfangszustände, die den Verlauf einer chaotischen Entwicklung bestimmen, die – zum Glück – in ihrer weiteren Entwicklung dennoch zu recht verlässlichen Mittelwerten führen.

Aber diese helfen bei einer Wetterprognose für mehrere Tage wenig. Hier will man ja wissen, wie sich das Wetter an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit entwickelt. Um dies genau vorher zu sagen, müsste man den Anfangszustand der Atmosphäre vor der Prognose so genau kennen, dass die weitere Entwicklung nach 4 -6 Tagen nicht mehr aus dem Ruder läuft. Denn der noch so kleinste nicht berücksichtigte Parameter im Anfangszustand kann eine Computervorhersage zu ganz anderen Ergebnissen führen.

Man sollte den Schmetterlingseffekt allerdings nicht allzu wörtlich nehmen und eher als eine Metapher begreifen. Das gilt auch für den Flügelschlag einer Möwe. Bei den Auswirkungen der Kondensstreifen von Flugzeugen, die bei den Anfangsparametern einer Wetterprognose wohl nicht berücksichtigt werden können, bin ich mir da nicht so sicher, weil diese mit Sicherheit größere wettermäßige Effektivität besitzen, wenn sie sich zu Wolkenformationen auswachsen. Jedoch könnte wohl kein Meteorologe eine Kausalkette angeben, wie sich dieser Effekt so vergrößert, dass er tatsächlich einen Sturm auslöst- noch dazu mehrere tausend Kilometer entfernt. So wird wohl jeder Kondensstreifen mehr vom Wetter beeinflusst als das Wetter von einem Kondensstreifen.