Eine Erdbebentheorie aus der Sicht der Festigkeitslehre

Autor(en): **Zwahlen, Robert**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 37

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85527

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Eine Erdbebentheorie aus der Sicht der Festigkeitslehre

Von Robert Zwahlen, Zürich

Erdgeschichte

Die in diesem Beitrag beschriebene Erdbebentheorie beansprucht in keiner Weise, alle mit der Seismik zusammenhängenden Fragen zu beantworten. Es gibt sicher noch *ganz andere Ursachen* – wie z. B. Seiches –, die Erdbeben hervorrufen. Der Artikel will nur in das Mosaik der schon bestehenden Erdbebentheorien noch ein weiteres Steinchen einfügen und damit einen bescheidenen Beitrag zum Verständnis der Erdbeben und möglichst für eine noch zu schaffende *Theorie der Erdbebenvorhersage* leisten. Leider ist man von diesem Punkt noch recht weit entfernt.

Ursprünglich hat man sich den Planeten Erde als eine heisse, flüssige Kugel vorzustellen, die nach den *Keplerschen Gesetzen* um die *Sonne* kreist, gleichzeitig aber noch eine *Eigenrotation* ausführt. Schon die Eigenrotation hatte zur Folge, dass sich innerhalb der flüssigen Erdmasse *Strömungen* ausbildeten, indem die Fliehkraft nahe dem Äquator sehr viel grössere Beträge erreicht als in der Nähe der Rotationsachse. Dieser Effekt ist auch heute noch vorhanden.

Die von der Sonne der Erde zugestrahlte Energie fällt mit höchster Intensität auf den Streifen zwischen den Wendekreisen. Die geringste Energie wurde der Arktis und Antarktis – damals auch an der Oberfläche der Erde noch flüssig – zugestrahlt. Andererseits strahlte die glühende Erde im anfänglichen Zustand Wärme in den Weltraum zurück. Die viel kleinere zugeführte Sonnenenergie an den Polen bewirkte eine *raschere Abkühlung des flüssigen Erdmaterials an den Polen* als etwa im Gebiet der Wendekreise und des Äquators.

An den Polen begannen sich daher «Kappen» zu bilden, der Anfang einer *festen* Erdoberfläche oder Erdkruste. Mit der fortschreitenden Abkühlung der Erde nahmen diese Kappen immer mehr an Umfang zu. Die Krusten oder Kappen «schwammen» auf der noch grösstenteils flüssigen Erdmasse. Man hat sie sich selbstverständlich nicht als genau rotationssymmetrische Körper vorzustellen. Der Schwerpunkt der Kruste mochte einige Kilometer von der Rotationsachse der Erde entfernt sein. Damit wirkte die *Fliehkraft infolge der Eigenrotation* der Erde auf die Kruste mit dem Erfolg, dass sich diese allmählich in Bewegung setzte: Diese Bewegungen sind altbekannt und werden als «Kontinentaldrift» bezeichnet. Es war nur eine Frage der Zeit, bis es zu Zusammenstössen von Krusten, die sich z. B. vom Nord- und Südpol her entgegenschwammen, kommen musste. Hätte es schon damals Menschen gegeben, hätten sie den Zusammenstoss auf den Krusten als Erdbeben wahrgenommen.

Mehr und mehr wurde die Erdoberfläche von Partien aus festem Material überdeckt, bis schliesslich die *ganze Erdoberfläche mit einem Mantel aus festem Material überzogen* war. Man mag sich darüber den Kopf zerbrechen, ob es immer im wesentlichen nur zwei Krusten waren, wovon die eine am Nordpol und die andere am Südpol entstand, die zusammenstiessen, oder ob sich eine Mehrzahl solcher Krusten bildete. Sicher ist auf jeden Fall, dass sich bis zum heutigen Tag einige *«Nahtstellen»* erhalten haben, in denen Erdkrusten aneinanderstossen, ohne miteinander verbunden zu sein. Die Erdkrusten sind auch *nicht überall gleich dick*. Das hängt damit zusammen, dass die Erdkruste keineswegs homogen ist, sondern aus verschiedenen Materialien mit entsprechend *verschiedenen Wärmewiderständen* besteht. Da wo der Wärmewiderstand klein war, floss viel Wärme weg, und die Abkühlung war grösser. Demzufolge wurde die Kruste an solchen Stellen eher dick.

Anfänglich waren die Krusten noch recht dünn, sie sind auch heute noch kaum dicker als 30 Kilometer. Die Krusten wirkten wie *gekrümmte Schalen der Festigkeitslehre* aufeinander ein. Bei gewissen Beanspruchungen blieben die Schalen nicht stabil, sondern *beulten aus*. Draus kann man sich die Gebirgsbildung erklären. Mittlerweile hatte sich die Erde so weit abgekühlt, dass der in reichem Masse vorhandene Wasserdampf kondensierte und sich Wasser in tiefer gelegenen Gebieten der Erde ansammelte, so dass sich Meere bildeten. Die Sonneneinstrahlung verdampfte grosse Wassermassen wieder, die durch die Luftströmungen als Wolken verfrachtet wurden, die sich dann irgendwo nach physikalischen Gesetzen kondensierten. In den Gebirgen niedergehendes Wasser erodierte im Lauf der Zeit Täler aus oder blieb als Eis oder Schnee liegen.

Die Bewegungen der Erdkruste

Auch wenn die Bewegungen der Erdkrusten immer geringer wurden, hörten sie doch nie ganz auf. Man weiss z. B., dass sich eine Nahtstelle zwischen Afrika und Südamerika befindet und dass sich die beiden Kontinente langsam voneinander entfernen. Afrika bildet für sich ein relativ zusammenhängendes Gebilde, und ähnliches lässt sich von Südamerika sagen. Irgendwo muss sich aber Afrika auf den eurasischen Kontinent stützen; entsprechendes lässt sich von Südamerika sagen. Entlang der Nahtstellen ist der Kräftefluss nicht so gleichmässig wie im Inneren von Schalen: Die Kraftübertragung erfolgt zum Teil recht ungleichförmig. Je nach der Beschaffenheit des Materials nahe der Nahtstellen deformiert sich das Material *plastisch*. Es erfolgt über längere Zeit eine Anpassung der Ränder der Krusten. Die Auflagefläche vergrössert sich, und es gibt kaum ruckartige Verschiebungen. *Ganz anders ist das Verhalten, wenn der Krustenrand aus hartem Felsgestein besteht.* Dann werden grosse Kräfte an verhältnismässig kleinen Flächen übertragen. Die Kräfte können sowohl Normalkräfte als auch Schubkräfte sein, wie man sich leicht vorstellen kann. Das *harte Felsmaterial* ist *lokal hohen Spannungen ausgesetzt*. Auch bei diesem Material findet selbstverständlich eine plastische Verformung statt, die aber unter Umständen infolge ihrer Langsamkeit nicht ausreicht, um die Spannungen abzubauen. So kann es vorkommen, dass sich die Spannungen immer weiter erhöhen, bis schliesslich das harte und spröde Material ruckartig zerbricht. Dadurch können sich die Krusten gegenseitig ein wenig verschieben, bis die beteiligten Krusten an neuen Stützstellen wieder aneinander aufliegen. Es hängt nun ganz davon ab, wie die Form der neuen Stützstellen aussieht und aus welchem Material sie bestehen, wenn man beurteilen möchte, ob die neuen Stützstellen halten oder ob auch sie brechen. Die Deformationen des Materials unmittelbar nach dem Bruch bestehen in einer Ausdehnung. Beim Aufprall auf neue Stützstellen wird das Material wieder zusammengepresst. Die *Spannungsänderungen* pflanzen sich in den Krusten wellenähnlich fort und werden als *Erdbeben* wahrgenommen.

Die ganze Theorie würde selbstverständlich an Wert gewinnen, wenn sich herausfinden liesse, *wie dick* die Krusten in der Gegend der Nahtstellen sind, *aus welchem Material* sie dort bestehen und von *welcher Formgebung die Stützstellen sind*. Sicher lässt sich mit Hilfe der bekannten Bohrlochmethode örtlich einiges feststellen. Insbesondere

gestattet die Bohrlochmethode auch Rückschlüsse auf vorhandene innere Spannungen im Krustenmaterial, aber sie ist doch zu aufwendig und zu kompliziert, als dass sich damit im grossen Massstab ganze Nahtstellen untersuchen liessen. Eine neuere Entwicklung läuft deshalb darauf hinaus zu prüfen, ob möglicherweise der piezoelektrische Effekt verwendet werden könnte und ob sich aus der Beschaffenheit allfällig vorhandener elektrischer Felder Rückschlüsse auf den mechanischen Zustand des beteiligten Krustenmaterials ziehen lassen. Die Bohrlochmethode hat allerdings den Vorteil, dass sie Auskunft über das Felsmaterial gibt. Wenn man weiss, dass für kristallines Material *bis zu 21 Materialkonstanten* erforderlich wären und dass der mit der Untersuchung Beauftragte mit Mühe und Not zwei Konstanten mitgeteilt erhält, so sieht man, dass wesentliche Erkenntnisse auf dem Gebiet der Erdbebenforschung von der *Materialprüfung* her geliefert werden müssen. Beim heutigen Stand der Dinge ist es noch fast aussichtslos, etwa mit Hilfe der *Methode der finiten Elemente* den Spannungszustand in der Erdkruste im Bereich von Nahtstellen untersuchen zu wollen.

Adresse des Verfassers: *R. Zwahlen*, dipl. Math. ETH, Ottenbergstr. 48, 8049 Zürich

Wiederverwendung von Asphalt-Strassenbelag

Von Josef Zihlmann, Langenthal

Das aufgebrochene Material aus reparaturbedürftigen Strassendecken lässt sich in Elementbauweise, die mit einer Zusatzausrüstung versehen ist, aufbereiten und wiederverwenden.

Wiederverwendung auf der Baustelle

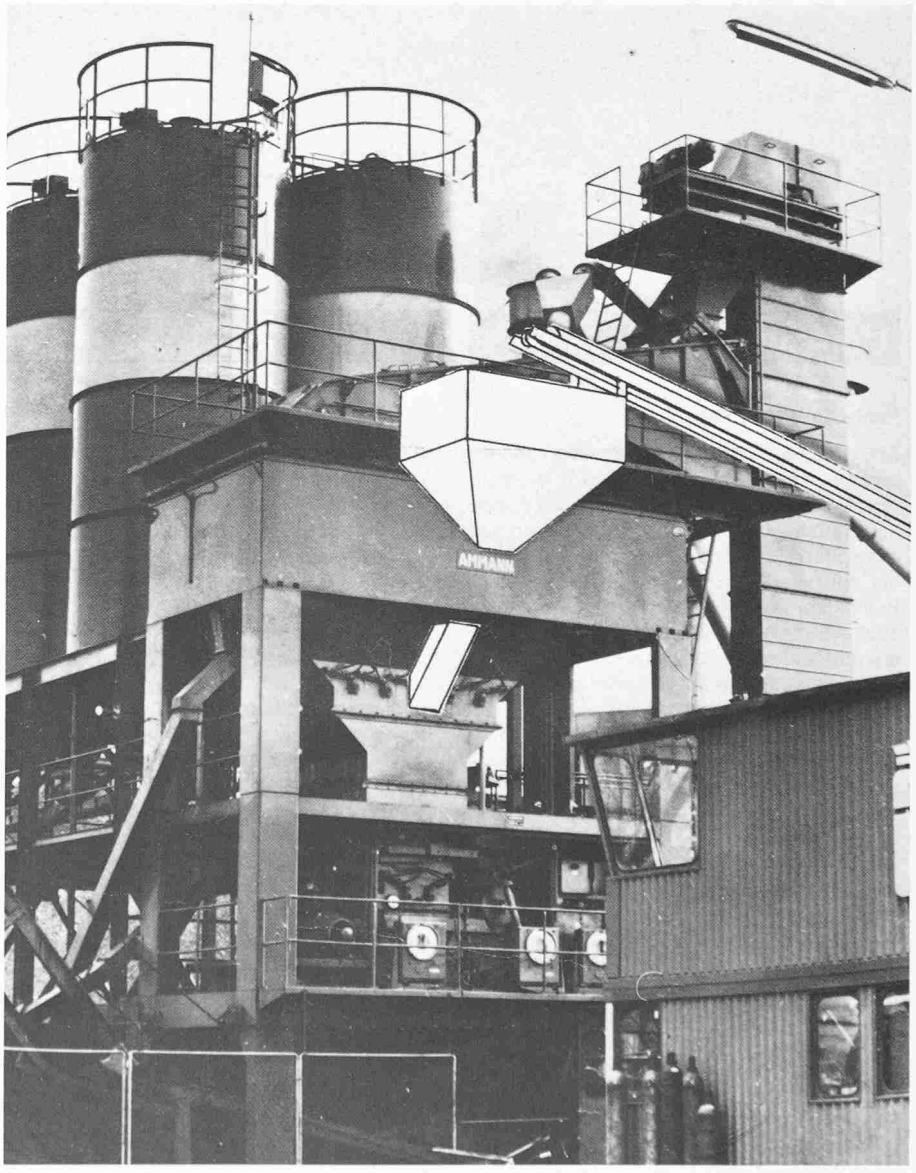
Der Einbau erfolgt in noch warmem Zustand als Unterschicht, die mit frischem Mischgut überdeckt wird, wenn dies die Bauvorschrift bezüglich Qualität zulässt. Dieses Verfahren verlangt *sehr teure Spezialmaschinen* und eine *peinlich genaue Überwachung* durch eine *gut eingespielte Mannschaft*, sollten gute Resultate erzielt werden. Solche Spezialmaschinen sind nur unter *günstigen Voraussetzungen* verwendbar. Sie sind zum Beispiel nicht auf Strassen brauchbar, wo Schienen, Schachtdeckel usw. eingebaut sind, oder wo relativ enge Kurven bestehen. Daher kann es *nicht als die generelle Lösung* angesehen werden.

Wiederverwendung auf anderer Baustelle

Der Einbau in noch warmem Zustand als HMT-Ersatz, zum Beispiel im land- und forstwirtschaftlichen Wegbau mit niedrigerem Qualitätsanspruch setzt voraus, dass bei Reparaturarbeit einer Strassenoberfläche gleichzeitig eine weitere Baustelle da ist, bei der das aufgebrochene Material als Ersatz eingebaut werden kann. Normalerweise wird der Anfall an aufgebrochenem Deckenmaterial zu gering oder zu gross sein für die zweite Baustelle, so dass die Kombination zweier voneinander abhängiger Arbeiten zu Kompromissen führt. Auch darf nicht übersehen werden, dass das aufgebrochene wiederverwendete Material nicht die gleiche Qualität aufweisen kann wie frisches, kornkurvenmässig genau zusammengesetztes und mit günstiger Einbautemperatur erhältliches Mischgut. Es muss mit einem Qualitätsunterschied gerechnet werden.

Aufbereitung mit Erhitzung im Trockner

Nach der Abkühlung und der Zerkleinerung des Materials erfolgt die erneute Aufbereitung in einer Drum-mix- oder konventionellen Anlage via Trockner. Ideal wäre es, das aufgebrochene Material durch eine konventionelle Mischanlage via Trockner aufzubereiten und nur so weit mit frischem Mineral und Bindemittel zu ergänzen, als es für ein wirtschaftliches und dennoch möglichst hochwertiges Mischgut erforderlich ist. Dies ist aber, wie amerikanische Versuche zeigen, mit grossen Problemen verbunden («Bitumen». 1/1978, S. 22–26). Ein Versuch mit einer Drum-mix-Anlage hat ergeben, dass das aufgebrochene Material zu viele Feinanteile enthält. Eine Mischung von zwei Dritteln Aufbruchmaterial und einem Drittel Frischmineral und Bitumen hat zu Entmischungen des Mischgutes geführt und auch zu einer extremen Leistungsreduktion der Anlage auf weniger als 50 Prozent; Entstaubungsschwierigkeiten und Einbauprobleme (mangelhafte Verdichtung) waren die Folge. Andere Versuche in konventionellen Trock-



Aufbereitungsanlage