

# AUF SAND GEBAUT

Sand ist ein ganz besonderes Material, das in der Bauwirtschaft breite Verwendung findet und bei Naturkatastrophen eine dramatische Rolle spielen kann.

Dimitrios Kolymbas vom Arbeitsbereich für Geotechnik und Tunnelbau untersucht die einzigartigen Eigenschaften von Sand.



Die klassische Mechanik ist für Einzelkörper konzipiert, die sich wie Punkte bewegen. Dennoch versteht es die Physik, auch Systeme aus extrem vielen solchen Körpern zu behandeln. „Obwohl mit wachsender Anzahl der Sandkörner die Kenntnis von der mikroskopischen Struktur immer geringer wird, werden die Wahrscheinlichkeitsaussagen über makroskopische Größen mit der Zahl der Teilchen immer schärfer“, erklärt Prof. Dimitrios Kolymbas. Die wissenschaftlichen Methoden dafür liefert die Bodenmechanik, die Sand als räumliches Fachwerk von einzelnen Sandpartikeln auffasst. „Dieses Fachwerk ist sehr wackelig“, erklärt Kolymbas. „Bei jeder Belastung lagern sich die Teilchen um.“ Darum bleiben auf der Sandoberfläche auch Spuren erhalten. Dieses Verhalten mathematisch zu modellieren, stellte die Wissenschaft lange vor große Schwierigkeiten. Viele verschiedene sogenannte Stoffgesetze beruhen auf einer Vielzahl von Laborversuchen, bei denen Sandproben deformiert und die damit verbundenen Spannungen aufgezeichnet wurden. „Diese mathematischen Formulierungen sind aber noch unvollkommen“, betont Kolymbas.

## NEUES STOFFGESETZ

„Ungeachtet seiner granularen Struktur kann Sand auch als Kontinuum behandelt werden“, erzählt der Innsbrucker Bauingenieur. „Das hat sich als zweckmäßig erwiesen. Die relevanten Größen wie Dichte, Verschiebungen, Deformationen, Spannungen werden als stetige Funktionen des Ortes betrachtet. Dadurch können wir das mächtige Instrumentarium der Infinitesimalrechnung samt allen analytischen und numerischen Lösungsmethoden anwenden.“ Ein von Dimitrios Kolymbas neu entwickeltes Stoffgesetz, die Barodesie, wurde durch Betrachtung sogenannter asymptotischer Zustände konstruiert. „Diese stellen sich bei langen

monotonen oder zyklischen Verformungen ein und können als Attraktoren der zugrundeliegenden Differentialgleichungen aufgefasst werden“, erklärt er.

Dichter Sand hat ein anderes Verhalten als lockerer Sand, schon deswegen, weil er kaum weiter verdichtet werden kann. Dichter Sand ist deshalb auch viel besser als Baugrund geeignet. Wenn also in der Bibel Sand als schlechter Baugrund dargestellt wird, so kann damit nur lockerer Sand gemeint sein. Einige Unternehmen haben sich darauf spezialisiert, Baugrund zu verdichten oder entsprechende Geräte herzustellen und zu vertreiben. Wenn die Poren im Sandboden mit Wasser gefüllt sind, kann das Verdichten dramatische Folgen haben. Das Wasser wird dabei verdrängt. Insbesondere bei ganz feinen Poren braucht dies viel Zeit. Die Wassersättigung der Poren grobkörniger Böden kann die Verdichtung durch Erschütterungen geradezu begünstigen. „Im Wasser, das

**„Sand zeigt dasselbe Verhalten, das von manchen asiatischen Kampfsportarten bekannt ist: Abbau des Drucks durch Zurückweichen.“**


Dimitrios Kolymbas, Institut für Infrastruktur

nicht sofort entweichen kann, baut sich durch die Erschütterung ein Druck auf, der aber anschließend abgebaut werden muss. Dies ist auch die antreibende Kraft der anschließenden Verdichtung, die aber jetzt eruptionsartig einsetzt. Es bilden sich dabei kleine Vulkane, aus denen Wasser und Sand ausgespien werden“, erklärt Kolymbas den zugrundeliegenden Mechanismus. Die physikalische Erklärung dieses Phänomens ist noch nicht abgeschlossen, es dürfte aber auf denselben Vorgängen beruhen, die auch bei Lava-Vulkanen maßgebend sind.

## DRAMATISCHE FOLGEN

Besonderes Interesse hat die Wissenschaft an Fällen, wo das Gerüst der Sandkörner als Tragsystem versagt. Dies kann dramatische Folgen haben, wie beim Einsturz einer Baugrube oder bei Hangrutschungen nach Erdbeben. „Ein Korngerüst kann Zustände erreichen, wo seine Tragkraft erschöpft ist, d.h. es kann nicht weiter belastet werden. Praktisch manifestieren sich solche Zustände dadurch, dass sich die Verformung in dünnen Scherfugen lokalisiert und sich eine Kette aus mehr oder weniger starren Blöcken bildet, die aneinander gleiten. Diese Blöcke können zerfallen und – im Falle von Erdbeben – als Muren oder Gerölllawinen einen Hang hinunterrutschen“, sagt der Bauingenieur.

Wenn Sand bei Erdbeben verdichtet werden „will“, verhindert eingeschlossenes Porenwasser diese Verdichtung zunächst. Dies führt dazu, dass die gesamte Belastung des Sandkörpers vom Porenwasser aufgenommen wird, was wiederum bedeutet, dass das Sand-Wasser-Gemisch sich wie eine Flüssigkeit verhält. Die Konsequenzen sind fatal: Ganze Wohnblöcke können in dieser Flüssigkeit versinken.

Neben Sand gibt es auch eine weitere Gruppe von Feststoffen, die riesige Verformungen erleiden können. Gemeint sind Gesteinspakete, geologische Schichten, ja ganze Kontinente oder der Erdmantel selbst. Sie können gewaltige Verformungen (man denke an Auffaltungen von Gebirgen) erleiden, vorausgesetzt, dass diese sehr langsam und über Jahrtausende ablaufen. „Wenn man den Zeitmaßstab außer Acht lässt, verhalten sich Gesteinspakete wie Sand“, betont Kolymbas. Die Ähnlichkeit von Sand und Gestein wird ausgenutzt, um geologische Prozesse anhand von Versuchen mit Sand zu simulieren. „Daraus erwächst die Vision, geologische Vorgänge anhand von Stoffgesetzen für Sand zu simulieren und Abläufe vorauszusagen“, so Dimitrios Kolymbas. cf 

## ZUR PERSON



Dimitrios Kolymbas (\*1949 in Athen) absolvierte sein Bauingenieurstudium an der Universität Karlsruhe, wo er von 1972 bis 1982 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Boden- und Felsmechanik und von 1982 bis 1994 als Oberingenieur am Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grundbau tätig war. Seit 1994 ist Kolymbas Ordentlicher Universitätsprofessor und Leiter des Arbeitsbereichs für Geotechnik und Tunnelbau am Institut für Infrastruktur an der Universität Innsbruck.



In der japanischen Stadt Niigata sind 1964 nach einem Erdbeben mehrere Wohnblöcke aufgrund von Bodenverflüssigung umgekippt. In Guatemala führte ein defekter Kanal zu einem dramatischen Erdfall, der drei Menschen das Leben kostete. In Köln war es die verhängnisvolle Einwirkung des Grundwassers auf den Boden, die das Stadtarchiv zum Einsturz brachte. (v.li.)