

Vorhersage und Vorhersagbarkeit: Wetter und Erdbeben

J. Egger, Meteorolog. Inst., LMU

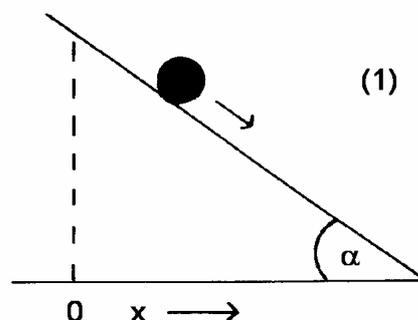
H. Igel Sektion Geophysik, LMU

Die Vorhersage der Bewegung einer Kugel auf einer schiefen Ebene stellt ein klassisches Problem dar (Abb. 1). Ist die Kugel zur Zeit $t = 0$ am Ort $x = 0$, so möchte man Geschwindigkeit V und Ort der Kugel zu einer späteren Zeit wissen. Man hat die Vorhersagegleichungen

$$\frac{dV}{dt} = g \sin \alpha - cV, \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = V \cos \alpha \quad (2)$$

(c konstant; g Erdbeschleunigung), die leicht zu lösen, allerdings auch angreifbar sind, da der Term $-cV$ mit der Reibungskonstante c die Reibung der Kugel auf der schiefen Ebene schwerlich genau erfaßt. Jedenfalls läßt sich bei gegebener Anfangsbedingung anhand von (1), (2) bei Kenntnis von c und des Neigungswinkel α eine Vorhersage erstellen. Ein Problem der Vorhersagbarkeit kann hier insofern entstehen als man etwa mit großer Genauigkeit wissen möchte, wann die Kugel den entfernten Punkt $x = x_1$ erreicht. Es ist möglich, daß auf (1), (2) basierende Vorhersagen nicht genau genug sind, das Eintreffen am Punkt $x = x_1$ also nicht mit der gewünschten Genauigkeit vorhergesagt werden kann.



Dieses Modell eines Vorhersageprozesses läßt sich auf die Wettervorhersage übertragen. Man muß den Anfangszustand kennen, also Temperatur, Druck etc. zur

Zeit $t = 0$. Während dieser Anfangszustand bei (1) durch eine Zahl charakterisiert wird, müßte man an allen Punkten der Atmosphäre die Temperatur, den Wind etc. kennen, ein Ding der Unmöglichkeit. Man muß mit guten, aber keineswegs umfassenden Kenntnissen des Anfangszustandes auskommen. Die (1), (2) entsprechenden Gleichungen für die Bewegungen der Luft, die Änderung der Temperatur sind bekannt, doch enthalten diese eine Reihe von Prozessen, die wie die Reibung in (1) nur ungenau erfaßt werden können. Die Vorhersage selbst wird mit Hilfe von Computern erstellt. Diese Technik hat inzwischen einen Stand erreicht, daß man Vorhersagen für die nächsten 5 Tage etwa mit Nutzen zu Rate ziehen kann. Es gibt aber auch Grenzen der Vorhersagbarkeit. Wettervorhersagen für zwei Wochen sind nutzlos.

Bei der Erdbebenvorhersage ist die Situation ganz anders. Es gibt zwar Gleichungen, die einem die Ausbreitung seismischer Wellen in der Erde mit guter Genauigkeit nachzurechnen gestatten, von Wellen also, wie sie bei Erdbeben ausgelöst werden. Es gibt aber keine Gleichungen, die es gestatten, das Auftreten von Erdbeben nach Ort und Zeit vorherzusagen. Das ist nicht erstaunlich: die Bewegungen in der Erde und der zugehörige Aufbau der Spannungen, die sich eventuell in einem Beben lösen, geht so langsam vor sich und hängt so sehr von den speziellen nur bedingt bekannten geologischen Umständen ab, daß sich dazu kein Anfangswertproblem vom Typ (1), (2) formulieren läßt.

Es gibt zwei Ansätze die diesbezüglich in den nächsten Jahren (weiter-)entwickelt werden und möglicherweise großen Einfluss auf die Schadensbegrenzung bei Erdbeben haben könnten: (1) die Berechnung von sogenannten Erdbebenszenarien, die es erlauben vorherzusagen, wie große die Bodenbewegungen im Falle eines Erdbebens sein werden und (2) die Berechnung der zeitabhängigen seismischen Gefährdung unter Berücksichtigung der aktuellen Seismizität.

Zu (1): Die Regionen und die speziellen Verwerfungen an denen Erdbeben stattfinden sind recht gut bekannt. In der Regel ist es auch möglich, die zu erwartenden maximalen Magnituden und deren durchschnittliche Wiederkehrzeit abzuschätzen (Beispiel: Im Kölner Becken gibt es im Durchschnitt ein Magnitude M6 Beben alle 20 Jahre, die Varianz ist allerdings enorm, viel stärkere Beben sind nicht

zu erwarten). Mit entsprechender Kenntnis der Struktur der Kruste in dieser Region kann man heute mit aufwändigen Rechenverfahren und Supercomputern die Bodenbewegungen im Gebiet des Epizentrums berechnen und zum Beispiel Verstärkungseffekte durch Sedimentstrukturen abschätzen (siehe Abbildung). Idealerweise sollten zahlreiche solcher Berechnungen in die Gefährdungsanalyse einer Region eingehen. Allerdings ist dazu die Detailkenntnis der Untergrundbeschaffenheit notwendig.

Zu (2): Die seismische Gefährdung ist bei weitem nicht konstant, sie verändert sich ständig durch interne Deformation der Kontinentalplatten, sowie durch Erdbeben. Bestes Beispiel ist die erhöhte seismische Aktivität nach einem Beben (Nachbeben), die häufig zu großen Schäden führt. Genauso ist es auch möglich, dass kleinere Beben eine gewisse Wahrscheinlichkeit haben, Vorbeben für größere Beben zu sein. Solche Aspekte können in dynamische Gefährdungskarten eingebaut werden. Hier ist ein Vergleich mit einer Karte, welche die Regenwahrscheinlichkeit als Funktion des Ortes darstellt, erlaubt.

Die Kombination der sogenannten probabilistischen Methode (2) mit der deterministischen Methode (1) sollte in den nächsten Jahren – trotz der fehlenden Möglichkeiten einer Vorhersage von individuellen Erdbeben – zu Fortschritten im Schutz vor Erdbebengefährdung führen.

Bildunterschrift:

Ergebnisse einer Computersimulation des M5.9 Erdbebens im Kölner Becken 1992. Die Grafik zeigt das seismische Wellenfeld an der Erdoberfläche.